

Załącznik nr 2

dr inż. Agata Konarska  
Katedra Botaniki  
Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

# **AUTOREFERAT**

**Lublin 2016**

## AUTOREFERAT

### 1. Imię i nazwisko: Agata Konarska

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:

**16.01.2004** doktor nauk rolniczych w zakresie ogrodnictwa, specjalność Botanika stosowana, Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Ogrodniczy. Rozprawa doktorska pt. „Toksyczne oddziaływanie glinu na wzrost i strukturę organów kilku gatunków roślin”. Praca została wyróżniona nagrodą Rektora Akademii Rolniczej w Lublinie.

**06.12.1988** magister inżynier ogrodnictwa, Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Ogrodniczy. Praca magisterska pt. „Biologia kwitnienia i morfologia drzew czterech odmian wiśni: North Star, Kelleris 16, Kerezer i Łutówka”. Dyplom ukończenia studiów wyższych z wynikiem bardzo dobrym z wyróżnieniem, za co zostałam nagrodzona przez Rektora Honorową Odznaką Akademii Rolniczej oraz Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

Katedra Botaniki, Akademia Rolnicza (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy) w Lublinie

2004- do chwili obecnej	adiunkt
1990-1993 i 1995-1999	urlopy wychowawcze
1989-2004	asystent naukowo-dydaktyczny
1988-1989	asystent stażysta

### 4. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U., nr 65 poz. 595, ze zm.)

a) Jako osiągnięcie naukowe przedstawiłam jednotematyczny cykl dziewięciu publikacji pod zbiorczym tytułem:

**„Mikrostruktura owoców wybranych odmian czterech gatunków roślin  
sadowniczych”**

b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

01. **Konarska A.** 2012. Differences in the fruit peel structures between two apple cultivars during storage. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 11,2: 3-13.  
**(IF 0,691\*; 0,50\*\* pkt. 20; udział własny 100%)**
02. **Konarska A.** 2013. The structure of the fruit peel in two varieties of *Malus domestica* Borkh. (Rosaceae) before and after storage. *Protoplasma* 250,3: 701-714.  
**(IF 3,171\*; 2,72\*\* pkt. 25; udział własny 100%)**
03. **Konarska A.** 2013. The relationship between the morphology and structure and the quality of fruits of two pear cultivars (*Pyrus communis* L.) during their development and maturation. *The Scientific World Journal Volume 2013 (2013)*, Article ID 846796, 13 pages: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/846796>.  
**(IF 1,219\*; 1,60\*\* pkt. 30; udział własny 100%)**
04. **Konarska A.** 2014. Morphological, histological and ultrastructural changes in fruit epidermis of apple *Malus domestica* cv. Ligol (Rosaceae) at fruit set, maturity and storage. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 56,2: 35-48.  
**(IF 0,73\*; 1,04\*\* pkt. 20; udział własny 100%)**
05. **Konarska A.** 2014. Differences in the structure of fruit buds in two apple cultivars with particular emphasis on features responsible for fruit storability and quality. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 3,5: 91–105.  
**(IF 0,552\*; 0,50\*\* pkt. 20; udział własny 100%)**
06. **Konarska A.** 2015. Micromorphological, anatomical and ultrastructural analyses of ovaries and fruitlets indicate early qualitative differences in two *Prunus domestica* cultivars. *Scientia Horticulturae* 189: 112-121.  
**(IF 1,365\*; 1,79\*\* pkt. 35; udział własny 100%)**
07. **Konarska A.** 2015. Characteristics of fruit (*Prunus domestica* L.) skin: Structure and antioxidant content. *International Journal of Food Properties* 18,11: 2487-2499.  
**(IF 0,915\*; 1,23\*\* pkt. 25; udział własny 100%)**
08. **Konarska A.** 2015. Morphological, anatomical, and ultrastructural changes in *Vaccinium corymbosum* fruits during ontogeny. *Botany* 93,9: 589-602.  
**(IF 1,278\*; 1,73\*\* pkt. 25; udział własny 100%)**

09. **Konarska A.** 2015. Development of fruit quality traits and comparison of the fruit structure of two *Vaccinium corymbosum* (L.) cultivars. *Scientia Horticulturae* 194: 79-90. (IF 1,365\*; 1,79\*\* pkt. 35; udział własny 100%)

Łącznie:

- **Impact Factor 11,286\* (12,90)\*\***

- **Punkty MNiSW 235\***

\*obowiązujący w roku wydania publikacji

\*\*średni pięcioletni Impact Factor

- c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

### **Wprowadzenie i cel naukowy**

Polska należy do czołówki państw europejskich pod względem wielkości produkcji owoców wielu gatunków roślin sadowniczych. Cenne walory smakowe i dietetyczne owoców sprawiają, że popyt na nie stale rośnie. Producenci owoców poszukują odmian o dużej plenności, odpornych na mróz i choroby, wczesnie wchodzących w okres owocowania, o owocach niepekających w czasie deszczu, dojrzewających w określonym terminie oraz nadających się do długotrwałego przechowywania. Konsumenci natomiast preferują owoce charakteryzujące się wysoką trwałością oraz odpowiednimi cechami sensorycznymi, tj. barwą, wielkością, kształtem, rodzajem powierzchni, zapachem, smakiem, soczystością, kruchością oraz jędrnością (Czernyszewicz 2007; Makosz 2011). Wraz ze wzrostem świadomości konsumentów w odniesieniu do wartości prozdrowotnej owoców, szczególnie cenione są odmiany o wysokiej zawartości związków chemicznych o właściwościach antyoksydacyjnych. Substancje te, poprzez wychwytywanie wolnych rodników, wiązanie jonów oraz zapobieganie peroksydacji lipidowej chronią organizm człowieka przed starzeniem oraz rozwojem wielu chorób, m.in. nowotworowych i układu krążenia (Halliwell i Gutteridge 2007; Kurosumi i wsp. 2007). Wartościową grupą antyoksydantów są polifenole, do których zaliczamy m.in. proantocyjanidyny (taniny) oraz antocyjany (Treutter i wsp. 2012; Lendete 2014). Taniny nadają owocom charakterystyczną gorycz i cierpkość, mają właściwości konserwująco-bakteriobójcze, chronią przed patogenami grzybowymi i roślinożercami oraz sprzyjają przedłużeniu zdolności przechowalniczej owoców.

Antocyjany decydują o atrakcyjnej barwie owoców oraz chronią tkanki przed szkodliwymi skutkami promieniowania UV.

Oczekiwania i preferencje konsumentów wymuszają ciągły wzrost jakości owoców, która wpływa na ich wartość konsumpcyjną i popyt. Zmiany nawyków żywieniowych oraz wzrastający trend spożycia świeżych owoców rodzimych gatunków, również w okresie zimowo-wiosennym, wiążą się z koniecznością długotrwałego przechowywania owoców w celu zapewnienia całorocznej dostępności dla konsumentów z równoczesnym utrzymaniem wysokiej jakości do momentu konsumpcji.

Ontogeneza owoców jest procesem bardzo dynamicznym i wiąże się z szeregiem przemian biochemicznych (Bonghi i wsp. 2011). Rozwój owocni indukowany jest po udanym zapłodnieniu komórki jajowej, a nawet bezpośrednio po zapyleniu. Według Esau (1973) oraz Masia i wsp. (1992) łagiewka pyłkowa zmierzająca do komórki jajowej, jako pierwsza stymuluje syntezę fitohormonów, zwłaszcza auksyn, które zapoczątkowują rozwój owocni. Młody zarodek i/lub otaczające go tkanki odżywcze (np. bielmo) bardzo szybko wysyłają sygnał stymulujący rozwój łożyska i perykarpu (Gillaspy i wsp. 1993). Proces wzrostu owoców można opisać za pomocą krzywych sigmoidalnych, np. pojedynczej u przedstawicieli rodzaju *Malus* i *Pyrus* (Garriz i wsp. 1993; Hirst i Flowers 2000) lub podwójnej u *Prunus* i *Vaccinium* (Godoy i wsp. 2008; Jorquera-Fontena i wsp. 2014). Krzywe wzrostu przedstawiają z reguły 3 okresy, różniące się długością i odzwierciedlające zróżnicowane tempo wzrostu owoców. W początkowym okresie wzrostu zachodzą intensywne podziały komórek perykarpu, w kolejnym etapie komórki owocni powiększają się, następuje rozwój nasion i wzrost zarodka, a w okresie końcowym ma miejsce proces dojrzewania owoców (Knoche i Peschel 2007; Bonghi i wsp. 2011; Seymour i wsp. 2013). Średnica owocu wzrasta wraz z powiększaniem się objętości przestworów międzykomórkowych oraz wielkości i turgoru komórek parenchymatycznych, co spowodowane jest intensywnym pobieraniem wody i zwiększoną jej retencją w tkankach (Starck 2007). Dojrzewaniu owoców towarzyszą intensywne przemiany biochemiczne polegające na intensywnym oddychaniu i transpiracji, wzroście aktywności enzymów degradujących ściany komórkowe oraz wzmożonej produkcji etylenu, które prowadzą do zmian fizykochemicznych cech owocu (Theologis 1992; Duque i wsp. 1999; Paniagua i wsp. 2011). Konsekwencją opisanych przemian jest starzenie się owocu, którego objawami są wędnięcie i mięknięcie (Peschel i Knoche 2012; Chen i wsp. 2015).

Wiele cech jakościowych owoców, które wpływają na ich jędrność i trwałość ma związek z mikrostrukturą owocni i jest uwarunkowanych genetycznie (Wang 1985; Jaakola

i wsp. 2002; Seymour i wsp. 2013; Hen-Avivi i wsp. 2014). Mikrostrukturalne cechy jakościowe owoców formują się i są modyfikowane w czasie ich rozwoju, dojrzewania oraz przechowywania. Owoce narażone są wówczas na wiele współzależnych, często niesprzyjających czynników: klimatycznych, biologicznych i mechanicznych (Maguire i wsp. 2000; Ghafir i wsp. 2009). Reakcją na niekorzystne czynniki zewnętrzne są procesy adaptacyjne zachodzące zwłaszcza w skórce, która stanowi ochronną barierę oddzielającą wnętrze owocu od środowiska zewnętrznego oraz pośredniczy w wymianie gazowej pomiędzy tkankami rośliny a atmosferą. Skórka uczestniczy także w imporcie wody do owocu oraz w transpiracji (Riederer i Schreiber 2001; Khanal i Knoche 2014). Wymiana gazowa jest konieczna dla prawidłowego przebiegu procesów fizjologicznych zachodzących w komórkach owoców. Natomiast nadmierny import wody wywoływać może pęknięcie skórki owoców, a intensywna transpiracja prowadzi do znacznego ubytku masy owoców oraz w dalszej konsekwencji do wędnięcia i obniżenia ich jakości. O wielkości tego dwukierunkowego transportu wody w znacznym stopniu decydują woski epikutylarne, kutykula oraz ordzawienia obecne na powierzchni owoców, a także mikrospeknięcia, szparki i przetchlinki występujące w skórce (Veraverbeke i wsp. 2001, 2003; Burghardt i Riederer 2006). Nalot woskowy nie tylko ogranicza transpirację, ale również rozprasza promieniowanie UV oraz chroni tkanki owocu przed roślinożercami i patogenami (Müller i Riederer 2005; Rustioni i wsp. 2012). Mechaniczna wytrzymałość skórki oraz barwa owoców wielu gatunków jest uwarunkowana przez teksturalne cechy jej komórek, natomiast jędrność owoców ma związek z teksturą komórek parenchymy (Allan-Wojtas i wsp. 2001; Chiabrando i wsp. 2009; Matiacevich i wsp. 2013).

## **Cel badań**

Dotychczasowe badania poświęcone budowie i niektórym strukturalnym cechom jakościowym owoców dotyczyły wyłącznie owoców dojrzałych. Budowa owoców we wcześniejszych stadiach rozwojowych oraz kształtowanie się mikrostrukturalnych cech jakościowych od momentu zapłodnienia do czasu zbioru i przechowywania, nie były do tej pory przedmiotem kompleksowych opracowań. Podjęte przeze mnie badania miały na celu uzupełnienie tej wiedzy oraz przedstawienie ilościowych i jakościowych różnic mikrostrukturalnych pomiędzy rozwijającymi się i dojrzałymi owocami wybranych odmian roślin sadowniczych: *Malus domestica* Borkh., *Pyrus communis* L., *Prunus domestica* L. oraz *Vaccinium corymbosum* L., cenionych przez konsumentów i uprawianych na szeroką skalę w Europie i na innych kontynentach. Przeprowadzone niejednokrotnie po raz pierwszy,

mikromorfologiczne, histologiczne oraz ultrastrukturalne badania perykarpu wykonane w kilku stadiach rozwojowych owoców, pozwoliły na analizę cech egzo- i mezokarpu mających wpływ na jędrność oraz trwałość owoców. Ważnym celem moich badań było ustalenie momentu, w którym następuje inicjacja istotnych dla jakości owoców cech mikrostrukturalnych oraz określenie tempa zmian i kierunku rozwoju analizowanych cech mikrostruktury. Ponadto w przypadku owoców jabłoni oceniałam wpływ kilkumiesięcznego okresu przechowywania na mikrostrukturę owoców oraz zmiany ilości wosków kutykularnych. Prowadziłam także analizy ilościowe zawartości związków fenolowych w powierzchniowych pokładach owoców śliwy, jak również ustalałam lokalizację syntezy, sposób transportu i deponowania tanin oraz składników kutykuli na poziomie komórkowym w owocach borówki.

Badania prowadziłam w następujących stadiach rozwojowych:

- *Malus domestica* – stadium 3-tygodniowego zawiązka oraz stadium dojrzałości zbiorczej i konsumpcyjnej (po kilkumiesięcznym przechowywaniu w warunkach kontrolowanej atmosfery),
- *Pyrus communis* – stadium 3-tygodniowego zawiązka i dojrzałości zbiorczej,
- *Prunus domestica* – stadium antezy, 4-tygodniowego zawiązka i dojrzałości zbiorczej,
- *Vaccinium corymbosum* – koniec antezy, 4 lub 5-tygodniowego zawiązka i dojrzałości zbiorczej.

## **Omówienie wyników**

W przedstawionym przeze mnie Osiągnięciu naukowym analizowałam następujące cechy mikrostrukturalne owoców, które wpływają na ich jakość:

- obecność i strukturę wosków krystalicznych,
- strukturę i grubość kutykuli,
- występowanie ordzawień,
- występowanie mikrospękań kutykuli i pęknięcie skórki,
- obecność szparek i przetchlinek,
- grubość skórki oraz teksturę jej komórek,
- teksturę komórek parenchymy i obecność komórek kamiennych,
- występowanie tanin i antocyjanów.

## **Obecność i struktura wosków krystalicznych**

Badane gatunki i odmiany, w analizowanych stadiach rozwojowych różniły się formą wosków krystalicznych obecnych na powierzchni owoców. Na zawiązkach i dojrzałych owocach odmian jabłoni i gruszy krystality wosku występowały w formie płytek o różnej orientacji, wielkości i kształcie [02-05]. Wielkość i zagęszczenie płytek było większe na powierzchni zawiązków jabłek niż gruszek, zwłaszcza odmian ‘Jonagold’ i ‘Ligol’, odznaczających się śliską i gładką powierzchnią owoców w stadium dojrzałości [03, 05]. W miarę wzrostu i dojrzewania owoców wielkość płytek wzrastała i była największa na powierzchni dojrzałych jabłek przechowywanych w warunkach kontrolowanej atmosfery [02, 04]. Mikroskopowe obserwacje występowania wosków epikutylarnych potwierdziłam badaniami masy wosków u odmiany ‘Ligol’, przed i po 6-miesięcznym okresie przechowywania owoców. Wykazałam znaczny wzrost ilości wosków na owocach przechowywanych [04]. Stwierdziłam, że synteza wosków epikutylarnych trwa przez całe życie owocu na drzewie, a następnie jest kontynuowana po zbiorze, w czasie przechowywania, prawdopodobnie do czasu wyczerpania się substratu w komórkach epidermy lub też do momentu nekrozy komórek tej tkanki. Ustaliłam, że najwięcej płytek wosku obecnych było na brzegach oraz we wnętrzu mikrospekain występujących na powierzchni jabłek i gruszek w stadium dojrzałości oraz że orientacja płytek w mikrospekainach i poza nimi nie była przypadkowa [02-04]. Płytki obecne we wnętrzu mikrospekain ukierunkowane były głównie wertykalnie i/lub diagonalnie. Płytki występujące pomiędzy mikrospekainami miały z reguły orientację horyzontalną na owocach jabłoni, natomiast częściej wertykalną na owocach gruszy. Stwierdziłam, że w czasie długotrwałego przechowywania owoców odmian jabłoni w warunkach kontrolowanej atmosfery, płytki wosku gęsto wypełniające mikrospekainy mogą łączyć się ze sobą. Krystality wosku tworzą wówczas ciągłą, nieprzepuszczalną warstwę „reperującą” czy też „zszywającą” mikrospekainy. Przedstawiony mechanizm zablizniający mikrospekainy, tzw. „Tear and Repair” lub „Rip and Stitch” najwyraźniej obserwowany był na owocach odmian ‘Jonagold’ i ‘Ligol’, które posiadały śliską i gładką skórę, a mikrospekainy wypełnione licznymi krystalitami wosku. Funkcjonowanie opisanego mechanizmu istotnie ograniczało ilość wody wyparowywanej podczas przechowywania owoców. W konsekwencji owoce odmian ‘Jonagold’ i ‘Ligol’ charakteryzowały się mniejszym spadkiem masy w porównaniu do odmiany ‘Szampion’, której owoce odznaczają się suchą i szorstką skórą z mniej licznymi płytkami wosku [02, 04].



W czasie badań wykazałam, że powierzchnia dojrzałych pestkowców badanych odmian śliwy pokryta była intensywnym nalotem woskowym, utworzonym z bardzo drobnych granulek wosku krystalicznego, których ilość sukcesywnie wzrastała wraz z rozwojem owoców [06, 07]. W stadium antezy zalążnie słupków odmian śliwy pozbawione były kryształitów wosku, natomiast na zawiązkach owoców obecny był delikatny nalot woskowy. Cechą odmianową dojrzałych owoców śliwy było występowanie pomiędzy gęsto osadzonymi granulkami wosku także jego płytek, które tworzyły uporządkowane szeregi i odznaczały się regularnym kształtem ('Węgierka Zwykła') lub były chaotycznie rozmieszczone i miały różne kształty ('Bluefre'). Granulki wosku obserwowałam także w porach szparek występujących w skórcie owoców, co mogło ograniczać przepuszczalność szparek.

We wczesnych stadiach rozwoju owoców borówki, na powierzchni hypancjów badanych odmian obserwowałam wosk krystaliczny w postaci licznych pałeczek różnej wielkości [08, 09]. Pomiędzy obszarami pokrytymi pałeczkami wosku widoczne były rejony gładkiej kutykuli, pozbawionej kryształitów. Stwierdziłam, że w miarę rozwoju owoców grubość pokładu wosku krystalicznego wzrastała. Jednocześnie powiększały się obszary pokryte zdegradowanymi, stopionymi i ulegającymi fuzji kryształami, poprzedzielane wąskimi pasmami kutykuli z nielicznymi, zdeformowanymi pałeczkami wosku. Pomiędzy badanymi odmianami borówki zaobserwowałam subtelne różnice w kształcie i wielkości pałeczek wosku.

### **Struktura i grubość kutykuli**

Na powierzchni owocu, poza woskami epikutykularnymi, występuje kutykula, która również chroni perykarp przed niesprzyjającymi czynnikami zewnętrznymi i transpiracją. Badane przeze mnie gatunki, we wszystkich stadiach rozwojowych różniły się istotnie grubością oraz strukturą kutykuli pokrywającej zewnętrzną ścianę komórek epidermy owoców. Wykazałam, że w miarę rozwoju owoców grubość kutykuli zwiększała się, a udział kutykuli właściwej w całkowitej grubości tej warstwy wzrastał. Stwierdziłam, że grubość kutykuli na owocach jabłoni była także zróżnicowana w zależności od położenia na owocu. Po stronie intensywnie nasłonecznionej (rumieniec) kutykula była grubsza niż po stronie zacienionej [02]. We wszystkich badanych stadiach rozwojowych najgrubszą kutykulę obserwowałam na owocach jabłoni i gruszy [01-04], natomiast najcieńszą na owocach borówki [08, 09]. Ustaliłam, że odmiany jabłoni, które odznaczały się śliską i gładką skórą na owocach oraz większą trwałością owoców, posiadały grubszą kutykulę niż odmiany

o suchej i/lub szorstkiej skórce i gorszej zdolności przechowalniczej [01, 02]. Przeciwnie, pokład kutykuli na owocach gruszy odmiany ‘Konferencja’, charakteryzujących się przydatnością do długotrwałego przechowywania, był znacznie cieńszy niż na owocach odmiany ‘Klapsa’, które szybko miękną i odznaczają się niewielką trwałością [03].

Na owocach jabłoni i gruszy kutykula odznaczała się strukturą lamelarno-siateczkowatą [02-05], natomiast u śliwy i borówki miała budowę amorficzną lub siateczkowatą [06-09]. Kutykula amorficzna, utworzona wyłącznie z kutyny, jest najbardziej elastycznym rodzajem kutykuli, która rozciąga się wraz ze wzrostem powierzchni perykarpu. Ten typ kutykuli obserwowałam w początkowych stadiach rozwojowych owoców śliwy i borówki [07, 09]. Warstwa lamelarna budująca kutykulę właściwą zawiązków i dojrzałych owoców jabłoni i gruszy, utworzona była z lameli wosków intrakutykularnych, ułożonych na przemian z warstwami kutyny. Kutykula lamelarna ze względu na warstwowy układ wosków, które charakteryzują się znacznie ograniczoną przepuszczalnością, najefektywniej ogranicza parowanie wody. Natomiast kutykula siateczkowata, obecna na powierzchni pestkowców śliwy i jagód borówki w późniejszych stadiach rozwojowych, sprzyja ewaporacji, gdyż oprócz wosków oraz kutyny zawiera także mikrofibryle polisacharydowe, które tworzą rozgałęzioną sieć mikrokanalików ułatwiających penetrację cząsteczkom wody. Podczas intensywnych opadów deszczu, mikrokanaliki polisacharydowe przyczyniają się również do sorpcji wody do wnętrza owocu, czego konsekwencją może być pęknięcie skórki owoców, obserwowane zwłaszcza w przypadku odmian śliwy [06]. Ponadto u wszystkich badanych gatunków, kutykula właściwa (*cuticle proper*) i leżąca pod nią zewnętrzna i wewnętrzna warstwa kutykularna (*cuticular layer*) często charakteryzowały się zróżnicowaną gęstością w transmisyjnym mikroskopie elektronowym (TEM), co świadczyć może o różnym składzie chemicznym tych pokładów.

Na podstawie obserwacji struktury komórek egzokarpu 5-tygodniowych owoców borówki w TEM wykazałam, że składniki kutykuli syntetyzowane są w początkowym okresie rozwoju owoców w komórkach epidermy, po czym w postaci elektronowo gęstych inkluzji przemieszczają się w poprzek ściany komórkowej do miejsca przeznaczenia [08]. Inkluzji tego typu nie obserwowałam w skórce owoców dojrzałych.

### **Występowanie ordzawień**

Następną cechą związaną z jakością owoców, którą analizowałam, było występowanie ordzawień na powierzchni owoców jabłoni (‘Boskoop’) i gruszy (‘Konferencja’) [01, 03]. Obecność ordzawień nie miała związku z mechanicznymi uszkodzeniami owoców.

Powstawały one samoistnie i obejmowały znaczną część powierzchni owoców dojrzałych. W czasie badań stwierdziłam, że ordzawienia utworzone były z kilkuwarstwowego korka, powstałego w wyniku aktywności miazgi korkotwórczej zakładającej się w komórkach subepidermalnych perykarpu. Korek, którego komórki mają zwarte ułożenie, a ściany komórkowe wysyczone są suberyną, kutyną oraz woskiem, jest tkanką o ograniczonej przepuszczalności. Podobnie jak nalot woskowy i kutykula, korek chroni perykarp przed utratą wody i innymi niekorzystnymi bio- i abiotycznymi czynnikami środowiska. Ordzawienia obniżają wygląd estetyczny owoców, ale pozytywnie wpływają na ich trwałość, a tym samym na zdolność przechowalniczą.

### **Występowanie mikrospekkań kutykuli i pęknięcie skórki**

Wraz z rozwojem i intensywnym powiększaniem się objętości owoców, w kutykuli jabłek i gruszek powstawały coraz liczniejsze mikrospekkania o zróżnicowanej szerokości i głębokości, tworzące charakterystyczny wzór na powierzchni owoców [01-05]. Nieliczne mikrospekkania obserwowałam już w początkowym stadium rozwoju owoców, gdy średnica zawiązków nie przekraczała 10 mm. Badane odmiany jabłoni i gruszy różniły się występowaniem mikrospekkań [01-05]. Mikrospekkania powstawać mogły na skutek niewystarczającej, w stosunku do wzrastającej powierzchni owocu, biosyntezy składników kutykuli, co prowadziło do rozdzielania się płytek wosku w kolejnych, coraz głębszych warstwach kutykuli i skutkowało przerywaniem jej ciągłości. Mikrospekkania przebiegały w różnych kierunkach, najczęściej wzdłuż ścian komórek epidermy. Miały one zróżnicowaną głębokość, jednak ograniczały się wyłącznie do pokładu kutykuli i nie uszkadzały leżących poniżej komórek epidermy. Mikrospekkania, o ile nie były zasklepione płytkami wosku, mogły znacznie zwiększać transpirację.

W przypadku dojrzałych owoców śliwy mikrospekkania były dość płytkie i dotyczyły jedynie pokładu wosków krystalicznych ('Węgierka Zwykła'). Natomiast niekiedy wokół szparek i/lub poza nimi obecne były pokaźne spekkania, które obejmowały nie tylko kutykulę, ale uszkadzały także komórki skórki. Badane odmiany śliwy różniły się podatnością na tworzenie tego typu spekkań [06]. Powstawanie spekkań w egzokarpie pestkowców śliwy najczęściej związane jest z kutykularnym pobieraniem wody w czasie intensywnych deszczów i jej gromadzeniem w wakuolach komórek parenchymy. Gwałtowny wzrost objętości komórek parenchymy przekracza możliwości rozciągliwości ścian komórkowych epidermy i hipodermy, co prowadzi do przerywania ciągłości tych tkanek. Spekkania sprzyjają

szybkemu wędnięciu owoców oraz wzmożonej infekcji przez patogeny grzybowe i bakteryjne.

Na owocach borówki spękania obserwowano sporadycznie, wyłącznie w pobliżu blizny szypułkowej owocu [08, 09]. Jednak transpiracja oraz sorpcja wody zachodzić może nie tylko przez spękania i siateczkową kutykulę, ale też przez bliznę szypułkową i nektarnikową, których średnica u badanych odmian borówki była zróżnicowana i wzrastała wraz z powiększaniem się objętości owocu.

### **Obecność szparek i przetchlinek**

Kolejną cechą skórki owoców wpływającą na jędrność i trwałość, jest występowanie szparek i przetchlinek, które mogą sprzyjać transpiracji. U wszystkich badanych gatunków, w początkowych etapach rozwoju owoców występowały liczne, typowe aparaty szparkowe. W przypadku jabłek i gruszek, na powierzchni zawiązków widoczne były także niezabliźnione miejsca po odpadających włoskach niegruczołowych, które, podobnie jak szparki, mogły ułatwiać parowanie wody [03-05]. Gęstość szparek na zawiązkach owoców badanych gatunków różniła się wyraźnie; największa była na powierzchni owoców gruszy [03], natomiast najmniejsza na zawiązkach borówki, na których szparki występowały sporadycznie [08, 09]. Na tym etapie rozwoju owoców, różnice gęstości szparek zaobserwowano także pomiędzy odmianami jabłoni oraz gruszy [03, 05]. W przypadku owoców dojrzałych, gęstość szparek na powierzchni owoców śliwy i przetchlinek u jabłoni oraz gruszy była kilkakrotnie mniejsza niż na owocach niedojrzałych. Wystąpiły również wyraźne międzyodmianowe różnice gęstości szparek. Ponadto gęstość przetchlinek na dojrzałych owocach jabłoni była zróżnicowana w zależności od położenia; najmniej przetchlinek występowało w okolicach szypułki, a najwięcej w sąsiedztwie kielicha [02].

W czasie wzrostu owoców jabłoni i gruszy, szparki i blizny po opadłych włoskach ulegały znacznemu rozciąganiu i powiększaniu. W dojrzałych owocach, w rejonach tych tworzyły się przetchlinki o zróżnicowanych kształtach [01-04]. Na powierzchni przetchlinek często widoczna była rozerwana, odstająca kutykula, a w komórkach budujących przetchlinki występowały taniny. Wykazałam, że część przetchlinek była wypełniona komórkami korka lub hipodermi zawierającymi w ścianach kutynę i/lub suberynę. Komórki fellemu powstawały w wyniku podziałów komórek fellogenu zakładającego się w hipodermie owocni. W przypadku badanych odmian śliwy, wiele szparek obecnych w epidermie owoców zawierało granulki wosku we wnętrzu porusa [06]. Tego typu przetchlinki oraz szparki miały ograniczoną przepuszczalność i nie sprzyjały transpiracji. Natomiast pozostałe przetchlinki,

które wypełnione były komórkami mającymi celulozowe ściany, podobnie jak otwarte (drożne) szparki śliwy, wzmagaly transpirację, mogły ułatwiać wnikanie patogenów oraz sprzyjać rozwojowi chorób przechowalniczych [02, 03, 04].

### **Grubość skórki oraz tekstura jej komórek**

Skórkę (egzokarp) owoców u odmian badanych gatunków tworzyła jednowarstwowa lub rzadziej dwuwarstwowa epiderma oraz kilkuwarstwowa hipoderma o charakterze tkanki mechanicznej. W stadium dojrzałości zbiorczej owoców, najcieńszą skórka odznaczały się jagody borówki [08, 09], zróżnicowaną grubość miała skórka gruszek [03], natomiast najgrubsza była skórka jabłek i pestkowców śliwy [02, 06]. Stwierdziłam, że wraz z powiększaniem się objętości owoców, grubość egzokarpu na owocach jabłoni i śliwy zwiększała się. W przypadku odmian gruszy i niektórych odmian borówki, po początkowym wzroście grubości skórki obserwowałam zmniejszanie grubości tej warstwy w owocach dojrzałych [01-03, 05-09]. Wykazałam, że zmiany grubości skórki miały ścisły związek z grubością pokładu hipodermy leżącej pod epidermą. Grubość hipodermy wzrastała w czasie rozwoju i wzrostu owoców jabłoni i śliwy, natomiast ulegała redukcji w dojrzałych owocach gruszy i borówki.

We wczesnych stadiach rozwojowych owoców wszystkich gatunków, ściśle zespolone komórki egzokarpu miały charakter tkanki merystematycznej i odznaczały się zachodzącymi w nich licznymi podziałami mitotycznymi. Na przekrojach poprzecznych komórki epidermy były wydłużone antyklinalnie, natomiast w czasie intensywnego powiększania się objętości owoców, ulegały rozciąganiu wzdłuż ścian peryklinalnych. W stadium dojrzałości owoców, również hipoderma odznaczała się peryklinalnym spłaszczeniem komórek, bardziej widocznym niż we wcześniejszych stadiach rozwojowych. Zewnętrzne ściany komórek epidermy oraz peryklinalne ściany komórek hipodermy były najcieńsze w początkowych stadiach rozwojowych owoców, natomiast w czasie ich dojrzewania, u większości gatunków zauważyłam wzrost grubości ścian komórkowych tych tkanek [04, 08, 09]. Wyraźne różnice w grubości peryklinalnych ścian hipodermy zaobserwowałam pomiędzy odmianami jabłoni [05] oraz borówki [09] w stadium zawiązka. Natomiast międzyodmianowe zróżnicowanie grubości pokładu hipodermy stwierdziłam w zawiązkach i dojrzałych owocach śliwy [06, 07] oraz w dojrzałych owocach jabłoni, zarówno w części nasłonecznionej, jak i zacienionej owocu [02].

Na podstawie obserwacji w mikroskopie świetlnym (LM) wykazałam, że w dojrzałych owocach borówki występowały zaburzenia w teksturze komórek skórki. Nieprawidłowości

polegały na oddzielaniu się komórek hipodermisy od siebie, odstawaniu warstwy epidermy od hipodermisy lub oddzielaniu całego pokładu egzokarpu od leżących poniżej warstw parenchymy [08, 09]. Rozluźnienie tekstury skórki było spowodowane rozpuszczaniem blaszek środkowych oraz migracją i ubytkami wody z wakuol, które kurcząc się, obniżały turgor komórek, powodowały zapadanie się ścian komórkowych oraz oddzielanie się komórek od siebie. Powyższe procesy prowadzą do szybkiego mięknięcia owoców i są symptomem starzenia. Badane odmiany borówki różniły się stopniem intensywności przedstawionych zaburzeń.

### **Tekstura komórek parenchymy i obecność komórek kamiennych**

Wraz z rozwojem i wzrostem średnicy owoców, u badanych gatunków obserwowałam istotne powiększanie się komórek parenchymy tworzącej mezokarp. W stadium zawiązka średnica komórek parenchymy była podobna u badanych odmian jabłoni [05], natomiast różniła się pomiędzy odmianami gruszy, śliwy i borówki [03, 07, 09]. We wczesnych etapach rozwoju owoców, w komórkach obwodowych warstw parenchymy obecne były liczne chloroplasty, często zawierające ziarna skrobi [03, 05, 06, 08]. Ziarna skrobi widoczne były również w parenchymie owocni gruszy 'Konferencja' oraz jabłoni 'Szampion' i 'Jonagold' w stadium dojrzałości zbiorczej [02, 03]. Zdeponowana skrobia ulegała hydrolizie w fazie dojrzałości konsumpcyjnej owoców. W dojrzałych owocach borówki chloroplasty wykazywały objawy degeneracji związane z dojrzewaniem i starzeniem się owoców [08].

W analizowanych stadiach rozwojowych, w owocach badanych odmian borówki komórki parenchymy wykazywały różne tempo wzrostu oraz odznaczały się zróżnicowaną teksturą. Dojrzałe owoce odmiany 'Earliblue' charakteryzowały się wyraźną destrukcją komórek miękiszowych, której oznakami było zapadanie się i fałdowanie ścian oraz zmiana kształtu i utrata turgoru komórek, a także rozklejanie blaszek środkowych oraz tworzenie pustych przestrzeni. Opisane zmiany powodowały spadek jędrności owoców i obniżały ich atrakcyjność.

W kilkutygodniowych zawiązkach owoców gruszy oraz borówki, komórki kamienne obecne były w sąsiedztwie komór nasiennych, a także w peryferyjnych warstwach parenchymy leżących bezpośrednio pod skórą [03, 08, 09]. W przypadku gruszy komórki kamienne występowały również wokół zagłębienia kielichowego. Sklereidy zlokalizowane pod skórą tworzyły kilkukomórkowe skupienia lub występowały pojedynczo. W dojrzałych owocach gruszy agregaty sklereidów najliczniej występowały w powierzchniowej, około

5 mm warstwie perykarpu i były zdecydowanie liczniejsze niż w stadium zawiązka [03]. Wykazałam, że w obydwu analizowanych stadiach rozwojowych, odmiany gruszy różniły się liczbą sklereidów zlokalizowanych pod skórką owoców; owoce odmiany 'Klapsa', odznaczające się krótką trwałością, zawierały mniej agregatów komórek kamiennych niż owoce odmiany 'Konferencja', które charakteryzują się większą zdolnością przechowalniczą.

W owocach badanych odmian borówki, liczba komórek kamiennych w zawiązkach i owocach dojrzałych była zbliżona, natomiast wielkość sklereidów różniła się między odmianami [08, 09]. W czasie badań stwierdziłam także, że grubość ścian komórek kamiennych była stała przez cały okres rozwoju i wzrostu owoców borówki, jednak mogła różnić się pomiędzy odmianami. Komórki kamienne odznaczające się sztywnymi, silnie zgrubiałymi i zlignifikowanymi ścianami komórkowymi, rozmieszczone pomiędzy komórkami parenchymy o cienkich, celulozowych ścianach, stanowią swoiste rusztowanie (tzw. mocne punkty) pozytywnie wpływające na teksturę owoców. Lignina zapewnia wytrzymałość i sztywność ścian sklereidów, przez co przyczynia się do zwiększenia odporności skórki owoców na uszkodzenia mechaniczne, a w konsekwencji przedłuża jędrność i trwałość owoców.

### **Występowanie tanin i antocyjanów**

Powierzchniowe warstwy owoców badanych gatunków sadowniczych zawierały związki fenolowe, zwłaszcza taniny oraz antocyjany, które wyróżniają się silnym działaniem antyoksydacyjnym. W oparciu o testy histochemiczne oraz obserwacje w LM i TEM wykazałam, że obecność tanin była największa w owocach niedojrzałych, po czym, w miarę dojrzenia owoców występowanie tych metabolitów zmniejszało się, a owoce traciły swój cierpki smak. Wyjątek stanowiły owoce gruszy 'Konferencja', w których taniny obecne były w komórkach egzo- i mezokarpu również w stadium dojrzałości zbiorczej [03]. W pierwszym stadium rozwoju owocu, skondensowane taniny obserwowałam we wszystkich pokładach budujących ściany załączni słupka śliwy [07] oraz hypancjum borówki [08, 09]. W stadium zawiązków, obecność tanin ograniczała się z reguły do skórki owoców [05, 07-09]. Taniny występowały w postaci sferycznych, elektronowo gęstych, nieobłonionych depozytów, które zlokalizowane były w wakuolach komórek. Ustaliłam, że badane odmiany jabłoni, gruszy, śliwy i borówki różniły się wielkością depozytów. Analizując komórki skórki kilkutygodniowych zawiązków borówki zaobserwowałam, że w syntezę tanin mogły być zaangażowane specyficzne plastydy wypełnione licznymi pęcherzykami i/lub granularnymi

inkluzjami, które następnie przemieszczały się poza błonę plastydów i mogły transportować taniny [09].

W dojrzewających owocach badanych gatunków obserwowałam wzrost ilości antocyjanów, które podobnie jak taniny, akumulowane były głównie w komórkach skórki. Antocyjany nadawały granatowe lub fioletowe zabarwienie skórce owoców śliwy i borówki [06, 08, 09], jak również odpowiadały za barwę rumieńca na owocach jabłoni i gruszy [02-04]. Na podstawie obserwacji w mikroskopie świetlnym stwierdziłam, że antocyjany występowały w wakuolach komórek w postaci sferycznych globul o różnej wielkości lub były rozpuszczone w soku wakuolarnym. W TEM obserwowałam owalne, elektronowo gęste antocyjanowe inkluzje wakuolarne, które często przylegały do tonoplastu. Stwierdziłam, że odmiany śliwy i borówki różniły się intensywnością zabarwienia skórki owoców dojrzałych oraz wielkością inkluzji antocyjanowych, co mogło mieć związek z różną koncentracją i rodzajem antocyjanów, zróżnicowanym pH soku wakuolarnego i/lub obecnością jonów Al, Fe i Mg. Badania całkowitej zawartości związków fenolowych oraz flawonoidów, obecnych w obwodowych pokładach dojrzałych owoców śliwy, wykazały istotne różnice pomiędzy badanymi odmianami [06]. Najwyższą zawartością tych metabolitów odznaczały się owoce ‘President’, natomiast najniższą ‘Węgierki Zwykłej’, zawierające odpowiednio 8 i 18 razy mniej polifenoli i flawonoidów niż owoce ‘President’.

## **Podsumowanie**

W cyklu publikacji tworzącym Osiągnięcie naukowe, przedstawiłam wyniki moich wieloaspektowych badań dotyczących rozwoju i struktury owoców cenionych odmian 4 ważnych gatunków roślin sadowniczych. Ustaliłam po raz pierwszy przebieg i tempo rozwoju szeregu mikrostrukturalnych cech jakościowych owoców oraz wskazałam moment, w którym następuje ich inicjacja. Wykazałam, że jędrność i trwałość owoców kształtuje się przez cały okres ich rozwoju i jest efektem jednoczesnego występowania korzystnych i niekorzystnych cech mikrostrukturalnych. Przeprowadzone przeze mnie kompleksowe i w wielu aspektach nowatorskie badania porównawcze, stanowią cenne uzupełnienie wiedzy na temat ontogenezy owoców oraz fizjologicznych i biochemicznych procesów zachodzących w tych organach. Unikalne wyniki dotyczące rozwoju cech jakościowych w mikrostrukturze perykarpu mają również znaczenie aplikacyjne i mogą być wykorzystywane do wczesnego diagnozowania kierunku rozwoju określonych cech jakościowych, a także do badań porównawczych pomiędzy odmianami, w ocenie ich zdolności przechowalniczej oraz wartości prozdrowotnej. Ponieważ o rozwoju wielu jakościowych cech owoców, obok



czynnika genetycznego, decydują czynniki środowiskowe, znajomość momentu inicjacji oraz tempa kształtowania się cech jakościowych owoców może być wykorzystywana do przyspieszenia lub wzmocnienia rozwoju cech wartościowych, jak też częściowego eliminowania lub modelowania cech niekorzystnych. Próby modyfikowania mikrostruktury skórki, a tym samym oddziaływania na cechy jakościowe owoców, można podejmować poprzez odpowiednie zabiegi agrotechniczne, właściwe warunki przechowywania, regulację terminów zbioru, stosowanie regulatorów wzrostu i rozwoju oraz biostymulatorów. Wykonane przeze mnie mikrostrukturalne badania owoców są także wartościowym uzupełnieniem innych metod badawczych oceniających ich jakość, takich jak metody sensoryczne, chemiczne czy instrumentalne.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

Poza tematyką przedstawioną w Osiągnięciu naukowym, moje zainteresowania naukowo-badawcze związane są z toksycznym oddziaływaniem glinu na morfologię, anatomię i ultrastrukturę wegetatywnych organów roślin uprawnych oraz dotyczą zagadnień związanych z biologią kwitnienia, zapylania i nektarowania różnych grup roślin. Tematyka moich badań obejmuje także mikrostrukturę kwiatów i nektarników kwiatowych, jak również związana jest z aktywnością innych kwiatowych struktur wydzielniczych. Z kolei zawartość pyłku w produktach pszczelich oraz obfitość pylenia i wydajność pyłkowa roślin pszczelarskich to problematyka poruszana w jednych z moich pierwszych prac [3.1, 4.2]. Najnowszy kierunek moich eksploracji dotyczy występowania i roli związków biologicznie czynnych obecnych w strukturach wydzielniczych roślin mających właściwości lecznicze. Większość badań przeprowadzam w oparciu o różne techniki mikroskopowe: świetlną jasnego pola (LM) i fluorescencyjną (LSM) oraz elektronową skaningową (SEM) i transmisyjną (TEM), a także stosując różnorodne metody histochemiczne.

### **Toksyczne oddziaływanie glinu na strukturę organów wegetatywnych roślin uprawnych**

Współpraca z Katedrą Chemii Rolnej UP w Lublinie, nawiązana przeze mnie przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora w ramach grantu „Przyczyny i skutki toksycznego oddziaływania glinu w agrosystemach”, którego byłam wykonawcą, zaowocowała nie tylko wspólnymi publikacjami i doniesieniami konferencyjnymi, ale również moim zainteresowaniem podjętą tematyką i kontynuowaniem badań nad toksycznością glinu również po zakończeniu grantu. Rezultaty swoich kilkuletnich badań zamieściłam w pracy doktorskiej, a następnie opublikowałam w postaci 11 oryginalnych prac twórczych

w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym i krajowym [5.1, 6.2, 6.4, 6.6, 6.9, 6.10, 7.1-7.5] oraz zaprezentowałam w postaci 8 komunikatów na konferencjach zagranicznych oraz krajowych.

Postępujący od lat proces zakwaszania gleb spowodowany przede wszystkim rozwojem motoryzacji, przemysłu i górnictwa oraz emisją gazowych zanieczyszczeń i kwaśnymi deszczami, powoduje pojawianie się w podłożu mobilnych, toksycznych dla organizmów żywych form glinu (Gromysz-Kałkowska i Szubartowska 1999; Gworek 2006; Widłak 2011). Jony glinu są łatwo i szybko pobierane przez system korzeniowy, a ich obecność w tkankach korzenia znacznie ogranicza wzrost i plonowanie roślin poprzez zakłócenia metabolizmu i anomalie rozwojowe (Matsumoto i Motoda 2012; Silva 2012; Aggarwali i wsp. 2015). Ze względu na niepełne i często rozbieżne informacje dotyczące skutków oddziaływania toksycznych form glinu na organy roślinne oraz nieznaną reakcję wielu roślin uprawnych na jego zróżnicowaną zawartość w glebie, w rozprawie doktorskiej porównałam wpływ różnych stężeń toksycznego glinu na intensywność wzrostu oraz strukturę korzeni, łodyg i liści siewek trzech gatunków: *Helianthus annuus* L., *Capsicum annuum* L. i *Raphanus sativus* L. var. *radicula* Pers. uprawianych w kulturach wodnych. Wynikiem kilkuletnich badań było ustalenie dla badanych gatunków stopnia tolerancyjności na stres glinowy oraz wykonanie przy użyciu różnych technik mikroskopowych analiz porównawczych badanych organów, które wykazały szereg istotnych, ilościowych i jakościowych zmian wywołanych obecnością toksykanta. Ważnym elementem moich badań było przeanalizowanie szlaku przemieszczania się jonów glinu z korzeni do łodyg i liści oraz ustalenie regionów jego akumulacji we wszystkich badanych organach, które przedstawiłam w oparciu o metody histochemiczne oraz obserwacje mikroskopowe [5.1, 6.4, 6.9]. Po raz pierwszy wykazałam, że depozyty glinu oraz symptomy toksyczności tego metalu występowały nie tylko w komórkach korzenia, ale także w tkankach łodyg oraz liści, w których dotychczas opisywano tylko wtórne objawy toksyczności glinu. Badania powierzchni korzeni i pędów traktowanych jonami glinu w skaningowym mikroskopie elektronowym, jak również analiza ultrastruktury komórek tych organów w TEM przyczyniły się do kompleksowego przedstawienia wiedzy na temat objawów toksyczności glinu. Udowodniłam, dotychczas ignorowany lub wręcz odrzucany wpływ szkodliwości tego pierwiastka na rozwój, wzrost i funkcjonowanie organów nadziemnych, zwłaszcza liści [5.1, 7.4, 7.5]. Rada Wydziału Ogrodniczego uznała moją rozprawę doktorską za bardzo wartościową pracę interdyscyplinarną, a Rektor Akademii Rolniczej wyróżnił ją stosowną nagrodą.

## **Biologia kwitnienia, zapylania i nektarowania oraz struktura kwiatów i nektarników kwiatowych**

Od początku zatrudnienia moje zainteresowania badawcze koncentrują się na różnych aspektach biologii kwitnienia, zapylania i nektarowania roślin oraz mikrostrukturze kwiatów, a zwłaszcza budowie i funkcjonowaniu nektarników kwiatowych. Doświadczenie naukowo-badawcze w wymienionej tematyce zdobywałam współpracując z Prof. dr hab. Elżbietą Weryszko-Chmielewską oraz doskonaliłam biorąc udział w kursie cytologicznym, podczas którego zapoznałam się z metodami pozyskiwania i przygotowywania materiału badawczego oraz sporządzania preparatów do badań w różnego typu mikroskopach.

Efektywne zapylenie, a w jego konsekwencji zapłodnienie i powstanie nasienia oraz owocu (sukces reprodukcyjny) w przypadku roślin entomofilnych uzależniony jest od odwiedzin przez owady zapylające. Obecność zapylaczy oraz ich efektywność związana jest z atrakcyjnością kwiatów oraz nagrodą oferowaną owadom, którą najczęściej jest nektar i/lub pyłek (Brandenburg i wsp. 2009; Heil 2011). Wydajność nektarników kwiatowych, dynamika nektarowania oraz skład nektaru to czynniki wpływające na preferencje owadów zapylających oraz ekologię zapylania (Chalcoff i wsp. 2006; Denisow i wsp. 2015). Znajomość lokalizacji, budowy oraz funkcjonowania nektarników kwiatowych przyczynia się do poznania i zrozumienia interakcji pomiędzy rośliną a zapylaczem oraz ma znaczenie w taksonomii i filogenezie roślin (Smets i wsp. 2000; Bernardello 2007; Nepi 2007).

Jednym z moich pierwszych osiągnięć naukowych był cykl 12 publikacji poświęconych nektarnikom kwiatowym i nektarowaniu 29 taksonów dziko rosnących i ozdobnych przedstawicieli Pomoideae, uznawanych za wartościowe rośliny miododajne [1.1, 2.1, 3.2-3.4, 6.1, 6.3, 6.5, 6.7, 6.8, 7.6, 7.7]. Połowa prac została opublikowanych przed doktoratem, natomiast pozostałe - po uzyskaniu stopnia doktora, 9 prac powstało we współautorstwie, a 3 to prace samodzielne.

Badaniami objęto nektarniki kwiatowe *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott, *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach i *Ch. speciosa* (Sweet) Nakai, *Cotoneaster lucidus* Schltld., *C. horizontalis* Decne. i *C. praecox* Vilm.-Andr., *Crataegus coccinea* L., *C. crus-galli* L., *C. curvisepala* Lindm. i *C. prunifolia* (Lam.) Pers., *Cydonia oblonga* Mill., *Malus sylvestris* Mill., *Pyrus communis* L. i *P. ussuriensis* Maxim., *Sorbus aucuparia* L. i *S. intermedia* (Ehrh.) Pers. oraz 13 odmian różnych gatunków jabłoni ozdobnych. Nektarniki kwiatowe wymienionych taksonów należą do nektarników receptakularnych, łatwo dostępnych dla owadów zapylających i zlokalizowane są na adaksialnej stronie dna

kwiatowego, zajmując przestrzeń między pręcikiem a nasadami szyjek dolnego słupka. Sekrecja nektaru odbywa się przez zmodyfikowane aparaty szparkowe pozbawione zdolności zamykania się, a tym samym niezdolne do kontrolowania wypływu nektaru. Na szczególną uwagę zasługują unikalne wyniki badań porównawczych dotyczące budowy anatomicznej i wielkości nektarników u badanych gatunków oraz określające gęstość szparek na powierzchni epidermy sekrecyjnej [1.1, 2.1, 3.2, 3.3, 6.1, 6.3, 6.7]. Wymienione parametry umożliwiają prognozowanie wydajności gruczołu nektarnikowego oraz tempa wypływu nektaru. Dla niektórych taksonów wykazano proporcjonalną zależność pomiędzy ilością wydzielanego nektaru a wielkością nektarnika i/lub liczbą szparek, natomiast u innych, ze względu na zróżnicowaną gęstość szparek w różnych rejonach gruczołu, ilość wytwarzanego nektaru nie była pozytywnie skorelowana z tą cechą. Ważnym osiągnięciem podjętych badań było ustalenie, że różne gatunki Pomoideae należące do tego samego rodzaju, wyraźnie różniły się ilością wytwarzanego nektaru, masą cukrów oraz koncentracją cukrów w nektarze, tj. parametrami, które charakteryzują wartość pszczelarską danego taksonu [1.1, 2.1, 3.3, 6.1]. Ponadto na podstawie obserwacji w SEM stwierdzono, że nektarniki różnych gatunków *Chaenomeles*, *Cotoneaster*, *Crataegus*, *Sorbus* i *Malus* różniły się ornamentacją kutykuli na powierzchni epidermy sekrecyjnej oraz usytuowaniem szparek wydzielających nektar względem otaczających je komórek epidermy, które to cechy stanowią ważne kryteria taksonomiczne dla badanej grupy roślin [2.1, 6.5, 6.7, 6.8, 7.6, 7.7]. Prążkowana kutykula oraz zagłębione szparki przyczyniają się do ochrony nektarnika i nektaru przed intensywną insolacją, co wydłuża czas ekspozycji nektaru i warunkuje jego płynność, podczas gdy gładka kutykula i szparki osadzone na poziomie epidermy lub na wzniesieniach, sprzyjają szybkiemu wysychaniu i parowaniu nektaru. Na podstawie pomiarów wykazano także, że nektarniki badanych taksonów Pomoideae różniły się wartością wielu parametrów anatomicznych, takich jak wysokość komórek epidermy i grubość jej zewnętrznych ścian, miąższość gruczołu, wielkość komórek parenchymy sekrecyjnej oraz liczba jej warstw [2.1, 3.2-3.4, 6.7]. Przeprowadzone po raz pierwszy, kompleksowe badania struktury nektarników Pomoideae pozwoliły wyjaśnić nie w pełni poznany sposób produkcji i transportu nektaru u przedstawicieli tego taksonu [1.1] oraz określić zmiany zachodzące w czasie rozwoju, dojrzewania i starzenia się nektarnika [7.6]. Ustalono, że składniki prenektaru jeszcze przed kwitnieniem były dostarczane w dużych ilościach do parenchymy sekrecyjnej przez wiązki przewodzące, czego konsekwencją było intensywne wydzielanie nektaru w czasie antezy. Duża ilość łatwo dostępnego i bogatego w cukry nektaru wytwarzanego przez kwiaty

Pomoideae sprawia, że przedstawiciele tego taksonu są wartościowym źródłem pokarmu dla owadów zapylających, którymi przede wszystkim są pszczoły i trzmiele.

Za cykl publikacji opisujący mikromorfologię oraz anatomię nektarników Pomoideae zostałam dwukrotnie nagrodzona przez Rektora AR w Lublinie nagrodami zespołowymi II stopnia.

Doświadczenie zdobyte w trakcie realizowania rozprawy doktorskiej oraz dzięki współpracy z Prof. Weryszko-Chmielewską pozwoliło mi wypracować własny warsztat badawczy oraz poszerzyć wiedzę na temat mikromorfologii, anatomii i ultrastruktury, jak również udoskonalić technikę wykonywania i analizy preparatów mikroskopowych, czego efektem były kolejne, w większości samodzielne prace z zakresu biologii kwitnienia i struktury nektarników kwiatowych.

Obiektem badawczym, który wzbudził moje zainteresowanie, był dereń biały (*Cornus alba* L.), krzew kwitnący wczesną wiosną i dość często spotykany w nasadzeniach miejskich [5.2, 6.11]. Zaobserwowałam, że mimo obfitości nektarujących kwiatów i niewielu kwitnących o tej porze konkurencyjnych roślin pożytkowych, gatunek ten był chętniej oblatywany przez pszczolinki i muchówki, natomiast pszczoła miodna sporadycznie interesowała się pożytkiem w kwiatach derenia. W czasie 2-letnich badań wykazałam, że niepozorne, żyjące 3 dni kwiaty *Cornus alba* wyposażone są w otwarte, trwałe nektarniki o niewielkich rozmiarach i produkują małe ilości, szybko wysychającego i krótko dostępnego nektaru, co zniechęcało większe owady (pszczołę miodną, różne gatunki z rodzaju *Bombus*) do oblotu kwiatów derenia. Owady mając do wyboru kwiaty intensywnie nektarujące oraz te, produkujące małe ilości nektaru, najczęściej wybierały pokarm dostępny łatwiej i w większych ilościach. Ustaliłam także, że obserwowana pod koniec okresu antezi, wyraźna zmiana barwy nektarnika z żółtej na czerwoną była wyraźnym sygnałem dla owadów odwiedzających o kończącej się sekrecji nektaru. Kwiaty z wybarwionymi antocyjanami nektarnikami były zupełnie nieatrakcyjne dla owadów. W czasie badań anatomicznych i ultrastrukturalnych stwierdziłam także, że komórki tkanki nektarnikowej derenia funkcjonowały asynchronicznie, co również mogło przyczyniać się do ograniczonej ilości produkowanego i oferowanego owadom nektaru. Część komórek parenchymy sekrecyjnej w czasie antezi odznaczała się degenerującą zawartością oraz obecnością elektronowo gęstych złogów w wakuolach, które wskazywały na postępujący proces programowanej śmierci komórki.

Przedmiotem kolejnych badań były kwiaty i nektarniki kwiatowe lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.), ważnej rośliny leczniczej i miododajnej [5.5]. Na podstawie badań

mikrostrukturalnych stwierdziłam, że nektarniki tego gatunku należą do typu trichomowych i zlokalizowane są u nasady działek kielicha. Wykazałam, że nektar powstaje w licznych maczugowatych włoskach wydzielniczych, a następnie gromadzi się w przestrzeni pomiędzy ścianą a kutykulą komórki szczytowej włoska i może być uwalniany przez mikrokanaliki obecne w kutykuli. Składniki prenektaru dostarczane były przez elementy łyka zasilającego działki kielicha, a następnie gromadzone w parenchymie gruczołowej, tworzącej wielowarstwowy pokład poniżej trichomów wydzielniczych. Ustaliłam także, że nektarniki lipy chronione są przed patogenami i roślinożercami przez związki fenolowe akumulowane w tkankach działek kielicha, a produkowany nektar zabezpieczany jest przed wysychaniem i wypływaniem poza obręb działek przez dwojaki rodzaj niegruczołowe włoski ochronne o znacznej gęstości. Stwierdziłam również, że działki kielicha są nie tylko miejscem lokalizacji nektarników, ale też rejonem występowania kanałów śluzowych, których wydzielina decyduje o przeciwzapalnych właściwościach kwiatów lipy.

Celem kolejnych badań było pogłębienie wiedzy na temat biologii kwitnienia oraz budowy i funkcjonowania nektarników kwiatowych bluszczu pospolitego (*Hedera helix* L.), gatunku, który kwitnie i nektaruje późnym latem, w okresie ograniczonej liczby roślin pożytkowych i dlatego jest szczególnie cennym źródłem pokarmu dla owadów zapylających [5.7]. Ustaliłam, że funkcjonowanie zlokalizowanych na górnej powierzchni hypancjum receptakularnych nektarników zależne jest od intensywności nasłonecznienia w okresie kwitnienia, albowiem wytwarzanie nektaru w komórkach tkanki nektarnikowej odbywa się częściowo na drodze fotosyntezy i związane jest z występowaniem aktywnych chloroplastów. Przeprowadzone po raz pierwszy ultrastrukturalne badania nektarników bluszczu wykazały, że oprócz typowych chloroplastów z uporządkowanym układem lameli, w komórkach parenchymy nektarnikowej występowały także liczne chloroplasty o anormalnym, kolistym przebiegu tylakoidów. Opisane objawy degeneracji tylakoidów mogą wskazywać na transformację chloroplastów w chromoplasty i być oznaką szybszego starzenia się tej części komórek parenchymy sekrecyjnej. W czasie badań zaobserwowałam, że poza chloroplastami, dodatkowym źródłem składników prenektaru były węglowodany dostarczane przez wiązki przewodzące przebiegające w sąsiedztwie parenchymy sekrecyjnej i gromadzone w postaci ziaren skrobi w głębiej leżących jej pokładach. Wykazałam, że tak wyprodukowany nektar był stosunkowo długo i obficie wydzielany, a jego sekrecja odbywała się przez zmodyfikowane szparki nektarnika. Stwierdziłam, że całkowita liczba szparek była znacznie większa od liczby szparek funkcjonalnych, gdyż część z nich stanowiły także nie w pełni wykształcone i niefunkcjonalne szparki. Powierzchnia nektarnika bluszczu pokryta była

bardzo grubym pokładem kutykuli wytwarzającej masywne prążki i głębokie rowki, które zapobiegały wyciekaniu i ewaporacji nektaru oraz przyczyniały się do równomiernego rozprowadzania wydzieliny na powierzchni gruczołu, a zarazem sprzyjały rozpraszaniu i odbiciu promieni słonecznych w czasie silnej insolacji. Z kolei w chłodniejsze dni, w komórkach nektariów zaobserwowałam akumulację barwników antocyjanowych, które dzięki pochłanianiu promieniowania UV nie tylko chroniły wrażliwe załączniki kwiatów i rozwijające się zarodki przed szkodliwym działaniem promieniowania, ale jednocześnie zapobiegały ich uszkodzeniom w czasie niskich temperatur.

Tematyka dwu kolejnych prac jest związana z ekologicznymi cechami kwiatów przystosowanymi do entomofilności [5.10, 6.12]. W kwiatach jasnoty białej (*Lamium album* L.) oraz skalnicy rozłogowej (*Saxifraga stolonifera* Curtis) zaobserwowałam występowanie szeregu adaptacyjnych cech do zapylania przez owady, tj. obecność atraktantów sygnalizacyjnych, takich jak emisja zapachu, atrakcyjna barwa okwiatu, wskaźniki nektaru (*nectar guides*), kontrastowa barwa pręcików i/lub nektarnika oraz występowanie atraktantów pokarmowych w postaci pyłku oraz nektaru. Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić po raz pierwszy sposób sekrecji nektaru w rodzinie Saxifragaceae oraz poznać jakościowe i ilościowe cechy mikromorfologiczne i anatomiczne nektarników kwiatowych skalnicy rozłogowej, a także określić lokalizację związków fenolowych w kwiatach tego mającego właściwości terapeutyczne gatunku [6.12]. Z kolei w pracy dotyczącej jasnoty białej przedstawiono lokalizację, budowę oraz funkcje różnego typu trichomów występujących w kwiatach tego taksonu. Stwierdzono, że włoski gruczołowe usytuowane na koronie i główkach pręcików jasnoty emitowały olejki eteryczne, trichomy niegruczołowe obecne we wnętrzu korony zabezpieczały nektar przed parowaniem, natomiast włoski niegruczołowe na nitkach pręcików stanowiły tzw. wtórne prezentery pyłku [5.10]. W oparciu o wyniki nektarowania jasnoty białej wykazano, że jest ona cennym gatunkiem pszczelarskim, odznaczającym się wysoką wydajnością miodową i cukrową oraz wysoką koncentracją cukrów w nektarze, a wymienione parametry zależne są od przebiegu pogody w czasie kwitnienia. Ta pospolita roślina ruderalna stanowić może dodatkowe źródło pokarmu dla owadów zapylających i sprzyjać zachowaniu bioróżnorodności entomofauny.

Ogół zagadnień dotyczących biologii kwitnienia zamykają badania porównawcze dwóch gatunków z rodzaju *Euonymus*, których celem było wykazanie podobieństw oraz odmienności w budowie kwiatów i nektarników kwiatowych [5.11]. Niepozorne kwiaty *Euonymus fortunei* (Turcz.) Hand.-Mazz. i *E. europaea* L. wyposażone są w otwarte, receptakularne, fotosyntetyzujące nektarniki kwiatowe, tworzące czworoboczny, zielony dysk wokół załączni

górnego słupka. W oparciu o uzyskane wyniki dowiodłam, że mimo bliskiego pokrewieństwa, pomiędzy badanymi gatunkami występują wyraźne ilościowe i jakościowe różnice w mikromorfologii okwiatu i organów generatywnych oraz w strukturze i sposobie sekrecji nektaru. Różnice międzygatunkowe dotyczyły wielkości gruczołów, liczby warstw oraz miąższości parenchymy gruczołowej, wysokości komórek epidermy, lokalizacji i liczebności szparek oraz zawartości skrobi i związków fenolowych w komórkach tkanki sekrecyjnej. Po raz pierwszy dla gatunków w obrębie podrodziny Celastroideae opisałam dotychczas nieznaną sposobem wydzielania nektaru, nie tylko przez szparki, ale także przez kutykulę komórek epidermy sekrecyjnej. Wykonane przeze mnie badania mikrostruktury kwiatów *Euonymus* są wartościowym uzupełnieniem wiedzy dotyczącej biologii kwitnienia i nektarowania tego rodzaju oraz mają istotne znaczenie taksonomiczne.

### **Występowanie i rola związków biologicznie czynnych obecnych w strukturach wydzielniczych roślin**

Ze względu na nie w pełni poznaną lokalizację i formę występowania oraz funkcje metabolitów wtórnych u roślin, aktualnym przedmiotem moich zainteresowań są związki biologicznie czynne występujące w kwiatach roślin mających właściwości lecznicze. Elementy tych badań pojawiły się już w moich wcześniejszych pracach i dotyczyły głównie występowania związków fenolowych, zwłaszcza tanin, których obecność ustalałam w oparciu o mikroskopię świetlną oraz testy histochemiczne [5.5, 5.11, 6.12]. Rolą związków fenolowych obecnych w kwiatach *Tilia*, *Saxifraga* i *Euonymus* jest ochrona organów generatywnych, które warunkują reprodukcję, przed drobnoustrojami chorobotwórczymi i roślinożercami. Jednak z danych literaturowych wynika, że substancje te wykazują także właściwości lecznicze, stąd wiedza o ich występowaniu i lokalizacji ma również znaczenie w medycynie (Barros i wsp. 2013; Skotti i wsp. 2014). W ostatnim czasie, rozległe badania nad zróżnicowanym spektrum substancji biologicznie czynnych obecnych w kwiatowych strukturach wydzielniczych przeprowadziłam dla 9 chronionych gatunków pasożytniczych z rodzaju *Orobanche* L. we współpracy z dr Anetą Sulborską z Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie oraz mgr Piotrem Chmielewskim, pracownikiem Zamojskiego Towarzystwa Przyrodniczego, od wielu lat prowadzącym badania nad bioróżnorodnością muraw kseromorficznych, które są miejscem występowania wielu gatunków rodzaju *Orobanche*. Organy wegetatywne i generatywne tych roślin charakteryzują się występowaniem włosków gruczołowych, o nie do końca poznanej funkcji i różnorodnym składzie wydzieliny. Składniki



wydziałin niektórych gatunków mogą mieć działanie terapeutyczne (Abbes i wsp. 2014; Qu i wsp. 2015). Do tej pory w wydziałinie włosków gruczołowych różnych gatunków *Orobanche*, wraz ze współpracownikami ustaliłam obecność olejków eterycznych, polifenoli, w tym tanin oraz polisacharydów i różnych związków o charakterze tłuszczowym. Stwierdziłam, że nektarniki kwiatowe u tego taksonu należą do typu gynoecjalnych i zlokalizowane są wokół nasadowej części zalążni słupka, a sekrecja nektaru zachodzi przez zmodyfikowane szparki. Dotychczasowe rezultaty naszych badań wykazały, że budowa oraz obecność lub brak włosków gruczołowych na poszczególnych elementach kwiatu, podobnie jak lokalizacja i struktura nektarników kwiatowych, to ważne gatunkowe cechy taksonomiczne. Planowane są dalsze badania mające na celu kompleksową analizę składu wydziałiny oraz ustalenie funkcjonowania gruczołów nektarnikowych u przedstawicieli *Orobanche*. Do obecnej chwili wyniki badań związanych z powyższą tematyką przedstawiono w 6 doniesieniach konferencyjnych w kraju (2) i zagranicą (4).

## Bibliografia

- Abbes Z., El Abed N., Amri M., Kharrat M., Ben Hadj Ahmed S. 2014. Antioxidant and antibacterial activities of the parasitic plants *Orobanche foetida* and *Orobanche crenata* collected on faba bean in Tunisia. *J. Anim. Plant Sci.* 24: 310-314.
- Aggarwal, A., Ezaki, B., Munjal, A., Tripathi, B. N. 2015. Physiology and Biochemistry of Aluminum Toxicity and Tolerance in Crops. W: Stress Responses in Plants, Tripathi B.N., Muller M. (red.), Springer International Publishing, Switzerland, 35-57.
- Allan-Wojtas P.M., Forney C.F., Carbyn S.E., Nicholas K.U.K.G. 2001. Microstructural indicators of quality-related characteristics of blueberries - an integrated approach. *LWT-Food Sci. Technol.* 34(1): 23-32.
- Barros L., Alves C.T., Dueñas M., Silva S., Oliveira R., Carvalho A.M., ... & Ferreira I.C. 2013. Characterization of phenolic compounds in wild medicinal flowers from Portugal by HPLC-DAD-ESI/MS and evaluation of antifungal properties. *Ind. Crop Prod.* 44: 104-110.
- Bernardello G. 2007. A systematic survey of floral nectaries. W: Nectaries and Nectar, Nicolson S.W., Nepi M., Pacini E. (red.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 19-128.
- Bonghi C., Trainotti L., Botton A., Tadiello A., Rasori A., Ziliotto F., Zaffalon V., Casadoro G., Ramina A. 2011. A microarray approach to identify genes involved in seed-pericarp cross-talk and development in peach. *BMC Plant Biol.* 11,107 (14 pages) <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/11/107>
- Brandenburg A., Dell'Olivo A., Bshary R., Kuhlemeier C. 2009. The sweetest thing: advances in nectar research. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12(4): 486-490.
- Burghardt M., Riederer M. 2006. Cuticular transpiration. W: Biology of the Plant Cuticle. Riederer M., Müller C. (red.), Blackwell, New York. *Annu. Rev. Plant Biol.* 23: 92-309.
- Chen H., Cao S., Fang X., Mu H., Yang H., Wang X., Xu Q., Gao H., 2015. Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell wall degrading enzymes in postharvest blueberries during storage. *Sci. Hortic.* 188:44-48.
- Chiabrando V., Giacalone G., Rolle L. 2009. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *J. Sci. Food Agric.* 89: 989-992.
- Chalcoff V.R., Aizen M.A., Galetto L. 2006. Nectar concentration and composition of 26 species from the temperate forest of South America. *Ann. Bot.* 97(3): 413-421.
- Czernyszewicz E. 2007. A consumer's look at the apple quality. *Ann. UMCS sectio EEE* 17:70-82.
- Dardick C., Callahan A. 2014. Evolution of the fruit endocarp: molecular mechanisms underlying adaptations in seed protection and dispersal strategies. *Front. Plant Sci.* 5,284, (10 pages). doi: 10.3389/fpls.2014.00284
- Denisow B., Masierowska M., Antoń S. 2015. Floral nectar production and carbohydrate composition and the structure of receptacular nectaries in the invasive plant *Bunias orientalis* L.(Brassicaceae). *Protoplasma*, 1-13. doi: 10.1007/s00709-015-0902-6.

- Duque P., Barreiro M.G., Arrabaça J.D. 1999. Respiratory metabolism during cold storage of apple fruit. I. Sucrose metabolism and glycolysis. *Physiol. Plant.* 107(1): 14-23.
- Esau K. 1973. Anatomia roślin. PWRiL, Warszawa, 739–740.
- Garriz P.I., Bartusch A.M., Alvarez O.A. 1993. Seasonal fruit growth of Granny Smith apples. *Agro. Sur.* 21(2): 136-141.
- Ghafir S.A.M., Gadalla S.O., Murajei B.N., El-Nady M.F. 2009. Physiological and anatomical comparison between four different apple cultivars under cold-storage conditions. *Afr. J. Plant Sci.* 3: 133–138.
- Gillaspy G., Ben-David H., Gruissem W. 1993. Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5(10): 1439–1451.
- Godoy C., Monterubbianesi G., Tognetti J. 2008 Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Sci. Hort.* 115: 368–376.
- Gromysz-Kalkowska K., Szubartowska E. 1999. Glin: występowanie w przyrodzie oraz wpływ na organizmy roślin, zwierząt i człowieka. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- Gworek B. 2006. Glin w środowisku przyrodniczym i jego toksyczność. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 29: 27-38.
- Halliwell B., Gutteridge J. M.C. 2007. Free radicals in biology and medicine, fourth ed. Clarendon, Oxford, UK.
- Heil M. 2011. Nectar: generation, regulation and ecological functions. *Trends Plant Sci.* 16(4): 191-200.
- Hen-Avivi S., Lashbrooke J., Costa F., Aharoni A., 2014. Scratching the surface: genetic regulation of cuticle assembly in fleshy fruit. *J. Exp. Bot.* 65(16): 4653–4664.
- Hirst P.M., Flowers R.R. 2000. Rootstock effects on growth and cell size of Gala apple fruit. *Acta Hort.* 517: 189-194.
- Jaakola L., Määttä K., Pirttilä A.M., Törrönen R., Kärenlampi S., Hohtola A. 2002. Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiol.* 130(2): 729–739.
- Jorquera-Fontena E., Alberdi M., Franck N. 2014. Pruning severity affects yield, fruit load and fruit and leaf traits of ‘Brigitta’ blueberry. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 14(4): 855–868.
- Khanal B.P., Knoche M. 2014. Mechanical properties of apple skin are determined by epidermis and hypodermis. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 139(2): 139–147.
- Knoche M., Peschel S. 2007. Deposition and strain of the cuticle of developing European plum fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 132(5): 597–602.
- Kurosumi A., Sasaki C., Kumada K., Kobayashi F., Mtui G., Nakamura, Y. 2007. Novel extraction method of antioxidant compounds from *Sasa palmata* (Bean) Nakai using steam explosion. *Process Biochem.* 42(10): 1449-1453.
- Maguire K.M., Banks N.H., Lang A., Gordon I.L. 2000. Harvest date, cultivar, orchard and tree effects on water vapour permeance in apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 125: 100–104.
- Makosz E. 2011. Wielkość zbiorów, potrzeby i opłacalność produkcji jabłek, gruszek, wiśni i czereśni. XXXI Międzynarodowe Seminarium Sadownicze “Prognoza wielkości zbiorów, potrzeby i opłacalność produkcji owoców w kraju w najbliższych latach”, 4-5 marca 2011, Limanowa, Poland.
- Masia A., Zanchin A., Rascio N., Ramina A., 1992. Some biochemical and ultrastructural aspects of peach fruit development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117(5): 808–815.
- Matiacevich S., Celis Cofré D., Silva P., Enrione J., Osorio F. 2013. Quality parameters of six cultivars of blueberry using computer vision. *Int. J. Food Sci.* 2013: 419535 (8 pages). doi:10.1155/2013/419535.
- Matsumoto H., Motoda H. 2012. Aluminum toxicity recovery processes in root apices. Possible association with oxidative stress. *Plant Sci.* 185: 1-8.
- Müller C., Riederer M., 2005. Plant surface properties in chemical ecology. *J. Chem. Ecol.* 31(11): 2621-2651.
- Paniagua A.C., East A.R., Hindmarsh J.P., Heyes J.A., 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biol. Technol.* 79: 13–19.
- Peschel S., Knoche M. 2012. Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: XII. Variation in cuticle properties among cultivars. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 137(6): 367–375.
- Qu Z.Y., Zhang Y.W., Zheng S W., Yao C.L., Jin Y.P., Zheng P.H., ... & Wang Y.P. 2015. A new phenylethanoid glycoside from *Orobancha cernua* Loefling. *Nat. Prod. Res.* 10: 1-6.
- Riederer M., Schreiber L. 2001. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles. *J. Exp. Bot.* 52(363): 2023-2032.
- Rustioni L., Maghradze D., Failla O., 2012. Optical properties of berry epicuticular waxes in four Georgian grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *S. Afr. J. Vitic. Enol.* 33(2): 138-143.
- Seymour G.B., Østergaard L., Chapman N.H., Knapp S., Martin C. 2013. Fruit development and ripening. *Annu. Rev. Plant Biol.* 64: 219–241.
- Silva S. 2012. Aluminum toxicity targets in plants. *J. Bot.* Article ID 219462 (8 pages), doi:10.1155/2012/219462.

- Skotti E., Anastasaki E., Kanellou G., Polissiou M., Tarantilis P.A. 2014. Total phenolic content, antioxidant activity and toxicity of aqueous extracts from selected Greek medicinal and aromatic plants. *Ind. Crop Prod.* 53: 46-54.
- Smets E.F., Decraene L.-P.R., Caris P., Rudall P.J. 2000. Floral nectaries in monocotyledons: distribution and evolution. W: *Monocots: Systematics and Evolution*, Wilson K.L., Morrison D.A. (red.), CSIRO, Melbourne, 230-240.
- Starck Z. 2007. Gospodarka mineralna roślin. W: *Fizjologia roślin*. Kopcewicz J., Lewak S. (red.), PWN Warszawa, 228-271.
- Theologis A. 1992. One rotten apple spoils the whole bushel: the role of ethylene in fruit ripening. *Cell* 70(2): 181-184.
- Treutter D., Wang D., Farag M.A., Baires G.D.A., Rühmann S., Neumüller M. 2012. Diversity of phenolic profiles in the fruit skin of *Prunus domestica* plums and related species. *J. Agric. Food Chem.* 60(48): 12011–12019.
- Veraverbeke E.A., Lammertyn J., Saevels S., Nicolaï B.M. 2001. Changes in chemical wax composition of three different apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 23: 197–208.
- Veraverbeke E.A., Verboven P., van Oostveldt P., Nicolaï B.M. 2003. Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* subsp. *mitis* (Wallr.)) during storage: part 2. Model simulations and practical applications. *Postharvest Biol. Technol.* 30: 89–97.
- Wang B.P. 1985. A genetic study on brachyscelereids in pear fruit flesh. *J. Zhejiang Forestry College* 2: 29–32.
- Widłak M. 2011. Toksyczność glinu wyzwaniem środowiskowym. *Rocznik Świętokrzyski, Ser. B.* 32: 131-140.

## 5. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego

Całkowita liczba punktów MNiSW:

zgodnie z rokiem wydania publikacji **487\***

zgodnie z aktualną listą czasopism punktowanych **655\***

Sumaryczny IF zgodnie z rokiem publikacji: **19,319\***

Sumaryczny 5-letni IF: **24,496**

Liczba publikacji: **96 (76 po doktoracie)**

Liczba oryginalnych prac twórczych: **41 (34 po doktoracie)**

Artykuły popularnonaukowe **2**

Liczba prac z IF: **16 (15 po doktoracie)**

Liczba doniesień, streszczeń i materiałów konferencyjnych: **53 (42 po doktoracie)**

Liczba cytowań publikacji według Web of Science (na dzień 28.02.2016 ): **50\***, bez autocytowań **33**

Indeks Hirscha (na dzień 28.02.2016) według bazy Web of Science: **4**

\*- łącznie z pracami stanowiącymi **Osiągnięcie naukowe**

## ZESTAWIENIE DOROBKU NAUKOWEGO

L.p.	Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	IF w roku publikacji	5-letni IF	Punkty wg MNiSW <sup>a</sup>	Punkty wg MNiSW <sup>b</sup>
1.	Wszechświat	1			0	0
2.	Pszczelarstwo	1			0	0
3.	Acta Horticulturae	1			0	0
4.	Pszczelnicze Zeszyty Naukowe (Journal of Apicultural Science od 2001)	1		0,702	2	25
5.	Acta Scientiarum Polonorum, Biologia	1			1	0
6.	Pamiętnik Puławski (Polish Journal of Agronomy od 2009)	1			5	10
7.	Annales UMCS Lublin, sectio EEE Horticultura	3			8	6
8.	Journal of Elementology	1			4	15
9.	Vegetable Crops Research Bulletin (Journal of Horticultural Research od 2013)	1			6	14
10.	Electronic Journal of Polish Agricultural Universities	1			4	12
11.	Acta Agrobotanica	12			52	168
12.	Journal of Apicultural Science	2	0	1,404	10	50
13.	Acta Physiologiae Plantarum	1	1,344	1,67	20	25
14.	Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus	6 (2)*	2,779	3,00	104	90
15.	Plant Systematics and Evolution	2	2,412	3,1	46	40
16.	Protoplasma	2 (1)*	5,822	5,44	55	60
17.	The Scientific World Journal	1 (1)*	1,219	1,60	30	0
18.	Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica	1 (1)*	0,73	1,04	20	20
19.	International Journal of Food Properties	1 (1)*	0,915	1,23	25	25
20.	Botany	1 (1)*	1,278	1,73	25	25
21.	Scientia Horticulturae	2 (2)*	2,73	3,58	70	70
	<b>Razem</b>	<b>43 (9)*</b>	<b>19,319 (11,286)*</b>	<b>24,496 (12,90)*</b>	<b>487 (235)*</b>	<b>655 (205)*</b>

<sup>a</sup> - obowiązujące w roku wydania publikacji

<sup>b</sup> - zgodnie z aktualną listą czasopism punktowanych

\*- dotyczy publikacji wchodzących w skład **Osiągnięcia naukowego**

*Agata Komarska*