



Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

w Warszawie

Instytut Nauk Ogrodniczych

Sylwia Styczyńska

**Zmienność rozwojowa i chemiczna
pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica* L.)
w warunkach jej uprawy**

Developmental and chemical variability of stinging nettle
(*Urtica dioica* L.) under cultivation

Rozprawa doktorska

Doctoral thesis

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem
Prof. dr hab. Katarzyny Bączek
Katedra Roślin Warzywnych i Leczniczych
Instytut Nauk Ogrodniczych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Promotor pomocniczy
Dr inż. Jarosław Przybył
Katedra Roślin Warzywnych i Leczniczych
Instytut Nauk Ogrodniczych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Warszawa, rok 2026

Chciałabym złożyć serdeczne podziękowania Pani promotor,
prof. dr hab. Katarzynie Bączek za pomoc, cenne wskazówki oraz
opiekę naukową podczas prowadzenia badań oraz pisanie pracy.

Dziękuję również Panu prof. dr. hab. Zenonowi Węglarzowi za
poświęcony czas, pomoc i wsparcie w prowadzeniu badań.

Słowa wdzięczności kieruję także do prof. dr hab. Olgi Kosakowskiej,
dr. Jarosława Przybyła, mgr inż. Kavan Raj oraz mgr inż. Janiny Zaród
za pomoc przy realizacji badań oraz za okazaną życzliwość i wsparcie.

Pragnę również podziękować mojemu mężowi,
Marcinowi Styczyńskiemu, za jego cierpliwość, nieustanne wsparcie
oraz niezachwianą wiarę w moją osobę.

**Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej
przygotowanej przez doktoranta Szkoły Doktorskiej SGGW**

Oświadczam, że **rozprawa doktorska autorstwa Sylwii Styczyńskiej została przygotowana pod moim kierunkiem na podstawie badań realizowanych w ramach kształcenia w Szkole Doktorskiej SGGW** i stwierdzam, że spełnia warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora.

Data 19.05.2026..... Czytelny podpis promotora .....

**Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej
będącego doktorantem Szkoły Doktorskiej SGGW**

Świadoma odpowiedzialności prawnej, w tym odpowiedzialności karnej za złożenie fałszywego oświadczenia, oświadczam, że **niniejsza rozprawa doktorska została przygotowana przeze mnie samodzielnie na podstawie badań realizowanych w ramach kształcenia w Szkole Doktorskiej SGGW** 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 19.05.2026..... Czytelny podpis autora rozprawy .....

Spis treści

1. Wstęp	11
2. Struktura rozprawy doktorskiej	13
3. Przegląd piśmiennictwa	15
3.1. Systematyka i nazewnictwo	15
3.2. Występowanie	16
3.3. Charakterystyka morfologiczno – rozwojowa	17
3.4. Surowce zielarskie	24
3.4.1. Liść pokrzywy (<i>Urticae folium</i>)	24
3.4.2. Korzeń pokrzywy (<i>Urticae radix</i>)	35
3.4.3. Nasiona pokrzywy zwyczajnej	39
3.5. Rynek produktów opartych na pokrzywie	40
3.6. Uprawa pokrzywy zwyczajnej	41
4. Cel, zakres pracy i hipotezy badawcze	46
5. Materiały i metodyka	48
5.1. Zadania badawcze	49
5.1.1. Zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe pokrzywy zwyczajnej	49
Zadanie 1. Różnice pomiędzy populacjami	49
Zadanie 2. Zróżnicowanie w obrębie populacji	51
5.1.2. Zadanie 3: Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych	52
5.1.3. Czynniki wpływające na plonowanie i jakość surowca	54
Zadanie 4. Przyrost masy liści i gromadzenie się w nich związków biologicznie czynnych w okresie rozwoju roślin	54
Zadanie 5. Masa liści i zawartość związków biologicznie czynnych w kolejnych pokosach	55
Zadanie 6. Wpływ ograniczonego dostępu światła słonecznego do roślin na ich rozwój, masę surowca i jego jakość	55
5.2. Analizy chemiczne surowców	57
5.2.1. Zawartość związków fenolowych (kwasów fenolowych i flawonoidów)- HPLC	57
5.2.2. Ogólna zawartość kwasów fenolowych	58
5.2.3. Zawartość barwników asymilacyjnych	58
5.2.4. Parametry fizjologiczne	59
5.2.5. Analiza statystyczna wyników	60
6. Opis wyników i dyskusja	61
6.1. Zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe pokrzywy zwyczajnej	61
Zadanie 1. Różnice pomiędzy populacjami	61
Zadanie 2. Zróżnicowanie w obrębie populacji	61
6.2. Zadanie 3. Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych	65
6.3. Czynniki wpływające na plonowanie i jakość surowca	68
Zadanie 4. Przyrost masy liści i gromadzenie się w nich związków biologicznie czynnych w okresie rozwoju roślin	68
Zadanie 5. Masa liści i zawartość związków biologicznie czynnych w kolejnych pokosach	70
Zadanie 6. Wpływ ograniczonego dostępu światła słonecznego na rozwój roślin, masę surowca i jego jakość	75
7. Wnioski	77
8. Bibliografia	79
9. Wykaz fotografii, tablic, rysunków i tabel	96
10. Wydruki artykułów	99
11. Oświadczenia współautorów	125

Streszczenie

Zmienność rozwojowa i chemiczna pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica* L.) w warunkach jej uprawy

Pokrzywa zwyczajna jest jedną z najważniejszych roślin zielarskich, u której głównym surowcem są liście. Wyrównany, wysokiej jakości i standaryzowany surowiec z tej rośliny możliwy jest do uzyskania jedynie z uprawy. Celem badań było określenie zakresu zróżnicowania dzikorosnących populacji pokrzywy zwyczajnej oraz możliwości wykorzystania jej potencjału rozwojowego w kierunku uzyskania jednorodnego wegetatywnego materiału rozmnożeniowego, a także surowca o ustalonych, wysokich parametrach jakościowych. Wyniki badań wskazują na wyraźną zmienność badanych populacji pokrzywy pod względem masy liści oraz zawartości w nich związków fenolowych i barwników asymilacyjnych, przy czym zmienność ta była wyższa w obrębie populacji niż pomiędzy nimi. Wykazano, iż optymalnym terminem pozyskiwania sadzonek korzeniowo-pędowych z plantacji produkcyjnej pokrzywy jest wczesna wiosna. Najwięcej kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego oraz barwników asymilacyjnych w liściach rośliny gromadziły w okresie kwitnienia. W uprawie pokrzywy można uzyskać cztery pokosy ziela, przy czym główna masa surowca pochodzi z pierwszych dwóch pokosów, a kumulatywna sucha masa liści z rośliny może przekraczać 1 kg. Plonowanie i jakość surowca u pokrzywy zależą od dostępu światła słonecznego do roślin. Rośliny uprawiane przy pełnym dostępie światła wytwarzają trzykrotnie wyższą masę ziela, a także wyższą zawartość związków fenolowych niż te rosnące w głębokim zacienieniu (50%). Rośliny rosnące w cieniu charakteryzują się natomiast wyższą zawartością chlorofilu. W pracy wykazano dodatnią korelację pomiędzy ogólną zawartością kwasów fenolowych a zawartością kwasu chlorogenowego ($r = 0,71$) oraz kwasu kawowojabłkowego ($r = 0,59$), pozwalając na szybką i tanią ocenę farmakopoealnej jakości surowca.

Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w projektowaniu prac hodowlanych, a także w opracowywaniu zaleceń agrotechnicznych, dotyczących klonalnej uprawy pokrzywy.

Słowa kluczowe: rośliny lecznicze, zróżnicowanie, faza rozwojowa, populacje, klony, uprawa, plon, jakość, związki fenolowe, barwniki asymilacyjne, HPLC

Abstract

Developmental and chemical variability of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) under cultivation

Stinging nettle is one of the most important medicinal plants, with its leaves serving as the main raw material. Consistent, high-quality, and standardized raw material of this plant can only be obtained through cultivation. The aim of the study was to determine the range of variability of stinging nettle and the potential for exploiting its development capacity to obtain uniform vegetative propagation material, as well as raw material with consistent, high-quality parameters. The results indicate significant variability in nettle populations concerning leaf mass, content of phenolics and assimilation pigments, with greater variability observed within than between populations. It was demonstrated that the optimal time for harvesting root-shoot cuttings from nettle plantations is early spring. The highest content of chlorogenic and caffeoylmalic acids, as well as assimilatory pigments in the leaves, occur during the flowering period. In nettle cultivation, four harvests of the herb can be obtained, with the bulk of the raw material originating from the first two harvests and the cumulative dry weight of leaves exceeding 1 kg per plant. The yield and quality of nettle raw material also depend on the amount of sunlight the plants receive during cultivation. Plants grown in full sunlight produce three times as much biomass and a higher content of phenolic compounds compared to those grown in deep shade (50%). Plants growing in the shade, on the other hand, show higher chlorophyll content. The study demonstrated a positive correlation between the total content of phenolic acids and the content of chlorogenic acid ($r = 0.71$), and caffeoylmalic acid ($r = 0.59$) enabling rapid and inexpensive assessment of pharmacopoeial raw material.

The obtained results may be applied in the design of breeding programs as well as in the development of agrotechnical recommendations for the clonal cultivation of common nettle.

Keywords: medicinal plants, variability, developmental stage, populations, clones, cultivation, yield, quality, phenolic compounds, assimilation pigments, HPLC

1. Wstęp

Pokrzywa zwyczajna jest ważną rośliną zielarską, z której pozyskuje się przede wszystkim liście. Mimo dużego zapotrzebowania zbiera się je głównie z roślin dziko rosnących. Przy takim sposobie zbioru nie spełniają one jednak wymagań jakościowych przemysłu zielarskiego, zarówno ze względu na zmienną zawartość związków biologicznie aktywnych, jak i obecność różnych zanieczyszczeń (m. in. alkaloidów pirolizydynowych i tropanowych, pozostałości pestycydów, metali ciężkich oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych).

Wydaje się, że wyrównany, wysokiej jakości surowiec możliwy jest do uzyskania jedynie z uprawy i to przy użyciu dobrego, wyrównanego genetycznie materiału rozmnożeniowego do zakładania plantacji.

Pokrzywa zwyczajna jest gatunkiem silnie heterozygotycznym, generującym poprzez nasiona dużą zmienność. Dlatego też nasiona, będąc nieodpowiednim materiałem siewnym, są równocześnie bardzo przydatne przy poszukiwaniu źródeł cech użytkowych. Biorąc to pod uwagę, w niniejszej pracy wykorzystano nasiona dziesięciu oddalonych od siebie geograficznie populacji pokrzywy jako źródła zmienności związków biologicznie aktywnych charakterystycznych dla tej rośliny. Zmienność tą badano na roślinach uzyskanych z tych nasion zarówno na poziomie populacji, jak i w ich obrębie (pomiędzy roślinami).

Pokrzywa zwyczajna, jako roślina rozprzestrzeniająca się na stanowiskach naturalnych przy użyciu organów podziemnych, ma wysoki naturalny wegetatywny potencjał rozmnożeniowy. Wykorzystanie tego potencjału w kierunku wytwarzania jednorodnego materiału sadzonkowego może pozwolić na zakładanie plantacji klonalnych o określonych i ustalonych (powtarzalnych) parametrach użytkowych. Biorąc powyższe pod uwagę w niniejszej pracy podjęto również badania dotyczące: a) opracowania metody pozyskiwania sadzonek korzeniowo-pędowych z plantacji pokrzywy zwyczajnej, użytkowanej równocześnie na surowiec; b) określenia zależności pomiędzy przyrostem masy liści a gromadzeniem się w nich związków biologicznie aktywnych; c) oceny plonu liści i jego jakości w kolejnych pokosach; d) określenia wpływu ograniczonego dostępu światła słonecznego do roślin na masę liści i ich jakość.

2. Struktura rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska opracowana została w trybie hybrydowym, tj. opiera się zarówno na opublikowanych artykułach naukowych, jak i na badaniach własnych nieopublikowanych. W niniejszej pracy badania realizowano w obrębie sześciu zadań.

Wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej:

- Koczkodaj, S., Przybył, J. L., Kosakowska, O., Węglarz, Z., Bączek, K.B. (2023). Intraspecific variability of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules*, 28(3), 1505. **(zadanie 1)**
- Styczyńska, S., Węglarz, Z., Grabowski, K., Jędrzejuk, A., Przybył, J.L., Bączek, K. (2025). Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. *Herba Polonica*, 71(3): 65-76. **(zadanie 6)**.

Pozostałe nieopublikowane wyniki zostały przedstawione w niniejszej pracy jako **zadania 2–5**.

3. Przegląd piśmiennictwa

3.1. Systematyka i nazewnictwo

Pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica* L.) należy do rodziny pokrzywowatych (Urticaceae). W „Krytycznej liście roślin naczyniowych Polski” (Mirek i in., 2002) została sklasyfikowana jako gatunek rodzimy, w obrębie którego wyróżnia się dwa podgatunki: subsp. *dioica* (pokrzywa zwyczajna typowa) oraz subsp. *galeopsifolia* (pokrzywa zwyczajna poziewnikolistna), przy czym ten drugi opisywany jest również jako gatunek (*Urtica galeopsifolia* Wierzb. ex Opiz). We florze Polski, do gatunków z rodziny pokrzywowatych zaliczany jest także antropofit, tj. pokrzywa żegawka (*Urtica urens* L.), oraz dwa efemerofity: pokrzywa konopiolistna (*Urtica cannabina* L.) i pokrzywa kuleczkowata (*Urtica pilulifera* L.).

Pokrzywa zwyczajna jest gatunkiem silnie zróżnicowanym, o problematycznej i zmiennej taksonomii. Na przestrzeni lat liczni autorzy podejmowali próby jego klasyfikacji, wyróżniając w obrębie gatunku taksony niższego rzędu, w tym podgatunki (subspecies), odmiany (varietas) i formy (forms). W ostatnich latach przeprowadzono kilka rewizji botanicznych tych taksonów (Grosse-Veldmann i Weigend, 2017; Henning i in., 2014; Weigend i Luebert, 2009). Do znacznego postępu w tym zakresie przyczyniły się badania molekularne, które doprowadziły do wykluczenia licznych, pozornie podobnych taksonów zidentyfikowanych w Australii, Oceanii, Azji Wschodniej i obu Amerykach (Farag i in., 2013; Henning i in., 2014). Wg danych portalu Euro+Med PlantBase (Internet 1), w obrębie gatunku *Urtica dioica* wyróżnia się 6 podgatunków, tj. subsp. *cypria*; subsp. *dioica*; subsp. *kurdistanica*; subsp. *pubescens*; subsp. *sondenii*; subsp. *subinermis*. Każdy z nich został opisany w literaturze badawczej (Ernst, 1965; Özhatay i in., 2009; Weigend, 2007). Przykładowo, taksonomię podgatunku *U. dioica* subsp. *dioica* opisali Grosse-Veldmann i Weigend (2017). Zweryfikowali oni ponad 70 nazw podgatunkowych odnoszących się do tego podgatunku, w obrębie którego wyróżnili pięć morfotypów. Są to: *U. dioica* subsp. *dioica* var. *dioica* (40 nazw synonimicznych), – var. *hispida* (9 nazw synonimicznych), – var. *sarmatica* (brak nazw synonimicznych), – var. *holosericea* (16 nazw synonimicznych) oraz –var. *glabrata* (1 nazwa synonimiczna). Występują one w Europie, charakteryzują się określonym zasięgiem występowania i preferencjami siedliskowymi oraz stabilnymi cechami morfologicznymi, przy czym w swojej najbardziej charakterystycznej postaci są dość zróżnicowane pod kątem wysokości roślin, kształtu i ząbkowania liści, liczby

i rozmieszczenia włosków parzących na liściach, budowy i długości kwiatostanów oraz płci (obecności i częstotliwości występowania form jednopiennych i dwupiennych w obrębie populacji). Należy pamiętać, że w środowisku naturalnym morfotypy te łatwo się krzyżują, przez co występuje także wiele ich form pośrednich.

Ze względu na niejasności związane z taksonomią gatunku oraz jego wysokie zróżnicowanie utrudniające jednoznaczną identyfikację, gatunek *Urtica dioica* powszechnie opisywany jest w literaturze jako zbiorowy „sensu lato” (Grauso i in., 2020; Grosse-Veldmann, 2016). W taki też sposób gatunek ten jest traktowany w niniejszej rozprawie doktorskiej.

Nazwa rodzaju *Urtica* pochodzi od łacińskiego słowa *uro* oznaczającego „palić” lub *urere* oznaczającego „kłuć”, co odnosi się do właściwości parzących włosków obecnych na całej roślinie. Epitet gatunkowy *dioica* (z gr. *dioikos*) oznacza „dwudomowy”. Powstał on na skutek połączenia dwóch greckich słów: *dis* – dwa oraz *oikos* – dom; co prawdopodobnie związane jest z faktem, iż gatunek ten do niedawna uznawany był za dwupienny, rozdzielнопłciowy (Ahmed i Parsuraman, 2014; Grauso i in., 2020).

3.2. Występowanie

Pokrzywa zwyczajna pochodzi z obszaru Północnej Eurazji. Obecnie jako gatunek naturalizowany, kosmopolityczny, rośnie na całej kuli ziemskiej z wyjątkiem regionów tropikalnych i Antarktydy. W Polsce występuje powszechnie w całym kraju, sięgając do piętra kosodrzewiny w Tatrach. Jest gatunkiem ruderalnym. Preferuje stanowiska żyzne, wilgotne, częściowo zacienione; występuje w lasach, zaroślach na stanowiskach okrajkowych, nad rzekami i strumieniami oraz na stanowiskach silnie przekształconych przez człowieka takich jak wysypiska, przydroża i przychacia (Dostatny i Dajdok, 2020; Grauso i in., 2020; Grosse-Veldmann i Weigend, 2017; Kregiel i in., 2018).

Pokrzywa zwyczajna jest gatunkiem charakterystycznym dla klasy *Artemisietea vilgaris*, typowym dla następujących zespołów roślinnych:

- *Salicion-albae* (łągi wierzbowe; występujące najczęściej na glebach o znacznej żyzności),
- *Salici-populetum* (łągi wierzbowo-topolowe; występujące zwykle na madach),
- *Alno-Padion* (łągi olszowe, jesionowe i wiązowe; występujące na siedliskach wilgotnych lub mokrych, bardzo żyznych) (Matuszkiewicz, 2008).

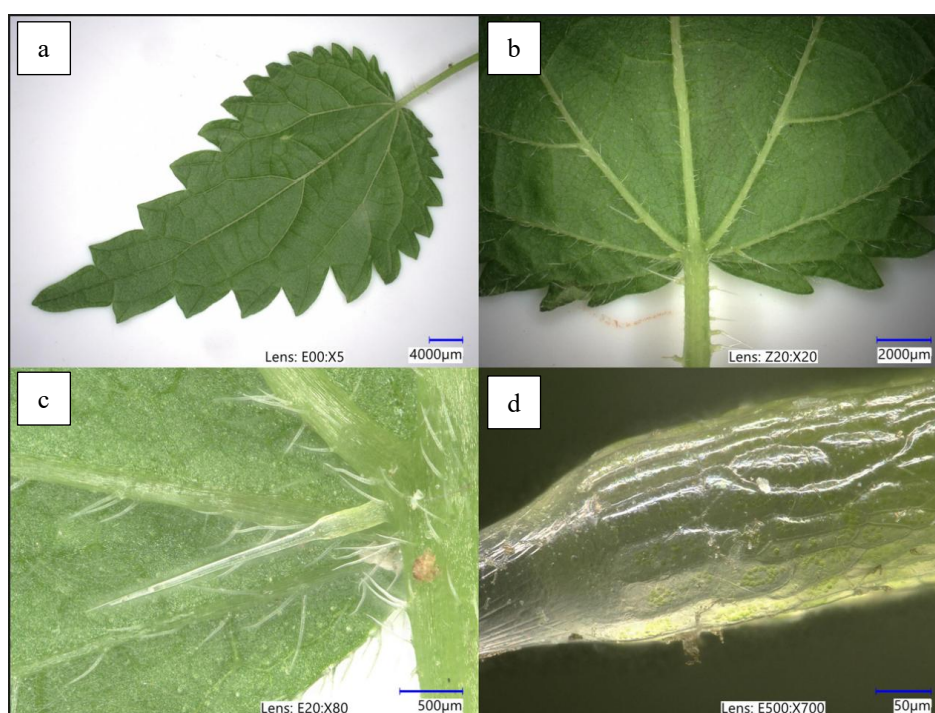
3.3. Charakterystyka morfologiczno – rozwojowa

Pokrzywa zwyczajna jest byliną kłączową, hemikryptofitem. Organy podziemne zbudowane są z kłączy z korzeniami oraz rozłogów, z których wiosną w kolejnych latach wegetacji wyrastają ulistnione pędy nadziemne osiągające wysokość od 0,5 do 3 m. Są one wzniesione, a ich łodygi – czterokanciaste, w kolorze od jasnozielonego do ciemnofioletowego. Starsze łodygi silnie drewnieją. Liście ogonkowe dorastają do 15 cm długości, są ułożone na pędzie nakrzyżlegle, posiadają dwa przylistki. Blaszka liściowa jest szerokojajowata do wąskolancetowatej, o sercowatej nasadzie i zaostrozonym wierzchołku. Brzeg blaszki jest grubopilkowany. Przylistki są lancetowate do jajowatych, całobrzegie (Fot. 1).



Fot. 1. Pokrzywa zwyczajna na początku kwitnienia (o ile nie podano inaczej, fotografie zamieszczone w niniejszej pracy zostały wykonane przez jej autorkę).

Liście, łodygi i kwiaty pokrzywy pokryte są włoskami (Tablica 1). Najbardziej charakterystyczne są dla niej włoski parzące (Tablica 1c, d), zbudowane z wielokomórkowej podstawy oraz długiej pojedynczej komórki zakończonej niewielką główką. Wierzchołek włoska jest asymetrycznie zgrubiały, zwężony, a jego ściany są silnie wysycone krzemionką (SiO_2), co zapewnia twardość, ale i kruchość. Trzon włoska (Tablica 1d) jest wysycony węglanem wapnia (CaCO_3), a jego podstawa zawiera dodatkowo domieszki krzemionki i fosforanu wapnia ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), przez co jest on bardziej elastyczny i podatny na kompresję. To z kolei umożliwia wypchnięcie mieszaniny związków parzących po odłamaniu główki włoska. Podrażnienie skóry na skutek kontaktu z włoskami parzącymi pokrzywy wynika zarówno z mechanicznego uszkodzenia skóry, jak i z chemicznego działania wydzielanych związków. Wysycone krzemionką włoski parzące, na skutek uszkodzenia, łamią się, tworząc ostrą końcówkę, poprzez którą do skóry dostaje się parząca mieszanina związków chemicznych. W jej skład wchodzi acetylocholina (2-acetoxi-N,N,N-trimethylethanaminium; $\text{C}_7\text{H}_{16}\text{NO}_2$), kwas mrówkowy (methanoic acid; CH_2O_2), histamina (2-(1H-imidazol-4-yl)ethanamine; $\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3$) i serotonina (5-hydroxytryptamine; $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}$), które w kontakcie ze skórą powodują swędzenie i wysypkę (Cummings i Olsen, 2011; Fu i in., 2007; Grauso i in., 2020; Mustafa i in., 2018). Liście i łodygi pokrzywy pokryte są także włoskami okrywowymi (Tablica 1c) oraz wydzielniczymi, w których gromadzony jest w niewielkich ilościach olejek eteryczny.



Tablica 1. Liść pokrzywy zwyczajnej: a) dolna strona liścia, b) nasada blaszki liściowej, c) włoski okrywowe i włoski parzące, d) podstawa włoska parzącego.

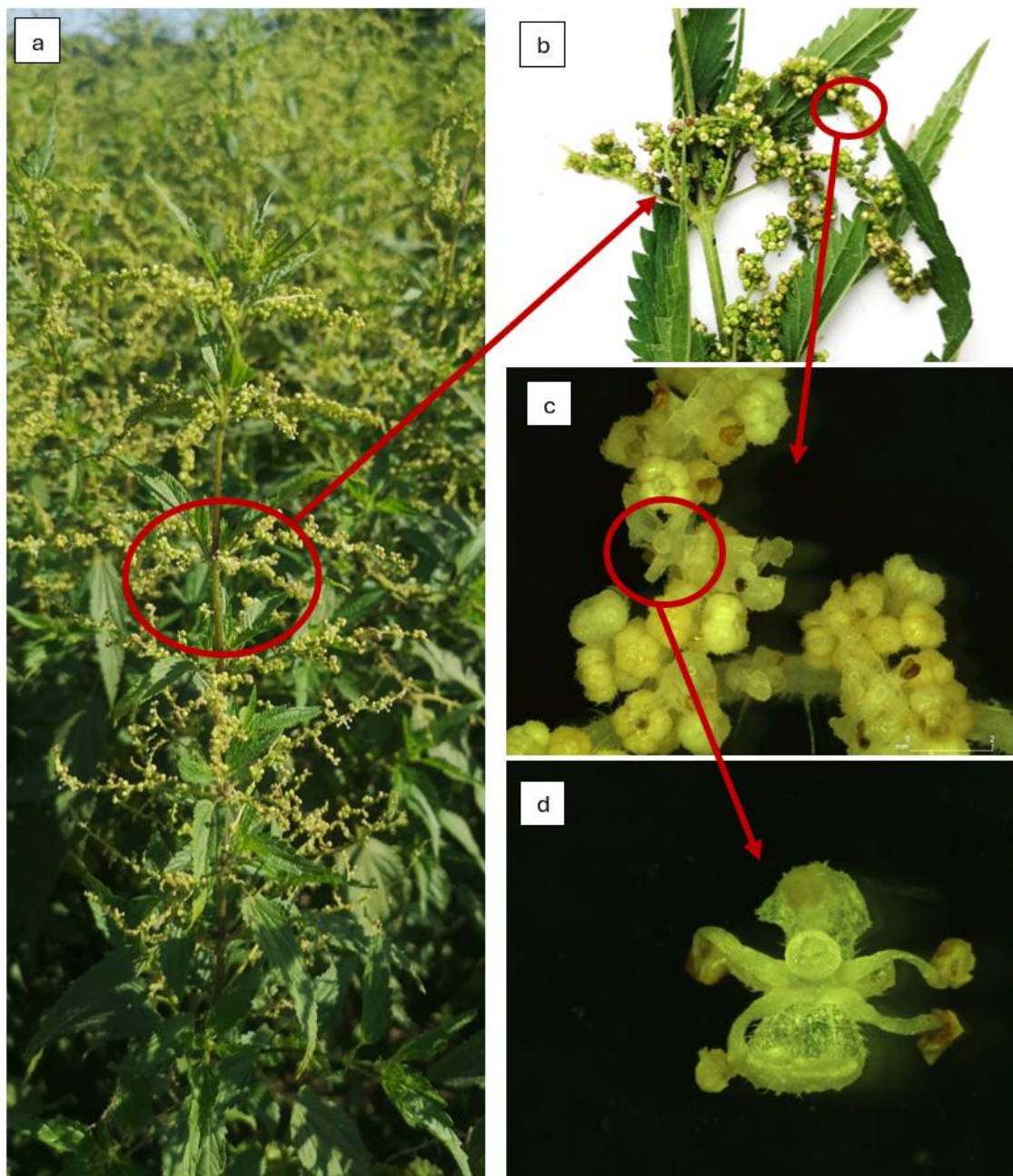
W wielu publikacjach naukowych pokrzywa zwyczajna opisywana jest jako gatunek dwupienny, rozdzielнопłciowy. Najnowsze badania wskazują na jego poligamiczny charakter, tj. występowanie osobników żeńskich, męskich oraz różnych form jednopiennych. Zjawisko to opisywane jest w literaturze jako subdioecja. Formy dwupienne i jednopienne krzyżują się, dając płodne potomstwo (Glawe i de Jong, 2008; Grosse-Veldmann i Weigend, 2017; Henning i in., 2014; Shannon i Holsinger, 2006). Kwiatostany wyrastają na szczytach pędów, w kątach liści, zazwyczaj po cztery w węźle. Kwiatostany męskie są wzniesione, wiechowate (Tablica 2). Białozółty kwiat męski posiada cztery pręciki (Tablica 2d). Kwiatostany żeńskie (Tablica 3) są kłosowate lub groniaste. W okresie pełni kwitnienia są zwieszone, opatrzone długimi włoskami parzącymi. Zielony kwiat żeński posiada jedno pędzelkowate znamię słupka (Tablica 3d). Wśród form obojnaczych występują takie, które posiadają oba typy kwiatostanów bądź kwiatostany z kwiatami żeńskimi i męskimi oraz/lub obojnacze (Tablica 4 i 5). Zapylenie następuje głównie przez wiatr (anemogamia). W niewielkim stopniu pokrzywa zwyczajna zapylena jest także przez owady (Piękoś-Mirkowa i Mirek, 2003). Owocem jest mały, trójkątny orzeszek, otoczony listkami okwiatu. Stanowią one materiał siewny pokrzywy. Masa 1000 nasion wynosi około 0,3–0,5 g (Kosolapov i in., 2022).

Pokrzywa zwyczajna rozmnaża się generatywnie i rozprzestrzenia wegetatywnie. Jako bylina kłączowa na stanowiskach naturalnych silnie rozrasta się przez organy podziemne, tworząc zwarte, rozległe skupiska. Z kolei jej nasiona są rozsiewane przez wiatr i roznoszone przez zwierzęta (głównie mrówki – myrmekochoria). Rozmnażanie generatywne ma znaczenie przede wszystkim podczas kolonizowania nowych terenów. W warunkach klimatycznych Europy Środkowej rozwój pokrzywy rozpoczyna się już w marcu – kwietniu, w zależności od przebiegu pogody i wilgotności gleby. Kwitnienie przypada zwykle na czerwiec – sierpień, a dojrzewanie owoców trwa do jesieni (Kołodziej, 2018; Viotti i in., 2022; Wichtl, 2004).

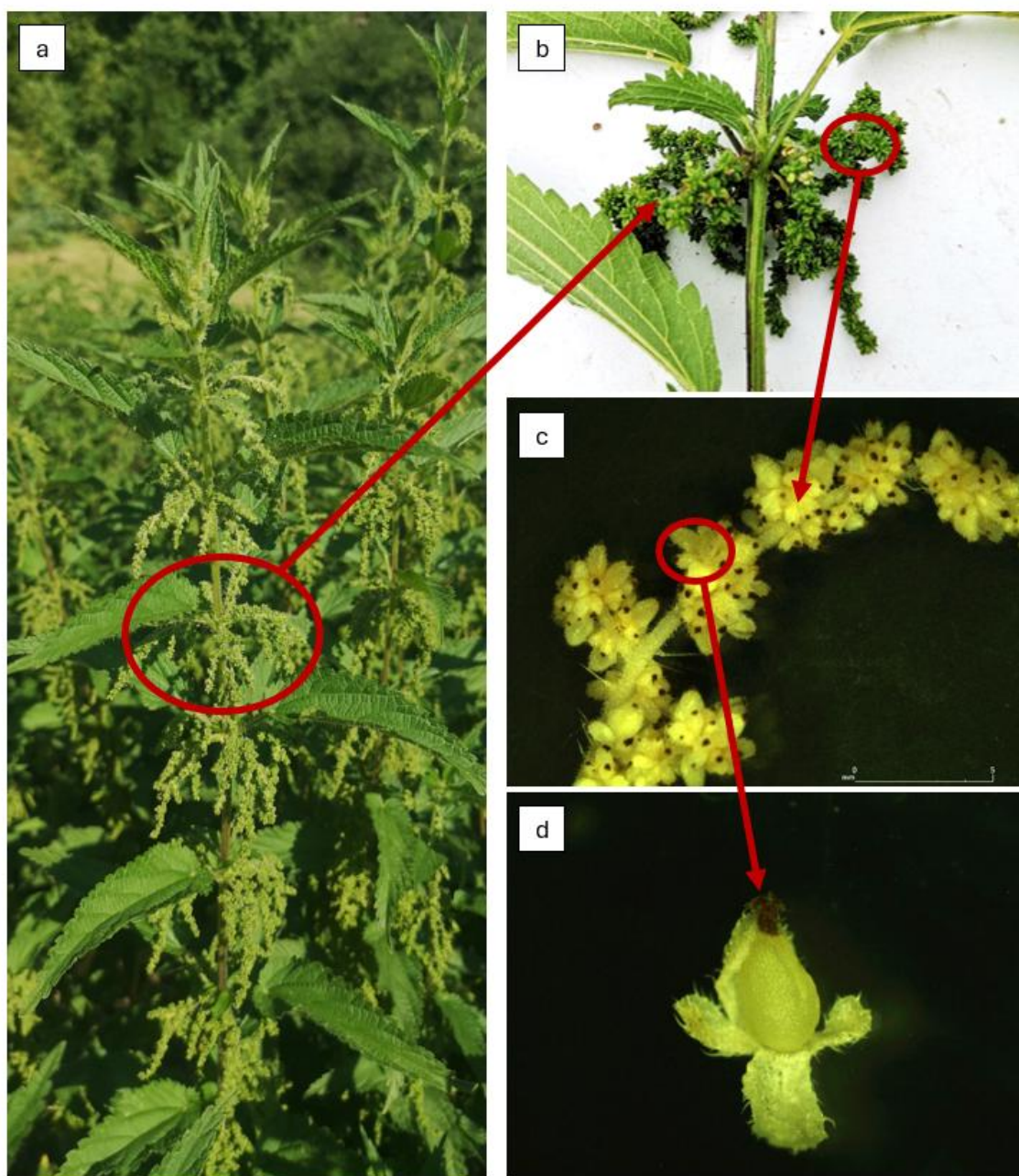
Pokrzywa zwyczajna reprezentowana jest zarówno przez osobniki diploidalne ($2n=26$) jak i tetraploidalne (najczęściej $2n=48$ lub $2n=52$). Formy występujące w Europie to w większości tetraploidy (Cronk i in., 2016).

Pełni ona kluczową rolę w utrzymaniu bioróżnorodności wielu ekosystemów, szczególnie siedlisk nadrzecznych i ruderalnych. Stanowi istotny element troficzny, pełniąc funkcję rośliny żywicielskiej dla szerokiego spektrum (Cronk i in., 2016), zwłaszcza dla motyli dziennych i nocnych (Lepidoptera), chrząszczy (Coleoptera), pluskwiaków (Hemiptera) (James i in., 2015). Wśród motyli wiele gatunków, jak rusalka

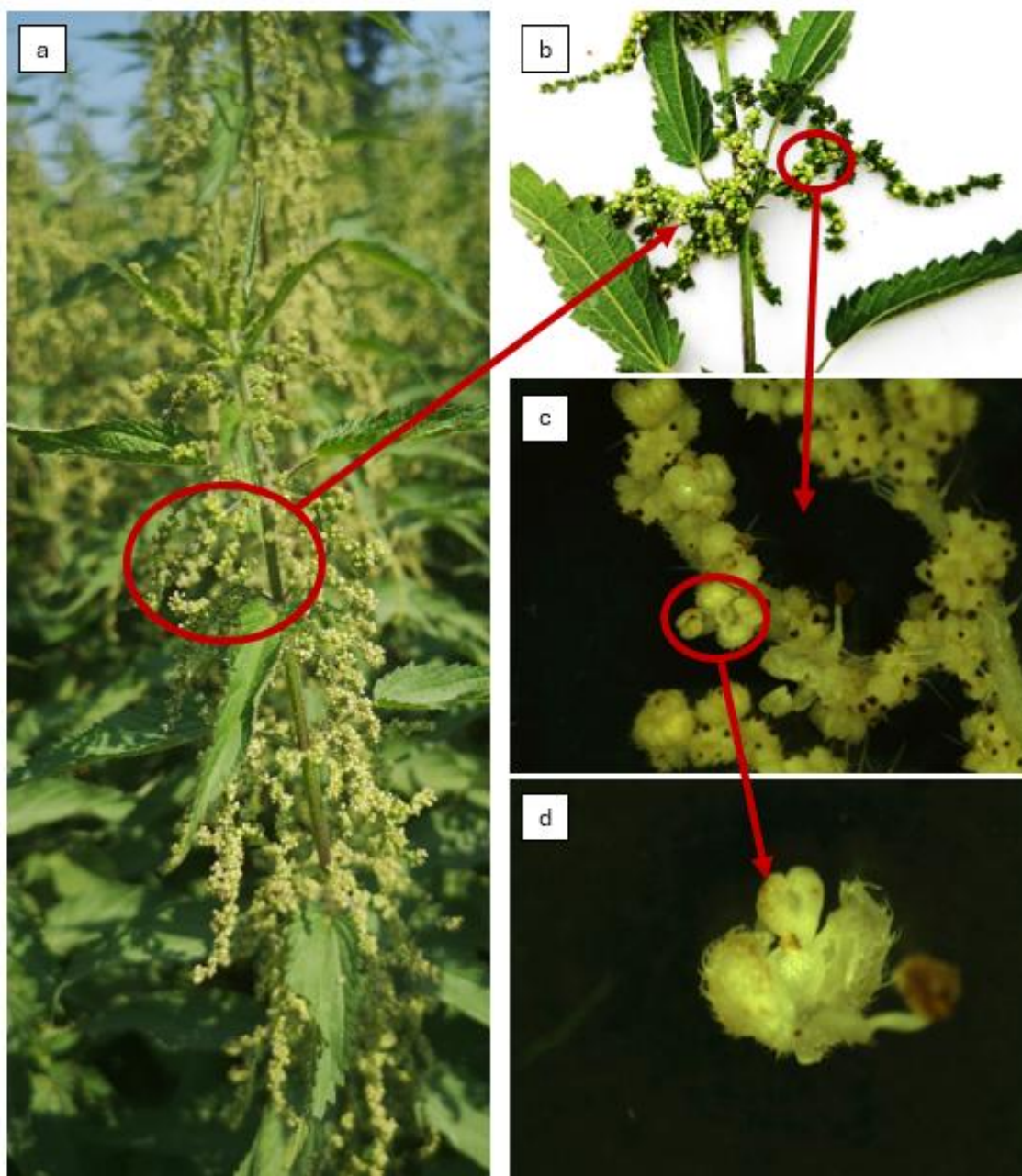
pawik (*Aglaia io*), rusałka pokrzywnik (*Aglaia urticae*) czy rusałka admirał (*Vanessa atalanta*), wykorzystuje pokrzywę jako roślinę żywicielską dla swoich gąsienic. Dzięki wysokiej zawartości azotu, fosforu i wapnia jej spożycie sprzyja szybkiemu rozwojowi larw, a włoski parzące zapewniają ochronę przed drapieżnikami (Cronk i in., 2016; Gaston i in., 2005).



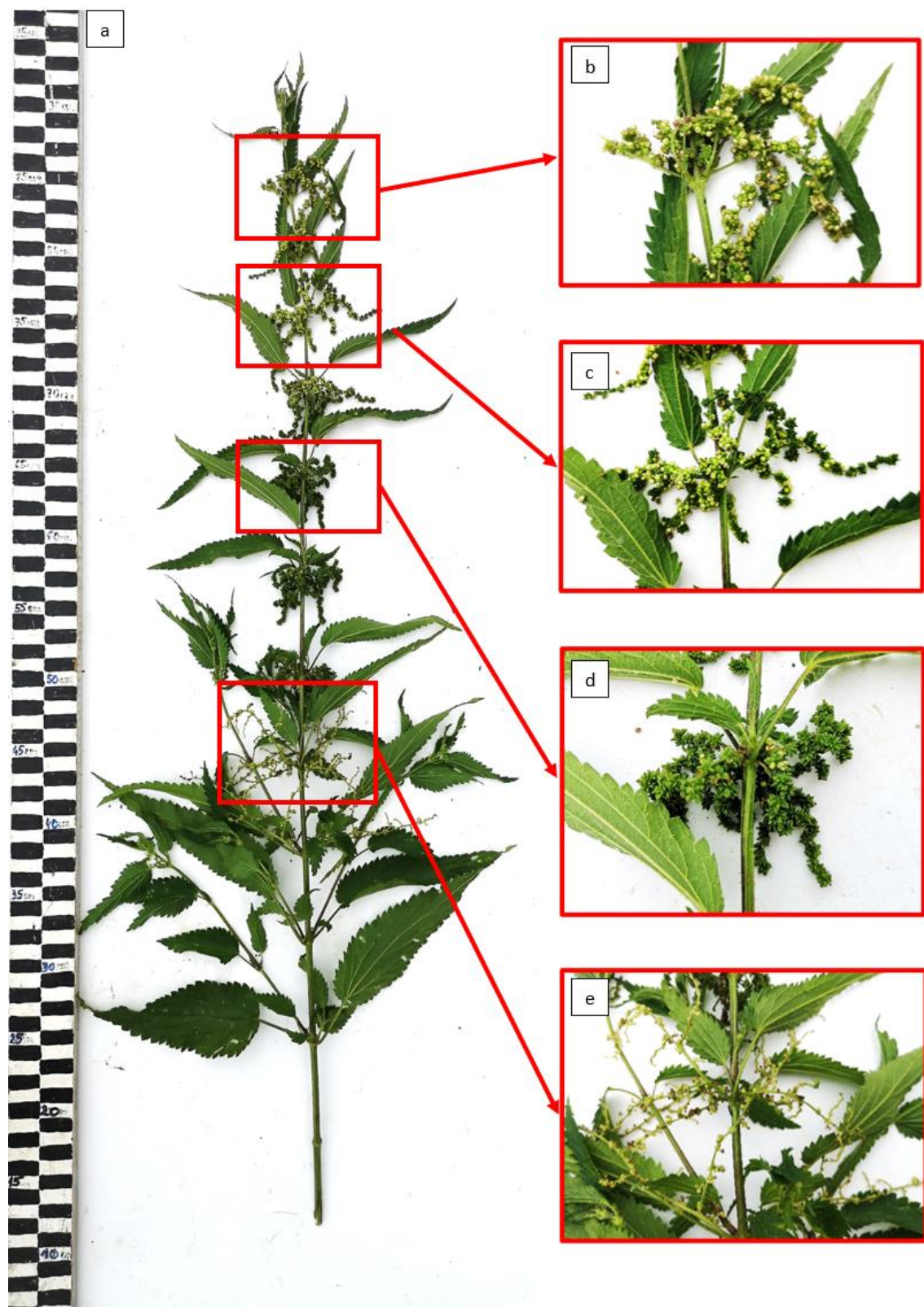
Tablica 2. Forma męska pokrzywy: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan, c) kwiatostan, pow. x5, d) kwiat, pow.x10.



Tablica 3. Forma żeńska pokrzywy: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan, c) kwiatostan, pow. x5, d) kwiat, pow.x10.



Tablica 4. Forma pokrzywy wyłącznie z kwiatostanami obojnaczymi: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan, c) kwiatostan, pow. x5, d) kwiat, pow.x10.



Tablica 5. Forma obojnacza pokrzywy z kwiatami żeńskimi, męskimi i obojnaczymi: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan męski, c) kwiatostan obojnaczy, d) kwiatostan żeński, e) przekwitnięty kwiatostan męski.

3.4. Surowce zielarskie

Pokrzywa od wieków wykorzystywana jest jako roślina lecznicza, spożywcza, paszowa, włóknodajna, barwierska, a ostatnio stosowana jest również w fitoremediacji (Di Virgilio i in., 2015; Grauso i in., 2020; Kregiel i in., 2018b). Surowcami zielarskimi są u niej liście, ziele (Fot. 2 i 3), organy podziemne (Fot. 4 i 5), czasem również nasiona, przy czym surowcami farmakopealnymi są jedynie liście (*Urticae folium*) i organy podziemne (*Urticae radix*) pokrzywy. W dalszej części pracy szczegółowo omówiono surowce wykorzystywane leczniczo.



Fot. 2. Liść pokrzywy zwyczajnej.



Fot. 3. Wysuszony liść pokrzywy zwyczajnej.



Fot. 4. Korzeń pokrzywy zwyczajnej po umyciu.



Fot. 5. Wysuszony korzeń pokrzywy zwyczajnej.

3.4.1. Liść pokrzywy (*Urticae folium*)

Zgodnie z definicją przedstawioną w Farmakopei Polskiej XI (FP XI, 2017) liść pokrzywy (całe lub rozdrobnione wysuszone liście) może być pozyskiwany z dwóch gatunków, tj. z *Urtica dioica* L., *Urtica urens* L. lub z mieszaniny tych dwóch gatunków. Powinien on zawierać nie mniej niż 0,3% sumy kwasu kawowojabłkowego i kwasu chlorogenowego, w przeliczeniu na kwas chlorogenowy. Surowiec farmakopealny nie może zawierać więcej niż 5% łodyg i nie więcej niż 5% innych zanieczyszczeń (włączając kwiatostany), a strata masy po suszeniu powinna wynosić nie więcej niż 12%. Warto zaznaczyć, że w praktyce zielarskiej „liść pokrzywy” często rozumiany jest

zarówno jako same liście, jak i młode ziele, zbierane we wczesnej fazie wegetatywnej, gdy pędy pokrzywy są jeszcze niezdrewniałe.

Skład chemiczny

Liście pokrzywy zwyczajnej stanowią bogate źródło związków biologicznie aktywnych, a w szczególności związków fenolowych, w tym kwasów fenolowych, flawonoidów oraz garbników. Ogólna zawartość kwasów fenolowych w surowcu dochodzi nawet do 2,5%. Wśród nich, obok kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego (na które surowiec jest standaryzowany), obecne są również inne pochodne kwasu cynamonowego, takie jak kwas kawowy, p-kumarowy, ferulowy i synapinowy, a także pochodne kwasu hydroksybenzoesowego, m.in. kwas galusowy, gentyzynowy, syringowy, protokatechowy i waniliowy. Zawartość flawonoidów kształtuje się na poziomie od 0,3 do 1,5%. W tej grupie zidentyfikowano m.in. apigeninę, astragalinę, katechinę, genisteinę, izoramnetynę, kemferol, rutozyd, kwercetynę oraz luteolinę. Natomiast ogólna zawartość garbników waha się od 0,5 do 2%. Dominującą grupę stanowią tu garbniki hydrolizujące, głównie pochodne kwasów galusowego i elagowego, natomiast w mniejszych ilościach występują garbniki skondensowane (proantocyjanidyny). Surowiec ten jest także bogaty w barwniki asymilacyjne, w tym chlorofile a i b, β -karoten, α - i β -ksantofile, neoksantynę oraz likopen. Liście pokrzywy zawierają ponadto kumaryny, wśród których dominującym związkiem jest skopoletyna. Obecne są w nich również kwasy tłuszczowe, takie jak kwas linolowy, linolenowy, palmitynowy, stearynowy i oleinowy. Wśród steroli dominują β -sitosterol i stigmasterol. Zawartość olejku eterycznego w liściach pokrzywy jest niewielka i wynosi 0,01–0,1%, a w jego składzie zidentyfikowano m.in. karwakrol, karwon, naftalen, (E)-anetol, (E)- β -jonon oraz fitol (Di Virgilio i in., 2015; Đurović i in., 2024; Grauso i in., 2020; Joshi i in., 2014; Kregiel i in., 2018; Rafajlovska i in., 2013; Repajić i in., 2021; Toplicean i in., 2024).

Liście pokrzywy mają wysoką wartość odżywczą. W suchym surowcu znajduje się około 47% węglowodanów, do 13% tłuszczu, do 34% białka oraz do 9% błonnika pokarmowego (Adhikari i in., 2016; Devkota i in., 2022). Liść pokrzywy jest bogatym źródłem witamin, w tym witaminy A (retinol), B2 (ryboflawina), B3 (niacyna), B5 (kwas pantotenowy), B6, C (kwas askorbinowy) i K (filochinon). Ponadto jest bogaty w makro- i mikrośkładniki, w tym pierwiastki śladowe, tj. w wapń (Ca), magnez (Mg), fosfor (P), potas (K), sód (Na), kobalt (Co), miedź (Cu), bor (B), żelazo (Fe), mangan (Mn), molibden (Mb), nikiel (Ni), selen (Se) i cynk (Zn). Zawiera również znaczne ilości

rozpuszczalnej krzemionki (SiO₂) (Bhusal i in., 2022a; Di Virgilio i in., 2015; Đurović i in., 2024; Grauso i in., 2020; Gül i in., 2012; Pant, 2019; Rafajlovska i in., 2013; Rutto i in., 2013; Said i in., 2015; Toplicean i in., 2024).

Produkty lecznicze

Liście (ziele) pokrzywy stosowane są w wielu formach. Najprostszą z nich jest surowiec nieprzetworzony, konfekcjonowany w postaci nierozdrobnionej lub rozdrobnionej, w tym w formie proszku, przeznaczony do sporządzania naparów (herbat ziołowych), np. Herbapol Zielnik Polski – Pokrzywa. Dostępne są także przetwory ze świeżego surowca m.in. wyciskane soki, przy czym większość z nich jest stabilizowana i rozcieńczana etanolem. Te dwie formy stosowane są powszechnie przede wszystkim jako produkty spożywcze, w tym suplementy diety. Najczęściej stosowaną formą leczniczą są obecnie ekstrakty – zarówno płynne, jak i suche o określonym stosunku DER (Drug Extract Ratio; tj. stosunku surowca do otrzymanego ekstraktu), w tym:

- ekstrakty płynne:
 - na bazie 96% etanolu, wody i 16,5% wina (stosunek objętościowy rozpuszczalników: 1,65:1,35:7); (DER 1:5);
 - na bazie 25% etanolu (DER: 1:1) lub 30% etanolu (DER: 1:1,8-2,2);
- ekstrakty suche:
 - wodny (DER 4,7-6:1 lub 5-10:1);
 - na bazie 50% etanolu (DER 8-10:1) (EMA, 2010b, 2025b).

Większość stałych form doustnych, takich jak kapsułki, tabletki lub drażetki, zawiera suche ekstrakty lub sproszkowany surowiec, np. Colfarm (tabletki), Solgar (kapsułki), Pure Herbs (kapsułki). Na rynku obecne są również płynne preparaty doustne, obejmujące soki ze świeżego surowca, płynne ekstrakty oraz nalewki, np. Zielarnia Klasztorna – sok z pokrzywy, Manufaktura Kosmetyczna – ekstrakt wodno-glicerynowy.

Działanie farmakologiczne

Dotychczasowe badania, w tym badania kliniczne, potwierdzają, iż liść pokrzywy wykazuje działanie przeciwzapalne, immunomodulujące, przeciwbakteryjne i hipoglikemiczne. Udowodniono również jego właściwości moczopędne, przeciwbólowe choleretyczne, hipotensyjne oraz zapobiegające miażdżycy (EMA, 2010a, 2022). Niektóre badania wskazują także na jego potencjał przeciwnowotworowy (Chrubasik i in., 2007b; Dhouibi i in., 2020).

Działanie **przeciwzapalne** liści pokrzywy polega zarówno na hamowaniu syntezy mediatorów stanu zapalnego, jak i na modulacji odpowiedzi immunologicznej na

poziomie molekularnym. Obertreis i in. (1996), w badaniach *in vitro* na komórkach szczurzych (linia RBL-1), wykazali istotny wpływ ekstraktu z liści pokrzywy na metabolizm kwasu arachidonowego (jeden z głównych szlaków zapalnych w organizmie). Zarówno ekstrakt, jak i zawarty w nim kwas kawowojabłkowy hamują biosyntezę 5-lipooksygenazy i cyklooksygenazy (enzymów przekształcających kwas arachidonowy), prowadząc do ograniczenia syntezy leukotrienu B₄ oraz prostaglandyn (mediatorów stanu zapalnego). Teucher i in. (1996), w badaniach *ex vivo* na krwi ludzkiej stwierdzili, że doustne stosowanie preparatu zawierającego ekstrakt z liścia pokrzywy istotnie ograniczało wydzielanie cytokinin w warunkach stymulacji zapalnej lipopolisacharydem (LPS; składnik ściany bakterii Gram-ujemnych, silnie aktywujący odpowiedź immunologiczną). Dodatkowo stosowanie ekstraktu z pokrzywy zmniejszało produkcję cytokinin prozapalnych, tj. czynnika martwicy nowotworów alfa (TNF- α – tumor necrosis factor alpha) oraz interleukiny 1 beta (IL-1 β – interleukin 1 beta), przy czym efekt ten nasilał się wraz z czasem stosowania preparatu. Wyniki te potwierdzili również Obertreis i in. (1996) w badaniach *in vitro* na pełnej krwi ludzkiej, gdzie wykazali istotne, zależne od dawki, hamowanie wydzielania TNF- α (do 50,8%) oraz IL-1 β (do 99,7%). Riehemann i in. (1999) w badaniach na liniach komórkowych wykazali, że działanie przeciwzapalne ekstraktu z pokrzywy związane jest m.in. z hamowaniem aktywacji czynnika transkrypcyjnego NF- κ B (nuclear factor kappa B) poprzez zapobieganie degradacji jego inhibitora I κ B- α (inhibitor of nuclear factor kappa B alpha), co prowadzi do zahamowania ekspresji genów prozapalnych. Działanie przeciwzapalne w stosunku do tkanki stawowej udowodnili Schulze-Tanzil i in. (2002). W badaniach *in vitro* na ludzkich chondrocytach wykazali, że ekstrakt z pokrzywy istotnie zmniejsza ekspresję metaloproteinaz macierzy (MMP-1, MMP-3, MMP-9), odpowiedzialnych za rozkład składników macierzy zewnątrzkomórkowej, takich jak kolagen i proteoglikany, czyli kluczowych elementów chrząstki.

Ekstrakty z liści pokrzywy wykazują także działanie **immunomodulujące** (regulujące odporność). Jak wykazali Klingelhoef i in. (1999) w badaniach *in vitro* na ludzkich komórkach jednojądrzastych krwi obwodowej (PBMC – peripheral blood mononuclear cells) oraz w hodowlach pełnej krwi, ekstrakty te hamowały produkcję cytokin charakterystycznych dla odpowiedzi typu Th1 (T helper 1 – odpowiedź komórkowa układu odpornościowego), indukowaną mitogenem PHA (fitohemaglutyniną – substancją silnie aktywującą limfocyty). Dotyczyło to interleukiny 2 (IL-2 – interleukin 2) oraz interferonu gamma (IFN- γ – interferon gamma), przy czym efekt ten był zależny

od dawki. Jednocześnie obserwowano zwiększone wydzielanie interleukiny 4 (IL-4 – interleukin 4), związanej z odpowiedzią typu Th2 (T helper 2 – odpowiedź humoralna, o mniejszym nasileniu reakcji zapalnej). Wyniki te wskazują na przesunięcie równowagi odpowiedzi immunologicznej w kierunku profilu Th2, co może prowadzić do osłabienia reakcji zapalnych, szczególnie tych o charakterze autoimmunologicznym. Podobnie działanie immunomodulujące wykazali Broer i Behnke (2002). W badaniach *in vitro* na ludzkich komórkach dendrytycznych różnicowanych z PBMC wykazali oni, że ekstrakt z pokrzywy hamuje dojrzewanie komórek dendrytycznych. Objawiało się to zmniejszoną ekspresją markerów aktywacji CD83 i CD86 oraz obniżoną produkcją czynnika martwicy nowotworów alfa (TNF- α), który jest jednym z głównych mediatorów zapalenia. Dodatkowo obserwowano osłabienie zdolności komórek dendrytycznych do aktywacji limfocytów T, co wskazuje na ograniczenie inicjacji pierwotnej odpowiedzi immunologicznej. Z kolei Galelli i in. (1995), w badaniach *in vivo* na myszach, wykazali, że *Urtica dioica agglutinin* – UDA (lektyna wyizolowana z pokrzywy) działa jak superantygen, czyli substancja nieswoiście aktywująca duże populacje limfocytów T. Początkowo prowadzi to do aktywacji i proliferacji (szybkiego namnażania) wybranych subpopulacji limfocytów T, jednak po pewnym czasie następuje ich anergia (utrata zdolności do odpowiedzi immunologicznej) oraz eliminacja poprzez apoptozę (programowaną śmierć komórki). W efekcie dochodziło do długotrwałego zmniejszenia liczby tych komórek w układzie krążenia.

Liść pokrzywy wykazuje działanie **przeciwbakteryjne** w stosunku do drobnoustrojów odpowiedzialnych m.in. za zakażenia układu moczowego, skóry oraz infekcje układu oddechowego. Turker i Usta (2008) wykazali, że wodny ekstrakt z pokrzywy ma działanie hamujące wzrost wybranych bakterii, w tym, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* oraz *Streptococcus pyogenes*. Z kolei Mirtaghi i in. (2016) wykazali aktywność przeciwbakteryjną etanolowego ekstraktu z liści pokrzywy wobec bakterii *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* oraz *Staphylococcus saprophyticus*.

Ekstrakty te wpływają także na gospodarkę węglowodanową, obejmując zarówno działanie **hipoglikemiczne**, jak i **przeciwhiperglikemiczne**. Farzami i in. (2003) wykazali działanie hipoglikemiczne wodnego ekstraktu z liści pokrzywy zwyczajnej. W badaniach tych, prowadzonych *in vivo* (na szczurach zdrowych oraz z cukrzycą indukowaną streptozotocyną), frakcja uzyskana z ekstraktu z pokrzywy powodowała istotne zwiększenie stężenia insuliny w surowicy krwi po podaniu dootrzewnowym.

Wzrost poziomu insuliny obserwowano po około 30 minutach od podania, a jego wartość zwiększała się sześciokrotnie w ciągu 120 minut. Równocześnie stwierdzono spadek stężenia glukozy we krwi, który był zgodny czasowo ze wzrostem insuliny. Wykazano, że obserwowany efekt hipoglikemiczny wynika najprawdopodobniej z pobudzenia wydzielania insuliny przez komórki β wysp trzustkowych (wyspy Langerhansa). Z kolei w badaniach Bnouham i in. (2003) udowodniono działanie przeciwhiperglikemiczne wodnego ekstraktu z tego surowca. W modelu *in vivo* na szczurach, z wykorzystaniem testu doustnego obciążenia glukozą (OGTT – oral glucose tolerance test), wykazano, że podanie wodnego ekstraktu pokrzywy ($250 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$) przed podaniem glukozy ($1 \text{ g} \times \text{kg}^{-1}$) prowadziło do istotnego obniżenia glikemii sięgającego około 33% wartości kontrolnej po 1 godzinie, a efekt ten utrzymywał się przez około 3 godziny. Autorzy wskazali, że mechanizm działania może być częściowo związany z hamowaniem wchłaniania glukozy w jelicie. Jednak w modelu cukrzycy indukowanej alloxanem ($500 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$) nie obserwowano działania hipoglikemicznego.

Liść (ziele) pokrzywy wykazuje **działanie moczopędne**. Tahri i in. (2000) przeprowadzili badania na samcach szczurów szczepu Wistar, którym podawano dożylnie wodny ekstrakt z ziela pokrzywy w dwóch dawkach: niskiej ($4 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$) i wysokiej ($24 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$). Grupie kontrolnej podawano lek moczopędny furosemid ($2 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$). Autorzy wykazali istotny, zależny od dawki wzrost diurezy oraz natriurezy (wydalania sodu z moczem), porównywalny do działania klasycznych diuretyków. Tita i in. (1993) nie obserwowali istotnego efektu moczopędnego w ciągu 2 godzin po doustnym podaniu ekstraktu etanolowego ($1 \text{ g} \times \text{kg}^{-1}$). Natomiast po podaniu dootrzewnowym ($500 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$) stwierdzili istotne zwiększenie wydalania moczu oraz wzrost wydalania potasu (K^+), przy braku zmian w wydalaniu sodu (Na^+).

Ekstrakt z ziela pokrzywy wykazuje również działanie **przeciwbólowe**, co potwierdzono w badaniach przedklinicznych na zwierzętach. Lasheras i in. (1986) w badaniach *in vivo* na myszach, wykazali, że doustne podanie wodnego ekstraktu z pokrzywy w dawce $1200 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ istotnie zwiększało odporność zwierząt na bodźce termiczne w teście „gorącej płytki” (55°C), wydłużając czas reakcji o około 190% w porównaniu do grupy kontrolnej. Należy jednak podkreślić, że zastosowana dawka była znacznie wyższa (co najmniej 3,5-krotnie) od maksymalnych dawek zalecanych w monografiach naukowych (wg EMA 2010a: 3-5 g surowca do trzech razy na dobę). Z kolei Gülçin i in. (2004) w badaniach na myszach z wykorzystaniem testu skręceń kwasem octowym (acetic acid-induced stretching) wykazali, że wodny ekstrakt

z nadziemnych części pokrzywy podany dootrzewnowo w dawkach 50, 100 i 200 mg $\times$ kg⁻¹ powodował istotne, zależne od dawki zmniejszenie liczby reakcji bólowych (odpowiednio o 62,1%, 70,4% i 89,2%). Efekt ten był silniejszy niż w przypadku metamizolu zastosowanego w dawce 200 mg $\times$ kg⁻¹ (redukcja o 39,4%).

Ekstrakt z ziela pokrzywy wykazuje również działanie **hipotensyjne**, co potwierdzono w badaniach *in vivo* na zwierzętach. Lasheras i in. (1986) wykazali, że dożylnie podanie wodnego ekstraktu z pokrzywy u znieczulonych szczurów w dawce 25 mg $\times$ kg masy ciała powodowało szybkie, lecz przejściowe obniżenie ciśnienia tętniczego o około 31,7%. Podobne efekty zaobserwowali Broncano i in. (1983) w badaniach na kotach i szczurach. U kotów wodny ekstrakt (3,3:1), podany w dawce 26,6 mg $\times$ kg⁻¹ masy ciała, wywoływał wyraźne obniżenie ciśnienia tętniczego oraz bradykardię (zwolnienie akcji serca), które nie były znoszone przez podanie adrenaliny. W badaniach na szczurach efekt hipotensyjny tego samego ekstraktu, stosowanego w dawkach 166 i 333 mg $\times$ kg⁻¹, nie był hamowany przez atropinę, co sugeruje, że mechanizm działania nie jest związany z układem cholinergicznym. Autorzy wskazali, że działanie ekstraktu jest zbliżone do efektu dihydroergotaminy i może być związane z wpływem na receptory α -adrenergiczne. Dodatkowo wykazano, że podanie ekstraktu w dawkach 33,3 mg $\times$ kg⁻¹ oraz 333 mg $\times$ kg⁻¹ powodowało istotne zwolnienie czynności serca u szczurów.

Ekstrakt z ziela pokrzywy wykazuje również korzystny wpływ **na profil lipidowy krwi**, którego zaburzenia stanowią jeden z głównych czynników ryzyka rozwoju **miażdżycy**. Daher i in. (2006) wykazali, że podawanie wodnego ekstraktu z pokrzywy (150 mg $\times$ kg⁻¹ $\times$ dobę⁻¹) lub ekstraktu eterowego (20 mg $\times$ kg⁻¹ $\times$ dobę⁻¹) przez 30 dni szczurom karmionym dietą standardową lub wysokotłuszczową prowadziło do poprawy parametrów lipidowych krwi. Zaobserwowano istotne obniżenie stężenia cholesterolu całkowitego, frakcji LDL, stosunku LDL/HDL oraz poziomu apolipoproteiny B. Jednocześnie analiza aktywności enzymów wątrobowych (GOT, GPT, LDH) nie wykazała uszkodzenia wątroby w trakcie badania.

Preparaty z liści pokrzywy wykazują również działanie **przeciwnowotworowe**, co zostało udokumentowane w badaniach *in vitro* oraz *ex vivo*. W badaniu Durak i in. (2004) analizowano wpływ wodnego ekstraktu z liści pokrzywy na aktywność deaminazy adenozynowej (ADA) w tkance prostaty pobranej od pacjentów z rakiem gruczołu krokowego (Gleason 4–7). Wykazano istotne, zależne od dawki hamowanie aktywności tego enzymu, który odgrywa ważną rolę w metabolizmie nukleotydów i proliferacji komórek nowotworowych. W badaniach Celik i Tuluce (2007) wykazano, że wodny

ekstrakt z pokrzywy posiada działanie chemoprotekcyjne u szczurów narażonych na działanie czynników rakotwórczych, tj. kwasu trichlorooctowego (TCA). U zwierząt otrzymujących ekstrakt z pokrzywy nie obserwowano istotnego wzrostu enzymów świadczących o uszkodzeniu tkanek (takich jak AST, ALT czy CPK), w przeciwieństwie do grupy kontrolnej. Szczegółowe mechanizmy molekularne analizowano w badaniach Fattahi i in. (2018) przeprowadzonych na liniach komórkowych raka piersi MCF-7 (ER+) oraz MDA-MB-231 (ER-). Komórki te inkubowano w obecności ekstraktów podawanych w różnym stężeniu przez 72 godziny, a następnie oceniano ich żywotność (test MTT), ekspresję genów (RT-PCR) oraz poziom enzymów (ELISA). Wykazano, że ekstrakt z pokrzywy moduluje ekspresję genów deaminazy adenozynowej (ADA) i dekarboksylazy ornityny (ODC1), a także zwiększa stosunek BAX/BCL-2, co wskazuje na indukcję apoptozy. Efekt ten był zależny od typu komórek i prawdopodobnie związany z interakcją składników pokrzywy z receptorami estrogenowymi.

Liść (ziele) pokrzywy wykazuje działanie **antyoksydacyjne**. W badaniu Gülçin i in. (2004) aktywność przeciwutleniającą wodnego ekstraktu z pokrzywy oceniano z wykorzystaniem szerokiego zestawu testów *in vitro*, obejmujących: test peroksydacji emulsji kwasu linolowego (linoleic acid peroxidation assay), test siły redukcyjnej – przemiana $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ (reducing power assay), test zmiatania stabilnego rodnika DPPH (DPPH radical scavenging assay), test zmiatania anionorodnika ponadtlenkowego (superoxide anion radical scavenging assay), test zmiatania nadtlenu wodoru (hydrogen peroxide scavenging assay) oraz test zdolności chelatowania jonów żelaza Fe^{2+} (metal chelating activity assay). Dodatkowo oznaczono całkowitą zawartość związków fenolowych jako ekwiwalent pirokatecholu. Ekstrakt hamował peroksydację lipidów w sposób zależny od dawki, osiągając 39%, 66% i 98% inhibicji przy stężeniach odpowiednio 50, 100 i 250 μg , przewyższając działanie α -tokoferolu (ok. 30%). W testach redukcyjnych wykazywał wysoką zdolność przekształcania jonów Fe^{3+} do Fe^{2+} , co świadczy o silnym potencjale donorowym elektronów. W teście DPPH ekstrakt wykazywał istotną aktywność wygaszania wolnych rodników – przy $60 \mu\text{g} \times \text{ml}^{-1}$ osiągał około 37% inhibicji, plasując się między BHA (butylowany hydroksyanizol) a kwercetyną, przy czym kwercetyna wykazywała najwyższą aktywność. W teście zmiatania anionorodnika ponadtlenkowego ekstrakt (100 μg) wykazał bardzo wysoką aktywność (97%), przewyższając BHA, BHT (butylowany hydroksytoluen) i α -tokoferol. Z kolei w teście zmiatania nadtlenu wodoru aktywność była umiarkowana (ok. 23% przy 250 μg), niższa niż w przypadku standardów takich jak BHT czy BHA. Przy najwyższym

stężeniu (250 µg) ekstrakt osiągał około 92% inhibicji tworzenia kompleksu Fe²⁺-ferrozyna, przewyższając część standardowych antyoksydantów. Wzrost aktywności antyoksydacyjnej był skorelowany z całkowitą zawartością związków fenolowych.

Zastosowanie lecznicze

Wg Europejskiej Agencji Leków (EMA, 2010a, 2022) liść i ziele pokrzywy, jako tradycyjne leki ziołowe, wskazane są do stosowania jako środki moczopędne wspomagające leczenie chorób układu moczowego, w łagodzeniu bólu stawów i dolegliwości o charakterze artretycznym lub reumatycznym. W literaturze wskazywane jest także zastosowanie liści (ziela) pokrzywy w celu oczyszczenia organizmu, leczeniu zranień, problemów skórnych oraz jako środki przeciwalergiczne (Chrubasik i in., 2007b; Grauso i in., 2020; Gülçin i in., 2004; Külcü i in., 2019; Mohammadian i in., 2024; Said i in., 2015)

Liść (ziele) pokrzywy tradycyjnie stosowany jest w celu wspomagania prawidłowego funkcjonowania dróg moczowych, co związane jest ze zwiększeniem diurezy oraz wydalania jonów sodowych i chlorkowych z moczem (Tahri i in., 2000; Tita i in., 1993). W mniejszym stopniu działanie to wynika z efektu przeciwdrobnoustrojowego w stosunku do bakterii odpowiedzialnych za zakażenia układu moczowego oraz działania przeciwzapalnego (Mirtaghi i in., 2016; Obertreis i in., 1996; Teucher i in., 1996; Turker i Usta, 2008). Efekt ten wykorzystywany jest do tzw. „przepłukiwania” dróg moczowych, co sprzyja mechanicznemu usuwaniu drobnoustrojów oraz drobnych złogów. Z tym mechanizmem wiąże się również tradycyjnie opisywane działanie „oczyszczające”, polegające na wspomaganiu eliminacji produktów przemiany materii wraz z moczem.

Preparaty z liścia i ziela pokrzywy znajdują zastosowanie w łagodzeniu dolegliwości reumatycznych, w tym bólów mięśniowych i stawowych. Działanie to ma charakter wspomagający. Potwierdzają to badania Randall i in. (1999, 2000) w których wykazano, że miejscowe stosowanie świeżych liści pokrzywy u pacjentów z bólami stawów prowadzi do istotnego zmniejszenia dolegliwości bólowych oraz poprawy sprawności. Ponadto badania kliniczne wskazują, że stosowanie ekstraktów z liści pokrzywy może zwiększać skuteczność niesteroidowych leków przeciwzapalnych oraz przyczyniać się do redukcji ich dawek u pacjentów z chorobami reumatycznymi (Chrubasik i in., 1997). Dokładny mechanizm działania nie został jeszcze dokładnie zbadany. Efekt przeciwbólowy wiązano m.in. z mechanizmem tzw. hiper-stymulacji włókien czuciowych, prowadzącej do wtórnego hamowania przewodzenia bodźców

bólowych (Randall i in., 2000). Jego podłoże może być związane z właściwościami przeciwzapalnymi, w tym w stosunku do tkanki stawowej oraz wpływem na metabolizm mediatorów zapalnych, co zostało częściowo potwierdzone w badaniach (Schulze-Tanzil i in., 2002).

Liść i ziele pokrzywy znajdują także zastosowanie pomocnicze w leczeniu ran skórnych i łagodzeniu zaburzeń związanych z nadmiernym wydzielaniem sebum. Choć mechanizm tego efektu nie został jednoznacznie wyjaśniony, przypuszcza się, że może on wynikać z właściwości przeciwzapalnych oraz wpływu na funkcjonowanie gruczołów łojowych. Zouari i in. (2017) w badaniach na szczurach wykazali szybsze zamykanie się ran (92,39%) u szczurów leczonych ekstraktem z pokrzywy w porównaniu z grupą kontrolną (60,91%). Badania histopatologiczne i biochemiczne wykazały pełną regenerację naskórka oraz wzrost zawartości hydroksyprowiny u zwierząt leczonych ekstraktem. Szybsze gojenie się ran po zastosowaniu ekstraktu z pokrzywy potwierdzili także Kasouni i in. (2021) w badaniach *in vivo* na szczurach.

W badaniach klinicznych oceniano również zastosowanie pokrzywy jako środka przeciwalergicznego. W randomizowanym badaniu z podwójnie ślepą próbą Mittmann (1990) obejmującym 98 pacjentów z alergicznym nieżytem nosa, stosowano liofilizowany ekstrakt z ziela pokrzywy w dawce 300 mg dwa razy dziennie. Po tygodniu terapii analizowano dzienne zapisy objawów prowadzone przez uczestników oraz końcową ocenę skuteczności leczenia. Uzyskane wyniki wskazały, że preparat z pokrzywy był oceniany korzystniej niż placebo. Dane te sugerują możliwość łagodzenia objawów sezonowego alergicznego nieżytu nosa przez preparaty z pokrzywy, przy jednoczesnym wskazaniu na konieczność dalszych badań klinicznych w celu potwierdzenia skuteczności oraz określenia optymalnego schematu dawkowania.

Inne zastosowanie

Ze względu na wysoką wartość odżywczą świeże liście i młode ziele pokrzywy są tradycyjnie wykorzystywane jako **żywność**. W badaniach Shonte i in. (2020) wykazano, że porcja świeżych (100 g) lub suszonych (15 g) liści pokrzywy zaspokaja 9% dziennego zapotrzebowania osoby dorosłej na białko (zgodnie z EFSA - European Food Safety Authority; Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności). Jednocześnie dostarcza składników mineralnych, pokrywając około 30–32% dziennego zapotrzebowania osoby dorosłej na wapń, 14% na żelazo, 26% na magnez, 19% na mangan, 4% na cynk, 9% na fosfor i 5% na potas. Jak wspomniano powyżej, liście pokrzywy stanowią cenne źródło witamin, szczególnie β -karotenu (prowitamina A) oraz witaminy C. Najwyższą ich

zawartość stwierdzono w liściach świeżych, które pokrywają odpowiednio 83,7% i 23,7% dziennego zapotrzebowania osoby dorosłej na te witaminy. Biorąc pod uwagę fakt, że pokrzywa zawiera liczne metabolity wtórne, jej wartość prozdrowotna jest znacznie szersza. Stąd świeże liście doceniane są przez konsumentów jako składniki codziennej diety, w tym potraw, takich jak zupy, sałatki i pierogi. Suszone, sproszkowane liście i otrzymywane z nich ekstrakty są wykorzystywane do produkcji pieczywa, makaronów, wyrobów cukierniczych, a także produktów mlecznych, mięsnych i rybnych (Guil-Guerrero i in., 2003; Mohammadian i in., 2024; Rutto i in., 2013).

Ze względu na wysoką zawartość barwników roślinnych, liście pokrzywy stanowią także surowiec **do ekstrakcji chlorofilu i produkcji chlorofiliny** (pochodnej chlorofilu, w której atom magnezu zastępuje się atomem miedzi, a „ogon” fitolu zostaje usunięty; produkt bardziej stabilny niż chlorofil) stosowanych w przemyśle spożywczym i kosmetycznym jako naturalne barwniki i oznaczanych numerami E140 (chlorofil) i E141 (chlorofilina) (Hojnik i in., 2007; Martins i in., 2023; Nagini i in., 2015).

Pokrzywa zwyczajna jest cenioną rośliną paszową wykorzystywaną **w chowie zwierząt**, w formie świeżej (po uprzednim sparzeniu lub podsuszeniu, aby zredukować działanie parzące), w formie wysuszonej (dodatek do mieszanek paszowych lub składnik zielonek), jako kiszonka (często w połączeniu z innymi roślinami pastewnymi) lub w postaci mączki (dodatek białkowo-witaminowy do pasz). Suplementacja pokrzywy w żywieniu drobiu zwiększa nieśność nawet o 35%, poprawia jakość tusz oraz parametry wzrostowe brojlerów. Obserwuje się jej korzystny wpływ na procesy metaboliczne, funkcjonowanie układu odpornościowego oraz wybrane wskaźniki hematologiczne, takie jak stężenie hemoglobiny i wartość hematokrytu. U drobiu, którego pasza jest wzbogacona pokrzywą, obserwuje się także wzrost odporności na pasożyty (Bonet i Vallès, 2007; Melesse i in., 2015; Viegi i in., 2003). Z kolei u przeżuwaczy pokrzywa stanowi ważny dodatek białkowy, bogaty w minerały i witaminy. Jej stosowanie korzystnie wpływa na wydajność mleczną oraz jakość mleka (Khanal i in., 2017). W akwakulturze suplementacja pokrzywą pozytywnie wpływa na przyrost masy mięśniowej ryb, na ich parametry hematologiczne, funkcjonowanie układu odpornościowego oraz ogólną kondycję fizjologiczną (Zare i in., 2023).

Liść pokrzywy zwyczajnej wykorzystywany jest także **w kosmetyce**. Stosowany jest jako składnik preparatów przeznaczonych do pielęgnacji skóry tłustej i trądzikowej, gdzie wspomaga regulację wydzielania sebum, a także (ze względu na właściwości kojące i ochronne) do produkcji preparatów o działaniu łagodzącym i wspierającym

regenerację skóry. Ekstrakty z pokrzywy są składnikami szamponów (w szczególności przeciwłupieżowych), odżywek i toników, którym przypisuje się działanie wzmacniające włosy, ograniczające ich wypadanie oraz poprawę kondycję skóry głowy (Kregiel i in., 2018; Toplicean i in., 2024).

Ze zdrewniałych pędów pokrzywy zwyczajnej pozyskuje się **włókno**. Charakteryzuje się ono wysoką wytrzymałością mechaniczną, elastycznością oraz odpornością termiczną. Jest ono w pełni biodegradowalne i wymaga niskich nakładów energetycznych w procesie produkcji (Kicińska-Jakubowska i in., 2012). Prace hodowlane prowadzone przez prof. Gustava Bredemanna w latach 1920-1950, doprowadziły do selekcji klonów o zwiększonej zawartości włókna (do ok. 16% w porównaniu z 4–5% u form dzikich), o długich, nierozgałęzionych pędach oraz wysokiej produktywności biomasy (Bredemann, 1959; Harwood i Edom, 2012). Włókno pokrzywowe wykorzystywane było na szerszą skalę w przeszłości, m.in. do produkcji lin, sieci rybackich, tkanin oraz papieru. Obecnie jego właściwości i przydatność w przemyśle na nowo są odkrywane, czego wyrazem jest zastosowanie włókna pokrzywowego w produkcji kompozytów biopolimerowych, w tym elementów wykorzystywanych w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym (np. panele wewnętrzne i elementy nienośne) (Bacci i in., 2011; Bisht i in., 2012).

3.4.2. Korzeń pokrzywy (*Urticae radix*)

Zgodnie z definicją przedstawioną w Farmakopei Polskiej XI (2017) korzeń pokrzywy (*Urticae radix*) to całe lub rozdrobnione, wysuszone organy podziemne pozyskiwane z *Urtica dioica* L., *Urtica urens* L. lub z mieszaniny tych dwóch gatunków. Surowiec ten nie jest standaryzowany na zawartość związków biologicznie aktywnych. Strata masy po suszeniu powinna wynosić nie więcej niż 12%. Zawartość oleju powinna wynosić nie więcej niż $7,0 \mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$, popiół całkowity – nie więcej niż 12,0%, w tym nierozpuszczalny w kwasie solnym – nie więcej niż 4,0%. Substancje ekstrahowalne powinny stanowić nie mniej niż 7,0%.

Skład chemiczny

Organy podziemne pokrzywy zwyczajnej są bogate przede wszystkim w sterole (0,1-0,8% s.m.), m.in. β -sitosterol i jego glukozydy, stigmasterol, kampesterol. Zawierają również kwasy tłuszczowe (w tym oleinowy, linolowy, stearynowy, palmitynowy) oraz terpenoidy (zwłaszcza kwas ursolowy i oleanolowy). Wśród polifenoli w największych ilościach występują kwasy fenolowe takie jak kwas protokatechinowy, kawowy,

wanilinowy i kumarynowy. Flawonoidy występują w niewielkich ilościach. Dotychczas w surowcu tym zidentyfikowano kaempferol, rutynę i kwercetynę. Zawiera on także garbniki, kumaryny (skopoletynę), lektyny w ilości 0,05–0,6% (m. in. UDA – *Urtica dioica agglutinin*), frakcję polisacharydową – około 0,85% (zawierającą skrobię i złożone polimery cukrowe) oraz lignany – około 0,05% (m.in. neo-olivil, sekoizolaricirezinol, pinoresynol) (Đurović i in., 2024; Grauso i in., 2020; Jakubczyk i in., 2015; Martz i Kankaanpää, 2025; Toplicean i in., 2024).

Organy podziemne pokrzywy zawierają także: 13,66% białka, 1,65% tłuszczu, 31,65% włókna oraz 18,41% popiołu. Są bogate w mikroelementy, w tym wapń (Ca), magnez (Mg), mangan (Mn), cynk (Zn) i miedź (Cu) (Jakubczyk i in., 2015; Martz i Kankaanpää, 2025).

Produkty lecznicze

Podobnie jak w przypadku liści, podstawową formą leku roślinnego opartą na korzeniu pokrzywy jest wysuszony, rozdrobniony surowiec. W praktyce częściej stosuje się go w postaci ekstraktów, zwłaszcza suchych. Dostępne na rynku preparaty bazujące na takich ekstraktach charakteryzują się zróżnicowanym stosunkiem DER (najczęściej 5,4–16:1). Są one otrzymywane przy użyciu metanolu 20% lub etanolu o różnych stężeniach (od 20% do 80%) (EMA, 2025c). Większość stałych form leku roślinnego opartych na korzeniu pokrzywy, takich jak kapsułki, tabletki lub drażetki, zawiera suche ekstrakty (np. GymBeam, Nutricost), znacznie rzadziej – sproszkowany surowiec (np. Swanson). Na bazie korzenia pokrzywy wytwarzane są również ekstrakty płynne (DER 1:1) otrzymywane przy użyciu 30% etanolu (EMA, 2025c). Ww. preparaty standaryzowane są zazwyczaj na zawartość β -sitosterolu. Dzienna dawka wynosi około 300–1200 mg suchego wyciągu, co odpowiada 4–12 g suchego surowca (Kiss i in., 2022).

Działanie farmakologiczne

Korzeń pokrzywy wykazuje działanie obejmujące modulację osi androgenowej, hamowanie procesów zapalnych oraz regulację proliferacji i metabolizmu komórek prostaty, co znajduje odzwierciedlenie w wynikach badań *in vitro*, *in vivo* oraz klinicznych (Chrubasik i in., 2007a; Dhouibi i in., 2020; EMA, 2025a; Martz i Kankaanpää, 2025).

Poprzez **modulację osi androgenowej**, korzeń pokrzywy wpływa na globuliny wiążące hormony płciowe (SHBG – Sex Hormone-Binding Globulin). Badania *in vitro* przeprowadzone przez Hryb i in. (1995) wykazały, że wodne ekstrakty z korzenia pokrzywy hamują wiązanie SHBG z jego receptorem błonowym w komórkach prostaty

w sposób zależny od stężenia. W badaniach klinicznych Fischer i Wilbert (1992) oraz Vontobel i in. (1985) wykazano, że podanie suchego ekstraktu (DER 7–14:1; 20% V/V metanol) istotnie obniżało stężenie SHBG w surowicy, bez jednoczesnych zmian poziomu testosteronu, 5 α -DHT (5 α -dihydrotestosteron), estradiolu i estronu. Dodatkowo Bauer i in. (1988) odnotowali **obniżenie wartościach PSA** (prostate-specific antygen) oraz hormonów steroidowych w trakcie 12-tygodniowej terapii z wykorzystaniem ekstraktu z pokrzywy. Mechanizm ten wiązany jest przede wszystkim z obecnością lignanów, które wchodzi w interakcję z wolnymi (aktywnymi) hormonami steroidowymi we krwi poprzez ich wypieranie z miejsc wiązania SHBG oraz zapobiegają oddziaływaniu receptorów prostaty z SHBG (Schmidt, 1983).

Ekstrakty z korzenia pokrzywy mogą wpływać na proces aromatyzacji androgenów do estrogenów poprzez **hamowanie aktywności aromatazy**. W badaniach *in vitro* wykazano, że etanolowy ekstrakt z pokrzywy hamował aromatyzację androstenedionu (hormonu steroidowego, który pełni rolę prekursora hormonów płciowych). Związki chemiczne odpowiedzialne za to działanie zidentyfikowano we frakcji heptanowej ekstraktu, w której obecne są związki lipofilowe (Koch i in., 1995). W podobnych modelach doświadczalnych wykazano, że etanolowe i metanolowe ekstrakty z korzenia pokrzywy wykazują zależne od stężenia hamowanie aromatazy, porównywalne jakościowo z inhibitorami syntetycznymi, jednak przy istotnie wyższych dawkach (Hartmann i in., 1996). Jako potencjalne związki aktywne odpowiedzialne za to działanie wskazywano m.in. pochodne kwasów tłuszczowych, lignany oraz triterpeny, takie jak kwas oleanolowy i ursolowy, które wykazują słabe do umiarkowanego działania hamującego aromatazę (Gansser i Spiteller, 1995; Kraus i in., 1991).

Ekstrakty z korzenia pokrzywy wykazują **aktywność przeciwzapalną**, związaną m.in. z hamowaniem enzymów proteolitycznych (np. elastazy leukocytarnej) oraz elementów układu dopełniacza (części układu odpornościowego - zestaw białek odpornościowych we krwi, które wzmacniają stan zapalny w celu zwalczania patogenów) (Koch i in., 1995). W badaniach Wagner i in. (1994) ekstrakt metanolowy wykazywał zdolność do hamowania alternatywnej drogi aktywacji dopełniacza, w którą zaangażowane są proteazy serynowe (odpowiedzialne za aktywację i przebieg reakcji zapalnych poprzez rozkład i aktywację białek układu odpornościowego). Aktywność tę potwierdził również Willer (1992) dla frakcji polisacharydowych oraz wyizolowanych polisacharydów, takich jak rhamnogalakuronany i arabinogalaktytany typu II. Dodatkowo Willer (1992) w badaniach *in vivo*, w modelu obrzęku łapy szczura indukowanego

karageniną, wykazał, że doustne podanie ekstraktu z pokrzywy oraz jego frakcji polisacharydowych prowadziło do istotnego efektu przeciwwzapalnego.

Ekstrakty z korzenia pokrzywy **wpływają na wzrost komórek prostaty**. W modelach komórkowych wykazano hamowanie wzrostu fibroblastów zrębu oraz komórek nabłonkowych prostaty, przy czym efekt ten był niezależny od klasycznego szlaku androgenowego i nie wiązał się ze zmianami w metabolizmie testosteronu ani aktywności 5 α -reduktazy (Enderle-Schmitt i in., 1988; Rausch i in., 1992). Jednocześnie obserwowano zmiany w ekspresji i liczbie receptorów czynników wzrostu, takich jak czynnik wzrostu naskórka (EGF – Epidermal Growth Factor), co sugeruje udział mechanizmów modulujących sygnalizację komórkową (Enderle-Schmitt i in., 1988). W badaniach klinicznych u pacjentów z łagodnym rozrostem prostaty (BPH) długotrwałe stosowanie ekstraktu z korzenia pokrzywy prowadziło do zmian morfologicznych komórek gruczołowych i zrębowych, obserwowanych w biopsjach cienkoigłowych oraz w analizach ultrastrukturalnych (Oberholzer i in., 1986; Ziegler, 1983). Zmiany te obejmowały modyfikacje struktury komórkowej oraz zmniejszenie liczby jednorodnych ziarnistości w komórkach hiperplastycznych, co skutkowało obniżeniem ich aktywności metabolicznej (Ziegler, 1983). Stwierdzono, że za aktywność tę mogą odpowiadać obecne w ekstrakcie z korzeni sterole, takie jak stigmast-4-en-3-on, stigmasterol oraz kampesterol. Wykazano, że hamowały one aktywność enzymu Na⁺,K⁺-ATPazy w preparatach błonowych prostaty w stężeniu 0,1 mg $\times$ ml⁻¹, a ich działanie obserwowano również dla izolowanych steroli w zakresie stężeń 10⁻³–10⁻⁶ M (Hirano i in., 1994). W badaniach *in vivo* u psów leczenie ekstraktem z pokrzywy w dawce 3 $\times$ 300 mg/10 kg masy ciała przez 100 dni prowadziło do zmniejszenia wielkości prostaty oraz obniżenia stężenia testosteronu w surowicy (Daube, 1988). W późniejszych badaniach wykazano, że jednym z aktywnych współskładników może być octan hecogeniny, który w dawkach 0,5 oraz 5 mg $\times$ 10 kg⁻¹ masy ciała powodował redukcję objętości prostaty ocenianą ultrasonograficznie odpowiednio o 14% i 29% (Daube, 1992).

Zastosowanie lecznicze

Korzeń pokrzywy zwyczajnej znajduje zastosowanie w produkcji preparatów leczniczych wspomagających funkcjonowanie układu moczowo-płciowego, zwłaszcza u mężczyzn w łagodnym przerostie prostaty – gruczołu krokowego (BPH - Benign Prostatic Hyperplasia). Jego aktywność, przy tym schorzeniu, potwierdzono w badaniach klinicznych, z tym, że działanie to wynika z długotrwałego stosowania (EMA, 2025a). W latach 1978-2005 przeprowadzono szereg badań dotyczących korzystnego wpływu

stosowania korzenia pokrzywy w leczeniu BPH (Chrubasik i in., 2007a). Tylko dwa z nich spełniały najwyższy standard metodologiczny (podwójna ślepa próba), a tylko jeden jest dostępny online. W badaniach Vontobel i in. (1985) obserwowano poprawę problemów związanych z oddawaniem moczu w grupie stosującej ekstrakt z korzenia pokrzywy. Dodatkowo stwierdzono istotne obniżenie stężenia globuliny wiążącej hormony płciowe (SHBG), a także istotną poprawę objętości mikcji oraz maksymalnego przepływu moczu. Ze względu na brak wiarygodnych badań oraz ograniczone wyjaśnienie mechanizmu działania surowiec ten nie jest uwzględniony w wytycznych do leczenia BPH, a w monografiach EMA ma status leku o tradycyjnym zastosowaniu (EMA, 2025c).

3.4.3. Nasiona pokrzywy zwyczajnej

Obok liści i korzeni pokrzywy ciekawym surowcem (z punktu widzenia odżywczego i prozdrowotnego) wydają się być także jej nasiona (Fot. 6 i Fot. 7). Zawierają one około 25–33% oleju, 20–30% białka oraz 30% błonnika. Są bogate w witaminy (A, B, C, E i K) i minerały (żelazo, krzem, wapń, magnez, mangan, fosfor, potas) (Bhusal i in., 2022b; Jafari i in., 2020). Z kolei olej z nasion pokrzywy zawiera kwasy tłuszczowe wielonasycone, jednonasycone oraz nienasycone (dominuje kwas linolowy, a następnie kwas oleinowy), sterole (głównie β -sitosterol) oraz tokoferole (γ - tokoferol, α - tokoferol, δ - tokoferol) (Mitrović i in., 2025; Petkova i in., 2020).



Fot. 6. Nasiona pokrzywy zwyczajnej.



Fot. 7. Nasiona pokrzywy zwyczajnej; pow. x20.

Nasiona pokrzywy wykazują działanie antyoksydacyjne, przeciwzapalne, immunomodulujące, hipolipemiczne i wspierające gospodarkę hormonalną. Potwierdzono również ich ochronne działanie w stosunku do komórek wątroby. W medycynie ludowej nasiona pokrzywy stosowane są jako dodatek do żywności wspomagający działanie układu pokarmowego (Mitrović i in., 2025; Petkova i in., 2020;

Yıldızhan i in., 2020). Olej z nasion pokrzywy należy do grupy olejów jadalnych typu linolowego. Charakteryzuje się wysoką wartością odżywczą i stabilnością termooksydacyjną. Ma on właściwości przeciwmiażdżycowe, przeciwzakrzepowe i wykazuje potencjał hipocholesterolemiczny. Może być wykorzystywany w przemyśle spożywczym i kosmetycznym (Mitrović i in., 2025).

3.5. Rynek produktów opartych na pokrzywie

Według raportu Verified Market Reports, opublikowanego w maju 2025 roku (Internet 2) globalny rynek produktów opartych na pokrzywie zwyczajnej w 2024 roku wynosił 1,2 mld USD i prognozowany jest jego dalszy wzrost do 2,5 mld USD w 2033 roku. Wg raportu portalu Tridge (Internet 3) w 2023 r. wiodącymi eksporterami surowców pochodzących z pokrzywy były: Chiny (23,19%), Belgia (11,94%) i Hiszpania (11,13%). W rankingu tym Polska znajduje się na 6. miejscu, odpowiadając za 6,53% światowego eksportu surowców. Głównymi importerami były natomiast Stany Zjednoczone, Japonia, Niemcy. Wg Business Research Insights (Internet 4), w segmencie rynku pokrzywy zwyczajnej, 30% całkowitej sprzedaży stanowią suche surowce (liść i korzeń pokrzywy). Pozostałe kategorie to produkty przetworzone, w tym herbaty zielone, ekstrakty, kapsułki, tabletki i kosmetyki. Zgodnie z raportem Research Intelo (Internet 5) rynek herbat zielonych na bazie liści pokrzywy w 2024 roku wynosił 652 mln USD, a do 2033 roku osiągnie on wartość 1,21 mld USD, rosnąc w tempie CAGR (Compound Annual Growth Rate - skumulowana roczna stopa wzrostu) wynoszącym 7,2%. Z kolei wartość rynku ekstraktów z korzenia pokrzywy, według Fact.MR (Internet 6), w 2024 roku wynosiła 62,3 mln USD przy prognozowanym wzroście wynoszącym 145,3 mln USD w 2034 roku i wartości CAGR na poziomie 8,8 %. Persistence Market Research (Internet 7) podaje zbliżone dane odnośnie do ekstraktów z korzenia pokrzywy: wartość rynku na poziomie 60,4 mln USD w 2024 roku i wzrost do 149,7 mln USD w 2032 roku przy CAGR 12,1%.

W kontekście produkcji surowców opartych na pokrzywie ciekawe wydają się być także dane rynkowe dotyczące włókna pokrzywowego. Wg. Growth Market Reports (Internet 8) rynek tekstyliów na bazie pokrzywy osiągnął w 2023 roku wartość około 11,3 mln USD. Prognozy wskazują, że do 2032 roku wzrośnie on do około 42,5 mln USD, przy średniorocznym tempie wzrostu (CAGR) wynoszącym około 11,2%. Wzrost ten może być związany ze zwiększeniem popytu na włókna naturalne w przemyśle tekstylnym.

3.6. Uprawa pokrzywy zwyczajnej

Pokrzywa zwyczajna tradycyjnie pozyskiwana jest ze stanowisk naturalnych. W ostatnich latach, m.in. ze względu na duże zapotrzebowanie na surowiec, podejmowano próby jej uprawy. W tym zakresie prowadzono również badania, związane głównie z określeniem jej wymagań pokarmowych i sposobu uprawy, w tym gęstości sadzenia czy terminu zbioru surowca (Biesiada i in., 2009; Lemanowicz i Jaskulska, 2025; Mavroeidis i in., 2025; Opać i in., 2022; Radman i in., 2015).

Stanowisko pod uprawę

Na stanowiskach naturalnych pokrzywa zwyczajna rośnie zazwyczaj w półcieniu, ale w uprawie dobrze radzi sobie w pełnym słońcu, pod warunkiem zachowania odpowiedniej wilgotności podłoża. Preferuje gleby luźne, wilgotne, ale nie podmokłe, bogate w materię organiczną (Bisht i in., 2012; Di Virgilio i in., 2015). Jest to gatunek wybitnie azotolubny (nitrofilny), w uprawie wymaga stałej dostępności wody, szczególnie w okresach suszy. W tym celu najbardziej odpowiednie są gleby murszowe, torfowe i gliniasto-piaszczyste. Optymalny odczyn gleby to lekko kwaśny do obojętnego (o pH w zakresie od 5,6 do 7,6). Pokrzywa zwyczajna jest dobrze przystosowana do warunków klimatycznych Polski. Starsze rośliny są odporne na niskie temperatury; nie wymarzają nawet w okresie ostrych zim.

Ze względu na wieloletnie użytkowanie plantacji pokrzywy (nawet 5-10 lat) stanowisko pod jej uprawę powinno być starannie przygotowane, a w szczególności wolne od chwastów i zasobne w składniki odżywcze. W sezonie poprzedzającym założenie plantacji należy zastosować zarówno nawozy zielone na przyoranie, jak i nawożenie obornikiem w dawkach zależnych od typu gleby i jej zasobności. Gleby o niskim pH bezwzględnie wymagają nawożenia nawozami wapniowymi.

Material do zakładania plantacji

W praktyce rolniczej plantacje pokrzywy najczęściej zakładane są poprzez wysiew nasion wprost do gruntu lub z wykorzystaniem sadzonek rozłogowych lub rozłogowo-pędowych pozyskiwanych z roślin dziko rosnących (Biesiada i in., 2009; Opać i in., 2022; Internet 9).

Zakładanie plantacji z siewu nasion wprost do gruntu

Materiałem siewnym u pokrzywy zwyczajnej są orzeszki, potocznie nazywane nasionami (masa tysiąca sztuk wynosi tu około 0,15 g). Są one bardzo drobne, dlatego powinny być wysiewane płytko, a gleba pod uprawę musi być starannie przygotowana,

tj. spulchniona i wyrównana (zwałowana). Norma siewu wynosi około $5\text{--}8 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. Nasiona można wysiewać wiosną lub jesienią, przy czym zaleca się wysiew jesienny, pozwalający na przełamanie spoczynku nasion w okresie zimy i ich szybsze kiełkowanie wiosną następnego roku. Metoda ta jest szybka i tania, jednak zakładanie plantacji pokrzywy z siewu nasion wprost do gruntu bywa zawodne. Dzieje się tak ze względu na ich słabe, tj. długie i nierównomierne kiełkowanie, czemu towarzyszy szybko postępujące zachwaszczenie plantacji. Trudności związane z uzyskaniem właściwej obsady roślin, ich powolny wzrost w początkowym okresie rozwoju, niski plon w pierwszym roku uprawy i intensywne zachwaszczenie sprawiają, że taka metoda zniechęca rolników do uprawy pokrzywy (Di Virgilio i in., 2015; Opać i in., 2022; Radman i in., 2015; Vogl i Hartl, 2003).

Zakładanie plantacji z sadzonek przygotowanych z organów podziemnych

Według danych literaturowych najbardziej wydajnym sposobem zakładania plantacji pokrzywy jest wykorzystanie sadzonek wegetatywnych. Wg Rosłon i Osińska (Internet 9) najlepsze do tego celu są sadzonki rozłogowo-pędowe. Można je pozyskiwać z plantacji pokrzywy lub z roślin dziko rosnących; najlepiej wiosną – w kwietniu, poprzez wyorywanie/wykopywanie rozłogów z wykształconymi już pędami nadziemnymi. Przygotowanie sadzonek obejmuje podział rozłogów na kilkunastocentymetrowe odcinki z kilkoma węzłami i wytworzonymi korzeniami przybyszowymi. Przy sprzyjających warunkach pogodowych takie sadzonki przyjmują się nawet w 80%. Z kolei Opać i in. (2022) podają, że sadzonki wegetatywne pokrzywy należy pozyskiwać z jej organów podziemnych późną jesienią. Po wykopaniu powinny być oczyszczone z elementów martwych, podzielone na sadzonki o długości 3–5 cm i od razu sadzone do gruntu. Sadzonki te umieszcza się w wyoranych bruzdach o głębokości około 6–8 cm. Zalecana gęstość sadzenia zależy od przeznaczenia plantacji. W uprawie z przeznaczaniem na włókno nieco większe sadzonki (długości 15–20 cm) wysadza się w rozstawie 40–60 cm w rzędzie oraz 0,6–1,5 m między rzędami. W uprawie na liść można je sadzić nieco gęściej; zazwyczaj stosuje się rozstaw 30–50 cm w rzędzie i 0,75–1,2 m między rzędami. Nadmierne zagęszczenie roślin jest niepożądane, gdyż w kolejnych sezonach rośliny intensywnie rozrastają się na boki (liczne odrosty korzeniowe), a wewnątrz kęp оголаcają się co prowadzi do zmniejszenia efektywności produkcji. Na plantacjach produkcyjnych do nasadzeń można wykorzystywać sadzarki mechaniczne. Optymalnym terminem zakładania plantacji w strefie klimatu umiarkowanego jest wczesna wiosna lub jesień (Biesiada i Wołoszczak, 2007; Di Virgilio i in., 2015; Jankauskienė i Gruzdevienė, 2015).

Sadzonki pędowe

Mniej popularną (w praktyce rolniczej) metodą rozmnażania pokrzywy jest wykorzystanie sadzonek pędowych. Szczyty pędów z trzema węzłami (o długości około 10 cm) można ukorzeniać zarówno w wilgotnym podłożu, jak i w wodzie. Po miesiącu uzyskuje się dobrze ukorzone sadzonki (Ammarellou, i in., 2012). W celu przyspieszenia ich ukorzeniania dolną część sadzonek należy umieścić w roztworze kwasu indolilomasłowego (IBA) o stężeniu $2 \text{ g} \times \text{L}^{-1}$ przez około 30 sekund, a następnie w inertnym podłożu. Po 10–12 dniach, kiedy wytworzą się korzenie, sadzonki można wysadzać w pole (Gatti i in., 2008).

Zabiegi pielęgnacyjne

Pokrzywa zwyczajna ma wysokie wymaganie wodne; dostęp wody w glebie wyraźnie wpływa na jej plonowanie. W pierwszym roku po założeniu plantacji rośliny wymagają nawadniania. Niedobór wody w glebie wyraźnie obniża kiełkowanie nasion i przyjmowanie się sadzonek. W kolejnych latach nawadnianie jest konieczne w okresach suszy, zwłaszcza po ścięciu ziela (nawet 3–4 pokosy ziela w sezonie wegetacyjnym). Roślina ta dobrze reaguje na nawadnianie zalewowe, jak i poprzez deszczowanie, nie toleruje jednak długotrwałego zalewania (Di Virgilio i in., 2015; Vogl i Hartl, 2003).

Ze względu na wymagania jakościowe surowca, walka z chwastami na plantacjach roślin leczniczych, w tym pokrzywy, powinna być prowadzona od momentu ich założenia niezwykle starannie. Zarówno mechaniczne jak i ręczne (w rzędach) usuwanie chwastów jest konieczne, aby uzyskać surowiec wolny od zanieczyszczeń organicznych. Szczególna uwaga powinna być zwrócona na walkę z chwastami zawierającymi w swoich tkankach toksyczne alkaloidy tropanowe i pirolizydynowe, na zawartość których standaryzowane są roślinne surowce lecznicze. Plantacje zielarskie powinny być regularnie lustrowane pod kątem występowania tych chwastów. Należy je od razu usuwać, nie pozostawiając na polu nawet ich resztek.

Nawożenie pokrzywy zwyczajnej powinno być zaplanowane w oparciu o analizę gleby. Gatunek ten zaliczany jest do roślin o dużych wymaganiach pokarmowych; w jego uprawie szczególnie staranne powinno być prowadzone nawożenie azotowe. Rekomendowana roczna dawka azotu wynosi $200 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$. 70% tej dawki zaleca się zastosować na początku wegetacji, a 30 % w fazie, gdy rośliny dorosną do wysokości około 50 cm. Dodatkowo zaleca się stosowanie około $50 \text{ kg N} \times \text{ha}^{-1}$ jesienią w celu zapewnienia optymalnego rozwoju roślin i ich przezimowania. Nawożenie fosforem i potasem zaleca się przeprowadzić wczesną wiosną, w dawkach odpowiednio 40–50 kg

$P_2O_5 \times ha^{-1}$ i $150\text{--}180 \text{ kg } K_2O \times ha^{-1}$ (Biesiada i in., 2009; Jankauskienė i Gruzdevienė, 2015; Opać i in., 2022; Internet 10). W uprawie pokrzywy, zwłaszcza ekologicznej, podstawowe znaczenie mają także nawozy pochodzenia organicznego, takie jak obornik lub gnojowica, które często stosuje się po roślinach uprawianych na zielony nawóz (np. po bobowatych), dostarczających biologicznie związanego azotu (Opać i in., 2022).

Ochrona roślin w przypadku pokrzywy jest stosunkowo prosta, ponieważ gatunek ten cechuje się wysoką odpornością na choroby i szkodniki. Mimo to w uprawie towarowej konieczne jest monitorowanie stanu fitosanitarnego plantacji. W warunkach uprawy mogą występować choroby grzybowe np. mączniak prawdziwy i rzekomy (przedstawiciele rzędu *Erysiphales*) i rdza (np. rdza pokrzywy; *Puccinia urticata*), oraz szkodniki takie jak przędziorki (np. przędziorek chmielowiec, *Tetranychus urticae*) czy mszyce (np. mszyca pokrzywianka, *Microlophium carnosum*; mszyca pędopokrzywowa, *Aphis urticata*), które powodują uszkodzenia liści i łodyg, a tym samym mogą wpływać na jakość surowca (Mamo, 2024; Piepenbring i in., 2025). Pokrzywa jest rośliną żywicielską dla licznych owadów, przez co mogą pojawiać się okresy masowych pojawów gąsienic (Cronk i in., 2016; Gaston i in., 2005).

Zbiór

Zbiór ziela na plantacjach pokrzywy prowadzi się kilkakrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego. Częstotliwość zbiorów zależy od wieku roślin, zasobności gleby w składniki pokarmowe oraz wodę. W pierwszym roku uprawy zazwyczaj wykonuje się od jednego do dwóch zbiorów. Od drugiego roku możliwe jest zwiększenie intensywności użytkowania – w sprzyjających warunkach prowadzi się nawet pięć pokosów. Pierwszy pokos przypada najczęściej na przełomie kwietnia i maja (młode ziele). Następne można prowadzić co około 4–8 tygodni, w zależności od ww. warunków, aż do połowy września. Późniejsze zbiory mogą osłabić rośliny przed nadejściem zimy powodując ich wypadanie. Zbiór surowca na plantacjach prowadzi się mechanicznie przy użyciu kosiarek lub przyczep tnąco-zbierających przystosowanych do zbioru ziela roślin leczniczych. Zaleca się wykonywanie cięcia powyżej drugiego węzła, co umożliwia szybkie odrastanie i regenerację roślin (Grevsen i in., 2008; Opać i in., 2022; Paulauskienė i in., 2021; Upton, 2013).

Zbiór organów podziemnych pokrzywy zwyczajnej prowadzi się jesienią (wrzesień–listopad), po zakończeniu wegetacji lub wczesną wiosną (marzec–kwiecień), zanim rozpocznie się intensywny rozwój pędów. Do zbioru wykorzystuje się rośliny

kilkuletnie, charakteryzujące się dobrze rozwiniętymi organami podziemnymi (Upton, 2013).

Obróbka pozbiorcza

Bezpośrednio po ścięciu, ziele pokrzywy powinno zostać poddane suszeniu w suszarniach ogrzewanych, w temperaturze nieprzekraczającej 40–50 °C. Zbyt wysoka temperatura może prowadzić do degradacji chlorofilu.

Korzenie pokrzywy po zbiorze należy wypłukać, wstępnie pokroić i suszyć w temperaturze około 60 °C.

Prawidłowo wysuszone surowce powinny zachować naturalną barwę i zapach oraz charakteryzować się odpowiednią kruchością (Chand i Singh, 2017; Upton, 2013).

Gotowe surowce przechowuje się w szczelnych opakowaniach, chroniąc je przed dostępem światła, w suchych i chłodnych pomieszczeniach. Niewłaściwe warunki przechowywania mogą prowadzić do utraty ich jakości.

4. Cel, zakres pracy i hipotezy badawcze

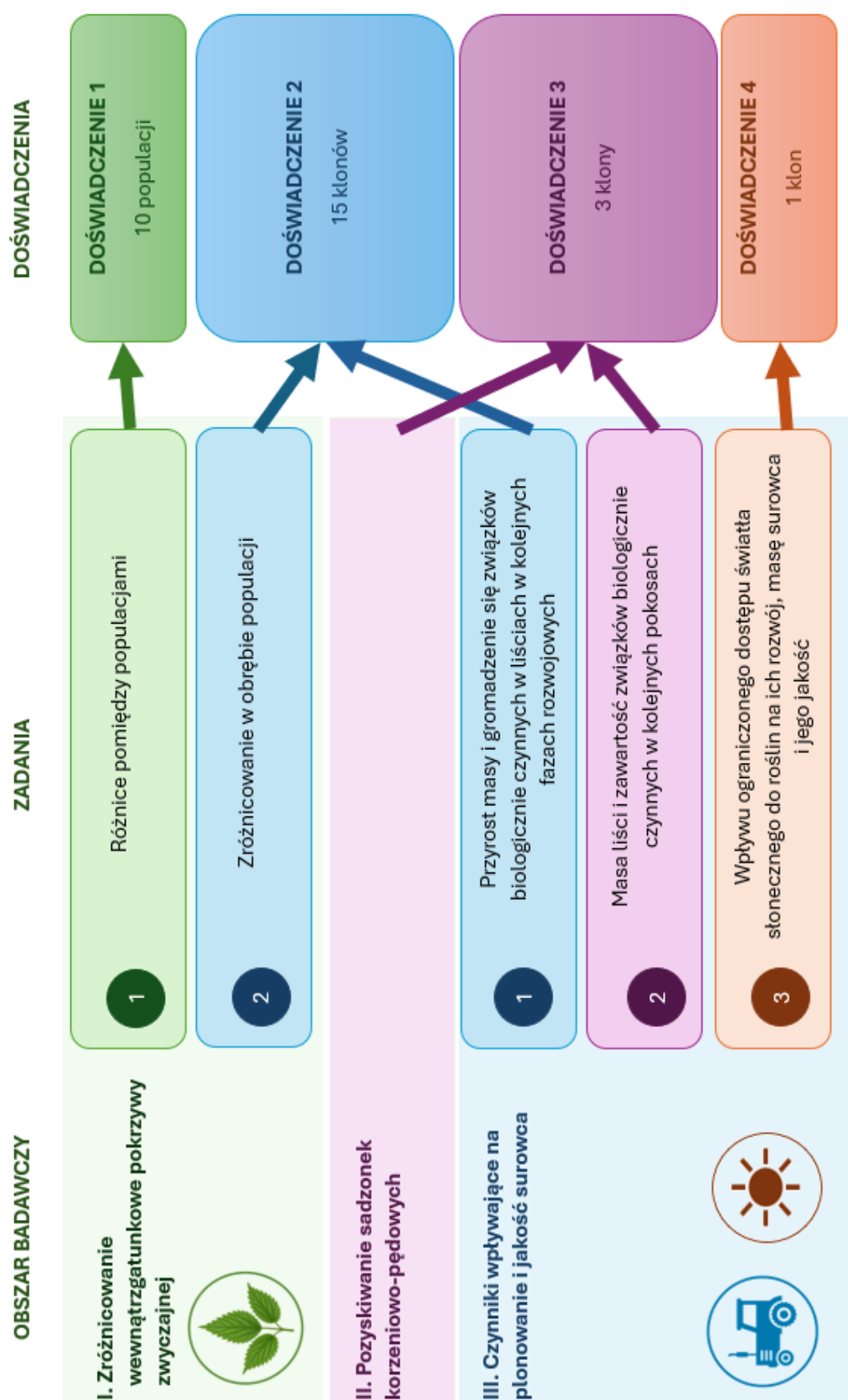
Nadrzędnym celem badań było określenie zakresu zróżnicowania rozwojowego i chemicznego pokrzywy zwyczajnej oraz możliwości wykorzystania jej potencjału rozwojowego w kierunku uzyskania jednorodnego wegetatywnego materiału rozmnożeniowego, oraz surowca o ustalonych, wysokich parametrach jakościowych.

Zakres pracy: badania realizowane były w trzech obszarach tematycznych i w sześciu zadaniach tj.:

- I. Zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe pokrzywy zwyczajnej:
 1. Różnice pomiędzy populacjami.
 2. Zróżnicowanie w obrębie populacji.
- II. Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych.
- III. Czynniki wpływające na plonowanie i jakość surowca:
 1. Przyrost masy liści i gromadzenie się w nich związków biologicznie czynnych w okresie rozwoju roślin.
 2. Masa liści i zawartość związków biologicznie czynnych w kolejnych pokosach.
 3. Wpływ ograniczonego dostępu światła słonecznego na rozwój roślin, masę surowca i jego jakość.

Hipotezy badawcze

1. Pokrzywa zwyczajna jest gatunkiem silnie zróżnicowanym pod względem rozwojowym i chemicznym.
2. Pokrzywa ma wysoki wegetatywny potencjał rozmnożeniowy.
3. Istnieje ścisła zależność pomiędzy rozwojem roślin a gromadzeniem się związków biologicznie aktywnych w organach surowcowych.
4. Dostęp światła słonecznego do roślin wpływa na ich rozwój i jakość pozyskiwanego surowca.



Rys. 1. Schemat realizowanych badań.

5. Materiały i metodyka

Przeprowadzone prace obejmowały czteroletni cykl (2021–2024) badań prowadzonych w warunkach polowych oraz badania laboratoryjne. Prace polowe realizowano na polu doświadczalnym Katedry Roślin Warzywnych i Leczniczych (KRWiL) w Wilanowie. Każdorazowo przed założeniem doświadczeń z pokrzywą, na poletkach przeznaczonych pod jej uprawę wysiewano gorczycę jako nawóz zielony, którą następnie przyorywano (najczęściej jesienią) wraz z przekompostowanym obornikiem bydlęcym (dawka $30 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$). Warunki pogodowe w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 1., a wyniki analiz gleby – w tabeli 2. Analizy gleby zostały wykonane w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Warszawie. Z kolei analizy chemiczne uzyskanych surowców (liści pokrzywy) przeprowadzono w laboratoriach KRWiL.

Tabela 1. Parametry pogodowe w sezonach wegetacyjnych 2021–2024*.

rok	parametry pogody	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	AVG
2021	T (°C)	-2	-3	4	7	12	20	23	18	15	10	6	0	9
	SH (h)	47	100	100	53	91	174	141	53	158	218	144	64	112
	SD	9	15	23	19	22	23	17	14	26	26	21	22	20
	RF (mm)	50,6	38,9	28,9	44,4	93,9	43,2	109,6	180,7	41,8	18,7	56,4	29,9	61,4
	AH (%)	89	87	70	68	73	64	65	70	66	61	75	86	73
2022	T (°C)	1	3	4	7	14	20	20	23	14	12	5	0	10
	SH (h)	59	81	212	63	118	136	157	207	129	157	108	37	122
	SD	12	15	30	19	24	23	19	25	25	24	22	12	21
	RF (mm)	66,5	63,3	43,0	63,6	67,2	52,7	104,6	44,6	48,2	51,4	24,9	66,7	58,1
	AH (%)	81	74	54	69	62	66	60	55	60	69	79	87	68
2023	T (°C)	3	2	5	9	13	19	21	22	20	12	5	2	11
	SH (h)	58	94	66	64	154	171	162	153	287	109	56	43	118
	SD	15	14	14	23	27	22	20	22	30	28	15	8	20
	RF (mm)	65,8	50,4	98,6	61,1	52,2	64,7	73,9	100,0	3,6	53,1	50,0	75,1	62,4
	AH (%)	83	80	72	70	62	60	54	60	51	70	78	86	69
2024	T (°C)	-1,9	-0,8	3,2	9,3	14,6	18	20,1	19,5	14,7	9,3	4,8	0,5	8,48
	SH (h)	77,5	95,2	170,5	264	322,4	330	344,1	322,4	222	155	93	71,3	205,62
	SD	47	42	48	52	71	71	89	68	62	48	48	49	57,92
	RF (mm)	83	81	75	66	65	64	67	67	72	78	85	84	73,92
	AH (%)	-1,9	-0,8	3,2	9,3	14,6	18	20,1	19,5	14,7	9,3	4,8	0,5	8,48

* Źródło: Roczne średnie pogodowe dla Warszawy – Polska (worldweatheronline.com); T – temperatura; SH – liczba godzin słonecznych; SD – liczba dni słonecznych; RF – opady deszczu; AH – wilgotność powietrza

Tabela 2. Parametry gleby (pH, zawartość głównych składników odżywczych ($\text{mg} \times \text{l}^{-1}$) oraz zasolenie ($\text{g KCl} \times \text{l}^{-1}$).

rok	pH	NO_3^-	NH_4^+	P	K	Ca	Mg
2021	6.98	39	13	48	176	803	93
2022	6.69	32	12	77	102	789	95
2023	6.25	37	6	42	81	875	92
2024	6,00	25	14	50	88	622	91

5.1. Zadania badawcze

5.1.1. Różnicowanie wewnątrzgatunkowe pokrzywy zwyczajnej

Zadanie 1. Różnice pomiędzy populacjami

Obiektem badań było 10 populacji pokrzywy zwyczajnej pochodzących z województw: podlaskiego, mazowieckiego, lubelskiego i podkarpackiego. Nasiona z tych populacji zebrano na stanowiskach naturalnych w sierpniu 2020 roku, a pochodzącą z nich rozsadę przygotowano w szklarni SGGW wiosną 2021 roku. W czerwcu wysadzono ją na polu doświadczalnym SGGW w Wilanowie, w rozstawie 40×100 cm. Każda populacja reprezentowana była przez 60 pojedynczych roślin. Zbiór ziela przeprowadzono jednokrotnie, w fazie wegetatywnego rozwoju roślin, w drugim roku uprawy (czerwiec 2022 r.). Surowiec zbierano z 30 roślin, oddzielnie z każdej populacji. Ziele wysuszone w suszarni Memmert UFE 800 (Büchenbach, Niemcy) w temperaturze 40°C . Po wysuszeniu liście oddzielono od łodyg. Oceniono suchą masę liści oraz zawartość w nich związków biologicznie aktywnych, tj. kwasów fenolowych (kwasu neochlorogenowego, chlorogenowego, kawowojabłkowego i cykoriowego), flawonoidów (rutozydu i hiperozydu) oraz barwników asymilacyjnych (chlorofilu a, b, karotenoidów). Szczegółowa metodyka badań przedstawiona została w artykule Koczkodaj i in. 2023.



Tablica 6. Doświadczenie 1.; 10 populacji pokrzywy rosnących w rzędach; a) 1 rok uprawy, b) 2 rok uprawy.

Zadanie 2. Zróżnicowanie w obrębie populacji

Badania przeprowadzono w latach 2022–2023 na 15 wyselekcjonowanych klonach pokrzywy, uzyskanych z wegetatywnie rozmnożonych pojedynków, tj. roślin pochodzących z jednej populacji. Sadzonki korzeniowo-pędowe tych roślin uzyskano w kwietniu 2022 r. i wysadzono w pole w rozstawie 50×100 cm (po 30 sadzonek z każdej rośliny matecznej, stanowiących oddzielne klony). Szczegółowe badania wykonano w 2023 roku na roślinach będących w drugim roku wegetacji. Zbiór ziela przeprowadzono jednokrotnie w maju w fazie wegetatywnej, z 5 roślin dla każdego klonu. Przed zbiorem zmierzono wysokość roślin i średnicę wytworzonych kęp. Określono świeżą i suchą masę ziela w przeliczeniu na jedną roślinę oraz stratę masy po suszeniu. Ziele zostało wysuszone w suszarni Memmert UFE 800 w temperaturze 40°C . W surowcu tym oznaczono zawartość związków biologicznie aktywnych, tj. kwasów fenolowych (kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego), flawonoidów (rutozydu i hiperozydu) oraz barwników asymilacyjnych (chlorofilu a, b, karotenoidów).



Tablica 7. Doświadczenie 2: 15 klonów. a) klon 2, b) klon 7.

5.1.2. Zadanie 3: Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych

Badania prowadzono w latach 2023–2024 na polu doświadczalnym KRWiL z wykorzystaniem trzech klonów pokrzywy, które potraktowano jako powtórzenia. Sadzonki korzeniowo-pędowe pobierano z roślin uprawianych w ramach doświadczenia opisanego szczegółowo w zadaniu 5. Materiał sadzonkowy pozyskiwano w trzecim roku uprawy z wydzielonych poletek doświadczalnych (w ramach jednego wariantu: 3 poletka o powierzchni 6 m² każde, dla każdego klonu oddzielnie). Oceniono możliwość pozyskiwania sadzonek w następujących wariantach:

- I – pozyskanie sadzonek przed pierwszym terminem zbioru ziela (koniec kwietnia);
- II – pozyskanie sadzonek po pierwszym pokosie ziela (zbiór ziela w maju; zbiór sadzonek na początku czerwca);
- III – pozyskanie sadzonek po drugim pokosie ziela (zbiór ziela w maju, kolejny pokos w czerwcu; zbiór sadzonek w lipcu).

Terminy zbioru sadzonek w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 3. Około miesiąc przed pozyskaniem sadzonek poletka uprawowe przykryto kilkucentymetrową warstwą mieszanki kory sosnowej mielonej i torfu odkwaszonego. Założono, że młode pędy po przerośnięciu tej warstwy zaczną się w niej ukorzeniać. Podczas zbioru szacowano całkowitą liczbę sadzonek z jednostki powierzchni (szt. × m⁻²), określono ich długość (cm) oraz liczbę węzłów i korzeni na pędzie (szt. × roślina⁻¹). Następnie sadzonki zostały wysadzone do wielodoniczek wypełnionych substratem ogrodniczym. Po czterech tygodniach uprawy oceniano udział procentowy dobrze ukorzenionych, przyjętych sadzonek. Przedstawione wyniki stanowią średnią z dwóch lat, w których prowadzono badania.

Tabela 3. Terminy pozyskiwania sadzonek.

Wariant	Sezon wegetacyjny	
	2023	2024
I	29.04.2023	24.04.2024
II	02.06.2023	31.05.2024
III	18.07.2023	12.07.2024



Tablica 8. Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych: a) przygotowanie poletka, b) młode pędy przerastające warstwę kory, c) sadzonka, d) poletko po pobraniu sadzonek.

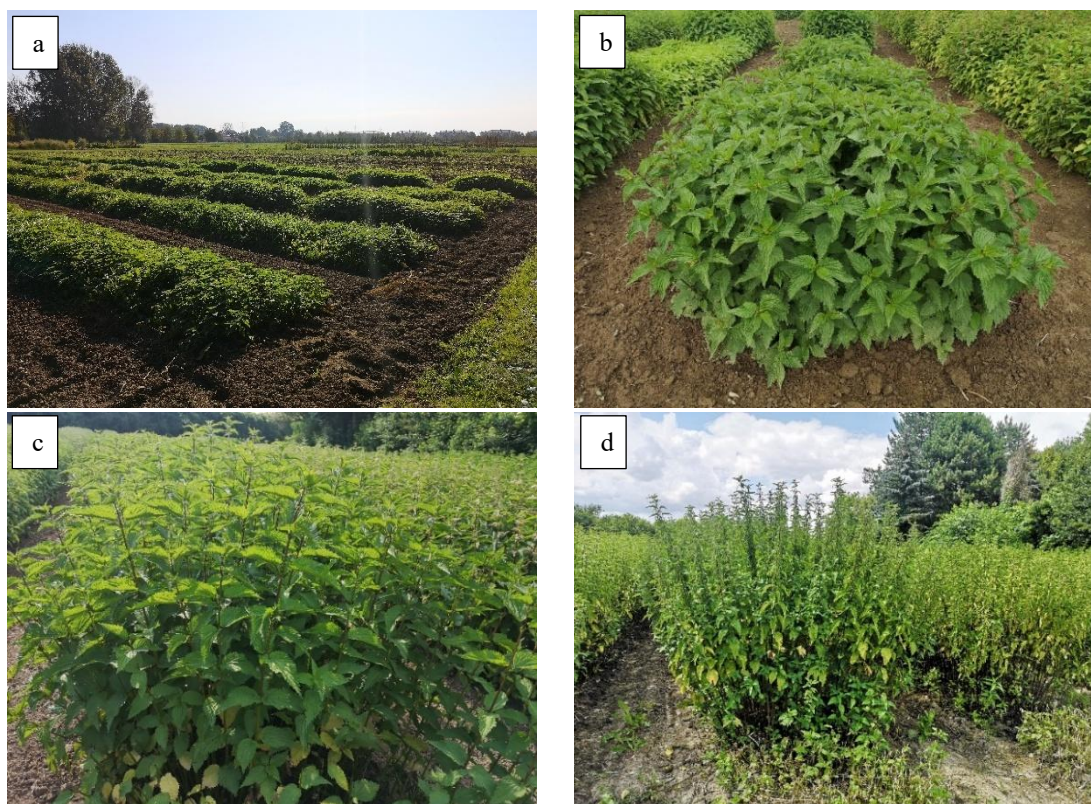
5.1.3. Czynniki wpływające na plonowanie i jakość surowca

Zadanie 4. Przyrost masy liści i gromadzenie się w nich związków biologicznie czynnych w okresie rozwoju roślin

Badania prowadzono w latach 2022–2023 na roślinach (15 klonów) uprawianych w ramach doświadczenia opisanego szczegółowo w zadaniu 2. W drugim roku ich uprawy (2023) przeprowadzono zbiór ziela (z 5 roślin każdego klonu) w trzech kolejnych fazach rozwojowych:

- w fazie wegetatywnej (15 maja);
- na początku kwitnienia (31 czerwca);
- w pełni kwitnienia (30 lipca).

Przed ścięciem ziela zmierzono wysokość roślin (cm). Surowiec zbierano ręcznie, na wysokości kilku cm nad powierzchnią gleby. Ziele suszono bezpośrednio po zbiorze, w temp. 40 °C, w suszarni Memmert UFE 800. Po wysuszeniu liście oddzielono od łodyg i zważono. W surowcu tym oceniono zawartość związków biologicznie aktywnych, tj.: kwasów fenolowych (kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego), flawonoidów (rutozydu i hiperozydu) oraz barwników asymilacyjnych (chlorofil a, b, karotenoidy).



Tablica 9. Doświadczenie 2: 15 klonów: a) widok ogólny, b) faza wegetatywna, c) początek kwitnienia, d) pełnia kwitnienia.

Zadanie 5. Masa liści i zawartość związków biologicznie czynnych w kolejnych pokosach

Doświadczenie polowe założono w 2021 oraz w 2022 roku. Obiektem badań były trzy klony pokrzywy zwyczajnej. Podobnie jak w zadaniu 2. do nasadzeń użyto sadzonek korzeniowo-pędowych przygotowanych w szklarni i wysadzonych w pole wczesną wiosną (kwiecień) w rozstawie 50 × 100 cm (po 30 roślin każdego klonu, w trzech powtórzeniach). Zbiór zielea prowadzono w 2022 i 2023 roku w drugim roku uprawy roślin. Kolejne pokosy (łącznie cztery) wykonywane były w fazie wegetatywnej. Każdorazowo ziele ścinano z powierzchni 5 m² na wysokości około 10 cm nad powierzchnią gleby. Terminy zbioru surowców w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 4.

Każdorazowo ziele suszono w temp. 40 °C, w suszarni Memmert UFE 800, następnie liście oddzielono od łodyg, określano ich masę i poddawano ocenie chemicznej na zawartość związków biologicznie aktywnych, tj. kwasów fenolowych (kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego), flawonoidów (rutozydu i hiperozydu) oraz barwników asymilacyjnych (chlorofilu a i b, karotenoidów). Przedstawione wyniki stanowią średnią z dwóch lat.

Tabela 4. Terminy zbioru surowca.

Termin zbioru	Sezon wegetacyjny	
	2022	2023
1	09.05.2022	10.05.2023
2	13.06.2022	14.06.2023
3	18.07.2022	19.07.2023
4	29.08.2022	30.08.2023

Zadanie 6. Wpływ ograniczonego dostępu światła słonecznego do roślin na ich rozwój, masę surowca i jego jakość

Doświadczenie polowe prowadzono w latach 2022–2023. Obiektem badań był jeden klon pokrzywy zwyczajnej. Sadzonki korzeniowo-pędowe do nasadzeń przygotowano w szklarni i wysadzono w pole na początku maja 2022 r. w rozstawie 50 × 50 cm. Rośliny rosły na poletkach o powierzchni 6 m² w 6 powtórzeniach, w trzech wariantach, w których zróżnicowano dostęp światła słonecznego. Uprawiano je:

- przy pełnym dostępie światła słonecznego (0% zacienienia),
- w tunelu przykrytym siatką raszlową, przy ograniczeniu dostępu światła o 35% i 50%.

Badania przeprowadzono w drugim roku wegetacji roślin. Intensywność promieniowania słonecznego w ww. wariantach została zmierzona w połowie lipca 2023 r. za pomocą fitofotometru RF-100 (Sonopan, Polska) (Tabela 5). W pełni sezonu wegetacyjnego (lipiec 2023) przeprowadzono obserwacje morfologiczno-rozwojowe oraz ocenę parametrów fizjologicznych roślin.

Obserwacje morfologiczno-rozwojowe obejmowały ocenę:

- liczby pędów na jednostce powierzchni (szt. $\times$ m²),
- długości pędów (pomiar na 5 pędach z rośliny; cm),
- powierzchni liści (pomiar na dwóch liściach z rośliny, zebranych z okółka znajdującego się w połowie długości łodygi; cm²) – określony przy użyciu programu graficznego Gimp 2.10.36,
- suchej masy 10 liści (g).

W świeżych liściach określono także:

- zawartość wolnej proliny ($\mu\text{mol} \times \text{g}^{-1}$ ś.m.),
- zawartość nadtlenu wodoru ($\text{nmol} \times \text{g}^{-1}$ ś.m.),
- aktywność katalazy ($\text{nkat} \times \text{g}^{-1}$ ś.m.).

W badaniach tych oceniono także wpływ zacieniania roślin na masę ziele i zawartość w nim związków biologicznie aktywnych. Młode ziele (o niezdrewniałych pędach) ścinano trzykrotnie w trakcie sezonu wegetacyjnego (kolejne pokosy – odrosty), tj.: 23 maja, 26 czerwca i 14 września. Surowiec suszono w suszarni Memmert UFE 800 w temperaturze 40°C. Określono jego suchą masę oraz zawartość w nim kwasów fenolowych (kwasu neochlorogenowego, chlorogenowego, kawowojabłkowego i cykoriowego) oraz barwników asymilacyjnych (chlorofilu a i b, karotenoidów).

Tabela 5. Natężenie promieniowania fotosyntetycznie czynnego (PAR; $\text{mmol E} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$) w różnych wariantach dostępu światła słonecznego do roślin.

	Poziom zacienienia		
	0%	35%	50%
Niebo bezchmurne	1,020	0,396	0,209
Niebo zachmurzone	0,440	0,220	0,085



Tablica 10. Doświadczenie 4: 1 klon; a) rośliny rosące przy pełnym dostępie do światła słonecznego, b) zacinienie 35%, c) zacinienie 50%.

5.2. Analizy chemiczne surowców

Analizy chemiczne przeprowadzono w laboratoriach KRWiL m.in. w Pracowni Wysokosprawnej Chromatografii Cieczowej, Pracowni Chromatografii Gazowej i Cienkowarstwowej. Do analiz chemicznych wykorzystano powietrznie suche rozdrobnione w młynku laboratoryjnym HC 100 (Chemland, Polska) i zhomogenizowane próbki. Wszystkie analizy przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

5.2.1. Zawartość związków fenolowych (kwasów fenolowych i flawonoidów)-HPLC

Analizę przeprowadzono przy użyciu wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) z wykorzystaniem aparatu firmy Shimadzu Prominence wyposażonego w autosampler SIL-20AC HT, detektor fotodiodowy SPD-M20A i oprogramowanie chromatograficzne LCsolution 1.21 SP1 (Shimadzu, Kioto, Japonia). Standardy (wzorce chemiczne badanych związków) zakupiono w firmie ChromaDex® (Irvine, USA)

0,2 g surowca ekstrahowano przy użyciu 25 ml metanolu przez 30 minut w temperaturze 40°C w łaźni ultradźwiękowej (Sonic 6, Polsonic, Warszawa, Polska). Uzyskane ekstrakty przefiltrowano do fiołki z bursztynowego szkła za pomocą filtra

strzykawkowego PTFE o porach 0,22 μm i średnicy 25 mm (Sigma–Aldrich, Poznań, Polska).

Rozdziały uzyskano na kolumnie C18 z odwróconą fazą, wypełnionej cząstkami stałego rdzenia o średnicy 2,6 μm z porowatą warstwą zewnętrzną, o wymiarach 100 mm $\times$ 4,60 mm (Kinetex™, Phenomenex, USA). Zastosowano binarny gradient wody dejonizowanej dostosowanej do pH 2 za pomocą kwasu fosforowego (faza ruchoma A) i acetonitrylu (faza ruchoma B): 0,00 min - 17% B; 0,50 min - 17% B; 3,00 min - 40% B; 3,10 min - 40% B; 3,11 min - 17% B; 5,00 min. Szybkość przepływu wynosiła 1,3 ml $\times$ min⁻¹, temperatura pieca 45°C, a objętość nastrzyku 1 μl . Zawartość oznaczanych związków obliczono w mg na 100 g suchej masy. Szczegółowy opis metody przedstawiono

5.2.2. Ogólna zawartość kwasów fenolowych

Oznaczenie całkowitej zawartości kwasów fenolowych przeprowadzono metodą spektrofotometryczną zgodnie z FP VI (2005) w oparciu o barwną reakcję odczynnika Arnova z kwasami fenolowymi. 0,5 g powietrznie suchego surowca ekstrahowano dwukrotnie przy użyciu 25 ml metanolu przez 30 minut z zastosowaniem wytrząsarki mechanicznej. Uzyskany ekstrakt poddano reakcji z roztworem kwasu solnego (18 g $\times$ L⁻¹), odczynnikiem Arnova oraz roztworem wodorotlenku sodu (40 g $\times$ L⁻¹). Absorbancję zmierzono za pomocą spektrofotometru Shimadzu UV-1800 (Shimadzu, Kioto, Japonia) przy długości fali 490 nm. Zawartość kwasów fenolowych wyrażono w % w odniesieniu do kwasu kawowego.

5.2.3. Zawartość barwników asymilacyjnych

Zawartość chlorofilu a i b oraz karotenoidów

Zawartość chlorofilu a i b oceniona została zgodnie z metodą opisaną przez Lichtenthaler i Wellburn (1983) z jej późniejszymi modyfikacjami (Lichtenthaler i Buschmann, 2001). 0,25 g surowca ekstrahowano przy użyciu 30 ml 80% wodnego roztworu acetonu przez 45 minut w temperaturze pokojowej. Otrzymany roztwór przefiltrowano i uzupełniono do 50 ml tym samym rozpuszczalnikiem. Absorbancję mierzono przy długości fali 470, 646, 663 nm. Wyniki zawartości chlorofilu a i chlorofilu b wyrażono w mg $\times$ g⁻¹, a karotenoidów w mg $\times$ 100 g⁻¹.

5.2.4. Parametry fizjologiczne

Ocenę parametrów fizjologicznych przeprowadzono w laboratoriach Katedry Ochrony Środowiska i Dendrologii, Instytutu Nauk Ogrodniczych SGGW w Warszawie. Do analiz wykorzystano świeży materiał roślinny.

Zawartość wolnej proliny

Zawartość wolnej proliny oznaczono zgodnie z metodą Batesa i in. (1973). 0,5 g świeżego surowca homogenizowano w 10 ml 0,3% wodnego roztworu kwasu sulfosalicylowego. Mieszaninę wirowano z prędkością 20 000 obr. $\times$ min⁻¹ przez 20 minut. Do analizy pobrano 2 ml supernatantu, dodano 2 ml roztworu ninhydryny i 2 ml lodowatego kwasu octowego. Próbkę inkubowano w łaźni wodnej w temperaturze 100°C przez 1 godzinę, a następnie schłodzono do temperatury pokojowej. Aby ułatwić rozdział faz, dodano 4 ml toluenu i mieszaninę wytrząsano przez 20 sekund. Absorbancję mierzono przy długości fali 520 nm, stosując toluen jako próbkę ślepą. Wyniki wyrażono w $\mu\text{mol} \times \text{g}^{-1}$ ś.m.

Zawartość nadtlenu wodoru

0,5 g świeżego surowca ucierano w 5 ml 0,1 M buforu fosforanu potasu (pH 7,0), zawierającego 2 mM EDTA i 1% PvP. Następnie mieszaninę wirowano z prędkością 20 000 obr. $\times$ min⁻¹ przez 20 minut w temperaturze 4°C. Do 0,5 ml supernatantu dodano 0,5 ml 0,1 M buforu fosforanu potasu i 1 ml 1 M jodku potasu (KI). Mieszaninę inkubowano w ciemności, przez 1 godzinę, w temperaturze pokojowej. Zawartość nadtlenu wodoru oznaczono, mierząc absorbancję przy długości fali 390 nm za pomocą spektrofotometru. Wyniki obliczono na podstawie krzywej standardowej. Wyniki wyrażono w $\text{nmol} \times \text{g}^{-1}$ ś.m.

Aktywność katalazy (CAT, EC 1.11.1.6)

Aktywność katalazy (CAT, EC 1.11.1.6) oceniono zgodnie z metodą Góth (1991), w oparciu o bezpośredni pomiar spadku absorbancji badanej próbki spowodowanego rozkładem nadtlenu wodoru (H₂O₂) w ekstrakcie roślinnym. Materiał roślinny przygotowano zgodnie z opisem dotyczącym oznaczania H₂O₂. Supernatant poddano reakcji z 1,0 ml 0,1 M buforu fosforanowego i 1,0 ml 65 μM H₂O₂. Po 10 minutach inkubacji w ciemności mierzono absorbancję przy długości fali 405 nm, stosując bufor fosforanowy jako kontrolę. Wyniki wyrażono w $\text{nkat} \times \text{g}^{-1}$ ś.m.

5.2.5. Analiza statystyczna wyników

Wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w programie Statistica 13 (2017). Do porównania grup zastosowano test post hoc Tukeya (HSD) z poziomem istotności $\alpha = 0,05$. Grupy jednorodne oznaczono tymi samymi literami. Do oceny zależności między zawartością poszczególnych związków chemicznych zastosowano metodę regresji liniowej. Wyznaczono współczynnik korelacji Pearsona (r , $\alpha = 0,05$) oraz równanie regresji.

Obróbka graficzna zdjęć

Zdjęcia przedstawione w tablicy 1. zostały wykonane przy użyciu mikroskopu Keyence VHX-X1 (Japonia). Fotografie sadzonek, przedstawione w tablicy 11 zostały obrobione w edytorze graficznym GIMP 2.10.36.

6. Opis wyników i dyskusja

6.1. Zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe pokrzywy zwyczajnej

Zadanie 1. Różnice pomiędzy populacjami

Badania nad pokrzywą zwyczajną pochodzącą ze środkowo-wschodniej Polski wykazały, że populacje występujące na tym terenie zróżnicowane są pod względem wielu cech użytkowych. Różnice pomiędzy nimi w przypadku plonu liści były znacznie mniejsze ($CV=16,3\%$) niż odnośnie do cech charakteryzujących jakość surowca. Wyraźnie różnicowały je kwasy fenolowe, tj. kwas cykoriowy ($CV = 48,8 \%$), chlorogenowy ($CV = 32,7\%$), neochlorogenowy ($CV = 24,0 \%$) i kwas kawowojabłkowy ($CV = 23,9\%$). Badane populacje zróżnicowane były również pod względem zawartości oznaczonych flawonoidów (rutozyd $CV = 21,3\%$; hiperozyd $CV = 55,6\%$). Analiza zawartości barwników asymilacyjnych wykazała natomiast niewielką zmienność tych populacji pod względem tej cechy (chlorofil a $CV = 4,2\%$; chlorofil b $CV = 8,9\%$; karotenoidy $CV = 3,8\%$) (Styczyńska i in., 2023).

Zadanie 2. Zróżnicowanie w obrębie populacji

Rozwinięciem badań przedstawionych w zadaniu 1. było określenie różnic pomiędzy pojedynczymi roślinami w obrębie populacji. Ze względów metodycznych (uzyskanie powtórzeń zwłaszcza odnośnie do oceny cech morfologicznych) rośliny te rozmnożono wegetatywnie (przy użyciu sadzonek korzeniowo-pędowych), stąd badania przeprowadzono na 15 wyselekcjonowanych klonach pokrzywy, będących potomstwem pojedynków.

Uzyskane wyniki wskazują, że klony te różniły się wyraźnie tempem rozwoju. W drugim roku uprawy, w maju (tradycyjny termin zbioru tzw. młodego ziela pokrzywy, uznawanego za równocenne w stosunku do liści) niektóre klony dorastały do około 30 cm wysokości (klon 1, 5), podczas gdy inne były już dwukrotnie wyższe (klon 2, 9) (Tabela 6). Różniły się one także średnicą rozrastających się kęp, co przełożyło się na masę uzyskanego ziela. U form szybko rosnących, tj. u klonu 2 i 9, była ona wyższa, gdzie sucha masa ziela wynosiła odpowiednio 0,41 i 0,38 kg w przeliczeniu na jedną roślinę. U innych była ona niższa nawet dwukrotnie (klony 6 i 11). Ciekawy wydaje się być klon nr 5, u którego przy krótkich pędach (wysokość roślin 31,7 cm) uzyskano stosunkowo wysoką masę ziela, wynoszącą 0,33 kg w przeliczeniu na jedną roślinę. Było to związane z intensywnym rozrastaniem się tej formy. Strata masy ziela po wysuszeniu

wynosiła około 80% (od 82,2 do 78,3%), co wskazuje, że jest to surowiec bardzo uwodniony i stąd w praktyce rolniczej – trudny do wysuszenia.

Współczynnik zmienności (CV) (Tabela 6) dotyczący cech morfologiczno-rozwojowych nie przekraczał u badanych klonów 30%, co oznacza, że przedstawione różnice są stosunkowo niewielkie. Natomiast analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy klonami, co oznacza, że rośliny są jednorodne pod względem badanych cech (małe rozproszenie wyników wokół średniej).

Tabela 6. Wybrane cechy morfologiczno-rozwojowe badanych klonów.

klon	wysokość roślin [cm]	średnica kępy [cm]	świeża masa ziela [kg × roślina ⁻¹]	sucha masa ziela [kg × roślina ⁻¹]	strata masy po suszeniu [%]
1	34,0 ± 2,2 fg	93,3 ± 10,3 ab	1,2 ± 0,0 bc	0,22 ± 0,01 cd	81,76 ± 0,58 a
2	58,4 ± 2,7 ab	95,0 ± 10,8 ab	2,1 ± 0,2 a	0,41 ± 0,03 a	80,41 ± 2,52 a
3	51,6 ± 3,0 bcd	86,7 ± 4,7 ab	1,2 ± 0,2 bc	0,23 ± 0,03 cd	79,99 ± 2,10 a
4	50,1 ± 0,9 bcd	85,0 ± 4,1 ab	1,2 ± 0,0 bc	0,25 ± 0,01 cd	78,18 ± 1,98 a
5	31,7 ± 1,1 g	110,0 ± 4,1 a	2,0 ± 0,5 a	0,33 ± 0,05 abc	83,33 ± 1,70 a
6	45,1 ± 1,6 cde	93,3 ± 4,7 ab	1,0 ± 0,2 c	0,21 ± 0,02 d	78,87 ± 1,47 a
7	38,4 ± 7,6 efg	103,3 ± 12,5 ab	1,4 ± 0,3 abc	0,25 ± 0,04 cd	81,15 ± 5,37 a
8	46,6 ± 2,2 cde	96,7 ± 4,7 ab	1,5 ± 0,2 abc	0,29 ± 0,02 bcd	80,51 ± 3,96 a
9	61,7 ± 2,2 a	96,7 ± 6,2 ab	1,8 ± 0,2 ab	0,38 ± 0,05 ab	78,59 ± 4,99 a
10	51,3 ± 1,4 bcd	80,0 ± 10,8 ab	1,4 ± 0,2 abc	0,25 ± 0,03 cd	81,89 ± 2,74 a
11	43,3 ± 2,7 def	73,3 ± 11,8 b	0,9 ± 0,2 c	0,19 ± 0,01 d	77,55 ± 5,34 a
12	48,3 ± 1,1 cd	95,0 ± 4,1 ab	1,2 ± 0,1 bc	0,25 ± 0,04 cd	78,07 ± 5,17 a
13	53,4 ± 1,2 abc	73,3 ± 18,4 b	1,1 ± 0,1 bc	0,23 ± 0,01 cd	79,12 ± 3,06 a
14	43,3 ± 1,7 def	95,0 ± 4,1 ab	1,4 ± 0,0 abc	0,28 ± 0,02 bcd	79,34 ± 1,88 a
15	44,0 ± 0,8 cde	91,7 ± 4,7 ab	1,4 ± 0,1 abc	0,28 ± 0,01 bcd	80,09 ± 1,37 a
średnia	46,8 ± 8,4	91,2 ± 13,2	1,4 ± 0,4	0,27 ± 0,07	79,92 ± 3,69
CV	18,0	14,4	29,2	24,6	4,6

Grupy statystycznie jednorodne są oznaczane małymi literami, oddzielnie dla każdej kolumny.

Suma kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego (Tabela 7) w liściach pokrzywy wynosiła średnio dla klonów 1129,40 mg × 100 g⁻¹ s.m., przy czym obserwowano między nimi znaczne zróżnicowanie (CV=42,77%). Wartości te wahały się od 386,56 (klon 10) do 1968,00 mg × 100 g⁻¹ s.m. (klon 7). Wszystkie klony spełniały minimalne wymagania jakościowe dotyczące zawartości sumy tych związków w surowcu farmakopealnym, która nie powinna być mniejsza niż 300 mg × 100 g⁻¹ s.m. (FP XI, 2017).

Tabela 7. Zawartość kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].

klon	kwas chlorogenowy	kwas kawowojabłkowy	suma kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego
1	224,89 $\pm$ 12,41 cd	1012,85 $\pm$ 118,85 bcde	1237,74 $\pm$ 106,44 bcd
2	65,85 $\pm$ 10,48 ef	587,95 $\pm$ 167,09 cdef	653,80 $\pm$ 177,58 de
3	300,90 $\pm$ 76,29 bc	1217,01 $\pm$ 77,03 abc	1517,91 $\pm$ 153,32 abc
4	214,60 $\pm$ 2,00 cd	754,30 $\pm$ 67,97 bcdef	968,90 $\pm$ 65,97 cde
5	234,00 $\pm$ 45,83 cd	1302,14 $\pm$ 253,44 ab	1536,14 $\pm$ 299,27 abc
6	102,81 $\pm$ 12,53 def	500,59 $\pm$ 5,32 def	603,40 $\pm$ 7,21 de
7	274,25 $\pm$ 29,40 c	1693,75 $\pm$ 468,36 a	1968,00 $\pm$ 438,96 a
8	119,76 $\pm$ 5,75 def	709,05 $\pm$ 132,32 bcdef	828,80 $\pm$ 126,57 de
9	93,86 $\pm$ 2,59 def	425,81 $\pm$ 18,02 ef	519,67 $\pm$ 20,62 e
10	54,62 $\pm$ 0,33 f	331,95 $\pm$ 50,10 f	386,56 $\pm$ 50,43 e
11	200,34 $\pm$ 27,63 cde	1020,28 $\pm$ 233,39 bcde	1220,62 $\pm$ 205,76 bcd
12	224,22 $\pm$ 27,40 cd	1007,17 $\pm$ 79,98 bcde	1231,39 $\pm$ 52,58 bcd
13	437,98 $\pm$ 20,00 ab	1370,07 $\pm$ 195,69 ab	1808,05 $\pm$ 175,69 ab
14	449,57 $\pm$ 106,63 a	1096,23 $\pm$ 0,58 abcd	1545,80 $\pm$ 107,20 abc
15	114,11 $\pm$ 14,36 def	800,03 $\pm$ 163,88 bcdef	914,14 $\pm$ 178,25 cde
średnia	207,45 $\pm$ 122,48	921,94 $\pm$ 383,16	1129,40 $\pm$ 483,16
CV	59,05	41,55	42,77

Grupy statystycznie jednorodne są oznaczane małymi literami, oddzielnie dla każdej kolumny.

Jeszcze wyższe różnice pomiędzy klonami wystąpiły odnośnie zawartości flawonoidów (Tabela 8), tj. rutozydu (CV=72,87%) i hiperozydu (CV=64,05%). Zawartość rutozydu wahała się od 96,99 do 1205,44 $\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$, a hiperozydu od 5,85 do 77,15 $\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$

Tabela 8. Zawartość rutozydu i hiperozydu [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].

klon	rutozyd	hiperozyd
1	96,99 $\pm$ 25,11 h	7,83 $\pm$ 0,79 f
2	242,87 $\pm$ 50,68 gh	15,25 $\pm$ 2,63 def
3	483,97 $\pm$ 11,68 efg	30,74 $\pm$ 0,75 cd
4	720,47 $\pm$ 120,16 cde	49,23 $\pm$ 4,16 b
5	824,10 $\pm$ 183,21 bcd	49,80 $\pm$ 13,58 b
6	134,49 $\pm$ 10,72 h	10,61 $\pm$ 2,04 ef
7	1046,32 $\pm$ 4,75 abc	77,15 $\pm$ 1,47 a
8	298,62 $\pm$ 44,30 fgh	26,26 $\pm$ 1,66 cde
9	254,10 $\pm$ 66,94 gh	28,81 $\pm$ 8,19 cd
10	110,28 $\pm$ 2,37 h	5,85 $\pm$ 0,17 f
11	358,63 $\pm$ 94,61 fgh	23,05 $\pm$ 1,82 def
12	1205,44 $\pm$ 220,15 a	42,53 $\pm$ 4,37 bc
13	605,43 $\pm$ 56,70 def	22,29 $\pm$ 3,22 def
14	273,71 $\pm$ 8,73 gh	41,70 $\pm$ 5,09 bc
15	1073,95 $\pm$ 21,74 ab	19,48 $\pm$ 4,08 def
średnia	515,29 $\pm$ 375,43	30,04 $\pm$ 19,24
CV	72,87	64,05

Grupy statystycznie jednorodne są oznaczane małymi literami, oddzielnie dla każdej kolumny.

Uzyskane wyniki wskazują na stosunkowo niewielkie zróżnicowanie pomiędzy klonami odnośnie do zawartości barwników asymilacyjnych (Tabela 9). Współczynnik zmienności nie przekraczał tu 15%. Zawartość chlorofili a+b u badanych klonów wynosiła średnio $5,28 \text{ mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$. Największe różnice stwierdzono pomiędzy klonem 3 ($3,39 \text{ mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$) a klonem 14 ($6,58 \text{ mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$). Pozostałe klony były podobne pod względem tej cechy. Zawartość karotenoidów wynosiła średnio $0,96 \text{ mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$. Podobnie jak w przypadku chlorofili najniższą ich zawartość odnotowano dla klonu 3 ($0,64 \text{ mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$), a najwyższą dla klonu 12 ($1,16 \text{ mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$), przy czym nie były to istotne różnice.

Tabela 9. Zawartość barwników asymilacyjnych [$\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$].

klon	chlorofil a+b	karotenoidy
1	$5,65 \pm 0,10 \text{ ab}$	$1,09 \pm 0,16 \text{ a}$
2	$4,83 \pm 0,05 \text{ ab}$	$0,83 \pm 0,04 \text{ a}$
3	$3,39 \pm 0,23 \text{ b}$	$0,64 \pm 0,02 \text{ a}$
4	$4,56 \pm 0,08 \text{ ab}$	$0,83 \pm 0,14 \text{ a}$
5	$5,34 \pm 0,05 \text{ ab}$	$0,95 \pm 0,08 \text{ a}$
6	$5,31 \pm 0,99 \text{ ab}$	$0,97 \pm 0,08 \text{ a}$
7	$5,93 \pm 0,58 \text{ ab}$	$1,11 \pm 0,20 \text{ a}$
8	$5,49 \pm 0,56 \text{ ab}$	$1,01 \pm 0,18 \text{ a}$
9	$5,75 \pm 0,51 \text{ ab}$	$1,07 \pm 0,02 \text{ a}$
10	$5,17 \pm 1,37 \text{ ab}$	$0,96 \pm 0,27 \text{ a}$
11	$5,48 \pm 0,98 \text{ ab}$	$0,91 \pm 0,25 \text{ a}$
12	$5,80 \pm 1,38 \text{ ab}$	$1,16 \pm 0,04 \text{ a}$
13	$5,46 \pm 0,87 \text{ ab}$	$1,00 \pm 0,16 \text{ a}$
14	$6,58 \pm 0,02 \text{ a}$	$1,09 \pm 0,28 \text{ a}$
15	$4,51 \pm 1,00 \text{ ab}$	$0,78 \pm 0,11 \text{ a}$
średnia	$5,28 \pm 0,74$	$0,96 \pm 0,14$
CV	14,02	14,58

Grupy statystycznie jednorodne są oznaczane małymi literami, oddzielnie dla każdej kolumny.

Podsumowanie zadania 1 i 2

Przedstawione powyżej wyniki, poza określeniem zakresu zmienności istotnych użytkowych cech pokrzywy pochodzącej z obszaru środkowo-wschodniej Polski, wskazują na możliwość wykorzystania różniących się między sobą populacji i pojedynków w uprawie. Wyniki te mogą również być przydatne, wykorzystując zarówno metodykę badań, jak i zgromadzony materiał genetyczny, w pracach selekcyjnych i hodowlanych. Natomiast w badaniach agrotechnicznych możliwy jest do wykorzystania duży wegetatywny potencjał rozmnożeniowy pokrzywy (patrz zadanie 3), pozwalający na uzyskanie szybkiego postępu szczególnie w zakresie poprawy jakości surowca przy wprowadzaniu do uprawy wcześniej wyselekcjonowanego klonalnego materiału roślinnego.

6.2. Zadanie 3. Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych

W praktyce rolniczej do zakładania plantacji pokrzywy wykorzystuje się nasiona lub sadzonki rozłogowo-pędowe pozyskiwane z roślin dziko rosnących. Takie działanie, choć stosunkowo szybkie i tanie, wiąże się z istotnymi ograniczeniami. Trudności związane z uzyskaniem właściwej obsady roślin, ich powolny wzrost i niski plon w pierwszym roku oraz intensywne zachwaszczenie (zwłaszcza przy uprawie z nasion) sprawiają, że rolnicy dość szybko rezygnują z takiej uprawy (Di Virgilio i in., 2015; Opać i in., 2022; Radman i in., 2015; Vogl i Hartl, 2003, Kosolapov i in., 2022). Z tego względu istotne jest prowadzenie badań nad opracowaniem metod wytwarzania jednorodnego materiału sadzonkowego pozwalającego na zakładanie plantacji klonalnych o określonych i ustalonych (powtarzalnych) parametrach użytkowych.

Pokrzywa zwyczajna charakteryzuje się naturalną zdolnością do rozprzestrzeniania się za pomocą organów podziemnych, zbudowanych z kłączy, korzeni, a przede wszystkim rozłogów, tj. pędów podziemnych, z węzłami, z których wyrastają nowe pędy nadziemne (Taylor, 2009). Młode pędy charakteryzują się dużą naturalną zdolnością do ukorzeniania. W niniejszej pracy założono, że po przeprowadzeniu działań wspomagających ten proces ukorzenione pędy mogą być użytkowane jako materiał do zakładania plantacji. Oceniono możliwość pozyskiwania sadzonek pokrzywy z plantacji użytkowanej na zbiór ziela, w trzech terminach – wariantach: I – przed pierwszym zbiorem ziela, II – po pierwszym pokosie ziela oraz III – po drugim pokosie ziela. Każdorazowo miesiąc przed pobraniem sadzonek, poletka, z których je zbierano, były obsypywane kilkucentymetrową warstwą mieszanki kory sosnowej mielonej i torfu

wysokiego odkwaszonego i intensywnie podlewane. Założono, że młode pędy po przerośnięciu tej warstwy zaczną się w niej ukorzeniać.

Najwięcej sadzonek w przeliczeniu na jednostkę powierzchni uzyskano w wariancie I (Tabela 10 i 11, Tablica 11), tj. na początku wegetacji roślin, tuż przed pierwszym zbiorem ziela ($212 \text{ szt.} \times \text{m}^{-2}$), a najmniej w wariancie III ($95 \text{ szt.} \times \text{m}^{-2}$), tj. po drugim pokosie ziela. Sadzonki uzyskane w wariancie I były najmniejsze (ich wysokość wynosiła średnio 17,8 cm) i posiadały najmniejszą liczbę korzeni (średnio 7,4 szt. na pędzie). Pomimo to przyjmowały się one najlepiej (średnio 93,3%).

Tabela 10. Liczba i procent ukorzenionych sadzonek w ogólnej liczbie pobranych sadzonek.

	Wariant	2022	2023	Średnia 2022-2023
Liczba pobranych sadzonek (szt. $\times \text{m}^{-2}$)	I	$208 \pm 35 \text{ a}$	$216 \pm 45 \text{ a}$	$212 \pm 41 \text{ a}$
	II	$141 \pm 31 \text{ ab}$	$170 \pm 37 \text{ a}$	$155 \pm 37 \text{ b}$
	III	$80 \pm 18 \text{ b}$	$109 \pm 17 \text{ a}$	$95 \pm 23 \text{ c}$
Procent przyjętych sadzonek (%)	I	$93,3 \pm 1,9 \text{ a}$	$93,3 \pm 2,6 \text{ a}$	$93,3 \pm 2,2 \text{ a}$
	II	$82,2 \pm 11,2 \text{ a}$	$83,2 \pm 9,2 \text{ a}$	$82,7 \pm 10,2 \text{ ab}$
	III	$74,4 \pm 12,5 \text{ a}$	$69,1 \pm 11,8 \text{ a}$	$71,7 \pm 12,4 \text{ b}$

Grupy statystycznie jednorodne są oznaczane małymi literami, oddzielnie dla każdego roku.

Tabela 11. Charakterystyka morfologiczna uzyskanych sadzonek.

Badana cecha	Wariant	2022	2023	Średnia 2022-2023
Wysokość sadzonki (cm)	I	$19,5 \pm 3,1 \text{ c}$	$16,1 \pm 2,9 \text{ c}$	$17,8 \pm 3,5 \text{ c}$
	II	$31,6 \pm 2,9 \text{ a}$	$26,4 \pm 2,7 \text{ a}$	$29,0 \pm 3,8 \text{ a}$
	III	$27,9 \pm 2,6 \text{ b}$	$21,6 \pm 2,8 \text{ b}$	$24,7 \pm 4,1 \text{ b}$
Liczba węzłów na pędzie (szt. $\times \text{roślina}^{-1}$)	I	$3,5 \pm 1,1 \text{ a}$	$3,9 \pm 1,0 \text{ a}$	$3,7 \pm 1,1 \text{ a}$
	II	$3,9 \pm 1,0 \text{ a}$	$3,9 \pm 1,1 \text{ a}$	$3,9 \pm 1,0 \text{ a}$
	III	$3,7 \pm 1,0 \text{ a}$	$3,6 \pm 1,0 \text{ a}$	$3,7 \pm 1,0 \text{ a}$
Liczba korzeni na pędzie (szt. $\times \text{roślina}^{-1}$)	I	$7,3 \pm 1,9 \text{ b}$	$7,6 \pm 2,1 \text{ b}$	$7,4 \pm 2,0 \text{ b}$
	II	$13,6 \pm 1,7 \text{ a}$	$14,7 \pm 2,4 \text{ a}$	$14,1 \pm 2,1 \text{ a}$
	III	$14,7 \pm 2,2 \text{ a}$	$15,6 \pm 2,4 \text{ a}$	$15,1 \pm 2,3 \text{ a}$

Grupy statystycznie jednorodne są oznaczane małymi literami, oddzielnie dla każdego roku.

Biorąc pod uwagę powyższe, wydaje się, że optymalnym terminem pozyskiwania sadzonek korzeniowo-pędowych pokrzywy zwyczajnej z plantacji produkcyjnej jest początek wegetacji roślin, tj. okres przed wykonaniem pierwszego zbioru ziela (koniec kwietnia). W tym czasie rośliny wykazują najwyższy potencjał regeneracyjny, co sprzyja uzyskaniu dużej liczby dobrze ukorzenionych sadzonek. Możliwe jest jednak skuteczne pozyskiwanie materiału rozmnożeniowego w późniejszych terminach. Może to mieć znaczenie w praktyce rolniczej w okresach intensywnych prac polowych prowadzonych na początku sezonu wegetacyjnego, kiedy kumulacja zabiegów agrotechnicznych utrudnia wykonanie wszystkich czynności w optymalnym czasie.



Tablica 11. Sadzonki: variant I, variant II, variant III.

6.3. Czynniki wpływające na plonowanie i jakość surowca

Zadanie 4. Przyrost masy liści i gromadzenie się w nich związków biologicznie czynnych w okresie rozwoju roślin

Jakość surowców zielarskich zależy przede wszystkim od zawartości i składu chemicznego występujących w nich związków biologicznie aktywnych. Są one związane z genotypem (zróżnicowaniem wewnątrzgatunkowym, zadania 1 i 2), a ich zawartość może się zmieniać w okresie rozwoju roślin. Poznanie tych zależności ma fundamentalne znaczenie przy ustalaniu terminu zbioru surowca przeznaczonego do przetwórstwa (Hazrati i in., 2024).

W praktyce zielarskiej przy pozyskiwaniu liści pokrzywy z roślin dziko rosnących zaleca się, żeby surowiec zbierany był ze starszych roślin ze względu na wyższą zawartość chlorofilu. W niniejszej pracy oceniono przyrost masy liści oraz gromadzenie się w nich zarówno związków fenolowych, jak i barwników asymilacyjnych w trzech kolejnych fazach rozwojowych roślin, tj. a) w fazie wegetatywnej, b) na początku kwitnienia i c) w okresie pełni kwitnienia. Obiektem badań było 15 klonów pokrzywy.

W badaniach określono zmiany dotyczące przyrostu wysokości i masy organów nadziemnych (Tabela 12). W okresie od maja (faza wegetatywna) do lipca (pełnia kwitnienia) masa liści wzrosła ponad dwukrotnie (z $0,18$ do $0,43 \text{ kg} \times \text{roślina}^{-1}$), przy czym w fazie pełni kwitnienia łodygi były ponad 3-krotnie dłuższe i znacznie cięższe (odpowiednio: $175,4 \text{ cm}$ i $0,68 \text{ kg} \times \text{roślina}^{-1}$) niż w fazie wegetatywnej (odpowiednio: $46,9 \text{ cm}$ i $0,09 \text{ kg} \times \text{roślina}^{-1}$). W fazie tej udział liści w ogólnej masie ziela wynosił 68%, podczas gdy w okresie pełni kwitnienia zmalał do 42%. Podobne zależności pomiędzy masą surowca a fazą rozwojową roślin obserwowali również Szewczuk i in. (2002). Wyniki te są zbieżne także z rezultatami uzyskanymi w badaniach przeprowadzonych przez Rosłon (2000), w których sucha masa ziela pokrzywy w warunkach jej uprawy wzrasta w okresie od pierwszego zbioru ziela (faza wegetatywna) do pełni kwitnienia niemal czterokrotnie.

Tabela 12. Cechy morfologiczno-rozwojowe.

badane cechy	faza wegetatywna	początek kwitnienia	pełnia kwitnienia
wysokość roślin [cm]	$46,9 \pm 9,0 \text{ c}$	$94,1 \pm 18,8 \text{ b}$	$175,4 \pm 30,2 \text{ a}$
sucha masa liści [$\text{kg} \times \text{roślina}^{-1}$]	$0,18 \pm 0,05 \text{ c}$	$0,27 \pm 0,05 \text{ b}$	$0,43 \pm 0,07 \text{ a}$
sucha masa łodyg [$\text{kg} \times \text{roślina}^{-1}$]	$0,09 \pm 0,02 \text{ c}$	$0,24 \pm 0,08 \text{ b}$	$0,68 \pm 0,28 \text{ a}$
udział liści w ziele [%]	$68,0 \pm 0,1 \text{ c}$	$50,5 \pm 10,0 \text{ b}$	$42,0 \pm 14,9 \text{ a}$

Grupy jednorodne statystycznie w wierszach oznaczane są małymi literami.

Suma kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego, będąca wyróżnikiem jakości surowca farmakopealnego, wzrastała wyraźnie od fazy wegetatywnej ($1129,40 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$) do generatywnej, przy czym na początku ($1958,07 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$) oraz w pełni kwitnienia roślin ($1909,43 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$) była zbliżona (Tabela 13). Z kolei zawartość flawonoidów była podobna w fazie wegetatywnej oraz na początku kwitnienia roślin i wyraźnie wyższa w okresie pełni kwitnienia. W przypadku rutozydu wzrastała z $515,29$ do $1250,48 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$, a hiperozydu – z $30,04$ do $119,04 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$ (Tabela 14). Podobną tendencję dotyczącą gromadzenia związków fenolowych w liściach pokrzywy obserwowała Rosłon (2000), wskazując jednocześnie, iż forma męska pokrzywy jest bogatsza w te związki niż forma żeńska, a rośliny 2-letnie zawierają ich ponad dwukrotnie więcej niż jednoroczne.

Tabela 13. Zawartość kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].

	faza wegetatywna	początek kwitnienia	pełnia kwitnienia
kwas chlorogenowy	$207,45 \pm 122,48 \text{ b}$	$484,37 \pm 219,19 \text{ a}$	$576,07 \pm 173,41 \text{ a}$
kwas kawowojabłkowy	$921,94 \pm 383,16 \text{ b}$	$1473,7 \pm 536,87 \text{ a}$	$1333,37 \pm 350,13 \text{ a}$
suma kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego	$1129,40 \pm 483,16 \text{ b}$	$1958,07 \pm 731,92 \text{ a}$	$1909,43 \pm 485,77 \text{ a}$

Grupy jednorodne statystycznie w wierszach oznaczane są małymi literami.

Tabela 14. Zawartość rutozydu i hiperozydu [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].

	faza wegetatywna	początek kwitnienia	pełnia kwitnienia
rutozyd	$515,29 \pm 375,43 \text{ b}$	$733,13 \pm 381,15 \text{ b}$	$1250,48 \pm 404,78 \text{ a}$
hiperozyd	$30,04 \pm 19,24 \text{ b}$	$50,28 \pm 25,10 \text{ b}$	$119,04 \pm 35,24 \text{ a}$

Grupy jednorodne statystycznie w wierszach oznaczane są małymi literami.

Badania przeprowadzone w niniejszej pracy potwierdziły, iż w surowcu zbieranym z roślin w fazie generatywnej zawartość barwników asymilacyjnych, tj. chlorofili a i b oraz karotenoidów, jest istotnie wyższa niż w początkowym okresie rozwoju roślin (Tabela 15). Podobne wyniki u pokrzywy wykazali Biesiada i in. (2009) oraz Guil-Guerrero i in. (2003a). Z kolei według Repajić i in. (2021) zawartość barwników asymilacyjnych u tej rośliny wzrasta tylko do pełni kwitnienia, a następnie ulega obniżeniu. Potwierdzają to również badania Rosłon (2000). Autorka ta wskazuje, że u formy żeńskiej ich zawartość wzrasta tylko do początku kwitnienia, potem spada, natomiast u formy męskiej wzrost zawartości chlorofili obserwowano aż do końca kwitnienia (późne lato).

Tabela 15. Zawartość barwników asymilacyjnych [$\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$].

	faza wegetatywna	początek kwitnienia	pełnia kwitnienia
chlorofil a+b	$5,28 \pm 0,74 \text{ b}$	$6,56 \pm 1,65 \text{ a}$	$6,93 \pm 0,84 \text{ a}$
karotenoidy	$0,96 \pm 0,14 \text{ b}$	$1,19 \pm 0,12 \text{ a}$	$1,14 \pm 0,21 \text{ a}$

Grupy jednorodne statystycznie w wierszach oznaczane są małymi literami.

Zadanie 5. Masa liści i zawartość związków biologicznie czynnych w kolejnych pokosach

Ważnym elementem oceny przydatności dziko rosnących roślin leczniczych do uprawy jest określenie ich potencjału plonotwórczego i jakości uzyskanych surowców. Jak wspomniano powyżej, w uprawie pokrzywy, zwłaszcza przy zakładaniu plantacji z nasion, plonowanie może być zawodne. W niniejszej pracy określono jej plonowanie w drugim roku wegetacji roślin, w uprawie klonalnej z przeznaczeniem na surowiec liściowy. Materiałem do zakładania plantacji były sadzonki korzeniowo-pędowe pochodzące z określonych roślin matecznych (3 wybrane klony pokrzywy). Zbiór surowca (kolejne pokosy ziela) prowadzono sukcesywnie co 4–5 tygodni. Finalnie określono kumulatywną masę liści pochodzących z czterech pokosów. Ocenę chemiczną surowca (zawartość kwasów fenolowych, flawonoidów i barwników roślinnych) przeprowadzono jak w zadaniach opisanych powyżej, przy czym dodatkowo określono ogólną zawartość kwasów fenolowych (metoda farmakopealna). Analiza ta, wykonana metodą spektrofotometryczną (znacznie tańsza niż analiza surowca wykonana przy użyciu HPLC), pozwoliła na określenie korelacji pomiędzy zawartością poszczególnych związków fenolowych (kwasu chlorogenowego, kwasu kawowojabłkowego, rutozydu i hiperozydu) oraz barwników asymilacyjnych, a ogólną zawartością kwasów fenolowych.

Kumulatywna masa liści (z wszystkich pokosów) wynosiła $1,16 \text{ kg} \times \text{m}^2$, przy czym najwyższą masę uzyskano z pierwszego i drugiego pokosu (odpowiednio $0,45$ i $0,44 \text{ kg} \times \text{m}^2$). W trzecim pokosie była ona o połowę niższa ($0,18 \times \text{m}^2$), a w czwartym stanowiła jedynie 20% masy z pierwszego pokosu ($0,09 \text{ kg} \times \text{m}^2$) (Tabela 16). Dotychczas w uprawie pokrzywy (z nasion lub sadzonek rozłogowych) uzyskiwano trzy pokosy ziela (Biesiada i in., 2009; Grevsen i in., 2008). W niniejszych badaniach, w uprawie wyselekcjonowanych form klonalnych, zbierano cztery pokosy, a rośliny przed okresem spoczynku zimowego zdążyły jeszcze wytworzyć nowe pędy i przezimowały bez uszkodzeń mrozowych.

Tabela 16. Sucha masa liści [$\text{kg} \times \text{m}^{-2}$].

termin zbioru (pokos)	2022	2023	2022-2023
1	$0,42 \pm 0,03 \text{ a}$	$0,48 \pm 0,04 \text{ a}$	$0,45 \pm 0,03 \text{ a}$
2	$0,38 \pm 0,08 \text{ ab}$	$0,49 \pm 0,06 \text{ a}$	$0,44 \pm 0,06 \text{ a}$
3	$0,17 \pm 0,02 \text{ bc}$	$0,18 \pm 0,04 \text{ b}$	$0,18 \pm 0,01 \text{ b}$
4	$0,08 \pm 0,02 \text{ c}$	$0,10 \pm 0,02 \text{ b}$	$0,09 \pm 0,01 \text{ c}$
Kumulatywna masa	$1,05 \pm 0,07$	$1,25 \pm 0,07$	$1,16 \pm 0,12$

Grupy jednorodne statystycznie w kolumnach oznaczane są małymi literami.

W liściach z pierwszego pokosu zawartość sumy kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego była najwyższa ($1155,14 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$). W kolejnych pokosach wyraźnie malała, by w ostatnim osiągnąć wartość wynoszącą jedynie $755,56 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$ Tendencję tę obserwowano także w przypadku ogólnej zawartości kwasów fenolowych oraz zawartości rutozydu i hiperozydu. Ogólna zawartość kwasów fenolowych w liściach z pierwszego pokosu wynosiła 0,92 %, a z trzeciego i czwartego odpowiednio: 0,73 i 0,75% (Tabela 17). Z kolei zawartości rutozydu i hiperozydu w pierwszym pokosie wynosiły odpowiednio: 683,11 i 97,09 $\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$, a w ostatnim odpowiednio: 404,65 i 55,45 $\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$ (Tabela 18). Uzyskane wyniki i obserwowane tendencje były zgodne z wynikami przedstawionymi w zadaniu 6 (Styczyńska i in., 2025), a także z danymi literaturowymi (Biesiada i in., 2009, 2010; Grevsen i in., 2008; Kószegi i in., 2020; Pinelli i in., 2008). Surowce pochodzące ze wszystkich pokosów spełniały wymagania farmakopealne odnoszące się do minimalnej zawartości sumy kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego (FP XI, 2017). Najniższa zawartość zarówno chlorofilu a+b, jak i karotenoidów oznaczono w surowcu z pierwszego pokosu (odpowiednio: 3,39 i 0,56 $\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$), a najwyższą w ostatnim (odpowiednio: 3,80 i 0,78 $\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$) (Tabela 19).

Przeprowadzona analiza korelacji i regresji (Tablica 12) wykazała dodatnią zależność pomiędzy ogólną zawartością kwasów fenolowych a zawartością kwasu chlorogenowego ($r = 0,71$) oraz kwasu kawowojabłkowego ($r = 0,59$), co wskazuje, że oznaczenie sumy kwasów fenolowych można uznać za prosty i efektywny wskaźnik jakości surowca. Wykazano również dodatnią korelację pomiędzy ogólną zawartością kwasów fenolowych a zawartością badanych flawonoidów – zarówno w przypadku rutozydu ($r = 0,61$), jak i hiperozydu ($r = 0,64$). W odniesieniu do barwników asymilacyjnych stwierdzono słabą dodatnią korelację pomiędzy zawartością chlorofilu a+b a karotenoidów ($r = 0,39$).

Tabela 17. Zawartość kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$] i ogólna zawartość kwasów fenolowych [%].

termin zbioru (pokos)	2022	2023	2022-2023
kwas chlorogenowy			
1	373,35 $\pm$ 9,76 a	456,32 $\pm$ 13,77 a	414,84 $\pm$ 41,49 a
2	344,01 $\pm$ 14,95 a	395,36 $\pm$ 7,04 b	369,69 $\pm$ 25,67 ab
3	303,25 $\pm$ 12,58 b	375,30 $\pm$ 9,34 bc	339,28 $\pm$ 36,03 b
4	249,11 $\pm$ 8,25 c	358,90 $\pm$ 13,14 c	304,00 $\pm$ 54,89 b
Średnia	317,43 $\pm$ 48,08	396,47 $\pm$ 38,54	356,95 $\pm$ 43,17
kwas kawowojabłkowy			
1	752,88 $\pm$ 9,66 a	727,73 $\pm$ 6,74 a	740,31 $\pm$ 12,57 a
2	614,78 $\pm$ 9,72 b	659,71 $\pm$ 7,20 b	637,24 $\pm$ 22,47 b
3	484,45 $\pm$ 12,66 c	614,98 $\pm$ 6,25 c	549,71 $\pm$ 65,27 c
4	444,49 $\pm$ 17,57 c	458,63 $\pm$ 3,39 d	451,56 $\pm$ 7,07 d
Średnia	574,15 $\pm$ 121,56	615,26 $\pm$ 99,13	594,71 $\pm$ 15,08
suma kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego			
1	1126,23 $\pm$ 19,42 a	1184,06 $\pm$ 16,92 a	1155,14 $\pm$ 28,92 a
2	958,79 $\pm$ 24,15 b	1055,07 $\pm$ 14,24 c	1006,93 $\pm$ 48,14 a
3	787,70 $\pm$ 22,38 c	990,28 $\pm$ 15,52 ab	888,99 $\pm$ 101,29 ab
4	693,60 $\pm$ 25,57 c	817,52 $\pm$ 12,39 b	755,56 $\pm$ 61,96 b
Średnia	891,58 $\pm$ 167,09	1011,73 $\pm$ 132,89	951,66 $\pm$ 34,17
ogólna zawartość kwasów fenolowych			
1	0,90 $\pm$ 0,10 a	0,94 $\pm$ 0,02 a	0,92 $\pm$ 0,02 a
2	0,86 $\pm$ 0,10 a	0,90 $\pm$ 0,02 a	0,88 $\pm$ 0,02 ab
3	0,61 $\pm$ 0,05 b	0,85 $\pm$ 0,09 b	0,73 $\pm$ 0,12 b
4	0,59 $\pm$ 0,03 b	0,91 $\pm$ 0,03 b	0,75 $\pm$ 0,16 b
Średnia	0,74 $\pm$ 0,16	0,9 $\pm$ 0,06	0,82 $\pm$ 0,15

Grupy jednorodnie statystycznie w kolumnach oznaczane są małymi literami.

Tabela 18. Zawartość rutozydu i hyperocydu [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].

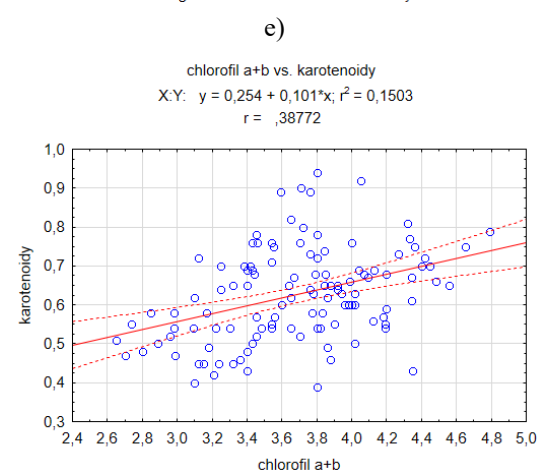
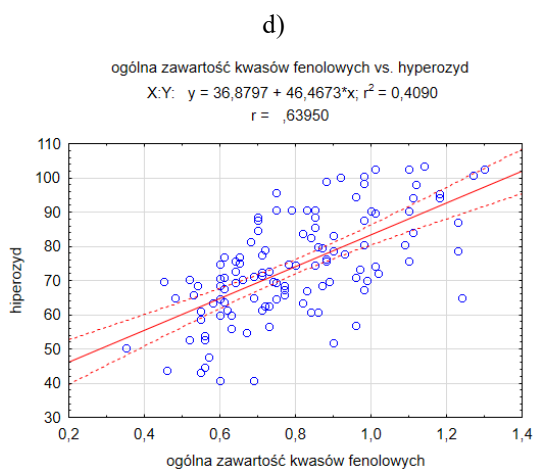
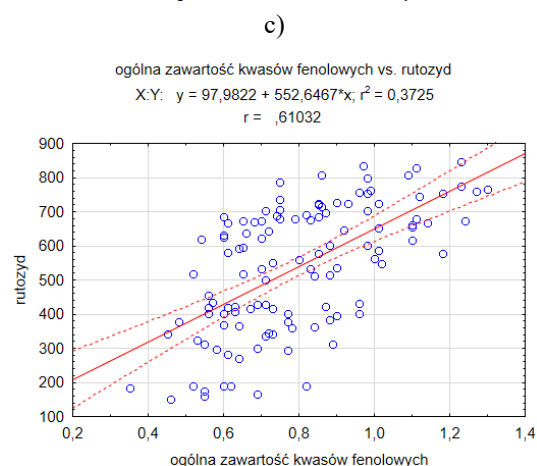
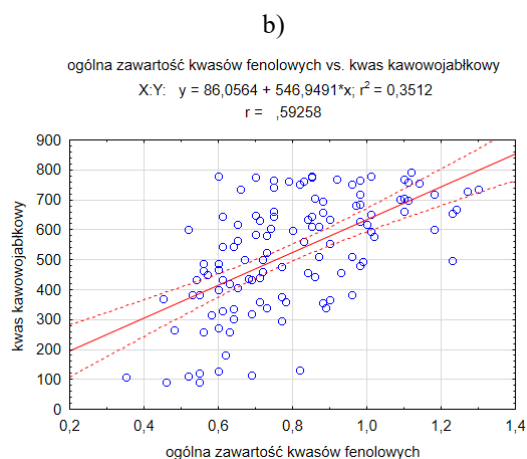
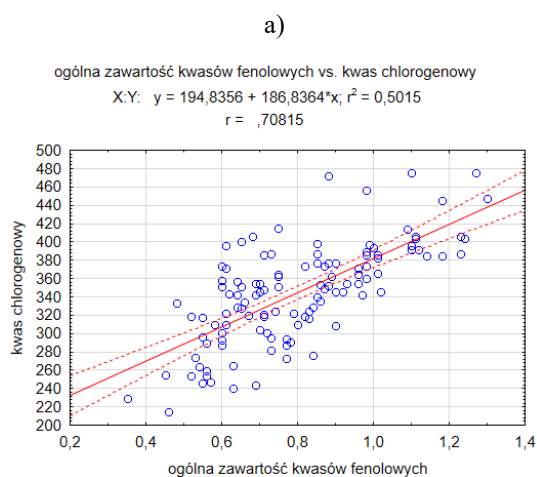
termin zbioru	2022	2023	2022-2023
rutozyd			
1	679,24 $\pm$ 15,60 a	686,98 $\pm$ 6,45 a	683,11 $\pm$ 3,87 a
2	556,94 $\pm$ 21,93 b	543,37 $\pm$ 14,58 b	550,16 $\pm$ 6,79 b
3	412,80 $\pm$ 7,41 c	423,87 $\pm$ 7,09 b	418,34 $\pm$ 5,53 c
4	415,29 $\pm$ 14,69 c	394,00 $\pm$ 6,99 c	404,65 $\pm$ 10,65 c
Średnia	516,07 $\pm$ 111,93	512,06 $\pm$ 115,81	514,06 $\pm$ 12,55
hiperozyd			
1	94,49 $\pm$ 3,18 a	99,69 $\pm$ 3,02 a	97,09 $\pm$ 2,60 a
2	74,23 $\pm$ 4,50 b	71,97 $\pm$ 2,68 b	73,10 $\pm$ 1,13 b
3	49,39 $\pm$ 6,23 c	67,30 $\pm$ 3,61 b	58,35 $\pm$ 8,96 bc
4	49,35 $\pm$ 4,78 c	61,55 $\pm$ 10,26 b	55,45 $\pm$ 6,10 c
Średnia	66,86 $\pm$ 19,50	75,13 $\pm$ 15,76	71,00 $\pm$ 4,04

Grupy jednorodnie statystycznie w kolumnach oznaczane są małymi literami.

Tabela 19. Zawartość chlorofilu i karotenoidów [$\text{mg} \times \text{g}^{-1}$ s.m.].

termin zbioru	2022	2023	2022-2023
chlorofil a+b			
1	$3,41 \pm 0,09$ b	$3,36 \pm 0,10$ b	$3,39 \pm 0,03$ b
2	$3,50 \pm 0,06$ ab	$3,45 \pm 0,16$ b	$3,48 \pm 0,03$ ab
3	$3,48 \pm 0,08$ b	$3,59 \pm 0,12$ ab	$3,54 \pm 0,05$ ab
4	$3,72 \pm 0,06$ a	$3,88 \pm 0,08$ a	$3,80 \pm 0,08$ a
Średnia	$3,53 \pm 0,14$	$3,56 \pm 0,22$	$3,55 \pm 0,10$
karotenoidy			
1	$0,54 \pm 0,03$ b	$0,59 \pm 0,05$ a	$0,56 \pm 0,03$ b
2	$0,65 \pm 0,07$ b	$0,65 \pm 0,02$ a	$0,65 \pm 0,01$ b
3	$0,79 \pm 0,08$ ab	$0,69 \pm 0,05$ a	$0,74 \pm 0,05$ ab
4	$0,89 \pm 0,05$ a	$0,67 \pm 0,04$ a	$0,78 \pm 0,11$ a
Średnia	$0,72 \pm 0,15$	$0,65 \pm 0,06$	$0,68 \pm 0,05$

Grupy jednorodnie statystycznie w kolumnach oznaczane są małymi literami.



Tablica 12. Korelacja i regresja liniowa między zawartością: a) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i kwasu chlorogenowego; b) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i kwasu kawowojabłkowego (c) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i rutozydu; (d) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i hiperozydu; (e) chlorofilu a+b i karotenoidów.

Zadanie 6. Wpływ ograniczonego dostępu światła słonecznego na rozwój roślin, masę surowca i jego jakość

W warunkach naturalnych pokrzywa zwyczajna rośnie zazwyczaj na brzegach wilgotnych lasów i zarośli, preferując stanowiska półcieniste. Dotychczasowe badania nad czynnikami wpływającymi na jej rozwój w warunkach uprawy dotyczyły wymagań wodnych i pokarmowych (Biesiada i in., 2009; Lemanowicz i Jaskulska, 2025; Mavroeidis i in., 2025; Opać i in., 2022; Radman i in., 2015). Nie zajmowano się natomiast wpływem światła.

W badaniach prowadzonych w tym zakresie (Styczyńska i in., 2025) rośliny uprawiano w warunkach polowych przy pełnym dostępie światła słonecznego oraz w tunelu przykrytym siatką raszlową, przy ograniczeniu dostępu tego światła o 35% i 50%. Ograniczenie dostępu światła słonecznego do roślin wyraźnie wpłynęło na ich rozwój. Analiza parametrów fizjologicznych wykazała, że rośliny rosnące w pełnym świetle charakteryzowały się najwyższą zawartością wolnej proliny oraz nadtlenu wodoru (H_2O_2). Aktywność katalazy była podobna u roślin rosnących w pełnym słońcu i przy 35% zacienieniu, a niższa przy 50% zacienieniu. Wyniki te wskazują wyraźnie na występowanie silnego stresu oksydacyjnego u roślin rosnących przy większym dostępie do światła słonecznego.

U roślin rosnących w głębokim cieniu (50%) liczba pędów na jednostkę powierzchni była istotnie mniejsza ($70,67 \text{ szt.} \times \text{m}^2$) w porównaniu z rosnącymi w częściowym zacienieniu ($100,53 \text{ szt.} \times \text{m}^2$) i na świetle ($182,10 \text{ szt.} \times \text{m}^2$), przy czym były one znacznie dłuższe i charakteryzowały się największą powierzchnią blaszki liściowej. Kumulatywna masa ziela (masa surowca z trzech pokosów) była dwukrotnie wyższa u roślin rosnących przy pełnym dostępie światła słonecznego ($0,65 \text{ kg} \times \text{roślina}^{-1}$), niż u tych rosnących w głębokim cieniu (50%; $0,31 \text{ kg} \times \text{roślina}^{-1}$). Zawartość sumy kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego w ziele roślin uprawianych w pełnym nasłonecznieniu była ponad trzykrotnie wyższa ($1610,25 \text{ mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$) niż u tych rosnących przy 50% zacienieniu ($483,89 \text{ mg} \times 100 \text{ g s.m.}^{-1}$) (Styczyńska i in., 2025). Rezultaty te potwierdzają wcześniejsze badania mówiące, że związki fenolowe są syntetyzowane przez rośliny w znacznych ilościach w odpowiedzi na stresy biotyczne i abiotyczne, takie jak intensywne nasłonecznienie, zbyt niskie lub zbyt wysokie temperatury czy susza (Karimi i in., 2013; Rahman i in., 2023; Valentão i in., 2003; Zhao i Zou, 2002).

Ważnym wskaźnikiem jakości liści/ziela pokrzywy są także barwniki asymilacyjne. Zawartość chlorofilu a+b była najwyższa u roślin rosnących w głębokim zacienieniu (50%), a najniższa na świetle. Natomiast zawartość karotenoidów nie zależała od dostępu światła słonecznego do roślin (**Styczyńska i in., 2025**).

Przeprowadzone badania wskazują na możliwość sterowania jakością surowca w uprawie pokrzywy zwyczajnej poprzez regulację dostępu światła słonecznego do roślin. Przy całkowitym dostępie światła słonecznego plon surowca jest większy, a zawartość związków fenolowych jest w nim wyższa. Z kolei zawartość chlorofilu jest najwyższa u roślin rosnących w głębokim zacienieniu (50%).

7. Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że wprowadzone do uprawy populacje pokrzywy zwyczajnej różnią się wyraźnie cechami rozwojowymi i chemicznymi, ściśle związanymi z plonowaniem liści i gromadzeniem się w nich związków biologicznie aktywnych. Różnice te były wyższe pomiędzy pojedynczymi roślinami w obrębie populacji niż pomiędzy populacjami i dotyczyły głównie zawartości związków fenolowych, tj. kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego oraz rutozydu i hiperozydu.

2. Pokrzywa zwyczajna ma wysoki wegetatywny potencjał rozmnożeniowy. Z plantacji produkcyjnej można pozyskiwać sadzonki korzeniowo-pędowe. Optymalnym terminem ich pozyskiwania jest wczesna wiosna (przed pierwszym pokosem ziela), gdy długość młodych pędów nie przekracza 20 cm, a w ich dolnej części wytworzone są już korzenie. Takie sadzonki przyjmują się w uprawie w ponad 90%.

3. Gromadzenie się związków fenolowych i barwników asymilacyjnych w liściach związane jest z fazą rozwojową roślin. tych związków jest wyższa w fazie generatywnego rozwoju.

4. Przy klonalnej uprawie pokrzywy uzyskać można cztery pokosy ziela, przy czym w całkowitym plonie surowca główny udział mają pierwszy i drugi pokos. Ziele z kolejnych pokosów różni się zawartością związków biologicznie aktywnych. Zawartość związków fenolowych w kolejnych pokosach maleje, a barwników asymilacyjnych wzrasta.

5. Rozwój roślin, plon ziela i zawartość związków biologicznie aktywnych zależą od dostępu światła słonecznego do roślin. Rośliny uprawiane przy pełnym dostępie światła wytwarzają trzykrotnie wyższą masę ziela i więcej związków fenolowych niż te rosnące w dużym zacienieniu (50%). Rośliny rosnące w cieniu charakteryzują się natomiast wyższą zawartością chlorofili.

6. Wykazano dodatnią liniową korelację pomiędzy ogólną zawartością kwasów fenolowych a zawartością kwasu chlorogenowego oraz kwasu kawowojabłkowego występujących w liściach pokrzywy. Pozwala to na wykorzystanie prostej i taniej metody oznaczania ogólnej zawartości kwasów fenolowych jako wskaźnika jakości surowca pokrzywy.

8. Bibliografia

1. Adhikari, B. M., Bajracharya, A., Shrestha, A. K. (2016). Comparison of nutritional properties of stinging nettle (*Urtica dioica*) flour with wheat and barley flours. *Food Science and Nutrition*, 4(1), 119–124. <https://doi.org/10.1002/fsn3.259>
2. Ahmed, M., Parsuraman, S. (2014). *Urtica dioica* L., (Urticaceae): A stinging nettle. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 5(1), 6–8. <https://doi.org/10.5530/srp.2014.1.3>
3. Ammarellou, A., Kazemeitabar, K., Najafei, H. Z., Mortazavei, N., Ammarellou, N. (2012). Effects of different culture media on rooting of *Urtica dioica* L. stem cuttings. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 3(7), 172–175. <https://doi.org/10.5897/jssem11.029>
4. Bacci, L., Baronti, S., Predieri S. (2009). Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica* L.) cultivated in Italy. *Industrial Crops and Products*, 29, 480–484. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.09.005>
5. Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
6. Bauer, H. W., Sudhoff, F., Dressler, S. (1988). Endokrine Parameter während der Behandlung der benignen Prostatahyperplasie mit ERU. W: H. W. Bauer (Red.), *Benigne Prostatahyperplasie II. Klinische und Experimentelle Urologie* W. Zuckschwerdt.
7. Bhusal, K. K., Magar, S. K., Thapa, R., Lamsal, A., Bhandari, S., Maharjan, R., Shrestha, S., Shrestha, J. (2022). Nutritional and pharmacological importance of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A review. *Heliyon*, 8(6), artykuł e09717. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09717>
8. Biesiada, A., Kucharska, A., Sokół-Łętowska, A., Kuś, A. (2010). Effect of the age of plantation and harvest term on chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Ecological Chemistry and Engineering. A*, 17(9): 1061–1068.
9. Biesiada, A., Wołoszczak, E. (2007). The effect of method of plantation establishing on yield and chlorophyll concentration of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) in the first year of cultivation. *Herba Polonica*, 53(3), 85–89.
10. Biesiada, A., Wołoszczak, E., Sokół-Łętowska, A., Kucharska, A. Z., Nawirska-Olszańska, A. (2009). The effect of nitrogen form and dose on yield, chemical

- composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Herba Polonica*, 55(3): 84–93.
11. Bisht, S., Bhandari, S., Bisht, N. (2012). *Urtica dioica* (L.): an undervalued, economically important plant. *Agricultural Science Research Journals*, 2, 250–252.
 12. Bnouham, M., Merhfouf, F. Z., Ziyat, A., Mekhfi, H., Aziz, M., Legssyer, A. (2003). Antihyperglycemic activity of the aqueous extract of *Urtica dioica*. *Fitoterapia*, 74(7–8), 677–681. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(03\)00182-5](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(03)00182-5)
 13. Bonet, M. À., Vallès, J. (2007). Ethnobotany of Montseny biosphere reserve (Catalonia, Iberian Peninsula): Plants used in veterinary medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 110(1), 130–147. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.016>
 14. Bredemann, G., Garber, K. (1959). *Die grosse Brennessel: Urtica dioica L. Forschungen über ihren Anbau zur Fasergewinnung*. De Gruyter.
 15. Broer, J., Behnke, B. (2002). Immunosuppressant effect of IDS 30, a stinging nettle leaf extract, on myeloid dendritic cells *in vitro*. *The Journal of Rheumatology*, 29(4), 659–666.
 16. Broncano, F. J., Rebuelta, M., Vivas, J. M., G-Serranillos Fdez, M. (1983). Étude de l'effet sur le centre cardiovasculaire de quelques préparations de l'*Urtica dioica* L. *Plant Médicale et Phytothérapie*, 17, 222–229.
 17. Celik, I., Tuluçe, Y. (2007). Elevation protective role of *Camellia sinensis* and *Urtica dioica* infusion against trichloroacetic acid-exposed in rats. *Phytotherapy Research*, 21(11), 1039–1044. <https://doi.org/10.1002/ptr.2204>
 18. Chand, K., Singh, A. (2017). Effect of process parameters on quality of dried nettle leaves. *International Journal of Chemical Studies*, 5(5), 255–259.
 19. Chrubasik, J. E., Roufogalis, B. D., Wagner, H., Chrubasik, S. (2007a). A comprehensive review on the stinging nettle effect and efficacy profiles. Part II: *Urticae radix*. *Phytomedicine*, 14(7–8), 568–579. <https://doi.org/10.1016/J.PHYMED.2007.03.014>
 20. Chrubasik, J. E., Roufogalis, B. D., Wagner, H., Chrubasik, S. A. (2007b). A comprehensive review on nettle effect and efficacy profiles, Part I: *Herba urticae*. *Phytomedicine*, 14(6), 423–435. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2007.03.004>
 21. Chrubasik, S. A., Enderlein, W., Bauer, R., Grabner, W. (1997). Evidence for antirheumatic effectiveness of *Herba Urticae dioicae* in acute arthritis: A pilot study. *Phytomedicine*, 4(2), 105–108. [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(97\)80052-9](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(97)80052-9)

22. Cronk, Q., Hidalgo, O., Pellicer, J., Percy, D., Leitch, I. J. (2016). *Salix* transect of Europe: variation in ploidy and genome size in willow-associated common nettle, *Urtica dioica* L. *sens. lat.*, from Greece to Arctic Norway. *Biodiversity Data Journal*, 4(4), artykuł e10003. <https://doi.org/10.3897/bdj.4.e10003>
23. Cummings, A. J., Olsen, M. (2011). Mechanism of action of stinging nettles. *Wilderness and Environmental Medicine*, 22(2), 136–139. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2011.01.001>
24. Daher, C. F., Baroody, K. G., Baroody, G. M. (2006). Effect of *Urtica dioica* extract intake upon blood lipid profile in the rats. *Fitoterapia*, 77(3), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.01.010>
25. Daube, G. W. (1988). Pilotstudie zur Behandlung der benignen Prostatahyperplasie bei Hunden mit Extractum (ERU). W: W. Bauer (red.), *Benigne Prostatahyperplasie II. Klinische und Experimentelle Urologie*. W. Zuckschwerdt.
26. Daube, G. W. (1992). Hemmung der Aromatase durch 9-hydroxy-10-trans-12-cis-Octadecadiensäure. W: G. Rutishauser (red.), *Benigne Prostatahyperplasie III* (64–73). W. Zuckschwerdt.
27. Devkota, H. P., Paudel, K. R., Khanal, S., Baral, A., Panth, N., Adhikari-Devkota, A., Jha, N. K., Das, N., Singh, S. K., Chellappan, D. K., Dua, K., Hansbro, P. M. (2022). Stinging nettle (*Urtica dioica* L.): nutritional composition, bioactive compounds, and food functional properties. *Molecules*, 27(16), artykuł 5219. <https://doi.org/10.3390/molecules27165219>
28. Dhouibi, R., Affes, H., Ben Salem, M., Hammami, S., Sahnoun, Z., Zeghal, K. M., Ksouda, K. (2020). Screening of pharmacological uses of *Urtica dioica* and other benefits. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 150, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2019.05.008>
29. Di Virgilio, N., Papazoglou, E., Jankauskiene, Z., Di Lonardo, S., Praczyk, M., Wielgusz, K. (2015). The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. *Industrial Crops and Products*, 68, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.012>
30. Dostatny, D., Dajdok, Z. (red.). (2020). *Dzikie gatunki pokrewne roślinom uprawnym występujące w Polsce. Lista, zasoby i zagrożenia*. Wydawnictwo Kontekst – Poznań.
31. Durak, I., Biri, H., Devrim, E., Sözen, S., Avci, A. (2004). Aqueous extract of *Urtica dioica* makes significant inhibition on adenosine deaminase activity in prostate tissue

- from patients with prostate cancer. *Cancer Biology and Therapy*, 3(9), 855–857.
<https://doi.org/10.4161/cbt.3.9.1038>
32. Đurović, S., Kojić, I., Radić, D., Smyatskaya, Y. A., Bazarnova, J. G., Filip, S., Tosti, T. (2024). Chemical constituents of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A comprehensive review on phenolic and polyphenolic compounds and their bioactivity. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(6), artykuł 3430.
<https://doi.org/10.3390/ijms25063430>
 33. EMA. (2010a). *Assessment report on Urtica dioica L., Urtica urens L., folium*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/508013/2007.
https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-folium_en.pdf
 34. EMA. (2010b). *Community herbal monograph on Urtica dioica L., Urtica urens L., folium*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/508015/2007. https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-monograph/final-community-herbal-monograph-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-folium_en.pdf
 35. EMA. (2022). *Assessment report on Urtica dioica L., Urtica urens L., herba*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/261303/2022.
https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-herba-revision-1_en.pdf
 36. EMA. (2025a). *Final assessment report on Urtica dioica L., Urtica urens L., radix*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/322627/2023.
https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-radix-revision-1_en.pdf
 37. EMA. (2025b). *European Union herbal monograph on Urtica dioica L., Urtica urens L., herba*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/261302/2022. https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-monograph/final-european-union-herbal-monograph-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-herba-revision-1_en.pdf
 38. EMA. (2025c). *European Union herbal monograph on Urtica dioica L., Urtica urens L., radix*. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). EMA/HMPC/322646/2023. https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-monograph/final-european-union-herbal-monograph-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-radix-revision-1_en.pdf

39. Enderle-Schmitt, U., Gutschank, W. M., Aumüller, G. (1988). Wachstumskinetik von Zellkulturen aus BPH unter Einfluss von *Extractum radices urticae* (ERU). W: W. Bauer (red.), *Benigne Prostatahyperplasie II. Klinische und Experimentelle Urologie*. W. Zuckschwerdt.
40. Ernst, W. R., Tutin, T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A. (red.). (1964). *Flora Europaea*. Cambridge University Press.
41. Farag, M. A., Weigend, M., Luebert, F., Brokamp, G., Wessjohann, L. A. (2013). Phytochemical, phylogenetic, and anti-inflammatory evaluation of 43 *Urtica accessions* (stinging nettle) based on UPLC–Q-TOF-MS metabolomic profiles. *Phytochemistry*, 96, 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.09.016>
42. *Farmakopea Polska VI*. (2005). Polskie Towarzystwo Farmaceutyczne.
43. *Farmakopea Polska XI*. (2017). Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych.
44. Farzami, B., Ahmadvand, D., Vardasbi, S., Majin, F. J., Khaghani, S. (2003). Induction of insulin secretion by a component of *Urtica dioica* leaf extract in perfused islets of Langerhans and its *in vivo* effects in normal and streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 89(1), 47–53. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(03\)00220-4](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00220-4)
45. Fattahi, S., Ghadami, E., Asouri, M., Ardekani, A. M., Akhavan-Niaki, H. (2018). *Urtica dioica* inhibits cell growth and induces apoptosis by targeting ornithine decarboxylase and adenosine deaminase as key regulatory enzymes in adenosine and polyamines homeostasis in human breast cancer cell lines. *Cellular and Molecular Biology*, 64(3), 97–102. <https://doi.org/10.14715/cmb/2018.64.3.16>
46. Fischer, M., Wilbert, C. (1992). Wirkprüfung eines Phytopharmakons zur Behandlung der benignen Prostatahyperplasie (BPH). W: G. Rutishauser (red.), *Klinische und Experimentelle Urologie* (79–84). W. Zuckschwerdt
47. Fu, H. Y., Chen, S. J., Chen, R. F., Kuo-Huang, L. L., Huang, R. N. (2007). Why do nettles sting? About stinging hairs looking simple but acting complex. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 1(1), 46–55.
48. Galelli, A., Delcourt, M., Wagner, M. C., Peumans, W., Truffa-Bachi, P. (1995). Selective expansion followed by profound deletion of mature V β 8.3+ T cells *in vivo* after exposure to the superantigenic lectin *Urtica dioica* agglutinin. *The Journal of Immunology*, 154(6), 2600–2611.

49. Gansser, D., Spiteller, G. (1995). Aromatase inhibitors from *Urtica dioica* roots. *Planta Medica*, 61(2), 138–140. <https://doi.org/10.1055/s-2006-958033>
50. Gaston, K. J., Smith, R. M., Thompson, K., Warren, P. H. (2005). Urban domestic gardens (II): experimental tests of methods for increasing biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 14(2), 395–413. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-6066-x>
51. Gatti, E., Baronti, S., Bacci, L. (16-20 czerwca 2008). *Development of Urtica dioica L. propagation methods for organic production of fiber* [referat]. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Włochy.
52. Glawe, G. A., de Jong, T. J. (2008). Complex sex determination in the stinging nettle *Urtica dioica*. *Evolutionary Ecology*, 23(4), 635–649. <https://doi.org/10.1007/s10682-008-9261-5>
53. Góth, L. (1991). A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica Chimica Acta*, 196(2–3), 143–151. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(91\)90067-m](https://doi.org/10.1016/0009-8981(91)90067-m)
54. Grauso, L., de Falco, B., Lanzotti, V., Motti, R. (2020). Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: Botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, 19(6), 1341–1377. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09680-x>
55. Grevsen, K., Fretté, X. C., Christensen, L. P. (2008). Concentration and composition of flavonol glycosides and phenolic acids in aerial parts of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) are affected by nitrogen fertilization and by harvest time. *European Journal of Horticultural Science*, 73(1), 20–27. <https://doi.org/10.1079/ejhs.2008/539288>
56. Grosse-Veldmann, B. (2016). *Systematics, Taxonomy, and Evolution of Urtica L. (Urticaceae)* [rozprawa doktorska, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn], Bonndoc. <https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/7122>
57. Grosse-Veldmann, B., Weigend, M. (2017). The geometry of gender: Hyperdiversification of sexual systems in *Urtica* L. (Urticaceae). *Cladistics*, 34(2), 131–150. <https://doi.org/10.1111/cla.12193>
58. Guil-Guerrero, J. L., Rebolloso-Fuentes, M. M., Torija-Isasa, M. E. (2003). Fatty acids and carotenoids from stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(2), 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(02\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(02)00172-2)
59. Gül, S., Emirci, B., Başer, K. H., Akpulat, H. A., Aksu, P. (2012). Chemical composition and *in vitro* cytotoxic, genotoxic effects of essential oil from *Urtica*

- dioica* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(5), 666–671. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0535-9>
60. Gülçin, I., Küfrevioğlu, Ö. I., Oktay, M., Büyükokuroğlu, M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90(2–3), 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028>
 61. Hartmann, R. W., Mark, M., Soldati, F. (1996). Inhibition of 5 α -reductase and aromatase by PHL-00801 (Prostatonin®), a combination of PY102 (*Pygeum africanum*) and UR 102 (*Urtica dioica*) extracts. *Phytomedicine*, 3(2), 121–128. [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(96\)80025-0](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(96)80025-0)
 62. Harwood, J., Edom, G. (2012). Nettle fibre: its prospects, uses and problems in historical perspective. *Textile History*, 43(1), 107–119. <https://doi.org/10.1179/174329512x13284471321244>
 63. Hazrati, S., Mousavi, Z., Nicola, S. (2024). Harvest time optimization for medicinal and aromatic plant secondary metabolites. *Plant Physiology and Biochemistry*, 212, artykuł 108735. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108735>
 64. Henning, T., Quandt, D., Grosse-Veldmann, B., Monro, A., Weigend, M. (2014). Weeding the nettles II: A delimitation of *Urtica dioica* L. (Urticaceae) based on morphological and molecular data, including a rehabilitation of *Urtica gracilis* Ait. *Phytotaxa*, 162(2), 61–83. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.162.2.1>
 65. Hirano, T., Homma, M., Oka, K. (1994). Effects of stinging nettle root extracts and their steroidal components on the Na⁺, K⁺-ATPase of the benign prostatic hyperplasia. *Planta Medica*, 60(1), 30–33. <https://doi.org/10.1055/s-2006-959402>
 66. Hojnik, M., Škerget, M., Knez, Ž. (2007). Isolation of chlorophylls from stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Separation and Purification Technology*, 57(1), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.02.018>
 67. Hryb, D. J., Khan, M. S., Romas, N. A., Rosner, W. (1995). The effect of extracts of the roots of the stinging nettle (*Urtica dioica*) on the interaction of SHBG with its receptor on human prostatic membranes. *Planta Medica*, 61(1), 31–32. <https://doi.org/10.1055/s-2006-957993>
 68. Jafari, Z., Samani, S. A., Jafari, M. (2020). Insights into the bioactive compounds and physico-chemical characteristics of the extracted oils from *Urtica dioica* and *Urtica pilulifera*. *SN Applied Sciences*, 2(3), artykuł 416. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2219-0>

69. Jakubczyk, K., Janda, K., Szkyrpan, S., Gutowska, I., Wolska, J. (2015). Pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica* L.) – charakterystyka botaniczna, biochemiczna i właściwości prozdrowotne. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 61(2), 191–198. <https://doi.org/10.21164/pomjlifesci.78>
70. James, D. G., Lauby, G., Seymour, L., Buckley, K. (2015). Beneficial insects associated with stinging nettle, *Urtica dioica* Linnaeus, in central Washington State. *The Pan-Pacific Entomologist*, 91(1), 82–90. <https://doi.org/10.3956/2014-91.1.082>
71. Jankauskienė, Z., Gruzdevienė, E. (2015). Changes in the productivity of wild and cultivated stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as influenced by the planting density and crop age. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(1), 31–40. <https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.004>
72. Joshi, B. C., Mukhija, M., Kalia, A. N. (2014). Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L. *International Journal of Green Pharmacy*, 8(4), 201–209. <https://doi.org/10.4103/0973-8258.142669>
73. Karimi, E., Jaafar, H. Z. E., Ghasemzadeh, A., Ibrahim, M. H. (2013). Light intensity effects on production and antioxidant activity of flavonoids and phenolic compounds in leaves, stems and roots of three varieties of *Labisia pumila* Benth. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7):1016–1023.
74. Kasouni, A. I., Chatzimitakos, T. G., Stalikas, C. D., Trangas, T., Papoudou-Bai, A., Troganis, A. N. (2021). The unexplored wound healing activity of *Urtica dioica* L. extract: an *in vitro* and *in vivo* study. *Molecules*, 26(20), artykuł 6248. <https://doi.org/10.3390/molecules26206248>
75. Khanal, D. R., Tiwari, I., Bastola, R., Upreti, C. R. (2017). Beneficial effects of stinging nettle supplementation on milk production. *Nepalese Veterinary Journal*, 34, 60–68. <https://doi.org/10.3126/nvj.v34i0.22904>
76. Kicińska-Jakubowska, A., Bogacz, E., Zimniewska, M. (2012). Review of natural fibers. Part I: vegetable fibers. *Journal of Natural Fibers*, 9(3), 150–167. <https://doi.org/10.1080/15440478.2012.703370>
77. Kiss, A. (red.). (2022). *Lek pochodzenia naturalnego*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
78. Klingelhofer, S., Obertreis, B., Quast, S., Behnke, B. (1999). Antirheumatic effect of IDS 23, a stinging nettle leaf extract, on *in vitro* expression of T helper cytokines. *The Journal of Rheumatology*, 26(12), 2517–2522.

79. Koch, E. (1995). Pharmakologie und Wirkmechanismen von Extrakten aus Sabalfrüchten (*Sabal fructus*), Brennesselwurzeln (*Urticae radix*) und Kürbissamen (*Cucurbitae peponis semen*) bei der Behandlung der benignen Prostatahyperplasie. W: D. Loew, N. Rietbrock (red.) *Phytopharmaka in Forschung und Klinischer Anwendung* (57–79). Steinkopff. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85434-7_5
80. Koczkodaj, S., Przybył, J. L., Kosakowska, O., Węglarz, Z., Bączek, K. B. (2023). Intraspecific variability of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules*, 28(3), artykuł 1505. <https://doi.org/10.3390/molecules28031505>
81. Kołodziej, B. (red.) (2018). *Uprawa ziół: poradnik dla plantatora*. Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
82. Kosolapov, V. M., Cherniavskih, V. I., Zarudny, V. A., Mazur, K., Konieczna, A., Tseiko, L., Dumacheva, E. V., Dumachev, D. V. (2022). Observations on the productivity of breeding specimens of *Urtica dioica* L. from European Russian ecotopes in comparison with the breeding variety under field crop conditions. *Agronomy*, 12(1), 76. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010076>
83. Kőszegi, K., Békássy-Molnár, E., Koczka, N., Kerner, T., Stefanovits-Bányai, É. (2020). Changes in total polyphenol content and antioxidant capacity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) from spring to autumn. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(4), 548–554. <https://doi.org/10.3311/PPch.14338>
84. Kraus, R., Spiteller, G., Bartsch, W. (1991). (10E,12Z)-9-Hydroxy-10,12-octadecadiensäure, ein Aromatase-Hemmstoff aus dem Wurzelextrakt von *Urtica dioica*. *Liebigs Annalen der Chemie*, 4, 335–339. <https://doi.org/10.1002/jlac.199119910158>
85. Kregiel, D., Pawlikowska, E., Antolak, H. (2018). *Urtica* spp.: Ordinary plants with extraordinary properties. *Molecules*, 23(7), 1664. <https://doi.org/10.3390/molecules23071664>
86. Külçü, D. B., Gökışık, D. C., Aydın, S. (2019). An investigation of antibacterial and antioxidant activity of nettle (*Urtica dioica* L.), mint (*Mentha piperita*), thyme (*Thymus serpyllum*) and *Chenopodium album* L. plants. *Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(1), 73–80. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i1.73-80.2123>
87. Lasheras, B., Turillas, P., Cenarruzabeitia, E. (1986). Étude pharmacologique préliminaire de *Prunus spinosa* L. *Amelanchier ovalis* Medikus, *Juniperus communis* L., et *Urtica dioica* L. *Plantes Médicinales et Phytothérapie*, 20(3), 219–226.

88. Lemanowicz, J., Jaskulska, I. (2025). Selected biochemical properties of medicinal plant (*Urtica dioica* L.) leaves in relation to the enzymatic activity of soils exposed to the impact of road traffic. *Molecules*, 30(21), 4298. <https://doi.org/10.3390/molecules30214298>
89. Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1(1), 1–8.
90. Lichtenthaler, H. K., Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
91. Mamo, T. Y. (2024). Stinging Nettle (*Urtica simensis*): A review of its role in plant pathology and disease management. *Science Development*, 5(3), 46–54. <https://doi.org/10.11648/j.scidev.20240503.11>
92. Martins, T., Novo Barros, A., Rosa, E., Antunes, L. (2023). Enhancing health benefits through chlorophylls and chlorophyll-rich agro-food: A comprehensive review. *Molecules*, 28(14), artykuł 5344. <https://doi.org/10.3390/molecules28145344>
93. Martz, F., Kankaanpää, S. (2025). Stinging nettle (*Urtica dioica*) roots: The power underground: A review. *Plants*, 14(2), artykuł 279. <https://doi.org/10.3390/plants14020279/s1>
94. Matuszkiewicz, W. (2008). *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
95. Mavroeidis, A., Stavropoulos, P., Roussis, I., Karydogianni, S., Papadopoulos, G., Kallergi, S., Kakabouki, I., Pachi, V., Triantafyllidis, V., Mazarakioti, E. C., Patakas, A., Zotos, A., Tsiplakou, E., Bilalis, D. (2025). Effect of fertilization and plant density on the nutritional value of nettle (*Urtica dioica* L.). *Seeds*, 4(4), artykuł 63. <https://doi.org/10.3390/seeds4040063>
96. Melesse, A., Beyan, M., Berihun, K. (2015). The effect of feeding stinging nettle (*Urtica simensis*) leaf meal on the feed intake, growth performance and carcass characteristics of hubbard broiler chickens. *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary Science*, 15(3), 55–71.
97. Mirek, Z., Piękoś-Mirkowa, H., Zając, A., Zając, M. (2002). *Krytyczna lista roślin kwiatowych i paprotników Polski. Różnorodność biologiczna Polski*. Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN.

98. Mirtaghi, S. M., Torbati Nejad, P., Mazandarani, M., Livani, F., Bagheri, H. (2016). Evaluation of antibacterial activity of *Urtica dioica* L. leaf ethanolic extract using agar well diffusion and disc diffusion methods. *Medical Laboratory Journal*, 10(5), 15–21. <https://doi.org/10.18869/acadpub.mlj.10.5.15>
99. Mitrović, J., Nikolić, N., Ristić, I., Karabegović, I., Savić, S., Šimurina, O., Cvetković, B., Pešić, M. (2025). The chemical characterisation of nettle (*Urtica dioica* L.) seed oil. *Natural Product Research*, 39(1), 48–55. <https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2250525>
100. Mittmann, P. (1990). Randomized, double-blind study of freeze-dried *Urtica dioica* in the treatment of allergic rhinitis. *Planta Medica*, 56(1), 44–47. <https://doi.org/10.1055/s-2006-960881>
101. Mohammadian, M., Biregani, Z. M., Hassanloofard, Z., Salami, M. (2024). Nettle (*Urtica dioica* L.) as a functional bioactive food ingredient: Applications in food products and edible films, characterization, and encapsulation systems. *Trends in Food Science and Technology*, 147, artykuł 104421. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104421>
102. Mustafa, A., Ensikat, H. J., Weigend, M. (2018). Stinging hair morphology and wall biomineralization across five plant families: Conserved morphology versus divergent cell wall composition. *American Journal of Botany*, 105(7), 1109–1122. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1136>
103. Nagini, S., Palitti, F., Natarajan, A. T. (2015). Chemopreventive potential of chlorophyllin: A review of the mechanisms of action and molecular targets. *Nutrition and Cancer*, 67(2), 203–211. <https://doi.org/10.1080/01635581.2015.990573>
104. Oberholzer, M., Schamböck, A., Rugendorff, E. W., Mihatsch, M., Rist, M., Buser, M., Heitz, U. (1986). Elektronenmikroskopische Ergebnisse bei medikamentös behandelter benigner Prostatahyperplasie (BPH): Klinisch experimentelle. W: H. W. Bauer (Red.), *Benigne Prostatahyperplasie. Klinische und Experimentelle Urologie* (13–17). W. Zuckschwerdt.
105. Obertreis, B., Giller, K., Teucher, T., Behnke, B., Schmitz, H. (1996). Antiphlogistische Effekte von *Extractum Urticae dioicae foliorum* im Vergleich zu Kaffeoyläpfelsäure. *Arzneimittel-Forschung*, 46(1), 52–56.
106. Obertreis, B., Ruttkowski, T., Teucher, T., Behnke, B., Schmitz, H. (1996). *Ex-vivo in-vitro* inhibition of lipopolysaccharide-stimulated tumor necrosis factor-alpha

- and interleukin-1 beta secretion in human whole blood by *extractum urticae*. *Arzneimittel-Forschung*, 46(4), 389–394.
107. Opačić, N., Radman, S., Uher, S. F., Benko, B., Voća, S., Žlabur, J. Š. (2022). Nettle cultivation practices –from open field to modern hydroponics: A case study of specialized metabolites. *Plants*, 11(4), 483. <https://doi.org/10.3390/plants11040483>
 108. Özhatay, N., Kültür, Ş., Aslan, S. (2009). Check-list of additional taxa to the supplement flora of Turkey IV. *Turkish Journal of Botany*, 33(3), 191–226. <https://doi.org/10.3906/bot-0805-12>
 109. Pant, V. (2019). Himalayan stinging nettle: rich source of protein and minerals. *The Journal of Ethnobiology and Traditional Medicine*, 130, 1532–1548.
 110. Paulauskienė, A., Tarasevičienė, Ž., Laukagalis, V. (2021). Influence of harvesting time on the chemical composition of wild stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Plants*, 10(4), artykuł 686. <https://doi.org/10.3390/plants10040686>
 111. Petkova, Z. Y., Antova, G. A., Angelova-Romova, M. Y. (2020). Biologically active components and health benefits of nettle seed oil. *Grasas y Aceites*, 71(1), artykuł e347. <https://doi.org/10.3989/gya.0108191>
 112. Piepenbring, M., Krauss, A., Rathke, H., Scholler, M., Vicente, J. G. M. (2025). Phenology of rust fungi (Pucciniales) during mild winters – high temporal flexibility of spore generations. *Fungal Ecology*, 78, artykuł 101462.
 113. Piękoś-Mirkowa, H., Mirek, Z. (2003). *Atlas roślin chronionych*. Oficyna Wydawnicza MULTICO.
 114. Pinelli, P., Ieri, F., Vignolini, P., Bacci, L., Baronti, S., Romani, A. (2008). Extraction and HPLC analysis of phenolic compounds in leaves, stalks, and textile fibers of *Urtica dioica* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(19), 9127–9132. <https://doi.org/10.1021/jf801552d>
 115. Radman, S., Žutić, I., Fabek, S., Žlabur, J. Š., Benko, B., Toth, N., Čoga, L. (2015). Influence of nitrogen fertilization on chemical composition of cultivated nettle. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(12), 889–896. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-04-089>
 116. Rafajlovska, V., Kavrakovski, Z., Simonovska, J., Srbinoska, M. (2013). Determination of protein and mineral contents in stinging nettle. *Quality of Life (Banja Luka) - APEIRON*, 7(1–2), 26–30. <https://doi.org/10.7251/qol1301026r>
 117. Rahman, A., Albadrani, G. M., Waraich, E. A., Awan, T. H., Yavaş, İ., Hussain, S. (2023). Plant secondary metabolites and abiotic stress tolerance: overview and

- implications. W: S. Hussain (red.), *Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.111696>
118. Randall, C., Meethan, K., Randall, H., Dobbs, F. (1999). Nettle sting of *Urtica dioica* for joint pain – an exploratory study of this complementary therapy. *Complementary Therapies in Medicine*, 7(3), 126–131. [https://doi.org/10.1016/S0965-2299\(99\)80119-8](https://doi.org/10.1016/S0965-2299(99)80119-8)
 119. Randall, C., Randall, H., Dobbs, F., Hutton, C., Sanders, H. (2000). Randomized controlled trial of nettle sting for treatment of base-of-thumb pain. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 93(6), 305–309. <https://doi.org/10.1177/014107680009300607>
 120. Rausch, U., Aumüller, G., Eicheler, W., Gutschank, W., Beyer, G., Ulshöfer, B. (1992). Der Einfluss von Phytopharmaka auf BPH-Gewebe und Explantatkulturen *in vitro*. W: G. Rutishauser (red.), *Benigne Prostatahyperplasie III. Klinische und Experimentelle Urologie* (116–123). W. Zuckschwerdt.
 121. Repajić, M., Cegledi, E., Zorić, Z., Pedisić, S., Garofulić, I. E., Radman, S., Palčić, I., Dragović-Uzelac, V. (2021). Bioactive compounds in wild nettle (*Urtica dioica* L.) leaves and stalks: Polyphenols and pigments upon seasonal and habitat variations. *Foods*, 10(1), artykuł 190. <https://doi.org/10.3390/foods10010190>
 122. Riehemann, K., Behnke, B., Schulze-Osthoff, K. (1999). Plant extracts from stinging nettle (*Urtica dioica*), an antirheumatic remedy, inhibit the proinflammatory transcription factor NF-κB. *FEBS Letters*, 442(1), 89–94. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(98\)01622-6](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(98)01622-6)
 123. Rosłon, W. (2000). *Zróżnicowanie męskiej i żeńskiej formy pokrzywy zwyczajnej (Urtica dioica L.) pod względem rozwojowym i chemicznym* [rozprawa doktorska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie]. Biblioteka SGGW.
 124. Rutto, L. K., Xu, Y., Ramirez, E., Brandt, M. (2013). Mineral properties and dietary value of raw and processed stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *International Journal of Food Science*. 2013, artykuł e857120. <https://doi.org/10.1155/2013/857120>
 125. Said, A., Otmani, I. S. E., Derfoufi, S., Benmoussa, A. (2015). Highlights on nutritional and therapeutic value of stinging nettle (*Urtica dioica*). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(10), 8–14.

126. Schmidt, K. (1983). The action of *radix urticae* extracts on the sexual hormone binding globulin of the blood plasma in benign prostatic hyperplasia. *Fortschritte der Medizin*, 101(15), 713–716.
127. Schulze-Tanzil, G., De Souza, P., Behnke, B., Klingelhofer, S., Scheid, A., Shakibaei, M. (2002). Effects of the antirheumatic remedy hox alpha-a new stinging nettle leaf extract-on matrix metalloproteinases in human chondrocytes *in vitro*. *Histology and Histopathology*, 17(2), 477–485. <https://doi.org/10.14670/HH-17.477>
128. Shannon, R. K., Holsinger, K. E. (2006). The genetics of sex determination in stinging nettle (*Urtica dioica*). *Sexual Plant Reproduction*, 20(1), 35–43. <https://doi.org/10.1007/s00497-006-0041-5>
129. Shonte, T. T., Duodu, K. G., de Kock, H. L. (2020). Effect of drying methods on chemical composition and antioxidant activity of underutilized stinging nettle leaves. *Heliyon*, 6(5), artykuł e03938. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03938>
130. Styczyńska, S., Węglarz, Z., Grabowski, K., Jędrzejuk, A., Przybył, J. L., Bączek, K. (2025). Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. *Herba Polonica*, 71(3), 65–76. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.2849>
131. Szewczuk, C., Stępnia, M., Sugier, D. (2002). Zawartość wybranych związków organicznych i mineralnych w części nadziemnej pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica* L.) w zależności od fazy rozwojowej zbieranych roślin. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 1(1), 163–169.
132. Tahri, A., Yamani, S., Legssyer, A., Aziz, M., Mekhfi, H., Bnouham, M., Ziyyat, A. (2000). Acute diuretic, natriuretic and hypotensive effects of a continuous perfusion of aqueous extract of *Urtica dioica* in the rat. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1–2), 95–100. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00270-1](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00270-1)
133. Taylor, K. (2009). Biological flora of the British Isles: *Urtica dioica* L. *Journal of Ecology*, 97(6), 1436–1458. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01575.x>
134. Teucher, T., Obertreis, B., Rutkowski, T., Schmitz, H. (1996). Cytokine secretion in whole blood of healthy subjects following oral administration of *Urtica dioica* L. plant extract. *Arzneimittelforschung*, 1, 906–910.
135. Tita, B., Faccendini, P., Bello, U., Martinoli, L., Bolle, P. (1993). *Urtica dioica* L.: Pharmacological effect of ethanol extract. *Pharmacological Research*, 27, 21–22. <https://doi.org/10.1006/phrs.1993.1141>

136. Toplicean, I. M., Ianuș, R. D., Datcu, A. D. (2024). An overview on nettle studies, compounds, processing and the relation with circular bioeconomy. *Plants*, 13(24), artykuł 3529. <https://doi.org/10.3390/plants13243529>
137. Turker, A. U., Usta, C. (2008). Biological screening of some Turkish medicinal plant extracts for antimicrobial and toxicity activities. *Natural Product Research*, 22(2), 136–146. <https://doi.org/10.1080/14786410701591663>
138. Upton, R. (2013). Stinging nettle leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine. *Journal of Herbal Medicine*, 3(1), 9–38. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2012.11.001>
139. Valentão, P., Dias, A., Ferreira, M., Silva, B., Andrade, P. B., Bastos, M. L., Seabra, R. M. (2003). Variability in phenolic composition of *Hypericum androsaemum*. *Natural Product Research*, 17(2), 135–140. <https://doi.org/10.1080/1057563021000060149>
140. Viegli, L., Pieroni, A., Guarrera, P. M., Vangelisti, R. (2003). A review of plants used in folk veterinary medicine in Italy as basis for a databank. *Journal of Ethnopharmacology*, 89(2–3), 221–244. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.08.003>
141. Viotti, C., Albrecht, K., Amaducci, S., Bardos, P., Bertheau, C., Blaudez, D., Bothe, L., Cazaux, D., Ferrarini, A., Govilas, J., Gusovius, H. J., Jeannin, T., Lühr, C., Müssig, J., Pilla, M., Placet, V., Puschenreiter, M., Tognacchini, A., Yung, L., Chalot, M. (2022). Nettle, a long-known fiber plant with new perspectives. *Materials*, 15(12), artykuł 4288. <https://doi.org/10.3390/ma15124288/s1>
142. Vogl, C. R., Hartl, A. (2003). Production and processing of organically grown fiber nettle (*Urtica dioica* L.) and its potential use in the natural textile industry: A review. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(3), 119–128. <https://doi.org/10.1079/ajaa200242>
143. Vontobel, H. P., Herzog, R., Rutishauser, G., Kres, H. (1985). Results of a double-blind study on the efficacy of ERU capsules in the conservative treatment of benign prostatic hyperplasia. *Urologe - Ausgabe A*, 24(1), 49–51.
144. Wagner, H., Willer, F., Samtleben, R., Boos, G. (1994). Search for the antiprostatic principle of stinging nettle (*Urtica dioica*) roots. *Phytomedicine*, 1(3), 213–224. [https://doi.org/10.1016/s0944-7113\(11\)80068-1](https://doi.org/10.1016/s0944-7113(11)80068-1)
145. Weigend, M. (2007). *Urtica dioica* subsp. *cypria*, with a re-evaluation of the *U. dioica* group (Urticaceae) in western Asia. *Willdenowia*, 36(2), 811. <https://doi.org/10.3372/wi.36.36212>

146. Weigend, M., Luebert, F. (2009). Weeding the nettles I: Clarifying species limits in perennial, rhizomatous *Urtica* (Urticaceae) from southern and central Chile and Argentina. *Phytotaxa*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.2.1.1>
147. Wichtl, M. (red.). (2004). Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals: A Handbook for Practice on a Scientific Basis. CRC Press.
148. Willer, F. (1992). *Chemie und Pharmakologie der Polysaccharide und Lektine von Urtica dioica (Lin.)*. [rozprawa doktorska, Ludwig Maximilians Universität München].
149. Yıldızhan, K., Demirtaş, Ö. C., Uyar, A., Huyut, Z., Çakir, T., Keleş, Ö. F., Yener, Z. (2020). Protective effects of *Urtica dioica* L. Seed extract on liver tissue injury and antioxidant capacity in irradiated rats. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, artykuł e56. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902019000318354>
150. Zare, M., Esmaeili, N., Paolacci, S., Stejskal, V. (2023). Nettle (*Urtica dioica*) additive as a growth promoter and immune stimulator in Fish. *Aquaculture Nutrition*, 1, artykuł 8261473. <https://doi.org/10.1155/2023/8261473>
151. Zhao, H. J., Zou, Q. (2002). Protective effects of exogenous antioxidants and phenolic compounds on photosynthesis of wheat leaves under high irradiance and oxidative stress. *Photosynthetica*, 40(4), 523–527. <https://doi.org/10.1023/a:1024339716382>
152. Ziegler, H. (1983). Investigation of prostate cells treated with sexual hormone binding globulin (SHBG) reducing phytotherapeutic substance (ERU) by fluorescent microscopy. *Fortschritte der Medizin*, 101(45), 2112–2114.
153. Zouari, B. K., Bardaa, S., Khimiri, M., Rebaii, T., Tounsi, S., Jlaiel, L., Trigui, M. (2017). Exploring the *Urtica dioica* leaves hemostatic and wound-healing potential. *BioMed Research International*, 2017(1), artykuł 1047523. <https://doi.org/10.1155/2017/1047523>

Źródła internetowe:

- Internet 1. Euro+Med. Plant Base. (b.d.) *Urtica dioica*
https://euoplusmed.org/cdm_dataportal/taxon/38a24b86-06a8-4ec6-962a-b816db7c7a67 (data dostępu: 10.07.2025)
- Internet 2. Verified Market Reports. (2026). *Global nettle products market size, growth analysis & forecast 2026–2034*.
<https://www.verifiedmarketreports.com/product/nettle-products-market/>
(data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 3. Tridge. (2026). *Dried nettle leaves export data and market overview 2026*.
<https://www.tridge.com/intelligences/nettle/export> (data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 4. Business Research Insights. (2026). *Nettle products market size, share, growth and forecast report*.
<https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/nettle-products-market-122696> (data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 5. More, A.B., Chandola, V., Bhat, S. (2025). *Nettle leaf tea RTD market research report 2033*. Research Intelo.
<https://researchintel.com/report/nettle-leaf-tea-rtd-market> (data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 6. Fact.MR. (2024). *Stinging nettle root extract market size, share, growth, and forecast (2024–2034)*. <https://www.factmr.com/report/stinging-nettle-root-extract-market> (data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 7. Persistence Market Research. (2025). *Stinging nettle root extract market size, share, trends, and forecast (2025–2032)*.
<https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/stinging-nettle-root-extract-market.asp> (data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 8. Custom Market Insights. (2026). *Stinging nettle fibers market size, trends, and forecast (2024–2033)*.
<https://www.custommarketinsights.com/report/stinging-nettle-fibers-market-2/> (data dostępu: 15.07.2025)
- Internet 9. Rosłon, W., Osińska, E. (b.d.). Pokrzywa zwyczajna – występowanie, zbiorowiska naturalne, uprawa. Lubelskie Zioła.
<https://lubelskieziola.pl/akademia-wiedzy-lubelskie-ziola/pokrzywa-zwyczajna-wystepowanie-zbiorowiska-naturalne-uprawa/> (data dostępu: 27.04.2025)
- Internet 10 Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (b.d.) Anbautelegramm, Fasernessel (*Urtica dioica* L.). https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00027596/Fasernessel.pdf

9. Wykaz fotografii, tablic, rysunków i tabel

Wykaz fotografii:

Fot. 1. Pokrzywa zwyczajna na początku kwitnienia (o ile nie podano inaczej, fotografie zamieszczone w niniejszej pracy zostały wykonane przez jej autorkę).	17
Fot. 2. Liść pokrzywy zwyczajnej.....	24
Fot. 3. Wysuszony liść pokrzywy zwyczajnej.	24
Fot. 4. Korzeń pokrzywy zwyczajnej po umyciu.....	24
Fot. 5. Wysuszony korzeń pokrzywy zwyczajnej.	24
Fot. 6. Nasiona pokrzywy zwyczajnej.	39
Fot. 7. Nasiona pokrzywy zwyczajnej; pow. x20.	39

Wykaz tablic:

Tablica 1. Liść pokrzywy zwyczajnej: a) dolna strona liścia, b) nasada blaszki liściowej, c) włoski okrywowe i włoszek parzący, d) podstawa włoska parzącego.	18
Tablica 2. Forma męska pokrzywy: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan, c) kwiatostan, pow. x5, d) kwiat, pow.x10.	20
Tablica 3. Forma żeńska pokrzywy: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan, c) kwiatostan, pow. x5, d) kwiat, pow.x10.	21
Tablica 4. Forma pokrzywy wyłącznie z kwiatostanami obojnaczymi: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan, c) kwiatostan, pow. x5, d) kwiat, pow.x10. ..	22
Tablica 5. Forma obojnacza pokrzywy z kwiatami żeńskimi, męskimi i obojnaczymi: a) pęd z kwiatostanami, b) kwiatostan męski, c) kwiatostan obojnaczy, d) kwiatostan żeński, e) przekwitnięty kwiatostan męski.	23
Tablica 6. Doświadczenie 1.; 10 populacji pokrzywy rosnących w rzędach; a) 1 rok uprawy, b) 2 rok uprawy.	50
Tablica 7. Doświadczenie 2: 15 klonów. a) klon 2, b) klon 7.	51
Tablica 8. Pozyskiwanie sadzonek korzeniowo-pędowych: a) przygotowanie poletka, b) młode pędy przerastające warstwę kory, c) sadzonka, d) poletko po pobraniu sadzonek.	53
Tablica 9. Doświadczenie 2: 15 klonów: a) widok ogólny, b) faza wegetatywna, c) początek kwitnienia, d) pełnia kwitnienia.	54
Tablica 10. Doświadczenie 4: 1 klon; a) rośliny rosnące przy pełnym dostępie do światła słonecznego, b) zacienienie 35%, c) zacienienie 50%.	57
Tablica 11. Sadzonki: wariant I, wariant II, wariant III.	67
Tablica 12. Korelacja i regresja liniowa między zawartością: a) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i kwasu chlorogenowego; b) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i kwasu kawowojabłkowego (c) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i rutozydu; (d) ogólnej zawartości kwasów fenolowych i hiperozydu; (e) chlorofilu a+b i karotenoidów.	74

Wykaz rysunków:

Rys. 1. Schemat realizowanych badań.	47
---	----

Wykaz tabel:

Tabela 1. Parametry pogodowe w sezonach wegetacyjnych 2021–2024*.	48
Tabela 2. Parametry gleby (pH, zawartość głównych składników odżywczych ($\text{mg} \times \text{l}^{-1}$) oraz zasolenie ($\text{gKCl} \times \text{l}^{-1}$).	49
Tabela 3. Terminy pozyskiwania sadzonek.	52
Tabela 4. Terminy zbioru surowca.	55
Tabela 5. Natężenie promieniowania fotosyntetycznie czynnego (PAR; $\text{mmol E} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$) w różnych wariantach dostępu światła słonecznego do roślin.	56
Tabela 6. Wybrane cechy morfologiczno-rozwojowe badanych klonów.	62
Tabela 7. Zawartość kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].	63
Tabela 8. Zawartość rutozydu i hyperozydu [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].	63
Tabela 9. Zawartość barwników asymilacyjnych [$\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$].	64
Tabela 10. Liczba i procent ukorzenionych sadzonek w ogólnej liczbie pobranych sadzonek.	66
Tabela 11. Charakterystyka morfologiczna uzyskanych sadzonek.	66
Tabela 12. Cechy morfologiczno-rozwojowe.	68
Tabela 13. Zawartość kwasów chlorogenowego i kawowojabłkowego [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].	69
Tabela 14. Zawartość rutozydu i hiperozydu [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].	69
Tabela 15. Zawartość barwników asymilacyjnych [$\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$].	69
Tabela 16. Sucha masa liści [$\text{kg} \times \text{m}^{-2-1}$].	70
Tabela 17. Zawartość kwasu chlorogenowego i kawowojabłkowego [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$] i ogólna zawartość kwasów fenolowych [%].	72
Tabela 18. Zawartość rutozydu i hyperocydu [$\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1} \text{ s.m.}$].	72
Tabela 19. Zawartość chlorofilu i karotenoidów [$\text{mg} \times \text{g}^{-1} \text{ s.m.}$].	73

10. Wydruki artykułów

Article

Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.)

Sylvia Koczkodaj *, Jarosław L. Przybył, Olga Kosakowska, Zenon Węglarz and Katarzyna B. Bączek *

Department of Vegetable and Medicinal Plants, Institute of Horticultural Sciences, Warsaw University of Life Sciences WULS-SGGW, 159 Nowoursynowska Street, 02-776 Warsaw, Poland

* Correspondence: sylvia_koczkodaj@sggw.edu.pl (S.K.); katarzyna_baczek@sggw.edu.pl (K.B.B.)

Abstract: The purpose of the work was to determine the intraspecific variability of the stinging nettle, in respect of the mass of leaves and their chemical composition, including the content of phenolic compounds and assimilative pigments. The objects of the study were 10 populations of nettle, originating from the eastern and southern part of Poland. The results obtained indicate a high level of variability between and within the populations investigated but not strictly related to their geographical locations. The mass of the leaves ranged from 0.19 to 0.28 kg dry weight (DW)/plant (Coefficient of variation (CV) = 16.33%). Using HPLC–DAD, four phenolic acids were detected, i.e., caffeoylmalic (570.97–1367.40 mg/100 g DW), chlorogenic (352.79–1070.83 mg/100 g DW), neochlorogenic (114.56–284.77 mg/100 g DW) and cichoric (58.31–189.52 mg/100 g DW) acids, with the last one differentiating populations to the highest degree (CV = 48.83%). All of the analyzed populations met the requirements of the European Pharmacopoeia (Ph Eur 10th) concerning the minimum content of caffeoylmalic and chlorogenic acids in nettle leaves (not less than 0.3%). Within the flavonoid fraction, two compounds were identified, namely rutoside (917.05–1937.43 mg/100 g DW, CV = 21.32%) and hyperoside (42.01–289.45 mg/100 g DW; CV = 55.26%). The level of chlorophyll a ranged from 3.82 to 4.49 mg/g DW, chlorophyll b from 1.59 to 2.19 mg/g DW, while the content of carotenoids varied from 2.34 to 2.60 mg/100 g DW. Given all the traits investigated, the level of a population's polymorphism (CV) was visibly higher within a population than between populations. Population no. 4 was distinguished by the highest mass of leaves, and the highest content of rutoside, while population no. 2 was distinguished by the highest content of hyperoside, caffeoylmalic and chlorogenic acid.

Keywords: stinging nettle; intraspecific variability; populations; leaves; phenolic acids; flavonoids; chlorophylls; HPLC

Citation: Koczkodaj, S.; Przybył, J.L.; Kosakowska, O.; Węglarz, Z.;

Bączek, K.B. Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* **2023**, *28*, 1505.

<https://doi.org/10.3390/molecules28031505>

Academic Editors: Francesco Cacciola and Félix Tomi

Received: 7 December 2022

Revised: 16 January 2023

Accepted: 1 February 2023

Published: 3 February 2023



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

Stinging nettle (*Urtica dioica* L., Urticaceae family) is a wild-growing herbaceous perennial occurring almost all over the world. It grows mainly on damp and nitrogen-rich soil at partly shaded sites, including meadows, forests edges and brushwoods [1–4]. The nettle is highly polymorphic in terms of its ploidy level, developmental traits and chemical composition. Variation within the species is also manifested in its sexual system. Polygamy has been reported here, with several types of gynodioecy and various architectural types of monoecy [5]. So far, plenty of subtaxa, including subspecies, morpho- and ecotypes, varieties and hybrids have been recognized within the species [5,6]. Thus, it is treated as a complex taxonomic group described collectively as *U. dioica sensu lato* [1,4,7].

The species has been widely used all over the world. Both above- and underground organs are the source of many value-added products, used mainly in the pharmaceutical and the food industry. Leaves, roots and seeds are used for medical purposes; however, only the leaves (*Urticae folium*) and roots (*Urticae radix*) of the nettle are listed in the European Pharmacopoeia (Ph Eur 10th) [4,8–10]. The leaves are rich in phenolics, especially

phenolic acids. According to Ph Eur requirements, they should contain not less than 0.3% of the total of caffeoylmalic and chlorogenic acids [10]. The raw material contains other cinnamic acid derivatives, such as cinnamic, caffeic, *p*-coumaric, ferulic and sinapic acids, followed by hydroxybenzoic acid derivatives, namely gallic, gentisic, syringic, protocatechuic and vanillic acids [4,10–13]. Among flavonoids, apigenin, astragalin, genistein, isorhamnetin, kaempferol, rutoside, quercetin and catechin have been identified, while among coumarins, esculetin and scopoletin were detected [3,10–13]. Nettle leaves also contain a high amount of assimilative pigments, i.e., chlorophyll a and b, β -carotene, α - and β -xanthophyll (up to 1%) as well as vitamins C, B, K and mineral salts (mainly the salts of magnesium, potassium, calcium, iron and soluble silica). Traces of the essential oil and fatty acids have been detected in the aerial parts of the plant [4,8,10–18]. Given this wide spectrum of compounds, the nettle leaf indicates various biological activities, such as antioxidant, antibacterial, anti-inflammatory, anti-ulcer, anti-anemic, anti-asthmatic, and cardiovascular. The diuretic, hypoglycemic, immunostimulating, choleric and metabolism-accelerating properties of the nettle leaf have been proved as well [3,12,17–22]. Due to their high nutritional value, fresh leaves, young herb and seeds have been used traditionally as a healthy food and feed. The textile industry uses sclerenchymatic fibers obtained from nettle stems to produce natural fiber, and leaf extracts for dyes. Moreover, nettle leaves or the whole herb are widely used in organic farming, e.g., as a natural fertilizer [2,4,10,23]. As mentioned above, underground organs (*Urticae radix*) of the species are also collected. Nettle root contains a complex of lipids and sterols (mainly β -sitosterol and stigmasterol), lignans, lecithin and polysaccharides. The raw material is mainly used in the phytopharmaceutical industry for the production of drugs applied in benign prostatic hyperplasia [4].

Due to the versatile possibilities of nettle application, it has recently become the object of interest of various industry sectors, especially the phytopharmaceutical, food or even paper industry. Taking into account global trends concerning healthy lifestyles, including functional food and supplement usage, as well as a tendency to “old herbs” return, nettle raw materials appear to be one of the most interesting herbal products, both for producers and consumers.

Up to now, nettle leaves have been mainly collected from natural sites. However, the extreme variability of the species, followed by its capacity to accumulate heavy metals and pesticides, may contribute to the fact that the raw material from wild-growing plants is often of questionable quality [23,24]. Given the increasing demand for nettle leaf, as well as recent requirements of the herbal industry, the need for large-scale cultivation of the plant has arisen. In the view of such need, one of the first steps to be taken is to recognize the range of natural diversity of the species, which is the main source of genes indispensable for future cultivation and agrotechnical programs. So far, only a few trials with nettle that address this problem have been undertaken [10,18,22,25,26]. Some of the experiments indicate that the most important traits in determining the variation amongst the species seem to be the height of plants, the length of internodes and the number of leaves per shoot [27]. Others show the diversity in the content of proteins, mineral salts and vitamins in the leaves of nettle ecotypes [23]. There is a lack of comprehensive studies that take into account the diversity among nettle populations both in terms of the mass of the obtained raw materials and their quality related to the requirements of the phytopharmaceutical industry. In our work, 10 nettle populations (each represented by 30 individuals) were assessed, specifically the mass of leaves and the content of phenolic acids in these raw materials, according to Ph Eur requirements. In order to exclude the influence of various environmental factors on the investigated plant traits, the research was carried out *ex situ*.

The aim of the work was to determine the intraspecific variability of wild-growing stinging nettles, in respect of the accumulation of biomass as well as phenolic compounds and assimilative pigments.

2. Results and Discussion

The versatile use of the stinging nettle creates the need to obtain significant amounts of industrial raw materials. Currently, the collection of wild-growing plants does not meet the needs of the market, both due to the decreasing number of herb collectors and the variable quality of the raw materials obtained. Hence, there is a need to introduce the species into cultivation. The first step in this direction is to determine the range of variability and, furthermore, the potential of the selected forms for commercial herbal production. With regards to the nettle, this aspect has not been studied comprehensively. The available literature on the nettle concentrates on the methods of establishing plantations using different planting densities, mineral fertilization or the influence of plantation age on the raw material quality [23,25,28–36]. Our purpose was to determine the diversity of the species both within and between populations, to select individuals useful in further work on nettle propagation and industrial cultivation. The results obtained indicate the high polymorphism of the stinging nettle with regards to the mass of leaves and the content of phenolics and plant pigments, both between and within populations. The diversity regarding the mass of leaves between populations was distinctly lower (coefficient of variation (CV) = 16.3%) than the diversity among individual populations (CV from 18.3 to 42.6%). The mass of leaves ranged from 0.19 (pop. 3) to 0.28 (pop. 1 and 4) kg dry weight (DW) per plant. The results were presented in Figure 1. Jankauskienė [28] claims that this parameter may be even higher; it oscillates from 0.25 to 0.91 kg DW per plant. According to the literature data, the yield of nettle may be influenced by various factors, such as genetic, environmental (type of soil, temperature, humidity, water content, irradiance, photoperiod) and agricultural factors (e.g., nutrients and their availability; cultivation technology) [23,25,32]. Our work, carried out in uniform ex situ conditions, indicates that genetic factors are crucial here. This was also observed by Dumacheva et al. [37].

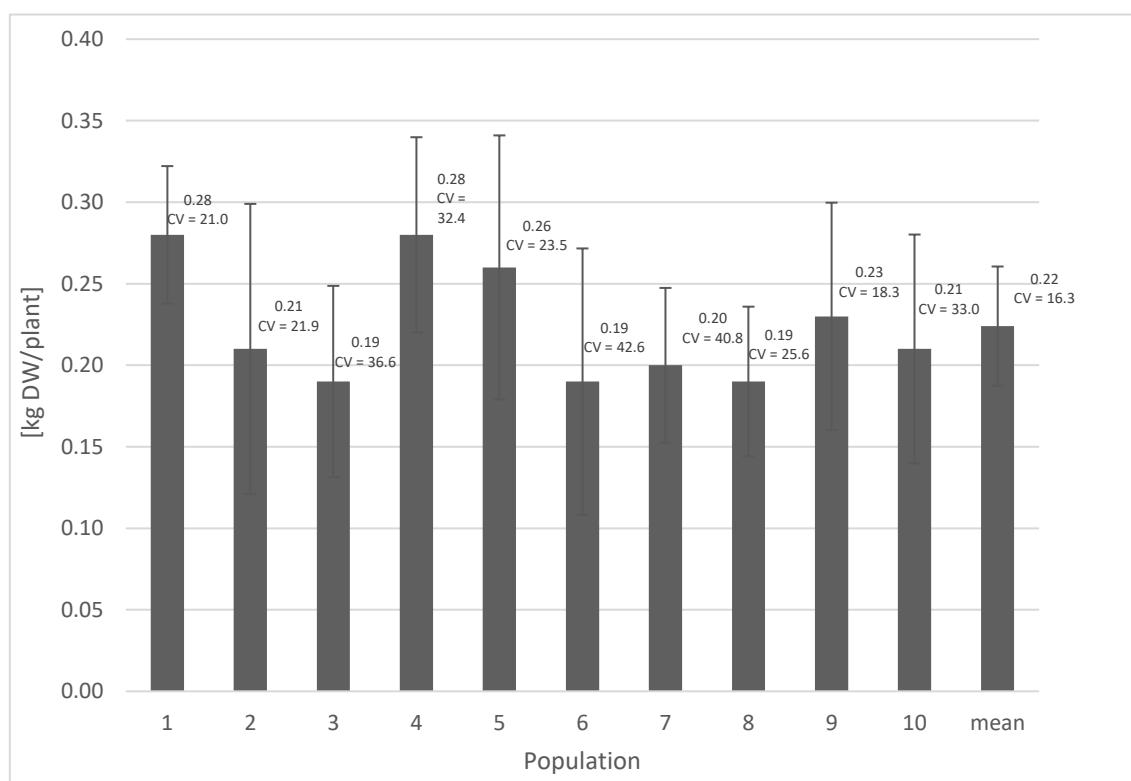


Figure 1. The mass of leaves, $n = 30$; CV: coefficient of variation; DW: dry weight.

The content and composition of phenolics seem to be the most important quality parameter in nettle leaves. In our work, four phenolic acids were detected in the leaves,

namely chlorogenic, neochlorogenic, caffeoylmalic and cichoric acids (Figures 2 and 3, Table 1). These compounds represent depsides (cinnamic acid derivatives). Chlorogenic, neochlorogenic and cichoric acids constitute esters of caffeic and quinic acids, thus belonging to caffeoylquinic acid isomers. In turn, caffeoylmalic acid is an ester of caffeic and malic acids [38]. In our work, both caffeoylmalic and chlorogenic acids appeared to be the dominant ones (mean 945.7 and 595.1 mg/100 g, respectively), while neochlorogenic and cichoric acids were present in distinctly lower amounts (Table 1). All the investigated populations met the Ph Eur requirements concerning the minimum content of the sum of caffeoylmalic and chlorogenic acids (not less than 0.3%) [8]. However, they visibly varied in respect of the phenolic acid content, with cichoric acid as the most differentiated compound (CV = 48.8%). The amount of caffeoylmalic acid ranged from 571.0 to 1367.4 mg/100 g DW (CV = 23.9%), chlorogenic acid from 352.8 to 1070.8 mg/100 g DW (CV = 32.7%), neochlorogenic acid from 114.6 to 284.8 mg/100 g DW (CV = 24.0%), and cichoric acid from 58.3 to 189.5 mg/100 g DW (CV = 48.8%).

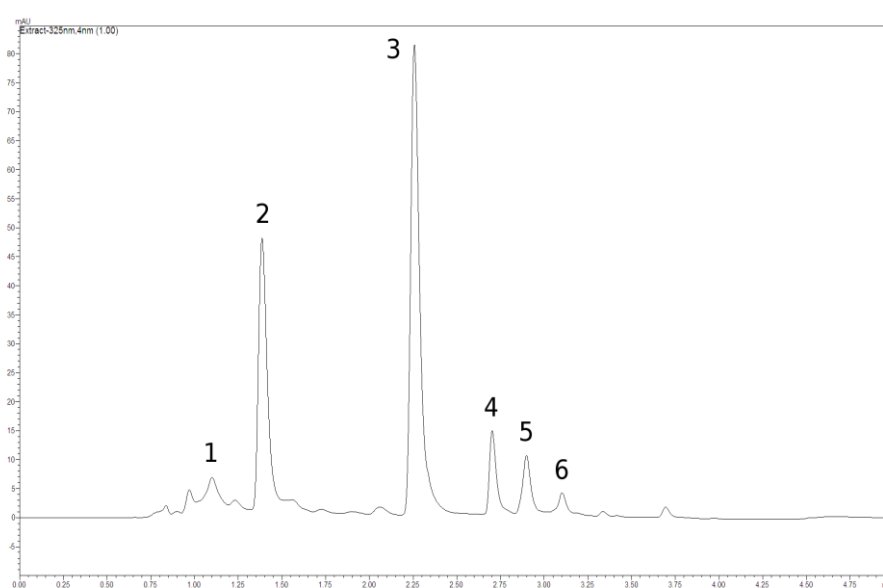


Figure 2. HPLC chromatogram of the nettle leaf methanolic extract: (1) neochlorogenic acid, (2) chlorogenic acid, (3) caffeoylmalic acid, (4) rutoside, (5) hyperoside and (6) cichoric acid.

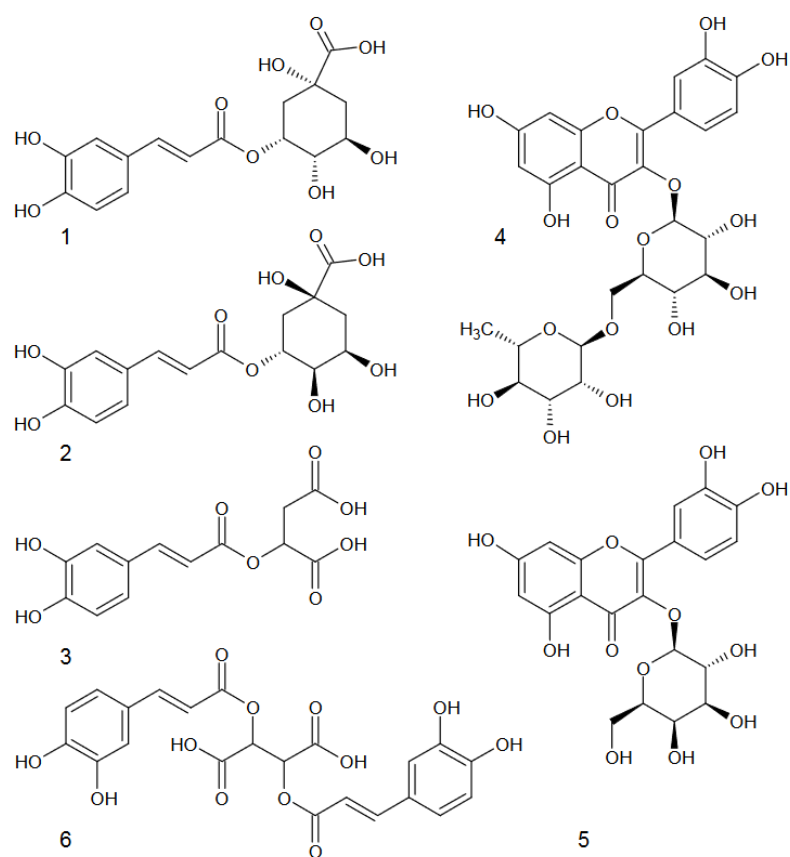


Figure 3. Chemical structures of identified phenolic compounds: (1) neochlorogenic acid, (2) chlorogenic acid, (3) caffeoylmalic acid, (4) rutoside, (5) hyperoside and (6) cichoric acid.

Table 1. The content of detected phenolic acids (mg/100g DW).

Population	Neochlorogenic Acid	Chlorogenic Acid		Caffeoylmalic Acid		Cichoric Acid		Sum of Chlorogenic and Caffeoylmalic Acids	Sum of All Detected Phenolic Acids	
		CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)			
1	204.5 ± 102.6	50.2	548.4 ± 234.0	43.8	1126.9 ± 288.3	25.6	189.5 ± 72.5	38.3	1675.3 ± 470.8	2069.3 ± 547.6
2	214.1 ± 65.6	30.6	1070.8 ± 503.6	47.0	1367.4 ± 431.8	31.6	184.3 ± 64.9	35.2	2438.2 ± 853.7	2836.6 ± 46.2
3	200.4 ± 78.2	39.0	513.6 ± 213.7	41.6	1114.7 ± 480.4	43.1	107.4 ± 47.9	44.6	1628.5 ± 803.2	1936.3 ± 79.9
4	150.5 ± 92.8	61.7	535.7 ± 367.5	68.6	801.7 ± 313.1	39.1	61.9 ± 21.7	35.1	1337.4 ± 750.1	1549.8 ± 16.2
5	242.7 ± 125.2	51.6	625.2 ± 315.4	50.4	851.7 ± 222.9	26.2	72.5 ± 31.2	42.9	1476.9 ± 533.4	1792.1 ± 82.6
6	284.8 ± 114.8	40.3	704.9 ± 300.8	42.7	1008.7 ± 288.2	28.6	85.0 ± 25.3	29.8	1713.7 ± 518.9	2083.4 ± 58.5
7	226.8 ± 84.0	37.0	578.5 ± 247.1	42.7	916.7 ± 225.4	24.6	86.8 ± 32.3	37.2	1495.2 ± 349.8	1808.8 ± 55.2
8	114.6 ± 62.6	54.6	601.6 ± 293.1	48.7	962.9 ± 303.2	31.5	72.2 ± 18.1	25.1	1564.5 ± 541.2	1751.2 ± 01.3
9	194.0 ± 61.4	31.7	419.1 ± 228.9	54.6	735.3 ± 242.6	33.0	72.4 ± 21.1	29.8	1154.3 ± 489.2	1420.7 ± 72.5
10	169.1 ± 54.7	32.3	352.8 ± 175.1	49.6	571.0 ± 235.5	41.2	58.3 ± 10.4	17.9	923.8 ± 413.7	1151.1 ± 413.8
Mean	200.1		595.1		945.7		99.0		1540.8	1839.9
CV	24.0		32.7		23.9		48.8		26.0	24.7

As regards diversity within a population, population no. 3 was the most variable in terms of caffeoylmalic acid content (CV = 43.1%), while population no. 4 had the biggest variation in chlorogenic acid (CV = 69.0%).

The results obtained correspond with the literature data. According to Grevsen et al. [29], the content of caffeoylmalic acid in nettle leaf ranged from 600 to 1710 mg/100 g DW, while chlorogenic acid from 250 to 1630 mg/100 g DW. In turn, Pinelli et al. [39] indicated lower amounts of these substances, i.e., 138.5 mg/100 g DW and 58.9 mg/100 g DW, respectively. So far, in nettle leaves, other phenolic acids have been detected, including-caffeic, *p*-cumaric, cinnamic, ferulic, sinapic, syringic, quinic and protocatechuic acids [40–43]. It is worth noting that phenolic acids are considered to determine health-promoting values, since they reveal antioxidant, anti-inflammatory, antilipidemic, antidiabetic and antihypertensive activity [44,45].

In our work, two flavonoids were detected, namely rutoside and hyperoside. Both compounds belong to quercetin derivatives (Figures 2 and 3, Table 2). The content of rutoside ranged from 917.1 (pop. no. 3) to 1937.4 mg/100 g DW (pop. no. 4) (CV = 21.3%), while the content of hyperosideranged from 42.0 (pop. no. 1) to 289.5 mg/100 g DW (pop. no. 2) (CV = 55.6%). As regards the variability of both compounds within a population, high CV values were noticed in the cases of populations no. 1 and 5 (Table 2). The domination of rutoside in nettle leaves was observed earlier by Devkota et al. [17], Pinelli et al. [39] and Jeszka-Skowron et al. [40]. According to Zeković et al. [41], among flavonoids, apigenin, luteolin, and naringenin and their derivatives are also present in this raw material.

Table 2. The content of detected flavonoids (mg/100 g DW).

Population	Rutoside	Hyperoside		Sum
		CV* (%)	CV (%)	
1	1329.7 ± 845.10	63.6	42.0 ± 33.4	1246.4 ± 925.6
2	1375.9 ± 686.1	49.9	289.5 ± 170.8	1665.3 ± 816.7
3	917.1 ± 462.5	50.4	62.0 ± 50.7	873.3 ± 518.3
4	1937.4 ± 594.1	30.7	270.0 ± 167.4	2191.0 ± 698.1
5	1391.2 ± 851.1	61.2	114.8 ± 110.7	1270.0 ± 992.8
6	1479.9 ± 801.5	54.2	249.0 ± 128.9	1704.3 ± 895.8
7	1083.3 ± 512.1	47.3	99.8 ± 78.1	922.0 ± 711.6
8	1749.8 ± 661.2	37.8	160.2 ± 81.0	1910.0 ± 674.1
9	1223.3 ± 662.2	54.1	160.1 ± 99.0	1504.0 ± 682.9
10	1381.7 ± 601.0	43.5	115.3 ± 75.7	1368.9 ± 722.7
Mean	1386.9		156.3	1465.5
CV	21.3		55.6	28.5

* $n = 30$.

The high chemical variability of the stinging nettle was previously reported by Repajić et al. [42] and Otles et al. [43]. This may be related to the physiological role of phenolics in plants. In general, the accumulation of such compounds is regarded as their adaptive response to environmental conditions including biotic and abiotic stresses. Light, temperature, salinity and heavy metal stresses stimulate the synthesis of both phenolic acids and flavonoids. Phenolics are also accumulated due to their inhibitory or toxic effects on nematodes, insects and herbivores [44,45]. Many authors also indicate the influence of the plant's age and their phenological stage on the content of phenolic compounds [46,47]. In our investigation, the plants were grown *ex situ*, in order to eliminate the impact of selected environmental factors. Thus, it may be suspected that the observed diversity was determined mainly by genetic factors, including gender, since the species represent a subdioecious plants [6]. However, it should be proved by molecular (e.g., Next-Generation Confirmation—NGC) analysis in future research.

In the present work, the investigated populations were assessed with regard to the content of chlorophyll a and b, followed by the total carotenoids (Table 3). The content of chlorophyll a ranged from 3.8 to 4.5 mg/g DW (CV = 4.2%), chlorophyll b from 1.6 to 2.2 mg/g DW (CV = 8.9%) and the total carotenoids from 2.3 to 2.6 g/100 g DW (CV = 3.8%). The results obtained indicate a rather low diversity both between and within populations as regards the content of pigments mentioned above. According to Droštinová et al. [48], the contents of these compounds in the nettle are as follows: chlorophyll a, 6.7–8.2 mg/g DW; chlorophyll b, 2.3–3.0 mg/g DW; and carotenoids, 1.5–1.8 mg/100 g DW. Similar results were obtained by Durović et al. [13] and by Biesiada and Wołoszczak [30]. It is worth noting that in the case of stinging nettle, the content of chlorophyll a and b (besides its obvious role in photosynthesis) is important from the industrial viewpoint, since its leaves are used in chlorophyllin production. This substance is applied in the food and cosmetic industry as a green pigment [49,50].

Table 3. The content of chlorophylls (mg/g) and carotenoids (mg/100 g DW).

Population	Chlorophyll a	Chlorophyll b		Total Carotenoids		
		CV* (%)		CV (%)		CV (%)
1	4.2 ± 0.6	14.7	1.9 ± 0.5	24.7	2.6 ± 0.4	14.6
2	3.8 ± 0.5	13.5	1.6 ± 0.4	23.3	2.3 ± 0.3	11.1
3	4.3 ± 0.3	8.0	1.9 ± 0.3	15.5	2.6 ± 0.2	7.6
4	4.1 ± 0.3	7.8	1.9 ± 0.4	19.9	2.5 ± 0.2	6.8
5	4.1 ± 1.1	26.0	2.0 ± 0.5	23.4	2.6 ± 0.3	11.4
6	4.2 ± 0.6	15.0	1.8 ± 0.5	25.5	2.5 ± 0.3	12.2
7	4.1 ± 0.6	14.8	1.9 ± 0.5	25.7	2.4 ± 0.3	13.0
8	4.1 ± 0.5	11.4	1.8 ± 0.3	18.6	2.4 ± 0.2	9.5
9	4.5 ± 0.6	12.6	2.2 ± 0.5	22.8	2.6 ± 0.2	8.8
10	4.1 ± 0.6	13.7	1.7 ± 0.4	22.2	2.4 ± 0.3	11.9
Mean	4.2		1.9		2.5	
CV	4.2		8.9		3.8	

* $n = 30$.

3. Materials and Methods

3.1. Plant Material

The investigations were carried out at the experimental field of the Department of Vegetable and Medicinal Plants, Warsaw University of Life Sciences WULS-SGGW (52°10'18"N; 21°05'23"E), on alluvial soil (Table 4). The objects of the study were 10 wild-growing populations originating from southern and eastern parts of Poland (Table 5). The seeds from these populations were collected from natural sites in September 2020. In February 2021, they were sown into a peat substrate, in a greenhouse. In April, the seedlings were transplanted into multi-pots. At the beginning of June, well-rooted seedlings (60 per population) were planted out into the field at a spacing of 40 × 100 cm. The observations and the harvest of raw materials were performed the following year (2022). The herb was cut from 30 plants per population, at the vegetative stage of growth (the last ten days of June). The raw material was dried at 40 °C using a Memmert UFE 800 drying machine (Büchenbach, Germany). The leaves were separated from the stems, weighed, then powdered using a Herbal Medicine Disintegrator FW177 (Huanghua Faithful Instrument Co., Cangzhou, China), and subjected to chemical analysis (3.2).

The climatic parameters of the 2022 vegetative season were recorded (Table 6).

Table 4. Soil parameters* (pH and the content of main nutrients (mg/L)).

pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg	Cl	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
6.78	63	12	82	158	727	127	42	42	2.9	49.7	5.7	5.3

* samples for soil analysis were taken in February 2022.

Table 5. The geographical coordinates of origin of the studied nettle populations.

Population No.	Location	Voivodeship	Geographical Coordinates		Altitude
			Latitude	Longitude	
1	Bożejewo	Podlaskie	53°11'09.8"N	22°17'45.3"E	104
2	Grądy-Woniecko	Podlaskie	53°09'35.9"N	22°23'29.8"E	113
3	Świniary	Masovian	52°30'26.5"N	22°15'65.2"E	178
4	Sosnówek	Masovian	53°16'57.3"N	20°58'47.6"E	123
5	Łazy	Lubelskie	51°91'71.1"N	22°42'11.5"E	159
6	Wola Sękowa	Subcarpathian	49°30'26.5"N	22°00'30.9"E	408
7	Karlików	Subcarpathian	49°26'06.3"N	22°04'33.8"E	478
8	Szczawne	Subcarpathian	49°24'14.4"N	22°09'02.3"E	394
9	Siedliska	Subcarpathian	49°57'22.3"N	21°56'46.5"E	229
10	Mszana	Subcarpathian	49°49'46.2"N	21°64'84.7"E	453

Table 6. The climatic parameters of 2022.

Months	Temperature (°C)	Rainfall (mm)	Air Humidity (%)	Sun Days
April	8	21.8	69	23
May	16	8.2	62	31
June	21	22.5	66	26
July	23	20.8	60	29
August	25	9.0	55	30
September	16	7.8	60	28
October	14	3.5	69	31

3.2. Chemical Analysis

3.2.1. Analysis of Phenolics by HPLC

The air-dried, powdered and homogenized samples (0.2000 g) were extracted with 250 mL of methanol (Sigma-Aldrich, Poznan, Poland) for 30 min at 40 °C in a sonication bath (Sonic 6, Polsonic, Warsaw, Poland). The extracts obtained were filtered into amber glass vials with a PTFE 0.22 µm pore and 25 mm diameter syringe tip filter (Sigma-Aldrich, Poznan, Poland).

The analytical work was performed using the Shimadzu Prominence chromatograph equipped with the SIL-20AC HT autosampler, SPD-M20A photodiode array detector and LC solution 1.21 SP1 chromatography software (Shimadzu, Kyoto, Japan).

The standards purchased from ChromaDex® (Irvine, CA, USA) were separately dissolved with methanol in 25 mL volumetric flasks according to ChromaDex's Tech Tip 0003: Reference Standard Recovery and Dilution, and used as standard stock solutions.

Diluting 10 µL and 100 µL of standard stock solutions with methanol in 10 mL volumetric flasks, 500 µL and 1000 µL in 5 mL volumetric flasks, as well as 1000 µL in 2 mL volumetric flasks, led to a series of working solutions. By injecting 1 µL of these working solutions and the undiluted stock solution into the column in six replicates ($n = 6$), a six-point calibration curve was prepared. The parameters of the calibration curve were estimated in a spreadsheet (Office 365, Microsoft, Redmond, WA, USA) by analyzing the data obtained from the chromatography software. The signal-to-noise ratio approach were used to determine the limit of detection (LOD) (S/N of 3:1) and the limit of quantification (LOQ) (S/N of 10:1) (Table 7). Separations were achieved on a C18 reversed-phase column packed with 2.6 µm solid-core particles with a porous outer layer,

measuring 100 mm × 4.60 mm (Kinetex™, Phenomenex, Torrance, CA, USA). A binary gradient of deionized water adjusted to pH 2 with phosphoric acid (mobile phase A) and ACN (mobile phase B) at a flow rate of 1.3 mL × min^{−1} was used as follows: 0.00 min—17% B; 0.50 min—17% B; 3.00 min—40% B; 3.10 min—40% B; 3.11 min—17% B; and 5.00 min. The oven temperature was set to 45 °C and the injection volume to 1 µL. The contents of the determined compounds were calculated as mg per 100 g of dry weight (DW) [51].

Table 7. HPLC–DAD validation parameters.

No.	Compound	Precision Intra-Day (CV%)	Precision Inter-Day (CV%)	Calibration Equation	R ² *	Linear Range (mg/mL)	LOD ^a (µg/L)	LOQ ^b (µg/L)
1	5- <i>O</i> -caffeoylquinic acid (Neochlorogenic acid)	0.27	0.78	y = 1809.0 x − 1539.8	0.9999	0.39–392.0	18.39	61.31
2	3- <i>O</i> -Caffeoylquinic acid (Chlorogenic acid)	1.32	1.63	y = 6517.4 x − 12,016.6	0.9997	0.40–39.47	20.97	69.90
3	Caffeoylmalic acid	1.32	1.63	y = 6517.4 x − 12,016.6	0.9997	0.40–39.47	20.97	69.90
4	Quercetin 3- <i>O</i> -rutinoside (Rutinoside)	0.37	0.86	y = 1434.0 x − 5093.0	0.9999	0.90–90.67	7.46	24.88
5	Quercetin 3- <i>O</i> -galactoside (Hyperoside)	1.25	2.14	y = 3435.5 x − 6882.2	0.9999	0.38–38.40	4.12	12.24
6	Cichoric acid	0.18	0.49	y = 3230.70 x + 6882.20	0.9998	0.46–456.96	11.47	38.23

* *n* = 6; ^a The limit of detection; ^b The limit of quantification.

3.2.2. The Content of Chlorophylls and Carotenoids

A total of 0.25 g of air-dried, powdered raw material was extracted by shaking with 30 mL of 80% aqueous acetone for 45 min at a room temperature. The solution obtained was filtered and filled up to 50 mL with the same solvent. The content of chlorophyll a, b and carotenoids was determined according to the method of Lichtenhaler and Welburn [52]. The absorbance was measured using a Shimadzu UV-1280 spectrophotometer (Shimadzu, Kyoto, Japan) at 470, 646 and 663 nm against a control sample of 80% acetone. Calculations of the amount of the pigments were completed by applying the following formula:

$$\text{Chl}_a = \frac{(12.21 \times A_{663} - 2.81 \times A_{646}) \times V}{1000 \times m} \quad (1)$$

$$\text{Chl}_b = \frac{(20.13 \times A_{441} - 5.03 \times A_{663}) \times V}{1000 \times m} \quad (2)$$

$$\text{Car} = \frac{(1000 \times A_{441} - 3.27 \times \text{Chl}_a - 104 \times \text{Chl}_b) \times V \times 100}{229 \times m} \quad (3)$$

A_x—absorbance at x wavelength, *m*—mass of raw material, *V*—volume of used solvent
Chl_a—chlorophyll a, Chl_b—chlorophyll b, Car—carotenoids.

The results of chlorophyll a and chlorophyll b content were expressed in mg/g, and carotenoids in mg/100 g.

3.3. Statistics

The results were statistically analyzed using one-factor analysis of variance (ANOVA) in Statistica 13.4.0 (2017). A post hoc Tukey's (HSD) test with a significance level of $\alpha = 0.05$ was used to compare groups. Homogeneous groups are marked by the same letters.

4. Conclusions

The results obtained in the present study showed that the intraspecific variability of stinging nettle is very high, both between populations and within them. Such a high level of polymorphism corresponds with the richness of the natural resources of the species. However, further investigations focused on the molecular basics of this diversity are needed. The populations examined in our work, especially those distinguished by a high yield of leaves and the content of biologically active compounds (populations no. 2 and 4.) may be used in future breeding and agrotechnical research. It is worth noting that in order to omit the variable character of stinging nettle, the plants selected for cultivation should be reproduced using the vegetative methods (by the cuts) instead of the generative ones (by the seeds). This may provide the homogenous and standardized raw material of known quality that is required by the herbal industry.

Author Contributions: Conceptualization, S.K., Z.W. and K.B.B.; Methodology, S.K.; Validation, J.L.P.; Formal analysis, S.K. and J.L.P.; Investigation, S.K. and K.B.B.; Resources, Z.W. and K.B.B.; Data curation, S.K.; Writing—original draft, S.K. and J.L.P.; Writing—review & editing, O.K., Z.W. and K.B.B.; Visualization, S.K.; Supervision, Z.W.; Project administration, Z.W.; Funding acquisition, K.B.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Part of the studies were supported by the company NBIZ Sp. z o.o., within the contract number 25/INO/SGGW/2021.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

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

Sample Availability: Samples of the raw materials are available from the authors.

References

1. Grosse-Veldmann, B.; Weigend, M. The geometry of gender: Hyper-diversification of sexual systems in *Urtica* L. (Urticaceae). *Cladistics* **2017**, *34*, 131–150.
2. Kręgiel, D.; Pawlikowska, E.; Antolak, H. *Urtica* spp.: Ordinary Plants with Extraordinary Properties. *Molecules* **2018**, *23*, 1664. <https://doi.org/10.3390/molecules23071664>.
3. Dhouiibi, R.; Affes, H.; Ben Salem, M.; Hammami, S.; Sahnoun, Z.; Zeghal, K.M.; Ksouda, K. Screening of pharmacological uses of *Urticadioica* and others benefits. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* **2020**, *150*, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2019.05.008>.
4. Grauso, L.; De Falco, B.; Lanzotti, V.; Motti, R. Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: Botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochem. Rev.* **2020**, *19*, 1341–1377. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09680-x>.
5. Grosse-Veldmann, B.; Weigend, M. Weeding the nettles III: Named nonsense versus named morphotypes in European *Urtica dioica* L. (Urticaceae) *Phytotaxa* **2015**, *208*, 239–260.
6. Cronk, Q.; Hidalgo, O.; Pellicer, J.; Percy, D.; Leitch, I.J. Salix transect of Europe: Variation in ploidy and genome size in willow-associated common nettle, *Urtica dioica* L. *sens.lat.*, from Greece to arctic Norway. *Biodivers Data J.* **2016**, *4*, e10003.
7. Matuszkiewicz, W. *Przewodnik do Oznaczania Zbiorowisk Roślinnych Polski*; Wydawnictwo Naukowe PWN: Warsaw, Poland, 2017.
8. European Pharmacopoeia. *European Directorate for the Quality of Medicines and Health Care (EDQM)*, 10th ed.; Council of Europe: Strasbourg, France, 2019.
9. Upton, R. Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine. *J. Herb. Med.* **2013**, *3*, 9–38. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2012.11.001>.
10. Di Virgilio, N.; Papazoglou, E.G.; Jankauskiene, Z.; Di Lonardo, S.; Praczyk, M.; Wielgusz, K. The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. *Ind. Crops Prod.* **2015**, *68*, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.012>.
11. EMA (European Medicines Agency). Assessment report on *Urtica dioica* L., *Urtica urens* L., folium. Committee on Herbal Medicinal Products. EMA/HMPC/508013/2007. Available online: https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-urtica-dioica-l-urtica-urens-l-folium_en.pdf (accessed on 29 October 2022).
12. Kalia, A.N.; Joshi, B.C.; Mukhija, M. Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L. *Int. J. Green Pharm.* **2014**, *8*, 201. <https://doi.org/10.4103/0973-8258.142669>.

13. Đurović, S.; Pavlić, B.; Šorgić, S.; Popov, S.; Savić, S.; Petronijević, M.; Radojković, M.; Cvetanović, A.; Zeković, Z. Chemical composition of stinging nettle leaves obtained by different analytical approaches. *J. Funct. Foods* **2017**, *32*, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.02.019>.
14. Guil-Guerrero, J.L.; Rebolloso-Fuentes, M.M.; Isasa, M.E.T. Fatty acids and carotenoids from stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *J. Food Compos. Anal.* **2003**, *16*, 111–119.
15. Gül, S.; Demirci, B.; Başer, K.H.C.; Akpulat, H.A.; Aksu, P. Chemical Composition and In Vitro Cytotoxic, Genotoxic Effects of Essential Oil from *Urtica dioica* L. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2012**, *88*, 666–671. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0535-9>.
16. Rafajlovska, V.; Kavrakovski, Z.; Simonovska, J.; Srbinoska, M. Determination of protein and mineral contents in stinging nettle. *Qual. Life Banja Luka APEIRON* **2013**, *7*, 1–2. <https://doi.org/10.7251/QOL1301026R>.
17. Devkota, H.P.; Paudel, K.R.; Khanal, S.; Baral, A.; Panth, N.; Adhikari-Devkota, A.; Jha, N.K.; Das, N.; Singh, S.K.; Chellappan, D.K.; et al. Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.): Nutritional Composition, Bioactive Compounds, and Food Functional Properties. *Molecules* **2022**, *27*, 5219. <https://doi.org/10.3390/molecules27165219>.
18. Lamer-Zarawska, E.; Kowal-Gierczak, B.; Niedworek, J. *Fitoterapia i Leki Roślinne*; Wydawnictwo Lekarskie PZWL: Warsaw, Poland, 2014.
19. Jinous, A.; Razieh, M. Phytochemistry and pharmacologic properties of *Urtica dioica* L. *J. Med. Plant Res.* **2012**, *6*, 5714–5719.
20. Rutto, L.K.; Xu, Y.; Ramirez, E.; Brandt, M. Mineral properties and dietary value of raw and processed stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Int. J. Food Sci.* **2013**, *2013*. <https://doi.org/10.1155/2013/857120>.
21. Külcü, B.D.; Göksu, D.C.; Aydın, S. An investigation of antibacterial and antioxidant activity of nettle (*Urtica dioica* L.), mint (*Mentha piperita*), thyme (*Thyme serpyllum*) and *Chenopodium album* L. plants from Yaylacık Plateau, Giresun, Turkey. *Turk. J. Agric. Food Sci. Technol.* **2019**, *7*, 73–80.
22. Bhusal, K.K.; Magar, S.K.; Thapa, R.; Lamsal, A.; Bhandari, S.; Maharjan, R.; Shrestha, S.; Shrestha, J. Nutritional and pharmacological importance of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A review. *Heliyon* **2022**, *8*, e09717. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09717>.
23. Kosolapov, V.M.; Cherniavskikh, V.I.; Zarudny, V.A.; Mazur, K.; Konieczna, A.; Tseiko, L.; Dumacheva, E.V.; Dumachev, D.V. Observations on the Productivity of Breeding Specimens of *Urtica dioica* L. from European Russian Ecotopes in Comparison with the Breeding Variety under Field Crop Conditions. *Agronomy* **2021**, *12*, 76. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010076>.
24. Napoli, E.; Siracusa, L.; Ruberto, G. New tricks for old guys: Recent developments in the chemistry, biochemistry, applications and exploitation of selected species from the Lamiaceae family. *Chem. Biodivers.* **2020**, *17*, e1900677.
25. Opačić, N.; Radman, S.; Fabek Uher, S.; Benko, B.; Voća, S.; Šićžlabur, J. Nettle Cultivation Practices—From Open Field to Modern Hydroponics: A Case Study of Specialized Metabolites. *Plants* **2022**, *11*, 483. <https://doi.org/10.3390/plants11040483>.
26. Paulauskienė, A.; Tarasevičienė, Ž.; Laukagalis, V. Influence of Harvesting Time on the Chemical Composition of Wild Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Plants* **2021**, *10*, 686. <https://doi.org/10.3390/plants10040686>.
27. Nkhabu, K.; Liphoto, M.; Ntahane, T.; Senoko, K. Genetic Diversity of Stinging Nettle (*Urtica dioica*) by Agro Morphological Markers. *Eur. J. Bot. Plant Sci. Phytol.* **2021**, *6*, 51–68.
28. Jankauskiene, Z.; Gruzdevienė, E. Changes in the productivity of wild and cultivated stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as influenced by the planting density and crop age. *Zemdirb. Agric.* **2015**, *102*, 31–40. <https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.004>.
29. Grevsen, K.; Fretté, X.; Christensen, L.P. Concentration and composition of flavonol glycosides and phenolic acids in aerial parts of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) are affected by high nitrogen fertilization and by harvest time. *Eur. J. Hort. Sci.* **2008**, *73*, 20–27.
30. Biesiada, A.; Wołoszczak, E. The effect of method of plantation establishing on yield and chlorophyll concentration of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) in the first year of cultivation. *Herba Pol.* **2007**, *53*, 85–89.
31. Radman, S.; Fabek, S.; Žutić, I.; Benko, B.; Toth, N. Stinging nettle cultivation in floating hydropon. *Contemp. Agric.* **2014**, *63*, 215–223.
32. Radman, S.; Ivanka, I.; Žutić, I.; Fabek, S.; Jana, J.; Ic, I.; Žlabur, J.; Bo, B.; Benko, B.; Toth, N.; et al. Influence of Nitrogen Fertilization on Chemical Composition of Cultivated Nettle. *Emir. J. Food Agric.* **2015**, *27*, 889–896. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-04-089>.
33. Biesiada, A.; Wołoszczak, E.; Sokół-Łętowska, A.; Kucharska, A.Z.; Nawirska-Olszańska, A. The effect of nitrogen form and dose on yield, chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Herba Pol.* **2009**, *55*, 84–93.
34. Marotti, I.; Frassinetti, E.; Trebbi, G.; Alpi, M.; D’Amen, E.; Dinelli, G. Health-promoting phytochemicals of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) grown under organic farming in Italian environments. *Ind. Crops Prod.* **2022**, *182*, 114903. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114903>.
35. Węglarz, Z.; Karaczum, W. Influence of plantation age and date of harvesting of herb on yield and chemical constitute of the nettle (*Urtica dioica* L.). *Herba Pol.* **1996**, *42*, 88–95.
36. Węglarz, Z.; Rosłon, W. Developmental and chemical differentiation of male and female underground organs of nettle (*Urtica dioica* L.). *Herba Pol.* **2000**, *46*, 324–331.
37. Dumacheva, E.V.; Cherniavskikh, V.I.; Prisiy, A.V.; Vorobyova, O.V.; Gorbacheva, A.A.; Glubsheva, T.N.; Grigorenko, S.E. Studies of biological resources of *Urtica dioica* L. as initial material for breeding. *J. Int. Pharm. Res.* **2018**, *45*, 473.
38. Kohlmünzer, S. *Farmakognozja: Podręcznik Dla Studentów Farmacji*; Wydawnictwo Lekarskie PZWL: Warsaw, Poland, 2017.
39. Pinelli, P.; Ieri, F.; Vignolini, P.; Bacci, L.; Baronti, S.; Romani, A. Extraction and HPLC Analysis of Phenolic Compounds in Leaves, Stalks, and Textile Fibers of *Urtica dioica* L. *J. Agric. Food Chem.* **2008**, *56*, 9127–9132. <https://doi.org/10.1021/jf801552d>.

40. Jeszka-Skowron, M.; Zgoła-Grześkowiak, A.; Frankowski, R.; Grześkowiak, T.; Jeszka, A.M. Variation in the Content of Bioactive Compounds in Infusions Prepared from Different Parts of Wild Polish Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* **2022**, *27*, 4242. <https://doi.org/10.3390/molecules27134242>.
41. Zeković, Z.; Cvetanović, A.; Švarc-Gajić, J.; Gorjanović, S.; Sužnjević, D.; Mašković, P.; Đurović, S. Chemical and biological screening of stinging nettle leaves extracts obtained by modern extraction techniques. *Ind. Crops Prod.* **2017**, *108*, 423–430.
42. Repajić, M.; Cegledi, E.; Kruk, V.; Pedisić, S.; Çinar, F.; Kovačević, D.B.; Žutić, I.; Dragović-Uzelac, V. Accelerated solvent extraction as a green tool for the recovery of polyphenols and pigments from wild nettle leaves. *Processes* **2020**, *8*, 803.
43. Otles, S.; Yalcin, B. Phenolic Compounds Analysis of Root, Stalk, and Leaves of Nettle. *Sci. World J.* **2012**, *2012*, 1–12. <https://doi.org/10.1100/2012/564367>.
44. Lattanzio, V. Phenolic Compounds: Introduction. In: *Natural Product*, Ramawat, K.; Merillon, J.M., Eds; Springer: Berlin, Germany, 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_57.
45. Chowdhary, V.; Alooampil, S.V.; Pandya, R.G.; Tank, J. Physiological function of phenolic compounds in plant defense system. In *Phenolic Compounds—Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications*; Badria, F.A., Blumenberg, M., Eds.; Bod Third Party Titles: London, UK, 2021, 185–205.
46. Biesiada, A.; Kucharska, A.; Sokół-Łętowska, A.; Kuś, A. Effect of the Age of Plantation and Harvest Term on Chemical Composition and Antioxidant Activity of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Ecol. Chem. Eng.* **2010**, *17*, 1061–1068.
47. Kőszegi, K.; Békássy-Molnár, E.; Koczka, N.; Kerner, T.; Stefanovits-Bányai, É. Changes in total polyphenol content and antioxidant capacity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) from spring to autumn. *Period. Polytech. Chem. Eng.* **2020**, *64*, 548–554.
48. Droštinová, L.; Braniša, J.; Bončíková, D.; Jomová, K. Effect of Drying Methods on Content of Some Natural Pigments in *Urtica Dioica* L. and *Melissa Officinalis* L. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* **2015**, *5*, 182–185. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.5.2.182-185>.
49. Santana-Gálvez, J.; Cisneros-Zevallos, L.; Jacobo-Velázquez, D. Chlorogenic acid: Recent advances on its dual role as a food additive and a nutraceutical against metabolic syndrome. *Molecules* **2017**, *22*, 358.
50. Tumolo, T.; Lanfer-Marquez, U.M. Copper chlorophyllin: A food colorant with bioactive properties? *Int. Food Res. J.* **2012**, *46*, 451–459.
51. Recovery & Dilution Procedures. Available online: https://standards.chromadex.com/Documents/Tech%20Tips/techtip0003-recoverydilutionprocedures_nl_pw.pdf (accessed on 2 December 2022).
52. Lichtenthaler, H.; Wellburn, A. Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochem. Soc. Trans.* **1983**, *603*, 591–592.

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.

Received: 2025-07-16

DOI: 10.5604/01.3001.0055.2849

Accepted: 2025-09-10

Available online: 2025-09-30

EXPERIMENTAL PAPER

Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access

SYLWIA STYCZYŃSKA^{1*} , ZENON WĘGLARZ¹ , KAMIL GRABOWSKI¹ , AGATA JĘDRZEJUK² ,
JAROSŁAW L. PRZYBYŁ¹ , KATARZYNA BĄCZEK¹ 

¹Department of Vegetable and Medicinal Plants
Institute of Horticultural Sciences
Warsaw University of Life Sciences
Nowoursynowska 159
02-776 Warsaw, Poland

²Department of Environmental Protection and Dendrology
Institute of Horticultural Sciences
Warsaw University of Life Sciences WULS-SGGW
Nowoursynowska 159
02-776 Warsaw, Poland

*corresponding author: e-mail: sylwia_styczynska@sggw.edu.pl

Summary

Introduction: Common nettle (*Urtica dioica* L.) is one of the most important medicinal plants collected from natural sites. The species prefers to grow in semi shaded stands. Its leaves (pharmacopoeial raw material) are standardised for the content of the sum of chlorogenic and caffeoylmalic acids (according to Ph. Eur. not less than 0.3%). They are recommended for the relief of minor articular pain and as a diuretic, supporting the treatment of urinary tract diseases.

Aim: The aim of the study was to determine the effect of sunlight access to the plant on its development, herb mass, and accumulation of biologically active compounds.

Materials and methods: The study was carried out in the experimental field using one genotype of stinging nettle, multiplied by stem-root cuttings. Three light treatments were applied: full sunlight, 35% shade, and 50% shade. The developmental observations, physiological parameters evaluation, and collection of herbs (three consecutive cuts) were carried out in the second year of plant vegetation. The content of phenolic acids in the herb was determined using HPLC.

Results: The nettle exposed to full sunlight exhibited the highest free proline content and elevated hydrogen peroxide (H₂O₂) levels, which indicates oxidative stress. The mass of the herb was the highest in plants

grown with full access to sunlight, and the lowest in those from deep shade. Chlorophyll a and b content increased with reduced sunlight access. The content of chlorogenic and caffeoylmalic acids was more than three times higher in the herb of plants grown in full sunlight ($1610.25 \text{ mg} \times \text{g DM}^{-1}$) than in deep shade ($483.89 \text{ mg} \times \text{g DM}^{-1}$).

Conclusions: The accumulation of biomass and phenolic acids in nettle herb is clearly related to the sunlight access. The mass of the herb and the content of phenolic acids decrease significantly in limited access of light.

Key words: *stinging nettle, herb, shade, development, stress indicators, chlorophylls, phenolic acids, HPLC*

Słowa kluczowe: *pokrzywa zwyczajna, ziele, zacielenie, rozwój, wskaźniki stresu, chlorofile, kwasy fenolowe, HPLC*

INTRODUCTION

Common nettle (*Urtica dioica* L.) is a perennial species of the *Urticaceae* family widely used in medicine, cosmetology, and food industries, well-known also as a source of fibre and natural dye [1–3]. Pharmacopoeial raw material obtained from this plant are leaves (*Urticae folium*) and roots (*Urticae radix*) [4]. However, the major industrial raw material collected in Poland is the leaves, standardised for the content of the sum of chlorogenic and caffeoylmalic acids (min. 0.3%). Other phenolic acids in these raw materials are caffeic acid and its derivatives. Among flavonoids (up to 2%), the most important are quercetin, kaempferol, catechin, and isorhamnetin. Moreover, nettle leaves are rich in chlorophylls (approximately 2.7%), carotenoids, scopoletin, sitosterol and its derivatives. They also contain fatty acids, including linoleic, and linolenic acids. Nettle leaves are a rich source of vitamins (A, C, K, B group), macroelements (K, Na, Ca, and Mg), some trace elements (e.g., Fe and Zn), and mineral salts, especially silicates (1–4% SiO_2) [2, 4–7]. They exhibit anti-inflammatory, antibacterial, and immunostimulant effects. As a traditional herbal medicinal product, nettle leaves and preparations are recommended for the relief of minor articular pain, and as a diuretic, supporting the treatment of urinary tract diseases. They are also applied in the symptomatic treatment of osteoarthritis, to regulate blood sugar levels, in skin complaints, and for heavy menstrual bleeding. The extracts are described as good “spring tonics”, too [5, 8–12]. Moreover, nettle herb and leaves are used in the food industry for the production of herbal teas and as a food colouring agent, i.e., chlorophyllin (E-141), which is also applied to reduce skin conditions and for the treatment and odour control of wounds [13]. In turn, nettle underground organs (rhizomes with roots) are rich in sterols, fatty acids, phenolic acids, tannins,

lectins, and polysaccharides [2, 7, 14]. According to the HMPC (Committee on Herbal Medicinal Products), as a traditional medicinal product, they are recommended for use in the treatment of benign prostatic hyperplasia (BPH) [14].

A wide range of nettle applications creates the need to obtain significant amounts of its raw materials. In Poland, they are collected mainly from natural sites, which do not meet the needs and expectations of the industry. High variability of raw materials collected from wild-growing populations, especially with respect to biologically active compounds, makes them extremely difficult for industrial processing [15–18]. In addition, on natural sites, the plants are often exposed to contamination that influences the quality of herbal raw materials, and in many cases disqualifies them as medicinal or food products (pesticide residues, heavy metals, and microbiological contaminants). This problem is particularly visible in organic herbal production [19]. It seems that the only way to obtain a raw material of high and established quality is to introduce the species into cultivation. This is clearly indicated by the research carried out at the Warsaw University of Life Sciences (SGGW) on the controlled cultivation of nettle clones.

On natural sites, common nettle occurs in humid forests and thickets (alder and riparian forests) where it forms compact clusters. As an apophyte (a synanthropic species of local origin), it also grows on the edges of roads, pastures, near human settlements as well as in neglected gardens and orchards. The species prefers semi-shaded sites [20]. Among factors taken into account in previous studies on the introduction of nettle into cultivation, the main emphasis was placed on its nutritional and water requirements [6, 21, 22]. The effect of light on its development and yield has not been described yet.

The aim of the study was to determine the effect of different sunlight access to nettle plants on their

development, herb mass, and the accumulation of biologically active compounds. The obtained results will be useful in the evaluation of industrial raw material originating from controlled clonal field cultivation of nettle.

MATERIAL AND METHODS

Field experiment

The study was carried out in the experimental field of the Department of Vegetable and Medicinal Plants, Warsaw University of Life Sciences (WULS-SGGW)

(52°10'18"N; 21°05'23"E). It was established in early May 2022. A year earlier, the soil was enriched with manure at a rate of 30 t ha⁻¹. One genotype of stinging nettle (clone 12M, selected in previous studies) was used for the experiment. Three light treatments were applied: full sunlight (Figures 1 and 2), 35% shade (Figures 3 and 4), and 50% shade (Figures 5 and 6). The stem-root cuttings were planted out in six replicates on plots of 6m² each, at 50 × 50 cm spacing. The plants were subjected to developmental observations and chemical analysis in the second year of their vegetation (2023). The meteorological data during the season are given in Table 1. The soil analyses are presented in Table 2. Solar radiation intensity was measured in mid-July



Figure 1.

Nettle grown with full sunlight access



Figure 2.

Leaves of nettle grown in full sunlight access



Figure 3.

Nettle grown in 35% shade

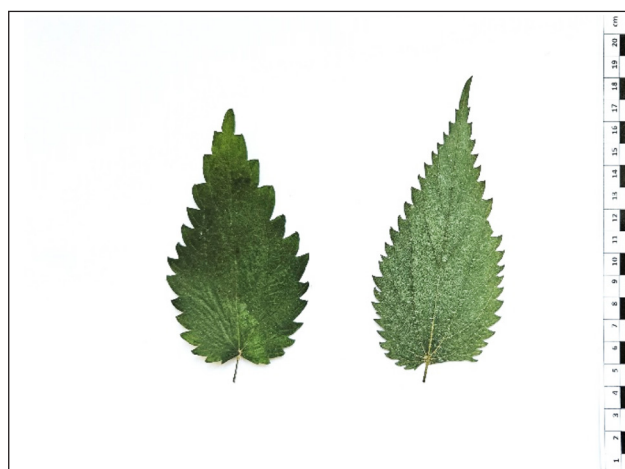


Figure 4.

Leaves of nettle grown in 35% shade



Figure 5.

Nettle grown in 50%

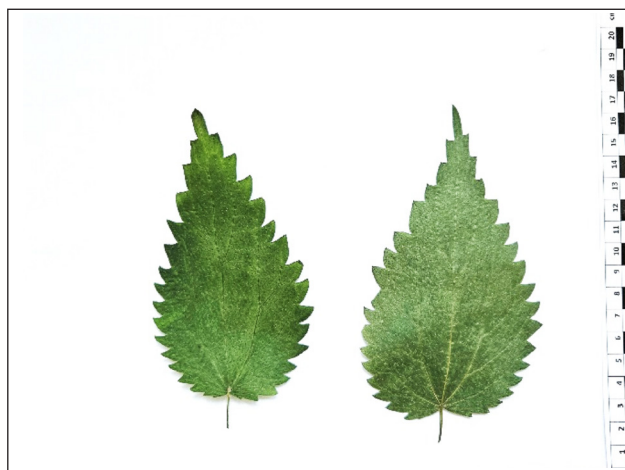


Figure 6.

Leaves of nettle grown in 50% shade

Table 1.

Climatic parameters in the vegetative season 2023*

Feature	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	AVG
T [°C]	1	3	4	7	14	20	20	23	14	12	5	0	10
SH [h]	59	81	212	63	118	136	157	207	129	157	108	37	122
SD	12	15	30	19	24	23	19	25	25	24	22	12	21
RF [mm]	66.5	63.3	43.0	63.6	67.2	52.7	104.6	44.6	48.2	51.4	24.9	66.7	58.1
AH [%]	81	74	54	69	62	66	60	55	60	69	79	87	68

* Source: Warsaw Annual Weather Averages – Poland (worldweatheronline.com); T – temperature; SH – sunshine hours; SD – sun days; RF – rainfall; AH – air humidity

Table 2.

Soil parameters (pH, the content of main nutrients ($\text{mg} \times \text{L}^{-1}$), and salinity ($\text{g KCl} \times \text{L}^{-1}$)

pH	NO_3^-	NH_4^+	P	K	Ca	Mg	Cl	salinity
6.69	32	12	77	102	789	95	<20	0.31

2023 using a phytophotometer (RF-100, Sonopan, Poland), 40 cm above the ground, in five replications on each plot (Table 3).

Developmental traits and yield of raw material

The developmental traits of the plants were measured in mid-June. The number of shoots per square meter, the length of shoots (5 shoots per plant), as

well as the area (cm^2) and mass of the leaves (g) were determined. Leaves for the observations were collected from the middle whorl in half along the main stems (2 leaves per plant).

Raw material, i.e., herb, was harvested three times in subsequent cuts during the season: on May 23, July 26, and September 14, in the vegetative stage of development, when the plants reached a height of approximately 40 cm. The herb was dried at 40°C

Table 3.

Intensity of photosynthetically active irradiation (PAR; $\text{mmol E} \times \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under different light treatments

	Shade level		
	0%	35%	50%
Full sunlight	1.020	0.396	0.209
Cloudy sky	0.440	0.220	0.085

(Memmert UFE 800 dryer, Büchenbach, Germany) and subjected to chemical analysis.

Physiological parameters

The physiological parameters were determined using the leaves collected in mid-June.

Free proline content

Free proline content was determined according to Bates *et al.* [23]. A total of 0.5 g of the sample was homogenised in 10 ml of a 0.3% aqueous sulfosalicylic acid solution. The mixture was centrifuged at 20,000 rpm for 20 minutes. For the analysis, 2 ml of supernatant was mixed with 2 ml of ninhydrin solution and 2 ml of ice-cold acetic acid. The samples were incubated in a water bath at 100°C for 1 hour and subsequently cooled up to room temperature. To facilitate phase separation, 4 ml of toluene was added, and the mixture was shaken for 20 s. Absorbance was measured at 520 nm, with toluene used as a blank.

Hydrogen peroxide (H_2O_2) content

The plant material (0.5 g) was ground in 5 ml of 0.1 M potassium phosphate buffer (pH 7.0), containing 2 mM EDTA and 1% PvP. The mixture was then centrifuged at 20,000 rpm for 20 minutes at 4°C. Then, 0.5 ml of the supernatant was mixed with 0.5 ml of 0.1 M potassium phosphate buffer and 1 ml of 1 M potassium iodide (KI). The mixture was then incubated in the dark for 1 hour at room temperature. The hydrogen peroxide content was determined by measuring the absorbance at 390 nm using a spectrophotometer. The results were calculated based on the standard curve.

Catalase activity (CAT, EC 1.11.1.6)

Catalase activity (CAT, EC 1.11.1.6) was assessed according to Goth [24], based on the direct measurement of the decrease in absorbance of

the test sample caused by the decomposition of hydrogen peroxide (H_2O_2) in the plant extract. The plant material was prepared as described for the determination of H_2O_2 . The supernatant reacted with 1.0 ml of 0.1 M phosphate buffer and 1.0 ml of 65 μM H_2O_2 . After incubation in the dark for 10 minutes, the absorbance was measured at 405 nm using the phosphate buffer as a control.

Content of assimilation pigments and phenolic acids

Chlorophylls and carotenoids content

The analysis was performed using a spectrophotometric method adapted from Lichtenhaler and Welburn [25], further modified by Lichtenthaler and Buschmann [26]. For the extraction, 0.25 g of air-dried, finely ground raw material was shaken in 30 ml of 80% acetone for 45 minutes. The extract was then filtered, transferred quantitatively to a flask, and diluted to a final volume of 50 ml with 80% acetone. Absorbance measurements were taken at 470, 646, and 663 nm.

HPLC analysis (Ph. Eur. 10.0, monograph no 01/2011:1897 – Nettle leaf)

The phenolic acids (chlorogenic, neochlorogenic, caffeoylmalic, and cichoric) were analysed by high-performance liquid chromatography (HPLC). Chromatographic extracts were prepared using ultrasonic extraction (Sonic 6, Polsonic, Warsaw, Poland). Powdered, air-dried raw material (0.2 g) was extracted in 25.0 ml of methanol at 40°C for 30 minutes. The extract was subsequently filtered through a PTFE syringe tip filter (0.22 μm pore size, 25 mm diameter; Sigma-Aldrich, Poznań, Poland). Analysis was performed using Shimadzu Prominence chromatographic system equipped with an SIL-20AC HT autosampler, an SPD-M20A photodiode array detector, and LC Solution 1.21 SP1 chromatography software (Shimadzu, Kyoto, Japan). The methodology for phenolic compound

analysis and its validation has been comprehensively detailed by Koczkodaj *et al.* [18].

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using Statistica 13.4.0 (2017). A one-way analysis of variance (ANOVA) was applied, and homogeneous groups were identified using Tukey's HSD post hoc test at a significance level of $\alpha = 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

The obtained results indicate that limited access of sunlight clearly influences developmental traits of plants, closely related to the yield of nettle, i.e., shoot length and their density on the soil surface, as well as the area and mass of the leaves (tab. 4). The number of shoots per 1 m² in cultivation at 35% shade was about 2 times lower than in full sunlight. In deep shade (50%), this tendency was even more visible. The plants grown in the shade developed leaves with a much larger surface area but with a lower mass per unit. This reaction is an element of the photomorphogenetic mechanism

chlorophyll content per unit of leaf area for better light use [28, 29].

In our study, it was assumed that nettle herb should be collected at a specific developmental stage, in which its quality will be similar to the quality of the leaves themselves. Therefore, each cut was carried out in the vegetative stage of plants, with still soft (not lignified) and green shoots, but already well-developed leaves. With such an assumption, it was possible to obtain three valuable cuts of herb during one vegetation season and then let the plants to enter winter dormancy harmoniously, which is important in view of the long-term use of the plantation. The mass of the herb was closely related to the above-described developmental traits of the plants. It was the highest in plants grown with full access to sunlight, and the lowest in those from deep shade (tab. 5). Regardless of the variant of sunlight access to the plants, the highest herb yield was obtained in the second cut.

In this study, the physiological response of plants to sunlight access was also analysed. This was illustrated by the free proline and hydrogen peroxide contents as well as catalase activity. Our studies showed that nettle plants exposed to full sunlight showed the highest free proline content.

Table 4.

Influence of shade on developmental traits

Investigated parameters	Shade level		
	0%	35%	50%
Number of shoots per m ²	182.10±29.26 A	100.53±15.84 B	70.67±9.55 C
Length of shoots [cm]	41.55±0.70 B	44.45±2.72 AB	45.93±0.98 A
Area of leaves [cm ²]	27.62±1.98 C	47.49±1.15 B	75.76±3.12 A
Mass of 10 dry leaves [g]	1.36±0.05 A	1.04±0.05 B	0.77±0.01 C

Statistically homogeneous groups are designated with the same capital letters.

that enables plants to use light optimally in different environmental conditions [27, 28]. The structure of leaves influences the efficiency of a plant's use of energy and water. Usually, the leaves of shade-tolerant plants grown in full sunlight are smaller but thicker, which limits transpiration and water loss, whereas leaves of the same plants grown in the shade develop a thinner palisade layer and higher

This increase correlated with elevated hydrogen peroxide (H₂O₂) levels, indicating oxidative stress. Conversely, plants grown under 35% and 50% shade conditions displayed reduced proline and H₂O₂ levels, with the lowest catalase activity observed in the 50% shade treatment (tab. 6). These findings may suggest that increased light intensity induces oxidative stress in nettle, leading

Table 5.Influence of shade on dry weight (DW) of herb (g x plant⁻¹)

Harvest	Shade level		
	0%	35%	50%
1 st cut	115.01±31.02	155.03±35.88	42.51±16.96
2 nd cut	287.17±50.11	165.08±25.92	128.68±37.52
3 th cut	243.23±48.44	139.06±15.70	136.52±45.04
Cumulative weight	645.41±179.86 A	459.17±109.83 B	307.71±97.37 C

Table 6.

Influence of shade on selected plants' stress indicators

Investigated parameters	Shade level		
	0%	35%	50%
Free proline [$\mu\text{mol} \times \text{g FW}^{-1}$]	0.23±0.01 A	0.17±0.01 B	0.19±0.01 B
Hydrogen peroxide [$\text{nmol} \times \text{g FW}^{-1}$]	40.93±8.35 A	21.67±2.02 B	17.17±1.68 B
Catalase activity [$\text{nkat} \times \text{g FW}^{-1}$]	2040.53±71.50 A	2130.12±171.43 A	1793.68±371.28 B

Statistically homogeneous groups are designated with the same capital letters.

to enhanced proline production. Its accumulation in plants is well-documented as a response to various environmental stresses, including changes in solar radiation. Proline serves multiple protective roles, such as osmotic adjustment, stabilisation of proteins and membranes, and scavenging of reactive oxygen species (ROS). The extent and nature of its accumulation can vary depending on the type and intensity of light exposure [30, 31]. For instance, in herbaceous peony, strong light conditions led to increased leaf proline content, particularly in wild species. This accumulation is likely a response to high leaf temperatures and the need to maintain cell turgor pressure and water retention [32]. Similarly, in *Arabidopsis thaliana*, high-intensity light ($550 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) resulted in up to a threefold increase in proline levels compared to standard light conditions [33]. In the same study on herbaceous peony, slight shading resulted in lower leaf proline content across all tested materials. In *Arabidopsis*, darkness or far-red light did not promote proline accumulation significantly, showing that specific

light wavelengths are crucial for activating proline biosynthesis pathways. Under full sunlight, plants experience elevated oxidative stress due to increased production of reactive oxygen species (ROS), including H_2O_2 . This triggers an upregulation of antioxidant defence mechanisms, i.e., catalases [34]. Increased H_2O_2 levels in plant tissues serve both as a signalling molecule and a potential source of oxidative damage. To mitigate the harmful effects of excess H_2O_2 , plants enhance the activity of catalase enzymes. For instance, under 100% light intensity, catalase activity can increase significantly, aiding in the detoxification of H_2O_2 [35]. Under shading, lower light intensity results in decreased ROS generation, including H_2O_2 , due to diminished photosynthetic activity and catalase activity.

Nettle leaves and herb are used in the pharmaceutical and food industries. The challenge of producing nettle products results not only from the availability of raw materials but primarily from their quality, determined by the content of biologically active compounds. In the case of nettle,

the main emphasis is placed on the accumulation of assimilative pigments and phenolic acids. Due to the naturally high content of pigments, nettle herb is collected for the extraction of chlorophyll, which is used as a green dye in food and medicines, both in pure form (E-140) and in a copper complex (chlorophyllin – E-141) [36–38]. In our study, chlorophyll a and b content increased with reduced sunlight access and was the highest in plants cultivated in 50% shade (tab. 7). Moreover, both in moderate and deep shade, their content was relatively stable and did not depend on the harvest term (cut), while in full access to sunlight, the content increased from the first to the last harvest. This was mainly related to the changes in the content of chlorophyll b. An increase in the chlorophyll levels in subsequent cuts of common nettle was previously observed also by Biesiada and Wołoszczak [39] and Biesiada *et al.*

[22, 40]. In our study, no effect of sunlight access on the content of carotenoids in nettle herb was found.

As it was mentioned above, the quality of nettle raw material is related to the content of phenolic acids. These substances play an important role in plant survival and development strategies. They are produced in response to biotic and abiotic stresses, such as high light intensity, too low or too high temperatures, or drought [41–44]. According to the European Pharmacopeia, nettle leaves are standardised on the content of the sum of chlorogenic and caffeoylmalic acids; it should not be lower than 0.3% [4]. In relation to these requirements, the herb collected in our study, at the specific developmental stage of the plants, appears to meet the quality criteria valid for nettle leaves (tab. 8). The content of chlorogenic and caffeoylmalic acids in the herb of plants grown in full sunlight was

Table 7.

Influence of shade on assimilative pigments

Investigated parameters	Harvest	Shade level		
		0%	35%	50%
Chlorophyll a [$\text{mg} \times \text{g DW}^{-1}$]	1 st cut	2.70±0.01 b	2.79±0.06 a	2.81±0.05 a
	2 nd cut	2.75±0.04 ab	2.84±0.01 a	2.84±0.03 a
	3 th cut	2.79±0.03 a	2.83±0.05 a	2.90±0.01 a
	Average	2.74±0.05 B	2.82±0.05 A	2.85±0.05 A
Chlorophyll b [$\text{mg} \times \text{g DW}^{-1}$]	1 st cut	1.76±0.14 a	1.72±0.23 a	2.47±0.26 a
	2 nd cut	1.92±0.23 a	2.16±0.12 a	2.25±0.06 a
	3 th cut	2.13±0.09 a	2.18±0.05 a	2.25±0.06 a
	Average	1.94±0.22 B	2.02±0.26 AB	2.32±0.19 A
Chlorophyll a+b [$\text{mg} \times \text{g DW}^{-1}$]	1 st cut	4.46±0.12 b	4.51±0.28 a	5.28±0.31 a
	2 nd cut	4.67±0.20 ab	5.00±0.13 a	5.09±0.06 a
	3 th cut	4.92±0.10 a	5.01±0.09 a	5.15±0.05 a
	Average	4.68±0.24 B	4.84±0.30 AB	5.17±0.20 A
Carotenoids [$\text{mg} \times \text{g DW}^{-1}$]	1 st cut	1.08±0.06 a	1.22±0.14 a	1.06±0.28 a
	2 nd cut	1.09±0.11 a	1.12±0.03 a	1.09±0.01 a
	3 th cut	1.10±0.02 a	1.07±0.06 a	1.12±0.03 a
	Average	1.09±0.07 A	1.14±0.11 A	1.09±0.16 A

Statistically homogeneous groups are designated with the same small letters between consecutive cuts, and with the same capital letters between the shade levels.

Table 8.

Influence of shade on content of phenolics

Investigated parameters	Harvest	Shade level		
		0%	35%	50%
Neochlorogenic acid [mg × 100 g DW ⁻¹]	1 st cut	731.06±259.95 a	353.81±22.01 a	166.20±51.15 a
	2 nd cut	317.09±16.07 ab	197.87±32.02 b	123.93±72.71 ab
	3 rd cut	159.28±40.97 b	96.17±25.47c	93.69±39.10 b
	Average	402.48±285.14 A	215.95±109.30 AB	127.94±59.86 B
Chlorogenic acid [mg × 100 g DW ⁻¹]	1 st cut	618.96±119.89 a	358.38±52.90 a	152.54±9.60 a
	2 nd cut	514.12±56.26 a	135.37±25.18 b	46.41±31.75 b
	3 rd cut	71.94±55.87 b	18.09±4.79 c	37.47±45.06 b
	Average	401.68±251.16 A	170.61±145.16 B	78.80±57.05 B
Caffeoylmalic acid [mg × 100 g DW ⁻¹]	1 st cut	1390.09±168.20 a	822.40±75.50 a	537.22±74.16 a
	2 nd cut	1326.80±224.32 a	714.96±140.89 a	323.10±194.05 b
	3 rd cut	908.83±127.60 a	212.04±71.66 b	354.95±312.05 b
	Average	1208.57±277.89 A	583.13±284.62 B	405.09±233.80 B
Cichoric acid [mg × 100 g DW ⁻¹]	1 st cut	116.39±5.67 a	57.86±3.91 a	43.21±6.24 a
	2 nd cut	120.46±15.36 a	44.85±0.53 b	54.97±21.28 a
	3 rd cut	59.55±18.35 b	98.89±6.28 b	72.58±15.48 a
	Average	98.80±31.22 A	67.20±23.42 B	56.92±18.24 B
Sum of chlorogenic and caffeoylmalic acids [mg × 100 g DW ⁻¹]	1 st cut	2009.05±219.57 a	1180.78±86.06 a	689.76±64.56 a
	2 nd cut	1840.92±212.04 a	850.32±118.46 b	369.51±225.44 b
	3 rd cut	980.77±170.09 b	230.13±76.05 c	392.42±357.06 b
	Average	1610.25±493.49 A	753.74±405.41 B	483.89±277.76 B

Statistically homogeneous groups are designated with the same small letters between consecutive cuts, and with the same capital letters between the shade levels.

more than threefold higher (1610.25 mg × 100 g DW⁻¹) than in herb of plants from 50% shade (483.89 mg × 100 g DW⁻¹). Despite this, the raw material still met standardisation requirements. Regardless of the sunlight access, the highest amount of both acids was found in the herb from the first cut and the lowest in the last one. In addition to the above-mentioned acids, the content of neochlorogenic and cichoric acid in nettle herb was also assessed. The pattern in their accumulation was similar to that described for chlorogenic and caffeoylmalic acids. The high content of phenolic acids observed in our study, especially in the nettle grown in

full access of sunlight, may be related to their function in protecting shade-tolerant plants against photoinhibition. Such responses are often noticed in plants where both specific enzymes (e.g. catalase) and phenolic substances serve as antioxidants. As of agricultural practice, this phenomenon can be used to obtain more valuable raw material intended for industrial processing.

To sum up, the accumulation of biomass and phenolic acids in nettle herb is clearly related to the sunlight access to the plants. It was shown that nettle exposed to full sunlight exhibits the highest proline content, together with elevated H₂O₂ levels,

which indicate oxidative stress. Conversely, plants grown in the shade display reduced proline and H_2O_2 levels. These physiological changes influence plant development, including leaf structure, mass, and the accumulation of phenolic acids. As natural antioxidants, phenolics protect the photosynthetic system against photoinhibition, which was earlier shown for other species [41–44]. This specific plant reaction to stress may be used as a strategy in agricultural practice to improve yield and the quality of herbal raw materials. However, these results, even though very clear, should be considered preliminary due to the one-year time limit of the study.

CONCLUSION

The results obtained in this study clearly show that nettle, despite its ecological preferences, can be cultivated in full sunlight and, if the proper cultivation regime is maintained, it is possible to obtain a high yield of herb of the expected quality.

Ethical approval:

The conducted research is not related to either human or animal use.

Conflict of interest:

Authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Di Virgilio N, Papazoglou EG, Jankauskiene Z, Di Leonardo S, Praczyk M, Wielgus K. The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. *Ind Crops Prod* 2015; 68:42–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.012>
- Grauso L, De Falco B, Lanzotti V, Motti R. Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: Botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Rev* 2020; 19(6):1341–77. <http://dx.doi.org/10.1007/s11101-020-09680-x>
- Toplicean IM, Ianuș RD, Datcu AD. An overview on nettle studies, compounds, processing and the relation with circular bioeconomy. *Plants* 2024; 13(24):3529. <http://dx.doi.org/10.3390/plants13243529>
- European Pharmacopoeia. 10th ed. Strasbourg. Council of Europe, European Directorate for the Quality of Medicines and Health Care, 2019.
- EMA (European Medicines Agency). European Union herbal monograph on *Urtica dioica* L.; *Urtica urens* L., *herba*. EMA/HMPC/261302/2022. Available from: <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/herbal/urticae-herba> (accessed 14 July 2025).
- Joshi BC, Mukhija M, Kalia AN. Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L. *Int J Green Pharm* 2014; 8(4). <http://dx.doi.org/10.22377/ijgp.v8i4.414>
- Kregiel D, Pawlikowska E, Antolak H. *Urtica* spp: Ordinary plants with extraordinary properties. *Molecules* 2018; 23:1664. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23071664>
- Gülçin I, Küfrevioğlu ÖY, Oktay M, Büyükkuroğlu ME. Antioxidant, antimicrobial, antiulcer, and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *J Ethnopharmacol* 2004; 90(2–3):205–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028>
- Carvalho MFD, Gervásio RCRG, Araújo ECC, Almeida JC, Guimarães AL. Phytochemical profile of cansaço nettle extracts and their bioactivities on cabbage caterpillar. *Pesqui Agropecu Bras* 2017; 52:841–8. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2017001000003>
- Zemmouri H, Sekiou O, Ammar S, El Feki A, Bouaziz M, Messarah M et al. *Urtica dioica* attenuates ovalbumin-induced inflammation and lipid peroxidation of lung tissues in rat asthma model. *Pharm Biol* 2017; 55(1):1561–8. <http://dx.doi.org/10.1080/13880209.2017.1310905>
- De Vico G, Guida V, Carella F. *Urtica dioica* (Stinging Nettle): A neglected plant with emerging growth promoter/immunostimulant properties for farmed fish. *Front Physiol* 2018; 9:285. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2018.00285>
- Külcü DB, Gökçýtık CD, Ayдын S. An investigation of antibacterial and antioxidant activity of nettle (*Urtica dioica* L.), mint (*Mentha piperita*), thyme (*Thymus serpyllum*) and *Chenopodium album* L. plants from Yaylacık Plateau, Giresun, Turkey. *Turk J Agric Food Sci Technol* 2019; 7(1):73–80. <http://dx.doi.org/10.24925/turjaf.v7i1.73-80.2123>
- Kavalali G. The chemical and pharmacological aspects of *Urtica*. In: Kavalali G, ed. *Urtica*. Boca Raton. CRC Press, 2003:41–55.

14. EMA (European Medicines Agency). European Union herbal monograph on *Urtica dioica* L.; *Urtica urens* L., *radix*. EMA/HMPC/322646/2023. Available from: <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/herbal/urticae-radix> (accessed 14 July 2025).
15. Canter PH, Thomas H, Ernst E. Bringing medicinal plants into cultivation: Opportunities and challenges for biotechnology. *Trends Biotechnol* 2005; 23:180-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.02.002>
16. Napoli E, Siracusa L, Ruberto G. New tricks for old guys: Recent developments in the chemistry, biochemistry, applications and exploitation of selected species from the *Lamiaceae* family. *Chem Biodiversity* 2020; 17.3: e1900677. <http://dx.doi.org/10.1002/cbdv.201900677>
17. Kosolapov VM, Cherniavskih VI, Zarudny VA, Mazur K, Konieczna A, Tseiko L et al. Observations on the productivity of breeding specimens of *Urtica dioica* L. from European Russian ecotopes in comparison with the breeding variety under field crop conditions. *Agronomy* 2021; 12:76. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12010076>
18. Koczkodaj S, Przybył JL, Kosakowska O, Węglarz Z, Bączek KB. Intraspecific variability of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* 2023; 28:1505. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules28031505>
19. Węglarz Z, Bączek K. *Dziko rosnące rośliny lecznicze źródłem surowców ekologicznych*. Warszawa. Wydawnictwo SGGW, 2020.
20. Bączek K, Kapler A. Pokrzywa zwyczajna – *Urtica dioica* L. In: Dostatny DE, Dajdok Z, eds. *Dziki gatunki pokrewne roślinom uprawnym występujące w Polsce. Lista, zasoby i zagrożenia*. Radzików – Poznań 2020:303–305.
21. Opačić N, Radman S, Fabek Uher S, Benko B, Voća S, Šic Žlabur J. Nettle cultivation practices – From open field to modern hydroponics: A case study of specialized metabolites. *Plants* 2022; 11(4):483. <http://dx.doi.org/10.3390/plants11040483>
22. Biesiada A, Wołoszczak E, Sokół-Łętowska A, Kucharska AZ, Nawirska-Olszańska A. The effect of nitrogen form and dose on yield, chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Herba Pol* 2009; 55(3):84–93.
23. Bates LS, Waldren RP, Teare ID. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 1973; 39(1):205–7. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060>
24. Goth L. A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clin Chim Acta* 1991; 196(2–3):143–51. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-8981\(91\)90067-M](http://dx.doi.org/10.1016/0009-8981(91)90067-M)
25. Lichtenthaler H, Wellburn A. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc Trans* 1983; 603:591–2.
26. Lichtenthaler HK, Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Curr Protoc Food Anal Chem* 2001; 1(1):F4.3.1–8. <http://dx.doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
27. Mahanty DS. Physiology of shade loving plants: A comparative analysis with shade avoiding plants. *Indian J Appl Pure Biol* 2023; 38:536–46.
28. Middleton L. Shade-tolerant flowering plants: Adaptations and horticultural implications. In: *Proceedings of the XX Int Eucarpia Symp, Section Ornamentals, Strategies for New Ornamentals-Part I*; 2001 Jul; 552:95–102. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.552.9>
29. Givnish TJ. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Funct Plant Biol* 1988; 15(2):63–92. <http://dx.doi.org/10.1071/PP9880063>
30. Meena M, Divyanshu K, Kumar S, Swapnil P, Zehra A, Shukla V et al. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon* 2019; 5(12). <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02952>
31. Kijowska-Oberc J, Dylewski Ł, Ratajczak E. Proline concentrations in seedlings of woody plants change with drought stress duration and are mediated by seed characteristics: a meta-analysis. *Sci Rep* 2023; 13(1):15157. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-43341-1>

32. Xie A, Lv M, Zhang D, Shi Y, Yang L, Yang X et al. Effects of slight shading in summer on the leaf senescence and endogenous hormone and polyamine contents in herbaceous peony. *Sci Rep* 2023; 13(1):18714. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-46192-y>
33. Kovács H, Aleksza D, Baba AI, Hajdu A, Király AM, Zsigmond L et al. Light control of salt-induced proline accumulation is mediated by ELONGATED HYPOCOTYL 5 in *Arabidopsis*. *Front Plant Sci* 2019; 10:1584. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.01584>
34. Sharova EI, Smolikova GN, Medvedev SS. Determining hydrogen peroxide content in plant tissue extracts. *Russ J Plant Physiol* 2023; 70:216. <http://dx.doi.org/10.1134/S1021443724603744>
35. Hashemifar Z, Sanjarian F, Naghdi Badi H et al. Varying levels of natural light intensity affect the phyto-biochemical compounds, antioxidant indices and genes involved in the monoterpene biosynthetic pathway of *Origanum majorana* L. *BMC Plant Biol* 2024; 24:1018. <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-024-05739-5>
36. Bown D. *Encyclopaedia of herbs and their uses*. London. Dorling Kindersley, 1995.
37. Tumolo T, Lanfer-Marquez UM. Copper chlorophyllin: A food colorant with bioactive properties? *Int Food Res J* 2012; 46:451–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.10.031>
38. Ozola B, Augspole I, Duma M. Pigments content in different processed edible wild plants. In: *Proceedings of the 13th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food, Nutrition, Well-Being”*; 2019 May; Jelgava, Latvia. 2019:2–3. <http://dx.doi.org/10.22616/FoodBalt.2019.051>
39. Biesiada A, Wołoszczak E. The effect of method of plantation establishing on yield and chlorophyll concentration of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) in the first year of cultivation. *Herba Pol* 2007; 3(53).
40. Biesiada A, Kucharska A, Sokół-Łętowska A, Kuś A. Effect of the age of plantation and harvest term on chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Ecol Chem Eng* 2010; 17(9):1061–8.
41. Valentão P, Dias A, Ferreira M, Silva B, Andrade PB, Bastos ML et al. Variability in phenolic composition of *Hypericum androsaemum*. *Nat Prod Res* 2003; 17(2):135–40. <http://dx.doi.org/10.1080/1057563021000060149>
42. Rahman A, Albadrani GM, Waraich EA, Awan TH, Yavağ Y, Hussain S. Plant secondary metabolites and abiotic stress tolerance: overview and implications. In: *Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms*. 2023.
43. Karimi E, Jaafar HZ, Ghasemzadeh A, Ibrahim MH. Light intensity effects on production and antioxidant activity of flavonoids and phenolic compounds in leaves, stems and roots of three varieties of *Labisia pumila* Benth. *Aust J Crop Sci* 2013; 7(7):1016–23.
44. Zhao HJ, Zou Q. Protective effects of exogenous antioxidants and phenolic compounds on photosynthesis of wheat leaves under high irradiance and oxidative stress. *Photosynthetica* 2002; 40(4):523–7. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024339716382>

11. Oświadczenia współautorów

Warszawa, 30.03.2026

Sylwia Styczyńska
sylwia_styczynska@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Koczkodaj, S.; Przybył, J.L.; Kosakowska, O.; Węglarz, Z.; Bączek, K.B. 2023. Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* 2023, 28, 1505 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na opracowaniu koncepcji badań, opracowaniu metodologii, prowadzeniu badań, opracowaniu danych, analizie formalnej, wizualizacji wyników oraz przygotowaniu pierwotnej wersji manuskryptu.

Podpis



Warszawa, 30.03.2026

Jarosław Leon Przybył
jaroslaw_przybyl@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Koczodaj, S.; Przybył, J.L.; Kosakowska, O.; Węglarz, Z.; Bączek, K.B. 2023. Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* 2023, 28, 1505 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na walidacji metod badawczych, analizie formalnej wyników oraz opracowaniu wersji pierwotnej manuskryptu.


Podpis

Załącznik nr 2 – Wzór oświadczenia o współautorstwie

Warszawa, 30.03.2026

Olga Kosakowska
olga_kosakowska@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Koczkodaj, S.; Przybył, J.L.; Kosakowska, O.; Węglarz, Z.; Bączek, K.B. 2023. Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* 2023, 28, 1505 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na redakcji manuskryptu.



Podpis

Warszawa, 30.03.2026

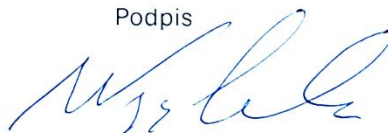
Zenon Węglarz
zenon_weglarz@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Koczkodaj, S.; Przybył, J.L.; Kosakowska, O.; Węglarz, Z.; Baczek, K.B. 2023. Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). Molecules 2023, 28, 1505 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na zapewnieniu zasobów, udziale w opracowaniu i redakcji manuskryptu, sprawowaniu nadzoru nad realizacją badań oraz zarządzaniu projektem.

Podpis



Warszawa, 30.03.2026

Katarzyna Bączek
katarzyna_baczek@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Koczodaj, S.; Przybył, J.L.; Kosakowska, O.; Węglarz, Z.; Bączek, K.B. 2023. Intraspecific Variability of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Molecules* 2023, 28, 1505 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na opracowaniu koncepcji badań, prowadzeniu badań, zapewnieniu zasobów, udziale w opracowaniu i redakcji manuskryptu oraz pozyskiwaniu finansowania.



Podpis

Warszawa, 13.04.2026

Sylvia Styczyńska
sylvia_styczynska@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Styczyńska S., Węglarz Z., Grabowski K., Jędrzejuk A., Przybył J.L., Baczek K. 2025. Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. Herba Polonica, 71(3), 65-76 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na opracowaniu koncepcji badań, opracowaniu metodologii, analizie formalnej, prowadzeniu badań, opracowaniu danych, wizualizacji wyników oraz przygotowaniu pierwotnej wersji manuskryptu.

Podpis



Warszawa, 13.04.2026

Zenon Węglarz
zenon_weglarz@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Styczyńska S., Węglarz Z., Grabowski K., Jędrzejuk A., Przybył J.L., Bączek K., 2025. Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. Herba Polonica, 71(3), 65-76 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na zapewnieniu zasobów, udziale w opracowaniu i redakcji manuskryptu, sprawowaniu nadzoru nad realizacją badań oraz zarządzaniu projektem.

Podpis


Warszawa, 13.04.2026

Kamil Grabowski
kamil_grabowski@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Styczyńska S., Węglarz Z., Grabowski K., Jędrzejuk A., Przybył J.L., Baczek K., 2025, Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access, Herba Polonica, 71(3), 65-76 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na realizacji badań.

Podpis

Kamil Grabowski

Załącznik nr 2 - Wzór oświadczenia o współautorstwie

Warszawa, 13.04.2026

Agata Jędrzejuk
agata_jedrzejuk@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Styczyńska S., Węglarz Z., Grabowski K., Jędrzejuk A., Przybył J.L., Bączek K. 2025. Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. Herba Polonica. 71(3). 65-76 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na prowadzeniu badań, zapewnieniu zasobów, udziale w opracowaniu i redakcji manuskryptu.

Podpis

Agata Jędrzejuk

Załącznik nr 2 – Wzór oświadczenia o współautorstwie

Warszawa, 13.04.2026

Jarosław Leon Przybył
jaroslaw_przybyl@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Styczyńska S., Węglarz Z., Grabowski K., Jędrzejuk A., Przybył J.L., Bączek K., 2025. Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. Herba Polonica. 71(3), 65-76 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na walidacji metod badawczych, analizie formalnej wyników oraz opracowaniu wersji pierwotnej manuskryptu.



Podpis

Warszawa, 13.04.2026

Katarzyna Bączek
katarzyna_baczek@sggw.edu.pl

Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy Styczyńska S., Węglarz Z., Grabowski K., Jędrzejuk A., Przybył J.L., Bączek K., 2025. Yield and quality of nettle herb under diverse sunlight access. Herba Polonica. 71(3), 65-76 mój indywidualny udział w jej powstaniu polegał na przygotowaniu koncepcji badań, zapewnieniu zasobów, udziale w opracowaniu i redakcji manuskryptu oraz pozyskiwaniu finansowania.



Podpis