

Rada Doskonałości Naukowej 00-901 Warszawa, pl. Defilad 1 Dział Kancelaryjny WPLYNĘŁO (RPW)	
04.05.2026	
Znak sprawy: DRKN.26.400.71.2026	Zał.
Podpis: 	



SCP/2576/2026
ID: 17900300043742



RPW/5254/2026
Data: 2026-05-04

**Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w
Warszawie**

ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA

za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Katarzyna Ciągła

(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Biologii,

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin

(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 04.05.2026

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie **nauk ścisłych i przyrodniczych**
w dyscyplinie **nauki biologiczne**

Określenie osiągnięć naukowych będących podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego pod wspólnym tytułem: **Współdziałanie bodźca temperaturowego i dostępności wody z ROS i RNS w regulacji metabolizmu spoczynkowych zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.).**

Wnioskuje - na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. 2023 poz. 742, z późn. zm.) - aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym**¹

Jako wybrany podmiot habilitujący wskazuję Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Informuję, że zapoznałem się z treścią Regulaminu nadawania stopnia doktora habilitowanego w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i zobowiązuję się do jego przestrzegania.

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest jednostka habilitująca oraz Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.

Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 - 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

¹ Niepotrzebne skreślić

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

Szczegółowe informacje dotyczące przetwarzania danych osobowych przez SGGW znajdują się w załączniku nr 15 do Regulaminu nadawania stopnia doktora habilitowanego w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

.....*Katarzyna Ciołka*.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

1. formularz danych wnioskodawcy;
2. kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora;
3. autoreferat;
4. wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny;
5. oświadczenia habilitanta i współautorów publikacji wykazanych jako osiągnięcie naukowe, w przypadku o którym mowa § 6 ust. 2 i 3.

AUTOREFERAT

Dr Katarzyna Ciąćka

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin

Instytut Biologii

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Spis treści

1. Imię i Nazwisko	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	4
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	5
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	5
4.1. Tytuły osiągnięć	5
4.2. Wykaz prac stanowiących osiągnięcia naukowe.....	6
4.3. Wprowadzenie.....	11
4.4. Cel naukowy i zakres badań, stanowiących omawiane osiągnięcia naukowe	20
4.4.1. ROS i RNS w ustępowaniu spoczynku nasion jabłoni (<i>Malus domestica</i> Borkh.) stratyfikowanych w chłodzie.....	20
4.4.2. NO - cząsteczka niwelująca symptomy starzenia nasion jabłoni (<i>Malus domestica</i> Borkh.) indukowanego podwyższoną temperaturą i dostępnością wody	29
4.4.3. Podsumowanie wyników opisanych w wykazanych osiągnięciach naukowych, ich znaczenie oraz możliwości zastosowania	38
4.5. Cytowana literatura	39
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej44	
5.1. Aktywność naukowa w University of Manitoba, Faculty of Agricultural and Food Sciences w ramach stażu przed uzyskaniem stopnia doktora	44
5.2. Aktywność naukowa w Potchdam University, Institute of Biology and Biochemistry w ramach stażu podoktorskiego	46
5.3. Informacje o współpracy z innymi jednostkami naukowymi	46
5.4. Informacje o działaniach naukowych prowadzonych w jednostce macierzystej, których tematyka nie została włączona w osiągnięcia naukowe.....	46
5.4.1. NO i poliaminy w regulacji spoczynku i kiełkowania nasion.....	46
5.4.2. Modyfikacje makrocząsteczek - karbonylacja i nitracja jako regulator stanu fizjologicznego nasion	47
5.4.3. Mechanizmy działania związków allelopatycznych i fitotoksycznych.....	47
5.4.4. Fitoglobiny - regulatory stężenia NO w roślinach w warunkach zalania.....	48
5.4.5. NO jako cząsteczka łagodząca skutki starzenia nasion.....	48
5.4.6. Rola glutationu w sygnalizacji podczas odpowiedzi roślin na stres biotyczny	48
5.4.7. ROS i RNS jako cząsteczki regulujące proces trawienia u roślin mięsożernych	49
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	49
6.1. Promotorstwo pomocnicze prac doktorskich	49

6.2. Promotorstwo prac dyplomowych	49
6.3. Działalność dydaktyczna.....	51
6.4. Działalność organizacyjna i popularyzująca naukę.....	55
7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej	58
7.1. Udział w projektach badawczych.....	58
7.2. Pełnienie funkcji edytora i recenzenta	59
7.3. Członkostwo w Towarzystwach naukowych	60
7.4. Ukończone kursy i szkolenia	60
7.5. Nagrody za osiągnięcia	60

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko

Katarzyna Ciąčka

Nazwisko używane w publikacjach w j. angielskim: Ciacka

Nazwisko panieńskie: Budnicka

ORCID: 0000-0003-1485-2901

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2009 licencjat	Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie 2006–2009 studia I stopnia, Biologia, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i uzyskanie tytułu licencjata. Praca licencjacka pt. „Intensywność oddychania siewek jabłoni rozwijających się ze spoczynkowych zarodków krótkotrwale traktowanych NO i HCN” , wykonana pod kierunkiem dr Agnieszki Gniazdowskiej-Piekarskiej (obecnie prof. dr hab.) w Katedrze Fizjologii Roślin SGGW w Warszawie (obecnie Katedrze Botaniki i Fizjologii Roślin, Instytutu Biologii, SGGW w Warszawie)
2011 magister	Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie 2009–2011 studia II stopnia, Biologia, specjalizacja Biologia Roślin, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Praca magisterska pt. „Wpływ NO i HCN na zawartość białek utlenionych w kielkujących zarodkach jabłoni (<i>Malus domestica</i> Borkh.)” wykonana pod kierunkiem dr Agnieszki Gniazdowskiej-Piekarskiej (obecnie prof. dr hab.) w Katedrze Fizjologii Roślin SGGW w Warszawie (obecnie Katedrze Botaniki i Fizjologii Roślin, Instytutu Biologii, SGGW w Warszawie)

2017	Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
doktor nauk biologicznych w dyscyplinie biologia	2011–2016 studia III stopnia, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Rozprawa doktorska pt. „Udział poliamin i tlenu azotu w regulacji spoczynku i kielkowania zarodków jabłoni (<i>Malus domestica</i> Borkh.)” wykonana pod kierunkiem dr hab. Agnieszki Gniazdowskiej-Piekarskiej (obecnie prof. dr hab.) w Katedrze Fizjologii Roślin SGGW w Warszawie (obecnie Katedrze Botaniki i Fizjologii Roślin, Instytutu Biologii, SGGW w Warszawie)

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

- 01-04-2017 – 08-10-2017 Samodzielny Biolog, Katedra Fizjologii Roślin, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 09-10-2017 – 30-09-2018 Asystent Naukowo-Dydaktyczny, Katedra Fizjologii Roślin, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 1-10-2018 – 30-09-2019 Adiunkt Badawczo-Dydaktyczny, Katedra Fizjologii Roślin, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 1-10-2019 – obecnie Adiunkt Badawczo-Dydaktyczny, Katedra Fizjologii Roślin (obecnie Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin), Instytut Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Tytuły osiągnięć

Przeprowadzone badania i ich wyniki, stanowiące **Osiągnięcia naukowe**, będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, prowadzone były w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki biologiczne. Wyniki badań, dokumentujące **Osiągnięcia naukowe 1** oraz **2** zostały przedstawione w 2 cyklach tematycznie spójnych, oryginalnych publikacji pod wspólnym tytułem:

Współdziałanie bodźca temperaturowego i dostępności wody z ROS i RNS w regulacji metabolizmu spoczynkowych zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)

Osiągnięcie naukowe 1

ROS i RNS w ustępowaniu spoczynku nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)

stratyfikowanych w chłodzie

Osiągnięcie naukowe 2

NO - cząsteczka niwelująca symptomy starzenia nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)

indukowanego podwyższoną temperaturą i dostępnością wody

4.2. Wykaz prac stanowiących osiągnięcia naukowe

Osiągnięcia naukowe stanowią zbiór powiązanych tematycznie oryginalnych prac naukowych, przyporządkowanych – zgodnie z ich zakresem tematycznym – **do Osiągnięcia naukowego 1** oraz **Osiągnięcia naukowego 2**. W uzupełnieniu dołączono opis indywidualnego wkładu autorki w przygotowanie poszczególnych prac.

Osiągnięcie naukowe 1

ROS i RNS w ustępowaniu spoczynku nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)

stratyfikowanych w chłodzie

Publikacja 1

H1.1. Ciacka K., Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska U. 2025. Stratification of apple seeds in the context of ROS metabolism. *Journal of Plant Physiology*, 304: 1-12. DOI: 10.1016/j.jplph.2024.154407.

*IF₂₀₂₅ = 4,1, #MNiSW₂₀₂₅ = 100 pkt, *IF₂₀₂₆ = 4,1, ##MNiSW₂₀₂₆ = 100 pkt, cyt. = 2

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań oraz zaprojektowaniu wszystkich doświadczeń. Odpowiadałam za przygotowanie materiału badawczego, przeprowadzenie doświadczeń oraz optymalizację warunków eksperymentalnych.

Współuczestniczyłam w oznaczaniu zawartości aminokwasów oraz związków fenolowych, sprawując jednocześnie nadzór nad przebiegiem doświadczeń. Byłam odpowiedzialna za walidację uzyskanych wyników oraz ich weryfikację pod kątem poprawności i powtarzalności. Zajmowałam się zarządzaniem danymi, obejmującym ich porządkowanie, kontrolę jakości oraz przygotowanie do analizy. Analizowałam i interpretowałam wszystkie wyniki badań oraz przygotowałam ich wizualizację. Opracowałam koncepcję oraz wykonałam ilustrację podsumowującą. Byłam głównym autorem manuskryptu, pełniąc również funkcję autora korespondencyjnego oraz przygotowałam odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Publikacja 2

H1.2. Ciacka K., Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska U. 2022. Cold stratification-induced dormancy removal in apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds is accompanied by an increased glutathione pool in embryonic axes. *Journal of Plant Physiology*, 274:1-10. DOI: 10.1016/j.jplph.2022.153736.

*IF₂₀₂₂ = 4,3, [#]MNiSW₂₀₂₂ = 100 pkt, *IF₂₀₂₆ = 4,1, ^{##}MNiSW₂₀₂₆ = 100 pkt, cyt. = 9

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy polegał na wiodącym uczestnictwie w opracowaniu koncepcji badań, zaprojektowaniu doświadczeń oraz optymalizacji protokołów badawczych. Odpowiadałam za przygotowanie materiału do badań oraz przeprowadziłam większość eksperymentów. Współuczestniczyłam w oznaczeniu zawartości MDA i całkowitej zdolności antyoksydacyjnej, jednocześnie koordynując przebieg doświadczeń. Odpowiadałam za walidację uzyskanych wyników. Zajmowałam się również zarządzaniem danymi, w tym ich porządkowaniem, kontrolą jakości oraz przygotowaniem do analizy. Analizowałam i interpretowałam wyniki badań. Odpowiadałam za wizualizację wyników. Opracowałam koncepcję oraz przygotowałam graficznie figurę podsumowującą. Miałam wiodący udział w przygotowaniu zarówno pierwszej, jak i ostatecznej wersji manuskryptu oraz pełniłam funkcję autora korespondencyjnego, uczestnicząc w przygotowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Publikacja 3

H1.3. Ciacka K., Tyminski M., Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. 2026. Carbonylation-dependent protein degradation is a prerequisite for dormancy alleviation of apple (*Malus domestica* Borkh.) seed. *Plant Physiology and Biochemistry*, 231: 111014. DOI: 10.1016/j.plaphy.2025.111014.

*IF₂₀₂₆ = 5,7, ^{##}MNiSW₂₀₂₆ = 70 pkt, cyt. = 0

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań. Zaprojektowałam, zoptymalizowałam i przeprowadziłam większość doświadczeń. Przygotowywałam lub współuczestniczyłam w przygotowaniu materiału badawczego. Współuczestniczyłam przy planowaniu i realizacji doświadczenia dotyczącego identyfikacji białek karbonylowanych, nadzorując przebieg tego zadania. Odpowiadałam za weryfikację i potwierdzenie poprawności wyników oraz za kompleksowe zarządzanie danymi, obejmujące ich uporządkowanie, kontrolę jakości i przygotowanie do analizy. Analizowałam, interpretowałam i wizualizowałam wyniki badań. Opracowałam koncepcję graficzną i wykonałam figurę podsumowującą. Jestem również autorem głównym i korespondencyjnym manuskryptu oraz przygotowałam odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Publikacja 4

H1.4. Ciacka K., Krasuska U., Otulak-Kozieł K., Gniazdowska A. 2019. Dormancy removal by cold stratification increases glutathione and S-nitrosoglutathione content in apple seed. Plant Physiology and Biochemistry, 138: 112–120. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.02.026.

*IF₂₀₁₉ = 3,72, [#]MNiSW₂₀₁₉ = 70 pkt, *IF₂₀₂₆ = 5,7, ^{##}MNiSW₂₀₂₆ = 70 pkt, cyt. = 16

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy polegał na współudziale przy opracowaniu koncepcji badań, współudziale przy zaprojektowaniu doświadczeń, optymalizacji większości protokołów do badań. Przygotowywałam materiał badawczy. Odpowiadałam za wykonanie większości eksperymentów. Współuczestniczyłam w doświadczeniu dotyczącym lokalizacji GSNO w osiach zarodkowych. Odpowiadałam za weryfikację uzyskanych wyników pod kątem ich powtarzalności, zarządzałam danymi. Odpowiadałam za wizualizację wyników, współuczestniczyłam przy analizie i interpretacji wyników badań. Byłam również autorem korespondencyjnym, przygotowałam odpowiedzi na pytania i uwagi zawarte w recenzjach przedłożonego manuskryptu. Publikacja powstała w ramach realizacji dwóch grantów, w tym grantu PRELUDIUM5 2013/09/N/NZ9/01619, którego byłam autorem i kierownikiem, a badania zostały częściowo sfinansowane z tego projektu.

Publikacja 5

H1.5. Ciacka K., Staszek P., Sobczynska K., Krasuska U., Gniazdowska A. 2022. Nitric Oxide in seed biology. International Journal of Molecular Sciences, 23: 14951. DOI: 10.3390/ijms232314951.

*IF₂₀₂₂ = 5,6, #MNiSW₂₀₂₂ = 140 pkt, *IF₂₀₂₆ = 4,9, ##MNiSW₂₀₂₆ = 140 pkt, cyt. = 31

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy polegał na współudziale przy opracowaniu koncepcji manuskryptu, w tym sformułowaniu kluczowych założeń, określeniu zakresu przeglądu literatury oraz zaplanowaniu struktury artykułu. Przygotowałam pierwotną wersję manuskryptu, opracowując główne fragmenty tekstu i nadając artykułowi spójną narrację. Brałam udział w redakcji tekstu, koncentrując się na spójności, czytelności i poprawności stylistycznej, a także opracowaniu rycin. Odpowiadałam za nadzór naukowy nad całością pracy. Byłam głównym autorem manuskryptu oraz autorem korespondencyjnym, jak również przygotowałam odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Osiągnięcie naukowe 2

NO - cząsteczka niwelująca symptomy starzenia nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) indukowanego podwyższoną temperaturą i dostępnością wody

Publikacja 6

H2.1. Ciacka K., Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska U. 2022. Nitric oxide as a remedy against oxidative damages in apple seeds undergoing accelerated ageing. Antioxidants, 11:70. DOI: 10.3390/antiox11010070.

*IF₂₀₂₂ = 7,0, #MNiSW₂₀₂₂ = 100 pkt, *IF₂₀₂₆ = 6,6, ##MNiSW₂₀₂₆ = 100 pkt, cyt. = 14

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy polegał na współudziale przy opracowaniu koncepcji badań, współudziale przy zaprojektowaniu i przeprowadzaniu doświadczeń. Pełniłam funkcję współkoordynatora przebiegu doświadczeń. Współuczestniczyłam w przygotowaniu materiału badawczego. Odpowiadałam za weryfikację i potwierdzenie poprawności wyników. Uczestniczyłam w analizie i interpretacji wyników przedstawionych w manuskrypcie, w tym analizie statystycznej. Współuczestniczyłam w przygotowaniu pierwotnej wersji manuskryptu, a następnie edycji tekstu, a także sporządziłam większą część rycin, w tym rycinę

podsumowującą. Byłam autorem głównym i korespondencyjnym manuskryptu, przygotowałam także odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Publikacja 7

H2.2. Ciacka K., Krasuska U., Staszek P., Wal A., Zak J., Gniazdowska A. 2020. Effect of nitrogen reactive compounds on aging in seed. *Frontiers in Plant Science*, 11:1011. DOI: 10.3389/fpls.2020.01011.

*IF₂₀₂₀ = 5,754, [#]MNiSW₂₀₂₀ = 100 pkt, *IF₂₀₂₆ = 4,8, ^{##}MNiSW₂₀₂₆ = 100 pkt, cyt. = 57

Mój wkład w powstanie niniejszego artykułu obejmował współudział w opracowaniu koncepcji pracy, w tym współtworzenie ram tematycznych, głównych założeń oraz struktury przeglądu literaturowego. Współuczestniczyłam w przygotowaniu pierwotnej wersji manuskryptu. Ponadto współuczestniczyłam w redakcji tekstu, dbając o przejrzystość, logiczny układ i poprawność stylistyczną prezentowanych treści. Współuczestniczyłam w przygotowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów.

Publikacja 8

H2.3. Ciacka K., Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska K. 2020. Carbonylation of proteins—an element of plant ageing. *Planta*, 252: 12. DOI: 10.1007/s00425-020-03414-1.

*IF₂₀₂₀ = 4,116, [#]MNiSW₂₀₂₀ = 100 pkt, *IF₂₀₂₆ = 3,8, ^{##}MNiSW₂₀₂₆ = 100 pkt, cyt. = 57

Mój wkład w powstanie niniejszego artykułu obejmował współtworzenie koncepcji manuskryptu, w tym określenie głównych założeń i struktury tekstu. Współuczestniczyłam w napisaniu manuskryptu oraz w redakcji i przygotowaniu ostatecznej wersji artykułu, koncentrując się na czytelności i spójnej prezentacji informacji. Współuczestniczyłam również w opracowaniu odpowiedzi na recenzje manuskryptu, uwzględniając uwagi recenzentów i dopracowując finalną wersję artykułu przed publikacją.

Publikacja 9

H2.4. Ciacka K., Tyminski M., Wal A., Gniazdowska A., Krasuska U. 2022. Nitric oxide—an antidote to seed aging modifies *meta*-tyrosine content and expression of aging-linked genes in apple embryos. *Frontiers in Plant Science*, 13:1-16. DOI: 10.3389/fpls.2022.929245.

*IF₂₀₂₂ = 5,6, [#]MNiSW₂₀₂₂ = 100 pkt, *IF₂₀₂₆ = 4,8, ^{##}MNiSW₂₀₂₆ = 100 pkt, cyt. = 9

Mój wkład w powstanie niniejszej pracy obejmował współtworzenie koncepcji badań oraz opracowanie metodologii eksperymentów, w tym projektowanie doświadczeń i przygotowanie szczegółowych protokołów badawczych. Współuczestniczyłam w realizacji eksperymentów oraz zajmowałam się zarządzaniem danymi, w tym ich porządkowaniem, kontrolą jakości i przygotowaniem do analizy. Byłam odpowiedzialna za opracowanie pierwotnej wersji manuskryptu, a także aktywnie współuczestniczyłam w jego redakcji i przygotowaniu finalnej wersji, dbając o spójność treści, logiczny układ oraz klarowną prezentację wyników. Jestem głównym autorem manuskryptu i autorem korespondencyjnym, a także przygotowałam odpowiedzi na uwagi recenzentów.

****Dane dotyczące wskaźników IF** pochodzą z Journal Citation Reports z bazy Clarivate (<https://jcr.clarivate.com/>) zgodnie z rokiem opublikowania pracy oraz z rokiem ostatniej oceny bazy Clarivate (oznaczone jako IF₂₀₂₆)*

***#Dane dotyczące wskaźników MNiSW/MEiN** pochodzą z wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych wraz z przypisaną liczbą punktów stanowiącego załącznik do Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego lub wykazu stanowiącego załącznik do Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki, zgodnie z rokiem opublikowania danej pracy.*

***##Dane dotyczące wskaźników MEiN** pochodzą z wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych wraz z przypisaną liczbą punktów z dnia 5 stycznia 2024 r. ogłoszonego na podstawie art. 267 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85, 374, 695, 875 i 1086 oraz z 2021 r. poz. 159) stanowiący załącznik do Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki.*

4.3. Wprowadzenie

Nasiona pełnią istotną rolę w rozprzestrzenianiu gatunków, utrzymaniu ich ciągłości, w tym zachowaniu gatunków *ex situ* w bankach genowych. Szereg cech morfologicznych i fizjologicznych nasion umożliwia roślinom przetrwanie w niekorzystnych warunkach środowiskowych, kolonizację nowych obszarów (możliwość rozprzestrzeniania nasion z udziałem wiatru, wody lub zwierząt) i skoordynowanie czasu kiełkowania (Linkies i wsp., 2010; Saatkamp i wsp., 2019; Lachabrouilli i wsp., 2021; Bailly, 2023). Rozprzestrzenianie

nasion odgrywa również kluczową rolę w zwiększeniu różnorodności genetycznej w ekosystemach (Saatkamp i wsp., 2019; Linkies i wsp., 2020). We współczesnym świecie, nasiona mają także duże znaczenie gospodarcze. Są one zarówno głównym celem, jak i środkiem produkcji, niezbędnym do uzyskania plonu. Ze względu na wysoką zawartość skrobi, białek i/lub lipidów pełnią istotną rolę w odżywianiu zwierząt i człowieka (Gupta i wsp., 2022).

Wyróżnia się nasiona typu ortodoks i recalcitrant (Kurek i wsp., 2019; Matilla, 2021). Do nasion typu ortodoksyjnego należą nasiona jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) (Lewak, 2011). Zawartość wody w nasionach tego typu wynosi około 8-10% (Matilla, 2021), przy czym pozostają żywotne. Dehydratacja nasion ma miejsce w trakcie ostatniego etapu ich dojrzewania na roślinie matecznej; to właśnie podczas tej fazy nasiona nabywają tolerancję na niską zawartość wody w strukturach komórkowych (Bewley i Black, 1994). Kwas abscysynowy (ABA) to fitohormon, który odpowiada za indukcję i podtrzymanie spoczynku nasion. Uczestniczy on w kształtowaniu tolerancji na desykację poprzez ścisłą kontrolę syntezy białek późnej embriogenezy (LEA), termostabilnych białek szoku cieplnego (HSP) oraz nieredukujących oligosacharydów (Matilla, 2021). Cukry te poprzez oddziaływania hydrofilowe stabilizują strukturę błon oraz białek. Ponadto zwiększają lepkość cytoplazmy podczas odwodnienia, indukując przejście cytoplazmy ze stanu płynnego do stanu szklanego. Powstanie stanu szklanego zapobiega krystalizacji cytoplazmy i tym samym uszkodzeniom struktur komórkowych (Sun i Leopold, 1993). Zwiększenie lepkości cytoplazmy również obniża mobilność molekuł i ich dyfuzję, tym samym spowalniając procesy komórkowe i obniżając aktywność metaboliczną (Bailly, 2023 i cytowane tam prace). Dlatego też utrzymanie tego stanu w nasionach ortodoksyjnych wydaje się być podstawą zachowania żywotności podczas ich przechowywania, szczególnie w niesprzyjających temu warunkach.

Nasiona typu ortodoks starzeją się dość wolno, stąd istnieje konieczność opracowania laboratoryjnych metod przyspieszonego starzenia, w celu zbadania mechanizmów tego procesu (Rajjou i Debeaujon, 2008). Głównymi czynnikami wpływającymi na żywotność nasion są temperatura oraz stopień uwodnienia (Kurek i wsp., 2019). Wzrost temperatury oraz podwyższenie zawartości wody w nasionach stymulują metabolizm, indukując procesy prowadzące do utraty ich żywotności. Procesy te obejmują m.in. zmiany w strukturze biomolekuł (kwasów nukleinowych, białek, lipidów), dezintegrację błon komórkowych, zaburzenia podstawowych procesów metabolicznych i gospodarki fitohormonalnej oraz innych regulatorów wzrostu, a także programowana śmierć komórki (Rajjou i Debeaujon 2008; Kumar i wsp., 2015; Kurek i wsp., 2019; Pirredda i wsp., 2023).

Brak kiełkowania nasion nawet w dogodnych warunkach środowiska nie zawsze oznacza utratę ich żywotności. Po utworzeniu nasion, w końcowych etapach dojrzewania może być indukowany stan spoczynku, stanowiący cechę umożliwiającą przetrwanie gatunków w niekorzystnych warunkach środowiskowych (Bailly, 2023). Spoczynek nasion jest tymczasową niezdolnością nasion do kiełkowania. U nasion niektórych gatunków roślin jest on na tyle głęboki, że blokuje procesy prowadzące do rozwinięcia siewek, nawet w sprzyjających warunkach środowiskowych (Finch-Savage i Leubner-Metzger, 2006). Zatem spoczynek może stanowić cechę wrodzoną nasion, gdy jest determinowany przez cechy genotypowe (spoczynek pierwotny). Z drugiej strony, spoczynek może wynikać ze zdolności nasion do reagowania na zmiany warunków zewnętrznych. Gdy warunki środowiskowe nie sprzyjają kiełkowaniu, spoczynek może stanowić cechę nabytą (spoczynek wtórny) (Kermode, 2005). Nasiona jabłoni charakteryzują się spoczynkiem fizycznym i głębokim fizjologicznym (Ciążka i wsp., 2018). Spoczynek fizyczny warunkowany jest nieprzepuszczalnymi dla wody i gazów warstwami okrywy nasiennej. Zakłada się, że spoczynek fizjologiczny objawiający się brakiem zdolności do kiełkowania nasion i/lub nieprawidłowo wykształconymi siewkami, spowodowany jest brakiem równowagi między cząsteczkami stanowiącymi stymulatory i inhibitory kiełkowania takimi jak fitohormony: ABA i gibereliny (GA), czy niewystarczającym nagromadzeniem cząsteczek sygnałowych (Finch-Savage i Leubner-Metzger, 2006; Bailly i wsp., 2008; Krasuska i wsp., 2015). Wyizolowane ze spoczynkowych nasion jabłoni zarodki nie są zdolne do kiełkowania, a rozwijające się siewki wykazują zaburzony wzrost korzenia zarodkowego oraz anomalie rozwojowe liścieni, związane z ich nierównomiernym wzrostem, a także zazielenieniem (Gniazdowska i wsp., 2010).

Ustępowanie spoczynku nasion jabłoni jest wynikiem stratyfikacji w chłodzie (Lewak, 2011). Zabieg ten stosowany jest głównie dla nasion roślin strefy umiarkowanej, szczególnie tych, które kiełkują wiosną i potrzebują okresu obniżonej temperatury do ustąpienia spoczynku (Finch-Savage i Leubner-Metzger, 2006). Stratyfikacja nasion jabłoni w chłodzie przeprowadzana jest w 5°C w wilgotnym podłożu, np. piasku (Lewak, 2011; Dębska i wsp., 2013). Dla nasion różnych gatunków roślin czas zabiegu oraz temperatura mogą się różnić. Wcześniejsze badania pokazały, że po przeprowadzeniu stratyfikacji w chłodzie przez 90 dni i następnie wyizolowaniu zarodków z nasion jabłoni, wszystkie zarodki kiełkują po 24 h kultury, co przejawia się wydłużeniem osi zarodkowej, a następnie wygięciem grawitropowym (Dębska i wsp., 2013). Dodatkowo wykazano, że stratyfikacja w cieple (25°C) nie przerywa spoczynku fizjologicznego zarodków jabłoni, powoduje natomiast obniżenie liczby kiełkujących zarodków i zwiększenie liczby siewek o nieprawidłowym, asymetrycznym wzroście liścieni

(Dębska i wsp., 2013). Przedłużona stratyfikacja w cieple odpowiada warunkom przyspieszonego starzenia.

Podczas stratyfikacji nasion jabłoni w chłodzie zmiany biochemiczne dotyczą zawartości fitohormonów i innych cząsteczek regulatorowych, do których zalicza się reaktywne formy tlenu (ROS) i azotu (RNS) (Dębska i wsp., 2013), wspólnie w literaturze określane mianem RONS. Zmiany zawartości tych reaktywnych cząsteczek obserwuje się również podczas starzenia nasion tego gatunku (Dębska i wsp., 2013).

ROS i RNS w fizjologii nasion

W organizmach roślinnych, w tym także w nasionach, wykazano zależność charakteru pełnionej funkcji ROS i RNS od ich stężenia. Cząsteczki te mogą wykazywać stymulujący jak i niekorzystny wpływ na fizjologię nasion, co zostało opisane przez Bailly i wsp. (2008) i Krasuską i wsp. (2015) w postaci modeli „okna oksydacyjnego” i „drzwi nitrozacyjnych”. Modele te wskazują, że indukcja kiełkowania ma miejsce, gdy zawartość ROS i RNS w nasionach osiągnie określony próg. W takim optymalnym stężeniu cząsteczki te pełnią funkcje sygnałowe, co związane jest między innymi z regulacją stanu redoks w komórkach (Bailly i wsp., 2008; Krasuska i wsp., 2015).

Stres nitro-oksydacyjny stanowi wynik niekontrolowanego nagromadzenia ROS i RNS, będącego przejawem wzmożonej produkcji i niewystarczającego zmiatania cząsteczek. ROS i RNS w nadmiarze prowadzą do zaburzenia równowagi oksydacyjno-redukcyjnej w komórkach roślin (Noctor i wsp., 2018), w tym również w nasionach (Bailly i wsp., 2008; Krasuska i wsp., 2015). Utrzymanie właściwego stężenia ROS i RNS w nasionach jest niezbędne do niezakłóconego przebiegu podstawowych procesów fizjologicznych (Bailly, 2019; Bykova i Igamberdiev, 2025).

Rodzaje ROS, miejsce ich powstawania i rola w nasionach

Najczęściej analizowanymi cząsteczkami zaliczanymi do ROS w nasionach są nadtlenek wodoru (H_2O_2), anionorodnik ponadtlenkowy ($O_2^{\cdot -}$) i rodnik hydroksylowy ($\cdot OH$) (Bailly, 2019). Za najbardziej szkodliwy, ze względu na najsilniejsze właściwości utleniające, uznaje się $\cdot OH$. H_2O_2 charakteryzuje się największą stabilnością chemiczną spośród ROS, dlatego tej cząsteczce najczęściej przypisuje się kluczową rolę w regulacji procesów zachodzących w nasionach (Bailly, 2023).

W nasionach suchych produkcja ROS jest rzadziej badana ze względu na trudności techniczne (większość metod analitycznych wymaga użycia wodnych roztworów i buforów). W suchych nasionach tlen jest najprawdopodobniej obecny w wolnych przestrzeniach, które

tworzą przestrzenie powietrzne (Cloetens i wsp., 2006). W obecności tlenu w nasionach mogą zachodzić chemiczne (nieenzymatyczne) reakcje powstawania ROS. Lipidy przy niskiej wilgotności są szczególnie podatne na utlenianie i mogą być źródłem innych wolnych rodników. Natomiast wyższa wilgotność zmniejsza ekspozycję lipidów na tlen (Bailly, 2019).

Kibinza i wsp. (2006) wykazali, że aktywność metaboliczna w osiach zarodkowych słonecznika (*Helianthus annuus* L.) może być wznowiona, gdy wilgotność tkanek osiągnie ok. 10%. Przejście z nieenzymatycznej do enzymatycznej produkcji ROS może nastąpić już przy pobraniu niewielkich ilości wody przez suche nasiona. W uwodnionych nasionach głównym źródłem ROS są mitochondria. Zakłada się, że ok. 2–3% tlenu zużywanego przez te organella jest przekształcane do $O_2^{\cdot-}$, głównie w wyniku przenoszenia elektronów przez kompleksy I i II. Następnie $O_2^{\cdot-}$ jest przekształcany do H_2O_2 (Murphy, 2009). W wyniku reakcji Fentona H_2O_2 reaguje z Fe^{2+} , tworząc $\cdot OH$ (Bailly, 2019 i opisane tam prace).

Najczęściej badanym źródłem ROS w kiełkujących nasionach są oksydazy NADPH (ang. respiratory burst oxidase homolog; RBOH) (Bailly, 2019). Przenoszą one elektron przez błonę komórkową z cytoplazmatycznego NADPH na tlen. W reakcji tej tworzony jest $O_2^{\cdot-}$, który ulega szybkiej dysmutacji do H_2O_2 . W nasionach RBOH mogą odgrywać rolę w odbiorze sygnałów środowiskowych sprzyjających kiełkowaniu (Bailly, 2019). W tworzeniu ROS w apoplaście biorą też udział oksydazy aminowe i poliaminowe, które katalizując proces deaminacji diamin i poliamin, jednocześnie produkują H_2O_2 (Kärkönen i Kuchitsu, 2015; Bailly, 2019). Zmiany aktywności oksydazy poliaminowej odnotowano podczas kiełkowania zarodków jabłoni stymulowanego tlenkiem azotu (NO) (Krasuska i wsp., 2014).

Podczas kiełkowania zaobserwowano zróżnicowaną produkcję ROS wzdłuż osi zarodków wyizolowanych z nasion rzodkiewnika pospolitego (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) (Bailly, 2019). Na wczesnych etapach kiełkowania (po 6 h imbibicji) ROS zlokalizowane są głównie w merystemie osi zarodkowej. Po czym obserwuje się zwiększanie zawartości tych reaktywnych cząsteczek w kolejnych strefach osi zarodkowej. Po 24 h imbibicji stwierdza się znaczący wzrost zawartości ROS w strefie wydłużania hipokotyłu. Sugeruje to, że strefa merystematyczna inicjuje sygnał prowadzący do zwiększenia produkcji ROS wzdłuż osi zarodkowej podczas kiełkowania nasion, co ostatecznie prowadzi do wydłużenia komórek w obszarze hipokotyłu (Bailly, 2019). Badania prowadzone na poziomie komórkowym wykazały, że podczas pierwszych etapów kiełkowania ROS zlokalizowane są głównie w cytoplazmie, odgrywając funkcję sygnałową. Następnie wzrost ich zawartości obserwuje się w jądrze komórkowym, gdzie biorą udział w regulacji transkrypcji genów. Ostatecznie produkcja ROS zwiększa się w apoplaście, gdzie cząsteczki te uczestniczą w rozluźnianiu struktury ściany

komórkowej, przyczyniając się do elongacji komórek podczas ostatnich etapów kiełkowania (Leymarie i wsp., 2012).

Regulacja zawartości ROS zależy od elementów enzymatycznych i nieenzymatycznych tworzących system antyoksydacyjny (Bailly, 2023). System enzymatyczny składa się przede wszystkim z dysmutazy ponadtlenkowej (SOD), katalazy (CAT), enzymów cyklu glutationowo-askorbinianowego, w tym peroksydazy glutationowej (GPX) oraz reduktazy glutationowej (GR). SOD katalizuje reakcję, w której $O_2^{\cdot-}$ jest przekształcany do H_2O_2 . CAT to enzym występujący w peroksysomach, regulujący zawartość H_2O_2 , redukując go do cząsteczki wody. Ważną rolę w regulacji zawartości H_2O_2 mogą spełniać również peroksydazy klasy III (POX), które wykorzystują przy tym różne substraty jako źródło elektronów (Bailly, 2019). Ponadto mogą one uczestniczyć w tworzeniu ROS. W obecności $O_2^{\cdot-}$, POX przekształcają H_2O_2 do $\cdot OH$, promując elongację komórek (Liszkay i wsp., 2003). Istotną rolę pełnią także związki drobnocząsteczkowe, takie jak askorbinian, glutation (GSH) czy tokoferole (Bailly, 2023). Glutation jest tripeptydem, który zawdzięcza swoją aktywność biologiczną w detoksykacji ROS grupie sulfhydrylowej. Uczestnicząc w reakcji katalizowanej przez GPX, glutation w formie zredukowanej (GSH) jako donor elektronów redukuje H_2O_2 , a zarazem sam podlega utlenieniu do GSSG. Odtworzenie puli GSH w komórce jest realizowane poprzez reakcję katalizowaną przez GR (Hasanuzzaman i wsp., 2017).

W kontekście kiełkowania nasion pozytywne działanie ROS jest związane ze zmianą ekspresji genów poprzez regulację aktywności czynników transkrypcyjnych (Bailly, 2023). Dowiedziono roli ROS w modulacji zawartości fitohormonów oraz wpływu na ich ścieżki transdukcji sygnału (Bailly, 2023; Bykova i Igamberdiev, 2025). Ponadto selektywna modyfikacja makrocząsteczek, w tym białek i kwasów nukleinowych, z udziałem ROS stanowi nieodzowny element ustępowania spoczynku i kiełkowania nasion. Karbonylacja jest przykładem ROS-zależnej nieodwracalnej modyfikacji białek, która kieruje białka do degradacji z udziałem proteasomu 20S. Modyfikacja ta sprzyja mobilizacji białek jako materiałów zapasowych podczas kiełkowania nasion (Job i wsp., 2005; Oracz i Stawska, 2016). Postuluje się również, że nadprodukcja ROS prowadzi do hydroksylacji lub utleniania fenyloalaniny, skutkując tworzeniem *meta*-tyrozyny (*m*-Tyr), która jest uważana za toksyczną (Rodgers i Shiozawa, 2008). Do tej pory udział *m*-Tyr podczas ustępowania spoczynku i kiełkowania nasion nie został zbadany. Dodatkowo w wyniku dojrzewania posprzętnego niełupek słonecznika odnotowano zwiększenie utleniania kwasów nukleinowych, w tym mRNA (Bazin i wsp., 2011), co może wpływać na syntezę białek. Utlenianie komponentów ściany komórkowej z kolei prowadzi do rozluźniania jej struktury, co ma szczególne znaczenie

podczas ostatnich etapów kiełkowania, ułatwiając wzrost elongacyjny komórek (Müller i wsp., 2009).

Z drugiej strony, nadmierne stężenie ROS jest niekorzystne i prowadzi do nieodwracalnych zmian komórkowych, skutkując starzeniem nasion (Oracz i wsp., 2007; Kurek i wsp., 2019). Uszkodzenia oksydacyjne są powszechnie uznawane za główne czynniki przyczyniające się do pogarszania jakości nasion (Bailly i wsp., 2008; Kurek i wsp., 2019). W trakcie starzenia nasion nadmiar ROS i wzrost uszkodzeń struktur wiąże się najczęściej z obniżeniem zdolności antyoksydacyjnej w komórkach. Taką zależność odnotowano np. dla postarzanych nasion soi zwyczajnej (*Glycine max* L.), ziarniaków owsa zwyczajnego (*Avena sativa* L.) czy niełupkę słonecznika (Kibinza i wsp., 2011; Xin i wsp., 2014, Xia i wsp., 2015; Mao i wsp., 2018).

Peroksydacja lipidów błonowych, której przejawem jest nagromadzenie dialdehydu malonowego (MDA), prowadzi do zaburzenia integralności błon komórkowych, co silnie wiąże się z procesem starzenia nasion, jak wykazano np. w pracy Parkhey i wsp. (2012) dla nasion damarzyku mocnego (*Shorea robusta* C. F. Gaertn.). W badaniach z wykorzystaniem nasion soi, Lin i wsp. (2022) wykazali związek starzenia nasion z obniżeniem aktywności CAT, obniżeniem zawartości nieenzymatycznych antyoksydantów oraz wzrostem zawartości MDA. Z kolei interakcja ROS z mRNA może prowadzić do przedwczesnego zakończenia translacji, powstawania błędów podczas tego procesu, co w kolejnych etapach skutkuje tworzeniem białek niefunkcjonalnych lub ich degradacją (Katsuya-Gaviria i wsp., 2020). Szczególnie istotny wydaje się być jednak wpływ ROS na regulację aktywności białek enzymatycznych. Konsekwencją utleniania białek są zmiany w ich strukturze i pełnionej funkcji. Podczas starzenia nasion rzodkiewnika stwierdzono, że karbonylacji ulegają białka uczestniczące w metabolizmie podstawowym, przemianach energetycznych w komórce, odpowiedzi na stresy. Wśród tak zmodyfikowanych białek zidentyfikowano enzymy należące do klasy hydrolaz oraz białka zapasowe (Rajjou i wsp., 2008).

Rodzaje RNS, ich źródła i rola w nasionach

Do RNS zalicza się przede wszystkim NO, który występuje zarówno jako rodnik ($\text{NO}^\bullet$), anion nitroksylowy (NO^-) lub kation nitrozoniowy (NO^+). NO wykazuje wysoką reaktywność, szczególnie z innymi cząsteczkami posiadającymi niesparowany elektron lub jonami metali przejściowych. Jedną z częściej badanych cząsteczek należących do RNS jest nadtlenoazotyn (ONOO^-), powstający w wyniku reakcji NO z $\text{O}_2^\bullet$, stanowiący czynnik nitrujący białka, lipidy czy kwasy nukleinowe (Romero-Puertas i Sandalio, 2016).

W roślinach NO wytwarzany jest zarówno w reakcjach enzymatycznych, jak i nieenzymatycznych. Jednak powstawanie tej reaktywnej cząsteczki nie jest do końca poznane, a niektóre szlaki biosyntezy nadal są dyskusyjne (Astier i wsp., 2018; Astier i wsp., 2019). Niewiele również wiadomo na temat tworzenia NO w nasionach podczas ustępowania spoczynku/kielkowania nasion. Jest to przede wszystkim wynik dynamicznych zmian zawartości tlenu. Bethke i wsp. (2004) wykazali nieenzymatyczne tworzenie NO z jonów azotynowych (NO_2^-) w kwaśnym środowisku apoplastu komórek warstwy aleuronowej kiełkujących ziarniaków jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). Ponadto w nasionach sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) potwierdzono powstawanie NO w wyniku reakcji katalizowanej przez reduktazę azotanową (NR) (Simontacchi i wsp., 2004). Ważnym miejscem tworzenia NO w nasionach są również mitochondria (Gupta i wsp., 2011). W organellach tych powstawanie NO jest wynikiem przeniesienia elektronu z mitochondrialnego łańcucha elektronów na NO_2^- . Tworzenie NO w reakcji katalizowanej przez NR lub w mitochondriach wymaga niskiego stężenia tlenu, co jest charakterystyczne szczególnie dla wczesnych etapów kiełkowania nasion (Bykova i wsp., 2015). Stąd wydaje się, że na początku kiełkowania, w wyniku ograniczonego dostępu tlenu, szlaki biosyntezy NO wymagające obecności tlenu raczej nie są aktywne. Jednak po rozluźnieniu okrywy nasiennej lub podczas przebicia jej przez korzeń zarodkowy, drogi te mogą dominować w tworzeniu NO.

RNS są wytwarzane w przedziałach komórkowych, które zazwyczaj uważa się za źródła ROS (Mandal i wsp., 2022). Powstające jednocześnie ROS i RNS oddziałują na siebie, stąd ich stężenie jest współzależne (Radi i wsp., 2018). Pośrednia regulacja stężenia ROS przez NO może być związana z zależną od NO regulacją aktywności enzymów biorących udział w metabolizmie ROS, co wykazano podczas usuwania spoczynku zarodków jabłoni (Krasuska i Gniazdowska, 2012).

Poddanie nasion jabłoni stratyfikacji w chłodzie wpływa na zawartość NO w osiach zarodkowych (Dębska i wsp., 2013). Po 14 dniach prowadzenia zabiegu, obserwowano zwiększoną emisję NO z osi zarodkowych nasion stratyfikowanych w porównaniu do osi nasion stratyfikowanych krócej (1 lub 7 dni). Następnie po 21, 40 i 70 dniach stratyfikacji, emisja tej gazowej cząstki była niższa niż po 14 dniach zabiegu, jednak odnotowano tworzenie NO na wyższym poziomie niż w osiach zarodków o głębszym spoczynku. Najwyższą emisję NO stwierdzono dla zarodków w pełni niespoczynkowych, to jest po 90 dniach stratyfikacji (Dębska i wsp., 2013). Poddając nasiona jabłoni stratyfikacji w cieple, zaobserwowano niższą emisję NO z osi wyizolowanych zarodków w porównaniu do emisji NO z osi zarodków nasion poddanych chłodnej stratyfikacji, promującej ich kiełkowanie (Dębska i wsp., 2013). Na

podstawie wyników tych badań stwierdzono, że obniżona zdolność kiełkowania w wyniku poddania nasion warunkom prowadzącym do ich starzenia może wynikać z obniżenia tworzenia NO.

Jeden z mechanizmów regulacji stężenia RNS obejmuje aktywność reduktazy *S*-nitrozoglutationu (GSNOR). GSNOR odpowiada za redukcję *S*-nitrozoglutationu (GSNO), stanowiącego mobilny donor NO, prowadząc do tworzenia GSSG i hydroksyloaminy (Leterrier i wsp., 2011; Jedelská i wsp., 2020). W kiełkujących ziarniakach jęczmienia odnotowano wzrost aktywności GSNOR, natomiast dla ziarniaków niekiełkujących aktywność tego enzymu pozostawała na niższym poziomie (Ma i wsp., 2016). Rola GSNOR w regulacji kiełkowania nasion została również udowodniona dla nasion mafai (*Baccaurea ramiflora* (Lour.)) w warunkach stresu chłodu, których kiełkowanie stymulowano NO (Bai i wsp., 2012). Zastosowanie inhibitorów GSNOR (kwasu dodekanowego i kwasu 5-chloro-3-(2-[(4-etoksyfenylo)etyloamino]-2-oksoetylo)-1H-indolo-2-karboksylowego) znacząco zwiększało całkowitą pulę RNS i obniżało kiełkowanie tych nasion (Bai i wsp., 2012).

Stymulacyjne działanie NO wiąże się również z potranslacyjną modyfikacją białek, to jest *S*-nitrozacją czy nitracją. Tworzenie grupy *S*-nitrozowej (-SNO) jest przejawem bezpośredniego oddziaływania NO⁺ lub ditlenku diazotu z tiolanami cysteiny (Jedelská i wsp., 2020). Ponadto GSNO również może przenosić NO⁺ na grupę -SH reszty cysteiny białek podczas trans-*S*-nitrozacji, tworząc grupę -SNO, co na ogół modyfikuje funkcję tych makrocząsteczek. W ten sposób również ma miejsce regulacja stanu redoks komórki (Gupta i wsp., 2022). Zaobserwowano, że NO negatywnie reguluje sygnalizację ABA podczas kiełkowania nasion rzodkiewnika poprzez *S*-nitrozację kinaz SnRK2.2 i SnRK2.3, elementów szlaku transdukcji ABA (Wang i wsp., 2015). Ponadto *S*-nitrozacja ABI5 (czynn timeranskrypcyjny szlaku transdukcji ABA) naznaczała to białko do degradacji (Albertos i wsp., 2015).

Nitrowanie białek jest związane z kowalencyjnym wiązaniem grupy nitrowej (-NO₂) do węgla w pozycji *orto* reszty tyrozyny (Tyr) (Chaki i wsp., 2009). Ustępowanie spoczynku i kiełkowanie zarodków jabłoni wiązały się z obniżeniem zawartości nitrowanych białek (Krasuska i wsp., 2016). Na podstawie profilu tak zmodyfikowanych białek zaproponowano, że białka zapasowe mogą stanowić cel nitracji, która to modyfikacja działa alternatywnie do karbonylacji w znakowaniu białek do degradacji (Krasuska i wsp., 2016). Jest to prawdopodobne, szczególnie że nitracja receptorów ABA - PYR/PYL/RCAR prowadzi do ich poliubikwitynacji i degradacji zależnej od proteasomu 26 (Castillo i wsp., 2015).

Rola ROS i RNS w biologii nasion zależy zarówno od ich stężenia, jak i stanu fizjologicznego nasion. Mechanizmy ich działania oraz współdziałania są nadal intensywnie badane, co stopniowo poszerza wiedzę w tym zakresie. Wciąż jednak wiele kwestii pozostaje niewyjaśnionych, zwłaszcza w kontekście ustępowania głębokiego spoczynku, jakim obarczone są nasiona jabłoni oraz ograniczania skutków ich starzenia, które to procesy w znacznym stopniu zależą od temperatury i dostępności wody.

4.4. Cel naukowy i zakres badań, stanowiących omawiane osiągnięcia naukowe

Współdziałanie bodźca temperaturowego i dostępności wody z ROS i RNS w regulacji metabolizmu zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)

Celem badań było wykazanie zmian metabolizmu i/lub współdziałania ROS i RNS w osiach zarodkowych/zarodkach nasion jabłoni w wyniku oddziaływania temperatury i zwiększenia uwodnienia nasion – zarówno podczas stratyfikacji w chłodzie (niska temperatura i dostępność wody w podłożu; **Osiągnięcie naukowe 1**), jak i w warunkach laboratoryjnego przyspieszonego starzenia (podwyższone: temperatura i zawartość wody w podłożu; **Osiągnięcie naukowe 2**). Badania miały na celu analizę mechanizmów, które znajdują odzwierciedlenie w zmianie stanu fizjologicznego zarodków (w wyniku stratyfikacji nasion w chłodzie), kontrolujących przejście nasion ze stanu spoczynku do kiełkowania. Ponadto analizowano mechanizmy uruchamiane przez NO, związane z ograniczeniem negatywnych skutków starzenia nasion, zwiększających zdolność kiełkowania zarodków.

4.4.1. ROS i RNS w ustępowaniu spoczynku nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) stratyfikowanych w chłodzie

Cel naukowy i zakres badań, stanowiących Osiągnięcie naukowe 1

Celem badań była analiza sekwencji zdarzeń metabolicznych uruchamianych przez bodziec chłodu i uwodnienie nasion, indukujących ustępowanie głębokiego spoczynku nasion jabłoni. Zwrócono szczególną uwagę na regulację zawartości cząsteczek modulujących stan redoks w komórkach – ROS i RNS (NO/GSNO), pełniących rolę cząsteczek sygnałowych. Ponadto zbadano sygnałową rolę ROS w kontekście modyfikacji makrocząsteczek takich jak lipidy, kwasy nukleinowe, a także ilościowych i jakościowych zmian zawartości białek

karbonylowanych oraz katabolizmu białek w osiach zarodków izolowanych z nasion różniących się głębokością spoczynku, poddanych stratyfikacji w chłodzie.

Opis merytoryczny Osiągnięcia naukowego 1

Badania prowadzone w ramach **Osiągnięcia naukowego 1** miały następujące założenia:

1. Niska temperatura wraz ze zwiększeniem stopnia uwodnienia nasion prowadzi do wzrostu zawartości ROS oraz RNS (NO) w osiach zarodków jabłoni na różnych etapach ustępowania spoczynku, znajdując odpowiedź w stymulacji działania systemów zapewniających optymalną zawartość tych reaktywnych cząsteczek, co umożliwia im pełnienie funkcji sygnałowych (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.4.**).
2. W czasie ustępowania spoczynku nasion jabłoni zwiększeniu zawartości ROS towarzyszy wzrost zawartości utlenionych makrocząsteczek (białek, kwasów nukleinowych) lub metabolitów będących markerem utleniania makrocząsteczek (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.3.**).
3. Na podstawie wcześniejszych doniesień łączących metabolizm ROS z przełamywaniem spoczynku nasion założono, że zwiększaniu gotowości nasion do kiełkowania towarzyszy wzrost zawartości karbonylowanych białek zależny od ROS oraz następująca po nim aktywacja specyficznych mechanizmów proteolitycznych prowadzących do ich degradacji (**Publikacja H1.3.**).

Na podstawie przedstawionych założeń sformułowano następującą hipotezę badawczą:

Hipoteza badawcza

Niska temperatura w połączeniu z podwyższoną dostępnością wody inicjuje sygnał nitro-oksydacyjny w osiach zarodków nasion jabłoni, prowadząc do oksydacyjnych modyfikacji makrocząsteczek i aktywacji mechanizmów proteolitycznych, przygotowując nasiona do kiełkowania.

Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiły zarodki lub osie zarodków wyizolowanych ze spoczynkowych nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh., odmiany Antonówka) oraz nasion jabłoni, które poddano stratyfikacji w chłodzie. Stratyfikację prowadzono na szalkach Petriego w sterylnym piasku o zawartości wody 20% i temperaturze 5°C.

Zastosowano następujące modele badawcze:

1. Nasiona stratyfikowano w chłodzie przez 7, 14, 21, 40 dni w celu stopniowego ustępowania spoczynku. Po upływie czasu przeznaczonego na stratyfikację oraz po 24 h imbibicji (w wodzie destylowanej, w temperaturze pokojowej) nasion niestratyfikowanych - spoczynkowych, izolowano zarodki i umieszczano je na szalce Petriego, wyłożonej bibułą nasączoną wodą destylowaną. Po 24 h kultury (przy fotoperiodzie 12/12 h, natężeniu światła $100 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$ i temperaturze 23/20°C), zarodki lub izolowane osie zarodkowe stanowiły materiał eksperymentalny (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.3.**).
2. Nasiona stratyfikowano w chłodzie przez 90 dni, a następnie wysuszono; ich wilgotność wynosiła 10%. Przed wykonaniem doświadczeń nasiona spoczynkowe i niespoczynkowe (stratyfikowane) poddawano 24-godzinnej imbibicji w wodzie destylowanej, w temperaturze pokojowej, po czym izolowano zarodki, a następnie osie zarodkowe (**Publikacja H1.4.**).

Metody badawcze

W badaniach wykorzystano następujące metody:

- Metoda wagowa w celu pomiaru parametru fizjologicznego - stopnia uwodnienia nasion (**Publikacja H1.1.**);
- Metoda amperometryczna z użyciem elektrody tlenowej Clark'a w celu pomiaru zużycia tlenu (intensywności oddychania) (**Publikacja H1.1.**);
- Metoda histochemiczna z użyciem błękitu nitrotetrazoliowego (NBT) w celu lokalizacji ROS *in situ* (**Publikacja H1.2.**);
- Metody spektrofotometryczne do oznaczania:
 - aktywności enzymów związanych z metabolizmem ROS (PAO, SOD, CAT, POX, GR, GPX-like) (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.4.**),
 - całkowitej zdolności antyoksydacyjnej (**Publikacja H1.2.**),
 - aktywności proteolitycznej (**Publikacja H1.3.**),
 - aktywności proteasomalnej (**Publikacja H1.3.**),
 - aktywności GSNOR (**Publikacja H1.4.**),
 - zawartości wybranych metabolitów (MDA, związków fenolowych, ATP) (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.3.**);
- Wysokosprawna chromatografia cieczowa (HPLC) do analizy zawartości:
 - aminokwasów (Phe, Tyr, *m*-Tyr) (**Publikacja H1.1.**),

- glutationu (GSH i GSSG) (**Publikacje H1.2., H1.4.**);
- Test ELISA do oznaczenia zawartości:
 - utlenionego RNA (**Publikacja H1.1.**),
 - białek karbonylowanych (**Publikacja H1.3.**);
- Immunofluorescencja w celu lokalizacji GSNO w tkance (**Publikacja H1.4.**);
- Western blot do ilościowego oznaczenia:
 - białek biotynylowanych (**Publikacja H1.3.**),
 - GSNOR (**Publikacja H1.4.**);
- RT-qPCR w celu analizy ekspresji genów związanych z metabolizmem ROS (*RBOH*, *PAO*, *POX*, *SOD*, *CAT*, *GR*, *GPX-like*) oraz metabolizmem NO (*GSNOR*) (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.4.**);
- Elektroforeza dwukierunkowa (2D) oraz identyfikacja białek karbonylowanych z wykorzystaniem spektrometrii mas MALDI-TOF/TOF (**Publikacja H1.3.**).

Główne wnioski

1. Wcześniejsze badania prowadzone na nasionach jabłoni, wskazywały, że 90 dni stratyfikacji w chłodzie jest niezbędne do ustąpienia spoczynku (Dawidowicz-Grzegorzewska 1989; Lewak, 2011; Dębska i wsp., 2013). W ostatnich latach zauważono, że już 40-dniowa stratyfikacja jest wystarczająca, aby skutecznie usunąć spoczynek nasion tego gatunku (**Publikacje H1.1., H1.2.**). Izolowane zarodki nasion jabłoni poddawane 40-dniowemu zabiegowi, a następnie 3 dniom kultury, kiełkują w prawie 100%. Może sugerować to, że spoczynek tych nasion ulega spłyceniu lub że są one bardziej wrażliwe na bodziec termiczny i dostępność wody i lepiej reagują na zastosowany zabieg stratyfikacji. Obserwacja ta jest prawdopodobnie przejawem zmian klimatycznych, zachodzących w ostatnich latach. Dowiedziono, że zarówno szybkość desykacji nasion, jak i stres suszy podczas ich dojrzewania mogą obniżać głębokość spoczynku (Bailly, 2023 i cytowane tam prace).
2. Ustąpienie spoczynku nasion jabłoni w wyniku stratyfikacji wiąże się z percepcją przez nasiona bodźców środowiskowych, takich jak niska temperatura i dostępność wody. Zmiana hydratacji nasion jest istotna już po 7 dniach zabiegu, przy czym maksymalną zawartość wody obserwuje się po 21 dniach stratyfikacji. Towarzyszy temu wzrost pobierania tlenu (**Publikacja H1.1.**). Jednak sama obecność bodźców środowiskowych *per se* nie gwarantuje przełamania spoczynku tych nasion. Ustępowanie spoczynku wymaga zależnych od czasu sekwencji zdarzeń związanych ze zmianami w metabolizmie ROS, umożliwiającymi

osiągnięcie optymalnego stężenia, niezbędnego do pełnienia przez ROS funkcji sygnałowej (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.3.**).

3. Po 7 dniach stratyfikacji odnotowuje się wzrost poziomu ROS, który jednak jest niewystarczający (nie przekracza wartości progowej) do wygenerowania sygnału umożliwiającego przejście nasion ze stanu spoczynku do stanu aktywnego (**Publikacja H1.2.**). Świadczy o tym przede wszystkim brak zmiany liczby skielkowanych zarodków oraz brak wzmożenia aktywności systemu antyoksydacyjnego. Zwiększona zawartość ROS po 14 dniach zabiegu stymuluje aktywność systemu antyoksydacyjnego, obejmującego metabolizm glutationu (zmiany zawartości GSH i GSSG i aktywności GR i GPX-like) oraz aktywność CAT (**Publikacje H1.1., H1.2.**). Następnie, czasowo obniżona aktywność systemu antyoksydacyjnego (po 21 dniach stratyfikacji) towarzyszy dalszemu, ciągłemu wzrostowi poziomu ROS, połączonego z aktywacją różnych enzymów uczestniczących w syntezie ROS, takich jak RBOH (wzrost ekspresji *RBOHC*), PAO i POX, a prawdopodobnie także mitochondrialnych (zważywszy na wzrost intensywności oddychania) i peroksysomalnych szlaków metabolicznych (zważywszy na wzrost aktywności CAT, enzymu charakterystycznego dla peroksysomów) (**Publikacje H1.1., H1.2.**). Po 40 dniach stratyfikacji długotrwałe nagromadzenie ROS wymaga zaangażowania kolejnego elementu systemu antyoksydacyjnego – związków fenolowych, które wspierają precyzyjną regulację ich zawartości (**Publikacje H1.1., H1.2.**).
4. Podczas ustępowania spoczynku efektywność enzymatycznych i nieenzymatycznych komponentów systemu antyoksydacyjnego może przejawiać się w utrzymaniu względnie niskiej zawartości MDA (marker utleniania lipidów) i *m*-Tyr (marker stresu oksydacyjnego), co może wskazywać na zachowanie prawidłowej budowy/struktury peptydów/białek oraz kwasów tłuszczowych (**Publikacje H1.1., H1.2.**). Niska zawartość MDA jednak jest dość zaskakująca, z uwagi na stosunkowo wysoką zawartość lipidów w nasionach jabłoni (Lewak, 2011). W suchej masie spoczynkowych nasion jabłoni zawarte jest 22–26% lipidów, głównie triacylogliceroli, ale także wolnych kwasów tłuszczowych, zwłaszcza kwasu linolenowego. W osiach zarodkowych lipidy zlokalizowane są w ciałkach tłuszczowych (ang. lipid bodies), które ulegają dezintegracji w wyniku chłodnej stratyfikacji (Dawidowicz-Grzegorzewska, 1989). Stosunkowo niska zawartość MDA może być częściowo podyktowana faktem, iż metabolit ten reaguje z białkami, prowadząc do ich karbonylacji (Sun i wsp., 2022). Istotny wzrost zawartości grup karbonylowych w białkach notowany jest w osiach zarodków po 14 dniach zabiegu (**Publikacja H1.3.**). Utlenianie RNA (nasilenie obserwowane po 14 dniu zabiegu) również wydaje się być zjawiskiem

nieodzownym dla ustępowania spoczynku nasion (**Publikacja H1.1.**). Z jednej strony oksydacja mRNA może regulować translację, kontrolując tym samym tworzenie białek koniecznych do kiełkowania przy jednoczesnej blokadzie biosyntezy białek, które nie znajdują zastosowania na tym etapie ontogenezy (Bazin i wsp., 2011). Z drugiej strony – jeśli modyfikacja dotyczy rRNA, który stanowi większość całkowitego RNA komórkowego, może pełnić funkcję mechanizmu ochronnego dla innych cząsteczek poprzez obniżenie potencjału utleniającego ROS (**Publikacja H1.1.**).

5. Wśród karbonylowanych białek zidentyfikowano białko SBP65 (ang. seed biotin-containing protein 65 kDa). Na podstawie literatury wiadomo, że białko to osiąga maksymalny poziom w dojrzałych, suchych nasionach i ulega szybkiej degradacji podczas kiełkowania nasion (Alban i wsp., 2000). Dotychczas nie opisano obecności biotynidazy u roślin, która odpowiadałaby za uwalnianie biotyny. Stąd biorąc pod uwagę dane uzyskane dla nasion jabłoni, można przypuszczać, że karbonylacja SBP65 (wraz z wcześniej stwierdzoną nitracją tego białka (Krasuska i wsp., 2016)) może inicjować ten proces (**Publikacja H1.3.**).
6. Czternastodniowa stratyfikacja nasion w chłodzie prowadzi do pojawienia się karbonylowanych białek, które nie są wykrywane w osiach zarodkowych po krótszym czasie zabiegu. Wśród nich zidentyfikowano białko EM-like GEA1, HSP70, HSP17.1, białko wiążące wapń CML45 oraz GA2ox. Modyfikacja ta może naznaczać do proteolizy te z nich, których funkcja dobiegła końca (białko EM-like GEA1, HSP17.1), lub te, które przejściowo zakłócają zachodzące procesy (białko wiążące wapń CML45, HSP70, GA2ox) (**Publikacja H1.3.**).
7. Pięć białek zawierających grupy karbonylowe było obecnych w osiach zarodkowych niezależnie od głębokości spoczynku nasion. Wśród nich wymienić można białko zapasowe – globulinę 11S. Na podstawie teoretycznej masy cząsteczkowej białka (XP_008364259.2) oraz jego lokalizacji na nitrocelulozie można przypuszczać, że w nasionach jabłoni z puli białek karbonylowanych głównie globulina 11S podlegała stopniowej degradacji, która rozpoczynała się już po 7 dniach stratyfikacji w chłodzie (**Publikacja H1.3.**).
8. Degradacja białek w osiach zarodkowych jest indukowana już na wczesnych etapach ustępowania spoczynku nasion jabłoni. Zachodzi ona głównie z udziałem proteasomu 20S, ponieważ w tym czasie wytwarzanie ATP pozostaje na stosunkowo niskim poziomie, a stopniowe nasilenie warunków prooksydacyjnych może zakłócać szlak degradacji białek zależny od ubikwityny (**Publikacje H1.1., H1.2., H1.3.**). Po 14 dniach stratyfikacji proces ten jest dodatkowo wspierany przez wzrost aktywności proteolitycznej (przy pH zasadowym), która może regulować poziom karbonylowanych białek w mitochondriach.

Aktywacja tych szlaków prowadzi do gwałtownego obniżenia zawartości karbonylowanych białek obserwowanego w kolejnych etapach usuwania spoczynku nasion jabłoni. W nasionach o płytszym spoczynku rozkład białek może być nasilony zarówno przez aktywność proteolityczną (przy niskim pH), jak i przez aktywność proteasomu 26S, związaną ze wzrostem zawartości ATP (**Publikacja H1.3.**).

9. W osiach zarodków w pełni niespoczynkowych nasion jabłoni status redoks glutationu zależy nie tylko bezpośrednio od ROS, lecz także od NO. Zaobserwowano wzrost zawartości GSNO przy jednoczesnym obniżeniu aktywności GSNOR, które nie wynika ani z obniżenia ekspresji genu, ani z obniżenia ilości tego białka. Najprawdopodobniej przyczyną dezaktywacji GSNOR jest zwiększenie zawartości ROS, które poprzez utlenianie reszt Cys prowadzą do uwolnienia Zn – kofaktora enzymu (Kovacs i wsp., 2016). Na podstawie danych literaturowych wiadomo, że emisja NO w zarodkach gotowych do kiełkowania wzrasta znacząco (Dębska i wsp., 2013), stąd wymagana jest precyzyjna regulacja stężenia tej reaktywnej cząsteczki. Dlatego obserwowany wzrost puli GSH wraz ze zwiększoną aktywnością GR mógłby wskazywać, że GSH nie tylko reguluje poziom ROS, lecz także umożliwia tworzenie GSNO jako mobilnego magazynu NO, a zarazem czynnika uczestniczącego w trans-S-nitrozacji białek w komórkach. W konsekwencji nie tylko GSNOR, ale i GR można uznać za elementy biochemicznego mechanizmu regulującego wewnątrzkomórkowy poziom NO (**Publikacja H1.4.**).
10. Badania nad rolą NO w ustępowaniu spoczynku i kiełkowaniu nasion rozwijają się od kilkudziesięciu lat. Analiza literatury dostępnej w bazie Web of Science wykazała, że między 1900 a 2021 rokiem powstało 3300 publikacji łączących NO i nasiona w różnym aspekcie, przy czym pierwsza z nich pochodziła z 1959 roku. Większość publikacji dotyczyła obszaru nauk o roślinach (29%), biochemii i biologii molekularnej (17%), farmakologii i farmacji (11%) oraz technologii żywności (9%). Okazuje się, że we wcześniejszych badaniach, pomimo stosowania donorów NO, rola NO w regulacji biologii nasion nie była podkreślana. Ważną rolę NO w biologii nasion potwierdzają badania, które wskazują, że nie tylko bezpośrednie traktowanie nasion donorami NO, ale też nawożenie roślin macierzystych azotem lub obecność NO w atmosferze wpływa na kiełkowanie wytwarzanych nasion. Na podstawie literatury stworzono listę związków stanowiących donory NO, wśród nich szczególną uwagę zwrócono na nitroprusydek sodu (SNP), powszechnie używany w badaniach prawdopodobnie z uwagi na niski koszt. SNP oprócz NO uwalnia równocześnie cyjanek i żelazo; dlatego publikacje podkreślające jego wykorzystanie w badaniach nad NO jako donorem tej gazowej cząsteczki budzą pewne

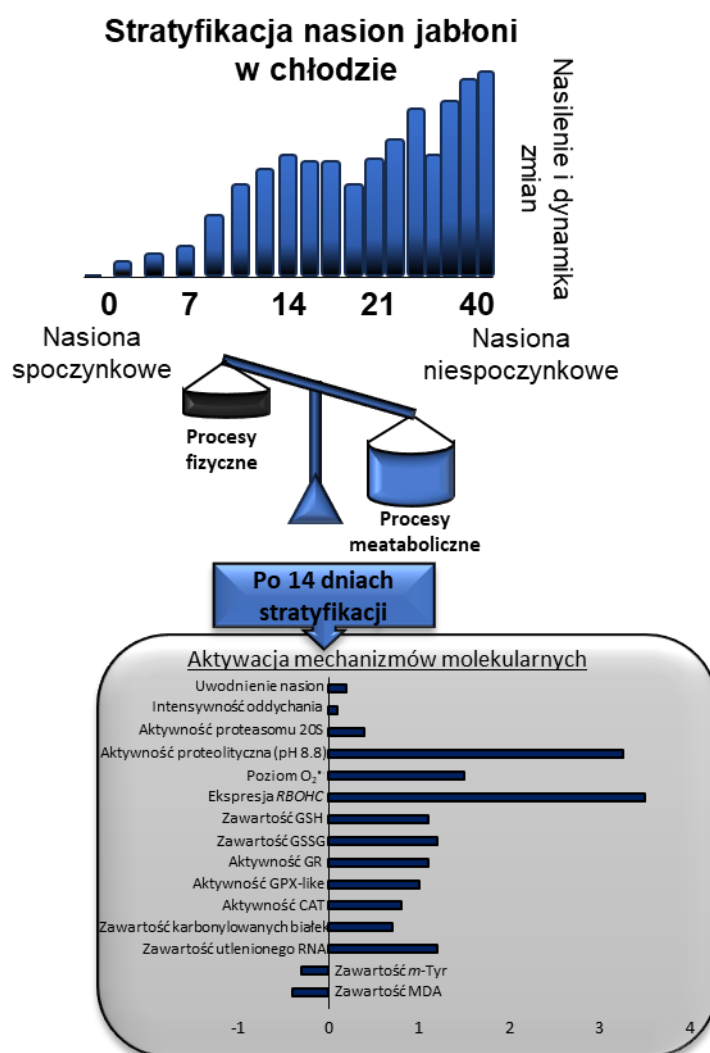
zastrzeżenia, szczególnie gdy autorzy nie stosują odpowiednich kontroli (np. zmiatacza NO). Ponadto w pracach odnoszących się do primingu lub wstępnego moczenia nasion w SNP nie podaje się szczegółowych informacji dotyczących warunków świetlnych, które stanowią kardynalny punkt, od którego zależy uwalnianie NO z SNP. Stąd zalecana jest ostrożność w interpretacji danych prac. Na szczególną uwagę zasługują nitrowane kwasy tłuszczowe, które są obecnie sugerowane jako nowa klasa donorów NO w komórkach (**Publikacja H1.5.**).

11. Kluczowym mechanizmem działania NO, obok szeroko opisywanej regulacji biosyntezy oraz transdukcji sygnału fitohormonów, jest także modulowanie metabolizmu ROS oraz jego współdziałanie z tymi cząsteczkami sygnałowymi. Doniesienia na ten temat są jednak nieliczne, co wyraźnie wskazuje na potrzebę pogłębienia badań nad wzajemnymi interakcjami ROS–RNS w procesach ustępowania spoczynku oraz kiełkowania nasion (**Publikacja H1.5.**). Brak tego rodzaju danych dotyczy również nasion poddanych stratyfikacji w chłodzie. W tym kontekście przedstawiona w ramach niniejszego osiągnięcia naukowego tematyka badań wnosi nowe, istotne spojrzenie na rolę wzajemnych oddziaływań ROS i RNS, poszerzając aktualny stan wiedzy oraz dostarczając nową perspektywę dotyczącą mechanizmów regulujących ustępowanie spoczynku nasion w wyniku stratyfikacji.
12. W literaturze przedmiotu podkreśla się nie tylko rolę GSNO i GSNOR w regulacji poziomu NO oraz w przekazywaniu sygnału poprzez *S*-nitrozację białek istotnych dla uruchomienia procesu kiełkowania. Wskazywana jest również funkcja fitoglobulin w modulowaniu zawartości NO oraz statusu energetycznego komórki. Dotychczas zagadnienie to badano głównie w ziarniakach, co otwiera nowe możliwości wyznaczenia kierunku badań nad rolą tych cząsteczek szczególnie w przypadku nasion o głębokim spoczynku (**Publikacja H1.5.**).

Podsumowanie Osiągnięcia naukowego 1 i perspektywy

Na podstawie powyższych badań można stwierdzić, że choć już po 7 dniach stratyfikacji obserwuje się określone zmiany fizyczne i biochemiczne, stanowią one jedynie wstęp do bardziej zaawansowanej aktywacji metabolizmu. Zmiany te nie są wystarczające, aby wywołać zauważalny efekt w postaci kiełkowania zarodków nasion jabłoni (Rys. 1). Inicjowane są zarówno procesy fizyczne, jak i biochemiczne, przy czym reakcje biochemiczne są początkowo ograniczone i utrzymują się na stosunkowo niskim poziomie. Zmiany fizyczne dotyczą uwodnienia tkanek, które bezpośrednio wpływają na ich właściwości mechaniczne (twardość,

elastyczność, wytrzymałość, napężenie); w przyszłości warto byłoby położyć większy nacisk na badanie również biomechanicznych aspektów podczas ustępowania spoczynku nasion jabłoni.



Rys. 1. Ustępowanie spoczynku nasion jabłoni indukowane stratyfikacją w niskiej temperaturze jest związane ze zmianami jakości, ilości oraz dynamiki różnych procesów. Stratyfikacja nasion inicjuje procesy fizyczne związane z pobieraniem wody oraz procesy biochemiczne, które początkowo zachodzą z niewielką intensywnością. Po 14 dniach zabiegu następuje przesunięcie równowagi w kierunku dominacji procesów metabolicznych, aktywujące molekularne mechanizmy ustępowania spoczynku nasion związane ze wzmożoną syntezą ROS, regulacją ich zawartości oraz modyfikacją makrocząsteczek. Wyniki uzyskane dla zarodków lub osi zarodkowych izolowanych z nasion po 14 dniach stratyfikacji znormalizowano poprzez przeliczenie wartości każdego parametru względem kontroli (wartości uzyskanych dla tkanek zarodków niepoddanych stratyfikacji), której przypisano wartość 1 (jednostka względna). Dane dotyczące uwodnienia nasion, intensywności oddychania, aktywności CAT oraz zawartości *m*-Tyr i utlenionego RNA przedstawiono w publikacji H1.1. Dane dotyczące poziomu $O_2^{\cdot-}$, ekspresji *RBOHC*, zawartości GSH, GSSG, MDA oraz aktywności GR i GPX-like pochodzą z publikacji H1.2. Dane dotyczące aktywności proteasomu, aktywności proteolitycznej i zawartości karbonylowanych białek pochodzą z publikacji H1.3.

Wydłużenie stratyfikacji do co najmniej 14 dni prowadzi do zmiany równowagi, w której procesy metaboliczne zwiększają swoją intensywność i dynamikę (Rys. 1). Stanowi to punkt krytyczny, w którym aktywowany zostaje molekularny mechanizm, któremu towarzyszy zmiana statusu redoks w komórce. Jest to powiązane ze wzmożeniem generowania ROS oraz regulacją ich zawartości, a także wzrostem zawartości utlenionych cząsteczek, w tym białek, których ilość może być kontrolowana przez aktywność proteolityczną oraz proteasom 20S (Fig. 1). Zmiana statusu redoks w nasionach gotowych do kiełkowania może również wynikać z nasilonego tworzenia NO, należącego do RNS, który bezpośrednio, jak i za pośrednictwem GSNO, modyfikuje grupy tiolowe w białkach. Ciekawą obserwacją jest również obniżająca się zawartość MDA w osiach zarodków nasion poddanych stratyfikacji w chłodzie, będącego markerem peroksydacji lipidów, pomimo stosunkowo wysokiej zawartości lipidów w tkankach, co może stanowić przejaw reakcji tego metabolitu z białkami. W przyszłości warto byłoby rozszerzyć analizę o nitro-oksydacyjne modyfikacje poszczególnych kwasów tłuszczowych, aby ocenić ich potencjalną rolę w sygnalizacji komórkowej, wskazywaną w literaturze również dotyczącej nasion (Mata-Perez i wsp., 2017).

Badania te wyraźnie podkreślają kluczową rolę ROS, a także RNS i potrzebę utrzymania ich homeostazy podczas stopniowego ustępowania głębokiego spoczynku nasion – zagadnienia, które dotychczas pozostawało praktycznie niezbadane. Prezentowane dane uwypuklają również współzależność między sygnalizacją ROS a regulacją syntezy białek poprzez utlenienie RNA, ich potranslacyjną modyfikację oraz ich degradację w nasionach jabłoni podczas ustępowania spoczynku w wyniku stratyfikacji w chłodzie. Karbonylacja białek prowadzi albo do ich inaktywacji, albo do kierowania ich na szlak degradacji, zatem identyfikacja tak zmodyfikowanych białek pozwala przewidzieć, które procesy biochemiczne i fizjologiczne są hamowane oraz umożliwia powiązanie tych zmian z określonymi etapami ustępowania spoczynku. Uzyskane dane pozwalają opisać sekwencję zdarzeń molekularnych prowadzących od głębokiego spoczynku nasion jabłoni do osiągnięcia fizjologicznego stanu „gotowości” do kiełkowania. Wskazują również, że działanie chłodu w warunkach podwyższonej dostępności wody przez określony czas prowadzi do przełamywania spoczynku nasion jabłoni. Ustępowanie spoczynku nasion to proces obejmujący kolejno następujące, wzajemnie zależne zdarzenia o określonym porządku, a nie zbiór (zespół) procesów zachodzących przypadkowo.

4.4.2. NO - cząsteczka niwelująca symptomy starzenia nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) indukowanego podwyższoną temperaturą i dostępnością wody

Cel naukowy i zakres badań, stanowiących Osiągnięcie naukowe 2

Celem badań było określenie roli NO w niwelowaniu skutków laboratoryjnego starzenia nasion jabłoni powodowanego przez podwyższoną temperaturę i dostępność wody oraz stwierdzenie zmian żywotności izolowanych zarodków. Skupiono się na wpływie tej sygnałowej cząsteczki na regulację stresu oksydacyjnego, analizując lokalizację ROS *in situ*, badając całkowitą zdolność antyoksydacyjną i ekspresję genów związanych z metabolizmem ROS. Zwrócono również uwagę na zmiany zawartości zmodyfikowanych cząsteczek; w tym celu zlokalizowano MDA w zarodkach oraz zbadano zawartość utlenionych białek oraz RNA. Biorąc pod uwagę współdziałanie NO i ROS w komórkach, zbadano również zawartość nitrowanych białek i nitrowanego RNA. Dodatkowym celem była analiza wpływu NO na ekspresję genów stanowiących wskaźniki starzenia nasion.

Opis merytoryczny Osiągnięcia naukowego 2

Badanie prowadzone w ramach Osiągnięcia naukowego 2 miało następujące założenia:

1. NO łagodzi skutki starzenia nasion jabłoni, będące wynikiem podwyższonej temperatury i dostępności wody, zwiększając żywotność zarodków (**Publikacja H2.1.**).
2. NO reguluje metabolizm ROS w osiach zarodków wyizolowanych z nasion poddanych przyspieszonemu starzeniu, ograniczając ich toksyczne działanie i sprzyjając pełnieniu przez nie funkcji sygnałowej (**Publikacja H2.1.**).
3. Korzystna rola NO w regulacji metabolizmu osi zarodków wyizolowanych ze starzonych nasion jest efektem obniżenia zawartości makrocząsteczek, których funkcja/aktywność modyfikowana jest przez ROS (**Publikacja H2.1.**).
4. NO wywiera pozytywny wpływ na jakość starzonych nasion poprzez kontrolę ekspresji genów kodujących białka uznane za markery długowieczności, pełniące funkcję stabilizującą, ochronną lub naprawczą, sprzyjając utrzymaniu homeostazy komórkowej i ograniczaniu skutków starzenia (**Publikacja H2.4.**).

Na podstawie przedstawionych założeń sformułowałam następującą hipotezę badawczą:

Hipoteza badawcza

NO niweluje skutki starzenia nasion jabłoni powodowane podwyższoną temperaturą i dostępnością wody poprzez modulację zawartości ROS do zakresu sprzyjającego ich funkcji sygnałowej, ograniczenie akumulacji zmodyfikowanych makrocząsteczek oraz aktywację

mechanizmów naprawczych i ochronnych na poziomie ekspresji genów, co w konsekwencji poprawia metabolizm komórkowy i żywotność traktowanych zarodków.

Material badawczy

Materiałem doświadczalnym były nasiona jabłoni (*Malus domestica* Borkh.), odmiany Antonówka. Nasiona poddano przyspieszonemu starzeniu poprzez umieszczenie w szklanych szalkach zawierających sterylny piasek, który zwilżano wodą destylowaną do uzyskania 65% wilgotności. Starzenie nasion prowadzono w 33°C przez 7, 14, 21 lub 40 dni. Podczas zabiegu nasiona z piaskiem mieszano co 3 dni; utrzymywano stałą wilgotność piasku. Po zabiegu izolowane zarodki traktowano krótkotrwale (3 h) NO. Zarodki nietraktowane stanowiły kontrolę.

Traktowanie NO przeprowadzano w temperaturze pokojowej poprzez umieszczenie zarodków w szklanych naczyniach wyłożonych bibułą zwilżoną roztworem 0,05 M buforu K-fosforanowego, pH 7,0. Następnie wprowadzano do naczyń zlewkę, która zawierała 14,5 mM azotyn sodu. W celu zainicjowania reakcji powstawania NO dodawano 0,2 M HCl. Następnie zarodki traktowane NO, jak i kontrolne, umieszczono na szalkach Petriego wyłożonych bibułą filtracyjną, zwilżoną wodą destylowaną. Szalki te umieszczono w komorze fitotronowej na 48 h przy fotoperiodzie 12/12 h, natężeniu światła 100 $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{s}^{-1}$ i temperaturze 25/20°C. Po tym czasie kultury, zarodki lub izolowane osie wykorzystywano do badań (**Publikacje H2.1. i H2.4.**).

Metody badawcze

W badaniach wykorzystano następujące metody:

- metoda histochemiczna z użyciem chlorku 2,3,5-trifenylotetrazoliowego (TTC) w celu określenia żywotności zarodków (**Publikacja H2.1.**);
- metoda histochemiczna z użyciem NBT w celu lokalizacji ROS *in situ* (**Publikacja H2.1.**);
- metoda histochemiczna z użyciem odczynnika Schiff'a w celu lokalizacji MDA *in situ* (**Publikacja H2.1.**);
- metody spektrofotometryczne do oznaczania:
 - stężenia DNA (**Publikacja H2.1.**),
 - całkowitej zdolności antyoksydacyjnej (**Publikacja H2.1.**);
- test ELISA do oznaczenia zawartości:

- białek karbonylowanych (**Publikacja H2.1.**),
- białek nitrowanych (**Publikacja H2.1.**),
- utlenionego RNA (**Publikacja H2.1.**),
- nitrowanego RNA (**Publikacja H2.1.**);
- RT-qPCR w celu analizy ekspresji genów kodujących białka związane z metabolizmem ROS (*RBOH, POX, SOD, CAT*) oraz wskaźników starzenia (*LEA, HSP, CLPB, CPN, PIMT, TOR, RAPTOR, SAUR*) (**Publikacja H2.4.**).

Główne wnioski

1. Nasiona jabłoni, które należą do nasion typu ortodoks, obarczonych spoczynkiem fizjologicznym, starzeją się dość wolno. Zastosowanie podwyższonej temperatury (33°C) przy podwyższonej wilgotności podłoża prowadzi do obniżenia ich żywotności. Stopniowe wydłużanie zabiegu przejawia się zwiększeniem liczby rozkładających się nasion, a także zarodków cechujących się wysokim stopniem dezintegracji tkanki i siewek wykazujących nieprawidłowy rozwój. Podczas kultury widoczne objawy starzenia obserwowano już u zarodków wyizolowanych z nasion poddanych 14-dniowemu zabiegowi starzenia, natomiast po 40 dniach starzenia zdecydowana większość zarodków obumierała. Zaobserwowano również, że 7 dni przyspieszonego starzenia powoduje częściowe zniesienie spoczynku nasion jabłoni. Można przypuszczać, że w trakcie 7-dniowego starzenia nasiona ulegają imbibicji oraz zachodzą w nich wstępne zmiany metaboliczne prowadzące do częściowego przełamania spoczynku. Warunki te nie są jednak wystarczające do jego całkowitego przerwania, a równocześnie u części zarodków pojawiają się uszkodzenia tkanek. Wskazuje to, że procesy inicjowane podczas krótkotrwałego starzenia mogą stanowić swoiste wprowadzenie do późniejszych bardziej zaawansowanych procesów degeneracyjnych (**Publikacja H2.1.**).
2. Starzenie nasion prowadzi do pogorszenia ich jakości, co ogranicza nie tylko produkcję rolniczą, ale również zachowanie globalnej bioróżnorodności. Stąd konieczne są badania mające na celu zrozumienie mechanizmów starzenia nasion, w których najczęściej wykorzystuje się laboratoryjne, przyspieszone metody starzenia (z ang. controlled deterioration treatment (CDT) lub accelerated ageing (AA)), pozwalające uzyskać względnie jednolitą pod względem stanu fizjologicznego pulę nasion (**Publikacja H2.2.**). Obie metody wykorzystują w tym celu podwyższoną wilgotność i temperaturę. **Publikacja H2.2.** porządkuje nomenklaturę dotyczącą laboratoryjnych

metod starzenia, gdyż wskazuje różnice między metodą CDT a AA. Precyzuje, że metoda CDT dotyczy zabiegu starzenia, który jest poprzedzony imbibicją nasion w celu osiągnięcia określonej zawartości wody, po czym dopiero następuje poddanie nasion podwyższonej temperaturze (**Publikacja H2.2.**).

3. Utrzymanie wysokiej jakości nasion jest kwestią priorytetową, gdyż zapewnia to wysoką zdolność do kiełkowania, prawidłowy rozwój roślin potomnych, ale również bezpieczeństwo żywnościowe. W literaturze jedynie nieliczne dane dotyczą niwelowania skutków starzenia nasion. Coraz więcej dowodów wskazuje jednak, że NO oraz inne związki należące do rodziny RNS odgrywają w tym procesie kluczową rolę, działając jako istotne cząsteczki sygnałowe regulujące procesy fizjologiczne związane z utrzymaniem żywotności nasion (**Publikacje H2.1, H2.2.**). Stosowanie donorów NO przed indukcją starzenia lub na wczesnych jego etapach może opóźniać, blokować lub zapobiegać uruchomieniu mechanizmów prowadzących do degeneracji nasion (**Publikacja H2.2.**). Traktując zarodki jabłoni NO, obserwowano łagodzenie skutków starzenia nasion, zwłaszcza po 14 i 21 dniu zabiegu. Poddanie zarodków działaniu NO znalazło odzwierciedlenie w mniejszej liczbie degenerujących zarodków, w lepszym ich kiełkowaniu i wyższej aktywności metabolicznej oraz większej liczbie siewek charakteryzujących się brakiem anomalii rozwojowych. Zauważono również, że fumigacja zarodków po 40 dniach starzenia nie przynosi pożądanego efektu, nawet pogłębia uszkodzenia zarodków, związane np. z zaawansowaną degradacją DNA w osiach zarodkowych. Stąd też można wywnioskować, że potencjał NO w odwracaniu lub łagodzeniu procesów starzenia jest ograniczony i zależny nie tylko od jego stężenia, ale także od stopnia zaawansowania zmian degeneracyjnych (**Publikacja H2.1.**).
4. Aplikacja NO przed zainicjowaniem starzenia, jak i po indukcji tego procesu, aktywuje mechanizmy obronne w nasionach, prowadząc do poprawy ich jakości. Rola NO w łagodzeniu skutków starzenia polega na regulacji metabolizmu ROS poprzez stymulację systemu antyoksydacyjnego (**Publikacja H2.2.**). Zaobserwowano, że poddanie zarodków jabłoni działaniu NO, niezależnie od czasu starzenia, promuje tworzenie $O_2^{\cdot-}$ prawdopodobnie w wyniku wzrostu ekspresji *RBOH* i być może wzrostu aktywności POX, której rola w regulacji metabolizmu ROS jest dualna. Obserwowana stymulacja kiełkowania traktowanych zarodków mogła być zatem powiązana z osiągnięciem w osiach zarodków optymalnego poziomu ROS, mieszczącego się w tzw. „oknie oksydacyjnym” (Bailly i wsp., 2008), typowego dla nasion „gotowych” do kiełkowania. Kontrola poziomu ROS przez NO mogła być realizowana poprzez zwiększenie

aktywności systemu antyoksydacyjnego, szczególnie po wydłużeniu czasu starzenia nasion do 21 dni. Wtedy to odnotowano wzrost całkowitej zdolności antyoksydacyjnej w osiach zarodków jabłoni. Zważywszy na warunki przygotowania prób do tego oznaczenia (użycie 80% metanolu do homogenizacji tkanki), uzyskany wynik świadczy o zaangażowaniu niskocząsteczkowych antyoksydantów, co potwierdza praca Tyminski i wsp. (2024), wskazująca na wzrost zawartości GSH w osiach zarodków traktowanych NO, wyizolowanych z nasion starzonych przez 21 dni. Ponadto na tym etapie starzenia, po fumigacji zarodków NO, odnotowano również wzrost poziomu transkryptów kodujących SOD i CAT (**Publikacja H2.1.**).

5. Pozytywne działanie NO w kompensowaniu skutków podwyższonej temperatury i dostępności wody było związane z obniżaniem zawartości zmodyfikowanych cząsteczek w osiach zarodków jabłoni. Zaobserwowano, że zastosowanie NO w stężeniu prawdopodobnie odpowiadającym „drzwiom nitrozacyjnym” obniżało nitro-oksydacyjne modyfikacje RNA, co mogło wspierać prawidłową syntezę białek. Jednak nie dotyczyło to nitrowanych lub karbonylowanych białek, dla których po traktowaniu zarodków NO nie obserwowano zmian zawartości przy przedłużeniu starzenia do co najmniej 14 dni. Z uwagi, że po aplikacji NO odnotowano subtelne obniżenie zawartości MDA jedynie po 14 dniach starzenia, zakłada się rolę tej gazowej cząsteczki w ochronie struktury i/lub funkcji głównie RNA (**Publikacja H2.1.**). Natomiast badając rolę NO w łagodzeniu efektów starzenia nasion jabłoni, w przyszłości warto byłoby również zwrócić uwagę na *S*-nitrozację białek, gdyż literatura podaje, że modyfikacja ta może być zaangażowana w regulację procesów degeneracyjnych w nasionach (**Publikacja H2.2.**).
6. Starzenie zarówno u zwierząt, jak i roślin wiąże się z akumulacją dysfunkcyjnych białek, co w konsekwencji skutkuje zaburzeniami metabolicznymi komórek i całego organizmu. Przykładem takich białek są białka karbonylowane, których zawartość wzrasta nie tylko w trakcie starzenia, ale także w warunkach stresu oksydacyjnego, głodzenia organizmu czy chorób (**Publikacja H2.3.**). Analizy przeprowadzone na zwierzętach wykazały, że zawartość białek karbonylowanych wzrasta już od momentu narodzin. Podobne zmiany obserwuje się u roślin, np. u rzodkiewnika, choć w tym przypadku wysoki poziom zmodyfikowanych białek obniża się przy przejściu z fazy wegetatywnej do generatywnej. Z uwagi, że ta modyfikacja białek towarzyszy organizmom przez całe życie oraz proces karbonylacji nie jest całkowicie przypadkowy i nie dotyczy wyłącznie losowych białek, sugeruje się jej potencjalną rolę regulacyjną.

Karbonylacja może być postrzegana nie tylko jako marker uszkodzeń oksydacyjnych, lecz również jako modyfikacja funkcjonalna, znakująca nieprawidłowe białka do degradacji. Tym samym pełni ona rolę dodatkowego mechanizmu kontroli jakości białek. Jednak starzeniu, które jest ściśle związane ze stresem oksydacyjnym, towarzyszy zaburzona proteoliza, prowadząca do powstawania agregatów białkowych, co dodatkowo pogłębia dysfunkcję komórkową. Przegląd literatury zawarty w **publikacji H.2.3.** stanowi kompleksową syntezę wiedzy na temat karbonylacji białek u roślin i zwierząt w kontekście starzenia, obejmując zarówno mechanizmy tego procesu, jak i metody identyfikacji zmodyfikowanych białek. Wskazuje na podobieństwa i różnice w metabolizmie białek karbonylowanych u różnych organizmów lub w różnych organach. Jej wysoka liczba cytowań sugeruje, że publikacja ta wpisuje się w potrzeby środowiska naukowego, wypełniając istotną lukę w dostępnej literaturze oraz odpowiadając na brak wcześniejszych opracowań integrujących udział białek karbonylowanych w kontekście starzenia tkanek roślinnych i zwierzęcych (**Publikacja H2.3.**).

7. Starzenie nasion jabłoni wiąże się z obniżeniem ekspresji genów kodujących białka regulujące jakość nasion. Białka uznawane za markery długowieczności nasion to te uczestniczące w fałdowaniu, stabilizacji oraz naprawie struktury białkowej (LEA, białka szoku cieplnego (HSP/CPN/CLP), metylotransferaza izoaspartylowa (PIMT)), czy białka związane z regulacją autofagii (kinaza TOR (target of rapamycin) i tworzące z nią kompleks białko RAPTOR (regulatory associated partner of rapamycin), białka regulatorowe indukowane przez auksynę SAUR (small auxin-up RNA)). Przedłużenie poddawania nasion starzeniu obniżało poziom transkryptów *LEA1*, *LEA2A*, *LEA4*, *HSP70B*, *HSP20A*, *HSP20B*, *CLPB1*, *CLPB4*, *CPN60A*, *CPN60B*, *RAPTOR* oraz *SAUR*. Rola NO w łagodzeniu skutków starzenia nasion zależała od długości zabiegu starzenia. Po 7 i 14 dniach starzenia, po fumigacji zarodków NO, odnotowano obniżoną ekspresję genów potencjalnie związanych z promowaniem starzenia, takich jak *TOR*, *RAPTOR* i *SAUR*. Ponadto regulacja symptomów starzenia nasion zależna od NO była związana ze stymulacją ekspresji genów kodujących białka opiekuńcze (chaperony) oraz białka zaangażowane w naprawę uszkodzonych białek. Po zastosowaniu NO najwyższy poziom ekspresji *CLPB* i *PIMT* stwierdzono w osiach zarodków wyizolowanych z nasion poddanych 7-dniowemu przyspieszonemu starzeniu. Z kolei najwyższą ekspresję *HSP70B*, *HSP70C* i *CPN* odnotowano w osiach zarodków nasion starzonych przez 14 dni, natomiast *LEA2A* wykazywał największy wzrost ekspresji w

osiach zarodków nasion po 21 dniach starzenia. Wzrost ekspresji powyższych genów w przeciwieństwie do *TOR*, *RAPTOR* i *SAUR* wydaje się priorytetowy z uwagi na konieczność naprawy uszkodzeń warunkowanych starzeniem, ale również będących przejawem rehydratacji nasion (**Publikacja H2.4.**).

8. Analiza ekspresji *TOR* i *RAPTOR* w kontekście starzenia nasion stanowi nowe, nieeksplorowane dotychczas podejście badawcze. *TOR* pozytywnie reguluje proliferację, stanowiąc zarazem negatywny czynnik autofagii, niezbędnej do usuwania komponentów komórkowych, szczególnie tych uszkodzonych w wyniku np. starzenia. Stąd obniżenie ekspresji *TOR* i *RAPTOR* po traktowaniu starzonych zarodków jabłoni NO prawdopodobnie promuje procesy związane z recyklingiem komórkowym (**Publikacja H2.4.**). Regulacja aktywności *TOR* przez NO może odbywać się na wielu płaszczyznach. NO może negatywnie wpływać na aktywność *TOR* poprzez stymulację ekspresji *RBOH* (**Publikacja H2.1.**). W siewkach rzodkiewnika stwierdzono obniżenie aktywności kinazy w warunkach stresu oksydacyjnego (Ahn i wsp., 2019). Dodatkowo w wyniku poddania starzonych zarodków jabłoni NO stwierdzono obniżenie poziomu transkryptów *SAUR* (gen odpowiedzi na auksynę) w osiach zarodkowych, sugerując tym samym obniżenie zawartości auksyn. Na podstawie literatury wiadomo, że fitohormon ten pełni funkcję nadrzędną względem *TOR* w regulacji autofagii (Pu i wsp., 2017). Stąd też postuluje się, że korzystny wpływ NO w przywracaniu prawidłowego metabolizmu starzonych nasion jest związany z tymczasowym obniżeniem poziomu *TOR/RAPTOR* lub obniżeniem aktywności *TOR*, tak aby przed zainicjowaniem kiełkowania i rozwoju siewki uruchomić recykling komórkowy i/lub naprawę uszkodzeń.

Podsumowanie Osiągnięcia naukowego 2 i perspektywy

Rola NO w poprawie jakości nasion starzonych jest rzadko badana. Niemniej dostępne dane literaturowe, w tym wyniki uzyskane dla nasion jabłoni, wskazują na jego wysoki potencjał poznawczy i aplikacyjny w tym obszarze. Jednak zależne od NO łagodzenie skutków starzenia nasion jest obserwowane głównie w tkankach, w których długotrwałe działanie wysokiej wilgotności i temperatury nie spowodowało poważnych uszkodzeń. Regulatorowa rola NO w tym aspekcie jest przede wszystkim związana ze stymulacją zdolności antyoksydacyjnej, obniżeniem zawartości zmodyfikowanych makrocząsteczek (głównie nitrowanego i utlenionego RNA) i regulacją poziomu transkryptów (kodujących białka związane z metabolizmem ROS i stanowiących markery starzenia).

Biorąc pod uwagę obserwowane zmiany ekspresji genów, funkcję kodowanych przez nie białek, a także obniżenie poziomu zmodyfikowanego RNA, można przypuszczać, że korzystny wpływ NO na ograniczanie skutków starzenia nasion jabłoni wiąże się z promowaniem syntezy białek, stabilizacją ich struktury oraz nasileniem procesów naprawczych. Procesy takie jak nitracja oraz utlenianie RNA mogą prowadzić do zmian stabilności cząsteczek mRNA, ich podatności na degradację, a także obniżenia efektywności translacji. Nie można zatem wykluczyć, że w osiach starzonych zarodków jabłoni obserwowana obniżona ekspresja genów kodujących białka będące wskaźnikami starzenia była wynikiem bezpośredniego działania ROS i RNS na poziomie RNA. Jednak są to jedynie przypuszczenia wymagające potwierdzenia, co można byłoby zrealizować poprzez zbadanie, które konkretnie transkrypty podlegają nitro-oksydacyjnym modyfikacjom przy stopniowym wydłużaniu poddawania nasion podwyższonej temperaturze w wilgotnym podłożu. Zróżnicowanie poziomu transkryptów po zastosowaniu NO w zarodkach nasion starzonych przez 7, 14 i 21 dni może odzwierciedlać dynamiczne zmiany zawartości mRNA w komórce. W szczególności może ono wynikać z różnego stopnia wykorzystania wcześniej zgromadzonych transkryptów (ang. stored mRNA), które mogą podlegać degradacji lub selektywnej translacji, a także z różnic w tempie transkrypcji – syntezy nowych cząsteczek mRNA. Dodatkowo należy podkreślić, że poziom mRNA nie zawsze odzwierciedla rzeczywistą ilość ani aktywność odpowiadających mu białek. Regulacja na poziomie potranskrypcyjnym, translacyjnym oraz potranslacyjnym może w znaczący sposób modyfikować ostateczny efekt biologiczny, dlatego uzyskane wyniki nie pozwalają na jednoznaczne wnioskowanie o funkcjonalnych konsekwencjach obserwowanych zmian ekspresji genów. W związku z tym konieczne są dalsze, pogłębione analizy obejmujące zarówno ilościowe oznaczenia poziomu białek, jak i ocenę ich aktywności enzymatycznej lub funkcjonalnej, aby w pełni zrozumieć mechanizmy działania NO w kontekście starzenia nasion.

Nieodłącznym elementem starzenia nasion jest modyfikacja oksydacyjna białek, w tym karbonylacja. Jak pokazują dane literaturowe, karbonylacja, tak jak nitracja, stanowi selektywną, nieodwracalną modyfikację, która może być postrzegana nie tylko jako marker uszkodzeń oksydacyjnych, lecz również jako ROS-zależny sygnał kontrolujący jakość białek, naznaczający je do degradacji. Interesującą obserwacją jest brak zmian zawartości karbonylowanych jak i nitrowanych białek po fumigacji zarodków wyizolowanych ze starzonych nasion jabłoni NO. Jak wykazano w pracy Tyminskiego i wsp. (2026), fumigacja starzonych zarodków jabłoni NO intensyfikuje aktywność proteolityczną. Stąd niezmienny poziom zmodyfikowanych białek wydaje się pozorny, gdyż prawdopodobnie wynika z ich

degradacji do krótszych sekwencji aminokwasowych, posiadających grupę nitrową lub karbonylową. Zatem wynik ten może być przejawem nasilonej degradacji białek, a nie rzeczywistym brakiem zmian zawartości białek podlegających nitro-oksydacyjnym modyfikacjom. Sugeruje się również, że uwalniane peptydy mogą pełnić funkcję sygnałową, co stanowi interesujący kierunek dalszych badań.

W świetle uzyskanych wyników proponuje się, że NO wpływa na kilka kluczowych aspektów metabolizmu RNA: stymuluje wykorzystanie zgromadzonego mRNA, ogranicza poziom jego nitro/oksydacyjnych uszkodzeń oraz inicjuje syntezę mRNA *de novo*. Takie wielokierunkowe działanie mogłoby stanowić jeden z istotnych mechanizmów, poprzez które NO przyczynia się do niwelowania lub opóźniania procesów starzenia oraz utrzymania żywotności zarodków/nasion.

4.4.3. Podsumowanie wyników opisanych w wykazanych osiągnięciach naukowych, ich znaczenie oraz możliwości zastosowania

Nasiona jabłoni charakteryzują się głębokim spoczynkiem, co czyni je doskonałym materiałem badawczym, pozwalającym zrozumieć, w jaki sposób rośliny regulują kiełkowanie w odpowiedzi na czynniki środowiskowe i wewnętrzne – mechanizmy te mają kluczowe znaczenie dla ich przetrwania i aklimatyzacji. Ustępowanie spoczynku nasion jabłoni wymaga czasu i odpowiednich warunków środowiska – niskiej, ale dodatniej temperatury i odpowiedniej dostępności wody, zapewniających równocześnie wysoką żywotność nasion. Dlatego stopniowe przełamywanie spoczynku nasion tego gatunku, rozciągnięte w czasie, pozwala na szczegółowe zrozumienie zmian zachodzących w nasionach, identyfikację kluczowych szlaków sygnałowych i metabolicznych, kontrolujących przejście nasion ze stanu spoczynkowego do osiągnięcia gotowości do kiełkowania. Poznanie mechanizmów przełamywania głębokiego spoczynku nasion jabłoni ma zatem istotne znaczenie poznawcze i jest sukcesywnie kontynuowane od kilkudziesięciu lat (Lewak, 2011). Z perspektywy badań podstawowych, prowadzone przeze mnie badania, zaprezentowane jako **Osiągnięcie naukowe 1**, poszerzają dotychczasową wiedzę o ustępowaniu spoczynku nasion o dodatkowe elementy regulacyjne i zależności molekularne. Wskazują na istnienie precyzyjnej regulacji zawartości ROS i RNS oraz zmian stanu redoks w komórkach nasion na różnych etapach ustępowania spoczynku. Podkreślają również potrzebę remodelingu proteomu zależnego od ROS, prawdopodobnie na poziomie translacji – utlenianie RNA, zakłócające syntezę białek, i zmian potranslacyjnych – karbonylacja białek, której konsekwencją jest stymulacja proteolizy.

Selektywna synteza białek, a także degradacja białek nieadekwatnych funkcjonalnie do danego etapu fizjologicznego, zapewniają dostosowanie proteomu do aktualnych potrzeb komórki. Dodatkowo w wyniku proteolizy białek zapasowych uwalniane są aminokwasy, stanowiące pulę do ponownego wykorzystania w procesach biosyntezy.

Z kolei niepożądany efekt działania na żywotność nasion jabłoni jest obserwowany po zastosowaniu podwyższonej temperatury i wilgotności podłoża, szczególnie przy wydłużeniu czasu oddziaływania tych czynników. Opisane w ramach **Osiągnięcia naukowego 2** wyniki badań jednoznacznie wskazują na rolę NO w łagodzeniu efektów starzenia nasion tego gatunku. Działanie NO polega na zmianie zawartości ROS, przy jednoczesnym obniżeniu akumulacji zmodyfikowanych cząsteczek (utlenione i nitrowane RNA), kontroli jakości białek, wspierając procesy naprawcze i ochronne związane z fałdowaniem, stabilizacją i regeneracją struktury białek. Znaczenie tych badań ma zarówno charakter poznawczy, jak i aplikacyjny. Z jednej strony przyczyniają się one do lepszego zrozumienia mechanizmów regulujących starzenie i zwiększenia żywotności nasion. Z drugiej zaś, badania te wskazują na możliwości praktycznego wykorzystania NO lub czynników regulujących jego zawartość w nasionach w celu poprawy ich jakości, zwiększając walory konsumpcyjne lub ich zdolność do kiełkowania w przypadku materiału siewnego. Ma to znaczenie zarówno z punktu widzenia przechowywania nasion, produkcji roślinnej, jak i ochrony zasobów genetycznych.

4.5. Cytowana literatura

- Ahn C.S., Lee D.-H., Pai H.-S. 2019. Characterization of Maf1 in Arabidopsis: function under stress conditions and regulation by the TOR signaling pathway. *Planta*, 249: 527–542. DOI: 10.1007/s00425-018-3024-5.
- Alban C., Job D., Douce R. 2000. Biotin metabolism in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 17–47. DOI: 10.1146/ANNUREV.ARPLANT.51.1.17.
- Albertos P., Romero-Puertas M., Tatematsu K., Mateos I., Sánchez-Vicente I., Nambara E., Lorenzo O. 2015. S-nitrosylation triggers ABI5 degradation to promote seed germination and seedling growth. *Nature Communications* 6: 8669. DOI: 10.1038/ncomms9669.
- Astier J., Gross I., Durner J. 2018. Nitric oxide production in plants: an update. *Journal Experimental Botany*, 69: 3401–3411. DOI: 10.1093/jxb/erx420.
- Astier J., Mounier A., Santolini J., Jeandroz S., Wendehenne D., Brouquisse R. 2019. The evolution of nitric oxide signalling diverges between animal and green lineages. *Journal of Experimental Botany*, 70: 4355–4364. DOI: 10.1093/jxb/erz088.
- Bai X.G., Chen J.H., Kong X.X., Todd C.D., Yang Y.P., Hu X.Y., Li D.Z., 2012. Carbon monoxide enhances the chilling tolerance of recalcitrant *Baccaurea ramiflora* seeds via nitric oxide-mediated glutathione homeostasis. *Free Radical Biology and Medicine*, 53: 710–720. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2012.05.042.

- Bailly C. 2019. The signalling role of ROS in the regulation of seed germination and dormancy. *Biochemical Journal*, 476: 3019-3032. DOI: 10.1042/BCJ20190159.
- Bailly C. 2023. ROS in seed germination. [W:] Mittler R., van Breusegem F. [Red.], *Advances in botanical research*. Academic Press, 105: 177-204.
- Bailly C., El-Maarouf-Bouteau H., Corbineau F. 2008. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 806–814. DOI: 10.1016/j.crv.2008.07.022.
- Bazin J., Langlade N., Vincourt P., Arribat S., Balzergue S., El-Maarouf-Bouteau H., Bailly C. 2011. Targeted mRNA oxidation regulates sunflower seed dormancy alleviation during dry after-ripening. *The Plant Cell*, 23: 2196–2208. DOI: 10.1105/tpc.111.086694.
- Bethke P.C., Gubler F., Jacobsen J.V., Jones R.L. 2004. Dormancy of Arabidopsis seeds and barley grains can be broken by nitric oxide. *Planta*, 219: 847-855. DOI: 10.1007/s00425-004-1282-x.
- Bewley J.D., Black M. 1994. Dormancy and the control of germination. [W:] Bewley J.D., Black M. [Red.], *Seeds. Physiology of development and germination*. Springer, 199-271. DOI: 10.1007/978-1-4615-1747-4_5.
- Bykova N.V., Hu J., Ma Z., Igamberdiev A.U. 2015. The role of reactive oxygen and nitrogen species in bioenergetics, metabolism, and signaling during seed germination. [W:] Gupta K., Igamberdiev A.U. [Red.], *Reactive oxygen and nitrogen species signaling and communication in plants. Signaling and communication in plants*. Cham: Springer International Publishing Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-319-10079-1_9.
- Bykova N.V., Igamberdiev A.U. 2025. Redox control of seed germination is mediated by the crosstalk of nitric oxide and reactive oxygen species. *Antioxidants & Redox Signaling*, 42: 442-461. DOI: 10.1089/ars.2024.0699.
- Castillo M.C., Juste J.L., González-Guzmán M., Rodríguez, L., Rodríguez P.R., León J. 2015. Inactivation of PYR/PYL/RCAR ABA receptors by tyrosine nitration may enable rapid inhibition of ABA signaling by nitric oxide in plants. *Science Signaling*, 8: ra89. DOI: 10.1126/scisignal.aaa7981.
- Chaki M., Valderrama R., Fernández-Ocaña A.M., Carreras A., López-Jaramillo J., Luque F., Palma J.M., Pedrajas J.R., Begara-Morales J.C., Sánchez-Calvo B., Gómez-Rodríguez M.V., Corpas F. J., Barroso J.B. 2009. Protein targets of tyrosine nitration in sunflower (*Helianthus annuus* L.) hypocotyls. *Journal of Experimental Botany*, 60: 4221–4234. DOI: 10.1093/jxb/erp263.
- Ciąćka K., Kiljanek H., Staszek P., Krasuska U., Gniazdowska A. 2018. Trochę chłodu dla wigoru – o przerywaniu spoczynku nasion w wyniku zabiegu stratyfikacji. [W:] Łaska G. [Red.], *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Nowe wyzwania w badaniach botanicznych i środowiskowych*. Białystok: Polskie Towarzystwo Botaniczne, 61-74.
- Cloetens P., Mache R., Schlenker M., Lerbs-Mache S. 2006. Quantitative phase tomography of *Arabidopsis* seeds reveals intercellular void network. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 14626–14630. DOI: 10.1073/pnas.0603490103.
- Dawidowicz-Grzegorzewska A. 1989. Degradation of protein and lipid bodies during dormancy removal in apple seeds. *Journal of Plant Physiology*, 135: 43-51. DOI: 10.1016/S0176-1617(89)80222-6.
- Dębska K., Krasuska U., Budnicka K., Bogatek R., Gniazdowska A. 2013. Dormancy removal of apple seeds by cold stratification is associated with fluctuation in H₂O₂, NO production and

protein carbonylation level. *Journal of Plant Physiology*, 170: 480-488. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.11.018.

Finch-Savage W.E., Leubner-Metzger G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171: 501-523. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x.

Gniazdowska A., Krasuska U., Czajkowska K., Bogatek R., 2010. Nitric oxide, hydrogen cyanide and ethylene are required in the control of germination and undisturbed development of young apple seedlings. *Plant Growth Regulations*, 61: 75–84. DOI: 10.1007/s10725-010-9452-2.

Gupta K.J., Fernie A.R., Kaiser W.M., van Dongen J.T. 2011. On the origins of nitric oxide. *Trends in Plant Science A Cell Press Journal*, 16: 160-168. DOI: 10.1016/j.tplants.2010.11.007.

Gupta S., Van Staden J., Doležal K. 2022. An understanding of the role of seed physiology for better crop productivity and food security. *Plant Growth Regulation*, 97: 171–173. DOI: 10.1007/s10725-022-00827-8.

Hasanuzzaman M., Nahar K., Anee T.I., Fujita M. 2017. Glutathione in plants: biosynthesis and physiological role in environmental stress tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23: 249-268. DOI: 10.1007/s12298-017-0422-2.

Jedelská T., Luhová L., Petřivalský M. 2020. Thioredoxins: emerging players in the regulation of protein S-nitrosation in plants. *Plants*, 9: 1426. DOI: 10.3390/plants9111426.

Job C., Rajjou L., Lovigny Y., Belghazi M., Job D. 2005. Patterns of protein oxidation in *Arabidopsis* seeds and during germination. *Plant Physiology*, 138: 790-802. DOI: 10.1104/pp.105.062778.

Kärkönen A., Kuchitsu K. 2015. Reactive oxygen species in cell wall metabolism and development in plants. *Phytochemistry*, 112: 22–32. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.09.016.

Katsuya-Gaviria K., Caro E., Carrillo-Barral N., Iglesias-Fernández R. 2020. Reactive oxygen species (ROS) and nucleic acid modifications during seed dormancy. *Plants*, 9:679. DOI: 10.3390/plants9060679.

Kermode A. 2005. Role of abscisic acid in seed dormancy. *Journal of Plant Growth Regulations*, 24: 319–344. DOI: 10.1007/s00344-005-0110-2.

Kibinza S., Bazin J., Bailly C., Farrant J.M., Corbineau F., El-Maarouf-Bouteau H. 2011. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science*, 181: 309–315. DOI: 10.1016/j.plantsci.2011.06.003.

Kibinza S., Vinel D., Come D., Bailly C., Corbineau F. 2006. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. *Physiologia Plantarum*, 128: 496–506. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2006.00771.x.

Kovacs I., Holzmeister C., Wirtz M., Geerlof A., Frohlich T., Romling G., Kuruthukulangarakoola G.T., Linster E., Hell R., Arnold G.J., Durner J., Lindermayr C. 2016. ROS-mediated inhibition of S-nitrosoglutathione reductase contributes to the activation of anti-oxidative mechanisms. *Trends in Plant Science*, 7: 1667. DOI: 10.3389/fpls.2016.01669.

Krasuska U., Ciacka K., Andryka-Dudek P., Bogatek R., Gniazdowska A. 2015. „Nitrosative Door” in seed dormancy alleviation and Germination. [W:] Gupta K.J., Igamberdiev A.U. [Red.], Interaction of calcium signalling with reactive oxygen and reactive nitrogen species. Springer, 215-237. DOI: 10.1007/978-3-319-10079-1_11.

Krasuska U., Ciacka K., Bogatek R., Gniazdowska A. 2014. Polyamines and nitric oxide link in regulation of dormancy removal and germination of apple (*Malus domestica* Borkh.)

embryos. *Journal of Plant Growth Regulations*, 33: 590-601. DOI: 10.1007/s00344-013-9408-7.

Krasuska U., Ciacka K., Orzechowski S., Fettke J., Bogatek R., Gniazdowska A. 2016. Modification of the endogenous NO level influences apple embryos dormancy by alterations of nitrated and biotinylated protein patterns. *Planta*, 244: 877–891. DOI: 10.1007/s00425-016-2553-z.

Krasuska U., Gniazdowska A. 2012. Nitric oxide and hydrogen cyanide as regulating factors of enzymatic antioxidant system in germinating apple embryos. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34: 683-692. DOI: 10.1007/s11738-011-0868-8.

Kumar S.P.J., Prasad S.R., Banerjee R., Thammineni C. 2015. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of Botany*, 116: 663–668. DOI: 10.1093/aob/mcv098.

Kurek K., Plitta-Michalak B., Ratajczak E. 2019. Reactive oxygen species as potential drivers of the seed aging process. *Plants*, 8: 174. DOI:10.3390/plants8060174.

Lachabrouilli A.-S., Rigal K., Corbineau F., Bailly C. 2021. Effects of agroclimatic conditions on sunflower seed dormancy at harvest. *European Journal of Agronomy*, 124: 126209. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126209.

Leterrier M., Chaki M., Airaki M., Valderrama R., Palma J.M., Barroso J.B., Corpas F.J. 2011. Function of *S*-nitrosogluthione reductase (GSNOR) in plant development and under biotic/abiotic stress. *Plant Signaling & Behavior*, 6: 789-793. DOI: 10.4161/psb.6.6.15161.

Lewak S. 2011. Metabolic control of embryonic dormancy in apple seed: seven decades of research. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33: 1-24. DOI: 10.1007/s11738-010-0524-8.

Leymarie J., Vitkauskaitė G., Ha H.H., Gendreau E., Chazoule V., Meimoun P., Kacienė G., Corbineau F., El-Maarouf-Bouteau H., Bailly C. 2012. Role of reactive oxygen species in the regulation of Arabidopsis seed dormancy. *Plant and Cell Physiology*, 53: 96–106. DOI: 10.1093/pcp/pcr129.

Lin Y.X., Xu H.J., Yin G.K., Zhou Y.C., Lu X.X., Xin X. 2022. Dynamic changes in membrane lipid metabolism and antioxidant defense during soybean (*Glycine max* L. Merr.) seed aging. *Frontiers in Plant Science*, 13: 908949. DOI: 10.3389/fpls.2022.908949.

Linkies A., Graeber K., Knight C., Leubner-Metzger G. 2010. The evolution of seeds. *New Phytologist*, 186: 186-831. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03249.x.

Liszkay A., Kenk B., Schopfer P. 2003. Evidence for the involvement of cell wall peroxidase in the generation of hydroxyl radicals mediating extension growth. *Planta*, 217: 658–667. DOI: 10.1007/S00425-003-1028-1.

Ma Z., Marsolais F., Bykova N.V., Igamberdiev A.U. 2016. Nitric oxide and reactive oxygen species mediate metabolic changes in barley seed embryo during germination. *Frontiers in Plant Science*, 7: 138. DOI: 10.3389/fpls.2016.00138.

Mandal M., Sarkar M., Khan A., Biswas M., Masi A., Rakwal R., Agrawal G.K., Srivastava A., Sarkar A. 2022. Reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) in plants - maintenance of structural individuality and functional blend. *Advances in Redox Research*, 5: 100039. DOI: 10.1016/j.arres.2022.100039.

Mao C., Zhu, Y., Cheng H., Yan H., Zhao L., Tang J., Ma X., Mao P. 2018. Nitric oxide regulates seedling growth and mitochondrial responses in aged oat seeds. *International Journal of Molecular Sciences*, 19: 1052. DOI: 10.3390/ijms19041052.

- Mata-Pérez C., Sánchez-Calvo B., Padilla M.N., Begara-Morales J.C., Valderrama R., Corpas F.J., Barroso J.B. 2017. Nitro-fatty acids in plant signaling: new key mediators of nitric oxide metabolism. *Redox Biology*, 11: 554–561. DOI: 10.1016/j.redox.2017.01.002.
- Matilla A.J. 2021. The orthodox dry seeds are alive: A clear example of desiccation tolerance. *Plants*, 11: 20. DOI: 10.3390/plants11010020.
- Müller K., Linkies A., Vreeburg R.A.M., Fry S.C., Krieger-Liszkay A., Leubner-Metzger G., 2009. In vivo cell wall loosening by hydroxyl radicals during cress seed germination and elongation growth. *Plant Physiology*, 150: 1855–1865. DOI: 10.1104/pp.109.139204.
- Murphy M.P. 2009. How mitochondria produce reactive oxygen species. *Biochemical Journal*, 417: 1–13. DOI: 10.1042/BJ20081386.
- Noctor G., Reichheld J.P., Foyer C. 2018. ROS-related redox regulation and signaling in plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 80: 3–12. DOI: 10.1016/j.semcdb.2017.07.013.
- Oracz K., El-Maarouf-Bouteau H., Farrant J., Cooper K., Belgazhi M., Job C., 2007. ROS production and protein oxidation as a novel mechanism of seed dormancy alleviation. *Plant Journal*, 50: 452–465. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2007.03063.x.
- Oracz K., Stawska M. 2016. Cellular recycling of proteins in seed dormancy alleviation and germination. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1128. DOI: 10.3389/fpls.2016.01128.
- Parkhey S., Naithani S.C., Keshavkant S. 2012. ROS production and lipid catabolism in desiccating *Shorea robusta* seeds during aging. *Plant Physiology and Biochemistry*. 57: 261–267. DOI: 10.1016/j.plaphy.2012.06.008.
- Pirredda M., Fañanás-Pueyo I., Oñate-Sánchez L., Mira S. 2023. Seed longevity and ageing: a review on physiological and genetic factors with an emphasis on hormonal regulation. *Plants*, 13: 41. DOI: 10.3390/plants13010041.
- Pu Y., Luo X., Bassham D.C. 2017. TOR-dependent and -independent pathways regulate autophagy in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1204. DOI: 10.3389/fpls.2017.01204.
- Radi R. 2018. Oxygen radicals, nitric oxide, and peroxynitrite: redox pathways in molecular medicine. 5. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115: 5839–5848. DOI: 10.1073/pnas.1804932115.
- Rajjou L., Debeaujon I., 2008. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seed. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 796–805. DOI: 10.1016/j.crv.2008.07.021.
- Rajjou L., Lovigny Y., Groot S.P., Belghaz M., Job C., Job D. 2008. Proteome-wide characterization of seed aging in *Arabidopsis*: A comparison between artificial and natural aging protocols. *Plant Physiology*, 148: 620–641. DOI: 10.1104/pp.108.123141.
- Rodgers K.J., Shiozawa N. 2008. Misincorporation of amino acid analogues into proteins by biosynthesis. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 40, 1452–1466. DOI: 10.1016/J.BIOCEL.2008.01.009.
- Romero-Puertas M.C., Sandalio L.M. 2016. Nitric oxide level is self-regulating and also regulates its ROS partners. *Frontiers in Plant Science*, 7: 316. DOI: 10.3389/fpls.2016.00316.
- Saatkamp A., Cochrane A., Commander L., Guja L.K., Jimenez-Alfaro B., Larson J., Nicotra A., Poschlod P., Silveira F.A.O., Cross A.T., Dalziel E.L., Dickie J., Erickson T.E., Fidelis A., Fuchs A., Golos P.J., Hope M., Lewandrowski W., Merritt D.J., Miller B.P., Miller R.G., Offord C.A., Ooi M.K.J., Satyanti A., Sommerville K.D., Tangney R., Tomlinson S., Turner S., Walck

J.L. 2019. A research agenda for seed-trait functional ecology. *New Phytologist*, 221: 1764-1775. DOI: 10.1111/nph.15502.

Simontacchi M., Jasid S., Puntarulo S. 2004. Nitric oxide generation during early germination of sorghum seeds. *Plant Science*, 167: 839–847. DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.05.028.

Sun L., Wu Q., Mao X. 2022. Effects of oxidation modification by malondialdehyde on the structure and functional properties of walnut protein. *Foods*, 11: 2432. DOI: 10.3390/foods11162432.

Sun WQ., Leopold AC., 1993. The glassy state and accelerated aging of soybeans. *Physiologia Plantarum*, 89:767–774. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1993.tb05283.x.

Tyminski M., Ciacka K., Krasuska U. 2024 Reactive nitrogen species act as the enhancers of glutathione pool in embryonic axes of apple seeds subjected to accelerated ageing. *Planta*, 260: 51. DOI: 10.1007/s00425-024-04472-5.

Tyminski M., Staszek P., Ciacka K., Gniazdowska A., Krasuska U. 2026. NO treatment of embryos isolated from artificially aged apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds modifies the pattern of nitrated and carbonylated proteins. *Plant Science*, 362: 112828. DOI: 10.1016/j.plantsci.2025.112828.

Wang P., Zhu J.K., Lang Z. 2015. Nitric oxide suppresses the inhibitory effect of abscisic acid on seed germination by S-nitrosylation of SnRK2 proteins. *Plant Signaling & Behavior*, 10. DOI: 10.1080/15592324.2015.1031939.

Xia F.S., Wang M.Y., Li M.L., Mao, P.S. 2015. Mitochondrial structural and antioxidant system responses to aging in oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture contents. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94: 122–129. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.06.002.

Xin X., Tian Q., Yin G., Chen X., Zhang J., Ng S., Lu X. 2014. Reduced mitochondrial and ascorbate-glutathione activity after artificial ageing in soybean seed. *Journal of Plant Physiology*, 171: 140–147. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.09.016.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

01-02-2016 – 30-04-2016 Staż w laboratorium prof. Claudio Stasolli, Faculty of Agricultural and Food Sciences, University of Manitoba, Kanada.

23-03-2018 – 13-04-2018 Staż w laboratorium prof. Joerg Fettke, Institute of Biology and Biochemistry, Potsdam University, Niemcy.

5.1. Aktywność naukowa w University of Manitoba, Faculty of Agricultural and Food Sciences w ramach stażu przed uzyskaniem stopnia doktora

W roku 2016 odbyłam 3-miesięczny staż w University of Manitoba Faculty of Agricultural and Food Sciences, finansowany z Własnego Funduszu Stypendialnego SGGW. Grupa badawcza, z którą pracowałam pod kierunkiem prof. Claudio Stasolli zajmuje się reakcją roślin na stres związany głównie z okresowym zalaniem wywołującym niedobór tlenu. Podczas stażu

uczestniczyłam w badaniach reakcji roślin na warunki hipoksji, w tym w szczególności dotyczyły one roślin transgenicznych wykazujących zwiększony lub obniżony poziom fitoglobiny. Fitoglobiny są białkami odpowiadającymi za regulację poziomu NO. W trakcie realizacji tego stażu badawczego zdobyłam szeroki zakres praktycznych oraz teoretycznych umiejętności związanych z analizą ekspresji genów przy wykorzystaniu metody RT-qPCR, obejmujący między innymi samodzielne przeprowadzanie izolacji wysokiej jakości RNA, projektowanie starterów specyficznych dla wybranych sekwencji genowych, a także interpretację uzyskanych wyników eksperymentalnych. Dodatkowo w trakcie stażu przedstawiono mi metodę hybrydyzacji *in situ*, umożliwiającą lokalizację ekspresji genów bezpośrednio w tkankach roślinnych. Poszerzyłam również swoją wiedzę o mechanizmach regulujących poziom NO w roślinach, ze szczególnym uwzględnieniem funkcjonowania cyklu fitoglobina–NO oraz jego znaczenia w odpowiedziach fizjologicznych roślin na zmienne warunki środowiskowe.

Tematyka badań realizowanych w laboratorium prof. Claudio Stasolli stała się dla mnie istotnym źródłem inspiracji do podjęcia badań nad rolą fitoglobiny w nasionach jabłoni, w kontekście ustępowania ich spoczynku związanego z fluktuacjami poziomu NO; badania te zostały przeprowadzone w oparciu o zdobyte podczas stażu doświadczenie metodologiczne i wiedzę teoretyczną, a ich wyniki będą przygotowywane do publikacji.

Efektom mojej współpracy z grupą badawczą prof. Claudio Stasolli są następujące publikacje:

Mira M.M., **Ciacka K.**, Hill R.D., Stasolla C. 2019. In vitro differentiation of tracheary elements is induced by suppression of Arabidopsis phytooglobins, *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 141-148. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.036.

Mira M.M., El-Khateeb E.A., Youssef M.S., **Ciacka K.**, So K., Duncan R.W., Hill R.D., Stasolla C. 2023. Arabidopsis root apical meristem survival during waterlogging is determined by phytoglobin through nitric oxide and auxin. *Planta*, 258: 86. DOI: 10.1007/s00425-023-04239-4.

oraz doniesienie konferencyjne (poster):

Mira M.M., El-Khateeb E.A., Youssef M.S., **Ciacka K.**, So K., Duncan R.W., Hill R.D., Stasolla C. Arabidopsis root apical meristem survival during hypoxia-induced waterlogging is determined by phytoglobin through nitric oxide and auxin. International Society for Plant Anaerobiosis, September 25-29, 2022, Germany.

5.2. Aktywność naukowa w Potchdam University, Institute of Biology and Biochemistry w ramach stażu podoktorskiego

W okresie 23-03-2018 – 13-04-2018 odbyłam 3-tygodniowy staż podoktorski w laboratorium prof. Joerg Fettke, w Instytucie Biochemii i Biologii na Uniwersytecie w Poczdamie, Niemcy. Staż ten był finansowany z projektu OPUS7, nr grantu 2014/13/B/NZ9/02074 „Reaktywne formy azotu i poliaminy w regulacji fitotoksycznego oddziaływania niebiałkowych aminokwasów na wzrost korzeni”, w którym byłam wykonawcą, odpowiadającą za identyfikację białek izolowanych z korzeni pomidora. Podczas pobytu w laboratorium prof. Joerg Fettke, zdobyłam umiejętności w zakresie metod identyfikacji białek, obejmujące zarówno przygotowanie materiału biologicznego, izolację i oczyszczanie frakcji białkowych, jak i wykorzystanie analizy MALDI-TOF. Nabyte kompetencje praktyczne oraz pogłębiona wiedza teoretyczna umożliwiły mi projektowanie i realizację eksperymentów ukierunkowanych na analizę białek w roślinach. Zdobyte doświadczenie stało się bezpośrednią podstawą do prowadzenia przeze mnie własnych badań w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, których wyniki stanowią istotny element wchodzący w skład Osiągnięcia naukowego 1 (**Publikacja H1.3.**, identyfikacja białek karbonylowanych w osiach zarodków jabłoni).

5.3. Informacje o współpracy z innymi jednostkami naukowymi

Złożenie projektu wraz z dr Hanną Fuchs z Instytutu Dendrologii Polskiej Akademii Nauk w Kórniku w ramach konkursu NCN OPUS20: „Czy wiek drzewostanów zachowawczych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) i dębu (*Quercus* L.) wpływa na jakość pozyskiwanych z nich nasion?” Projekt nie uzyskał finansowania.

5.4. Informacje o działaniach naukowych prowadzonych w jednostce macierzystej, których tematyka nie została włączona w osiągnięcia naukowe

5.4.1. NO i poliaminy w regulacji spoczynku i kiełkowania nasion

Podczas realizacji pracy doktorskiej zajmowałam się analizą powiązań pomiędzy NO a poliaminami w regulacji procesów ustępowania spoczynku oraz inicjacji kiełkowania nasion jabłoni. Moje badania koncentrowały się na wyjaśnieniu mechanizmów współdziałania tych

cząsteczek w kontekście regulacji metabolizmu komórkowego, warunkującego przejście nasion ze stanu spoczynku do kiełkowania.

Wyniki prac w tej tematyce przedstawiono w następujących publikacjach:

Krasuska U., **Budnicka K.**¹, Bogatek R., Gniazdowska A. 2012. Poliaminy w regulacji spoczynku i kiełkowania nasion. *Postępy Biologii Komórki*, 39: 395-414. (¹nazwisko panieńskie)

Krasuska U., **Ciacka K.**, Bogatek R., Gniazdowska A. 2014. Polyamines and nitric oxide link in regulation of dormancy removal and germination of apple (*Malus domestica* Borkh.) embryos. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33: 590–601. DOI: 10.1007/s00344-013-9408-7.

Ciacka K., Krasuska U. 2014. Poliaminy – być albo nie być dla rośliny. *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa*, nr 1/4, s. 3-10.

Krasuska U., **Ciacka K.**, Gniazdowska A. 2017. Nitric oxide-polyamines cross-talk during dormancy release and germination of apple embryos. *Nitric Oxide*, 68: 38-50. DOI: 10.1016/j.niox.2016.11.003.

5.4.2. Modyfikacje makrocząsteczek - karbonylacja i nitracja jako regulator stanu fizjologicznego nasion

Zainteresowanie ROS-zależnymi modyfikacjami białek sięga okresu realizacji mojej pracy magisterskiej. Wówczas skupiłam uwagę na procesie karbonylacji białek zachodzącym podczas ustępowania spoczynku nasion. Badania te były kontynuowane w kolejnych eksperymentach, w których analizowano zawartość białek karbonylowanych oraz nitrowanych w odpowiedzi na traktowanie zarodków jabłoni NO i/lub cyjanowodorem (HCN) – cząsteczkami sygnałowymi zaangażowanymi w przełamywanie ich spoczynku. Ponadto przeprowadziłam również analizę zmian zawartości nitrowanego RNA w wyniku traktowania zarodków jabłoni donorami NO.

Efektom badań prowadzonych w tym zakresie są następujące publikacje:

Dębska K., Krasuska U., **Budnicka K.**¹, Bogatek R., Gniazdowska A. 2013. Dormancy removal of apple seeds by cold stratification is associated with fluctuation in H₂O₂, NO production and protein carbonylation level. *Journal of Plant Physiology*, 170: 480-488. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.11.018. (¹nazwisko panieńskie)

Krasuska U., **Ciacka K.**, Dębska K., Bogatek R., Gniazdowska A. 2014. Dormancy alleviation by NO or HCN leading to decline of protein carbonylation levels in apple (*Malus domestica* Borkh.) embryos. *Journal of Plant Physiology*, 171: 1132–1141. DOI: 10.1016/j.jplph.2014.04.015.

Ciacka K., Andrzejczak O., Krasuska U., Gniazdowska A. 2015. Nitrowane białka i kwasy tłuszczowe w komórkach roślin i zwierząt. *Postępy Biologii Komórki*, 42:539-558.

Krasuska U., **Ciacka K.**, Orzechowski S., Fettke J., Bogatek R., Gniazdowska A. 2016. Modification of the endogenous NO level influences apple embryos dormancy by alterations of nitrated and biotinylated protein patterns. *Planta*, 244: 877-891. DOI: 10.1007/s00425-016-2553-z.

Andryka-Dudek P., **Ciacka K.**, Wisniewska A., Bogatek R., Gniazdowska A. 2019. Nitric Oxide-induced dormancy removal of apple embryos is linked to alterations in expression of genes encoding ABA and JA biosynthetic or transduction pathways and RNA nitration. *International Journal of Molecular Sciences* 20: 1007 DOI 10.3390/ijms20051007.

5.4.3. Mechanizmy działania związków allelopatycznych i fitotoksycznych

W ramach zainteresowań mechanizmami działania związków allelopatycznych i fitotoksycznych uczestniczyłam w badaniach dotyczących wpływu niebiałkowych

aminokwasów na metabolizm ROS. Analizowałam efekty toksycznego działania L-kanawaniny i *m*-Tyr, w tym ich rolę w destabilizacji równowagi redoks w korzeniach roślin oraz zależności między dawką a odpowiedzią roślin (efekt hormetyczny), ze szczególnym uwzględnieniem działania HCN jako gazotransmitera roślinnego.

Dorobek w tym zakresie obejmuje następujące publikacje:

Staszek P., Weston L.A., **Ciacka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. 2017. L-Canavanine: How does a simple non-protein amino acid inhibit cellular function in a diverse living system? *Phytochemistry Reviews*, 16: 1269–1282. DOI: 10.1007/s11101-017-9536-y.

Andrzejczak O., Krasuska U., Olechowicz J., Staszek P., **Ciacka K.**, Bogatek R., Hebelstrup K., Gniazdowska A. 2018. Destabilization of ROS metabolism in tomato roots as a phytotoxic effect of *meta*-tyrosine. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123:369-377. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.12.024.

Tyminski M., **Ciacka K.**, Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. 2021. Toxicity of *meta*-tyrosine. *Plants*, 10: 2800. DOI: 10.3390/plants10122800.

Staszek P., Krasuska U., **Ciacka K.**, Gniazdowska A. 2021. ROS metabolism perturbation as an element of mode of action of allelochemicals. *Antioxidants*, 10: 1648. DOI: 10.3390/antiox10111648.

Krasuska U., **Ciacka K.**, Staszek P., Tymięski M., Wal A., Gniazdowska A. 2023. Hormetic action of cyanide: plant gasotransmitter and poison. *Phytochemistry Reviews*, 25: 705-719. DOI: 10.1007/s11101-023-09904-w.

5.4.4. Fitoglobiny - regulatory stężenia NO w roślinach w warunkach zalania

W trakcie stażu zagranicznego na Uniwersytecie Manitoba w Kanadzie uczestniczyłam w badaniach dotyczących roli fitoglobiny w regulacji rozwoju roślin – różnicowania elementów przewodzących u rzodkiewnika oraz w odpowiedzi roślin na zalanie. Podczas badań analizowano zależności między fitoglobinami, NO (w kontroli morfogenezy) a także auksyną (w warunkach niedoboru tlenu).

Efektom badań prowadzonych w tym zakresie są następujące publikacje:

Mira M.M., **Ciacka K.**, Hill R.D., Stasolla C. 2019. In vitro differentiation of tracheary elements is induced by suppression of Arabidopsis phytooglobins. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 141–148. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.036.

Mira M.M., El-Khateeb E.A., Youssef M.S., **Ciacka K.**, So K., Duncan R.W., Hill R.D., Stasolla C. 2023. Arabidopsis root apical meristem survival during waterlogging is determined by phytoglobin through nitric oxide and auxin. *Planta*, 258: 1-16. DOI: 10.1007/s00425-023-04239-4.

5.4.5. NO jako cząsteczka łagodząca skutki starzenia nasion

Pod moją opieką jako promotora pomocniczego, kontynuowano badania dotyczące roli NO w łagodzeniu efektów starzenia nasion jabłoni. Prace te koncentrowały się na analizie metabolizmu glutationu, a także na identyfikacji białek karbonylowanych i nitrowanych oraz procesów ich proteolizy.

Efektom badań prowadzonych w tym zakresie są następujące publikacje:

Tyminski M., **Ciacka K.**, Krasuska U. 2024. Reactive nitrogen species act as the enhancers of glutathione pool in embryonic axes of apple seeds subjected to accelerated ageing. *Planta*, 260: 1-15. DOI: 10.1007/s00425-024-04472-5.

Tyminski M., Staszek P., **Ciacka K.**, Gniazdowska A., Krasuska U. 2026. NO treatment of embryos isolated from artificially aged apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds modifies the pattern of nitrated and carbonylated proteins. *Plant Science*, 362: 112828. DOI: 10.1016/j.plantsci.2025.112828.

5.4.6. Rola glutationu w sygnalizacji podczas odpowiedzi roślin na stres biotyczny

Podczas prowadzonych badań analizowałam zawartość glutationu w formie zredukowanej i utlenionej w liściach ziemniaka odmian różniących się podatnością na wirusa PVY^{NTN}. Uzyskane wyniki wskazują, że glutation stanowi istotny element sygnalizacji komórkowej w interakcji pomiędzy wirusem PVY^{NTN} a rośliną ziemniaka.

Uzyskany wynik został opublikowany w pracy:

Otulak-Kozieł K., Kozieł E., Przewodowski W., **Ciacka K.**, Przewodowska A. 2022. Glutathione modulation in PVY^{NTN} susceptible and resistant potato plant interactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 23: 1-24. DOI: 10.3390/ijms23073797.

5.4.7. ROS i RNS jako cząsteczki regulujące proces trawienia u roślin mięsożernych

W ramach moich zainteresowań rolą ROS i RNS w regulacji procesów biologicznych byłam współautorem pracy przeglądowej poświęconej analizie ich funkcji w procesach trawiennych u roślin mięsożernych z rodzaju *Nepenthes* oraz u człowieka. W artykule omówiono zarówno udokumentowany, jak i potencjalny wpływ tych cząsteczek na trawienie zachodzące w pułapkach dzbaneczników, które mogą być traktowane jako swoisty „zewnątrzny żołądek”.

Krasuska U., Wal A., Staszek P., **Ciacka K.**, Gniazdowska A. 2023. Do reactive oxygen and nitrogen species have a similar effect on digestive processes in carnivorous *Nepenthes* plants and humans? *Biology*, 12: 1-14. DOI: 10.3390/biology12101356.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

6.1. Promotorstwo pomocnicze prac doktorskich

W trakcie realizacji:

mgr Marcin Tymiński, promotor pomocniczy praca na etapie przygotowania rozprawy doktorskiej

6.2. Promotorstwo prac dyplomowych

Byłam opiekunką 5 zrealizowanych prac magisterskich oraz 15 prac licencjackich lub inżynierskich. Obecnie sprawuję opiekę nad 2 pracami magisterskimi oraz 1 pracą inżynierską będącymi w trakcie realizacji.

Wykaz prac, wraz z tytułem pracy, imieniem i nazwiskiem dyplomanta, rokiem obrony oraz kierunkiem studiów:

Prace magisterskie, obronione:

- Wal Agnieszka: Wpływ NO na ekspresję *SAUR*, *TOR*, *RAPTOR*, *HSP*, *CLPB*, *CPN*, *BOBBER*, *PIMT*, *LEA* i *STR* w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych przyspieszonemu starzeniu, 2021, kierunek Biologia
- Żak Joanna: Wpływ NO na ekspresję genów metabolizmu ROS w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych starzeniu, 2021, kierunek Biologia
- Sobczyńska Katarzyna: Zmiany zawartości glutationu, aktywności reduktazy glutationowej oraz peroksydazy glutationowej w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych przyspieszonemu starzeniu, 2022, kierunek Biologia
- Gorzelany Mikołaj: Ekspresja genu i aktywność reduktazy azotanowej w osiach zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) traktowanych tlenkiem azotu, cyjanowodorem lub etylenem, 2024, kierunek Biologia
- Kadłubowska Karolina: Aktywność reduktazy azotanowej i reduktazy *S*-nitrozoglutationu oraz intensywność oddychania po poddaniu nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) stratyfikacji w chłodzie, 2024, kierunek Biologia

Prace magisterskie w trakcie realizacji:

- Walczuk Wiktoria: Parametry fizjologiczne i biochemiczne sałaty siewnej (*Lactuca sativa* L.) uprawianej z udziałem granulatu „Kokogel”, kierunek Biologia
- Krutowicz Bartłomiej: Wpływ granulatu „Kokogel” na parametry biochemiczne świadczące o jakości plonu sałaty siewnej (*Lactuca sativa* L.), kierunek Biologia

Prace licencjackie i inżynierskie, obronione:

- Tymiński Marcin: Zmiany zawartości dialdehydu malonowego (MDA), fenoli oraz całkowita zdolność antyoksydacyjna w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2018, kierunek Biologia
- Wal Agnieszka: Zawartość glutationu w korzeniach siewek pomidora (*Solanum lycopersicum* L.) traktowanych kanawaniną, 2019, kierunek Biologia
- Bartkowska Anita: Aktywność reduktazy glutationowej w osiach zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2019, kierunek Biologia
- Żak Joanna: Identyfikacja genu referencyjnego dla analizy ilościowej genów w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2019, kierunek Biologia
- Węglińska Michalina: Nitracja RNA w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2019, kierunek Biologia
- Biernacka Zuzanna: Aktywność peroksydazy glutationowej w osiach zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2019, kierunek Biologia
- Sobczyńska Katarzyna: Zawartość glutationu w osiach zarodkowych nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2020, kierunek Biologia
- Mizerakowski Eryk: Zawartość utlenionego RNA w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2021, kierunek Ogrodnictwo

- Nawrocki Adam: Wpływ starzenia nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) na zawartość utlenionego RNA w osiach zarodkowych, 2021, kierunek Ogrodnictwo
- Smyk Krzysztof: Zmiany zawartości wody i jonów azotynowych w nasionach jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) podczas stratyfikacji w chłodzie, 2022, kierunek Rolnictwo
- Potocka-Shahkhatuni Joanna: Zmiana ekspresji genów kodujących peroksyredoksyny, tioredoksyny, reduktazy tioredoksyny i glutaredoksyny w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) stratyfikowanych w chłodzie, 2023, kierunek Biotechnologia
- Dąbrowska Klaudia: Zmiana aktywności wybranych enzymów systemu antyoksydacyjnego w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych stratyfikacji w chłodzie, 2023, kierunek Biotechnologia
- Wolańska Katarzyna: Zmiany ekspresji genów kodujących reduktazę azotanową, reduktazę *S*-nitrozoglutationu i fitoglobiny w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) stratyfikowanych w chłodzie, 2024, kierunek Biologia
- Kroc Katarzyna: Zmiany ekspresji genów metabolizmu tlenu azotu podczas starzenia nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.), 2025, kierunek Inżynieria ekologiczna
- Jabłońska Maja: Analiza wskaźników obniżenia dostępności tlenu w osiach zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) różniących się głębokością spoczynku, 2026, kierunek Biotechnologia

Prace inżynierskie w trakcie realizacji:

- Vizvary Istvan: Wpływ nanocząstek ZnO na metabolizm glutationu w siewkach soi (*Glycine max* (L.) Merr.) w warunkach zmiennej aktywności mikrobiologicznej gleby. Kierunek Biotechnologia

Byłam recenzentem 4 prac inżynierskich, 12 prac licencjackich i 2 prac magisterskich. Łącznie 18.

6.3. Działalność dydaktyczna

Podczas mojej pracy na uczelni zajęcia dydaktyczne w formie wykładów, ćwiczeń i fakultetów prowadzę (lub prowadziłam) na kierunkach następujących Wydziałów: Wydziału Biologii i Biotechnologii, Wydziału Rolnictwa i Biologii (obecnie Wydział Rolnictwa i Ekologii), Wydziału Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (obecnie Wydział Ogrodniczy) oraz Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

Realizowane przez mnie zajęcia dydaktyczne zostały zestawione w tabeli poniżej.

Nazwa przedmiotu	Kierunek i stopień	Forma zajęć i wymiar godzin
Wydział Biologii i Biotechnologii		
Planowanie eksperymentów w naukach biologicznych	Biotechnologia I stopień, studia inżynierskie	Wykłady (15 h: prowadzenie 13 h) oraz ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 6 h) – przygotowanie całego programu zajęć, wykładów, protokołów i przebiegu zajęć, prowadzenie bloków tematycznych dotyczących projektowania doświadczenia, wizualizacji wyników, ergonomii, zagrożeń w laboratorium, koordynator przedmiotu
Design of experiments in biological sciences w języku angielskim		Wykłady (15 h: prowadzenie 13 h) oraz ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 6 h) – przygotowanie całego programu zajęć, wykładów, protokołów i przebiegu zajęć, prowadzenie bloków tematycznych dotyczących projektowania doświadczenia, wizualizacji wyników, ergonomii, zagrożeń w laboratorium, koordynator przedmiotu
Fizjologia roślin		Ćwiczenia (20 h/grupę) - przygotowanie materiałów, prowadzenie zajęć
Plant Physiology w języku angielskim		Ćwiczenia (20 h/grupę: prowadzenie 4 h) - przygotowanie i prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego gospodarki wodnej, transpiracji i fitohormonów
Fizjologia roślin II (fakultet)		Ćwiczenia (15 h/grupę) – przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń, materiałów, prowadzenie zajęć
Transdukcja sygnałów w roślinach (przedmiot do wyboru)	Biotechnologia II stopień studia magisterskie	Wykład (15 h: prowadzenie 6 h) – przygotowanie wykładów, materiałów, prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego transdukcji sygnałów wybranych fitohormonów

Oksydacyjny stres komórkowy (przedmiot do wyboru)		Ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 7 h) przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń, materiałów, prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego oznaczenia parametrów związanych z regulacją zawartości ROS i RNS
Fizjologia roślin	Biologia I stopień studia licencjackie	Ćwiczenia (30 h/grupę) - przygotowanie materiałów, prowadzenie zajęć
Fizjologia roślin II		Ćwiczenia (30 h/grupę) - przygotowanie materiałów, prowadzenie zajęć
Fizjologia molekularna roślin (przedmiot do wyboru)		Ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 8 h) - przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń we współpracy z koordynatorem, materiałów, prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego zmian ekspresji genów systemu antyoksydacyjnego
Molekularne podstawy starzenia	Biologia II stopień studia magisterskie	Ćwiczenia (30 h/grupę) – przygotowanie programu ćwiczeń, materiałów na zajęcia i przebiegu zajęć, prowadzenie zajęć
Komórkowy stres oksydacyjny (przedmiot do wyboru)		Ćwiczenia (30 h/grupę: prowadzenie 15 h) – przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń, materiałów, prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego oznaczenia zawartości glutationu z użyciem techniki HPLC, aktywności GSNOR, zawartości ROS i RNS
Fitohormon czy regulator? (przedmiot do wyboru)		Ćwiczenia (15 h/ grupę: prowadzenie 8 h) - przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń we współpracy z koordynatorem, materiałów, prowadzenie zajęć dotyczących zmian ekspresji genów związanych z transdukcją sygnału wybranych fitohormonów

Regulacja metabolizmu		Ćwiczenia (30 h/grupę) - przygotowanie materiałów, prowadzenie zajęć
Stres nitrooksydacyjny w patofizjologii komórki (przedmiot do wyboru)	Technologia biomedyczna	Ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 7 h) - przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń we współpracy z koordynatorem, materiałów, prowadzenie zajęć dotyczących oznaczania utlenionego RNA, utlenionych lipidów
Modyfikacje białek w sygnalizacji komórkowej (przedmiot do wyboru)	I stopień, studia inżynierskie,	Ćwiczenia (30 h: prowadzenie 15 h) - przygotowanie tematyki, programu ćwiczeń we współpracy z koordynatorem, materiałów, prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego karbonylacji białek
Wydział Rolnictwa i Ekologii		
Basics of Plant Biochemistry and Physiology w języku angielskim	Organic Agriculture and Food Production I stopień, studia licencjackie	Wykłady (15 h: prowadzenie 4 h) oraz ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 12 h) – we współpracy z koordynatorem przygotowanie programu części ćwiczeń i wykładów, protokołów i przebiegu zajęć, prowadzenie bloku tematycznego dotyczącego transpiracji, oddychania komórkowego, fotosyntezy, kiełkowania oraz regulacji wzrostu roślin z udziałem fitohormonów
Fizjologia i biochemia roślin	Rolnictwo, I stopień, studia inżynierskie (studia niestacjonarne)	Wykłady (14 h: prowadzenie 8 h) oraz ćwiczenia (15 h/grupę: prowadzenie 9 h) – przygotowanie wykładów, protokołów i przebiegu zajęć, prowadzenie części fizjologicznej, koordynator przedmiotu
Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska		
Podstawy fizjologii	Ochrona środowiska	Wykład (15 h) – przygotowanie materiałów, prowadzenie wykładów, koordynator przedmiotu

	I stopień, studia inżynierskie	
Biologia roślin	Architektura krajobrazu I stopień, studia inżynierskie,	Wykłady (15 h: prowadzenie 7 h), przygotowanie i prowadzenie zajęć dotyczących fizjologii roślin
Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu (obecnie Wydział Ogrodniczy)		
Fizjologia roślin	Ogrodnictwo I stopień, studia inżynierskie	Ćwiczenia (30 h/grupę) - przygotowanie materiałów, prowadzenie zajęć

Dla słuchaczy studiów podyplomowych:

- 2019 Prowadzenie zajęć laboratoryjnych z przedmiotu: "Fizjologia roślin" dla słuchaczy. Studiów Podyplomowych „Przyroda i Biologia”, Wydział Rolnictwa i Biologii.

6.4. Działalność organizacyjna i popularyzująca naukę

Działalność popularyzująca naukę:

- 2023-2026 Prowadzenie zajęć dla uczniów szkół średnich w ramach Laboratoriów Otwartych
- 2025 Przeprowadzenie prelekcji pt. „Właściwości prozdrowotne ziół. Zdolność antyoksydacyjna u wybranych gatunków”. Podczas wystąpienia prezentowano autorskie wyniki doświadczenia, w którym porównywano zdolność antyoksydacyjną ziół pochodzący z uprawy konwencjonalnej, ekologicznej oraz z ogródka przydomowego założonego przez Stowarzyszenie „Zamiary – Przyjazna Wieś” w ramach Konkursu „Zioła dla zdrowia” organizowanego przez Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi przy wsparciu Uniwersytetu Medycznego w Lublinie
- 2025 Prowadzenie zajęć dla uczniów szkół średnich „Laboratoria Przyszłości”, w ramach projektu współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Społecznego Plus w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027
- 2023-2024 Organizacja lekcji w ramach Festiwalu Nauki, Warszawa

- 2016 Organizacja pokazów naukowych i stoiska w ramach corocznych Dni SGGW, Kampus SGGW, Warszawa

Publikacje popularno-naukowe:

- **Ciąćka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. 2017. Poliaminy – konieczne do życia toksyczne związki o wielu możliwościach. www.agropolska.pl.
- Gniazdowska A., Krasuska U., **Ciąćka K.**, Staszek P., Tymiński M. 2020. Tlenek azotu cząsteczka „młodości” nasion. *Agricola* 109/9.2020.

Notki encyklopedyczne:

- Krasuska U., Wal A., Staszek P., **Ciąćka K.**, Gniazdowska A. ROS in External Digestion by Carnivorous Plants. *Encyclopedia*. Dostępne online: <https://encyclopedia.pub/entry/51279>.

Prace przeglądowe o charakterze popularnonaukowym:

- **Ciąćka K.**, Andrzejczak O., Krasuska U., Gniazdowska A. 2015. Nitrowane białka i kwasy tłuszczowe w komórkach roślin i zwierząt. *Postępy Biologii Komórki*, 42:539-558.
- **Ciąćka K.**, Krasuska U. 2014. Poliaminy – być albo nie być dla rośliny. *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa*, 2/2014.
- Krasuska U., **Budnicka K.**¹, Bogatek R., Gniazdowska A. 2012. Poliaminy w regulacji spoczynku i kiełkowania nasion. *Postępy Biologii Komórki*, 39: 395-414. (¹nazwisko panieńskie)

Rozdziały w monografiach w języku polskim:

- **Ciąćka K.**, Kiljanek H., Staszek P., Krasuska U., Gniazdowska A. Trochę chłodu dla wigoru – o przerywaniu spoczynku nasion w wyniku zabiegu stratyfikacji. [W:] Łaska G. [Red.]. *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Nowe wyzwania w badaniach botanicznych i środowiskowych*. Białystok 2018, str. 61-74.
- **Ciąćka K.**, Staszek P., Andrzejczak A., Krasuska U., Duranowska K., Gniazdowska A. Katabolizm poliamin jako odpowiedź roślin na warunki stresowe. [W:] Łaska G. [Red.], *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Interdyscyplinarne i aplikacyjne znaczenie badań biologicznych*. Białystok 2017, str. 175-187.
- **Ciąćka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Modyfikacja endogennej stężenia tlenu azotu w regulacji spoczynku nasion. [W:] Bajguz A., Ciereszko I. [Red.], *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby – badania środowiskowe i laboratoryjne*. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2016, str. 61-72.
- Krasuska U., Dzierżyńska A., **Ciąćka K.**, Andrzejczak O., Staszek P., Gniazdowska A. Rośliny mięsożerne jako przykład adaptacji do niesprzyjających warunków środowiska naturalnego. [W:] Bajguz A., Ciereszko I. [Red.], *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Funkcjonowanie roślin i grzybów. Środowisko – eksperyment – edukacja*. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2015, str. 77-88.
- **Ciąćka K.**, Andryka-Dudek P., Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. Modyfikacje strukturalne białek związane z oddziaływaniem tlenu azotu w sygnalizacji komórkowej podczas rozwoju ontogenetycznego i odpowiedzi roślin na warunki stresowe. [W:] Łaska G. [Red.], *Różnorodność biologiczna – od komórki do*

ekosystemu. Zagrożenia środowiska a ochrona gatunkowa roślin i grzybów. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2014, str. 35-46.

- Gniazdowska A., **Budnicka K.**¹, Krasuska U. Regulacja spoczynku i kiełkowania nasion – czynniki endogenne i oddziaływania środowiskowe. [W:] Ciereszko I., Bajguz A. [Red.], Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2013, str. 25-39. (¹nazwisko panięńskie)

Członek komitetów organizacyjnych konferencji:

- 2025 - Członek komitetu organizacyjnego 10 międzynarodowa konferencja PNO (Plant Nitric Oxide) 9-11 lipca 2025, Warszawa
- 2022 - Członek komitetu organizacyjnego Konferencja 100-lecie Katedry Fizjologii Roślin SGGW - 15-16 września 2022
- 2015 Wolontariuszka podczas Jubileuszowego Zjazdu Absolwentów organizowanego w ramach 200-lecia SGGW w Warszawie
- 2014 Wolontariuszka podczas Konferencji „Burak Cukrowy, Cukier, Energia”, 26-27-06-2014 Warszawa
- 2013 Wolontariuszka podczas XI International Conference of Plant Oxygen Group, 17-19-07-2013 Warszawa

Działalność organizacyjna:

- 2026 – Sekretarz Komisji w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr Agnieszce Iwonie Wal
- 2025 – 2026 - Koordynator tworzenia webinarów promujących kierunki Biologia i Biotechnologia na Wydziale Biologii i Biotechnologii w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027
- 2025 – obecnie – **Zastępca kierownika Katedry Botaniki i Fizjologii Roślin** Instytutu Biologii SGGW w Warszawie. W 2025 roku w wyniku restrukturyzacji uczelni połączono dwie katedry: Katedrę Botaniki i Katedrę Fizjologii Roślin. Powstała jednostka, w której zatrudnionych jest 23 nauczycieli akademickich oraz 3 pracowników administracyjnych i technicznych. Jest to największa katedra Instytutu Biologii SGGW. W ramach pełnienia funkcji Zastępcy Kierownika Katedry do moich głównych zadań należy wspieranie sprawnej organizacji pracy jednostki oraz koordynacja przepływu informacji wewnętrznej i zewnętrznej. W szczególności odpowiadam za bieżące przekazywanie i rozpowszechnianie informacji dotyczących działalności Katedry, w tym komunikatów organizacyjnych, administracyjnych oraz naukowych, z wykorzystaniem w szczególności poczty e-mail. Istotnym obszarem mojej działalności jest wsparcie w zakresie przygotowywania planów zamówień publicznych. Aktywność ta obejmuje gromadzenie i porządkowanie informacji dotyczących planowanych zamówień. Do moich zadań należy także współudział w: nadzorze nad procesami inwentaryzacyjnymi, koordynacji potrzeb materialnych Katedry, a także nadzorze nad pracami remontowymi w częściach wspólnych jednostki. Uczestniczę ponadto w dialogu z Dyrekcją w zakresie planowania i pozyskiwania finansowania, przedstawiając potrzeby Katedry, a także biorę udział w spotkaniach kierowników katedr Instytutu z Dyrekcją. Całość działań ukierunkowana jest na zapewnienie sprawnego funkcjonowania Katedry, optymalizację procesów organizacyjnych oraz wsparcie realizacji jej celów naukowych i dydaktycznych.
- 2025 - obecnie - **Członek z wyboru Rady Instytutu Biologii SGGW** w Warszawie

- 2025 - obecnie **Koordynator ds. Równego Traktowania** na Wydziale Biologii i Biotechnologii oraz w Instytucie Biologii
- 2023 - Członek komisji oceniającej wystąpienia w 50 Przeglądzie Dorobku Kół Naukowych SGGW, w sekcji referatowej „Bioinżynieria i nauki biologiczne
- 2021 - Opiekun profesora wizytującego Claudio Stassola na Wydziale Biologii i Biotechnologii
- 2020 - obecnie - Członek Komisji Hospitacyjnej na Wydziale Biologii i Biotechnologii dla kierunku Biologia
- 2019- obecnie - **Przewodnicząca Instytutowej Komisji Wyborczej** dla pracowników reprezentujących dyscyplinę nauki biologiczne
- 2019- Opiekun laboratoryjny (styczeń-lipiec 2019) stażystki Samaneh Kahrumi Faculty of Basic Sciences, Department of Biology, Urmia University, Urmia, IRAN
- 2018-2020 - Opiekun roku studentów odbywających studia na kierunku Biologia (Wydział Rolnictwa i Biologii)
- 2018 - Protokolantka na obronie pracy doktorskiej mgr Olgi Andrzejczak pt. „Metabolizm reaktywnych form azotu w korzeniach pomidora (*Solanum lycopersicum* L.) w warunkach fitotoksycznego oddziaływania *meta*-tyrozyny", Wydział Rolnictwa i Biologii, SGGW w Warszawie
- 2017-2019 - **Członek Rady Programowej Wydziału Rolnictwa i Biologii** dla kierunku Biologia
- 2017 - Członek komisji oceny praktyk zawodowych studentów na Wydziale Rolnictwa i Biologii, kierunku biologia

7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Udział w projektach badawczych

Prowadzone przeze mnie badania, także wchodzące w skład Osiągnięć Naukowych, były finansowane w ramach projektów badawczych przyznanych przez Narodowe Centrum Nauki lub Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. W projektach tych pełniłam/pełnię rolę wykonawcy, w jednym (PRELUDIUM) rolę kierownika:

- 2024-2027 - Wykonawca projektu współfinansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: OPUS25 nr grantu 2023/49/B/NZ9/03099. „Wpływ nanocząstek ZnO na liczebność i bioróżnorodność bakterii promujących wzrost roślin”
- 2024-2027 - Wykonawca projektu współfinansowanego przez NCBiR: nr grantu LIDER14/0217/2023 „Kokogel - zastosowanie hydrożeli w produkcji drobiarskiej i opracowanie technologii produkcji nawozu organicznego na bazie obornika drobiowego wzbogaconego aktywnymi dodatkami biologicznymi”
- 2017-2020 - Wykonawca projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: OPUS12 nr grantu 2016/23/B/NZ9/03462. „Rola tlenu azotu jako cząsteczki poprawiającej zdolność do kiełkowania zarodków izolowanych z nasion jabłoni poddanych stratyfikacji w cieple”

- 2015-2017 - Wykonawca projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: OPUS7, nr grantu 2014/13/B/NZ9/02074. „Reaktywne formy azotu i poliaminy w regulacji fitotoksycznego oddziaływania niebiałkowych aminokwasów na wzrost korzeni”
- 2014-2016 - **Kierownik** projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: PRELUDIUM5, nr grantu 2013/09/N/NZ9/01619. „Metabolizm nitrozotoli podczas ustępowania spoczynku i kiełkowania zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)”

Ponadto byłam kierownikiem i wykonawcą projektów finansowanych przez MNiSW w ramach dotacji przyznawanej Wydziałowi Rolnictwa i Biologii SGGW w Warszawie

- 2018 - Kierownik i wykonawca projektu badawczego w ramach wewnętrznego trybu konkursowego w SGGW w Warszawie dla młodego pracownika nauki w 2018, nr grantu: 505-10-010200-Q00210-99, „Zawartość ornityny w korzeniach siewek pomidora traktowanych Kanawaniną”
- 2013 - Kierownik i wykonawca projektu badawczego w ramach wewnętrznego trybu konkursowego w SGGW w Warszawie dla młodego pracownika nauki w 2013, nr grantu: 505-10-010200-K0037-99, „Zmiany zawartości białek nitrowanych w osiach zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) traktowanych wybranymi poliaminami”

7.2. Pełnienie funkcji edytora i recenzenta

W latach 2025-2026 pełnię funkcję Guest Editor w czasopiśmie Nitric Oxide (Wyd. Elsevier), special Issue "Reactive nitrogen species mode of action in plant growth, development, and stress responses" <https://www.sciencedirect.com/special-issue/326982/reactive-nitrogen-species-mode-of-action-in-plant-growth-development-and-stress-responses>

W 2022 roku pełniłam funkcję Guest Editor w czasopiśmie Plants (Wyd. MDPI) w Special Issue "Advances in Carnivorous and Parasitic Plants" https://www.mdpi.com/journal/plants/special_issues/Carnivorous_Plants.

Wykonałam recenzje manuskryptów nadsyłanych do czasopism indeksowanych w bazie WoS:

Annals of Botany (Oxford Academic) (1)

Journal of Plant Physiology (Elsevier) (2)

Plant Science (Elsevier) (2)

Acta Physiologiae Plantarum (Springer) (12)

Journal of Plant Growth Regulation (Springer) (1)

BMC Plant Biology (Springer) (2)

Agronomy (MDPI) (3)

Plants (MDPI) (1)

7.3. Członkostwo w Towarzystwach naukowych

- 2022- obecnie Członek Forum Rolnictwa Ekologicznego im. Mieczysława Górniego
- 2014- obecnie Członek Polskiego Towarzystwa Botanicznego

7.4. Ukończone kursy i szkolenia

23-04-2026 – 24-04-2026 Warszawa, dwudniowe szkolenie "Integrowanie zasad zrównoważonego rozwoju", w ramach projektu FERS pn. "GreenTech Education- SGGW dla gospodarki przyszłości"

2025 Warszawa, jednodniowe szkolenie „Zapobieganie mobbingowi w organizacji”

2025 Warszawa, jednodniowe szkolenie świadomościowe: „Zwiększanie dostępności uczelni dla osób z niepełnosprawnościami – szkolenie świadomościowe” obejmujące formy wsparcia studentów z różnymi rodzajami niepełnosprawności

2020 Warszawa, jednodniowe szkolenie „Studenci z niepełnosprawnościami w środowisku akademickim”

05-09-2019 – 06-09-2019 Warszawa, szkolenie z zakresu relacji międzykulturowych w ramach projektu „Welcom to Poland”

2016 Warszawa, jednodniowe warsztaty szkoleniowe firmy Roche „Genotypowanie polimorfizmu pojedynczego nukleotydu (SNP) za pomocą reakcji Real-Time PCR i analizy krzywych topnienia wysokiej rozdzielczości (High Resolution Melting)”.

06-02-2016 – 10-02-2016 Warszawa, uczestnictwo na seminariach i warsztatach szkoleniowych prowadzonych przez prof. Leslie A. Weston (Charles Sturt University) „Rhizosphere interactions localization and identification of plant secondary products allelochemicals and toxins”.

17-02-2015 – 19-02-2015 Warszawa, kurs teoretyczny i praktyczny, nr 01-708/0-62-032-2015 "Podstawy chromatografii. Wysokosprawna chromatografia cieczowa (HPLC) z uwzględnieniem peptydów i białek"; Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego.

18-11-2014 Warszawa, uczestnictwo na seminarium Thermo Fisher Scientific "An introduction into synthetic biology tools: RNAi, miRNA mimics & inhibitors, TALs and CRISPRs".

13-09-2014 Białystok, kurs praktyczny "Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Zagrożenia środowiska a ochrona gatunkowa roślin i grzybów”.

30-01-2014 Warszawa, kurs teoretyczny, nr 1-700/0-50-015-2014 "Przepływ informacji genetycznej od genu do białka”; Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego.

10-12-2013 – 11-12-2013 Warszawa, kurs praktyczny nr 1-700/0-56-030-2013 "Technika pomiaru tlenku azotu (NO) i jego metabolitów w płynach biologicznych przy pomocy analizatora NO (Nitric Oxide Analyzer, Sievers Instrument) – kurs praktyczny”; Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego.

7.5. Nagrody za osiągnięcia

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

Za osiągnięcia badawcze

- Wyróżnienie za wystąpienie ustne autorstwa Ciacka K., Andryka P., Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. pt. "Modyfikacje strukturalne białek związane z oddziaływaniem tlenu azotu, w sygnalizacji komórkowej podczas rozwoju ontogenetycznego i odpowiedzi roślin na warunki stresowe" na III Ogólnopolskiej Konferencji naukowej "Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska" w Białymstoku, 2014
- I miejsce na seminariach doktorantów Wydziału Rolnictwa u Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2015
- I miejsce na seminariach doktorantów Wydziału Rolnictwa u Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2014
- I miejsce na seminariach doktorantów Wydziału Rolnictwa u Biologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2013
- Stypendium projakościowe dla doktorantów Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie 2013, 2014
- Stypendium dla najlepszych doktorantów Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2013, 2014

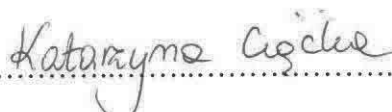
Po uzyskaniu stopnia doktora:

Za osiągnięcia organizacyjne

- Nagroda zespołowa III stopnia JM Rektora SGGW za osiągnięcia organizacyjne, 2024
- Nagroda zespołowa (dyplom) III stopnia JM Rektora SGGW za osiągnięcia organizacyjne, 2023

Za osiągnięcia badawcze

- Nagroda zespołowa III stopnia JM Rektora SGGW za osiągnięcia badawcze, 2023
- Nagroda zespołowa III stopnia JM Rektora SGGW za osiągnięcia badawcze, 2021
- Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora SGGW za osiągnięcia badawcze, 2020
- Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora SGGW za osiągnięcia naukowe, 2018
- Nagroda Polskiego Towarzystwa Biologii Eksperymentalnej Roślin za najlepszą pracę przeglądową, opublikowaną w latach 2017–2019. Staszek P., Weston L., Ciacka K., Krasuska U., Gniazdowska A. 2017. L-Canavanine - how does a simple non-protein amino acid inhibit cellular function in a diverse living system? *Phytochemistry Reviews* 16: 1269–1282. DOI: 10.1007/s11101-017-9536-y. 2019


.....
(podpis wnioskodawcy)

WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH STANOWIĄCYCH ZNACZNY WKŁAD W ROZWÓJ DYSCYPLINY NAUKI BIOLOGICZNE

I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY

1. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy

Osiągnięcie naukowe 1

ROS i RNS w ustępowaniu spoczynku nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) stratyfikowanych w chłodzie

H1.1. Ciacka K.*, Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska U. 2025. Stratification of apple seeds in the context of ROS metabolism. *Journal of Plant Physiology*, 304:1-12. DOI: 10.1016/j.jplph.2024.154407.

IF₂₀₂₄ = 4,1

Pkt.₂₀₂₆ = 100

Kwartyl – Q1

Liczba cytowań: 2

H1.2. Ciacka K.*, Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska U. 2022. Cold stratification-induced dormancy removal in apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds is accompanied by an increased glutathione pool in embryonic axes. *Journal of Plant Physiology*, 274:1-10. DOI: 10.1016/j.jplph.2022.153736.

IF₂₀₂₂ = 4,3

Pkt.₂₀₂₂ = 100

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 4,1

Pkt.₂₀₂₆ = 100

Liczba cytowań: 9

H1.3. Ciacka K.*, Tyminski M., Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. 2026. Carbonylation-dependent protein degradation is a prerequisite for dormancy alleviation of apple (*Malus domestica* Borkh.) seed. *Plant Physiology and Biochemistry*, 231:111014. DOI: 10.1016/j.plaphy.2025.111014.

IF₂₀₂₄ = 5,7

Pkt.₂₀₂₆ = 70

Kwartyl – Q1

Liczba cytowań: 0

H1.4. Ciacka K.*, Krasuska U., Otulak-Kozieł K., Gniazdowska A. 2019. Dormancy removal by cold stratification increases glutathione and S-nitrosoglutathione content in apple seeds. *Plant Physiology and Biochemistry*, 138: 112–120. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.02.026.

IF₂₀₁₉ = 3,72

Pkt.₂₀₁₉ = 70

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 5,7

Pkt.₂₀₂₆ = 70

Liczba cytowań: 16

H1.5. Ciacka K.*, Staszek P., Sobczynska K., Krasuska U., Gniazdowska A. 2022. Nitric oxide in seed biology. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 14951. DOI: 10.3390/ijms232314951.

IF₂₀₂₂ = 5,6

Pkt.₂₀₂₂ = 140

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 4,9

Pkt.₂₀₂₆ = 140

Liczba cytowań: 31

Osiągnięcie naukowe 2

NO - cząsteczka niwelująca symptomy starzenia nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) indukowanego podwyższoną temperaturą i dostępnością wody

H2.1. Ciacka K.*, Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska U. 2022. Nitric oxide as a remedy against oxidative damages in apple seeds undergoing accelerated ageing. *Antioxidants*, 11:70. DOI: 10.3390/antiox11010070.

IF₂₀₂₂ = 7,0

Pkt.₂₀₂₂ = 100

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 6,6

Pkt.₂₀₂₆ = 100

Liczba cytowań: 14

H2.2. Ciacka K., Krasuska K., Staszek P., Wal A., Zak J., Gniazdowska A. 2020. Effect of nitrogen reactive compounds on aging in seed. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1011. DOI: 10.3389/fpls.2020.01011.

IF₂₀₂₀ = 5,754

Pkt.₂₀₂₀ = 100

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 4,8

Pkt.₂₀₂₆ = 100

Liczba cytowań: 20

H2.3. Ciacka K., Tyminski M., Gniazdowska A., Krasuska K. 2020. Carbonylation of proteins—an element of plant ageing. *Planta*, 252: 12. DOI: 10.1007/s00425-020-03414-1.

IF₂₀₂₀ = 4,116

Pkt.₂₀₂₀ = 100

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 3,8

Pkt.₂₀₂₆ = 100

Liczba cytowań: 57

H2.4. Ciacka K.*, Tyminski M., Wal A., Gniazdowska A., Krasuska U. 2022. Nitric oxide—an antidote to seed aging modifies *meta*-tyrosine content and expression of aging-linked genes in apple embryos. *Frontiers in Plant Science*, 13:1-16. DOI: 10.3389/fpls.2022.929245.

IF₂₀₂₂ = 5,6

Pkt.₂₀₂₂ = 100

Kwartyl – Q1

IF₂₀₂₄ = 4,8

Pkt.₂₀₂₆ = 100

Liczba cytowań: 9

Oznaczenia:

- *autor korespondencyjny

- IF – Impact Factor

- Pkt.– punkty według wykazu czasopism naukowych Ministra Nauki (obejmujące Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Ministerstwo Edukacji i Nauki)

- Liczba cytowań i kwartyl zostały podane wg. Web Of Science Core Collection 09.04.2026

Oświadczenia habilitanta i współautorów publikacji znajdują się w Załączniku 5. do Wniosku Przewodniego.

2. Inne niż wymienione w pkt. I.1, osiągnięcia naukowe lub artystyczne

Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych

Przed uzyskaniem stopnia doktora

A1. Krasuska U., **Budnicka K.**¹, Bogatek R., Gniazdowska A. 2012. Poliaminy w regulacji spoczynku i kiełkowania nasion. *Postępy Biologii Komórki*, 39: 395-414. (¹nazwisko panińskie)
IF₂₀₁₂ = 0,087, IF₂₀₂₄ = 0 Pkt.₂₀₁₂ = 15, Pkt.₂₀₂₆ = 20, liczba cytowań: 5

A2. Dębska K., Krasuska U., **Budnicka K.**, Bogatek R., Gniazdowska A. 2013. Dormancy removal of apple seeds by cold stratification is associated with fluctuation in H₂O₂, NO production and protein carbonylation level. *Journal of Plant Physiology*, 170: 480-488. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.11.018. (¹nazwisko panińskie)
IF₂₀₁₃ = 2,77, IF₂₀₂₄ = 4,1, Pkt.₂₀₁₃ = 35, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 50

A3. Krasuska U., **Ciacka K.**, Dębska K., Bogatek R., Gniazdowska A. 2014. Dormancy alleviation by NO or HCN leading to decline of protein carbonylation levels in apple (*Malus domestica* Borkh.) embryos. *Journal of Plant Physiology*, 171: 1132–1141. DOI: 10.1016/j.jplph.2014.04.015.
IF₂₀₁₄ = 2,557, IF₂₀₂₄ = 4,1, Pkt.₂₀₁₄ = 35, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 30

A4. Krasuska U., **Ciacka K.**, Bogatek R., Gniazdowska A. 2014. Polyamines and nitric oxide link in regulation of dormancy removal and germination of apple (*Malus domestica* Borkh.) embryos. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33: 590–601. DOI: 10.1007/s00344-013-9408-7.
IF₂₀₁₄ = 2,237, IF₂₀₂₄ = 4,4, Pkt.₂₀₁₄ = 35, Pkt.₂₀₂₆ = 70, liczba cytowań: 31

A5. **Ciąćka K.**, Krasuska U. 2014. Poliaminy – być albo nie być dla rośliny. *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa*, nr 1/4, s. 3-10.
Pkt.₂₀₁₄ = 5, Pkt.₂₀₂₆ = 20, liczba cytowań: 0

A6. **Ciąćka K.**, Andrzejczak O., Krasuska U., Gniazdowska A. 2015. Nitrowane białka i kwasy tłuszczowe w komórkach roślin i zwierząt. *Postępy Biologii Komórki*, 42: 539-558.
Pkt.₂₀₁₅ = 5, Pkt.₂₀₂₆ = 20, liczba cytowań: 0

A7. Krasuska U., **Ciacka K.**, Orzechowski S., Fettke J., Bogatek R., Gniazdowska A. 2016. Modification of the endogenous NO level influences apple embryos dormancy by alterations of nitrated and biotinylated protein patterns. *Planta*, 244: 877-891. DOI: 10.1007/s00425-016-2553-z.
IF₂₀₁₆ = 3,361, IF₂₀₂₄ = 3,8, Pkt.₂₀₁₆ = 40, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 27

Po uzyskaniu stopnia doktora

A8. Krasuska U., **Ciacka K.**, Gniazdowska A. 2017. Nitric oxide-polyamines cross-talk during dormancy release and germination of apple embryos. *Nitric Oxide*, 68: 38-50. DOI: 10.1016/j.niox.2016.11.003.
IF₂₀₁₇ = 4,367, IF₂₀₂₄ = 3,2, Pkt.₂₀₁₇ = 30, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 25

A9. Staszek P., Weston L.A., **Ciacka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. 2017. L-Canavanine: How does a simple non-protein amino acid inhibit cellular function in a diverse living system? *Phytochemistry Reviews*, 16: 1269–1282. DOI: 10.1007/s11101-017-9536-y.
IF₂₀₁₇ = 3,875, IF₂₀₂₄ = 7,6, Pkt.₂₀₁₇ = 40, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 27

- A10.** Andrzejczak O., Krasuska U., Olechowicz J., Staszek P., **Ciacka K.**, Bogatek R., Hebelstrup K., Gniazdowska A. 2018. Destabilization of ROS metabolism in tomato roots as a phytotoxic effect of *meta*-tyrosine. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123:369-377. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.12.024. IF₂₀₁₈ = 3,404, IF₂₀₂₄ = 5,7, Pkt.₂₀₁₈ = 35, Pkt.₂₀₂₆ = 70, liczba cytowań: 13
- A11.** Mira M.M., **Ciacka K.**, Hill R.D., Stasolla C. 2019. In vitro differentiation of tracheary elements is induced by suppression of Arabidopsis phytooglobins. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 141–148. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.036. IF₂₀₁₉ = 3,72, IF₂₀₂₄ = 5,7, Pkt.₂₀₁₉ = 70, Pkt.₂₀₂₆ = 70, liczba cytowań: 5
- A12.** Andryka-Dudek P., **Ciacka K.**, Wisniewska A., Bogatek R., Gniazdowska A. 2019. Nitric Oxide-induced dormancy removal of apple embryos is linked to alterations in expression of genes encoding ABA and JA biosynthetic or transduction pathways and RNA nitration. *International Journal of Molecular Sciences*, 20: 1007 DOI 10.3390/ijms20051007. IF₂₀₁₉ = 4,556, IF₂₀₂₄ = 4,9, Pkt.₂₀₁₉ = 140, Pkt.₂₀₂₆ = 140, liczba cytowań: 20
- A13.** Tyminski M., **Ciacka K.**, Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. 2021. Toxicity of *meta*-tyrosine. *Plants*, 10: 2800. DOI: 10.3390/plants10122800. IF₂₀₂₁ = 4,658, IF₂₀₂₄ = 4,1, Pkt.₂₀₂₁ = 70, Pkt.₂₀₂₆ = 70, liczba cytowań: 13
- A14.** Staszek P., Krasuska U., **Ciacka K.**, Gniazdowska A. 2021. ROS metabolism perturbation as an element of mode of action of allelochemicals, *Antioxidants*, 10: 1648. DOI: 10.3390/antiox10111648. IF₂₀₂₁ = 7,675, IF₂₀₂₄ = 6,6, Pkt.₂₀₂₁ = 100, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 41
- A15.** Otulak-Kozieł K., Kozieł E., Przewodowski W., **Ciacka K.**, Przewodowska A. 2022. Glutathione modulation in PVY^{NTN} susceptible and resistant potato plant interactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 23: 1-24. DOI: 10.3390/ijms23073797. IF₂₀₂₂ = 5,6, IF₂₀₂₄ = 4,9, Pkt.₂₀₂₂ = 140, Pkt.₂₀₂₆ = 140, liczba cytowań: 12
- A16.** Krasuska U., Wal A., Staszek P., **Ciacka K.**, Gniazdowska A. 2023. Do reactive oxygen and nitrogen species have a similar effect on digestive processes in carnivorous *Nepenthes* plants and humans? *Biology*, 12: 1-14. DOI: 10.3390/biology12101356. IF₂₀₂₃ = 3,6, IF₂₀₂₄ = 3,5, Pkt.₂₀₂₃ = 100, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 2
- A17.** Krasuska U., **Ciacka K.**, Staszek P., Tyminiński M., Wal A., Gniazdowska A. 2023. Hormetic action of cyanide: plant gasotransmitter and poison. *Phytochemistry Reviews*, 25: 705-719. DOI: 10.1007/s11101-023-09904-w. IF₂₀₂₃ = 7,3, IF₂₀₂₄ = 7,6, Pkt.₂₀₂₃ = 100, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 12
- A18.** Mira M.M., El-Khateeb E.A., Youssef M.S., **Ciacka K.**, So K., Duncan R.W., Hill R.D., Stasolla C. 2023. Arabidopsis root apical meristem survival during waterlogging is determined by phytoglobin through nitric oxide and auxin. *Planta*, 258: 1-16. DOI: 10.1007/s00425-023-04239-4. IF₂₀₂₃ = 3,6, IF₂₀₂₄ = 3,8, Pkt.₂₀₂₃ = 100, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 8
- A19.** Tyminski M., **Ciacka K.**, Krasuska U. 2024. Reactive nitrogen species act as the enhancers of glutathione pool in embryonic axes of apple seeds subjected to accelerated ageing. *Planta*, 260: 1-15. DOI: 10.1007/s00425-024-04472-5. IF₂₀₂₃ = 3,6, IF₂₀₂₄ = 3,8, Pkt.₂₀₂₄ = 100, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 1
- A20.** Tyminski M., Staszek P., **Ciacka K.**, Gniazdowska A., Krasuska U. 2026. NO treatment of embryos isolated from artificially aged apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds modifies the pattern of nitrated and carbonylated proteins. *Plant Science*, 362: 112828. DOI: 10.1016/j.plantsci.2025.112828. IF₂₀₂₄ = 4,1, Pkt.₂₀₂₆ = 100, liczba cytowań: 0

Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych

Przed uzyskaniem stopnia doktora

w j. angielskim

RM1. Krasuska U., **Ciąćka K.**, Andryka-Dudek P., Bogatek R., Gniazdowska A. "Nitrosative door" in seed dormancy alleviation and germination. [W:] Gupta K. J., Igamberdiev A. U., [Red.], Reactive Oxygen and Nitrogen Species Signaling and Communication in Plants, Signaling and Communication in Plants. Springer International Publishing Switzerland 2015, str. 215-237.

Pkt.₂₀₁₆ = 5, Pkt.₂₀₂₆ = 5

w j. polskim

RM2. Gniazdowska A., **Budnicka K.**, Krasuska U. Regulacja spoczynku i kiełkowania nasion – czynniki endogenne i oddziaływania środowiskowe. [W:] Ciereszko I., Bajguz A., [Red.], Różnorodność biologiczna- od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2013, str. 25-39.

Pkt.₂₀₁₃ = 4, Pkt.₂₀₂₆ = 5

RM3. **Ciąćka K.**, Andryka-Dudek P., Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. Modyfikacje strukturalne białek związane z oddziaływaniem tlenu azotu w sygnalizacji komórkowej podczas rozwoju ontogenetycznego i odpowiedzi roślin na warunki stresowe. [W:] Łaska G., [Red.], Różnorodność biologiczna- od komórki do ekosystemu. Zagrożenia środowiska a ochrona gatunkowa roślin i grzybów. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2014, str. 35-46.

Pkt.₂₀₁₄ = 4, Pkt.₂₀₂₆ = 5

RM4. Krasuska U., Dzierżyńska A., **Ciąćka K.**, Andrzejczak O., Staszek P., Gniazdowska A. Rośliny mięsożerne jako przykład adaptacji do niesprzyjających warunków środowiska naturalnego. [W:] Bajguz A., Ciereszko I., [Red.], Różnorodność biologiczna - od komórki do ekosystemu. Funkcjonowanie roślin i grzybów. Środowisko - eksperyment - edukacja. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2015, str. 77-88.

Pkt.₂₀₁₅ = 4, Pkt.₂₀₂₆ = 5

RM5. **Ciąćka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Modyfikacja endogennej stężenia tlenu azotu w regulacji spoczynku nasion. [W:] Bajguz A., Ciereszko I., [Red.], Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby – badania środowiskowe i laboratoryjne. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Białystok 2016, str. 61-72.

Pkt.₂₀₁₆ = 4, Pkt.₂₀₂₆ = 5

Po uzyskaniu stopnia doktora

w j. polskim

RM6. **Ciąćka K.**, Staszek P., Andrzejczak A., Krasuska U., Duranowska K., Gniazdowska A. Katabolizm poliamin jako odpowiedź roślin na warunki stresowe. [W:] Łaska G., [Red.], Różnorodność biologiczna– od komórki do ekosystemu. Interdyscyplinarne i aplikacyjne znaczenie badań biologicznych. Białystok 2017, str. 175-187.

Pkt.₂₀₁₇ = 4, Pkt.₂₀₂₆ = 5

RM7. **Ciąćka K.**, Kiljanek H., Staszek P., Krasuska U., Gniazdowska A. Trochę chłodu dla wigoru – o przerywaniu spoczynku nasion w wyniku zabiegu stratyfikacji. [W:] Łaska G., [Red.], Różnorodność biologiczna– od komórki do ekosystemu. Nowe wyzwania w badaniach botanicznych i środowiskowych. Białystok 2018, str. 61-74.

Pkt.₂₀₁₈ = 4, Pkt.₂₀₂₆ = 5

II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

1. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii

Nie dotyczy

2. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych

2.1. Wystąpienia na konferencjach międzynarodowych

Przed uzyskaniem stopnia doktora

WM1. Budnicka K.¹, Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. Arginine and canavanine dependent regulation of apple embryo germination in relation to ROS and RNS production. 3rd International Conference and Workshop, "Plant – the source of research material", 16-18 października 2013, Lublin, Polska. (¹nazwisko panieńskie)

WM2. Ciacka K., Gniazdowska A., Krasuska U. Polyamine metabolism during NO-induced dormancy removal and germination of apple embryos. 5th Plant NO Club International Meeting, 24-25 lipca 2014, Monachium, Niemcy.

WM3. Krasuska U., **Ciacka K.**, Staszek P., Bogatek R., Gniazdowska A. Canavanine- phytotoxic non-protein amino acid acts as inhibitor of apple embryo germination by modification of ROS and RNS production. 7th Word Congress on Allelopathy, 28 lipca - 1 sierpnia 2014, Vigo, Hiszpania.

Po uzyskaniu stopnia doktora

WM4. Krasuska U., **Ciacka K.**, Bogatek R., Gniazdowska A. 2017. Hydrogen cyanide mimics nitric oxide cellular mode of action. 8th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 12-15 września 2017, Białystok, Polska.

WM5. Ciacka K., Kiljanek H., Krasuska U., Otulak K., Staszek P., Andrzejczak O., Gniazdowska A. Cold stratification alters ROS and RNS metabolism in axes of apple embryos. 7th Plant NO Club International Meeting, 24-26 października 2018, Nicea, Francja.

WM6. Tymiński M., **Ciacka K.**, Staszek P., Wal A., Zak J., Krasuska U. Warm stratification of apple seeds leads to alterations in biotin-containing protein levels. Conference: Current Environmental Issues 2019, 24-26 sierpnia 2019, Białystok, Polska.

WM7. Tymiński M., **Ciacka K.**, Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. Anti-ageing action of NO in warm stratified apple seeds. 9th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 9-12 sierpnia 2019, Toruń, Polska.

WM8. Tyminski M., **Ciacka K.**, Staszek P., Wal A., Gniazdowska A., Krasuska U. Nitric oxide says NO to seed ageing. 8th Plant NO Club International Meeting, July 7-9 lipca 2021, Szeged, Węgry (online).

WM9. Ciacka K., Krasuska U., Gniazdowska A. ROS as fundamental players in dormancy alleviation of apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds. 11th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 19-22 września 2023, Poznań, Polska.

WM10. Tyminski M., **Ciacka K.**, Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. Nitric oxide impacts proteome of embryonic axes of artificially aged apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds. 10th Plant NO International Meeting, 9-11 lipca 2025, Warszawa, Polska (online).

2.2. Wystąpienia na konferencjach krajowych

Przed uzyskaniem stopnia doktora

WK1. Gniazdowska A., **Budnicka K.**¹, Krasuska U. Nasiona we śnie-genialny dar natury dla bioróżnorodności. O regulacji spoczynku i kiełkowania nasion. II Ogólnopolska Konferencja Naukowa, 6 – 7 września 2013, Białystok, Polska. (¹nazwisko panieńskie)

WK2. **Ciąćka K.**, Andryka P., Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. Modyfikacje strukturalne białek związane z oddziaływaniem tlenu azotu w sygnalizacji komórkowej podczas rozwoju ontogenetycznego i odpowiedzi roślin na warunki stresowe. III Ogólnopolska Konferencja Naukowa Oddziału Białostockiego PTB, 12– 13 września 2014, Białystok, Polska.

WK3. Krasuska U., Dzierżyńska A., **Ciąćka K.**, Andrzejczak O., Staszek P., Gniazdowska A. Rośliny mięsożerne jako przykład adaptacji do niesprzyjających warunków środowiska naturalnego. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Oddziału Białostockiego PTB, 3 – 4 września 2015, Białystok, Polska.

WK4. **Ciąćka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Modyfikacje endogennego stężenia tlenu azotu w regulacji spoczynku nasion. V Ogólnopolska Konferencja Naukowa Oddziału Białostockiego PTB, 8-9 września 2016, Białystok, Polska.

WK5. **Ciąćka K.**, Krasuska U., Orzechowski S., Gniazdowska A. Nitracja białek markerem spoczynku zarodków jabłoni. 57. Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, 27 maja – 3 czerwca 2016, Lublin, Polska.

Po uzyskaniu stopnia doktora

WK6. Kiljanek H., **Ciąćka K.**, Tymięski M., Staszek P., Krasuska U., Gniazdowska A. Trochę chłodu dla wigoru - chłodna stratyfikacja jako zabieg prowadzący do ustępowania spoczynku nasion. Zmiany parametrów jakości nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) w czasie stratyfikacji. VII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Oddziału Białostockiego PTB, 14 – 15 września 2018, Białystok, Polska.

WK7. Żak J., Tymięski M., Staszek P., **Ciąćka K.**, Gniazdowska A., Krasuska U. Wpływ NO na ekspresję genów kodujących wybrane enzymy systemu antyoksydacyjnego w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych starzeniu. Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Perspektywy wykorzystania roślin w nauce i przemyśle”, 26 listopada 2020, Lublin, Polska.

WK8. Wal A., Tymięski M., Staszek P., **Ciąćka K.**, Gniazdowska A., Krasuska U. Wpływ NO na ekspresję *HSP*, *TOR*, *RAPTOR* i *PIMT* w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych starzeniu. Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Perspektywy wykorzystania roślin w nauce i przemyśle”, 26 listopada 2020, Lublin, Polska.

WK9. **Ciąćka K.**, Staszek P., Tymięski M., Wal A., Sobczyńska K., Krasuska U., Gniazdowska A. Zmiany zawartości glutationu w osiach zarodków nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) różniących się głębokością spoczynku. LIX Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, 26 czerwca – 3 lipca 2022, Warszawa, Polska.

2.3. Doniesienia na konferencjach międzynarodowych w formie plakatu naukowego

Przed uzyskaniem stopnia doktora

PM1. Budnicka K.¹, Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. Interaction between polyamines and nitric oxide during dormancy alleviation of apple (*Malus domestica*) embryos. 4th Plant NO Club International Meeting, 26-27 lipca 2012, Edynburg, Wielka Brytania. (¹nazwisko panińskie)

PM2. Budnicka K.¹, Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. "ROS and RNS are required for polyamines-dependent dormancy alleviation and germination of apple (*Malus domestica* Borkh.) embryos". XI International Conference of Plant Oxygen Group, 17 – 19 lipca 2013, Warszawa, Polska. (¹nazwisko panińskie)

PM3. Budnicka K.¹, Krasuska U., Bogatek R., Gniazdowska A. Arginine metabolism during NO- and polyamines-induced dormancy removal and germination of apple embryos. VI Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 16 – 19 września 2013, Łódź, Polska. (¹nazwisko panińskie)

PM4. Ciacka K., Krasuska U., Gniazdowska A. Polyamines dependent dormancy removal of apple embryos influences nitrosothiols metabolism. XII International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants: from model system to field, 22 – 24 lipca 2015, Werona, Włochy.

PM5. Ciacka K., Krasuska U., Gniazdowska A. Polyamines-dependent regulation of NO metabolism during dormancy alleviation and germination of apple embryos. VII Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 8 – 11 września 2015, Gdańsk, Polska.

PM6. Ciacka K., Krasuska U., Otulak K., Konieczny M., Gniazdowska A. Glutathione and nitrosoglutathione – indicators of dormancy status of apple embryos. 6th Plant NO Club International Meeting, 14 – 16 września 2016, Granada, Hiszpania.

PM7. Ciacka K., Krasuska U., Wiśniewska A., Gniazdowska A. NO-polyamines cross-talk during germination "sensu stricto" of apple embryos. 6th Plant NO Club International Meeting, 14 – 16 września 2016, Granada, Hiszpania.

PM8. Andrzejczak O., Ciacka K., Staszek P., Krasuska U., Hebelstrup K., Gniazdowska A. *Meta*-tyrosine modifies polyamines metabolism in roots of tomato seedlings. XI Copernican International Young Scientists Conference, 28 – 30 czerwca 2017, Toruń, Polska.

Po uzyskaniu stopnia doktora

PM9. Andrzejczak O., Dzierżyńska A., Ciacka K., Staszek P., Kiljanek H., Krasuska U., Gniazdowska A. Alteration in ROS metabolism during digestion in pitcher fluid of *Nepenthes ventrata*. 8th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 12 – 15 września 2017, Białystok, Polska.

PM10. Ciacka K., Staszek P., Andrzejczak O., Hebelstrup K., Krasuska U., Gniazdowska A. Non-protein amino acids impact polyamines metabolism in roots of tomato seedlings. 8th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 12 – 15 września 2017, Białystok, Polska.

PM11. Staszek P., Andrzejczak O., Krasuska U., Ciacka K., Gniazdowska A. 2017. Non-protein amino acids induce alterations in protein nitration in roots of tomato seedlings. 8th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 12 – 15 września 2017, Białystok, Polska.

PM12. Staszek P., Andrzejczak O., Joerg Fettke., Krasuska U., Ciacka K., Gniazdowska A. Alteration in protein nitration as a result of phytotoxic action of non-protein amino acids. 7th Plant NO Club International Meeting, 24 – 26 październik 2018, Nicea, Francja.

PM13. Tymiński M., **Ciacka K.**, Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. Anti-ageing action of NO in warm stratified apple seeds. 9th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 9 – 12 września 2019, Toruń, Polska.

PM14. Staszek P., Bederska-Błaszczak M., Pasternak T., **Ciacka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Disorganisation of tomato root apical meristem as a result of canavanine phytotoxicity. 9th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 9 – 12 września 2019, Toruń, Polska.

PM15. Staszek P., Kahromi S., **Ciacka K.**, Andrzejczak O., Krasuska U., Gniazdowska A. Do canavanine and *meta*-tyrosine impact RNA nitration in roots of tomato seedlings? 14th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants, 10 – 12 lipca 2019, Monachium, Niemcy.

PM16. **Ciacka K.**, Tymiński M., Krasuska U., Staszek P., Gniazdowska A. Nitro-oxidative changes in embryonic axes of apple seeds subjected to cold stratification. 14th International Conference on Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Plants, 10 – 12 lipca 2019, Monachium, Niemcy.

PM17. Tymiński M., **Ciacka K.**, Krasuska U. Impact of cold stratification of apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds on malonaldehyde (MDA), phenols content and total antioxidant activity in embryonic axes. VIIIth Intercollegiate Biotechnology Symposium “Symbioza”, 17 – 19 maja 2019, Warszawa, Polska.

PM18. Tyminski M., **Ciacka K.**, Staszek P., Ręgowska M., Gniazdowska A., Krasuska U. Cold stratification of apple seeds is linked to alterations in the level of RNA nitration and expression of ROS metabolism genes. 10th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology „Experimental plant biology at various scales: from molecules to environment”, 20 – 23 września 2021, Katowice, Polska.

PM19. Staszek P., Bederska-Błaszczak M., Soltys-Kalina D., **Ciacka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Canavanine-induced decrease in NO synthesis leads to disorganization of tomato root apical meristem. 8th Plant NO Club International Meeting, 7 – 9 lipca 2021, Sheged, Węgry.

PM20. Mira M.M., El-Khateeb E.A., Youssef M.S., **Ciacka K.**, So K., Duncan R.W., Hill R.D., Stasolla C. Arabidopsis root apical meristem survival during hypoxia-induced waterlogging is determined by phytohemoglobin through nitric oxide and auxin. International Society for Plant Anaerobiosis, 25 – 29 września 2022, Niemcy.

PM21. Gniazdowska A., Tyminski M., Staszek P., Sobczyńska K., **Ciacka K.**, Krasuska U. Nitric oxide modifies glutathione content in embryonic axes of aged apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds. 11th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 19 – 22 września 2023, Poznań, Polska.

PM22. Gniazdowska A., Krasuska U., **Ciacka K.**, Staszek P. *meta*-Tyrosine, an intriguing allelochemical of diverse mode of action. 9th World Congress on Allelopathy, 8 – 10 lipca 2024, Caserta, Włochy.

PM23. Staszek P., Soltys-Kalina D., **Ciacka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Canavanine-induced decrease in NO synthesis alters cell cycle regulation. 9th Plant NO Club International Meeting, 28 – 29 lutego 2024, New Delhi, Indie.

PM24. **Ciacka K.**, Staszek P., Tyminski M., Piekarniak M., Gniazdowska A., Krasuska U. ROS-dependent proteome reprogramming during apple (*Malus domestica* Borkh.) seed dormancy release. 12th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 9 – 12 września 2025, Warszawa, Polska.

PM25. Piekarniak M., **Ciacka K.**, Staszek P., Gniazdowska A., Krasuska U. ROS and HCN-dependent NO formation in vitro and in vivo. 12th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 9 – 12 września 2025, Warszawa, Polska.

PM26. Tyminski M., **Ciacka K.**, Krasuska U. Artificial ageing of apple (*Malus domestica* Borkh.) seeds corresponds with alterations in nitrate reductase activity in embryonic axes. 12th Conference of Polish Society for Experimental Plant Biology, 9 – 12 września 2025, Warszawa, Polska.

PM27. Tyminski M., **Ciacka K.**, Krasuska U. Artificial seed ageing affects nitrate and nitrite concentration in apple (*Malus domestica* Borkh.) embryonic axes. 60th Congress Of The Polish Botanical Society, 29 czerwca – 5 lipca 2025, Katowice, Polska.

2.4. Doniesienia na konferencjach krajowych w formie plakatu naukowego

Przed uzyskaniem stopnia doktora

PK1. Ciacka K., Krasuska U., Gniazdowska A. Inhibition of apple embryo germination by canavanine is due to modification in ROS and RNS biosynthesis. I Ogólnopolska Konferencja Doktorantów Nauk o Życiu, 20 – 22 kwietnia 2015, Łódź, Polska.

Po uzyskaniu stopnia doktora

PK2. Ciacka K., Staszek P., Andrzejczak O., Krasuska U., Duranowska K., Gniazdowska A. 2017. Katabolizm poliamin w korzeniach siewek pomidora traktowanych *meta*-tyrozyną i kanawaniną. VI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Oddziału Białostockiego PTB, 8 – 9 września 2017, Białystok, Polska.

PK3. Wal A., Andrzejczak O., **Ciacka K.**, Staszek P., Bogatek R., Gniazdowska A. Wpływ L-kanawaniny na rośliny. Abstrakty Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Rośliny w naukach medycznych i przyrodniczych, 25 maja 2018, Lublin, Polska.

PK4. Żak J., **Ciacka K.**, Gniazdowska A., Krasuska U. Identyfikacja genu referencyjnego dla analizy ilościowej genów w osiach zarodków nasion jabłoni poddanych stratyfikacji w chłodzie. IV Ogólnopolska Konferencja „Genetyka i genomika w doskonaleniu roślin uprawnych - od rośliny modelowej do nowej odmiany”, 5 – 7 listopada 2019, Poznań, Polska.

PK5. Wal A., Tyminski M., **Ciacka K.**, Krasuska U. Tlenek azotu jako cząsteczka modulująca starzenie się nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poprzez modyfikację ekspresji genów związanych z długowiecznością. XV Kopernikańskie Seminarium Doktoranckie, 20 – 22 czerwca 2022, Toruń, Polska.

PK6. Staszek P., Kamińska A., Soltys-Kalina D., **Ciacka K.**, Krasuska U., Gniazdowska A. Zaburzenia przebiegu cyklu komórkowego jako efekt fitotoksycznego działania kanawaniny. LIX Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, 26 czerwca – 3 lipca 2022, Warszawa, Polska.

PK7. Tyminski M., Sobczyńska K., **Ciacka K.**, Krasuska U. Tlenek azotu jako cząsteczka regulująca aktywność enzymów związanych z przemianami glutationu w osiach zarodkowych nasion jabłoni (*Malus domestica* Borkh.) poddanych starzeniu. XVI Kopernikańskie Seminarium Doktoranckie, 29 – 30 czerwca 2023, Toruń, Polska.

2.5. Wygłoszone wykłady na zaproszenie

Po uzyskaniu stopnia doktora

04-04-2018 wykład seminaryjny pt.: „NO-polyamines cross-talk during dormancy removal and germination of apple embryos” wygłoszony podczas stażu w laboratorium prof. Jorga Fettke, w Instytucie Biochemii i Biologii, Uniwersytet w Poczdamie, Niemcy.

3. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji

Po uzyskaniu stopnia doktora

- Konferencja 100-lecie Katedry Fizjologii Roślin Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie „*Fizjologia roślin w XXI wieku*” 15 – 16 września 2022 w Warszawie (Konferencja w dniu 16 września 2022 miała zasięg międzynarodowy). Pełniona funkcja - Członek komitetu organizacyjnego.
- 10 Międzynarodowa konferencja PNO (Plant Nitric Oxide) 9 – 11 lipca 2025, Warszawa. Pełniona funkcja - Członek komitetu organizacyjnego.

4. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów

Przed uzyskaniem stopnia doktora

PB1. 2014-2016 **Kierownik** projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: PRELUDIUM5, nr grantu 2013/09/N/NZ9/01619. „Metabolizm nitrozotioili podczas ustępowania spoczynku i kiełkowania zarodków jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)”

PB2. 2015-2017 **Wykonawca** projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: OPUS7, nr grantu 2014/13/B/NZ9/02074. „Reaktywne formy azotu i poliaminy w regulacji fitotoksycznego oddziaływania niebiałkowych aminokwasów na wzrost korzeni”

Po uzyskaniu stopnia doktora

PB3. 2017-2020 **Wykonawca** projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: OPUS12 nr grantu 2016/23/B/NZ9/03462. „Rola tlenu azotu jako cząsteczki poprawiającej zdolność do kiełkowania zarodków izolowanych z nasion jabłoni poddanych stratyfikacji w cieple”

PB4. 2024-2027 **Wykonawca** projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki: OPUS25 nr grantu 2023/49/B/NZ9/03099. „Wpływ nanocząstek ZnO na liczebność i bioróżnorodność bakterii promujących wzrost roślin”

PB5. 2024-2027 **Wykonawca** projektu finansowanego przez NCBiR: nr grantu LIDER14/0217/2023 „Kokogel - zastosowanie hydrożeli w produkcji drobiarskiej i opracowanie technologii produkcji nawozu organicznego na bazie obornika drobiowego wzbogaconego aktywnymi dodatkami biologicznymi”

5. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach

Członkostwo w krajowych towarzystwach naukowych

T1. Polskie Towarzystwo Botaniczne – Członek od 2014 roku

T2. Forum Rolnictwa Ekologicznego im. Mieczysława Górnego – Członek od 2022 roku

6. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

S1. Staż naukowy (01-02-2016 – 30-04-2016), Department of Plant Sciences prof. Claudio Stasolla, Faculty of Agricultural and Food Sciences, University of Manitoba, Kanada

S2. Staż naukowy (23-03-2018 – 13-04-2018), Biopolymer Analytics Group prof. Jorg Fettke, Institute of Biology and Biochemistry, Potsdam University, Niemcy

7. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.)

Nie dotyczy

8. Wykaz recenzowanych prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych

Recenzje prac naukowych dla czasopism (łącznie 25):

R1. Acta Physiologiae Plantarum (12)

R2. Annals of Botany (1)

R3. Journal of Plant Physiology (2)

R4. Plant Sciences (2)

R5. Plants (1)

R6. Agronomy (3)

R7. IJMS (1)

R8. BMC Plant Biology (2)

R9. Journal of Plant Growth Regulation (1)

9. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych

Nie dotyczy

10. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.4

Projekty inne

PI.1 Projekt „Zrównoważony Kampus SGGW- kształcenie na rzecz branż kluczowych” współfinansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego Plus w ramach Programu Fundusze

Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027 Priorytet 1 Umiejętności Działanie 01.05 Umiejętności w szkolnictwie wyższym, w ramach którego w roku 2025:

- prowadziłam zajęcia dla uczniów szkół średnich „Laboratoria Przyszłości”
- koordynowałam tworzenie webinarów promujących kierunki biologia (2 webinary) i biotechnologia (2 webinary) na Wydziale Biologii i Biotechnologii.

11. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny

Nie dotyczy

III. WSPÓLPRA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

Nie dotyczy

IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

1. Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny)

Sumaryczny Impact Factor według bazy Journal Citation Reports (JCR) (09.04.2026):

- dla publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego 1 i 2 wynosi dla danych zgodnie z rokiem opublikowania – **45,89**, a dla roku 2024 – **44,5**;
- dla wszystkich publikacji zgodnie z rokiem opublikowania* wynosi **116,957**, a dla roku 2024 – **126,4**.

* dla publikacji opublikowanych w latach 2025-26 podano IF z roku 2024.

2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań

Sumaryczna liczba cytowań według bazy Web Of Science Core Collection (09.04.2026) wynosi **480**, bez autocytowań **382**.

Sumaryczna liczba cytowań według bazy Scopus (09.04.2026) wynosi **513**, bez autocytowań **381**.

3. Indeks Hirscha

Indeks Hirscha według bazy Web Of Science Core Collection (09.04.2026) wynosi **13**.

Indeks Hirscha według bazy Scopus (09.04.2026) wynosi **12**.

Tabela 1. Szczegółowe dane naukometryczne publikacji z całego okresu pracy naukowej

Rodzaj publikacji		Liczba publikacji	Liczba punktów w roku wydania publikacji	Liczba punktów w roku 2026	IF w roku wydania publikacji	IF w roku 2024	Cytowania wg WoS	Cytowania wg Scopus
Publikacje wchodzące w skład osiągnięć naukowych 1 i 2		9	880	880	45,89	44,5	158	173
Publikacje eksperymentalne niewchodzące w skład osiągnięć naukowych	-przed uzyskaniem stopnia doktora	4	145	370	10,925	16,4	138	152
	-po uzyskaniu stopnia doktora	8	715	820	32,947	36,1	84	87
Monografie, rozdziały w monografiach, publikacje przeglądowe i pokonferencyjne	-przed uzyskaniem stopnia doktora	8	46	85	0,087	0	5	0
	-po uzyskaniu stopnia doktora	7	418	480	27,108	29,4	95	101
Suma		36	2204	2635	116,957	126,4	480	513

Liczba punktów - punkty według wykazu czasopism naukowych Ministra Nauki (obejmujące Komitet Badań Naukowych, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Ministerstwo Edukacji i Nauki). IF – Impact Factor. WoS – baza Web of Science Core Collection

.....*Katarzyna Cięćka*.....
(podpis habilitantki)