

Dr Sławomir Borek

AUTOREFERAT

**Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Wydział Biologii
Zakład Fizjologii Roślin
Poznań 2013**

I. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

Stopień naukowy magistra w zakresie biologii eksperymentalnej. Praca magisterska pt. „Wpływ wybranych czynników zewnętrznych na toksyczność ołowiu u *Lemna minor* L.” wykonana w Zakładzie Botaniki Ogólnej Wydziału Biologii UAM w Poznaniu, 1996.

Stopień naukowy doktora nauk biologicznych w zakresie biologii – fizjologia roślin. Praca doktorska pt. „Cukry jako regulator metaboliczny mobilizacji materiałów zapasowych w kiełkujących nasionach łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.)” wykonana w Zakładzie Fizjologii Roślin Wydziału Biologii UAM w Poznaniu, 2001.

II. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Zakład Fizjologii Roślin

Adiunkt

- umowa na czas określony od 01.10.2001 do 31.08.2002
- mianowanie na czas nieokreślony od 01.09.2002

III. OSIĄGNIĘCIE WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 ROKU O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

A) Tytuł osiągnięcia naukowego

Regulacja metabolizmu zapasowego tłuszczu w rozwijających się i kiełkujących nasionach łubinu (*Lupinus* spp.)

B) Publikacje wchodzące w zakres osiągnięcia naukowego

1. Borek S*, Pukacka S, Michalski K, Ratajczak L 2009. Lipid and protein accumulation in developing seeds of three lupine species: *Lupinus luteus* L., *Lupinus albus* L., and *Lupinus mutabilis* Sweet. *Journal of Experimental Botany* 60(12): 3453-3466 (IF₂₀₀₉ 4,271; punkty MNiSW 45; mój udział procentowy szacuję na 75%)
2. Borek S*, Ratajczak L 2010. Storage lipids as a source of carbon skeletons for asparagine synthesis in germinating seeds of yellow lupine (*Lupinus luteus* L.). *Journal of Plant Physiology* 167(9): 717-724 (IF₂₀₁₀ 2,677; punkty MNiSW 35; mój udział procentowy szacuję na 85%)
3. Borek S*, Nuc K 2011. Sucrose controls storage lipid breakdown on gene expression level in germinating yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) seeds. *Journal of Plant Physiology* 168: 1795-1803 (IF₂₀₁₁ 2,791; punkty MNiSW 35; mój udział procentowy szacuję na 75%)
4. Borek S*, Kubala S, Kubala S, Ratajczak L 2011. Comparative study of storage compounds breakdown in germinating protein-storing seeds of three lupine species of different oil content. *Acta Physiologiae Plantarum* 33: 1953-1968 (IF₂₀₁₁ 1,639; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 85%)
5. Borek S*, Pukacka S, Michalski K 2012. Regulation by sucrose of storage compounds breakdown in germinating seeds of yellow lupine (*Lupinus luteus* L.), white lupine (*Lupinus albus* L.) and Andean lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). II. Mobilization of storage lipid. *Acta Physiologiae Plantarum* 34:1199-1206 (IF₂₀₁₂ 1,305; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 70%)
6. Borek S*, Kubala S, Kubala S 2013. Diverse regulation by sucrose of enzymes involved in storage lipid breakdown in germinating lupin seeds. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 2147-2156 (IF₂₀₁₂ 1,305; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 90%)

* Autor korespondencyjny

C) Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl sześciu oryginalnych publikacji naukowych opublikowanych w latach 2009-2013 w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports. Sumaryczny impact factor (zgodny z rokiem opublikowania) tych pozycji wynosi 13,988 a sumaryczna liczba punktów MNiSW to 190. We wszystkich sześciu publikacjach jestem autorem pierwszym i korespondencyjnym.

W publikacjach składających się na osiągnięcie naukowe przedstawione są wyniki badań nad regulacją metabolizmu zapasowego tłuszczu w nasionach łubinu. Metabolizm zapasowego tłuszczu badany był w sposób kompleksowy, tzn. badania obejmowały zarówno proces jego biosyntezy w nasionach rozwijających się jak i uruchamianie tego składnika zapasowego w nasionach kiełkujących i we wczesnych fazach wzrostu i rozwoju siewki. Obiektem badawczym były nasiona dwóch uprawianych w Polsce gatunków łubinu tj. żółtego (*Lupinus luteus* L.) i białego (*Lupinus albus* L.) oraz nasiona łubinu andyjskiego (*Lupinus mutabilis* Sweet) – gatunku uprawianego powszechnie w krajach Ameryki Południowej. W Polsce i w innych krajach Starego Świata gatunek ten nie jest uprawiany, ale ze względu na bardzo wysoką zawartość tłuszczu w nasionach (porównywalną z nasionami soi) w Europie, Afryce czy Australii prowadzone są badania poznawcze lub badania mające na celu uzyskanie odmian nadających się do uprawy łubinu andyjskiego w tych regionach świata. Wspomniane trzy gatunki łubinu zostały wytypowane do badań na podstawie zasadniczej różnicy w zawartości zapasowego tłuszczu w nasionach. Dojrzałe i suche nasiona łubinu żółtego zawierają ok. 6% tłuszczu, białego 7-14% a andyjskiego ok. 20%. W badaniach mechanizmów regulacji biosyntezy i katabolizmu zapasowego tłuszczu rozpatrywane było przede wszystkim znaczenie sacharozy, która jest zarówno substratem w biosyntezie zapasowego tłuszczu w rozwijających się nasionach jak i jednym z głównych produktów jego degradacji podczas kiełkowania. Sacharoza jest również czynnikiem regulatorowym, który poprzez modyfikację ekspresji licznych genów kontrolować może między innymi syntezę i degradację związków zapasowych. Kolejnymi czynnikami uwzględnionymi w badaniach była asparagina, jako kluczowy aminokwas w metabolizmie azotowym nasion łubinu, oraz azotan który podobnie jak sacharoza uważany jest za czynnik regulujący metabolizm roślinny poprzez zmiany w ekspresji niektórych genów. Według aktualnego stanu wiedzy, regulatorowa funkcja azotanu dotyczy głównie aktywności merystematycznej korzeni oraz ekspresji genów

metabolizmu centralnego np. genów niektórych enzymów uczestniczących w cyklu Krebsa.

Regulacja biosyntezy zapasowego tłuszczu w rozwijających się nasionach łubinu

Zapasowy tłuszcz w rozwijających się nasionach syntetyzowany jest przede wszystkim z cukrów (głównie sacharozy i glukozy) i w mniejszym stopniu z aminokwasów dostarczanych przez roślinę macierzystą. Cukry w komórkach tkanek magazynujących tłuszcz ulegają glikolizie, która zachodzi zarówno w cytoplazmie jak i w plastydach. W obrębie plastydów powstaje acetylo-CoA, który jest bezpośrednim substratem w biosyntezie kwasów tłuszczowych. W plastydach syntetyzowane są przede wszystkim najbardziej typowe kwasy tłuszczowe takie jak kwas palmitynowy, stearynowy czy oleinowy. Wydłużanie i inne modyfikacje kwasów tłuszczowych zachodzą już w siateczce śródplazmatycznej. W organelli tej, w szlaku Kennedyego, z kwasów tłuszczowych i glicerolo-3-fosforanu syntetyzowane są triacyloglicerole będące zasadniczym składnikiem zapasowego tłuszczu. Ostatecznie tłuszcz zapasowy jest deponowany w cytoplazmie w formie ciał olejowych (oleosomów).

Rozwijające się nasiona łubinu pozyskiwano z uprawy polowej. Wykorzystywano nasiona znajdujące się w III stadium rozwojowym (w trakcie rozwoju nasion łubinu wyróżnić można 5 stadiów), czyli takim stadium, w którym zawartość tłuszczu wynosiła ok. 50 % zawartości maksymalnej. Z nasion izolowano liścienie, które następnie rosły przez 96 godzin w warunkach kultur *in vitro* na płynnej pożywce mineralnej, oraz na pożywce dodatkowo zawierającej sacharozę, asparaginę lub azotan. W takim materiale zbadano całkowitą zawartość tłuszczu, poziom rozpuszczalnego białka, spektrum kwasów tłuszczowych i zawartość fosfolipidów. Badania wzbogacono o obszerne obserwacje ultrastruktury komórek tkanki parenchymatycznej organów spichrzowych w transmisyjnym mikroskopie elektronowym. W badaniach *in vivo* zastosowano specyficznie znakowany węglem ^{14}C w pozycji 1 i 2 kwas octowy. Wyniki tych badań opisano w publikacji Borek i wsp. 2009 (pozycja 1 osiągnięcia naukowego).

W liścieniach odżywionych sacharozą stwierdzono wyraźnie większą zawartość tłuszczu niż w organach nieodżywionych cukrem. Podobną, ale mniej wyraźną zależność stwierdzono odnośnie zawartości białka. Asparagina, jako 'centralny' aminokwas metabolizmu azotowego w nasionach łubinu, znacząco stymulowała akumulację białka, ale obniżała jednocześnie zawartość tłuszczu. Kluczowym wynikiem okazał się jednak efekt spowodowany przez azotan, a mianowicie czynnik ten wywołał jednoczesny wzrost ilości tłuszczu i białka. Stymulujący efekt działania azotanu był

wyraźniejszy w liścieniach odżywionych sacharozą. Azotan powodował wzrost zawartości tłuszczu o 7,8% w odżywionych sacharozą liścieniach łubinu żółtego, o 8,6% w liścieniach łubinu białego i o 10,2% w liścieniach łubinu andyjskiego. Jednoczesny wzrost poziomu białka wynosił odpowiednio: 16,1, 9,3 i 11,4%. W wyjaśnieniu mechanizmu stymulującego oddziaływania azotanu na zawartość tłuszczu niezbędne okazały się dane uzyskane z eksperymentów z zastosowaniem znakowanego węglem ^{14}C kwasu octowego. Związek ten po wnikięciu do komórek ulega aktywacji do acetylo-CoA i może stać się substratem w biosyntezie zapasowego tłuszczu. Analiza radioaktywności frakcji tłuszczowej rosnących *in vitro* izolowanych liścieni pokazała wyraźnie niższy poziom znakowania w warunkach odżywienia azotanem. Zestawiając ten wynik z większą zawartością tłuszczu, podejrzewać można, że w trakcie wzmożonej biosyntezy tłuszczu z nieznakowanego substratu (sacharozy), dochodzi do ostatecznego zmniejszenia radioaktywności akumulowanego oleju. Dysponując takimi rezultatami i wspierając się danymi literaturowymi dotyczącymi metabolizmu nasion roślin oleistych sformułowano hipotezę, według której stymulacja syntezy zapasowego tłuszczu przez azotan spowodowana jest intensyfikacją przepływu węgla przez proces glikolizy. W takich okolicznościach syntetyzowana jest większa ilość acetylo-CoA, która w konsekwencji doprowadza do wzmożonej akumulacji tłuszczu.

Jednoczesny wzrost zawartości tłuszczu i białka w dojrzewających nasionach roślin motylkowatych był zjawiskiem dotąd w literaturze fachowej nieopisywanym. Znane są liczne dane wskazujące na występowanie w nasionach roślin motylkowatych zgoła odmiennej, tj. silnie negatywnej relacji w akumulacji zapasowego tłuszczu i białka. W omawianych tutaj badaniach zależność taką powodowała asparagina. Pokazanie, że poprzez prostą manipulację czynnikami troficznymi możliwe jest jednak osiągnięcie relacji pozytywnej w akumulacji tłuszczu i białka zasługuje na szczególną uwagę gdyż odkrycie to wnosi niezwykle istotny element do procesu zrozumienia mechanizmów regulacyjnych funkcjonujących w dojrzewających nasionach. Daje też zachętę do dalszych badań mających na celu zweryfikowanie czy obserwowany w warunkach *in vitro* efekt azotanu miałby przełożenie na warunki uprawy polowej. Osiągnięcie tego celu miałyby wysokie znaczenie aplikacyjne.

W badaniach realizowanych na rozwijających się nasionach łubinu (Borek i wsp. 2009) zwrócono również uwagę na właściwości oleju łubinowego. Olej łubinu żółtego zawiera duże ilości kwasu linoleinowego, podobnie jak olej sojowy i słonecznikowy. Olej łubinu białego ze względu na wysoką zawartość kwasu oleinowego przypomina olej rzepakowy. Na szczególną uwagę zasługuje jednak olej łubinu andyjskiego, który

dzięki wysokiej zawartości kwasu linoleinowego i oleinowego łączy w sobie cechy trzech dostępnych w handlu olejów tj. sojowego, słonecznikowego i rzepakowego. Ponadto olej tego gatunku nie zawiera szkodliwego dla człowieka kwasu erukowego. Oleje łubinowe zawierają również dużo fosfatydylocholiny, czyli lecytyny. Takie właściwości olejów łubinowych zwiększają potencjalne możliwości przemysłowego wykorzystania nasion łubinu do produkcji oleju o wysokich parametrach jakościowych, istotnych w diecie człowieka.

Regulacja mobilizacji zapasowego tłuszczu w kiełkujących nasionach łubinu

Pozostałe pięć publikacji wchodzących w zakres osiągnięcia naukowego (pozycje 2-6) zawierają wyniki badań nad regulacją uruchamiania zapasowego tłuszczu podczas kiełkowania nasion łubinu. Mobilizacja zapasowego tłuszczu rozpoczyna się od rozkładu triacylogliceroli w ciałach olejowych. Działają tutaj głównie lipazy. Następnie kwasy tłuszczowe ulegają zachodzącej w peroksysomach (glioksysomach) β -oksydacji. Kolejny etap to cykl glioksyłanowy, który częściowo zachodzi w peroksysomach i częściowo w cytoplazmie. W peroksysomach zlokalizowane są 3 enzymy cyklu glioksyłanowego (syntaza cytrynianowa, liaza izocytrynianowa i syntaza jabłczanowa), natomiast 2 pozostałe enzymy cyklu (akonitaza i dehydrogenaza jabłczanowa) działają w cytoplazmie. Powstający w peroksysomach bursztynian, po przetransportowaniu do mitochondrium, ulega konwersji w cyklu Krebsa do jabłczanu. Ten metabolit z kolei po przetransportowaniu do cytoplazmy ulega konwersji do szczawiooctanu. Ostatnim etapem uruchamiania zapasowego tłuszczu jest glukoneogeneza i odtworzenie cukrów, które są formą transportową węgla w roślinach. Opisany wyżej szlak przemian jest typowy dla kiełkujących nasion roślin oleistych. Przemiany te zachodzą również w kiełkujących nasionach łubinu, ale opisane niżej wyniki moich badań ujawniły istnienie alternatywnych szlaków rozkładu zapasowego tłuszczu w kiełkujących nasionach łubinu.

Badania w obszarze regulacji uruchamiania zapasowego tłuszczu prowadzono na osiach zarodkowych i liścieniach izolowanych ze spęczniałych nasion oraz na siewkach rosnących 96 godzin *in vitro* na płynnej pożywce mineralnej lub pożywce wzbogaconej w organiczne źródło węgla, jakim była sacharoza. Badania ultrastruktury komórek (Borek i wsp. 2011) oraz pomiar zawartości tłuszczu w badanych organach (Borek i wsp. 2012) pokazały, że deficyt cukru w tkankach wzmaga uruchamianie rezerw tłuszczowych w osiach i liścieniach siewek oraz w izolowanych liścieniach. Zgoła odmienna zależność została zaobserwowana w głodzonych pod względem

sacharozy izolowanych osiach zarodkowych rosnących przez 96 godzin *in vitro*. W organach tych stwierdzono bowiem wyraźnie wyższą zawartość tłuszczu w porównaniu do osi odżywionych sacharozą (Borek i wsp. 2011, Borek i wsp. 2012). Całkowita zawartość tłuszczu w rosnących *in vitro*, głodzonych, izolowanych osiach zarodkowych łubinu żółtego była wyższa o 43% niż w osiach odżywionych sacharozą; w osiach łubinu białego była wyższa o 44%, a w osiach łubinu andyjskiego o 70% (Borek i wsp. 2012). Wynik ten jest zaskakujący i trudny do interpretacji, gdyż jest całkowicie sprzeczny z licznymi danymi literaturowymi. W literaturze fachowej opisywana jest bowiem wyraźna intensyfikacja rozkładu związków zapasowych w warunkach głodu cukrowcowego (dokładnie tak jak zaobserwowano to w izolowanych liścieniach i siewkach łubinu). Nadmienić jednak należy, że w warunkach głodu cukrowcowego dochodzi w izolowanych osiach zarodkowych do procesów autofagicznych. Objawami autofagii był radykalny wzrost wakuolizacji komórek (Borek i wsp. 2011) oraz wyraźny spadek poziomu fosfatydylocholine (Borek i wsp. 2012). W związku z takimi obserwacjami sformowano hipotezę, według której procesy autofagiczne wywołują zaburzenia w funkcjonowaniu aparatu enzymatycznego uczestniczącego w uruchamianiu rezerw tłuszczowych. Mówiąc dokładniej, w warunkach głodu cukrowcowego dochodzić może do autofagicznej degradacji peroksysomów – organelli uczestniczących w rozkładzie zapasowego tłuszczu. Skutkiem tego jest większa zawartość tłuszczu w głodzonych osiach zarodkowych. W osiach odżywionych sacharozą nie dochodzi do procesów autofagicznych, organy rosną intensywniej i tłuszcz zapasowy jest zużywany w większych ilościach. Hipoteza ta została zaproponowana i przedyskutowana w dwóch publikacjach składających się na osiągnięcie naukowe, tj. w publikacji 4 osiągnięcia (Borek i wsp. 2011) i w publikacji 5 osiągnięcia (Borek i wsp. 2012). Zauważyć jednak należy, że opisana wyżej odmienność regulatorowej roli sacharozy w izolowanych osiach zarodkowych przejawiała się tylko na poziomie obserwacji ultrastruktury komórek i analitycznych oznaczeń zawartości tłuszczu w badanych organach. Natomiast zmiany obserwowane na poziomie aktywności enzymów uczestniczących w przemianach zapasowego tłuszczu, poziomu mRNA dla białek enzymatycznych, zawartości fosfolipidów czy spektrum kwasów tłuszczowych wpisują się raczej w bardziej ogólny obraz zmian metabolizmu tłuszczowego powodowanego przez zmieniającą się zawartość cukrów w tkankach. Obraz, który jest spójny zarówno dla izolowanych osi zarodkowych jak i dla izolowanych liścieni i organów siewek (Borek i Nuc 2011, Borek i wsp. 2011, Borek i wsp. 2012, Borek i wsp. 2013). A u podstaw regulatorowej roli cukrów w uruchamianiu

rezerw tłuszczowych leżą zmiany w ekspresji genów kodujących białka enzymatyczne uczestniczące w szlakach degradacji zapasowego tłuszczu (Borek i Nuc 2011).

Analizując zmiany w aktywności enzymatycznej i poziomie mRNA dla wybranych białek enzymatycznych stwierdzić można, że w warunkach deficytu cukru w tkankach dochodzi do intensyfikacji tylko początkowych etapów szlaków rozkładu zapasowego tłuszczu. Wymienić tutaj można wyraźny wzrost aktywności i poziomu mRNA lipazy (lipoliza) oraz wzrost aktywności oksydazy acylo-CoA i katalazy (β -oksydacja kwasów tłuszczowych) w warunkach głodu cukrowego (Borek i Nuc 2011, Borek i wsp. 2013). Z kolei aktywność i poziom mRNA cytoplazmatycznej akonitazy, aktywność liazy izocytrynianowej (cykl glioksylanowy) oraz aktywność karboksykinazy fosfoenolopirogronianowej (glukoneogeneza) była wyraźnie wyższa w organach (szczególnie w izolowanych osiach zarodkowych) odżywionych sacharozą (Borek i Nuc 2011, Borek i wsp. 2013). Wyniki te stoją w wyraźnej opozycji do licznych danych literaturowych pokazujących wzrost aktywności i ekspresji genów enzymów zaangażowanych w uruchamianie związków zapasowych, czy ogólnie mówiąc, uczestniczących w procesach katabolicznych, w warunkach obniżonego poziomu cukru w tkankach. Jednak wyjaśnienie tych specyficznych dla łubinu wyników, umożliwiły dane uzyskane w trakcie badań *in vivo* z zastosowaniem specyficznego znakowanego węglem ^{14}C kwasu octowego, który po aktywacji do acetylo-CoA może stać się intermedialnym szlaków degradacji zapasowego tłuszczu. Badania te zaowocowały bowiem odkryciem silnych powiązań pomiędzy szlakami uruchamiania zapasowego tłuszczu i szlakami mobilizacji zapasowego białka (Borek i Ratajczak 2010). Okazuje się, że w trakcie kiełkowania nasion łubinu występuje przepływ szkieletów węglowych pochodzenia tłuszczowego do aminokwasów (głównie asparaginy, glutaminy i kwasu glutaminowego) i jest on wyraźnie intensywniejszy w warunkach odżywienia organów sacharozą. Odżywione sacharozą izolowane osie zarodkowe (również izolowane liścienie) rosną intensywniej niż organy nieodżywione i szkielety węglowe pochodzenia tłuszczowego mogą uzupełniać źródło węgla organicznego w zwiększonej biosyntezie aminokwasów. Uzyskane wyniki pozwoliły na opisanie czterech, alternatywnych lub nawzajem się uzupełniających, szlaków przepływu węgla od zapasowego tłuszczu do aminokwasów w kiełkujących nasionach łubinu. Szlaki te zostały dokładnie opisane i zilustrowane na Figurze 2 w publikacji Borek i Ratajczak 2010 (publikacja 2 osiągnięcia). Najprawdopodobniej szkielety węglowe 'opuszczają' klasyczny, opisany dla kiełkujących nasion roślin oleistych, szlak rozkładu zapasowego tłuszczu, na etapie cyklu glioksylanowego. Jak już wspomniano,

2 z 5 enzymów tego cyklu działa w cytoplazmie. Są to akonitaza i dehydrogenaza jabłczanowa. W związku z tym substrat i produkt akonitazy (cytrynian i Izocytrynian) oraz substrat i produkt dehydrogenazy jabłczanowej (jabłczan i szczawiooctan) muszą pojawić się w cytoplazmie. Zatem związki te mogą 'opuścić' cykl glioksylanowy i w mniej lub bardziej bezpośredni sposób mogą być wykorzystane do zachodzącej w cytoplazmie syntezy aminokwasów. Oprócz cytoplazmatycznych enzymów cyklu glioksylanowego, istotna też jest w omawianych szlakach cytoplazmatyczna dehydrogenaza izocytrynianowa, katalizująca konwersję izocytrynianu do 2-okoglutaranu. Jak już wspomniano, przepływ węgla od kwasów tłuszczowych do aminokwasów był intensywniejszy w organach odżywionych sacharozą, a aktywność i poziom mRNA tego enzymu również był podwyższony w warunkach dobrego zaopatrzenia tkanek w cukry (Borek i Nuc 2011).

Zdecydowana większość badań, których wyniki zostały przedstawione w publikacjach składających się na osiągnięcie naukowe, pokazuje że regulacja metabolizmu tłuszczu w nasionach łubinu zdaje się być niezależna od ilości tego związku zapasowego w nasionach. Dotyczy to zarówno regulacji biosyntezy tłuszczu w nasion rozwijających i jego degradacji podczas kiełkowania nasion łubinu. Regulatorowa rola sacharozy (jak również asparaginy i azotanu) jest niemal identyczna u wszystkich trzech badanych gatunków łubinu. Jednakże zawartość tłuszczu, a właściwie wzajemne proporcje w zawartości zapasowego tłuszczu i białka mają znaczenie w szerszym ujęciu regulacji uruchamiania rezerw podczas kiełkowania nasion łubinu. Omawiając ten proces w kiełkujących nasionach łubinów trzeba mieć na uwadze fakt, że głównym materiałem zapasowym u tych gatunków jest białko, które w dojrzałych i suchych nasionach łubinu żółtego stanowić może około 45% suchej masy; w nasionach łubinu białego jego zawartość może osiągać 38%, a zawartość białka w nasionach łubinu andyjskiego wahać się może od 40 do 50%. Dojrzałe i suche nasiona łubinu nie zawierają skrobi. Badania z zastosowaniem specyficznego znakowanego węglem ^{14}C kwasu octowego i inhibitora syntetazy glutaminowej (MSO, L-methionine sulfoximine), których wyniki opisano w publikacji 4 osiągnięcia (Borek i wsp. 2011), wskazują na odmienne strategie uruchamiania związków zapasowych podczas kiełkowania nasion trzech badanych gatunków łubinu. W kiełkujących nasionach łubinu żółtego, charakteryzujących się znacznie większą zawartością zapasowego białka niż tłuszczu, podstawowymi metabolitami są aminokwasy. Aminokwasy wykorzystywane są w wielu procesach anabolicznych, ale też są ważnymi substratami oddechowymi.

Zaburzenie przemian aminokwasowych w organach kiełkujących nasion łubinu żółtego poprzez zastosowanie w eksperymentach MSO, nie pociągało za sobą żadnych wyraźnych zmian w intensywności rozkładu niewielkich rezerw tłuszczowych. W przypadku kiełkujących nasion łubinu białego już na etapie pęcznienia pojawia się skrobia w osiach i liścieniach. Występuje więc dodatkowe źródło substratów wykorzystywanych w procesach anabolicznych i oddechowych. W takich okolicznościach zaburzenie metabolizmu aminokwasowego (poprzez zastosowanie MSO) również nie skutkowało jakąś wyraźną intensyfikacją uruchamiania rezerw tłuszczowych. Natomiast zupełnie odmienną strategię zaobserwowano w kiełkujących nasionach łubinu andyjskiego, którego nasiona zawierają zarówno dużo białka jak i dużo tłuszczu. Wysoka zawartość tłuszczu w nasionach musi się wiązać z funkcjonowaniem sprawnego aparatu enzymatycznego umożliwiającego rozkład tego znaczącego związku zapasowego. W związku z tym spowodowanie zaburzeń w przemianach aminokwasów (poprzez zastosowanie MSO) a tym samym ograniczenie uruchamiania zapasowego białka, było szybko i bardzo wyraźnie kompensowane przez intensywniejszą dekompozycję zapasowego tłuszczu. W takich okolicznościach kwasy tłuszczowe stać się mogą ważnymi substratami w procesach anabolicznych i substratami oddechowymi. Taka strategia możliwa jest nawet w warunkach deficytu cukru w tkankach (Borek i wsp. 2011).

IV. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

A) Publikacje naukowe

Oprócz 6 publikacji składających się na osiągnięcie naukowe opisane w punkcie III Autoreferatu, jestem współautorem dodatkowych 11 publikacji. Należy do nich 7 oryginalnych publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports, 2 oryginalne publikacje naukowe w czasopismach nieznajdujących się w bazie Journal Citation Reports, 1 polskojęzyczna publikacja przeglądowa oraz 1 rozdział w angielskojęzycznej książce. Poniżej znajduje się krótkie omówienie poszczególnych prac.

Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports

1. Ratajczak W, **Borek S**, Podgórski A, Ratajczak L 1999. Variability of globulin

composition in cultivars and individually tested seeds of yellow lupin (*Lupinus luteus* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* 21(4): 413-417 (IF₁₉₉₉ 0,560; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 30%)

Badania dotyczyły zróżnicowania zawartości konglutyn α , β i γ w pojedynczych nasionach łubinu żółtego. Konglutyny są to oligopeptydy wchodzące w skład głównych białek zapasowych, jakimi w nasionach łubinu są globuliny. W publikacji przedstawiono po raz pierwszy tak obszerną listę konglutyn łubinu żółtego. Na podstawie densytometrycznej analizy rozdziału frakcji globulin uzyskanej z 25 nasion odmiany Piast, Parys i Ventus w żelu poliakrylamidowym w układzie denaturującym nie stwierdzono zasadniczych różnic w poziomie poszczególnych polipeptydów. Zaskakującym wynikiem okazało się jednak wyraźne zróżnicowanie w zawartości konglutyn w pojedynczych nasionach odmiany Parys (odmiany wytypowanej do dalszych badań). Opisane w publikacji badania wskazały na potencjał aplikacyjny tych danych. Pokazały bowiem, że dużym wahaniem w poszczególnych nasionach podlega poziom konglutyn γ – oligopeptydów bogatych w metioninę. Taki wynik mógłby być zachętą do dalszych prac selekcyjnych prowadzących do uzyskania odmian łubinu akumulujących w nasionach większe ilości peptydów zawierających aminokwasy siarkowe, a tym samym pozyskiwanie nasion o wyższej jakości odżywczej (paszowej).

2. **Borek S***, Morkunas I, Ratajczak W, Ratajczak L 2001. Metabolism of amino acids in germinating yellow lupin seeds. III. Breakdown of arginine in sugar-starved organs cultivated *in vitro*. *Acta Physiologiae Plantarum* 23(2): 141-148 (IF₂₀₀₁ 0,232; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 60%)

Publikacja ta jest kolejną częścią cyklu prac dotyczących metabolizmu aminokwasów w kiełkujących nasionach łubinu żółtego. Badania dotyczyły regulatorowej roli sacharozy w szlakach katabolizmu argininy i wykonywane były na izolowanych ze spęczniałych nasion osiach zarodkowych i liścieniach oraz na siewkach rosnących *in vitro* przez 96 godzin. W eksperymentach *in vivo* i *in vitro* zastosowano znakowane węglem ¹⁴C argininę i mocznik oraz inhibitor aminotransferaz (kwas aminooksyoctowy). Badania *in vitro* pokazały, że podczas kiełkowania nasion łubinu żółtego arginina może ulegać transaminacji z 2-oksoglutaranem, a tym samym szkielety węglowe tego aminokwasu mogą być

* Autor korespondencyjny

substratami oddechowymi. W warunkach głodu cukrowego transaminacja argininy była wyraźnie intensywniejsza. Jednakże *in vivo*, wykorzystanie argininy jako substratu oddechowego było niższe w warunkach obniżonego poziomu cukru w tkankach. Taki efekt był zapewne spowodowany deficytem 2-okoglutaranu, który został zużyty jako substrat oddechowy. Innym kierunkiem przemian argininy jest jej rozkład przez dekarboksylazę argininy lub arginazę. Te rodzaje przemian argininy są źródłem agmatyny i ornityny – prekursorów poliamin. Aktywność dekarboksylazy argininy i arginazy była wyraźnie wyższa w warunkach obniżonego poziomu cukru w tkankach, co wskazywać może na adaptację metaboliczną. W warunkach deficytu cukrów w tkankach zachodzić może degradacja błon biologicznych, a wzmożona biosynteza poliamin – związków stabilizujących błony biologiczne, może ten destrukcyjny proces spowolnić.

3. **Borek S***, Ratajczak W 2002. Sugars as a metabolic regulator of storage protein mobilization in germinating seeds of yellow lupine (*Lupinus luteus* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* 24(4): 425-434 (IF₂₀₀₂ 0,310; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 80%)

Celem badań było określenie regulatorowej funkcji sacharozy w uruchamianiu zapasowego białka w kiełkujących nasionach łubinu żółtego. Badania prowadzono na izolowanych ze spęczniałych nasion osiach zarodkowych i liścieniach oraz na siewkach rosnących *in vitro* przez 96 godzin. Wykorzystany w badaniach materiał roślinny rósł na płynnej mineralnej pożywce z dodatkiem sacharozy lub bez cukru, oraz dodatkowo przez 72 godziny bez sacharozy, a po tym czasie był przenoszony na kolejne 24 godziny na pożywkę zawierającą cukier. Wyniki badań pokazały, że w warunkach deficytu cukrów w tkankach następuje wyraźna intensyfikacja aktywności enzymów proteolitycznych (zarówno egzoproteaz jak i endoproteaz) we wszystkich badanych organach. Obserwacje ultrastruktury pokazały wyraźne zmniejszenie się liczebności i wielkości depozytów białkowych w warunkach obniżonego poziomu cukru w tkankach. W organach, które przez 72 godziny rosły na pożywce bez cukru a następnie były przez 24 godziny odżywione sacharozą aktywność badanych enzymów proteolitycznych obniżała się do poziomu niższego niż aktywność proteaz w organach rosnących wyłącznie na pożywce bez sacharozy. Największy wzrost aktywności proteolitycznej, wywołany głodem cukrowym, odnotowano w izolowanych osiach zarodkowych. W organach tych zaobserwowano również wyraźny wzrost wakuolizacji komórek. Oba te wyniki jednoznacznie

wskazują na występowanie procesów autofagicznych w głodzonych izolowanych osiach zarodkowych łubinu.

4. **Borek S***, Ratajczak W, Ratajczak L 2003. A transfer of carbon atoms from fatty acids to sugars and amino acids in yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) seedlings. *Journal of Plant Physiology* 160: 539-545 (IF₂₀₀₃ 1,149; punkty MNiSW 35; mój udział procentowy szacuję na 70%)

W publikacji tej po raz pierwszy udokumentowano przepływ szkieletów węglowych od zapasowego tłuszczu do aminokwasów podczas kiełkowania nasion łubinu żółtego. Eksperymenty wykonywano na siewkach rosnących *in vitro* przez 96 godzin na płynnej mineralnej pożywce z dodatkiem sacharozy lub bez cukru. W badaniach zastosowano specyficznie znakowany węglem ¹⁴C kwas octowy. Atom węgla z pozycji C-1 kwasu octowego lokalizowano głównie w CO₂ uwalnianym przez osie i liście, natomiast węgiel z pozycji C-2 był głównie kierowany do cukrów i aminokwasów. Spośród analizowanych aminokwasów najwięcej radioaktywności zawierała asparagina, glutamina i glutaminian, a spośród badanych cukrów najbardziej znakowana była glukoza. Inkorporacja atomów węgla kwasu octowego w aminokwasy w osiach siewek była stymulowana przez dodaną do pożywki sacharozę, natomiast w liściach siewek ten proces był ograniczany przez egzogennie aplikowaną sacharozę. W publikacji zamieszczono schemat (Figura 2) na którym dokładnie pokazano szlaki przepływu poszczególnych atomów węgla kwasu octowego do cukrów i aminokwasów. W dyskusji wyników wskazano na cykl glioksylanowy, jako prawdopodobny etap w procesie uruchamiania zapasowego tłuszczu, podczas którego następuje pozyskiwanie szkieletów węglowych do syntezy aminokwasów. Wskazano też na udział cytoplazmatycznej akonitazy w tym procesie. Pominięto natomiast znaczenie cytoplazmatycznej dehydrogenazy jabłczanowej, gdyż wiedza o tym, że uczestnicząca w cyklu glioksylanowym dehydrogenaza jabłczanowa działa w cytoplazmie, pojawiła się dopiero kilka lat później. Opisane tutaj badania powiązań szlaków mobilizacji zapasowego tłuszczu i metabolizmem aminokwasów były kontynuowane, a rezultaty tych badań zostały opisane w publikacji Borek i Ratajczak 2010 (pozycja 2 osiągnięcia naukowego).

* Autor korespondencyjny

5. **Borek S***, Ratajczak W, Ratajczak L 2006. Ultrastructural and enzymatic research on the role of sucrose in mobilization of storage lipids in germinating yellow lupine seeds. *Plant Science* 170: 441-452 (IF₂₀₀₆ 1,631; punkty MNiSW 30; mój udział procentowy szacuję na 70%)

Jest to publikacja zawierająca wyniki obszernych badań dotyczących regulacyjnej funkcji sacharozy w katabolizmie zapasowego tłuszczu w kiełkujących nasion łąbinu żółtego. Eksperymenty wykonywane były na osiach zarodkowych i liścieniach nasion suchych i spęczniałych oraz na organach izolowanych i siewkach rosnących *in vitro* przez 96 godzin na mineralnej pożywce wzbogaconej w sacharozę lub bez dodatku cukru. Badania pokazały, że poprzez manipulowanie stężeniem sacharozy w pożywce uzyskać można zmiany poziomu cukrów rozpuszczalnych i skrobi w tkankach badanych organów. W publikacji po raz pierwszy zamieszczono obszerny i kompleksowy opis ultrastruktury komórek izolowanych osi zarodkowych i liścieni oraz organów siewek łąbinu żółtego rosnących na pożywce z sacharozą i bez cukru. Wykazano, że niedobór cukrów rozpuszczalnych w tkankach stymuluje mobilizację tłuszczów i innych materiałów zapasowych w kiełkujących nasionach, natomiast podwyższony poziom cukrów hamuje ten proces. Cenne było odkrycie, że w kiełkujących nasionach łąbinu występuje mechanizm metaboliczny utrzymujący niski poziom cukrów rozpuszczalnych w tkankach magazynujących materiały zapasowe. Mechanizmem tym jest synteza przejściowej skrobi. Uzyskane w ten sposób obniżenie poziomu cukrów umożliwia intensyfikację rozkładu zapasowych tłuszczów. Badano również aktywność lipazy, katalazy oraz NAD⁺- i NADP⁺-zależnej dehydrogenazy izocytrynianowej. W badaniach aktywności enzymów zastosowano inhibitory transkrypcji (aktynomycynę D i kordycepinę) oraz inhibitor syntezy białek (cykloheksymid). Wyniki tych badań wykazały, że regulacja aktywności enzymów zaangażowanych w mobilizację zapasowego tłuszczu sprawowana jest przez cukry rozpuszczalne na poziomie transkrypcji genów tych enzymów. W pracy sformułowano hipotezę, według której molekularny mechanizm regulacji uruchamiania związków zapasowych w kiełkujących nasionach łąbinu jest analogiczny do opisanej dla mikroorganizmów represji katabolicznej.

6. **Borek S***, Kubala S, Kubala S 2012. Regulation by sucrose of storage compounds breakdown in germinating seeds of yellow lupine (*Lupinus luteus* L.), white lupine

* Autor korespondencyjny

(*Lupinus albus* L.) and Andean lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). I. Mobilization of storage protein. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 701-711 (IF₂₀₁₁ 1,639; punkty MNiSW 25; mój udział procentowy szacuję na 85%)

Praca ta jest efektem kontynuacji badań nad regulatorową rolą sacharozy w uruchamianiu zapasowego białka w kiełkujących nasionach łubinu. W badaniach tego zagadnienia oprócz kiełkujących nasion łubinu żółtego użyto też kiełkujące nasiona łubinu białego i andyjskiego. Do badań wytypowano te trzy gatunki łubinu, gdyż ich nasiona są wyraźnie zróżnicowane pod względem kompozycji (zawartości) materiałów zapasowych. Zróżnicowanie międzygatunkowe pod względem zawartości zarówno zapasowego tłuszczu jak i zapasowego białka wynosi kilkanaście procent. Taki dobór gatunków umożliwił udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy zróżnicowanie proporcji w zawartości dwóch podstawowych związków zapasowych (białka i tłuszczu) ma znaczenie w regulacji uruchamiania rezerw przez poziom cukru w tkankach. W pracy po raz pierwszy zaprezentowano bardzo obszerną analizę ultrastruktury organów kiełkujących nasion łubinu białego i andyjskiego. Obserwacje ultrastruktury objęły komórki czapeczki, komórki strefy merystematycznej korzenia, komórki miękiszowe hypokotyła oraz komórki parenchymatyczne liścieni. Badania ultrastruktury pokazały, że w głodzonych izolowanych osiach zarodkowych łubinu białego i andyjskiego, podobnie jak w osiach łubinu żółtego, dochodzi do procesów autofagicznych. Stwierdzono również, że deficyt cukru w tkankach wyraźnie intensyfikuje uruchamianie rezerw białkowych w kiełkujących nasionach łubinu. Efekt ten był taki sam w organach wszystkich trzech badanych gatunków łubinu, czyli regulatorowa rola cukru w uruchamianiu zapasowego białka nie jest zależna od kompozycji materiałów zapasowych w nasionach łubinu.

7. **Borek S***, Galor A, Paluch E 2013. Asparagine enhances starch accumulation in developing and germinating lupin seeds. *Journal of Plant Growth Regulation* 32: 471-482 (IF₂₀₁₂ 1,990; punkty MNiSW 35; mój udział procentowy szacuję na 85%)

Dojrzałe i suche nasiona łubinu nie zawierają skrobi. Związek ten jednak występuje w trakcie rozwoju nasion łubinu, zanika w trakcie dojrzewania i desykcji nasion i ponownie pojawia się w podczas kiełkowania; już na etapie pęcznienia nasion. W publikacji opisano badania dotyczące regulacji akumulacji i degradacji

* Autor korespondencyjny

skrobi w nasionach łubinu żółtego, białego i andyjskiego. Czynniki regulatorowymi branymi pod uwagę w badaniach była sacharoza, ale też asparagina jako kluczowy aminokwas metabolizmu nasion łubinu i azotan jako forma nieorganiczna azotu. W eksperymentach wykorzystywano osie i liścienie nasion suchych, rozwijające się liścienie (pozyskiwane z uprawy polowej; z rozwijających się strąków) rosnące *in vitro* przez 96 godzin oraz rosnące *in vitro* przez 96 h izolowane ze spęczniałych nasion osie zarodkowe, liścienie i siewki. Analiza ultrastruktury badanych organów i/lub pomiar zawartości cukrów rozpuszczalnych i skrobi pokazały, że w organach odżywionych asparaginą dochodzi do zwiększonej akumulacji skrobi i jednoczesnego obniżenia zawartości cukrów rozpuszczalnych. Wzrost akumulacji skrobi spowodowany przez asparaginę obserwowany był mniej lub bardziej wyraźnie we wszystkich badanych organach. Ciekawym rezultatem okazał się gwałtowny wzrost zawartość skrobi w osiach zarodkowych już na etapie pęcznienia nasion. Towarzyszył temu wyraźny spadek poziomu cukrów rozpuszczalnych. Natomiast w pęczniejących liścieniach nie zaobserwowano żadnych istotnych statystycznie zmian w poziomie skrobi i cukrów rozpuszczalnych. Wzrost akumulacji skrobi wywołany przez asparaginę w liścieniach rozwijających się i skokowy wzrost zawartości skrobi w pęczniejących osiach zarodkowych związany jest prawdopodobnie z kształtowaniem się odpowiedniego gradientu w układzie donor-akceptor. Wzrostowi zawartości skrobi zawsze towarzyszy obniżenie poziomu cukrów rozpuszczalnych a to z kolei umożliwia efektywniejszy transport metabolitów do organów akceptorowych tj. do rozwijających się liścieni w nasionach dojrzewających i do rosnącej osi zarodkowej w nasionach kiełkujących. Publikacja ta jest jedyną jak do tej pory pozycją literaturową opisującą w tak szerokim zakresie regulację metabolizmu skrobi w nasionach łubinu.

Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports

1. **Borek S***, **Samardakiewicz S**, **Woźny A 1998**. The effect of pH of water on lead toxicity in *Lemna minor* L. *Biological Bulletin of Poznań* (aktualna nazwa czasopisma: *Biological Letters*) 35(1): 19-24 (punkty MNiSW 6; mój udział procentowy szacuję na 80%)

W publikacji opisano wyniki badań nad znaczeniem pH wody w toksyczności

* Autor korespondencyjny

jonów ołowiu u rzęsy drobnej. W badaniach wykorzystywano rzęsę rosnącą *in vitro* na wodzie o pH 4,0, 5,7, i 7,5 zawierającą jony ołowiu. Pomiarzy przyrostu długości korzeni i obserwacje ultrastruktury komórek korzeni pokazały, że niskie pH wody wyraźnie zwiększa toksyczność ołowiu u rzęsy. W miarę spadku pH obserwowano wolniejszy wzrost wydłużeniowy korzeni i wyraźnie większe depozyty ołowiu w komórkach korzeni. Przyczyną większej toksyczności jonów ołowiu w niskim pH jest większa rozpuszczalność jonów ołowiu w wodzie i ograniczenie selektywnej przepuszczalności błon komórkowych a tym samym większe pobieranie jonów ołowiu przez korzenie.

2. **Morkunas I, Borek S, Ratajczak W, Ratajczak L, Antonowicz J 1999.**

Nagromadzenie się fitoferrytyny w plastydach hodowanych *in vitro* zarodków łubinu i grochu wywołane stresem węglowodanowym. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 469: 247-256 (mój udział procentowy szacuję na 25%)

Jest to jedna z pierwszych pozycji literaturowych opisująca efekty powodowane przez głód cukrowcy w komórkach roślin motylkowatych. Badania prowadzone były na izolowanych osiach zarodkowych łubinu wąskolistnego i grochu rosnących *in vitro* na pożywce z sacharozą lub bez cukru. Analizowano ultrastrukturę komórek kory pierwotnej korzenia, określono stężenie dialdehydu malonowego oraz aktywność enzymów proteolitycznych (leucyloaminopeptydazy i benzoyloargininoaminopeptydazy). Wzrost aktywności proteolitycznej i wakuolizacji komórek jednoznacznie wskazuje na zachodzenie procesów autofagicznych w głodzonych osiach łubinu i grochu. Wzrost zawartości dialdehydu malonowego w głodzonych osiach zarodkowych obu gatunków pośrednio wskazuje na podwyższenie poziomu reaktywnych form tlenu a pojawienie się fitoferrytyny w warunkach głodu cukrowcowego świadczy o adaptacji metabolicznej zapobiegającej dalszemu wzrostowi stężenia reaktywnych form tlenu. Fitoferrytyna wiążąca jony żelaza zapobiega powstawaniu reaktywnych form tlenu w reakcji Fentona (reakcja nadtlenu wodoru z jonem żelaza II, generująca rodnik hydroksylowy).

3. **Borek S*, Galor A 2012.** Rośliny transgeniczne źródłem wysokiej jakości olejów. *KOSMOS Problemy Nauk Biologicznych* 296(3): 477-491 (punkty MNiSW 4; mój udział procentowy szacuję na 95%)

* Autor korespondencyjny

Publikacja ta stanowi zwięzły przegląd osiągnięć nauki w zakresie genetycznych modyfikacji w obszarze metabolizmu tłuszczu u roślin. Zwiększające się zapotrzebowanie ze strony przemysłu zarówno spożywczego jak i niespożywczego na oleje roślinne i ich składniki wymusza poszukiwania nowych, efektywniejszych i ekonomiczniejszych źródeł ich pozyskiwania. W publikacji tej opisano liczne przedsięwzięcia naukowców prowadzące do uzyskania nowych odmian. Odmian zarówno akumulujących więcej oleju, ale też odmian, które zdolne są do biosyntezy związków naturalnie w nich niewystępujących bądź występujących w śladowych ilościach. W publikacji tej przedstawiono szereg przykładów roślin modyfikowanych genetycznie, w których uzyskano wzrost zawartości akumulowanego oleju, zmodyfikowano skład oleju pod kątem diety człowieka jak również wymuszono syntezę wielu związków wartościowych dla przemysłu. Przytoczono również liczne przykłady zastosowań przemysłowych dla olejów roślinnych i ich składników. Jednym z celów tego opracowania było pokazanie wielokierunkowości badań mających doprowadzić do uzyskania nowych genetycznie modyfikowanych odmian cechujących się zmienionym metabolizmem tłuszczowym.

4. **Morkunas I, Borek S, Formela M, Ratajczak L 2012.** Plant responses to sugar starvation. W: Chuan-Fa Chang (red.) Carbohydrates - Comprehensive Studies on Glycobiology and Glycotechnology, *InTech*, rozdział 19: 409-438 (mój udział procentowy szacuję na 40%)

W rozdziale tym w sposób kompleksowy i obszerny opisana jest regulatorowa funkcja cukrów w metabolizmie roślinnym. W rozdziale opisane są najnowsze osiągnięcia naukowców w tym zakresie, ale przedstawione jest też historyczne tło omawianego zagadnienia. Poruszane są m. in. kwestie metodologiczne badań związanych regulacją metabolizmu roślinnego przez cukry. Szeroko opisane są skutki głodu cukrowego na różnych poziomach organizacji organizmu roślinnego tzn. na poziomie morfologicznym, anatomicznym, ultrastrukturalnym, fizjologicznym i molekularnym. Opisane są elementy cukrowych szlaków sygnałnych, począwszy od błonowych i wewnątrzkomórkowych receptorów cukrów, poprzez elementy szlaków transdukcji sygnału i kończąc na regulacji ekspresji genów przez cukry w komórkach roślinnych. Poruszana też jest kwestia współdziałania cukrowych szlaków sygnałnych z innymi, hormonalnymi szlakami sygnałnymi funkcjonującymi w organizmach roślinnych. Porównano objawy głodu cukrowego z procesem starzenia się komórek roślinnych i

wskazano jednocześnie na toczący się spór wśród naukowców dotyczący indukowania starzenia się komórek roślinnych bądź to przez niski lub wysoki poziom cukrów w komórkach. Dość istotnym elementem rozdziału jest omówienie kwestii odpowiedzi roślin na stres biotyczny i abiotyczny w warunkach deficytu cukrów w tkankach.

Dane bibliometryczne

- Sumaryczny impact factor (zgodny z rokiem opublikowania) wszystkich pozycji literaturowych (wymienionych w punkcie III i IV Autoreferatu): **21,165**
- Sumaryczna liczba cytowań według bazy Web of Science: **69**
- Indeks Hirscha według bazy Web of Science: **5**
- Sumaryczna liczba punktów MNiSW: **400**

Oprócz pozycji literaturowych opisanych w punkcie III i IV Autoreferatu, jestem autorem multimedialnej interakcji komputerowej zawierającej opis kilku pojęć z zakresu gospodarki wodnej komórki roślinnej. Tytuł tej interakcji to „**Osmoza w komórce roślinnej**”. Interakcja ta znajduje się w: **Encyklopedia. Seria Multimedialna PWN, część 5, „Życie”, pwn.pl, Wrocław-Warszawa, 2001.**

Multimedialna interakcja komputerowa i opis stosunków wodnych w komórce roślinnej zawiera objaśnienie pojęć: plazmoliza, plazmoliza graniczna, deplazmoliza, susza fizjologiczna, potencjał chemiczny wody oraz plazmoptzyza. Interakcja komputerowa składa się z dwóch części. Jedna dotyczy plazmolizy i deplazmolizy; druga – plazmoptzyzy. Interakcja ilustruje zmiany w komórce roślinnej zachodzące podczas plazmolizy, deplazmolizy i plazmoptzyzy. Użytkownik programu samodzielnie określa stężenia roztworu sacharozy a animacja komputerowa w płynny sposób pokazuje kurczenie się lub rozkurczanie protoplastu. Możliwe jest też odsłuchanie, czytane przez lektora, odpowiedniego komentarza. W części poświęconej plazmoptzyzie przedstawione jest gwałtowne powiększanie się i pęknięcie komórki wywołane alkoholem metylowym.

B) Kierowanie krajowymi projektami badawczymi i współpraca naukowa

W latach 2005-2008 byłem kierownikiem projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji (późniejsze nazwy ministerstwa to Ministerstwo

Edukacji i Nauki oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego). Aktualnie jestem kierownikiem kolejnego projektu, tym razem finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki. Jego zakończenie planowane jest w roku 2014.

- Białkowe nasiona łubinu źródłem oleju. Metaboliczne i środowiskowe uwarunkowania zawartości tłuszczów zapasowych w trzech gatunkach łubinu *Lupinus luteus* L., *Lupinus albus* L. i *Lupinus mutabilis* Sweet. Czas realizacji 18.11.2005 – 17.11.2008. Projekt badawczy własny nr 2 P06A 004 29 finansowany przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji (późniejsze nazwy ministerstwa to Ministerstwo Edukacji i Nauki oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego)
- Regulacja przez sacharozę i azotan akumulacji i degradacji zapasowego tłuszczu w białkowych nasionach łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.), białego (*Lupinus albus* L.) i andyjskiego (*Lupinus mutabilis* Sweet). Czas realizacji 20.05.2011 – 19.05.2014. Projekt badawczy własny nr N N310 003540 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki

Realizacja wyżej wymienionych projektów była i jest możliwa dzięki nawiązanej przeze mnie współpracy z następującymi instytucjami gospodarczymi i naukowymi:

- Hodowla Roślin Smolice Sp. z o.o. Grupa IHAR, Oddział Przebędowo, Murowana Goślina
- Instytut Dendrologii, Polska Akademia Nauk, Kórnik
- Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Poznań
- Katedra Biochemii i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań
- Katedra Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

Współpraca ta jest potwierdzona publikacjami naukowymi oraz licznymi komunikatami konferencyjnymi, zarówno ustnymi jak i posterowymi.

C) Udział w konferencjach, zjazdach i warsztatach nawiązanych

Moje aktywne uczestnictwo w różnego rodzaju konferencjach i spotkaniach naukowych zaowocowało 39 komunikatami. Wygłosiłem łącznie 8 referatów. Pięć z nich zostało ogłoszone na życzenie Organizatorów.

Konferencje o zasięgu międzynarodowym

- Borek S, Pukacka S, Michalski K, Nuc K, Stawiński S, Ratajczak L 2011. Regulation

of storage lipid accumulation and storage lipid breakdown in seeds of yellow (*Lupinus luteus* L.), white (*Lupinus albus* L.) and Andean lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). 13th International Lupin Conference, Poznań, Polska, **referat wygłoszony na życzenie Organizatorów**

- Borek S, Paluch E, Morkunas I 2013. Autophagy in embryo axes of yellow lupin (*Lupinus luteus* L.), white lupin (*Lupinus albus* L.), and Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) germinating seeds. 1st Legume Society Conference, Nowy Sad, Serbia, **referat wygłoszony na życzenie Organizatorów**

Konferencje o zasięgu krajowym

- Borek S, Pukacka S, Michalski K, Ratajczak L 2009. Wzajemne relacje w akumulacji zapasowego białka i tłuszczu w rozwijających się nasionach łubinu. I Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań, **referat wygłoszony na życzenie Organizatorów**
- Borek S, Pukacka S, Michalski K, Ratajczak L 2009. Czy możliwe jest jednoczesne zwiększenie zawartości zapasowego białka i zapasowego tłuszczu w nasionach łubinu? IX Ogólnopolska Konferencja Polskiego Towarzystwa Łubinowego, Bydgoszcz
- Borek S, Paluch E, Galor A 2012. Stymulacja akumulacji skrobi przez asparaginę w dojrzewających i kiełkujących nasionach łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.), białego (*Lupinus albus* L.) i andyjskiego (*Lupinus mutabilis* Sweet). X Ogólnopolska Konferencja Polskiego Towarzystwa Łubinowego i II Ogólnopolska Konferencja Roślin Strączkowych, Zakopane, **referat wygłoszony na życzenie Organizatorów**
- Borek S, Paluch E, Galor A, Sobieszczuk-Nowicka E 2012. Indukowana głodem cukrowym autofagia w komórkach osi zarodkowych kiełkujących nasion łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.), białego (*Lupinus albus* L.) i andyjskiego (*Lupinus mutabilis* Sweet). III Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań, **referat wygłoszony na życzenie Organizatorów**
- Borek S, Galor A, Paluch E 2013. Skrobia w dojrzewających i kiełkujących nasionach łubinu. IV Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań
- Borek S, Pukacka S, Stawiński S, Nuc K, Ratajczak L 2013. Regulacja metabolizmu tłuszczu w rozwijających się i kiełkujących nasionach łubinu (*Lupinus* spp.). 56 Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, Olsztyn, **referat wyróżniony (II**

miejsce) przez Organizatorów Sekcji Fizjologii i Biochemii Roślin PTB

Oprócz referatów, wyniki moich badań prezentowane były w formie 31 komunikatów posterowych, z czego 4 pokazane były na konferencjach międzynarodowych. W zdecydowanej większości komunikatów posterowych byłem autorem pierwszym lub ostatnim. Poniżej zamieszczony jest wykaz wszystkich 25 konferencji, zjazdów i warsztatów naukowych, na których wygłaszałem referaty i/lub prezentowałem postery.

Konferencje o zasięgu międzynarodowym

- 3rd International Conference: Ecophysiological Aspects of Plant Responses to Stress Factors, Kraków, 1999
- 12th Congress of FESPP, Budapeszt, Węgry, 2000
- 13th International Lupin Conference, Poznań, 2011
- 1st Legume Society Conference, Nowy Sad, Serbia, 2013

Konferencje o zasięgu krajowym

- II Ogólnopolska Konferencja Mikroskopii Elektronowej, Białystok, 1997
- XXXIV Zjazd Polskiego Towarzystwa Biochemicznego, Białystok, 1998
- XXXV Zjazdu Polskiego Towarzystwa Biochemicznego, Olsztyn, 1999
- VII Konferencja Biologii Komórki, Kraków, 1999
- XXXVI Zjazd Polskiego Towarzystwa Biochemicznego, Poznań, 2000
- 52 Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, Poznań, 2001
- VIII Ogólnopolska Konferencja Biologii Komórki, Wrocław, 2002
- XXXIX Zjazd Polskiego Towarzystwa Biochemicznego, Poznań, 2003
- 2nd Conference of Polish Society of Experimental Plant Biology, Poznań, 2005
- Warsztaty Naukowe: Strategie Wykorzystania Roślin Strączkowych, Zakopane, 2006
- 3rd Conference of Polish Society of Experimental Plant Biology, Warszawa, 2007
- 54 Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, Szczecin, 2007
- Kongres Biochemii i Biologii Komórki, Olsztyn, 2008
- I Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań, 2009
- 4th Conference of Polish Society of Experimental Plant Biology, Kraków, 2009
- II Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań, 2010
- 55 Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, Warszawa, 2010

- X Ogólnopolska Konferencja Polskiego Towarzystwa Łubinowego i II Ogólnopolska Konferencja Roślin Strączkowych, Zakopane, 2012
- III Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań, 2012
- IV Warsztaty Naukowe Instytutu Biologii Eksperymentalnej UAM, Poznań, 2013
- 56 Zjazd Polskiego Towarzystwa Botanicznego, Olsztyn 2013

Oprócz wygłoszenia referatu i zaprezentowania posteru podczas 13th International Lupin Conference (Poznań 6-10.06.2011) zostałem poproszony przez Organizatorów konferencji o zaprezentowanie uczestnikom konferencji poletek doświadczalnych w Hodowli Roślin Smolice Oddział w Przebędowie i omówienie części badań realizowanych w ramach grantu NCN nr N N310 003540.

D) Udział w radach redakcyjnych czasopism naukowych i recenzje publikacji naukowych

Aktualnie jestem członkiem rad redakcyjnych w 4 czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. W trzech z nich jestem Edytorem Akademickim, czyli redaktorem z uprawnieniami do decydowania o przyjmowaniu prac do druku.

- *American Journal of Experimental Agriculture*, ISSN: 2231-0606, Wydawnictwo: SCIENCEDOMAIN International, **Edytor Akademicki**
- *International Journal of Plant & Soil Science*, ISSN: 2320-7035, Wydawnictwo: SCIENCEDOMAIN International, **Edytor Akademicki**
- *Journal of Plant Studies* ISSN 1927-0461 (Print), ISSN 1927-047X (Online), Wydawnictwo: Canadian Center of Science and Education, **Członek Rady Redakcyjnej**
- *Advances in Research* (nowe czasopismo), Wydawnictwo: SCIENCEDOMAIN International, **Edytor Akademicki**

Jak do tej pory podjąłem 25 ostatecznych decyzji edytorskich w:

- *American Journal of Experimental Agriculture*
- *International Journal of Plant & Soil Science*

Decyzje edytorskie dotyczyły zarówno publikacji oryginalnych jak i artykułów przeglądowych.

Niezależnie od decyzji podejmowanych jako Edytor Akademicki, wykonałem łącznie 59 recenzji oryginalnych publikacji naukowych w następujących czasopismach o zasięgu międzynarodowym:

- *Acta Biologica Cracoviensia series Botanica*
- *Acta Physiologiae Plantarum*
- *African Journal of Agricultural Research*
- *African Journal of Biotechnology*
- *Agricultural Science Research Journal*
- *American Journal of Experimental Agriculture*
- *Biological Letters*
- *British Biotechnology Journal*
- *Journal of Agricultural Science and Technology*
- *Journal of Medical Plant Research*
- *Journal of Plant Growth Regulation*
- *Journal of Plant Studies*

E) Członkostwo w międzynarodowych i krajowych towarzystwach naukowych

Jestem członkiem 5 towarzystw, z czego 2 są towarzystwami międzynarodowymi.

- Polskie Towarzystwo Botaniczne (od 06.06.2007 do 02.06.2010 byłem sekretarzem Oddziału Poznańskiego PTB)
- Polskie Towarzystwo Łubinowe
- Polskie Towarzystwo Biologii Eksperymentalnej Roślin
- Federation of European Societies of Plant Biology
- Legume Society

V. OSIĄGNIĘCIA DYDAKTYCZNE I W ZAKRESIE POPULARYZACJI NAUKI

A) Wykłady dla studentów Wydziału Biologii UAM

- „Cukry jako regulatory metabolizmu roślin” wykład dla słuchaczy Studium Podyplomowego Biologii
- „Rośliny nowego wieku” wykład specjalistyczny do wyboru dla studentów III roku biotechnologii, V roku biologii eksperymentalnej i V roku biologii molekularnej

B) Ćwiczenia dla studentów Wydziału Biologii i Wydziału Chemii UAM

Prowadziłem ćwiczenia laboratoryjne z 9 przedmiotów z zakresu fizjologii i biochemii roślin oraz 3 pracownie dla studentów (stacjonarnych i niestacjonarnych) Wydziału Biologii UAM. Uczestniczyłem w ćwiczeniach z 1 przedmiotu dla studentów Wydziału Chemii UAM. Prowadziłem też konwersatoria z 3 przedmiotów dla studentów Wydziału Biologii UAM i dla słuchaczy Studium Podyplomowego Biologii, które funkcjonuje na Wydziale Biologii UAM.

W związku z prowadzeniem licznych zajęć ze studentami uczestniczyłem w opracowywaniu nowych doświadczeń, które zostały wprowadzone do programów dydaktycznych realizowanych przez studentów Wydziału Biologii UAM.

Samodzielne opracowanie doświadczeń

- Oszacowanie wartości współczynnika oddechowego
- Wyzwalanie energii cieplnej w procesie oddychania

Współudział w opracowaniu doświadczeń

- Cytoplazmatyczna dehydrogenaza jabłczanowa (MDH) NAD^+ -zależna
- Kwasowość soku komórkowego roślin typu CAM
- Oddychanie nasion
- Porównanie intensywności fotorespiracji roślin typu C_3 i C_4
- Porównanie krzywych świetlnych fotosyntezy roślin typu C_3 i C_4
- Porównanie krzywych świetlnych fotosyntezy roślin typu C_3 wyhodowanych w warunkach kontaktu ze światłem o niskim lub wysokim natężeniu

C) Opieka nad studentami i doktorantem

- Byłem opiekunem roku Zaocznego Studium Biologii na Wydziale Biologii UAM w latach 2007-2011.
- Kierowałem 4 pracami licencjackimi.
- Sprawowałem opiekę naukową nad 5 magistrantami.
- Byłem kierownikiem 4 prac magisterskich.
- Jestem promotorem pomocniczym w 1 przewodzie doktorskim. Powołany też zostałem na członka Komisji Egzaminacyjnych do przeprowadzenia egzaminów

doktorskich i członka Komisji Wydziałowej do przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim.

D) Popularyzowanie nauki

Prowadziłem zajęcia popularyzujące naukę wśród dzieci w wieku przedszkolnym i szkolnym.

- Zajęcia dla dzieci w wieku przedszkolnym w Przedszkolu Słodki Domek w Poznaniu
- „Doświadczenia w Ic” Zajęcia pozalekcyjne dla uczniów klasy Ic w Szkole Podstawowej nr 4 w Swarzędzu
- „Noc Przyszłych Naukowców” Zajęcia pozalekcyjne dla uczniów klas VI w Szkole Podstawowej nr 4 w Swarzędzu
- „Noc Przyszłych Naukowców” Zajęcia pozalekcyjne dla uczniów klas II i III w Szkole Podstawowej nr 4 w Swarzędzu
- „II Noc Przyszłych Naukowców” Zajęcia pozalekcyjne dla uczniów klas II i III w Szkole Podstawowej nr 4 w Swarzędzu

Sławomir Borek