



Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Instytut Nauk o Zwierzętach

Jakub Tadeusz Urban

**Wpływ dodatku koncentratu włókna
surowego na jakość fizykochemiczną paszy,
dobrostan, mikrobiotę jelita ślepego, wyniki
produkcyjne oraz jakość mięśni piersiowych
brojlerów kurzych**

Effect of crude fibre concentrate supplementation on feed
physico-chemical quality, welfare, the cecum microbiota,
production performance and breast muscle quality of broiler
chickens

Rozprawa doktorska

Doctoral thesis

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem:

Dr hab. Kamili Puppel, prof. SGGW

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Instytut Nauk o Zwierzętach

Promotor pomocniczy

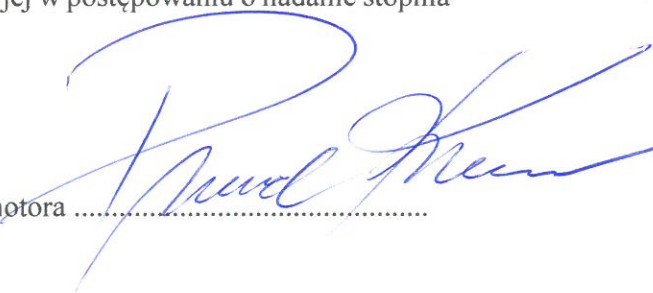
Dr hab. Martyna Batorska

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Instytut Nauk o Zwierzętach

Warszawa, 2025

Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora.

Data 23.07.2025r. Czytelny podpis promotora 

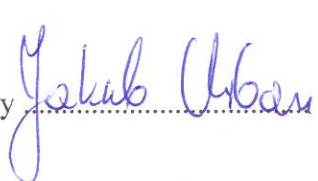
Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Świadomy odpowiedzialności prawnej, w tym odpowiedzialności karnej za złożenie fałszywego oświadczenia, oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została napisana przez mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami prawa, w szczególności z ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (tj. z dnia 28 października 2022 r., Dz.U. z 2022 r. poz. 2509 ze zm.)

Oświadczam, że przedstawiona rozprawa nie była wcześniej podstawą żadnej procedury związanej z uzyskaniem stopnia naukowego doktora.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Przyjmuję do wiadomości, że rozprawa doktorska poddana zostanie procedurze antyplagiatowej.

Data 28.07.2025r. Czytelny podpis autora rozprawy 

Spis treści

Oświadczenie promotora i autora rozprawy doktorskiej	3
Streszczenie	9
Summary	11
Zbiór publikacji naukowych wchodzących w skład dysertacji doktorskiej pt. „Wpływ dodatku koncentratu włókna surowego na jakość fizykochemiczną paszy, dobrostan, mikrobiotę jelita ślepego, wyniki produkcyjne oraz jakość mięśni piersiowych brojlerów kurzych”	13
Wykaz stosowanych skrótów	15
1. Wstęp	17
2. Hipotezy badawcze, cel i zakres pracy	23
3. Materiały i metody	26
3.1. Doświadczenie I: Określenie wpływu dodatków koncentratów włókna surowego ARBOCEL® lub VITACEL® na właściwości fizykochemiczne (skład, pH, zawartość i aktywność wody, właściwości sorpcyjne) i właściwości mechaniczne (siła oraz energia) paszy typu starter dla kurcząt brojlerów oraz wybór konkretnego koncentratu włókna surowego do drugiego doświadczenia.....	26
3.1.1. Zastosowana mieszanka paszowa.....	26
3.1.2. Oznaczenie podstawowego składu chemicznego	27
3.1.3. Oznaczenie zawartości wody i aktywności wody	27
3.1.4. Wyznaczenia izoterm sorpcji pary wodnej.....	27
3.1.5. Pomiar pH próbek paszy	29
3.1.6. Analiza tekstury	29
3.1.7. Opracowanie statystyczne	29
3.2. Doświadczenie II: Określenie wpływu dodatku koncentratu włókna surowego do paszy dla kurcząt brojlerów na wskaźniki dobrostanu, liczbę jednostek tworzących kolonie dla wybranych bakterii występujących w treści jelita ślepego (<i>Enterobacteriaceae</i> i bakterie kwasu mlekowego), pH kałomoczu i ściółki, kluczowe	

wskaźniki produkcyjne, wydajność rzeźną oraz jakość wizualną i fizykochemiczną mięśnia piersiowego.	30
3.2.1. Kurczęta brojlery i mieszanki paszowe zastosowane w ich żywieniu...	30
3.2.2. Ocena dobrostanu.....	32
3.2.3. Ocena jakości podeszwy stopy	33
3.2.4. Pomiar pH ściółki i kałomoczu	35
3.2.5. Analizy mikrobiologiczne treści jelit ślepych.....	35
3.2.6. Analiza mikrobiologiczna ściółki	36
3.2.7. Kontrola wyników produkcyjnych	36
3.2.8. Wybór ptaków do uboju oraz postępowanie poubojowe.....	37
3.2.9. Makroskopowa ocena mięśnia piersiowego pod względem występowania miopatii jakościowych	37
3.2.10. Parametry barwy mięśnia piersiowego (L^* , a^* , b^*).....	38
3.2.11. Pomiar pH mięśnia piersiowego, WHC oraz oznaczenie podstawowego składu chemicznego i zawartość kolagenu.....	39
3.2.12. Oznaczenie wycieku swobodnego	39
3.2.13. Siła cięcia	40
3.2.14. Deklaracja etyczna	40
3.2.15. Analiza statystyczna	40
4. Omówienie głównych wyników prac eksperymentalnych.....	41
4.1. Doświadczenie I: Urban J., Michalczuk M., Batorska M., Marzec A., Jaroszek A., Bień D. 2024. Effect of crude fibre additives ARBOCEL [®] and VITACEL [®] on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. <i>Animal Bioscience</i> , 37 (2), 274-283.....	41
4.1.1. Analiza pH, zawartości i aktywności wody	41
4.1.2. Właściwości mechaniczne	43
4.1.3. Właściwości sorpcyjne	44

4.2. Doświadczenie II: Urban J., Jaworski S., Lange A., Bień D., Matuszewski A., Michalczyk M. 2023. Effects of the addition of crude fibre concentrate on performance, welfare and selected caecal bacteria of broilers. <i>Animals</i> , 13 (24), 1-14.....	47
4.2.1. Wyniki produkcyjne kurcząt brojlerów	47
4.2.2. Wskaźniki dobrostanu.....	48
4.2.3. Analizy mikrobiologiczne oraz pH kałomoczu i ściółki.....	50
4.3. Doświadczenie II: Urban J., Bień D., Matuszewski A., Ciborowska P., Zalewska A., Pietrzak D., Chmiel M., Jaroszek A., Graham E. L., Michalczyk M. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy, and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. <i>Journal of Veterinary Research</i> , 69, 233-239.....	53
4.3.1. Analiza uboju oraz masa wybranych narządów	53
4.3.2. Wizualno-dotykowa ocena mięśni piersiowych pod kątem obecności miopatii jakościowych	54
5. Wnioski	56
5.1. Doświadczenie I: Określenie wpływu dodatków koncentratów włókna surowego ARBOCEL® lub VITACEL® na właściwości fizykochemiczne (skład, pH, zawartość i aktywność wody, właściwości sorpcyjne) i właściwości mechaniczne (siła oraz energia) paszy typu starter dla kurcząt brojlerów oraz wybór konkretnego koncentratu włókna surowego do drugiego doświadczenia.....	56
5.2. Doświadczenie II: Określenie wpływu dodatku koncentratu włókna surowego do paszy dla kurcząt brojlerów na wskaźniki dobrostanu, liczbę jednostek tworzących kolonie dla wybranych bakterii występujących w treści jelita ślepego (<i>Enterobacteriaceae</i> i bakterie kwasu mlekowego), pH kałomoczu i ściółki, wybrane wskaźniki produkcyjne, wydajność rzeźną oraz jakość wizualną i fizykochemiczną mięśnia piersiowego.....	57
6. Zalecenia praktyczne.....	59
Zalecenia dla sektora paszowego i producentów drobiu rzeźnego na podstawie wyników badań eksperymentalnych:	59
7. Bibliografia	61
8. Zbiór publikacji naukowych wchodzących w skład dysertacji doktorskiej pt. „Wpływ dodatku koncentratu włókna surowego na jakość fizykochemiczną paszy,	

dobrostan, mikrobiotę jelita ślepego, wyniki produkcyjne oraz jakość mięśni piersiowych brojlerów kurzych” oraz oświadczenia współautorów.....	75
---	-----------

Streszczenie

Włókno surowe stanowi istotny składnik strukturalny mieszanek paszowych, wykazujący złożone właściwości funkcjonalne o charakterze technologicznym, fizykochemicznym oraz żywieniowym. W żywieniu drobiu rzeźnego, w szczególności kurcząt brojlerów należących do gatunków monogastrycznych, komponent ten wpływa na szereg procesów fizjologicznych i metabolicznych. Dodatek włókna surowego do diety sprzyja intensyfikacji perystaltyki przewodu pokarmowego, optymalizacji procesów trawienno-resorpcyjnych, redukcji wilgotności ściółki oraz modulacji mikrobioty jelitowej poprzez wspieranie namnażania bakterii komensalnych o właściwościach probiotycznych. W konsekwencji, obecność włókna w diecie koreluje z poprawą wskaźników dobrostanu, stabilizacją mikrośrodowiska jelitowego oraz wzrostem efektywności produkcyjnej w chowie intensywnym brojlerów kurzych.

Wyniki analizy fizykochemicznej mieszanek paszowych wzbogaconych koncentratami włókna ARBOCEL[®] oraz VITACEL[®] w różnych poziomach (0,3%, 0,8%, 1,0%, 1,2%) nie wykazały negatywnego wpływu tych komponentów na inne oceniane wskaźniki jakości paszy, takie jak pH, aktywność wody (a_w) czy właściwości sorpcyjne. Wskazuje to na możliwość ich szerokiego zastosowania w przemyśle paszowym, szczególnie w produkcji pasz pełnoporcjowych, bez ryzyka negatywnego oddziaływania na właściwości technologiczne pasz.

W kolejnym etapie badań stwierdzono, że suplementacja paszy koncentratem włókna surowego ARBOCEL[®] przyczyniła się do istotnej redukcji częstości występowania zaburzeń dobrostanowych, takich jak footpad dermatitis (kontaktowe zapalenie skóry poduszki stopy/lapki), odparzenia stawów skokowych, nieprawidłowości w chodzie oraz pogorszenie jakości upierzenia. Zastosowanie włókna surowego pozytywnie wpłynęło na skład mikrobioty jelitowej, obserwując wzrost liczby jednostek tworzących kolonie bakterii kwasu mlekowego (LAB), co wiąże się z poprawą równowagi mikrobioty jelitowej oraz stabilizacją mikrośrodowiska przewodu pokarmowego. Obniżenie pH kałomoczu oraz ściółki potwierdza korzystny wpływ na środowisko zoohigieniczne, co ma kluczowe znaczenie w kontekście utrzymania zdrowia ptaków w intensywnych systemach hodowlanych.

Dodatkowo, suplementacja koncentratem ARBOCEL[®] wpłynęła na poprawę wskaźników wydajności produkcyjnej. Zaobserwowano istotne zwiększenie masy ciała ptaków w końcowej fazie odchowu, co znalazło odzwierciedlenie w poprawie wskaźników efektywności produkcji, takich jak EWW (Europejski Wskaźnik

Wydajności) oraz EIB (Europejski Indeks Brojlera). Stwierdzono również wzrost masy tuszki oraz wyraźny wzrost udziału mięśni nóg w stosunku do masy całkowitej tuszki. Ponadto, zastosowanie koncentratu ARBOCEL[®] w paszy doprowadziło do zmniejszenia częstotliwości występowania miopatii mięśnia piersiowego typu white striping (WS), co korzystnie wpłynęło na poprawę jakości wizualnej mięsa drobiowego, szczególnie w kontekście walorów estetycznych.

Słowa kluczowe: włókno surowe, właściwości fizyko-chemiczne, pasza, kurczęta brojlery, dobrostan, mikrobiota ocena rzeźna

Summary

Crude fibre is an important structural component of compound feeds, exhibiting complex functional properties of a technological, physico-chemical and nutritional nature. In the feeding of slaughter poultry, especially broiler chickens belonging to monogastric species, this component influences a number of physiological and metabolic processes. The addition of crude fibre to the diet promotes the intensification of gastrointestinal peristalsis, the optimisation of digestive-resorption processes, the reduction of litter moisture and the modulation of the intestinal microbiota by promoting the proliferation of commensal bacteria with probiotic properties. Consequently, the presence of fibre in the diet correlates with improved welfare indicators, stabilisation of the intestinal microenvironment and increased production efficiency in intensive rearing of chicken broilers.

The results of physicochemical analysis of compound feeds enriched with ARBOCEL[®] and VITACEL[®] fibre concentrates at different levels (0.3%, 0.8%, 1.0%, 1.2%) showed no negative effect of these components on other evaluated feed quality indicators such as pH, water activity (aw) or sorption properties. This indicates that they can be widely used in the feed industry, especially in the production of complete feed, without the risk of negatively affecting the technological properties of the feed.

In a subsequent study, it was found that feed supplementation with ARBOCEL[®] crude fibre concentrate contributed to a significant reduction in the incidence of welfare disorders such as footpad dermatitis, ankle joint flare-ups, gait abnormalities and plumage deterioration. The use of crude fibre had a positive effect on the composition of the intestinal microbiota, observing an increase in the number of colony-forming units of lactic acid bacteria (LAB), which is associated with an improved balance of the intestinal microbiota and a stabilisation of the gastrointestinal microenvironment. The reduction in faecal and litter pH confirms a beneficial effect on the zoohygienic environment, which is crucial in the context of maintaining bird health in intensive farming systems.

In addition, supplementation with ARBOCEL[®] concentrate improved production performance indicators. A significant increase in the body weight of the birds at the final stage of rearing was observed, which was reflected in the improvement of production efficiency indicators such as EPEF (European Production Efficiency Factor) and EBI (European Broiler Index). There was also an increase in carcass weight and a marked

increase in the proportion of lower limb muscles in relation to total carcass weight. In addition, the use of ARBOCEL[®] concentrate in the feed led to a reduction in the incidence of white stripping (WS) myopathy of the pectoral muscle, which had a beneficial effect on improving the visual quality of the poultry meat, especially in terms of aesthetic value.

Keywords: crude fibre, physico-chemical properties, feed, broiler chickens, welfare, microbiota, carcass assessment

Zbiór publikacji naukowych wchodzących w skład dysertacji doktorskiej pt. „Wpływ dodatku koncentratu włókna surowego na jakość fizykochemiczną paszy, dobrostan, mikrobiotę jelita ślepego, wyniki produkcyjne oraz jakość mięśni piersiowych brojlerów kurzych”

Dysertację doktorską stanowi zbiór trzech opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych:

1. **Urban J.***, Jaworski S., Lange A., Bień D., Matuszewski A., Michalczyk M. **2023**. Effects of the addition of crude fibre concentrate on performance, welfare and selected caecal bacteria of broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14.

IF = 2,7; 100 pkt.; Cytowania: WoS = 1; Scopus = 0

2. **Urban J.***, Michalczyk M.*, Batorska M., Marzec A., Jaroszek A., Bień D. **2024**. Effect of crude fibre additives ARBOCEL[®] and VITACEL[®] on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283.

IF = 2,4; 20 pkt.; Cytowania: WoS = 1; Scopus = 1

3. **Urban J.***, Bień D., Matuszewski A., Ciborowska P., Zalewska A., Pietrzak D., Chmiel M., Jaroszek A., Graham E. L., Michalczyk M. **2025**. Slaughter analysis, incidence of myopathy, and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239.

IF = 1,3; 140 pkt.; Cytowania: WoS = 0; Scopus = 0

*autor korespondencyjny

Łączna punktacja zbioru publikacji zgodnie z listą Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na dzień wydania publikacji wynosi **260** punktów, natomiast łączny Impact Factor opublikowanych prac według bazy Journal Citation Reports na dzień ich opublikowania wynosi: **6,4**.

Wykaz stosowanych skrótów

ΔE - względna różnica barw

ASW - antybiotykowe stymulatory wzrostu

BET - Brunauer Emler Tauler

BO - białko ogólne

CaCl₂ - chlorek wapnia

CH₃COOK - octan potasu

EBI - European Broiler Index

EIB - Europejski Indeks Brojlera

ENDO - podłoże różnicujące dla bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*

EPEF - European Production Efficiency Factor

EWW - Europejski Wskaźnik Wydajności

FCR - Feed Conversion Ratio - współczynnik konwersji paszy

FPD - Footpad Dermatitis – kontaktowe zapalenie skóry podeszwy stopy/łapki

HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Point - System Analizy Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli

HCl - kwas chlorowodorowy (solny)

HPC - High Pressure Centrifugal - wysokie ciśnienie odśrodkowe

GAB - Guggenheim-Anderson-de Boer

jtk/ml - liczba jednostek tworzących kolonie na mililitr

K₂CO₃ - węglan potasu

LAB - Lactic Acid Bacteria - bakterie odznaczające się zdolnością produkcji kwasu mlekowego

LiCl - chlorek litu

MgCl₂ - chlorek magnezu

Mg(NO₃)₂ - azotan (V) magnezu

MRS - De Man-Rogosa-Sharpe Agar - selektywne podłoże mikrobiologiczne, które umożliwia izolację i hodowlę bakterii kwasu mlekowego, szczególnie gatunków z rodzaju *Lactobacillus*

NaCl - chlorek sodu

NaNO₂ - azotan sodu

NDV - Newcastle Disease Virus

(NH₄)₂SO₄ - siarczan (VI) amonu

NIR - Near Infrared - bliska podczerwień

NIRS - Near Infrared Spectroscopy - spektroskopia bliskiej podczerwieni

PC - Plumage Cleanliness - czystość upierzenia

pH - wykładnik jonów wodorowych

QS - Quality & Security - System Zapewnienia Bezpieczeństwa Żywności i Pasz

RMS - Root Mean Square - średni błąd kwadratowy

SCFA – short-chain fatty acids – krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe

s.m. - sucha masa

SBM GMO - poekstrakcyjna śruta sojowa podchodząca ze nasion modyfikowanych genetycznie

VFA – volatile fatty acids – lotne kwasy tłuszczowe

WHC - Water Holding Capacity - wodochłonność, zdolność utrzymania wody własnej mięsa

1. Wstęp

W ostatniej dekadzie, na skutek korzystnej relacji kosztów produkcji, optymalnego profilu składników odżywczych oraz wysokiej wartości przetwórczej, zaobserwowano stały wzrost zapotrzebowania na mięso drobiowe. Te czynniki przyczyniają się do jego rosnącej popularności jako preferowanego źródła białka zwierzęcego w przemyśle spożywczym (Petracci i wsp., 2015). Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) za 2023 r., średnie spożycie mięsa drobiowego w Polsce wyniosło 31,5 kg per capita, co oznacza wzrost o 5,8 kg w porównaniu z rokiem poprzednim. Jednocześnie było ono o 7,3 kg większe od średniego spożycia drobiu w krajach Unii Europejskiej (Biuro Analiz i Strategii Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa, 2024). Wzrost popytu, będący odzwierciedleniem rosnącej siły nabywczej konsumentów oraz ich preferencji żywieniowych, koreluje ze wzrostem podaży. Polska nieprzerwanie od 2014 roku utrzymuje pozycję lidera wśród państw członkowskich Unii Europejskiej pod względem produkcji mięsa drobiowego, skutecznie zaspokajając potrzeby zarówno krajowego rynku, jak i znaczną część popytu zagranicznych odbiorców (MRiRW, 2025). Według raportu Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Raport MRiRW, 2025) wolumen eksportu mięsa drobiowego w 2024 r. osiągnął poziom 1 785 489 ton, co stanowi wzrost o 139 251 ton (+8,46%) względem roku 2023 (Markowska, 2025). Produkcja mięsa drobiowego w Polsce i krajach wysoko uprzemysłowionych opiera się głównie na zastosowaniu wyselekcjonowanych mieszańców kurcząt rzeźnych, utrzymywanych w systemie intensywnej produkcji. W wyniku intensywnego rozwoju technologicznego oraz postępu genetycznego, na przestrzeni ostatnich trzech dekad osiągnięto podwojenie masy ubojowej kurcząt brojlerów, przy jednoczesnym skróceniu o około 50% czasu odchowu, co stanowi istotny wskaźnik poprawy efektywności produkcji drobiarskiej (Michalczyk i wsp., 2013). Intensywna selekcja hodowlana ukierunkowana na maksymalizację przyrostów masy ciała oraz skrócenie cyklu produkcyjnego kurcząt brojlerów doprowadziła do istotnych zmian w morfologii i funkcjonalności błony śluzowej jelit, takich jak skrócenie i zanik kosmków jelitowych oraz zwiększenie głębokości krypt, co skutkuje upośledzeniem funkcji bariery jelitowej, wzrostem przepuszczalności nabłonka oraz większą podatnością na dysbiozy i enteropatie o etiologii zarówno bakteryjnej, jak i niezakaźnej. Dysbioza jelitowa w intensywnym chowie brojlerów może skutkować zwiększoną wrażliwością na zakażenia patogenami takimi jak *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Pasteurella multocida* oraz wirusem

choroby Newcastle (*Newcastle Disease Virus – NDV*), co może prowadzić do znacznych strat ekonomicznych oraz obniżenia poziomu dobrostanu zwierząt.

Zaburzenia czynności przewodu pokarmowego, w tym przede wszystkim choroby jelit, stanowią jedną z głównych przyczyn strat ekonomicznych w intensywniej produkcji drobiarskiej (Mateos i wsp., 2002; Jiménez-Moreno i wsp., 2009). Zakłócenie równowagi mikrobioty komensalnej wywołane najczęściej zmianami w składzie komponentów mieszanki paszowej może prowadzić do uszkodzeń strukturalnych i funkcjonalnych błony śluzowej przewodu pokarmowego, czego skutkiem są biegunki, zaburzenia wchłaniania składników odżywczych oraz i obniżenie wskaźników produkcyjnych brojlerów kurzych (Montagne i wsp., 2003; Jiménez-Moreno i wsp., 2009). Jednym z najczęściej stosowanych środków zaradczych wobec zaistniałego problemu było przez dekady rutynowe wprowadzanie antybiotykowych stymulatorów wzrostu (ASW), które z jednej strony stabilizowały równowagę mikrobioty jelitowej, z drugiej korzystnie wpływały na wyniki produkcyjne (poprawa tempa wzrostu oraz współczynnika konwersji paszy). Antybiotykowe stymulatory wzrostu stosowano przez prawie 50 lat, jednakże z biegiem czasu zaczęły narastać obawy dotyczące potencjalnych skutków ubocznych dla zdrowia konsumentów, w tym działania alergizującego, toksycznego i kancerogennego (Greathead, 2003; Rochfort i wsp., 2008; Gheisar i Kim, 2018). Kwestia bezpieczeństwa zdrowotnego została dodatkowo zaostrzona przez zjawisko narastającej antybiotykooporności drobnoustrojów patogennych. W odpowiedzi na te zagrożenia, Unia Europejska wprowadziła z dniem 1 stycznia 2006 r. całkowity zakaz stosowania antybiotykowych stymulatorów wzrostu w produkcji zwierzęcej (Anadón, 2006; Michalczuk i wsp., 2024). Niestety podjęte działanie nie przyniosło oczekiwanego rezultatu. Obecnie szacuje się, że zaledwie 30% globalnej produkcji antybiotyków przeznaczana jest na leczenie ludzi, natomiast pozostałe 70% wykorzystywane jest w weterynarii, zarówno do celów terapeutycznych, jak i w celu stabilizacji składu mikrobioty przewodu pokarmowego zwierząt hodowlanych. Każdego roku na świecie odnotowuje się ponad 700 tys. zgonów będących wynikiem infekcji wywoływanych przez patogenne mikroorganizmy odznaczające się antybiotykoopornością (World Health Organization, 2019; Michalczuk i wsp., 2024), w tym od 25 do 33 tys. przypadków w samej Europie. Powszechny problem antybiotykooporności w UE powoduje także ogromne straty ekonomiczne szacowane na ponad 1,5 mld € rocznie, związane z pokryciem kosztów opieki zdrowotnej, hospitalizacji, czy absencją chorobową (Anderson i wsp., 2023; Michalczuk i wsp., 2024).

Rosnący problem antybiotykooporności oraz całkowity zakaz stosowania antybiotykowych stymulatorów wzrostu w żywieniu zwierząt rzeźnych postawiły specjalistów ds. żywienia zwierząt przed koniecznością wypracowania skutecznych, a zarazem bezpiecznych alternatyw. Nowoczesne strategie żywieniowe z jednej strony powinny wspierać integralność błony śluzowej przewodu pokarmowego i zapobiegać kolonizacji jelit przez drobnoustroje chorobotwórcze, a z drugiej być obojętne dla organizmu zwierzęcia (Urban i wsp., 2023b; Urban i wsp., 2024a). Stabilizacja mikrobiomu przewodu pokarmowego oraz poprawa opłacalności produkcji drobiu zależy od synergii między nauką a praktyką. Wśród najbardziej obiecujących naturalnych substytutów ASW, powszechnie wykorzystywanych w nowoczesnym sektorze drobiarskim, wymienia się: probiotyki, prebiotyki, kwasy organiczne, fitobiotyki oraz włókno pokarmowe – w tym włókno surowe, które wykazuje korzystne właściwości w modulowaniu składu i aktywności mikrobioty jelitowej (Al-Khalaifa i wsp., 2019; Ricke, 2021; Urban i wsp., 2023a; Urban i wsp., 2024b).

W produkcji zwierzęcej probiotyki definiuje się jako dodatki paszowe zawierające żywe, ściśle określone szczepy mikroorganizmów, które korzystnie wpływają na organizm zwierzęcia poprzez wzmacnianie równowagi mikrobiologicznej w jelitach. Efektem ich stosowania może być poprawa współczynnika konwersji paszy, lepsze wchłanianie składników odżywczych oraz szybsze tempo wzrostu (Abd El-Hack i wsp., 2017; Alagawany i wsp., 2018).

Prebiotyki definiowane są jako składniki diety niepodlegające hydrolizie enzymatycznej w obrębie przewodu pokarmowego, wykazujące zdolność selektywnej stymulacji wzrostu i/lub aktywności prozdrowotnych frakcji mikrobioty jelitowej, zwłaszcza bakterii z rodzaju *Lactobacillus* i *Bifidobacterium* (Gibson i Roberfroid, 1995; Świątkiewicz i Świątkiewicz, 2008). Wśród naturalnych komponentów o właściwościach prebiotycznych szczególną rolę w żywieniu brojlerów kurzych odgrywa włókno pokarmowe, które stanowi integralny element strukturalno-funkcjonalny mieszanek paszowych. Pojęcie „włókna pokarmowego” zostało po raz pierwszy sformułowane przez Hipsleya w 1953 roku jako określenie dla niestrawnych komponentów strukturalnych ścian komórkowych roślin. Obecnie włókno klasyfikowane jest w oparciu o rozpuszczalność w środowisku wodnym na dwie frakcje: rozpuszczalne i nierozpuszczalne (Tejeda i Kim, 2021). Frakcje rozpuszczalne, charakteryzujące się podwyższoną lepkością, mogą niekorzystnie wpływać na środowisko jelitowe poprzez ograniczenie biodostępności składników pokarmowych oraz zmianę dynamiki pasażu

jelitowego. Niemniej jednak, niektóre rozpuszczalne oligosacharydy wykazują potencjał prebiotyczny poprzez promowanie rozwoju korzystnych mikroorganizmów komensalnych. Frakcje nierozpuszczalne, utożsamiane z tzw. włóknem surowym, pełnią istotną rolę fizjologiczno-mechaniczną, zwiększając aktywność perystaltyczną, poprawiając rozwój anatomiczny kosmków jelitowych, nasilając sekrecję enzymów trawiennych oraz wspierając kolonizację przewodu pokarmowego przez pożądaną mikrobiotę jelitową (Tejeda i Kim, 2021). Dodatek nierozpuszczalnego włókna strukturalnego do diety kurcząt brojlerów wydłuża czas retencji treści pokarmowej w końcowych odcinkach jelita (Hetland i wsp., 2005) oraz stymuluje wydzielanie kwasu solnego, co przekłada się na obniżenie pH środowiska żołądka gruczołowego i zwiększenie rozpuszczalności oraz przyswajalności składników mineralnych (Guinotte i wsp., 1995; Jiménez-Moreno i wsp., 2009). Włókno surowe, według klasycznej definicji Henneberga i Stohmanna (1859), to pozostałość organiczna uzyskiwana po ekstrakcji materiału roślinnego przy użyciu rozcieńczonych roztworów kwasu siarkowego (1,25%) oraz wodorotlenku potasu (1,25%). Włókno surowe tworzą głównie celuloza, lignina i hemiceluloza, będące podstawowymi polimerami budulcowymi ścian komórkowych tkanek roślinnych (McDonald i Whitesides, 2002). Proporcjonalnie, włókno surowe zawiera 50–80% celulozy, 10–15% ligniny oraz do 20% hemicelulozy (Southgate, 1986; Dobos i wsp., 2019). Natomiast produkty, w których zawartość włókna surowego przekracza 60%, klasyfikowane są jako koncentraty włókna surowego. Otrzymywane są one w wyniku procesów technologicznych (fizycznych lub termomechanicznych), mających na celu zwiększenie stężenia lignocelulozowych lub celulozowych struktur roślinnych. Koncentraty te, wykazujące wysoką czystość frakcyjną, stanowią nie tylko komponent strukturotwórczy w mieszankach paszowych, lecz także pełnią funkcję modulatorów środowiska przewodu pokarmowego, wpływając korzystnie na parametry zdrowotne i użytkowe drobiu rzeźnego.

Wśród dodatków funkcjonalnych stosowanych w intensywnych systemach chowu drobiu szczególne znaczenie przypisuje się wysoko oczyszczonym koncentratom włókna surowego, stanowiącym źródło niefermentujących polisacharydów strukturalnych. Składniki te wykazują potencjał w zakresie modulacji morfologii i fizjologii przewodu pokarmowego poprzez wpływ na pasaż treści jelitowej, strukturę błony śluzowej oraz skład mikrobioty jelitowej. Badania wykazały, że dodatki lignocelulozowe korzystnie wpływają na strukturę histologiczną błony śluzowej jelit (wydłużenie i zwiększenie liczby kosmków), intensyfikują aktywność enzymatyczną enterocytów oraz stymulują

rozwój mikrobioty o działaniu probiotycznym, przy jednoczesnej redukcji populacji drobnoustrojów patogennych (Ricke i wsp., 1982; Yu i wsp., 1998; Cao i wsp., 2003; Shakouri i wsp., 2006; Baurhoo i wsp., 2007; Baurhoo i wsp., 2008; Faber i wsp., 2012; Bogusławska-Tryk i wsp., 2015; Hussein i Frankel, 2019). Celuloza jako składnik diety przyczynia się do poprawy parametrów mikrobiologicznych treści jelitowej, ogranicza adhezję bakterii chorobotwórczych oraz wspiera równowagę mikrobiologiczną jelit (Cao i wsp., 2003; Shakouri i wsp., 2006; Saki i wsp., 2010; Hussein i Frankel, 2019). Nierozpuszczalne frakcje włókna surowego, szczególnie lignoceluloza, poprzez działanie fizyczne i fizykochemiczne, wpływają na kinetykę pasażu treści pokarmowej, co przekłada się na optymalizację procesów trawienia i wchłaniania składników odżywczych. Liczne doniesienia naukowe wskazują, że suplementacja diety brojlerów kurzych lignocelulozą skutkuje poprawą wskaźników produkcyjnych, takich jak przyrosty masy ciała czy współczynnik konwersji paszy (Montagne i wsp., 2003; Mateos i wsp., 2013; Kheravii i wsp., 2018; Röhe i Zentek, 2021).

Doskonałym przykładem w/w produktów są preparaty celulozowe i lignocelulozowe z linii VITACEL® oraz ARBOCEL®, produkowane przez firmę RETTENMAIER J. & SÖHNE GmbH + Co KG. Preparat VITACEL® stanowi wysoko oczyszczone włókno celulozowe oraz błonnik roślinny pozyskiwany z surowców owocowych, warzywnych i zbożowych o potwierdzonej biofunkcjonalności (RETENMAIER J. & SÖHNE GmbH + Co KG). Z kolei ARBOCEL® RC fine to lignocelulozowy koncentrat włókna surowego, zawierający 65–70% włókna ogólnego, z czego około 20% stanowi lignina (Hussein i Frankel, 2019; RETTENMAIER J. & SÖHNE GmbH + Co KG). Surowcem wyjściowym dla jego produkcji jest lignoceluloza uzyskiwana z oczyszczonego, okorowanego drewna świerkowego (*Picea abies*). Produkt ten odznacza się niską wilgotnością (7,7%), bardzo wysoką chłonnością wody (ok. 800%) oraz ustandaryzowanym składem chemicznym: włókno surowe – 65,3%, związki azotowe niebiałkowe – 25,1%, białko ogólne – 1,0%, tłuszcz surowy – 0,3%, popiół surowy – 0,5%. ARBOCEL® spełnia kryteria systemów zarządzania jakością HACCP i QS oraz charakteryzuje się wysokim poziomem czystości mikrobiologicznej (wolny od mykotoksyn). Dodatkowo, suplementacja paszy preparatem ARBOCEL® korzystnie wpływa na konsystencję kału oraz poprawia strawność białka i aktywność fermentacyjną mikrobioty (Farran i wsp., 2013; Milosevic i wsp., 2015; Urban i wsp., 2023). Cechą charakterystyczną preparatu jest jego wysoka zdolność wiązania wody. Woda związana w początkowym odcinku jelita cienkiego jest następnie uwalniana w sposób

kontrolowany w dalszych odcinkach przewodu pokarmowego, co – dzięki mechanizmom osmoregulacyjnym – umożliwia efektywną resorpcję zwrotną. W rezultacie dochodzi do ograniczenia ilości wolnej wody wydalanej z organizmu oraz zmniejszenia ryzyka nadmiernego zawilgocenia ściółki (Pietsch, 2013), co ma bezpośrednie przełożenie na dobrostan ptaków.

Jakość ściółki stanowi kluczowy czynnik wpływający na dobrostan ptaków, pełniąc funkcje sorpcyjne, termoizolacyjne i biomechaniczne, jak również umożliwiając ptakom realizację naturalnych zachowań behawioralnych, takich jak grzebanie czy kąpiele piaskowe (Shepherd i Fairchild, 2010; Collett, 2012; Brink i wsp., 2022). Wraz z upływem okresu odchowu wilgotność ściółki rośnie, głównie na skutek kumulacji kałomoczu. Nadmierna wilgotność prowadzi do utraty jej właściwości fizycznych, sprzyjając formowaniu się zbitej, mazistej warstwy o grubości 5–10 cm (Sistani i wsp., 2003; Brink i wsp., 2022). Zbrylona i nadmiernie wilgotna ściółka wpływa niekorzystnie na stan skóry nóg ptaków, przyczyniając się do zwiększonej częstości występowania kontaktowego zapalenia skóry podeszwy stóp/łapek (owrzodzenie podeszwy stopy) (ang. Footpad Dermatitis), odparzeń w okolicy stawów skokowych oraz innych zaburzeń dermatologicznych (Lister, 2009; Shepherd i Fairchild, 2010; Miles i wsp., 2011; Brink i wsp., 2022).

2. Hipotezy badawcze, cel i zakres pracy

W dysertacji doktorskiej postawiono następujące hipotezy badawcze:

Hipoteza 1: Suplementacja pełnoporcjowej mieszanki paszowej typu starter koncentratami włókna surowego ARBOCEL® i/lub VITACEL® prowadzi do istotnych zmian w jej właściwościach mechanicznych i strukturalnych, w tym do sorpcji wody, odporności na dezintegrację mechaniczną oraz ujednolicenie tekstury, co może wpływać na procesy technologiczne oraz efektywność pobrania paszy.

Hipoteza 2: Suplementacja diety kurcząt brojlerów prebiotykiem w postaci koncentratu włókna surowego ARBOCEL® sprzyja modulacji składu mikrobioty jelitowej poprzez wspieranie proliferacji bakterii komensalnych o właściwościach probiotycznych oraz hamuje wzrost mikroorganizmów oportunistycznych i patogennych, co w efekcie prowadzi do stabilizacji mikrobiologicznej homeostazy przewodu pokarmowego.

Hipoteza 3: Suplementacja diety kurcząt brojlerów prebiotykiem lignocelulozowym ARBOCEL® indukuje korzystne odpowiedzi fizjologiczne, manifestujące się obniżeniem odczynu pH w końcowym odcinku przewodu pokarmowego oraz zmniejszeniem częstości występowania zmian dermatologicznych w obrębie skóry podeszwy stopy (FPD).

Hipoteza 4: Zastosowanie prebiotyku (w formie koncentratu włókna surowego ARBOCEL®) jako komponentu funkcjonalnego w żywieniu kurcząt brojlerów prowadzi do poprawy wskaźników produkcyjnych.

Celem podjętych badań była ocena wpływu suplementacji mieszanki pełnoporcjowej typu starter dla brojlerów kurzych lignocelulozowymi koncentratami włókna surowego ARBOCEL® i VITACEL® pod kątem ich oddziaływania na właściwości fizykochemiczne oraz mechaniczne paszy, a także określenie wpływu tych parametrów na efektywność pobrania paszy i wskaźniki produkcyjne:

1. Zidentyfikowanie prebiotycznego potencjału koncentratu ARBOCEL® w kontekście modulacji składu taksonomicznego i liczebności mikrobioty

jelitowej kurcząt brojlerów, ze szczególnym uwzględnieniem intensyfikacji kolonizacji przez bakterie symbiotyczne o aktywności probiotycznej (*Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*) oraz ograniczenia rozwoju mikrobioty patogennej i oportunistycznej, celem utrzymania mikrobiologicznej eubiozy jelitowej oraz ograniczenia dysbiozy w obrębie jelita ślepego.

2. Ocena długoterminowego wpływu suplementacji lignocelulozowym włóknem pokarmowym na stan fizjologiczny i dobrostan kurcząt brojlerów, poprzez analizę wskaźników środowiskowych i zoohigienicznych w odniesieniu do statusu zdrowotnego oraz zachowania homeostazy w obrębie przewodu pokarmowego.
3. Określenie wpływu prebiotycznej suplementacji produktem ARBOCEL® na efektywność produkcyjną oraz na jakość technologiczno-przetwórczą mięśnia piersiowego (*musculus pectoralis major*).

Zakres pracy:

I. Doświadczenie I:

Analiza wpływu suplementacji mieszanki pełnoporcjowej typu starter wybranymi frakcjami lignocelulozowymi (koncentraty włókna surowego ARBOCEL® oraz VITACEL®) na właściwości fizykochemiczne (tj. skład chemiczny, aktywność wody, profil sorpcyjno-desorpcyjny, wartość pH) oraz właściwości mechaniczno-strukturalne granulatu (siła i energia dezintegracji, kohezja, integralność strukturalna). Badanie miało na celu identyfikację komponentu o najwyższej funkcjonalności technologicznej, z potencjałem do optymalizacji parametrów mechanicznych i poprawy dostępności paszy w warunkach intensywnej produkcji brojlerów.

II. Doświadczenie II:

Ocena oddziaływania prebiotycznej suplementacji dawki pokarmowej koncentratem włókna surowego ARBOCEL® na wybrane parametry zoohigieniczne, fizjologiczne

i produkcyjne brojlerów kurzych. Zakres analizy obejmował:

- modulację mikrobioty jelitowej w aspekcie ilościowej i jakościowej zmienności populacji bakterii komensalnych (w tym *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*) oraz mikroorganizmów potencjalnie patogennych (*Enterobacteriaceae*) na poziomie jelita ślepego – wyrażoną liczbą jednostek tworzących kolonie;

- charakterystykę środowiska na podstawie wartości pH kałomoczu oraz ściółki jako pośredniego wskaźnika równowagi metabolicznej i fermentacyjnej;
- wskaźniki dobrostanu ze szczególnym uwzględnieniem zmian dermatologicznych w obrębie skóry stawów skokowych oraz podeszwy stopy/łapki;
- efektywność produkcyjną: współczynnik konwersji paszy, wskaźnik śmiertelności;
- jakość technologiczno-przetwórczą mięśnia piersiowego (*Musculus pectoralis major*), w tym: zdolność wiązania wody, wartość pH (*post mortem*), cechy tekstury oraz właściwości organoleptyczne (występowanie wizualnych miopatii).

3. Materiały i metody

3.1. Doświadczenie I: Określenie wpływu dodatków koncentratów włókna surowego ARBOCEL[®] lub VITACEL[®] na właściwości fizykochemiczne (skład, pH, zawartość i aktywność wody, właściwości sorpcyjne) i właściwości mechaniczne (siła oraz energia) paszy typu starter dla kurcząt brojlerów oraz wybór konkretnego koncentratu włókna surowego do drugiego doświadczenia.

3.1.1. Zastosowana mieszanka paszowa

W doświadczeniu zastosowano mieszankę paszową typu starter, przeznaczoną dla brojlerów kurzych w okresie od 1. do 10. dnia życia, o następującym składzie: pszenica, kukurydza, poekstrakcyjna śruta sojowa (SBM GMO), oleje, fosforan jednowapniowy, kreda, sól oraz węglan wapnia. Mieszanka kontrolna (C) nie zawierała w swoim składzie żadnego z dodatków włókien surowych, podczas gdy pozostałe mieszanki (n = 8) zostały wzbogacone dodatkiem koncentratów włókna surowego: ARBOCEL[®] i VITACEL[®], zgodnie ze schematem przedstawionym w tabeli 1.

Tabela 1. Schemat doświadczenia - dodatek koncentratów włókna surowego do mieszanek typu starter dla brojlerów kurzych.

Dodatek	Grupy								
	C	A0,3	A0,8	A1,0	A1,2	V0,3	V0,8	V1,0	V1,2
ARBOCEL [®]	-	0,3%	0,8%	1,0%	1,2%	-	-	-	-
VITACEL [®]	-	-	-	-	-	0,3%	0,8%	1,0%	1,2%

Mieszanki paszowe - kontrolna (C) i doświadczalne - zostały wyprodukowane z wykorzystaniem tej samej technologii (temperatura procesu granulacji: +76°C, średnica oczek matrycy: 2 mm). Niezbędne ilości prób jednorodnej mieszanki paszowej do każdej z przeprowadzonych analiz pobrano z czterech różnych miejsc worka.

3.1.2. Oznaczenie podstawowego składu chemicznego

Zawartość białka surowego, tłuszczu surowego, włókna surowego, neutralnego włókna detergentowego i popiołu surowego w mieszankach paszowych oznaczono za pomocą spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIRS) przy użyciu aparatu NIR Flex N-500 (Buchi, Flawil, Szwajcaria). Oznaczenia przeprowadzono w trzech powtórzeniach dla każdej próbki mieszanki paszowej, która została wcześniej poddana rozdrobnieniu w młynku udarowym.

3.1.3. Oznaczenie zawartości wody i aktywności wody

Zawartość wody w próbkach oznaczono metodą suszenia w temperaturze $+105^{\circ}\text{C}$ przez 3 godz., wykonując dwa powtórzenia. Aktywność wody zmierzono w dwóch powtórzeniach przy użyciu aparatu Aqua Lab Series 3 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA) w temperaturze $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Zmierzono zarówno początkową aktywność wody (a_w), jak i jej wartość po trzech miesiącach w monitorowanych warunkach próbek w eksykatorach o różnej wilgotności względnej powietrza.

3.1.4. Wyznaczenia izoterm sorpcji pary wodnej

Izotermy adsorpcji pary wodnej wyznaczano metodą statyczną na podstawie pomiaru równowagowej wilgotności pomiędzy badanymi próbkami a atmosferą o określonej wilgotności względnej (Pałacha i Sas, 2016). Wilgotność względna atmosfery była regulowana za pomocą nasyconych roztworów soli: LiCl (0,113), CH_3COOK (0,225), MgCl_2 (0,328), K_2CO_3 (0,423), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (0,530), NaNO_2 (0,628), NaCl (0,754) i $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (0,810) oraz suchego bezwodnego CaCl_2 (0,0). Próbkę paszy dosuszano w suszarce próżniowej przez 48 h, w temperaturze $+40^{\circ}\text{C}$. Tak przygotowany materiał w ilości około 1 g naważono na wadze Metler AG, z dokładnością $\pm 0,00001$ g, umieszczano w eksykatorach zawierających nasycone roztwory soli i przechowywano przez 3 miesiące w temperaturze $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. W eksykatorach o wilgotności względnej środowiska wyższej od 0,754 umieszczano tymol w celu ochrony przed rozwojem mikrobyoty. Po 3 miesiącach próbki zważono i obliczono równowagową zawartość wody zgodnie z poniższą zależnością (1).

$$u = \left[\frac{d}{c \frac{b}{a}} - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$

gdzie: u – równowagowa zawartość wody (g/100 g s.m.), a – początkowa masa próbki z eksykatora z CaCl_2 (g), b – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, w eksykatorze z CaCl_2 , c – początkowa masa próbki z eksykatora z określonym roztworem (g), d – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przechowywaniu, z eksykatora z określonym roztworem (g).

Izotermy adsorpcji pary wodnej opisano równaniem Guggenheima-Aersona-de Boera (GAB) (2) (Lewicki, 1997):

$$u = \frac{u_m \times C \times k \times a_w}{(1 - k a_w)[1 + (C - 1)k a_w]} \quad (2)$$

gdzie: u – równowagowa zawartość wody (g H_2O /100 g s.m.); u_m – zawartość wody w monowarstwie (g H_2O /100 g s.m.); C i k - parametry modelu GAB związane odpowiednio z właściwościami monowarstwy i wielowarstwy, bezwymiarowe; a_w – aktywność wody. Aproksymację izoterm przeprowadzono na bazie wszystkich punktów pomiarowych (2 powtórzenia). Programu Table Curve 2D (Jandel Scientific) użyto do dopasowania testowanego modelu GAB do danych empirycznych.

Zgodność dopasowania modelu GAB do danych empirycznych oceniono na podstawie współczynnika determinacji (R^2) oraz średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w % (3) (Pałacha i Sas, 2016):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{u_e - u_p}{u_e} \right)^2}{N}} \times 100\% \quad (3)$$

gdzie: u_e - zawartość wody obliczona (g H_2O ×g⁻¹s.m.), u_p - zawartość wody wyznaczona eksperymentalnie (g H_2O ×g⁻¹ s.m.), N – liczba prób.

Powierzchnię właściwą granul paszy obliczono ze wzoru (4) (Pałacha i Sas, 2016):

$$S = (u_m \times N_o \times \sigma_o) / M \quad (4)$$

gdzie: S – powierzchnia właściwa adsorbentu ($\text{m}^2 \times \text{g}^{-1}$ s.m.); u_m – równowagowa zawartość wody w monowarstwie GAB ($\text{g H}_2\text{O}/100 \text{ g s.m.}$); N_o – stała Avogadra ($6,023 \times 10^{23}$ cząsteczek $\times \text{mol}^{-1}$); σ_o – powierzchnia siadania cząsteczki wody ($10,6 \times 10^{-20} \text{ m}^2 \times \text{cząsteczka}^{-1}$); M – masa molowa wody ($18 \text{ g} \times \text{mol}^{-1}$).

3.1.5. Pomiar pH próbek paszy

W celu dokonania pomiarów pH odważono 1 g mieszanki paszowej, zalano 9 ml wody destylowanej, dokładnie wymieszano (Kareem i wsp., 2016) i pozostawiono na 15 minut. Następnie zmierzono wartość pH za pomocą pH-metru CP-401 z elektrodą szklaną IJ-44C (Elmetron, Polska) w temperaturze $+25 \pm 1^\circ\text{C}$. pH-metr został skalibrowany w buforach o pH 4,00, pH 7,00 i pH 9,00 w temperaturze $+25 \pm 1^\circ\text{C}$. Pomiary dla każdej próbki mieszanki paszowej w grupie wykonano w sześciu powtórzeniach.

3.1.6. Analiza tekstury

Właściwości mechaniczne: siłę (N) i energię (J) niezbędną do skruszenia granuli paszy zmierzono przy użyciu teksturometru Stable Micro System TA. HDplus (UK). Testy ściskania pojedynczych granul wykonano sondą o średnicy 20 mm z prędkością $2 \text{ mm} \times \text{s}^{-1}$. Pomiary wykonano w dziesięciu powtórzeniach.

3.1.7. Opracowanie statystyczne

Analizę statystyczną wyników wykonano przy użyciu programu Statistica 13.1. Dwuczynnikową analizą wariancji oceniono wpływ rodzaju włókna (ARBOCEL[®] lub VITACEL[®]), udziału włókna i współzależność pomiędzy rodzajem i udziałem włókna w paszy. Średnie wartości zmierzonych parametrów dla 9 grup (kontrolnej oraz 8 doświadczalnych) paszy porównano za pomocą testu Duncana przy poziomie $P < 0,05$. Obliczono współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy udziałem włókna, siłą i energią ściskania granul paszy.

3.2. Doświadczenie II: Określenie wpływu dodatku koncentratu włókna surowego do paszy dla kurcząt brojlerów na wskaźniki dobrostanu, liczbę jednostek tworzących kolonie dla wybranych bakterii występujących w treści jelita ślepego (*Enterobacteriaceae* i bakterie kwasu mlekowego), pH kałomoczu i ściółki, kluczowe wskaźniki produkcyjne, wydajność rzeźną oraz jakość makroskopową mięśnia piersiowego.

3.2.1. Kurczęta brojlery i mieszanki paszowe zastosowane w ich żywieniu

Materiał do badań stanowiły seksowane kogutki linii Ross 308. Wybór osobników męskich umożliwił wyeliminowanie wpływu płci na uzyskane wyniki. Zakupiono 990 jednodniowych piskląt z Zakładu Wylęgu Drobiu Animex Food Sp. z o.o., które losowo podzielono na 3 grupy (tabela 2).

Tabela 2. Układ doświadczenia.

Grupa	Oznaczenie grupy	Liczba ptaków w grupie	Liczba powtórzeń w grupie	Liczba ptaków w powtórzeniu
Kontrola	C	330	5	66
Doświadczalna 1	A1	330	5	66
Doświadczalna 2	A2	330	5	66

Czynnikiem różnicującym był dodatek lignocelulozowego koncentratu włókna surowego ARBOCEL® w paszy dla grup doświadczalnych (tabela 3).

Tabela 3. Rodzaj stosowanej paszy oraz udział dodatku włókna.

Rodzaj paszy	Udział dodatku koncentratu włókna surowego ARBOCEL® (%)		
	C	A1	A2
Starter I	0	0,4	0,6
Grower I	0	0,8	1,0
Grower II	0	0,8	1,2
Finisher	0	0,2	0,4

Obsada na 42. dzień odchowu ptaków nie przekraczała 33 kg/1m². Cykl świetlny oraz temperatura w budynku zostały automatycznie dostosowane zgodnie z instrukcją prowadzenia stada Ross Management Guide, Aviagen (2018). W trakcie realizacji doświadczenia kogutki miały zapewniony stały dostęp do wody oraz żywione były mieszankami pełnoporcjowymi typu starter (1-10 dnia), grower I (11-21 dnia), grower II (22-35 dnia) i finisher (36-42 dnia) (tabela 4).

Tabela 4. Skład pełnoporcjowych mieszanek paszowych.

Surowiec	Rodzaj paszy			
	Starter	Grower I	Grower II	Finisher
	(g/kg)			
Pszenica	441,37	479,01	505,21	523,66
Poekstrakcyjna śruta sojowa	314,54	264,77	233,75	214,02
Kukurydza	200,00	200,00	200,00	200,00
Olej sojowy	13,43	29,52	36,57	40,66
Kreda pastewna	9,32	7,65	7,03	5,68
Fosforan 1-wapniowy	5,05	3,48	2,48	1,40
Premiks	5,00	5,00	5,00	5,00
Lizyna 78,5%	3,46	3,25	3,12	3,05
Metionina 99%	2,98	2,39	2,04	1,81
Chlorek sodu	2,26	2,28	2,29	2,29
Kwaśny węglan sodu	1,50	1,50	1,50	1,50
L-treonina 98,5%	1,08	1,14	1,02	0,94

Grupa	Ilość koncentratu włókna surowego g/kg paszy (on top)			
C	0,0	0,0	0,0	0,0
A1	4,0	8,0	8,0	2,0
A2	6,0	10,0	12,0	4,0

*- starter 0,5% Sacox, grower 0,5% Sacox (wszystkie z dodatkiem kokcydiostatyków), finisher 0,5% (bez kokcydiostatyków).

Przed rozpoczęciem doświadczenia w paszy oznaczono zawartość podstawowych składników analitycznych w mieszankach paszowych zastosowanych w żywieniu brojlerów w trzech niezależnych ośrodkach (dwa polskie i jeden niemiecki) metodą bliskiej podczerwieni (NIR). Uśrednione wyniki umieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Zawartość składników analitycznych w zastosowanych mieszankach paszowych.

Składnik analityczny	Grupa	Rodzaj paszy			
		Starter	Grower I	Grower II	Finisher
Białko surowe (%)	C	20,61	18,78	17,08	18,51
	A1	21,19	18,18	17,00	18,48
	A2	20,76	18,65	16,18	18,30
Tłuszcz surowy (%)	C	3,06	3,06	2,84	2,87
	A1	3,42	3,02	2,85	2,97
	A2	3,56	3,08	2,70	2,90
Włókno surowe (%)	C	3,14	3,20	2,84	3,08
	A1	3,36	3,11	3,35	3,18
	A2	3,27	3,22	3,25	3,37
Popiół (%)	C	8,50	5,94	5,11	6,96
	A1	5,35	4,55	5,50	4,38
	A2	5,08	4,67	7,86	4,43

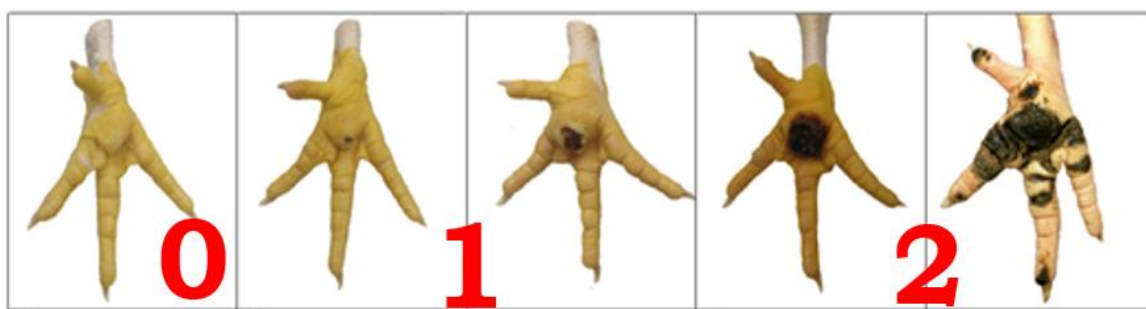
3.2.2. Ocena dobrostanu

Wszystkie kogutki w wieku 35 dni zostały poddane szczegółowej ocenie stanu dobrostanu, która obejmowała ocenę kontaktowego zapalenia skóry podeszwy stopy (FPD) (ryc. 1.), występowania odparzeń stawu skokowego (ryc. 2.) oraz jakości

upierzenia (ryc. 3.), z uwzględnieniem czystości piór i stopnia ich uszkodzeń. Ocenę przeprowadzono zgodnie z wytycznymi Głównego Lekarza Weterynarii (2022) oraz Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry (2009), dodatkowo ptaki sklasyfikowane zostały pod względem płynności poruszania się zgodnie z metodyką opracowaną przez Kestin i wsp. (1992). W trakcie realizacji doświadczenia odnotowane zostały wszelkie przypadki brakowania kurcząt.

3.2.3. Ocena jakości skóry podeszwy stopy/lapki

Jakość skóry podeszwy stopy została wizualnie określona w 35. dniu życia ptaków zgodnie ze skalą przyjętą przez Głównego Lekarza Weterynarii (na podstawie art. 13 ust. 1 pkt. 1 ustawy z dnia 29 stycznia 2004 r. o Inspekcji Weterynaryjnej (Dz. U. z 2016 r., poz.1077 z późn. zm.). Ocena polega na określeniu stopnia zaawansowania zmian w skali 0, 1, 2.



Rycina 1. Zmiany skórne na podeszwach stóp/lapek kurcząt wg Instrukcji Głównego Lekarza Weterynarii (2022) za Butterworth (2009).

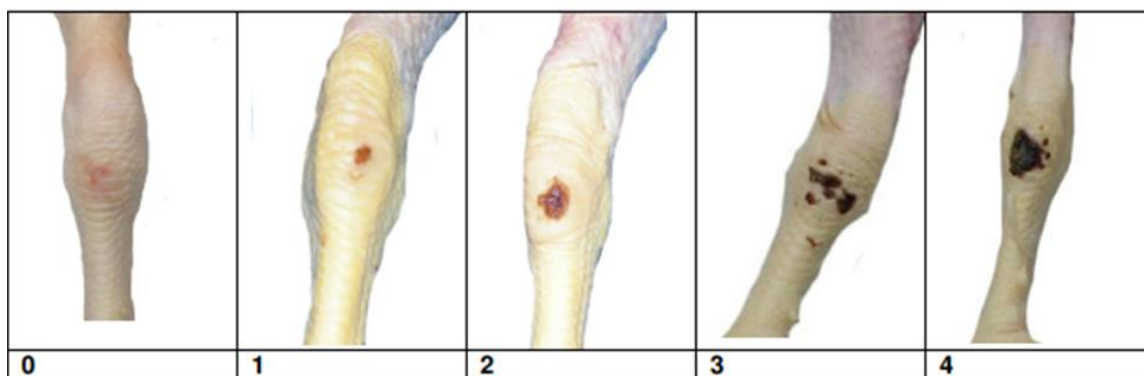
Punkty używane do klasyfikacji:

0 - brak zmian,

1 - zmiany powierzchowne, przebarwienia o średnicy nie większej niż 0,5 cm,

2 - głębokie zmiany ze strupem i owrzodzeniem, przebarwienia o średnicy 0,5 cm i większej.

3.2.3.1. Ocena stanu odparzenia stawu skokowego.

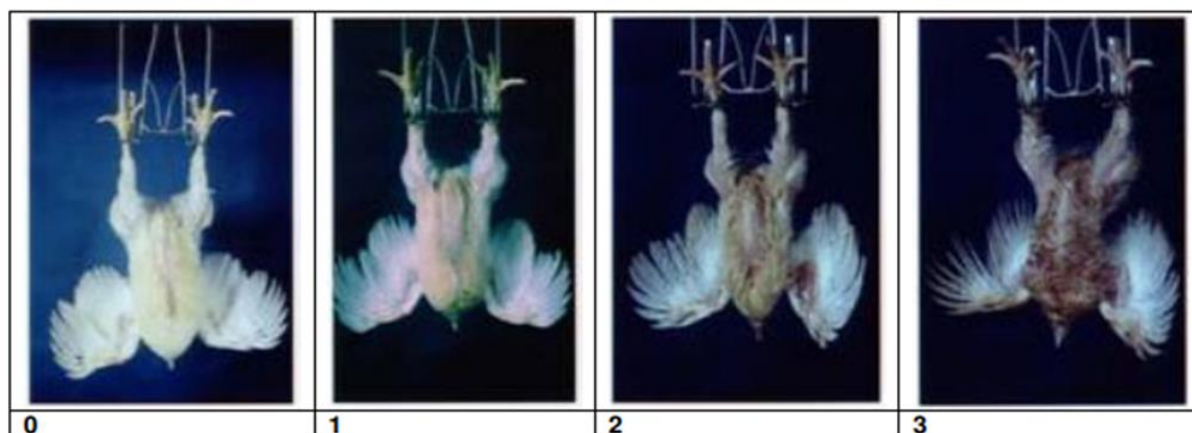


Rycina 2. Wizualna skala oceny stanu odparzenia stawu skokowego (hock burn) za Butterworth (2009).

Punkty używane do klasyfikacji:

- 0 - brak zmian w obrębie stawu skokowego,
- 1 i 2 - minimalne oznaki odparzenia stawu skokowego,
- 3 i 4 - zdecydowanie widoczne oznaki odparzenia stawu skokowego (Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry, 2009).

3.2.3.2. Ocena jakości opierzenia



Rycina 3. Wizualna skala oceny jakości opierzenia za Wilkins i Butterworth (2009).

Punkty używane do klasyfikacji:

Poziom stada:

Procent ptaków, które uzyskały wynik '0',

Procent ptaków, które uzyskały wynik '1',

Procent ptaków, które uzyskały wynik '2',

Procent ptaków, które uzyskały wynik '3', (Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry, 2009).

3.2.3.3. Ocena chodu ptaków (Gait Score)

Ocena lokomocji kurcząt brojlerów została przeprowadzona poprzez umieszczenie każdego ptaka na płaskiej powierzchni wyznaczonego, prostoliniowego odcinka korytarza testowego, umożliwiającego swobodne przemieszczanie się. Analizę jakości chodu przeprowadzono zgodnie z sześciostopniową skalą opracowaną przez Kestina i wsp. (1992) (tabela 7).

Tabela 7. Skala oceny chodu ptaków wg Kestin i wsp. (1992).

Punkty	Opis chodu
0	Chód jest płynny, a zwierzę zachowuje równowagę w czasie poruszania się
1	Chód jest nierówny, brak możliwości określenia, która noga jest niesprawna
2	Chód jest nierówny, krok ptaka jest skrócony, kurczę częściowo wykorzystuje skrzydła do zachowania równowagi
3	Podobnie jak w punkcie 2, ale ptak porusza się niechętnie i nie może ustać dłużej niż 15 sekund oraz kładzie się po serii kroków
4	Kurczę niechętnie się porusza i może wykonać tylko kilka kroków w serii, ptak zachowuje równowagę tylko dzięki nieustannej pomocy skrzydeł
5	Ptak nie jest w stanie zrobić ani jednego kroku, nawet po przymuszeniu

3.2.4. Pomiar pH ściółki i kałomoczu

Kałomoczu (5 g) pobrany od ptaków z 9 przedziałów (po 3 powtórzenia z każdej grupy) oraz ściółkę (5 g) pobrano z trzech przedziałów z każdej grupy, zalano 20 ml wody destylowanej i dokładnie wymieszano. Przygotowane mieszaniny pozostawiono na 15 min. Po tym czasie zmierzono pH za pomocą pH-metru ELMETRON CP-401 ze szklaną elektrodą IJ44C i czujnikiem temperatury (Elmetron, Polska). Pomiar pH każdej z badanych próbek ściółki i kałomoczu wykonano trzykrotnie.

3.2.5. Analizy mikrobiologiczne treści jelit ślepych

W 35. dniu odchowu od 18 kogutków (po 6 z każdej grupy) poubojowo wyizolowano po 2 g jelita ślepego z treścią i inkubowano w 20 ml 0,9% NaCl przy stałym wytrząsaniu w temperaturze +37°C przez 24 godz. W ramach kolejnego etapu przygotowano szereg

dziesięciokrotnych rozcieńczeń do wartości 10^{-8} . Następnie wykonano posiewy mikrobiologiczne w trzech powtórzeniach przy użyciu techniki płytek rozsiewowych na agarze MRS oraz ENDO. Przygotowane w ten sposób płytki ponownie umieszczono w inkubatorze w temperaturze $+37^{\circ}\text{C}$ na okres 24 godz., po czym wykonano liczenie wszystkich uzyskanych kolonii przy najkorzystniejszym do tego rozcieńczeniu. Wyniki wyrażono w jednostkach tworzących kolonie na 1ml (jtk/ml) i przeniesiono na skalę logarytmiczną.

3.2.6. Analiza mikrobiologiczna ściółki

W 35. dniu odchowu z 5 przedziałów z każdej z grup pobrano 5 g ściółki, którą następnie inkubowano w 50 ml 0,9% NaCl w warunkach wytrząsania w temperaturze $+37^{\circ}\text{C}$ przez 24 godz. Następnie przygotowano szereg dziesięciokrotnych rozcieńczeń do wartości 10^{-8} . W dalszej kolejności wykonano posiewy mikrobiologiczne w trzech powtórzeniach przy użyciu techniki płytek rozsiewowych na agarze MRS oraz ENDO. Przygotowane w ten sposób płytki ponownie umieszczono w inkubatorze w temperaturze $+37^{\circ}\text{C}$ na okres 24 godz., po czym wykonano liczenie wszystkich uzyskanych kolonii przy najkorzystniejszym do tego rozcieńczeniu. Wyniki wyrażono w jednostkach tworzących kolonie na ml (jtk/ml) i przeniesiono na skalę logarytmiczną.

3.2.7. Kontrola wyników produkcyjnych

W trakcie trwania doświadczenia kontrolowano masę ciała kogutków w 1., 10., 21., 35 i 42. dobie. Zużycie paszy określono w 10., 21., 35. i 42. dniu celem wyliczenia współczynnika konwersji paszy (FCR). Stan zdrowotny ptaków na bieżąco kontrolował lekarz weterynarii opiekujący się stadem. Na podstawie kontrolowanych parametrów obliczony został Europejski Wskaźnik Wydajności (EWW) (5) oraz Europejski Indeks Brojlera (EBI) (6) zgodnie z wzorami zawartymi w publikacji Marcu i wsp., (2013).

$$\text{EWW} = \frac{\text{średnia masa ciała (kg)} \times \text{przeżywalność (\%)}}{\text{dni odchowu} \times \text{zużycie paszy na kg masy ciała}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{EBI} = \frac{\text{przeżywalność (\%)} \times (\text{różnica mas ciała (g)} \div \text{dni odchowu})}{\text{zużycie paszy na kg masy ciała} \times 10} \quad (6)$$

różnica mas ciała = końcowa średnia masa ciała (g) - początkowa średnia masa ciała (g)

3.2.8. Wybór ptaków do uboju oraz postępowanie poubojowe

Z każdej grupy wybrano do uboju po 20 kogutków o masie ciała zbliżonej do średniej masy ciała w grupie. Ubój kurcząt i obróbkę poubojową tuszek przeprowadzono metodą przemysłową zgodnie z wymogami technicznymi i sanitarnymi obowiązującymi w przemyśle drobiarskim. Następnie tuszki schładzano w temperaturze +4°C przez 24 godz. Z każdej schłodzonej tuszki pobrano i zważono następujące elementy: wątrobę, żołądek, serce i tłuszcz brzuszny. Następnie tuszki zostały zważone i poddane dysekcji w celu wypreparowania mięśni piersiowych i mięśni nóg, które również zostały zważone. Wszystkie pomiary wykorzystano do późniejszych obliczeń wydajności rzeźnej oraz procentowego udziału wybranych narządów i mięśni w odniesieniu do masy ciała ptaków przed ubojem.

3.2.9. Makroskopowa ocena mięśnia piersiowego pod względem występowania miopatii jakościowych

Do oceny częstości występowania i stopnia intensywności miopatii mięśni piersiowych zastosowano odpowiednie skale oceny: white stripping (WS) – białe prążki zgodnie z Kuttappan i wsp. (2016), spaghetti meat (SM) – wewnątrzmięśniowe wady tkanki łącznej – mięso spaghetti zgodnie z Baldi i wsp. (2021) oraz wooden breast (WB) – stwardnienie mięśnia piersiowego zgodnie z Khalil i wsp. (2021).

W skali wizualnej WS:

- 0 = mięsień normalny - brak wyraźnych białych prążków,
- 1 = zmiany umiarkowane - małe białe prążki, zwykle o grubości < 1 mm, najwyraźniej widoczne na powierzchni filetów,
- 2 = zmiany poważne - duże białe prążki (o grubości 1-2 mm) bardzo widoczne na powierzchni filetu,
- 3 = zmiany ekstremalne - grube białe pasma prążków (o grubości > 2 mm) pokrywające prawie całą powierzchnię połówiczki (Kuttappan i wsp., 2016).

W skali dotykowo-wizualnej SM:

- 0 = brak widocznych zmian wizualnych oraz konsystencji mięśnia piersiowego,

- 1 = na powierzchni mięśnia piersiowego nie widać wyraźnej powierzchownej zmiany, ale odznacza się miękką i żylastą strukturą, wyczuwalną poprzez uszczyknięcie mięśnia na jego powierzchni obojczykowej,
- 2 = mięsień piersiowy wykazuje rozległe powierzchowne uszkodzenia na powierzchni obojczykowej i/lub brzusznej. Wiązki włókien mięśniowych oddzielone od wyrostków kolczystych w sposób przypominający makaron typu spaghetti (Baldi i wsp., 2021).

W skali dotykowej WB:

- 0 = normalny mięsień piersiowy, który jest elastyczny w całości,
- 1 = łagodne występowanie wady, mięsień piersiowy, który jest twardy głównie w okolicy obojczykowej, ale elastyczny w pozostałych miejscach,
- 2 = umiarkowane występowanie wady, mięsień piersiowy, który jest twardy w całości, ale elastyczny w części mostkowo-żebrowej i brzusznej,
- 3 = silne występowanie, mięsień jest bardzo twardy i sztywny od części obojczykowej do końca brzusznej (Khalil i wsp., 2021).

3.2.10. Parametry barwy mięśnia piersiowego (L^* , a^* , b^*)

Pomiar barwy badanych próbek mięśnia piersiowego wykonano z użyciem spektrofotometru tróchromatycznego CR-410 (Minolta Ca. Ltd., Osaka, Japonia). Wyniki otrzymane z oznaczenia barwy podano w układzie $L^*a^*b^*$, w którym L^* oznacza współczynnik jasności (0 - czerń, 100 - biel); współrzędne chromatyczności a^* - wartość dodatnia (kolor czerwony), wartość ujemna (kolor zielony); b^* - wartość dodatnia (kolor żółty), wartość ujemna (kolor niebieski) (Frydecka-Mazurczyk i Zgórska, 2002). Bezwzględną różnicę barwy (między barwą mięśni piersiowych kurcząt z grupy kontrolnej i grup doświadczalnych) obliczano wykorzystując poniższe równanie (7):

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (7)$$

gdzie:

ΔE – bezwzględna różnica barw,

L_1^* , a_1^* , b_1^* – parametry barwy mięśni piersiowych kurcząt z grupy kontrolnej (C),

L^*_2 , a^*_2 , b^*_2 – parametry barwy mięśni piersiowych kurcząt z grup doświadczalnych (A1 lub A2).

Można przyjąć, że obserwator zauważa różnicę barw następująco:

$0 < \Delta E < 1$ - normalne, niedostrzegalne odchylenie barwy;

$1,01 < \Delta E < 2$ - bardzo małe odchylenie, rozpoznawalne tylko przez doświadczonego widza;

$2,01 < \Delta E < 3,5$ - średnie odchylenie, rozpoznawalne przez niedoświadczonego widza;

$3,51 < \Delta E < 5$ - wyraźne odchylenie barwy;

$\Delta E < 5,01$ - duże odchylenie barwy (Bendowski i wsp., 2022).

3.2.11. Pomiar pH mięśnia piersiowego, WHC oraz oznaczenie podstawowego składu chemicznego i zawartość kolagenu

Po częściowej dysekcji tuszek pozyskane mięśnie piersiowe przygotowano do analizy składu chemicznego i właściwości fizykochemicznych. Polegało to na jednokrotnym rozdrobnieniu prawego mięśnia piersiowego w wilku laboratoryjnym z zastosowaniem sitka o średnicy otworów 3 mm i dokładnym wymieszaniu próbki. W tak przygotowanych próbkach oznaczano: pH_{24} za pomocą pH-metru CP-401 z elektrodą szklano-kalomelową (Elmetron, Polska). Zdolność utrzymania wody własnej (WHC) została określona zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Grau i Hamm (1953), pomiary przeprowadzono w dwóch powtórzeniach, a za wynik przyjęto wartość średnią wyrażoną w cm^2/g . Podstawowy skład chemiczny oraz zawartość kolagenu w mięśniu oznaczono za pomocą metody bliskiej podczerwieni (NIR) przy wykorzystaniu aparatu Meat analyzer FoodScan™ firmy FOSS.

3.2.12. Oznaczenie wycieku swobodnego

W celu określenia wycieku swobodnego każdy lewy mięsień piersiowy zważono, a następnie po 24 godz. przechowywania w temperaturze $+4^{\circ}C$ osuszono (wykorzystując ręcznik papierowy) i zważono ponownie. Utrata wody (wyrażona w %) została określona na podstawie różnicy masy.

3.2.13. Siła cięcia

Z każdego z 10 mięśni piersiowych z każdej grupy wycinano 1 próbkę ($1 \times 1 \times 5$ cm), wzdłuż włókien mięśniowych. Posłużyły one do pomiaru siły cięcia za pomocą urządzenia do badań wytrzymałościowych Zwick, typ 1120 (Zwick, Niemcy), wyposażonego w element tnący Warnera-Bratzlera. Siłę cięcia podano w N.

3.2.14. Deklaracja etyczna

Zgodnie z decyzją z dnia 1 września 2021 r. wydaną przez Lokalną Komisję Etyczną ds. Doświadczeń na Zwierzętach przy Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (ul. Ciszewskiego 8, 02-786 Warszawa, Polska) zaplanowane w ramach realizacji doświadczenia analizy nie wymagały zgody komisji etycznej.

3.2.15. Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą programów komputerowych GraphPad oraz PS IMAGO PRO 8.1. stosując jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Normalność danych sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Sprawdzono również jednorodność wariancji za pomocą testu Levene'a. Do określenia istotności różnic między badanymi grupami zastosowano test post hoc Tukeya. W przypadku niepowodzenia testów normalności lub homogeniczności wariancji stosowano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa. W przypadku efektu grupowego, porównania parami przeprowadzono za pomocą testu Kruskala-Wallisa, z zastosowaniem metody Bonferroniego.

4. Omówienie głównych wyników prac eksperymentalnych

4.1. Doświadczenie I: Urban J., Michalczuk M., Batorska M., Marzec A., Jaroszek A., Bień D. **2024.** Effect of crude fibre additives ARBOCEL® and VITACEL® on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283.

4.1.1. Analiza pH, zawartości i aktywności wody

Najwyższe średnie pH stwierdzono w grupie V1,2 (6,2), a najniższe w grupie A1,0 (6,0). Optymalny zakres jonów wodorowych w paszy dla brojlerów powinien być zbliżony do obojętnego (pH= 7). Żadna z grup nie osiągnęła wartości pH równej 7. Obniżone pH paszy jest korzystne z punktu widzenia funkcjonowania przewodu pokarmowego ptaków, ponieważ sprzyja ograniczeniu proliferacji mikroorganizmów patogennych. Ponadto, wyniki wskazują na istotną interakcję między rodzajem włókna oraz jego stężeniem w paszy, w szczególności koncentratu włókna surowego VITACEL®. Stwierdzono, że udział VITACEL® w ilości od 0,8% do 1,2% istotnie wpływał na obniżenie pH paszy ($p < 0,05$) w porównaniu z grupą kontrolną oraz grupą z dodatkiem 0,3% koncentratu włókna.

Zawartość wody w mieszankach paszowych zależała od rodzaju zastosowanego włókna. Natomiast nie wykazano istotnego wpływu procentowego udziału włókna w paszy na kształtowanie się w/w parametru. Pasza z dodatkiem koncentratu włókna surowego ARBOCEL® charakteryzowała się wyższą zawartością wody w porównaniu do paszy z dodatkiem koncentratu włókna surowego VITACEL®. Precyzyjne określenie zawartości wody w poszczególnych komponentach paszowych i gotowych mieszankach paszowych jest kluczowe dla przemysłu paszowego, ponieważ wpływa na ich stabilność oraz procesy technologiczne (Thiex i Richardson, 2003). Zgodnie z obowiązującymi normami i regulacjami, maksymalna dopuszczalna zawartość wody w paszach nie powinna przekraczać 11,5% (Alengadan i wsp., 2013). Należy podkreślić, że zawartość wody w mieszankach paszowych we wszystkich grupach doświadczalnych była niższa niż wartość graniczna 11,5%, co świadczy o ich zgodności z normami jakościowymi.

Rodzaj włókna oraz jego procentowy udział w mieszance paszowej miały istotny wpływ na aktywność wody. Mieszanki paszowe wzbogacone koncentratem włókna

ARBOCEL® charakteryzowały się istotnie wyższą aktywnością wody w porównaniu do tych zawierających koncentrat włókna surowego VITACEL®. Najwyższa aktywność wody (0,490) odnotowana została w grupie A1,0, podczas gdy najniższą wartość (0,430) wykazano w grupie V0,8. Ponadto wykazane zostały istotne interakcje ($p < 0,001$) między rodzajem a procentowym udziałem włókna w paszy. W przypadku dodatku ARBOCEL®, zwiększenie jego udziału do 1,0% prowadziło do wzrostu aktywności wody, podczas gdy dalsze zwiększenie do 1,2% (grupa A1,2) skutkowało znaczącym spadkiem poziomu tego parametru. Zastosowanie koncentratu włókna VITACEL® w ilościach 0,8%, 1,0% oraz 1,2% powodowało istotnie wyższą aktywność wody w porównaniu do grupy kontrolnej (C) oraz grupy V0,3.

Modyfikacje fizyczne, takie jak zmiany w strukturze granulatu, porowatości czy wilgotności, mogą wpływać na integralność mechaniczno-teksturalną paszy, co z kolei może ograniczać jej efektywność w procesie pobierania przez zwierzęta. Zmiany chemiczne, takie jak modyfikacje pH, zawartości wody lub składników odżywczych, mogą wpłynąć na stabilność biochemiczną paszy, prowadząc do rozwoju niepożądanych reakcji, takich jak oksydacja lub degradacja składników aktywnych (Sharam i Goh, 2022). Aktywność wody (a_w) jest jednym z kluczowych parametrów wpływających na fizykochemiczną i mikrobiologiczną stabilność pasz. Jest to wskaźnik dostępności wody w materiale paszowym, który określa stopień, w jakim cząsteczki wody są dostępne dla mikroorganizmów i procesów biochemicznych. A_w wyraża się jako iloraz prężności pary wodnej nad danym materiałem do prężności pary czystej wody w tej samej temperaturze. Wysoka a_w może przyspieszać procesy biochemiczne, takie jak hydroliza lipidów czy denaturacja białek, prowadząc do pogorszenia jakości paszy, a także do obniżenia jej wartości odżywczej. Z tego względu monitorowanie i kontrolowanie aktywności wody w paszach jest niezbędne dla utrzymania ich jakości, trwałości, a także zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego (Dec, 2011; Sadkowska-Todys i wsp., 2005; Sharam i Goh, 2022). Wyniki przeprowadzonych badań własnych dla wszystkich badanych grup wykazały wartości aktywności wody wyższe niż te zaprezentowane przez Dec i wsp. (2016). Niemniej jednak, wyniki te mieściły się w granicach norm ustalonych dla produktów o niskiej zawartości wody, które wynoszą od 0,00 do 0,55. Wartości te są zgodne z wymaganiami dotyczącymi trwałości pasz, co może świadczyć o ich stabilności w kontekście przechowywania i przetwarzania (Pałacha, 2006, 2008; Pałacha i Makarewicz, 2011). Niska aktywność wody korzystnie wpływa na przechowywanie paszy. Powszechnie przyjmuje się, że drobnoustroje nie mogą się rozwijać w produktach

o $a_w < 0,6$ (Pałacha i Makarewicz, 2011). Aktywność wody mieszanek paszowych ze wszystkich grup analizowanych w doświadczeniu była również niższa niż wartości krytyczne podane przez Chirife i wsp. (1996) oraz Roos (2020).

4.1.2. Właściwości mechaniczne

Granule paszy z grupy V1,2 wymagały największej siły i energii kompresji, osiągając wartości odpowiednio 83,5 N i 12,9 J, w porównaniu do grupy kontrolnej, w której wartości te wynosiły odpowiednio 51,4 N i 6,5 J. Chociaż zawartość włókna w paszy nie miała istotnego wpływu na jej właściwości mechaniczne, rodzaj zastosowanego włókna surowego wykazał istotny wpływ na siłę oraz energię kompresji ($p < 0,001$). Koncentrat włókna VITACEL[®] charakteryzował się wyższą wytrzymałością mechaniczną granuli paszy w porównaniu z ARBOCEL[®], co może wynikać z różnic w strukturze i właściwościach fizykochemicznych obu rodzajów włókien.

Granule paszy podlegają działaniu dwóch podstawowych rodzajów sił: dynamicznych, związanych z transportem paszy oraz statycznych, oddziałujących w trakcie jej składowania. Wytrzymałość kinetyczna oraz statyczna granuli zależy w dużej mierze od fizykochemicznych właściwości składników paszy oraz parametrów procesu granulacji, takich jak temperatura, wilgotność i skład mieszanki paszowej. Twardość granuli, definiowana jako siła wymagana do jej zniszczenia, jest kluczowym parametrem w ocenie jej jakości (Marks i wsp., 2006). Skład mieszanki paszowej, a zwłaszcza zawartość tłuszczu, włókna, białka oraz skrobi, ma decydujący wpływ na wydajność procesu granulacji i właściwości mechaniczne granulatu (Kulig i Laskowski, 2006). Surowce zawierające dużą ilość włókna poprawiają wytrzymałość mechaniczną granulatu, jednakże ich obecność może jednocześnie obniżać efektywność procesu granulacji, zwiększając opór w trakcie procesu jej formowania (Behnke, 2001). Ligniny obecne we włóknach, w wyniku rozpuszczenia i rozluźnienia w trakcie granulacji, zwiększają spójność cząsteczek paszy, co prowadzi do poprawy twardości granulatu (Kulig i Laskowski, 2006).

Wzrost zawartości włókna w paszy do 5,74% prowadzi do uzyskania wytrzymałości kinetycznej na poziomie 97%, przy czym dalsze zwiększanie jego udziału nie powoduje istotnych zmian w jakości granulatu. Zwiększenie udziału włókna w mieszance paszowej z 2,74% do 18,34% skutkuje średnim wzrostem twardości granulatu o 63%, co

jednoznacznie potwierdza istotny wpływ włókna na wytrzymałość mechaniczną granuli paszy (Kulig i Laskowski, 2006).

4.1.3. Właściwości sorpcyjne

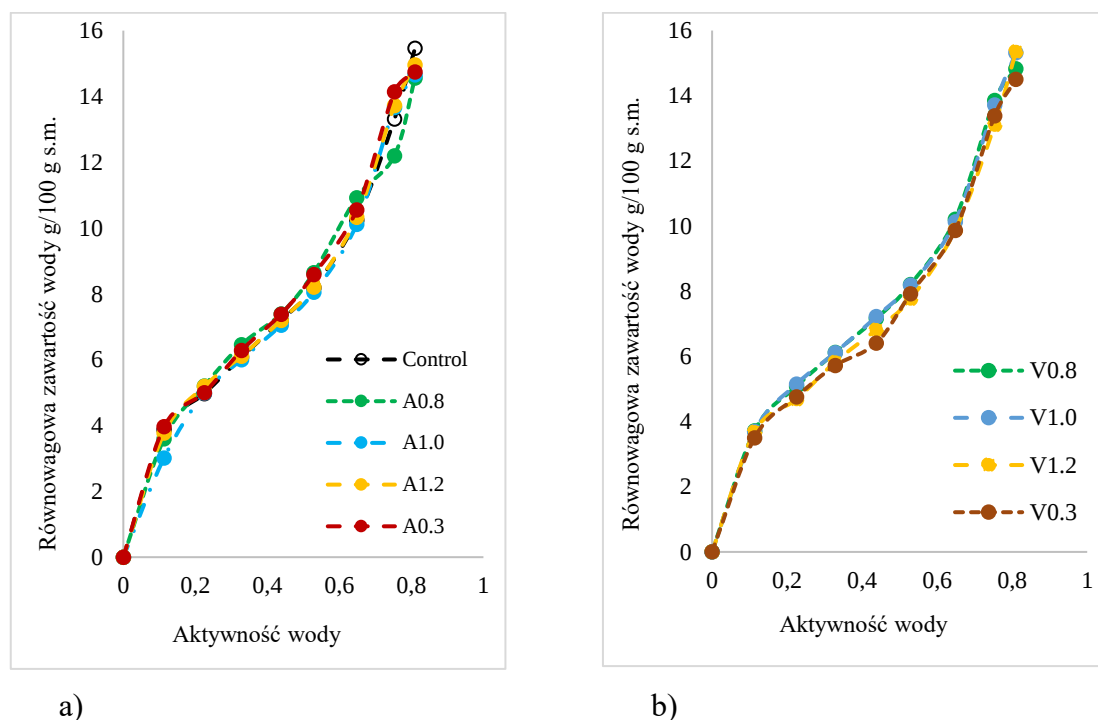
Po trzech miesiącach przechowywania, wszystkie grupy pasz osiągnęły zbliżoną aktywność wody, mieszczącą się w zakresie 0,131–0,136, co sugeruje silne wiązanie wody. Woda ta, której nie usunięto podczas suszenia, jest związana głównie z grupami hydrofilowymi polimerów, białkami oraz polisacharydami. Wartość ta wskazuje na obecność wody, która nie jest dostępna dla procesów mikrobiologicznych, a jej ilość zależy od struktury chemicznej komponentów paszy. Nie stwierdzono istotnych różnic w aktywności wody pomiędzy paszami zawierającymi koncentraty włókna ARBOCEL[®] i VITACEL[®] oraz grupą kontrolną. Wartości aktywności wody we wszystkich grupach były zbliżone, a zwiększenie udziału włókna w mieszance nie miało istotnego wpływu na adsorpcję pary wodnej.

Wszystkie badane pasze nie osiągnęły stanu równowagi higroskopowej z otoczeniem. W środowisku o aktywności wody równiej 0,44 i wyższej, aktywność wody w badanych paszach była niższa niż w otaczającym je środowisku, co sugeruje, że pasze wykazują tendencję do utrzymywania niższej aktywności wody niż powietrze, w którym były przechowywane.

Izotermy adsorpcji pary wodnej pasz z różnym udziałem koncentratów włókna ARBOCEL[®] i VITACEL[®] zostały przedstawione na wykresach 1a i 1b. Kształt wszystkich izoterm jest charakterystyczny dla materiałów, które zawierają białko oraz skrobię, co pozwala zakwalifikować je jako izotermy typu II według klasyfikacji BET (Brunauera Emlera Taulera) (Brunauer i wsp., 1940). Izotermy typu II są typowe dla adsorpcji, w której wyróżnia się trzy zakresy: adsorpcji monomolekularnej przy a_w poniżej 0,30, adsorpcji wielowarstwowej przy a_w od 0,30 do 0,65 oraz kondensacji kapilarnej dla a_w powyżej 0,65.

Izotermy adsorpcji zostały opisane równaniem GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), które umożliwiło obliczenie pojemności monowarstwy, a zatem ilości wody, która jest związana w pierwszej warstwie cząsteczek na powierzchni paszy. Wszystkie grupy doświadczalne charakteryzowały się wyższą pojemnością monowarstwy w porównaniu do grupy kontrolnej, jednakże różnice nie były potwierdzone statystycznie. Zawartość

wody w monowarstwie była wyższa w paszach z dodatkiem włókna VITACEL® w porównaniu do pasz wzbogaconych włóknem ARBOCEL®.



Wykres 1. Izotermy adsorpcji pary wodnej z różnym udziałem włókna a) ARBOCEL® i b) VITACEL®

Wartości stałej energetycznej Guggenheima (C) dla badanych grup pasz wynosiły od 9,9 dla grupy kontrolnej do 20 dla grupy V1,2, co wskazuje na istotne różnice w zdolności wiązania wody przez cząsteczki paszy. Niska wartość stałej energetycznej sugeruje, że energia wiązania wody w tych paszach jest stosunkowo niewielka, co może wynikać z charakterystyki fizykochemicznej składników paszy oraz struktury samej granuli. Dopasowanie modelu GAB (Guggenheima-Andersona-de Boera) do danych empirycznych zostało ocenione za pomocą współczynnika determinacji (R^2) oraz względnego średniego błędu kwadratowego (RMS). Najwyższą zgodność z danymi empirycznymi, określoną na podstawie R^2 , osiągnęła izoterma sorpcji dla grupy A1,2 ($R^2 = 0,999$), co świadczy o bardzo dobrej jakości dopasowania modelu GAB do wyników eksperymentalnych. Natomiast dla grupy V0,3, R^2 wyniosło 0,982, co również wskazuje na wysoką zgodność, choć nieco niższą w porównaniu do grupy A1,2. Model GAB wykazał się wysoką trafnością w opisie danych sorpcyjnych paszy w szerokim zakresie aktywności wody, co potwierdza jego użyteczność w badaniach nad właściwościami sorpcyjnymi pasz.

Ponadto, wykorzystując parametry modelu GAB, oszacowano powierzchnię właściwą adsorbentu, która jest jednym z kluczowych parametrów wpływających na interakcje między wodą a cząstkami paszy. Analiza wyników wskazała, że rodzaj zastosowanego włókna znacząco wpłynął na powierzchnię właściwą paszy. Pasze wzbogacone produktem VITACEL® wykazywały istotnie wyższą powierzchnię właściwą w porównaniu do pasz z dodatkiem ARBOCEL®. Tego typu różnice mogą wynikać z odmiennych właściwości fizykochemicznych obu rodzajów włókna, takich jak struktura molekularna oraz zdolność do tworzenia wiązań z wodą. Wysoka powierzchnia właściwa może zwiększać zdolność adsorpcyjną paszy, co ma kluczowe znaczenie w kontekście jej stabilności przechowywania i jakości, zwłaszcza w odniesieniu do wiązania pary wodnej oraz wpływu na aktywność wody w paszy.

Włókna charakteryzują się relatywnie powolnym, lecz efektywnym procesem absorpcji wody, w odróżnieniu od skrobi, która wykazuje znacznie szybsze tempo wchłaniania wody. Szybkość absorpcji wody przez włókna zależy od stopnia ich lignifikacji oraz intensywności obróbki cieplnej, którą poddane zostały włókna. Im wyższy stopień lignifikacji oraz im bardziej intensywna obróbka cieplna, tym proces absorpcji wody jest bardziej spowolniony (Mateos i wsp., 2013). Zgodnie z badaniami Lewickiego (1997b), jeśli wartość parametru C w modelu GAB przekracza 5,67, to błąd w odwzorowywaniu przebiegu adsorpcji wielowarstwowej jest mniejszy niż 15,5%. Uzyskane w badaniach wyniki wskazują na bardzo dobrą jakość dopasowania modelu GAB do wyników eksperymentalnych, gdzie wartość stałej k, korygującej właściwości cząsteczek tworzących warstwy wielowarstwowe w porównaniu do fazy ciekłej, wahała się w zakresie od 0,655 do 0,878.

Dla materiałów, w których właściwości sorpcyjne kształtowane są przez białka, wartość stałej k mieści się w przedziale 0,84-1,00, natomiast dla błonnika wartości tej stałej wynoszą od 0,717 do 0,893 (Pérez-Alonso i wsp., 2006). Parametry wyznaczone w ramach modelu GAB, takie jak zawartość wody w monowarstwie (u_m), stała energetyczna Guggenheima (C) oraz stała k, która odnosi się do energii oddziaływań między pierwszą warstwą adsorpcyjną a dalszymi warstwami wody adsorbowanej przez centra adsorpcji, dokładnie odwzorowują sigmoidalny kształt izoterm sorpcji.

Na podstawie przeprowadzonych analiz fizykochemicznych i mechanicznych, które wykazały zbliżoną charakterystykę badanych materiałów, a także uwzględniając niższy koszt zakupu dodatków, zdecydowano się na zastosowanie koncentratu włókna surowego ARBOCEL® w kolejnym etapie eksperymentu.

- 4.2. Doświadczenie II:** Urban J., Jaworski S., Lange A., Bień D., Matuszewski A., Michalczuk M. **2023**. Effects of the addition of crude fibre concentrate on performance, welfare and selected caecal bacteria of broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14.

4.2.1. Wyniki produkcyjne kurcząt brojlerów

Na zakończenie okresu odchowu (w 42. dniu życia) najwyższą średnią masę ciała uzyskały kurczęta brojlery otrzymujące paszę doświadczalną A1. Ptaki z grupy żywionej mieszanką A2 osiągnęły masę ciała niewiele niższą od grupy A1. Najniższą masę ciała, wykazującą istotne różnice statystyczne ($p \leq 0,001$) w porównaniu do pozostałych grup, stwierdzono u ptaków z grupy kontrolnej (C). Nie zaobserwowano istotnych różnic w efektywności wykorzystania paszy (wyrażonej jako kg paszy na kg przyrostu masy ciała) w zależności od rodzaju zastosowanej mieszanki paszowej. Współczynnik konwersji paszy (FCR) był najniższy w grupie C, natomiast najwyższą wartość FCR odnotowano w grupie A2. Największą śmiertelność obserwowano w grupie kontrolnej, a najmniejszą w grupie A1. Zgodnie z wynikami badań Abdollahi i wsp. (2019), dodatek 1% lignocelulozy do mieszanki paszowej skutkował podwyższeniem wartości współczynnika konwersji paszy względem grupy kontrolnej. Z kolei inne badania wykazały, że suplementacja lignocelulozy w zakresie 0,25–2,00% w okresie od 3. do 6. tygodnia życia brojlerów kurzych obniżyła wartość FCR dla grup doświadczalnych oraz zwiększyło masę ciała ptaków (Sarikhani i wsp., 2010; Rahmatnejad i Saki, 2016; Röhe i Zentek, 2021). Podobne efekty uzyskano przy zastosowaniu dodatku lignocelulozy w ilości do 0,75% – poprawa wskaźnika FCR oraz zwiększone przyrosty masy ciała (Sarikhani i wsp., 2010; Makivic i wsp., 2018; Röhe i wsp., 2020). Dodatkowo, Sozcu (2019) udokumentował, że dodatek lignocelulozy w ilości 1 kg na tonę paszy przyczynił się do wzrostu masy końcowej brojlerów oraz poprawy efektywności wykorzystania paszy. Jednocześnie, w literaturze przedmiotu odnotowano również wyniki wskazujące, iż suplementacja lignocelulozy w dawkach $\leq 2\%$ może nie wykazywać statystycznie istotnego wpływu na parametry produkcyjne brojlerów (Bogusławska-Tryk i wsp., 2015; Kheravii i wsp., 2017; Zeitz i wsp., 2019; Röhe i wsp., 2020).

Ocenę efektywności produkcji dokonano w oparciu o wskaźniki EWW i EIB, które stanowią uznane narzędzia oceny opłacalności produkcji brojlerów kurzych (Bhamare

i wsp., 2016). Europejski Wskaźnik Wydajności jest szeroko stosowany na terenie Europy jako uniwersalna miara efektywności wzrostu (Van, 2003; Aviagen, 2019; Mukul Ray i wsp., 2020; Janjić i wsp., 2022), natomiast Europejski Indeks Brojlera jest wykorzystywany jako alternatywny wskaźnik, uwzględniający dzienny przyrost masy ciała i wiek ubojowy, co skutkuje jego niższymi wartościami względem EWW (Van, 2003). Wysokie wartości obu wskaźników są bezpośrednio skorelowane z poprawą ekonomicznej rentowności produkcji brojlerów (Marcu i wsp., 2013; Lukić i wsp., 2020; Janjić i wsp., 2022). Analiza wskaźników efektywności produkcyjnej, tj. EWW oraz EIB, wykazała, że brojlery z grupy A1 osiągnęły najwyższe wartości obu parametrów, co było konsekwencją wyższej masy ciała na zakończenie odchowu oraz niższego poziomu śmiertelności w porównaniu do pozostałych grup.

Należy podkreślić, że w dostępnej literaturze brakuje kompleksowych danych empirycznych dotyczących wpływu zastosowania lignocelulozowego koncentratu włókna surowego ARBOCEL® w mieszankach paszowych na parametry ekonomicznej efektywności produkcji, takie jak EWW i EIB, co wskazuje na potrzebę dalszych badań w tym zakresie.

4.2.2. Wskaźniki dobrostanu

W przeprowadzonych badaniach własnych wykazano, że 58,6% kurcząt brojlerów z grupy A2 uzyskało najwyższą możliwą ocenę 0 w skali oceny stopnia nasilenia kontaktowego zapalenia skóry podszwy stopy (FPD), co wskazuje na brak zmian dermatologicznych w obrębie kończyn dolnych i stanowiło najwyższy udział procentowy osobników wolnych od FPD spośród wszystkich analizowanych grup ($p \leq 0,001$). Dla porównania, w grupie kontrolnej (C), jedynie 42,1% osobników uzyskało ocenę 0, co oznaczało najniższy poziom dermalnego dobrostanu kończyn ($p \leq 0,001$). W grupie A2 wykazane zostały również najkorzystniejsze parametry lokomotoryczne, ocenione na podstawie tzw. wskaźnika chodu (Gait Score) — aż 84,8% ptaków poruszało się prawidłowo, bez objawów kulawizny, ataksji czy dyskoordynacji ($p \leq 0,001$). W grupie A1 odnotowano zbliżony wynik — 83,8% brojlerów uzyskało najwyższą ocenę lokomocyjną. Najniższy odsetek ptaków z objawami zapalnymi stawu skokowego (hock burn) oraz niewielkimi ogniskami dermatopatii odnotowano także w grupie A2 ($p \leq 0,001$).

W grupie kontrolnej jedynie 52,1% brojlerów wykazywało prawidłowy wzorzec ruchu, a u pozostałych obserwowano obniżoną zdolność poruszania się, brak stabilności oraz niechęć do przemieszczania się, co może wskazywać na ból kończyn oraz towarzyszące mu pogorszenie dobrostanu.

Zarówno FPD, jak i dermatologiczne zmiany w okolicy stawu skokowego są obecnie uznawane za kluczowe wskaźniki dobrostanu brojlerów kurzych w warunkach intensywnej produkcji (Shepherd i Fairchild, 2010; Jacob i wsp., 2016). Nasilające się zmiany skórne mogą sprzyjać przedostawaniu się drobnoustrojów chorobotwórczych do organizmu, co może prowadzić do zakażeń ogólnoustrojowych, posocznicy oraz wzrostu liczby konfiskat poubojowych (Kyvsgaard i wsp., 2013; Jacob i wsp., 2016). W skrajnych przypadkach dochodzi do powstania głębokich owrzodzeń, zapalenia tkanki podskórnej oraz przewlekłego bólu, co znacząco wpływa na obniżenie poziomu dobrostanu (Bassler i wsp., 2013; Jacob i wsp., 2016).

Jednym z głównych czynników środowiskowych wpływających na rozwój zmian chorobowych w obrębie skóry kończyn oraz pogorszenie stanu higienicznego upierzenia jest wilgotność ściółki. Badania Martland (1985) wykazały, że ściółka o wilgotności 71% skutkowała wyższą intensywnością zmian FPD niż ściółka utrzymywana na poziomie 58% wilgotności (Kaukonen i wsp., 2016). Wu i Hocking (2011) potwierdzili, że przekroczenie progu 30% wilgotności wpływa negatywnie na integralność strukturalną skóry podeszwy stóp (Kaukonen i wsp., 2016). Zastosowanie w żywieniu brojlerów koncentratu włókna lignowocelulozowego ARBOCEL[®] wpłynęło korzystnie na jakość ściółki poprzez zwiększenie retencji wody w treści pokarmowej oraz zmniejszenie ilości wody wydalanej z kałomoczem, co skutkowało obniżeniem wilgotności podłoża. Taka modyfikacja mikrośrodowiska chowu przekłada się na poprawę dobrostanu zoohigienicznego, ograniczenie rozwoju zmian dermatologicznych oraz poprawę warunków sanitarnych. Pietsch (2013) wykazał, że suplementacja paszy ARBOCEL[®] w dawce 0,8% doprowadziła do redukcji wilgotności ściółki o około 10% oraz całkowicie wyeliminowała przypadki FPD w grupie doświadczalnej. Z kolei badania Liebl i wsp. (2022) potwierdzają, że dodatek lignocelulozy jako źródła włókna pokarmowego ogranicza częstość występowania dermatopatii kończyn u brojlerów.

Badania wykazały, że najwyższy poziom czystości upierzenia ($p \leq 0,001$) odnotowano w grupie A2. W grupie A1 ponad 40% brojlerów uzyskało ocenę 0 w skali czystości. Najniższy udział osobników o czystym upierzeniu stwierdzono w grupie kontrolnej ($p \leq 0,001$). Upierzenie pełni kluczową funkcję w termoregulacji, ochronie

mechanicznej i immunologicznej ptaków. Jego zabrudzenie ściółką, odchodami prowadzi do utraty właściwości barierowych, zwiększając ryzyko wychłodzenia organizmu, infekcji skóry oraz pogorszenia ogólnego stanu zdrowia (Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry, 2009).

4.2.3. Analizy mikrobiologiczne oraz pH kałomoczu i ściółki

W przeprowadzonych badaniach własnych nie wykazano istotnych różnic ($p > 0,05$) w liczbie jednostek tworzących kolonie bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* między grupą kontrolną a grupami doświadczalnymi, w których zastosowano dodatek koncentratu włókna surowego ARBOCEL®. Natomiast w przypadku bakterii fermentacji mlekowej (LAB – *Lactic Acid Bacteria*), stwierdzono istotnie wyższe wartości jtk/ml w treści pokarmowej brojlerów z grup doświadczalnych w porównaniu do grupy kontrolnej ($p < 0,05$). Uzyskane wyniki wskazują na stymulujący wpływ lignowocelulozowego włókna surowego zawartego w preparacie ARBOCEL® na wzrost i aktywność mikroorganizmów o charakterze probiotycznym. Potwierdzeniem tych obserwacji są wyniki dodatkowej analizy dotyczącej pomiaru odczynu pH kałomoczu oraz ściółki, która odzwierciedla zmiany mikrobiologiczne w środowisku przewodu pokarmowego i w warunkach zoohigienicznych. Zarówno pH kałomoczu, jak i pH ściółki w grupach doświadczalnych (A1 i A2) było istotnie niższe w porównaniu z grupą kontrolną ($p < 0,05$), co sugeruje zwiększoną aktywność fermentacyjną mikrobioty jelitowej, prowadzącą do produkcji krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (SCFA – *short-chain fatty acids*). Nie stwierdzono istotnych różnic ($p > 0,05$) w liczbie bakterii LAB (jtk/ml) oraz wartości pH kałomoczu i ściółki między obiema grupami doświadczalnymi (A1 i A2), co sugeruje stabilność efektu biologicznego niezależnie od poziomu suplementacji preparatu ARBOCEL® w obrębie analizowanych dawek.

Pierwsze próby scharakteryzowania mikrobioty jelitowej drobiu podjęto już w latach 70. XX wieku (Barnes, 1979; Walugembe i wsp., 2015), jednak dopiero rozwój nowoczesnych metod biologii molekularnej pozwolił na precyzyjne określenie wpływu czynników żywieniowych na jego strukturę i funkcję. Zachowanie homeostazy mikrobiologicznej przewodu pokarmowego, tj. równowagi między populacjami mikroorganizmów komensalnych a potencjalnie patogennymi, stanowi kluczowy element w kształtowaniu zdolności trawiennych, odporności lokalnej oraz efektywności wykorzystania składników pokarmowych (Stanley i wsp., 2012; Sozcu, 2019). Poprzez

modulację składu mikrobioty jelitowej, m.in. poprzez odpowiednie źródła włókna pokarmowego, możliwe jest zwiększenie wydajności produkcyjnej oraz poprawa parametrów zdrowotnych brojlerów kurzych.

U kurcząt brojlerów jelito ślepe stanowi kluczowe miejsce syntezy endogennej witamin oraz resorpcji wody (Langenfeld, 1992). Ponadto, w tej części przewodu pokarmowego zachodzi mikrobiologiczna degradacja frakcji włókna surowego, prowadzona przez enzymy hydrolityczne produkowane przez autochtoniczną mikrobiotę. Frakcje polisacharydowe włókna pokarmowego ulegają enzymatycznej hydrolizie katalizowanej przez karbohydrazy bakteryjne, co prowadzi do powstania monosacharydów, które są następnie wykorzystywane jako substrat w procesie fermentacji (Tabernero i Gómez de Cedrón, 2017). Podczas fermentacji mlekowej, prowadzonej przez bakterie kwasu mlekowego, dochodzi do produkcji kwasu mlekowego oraz bakteriocyn – bioaktywnych peptydów o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych, klasyfikowanych jako postbiotyki. Bakteriocyny syntetyzowane przez szczepy z rodzaju *Lactobacillus* wykazują zdolność do hamowania wzrostu i adhezji bakterii patogennych w obrębie błony śluzowej jelita, co prowadzi do ich eliminacji i sprzyja zwiększeniu liczebności bakterii probiotycznych w treści jelita ślepego (O'Shea i wsp., 2012; Sozcu, 2019). Zwiększenie udziału włókna surowego w mieszankach paszowych istotnie wpływa na modyfikację struktury mikrobioty jelitowej, zwłaszcza w obrębie jelita ślepego. Suplementacja diety brojlerów kurzych lignocelulozą w ilości od 0,25% do 0,6% skutkowała redukcją liczebności bakterii patogennych, takich jak *Escherichia coli* oraz *Clostridium perfringens*, przy jednoczesnym wzroście populacji LAB i *Bifidobacterium spp.* w jelicie krętym i ślepym (Makivić i wsp., 2018; Röhe i Zentek, 2021). Zbliżone wyniki odnotowali Bogusławska-Tryk i wsp. (2015), wykazując, że dodatek lignocelulozy na poziomie 0,25%, 0,5% oraz 1% do pasz powodował zwiększenie liczebności bakterii z rodzaju *Lactobacillus spp.* w jelicie krętym oraz *Bifidobacterium spp.* w jelicie krętym i ślepym. Jednocześnie, w grupach otrzymujących pasze z dodatkiem 0,25% i 0,5% lignocelulozy, obserwowano spadek liczebności bakterii z rodzajów *Escherichia coli* i *Clostridium spp.* (Röhe i Zentek, 2021). Zastosowanie 1 kg przetworzonej lignocelulozy w dawce pokarmowej prowadziło do obniżenia liczebności bakterii z rodzin *Enterobacteriaceae* i *Staphylococcaceae*, przy jednoczesnym wzroście populacji bakterii mlekowych z rodzaju *Lactobacillus spp.* w jelicie ślepym ($p \leq 0,05$) (Sozcu, 2019). Z kolei Röhe i wsp. (2020) wykazali, że rosnący udział lignocelulozy w diecie prowadził do stopniowej

redukcji liczebności bakterii z grupy *Escherichia/Hafnia/Shigella* w jelicie ślepym. Efekt ten może być związany z antybakteryjnymi właściwościami lignin, wynikającymi z obecności fenolowych monomerów o działaniu przeciwdrobnoustrojowym, jak również z abrazyjnego charakteru struktury lignocelulozy, która utrudnia kolonizację i przyleganie patogenów do nabłonka jelitowego (Jiménez-Moreno i wsp., 2011; Bogusławska-Tryk i wsp., 2015; Sozcu, 2019). Według Bogusławskiej-Tryk i wsp. (2015), suplementacja diety brojlerów kurzych lignocelulozą w ilości 0,5% skutkowała zwiększeniem stężenia kwasu mlekowego zarówno w jelicie krętym, jak i ślepym w porównaniu z grupą kontrolną. Autorzy ci wykazali ponadto, że dodatek lignocelulozy do mieszanek paszowych, niezależnie od zastosowanego poziomu, istotnie zwiększał koncentrację lotnych kwasów tłuszczowych (VFA – *volatile fatty acids*), takich jak kwas mrówkowy, octowy, propionowy i mlekowy w treści jelita krętego i ślepego oraz kwas masłowy w treści jelita krętego. Wzrost stężenia kwasu octowego i propionowego w treści pokarmowej uznaje się za korzystny efekt fizjologiczny, ze względu na ich działanie przeciwbakteryjne, immunomodulujące oraz wpływ na integralność bariery jelitowej. Badania *in vitro* wskazują, że kwas propionowy, octowy oraz mrówkowy wykazują działanie toksyczne wobec wybranych bakterii patogennych, takich jak *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. czy *Clostridium perfringens* (Cherrington i wsp., 1990; Van der Wielen i wsp., 2000; Bogusławska-Tryk i wsp., 2015). Zaobserwowano również istotną statystycznie ujemną korelację pomiędzy zwiększonym stężeniem kwasu octowego a liczebnością bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w jelicie grubym brojlerów (Van der Wielen i wsp., 2000; Bogusławska-Tryk i wsp., 2015). Taki efekt może świadczyć o zdolności VFA do ograniczania kolonizacji i namnażania mikroorganizmów patogennych w obrębie końcowego odcinka przewodu pokarmowego, co sprzyja utrzymaniu eubiozy jelitowej oraz poprawie zdrowotności ptaków.

- 4.3. Doświadczenie II:** Urban J., Bień D., Matuszewski A., Ciborowska P., Zalewska A., Pietrzak D., Chmiel M., Jaroszek A., Graham E. L., Michalczuk M. **2025.** Slaughter analysis, incidence of myopathy, and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239.

4.3.1. Analiza uboju oraz masa wybranych narządów

Najwyższą średnią końcową masę ciała odnotowano u ptaków z grupy A2. Jednakże, masa ciała nie była skorelowana ze średnią masą tuszy oraz wynikami wydajności rzeźnej, które osiągnęły najwyższe wartości w grupie A1. Udział mięśni nóg w masie ciała był również najwyższy w grupie A1. Z kolei udział wątroby w masie ciała kurcząt z grupy A2 wyniósł 2,41%, co było wartością wyższą niż procentowy udział wątroby w grupach C oraz A1. Uzyskane różnice dla w/w parametrów potwierdzono statystycznie ($p \leq 0,05$).

Na podstawie analizy pozostałych wyników można stwierdzić, że dodatek koncentratu włókna surowego do paszy nie wpłynął niekorzystnie na procentowy udział innych elementów tuszek kurcząt, takich jak mięśnie piersiowe, serca, żołądki czy tłuszcz sadełkowy. Do czynników, które znacząco determinują wpływ suplementacji włóknem w paszy na parametry produkcyjne brojlerów, należy źródło włókna (tj. rozpuszczalne vs nierozpuszczalne), wielkość cząstek, poziom energii i białka (tj. aminokwasów) w mieszance paszowej, poziom i czas stosowania, wiek oraz stan fizjologiczny zwierzęcia (Hetland i Svihus, 2001; Sklan i wsp., 2003; Amerah i wsp., 2009; Shakouri i wsp., 2009; Jiménez-Moreno i wsp., 2009; Tejeda i Kim, 2020; Tejeda i Kim, 2021). Nierozpuszczalne frakcje włókna zawierają głównie nierozpuszczalne składniki ściany komórkowej roślin, takie jak celuloza, hemiceluloza oraz inkrustujące substancje niesacharydowe, w tym lignina (Hetland i wsp., 2004; Tejeda i Kim, 2021). Te struktury są podstawowymi składnikami tworzącymi kompleks lignocelulozowy, który od kilku dekad jest przedmiotem intensywnych badań, szczególnie w kontekście wykorzystania innowacyjnych źródeł nierozpuszczalnego włókna pokarmowego (Zhou i wsp., 2011; Röhe i Zentek, 2021). Kurczęta brojlery żywione mieszanką paszową wzbogaconą o 0,6% lignocelulozy (kosztem poekstrakcyjnej śruty sojowej i kukurydzy) charakteryzowały się wyższą końcową masą ciała w porównaniu do ptaków z grupy

kontrolnej oraz grupy karmionej paszą z dodatkiem 0,4% lignocelulozy (Makivic i wsp., 2018; Röhe i Zentek, 2021). Zastosowanie 0,8% dodatku lignocelulozy do mieszanki paszowej dla kurcząt brojlerów istotnie poprawiło wydajność rzeźną (Farran i wsp., 2013; Makivic i wsp., 2018). Z kolei dodatek 0,75% lignocelulozy do paszy dla brojlerów wpłynął na wzrost masy ciała ptaków (Sarikhana i wsp., 2010; Makivic i wsp., 2018; Röhe i wsp., 2020). Według Sarikhana i wsp. (2010), nierozpuszczalne włókno może korzystnie wpływać na wysokość kosmków jelitowych poprzez stymulację ich wzrostu oraz zwiększenie stosunku wysokości kosmków do głębokości krypt, co przekłada się na lepsze wchłanianie i retencję składników odżywczych u kurcząt. W efekcie, proces ten może przyczynić się do zwiększenia dobowych przyrostów masy ciała oraz poprawy wydajności rzeźnej kurcząt brojlerów. Nieliczne badania wskazują jednak, że suplementacja pasz dla brojlerów lignocelulozą w ilości do 2% nie miała wpływu na wydajność produkcyjną ptaków (Bogusławska-Tryk i wsp., 2015; Kheravii i wsp., 2017; Zeitz i wsp., 2019; Röhe i wsp., 2020). Z kolei dodatek 1% nierozpuszczalnego włókna do paszy prowadzi do zwiększenia masy wątroby u brojlerów (Yokhana i wsp., 2016; Zhang i wsp., 2023).

4.3.2. Makroskopowa ocena mięśni piersiowych pod kątem obecności miopatii jakościowych

Na podstawie wyników oceny makroskopowa stwierdzono, że mięśnie piersiowe pozyskane od kurcząt brojlerów z grup doświadczalnych charakteryzowały się mniejszą liczbą przypadków miopatii typu WS ($p \leq 0,01$) w porównaniu z grupą kontrolną. W żadnej z grup nie stwierdzono występowania wad mięśni piersiowych typu wooden breast ani spaghetti meat. Miopatia typu white stripping jest obecnie jednym z najczęściej występujących problemów jakościowych w przemyśle drobiarskim, a częstość jej występowania, szczególnie w odniesieniu do mięśni piersiowych, gwałtownie wzrasta (Petracci i wsp., 2015; Bailey i wsp., 2015; Kuttappan i wsp., 2016; Golzar Adabi i Demirok Soncu, 2019). Mięsień piersiowy z defektem WS charakteryzuje się obecnością białych, równoległych prążków, biegnących w tym samym kierunku co włókna mięśniowe (Ferreira i wsp., 2014; Russo i wsp., 2015; Golzar Adabi i Demirok Soncu, 2019). Ich obecność jest łatwo zauważalna i ma negatywny wpływ na preferencje konsumentów, ponieważ nadaje filetowi tłusty, marmurkowy i nienaturalny wygląd (Kuttappan i wsp., 2013; Bailey i wsp., 2015; Golzar Adabi i Demirok Soncu, 2019).

Niestety, brak ogólnodostępnych źródeł literaturowych utrudnia pełną interpretację wyników uzyskanych w badaniach własnych oraz przeprowadzenie szczegółowej dyskusji. Etiologia miopatii WS nie została dotąd jednoznacznie określona, niemniej jednak istnieje kilka czynników, które mogą wpływać na jej występowanie. Należą do nich: genotyp (wysoki udział mięśni piersiowych w stosunku do standardowego), płeć (osobniki męskie są bardziej podatne niż żeńskie), tempo wzrostu (szybkie przyrosty sprzyjają wystąpieniu miopatii), masa ciała ubojowa (cięższe ptaki wykazują wyższą podatność), oraz dieta (wysokoenergetyczne pasze zwiększają ryzyko jej wystąpienia) (Petracci i wsp., 2015; Gratta i wsp., 2017; Maiorano, 2017). Stosowanie pasz o wysokiej kaloryczności wiąże się ze zwiększonym tempem wzrostu, co może prowadzić do pojawiania się białych prążków w strukturze mięśni (Kuttappan i wsp., 2012). Na podstawie wyników uzyskanych przez zespół Kuttappan i wsp. (2012) można przypuszczać, że zastosowanie mieszanki niskoenergetycznej w żywieniu brojlerów kurzych mogłoby wpłynąć na zredukowanie częstości występowania miopatii typu WS. Z definicji, mieszanka niskoenergetyczna to taka, w której poziom energii został obniżony dzięki zastosowaniu czynnika rozcieńczającego. W związku z tym, dodatek koncentratu włókna surowego do paszy najprawdopodobniej działał jak element rozcieńczający, zmniejszając dostępność energii w paszy i przekształcając ją w mieszankę o niższym poziomie energetycznym. To mogło bezpośrednio wpłynąć na ograniczenie występowania miopatii typu WS.

5. Wnioski

- 5.1. Doświadczenie I:** Określenie wpływu dodatków koncentratów włókna surowego ARBOCEL® lub VITACEL® na właściwości fizykochemiczne (skład, pH, zawartość i aktywność wody, właściwości sorpcyjne) i właściwości mechaniczne (siła oraz energia) paszy typu starter dla kurcząt brojlerów oraz wybór konkretnego koncentratu włókna surowego do drugiego doświadczenia.

Na podstawie uzyskanych wyników badań wykazano, że:

1. Zastosowanie koncentratów lignocelulozowych ARBOCEL® i VITACEL® jako komponentów funkcjonalnych mieszanki typu starter dla brojlerów istotnie wpłynęło na modyfikację właściwości mechanicznych oraz fizykochemicznych paszy, w tym aktywności wody, zawartości wody, a także parametrów wytrzymałościowych (siły i energii ściskania). Zidentyfikowano zależności między poziomem i typem włókna a sorpcyjnością oraz integralnością mechaniczną granulatu, co może korzystnie wpływać na stabilność strukturalną paszy, poprawę jej technologicznej spójności oraz optymalizację procesów pobrania i trawienia składników pokarmowych w początkowym okresie wzrostu kurcząt brojlerów.

5.2. Doświadczenie II: Określenie wpływu dodatku koncentratu włókna surowego do paszy dla kurcząt brojlerów na wskaźniki dobrostanu, liczbę jednostek tworzących kolonie dla wybranych bakterii występujących w treści jelita ślepego (*Enterobacteriaceae* i bakterie kwasu mlekowego), pH kałomoczu i ściółki, wybrane wskaźniki produkcyjne, wydajność rzeźną oraz jakość wizualną i fizykochemiczną mięśnia piersiowego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań wykazano, że:

1. Dieta brojlerów wzbogacona w lignocelulozowy prebiotyk ARBOCEL[®] wykazuje właściwości modulujące mikrobiotę przewodu pokarmowego, co przejawia się intensyfikacją kolonizacji jelita ślepego przez bakterie z rodzaju *Lactobacillus* oraz redukcją liczebności mikroorganizmów potencjalnie patogennych z rodziny *Enterobacteriaceae*. Obserwowane obniżenie odczynu pH kałomoczu i ściółki odzwierciedla wzmożoną fermentację bakteryjną i obecność korzystnych metabolitów, wskazując na stabilizację środowiska mikrobiologicznego i poprawę eubiozy jelitowej. Wyniki potwierdzają korzystny wpływ lignocelulozy na mikrobiologiczną homeostazę przewodu pokarmowego brojlerów.
2. Suplementacja dawki pokarmowej dla brojlerów kurzych lignocelulozowym koncentratem włókna surowego ARBOCEL[®] skutkuje wyraźnymi adaptacjami fizjologicznymi o charakterze prozdrowotnym, w tym znaczącym obniżeniem wartości pH kałomoczu oraz ściółki, co jest efektem intensyfikacji aktywności fermentacyjnej mikrobioty jelitowej. Ponadto, zaobserwowano istotne ograniczenie częstotliwości występowania patologii dermatologicznych kończyn (zmiany skórne w obrębie podeszwy stopy/łapki oraz stawu skokowego), zaburzeń lokomocji i zanieczyszczenia upierzenia, co jednoznacznie wskazuje na poprawę dobrostanu ptaków.
3. Implementacja lignocelulozowego prebiotyku ARBOCEL[®] w żywieniu kurcząt brojlerów istotnie wpłynęła na poprawę wskaźników produkcyjnych. Suplementacja przyczyniła się do wzrostu masy tuszki oraz zwiększenia udziału mięśni nóg w stosunku do masy ciała, a także do istotnego ograniczenia częstotliwości występowania miopatii piersiowej typu *white striping*. Jednocześnie nie odnotowano pogorszenia kluczowych wskaźników jakości

mięsa, takich jak WHC, odczyn pH, tekstura, skład chemiczny, zawartość kolagenu oraz parametry kolorymetryczne (L^* , a^* , b^*), co potwierdza bezpieczeństwo i funkcjonalność zastosowanego dodatku.

6. Zalecenia praktyczne

Zalecenia dla sektora paszowego i producentów drobiu rzeźnego na podstawie wyników badań eksperymentalnych:

1. Implementacja lignocelulozowych koncentratów włókna surowego ARBOCEL® i VITACEL® na poziomach suplementacyjnych 0,3%, 0,8%, 1,0% oraz 1,2% w recepturach granulowanych mieszanek paszowych typu starter może istotnie ograniczyć straty technologiczne wynikające z dezintegracji mechanicznej peletu podczas procesów transportowych i magazynowania. Równocześnie obserwowany wzrost parametrów oporu mechanicznego granuli (siły i energii ściskania) może wydłużać czas pobrania paszy przez ptaki, co sprzyja redukcji niepożądanych zachowań behawioralnych, takich jak agresja czy pterofagia, stanowiących istotny problem w intensywnych systemach chowu.
2. Włączenie koncentratu włókna surowego ARBOCEL® do pełnoporcjowych mieszanek paszowych przeznaczonych do żywienia kurcząt brojlerów rekomendowane jest jako strategia żywieniowa korzystnie wpływająca na homeostazę mikrobiologiczną jelita ślepego (wzrost liczby bakterii z grupy *Lactobacillaceae*), poprawę parametrów dobrostanu (obniżenie częstości występowania zmian dermatologicznych i zaburzeń lokomotorycznych), a także jakość rzeźną (wzrost masy tuszki i udziału mięśni nóg). Dodatkowo, suplementacja włóknem przyczynia się do zmniejszenia odsetka mięśni piersiowych wykazujących cechy miopatii typu white striping, co może korzystnie wpływać na postrzeganą wartość sensoryczną surowca mięsnego przez konsumenta na etapie zakupu.
3. Wzrost świadomości konsumenckiej w zakresie dobrostanu zwierząt oraz rosnące zainteresowanie produktami pochodzącymi z chowu spełniającego wyższe standardy etologiczne wskazują na konieczność uwzględnienia aspektów dobrostanowych w strategiach żywieniowych. Suplementacja diety brojlerów kurzych lignocelulozowym koncentratem włókna ARBOCEL® może stanowić element wspomagający poprawę kondycji środowiskowej i fizjologicznej ptaków, co w konsekwencji może przekładać się na przewagę konkurencyjną produktu końcowego na rynku detalicznym.

Zaleca się jednak bezwzględne przestrzeganie wytycznych producenta dotyczących optymalnych poziomów dozowania dodatku paszowego, celem maksymalizacji efektu biologicznego i technologicznego przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa żywieniowego oraz efektywności ekonomicznej produkcji.

7. Bibliografia

1. Abd El-Hack M.E., Mahgoub S.A., Alagawany M., Ashour E.A. (2017). Improving productive performance and mitigating harmful emissions from laying hen excreta via feeding on graded levels of corn DDGS with or without *Bacillus subtilis* probiotic. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 101(5):904–913. <https://doi.org/10.1111/jpn.12522>
2. Abdollahi M.R., Zaefarian F., Hunt H., Anwar M.N., Thomas D.G., Ravindran V. (2019). Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilisation to different extents in broiler chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 103(1):146–161. <https://doi.org/10.1111/jpn.13019>
3. Alagawany M., Abd El-Hack M.E., Farag M.R., Sachan S., Karthik K., Dhama K. (2018). The use of probiotics as eco-friendly alternatives for antibiotics in poultry nutrition. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 10611–10618. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1687-x>
4. Alengadan P.J., Babu D.E., Kallanickal P.M. (2013). Moisture Content Control During Cattle Feed Production -An Spc Based Approach. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2(3).
5. Al-Khalaifa H., Al-Nasser A., Al-Surayee T., Al-Kandari S., Al-Enzi N., Al-Sharrah T., Ragheb G., Al-Qalaf S., Mohammed A. (2019). Effect of dietary probiotics and prebiotics on the performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 98(10):4465–4479. <https://doi.org/10.3382/PS/PEZ282>
6. Amerah A.M., Ravindran V., Lentle R.G. (2009). Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 50(3):366–375. <https://doi.org/10.1080/00071660902865901>
7. Anadón A. (2006). WS14 The EU ban of antibiotics as feed additives (2006): alternatives and consumer safety. *J. Vet. Pharmacol. Ther.* 29(s1):41–44. https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.2006.00775_2.x
8. Anderson M., Panteli D., Mossialos E. (2023). Policy Brief 51: How Can the EU Support Sustainable Innovation and Access to Effective Antibiotics? Policy Options for Existing and New Medicines. European Observatory on Health Systems and Policies. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK594073/>).

9. Aviagen. (2019). Ross 308/Ross 308 FF Broiler Performance Objectives. <https://en.aviagen.com/brands/ross/products/ross-308>
10. Bailey R.A., Watson K.A., Bilgili S.F., Avendano S. (2015). The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poult. Sci.* 94(12):2870–2879. <https://doi.org/10.3382/ps/pev304>
11. Baldi G., Soglia F., Petracci M. (2021). Spaghetti Meat Abnormality in Broilers: Current Understanding and Future Research Directions. *Front. Physiol.* 12: 684497, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.684497>
12. Barnes E.M. (1979). The Intestinal Microflora of Poultry and Game Birds During Life and After Storage. *J. Appl. Bacteriol.* 46(3):407–419. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1979.tb00838.x>
13. Bassler A.W., Arnould C., Butterworth A., Colin L., De Jong I.C., Ferrante V., Ferrari P., Haslam S., Wemelsfelder F., Blokhuis H.J. (2013). Potential risk factors associated with contact dermatitis, lameness, negative emotional state, and fear of humans in broiler chicken flocks. *Poult. Sci.* 92(11):2811–2826. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03208>
14. Baurhoo B., Phillip L., Ruiz-Feria C.A. (2007). Effects of Purified Lignin and Mannan Oligosaccharides on Intestinal Integrity and Microbial Populations in the Ceca and Litter of Broiler Chickens. *Poult. Sci.* 86(6):1070–1078. <https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1070>
15. Baurhoo B., Ruiz-Feria C.A., Zhao X. (2008). Purified lignin: Nutritional and health impacts on farm animals—A review. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 144(3–4):175–184. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.10.016>
16. Behnke K.C. (2001). Processing Factors influencing pellet quality. *Forum Fam Plan West Hemisph. Feed Tech.* 5 (4).
17. Bendowski W., Michalczyk M., Jóźwik A., Kareem K.Y., Łozicki A., Karwacki J., Bień D. (2022). Using Milk Thistle (*Silybum marianum*) Extract to Improve the Welfare, Growth Performance and Meat Quality of Broiler Chicken. *Animals.* 12(9):1085. <https://doi.org/10.3390/ani12091085>
18. Bhamare K.S., Dildeep V., Senthil M.S., Chavan S.J. (2016). Nutritive evaluation of cashew apple waste in broilers. *Int. J. Nat. Sci.* 7:629–632.
19. Biuro Analiz i Strategii Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa. (2024). RYNEK MIĘSA. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa.

20. Bogusławska-Tryk M., Szymeczko R., Piotrowska A., Burlikowska K., Śliżewska K. (2015). Ileal and cecal microbial population and short-chain fatty acid profile in broiler chickens fed diets supplemented with lignocellulose. *Pak. Vet. J.* 35: 212–216.
21. Brink M., Janssens G.P.J., Delezie E. (2022). How do moisture content, friability, and crust development of litter influence ammonia concentrations in broiler production? *Livest. Sci.* 265. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2022.105109>
22. Brink M., Janssens G.P.J., Demeyer P., Bağcı Ö., Delezie E. (2022). Reduction of dietary crude protein and feed form: Impact on broiler litter quality, ammonia concentrations, excreta composition, performance, welfare, and meat quality. *Anim. Nutr.* 9:291–303. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.12.009>
23. Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E., Teller E. (1940). On a theory of the Van der Waals adsorption of gases. *J. Am. Chem. Soc.* 62(7):1723–1732. <https://doi.org/10.1021/ja01864a025>
24. Butterworth A. (2009). Animal welfare indicators and their use in society. In: *Welfare of production animals: assessment and management of risks*. Brill | *Wageningen Academic*. 371–389. https://doi.org/10.3920/9789086866908_019
25. Cao B.H., Zhang X.P., Guo Y.M., Karasawa Y., Kumao T. (2003). Effects of dietary cellulose levels on growth, nitrogen utilization, retention time of diets in digestive tract and caecal microflora of chickens. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 16(6):863–866. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.863>
26. Cherrington C.A., Hinton M., Chopra I. (1990). Effect of short-chain organic acids on macromolecular synthesis in *Escherichia coli*. *J. Appl. Bacteriol.* 68(1):69–74. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1990.tb02550.x>
27. Chirife J., del Pilar Buera M., Labuza T.P. (1996). Water activity, water glass dynamics, and the control of microbiological growth in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36(5):465–513. <https://doi.org/10.1080/10408399609527736>
28. Collett S.R. (2012). Nutrition and wet litter problems in poultry. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 173(1–2):65–75. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.013>
29. Dec D. (2011). Aktywność wody w otrębach i śrutach zbożowych. *Post. Tech. Przetwórst. Spożyw.* 21(38):46–49.
30. Dobos Á., Bársony P., Posta J., Babinszky L. (2019). Effect of feeds with different crude fiber content on the performance of meat goose. *Acta Agraria Debreceniensis*. (2):5–8. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/2/3670>

31. Faber T.A., Dilger R.N., Hopkins A.C., Price N.P., Fahey G.C. (2012). Effects of oligosaccharides in a soybean meal-based diet on fermentative and immune responses in broiler chicks challenged with *Eimeria acervulina*. *Poult. Sci.* 91(12):3132–3140. <https://doi.org/10.3382/PS.2012-02364>
32. Farran M.T., Pietsch M., Chabrilat T. (2013). Effect of lignocellulose on the litter quality and the ready to cook carcass yield of male broilers. In. Actes des 10èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras du 26 au 28 mars, 2013, La Rochelle, France, La Rochelle; p. 917–921.
33. Ferreira T.Z., Casagrande R.A., Vieira S.L., Driemeier D., Kindlein L. (2014). An investigation of a reported case of white striping in broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 23(4):748–753. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00847>
34. Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska K. (2002). Instrumentalna metoda oceny barwy produktów smażonych z ziemniaka. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol.* 489:383–390.
35. Gheisar M., Kim I.H. (2018). Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Ital. J. Anim. Sci.* 17(1):92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
36. Gibson G.R., Roberfroid M.B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125(6):1401–1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
37. Golzar Adabi S., Demirok Soncu E. (2019). White striping prevalence and its effect on meat quality of broiler breast fillets under commercial conditions. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* (Berl). 103(4):1060–1069. <https://doi.org/10.1111/jpn.13092>
38. Gratta F., Birolo M., Piccirillo A., Petracci M., Maertens L., Xiccato G., Trocino A. (2017). Effects of the feeding system on performance and myopathy occurrence in two broiler chicken genotypes. *Ital. J. Anim. Sci.* Book of Abstracts. 16(1), 48.
39. Grau R., Hamm R. (1953). Eine einfache methode zur bestimmung der wasserbindung im muskel. *Naturwissenschaften.* 40(1):29–30. <https://doi.org/10.1007/BF00595734>
40. Greathead H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proc. Nutr. Soc.* 62(2):279–290. <https://doi.org/10.1079/PNS2002197>
41. Guinotte F., Gautron J., Nys Y., Soumarmon A. (1995). Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a

- function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. *Br. J. Nutr.* 73(1):125–139. <https://doi.org/10.1079/BJN19950014>
42. Henneberg W., Stohmann. (1859). Über das erhaltungsfutter volljährigen rindviehs. *J. Landwirtsch.*: 485–551.
 43. Hetland H., Choct M., Svihus B. (2004). Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. *World's Poult. Sci. J.* 60(4):415–422. <https://doi.org/10.1079/WPS200325>
 44. Hetland H., Svihus B. (2001). Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 42(3):354–361. <https://doi.org/10.1080/00071660120055331>
 45. Hetland H., Svihus B., Choct M. (2005). Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. *J. Appl. Poult. Res.* 14(1):38–46. <https://doi.org/10.1093/JAPR/14.1.38>
 46. Hussein S.M., Frankel T.L. (2019). Effect of varying proportions of lignin and cellulose supplements on immune function and lymphoid organs of layer poultry (*Gallus gallus*). *J. Poult. Sci.* 56(1):71–77. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0180032>
 47. Jacob F., Baracho M., Nääs I., Lima N., Salgado D., Souza R. (2016). Risk of incidence of hock burn and pododermatitis in broilers reared under commercial conditions. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 18(3):357–362. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0183>
 48. Janjić J., Šević Savić K., Marković R., Šefer D., Nedić D., Đurić S., Vejnović B., Mirilović M. (2022). Influence of phytobiotics in feed on the cost-effectiveness of broiler production during fattening. *Meat Technol.* 63(1):51–58. <https://doi.org/10.18485/meattech.2022.63.1.5>
 49. Jiménez-Moreno E., Romero C., Berrocoso J.D, Frikha M., Mateos G.G. (2011). Effects of the inclusion of oat hulls or sugar beet pulp in the diet on gizzard characteristics, apparent ileal digestibility of nutrients, and microbial count in the ceca in 36- day-old broilers reared on floor. (Abstr). *Poult. Sci.* 90:135.
 50. Jiménez-Moreno E., González-Alvarado J.M., González-Serrano A., Lázaro R., Mateos G.G. (2009). Effect of dietary fiber and fat on performance and digestive traits of broilers from one to twenty-one days of age. *Poult. Sci.* 88(12):2562–2574. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00179>
 51. Kareem K.Y., Loh T.C., Foo H.L., Akit H., Samsudin A.A. (2016). Effects of dietary postbiotic and inulin on growth performance, IGF1 and GHR mRNA

- expression, faecal microbiota and volatile fatty acids in broilers. *BMC Vet. Res.* 12(1):163. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0790-9>
52. Kaukonen E., Norring M., Valros A. (2016). Effect of litter quality on foot pad dermatitis, hock burns and breast blisters in broiler breeders during the production period. *Avian. Pathol.* 45(6), 667–673. <https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1197377>
 53. Kestin S., Knowles T., Tinch A., Gregory N. (1992). Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Vet. Rec.* 131(9):190–194. <https://doi.org/10.1136/vr.131.9.190>
 54. Khalil S., Saenbungkhor N., Kesnava K., Sivapirunthep P., Sitthigripong R., Jumanee S., Chaosap C. (2021). Effects of guanidinoacetic acid supplementation on productive performance, pectoral myopathies, and meat quality of broiler chickens. *Animals.* 11(11):3180. <https://doi.org/10.3390/ani11113180>
 55. Kheravii S.K., Morgan N.K., Swick R.A., Choct M., Wu S.B. (2018). Roles of dietary fibre and ingredient particle size in broiler nutrition. *Worlds Poult. Sci. J.* 74(2):301–316. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000259>
 56. Kheravii S.K., Swick R.A., Choct M., Wu S.B. (2017). Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fiber addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. *Poult. Sci.* 96(9):3272–3281. <https://doi.org/10.3382/ps/pex123>
 57. Kulig R., Laskowski J. (2006). Wpływ wybranych właściwości surowców na cechy wytrzymałościowe granulatu. *Inż. Roln.* 13:251–260.
 58. Kuttappan V.A., Brewer V.B., Apple J.K., Waldroup P.W., Owens C.M. (2012). Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult. Sci.* 91(10):2677–2685. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02259>
 59. Kuttappan V.A., Brewer V.B., Mauromoustakos A., McKee S.R., Emmert J.L., Meullenet J.F., Owens C.M. (2013). Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult. Sci.* 92(3):811–819. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02506>
 60. Kuttappan V.A., Hargis B.M., Owens C.M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poult. Sci.* 95(11):2724–2733. <https://doi.org/10.3382/ps/pew216>
 61. Kyvsgaard N.Chr., Jensen H.B., Ambrosen T., Toft N. (2013). Temporal changes and risk factors for foot-pad dermatitis in Danish broilers. *Poult. Sci.* 92(1):26–32. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02433>

62. Langenfeld M. 1992. *Anatomia Kury (The Anatomy of a Hen)*. Wydawnictwo PWN.
63. Lewicki P.P. (1997a). Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures. *J. Food. Eng.* 32(1):47–68. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00002-2)
64. Lewicki P.P. (1997b). The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *Int. J. Food. Sci. Technol.* 32(6):553–557. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb02131.x>
65. Liebl M., Gierus M., Potthast C., Schedle K. (2022). Influence of insoluble dietary fibre on expression of pro-inflammatory marker genes in caecum, ileal morphology, performance, and foot pad dermatitis in broiler. *Animals*. 12(16):2069. <https://doi.org/10.3390/ani12162069>
66. Lister S.A. (2009). Effects of litter moisture on performance, health and welfare. World Poultry Science Association (WPSA), 17th European Symposium on Poultry Nutrition, Edinburgh, UK, 23-27 August, 2009:33–39.
67. Lukić M., Petričević V., Škrbić Z., Deliћ N., Tolimir N., Dosković V., Rakonjac S. (2020). Genotype and breeder flock age impact on broiler performance in suboptimal conditions. *Biotechnol. Anim. Husb.* 36(4):447–462. <https://doi.org/10.2298/BAH2004447L>
68. Maiorano G. (2017). Meat defects and emergent muscle myopathies in broiler chickens: implications for the modern poultry industry. *Rocz. Nauk. Pol. Tow. Zootech.* 13(3):43–51. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.5454>
69. Makivic L., Glisic M., Boskovic M., Djordjevic J., Markovic R., Baltic M., Sefer D. (2018). Performances, ileal and cecal microbial populations and histological characteristics in broilers fed diets supplemented with lignocellulose. *Kafkas. Univ. Vet. Fak. Derg.* 25 (1): 83-91. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.20356>
70. Marcu A., Dumitrescu G., Vacaru-Opriş I., Ciochină L.P., Marcu A., Nicula M., Peţ I., Dronca D., Kelciov B., Mariş C. (2013). The influence of genetics on economic efficiency of broiler chickens growth. *Sci. Pap.: Anim. Sci. Biotechnol.* 46(2). <https://www.researchgate.net/publication/258240213>
71. Markowska K. (2025). Handel Mięsem Drobiowym w 2024 r. *Hodowca Drobiu.* 3:10–11.
72. Marks N., Sobol Z., Baran D. (2006). Ocena wytrzymałości granulatu paszowego. *Inż. Roln.* 289–296.

73. Martland M.F. (1985). Ulcerative dermatitis dm broiler chickens: The effects of wet litter. *Avian Pathol.* 14(3):353–364.
<https://doi.org/10.1080/03079458508436237>
74. Mateos G.G., Guzman P., Saldana B., Bonilla A.P., Lazar R., Jimenez-Moreno E. (2013). Relevance of dietary fiber in poultry feeding. Proceedings of the 19th European Symposium on Poultry Nutrition, 26–29 August 2013, Potsdam, Germany.
75. Mateos G.G., Lázaro R., Gracia M.I. (2002). The feasibility of using nutritional modifications to replace drugs in poultry feeds. *J. Appl. Poult. Res.* 11(4):437–452. <https://doi.org/10.1093/JAPR/11.4.437>
76. McDonald J.C., Whitesides G.M. (2002). Poly(dimethylsiloxane) as a material for fabricating microfluidic devices. *Acc. Chem. Res.* 35(7):491–499.
<https://doi.org/10.1021/ar010110q>
77. Michalczuk M., Abramowicz-Pindor P., Urban J., Bień D., Ciborowska P., Matuszewski A., Zalewska A., Opacka E., Wojtasik-Kalinowska I. (2024). The effect of phytogenic additive in broiler's diet on production results, physicochemical parameters, and the composition of volatile organic compounds of broiler meat assessed by an electronic nose system. *Animals.* 14(16):2428.
<https://doi.org/10.3390/ani14162428>
78. Michalczuk M., Łukasiewicz M., Wnuk A., Damaziak K., Niemiec J. (2013). Wpływ dostępu do wybiegów na wyniki produkcyjne oraz wartość rzeźną kurcząt wolno rosnących Hubbard JA 957. *Rocz. Nauk. Pol. Tow. Zootech.* 9(2):23–31.
79. Miles D.M., Brooks J.P., Sistani K. (2011). Spatial contrasts of seasonal and intraflock broiler litter trace gas emissions, physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.* 40(1):176–187. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0055>
80. Milosevic N, M. Dukic Strojic, L. Peric, M. Vukic-Vranjes. 2015. Effect of lignocellulose on egg production and egg quality. Proceedings of the 20th European Symposium on Poultry Nutrition, 24–27 August 2015, Prague, Czech Republic.
81. Montagne L., Pluske J.R., Hampson D.J. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 108(1–4):95–117.
[https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00163-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00163-9)

82. Mukul Ray S., Banik A., Bhagat G. (2020). Effects of proprietary hepatoprotective additives (CadlivTM liq.) supplementation on the growth performance and hepatic histological architecture of commercial broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.* 19(7):338–345. <https://doi.org/10.3923/ijps.2020.338.345>
83. O'Shea E.F., Cotter P.D., Stanton C., Ross R.P., Hill C. (2012). Production of bioactive substances by intestinal bacteria as a basis for explaining probiotic mechanisms: Bacteriocins and conjugated linoleic acid. *Int. J. Food. Microbiol.* 152(3):189–205. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.05.025>
84. Pałacha Z. 2006. Aktywność wody. *Mag. Przem. Mięsnego*. 12: 28–29.
85. Pałacha Z. 2008. Aktywność wody ważny parametr trwałości żywności. *Przemysł Spożywczy*. 62(4): 22–26.
86. Pałacha Z., Makarewicz M. (2011). Aktywność wody wybranych grup produktów spożywczych. *Post. Tech. Przetwórst. Spożyw.* 2:24–29.
87. Pałacha Z., Sas A. (2016). Sorption properties of selected species of rice. *Acta Agrophysica*. 23(4):681–694.
88. Pérez-Alonso C., Beristain C.I., Lobato-Calleros C., Rodríguez-Huezo M.E., Vernon-Carter E.J. (2006). Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. *J. Food. Eng.* 77(4):753–760. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.08.002>
89. Petracci M., Mudalal S., Soglia F., Cavani C. (2015). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *Worlds Poult. Sci. J.* 71(2):363–374. <https://doi.org/10.1017/S0043933915000367>
90. Pietsch M. (2013). The impact of crude fibre concentrate on footpad dermatitis in broilers. *Int. Poultry Prod.* 21:11–13.
91. Rahmatnejad E., Saki A.A. (2016). Effect of dietary fibres on small intestine histomorphology and lipid metabolism in young broiler chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 100(4):665–672. <https://doi.org/10.1111/jpn.12422>
92. Ricke S.C. (2021). Prebiotics and alternative poultry production. *Poult. Sci.* 100(7):101174. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101174>
93. Ricke S.C., Van Der Aar P.J., Fahey G.C., Berger L.L. (1982). Influence of dietary fibers on performance and fermentation characteristics of gut contents from growing chicks. *Poult. Sci.* 61(7):1335–1343. <https://doi.org/10.3382/ps.0611335>

94. Rochfort S., Parker A.J., Dunshea F.R. (2008). Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*. 69(2):299–322. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.017>
95. Röhe I., Metzger F., Vahjen W., Brockmann G.A., Zentek J. (2020). Effect of feeding different levels of lignocellulose on performance, nutrient digestibility, excreta dry matter, and intestinal microbiota in slow growing broilers. *Poult. Sci.* 99(10):5018–5026. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.053>
96. Röhe I., Zentek J. (2021). Lignocellulose as an insoluble fiber source in poultry nutrition: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 12(1):82. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00594-y>
97. Roos Y.H. (2020). Water activity and glass transition. in: water activity in foods: fundamentals and applications. 27–43. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch3>
98. Russo E., Drigo M., Longoni C., Pezzotti R., Fasoli P., Recordati C. (2015). Evaluation of White Striping prevalence and predisposing factors in broilers at slaughter. *Poult. Sci.* 94(8):1843–1848. <https://doi.org/10.3382/ps/pev172>
99. Sadkowska-Todys M., Stefanoff P., Łabuńska E. (2005). Zatrucia i zakażenia pokarmowe w Polsce w 2003 roku. *Przegl. Epidemiol.* 59:269–279.
100. Saki A.A., Hemati Matin H.R., Tabatabai M.M., Zamani P., Naseri Harsini R. (2010). Microflora population, intestinal condition and performance of broilers in response to various rates of pectin and cellulose in the diet. *EPS.* 74:183–188.
101. Sarikhan M., Shahryar H.A., Gholizadeh B., Hosseinzadeh M.H., Beheshti B., Mahmoodnejad A. (2010). Effects of insoluble fiber on growth performance, carcass traits and ileum morphological parameters on broiler chick males. *Int. J. Agric. Biol.* 12(4):531–536.
102. Shakouri M.D., Iji P.A., Mikkelsen L.L., Cowieson A.J. (2009). Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 93(5):647–658. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00852.x>
103. Shakouri M.D., Kermanshahi H., Mohsenzadeh M. (2006). Effect of different non-starch polysaccharides in semi purified diets on performance and intestinal microflora of young broiler chickens. *Int. J. Poult. Sci.* 5(6):557–561. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.557.561>

104. Sharam N., Goh S. (2022). Introducing Water Activity as a Measure for Feed Quality Control (Part 1) | Poultry TRENDS. <https://www.poultrytrends.in/introducing-water-activity-as-a-measure-for-feed-quality-control-part-1/>
105. Shepherd E.M., Fairchild B.D. (2010). Footpad dermatitis in poultry. *Poult. Sci.* 89(10):2043–2051. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00770>
106. Sistani K.R., Brink G.E., McGowen S.L., Rowe D.E., Oldham J.L. (2003). Characterization of broiler cake and broiler litter, the by-products of two management practices. *Bioresour. Technol.* 90(1):27–32. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00096-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00096-8)
107. Sklan D., Smirnov A., Plavnik I. (2003). The effect of dietary fibre on the small intestines and apparent digestion in the turkey. *Br. Poult. Sci.* 44(5):735–740. <https://doi.org/10.1080/00071660310001643750>
108. Southgate D.A.T. (1986). Dietary fiber. In: Spiller G. A. (ed.) Definition of dietary fibre. Handbook of dietary fiber in human nutrition CRC Press, Boca Raton, 16.
109. Sozcu A. (2019). Growth performance, pH value of gizzard, hepatic enzyme activity, immunologic indicators, intestinal histomorphology, and cecal microflora of broilers fed diets supplemented with processed lignocellulose. *Poult. Sci.* 98(12):6880–6887. <https://doi.org/10.3382/ps/pez449>
110. Stanley D., Denman S.E., Hughes R.J., Geier M.S., Crowley T.M., Chen H., Haring V.R., Moore R.J. (2012). Intestinal microbiota associated with differential feed conversion efficiency in chickens. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 96(5):1361–1369. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3847-5>
111. Świątkiewicz S., Świątkiewicz M. (2008). Zastosowanie fruktanów o właściwościach prebiotycznych w żywieniu zwierząt gospodarskich. *Med. Weter.* 8(64):987–990.
112. Tabernero M., Gómez de Cedrón M. (2017). Microbial metabolites derived from colonic fermentation of non-digestible compounds. *Curr. Opin. Food Sci.* 13:91–96. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.03.005>
113. Tejeda O.J., Kim W.K. (2021). Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. *Animals.* 11(2):461. <https://doi.org/10.3390/ani11020461>
114. Tejeda O.J., Kim W.K. (2020). The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology,

- and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poult. Sci.* 99(12):6828–6836.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.081>
115. Thiex N., Richardson C.R. (2003). Challenges in measuring moisture content of feeds. *J. Anim. Sci.* 81(12):3255–3266. <https://doi.org/10.2527/2003.81123255x>
 116. Urban J., Jaworski S., Lange A., Bień D., Matuszewski A., Michalczyk M. (2023a). Effects of the addition of crude fibre concentrate on performance, welfare and selected caecal bacteria of broilers. *Animals.* 13(24):3883. <https://doi.org/10.3390/ani13243883>
 117. Urban J., Kareem K.Y., Matuszewski A., Bień D., Ciborowska P., Lutostański K., Michalczyk M. (2024a). Enhancing broiler chicken health and performance: the impact of phytobiotics on growth, gut microbiota, antioxidants, and immunity. *Phytochem. Rev.* <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09994-0>
 118. Urban J., Michalczyk M., Batorska M., Jaroszek A., Bień D., Ciborowska P., Zalewska A., Matuszewski A. (2023b). Czy probiotyki są skuteczne w odchowie kurcząt brojlerów? *Polskie Drobiarstwo.* 5:32–35.
 119. Urban J., Michalczyk M., Batorska M., Marzec A., Jaroszek A., Bień D. (2024b). Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Anim. Biosci.* 37(2):274–283. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0218>
 120. Van I. (2003). Growth and broilers industrialization. *CERes Journal, Bucharest.*:235–236.
 121. Walugembe M., Hsieh J.C.F, Koszewski N.J., Lamont S.J., Persia M.E., Rothschild M.F. (2015). Effects of dietary fiber on cecal short-chain fatty acid and cecal microbiota of broiler and laying-hen chicks. *Poult. Sci.* 94(10):2351–2359. <https://doi.org/10.3382/ps/pev242>
 122. Van der Wielen P.W.J.J., Biesterveld S., Notermans S., Hofstra H., Urlings B.A.P., Van Knapen F. (2000). Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 66(6):2536–2540. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.6.2536-2540.2000>
 123. Wilkins L.J., Butterworth A. (2009). Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry. (<https://edepot.wur.nl/233471>).
 124. World Health Organization. (2019). World Health Organization. Ten Threats to Global Health in 2019. World Health Organization.:1–18.

125. Wu K., Hocking P.M. (2011). Turkeys are equally susceptible to foot pad dermatitis from 1 to 10 weeks of age and foot pad scores were minimized when litter moisture was less than 30%. *Poult. Sci.* 90(6):1170–1178. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01202>
126. Yokhana J.S., Parkinson G., Frankel T.L. (2016). Effect of insoluble fiber supplementation applied at different ages on digestive organ weight and digestive enzymes of layer-strain poultry. *Poult. Sci.* 95(3):550–559. <https://doi.org/10.3382/ps/pev336>
127. Yu B., Tsai C.C., Hsu J.C., Chiou P.W.S. (1998). Effect of different sources of dietary fibre on growth performance, intestinal morphology and caecal carbohydrases of domestic geese. *Br. Poult. Sci.* 39(4):560–567. <https://doi.org/10.1080/00071669888773>
128. Zeitz J.O., Neufeld K., Potthast C., Kroismayr A., Most E., Eder K. (2019). Effects of dietary supplementation of the lignocelluloses FibreCell and OptiCell on performance, expression of inflammation-related genes and the gut microbiome of broilers. *Poult. Sci.* 98(1):287–297. <https://doi.org/10.3382/PS/PEY345>
129. Zhang C., Hao E., Chen X., Huang C., Liu G., Chen H., Wang D., Shi L., Xuan F., Chang D., Chen Y. (2023). Dietary fiber level improve growth performance, nutrient digestibility, immune and intestinal morphology of broilers from day 22 to 42. *Animals*. 13(7):1227. <https://doi.org/10.3390/ani13071227>
130. Zhou C.H., Xia X., Lin C.X., Tong D.S., Beltramini J. (2011). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass to fine chemicals and fuels. *Chem. Soc. Rev.* 40(11):5588. <https://doi.org/10.1039/c1cs15124j>

Spis aktów prawnych:

1. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 15 lutego 2010 r. w sprawie wymagań i sposobu postępowania przy utrzymywaniu gatunków zwierząt gospodarskich, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej (Dz.U. 2010 nr 56 poz. 344).

Spis stron internetowych:

1. Instrukcja Głównego Lekarza Weterynarii (na podstawie art. 13 ust. 1 pkt. 1 ustawy z dnia 29 stycznia 2004 r. o Inspekcji Weterynaryjnej (Dz. U. z 2016 r., poz.1077 z późn. zm.)), <https://instrukcja-GLW-brojlery,3766.pdf>
2. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Rynki Rolne, Produkty Zwierzęce, Mięso Drobiowe, <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/mieso-drobiowe> [dostęp: 10.07.20225]
3. RETTENMAIER J. & SÖHNE GmbH + Co KG. ARBOCEL®. Crude Fibre Concentrates for Poultry Nutrition. https://www.jrs.eu/jrs_en/life-science/animal-nutrition/applications/arbocel-for-poultry/ [dostęp: 10.07.20225]
4. Ross Management Guide, Aviagen. 2018. Ross Management Guide. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://staging.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_PS/RossPSHandBook2018.pdf [dostęp: 10.07.20225]
5. Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry. 2009. <https://edepot.wur.nl/233471> [dostęp: 10.07.20225]

- 8. Zbiór publikacji naukowych wchodzących w skład dysertacji doktorskiej pt. „Wpływ dodatku koncentratu włókna surowego na jakość fizykochemiczną paszy, dobrostan, mikrobiotę jelita ślepego, wyniki produkcyjne oraz jakość mięśni piersiowych brojlerów kurzych” oraz oświadczenia współautorów**

Article

Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers

Jakub Urban ^{1,*} , Sławomir Jaworski ², Agata Lange ² , Damian Bień ¹ , Arkadiusz Matuszewski ³ and Monika Michalczyk ¹ 

¹ Department of Animal Breeding, Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences, Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland; damian_bien@sggw.edu.pl (D.B.); monika_michalczyk@sggw.edu.pl (M.M.)

² Department of Nanobiotechnology, Institute of Biology, Warsaw University of Life Sciences, Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland; slawomir_jaworski@sggw.edu.pl (S.J.); agata_lange1@sggw.edu.pl (A.L.)

³ Department of Animal Environment Biology, Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences, Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland; arkadiusz_matuszewski1@sggw.edu.pl

* Correspondence: jakub_urban@sggw.edu.pl; Tel.: +48-530-282-272

Simple Summary: Incorporating a precise amount of crude fibre additive into animal feed can yield multiple benefits. These include better feed digestibility, decreased litter moisture, and promotion of the probiotic microbiome in the digestive tract. The objective of the study was to evaluate the impact of crude fibre concentrate on key production outcomes, such as final body weight, mortality, and feed conversion ratio, as well as on welfare and the prevalence of certain caecal bacteria (*Enterobacteriaceae* and lactic acid bacteria). Additionally, the study examined the pH of broiler chicken faeces and litter after incorporating crude fibre concentrate into their feed. According to the findings, the incorporation of crude fibre concentrate yielded favourable outcomes on the end body weight, welfare parameter and the number of colony-forming units of lactic acid bacteria within the cecum whilst also resulting in a reduction in the pH of faeces and litter.



Citation: Urban, J.; Jaworski, S.; Lange, A.; Bień, D.; Matuszewski, A.; Michalczyk, M. Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals* **2023**, *13*, 3883. <https://doi.org/10.3390/ani13243883>

Academic Editor: Velmurugu Ravindran

Received: 9 November 2023

Revised: 12 December 2023

Accepted: 15 December 2023

Published: 17 December 2023

Abstract: The study evaluated the effects of crude fibre concentrate supplementation on final body weight, mortality, feed conversion ratio, European Production Efficiency Factor, European Broiler Index, welfare parameters, colony-forming units of selected caecal bacteria (*Enterobacteriaceae* and lactic acid bacteria) and pH of broiler faeces and litter. The study comprised 990 Ross 308 male chicks divided into three groups, a control and two experimental groups, which were given crude fibre concentrate as a feed supplement. On the thirty-fifth day of rearing, the birds' welfare scores were evaluated, and 2 g of cecum was collected post-mortem from six chickens in each group. Subsequently, a series of ten-fold dilutions of the material was prepared, followed by cultures and measurement of pH in the faeces and litter. The inclusion of crude fibre concentrate resulted in a beneficial impact on the ultimate body mass ($p \leq 0.001$), welfare standard ($p \leq 0.001$), and quantity of colony-forming units of lactic acid bacteria ($p \leq 0.05$) within the cecum. Furthermore, it had a positive influence on lowering the pH levels of both faeces and litter ($p \leq 0.05$).

Keywords: crude fibre; welfare; selected caecal bacteria; probiotics



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Dietary fibre (DF) is an intrinsic element of plant-origin feeds linked to physiological, structural, and functional transformations in the digestive system. DF comprises non-starch polysaccharides (NSP), oligosaccharides, and lignins that resist digestion and enzymatic hydrolysis. Fibre can be classified as soluble or insoluble, depending on its behaviour in water. Both insoluble and soluble fibre are crucial in broiler feed mixtures' nutritional values. Soluble dietary fibre is believed to enhance intestinal contents' viscosity, affect the intestinal microbiome's composition adversely, and reduce nutrient assimilation. However,

a group of soluble fibres, which includes oligosaccharides, serves as prebiotics, facilitating the gut microbiota's development and offering additional benefits. The inclusion of insoluble DF in the diet of broilers has an impact on the gut's structural morphology, the development of gastrointestinal organs, nutrient absorption, the performance of growth, and gut microbiota [1]. The term 'crude fibre' refers to the insoluble dietary fibre fractions. Several definitions exist in the literature about CF. According to Henneberg and Stohmann, CF has been defined in various ways [2]. Crude fibre refers to the organic materials left over when plant structures are dissolved in a weak solution (1.25%) of sulphuric acid and later in a solution of potassium hydroxide (1.25%). According to McDonald and Whitesides [3], crude fibre comprises the constituents of the cell walls found in plant tissues, including lignin, cellulose and hemicellulose. The components of crude fibre are as follows: 50–80% of the total cellulose, 10–15% lignin and only 20% hemicellulose [4,5]. Products with a crude fibre content of at least 60% are referred to as crude fibre concentrates (CFCs). The high fibre content is achieved by using physical or thermomechanical concentration processes. The base component of CFCs is usually lignocellulosic or cellulosic fibre. According to the results of studies presented by many authors [6–14], lignin and cellulose have a positive impact on stimulating probiotic bacteria and improving the structure and function of the poultry digestive tract. Incorporating cellulose as a feed additive increases the population of advantageous intestinal microorganisms, reducing the number of harmful ones and thus lowering the risk of poultry pathogens [9,14–16]. Advantageous probiotic microorganisms are an integral part of the formation of the gut microbiota, modulate its composition and maintain intestinal homeostasis [17–19]. Microbiota is a term that describes the classification of all microorganisms (bacteria, fungi, viruses and archaeons) living in a specific environment (host organism), in this case in the gut. The occurrence of any disturbance in the balance of the gut microbiota is marked by a negative impact on the health and biology of the animal body, as gut integrity, metabolism, nutrition, immunity and the neuroendocrine system all depend on a healthy microbiota [20,21] which is in constant interaction in the microbiota–brain–gut axis [21–23]. The balance or homeostasis of a healthy gut is influenced via the previously mentioned microbiota–brain–gut axis, the immune system, oxidative stress, nutrition, the intestinal epithelial barrier, genetic factors and feed additives [24].

A remarkably high water-binding capacity characterises CFCs. Hence, CFCs can efficiently bind water. Water is absorbed in the upper section of the intestine before being released in the lower section under osmotic pressure. This makes the water available for reabsorption and prevents it from appearing in the litter [25]. Litter serves a multitude of vital purposes, such as soaking up and discharging moisture, providing cushioning and insulation against contact with the ground, and facilitating birds' instinctual activities of burrowing and cleaning themselves [26–28]. During the rearing period, litter conditions undergo modifications primarily because of the augmented moisture resulting from the birds' excreted faecal matter. Heightened litter moisture content diminishes the quality of litter, leading to the provocation of footpad inflammation in broiler chickens [26,27,29]. Furthermore, heightened moisture in the litter encourages the formation of clumps, resulting in a compacted layer on the top of the litter that can range from 5 to 10 cm in thickness [26,30]. The compacted litter surface can retain moisture and become slippery, resulting in adverse effects on bird welfare through heightened incidences of footpad dermatitis and hock burns. Additionally, it increases susceptibility to other diseases [26,27,31,32].

The objective of this investigation was to assess the impact of incorporating crude fibre concentrate into chicken feed for broilers on crucial performance metrics such as final body weight, mortality rate, feed conversion ratio (FCR), European Production Efficiency Factor (EPEF), European Broiler Index (EBI), welfare indicators, and number of colony-forming units for selected caecal bacteria (*Enterobacteriaceae* and lactic acid bacteria), as well as the pH of broiler chicken faeces and litter.

2. Materials and Methods

2.1. Crude Fibre Concentrate

ARBOCEL® RC fine (J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG, Holzmühle 1, 73494 Rosenberg, Germany) lignocellulosic crude fibre concentrate is a type of product with a crude fibre content of 65 g to 70 g per 100 g, and a lignin content of more than 20 g per 100 g, according to the manufacturer's specifications [14]. The concentrate has a water content of 7.7% and a remarkably high swelling power of 800%. Additionally, it contains crude fibre (65.3%), non-protein nitrogen compounds (25.1%), total protein (1.0%), crude fat (0.3%), and crude ash (0.5%) [33]. ARBOCEL® is derived from newly harvested spruce (*Picea*) trees. It promotes the intestinal villi's function and boosts the digestive system's enzymatic activity. Moreover, it is free of mycotoxins and lacks soluble fibres [34].

2.2. Animals

The study was conducted on 990 male chicken broilers of the Ross 308 breed, who were assigned randomly to three groups: control (C), experimental 1 (A1), and experimental 2 (A2), with five replications of 66 birds in each. The stocking density on the 42nd rearing day was maintained under 33 kg/m², and the rearing period lasted for 42 days under standard conditions. The chickens were accommodated on floor system with wood pellets, with a light cycle that complied with the Ross Management Guide [35] and with access to fresh water.

The differentiating factor was the addition of crude fibre concentrate to the feed of the experimental groups (Table 1).

Table 1. Type of feed used and the proportion of fibre added.

Type of Feed	The Proportion of Crude Fibre Concentrate Used (%)		
	C	A1	A2
Starter	0	0.4	0.6
Grower I	0	0.8	1.0
Grower II	0	0.8	1.2
Finisher	0	0.2	0.4

During the experimental period, the broilers were fed using the following feeding program: starter, days 1–10; grower I, days 11–21; grower II, days 22–35; and finisher, days 36–42 (Table 2). Before the experiment began, the feed was tested by three independent centres (two Polish and one German) using the near-infrared (NIR) method to determine the chemical composition of the chickens' diets: the averaged results have been placed in Table 3.

Table 2. Formulation of the chickens' diets.

Ingredient	Starter	The Type of Feed		
		Grower I	Grower II	Finisher
		(g/kg)		
Wheat 13% TP	441.4	479.0	505.2	523.7
Soybean meal	314.5	264.8	233.8	214.0
Maise 8% TP	200.0	200.0	200.0	200.0
Soybean oil	13.43	29.52	36.57	40.66
Limestone	9.32	7.65	7.03	5.68
Monocalcium phosphate	5.05	3.48	2.48	1.40
Premiks *	5.00	5.00	5.00	5.00
Lysine 78.5%	3.46	3.25	3.12	3.05

Table 2. Cont.

Ingredient	Starter	The Type of Feed			Finisher
		Grower I	Grower II	(g/kg)	
Methionine 99%	2.98	2.39	2.04		1.81
NaCl	2.26	2.28	2.29		2.29
Sodium carbonate	1.50	1.50	1.50		1.50
L-threonine 98.5%	1.08	1.14	1.02		0.94
Group	Crude fibre concentrate g/kg of feed (on top)				
C	0.0	0.0	0.0		0.0
A1	4.0	8.0	10.0		2.0
A2	6.0	10.0	12.0		4.0

TP—total protein, NaCl- Sodium Chloride, *—starter 0.5% Sacox, grower 0.5% Sacox (all with the addition of coccidiostats), finisher 0.5% (without coccidiostats).

Table 3. Chemical composition of the chickens' diets.

Component	Group	The Type of Feed			
		Starter	Grower I	Grower II	Finisher
Crude protein (%)	C	20.61	18.78	17.08	18.51
	A1	21.19	18.18	17.00	18.48
	A2	20.76	18.65	16.18	18.30
Crude fat (%)	C	3.06	3.06	2.84	2.87
	A1	3.42	3.02	2.85	2.97
	A2	3.56	3.08	2.70	2.90
Crude fibre (%)	C	3.14	3.20	2.84	3.08
	A1	3.36	3.11	3.35	3.18
	A2	3.27	3.22	3.25	3.37
Ash (%)	C	8.50	5.94	5.11	6.96
	A1	5.35	4.55	5.50	4.38
	A2	5.08	4.67	7.86	4.43

Throughout the experiment, the body weight of the avian subjects was measured on days 1, 10, 21, 35 and 42. To determine the FCR, feed consumption was measured on days 10, 21, 35 and 42. The health of the flock was under constant vigilance by a veterinarian. The EPEF and EBI were calculated using the following prescribed Formulas (1) and (2) [36]:

TWG = body weight (g) at the end – body weight (g) at the start;

ADG (g/chick/d) = TWG/days of growth period;

FCR (kg feed/kg gain) = cumulative feed intake (kg)/total weight gain (kg);

Viability (%) = 100 – Mortality (%)

$$\text{EPEF} = \frac{\text{Viability}(\%) \times \text{BW}(\text{kg})}{\text{Age}(\text{d}) \times \text{FCR}(\text{kg feed/kg gain})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{EBI} = \frac{\text{Viability}(\%) \times \text{ADG}(\text{g/chick/day})}{\text{FCR}(\text{kg feed/kg gain}) \times 10} \quad (2)$$

2.3. Welfare Assessment

At 35 days of age, all of the chickens underwent an extensive visual welfare evaluation consisting of assessments for footpad dermatitis, hock burns and plumage cleanliness. The evaluation was performed following the guidelines of the Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry [37], and the resulting gait scores were based on the methodology created by Kestin et al. [38]. Any fatalities that occurred during the implementation of the experiment were also meticulously recorded.

2.4. Microbiological Analysis

Two grams of chicken cecum were isolated from 35-day-old chicks and incubated in 20 mL of 0.9% NaCl under shaking at 37 °C for 24 h. Next, ten-fold dilutions were prepared up to 10^{-8} , and samples were performed in triplicate using the spread plate technique on MRS (De Man–Rogosa–Sharpe agar) (MRS LAB-AGAR™ (BIOMAXIMA, Lublin, Poland), used for the cultivation of lactobacilli. The addition of magnesium, manganese and acetate with the Tween 80 provided an improved medium for growth of lactobacilli) and ENDO (Endo's Fuchsin Sulphite Infusion Agar) (ENDO LAB-AGAR™ (BIOMAXIMA, Lublin, Poland) where the growth of Gram-positive bacteria is inhibited by sodium sulphite, fuchsin and sodium-lauryl sulphate. The differentiating factors are lactose and basic fuchsin. These factors enable the initial identification of Gram-negative bacteria, based on their ability to ferment lactose) agar plates. This was carried out to determine the numbers of lactic acid bacteria and *Enterobacteriaceae*, respectively. Five grams of the bedding used by the chickens for 35 days were incubated in 50 mL of 0.9% NaCl under shaking conditions at 37 °C for 24 h. Afterwards, ten-fold dilutions were made up to 10^{-8} , and then, in triplicate, samples were performed using the spread plate technique on MRS and ENDO agar plates. The results were expressed as CFU (colony-forming units) per mL and transferred onto a log scale.

2.5. Measurement of Faeces and Litter pH

On the thirty-fifth day of rearing, 5 g of faeces were collected from nine boxes of birds (3 from each group) along with 5 g of litter from three boxes of each group. These samples were weighed and mixed thoroughly with 20 mL of distilled water. After 15 min, the pH was measured three times for each litter and faeces sample using an ELMETRON CP-401 pH meter equipped with a glass electrode and temperature sensor (Elmetron, Zabrze, Poland).

2.6. Statistical Analysis

The statistical analysis of the obtained data was conducted using the computer programs GraphPad and PS IMAGO PRO 8.1, employing one-way ANOVA analysis of variance. To ensure data normality, the Shapiro–Wilk test was employed, while Levene's test was used to evaluate variance homogeneity. To determine group differences, Tukey's post hoc test was applied. Only if normality or homogeneity of variance tests provided failure results was the non-parametric Kruskal–Wallis test employed. For group effects, the Kruskal–Wallis test and the Bonferroni method were used for pairwise comparisons.

3. Results

3.1. Production Performance and Welfare Indicators of Broiler Chickens

On day 42 of rearing, broiler chickens in group A1, who received the experimental feed, had the highest mean body weight among the groups. The A2 group, fed with the experimental mix, had a weight slightly lower than A1. The control group (C) had the lowest final weight, differing from both A1 and A2 ($p \leq 0.001$) to a greater extent. There were no statistically significant differences in feed consumption (kg/kg body weight gain) based on the mixture used. Group C had the lowest FCR, while group A2 had the highest. Moreover, group C had the highest mortality, whereas group A1 had the lowest. Based on the EPEF and EBI metrics, the broiler chickens in group A1 achieved the highest scores in this experiment, primarily due to their higher final body weight and lower mortality rates than the other groups (as shown in Table 4).

The assessment of footpad dermatitis (FPD) indicated that 58.6% of broiler chickens in group A2 obtained a score of 0, which was the highest percentage (Table 5). On the other hand, in group C, only 42.1% of the birds received a score of 0, the lowest rate. All of the findings achieved statistical significance. In the evaluation of gait score (GS), group A2 broiler chickens (experimental diet) achieved the most satisfactory outcome (score 0). This was due to a more significant proportion of chickens in this group (as many

as 84.8%) exhibiting correct movement ($p \leq 0.001$). Meanwhile, the A1 experimental group had a slightly lower result than the A2 group, with 83.8% of birds receiving a score of 0. Regarding hock burns, the experimental group A2 showed the lowest incidence of initial signs ($p \leq 0.001$) compared to all other groups. In the control group (C), only 52.1% of chickens exhibited smooth and balanced movements. Chickens showing reluctance to move, difficulty in performing consecutive steps smoothly, or displaying impaired balance were allocated to group C. Regarding plumage cleanliness assessments, experimental group A2 ranked highest with a statistically significant score ($p \leq 0.001$). In group A1, over 40% of the chickens evaluated received 0 points, indicating optimal plumage cleanliness. The lowest percentage of chickens displaying excellent plumage quality was noted to be in group C, also yielding a significant outcome ($p \leq 0.001$).

Table 4. Results of the chicks' body weights at day 42 (g), FCR, mortality, EPEF, and EBI.

Indices	Group			SEM	p Value
	C	A1	A2		
Body weight, g	2917 ^A	3140 ^B	3083 ^B	10.475	≤ 0.001
FCR, $\text{kg} \times \text{kg}^{-1}$	1.65	1.68	1.72	0.107	0.355
Mortality, %	4.85	3.34	3.64	0.324	0.126
EPEF, scores	400.5	430.2	411.3	-	-
EBI, scores	395.1	424.8	406.0	-	-

Annotation of the information in the line items: ^{A,B}— $p \leq 0.01$, C—control group, A1 and A2—groups fed crude fibre concentrate; FCR—feed conversion ratio, EPEF—European Production Efficiency Factor, EBI—European Broiler Index.

Table 5. Footpad dermatitis, gait score, hock burns, and plumage cleanliness scores at day 35 of the broiler chicken experiment by group.

Statistic	Score	Group					
		C		A1		A2	
		%	n	%	n	%	n
Footpad dermatitis	0	42.1	120	45.7	133	58.6	170
	1	54.7	156	45.4	132	39.3	114
	2	3.2	9	8.9	26	2.1	6
Kruskal–Wallis test	$p \leq 0.001$	A		A		B	
Gait Score	0	51.2	146	83.8	244	84.8	246
	1	31.6	90	14.1	41	13.5	39
	2	10.9	31	1.4	4	1.4	4
	3	4.2	12	0.7	2	0.3	1
	4	2.1	6	0.0	0	0.0	0
	5	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Kruskal–Wallis test	$p \leq 0.001$	A		B		B	
Hock Burns	0	57.9	165	64.6	188	70.0	203
	1	35.1	100	33.3	97	29.7	86
	2	5.6	16	2.1	6	0.3	1
	3	1.4	4	0.0	0	0.0	0
Kruskal–Wallis test	$p \leq 0.001$	A		B		B	
Plumage cleanliness	0	53.3	152	90.0	262	90.0	261
	1	44.6	127	10.0	29	10.0	29
	2	2.1	6	0.0	0	0.0	0
Kruskal–Wallis test	$p \leq 0.001$	A		B		B	

Annotation of the information in the line items: ^{A,B}— $p \leq 0.01$; C—control group, A1 and A2—groups fed crude fibre concentrate.

3.2. Results of the Microbiological Analyses

Results of Microbiological Analyses of Chicken Cecum Contents

There was no significant difference ($p \geq 0.05$) in the number of CFUs of *Enterobacteriaceae* observed between the control and experimental groups (refer to Figure 1). For lactic acid bacteria, a higher number of CFUs was observed ($p \leq 0.05$) in the groups which consumed feed with crude fibre concentrate (refer to Figure 2).

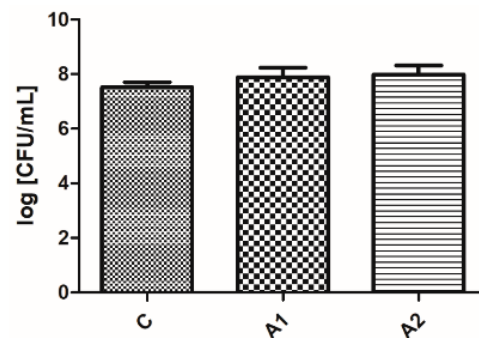


Figure 1. The logarithm of the number of colony-forming units (CFUs) on ENDO medium per mL. C—control group, A1 and A2—groups containing crude fibre concentrate.

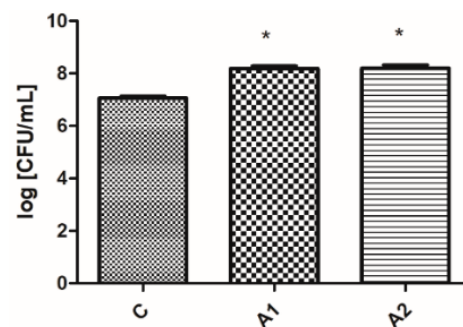


Figure 2. The logarithm of the number of colony-forming units (CFUs) on MRS medium per mL. * means that a column is significantly different at $p \leq 0.05$. C—control group, A1 and A2—groups containing crude fibre concentrate.

3.3. Results of the pH Measurements

Results Obtained from Measuring Faeces and Litter pH

The pH levels of both faeces and litter were lower ($p \leq 0.05$) in the experimental groups (refer to Figures 3 and 4).

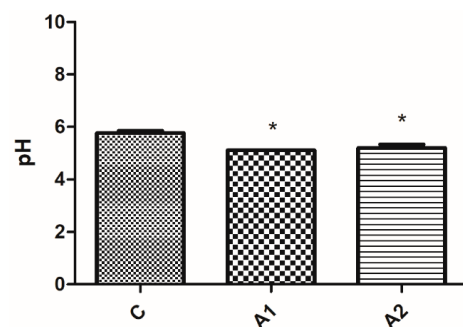


Figure 3. The pH values of the faeces from the birds from individual pens. * means that a column is significantly different at $p \leq 0.05$. C—control group, A1 and A2—groups containing crude fibre concentrate.

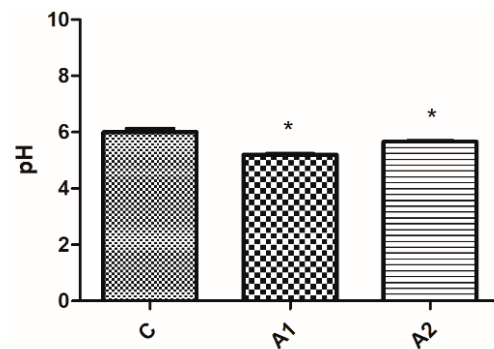


Figure 4. The pH values of the litter from individual pens. * means that a column is significantly different at $p \leq 0.05$. C—control group, A1 and A2—groups containing crude fibre concentrate.

For both the quantity of lactic acid bacteria colony-forming units and the pH of faeces and litter, there were no significant differences ($p \geq 0.05$) observed among the experimental groups (A1 and A2) depicted in Figures 2–4.

4. Discussion

4.1. Production Performance of Broiler Chickens

According to Abdollahi et al. [39], the FCR was higher for chicken broilers fed feed mixes containing 1% lignocellulose than the FCR of birds in the control group. In contrast, incorporating lignocellulose at 0.25% to 2% in the feed mixture for chicken broilers from week three to week six decreased the FCR for the experimental groups and increased the birds' body weight [40–42]. In other studies, it has been shown that incorporating a maximum of 0.75% lignocellulose in broiler feed results in reduced FCR and increased body weight gains [40,43,44]. As reported by Sozcu [45], using a processed lignocellulose additive at a rate of 1 kg per tonne of feed had a positive effect on the final body weight and FCR of chicken broilers. Studies available in the literature show that incorporating lignocellulose into chicken broiler feed at a concentration of 2% or less did not adversely impact the production performance of experimental groups [13,43,46,47]. The final production efficiency was also assessed in terms of the EEPEF and EBI [48]. The EPEF is used worldwide as one of the primary indicators of broiler growth performance [49–52]. In certain countries, EBI serves as an additional indicator to measure the growth performance of broilers and is calculated for flocks at different slaughter ages. It is important to note that the EBI score is always lower than the EPEF score because the average daily weight gain is used to calculate the average EBI [49]. Higher EPEF or EBI index values indicate a more favourable production profit [36,52,53]. In some countries, the EBI operates as an added gauge for determining the growth performance of broilers, calculated for flocks at varying slaughter ages. It is worth noting that the EBI score consistently indicates a lower value than the EPEF score due to the use of average daily weight gain in its computation.

4.2. Welfare Indicators of Broiler Chickens

Both hock burns and FPD are important indicators of welfare levels in broiler production [27,54]. These lesions can lead to pathways that allow pathogenic bacteria to enter the body [45,46]; as a result, there are production losses and carcass rejections at the processing plant. In severe cases, these lesions lead to ulceration and inflammation of the subcutaneous tissue, resulting in pain and reduced welfare [54,55]. The moisture content of the litter on which the birds are kept is one factor that influences the rate and severity of footpad inflammation and ankle joint scalds, the decline in locomotor ability, and the cleanliness of plumage. According to Martland [56], wet litter that had a moisture content of 71% caused more cases of contact dermatitis than litter that was drier (58% moisture content) [57]. Wu and Hocking [58] concluded from their study that litter moisture over 30% leads to footpad deterioration [57]. Incorporating lignin-cellulose crude fibre concentrate into the feed lowers the amount of water excreted in faeces and reduces litter humidity due to its

water-binding characteristics and ability to “release” water during reflux resorption. This reduction in litter moisture levels contributes positively to the welfare indicators of broiler chickens. According to a study by Professor Farran from the American University of Beirut, adding 0.8% crude fibre concentrate to the feed led to a 10% decrease in litter moisture and eliminated FPD in the experimental group [25]. Verification of footpad dermatitis conducted on the 33rd day of rearing revealed a notably reduced incidence of birds with FPD in the group whose feed was enriched with lignin–cellulose crude fibre concentrate [25]. Adding dietary fibre in the form of lignin–cellulose to chicken broiler feed reduced the incidence of FPD [59].

Feathers protect birds from cold, moisture, and skin infections. Therefore, if feathers become wet or soiled by litter, droppings, or dirt, they may lose their protective properties, which could have a significant impact on bird welfare [37].

4.3. Microbiological Analyses and pH Measurements

The investigation of the gut microbiome’s features commenced as early as the 1970s [60,61]. Maintaining a vital equilibrium between advantageous and harmful microbial populations in the gastrointestinal tract can be achieved by promoting the growth of a beneficial microbiome whilst simultaneously reducing the number of pathogenic microorganisms. This approach can result in an enhancement of production performance and an improvement in feed conversion efficiency [45,62].

According to Langenfeld [63], in hens the cecum is where vitamins are synthesised and water is absorbed. In addition, in this part of the digestive tract, the digestion of crude fibre carried out by bacterial enzymes takes place. The digestion of crude fibre is carried out by bacterial enzymes. The polysaccharide fraction of crude fibre under the influence of carbohydrate active enzymes produced by the probiotic microbiota undergoes a process of hydrolysis, resulting in the formation of monomers of carbohydrates [64]. The monomers formed are then used as a substrate in the course of lactic fermentation (carried out by LAB bacteria), resulting in the formation of lactic acid and bacteriocins (protein-structured metabolites characterised by active antimicrobial activity). As a direct result of the production and release of bacteriocins by *Lactobacillus* bacteria, the proliferation of pathogenic bacteria in the intestinal mucosa is inhibited [45,65], making it possible to reduce the size of their numbers in favour of increasing the abundance of probiotic microorganisms in caecal content. Increasing the amount of crude fibre in the diet significantly affects the differences in abundance of different microbial groups in the cecum. According to the available knowledge, it is known that the diet, specifically the proportion of crude fibre in it, modifies the total number of microorganisms [61,66,67]. Based on results from studies conducted to date, it has been shown that feed source and feed modifications can significantly affect the diversity of gut microbial populations, whereas birds fed identical mixed feeds had a strictly stabilised profile of the microbiota [61,68,69]. The increased abundance of *Helicobacter pullorum* and *Megamonas hypermegale* in broilers fed high crude fibre diets implies that these microorganisms play a key role in coordinating the degradation of polysaccharides responsible for the apparent increase in SCFA (Short-Chain Fatty Acids) concentrations [61,70]. An increase in the concentration of added crude fibre in the diet results in an increase in caecal SCFA concentrations. Levels of *Helicobacter pullorum* and *Megamonas hypermegale* are associated with diets that are responsible for higher SCFA production. In contrast, the abundance of the genus *Faecalibacterium* is negatively associated with SCFA production. One of the more interesting observations related to the reduced abundance of bacteria of the genus *Bacteroides* in chickens fed a feed with a low amount of added crude fibre. In addition, it was also shown that an increased amount of added crude fibre concentrate in the feed increased the abundance of *Escherichia coli* and the genus *Campylobacter* in chickens [61]. The state of current knowledge on the modification of the caecal microbiota is consistent with the results of our experiment, where we found that increasing the proportion of crude fibre altered the abundance of the microorganisms

we studied and this is related to the previously mentioned mode of fermentation of the polysaccharide fraction of crude fibre in the cecum.

Supplementing broiler feed with 0.25% to 0.6% lignocellulose resulted in a decrease in the population of *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens*. Additionally, it led to an increase in the numbers of lactic acid bacteria and *Bifidobacterium* spp. in the ileum and caecum of broiler chickens [42,44]. Similar results were published in a study by Bogusławska-Tryk et al. [13]. The study demonstrated that feed mixtures with 0.25%, 0.5% and 1% lignocellulose led to an increase in the number of *Lactobacillus* spp. in the ileum and the number of *Bifidobacterium* spp. in the ileum and caecum. Furthermore, in the groups receiving feed with 0.25% and 0.5% lignocellulose, the population of *Escherichia coli* and *Clostridium* spp. in the ileum and caecum was reduced [42]. With the inclusion of 0.1% processed lignocellulose in the feed, there was a reduction in the average population size of bacteria from the *Enterobacteriaceae* and *Staphylococcaceae* families alongside a corresponding increase in the population size of *Lactobacillus* spp., a genus responsible for lactic acid production, in the caecal region ($p \leq 0.05$) [45]. According to a study by Röhe et al. [43], as the proportion of lignocellulose in the feed increased, the presence of *Escherichia*, *Hafnia*, and *Shigella* in the cecum was reduced by up to 0.5 log₁₀. The reduction was observed in a dose-dependent manner, indicating a potential beneficial effect of lignocellulose. The decrease in pathogenic bacteria populations might stem from the antibacterial characteristics of lignins resulting from the compactness of several phenolic monomers and the abrasive impact of lignocellulose, which diminishes the ability of pathogenic bacteria to bind to the intestinal mucosa's surface [13,45,71]. Furthermore, lignin has advantageous properties in promoting *Lactobacillus* growth and reducing populations of pathogenic bacteria. According to Bogusławska-Tryk et al. [13], adding 0.5% lignocellulose to the feed substantially boosted lactic acid levels in both the ileum and caecum compared to the control group. According to the findings of the same study, the inclusion of lignocellulose in broiler chicken feed blends, regardless of quantity, resulted in elevated levels of formic acid, acetic acid, propionic acid, and lactic acid in the contents of the ileum and cecum's digestive systems, as well as butyric acid in the contents of the ileum. An increase in the concentrations of acetic and propionic acid in the digestive contents is desirable as per in vitro studies, which have determined that propionic acid, acetic acid, and formic acid possess toxic effects on certain pathogenic bacteria [13,72,73]. As reported by Van der Wielen et al. [73], there is a noteworthy, robust correlation between increased acetate concentration and decreased numbers of *Enterobacteriaceae* bacteria in the large intestine of broiler chickens [13].

5. Conclusions

Adding crude fibre concentrate to the diet of broiler chickens from the experimental groups positively reduced the incidence of welfare parameter disorders such as footpad dermatitis, gait abnormalities, hock burns and plumage cleanliness. Additionally, the inclusion of crude fibre concentrate in the broiler chickens' feed raised the amount of colony-forming units of selected probiotic microorganisms (from the LAB group) and lowered the pH of the faeces and litter. The addition of crude fibre concentrate led to a considerable augmentation in the ultimate body mass of the birds in both control and experimental groups. Moreover, it enhanced the values of critical parameters like EPEF and EBI.

According to the results obtained from the experiment, the use of a crude fibre concentrate additive is recommended as a positive factor influencing basic production parameters, welfare parameters and the number of probiotic microorganisms in the caecum of broiler chickens.

Author Contributions: Conceptualisation, J.U., S.J., M.M. and A.L.; methodology, J.U., S.J., M.M. and A.L.; software, A.L. and D.B.; validation, S.J., M.M. and A.L.; formal analysis, J.U., S.J., M.M., A.M. and A.L.; investigation, J.U., S.J., M.M., A.M., D.B. and A.L.; resources, J.U., S.J., M.M., A.M., D.B. and A.L.; data curation, J.U. and A.L.; writing—original draft preparation, J.U.; writing—review and editing, S.J., M.M., A.M., D.B. and A.L.; visualisation, J.U.; supervision, S.J. and M.M.; project administration, J.U., S.J., M.M. and A.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no special or external funding. The costs of manuscript publication were funded by the Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences—SGGW, Ciszewskiego 8 St., 02-786 Warsaw, Poland.

Institutional Review Board Statement: All procedures in the present study were performed in accordance with the principles of the European Union and Polish Law on Animal Protection. No action involving pain or suffering was practised. The study was carried out in compliance with the Animal Research: Reporting of in Vivo Experiments (ARRIVE) guidelines. All applicable institutional guidelines for the care and use of animals were followed. The experimental procedures carried out in this study were approved by the 2nd Local Ethical Committee for Animal Experiments at the Warsaw University of Life Sciences (Ciszewskiego Str. 8, 02-786 Warsaw, Poland). Ethical review and approval were waived for this study; as a result, the activities undertaken on the animals in the project are typical zootechnical activities, which do not fulfil the definition of a procedure (the animals will be maintained under standard environmental conditions and will not be subjected to any vital procedures). Considering the above, it must be considered that the planned research does not go beyond the standard husbandry and rearing of animals for agricultural operations. On this basis, the planned study design was considered not to require ethics committee approval for the experiment (1 September 2021, the 2nd Local Ethical Committee for Animal Experiments at the Warsaw University of Life Sciences).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: All data generated or analysed during the study are included in this published article. The datasets used and/or analysed in the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Acknowledgments: The manuscript is a part of the Ph.D. thesis of Jakub Urban.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Tejeda, O.J.; Kim, W.K. Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. *Animals* **2021**, *11*, 461. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Henneberg, W. Stohmann Über Das Erhaltungsfutter Volljährigen Rindviehs. *J. Für Landwirtsch.* **1859**, *3*, 485–551.
3. McDonald, J.C.; Whitesides, G.M. Poly(dimethylsiloxane) as a Material for Fabricating Microfluidic Devices. *Acc. Chem. Res.* **2002**, *35*, 491–499. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Dobos, Á.; Bársony, P.; Posta, J.; Babinszky, L. Effect of Feeds with Different Crude Fiber Content on the Performance of Meat Goose. *Acta Agrar. Debreceniensis* **2019**, *2*, 5–8. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Southgate, D.A.T. Dietary Fiber. Definition of Dietary Fibre. In *Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*; Spiller, G.A., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1986; Volume 16.
6. Ricke, S.; VAN DER Aar, P.; Fahey, G.; Berger, L. Influence of Dietary Fibers on Performance and Fermentation Characteristics of Gut Contents from Growing Chicks. *Poult. Sci.* **1982**, *61*, 1335–1343. [\[CrossRef\]](#)
7. Yu, B.; Tsai, C.-C.; Hsu, J.-C.; Chiou, P.-S. Effect of Different Sources of Dietary Fibre on Growth Performance, Intestinal Morphology and Caecal Carbohydrases of Domestic Geese. *Br. Poult. Sci.* **1998**, *39*, 560–567. [\[CrossRef\]](#)
8. Cao, B.H.; Zhang, X.P.; Guo, Y.M.; Karasawa, Y.; Kumao, T. Effects of Dietary Cellulose Levels on Growth, Nitrogen Utilization, Retention Time of Diets in Digestive Tract and Caecal Microflora of Chickens. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* **2003**, *16*, 863–866. [\[CrossRef\]](#)
9. Shakouri, M.D.; Kermanshahi, H.; Mohsenzadeh, M. Effect of Different non Starch Polysaccharides in Semi Purified Diets on Performance and Intestinal Microflora of Young Broiler Chickens. *Int. J. Poult. Sci.* **2006**, *5*, 557–561. [\[CrossRef\]](#)
10. Baurhoo, B.; Ruiz-Feria, C.; Zhao, X. Purified Lignin: Nutritional and Health Impacts on Farm Animals—A Review. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **2008**, *144*, 175–184. [\[CrossRef\]](#)
11. Baurhoo, B.; Phillip, L.; Ruiz-Feria, C.A. Effects of Purified Lignin and Mannan Oligosaccharides on Intestinal Integrity and Microbial Populations in the Ceca and Litter of Broiler Chickens. *Poult. Sci.* **2007**, *86*, 1070–1078. [\[CrossRef\]](#)

12. Faber, T.; Dilger, R.N.; Hopkins, A.; Price, N.; Fahey, G. Effects of Oligosaccharides in a Soybean Meal-Based Diet on Fermentative and Immune Responses in Broiler Chicks Challenged with *Eimeria acervulina*. *Poult. Sci.* **2012**, *91*, 3132–3140. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Bogusławska-Tryk, M.; Szymeczko, R.; Piotrowska, A.; Burlikowska, K.; Śliżewska, K. Ileal and Cecal Microbial Population and Short-Chain Fatty Acid Profile in Broiler Chickens Fed Diets Supplemented with Lignocellulose. *Pak. Vet. J.* **2015**, *35*, 212–216.
14. Hussein, S.M.; Frankel, T.L. Effect of Varying Proportions of Lignin and Cellulose Supplements on Immune Function and Lymphoid Organs of Layer Poultry (*Gallus gallus*). *J. Poult. Sci.* **2019**, *56*, 71–77. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Cao, B.H.; Karasawa, Y.; Guo, Y.M. Effects of Green Tea Polyphenols and Fructo-oligosaccharides in Semi-purified Diets on Broilers' Performance and Caecal Microflora and Their Metabolites. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* **2005**, *18*, 85–89. [\[CrossRef\]](#)
16. Saki, A.A.; Hemati Matin, H.R.; Tabatabai, M.M.; Zamani, P.; Naseri Harsini, R. Microflora Population, Intestinal Condition and Performance of Broilers in Response to Various Rates of Pectin and Cellulose in the Diet. *Eur. Poult. Sci.* **2010**, *74*, 183–188.
17. Alizadeh, M.; Shojadoost, B.; Boodhoo, N.; Astill, J.; Taha-Abdelaziz, K.; Hodgins, D.C.; Kulkarni, R.R.; Sharif, S. Necrotic enteritis in chickens: A Review of Pathogenesis, Immune Responses and Prevention, Focusing on Probiotics and Vaccination. *Anim. Health Res. Rev.* **2021**, *22*, 147–162. [\[CrossRef\]](#)
18. Kulkarni, R.R.; Gaghan, C.; Gorrell, K.; Sharif, S.; Taha-Abdelaziz, K. Probiotics as Alternatives to Antibiotics for the Prevention and Control of Necrotic Enteritis in Chickens. *Pathogens* **2022**, *11*, 692. [\[CrossRef\]](#)
19. Abed, A.H.; Radwan, S.A.; Orabi, A.; Abdelaziz, K.T. The Combined Effects of Probiotic CLOSTAT® and Aviboost® Supplement on Growth Performance, Intestinal Morphology, and Immune Response of Broiler Chickens. *Ger. J. Veter. Res.* **2023**, *3*, 7–18. [\[CrossRef\]](#)
20. Maslowski, K.M.; Mackay, C.R. Diet, Gut Microbiota and Immune Responses. *Nat. Immunol.* **2010**, *12*, 5–9. [\[CrossRef\]](#)
21. Shehata, A.A.; Attia, Y.; Khafaga, A.F.; Farooq, M.Z.; El-Seedi, H.R.; Eisenreich, W.; Tellez-Isaias, G. Restoring Healthy Gut Microbiome in Poultry Using Alternative Feed Additives with Particular Attention to Phyto-genic Substances: Challenges and Prospects. *Ger. J. Veter. Res.* **2022**, *2*, 32–42. [\[CrossRef\]](#)
22. Liu, Y.; Wang, W. Aflatoxin B1 Impairs Mitochondrial Functions, Activates ROS Generation, Induces Apoptosis and Involves Nrf2 Signal Pathway in Primary Broiler Hepatocytes. *Anim. Sci. J.* **2016**, *87*, 1490–1500. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Sekirov, I.; Russell, S.L.; Antunes, L.C.M.; Finlay, B.B. Gut Microbiota in Health and Disease. *Physiol. Rev.* **2010**, *90*, 859–904. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Tellez-Isaias, G.; Eisenreich, W.; Petrone-Garcia, V.M.; Hernandez-Velasco, X.; Castellanos-Huerta, C.-H.; Jr, G.T.; Latorre, J.D.; Bottje, W.G.; Senas-Cuesta, R.; Coles, M.E.; et al. Effects of chronic stress and intestinal inflammation on commercial poultry health and performance: A review. *Ger. J. Veter. Res.* **2023**, *3*, 38–57. [\[CrossRef\]](#)
25. Pietsch, M. The Impact of Crude Fibre Concentrate on Footpad Dermatitis in Broilers. *Int. Poult. Prod.* **2013**, *21*, 11–13.
26. Brink, M.; Janssens, G.P.; Delezie, E. How do Moisture Content, Friability, and Crust Development of Litter Influence Ammonia Concentrations in Broiler Production? *Livest. Sci.* **2022**, *265*, 105109. [\[CrossRef\]](#)
27. Shepherd, E.; Fairchild, B. Footpad Dermatitis in Poultry. *Poult. Sci.* **2010**, *89*, 2043–2051. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. Collett, S.R. Nutrition and Wet Litter Problems in Poultry. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **2012**, *173*, 65–75. [\[CrossRef\]](#)
29. de Jong, I.C.; Gunnink, H.; van Harn, J. Wet Litter not Only Induces Footpad Dermatitis but Also Reduces Overall Welfare, Technical Performance, and Carcass Yield in Broiler Chickens. *J. Appl. Poult. Res.* **2014**, *23*, 51–58. [\[CrossRef\]](#)
30. Sistani, K.; Brink, G.; McGowen, S.; Rowe, D.; Oldham, J. Characterization of Broiler Cake and Broiler Litter, the by-Products of two Management Practices. *Bioresour. Technol.* **2003**, *90*, 27–32. [\[CrossRef\]](#)
31. Lister, S.A. Effects of Litter Moisture on Performance, Health and Welfare. World Poultry Science Association (WPSA). In Proceedings of the 17th European Symposium on Poultry Nutrition, Edinburgh, UK, 23–27 August 2009; pp. 33–39.
32. Miles, D.M.; Brooks, J.P.; Sistani, K. Spatial Contrasts of Seasonal and Intraflock Broiler Litter Trace Gas Emissions, Physical and Chemical Properties. *J. Environ. Qual.* **2011**, *40*, 176–187. [\[CrossRef\]](#)
33. Farran, M.T.; Akilian, H.A.; Hamoud, A.M.; Barbour, G.W.; Saoud, I.P. Lignocellulose Improves Protein and Amino Acid Digestibility in Roosters and Egg Hatchability in Broiler Breeders. *J. Poult. Sci.* **2017**, *54*, 197–204. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
34. Bosse, A.; Beynen, A.; Schenkel, H.; Pietsch, M.; Mateos, G.G.; Gidenne, T. *Fiber in Animal Nutrition. A Practical Guide for Monogastrics*, 1st ed.; AGRIMEDIA ERLING Verlag GmbH & Co. KG: Clenze, Niedersachsen, Germany, 2016; p. 38.
35. Ross Management Guide; Aviagen Ross Management Guide; 2018. Available online: <http://www.rosspoultrybreeders.co.za/downloads/breeder/2018RossPSHandbook.pdf> (accessed on 30 May 2022).
36. Marcu, A.; Dumitrescu, G.; Vacaru-Opriș, I.; Ciochină, L.P.; Marcu, A.; Nicula, M.; Peț, I.; Dronca, D.; Kelciov, B.; Mariș, C. The Influence of Genetics on Economic Efficiency of Broiler Chickens Growth Dorel Dronca the Influence of Genetics on Economic Efficiency of Broiler Chickens Growth. *Anim. Sci. Biotechnol.* **2013**, *46*, 339–346.
37. Welfare Quality Assessment Protocol for Poultry; 2009. Available online: <https://edepot.wur.nl/233471> (accessed on 27 June 2022).
38. Kestin, S.; Knowles, T.; Tinch, A.; Gregory, N. Prevalence of Leg Weakness in Broiler Chickens and Its Relationship with Genotype. *Veter. Rec.* **1992**, *131*, 190–194. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
39. Abdollahi, M.R.; Zaefarian, F.; Hunt, H.; Anwar, M.N.; Thomas, D.G.; Ravindran, V. Wheat Particle Size, Insoluble Fibre Sources and Whole Wheat Feeding Influence Gizzard Musculature and Nutrient Utilisation to Different Extents in Broiler Chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2019**, *103*, 146–161. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

40. Sarikhan, M.; Shahryar, H.A.; Gholizadeh, B.; Hosseinzadeh, M.H.; Beheshti, B.; Mahmoodnejad, A. Effects of Insoluble Fiber on Growth Performance, Carcass Traits and Ileum Morphological Parameters on Broiler Chick Males. *Int. J. Agric. Biol.* **2010**, *12*, 531–536.
41. Rahmatnejad, E.; Saki, A.A. Effect of Dietary Fibres on Small Intestine Histomorphology and Lipid Metabolism in Young Broiler Chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **2015**, *100*, 665–672. [\[CrossRef\]](#)
42. Röhe, I.; Zentek, J. Lignocellulose as an Insoluble Fiber Source in Poultry Nutrition: A review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* **2021**, *12*, 82. [\[CrossRef\]](#)
43. Röhe, I.; Metzger, F.; Vahjen, W.; Brockmann, G.; Zentek, J. Effect of Feeding Different Levels of Lignocellulose on Performance, Nutrient Digestibility, Excreta Dry Matter, and Intestinal Microbiota in Slow Growing Broilers. *Poult. Sci.* **2020**, *99*, 5018–5026. [\[CrossRef\]](#)
44. Makivic, L.; Glisic, M.; Boskovic, M.; Djordjevic, J.; Markovic, R.; Baltic, M.; Sefer, D. Performances, Ileal and Cecal Microbial Populations and Histological Characteristics in Broilers Fed Diets Supplemented with Lignocellulose. *Kafkas Univ. Veter. Fak. Derg.* **2018**, *25*, 83–91. [\[CrossRef\]](#)
45. Sozcu, A. Growth performance, pH Value of Gizzard, Hepatic Enzyme Activity, Immunologic Indicators, Intestinal Histomorphology, and Cecal Microflora of Broilers Fed Diets Supplemented with Processed Lignocellulose. *Poult. Sci.* **2019**, *98*, 6880–6887. [\[CrossRef\]](#)
46. Kheravii, S.K.; Swick, R.A.; Choct, M.; Wu, S.-B. Coarse Particle Inclusion and Lignocellulose-Rich Fiber Addition in Feed Benefit Performance and Health of Broiler Chickens. *Poult. Sci.* **2017**, *96*, 3272–3281. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
47. Zeitz, J.; Neufeld, K.; Potthast, C.; Kroismayr, A.; Most, E.; Eder, K. Effects of dietary supplementation of the lignocelluloses FibreCell and OptiCell on performance, expression of inflammation-related genes and the gut microbiome of broilers. *Poult. Sci.* **2019**, *98*, 287–297. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
48. Bhamare, K.S.; Dildeep, V.; Senthil, M.S.; Chavan, S.J. Nutritive Evaluation of Cashew Apple Waste in Broilers. *Int. J. Nat. Sci.* **2016**, *7*, 629–632.
49. Van, I. *Growth and Broilers Industrialization*, 1st ed.; Ceres: Bucharest, Romania, 2003; pp. 235–236.
50. Aviagen Ross 308/Ross 308 FF Broiler Performance Objectives. 2019. Available online: <http://sorooshe-roshd.com/wp-content/uploads/pdf/Ross308-308FF-BroilerPO2019-EN.pdf> (accessed on 18 August 2023).
51. Ray, S.M.; Banik, A.; Bhagat, G. Effects of Proprietary Hepatoprotective Additives (Cadliv™ liq.) Supplementation on the Growth Performance and Hepatic Histological Architecture of Commercial Broiler Chickens. *Int. J. Poult. Sci.* **2020**, *19*, 338–345. [\[CrossRef\]](#)
52. Janjić, J.; Savić, K.; Marković, R.; Šefer, D.; Nedić, D.; Đurić, S.; Vojnović, B.; Mirilović, M. Influence of Phytobiotics in Feed on the Cost-Effectiveness of Broiler Production During Fattening. *Meat Technol.* **2022**, *63*, 51–58. [\[CrossRef\]](#)
53. Lukic, M.; Petricevic, V.; Skrbic, Z.; Delic, N.; Tolimir, N.; Doskovic, V.; Rakonjac, S. Genotype and Breeder Flock Age Impact On Broiler Performance in Suboptimal Conditions. *Biotechnol. Stoc.* **2020**, *36*, 447–462. [\[CrossRef\]](#)
54. Jacob, F.; Baracho; Nääs, I.; Lima, N.; Salgado, D.; Souza, R. Risk of Incidence of Hock Burn and Pododermatitis in Broilers Reared under Commercial Conditions. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* **2016**, *18*, 357–362. [\[CrossRef\]](#)
55. Bassler, A.W.; Arnould, C.; Butterworth, A.; Colin, L.; de Jong, I.C.; Ferrante, V.; Ferrari, P.; Haslam, S.; Wemelsfelder, F.; Blokhuis, H.J. Potential Risk Factors Associated with Contact Dermatitis, Lameness, Negative Emotional State, and Fear of Humans in Broiler Chicken Flocks. *Poult. Sci.* **2013**, *92*, 2811–2826. [\[CrossRef\]](#)
56. Martland, M. Ulcerative Dermatitis Dm Broiler Chickens: The Effects of Wet Litter. *Avian Pathol.* **1985**, *14*, 353–364. [\[CrossRef\]](#)
57. Kaukonen, E.; Norring, M.; Valros, A. Effect of Litter Quality on Foot Pad Dermatitis, Hock Burns and Breast Blisters in Broiler Breeders during the Production Period. *Avian Pathol.* **2016**, *45*, 667–673. [\[CrossRef\]](#)
58. Wu, K.; Hocking, P.M. Turkeys are Equally Susceptible to Foot Pad Dermatitis from 1 to 10 Weeks of Age and Foot Pad Scores were Minimized when Litter Moisture was Less than 30%. *Poult. Sci.* **2011**, *90*, 1170–1178. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
59. Liebl, M.; Gierus, M.; Potthast, C.; Schedle, K. Influence of Insoluble Dietary Fibre on Expression of Pro-Inflammatory Marker Genes in Caecum, Ileal Morphology, Performance, and Foot Pad Dermatitis in Broiler. *Animals* **2022**, *12*, 2069. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
60. Barnes, E.M. The Intestinal Microflora of Poultry and Game Birds During Life and After Storage. *J. Appl. Bacteriol.* **1979**, *46*, 407–419. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
61. Walugembe, M.; Hsieh, J.C.F.; Koszewski, N.J.; Lamont, S.J.; Persia, M.E.; Rothschild, M.F. Effects of Dietary Fiber on Cecal Short-Chain Fatty Acid and Cecal Microbiota of Broiler and Laying-Hen Chicks. *Poult. Sci.* **2015**, *94*, 2351–2359. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
62. Stanley, D.; Denman, S.E.; Hughes, R.J.; Geier, M.S.; Crowley, T.M.; Chen, H.; Haring, V.R.; Moore, R.J. Intestinal Microbiota Associated with Differential Feed Conversion Efficiency in Chickens. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2012**, *96*, 1361–1369. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
63. Langenfeld, M. *Anatomia Kury*, 1st ed.; Wydawnictwo Naukowe PWN: Kraków, Poland, 1992; p. 110.
64. Tabernero, M.; de Cedron, M.G. Microbial Metabolites Derived from Colonic Fermentation of Non-Digestible Compounds. *Curr. Opin. Food Sci.* **2017**, *13*, 91–96. [\[CrossRef\]](#)
65. O'Shea, E.F.; Cotter, P.D.; Stanton, C.; Ross, R.P.; Hill, C. Production of Bioactive Substances by Intestinal Bacteria as a Basis for Explaining Probiotic Mechanisms: Bacteriocins and Conjugated Linoleic Acid. *Int. J. Food Microbiol.* **2012**, *152*, 189–205. [\[CrossRef\]](#)

66. Lan, Y.; Williams, B.A.; Tamminga, S.; Boer, H.; Akkermans, A.; Erdi, G.; Verstegen, M.W.A. In Vitro Fermentation Kinetics of Some Non-Digestible Carbohydrates by the Caecal Microbial Community of Broilers. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **2005**, *123*–124, 687–702. [[CrossRef](#)]
67. Apajalahti, J.H.A.; Särkilahti, L.K.; Mäki, B.R.E.; Heikkinen, J.P.; Nurminen, P.H.; Holben, W.E. Effective Recovery of Bacterial DNA and Percent-Guanine-Plus-Cytosine-Based Analysis of Community Structure in the Gastrointestinal Tract of Broiler Chickens. *Appl. Environ. Microbiol.* **1998**, *64*, 4084–4088. [[CrossRef](#)]
68. Apajalahti, J.H.A.; Kettunen, A.; Bedford, M.R.; Holben, W.E. Percent G+C Profiling Accurately Reveals Diet-Related Differences in the Gastrointestinal Microbial Community of Broiler Chickens. *Appl. Environ. Microbiol.* **2001**, *67*, 5656–5667. [[CrossRef](#)]
69. Hume, M.; Kubena, L.; Edrington, T.; Donskey, C.; Moore, R.; Ricke, S.; Nisbet, D. Poultry Digestive Microflora Biodiversity as Indicated by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis. *Poult. Sci.* **2003**, *82*, 1100–1107. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
70. Sergeant, M.J.; Constantinidou, C.; Cogan, T.A.; Bedford, M.R.; Penn, C.W.; Pallen, M.J. Extensive Microbial and Functional Diversity within the Chicken Cecal Microbiome. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e91941. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
71. Jiménez-Moreno, E.; Romero, C.; Berrocso, J.D.; Frikha, M.; Mateos, G.G. Effects of the Inclusion of Oat Hulls or Sugar Beet Pulp in the Diet on Gizzard Characteristics, Apparent Ileal Digestibility of Nutrients, and Microbial Count in the Ceca in 36- Day-Old Broilers Reared on Floor. *Abstr. Poult. Sci.* **2011**, *90*, 135.
72. Cherrington, C.A.; Hinton, M.; Chopra, I. Effect of Short-Chain Organic Acids on Macromolecular Synthesis in *Escherichia coli*. *J. Appl. Bacteriol.* **1990**, *68*, 69–74. [[CrossRef](#)]
73. van der Wielen, P.W.J.J.; Biesterveld, S.; Notermans, S.; Hofstra, H.; Urlings, B.A.P.; van Knapen, F. Role of Volatile Fatty Acids in Development of the Cecal Microflora in Broiler Chickens during Growth. *Appl. Environ. Microbiol.* **2000**, *66*, 2536–2540. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Jakub Urban
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
jakub_urban@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Główniej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

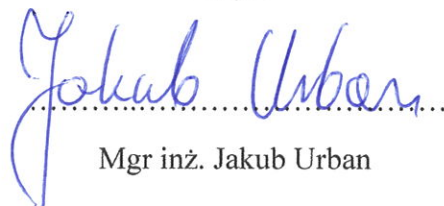
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Sławomir Jaworski, Agata Lange, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Monika Michalczyk. 2023. Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14, 3883. DOI:10.3390/ani13243883

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji i metodologii doświadczenia, prowadzeniu nadzoru nad wykonywanymi analizami, zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych, przygotowaniu i krytycznej weryfikacji artykułu oraz odpowiedzi na przesłane recenzje.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 70%.

Podpis



Mgr inż. Jakub Urban

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr hab. Sławomir Jaworski, prof. SGGW
Katedra Nanobiotechnologii
Instytut Biologii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
slawomir_jaworski@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Sławomir Jaworski, Agata Lange, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Monika Michalczuk. 2023. Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14, 3883. DOI:10.3390/ani13243883

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji i metodologii doświadczenia, prowadzeniu nadzoru nad wykonywanymi analizami, zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 8%.

Podpis

.....Jaworski.....

Dr hab. Sławomir Jaworski, prof. SGGW

Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Agata Lange
Katedra Nanobiotechnologii
Instytut Biologii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
agata_lange1@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Sławomir Jaworski, Agata Lange, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Monika Michalczuk. 2023. Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14, 3883. DOI:10.3390/ani13243883

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji i metodologii doświadczenia, zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 6%.

Podpis

..Agata Lange..

Mgr inż. Agata Lange

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr inż. Damian Bień
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
damian_bien@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Sławomir Jaworski, Agata Lange, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Monika Michalczuk. 2023. Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14, 3883. DOI:10.3390/ani13243883

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 4%.

Podpis



Dr inż. Damian Bień

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr inż. Arkadiuszu Matuszewski
Katedra Biologii Środowiska Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
arkadiusz_matuszewski@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Sławomir Jaworski, Agata Lange, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Monika Michalczuk. 2023. Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals*, 13 (24), 1-14, 3883. DOI:10.3390/ani13243883

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz formalnej ocenie i krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 4%.

Podpis



Dr inż. Arkadiusz Matuszewski



Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens

Jakub Urban^{1,*}, Monika Michalczyk^{1,*}, Martyna Batorska¹, Agata Marzec²,
Adriana Jaroszek³, and Damian Bień¹

* Corresponding Authors:

Jakub Urban

Tel: +48-530282272,

E-mail: jakub_urban@sggw.edu.pl

Monika Michalczyk

Tel: +48-502815599,

E-mail: monika_michalczyk@sggw.edu.pl

¹ Department of Animal Breeding, Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, 02-786, Poland

² Department of Food Engineering and Process Management, Institute of Food Science, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw, 02-776, Poland

³ RETTENMAIER Polska Sp.z o.o, Warsaw, 02-366, Poland

ORCID

Jakub Urban

<https://orcid.org/0000-0003-1686-894X>

Monika Michalczyk

<https://orcid.org/0000-0002-8093-2822>

Martyna Batorska

<https://orcid.org/0000-0002-9801-3197>

Agata Marzec

<https://orcid.org/0000-0003-2912-8748>

Adriana Jaroszek

<https://orcid.org/0009-0002-4963-0444>

Damian Bień

<https://orcid.org/0000-0002-7236-0203>

Submitted Jun 14, 2023; Revised Jul 30, 2023;

Accepted Sept 18, 2023

Objective: The aim of the study was to evaluate the physicochemical properties (nutrient composition, pH, water content and activity, sorption properties) and mechanical properties (compression force and energy) of granulated feed mixtures with various inclusion levels of crude fibre concentrates ARBOCEL and VITACEL for broiler chickens, i.e. +0.0% (control group - group C), +0.3%, +0.8%, +1.0%, +1.2%.

Methods: The feed mixtures were analyzed for their physicochemical properties (nutrient composition by near-infrared spectroscopy, pH with the use a CP-401 pH meter with an IJ-44C glass electrode, water content was determined with the drying method and activity was determined with the Aqua Lab Series 3, sorption properties was determined with the static method) and mechanical properties (compression force and energy with the use TA-HD plus texture analyzer). The Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) model applied in the study correctly described the sorption properties of the analyzed feed mixtures in terms of water activity.

Results: The fibre concentrate type affected the specific surface area of the adsorbent and equilibrium water content in the GAB monolayer ($p \leq 0.05$) (significantly statistical). The type and dose of the fibre concentrate influenced the dimensionless C and k parameters of the GAB model related to the properties of the monolayer and multilayers, respectively ($p \leq 0.05$). They also affected the pH value of the analyzed feed mixtures ($p \leq 0.05$). In addition, crude fibre type influenced water activity ($p \leq 0.05$) as well as compression energy (J) and compression force (N) ($p \leq 0.001$) (highly significantly statistical) of the feed mixtures.

Conclusion: The physicochemical analyses of feed mixtures with various inclusion levels (0.3%, 0.8%, 1.0%, 1.2%) of crude fiber concentrates ARBOCEL or VITACEL demonstrated that both crude fiber types may be used in the feed industry as a feedstuff material to produce starter type mixtures for broiler chickens.

Keywords: ARBOCEL; Crude Fibre; Physicochemical Property; VITACEL

INTRODUCTION

Poultry meat production is mainly based on highly-selected hybrids of chicken broilers reared in the intensive production system [1]. From 1957 to 2005, the growth rate of the chicken broiler increased by more than 400% [2,3]. It is assumed that 85% to 90% of the factors responsible for this is genetic selection, the remainder being attributed to diet [3,4]. The genetic advance in broiler production has contributed to the thinning of intestinal mucosa, consequently increasing the risk of development of enteral diseases caused by gut microbiome impairment (*Salmonella*, *Pasteurellosis*, *Colibacteriosis*, *Newcastle disease*). Avian enteral diseases are the underlying causes of economic losses in intensive poultry

production [5,6]. Upsetting the homeostasis of the commensal microbiota, triggered by modifications in feed mixture composition, may lead to disorders in the structure and functions of gastrointestinal tract mucosa, inducing diarrhea and deteriorating broiler productivity [6,7]. Dietary fibre (DF) is an important element of poultry diets. Its application prolongs digesta passage through the upper part of the gastrointestinal tract (GIT) [8] and increases hydrochloric acid (HCl) production [6,9]. In addition, low pH found in this GIT section improves the solubility and absorption of mineral salts [6,10]. Dietary fibre (DF) was defined for the first time in 1953 by Ebeney Hipsley as a term describing non-digestible constituents of the plant cell wall. DF is composed of non-starch polysaccharides (NSP), oligosaccharides and lignin, that are digested and hydrolyzed by enzymes. It can be classified as soluble or insoluble in water [11]. Soluble and insoluble fibres serve various functions during digestion and absorption in the gastrointestinal tract. Broiler chickens fed a compound feed with 3% wheat bran addition (a source of crude fibre) showed an increased relative mass of gizzard and small intestine. Enhanced activities of pancreatic amylase and trypsin have been shown to improve digestibility of feed mixture nutrients [12]. The carbohydrate fraction, including the non-digestible crude fibre, is the key component of a feed mixture, regulating the activity of intestinal microflora in broilers [13,14]. The impact of crude fibre on bacterial populations varies depending on its type. The application dried distilled grains with solubles (DDGS) and wheat grain, as crude fibre sources, in doses of 6% in the starter type diet and 8% in the grower type diet for broiler chickens increased populations of *Selenomonadales*, *Enterobacteriales*, and *Campylobacteriales* group bacteria [15]. In turn, 0.5% and 1.0% dietary inclusion of inulin led to an increase in the population of *Bifidobacterium* genus bacteria and a decrease in the population of *Escherichia coli* in colonic digesta [16]. It is believed that to a large extent the positive effects of DF on the body are due to its specific physicochemical properties. The physicochemical properties of crude fibre depend on the type of fibre fraction that builds it [17,18] and affect bulk density, water absorption, fermentability, pH and viscosity of digestive contents, gastrointestinal passage rate of digestive contents, short-chain fatty acid production, and microflora status [18,19]. According to Mateos et al [19], a process that enhances the positive effects of crude fibre on production performance and physiological processes in the bird body is

lignification. The resulting lignocellulose is a product composed of carbohydrates (cellulose, hemicellulose) and aromatic polymers (lignin). The physical properties and exact composition of the various lignocellulose fractions depend on the source of the fibre. In this study, two types of crude fibre concentrate additives ARBOCEL and VITACEL were used. The ARBOCEL crude fibre concentrate has a water content of 7.7% and a very high swelling power (800%). It contains: crude fibre (65.3%), non-protein nitrogen compounds (25.1%), total protein (1.0%), crude fat (0.3%), and crude ash (0.5%) (J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH + Co KG). Its recommended dose in feed mixtures for poultry is not higher than 0.8% [21]. ARBOCEL is produced from fresh spruce (*Picea*) trees and differs substantially from traditional dietary fibre sources because it does not bind such nutrients as: crude protein, crude fat, micro- and macroelements, found in a feed mixture. It stimulates the work of intestinal villi, enhances the enzymatic activity of the gastrointestinal tract, is mycotoxin-free, and does not contain soluble fibres [22]. In turn, VITACEL crude fibre concentrate includes functional, nutritive plant fibre and dietary fibres, produced from top-quality raw fruit, vegetable, and cereal materials (J. RETTENMAIER & SÖHNE GmbH + Co KG). This study aimed to analyze the physicochemical parameters of feed mixtures for broiler chickens supplemented with crude fibre concentrates: ARBOCEL and VITACEL.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The experimental material was a starter type feed mixture (administered since day 1 till day 10 of broiler life) having the following composition: wheat, maize, soybean meal (SBM GMO), oils, monocalcium phosphate, chalk, salt, and calcium carbonate. All groups of feed mixtures were produced using the same technology (76°C, temperature of the granulation process; 2 mm, matrix mesh diameter). Necessary amounts of homogenous feed mixture samples were collected from four different sites of the bag, for each of the performed analyses. In each analysis used a different number of samples from each of the feed groups. The control feed mixture (C) was produced without crude fibre addition, whereas the other feed mixtures (n = 8) were supplemented with crude fibre concentrates: ARBOCEL and VITACEL, according to the scheme presented in Table 1.

Table 1. Experimental scheme - addition of crude fibre concentrates to starter mixtures for broiler chickens

Additive	Groups								
	C	A0.3	A0.8	A1.0	A1.2	V0.3	V0.8	V1.0	V1.2
ARBOCEL (%)	-	0.3	0.8	1.0	1.2	-	-	-	-
VITACEL (%)	-	-	-	-	-	0.3	0.8	1.0	1.2

Determination of the proximate chemical composition

Contents of crude protein, crude fat, crude fibre, neutral detergent fiber, and crude ash in the feed mixtures were determined with the near-infrared spectroscopy (NIRS) using a NIR Flex N-500 apparatus (Buchi, Flawil, Switzerland). Determinations were made in 3 replications for each feed mixture sample in a group, after disintegration in an impact mill.

pH measurement

pH is effectively a measure of the concentration of hydrogen ions in a substance. For pH measurements, 1 g of feed mixture was weighed, added to 9 mL of distilled water, thoroughly mixed [23], and left for 15 min. Then, its pH value was measured using a CP-401 pH meter with an IJ-44C glass electrode (Elmetron, Zabrze, Poland) at $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. The pH-meter was calibrated in buffers of pH 4.00, pH 7.00 and pH 9.00 at $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. The measurements were made for each feed mixture sample in a group, in 6 replications.

Determination of water content and water activity

Water content or moisture content is the measurement of the total amount of water contained in the examined product. The water content of the feed mixture samples was determined with the drying method (at 105°C for 3 h), in 2 replications. Water activity is a measure of the availability of water required for biological reactions. It determines the ability of microorganisms to grow. Water activity was determined in 2 replications using the AquaLab Series 3 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA) at $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Measurements included initial water activity (a_w) and water activity after 3 months, and were conducted under controlled conditions in desiccators at various relative air humidity.

Determination of water vapor sorption isotherms

The isotherms of water vapor adsorption were determined with the static method based on the measurements of the equilibrium humidity between the analyzed feed mixture samples and the atmosphere with a specific relative humidity [24]. The relative humidity of the atmosphere was controlled using the following saturated salt solutions: LiCl (0.113), CH_3COOK (0.225), MgCl_2 (0.328), K_2CO_3 (0.423), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (0.530), NaNO_2 (0.628), NaCl (0.754), and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (0.810) as well as dry anhydrous CaCl_2 (0.0). Feed mixture samples were pre-dried in a vacuum dryer at a temperature of 40°C for 48 h. Ca. 1 g of thus prepared material was weighed exact to ± 0.00001 g using a Metler AG scale, placed in desiccators containing saturated salt solutions, and stored at a temperature of $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ for 3 months. Thymol was placed in desiccators with a relative environment humidity exceeding 0.754 to protect the samples from microflora development. After 3 months, the samples were weighed and their equilibrium water

content was computed using formula (1) [25]:

$$u = \left[\frac{d}{c} - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$

where: u , equilibrium water content (g water/100 g dry matter [DM]); a , initial mass of the sample from the desiccator with CaCl_2 (g); b , final mass of the sample, after 3-month storage in the desiccator with CaCl_2 ; c , initial mass of the sample from the desiccator with a specific solution (g); d , final mass of the sample, after 3-month storage in the desiccator with a specified solution (g).

Water vapor adsorption isotherms were described using the Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) equation [26] according to formula (2):

$$u = \frac{u_m \times C \times k \times a_w}{(1 - k a_w)[1 + (C - 1)k a_w]} \quad (2)$$

where: a_w , water activity; u , equilibrium water activity (g water/100 g DM); u_m , monolayer moisture content (g water/100 g DM); C and k , GAB model parameters related respectively to the properties of the monolayer and multilayers, dimensionless.

Isotherm approximation was performed based on all measurement points (2 replications). Table Curve 2D software (Jandel Scientific, San Rafael, CA, USA) was deployed to fit the tested GAB model to empirical data.

The goodness of fit of the GAB model to empirical data was evaluated based on the coefficient of determination (R^2) and root mean square (RMS) error expressed in % [24]:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (\frac{u_e - u_p}{u_e})^2}{N}} \times 100\% \quad (3)$$

where: u_e , experimental equilibrium water content (g water/100 g DM); u_p , experimentally-determined water content (g water/100 g DM); N , number of samples.

The specific surface area of feed mixture granules was computed using formula (4) [24]:

$$S = (u_m \times N_o \times \sigma_o) / M \quad (4)$$

where: S , specific surface area of the adsorbent ($\text{m}^2/\text{g DM}$); u_m , equilibrium water content in the GAB monolayer (g of water/100 g DM); N_o , Avogadro's constant (6.023×10^{23} molecules/mol); σ_o , specific surface area of a water molecule ($10.6/10^{20}$ $\text{m}^2/\text{molecule}$); M , molecular weight of water (18 g/mol).

Measurements of mechanical properties

Mechanical properties, i.e., compression force (N) and compression energy (J) necessary to compress feed mixture granules, were measured using a TA-HD plusC texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, UK). Compression tests of single granules were performed using a probe (20 mm in diameter) at the speed of 2 mm/s. Measurements were carried out in 10 replications.

Statistical analysis

The statistical analysis of study results was conducted using Statistica 13.1 software. Two-way analysis of variance was deployed to evaluate the impact of crude fibre type (ARBOCEL or VITACEL), crude fibre content, and crude fibre type × content interaction on feed mixture properties. Mean values of the parameters determined in 9 groups of feed mixtures were compared using the Duncan test at a significance level of $p \leq 0.05$. The coefficient of Pearson correlation between crude fibre content, compression force and compression energy of feed mixture granules was computed as well.

RESULTS

Analysis of the chemical composition of feed mixtures from the analyzed groups

Table 2 presents contents of crude protein, crude fibre, and selected amino acids in the analyzed feed mixtures. The highest total protein content was determined in the feed mixture group C, and the lowest one - in the V1.2 group. The mean crude protein content was at 18.85% in the groups of feed mixtures with the addition of crude fibre concentrate ARBOCEL and 18.97% in those supplemented with VITACEL concentrate. The highest crude fibre content was determined in the feed mixture from group A1.2, and the lowest one - in that from group V0.8. The mean total protein content was at 5.71% in the feed mixture groups with crude fibre concentrate ARBOCEL and 4.33% in those supplemented with VITACEL concentrate. The highest lysine content was found

in the feed mixtures from A1.0 group (0.75%), and the lowest one in these from V1.0 group. The mean lysine content reached 0.69% in the feed mixtures from the ARBOCEL group and 0.66% in those from the VITACEL group. The highest and lowest methionine contents were determined for group V0.3 and group V1.2 feed mixtures, respectively. The mean methionine content reached 0.48% in the feed mixture samples from the groups with ARBOCEL and 0.47% in those with VITACEL 0.47%. The highest tryptophan content was assayed in feed mixture groups A1.2 and C, and the lowest one in group V1. Its mean content was at 0.13% in groups of feed mixtures supplemented with ARBOCEL and 0.11% in those supplemented with VITACEL. The scope of analyses included also determinations of percentage contents of the following amino acids: threonine, arginine, valine, isoleucine, and leucine (Table 2). The highest and lowest threonine contents were determined in feed mixtures from group C and group V1.2), respectively. The mean threonine content was found at 0.49% in the groups of feed mixtures with ARBOCEL and 0.42% in those with VITACEL. The highest and lowest arginine contents were determined in feed mixtures from group C and group A0.8, respectively. Its mean content was found at 0.80% in the groups of feed mixtures with ARBOCEL and 0.82% in those with VITACEL. The highest content of valine was determined in feed mixtures from group C and the lowest one in those from group V1. Its mean content was at 0.63% in groups of feed mixtures supplemented with ARBOCEL and 0.55% in those supplemented with VITACEL. The highest content of isoleucine was determined in feed mixtures from group C and the lowest one in those from group A0.8. Its mean content was at 0.61% in groups of feed mixtures supplemented with ARBOCEL and 0.64% in those supplemented with VITACEL. The highest and lowest percentage contents of leucine were determined in feed mixtures from group A1.2 and V1, respectively. Its mean content reached 0.99% in groups of feed mixtures supplemented with ARBOCEL and 0.86% in those supplemented with VITACEL.

Table 2. Content (%) of crude protein, crude fibre, lysine, methionine, tryptophan, threonine, arginine, valine, isoleucine and leucine in the forage groups studied

Group	CP (%)	CF (%)	Lys (%)	Met (%)	Trp (%)	Thr (%)	Arg (%)	Val (%)	Ile (%)	Leu (%)
C	22.97	5.21	0.73	0.55	0.15	0.56	1.05	0.69	0.70	0.96
A0.3	20.20	4.89	0.68	0.48	0.13	0.49	0.90	0.63	0.65	0.96
A0.8	17.33	5.55	0.59	0.44	0.11	0.41	0.70	0.56	0.53	0.89
A1.0	18.99	5.99	0.75	0.49	0.14	0.52	0.81	0.67	0.62	1.02
A1.2	18.89	6.42	0.73	0.49	0.15	0.53	0.77	0.66	0.62	1.07
V0.3	21.19	4.45	0.67	0.50	0.13	0.49	0.97	0.61	0.66	0.89
V0.8	19.25	3.77	0.69	0.47	0.12	0.42	0.84	0.57	0.65	0.88
V1.0	18.25	3.87	0.56	0.46	0.08	0.39	0.73	0.46	0.60	0.80
V1.2	17.18	5.23	0.73	0.43	0.12	0.38	0.75	0.55	0.66	0.85

CP, crude protein; CF, crude fibre; Lys, lysine; Met, methionine; Trp, tryptophan; Thr, threonine; Arg, arginine; Val, valine; Ile, isoleucine; Leu, leucine.

Analysis of pH, water content and water activity of feed mixtures from the analyzed groups

The highest mean pH was measured in the feed mixtures from group V1.2, and the lowest one in those from group A1.0. None of the feed mixtures from any group reached pH = 7, meaning none of them had neutral pH. The study results demonstrated interactions between crude fibre type and content in the feed mixtures. The addition of VITACEL crude fibre concentrate to feed mixtures at levels of 0.8% to 1.2% affected their pH ($p \leq 0.05$), compared to the control group and group V0.3 (Table 3).

In turn, the water content of the feed mixtures was found to depend on crude fibre type but not on its inclusion level (Table 3). The feed mixtures with ARBOCEL had a higher water content than those supplemented with VITACEL.

Crude fibre type and content were shown to significantly affect water activity (Table 3). The feed mixtures supplemented with ARBOCEL concentrate exhibited a significantly higher water activity compared to the feed mixtures with VITACEL. The highest and lowest water activity was determined in the feed mixtures A1.0 and V0.8, (Table 3). Interactions ($p \leq 0.001$) were found between crude fibre type and content. In the case of ARBOCEL concentrate, increasing its content in the feed mixture to 1.0% caused a significant increase in water activity and its significant decrease in group A1.2. Feed mixture supplementation with 0.8%, 1.0%, and 1.2% of VITACEL caused the water activity to significantly increase compared to group C and group V0.3.

Analysis of mechanical properties of feed mixtures from the analyzed groups

Table 3 presents results from measurements of force (N) and energy (J) needed to compress feed mixture granules. Granules

of the feed mixtures from V1.2 group required the highest compression force and energy. In contrast, the lowest values of these parameters were measured in the case of control feed mixture granules. Crude fibre content of feed mixtures had no effect on their mechanical properties. In turn, crude fibre type affected both the compression force and energy; the VITACEL concentrate made the granules more resistant to compression than ARBOCEL.

Analysis of sorption properties of feed mixtures from the analyzed groups

After 3-month storage, feed mixtures from all analyzed groups reached a similar water activity (Table 4). In the environment with water activity of $a_w = 0$, the water activity of 0.131 to 0.136 reached by the feed mixtures points to their strong water binding. This water was not removed during drying, and its volume depends on the contents of hydrophilic polymers, protein, and polysaccharides. No differences were observed in the water activity between the feed mixtures supplemented with ARBOCEL and VITACEL fibre concentrates as well as between the feed mixtures with fibre addition and the control feed mixtures. All feed mixtures showed similar water adsorption, and crude fibre content increase did not increase it. The feed mixtures from all groups failed to reach the equilibrium state with the environment. In the environment with water activity of $a_w = 0.44$ and higher, the water activity of the feed mixtures from all analyzed groups was lower than that of the surrounding environment (Table 4).

Water vapor adsorption isotherms of the feed mixtures without and with various inclusion levels of ARBOCEL and VITACEL fibre concentrates are presented in Figure 1(a) and 1(b). The shape of all isotherms is typical of materials containing protein and starch. According to the Brunauer

Table 3. Physico-chemical and mechanical parameters of the feed with different additions of ARBOCEL or VITACEL fibre

Item	pH	Water content (%)	Water activity (a_w)	Force (N)	Compression energy (J)
Group					
C	6.05 ^{ab} ± 0.02	8.28 ^a ± 0.06	0.427 ^b ± 0.002	51.37 ^a ± 11.23	6.54 ^a ± 0.38
A0.3	6.04 ^a ± 0.01	9.27 ^{bc} ± 0.58	0.453 ^c ± 0.010	59.23 ^{ab} ± 9.74	8.12 ^{abc} ± 1.55
A0.8	6.13 ^{ab} ± 0.01	9.35 ^c ± 0.02	0.484 ^d ± 0.004	64.92 ^{bc} ± 9.35	9.10 ^{bcd} ± 2.09
A1.0	6.00 ^a ± 0.01	8.66 ^{ab} ± 0.02	0.487 ^d ± 0.003	63.38 ^{bc} ± 8.13	8.66 ^{abcd} ± 2.33
A1.2	6.07 ^{ab} ± 0.04	8.36 ^a ± 0.33	0.427 ^b ± 0.017	75.28 ^{cd} ± 8.29	10.76 ^{de} ± 1.99
V0.3	6.02 ^a ± 0.02	8.19 ^a ± 0.40	0.395 ^a ± 0.005	55.87 ^{ab} ± 12.94	7.28 ^{ab} ± 1.28
V0.8	6.11 ^{ab} ± 0.04	8.19 ^a ± 0.08	0.431 ^b ± 0.004	67.14 ^{bc} ± 12.14	9.19 ^{bcd} ± 2.11
V1.0	6.13 ^{ab} ± 0.01	8.38 ^a ± 0.27	0.437 ^b ± 0.015	66.17 ^{bc} ± 16.22	9.71 ^{cd} ± 2.31
V1.2	6.18 ^b ± 0.12	8.22 ^a ± 0.08	0.435 ^b ± 0.003	83.51 ^d ± 13.07	12.86 ^e ± 2.55
p-values					
TF	0.024*	0.002*	<0.001	<0.001	<0.001
FC	0.005*	0.161	<0.001	0.377	0.304
TF × FC	0.020*	0.081	<0.001	0.527	0.270

TF, type of fibre; FC, fibre content.

^{a-c} Means with a column significantly different at $p < 0.05$.

* Significance at the $p < 0.05$ level.

Table 4. Water activity in the feed mixtures after 3 months storage in an environment providing water activity from 0 to 0.81

Group	Water activity of the surrounding environment								
	0	0.11	0.23	0.33	0.44	0.53	0.65	0.75	0.81
	Water activity of the feed								
C	0.13	0.16	0.30	0.35	0.42	0.50	0.58	0.72	0.76
A0.3	0.13	0.18	0.29	0.35	0.41	0.50	0.60	0.71	0.77
A0.8	0.14	0.19	0.27	0.34	0.42	0.50	0.56	0.70	0.76
A1.0	0.14	0.20	0.28	0.35	0.43	0.49	0.58	0.69	0.77
A1.2	0.13	0.15	0.29	0.35	0.43	0.50	0.59	0.72	0.77
V0.3	0.14	0.21	0.26	0.34	0.41	0.50	0.59	0.70	0.77
V0.8	0.13	0.22	0.28	0.33	0.41	0.49	0.58	0.71	0.77
V1.0	0.13	0.20	0.26	0.35	0.41	0.50	0.59	0.71	0.77
V1.2	0.14	0.14	0.27	0.35	0.41	0.49	0.58	0.71	0.76

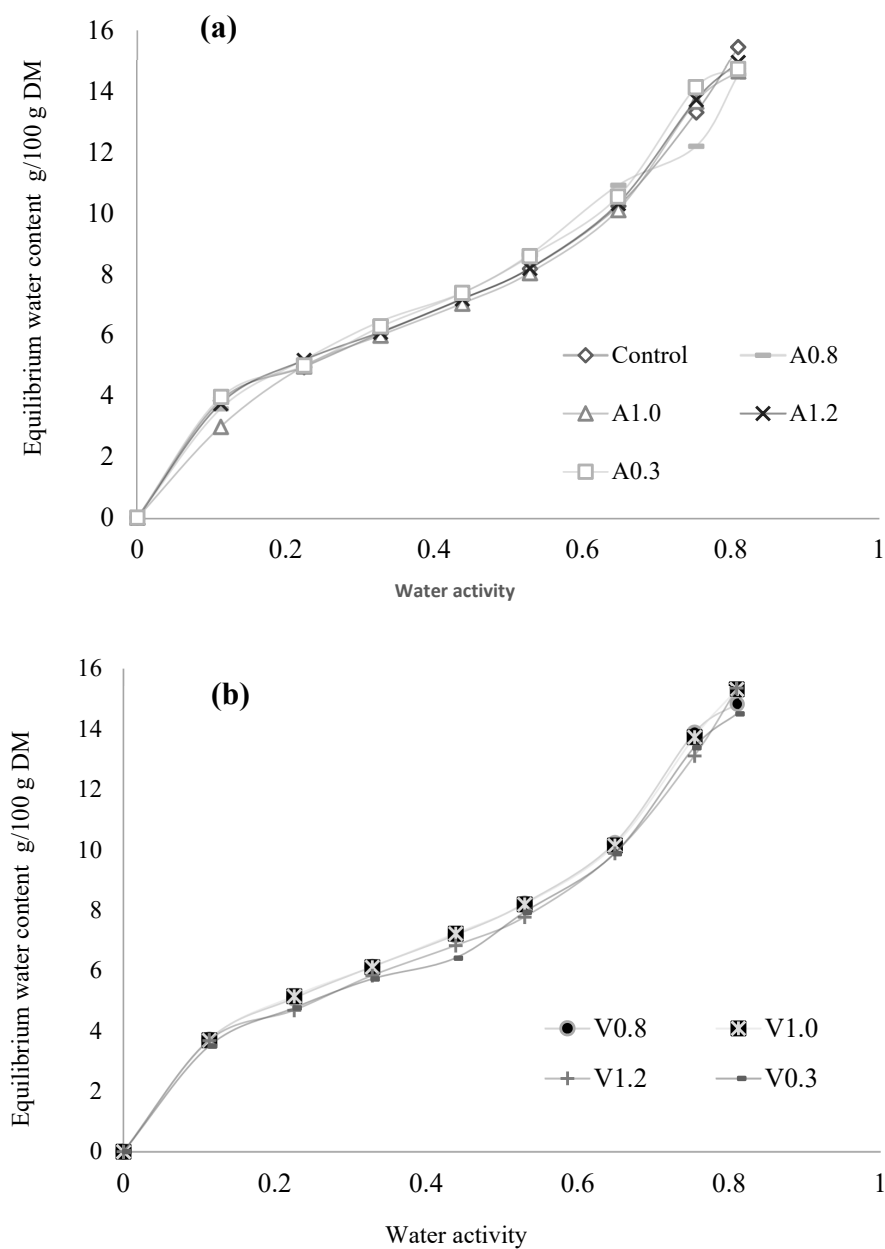


Figure 1. Water vapour adsorption isotherms with different shares of (a) ARBOCEL and (b) VITACEL fibres.

Emler Tauler (BET) classification, these are II type isotherms [27]. The course of isotherms was described with the GAB equation, which enabled determining monolayer capacity (water content in the monolayer) (Table 5). The feed mixtures from all analyzed groups had a higher monolayer capacity than the control feed mixture; however, the difference between them was statistically insignificant. Crude fibre type did not affect water content in the monolayer. The feed mixture with VITACEL fibre addition had a higher water content in the monolayer compared to the feed mixture supplemented with ARBOCEL.

The values of the Guggenheim energy constant (C) ranged from 9.9 for the feed mixtures from the control group to 20 for those from V1.2 group, whereas the energy of water binding by feed mixture molecules was very low. The fit of the GAB model to empirical data was expressed by the coefficient of determination (R^2) and RMS error (Table 5). The highest goodness of fit of the model, determined using R^2 , was demonstrated for the sorption isotherm plotted for A1.2 group and the lowest one - for V0.3 group. The GAB model was found to properly describe sorption data of the analyzed feed mixtures from particular groups in the entire range of water activity values tested.

Parameters of the GAB model were used to estimate the microstructure of the surface of feed mixture granules. The specific surface area of the feed mixture adsorbent was determined based on primary empirical data and determined parameters of the GAB model (Table 5). Its values were affected by crude fibre type, namely: the granules of the feed mixture with VITACEL addition had a significantly greater specific surface area than those of the feed mixture supplemented with ARBOCEL.

DISCUSSION

Proximate composition of feed mixture

According to Nutritional Requirements of Poultry (2022), a complete starter type feed mixture should contain 23% of crude protein. In the case of crude protein and total fibre contents, the results obtained in the present study were significantly higher than those reported by the aforementioned author (Table 2). In compliance with nutritional guidelines and recommended nutritional value of feed mixtures for poultry (Nutritional Requirements of Poultry, 2022), the contents of individual amino acids in starter type feed mixtures for broiler chickens should be at: lysine, 1.10%; methionine, 0.50%; tryptophan, 0.20%; threonine, 0.80% arginine, 1.25%; valine, 0.90%; isoleucine, 0.80%; and leucine, 1.20%. The present study results diverged from dietary recommendations for poultry. The percentage contents of the analyzed amino acids were lower than the recommended ones, except for methionine whose content was higher (in Control group) than the recommended level. This discrepancy in results could be due to feed mixture supplementation with crude fibre concentrates. Their increasing percentage content simultaneously decreased the analytical content of the other feed constituents.

pH, water content and water activity

Unfortunately, there are no published studies among the available literature verifying the effect of the addition of ARBOCEL and VITACEL crude fibre concentrates in feed on pH value, water content and water activity. However, there are publications available that refer to the limits of these parameters and it is these that have been used in the discussion.

The hydrogen ion concentration (pH) in broiler feed is

Table 5. Estimated parameters of water vapour adsorption isotherms according to the Guggenheim-Anderson-de Boer model and sorption area

Item	u_m (g H ₂ O/100 g DM)	C	k	R^2	RMS (%)	S
Group						
C	7.90 ^a ±0.01	9.90 ^a ±0.13	0.655 ^a ±0.052	0.993	9.60	280.1 ^a ±0.3
A0.3	8.59 ^{ab} ±0.18	12.53 ^{ab} ±0.62	0.785 ^b ±0.028	0.992	11.19	304.7 ^{ab} ±6.5
A0.8	9.03 ^{abc} ±0.07	14.40 ^{bc} ±1.09	0.774 ^b ±0.016	0.996	9.92	320.4 ^{abc} ±2.4
A1.0	7.98 ^a ±0.09	11.95 ^{ab} ±0.66	0.807 ^b ±0.021	0.991	9.75	282.9 ^a ±3.3
A1.2	9.61 ^{bc} ±0.74	17.50 ^{cd} ±3.49	0.795 ^b ±0.014	0.999	9.83	340.9 ^{bc} ±26.1
V0.3	8.71 ^{ab} ±0.17	14.57 ^{bc} ±0.39	0.786 ^b ±0.001	0.982	11.01	308.9 ^{ab} ±5.9
V0.8	9.32 ^{abc} ±0.25	16.17 ^c ±1.56	0.839 ^b ±0.032	0.991	10.10	330.7 ^{abc} ±8.8
V1.0	9.96 ^{bc} ±0.88	16.69 ^c ±0.26	0.878 ^{bc} ±0.031	0.998	9.72	353.3 ^{bc} ±31.1
V1.2	10.46 ^c ±1.27	20.02 ^d ±0.02	0.802 ^c ±0.021	0.998	8.66	370.9 ^c ±44.9
p-values						
TF	0.030*	0.005*	0.040*	-	-	0.031*
FC	0.062	0.004*	0.025*	-	-	0.063
TF×FC	0.214	0.497	0.072	-	-	0.214

u_m , monolayer moisture content; TF, type of fibre; FC, fibre content.

^{a-c} Means with a column significantly different at $p < 0.05$.

* Significance at the $p < 0.05$ level.

usually close to neutral ($\text{pH} = 7$). It was lower for all feed groups tested, which is more beneficial from the point of view of gastrointestinal tract function, as the lower pH of the feed limits the growth of negative bacterial microorganisms.

Accurate determination of the water (moisture) content of individual feed ingredients and feed mixtures significantly affects the entire feed industry [28]. According to the regulations, the water content of animal feed should not be more than 11.5% [29]. The water content of feed mixtures from all groups analyzed in the present study was lower than the 11.5%.

The occurrence of any changes in the physical, chemical or microbiological properties of feed can lead to a loss of stability. Water activity (a_w) is one of the most important parameters affecting the stability of feeds used in livestock feeding. Water activity is a measure of the free moisture in a foodstuff. It can also be defined as the quotient of the vapour pressure of a substance divided by the vapour pressure of pure water at the same temperature. The water activity scale ranges from 0 (bone dry) to 1.0 (pure water), but most foods have water activity levels ranging from 0.2 for very dry foods to 0.99 for moist fresh foods [30]. Water activity plays a very important role in microbial stability for both the ingredients used in production and the final animal feed mixture. Water is an essential factor for the growth of bacteria, molds and yeasts; each microorganism has a minimum water activity below which it will not grow [30]. The two most important of these critical values are 0.6 (this is the water activity value at which the growth of any micro-organisms is observed) and 0.86 (this is the lowest value at which the growth of pathogenic bacteria is abolished) [31,32]. The water activity of feed mixtures from all groups analyzed in the present study was lower than the critical values reported by [31,32].

Mechanical properties

Feed mixture granules are affected by two types of forces: dynamic (associated with feed mixture transport) and static (associated with feed mixture storage). The kinetic and static (hardness) resistance of granules is influenced by the factors resulting from physicochemical traits of raw materials, method of mixture pre-treatment for granulation, and the design of a granulating set, as well as by technical and operational factors. Granule hardness is indicated by the force needed to crush it [33]. The composition of a feed mixture intended for granulation has a key impact on granulation process yield and resistance traits of the granulate. The course of the granulation process is determined mainly by the contents of fat, fibre, protein, and starch in the feed mixture [34]. The high-fibre raw materials positively affect granulate resistance but diminish granulation yield [35]. Dissolved and loosened lignin compounds present in the fibre enhance the impact of cohesive forces during agglomeration. By analogy, the high-fibre granules exhibit high kinetic resistance [34]. Increasing crude

fibre content in the feed mixture to 5.74% causes its kinetic resistance to reach 97%, while its further increase causes no statistically significant changes in granulate quality. Increasing fibre content in the granulated material from 2.74% to 18.34% was reported to increase its hardness by 63% on average [34].

Sorption properties

In general, fibres absorb moisture well and very slowly, with the exception of starch, which does so quickly. The rate of absorption of the fibres depends on their degree of lignification and the intensity of the heat treatment they have undergone. The greater the degree of lignification or the more intense the heat treatment, the slower the absorption rate will be [36].

Lewicki [26] demonstrated that if the value of parameter C exceeded 5.67, the error in mapping the course of multilayer adsorption was lesser than 15.5%. The values obtained in the present study indicate that the GAB model proved very well in describing empirical data, as indicated by the k values (correcting properties of molecules forming the multilayer compared to the liquid phase) ranging from 0.655 to 0.878. The k values of materials whose sorption properties are determined by proteins range from 0.84 to 1.00, whereas these of fibre range from 0.717 to 0.893 [37]. The values of parameters estimated using the GAB model, i.e., water content in the monolayer (u_m), C (energy constant in Guggenheim equation), and k (constant associated with the energy of interaction between the first and further water molecules adsorbed by individual adsorption centers of the matrix), properly described the sigmoidal shape of the isotherms.

In conclusion, based on the conducted analyses, it was shown that: i) the amount and type of fibre used highly significantly influenced on water activity (however, did not increase the water activity of the tested feed samples above the value of 0.6 (this is the limit above which pathogenic microorganisms begin to develop), which is beneficial for storage conditions) and pH (the addition of crude fiber concentrates did not increase the pH of the tested feed samples above the value of 7 (neutral pH), the use of concentrate additives still maintained the acidic reaction of the feed, which is beneficial for reducing the growth of undesirable microorganisms), the type of fibre used significantly affected the water content (however, it did not increase it above the limit value (11.5%) which brings the benefit of storing finished feed, which does not undergo a faster spoilage process; ii) the type of fibre used highly significantly affected the parameters of the force (N) and compression energy (J) (with the addition of crude fiber concentrate in the feed samples tested, the force and compression energy it took to crush the pellets increased, which in practice means fewer crushed feed pellets lost during the transport of feed from the feed manufacturer to the broiler

manufacturer, which means there will be less feed losses); iii) the sorption isotherms of feed samples with the addition of ARBOCEL or VITACEL crude fibre concentrates do not deviate from the sorption isotherms determined for the control feed, which brings the advantage of storing the finished feed, which, not taking up water from the storage environment, does not become spoiled more quickly compared to feeds without the addition of ARBOCEL or VITACEL crude fiber concentrates in their composition.

The results provide answers to many questions that arose before and during the implementation of the experiment, but also bring many additional questions, such as how the addition of ARBOCEL and VITACEL concentrates would affect the other types of feed used in the feeding of broiler chickens (Grower and Finisher) and how the finished feed with the addition of ARBOCEL and VITACEL concentrates would affect the production results, health status and welfare parameters of broiler chickens.

CONFLICT OF INTEREST

We certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript. Jaroszek A is an employee of RETTENMAIER Polska Sp.z o.o.

FUNDING

This research received no special or external funding. The costs of manuscript publication were funded by the Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences—SGGW, Ciszewskiego 8 St., 02-786 Warsaw, Poland.

REFERENCES

1. Michalczyk M, Jóźwik A, Damaziak K, et al. Age-related changes in the growth performance, meat quality, and oxidative processes in breast muscles of three chicken genotypes. *Turk J Vet Anim Sci* 2016;40:389-98. <https://doi.org/10.3906/vet-1502-64>
2. Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, Robinson FE. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult Sci* 2014;93:2970-82. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>
3. Hartcher KM, Lum HK. Genetic selection of broilers and welfare consequences: a review. *World's Poult Sci J* 2020;76:154-67. <https://doi.org/10.1080/00439339.2019.1680025>
4. Havenstein GB, Ferket PR, Qureshi MA. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult Sci* 2003;82:1500-8. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1500>
5. Mateos GG, Lázaro R, Gracia MI. The feasibility of using nutritional modifications to replace drugs in poultry feeds. *J Appl Poult Res* 2002;11:437-52. <https://doi.org/10.1093/JAPR/11.4.437>
6. Jiménez-Moreno E, González-Alvarado JM, González-Serrano A, Lázaro R, Mateos GG. Effect of dietary fiber and fat on performance and digestive traits of broilers from one to twenty-one days of age. *Poult Sci* 2009;88:2562-74. <https://doi.org/10.3382/PS.2009-00179>
7. Montagne L, Pluske JR, Hampson DJ. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim Feed Sci Technol* 2003;108:95-117. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00163-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00163-9)
8. Hetland H, Svihus B, Choct M. Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. *J Appl Poult Res* 2005;14:38-46. <https://doi.org/10.1093/JAPR/14.1.38>
9. Duke GE. Alimentary canal: secretion and digestion, special digestive functions, and absorption. In: Sturkie PD, editor. *Avian physiology*. New York NY USA: Springer; 1986. pp. 289-302.
10. Guinotte F, Gautron J, Nys Y, Soumarmon A. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus Domesticus*) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. *Br J Nutr* 1995;73:125-39. <https://doi.org/10.1079/BJN19950014>
11. Tejeda OJ, Kim WK. Role of dietary fiber in poultry nutrition. *Animals* 2021;11:461. <https://doi.org/10.3390/ANI11020461>
12. Shang Q, Wu D, Liu H, Mahfuz S, Piao X. The impact of wheat bran on the morphology and physiology of the gastrointestinal tract in broiler chickens. *Animals* 2020;10:1831. <https://doi.org/10.3390/ANI10101831>
13. Wagner DD, Thomas OP. Influence of diets containing rye or pectin on the intestinal flora of chicks. *Poult Sci* 1978;57:971-5. <https://doi.org/10.3382/PS.0570971>
14. Jóźefiak D, Rutkowski A, Kaczmarek S, Jensen BB, Engberg RM, Højberg O. Effect of β -glucanase and xylanase supplementation of barley- and rye-based diets on caecal microbiota of broiler chickens. 2010;51:546-57. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.507243>
15. Walugembe M, Hsieh JCF, Koszewski NJ, Lamont SJ, Persi ME, Rothschild MF. Effects of dietary fiber on cecal short-chain fatty acid and cecal microbiota of broiler and laying-hen chicks. *Poult Sci* 2015;94:2351-9. <https://doi.org/10.3382/PS/PEV242>
16. Nabizadeh A. The effect of inulin on broiler chicken intestinal microflora, gut morphology, and performance. *J Anim Feed Sci* 2012;21:725-34. <https://doi.org/10.22358/JAFS/66144/2012>
17. Raninen K, Lappi J, Mykkänen H, Poutanen K. Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutr Rev* 2011;69:9-21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>

18. Kheravii SK, Swick RA, Choct M, Wu SB. Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fiber addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. *Poult Sci* 2017; 96:3272-81. <https://doi.org/10.3382/ps/pex123>
19. Mateos GG, Jiménez-Moreno E, Serrano MP, Lázaro RP. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J Appl Poult Res* 2012;21:156-74. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477>
20. Jiménez-Moreno E, Romero C, Berrococo JD, Frikha M, Mateos GG. Effects of the inclusion of oat hulls or sugar beet pulp in the diet on gizzard characteristics, apparent ileal digestibility of nutrients, and microbial count in the ceca in 36- day-old broilers reared on floor. In: *Proceedings of 100th Annual Meeting Poultry Science Association*; St. Louis, MO, USA; 2011 (Abstr). Vol 90 pp. 135.
21. Farran MT, Akilian HA, Hamoud AM, Barbour GW, Saoud IP. Lignocellulose improves protein and amino acid digestibility in roosters and egg hatchability in broiler breeders. *J Poult Sci* 2017;54:197-204. <https://doi.org/10.2141/JPSA.0160095>
22. Bosse A, Pietsch M, Beynen A, Schenkel H, Mateos GG, Gidenne T. Fiber in animal nutrition. A practical guide for monogastrics. European Union: Agrimedia; 2017.
23. Kareem KY, Loh TC, Foo HL, Akit H, Samsudin AA. Effects of dietary postbiotic and inulin on growth performance, IGF1 and GHR mRNA expression, faecal microbiota and volatile fatty acids in broilers. *BMC Vet Res* 2016;12:163. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0790-9>
24. Palacha Z, Sas A. Sorption properties of selected species of rice. *Acta Agroph* 2016;23:681-94.
25. Lewicki PP. Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures. *J Food Eng* 1997;32: 47-68. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00002-2)
26. Lewicki PP. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *Int J Food Sci Technol* 1997;32: 553-7. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb02131.x>
27. Brunauer S, Deming LS, Deming WE, Teller E. On a theory of the van der waals adsorption of gases. *J Am Chem Soc* 1940;62:1723-32. <https://doi.org/10.1021/ja01864a025>
28. Thiex N, Richardson CR. Challenges in measuring moisture content of feeds. *J Anim Sci* 2003;81:3255-66. <https://doi.org/10.2527/2003.81123255x>
29. Alengadan PJ, Babu DE, Kallanickal PM. Moisture content control during cattle feed production -An Spc Based Approach. *Int J Eng Res Technol* 2013;2:3.
30. Sharam N, Goh S. Introducing water activity as a measure for feed quality control (Part 1). *Poultry TRENDS c2022* [cited 2023 Jan 4]. Available from: <https://www.poultrytrends.in/introducing-water-activity-as-a-measure-for-feed-quality-control-part-1/>
31. Chirife J, del Pilar Buera M, Labuza TP. Water activity, water glass dynamics, and the control of microbiological growth in foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 1996;36:465-513. <https://doi.org/10.1080/10408399609527736>
32. Roos YH. Water activity and glass transition. In: Barbosa-Cánovas GV, Fontana AJ, Schmidt SJ, Labuza TP, editors. *Water activity in foods: fundamentals and applications*; 2020. pp. 27-43. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch3>
33. Marks N, Sobol Z, Baran D. Granulated fodder resistance evaluation methods comparison. *Inżynieria Rolnicza* 2006; 10:289-96.
34. Kulig R, Laskowski J. Effect of selected properties of raw materials on strength characteristics of granulated product. *Inżynieria Rolnicza* 2006;13:251-60.
35. Behnke KC. Factors affecting pellet quality [cited 2023 Jan 4]. In: *Feed pelleting reference guide. Section 5: pellet durability*. Manhattan, KS, USA: Kansas State University. Available from: https://www.feedstrategy.com/wp-content/uploads/2019/09/5-19_Factors_affecting_pellet_quality.pdf
36. Jiménez MG, De La Torre PM. Relevant aspects of quality in feed granulation. *Nutrinsw. c2020* [cited 2023 Aug 6]. Available from: <https://nutrinsw.com/en/relevant-aspects-of-quality-in-feed-granulation/>
37. Pérez-Alonso C, Beristain CI, Lobato-Calleros C, Rodríguez-Huezo ME, Vernon-Carter EJ. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. *J Food Eng* 2006;77:753-60. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.08.002>

Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Jakub Urban
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
jakub_urban@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

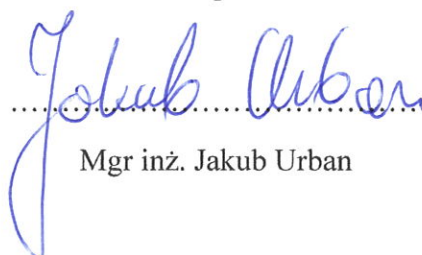
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Monika Michalczuk, Martyna Batorska, Agata Marzec, Adriana Jaroszek, Damian Bień. 2024. Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283. DOI:10.5713/ab.23.0218

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji i metodologii doświadczenia, prowadzeniu nadzoru nad wykonywanymi analizami, zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych, przygotowaniu i krytycznej weryfikacji artykułu oraz odpowiedzi na przesłane recenzje.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 70%.

Podpis


Mgr inż. Jakub Urban

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr hab. Martyna Batorska
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
martyna_batorska@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

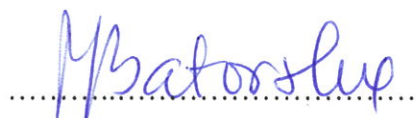
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Monika Michalczuk, Martyna Batorska, Agata Marzec, Adriana Jaroszek, Damian Bień. 2024. Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283. DOI:10.5713/ab.23.0218

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: analizie i późniejszej interpretacji danych oraz przygotowaniu i krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 8%.

Podpis



Dr hab. Martyna Batorska

Warszawa, 08.07.2025 r.

Prof. dr hab. Agata Marzec
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Instytut Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Nowoursynowska 159c
02-776 Warszawa
agata_marzec@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Monika Michalczuk, Martyna Batorska, Agata Marzec, Adriana Jaroszek, Damian Bień. 2024. Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283. DOI:10.5713/ab.23.0218

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji i metodologii doświadczenia, prowadzeniu nadzoru nad wykonywanymi analizami, zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 8%.

Podpis



Prof. dr hab. Agata Marzec

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr inż. Damian Bień
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
damian_bien@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

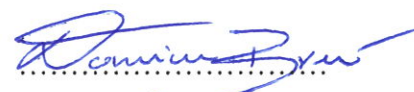
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Monika Michalczuk, Martyna Batorska, Agata Marzec, Adriana Jaroszek, Damian Bień. 2024. Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283. DOI:10.5713/ab.23.0218

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz krytycznej weryfikacji artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 3%.

Podpis



Dr inż. Damian Bień

Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Adriana Jaroszek
ADDICOO GROUP s.r.o.
787 01 Šumperk
Republika Czeska
adriana.jaroszek@addicoo.com

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Monika Michalczuk, Martyna Batorska, Agata Marzec, Adriana Jaroszek, Damian Bień. 2024. Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Animal Bioscience*, 37 (2), 274-283. DOI:10.5713/ab.23.0218

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji doświadczenia oraz zbieraniu danych.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 3%.

Podpis

...Adriana Jaroszek...
Mgr inż. Adriana Jaroszek

Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds

Jakub Urban^{1✉}, Damian Bień¹, Arkadiusz Matuszewski², Patrycja Ciborowska¹, Anna Zalewska¹, Dorota Pietrzak³, Marta Chmiel³, Adriana Jaroszek⁴, Lucas Elzie Graham⁵, Monika Michalczyk^{1†}

¹Department of Animal Breeding and Nutrition, ²Department of Animal Environment Biology, Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences, 02-786 Warsaw, Poland

³Department of Food Technology and Assessment, Institute of Food Sciences, Warsaw University of Life Sciences, 02-787 Warsaw, Poland

⁴ADDICOO GROUP s.r.o., 787 01 Šumperk, Czech Republic

⁵J. Rettenmaier USA, Schoolcraft, MI 49087, USA
jakub_urban@sggw.edu.pl

Received: February 20, 2025

Accepted: May 30, 2025

Abstract

Introduction: This study investigated the impact of adding crude fibre concentrate (CFC) to broiler chicken diets on slaughter results and breast muscle quality. **Material and Methods:** A total of 990 male Ross 308 chicks were divided into control (C), experimental 1 (A1) and experimental 2 (A2) groups. Experimental diets contained CFC at different levels: A1 had 0.4% in the starter diet, 0.8% in the first grower diet, 0.8% in the second grower diet and 0.2% in the finisher diet, and A2 had 0.6%, 1.0%, 1.2% and 0.4% in the same diets. On day 42, 20 birds per group were slaughtered and dissected. Breast muscles were weighed and visually assessed for myopathic defects (white striping, wooden breast and “spaghetti” meat). The tissue was also analysed for residual myopathy incidence and associated physicochemical properties, namely drip loss, shear force, pH, water holding capacity, collagen content, colour parameters and basal chemical composition. **Results:** Consumption of the CFC additive statistically significantly reduced (P -value ≤ 0.05) white striping defects and increased final live weight by 2.1% for birds in group A1 and by 3.3% in group A2. Group A1 carcasses also weighed 6.7% more and group A2 carcasses 4.1% more. Additionally, A1 carcasses yielded 1.5% more and A2 carcasses 0.8% more leg muscle, also statistically significantly greater yields than C carcasses (P -value ≤ 0.05). The slaughter yield of birds in group A1 was 3.3% higher (P -value ≤ 0.001) than that of birds in group C. The use of the CFC additive in the diets of both experimental groups had no adverse effect on the other analysed parameters. **Conclusion:** Crude fibre concentrate addition to the complete feed mixture is recommended for improving the results of the slaughter analysis and the visual quality of meat.

Keywords: breast muscle quality, chicken broiler, crude fibre, slaughter performance.

Introduction

Nutrition is one of the most important factors affecting poultry production. Over the last 30 years, the production of broiler chickens worldwide has increased significantly (26). As production has increased, consumer pressure to ban antibiotic growth promoters (AGPs) has also increased. The introduction of legislation prohibiting antibiotics in feed used by the poultry industry has led to an increased incidence of intestinal disorders in broilers. This turn of events has presented the poultry industry

and research community with the crucial task of finding alternatives that will improve the health and function of the gastrointestinal tract (17, 20). One of the more effective alternatives to AGPs may be fibre. Unfortunately, results from earlier studies have shown an adverse effect of fibre on the digestibility of the nutrients in forage (17, 20) and on growth performance (20, 41). The importance of fibre as one of the primary feed nutrients has been almost completely ignored due to its low nutritional value (from a chemical point of view). However, after a new series of experiments, it has been shown that the

unique physicochemical characteristics of insoluble crude fibre fractions can benefit the development and function of the digestive tract. Consequently, the addition of fibre can lead to improved health and increased productivity in broiler chickens (13, 19, 27, 33, 36). According to Mateos *et al.* (28), to enhance the positive effects of supplemental crude fibre on productive performance and physiological processes in the bird's body, the fibre should undergo a lignification process. The resulting lignocellulose comprises carbohydrates (cellulose, hemicellulose) and aromatic polymers (lignin). The physical properties and exact composition of the various lignocellulose fractions depend on the source from which the fibre was obtained (16, 20). Lignocellulose positively affects faecal consistency by making faeces and consequently litter drier, and also improves intestinal microbiota, fermentation activity and protein digestibility in broiler chickens (5, 7, 20, 32, 44). This study aimed to determine the effect of adding CFC to broiler chickens' diet on the slaughter results, the incidence and extent of myopathy and the physicochemical properties of breast muscle.

Material and Methods

Crude fibre concentrate. The crude fibre concentrate used (ARBOCEL; J. Rettenmaier & Söhne, Rosenberg, Germany) is distinguished by a water content of 7.7% and an extremely high water-binding capacity (WHC) of up to 800%. It contains 65.3% crude fibre, 25.1% non-protein nitrogen compounds, 1.0% total protein, 0.3% crude fat and 0.5% crude ash (6, 34, 44, 45). ARBOCEL crude fibre concentrate is a product that consists of lignocellulose derived from debarked and thoroughly cleaned spruce (*Picea*) trees. It is mycotoxin-free. This CFC stimulates the work of intestinal villi and enhances the enzymatic activity of the gastrointestinal tract).

Animals. The study utilised Ross 308 male chicks (cockerels). A total of 990 chicks, all one-day-old, were purchased and divided into three equal groups according to Urban *et al.* (44), these being a control (C) and two experimental groups (A1 and A2). The experimental groups differed in the proportion of the diet which was CFC. Rearing lasted 42 days in standard conditions and was to a stocking density of less than 33 kg/m² on the final day. The chickens were housed on a floor system with wood pellets, with a light cycle that was maintained according to the Ross Management Guide (37), and had *ad libitum* access to fresh water.

Throughout the rearing period, the broilers were fed a starter diet on days 1–10, a grower diet on days 11–21, an adjusted grower diet on days 22–35 and a finisher diet on days 36–42. Group A1 had 0.4% CFC in the starter diet, 0.8% in the first grower diet, 0.8% in the second grower diet and 0.2% in the finisher diet and A2 had 0.6%, 1.0%, 1.2% and 0.4% in the same diets. The composition of the feed mixtures used and the averaged

results of the NIR (near-infrared) analysis of the feed samples were collated and published in a manuscript on the same experiment but focusing on welfare parameters and the caecal microbiome (44).

Selection of animals and post-slaughter handling.

From each group, 20 chicks with a body weight close to the average of the group were selected for slaughter. The slaughter of chickens and the post-slaughter treatment of carcasses were carried out using the industrial method following the technical and sanitary requirements in force in the poultry industry. After that, the carcasses were cooled at 4°C for 24 h. From the storage stage, the following elements were extracted and weighed from each chilled carcass: the liver, gizzard, heart and abdominal fat. Then, each carcass was weighed and dissected to obtain the pectoral muscles and leg muscles, which were also weighed. All the extracted weights were used for subsequent calculations of slaughter yield and the percentage of the final live weight which was selected organs and muscles.

Assessment of pectoral muscles for qualitative and visual signs of myopathies. Appropriate assessment scales were used to assess the presence and intensity of visual myopathies of the pectoral muscle: white striping (WS) according to the method proposed by Kuttappan *et al.* (23), spaghetti meat (SM) according to the scale proposed by Baldi *et al.* (3) and wooden breast (WB) according to the method proposed by Khalil *et al.* (18) with scores given in the range of 0 (normal muscle) to 3 (markedly defective).

Determination of drip loss. To determine drip loss, each left breast muscle was weighed, dried (using a paper towel), and weighed again after 24 h of cold storage (4°C). The weight difference obtained after the calculation (weight of left breast muscle before cooling – dried weight of this muscle after 24 h at 4°C = drip loss) determines the water loss.

Determination of shear force. The shear force of each pectoral muscle was determined according to the method described by Michalczyk *et al.* (29).

Determination of pH measured 24 h post slaughter, WHC, basic chemical composition and collagen content of breast muscles. Breast muscle samples were prepared for further analyses and pH measurements were taken in the same way that they were by Michalczyk *et al.* (29). Drip loss and WHC were analysed with the protocol published by Michalczyk *et al.* (31), and the elemental chemical composition of meat and collagen content was determined using a near-infrared (NIR) method also developed by Michalczyk *et al.* (30).

Determination of colour parameters (L* (lightness), a* (redness) and b* (yellowness)). Colour measurement of the examined breast muscles was performed using a CR-410 trichromatic spectrophotometer from Konica Minolta (Tokyo, Japan). The absolute colour difference ΔE (between the colour of breast muscles obtained from chickens in the C group and its colour from chickens in the A1/A2 groups) was calculated using the following equation (1):

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2},$$

where ΔE is absolute colour difference, L^*_{11} , a^*_{11} and b^*_{11} are colour parameters of the breast muscles obtained from chickens from the control group (C) and L^*_{22} , a^*_{22} and b^*_{22} are colour parameters of the breast muscles obtained from chickens from the experimental groups (A1 or A2). The obtained ΔE values were interpreted according to Bendowski *et al.* (4).

Statistical analysis. The results obtained were statistically analysed as per Urban *et al.* (44).

Results

Slaughter analysis and organ weights. Birds in group A2 were determined to have the average highest final live weight (Table 1). However, this did not coincide with the highest average carcass weight or fertility yield results, which came from group A1 birds. The proportion of leg muscle tissue in body weight was also highest in group A1. The percentage of live weight which was liver in group A2 was 2.41 and was higher (P -value ≤ 0.05)

than the percentage of liver in groups C and A1. Based on the analysis of the other results presented in Table 4, it could be concluded that there was no adverse effect of adding crude fibre concentrate on the percentages of live weight which were the other elements obtained from chicken carcasses. The breast muscles, hearts, gizzards and abdominal fat were those other elements and accounted for similar live weight percentages across all groups.

Visual and tactile assessment of pectoral muscles for the presence of quality defects. Visual and tactile tests showed that the lowest (P -value ≤ 0.01) number of breast muscles with a WS defect was recorded for tissue obtained from chickens of the A1 and A2 groups, and the highest (P -value ≤ 0.01) from the C group. The WB and SM breast muscle defects were not found in meat obtained from carcasses from either the C or A1 and A2 groups.

Drip loss, shear force, pH and WHC of breast muscles. The average pH, drip loss, WHC and shear force results are presented in Table 3. No significant differences in these meat qualities were found between the control group and the experimental groups.

Table 1. Production results, carcass yields and body component percentages of selected organs and muscles of broilers fed a normal diet and fed a diet containing crude fibre concentrate

Parameter	Group			SEM	P-value
	C	A1	A2		
Final live weight (g)	2,986.20 ^a	3,049.20 ^{ab}	3,084.60 ^b	16.945	0.049
Carcass weight (g)	2,148.30 ^A	2,291.90 ^B	2,236.45 ^B	24.054	0.003
Slaughter yield (%)	71.92 ^A	75.18 ^B	72.50 ^A	1.490	≤ 0.001
¹ Body components					
Liver (%)	2.04 ^A	2.01 ^A	2.41 ^B	0.058	0.004
Gizzard (%)	0.59	0.62	0.56	0.015	0.310
Heart (%)	0.49	0.43	0.48	0.014	0.113
Abdominal fat (%)	0.71	0.82	0.78	0.054	0.697
Breast muscles (%)	21.98	22.82	22.14	0.259	0.380
Leg muscles (%)	13.35 ^A	14.85 ^B	14.17 ^{AB}	0.199	0.005

^{A, B} – P -value ≤ 0.01 ; ^{a, b} – P -value ≤ 0.05 ; C – control group; A1 – group fed crude fibre concentrate in 0.2–0.8% proportions across four development-stage diets; A2 – group fed crude fibre concentrate in 0.4–1.2% proportions across the four diets; SEM – standard error of the mean.

¹ – Body component percentages were calculated on the final live weight

Table 2. Visual assessment of the intensity of myopathy in the pectoral muscles of broilers fed a normal diet and fed a diet containing crude fibre concentrate

Indicator	Statistic	Score	Group					
			C		A1		A2	
			%	n	%	n	%	n
White striping		0	31.3	5	75.0	12	75.0	12
		1	37.5	6	25.0	4	18.8	3
		2	31.3	5	0.0	0	6.3	1
		3	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Kruskal–Wallis test	P-value = 0.006		A		B		B	
Spaghetti meat (SM)		0	100.0	16	100.0	16	100.0	16
		1	0.0	0	0.0	0	0.0	0
		2	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Kruskal–Wallis test	-							
Wooden breast		0	100.0	16	100.0	16	100.0	16
		1	0.0	0	0.0	0	0.0	0
		2	0.0	0	0.0	0	0.0	0
		3	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Kruskal–Wallis test	-							

^{A, B} – P -value ≤ 0.01 ; C – control group; A1 – group fed crude fibre concentrate in 0.2–0.8% proportions across four development-stage diets; A2 – group fed crude fibre concentrate in 0.4–1.2% proportions across the four diets

Table 3. Physicochemical quality of breast muscles of broilers fed a normal diet and fed a diet containing crude fibre concentrate

Quality characteristic	Group			SEM	P-value
	C	A1	A2		
Drip loss (%)	3.10	2.90	2.40	0.187	0.298
Shear force (N)	53.93	56.30	46.92	1.967	0.128
pH	5.94	5.94	5.95	0.015	0.971
WHC (cm ² /g)	3.94	3.72	3.76	1.026	0.886

C – control group; A1 – group fed crude fibre concentrate in 0.2–0.8% proportions across four development-stage diets; A2 – group fed crude fibre concentrate in 0.4–1.2% proportions across the four diets; SEM – standard error of the mean

Table 4. Basic chemical composition of breast muscles of broilers fed a normal diet and fed a diet containing crude fibre concentrate

Content (%)	Group			SEM	P-value
	C	A1	A2		
Water	74.98	74.29	74.52	0.107	0.053
Protein	22.62	22.55	22.70	0.104	0.858
Fat	2.23	2.44	2.27	0.089	0.595
Collagen	1.08	1.09	0.96	0.029	0.139

C – control group; A1 – group fed crude fibre concentrate in 0.2–0.8% proportions across four development-stage diets; A2 – group fed crude fibre concentrate in 0.4–1.2% proportions across the four diets; SEM – standard error of the mean

Table 5. Colour parameters of breast muscles of broilers fed a normal diet and fed a diet containing crude fibre concentrate

Colour parameter	Group			SEM	P-value
	C	A1	A2		
L* (lightness)	53.73	53.37	52.88	0.366	0.650
a* (redness)	10.98	10.44	11.27	0.253	0.407
b* (yellowness)	16.08	16.20	15.69	0.168	0.488
ΔE	0.00	0.66	0.98	-	-

C – control group; A1 – group fed crude fibre concentrate in 0.2–0.8% proportions across four development-stage diets; A2 – group fed crude fibre concentrate in 0.4–1.2% proportions across the four diets; SEM - standard error of the mean

Basic chemical composition of breast muscles.

Table 4 shows the average content of water, protein and fat in the broiler chicken breast muscles. The results indicated no significant differences between group C and groups A1 and A2. The addition of crude fibre concentrate to the feeds for chickens from groups A1 and A2 did not change the water, protein, fat or collagen content of the breast muscles.

L*, a*, b* colour parameters. In Table 5, the average results for the L*, a* and b* colour parameters are shown. There were no significant differences in the analysed colour parameters between the control group and experimental groups. The ΔE values for the experimental groups did not exceed 1.0, *i.e.* the difference in colour between the breast muscles obtained from control group chickens and those obtained from experimental group birds was visually undetectable. The addition of crude fibre concentrate to the feeds for chickens in groups A1 and A2 did not affect the colour of breast muscles.

Discussion

The group of factors that significantly determine the effect of fibre supplementation in feed on the production parameters of broiler chickens can include the source of the fibre (*i.e.* soluble vs insoluble), the particle size, the contents of energy and protein (*i.e.* amino acids) in the feed mixture used, the extent and

duration of the supplementation's incorporation into the rearing procedure, and the age and physiological status of animal (1, 12, 15, 40–43). However, the first factor is the major one, since most studies report changes in production yield due to the addition of insoluble fibres to the feed mixture (43), which are the basic structural elements of crude fibre. Insoluble fibre fractions mainly contain the insoluble parts of the plant cell wall, *i.e.* three-dimensionally arranged fibrous polysaccharides such as cellulose, hemicellulose and/or encrusting non-saccharide substances such as lignin (11, 43). Cellulose, hemicellulose and lignin are the main components that make up the lignocellulose complex, which has been the subject of research in the last decades focusing on the use of an innovative source of insoluble dietary fibre (36, 49). Chicken broilers fed with a compound feed of which 0.6% was lignocellulose (replacing some soybean meal and corn) were characterised by a higher final live weight than those in the control group or the group provided a feed with 0.4% lignocellulose in the bill (25, 36). The use of 0.8% lignocellulose in feed mixture for broiler chickens significantly improved carcass yield (7, 25), and 0.75% lignocellulose had the effect of increasing the live weight of birds (25, 35, 39). According to Sarikhani *et al.* (39) insoluble fibre may have a beneficial effect on the height of the villi in the digestive tract through a stimulation effect, and on the ratio of villi to crypts, leading to better absorption and retention of nutrients, which may ultimately lead to increased growth of birds and higher-yielding chicken

broiler carcasses. However, some studies have shown that the use of compound feed supplemented with lignocellulose at lower levels of incorporation up to 2% did not in any way affect the productive performance of broiler chickens (5, 20, 35, 47). The use of a 1% insoluble fibre additive in feed for broiler chickens can increase liver weight (46, 48).

Leaving aside white striping, general meat colour is one of the most important factors influencing a consumer's purchasing decisions. Even though variation in colour within a typical range is not a factor that can predict the quality and safety of the meat purchased, the consumer directly associates it with the subsequent quality of the food prepared. The inability of the potential consumer to detect differences in colour between the breast muscles from the experimental groups and the breast muscles from the control group completely rules out the possibility of a consumer's visual preference being a reason for rejection of CFC-fed chicken meat.

White striping myopathy is currently one of the most important quality problems emerging in the poultry industry, and unfortunately its incidence is rapidly increasing in breast muscle (2, 9, 23, 34). Breast muscle with a WS defect is characterised by white parallel lines running in the same direction as the muscle fibres, and their number and thickness can vary from bird to bird. These white stripes have been reported to be composed of adipose tissue (8, 9, 38). Their presence is easily perceived and tends to deter consumers, as they give breast fillets a greasy, marbled and abnormal appearance (2, 9, 22). Unfortunately, the lack of publicly available literature sources makes it difficult to contextualise the results obtained in our studies and frame a discussion. The aetiology of WS has not yet been identified, but there are nevertheless several factors that may influence the incidence of this pectoral muscle myopathy: genotype (high breast yield > standard), sex (males > females), growth rate (fast > slow), slaughter weight (heavy > light) and diet (high-energy > low-energy) (10, 24, 34). It is the diet-related factor that could substantiate one potential mechanism for the effect of a CFC additive in feed on the reduction of WS incidence. The faster growth rate induced by using a high-calorie mix in the feeding of broiler chickens could increase the incidence of white stripes in broiler breast fillets (21). Referring to the results obtained by the team of Kuttapan *et al.* (21), inversely it can be assumed that feeding a low-energy mixture to broiler chickens reduces the occurrence of WS myopathy. By definition, a low-energy mixture is one in which the energy level has been reduced by using, for example, a dilution factor. Therefore, the crude fibre concentrate used to replace part of the feed most likely acted as a diluting element by distributing the energy level of the feed differently and transforming it into a mixture with a lower energy level, which could directly affect the occurrence of WS.

No significant differences were found between any group and any other for the rest of the results obtained from the analyses. These results are typical of the

literature data relating to the body component percentages of the measured broiler organs and physicochemical parameters of the pectoral muscle.

Based on the obtained results, it was found that the addition of CFC in the feed mixture for broiler chickens increased the final body weight, carcass weight and the percentage of live weight which was leg muscle in both experimental groups in comparison to the control group. Crude fibre concentrate was also noted to raise the percentage of live weight which was liver in group A2 in comparison to group C and lower the percentage of breast muscle tissue affected by WS in both experimental groups in comparison to the control group. The feeding strategy had no adverse effect on the other quality parameters of breast muscle.

The results obtained from the analyses provide answers to many questions that arose before and during the experiment. However, they also bring many additional questions, such as how ARBOCEL crude fibre concentrate used in the diet of broiler chickens may affect the fatty acid profile, the content of individual amino acids and the content of consumer-important micro- and macroelements in the breast muscle analysed. In addition, it would be worthwhile to focus on fully understanding the possible mechanism of the effect of CFC-containing feed on reducing the incidence of thoracic muscle myopathy. Unfortunately, there is still a lack of specific studies in the available literature on the effect of the addition of CFCs on the quality of meat obtained from reared broiler chickens, which, on the one hand, thwarts discussion, but on the other hand, offers many opportunities for further scientific research.

Conclusion

The addition of CFC to the complete feed mixture is recommended for better slaughter analysis results and better meat visual quality in the aspect of reduction in the number of muscles characterised by white striping. The results obtained from the analyses conducted in the experiment provide a broader perspective on the addition of crude fibre concentrate. Introducing CFC to feed carries several benefits for producers, *e.g.* increased final average live weight of birds, reduced incidence of welfare disorders such as footpad dermatitis, and better production indices such as the European Production Efficiency Factor and the European Broiler Index (44). The benefit associated with using the CFC additive in the feed mix may also influence the subsequent consumer decision to purchase chicken breast muscle, as it can be stated that “the consumer buys with his eyes”. Therefore, reduction of the incidence of WS myopathy makes the consumer more likely to choose breast muscle without visual manifestation of it when making his choice. However, to fully benefit from the potential of CFC in broiler feed, the producer should follow the manufacturer's proportion recommendations.

Conflict of Interests Statement: The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Financial Disclosure Statement: This research received no special or external funding. The costs of manuscript publication were funded by the Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Science – SGGW, Warsaw, Poland.

Animal Rights Statement: According to the decision of 1 September 2021 issued by the Local Ethical Committee for Experiments on Animals at the Warsaw University of Life Sciences, the conduct of an experiment with this design did not require ethical committee approval.

Acknowledgements: The manuscript is part of the Ph.D. thesis of Jakub Urban.

CRedit Authorship Contribution Statement: **Jakub Urban:** research concept and design, collection and assembly of data, data analysis and interpretation, writing the article, critical revision of the article, final approval of the article. **Damian Bień:** collection and assembly of data, data analysis and interpretation, critical revision of the article. **Arakdiusz Matuszewski:** collection and assembly of data, writing the article, critical revision of the article. **Patrycja Ciborowska:** collection and assembly of data. **Anna Zalewska:** collection and assembly of data. **Dorota Pietrzak:** research concept and design, collection and assembly of data, critical revision of the article. **Marta Chmiel:** research concept and design, data analysis and interpretation, critical revision of the article. **Adriana Jaroszek:** collection and assembly of data. **Lucas Elzie Graham:** critical revision of the article. **Monika Michalczyk:** research concept and design, data analysis and interpretation, critical revision of the article, final approval of the article

References

1. Amerah A.M., Ravindran V., Lentle R.G.: Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *Br Poult Sci* 2009, 50, 366–375, doi: 10.1080/00071660902865901.
2. Bailey R.A., Watson K.A., Bilgili S.F., Avendano S.: The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poult Sci* 2015, 94, 2870–2879, doi: 10.3382/ps/pev304.
3. Baldi G., Soglia F., Petracci M.: Spaghetti Meat Abnormality in Broilers: Current Understanding and Future Research Directions. *Front Physiol* 2021, 12, doi: 10.3389/fphys.2021.684497.
4. Bendowski W., Michalczyk M., Jóźwik A., Kareem K.Y., Łozicki A., Karwacki J., Bień D.: Using Milk Thistle (*Silybum marianum*) Extract to Improve the Welfare, Growth Performance and Meat Quality of Broiler Chicken. *Animals* 2022, 12, 1085, doi: 10.3390/ani12091085.
5. Bogusławska-Tryk M., Szymeczko R., Piotrowska A., Burlikowska K., Śliżewska K.: Ileal and cecal microbial population and short-chain fatty acid profile in broiler chickens fed diets supplemented with lignocellulose. *Pak Vet J* 2015, 35, 212–216.
6. Farran M.T., Akilian A.H., Hamoud A.M., Barbour G.W., Saoud I.P.: Lignocellulose Improves Protein and Amino Acid Digestibility in Roosters and Egg Hatchability in Broiler Breeders. *J Poult Sci* 2017, 54, 197–204, doi: 10.2141/jpsa.0160095.
7. Farran M.T., Pietsch M., Chabrilat T.: Effect of lignocellulose on the litter quality and the ready to cook carcass yield of male broilers (in French). *Actes des 10èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras du 26 au 28 mars, (Proceedings of the 10th Symposium on Research on Poultry and Waterfowl Raised for Foie Gras) 26–28 March) 2013, La Rochelle, France, pp. 917–921.*
8. Ferreira T.Z., Casagrande R.A., Vieira S.L., Driemeier D., Kindlein L.: An investigation of a reported case of white striping in broilers. *J Appl Poult Res* 2014, 23, 748–753, doi: 10.3382/japr.2013-00847.
9. Golzar Adabi S., Demirok Soncu E.: White striping prevalence and its effect on meat quality of broiler breast fillets under commercial conditions. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2019, 103, 1060–1069, doi: 10.1111/jpn.13092.
10. Gratta F., Birolo M., Piccirillo A., Petracci M., Maertens L., Xiccato G., Trocino A.: Conference Abstract O033: Effects of the feeding system on performance and myopathy occurrence in two broiler chicken genotypes. *Ital J Anim Sci* 2017, 16, S48.
11. Hetland H., Choct M., Svihus B.: Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. *World Poult Sci J* 2004, 60, 415–422, doi: 10.1079/WPS200325.
12. Hetland H., Svihus B.: Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *Br Poult Sci* 2001, 42, 354–361, doi: 10.1080/00071660120055331.
13. Hetland H., Svihus B., Choct M.: Role of Insoluble Fiber on Gizzard Activity in Layers. *J Appl Poult Res* 2005, 14, 38–46, doi: 10.1093/JAPR/14.1.38.
14. J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG: Product sheet for ARBOCEL® Crude Fibre Concentrates for Poultry Nutrition. J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG, Rosenberg, Germany, 2023, https://www.jrs.eu/jrs_en/life-science/animal-nutrition/applications/arbocel-for-poultry/.
15. Jiménez-Moreno E., González-Alvarado J.M., González-Serrano A., Lázaro R., Mateos G.G.: Effect of dietary fiber and fat on performance and digestive traits of broilers from one to twenty-one days of age. *Poult Sci* 2009, 88, 2562–2574, doi: 10.3382/ps.2009-00179.
16. Jørgensen H., Kristensen J.B., Felby C.: Enzymatic conversion of lignocellulose into fermentable sugars: challenges and opportunities. *Biofuels Bioprod Bioref* 2007, 1, 119–134, doi: 10.1002/bbb.4.
17. Jørgensen H., Zhao X.Q., Knudsen K.E.B., Eggum B.O.: The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *Br J Nutr* 1996, 75, 379–395, doi: 10.1079/BJN19960141.
18. Khalil S., Saenbungkhor N., Kesnava K., Sivapirunthep P., Sitthigripong R., Jumanee S., Chaosap C.: Effects of Guanidinoacetic Acid Supplementation on Productive Performance, Pectoral Myopathies, and Meat Quality of Broiler Chickens. *Animals* 2021, 11, 3180, doi: 10.3390/ani11113180.
19. Kheravii S.K., Morgan N.K., Swick R.A., Choct M., Wu S.B.: Roles of dietary fibre and ingredient particle size in broiler nutrition. *World Poult Sci J* 2018, 74, 301–316, doi: 10.1017/S0043933918000259.
20. Kheravii S.K., Swick R.A., Choct M., Wu S.B.: Coarse particle inclusion and lignocellulose-rich fiber addition in feed benefit performance and health of broiler chickens. *Poult Sci* 2017, 96, 3272–3281, doi: 10.3382/ps/pex123.
21. Kuttappan V.A., Brewer V.B., Apple J.K., Waldroup P.W., Owens C.M.: Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult Sci* 2012, 91, 2677–2685, doi: 10.3382/ps.2012-02259.

22. Kuttappan V.A., Brewer V.B., Mauromoustakos A., McKee S.R., Emmert J.L., Meullenet J.F., Owens C.M.: Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult Sci* 2013, 92, 811–819, doi: 10.3382/ps.2012-02506.
23. Kuttappan V.A., Hargis B.M., Owens C.M.: White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poult Sci* 2016, 95, 2724–2733, doi: 10.3382/ps/pew216.
24. Maiorano G.: Meat defects and emergent muscle myopathies in broiler chickens: implications for the modern poultry industry. *Sci Ann Pol Soc Anim Prod* 2017, 13, 43–51, doi: 10.5604/01.3001.0010.5454.
25. Makivic L., Glisic M., Boskovic M., Djordjevic J., Markovic R., Baltic M., Sefer D.: Performances, Ileal and Cecal Microbial Populations and Histological Characteristics in Broilers Fed Diets Supplemented with Lignocellulose. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 2018, doi: 10.9775/kvfd.2018.20356.
26. Mandey J.S., Kowel Y.H.S., Regar M.N., Leke J.R.: Effect of different level of energy and crude fiber from sawdust in diets on carcass quality of broiler. *J Indones Trop Anim Agric* 2017, 42, 240, doi: 10.14710/jitaa.42.4.240-246.
27. Mateos G.G., Guzman P., Saldana B., Bonilla A.P., Lazar R., Jimenez-Moreno E.: Relevance of dietary fiber in poultry feeding. *Proceedings of the 19th European Symposium on Poultry Nutrition*, 26–29 August 2013, Potsdam, Germany.
28. Mateos G.G., Jiménez-Moreno E., Serrano M.P., Lázaro R.P.: Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J Appl Poult Res* 2012, 21, 156–174, doi: 10.3382/japr.2011-00477.
29. Michalczuk M., Abramowicz-Pindor P., Urban J., Bień D., Ciborowska P., Matuszewski A., Zalewska A., Opacka E., Wojtasik-Kalinowska I.: The Effect of Phytogenic Additive in Broiler's Diet on Production Results, Physicochemical Parameters, and the Composition of Volatile Organic Compounds of Broiler Meat Assessed by an Electronic Nose System. *Animals* 2024, 14, 2428, doi: 10.3390/ani14162428.
30. Michalczuk M., Józwick A., Damaziak K., Zdanowska-Sąsiadek Ż., Marzec A., Gozdowski D., Strzałkowska N.: Age-related changes in the growth performance, meat quality, and oxidative processes in breast muscles of three chicken genotypes. *Turk J Vet Anim Sci* 2016, 40, 389–398, doi: 10.3906/vet-1502-64.
31. Michalczuk M., Zdanowska-Sąsiadek Ż., Damaziak K., Niemiec J.: Influence of indoor and outdoor systems on meat quality of slow-growing chickens. *CyTA - Journal of Food* 2016, 15, 15–20, doi: 10.1080/19476337.2016.1196246.
32. Milosevic N., Dukic Strojic M., Peric L., Vukic-Vranjes M.: Effect of lignocellulose on egg production and egg quality. *Proceedings of the 20th European Symposium on Poultry Nutrition*, 24–27 August 2015, Prague, Czech Republic.
33. Montagne L., Pluske J.R., Hampson D.J.: A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim Feed Sci Technol* 2003, 108, 95–117, doi: 10.1016/S0377-8401(03)00163-9.
34. Petracci M., Mudalal S., Soglia F., Cavani C.: Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World Poult Sci J* 2015, 71, 363–374, doi: 10.1017/S0043933915000367.
35. Röhe I., Metzger F., Vahjen W., Brockmann G.A., Zentek J.: Effect of feeding different levels of lignocellulose on performance, nutrient digestibility, excreta dry matter, and intestinal microbiota in slow growing broilers. *Poult Sci* 2020, 99, 5018–5026, doi: 10.1016/j.psj.2020.06.053.
36. Röhe I., Zentek J.: Lignocellulose as an insoluble fiber source in poultry nutrition: a review. *J Anim Sci Biotechnol* 2021, 12, 82, doi: 10.1186/s40104-021-00594-y.
37. Ross (an Aviagen Brand): *Ross Broiler Management Handbook* 2018. Aviagen, Huntsville, AL, USA, 2018.
38. Russo E., Drigo M., Longoni C., Pezzotti R., Fasoli P., Recordati C.: Evaluation of White Striping prevalence and predisposing factors in broilers at slaughter. *Poult Sci* 2015, 94, 1843–1848, doi: 10.3382/ps/pev172.
39. Sarikhan M., Shahryar H.A., Gholizadeh B., Hosseinzadeh M.H., Beheshti B., Mahmoodnejad A.: Effects of insoluble fiber on growth performance, carcass traits and ileum morphological parameters on broiler chick males. *Int J Agric Biol* 2010, 12, 531–536.
40. Shakouri M.D., Iji P.A., Mikkelsen L.L., Cowieson A.J.: Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2009, 93, 647–658, doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00852.x.
41. Sklan D., Smirnov A., Plavnik I.: The effect of dietary fibre on the small intestines and apparent digestion in the turkey. *Br Poult Sci* 2003, 44, 735–740, doi: 10.1080/00071660310001643750.
42. Tejeda O.J., Kim W.K.: The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poult Sci* 2020, 99, 6828–6836, doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081.
43. Tejeda O.J., Kim W.K.: Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. *Animals* 2021, 11, 461, doi: 10.3390/ani11020461.
44. Urban J., Jaworski S., Lange A., Bień D., Matuszewski A., Michalczuk M.: Effects of the Addition of Crude Fibre Concentrate on Performance, Welfare and Selected Caecal Bacteria of Broilers. *Animals* 2023, 13, 3883, doi: 10.3390/ani13243883.
45. Urban J., Michalczuk M., Batorska M., Marzec A., Jaroszek A., Bień D.: Effect of crude fibre additives ARBOCEL and VITACEL on the physicochemical properties of granulated feed mixtures for broiler chickens. *Anim Biosci* 2024, 37, 274–283, doi: 10.5713/ab.23.0218.
46. Yokhana J.S., Parkinson G., Frankel T.L.: Effect of insoluble fiber supplementation applied at different ages on digestive organ weight and digestive enzymes of layer-strain poultry. *Poult Sci* 2016, 95, 550–559, doi: 10.3382/ps/pev336.
47. Zeitz J.O., Neufeld K., Potthast C., Kroismayr A., Most E., Eder K.: Effects of dietary supplementation of the lignocelluloses FibreCell and OptiCell on performance, expression of inflammation-related genes and the gut microbiome of broilers. *Poult Sci* 2019, 98, 287–297, doi: 10.3382/PS/PEY345.
48. Zhang C., Hao E., Chen X., Huang C., Liu G., Chen H., Wang D., Shi L., Xuan F., Chang D., Chen Y.: Dietary Fiber Level Improve Growth Performance, Nutrient Digestibility, Immune and Intestinal Morphology of Broilers from Day 22 to 42. *Animals* 2023, 13, 1227, doi: 10.3390/ani13071227.
49. Zhou C.-H., Xia X., Lin C.-X., Tong D.-S., Beltramini J.: Catalytic conversion of lignocellulose biomass to fine chemicals and fuels. *Chem Soc Rev* 2011, 40, 5588–5617, doi: 10.1039/c1cs15124j.

Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Jakub Urban
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
jakub_urban@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Główniej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

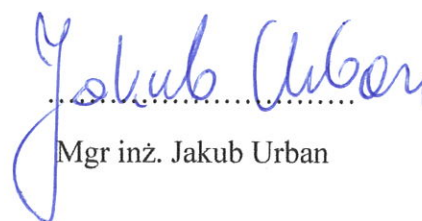
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji badań, zbieraniu, analizie i późniejszej interpretacji danych oraz napisaniu, krytycznej weryfikacji i ostatecznym skorygowaniu artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 70%.

Podpis



Mgr inż. Jakub Urban

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr inż. Damian Bień
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
damian_bien@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Główniej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu, analizie oraz późniejszej interpretacji danych i krytycznej weryfikacji przygotowanego artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 3%.

Podpis



Dr inż. Damian Bień



Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Patrycja Ciborowska
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
patrycja_ciborowska@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Główniej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu danych.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 2%.

Podpis



Mgr inż. Patrycja Ciborowska

Warszawa, 14.07.2025 r.

Mgr inż. Anna Zalewska
Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt
Instytut Nauk o Zwierzętach
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Ciszewskiego 8
02-786 Warszawa
anna_zalewska1@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczyk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu danych.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 2%.

Podpis



Mgr inż. Anna Zalewska

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr hab. Dorota Pietrzak
Katedra Technologii i Oceny Żywności
Instytut Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Nowoursynowska 159c
02-776 Warszawa
dorota_pietrzak@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji badań, zbieraniu danych oraz krytycznej weryfikacji przygotowanego artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 4%.

Podpis



Dr hab. Dorota Pietrzak

Warszawa, 08.07.2025 r.

Dr hab. Marta Chmiel
Katedra Technologii i Oceny Żywności
Instytut Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Ul. Nowoursynowska 159c
02-776 Warszawa
marta_chmiel@sggw.edu.pl

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkoły Głównnej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

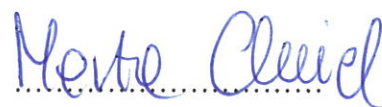
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: opracowaniu koncepcji badań, analizie i interpretacji danych oraz krytycznej weryfikacji przygotowanego artykułu.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 4%.

Podpis



Dr hab. Marta Chmiel

Warszawa, 08.07.2025 r.

Mgr inż. Adriana Jaroszek
ADDICOO GROUP s.r.o.
787 01 Šumperk
Republika Czeska
adriana.jaroszek@addicoo.com

**Rada Dyscypliny
Zootechnika i Rybactwo
Szkół Główniej Gospodarstwa
Wiejskiego w Warszawie**

Oświadczenie o współautorstwie

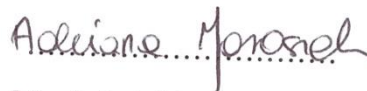
Niniejszym oświadczam, że w pracy:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na: zbieraniu danych.

Indywidualny wkład pracy w publikację wynosi 2%.

Podpis


Mgr inż. Adriana Jaroszek

USA, 08.07.2025

MSc Lucas Elzie Graham
J. Rettenmaier USA LP
16369 US 131 Highway
Schoolcraft, MI 49087
Lucas.Graham@jrsusa.com

**Zootechnics and Fisheries
Discipline Council
Warsaw University
of Life Sciences**

Statement of co-authorship

I hereby declare that at work:

Jakub Urban, Damian Bień, Arkadiusz Matuszewski, Patrycja Ciborowska, Anna Zalewska, Dorota Pietrzak, Marta Chmiel, Adriana Jaroszek, Lucas Elzie Graham, Monika Michalczuk. 2025. Slaughter analysis, incidence of myopathy and breast muscle characteristics of broiler chickens fed crude fibre concentrate feeds. *Journal of Veterinary Research*, 69, 233-239. DOI:10.2478/jvetres-2025-0033

My individual contribution to it consisted of critical revision of the article.

The individual contribution to the publication is 2%.

Signature

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lucas Elzie Graham', written in a cursive style.

MSc Lucas Elzie Graham