



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO I
OGRODNICTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Krzysztof Pietrzykowski

**WPŁYW USZKODZEŃ MECHANICZNYCH CZĘŚCI
NADZIEMNYCH NA CECHY JAKOŚCIOWE, WIELKOŚĆ
PLONU ORAZ WARTOŚĆ UTRACONYCH KORZYŚCI
W PRODUKCJI ZIEMNIAKA**

*The influence of mechanical damage to above-ground
parts on quality features, yield quantity and the value of
lost benefits in potato production*

DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE
DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO

PROMOTOR

DR HAB. INŻ. EDWARD WILCZEWSKI, PROF. PBŚ
POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH

PROMOTOR POMOCNICZY

DR INŻ. ALICJA TYMOSZUK
POLITECHNIKA BYDGOSKA IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH

Bydgoszcz, 2024

*Po tych kilku latach prac doświadczalnych,
zbierania materiałów, opracowywania wyników
i w końcu pisania rozprawy doktorskiej
teraz już wiem, jakie znaczenie ma pomoc życzliwych osób.
W sposób szczególny pragnę podziękować:*

*Prof. dr hab. inż. Grażynie Harasimowicz-Hermann
za inspirację, od której zaczęła się ta droga.*

*Dr hab. inż. Edwardowi Wilczewskiemu prof. PBŚ
za ogrom cierpliwości i poświęconego czasu,
motywację do działania, gdy już brakowało sił,
za udzielanie mi wielu konstruktywnych i nieocenionych porad
na każdym etapie realizacji tego doktoratu.*

*Dr inż. Alicji Tymoszuk
za liczne konsultacje i pomoc w redagowaniu manuskryptu.*

*Kierownictwu i Pracownikom
Pracowni Towaroznawstwa Rolno – Spożywczego WRiB PBŚ
za udostępnienie niezbędnej infrastruktury do realizacji badań laboratoryjnych
oraz wsparcie merytoryczne.*

*Dr. hab. inż. Lechowi Gałęzewskiemu prof. PBŚ
za pomoc w statystycznym opracowaniu wyników*

*Prof. dr. hab. inż. Dariuszowi Piesikowi oraz Koleżankom i Kolegom
ze szkoły doktorskiej
za cenne sugestie przekazane podczas seminariów.*

*Państwu Smorawskim
za możliwość realizacji badań w ich gospodarstwie rolnym*

*W sposób szczególny dziękuję również mojej żonie i dzieciom
za to, że zawsze są, nawet gdy mnie dla nich jest zbyt mało...*

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ	8
3. PRZEGLĄD LITERATURY	9
3.1. ZNACZENIE UPRAWY ZIEMNIAKA W POLSCE I NA ŚWIECIE	9
3.2. WYMAGANIA ŚRODOWISKOWE I AGROTECHNIKA ZIEMNIAKA	11
3.3. REAKCJA ZIEMNIAKA NA CZYNNIKI STRESOWE	17
3.4. MOŻLIWOŚCI REGENERACYJNE ROŚLIN ZIEMNIAKA	19
4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ	23
4.1. LOKALIZACJA DOŚWIADCZENIA	23
4.2. CZYNNIKI I UKŁAD DOŚWIADCZENIA	23
4.3. AGROTECHNIKA STOSOWANA W UPRAWIE ZIEMNIAKA	25
4.4. WARUNKI METEOROLOGICZNE	27
4.5. BADANIA I OBSERWACJE POLOWE	30
4.6. BADANIA LABORATORYJNE	31
4.7. ZASTOSOWANE METODY STATYSTYCZNE	32
5. OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW	34
5.1. PLON BULW ZIEMNIAKA I JEGO STRUKTURA	34
5.2. ZAWARTOŚĆ SUCHEJ MASY W BULWACH ZIEMNIAKA	44
5.3. ZAWARTOŚĆ SKROBI W BULWACH ZIEMNIAKA I JEJ PLON	48
5.4. ZAWARTOŚĆ CUKRÓW W BULWACH ZIEMNIAKA	54
5.5. ANALIZA WSPÓLZALEŻNOŚCI CECH PRODUKCYJNYCH I JAKOŚCIOWYCH	60
5.6. WIELOCECHOWA OCENA WIELKOŚCI I JAKOŚCI PLONU	63

5.7. OCENA SKUTKÓW EKONOMICZNYCH USZKODZEŃ CZĘŚCI NADZIEMNYCH ZIEMNIAKA	65
6. WNIOSKI	69
7. BIBLIOGRAFIA	71
8. STRESZCZYNIE	86
9. ABSTRACT	88
ANEKS	90
Spis tabel, rysunków i fotografii	98

1. WSTĘP

Ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) to gatunek o ogromnym znaczeniu gospodarczym w wielu krajach [Devaux i in., 2020]. Obserwowane zmiany związane z ocieplaniem klimatu zagrażają jednak produkcji tego gatunku, ponieważ niższe temperatury generalnie zapewniają stabilniejsze plony [Handayani i in., 2019]. Poza wzrostem średniej temperatury powietrza w skali globalnej istnieje szereg innych klimatycznych zagrożeń uprawy tej rośliny. Antropogeniczne działania, którym przypisywany jest wpływ na światowy bilans energetyczny zmieniają częstotliwość i intensywność wielu ekstremalnych zjawisk pogodowych [IPCC, 2019]. Przewiduje się postępujący wzrost prawdopodobieństwa występowania burz gradowych i siły ich destrukcyjnego działania. Obserwacje i modelowanie prowadzą do ogólnych wniosków, że częstotliwość burz gradowych wzrośnie zwłaszcza w Australii i Europie [Raupach i in., 2021]. Burze gradowe wywołują ogromne straty, zgłasza w uprawach rolnych poprzez destrukcję aparatu asymilacyjnego, pędów a nawet całych roślin [Childs i in., 2020]. Straty te mają często charakter wielkopowierzchniowy i dotyczą również uprawy ziemniaków. Oszacowanie faktycznie poniesionych strat wymaga badań symulacyjnych, ponieważ charakterystyka destrukcyjnego działania burz gradowych nie pozwala na odniesienie powstałej szkody do nieuszkodzonych obiektów referencyjnych [Irigoyen i in., 2011]. Również żerowanie szkodników owadzych prowadzi do destrukcji liści ziemniaka powodując straty w ilości i jakości plonu, co przy dużej gradacji agrofagów może powodować straty w wymiarze poszczególnych plantacji [Rodon i in., 2021]. Niezależnie jednak od przyczyny uszkodzeń ważne jest poznanie zdolności regeneracji rośliny ziemniaka i wpływu tych czynników na poniesione straty. Światowa literatura w zakresie wpływu różnego rodzaju uszkodzeń liści czy pędów nadziemnych ziemniaków na plon i jego jakość jest mało aktualna i niepełna. Są to głównie źródła sprzed ponad dekady lub starsze, oparte na bardzo różnych metodykach i niedostosowane do współczesnych realiów produkcyjnych. Badania te wymagają uzupełnienia wiedzy nie tylko w zakresie możliwości regeneracji części nadziemnych w różnych fazach wegetacyjnych współczesnych odmian ziemniaka ale również wpływu różnego stopnia uszkodzeń na cechy jakościowe bulw. Możliwości regeneracji uszkodzonych części nadziemnych lub ich brak przekładają się na nie tylko na wielkość i jakość plonu ale również na efekt finansowy uprawy tego gatunku, a w tym zakresie brak doniesień literaturowych uniemożliwia rzetelne oszacowanie poniesionych przez plantatora strat.

2. HIPOTEZA I CEL BADAŃ

Opierając się na przesłankach wynikających z wcześniejszych badań innych autorów przyjęto hipotezę, że uszkodzenia mechaniczne nadziemnych pędów ziemniaka mają negatywny wpływ na asymilację dwutlenku węgla i transport produktów asymilacji do bulw. W konsekwencji powoduje to ubytki w ilości i jakości plonu zależne od intensywności i terminu wystąpienia tych zdarzeń. Założono również, że pogorszenie jakości plonu może być w niektórych obiektach tak znaczne, że będzie skutkowało nawet dyskwalifikacją plonu dla celów handlowych lub wykorzystania go w produkcji artykułów o mniejszych wymaganiach jakościowych.

Celem badań było określenie zależności pomiędzy rodzajem, stopniem i terminem uszkodzeń mechanicznych części nadziemnych, a wielkością i wartością użytkową plonu bulw w odniesieniu do produkcji ziemniaków przemysłowych. Ocena tej zależności pozwoliła na poszerzenie wiedzy w zakresie reakcji ziemniaka na uszkodzenia części nadziemnych, co umożliwia bardziej precyzyjne określanie strat ponoszonych przez producentów w wielkości i jakości plonu prowadzonych upraw. Aktualnie nie ma narzędzi, które umożliwiałyby rzeczoznawcom prawidłową wycenę szkody jakościowej w uprawie ziemniaka. Badania posłużyły do określenia zależności między terminem wystąpienia ubytków powierzchni asymilacyjnej, rodzajem i skalą uszkodzeń nadziemnych organów roślin, a stratą wynikającą ze zmniejszenia plonu i pogorszenia jego jakości.

3. PRZEGLĄD LITERATURY

3.1. ZNACZENIE UPRAWY ZIEMNIAKA W POLSCE I NA ŚWIECIE

Ziemniak (*Solanum tuberosum*) stanowi pożywienie człowieka od ok. 8000 lat [Alamar i in., 2017, Lutaładio i in., 2009a]. Łatwość uprawy i plastyczność wobec warunków klimatycznych wynikająca z dostępności ok. 6000 odmian pozwalają na jego uprawę na całym świecie [Lutaładio i in., 2009a, Blecharczyk i in., 2023] od 47°S do 65°N, ale 90% całkowitej produkcji ziemniaków jest prowadzone w rejonach o szerokości geograficznej od 22°N do 59°N (Hijmans, 2001). Obecnie w skali globalnej ziemniak jest gatunkiem o bardzo dużym znaczeniu gospodarczym, stanowiąc obok pszenicy, ryżu i kukurydzy, podstawowy surowiec spożywczy [FAO, 2024]. Roślina ta uprawiana jest w 160 krajach, na areale przekraczającym 19 mln ha i konsumowana jest przez ponad miliard ludzi [Devaux i in., 2020, Gruzewska i in., 2016, Levy i Veilleux, 2007]. Areal uprawy ziemniaka dynamicznie się zwiększa, a od 1990 r. światowa produkcja bulw ziemniaka wzrosła o ok. 20% [Jennings i in., 2020]. Podczas gdy kraje o rolnictwie wysokonakładowym (USA, Francja i Niemcy) osiągają średnie plony ziemniaków przekraczające 45 Mg·hm⁻², to w większości pozostałych krajów są one znacznie niższe, co prowadzi do tego, że średnie plony ziemniaków na świecie wynoszą zaledwie 20 Mg·hm⁻² [Koch i in., 2017]. O dużej roli ziemniaków w produkcji żywności decyduje kilka czynników. Jednym z nich jest skład chemiczny bulw stanowiący o ich wartości odżywczej. Podstawę suchej masy bulw ziemniaka stanowi skrobia, ale poza nią znajduje się białko bogate w aminokwasy egzogenne, błonnik pokarmowy, makroelementy i mikroelementy, witaminy C, B₁, B₂, B₆, polifenole i karotenoidy [Zhou, 2019]. Przekłada się to na wysokie walory kulinarne i żywieniowe, zależne jednak od odmiany, agrotechniki i warunków przechowywania [Balpande i in., 2019, Czerko, 2015, Gopal i Khurana, 2006, Gościnnia i in., 2024, Zarzyńska i in., 2016]. Bulwy ziemniaka stanowią również surowiec przemysłowy do produkcji czystej skrobi [Gibson i Kurilich, 2013], czipsów i frytek [Tajner-Czopek i in., 2021] oraz bioetanolu [Izmirlioglu i Demirci, 2015, Jagatee i in., 2015]. Kolejnym czynnikiem decydującym o znaczeniu tego gatunku jest to, że jest jedną z najbardziej produktywnych roślin spożywczych pod względem wydajności energetycznej i dobrej jakości białka na jednostkę powierzchni w jednostce czasu (Jessie, 2017). Zwrócić jednak trzeba uwagę, że pomimo przynależności do grupy warzyw trwałych i łatwych do przechowywania [Ozturk i Polat, 2016], duża zawartość wody (70-80%) w bulwach [Balpande i in., 2019] sprawia, że względem możliwości okresu i kosztów przechowywania ziemniaki bardzo odbiegają od innych płodów

rolnych takich jak ziarno zbóż czy nasiona roślin bobowatych i oleistych, co z pewnością stanowi istotny czynnik ograniczający rozwój uprawy tego gatunku.

Globalna produkcja ziemniaków jest zlokalizowana głównie na półkuli północnej, a zwłaszcza w Europie, która obejmuje około 50% światowego obszaru upraw cechujących się stosunkowo wysokimi plonami [Birch i in., 2012, FAO, 2024]. Liderem w produkcji tego gatunku są Chiny wytwarzające prawie ¼ światowej produkcji [Li i Chang, 2021]. W Polsce światowe tendencje wzrostowe się nie potwierdzają. Polska przez wiele lat była liderem wśród czołowych producentów ziemniaków w skali Europy, które stały się w naszym kraju pożywieniem powszechnym [Pedersen i in., 2005]. W latach 60. ubiegłego wieku w Polsce uprawiano ziemniaki na areale 2,8 mln ha, co stanowiło 18,8% w strukturze zasiewów, przy zbiorach na poziomie 50 mln ton rocznie i klasyfikowało nasz kraj na drugim miejscu w skali globalnej [Petrick i Weingarten, 2004]. Analiza danych wskazuje jednak, że od tamtego czasu powierzchnia uprawy ziemniaków w Polsce systematycznie maleje [GUS 2023], natomiast w skali światowej rośnie. Jennings i in. [2020] oszacowali, że w latach 1960-2005 spożycie bulw ziemniaka w krajach rozwijających się wzrosło dwukrotnie. Kowalska i Gurkowska [2019] oceniają, że krajowy regres produkcji ziemniaków jest poważny, a jego skala tak duża, że nie ma odpowiednika w żadnym innym kraju. Pomimo, że w połowie XX w., zdaniem Zarzeckiej i in. [2013], ziemniak uważany był za symbol nowoczesności i postępu w produkcji roślinnej, który poprawił jakość żywienia ludzkości, to zdaniem Kowalskiej i Gurkowskiej [2019], obecny spadek znaczenia tego gatunku wynika z coraz częstszego zastępowaniu przez konsumentów nieprzetworzonych, świeżych ziemniaków gotowymi przetworami i produktami zbożowymi, np. kaszami, ryżem i makaronami. Dynamikę spadku areалу uprawy ziemniaka należy jednak wiązać w znacznej mierze również ze zmianą sposobu żywienia zwierząt, ponieważ w XIX i XX w. ziemniak stanowił podstawową paszę dla trzody chlewnej (w latach 90. na paszę przeznaczano około 50% zbiorów), którą z czasem zastąpiły inne komponenty, w tym głównie zboża i dodatki białkowe [Grużewska i in., 2016].

Rolę uprawy ziemniaka należy również rozpatrywać w aspekcie agro biocenotycznym. Przy obecnym wysokim wysyceniu struktury zasiewów zbożami uprawa ziemniaka ma ogromne znaczenie środowiskowe w zmianowaniu, przerywając monokultury zbożowe. Gatunek ten jest bardzo dobrym przedplonem dla wszystkich roślin uprawnych [Carter i in., 2009, Gruczek, 2004].

3.2. WYMAGANIA ŚRODOWISKOWE I AGROTECHNIKA ZIEMNIAKA

Ziemniaki uprawiane są w wielu regionach świata o zróżnicowanych warunkach klimatycznych. Podstawowym kryterium klimatycznym warunkującym uprawę tego gatunku są jednak warunki termiczne. W przypadku ziemniaka optymalna temperatura wzrostu wegetatywnego wynosi 24°C, ale maksymalną całkowitą biomasę można uzyskać w temp. 20°C [Fleisher i in., 2006, Timlin i in., 2006]. Uważa się jednak, że dla większości odmian najwyższe plony bulw osiąga się przy średnich temperaturach dziennych w zakresie 14–22°C. Dalszy wzrost temperatury otoczenia może zmniejszyć lub całkowicie zahamować produkcję bulw ziemniaka, co ma szkodliwe konsekwencje zarówno dla producenta, jak i konsumenta [Trapero-Mozos i in., 2018]. Ponieważ większość komercyjnych odmian ziemniaków została wyhodowana w regionach klimatu umiarkowanego, są one przystosowane do warunków Polski. Dają one największe plony w warunkach długiego dnia i przy umiarkowanych temperaturach. Występowanie temperatur znacznie odbiegających od optimum termicznego dla ziemniaka istotnie zmniejsza plony. W miarę przenoszenia produkcji ziemniaków do obszarów świata, w których warunki termiczne nie spełniają potrzeb tego gatunku, mamy do czynienia z ograniczeniami potencjału produkcyjnego ziemniaka [Levy i Veilleux, 2007].

Kolejnym czynnikiem klimatycznym determinującym produkcję ziemniaka jest rozkład opadów i ilość dostępnej wody [Jama-Rodzeńska i in., 2021]. Nawet niewielkie niedobory wody mogą istotnie redukować biomasę nadziemnych części rośliny, która determinuje z kolei wielkość plonu [Cantore i in., 2014]. Badania Milic i in. [2010] wskazują, że przy umiarkowanych temperaturach powietrza optymalna dla uprawy ziemniaka jest wilgotność podłoża na poziomie 70% połowej pojemności wodnej. W odniesieniu do opadów przekłada się to na zakres optimum w przedziale 400 – 800 mm zależnie od warunków glebowych i termicznych [Ekanayake, 1989]. Zdaniem Dzieżyca i in. [2012] w warunkach Polski suma opadów optymalna do uzyskania największych plonów bulw odmian wczesnych ziemniaka na glebach pszennych wynosi: 105 mm w okresie kwiecień–maj oraz 205 mm w czerwcu i lipcu. Na glebach żytnich optymalna suma opadów wynosi w tych okresach odpowiednio 156mm i 255mm. Niedobory wody oddziałują również bezpośrednio na bulwy, powodując ich deformację i pogorszenie jakości, co skutkuje mniejszą efektywnością produkcji. Straty w plonie bulw ziemniaka w przypadku braku wody mogą sięgać nawet 69% [Salih i in., 2018]. Ważna jest nie tylko ilość opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym ale również ich rozkład.

Okazuje się, że najwyższy plon i jakość ogólną bulw ziemniaków można uzyskać, gdy w początkowych fazach wzrostu ziemniaki poddane są łagodnemu stresowi niedoboru wody, pod warunkiem, że w pozostałych okresach wzrostu woda jest dostępna [Li i in., 2021]. Jeśli rozkład opadów jest nierównomierny, a zwłaszcza gdy występują długotrwałe okresy niedoborowe, należy spodziewać się obniżenia plonu i pogorszenia jego jakości [Romero i in., 2017]. Trzeba jednak pamiętać, że o ile niedobory i gwałtowne wahania ilości dostępnej wody mogą sprzyjać deformacjom bulw, to nadmiar wody może sprzyjać rozwojowi chorób korzeni i bulw oraz być czynnikiem ograniczającym gromadzenie skrobi w bulwach [Gondwe i in., 2020, Wang i in., 2006]. Za krytyczne okresy zapotrzebowania ziemniaka na wodę uznaje się: tworzenie pąków kwiatowych, tworzenie bulw (tuberyzacja) i narastanie masy bulw [Farooq, 2009, Rolbiecki i in., 2015].

Wysoki poziom plonowania i jakości ziemniaków jest możliwy do osiągnięcia jedynie w warunkach stosowania poprawnej agrotechniki. Powinna ona uwzględniać właściwości gleby, przedplon, warunki pogodowe oraz możliwości uzyskania wysokiej efektywności ekonomicznej ponoszonych nakładów. Największe znaczenie dla plonowania ziemniaka mają takie elementy agrotechniki jak: przygotowanie gleby, właściwe nawadnianie, nawożenie upraw, zwalczanie szkodników i chorób oraz zbiory i przechowywanie [Asci i in., 2015, Devaux i in., 2020]. Wielkość plonowania i produkcji roślinnej w 30 do 50% jest determinowana nawożeniem [Jin i in., 2006]. Stąd wśród czynników decydujących o wzroście i plonie ziemniaka szczególne znaczenie ma gospodarka nawozowa [Tiemens-Hulscher, 2014]. Ziemniaki mają płytki system korzeniowy, stąd aplikowane nawozy w postaci mineralnej powinny być łatwo dostępne dla roślin, co ułatwia ich wchłanianie oraz zwiększa odporność roślin i efektywność fotosyntezy [Saravia i in., 2016, Savy i Cozzolino, 2022, Bindraban i in., 2020]. Ze względu na płytki system korzeniowy wytwarzany przez roślinę ziemniaka w standardowych technologiach uprawy, należy rozważyć zastosowanie czynników stymulujących jego wzrost. Efekt taki można uzyskać przez wglębną aplikację nawozów. Niedziński i in. [2023] wskazali, że aplikacja nawozów na głębokość 20 cm skutkuje wzrostem długości i całkowitej powierzchni systemu korzeniowego, co ostatecznie przekłada się na wyższe plonowanie w stosunku do nawożenia powierzchniowego. W przeciwieństwie do innych roślin okopowych, ziemniaki są szczególnie wrażliwe na niedobory składników odżywczych (zwłaszcza azotu, fosforu i potasu), które wpływają istotnie na plony bulw i ich jakość [Otieno i Mageto, 2021]. Należy jednak mieć świadomość, że choć nawożenie jest czynnikiem plonotwórczym i zapewnia bezpieczeństwo żywnościowe, to nadmierne nawożenie, zwłaszcza

w niesprzyjających warunkach środowiskowych, zmniejsza plony i efektywność ekonomiczną produkcji oraz negatywnie wpływa na środowisko [Li i in., 2015, Koch i in., 2020, Singh i Sandhu, 2023, Wang i in., 2019].

Azot stanowi 1 - 4% suchej masy roślin i jest uważany za główny składnik plonotwórczy [Kumari i in., 2022]. Ziemiaki pobierają z gleby około 4 kg N i 6,5 kg K na każdą tonę wyprodukowanych bulw [Otieno i Mageto 2021]. Zapotrzebowanie to jest jednak różne na poszczególnych etapach wzrostu - największe zapotrzebowanie na makroskładniki to okres początkowego wzrostu bulw, który zależy od wczesności odmiany przypada między 42. a 70. dniem po posadzeniu (Fernandes i in., 2011). Oceniając jednak zapotrzebowanie plantacji na składniki pokarmowe należy uwzględnić możliwy poziom plonowania wynikający z warunków klimatyczno-glebowych oraz dynamiki wzrostu [Stark i in., 2004]. W krytycznej fazie przyrostu bulw dzienne zapotrzebowanie rośliny na N wynosi około $4,5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ [Haifa, 2019]. Składnik ten jest jednak gromadzony w różnych ilościach w poszczególnych częściach rośliny. Podczas zbiorów około 20–25% i 75–80% całkowitego azotu zawartego w roślinie znajduje się odpowiednio w pędach i bulwach, co jest ważne z punktu widzenia możliwości regeneracji ewentualnych uszkodzeń poszczególnych organów rośliny [Stark i in., 2004]. Metaanaliza relacji nawożenia azotem i plonu bulw wykonana przez Otieno i Mageto [2021] wskazuje, że plony ziemniaków gwałtownie wzrastały wraz ze zwiększaniem dawki N do około $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, po czym zaczęły rosnać w wolniejszym tempie do dawki $250 \text{ kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$. Przyrost plonu do dawki 300 kg N na hektar był już niewielki. Potwierdzają to wcześniejsze wnioski z badań Adhikari [2009], uznającego dawkę azotu na poziomie $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ za optymalną, oraz Fontes i in. [2010] wskazujących, że agronomiczna efektywność wykorzystania N ziemniaka maleje liniowo wraz ze wzrostem dawki N powyżej $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Optymalna dawka azotu zależy jednak od warunków przeprowadzonych testów, ponieważ inni autorzy podają inne dawki jako optymalne, np. Ruža i in. [2013] $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, czy Kumar i in. [2009] $160 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Zdaniem Gathangu i in. [2000] ważny jest dobór optymalnej dawki nawożenia, a nie forma nawozu w jakiej azot jest podawany. Należy również zwrócić uwagę, że nadmierne nawożenie azotem pogarsza jakość bulw ziemniaków, ponieważ zmniejsza zawartość suchej masy i skrobi [Ma i in., 2012, Margus i in., 2022, Michalska i in., 2016, Petropoulos i in., 2020]. Może ono również doprowadzić do przedłużenia faz wegetatywnych i opóźnić zawiązywanie bulw [Gttnasena i Harris, 1971]. Jednorazowa aplikacja pełnej dawki nawozów azotowych może też wiązać się ze znacznymi stratami azotu. Zasadne jest aplikowanie azotu w dawkach dzielonych stosowanych przed

sadzeniem i w trakcie wegetacji, w okresie zawiązywania bulw, skutkując zwiększeniem plonu bulw i poprawą jego jakości [Ghosh, 2019].

Podstawowym składnikiem nawozowym stosowanym w produkcji ziemniaków jest również fosfor. Determinuje on zawiązywanie bulw ziemniaka i ich wzrost szczególnie we wczesnych stadiach rozwojowych [Jenkins i Ali, 2000, Hopkins i in., 2014]. W późniejszych fazach wzrostu, fosfor pozytywnie wpływa na dojrzewanie bulw [Hopkins i in., 2014, Rosen i in., 2014]. Nawożenie tym pierwiastkiem może jednak negatywnie wpływać na wielkość bulw zwiększając odsetek bulw małych w plonie [Jenkins i Ali, 2000, Rosen i in., 2014]. Zapotrzebowanie ziemniaka na fosfor w pierwszych tygodniach wzrostu jest niskie, ale wzrasta w późniejszych fazach rozwojowych, gdy wykształcane są bulwy. Większość tego składnika pokarmowego jest pobierana między 40. a 60. dniem po wschodach [Horneck i Rosen, 2008, Rosen i in., 2014]. Nawozy fosforowe na ogół stosuje się w całości przedsięwzięciu, ponieważ rozdzielanie dawki na przesiewną i pogłówną nie wykazuje wzrostu efektywności wykorzystania fosforu [Hopkins i in., 2010, Stark i Hopkins, 2015]. Ze względu na słabą rozpuszczalność fosfor jest pierwiastkiem o małej mobilności w glebie, co skutkuje występowaniem objawów niedoboru tego pierwiastka w pierwszych fazach rozwojowych, w których wzrost korzeni ziemniaka jest powolny [Hopkins, 2013]. System korzeniowy ziemniaka jest płytki i stosunkowo niewielki, przez co cechuje się małą wydajnością, co również jest przyczyną niskiej efektywności wykorzystania nawozów fosforowych [Hopkins i in., 2014].

Bardzo ważnym elementem produkcji ziemniaków jest również optymalizacja nawożenia potasem, który odgrywa kluczową rolę podczas wzrostu i rozwoju bulw oraz wpływa na kształtowanie ich jakości [Thompson, 2010]. Optymalne zaopatrzenie roślin w ten składnik pokarmowy zwiększa efektywność wchłaniania N i wykorzystania wody [Marschner, 1995, Mehdi i in., 2007, Pervez i in., 2013]. Współdziałanie K i N wywiera korzystny wpływ na wskaźnik ulistnienia i powierzchni liści [Marton, 2001, Saha i in., 2001]. Zapotrzebowanie na potas jest zależne od fazy rozwojowej roślin, dzienne zapotrzebowanie może sięgać nawet $6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, jednak większość tego składnika nie jest kumulowana w bulwach, ponieważ ziemniaki mają tendencję do pobierania większej ilości potasu, niż potrzebują [Haifa, 2019]. Podobnie jak w przypadku azotu, plony bulw rosły równomiernie, aż do $150 \text{ kg K}_2\text{O}$ na hektar, po czym zaczęły rosnąć w malejącym tempie, osiągając maksimum na poziomie około $300 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$ [Otieno i Mageto, 2021]. Jakkolwiek, ze względu na efektywność nawożenia i jakość plonu, nie jest zalecane stosowanie dawek przekraczających $200 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$ [Karam i in., 2011, Khan i in., 2010, Stark i in., 2004]. Nie ma zgodności co do wpływu formy aplikowanego potasu na plon.

Guanadi [2016] twierdzi, że siarczan potasu jest lepszy od chlorku potasu w aspekcie plonowania, a Kumar i in. [2007] nie stwierdzili takiej różnicy.

Ze wszystkich upraw polowych ziemniaki najlepiej reagują na nawożenie organiczne [Lutaladio i in., 2009b], dlatego powszechnie stosuje się w uprawie tego gatunku aplikację obornika lub kompostów [Mugo i in., 2020, Tadesse i in., 2017]. Ma to nie tylko związek z wzbogacaniem gleby w składniki pokarmowe ale również z poprawą właściwości fizykochemicznych gleby [Adekiya i in., 2020, Otieno i in., 2018]. Zalecane dawki obornika są bardzo zróżnicowane zależnie od pochodzenia odchodów (gatunku zwierząt), właściwości gleby oraz terminu aplikacji i wahają się w zakresie od $3,15 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (pomiot kurzy) [Achiri i in. 2018] do $28,8 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (bydło, trzoda chlewna) [Girma i in., 2017]. Wraz z rozwojem nauki uwzględnia się coraz częściej aspekty ochrony środowiska w produkcji rolniczej, stąd stopniowo zwiększa się wykorzystanie nawozów organicznych. Stosowanie samego nawozu organicznego może jednak nie w pełni zaspokoić zapotrzebowanie roślin, ponieważ koncentracja składników pokarmowych jest w nich na ogół stosunkowo niska, a ponadto ich uwalnianie jest efektem procesów mikrobiologicznych wymagających czasu. W związku z tym nawożenie organiczne często wymaga uzupełnienia nawożeniem mineralnym [Annicchiarico i in., 2011, Sleutel i in., 2006]. Właściwa aplikacja organicznych i nieorganicznych źródeł składników odżywczych może być pomocna w uzyskaniu dobrego efektu ekonomicznego przy zachowaniu dobrej kondycji gleby [Cui i in., 2018, Fahad i in., 2022, Girma i in., 2017, Isreal i in., 2018, Khadem i in., 2010].

Ponieważ bulwy są organem, w którym rośliny ziemniaka akumulują przez cały okres wegetacji asymilaty, plony zależą od ukształtowania powierzchni asymilacyjnej, głównie liści. Aby uzyskać plon ziemniaków na poziomie $40\text{-}45 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, wymagana powierzchnia asymilacyjna liści powinna wynosić $40\text{-}50 \text{ tys. m}^2$ z hektara [Shashkarov i in., 2019]. Powierzchnia liści roślin ziemniaka zmienia się w trakcie wzrostu i rozwoju. Dynamikę tą zobrazowali Hack i in. [1993]. Największą powierzchnię liści ziemniaki wykształcają w fazie zawiązywania owoców [Hack i in., 1993]. Jednak to liście górnej warstwy mają największą zdolność absorpcyjną, ponieważ są najmniej zacienione. Ze względu na fakt, że liście niższych poziomów wytwarzają mniej materii organicznej w procesie fotosyntezy, ich wzrost i rozwój wynika w dużej mierze z napływu składników odżywczych z liści górnego poziomu. Napływające substancje są szybko pochłaniane przez liście dolne, które w wyniku tego szybko obumierają [Kolbe i Stephan-Beckmann, 1997]. Aby uzyskać wysoki plon dobrej jakości, należy stworzyć warunki, w których powierzchnia liści osiągnie optymalną wielkość tak szybko, jak to możliwe

i pozostanie tak długo, jak to możliwe, na co wpływ ma głębokość sadzenia i sposób przygotowania bulw przed sadzeniem [Shashkarov i in., 2019]. Jedną z metod przygotowania bulw do sadzenia jest ich przetrzymywanie w wyższych temperaturach, co stymuluje szybszy rozwój pędów i zwiększa dynamikę wzrostu całej rośliny [Eremeev i in., 2003, Struik i Wiersema, 1999]. Poza wcześniej omawianymi czynnikami agrotechnicznymi takimi jak przygotowanie materiału sadzeniakowego i sposób sadzenia, nawadnianie czy nawożenie, rozwój aparatu asymilacyjnego można także stymulować przez aplikację biostymulatorów [Wadas i Dziugiel, 2020]. Warto również mieć na uwadze, że o pokroju rośliny decyduje ilość docierających promieni słonecznych [Li i in., 2012], przy czym rośliny ziemniaka są tolerancyjne na niewielkie zacienienie, a nawet może ono pozytywnie wpłynąć na wielkość plonowania [Mariana i Sauman-Hamdani, 2016]. Zbyt słabe natężenie docierającego światła, poza zmianą pokroju roślin, które cechują się wydłużonymi pędami, skutkuje jednak obniżeniem plonu, mniejszymi bulwami i ich nieregularnym kształtem [Gawrońska i in., 1990]. W tropikach i subtropikach jest wystarczająco dużo promieniowania (nawet w zacienionych warunkach), aby osiągnąć punkt nasycenia światłem ziemniaka i na plon ma większy wpływ konkurencja o wodę i składniki odżywcze. W strefie umiarkowanej Europy, plony są zmniejszane przez cień i niższe całkowite natężenie promieniowania słonecznego [Schulz i in., 2019].

Optymalizacja agrotechniki pozwala na zmaksymalizowanie plonów ziemniaków oraz uzyskanie satysfakcjonującej jakości otrzymanego surowca, pod warunkiem przyjęcia najlepszych praktyk zarządzania (*best management practices BMPs*), dostosowanych do specyficznych warunków uprawy [Asci i in., 2015, Devaux i in., 2021]. Zarządzanie to obejmuje wszystkie elementy agrotechniki: przygotowanie gleby, właściwe nawadnianie, nawożenie upraw, zwalczanie szkodników i chorób oraz zbiory i przechowywanie [Ahmed i Sharma, 2023]. Jednym z większych problemów wdrożenia BMPs jest zmienność przestrzeni produkcyjnej wynikająca ze zmienności glebowej, ukształtowania terenu i innych specyficznych właściwości siedliskowych. Sprawia to, że nie można przyjąć jednej ustalonej agrotechniki dla całego obszaru produkcyjnego. Jest wprawdzie możliwa minimalizacja zmienności glebowej na polu produkcyjnym poprzez niwelację nierówności terenu [Naresh i in., 2021] ale są to zabiegi dyskusyjne pod względem zgodności z potrzebami środowiskowymi. Obecnie jest możliwe sterowanie narzędzi uprawowych za pomocą GPS [Moeller i in. 2020]. Precyzyjne zmapowanie zmienności pola w połączeniu z technologią zmiennej dawki (*variable rate technology VRT*) aplikacji nasion, nawozów oraz środków ochrony roślin dostosowanych do specyficznych potrzeb różnych obszarów pola (*precision agricultural*

technologies PAT) pozwala na pełną realizację BMPs [Bohman i in. 2019]. Dostępna jest szeroka literatura dotycząca wykorzystania tych technologii w uprawie ziemniaka [Dadrasi i in., 2022, Dubois i in., 2021, Lee i Shin, 2020].

3.3. REAKCJA ZIEMNIAKA NA CZYNNIKI STRESOWE

Zmienne warunki środowiskowe wykraczające poza zakres tolerancji danego gatunku, mogące negatywnie wpłynąć na wzrost i zmniejszyć plon, wywołują zjawisko stresu abiotycznego [Cramer i in., 2011]. Bardzo szeroki zakres geograficzny, w którym uprawiane są ziemniaki sprawia, że w pewnych obszarach narażone są one na różne warunki stresogenne [Bohnert, 2007]. Do stresów abiotycznych zmniejszających plony zalicza się nadmierne promieniowanie UV [Jansen, 2002], stres cieplny [Herman i in., 2017], stres zimna [Oufir i in., 2008] oraz zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem azotu i ozonem [Bahl i Kahl, 1995]. Najważniejszym jednak czynnikiem abiotycznym determinującym plonowanie i jakość plonu jest stres suszy [Obidiegwu i in., 2015].

Rośliny ziemniaka są bardzo wrażliwe na wysoką temperaturę powietrza [Levy i Veilleux, 2007]. O zakresie niekorzystnego wpływu wysokiej temperatury decyduje faza rozwojowa, w której rośliny są na nią eksponowane. Ekstremalnie wysokie temperatury na początku wegetacji skutkują większym spadkiem plonowania niż te występujące w późniejszych fazach rozwojowych [Aien i in., 2016]. Wiąże się to z opóźnieniem tuberyzacji i skróceniem okresu wzrostu bulw. W przypadku uprawy ziemniaka mniejsze negatywne skutki produkcyjne wywołują niskie temperatury (ok. 15°C) niż temperatury przekraczające górną granicę tolerancji termicznej tego gatunku [Struik, 2007]. Zbyt niska temperatura ma jednak również istotny negatywny wpływ na wzrost i rozwój roślin ziemniaka i tym samym na wielkość plonu i jego jakość [Chen i in., 2024, Wang i in., 2021]. Temperatura poniżej 7°C zatrzymuje wzrost roślin, zauważalne uszkodzenia występują przy -0,8°C, zaś spadek temperatury poniżej -2°C skutkuje trwałymi uszkodzeniami, a poniżej -3°C śmiercią rośliny [Fuyi i Mengyun, 1995]. W pewnym stopniu unikanie ekstremów termicznych można uzyskać poprzez dostosowanie terminu sadzenia bulw do lokalnych warunków pogodowych i poprzez odpowiedni dobór odmiany [Hijmans, 2001, 2003].

Ziemniak w porównaniu z wieloma innymi roślinami uprawnymi efektywnie gospodaruje wodą [Vos i Haverkort, 2007] ale jest wrażliwy na jej niedobory ze względu na płytki system korzeniowy i małe zagęszczenie korzeni oraz niską zdolność regeneracji po stresie wodnym [King i in., 2020, Wishart i in., 2014]. Niedobory wody w okresie wegetacji istotnie obniżają plonowanie

tego gatunku [Aliche i in., 2018, Soltys-Kalina i in., 2016]. W warunkach Polski Dzieżyc i in. [2012] wskazują na stratę plonu bulw o $16,6 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ spowodowaną spadkiem sumy opadów w okresie kwiecień–maj i czerwiec–lipiec, odpowiednio do 90 i 105 mm w stosunku do opadów uznanych w badaniach za optymalne. W Holandii straty w plonach spowodowane suszą oceniane są na ubytek 117 kg bulw na hektar na każdy milimetr niedoboru opadów (Vos i Groenwold, 1987).

Również czynniki biotyczne negatywnie wpływają na wzrost, rozwój i ostateczne na plon ziemniaka. Do ważnych czynników stresu biotycznego w produkcji ziemniaków zalicza się choroby takie jak: zaraza późna (*Phytophthora infestans*) [Nowicki i in., 2012], alternarioza (*Alternaria solani*) [Niu i in., 2022, Schmey i in., 2024], parch srebrzysty (*Helminthosporium solani*) [Kmoch i in., 2024, Osowski, 2021], zgnilizna korzeniowa (*Rizoctonia solani*) [Kiptoo i in., 2021, Naqvi i in., 2024], wercilioza (*Verticillium dahliae*) [Lizarazo i in., 2023, Zhang i in., 2023].

Poważne straty gospodarcze w uprawie ziemniaka powodowane są również efektami żerowania szkodników, które powodują uszkodzenie aparatu asymilacyjnego, uszkodzenie bulw, przenoszenie czynników chorobowych. Stonka ziemniaczana (*Leptinotarsa decemlineata*) jest najpowszechniejszym szkodnikiem ziemniaka, będąc jego najważniejszym defoliantem. Uważana jest również za jeden z najbardziej trwałych szkodników ziemniaka, ponieważ ma duże zdolności adaptacyjne [Molnar i Rakosy-Tican, 2021, Rodon i in., 2021]. Innymi ważnymi szkodnikami upraw ziemniaka są owady żerujące na bulwach: rolnice (*Lepidoptera*) [Wang i in., 2020], drutowce (*Elateridae*) [Rashed i van Herik, 2024]. Ponadto istotny negatywny wpływ na produkcję ziemniaków mają nicienie pasożytnicze: węgorek biały (*Globodera pallida*) i węgorek żółty (*Globodera rostochiensis*) [Eves-van den Akker i in., 2016].

Innym źródłem negatywnych interakcji biotycznych jest zachwaszczenie. Zakres wpływu chwastów na plon i jego jakość determinowany jest szeregiem składowych: spektrum gatunkowym roślinności segetalnej, wielkością utworzonej przez nią biomasy, wysokością roślinności zachwaszczającej, powierzchnią i gęstością pokrycia, czasem trwania negatywnego oddziaływania konkurencyjnego w okresie wegetacji roślin uprawnych, wielkością absorpcji wody i składników mineralnych z gleby przez chwasty, oddziaływaniami allelopatycznymi oraz innymi czynnikami [Ganie i in., 2023, Shuvar i Korpita, 2016, Shuvar i in., 2022, Skiba i in., 2021].

3.4. MOŻLIWOŚCI REGENERACYJNE ROŚLIN ZIEMNIAKA

Roślina ziemniaka wykształca bulwy gromadzące w postaci skrobi asymilaty wytworzone przez organy nadziemne. Masa bulw zależna jest zatem od całkowitej produkcji biomasy i jej komponentów, w tym biomasy organów nadziemnych [Begum i in., 2018]. Jak wynika z danych prezentowanych przez Jama-Rodzeńską i in. [2021] zależność ta jest dynamiczna i wraz z upływem czasu stosunek masy części nadziemnych do masy bulw maleje. Liczba bulw na powierzchni i ich średnia masa są zależne od zagęszczenia pędów [Bussan i in., 2007]. Zmniejszenie zagęszczenia pędów wynikające z różnych czynników nie pozostaje zatem bez wpływu na plon bulw.

Uszkodzenia pędów nadziemnych ziemniaka mogą być wywołane zarówno czynnikami biotycznymi takimi jak żerowanie owadów lub namnażanie patogenów chorobotwórczych, a także czynnikami abiotycznymi, np. przymrozkiem, huraganem, deszczem nawalnym, czy gradobiciem. Niezależnie od przyczyny zjawisko to stanowi problem dla producentów ziemniaków skutkujący utratą części plonu i jest on od kilkadziesiąt lat przedmiotem badań naukowych [Cranshaw i Radcliffe, 1980, Irigoyen i in., 2011, Shields i Wyman, 1984, Wellik i in., 1981, Ziems i in., 2006].

Wystąpienie ekstremalnych zjawisk pogodowych, bądź gradacja szkodników stwarza na ogół brak możliwości wyznaczenia reprezentatywnych miejsc referencyjnych (nieuszkodzonych) na przestrzeni produkcyjnej w celu ustalenia wielkości faktycznych strat. Ze względu na losowość tych zjawisk nie ma również możliwości wprowadzenia ich jako czynnika kontrolowanego w doświadczeniach polowych. W badaniach naukowych ukierunkowanych na sparametryzowanie relacji między uszkodzeniami a stratą jakości i ilości plonu problem ten rozwiązywany jest poprzez symulowanie zjawisk powodujących uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka, polegające na defoliacji, czyli sztucznym usuwaniu liści [Irigoyen i in., 2011]. Poszczególni autorzy stosują jednak wiele różnych technik mechanicznego uszkodzania części nadziemnych ziemniaka.

Reakcja upraw ziemniaka na defoliację zależy od wielu czynników, w tym od odmiany [Irigoyen i in., 2011], rodzaju i intensywności uszkodzeń [Cranshaw i Radcliffe, 1980, Irigoyen i in., 2011, Kołodziejczyk, 2012, Orr i in., 1991, Wille i Kleinkopf, 1988, Workman i in., 1979], warunków uprawy [Cormack i in., 1992, Wille i Kleinkopf, 1988, Ziems i in., 2006], czasu dojrzewania roślin [Cranshaw i Radcliffe, 1980, Mujica i Kroschel, 2013], terminu defoliacji [Beresford, 1967, Cranshaw i Radcliffe, 1980, Feibert i in.,

1994, Irigoyenet i in., 2011, Orr i in., 1991, Workman i in., 1979], okresu między defoliacją a zbiorami [Jewell i Stanley, 1989].

Jeśli uszkodzenie części nadziemnych roślin ziemniaka skutkuje zmniejszeniem plonowania lub jakości plonu, to maleje opłacalność takiej uprawy. Stąd w ramach kosztów produkcji warto rozważyć ubezpieczenie. Ma to duże znaczenie dla zarządzania ryzykiem producenta. Jednym z takich zjawisk jest gradobicie. Ubezpieczyciele potrzebują jednak informacji specyficznych dla regionu, na których można oprzeć szacowanie szkód spowodowanych gradobicie [Pavek, 2018]. Brak takich wytycznych wymusza zastosowanie modeli szacowania strat dla innych gatunków roślin, co jest mało wiarygodnym działaniem. Niezależnie od przyczyny efektem uszkodzenia jest zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej, w której największy udział mają liście. Reakcja plonu na defoliację jest przede wszystkim funkcją przechwytywania światła [Jesse i in. 2006]. Zazwyczaj ilość utraconego aparatu asymilacyjnego jest dodatnio skorelowana ze stratą plonu bulw ziemniaka [Peterson i Higley, 2001]. Trzeba jednak zauważyć, że niewielkie uszkodzenia liści u niektórych gatunków roślin uprawnych, w tym również ziemniaka, mogą skutkować zwiększonym tempem fotosyntezy z powodu lepszej dostępności wody i składników odżywczych oraz światła dla pozostałych liści. Ponadto na skutek zdolności regeneracyjnych po defoliacji może nastąpić odrost liści poprawiający fotosyntezę netto [Peterson i Higley, 2001, Trumble i in., 1993]. Dwuletnie badania przeprowadzone przez Jesse i in. [2006] wskazują, że w poszczególnych latach reakcja ziemniaka na usunięcie części liści jest różna. W pierwszym roku badań usunięcie aż 75% powierzchni liści skutkowało utratą zaledwie 14% plonu. Zauważyć trzeba jednak, że usuwanie liści w tym przypadku miało miejsce pod koniec sezonu wegetacyjnego. W kolejnym roku badań 50% defoliacja skutkowała stratą plonu na poziomie 15%, a usunięcie 75% liści zmniejszyło plon o 22%. Większe straty plonu spowodowane mogły być tym, że liście usuwano w trzech terminach, tj. inicjacji bulw, pełni kwitnienia i dojrzałości roślin. Poza utratą masy plonu odnotowano również negatywny efekt w spadku jakości bulw na skutek zastosowanego czynnika. Defoliacja zmniejszała liczbę i masę bulw dużych (o średnicy 65–100 mm) oraz zwiększała liczbę bulw małych (o średnicy 47–64 mm). Nowsze badania zrealizowane na terenie Hiszpani polegające na symulacji uszkodzeń gradowych przez sztuczną defoliację przeprowadzili Irigoyen i in. [2011]. Autorzy testowali trzy odmiany ziemniaków, stosując cztery poziomy defoliacji w kilku fazach fenologicznych. Straty plonów dla każdego poziomu defoliacji zostały obliczone przez skorelowanie procentu zastosowanej defoliacji i wynikającego z tego procentu utraty plonów. Równania redukcji plonu autorzy obliczyli dla każdej próby i fazy fenologicznej.

Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że uszkodzenie pędów ziemniaka w czasie formowania bulw lub kwitnienia znacznie zmniejsza plon. Natomiast defoliacja po zakończeniu wzrostu bulw w niewielkim stopniu wpłynęła na plony. Autorzy konkludują również, że różnice w redukcji plonu to cecha odmianowa. Odmiana wczesna ('Jaerla') pod względem skutków defoliacji miała mniejszy potencjał do regeneracji niż odmiany o dłuższym cyklu ('Red Pontiac' i 'Baraka'). Wpływ na plony był podobny w różnych lokalizacjach. Autorzy również opracowali równania regresji mogące być wykorzystane do modelowania redukcji plonów w wyniku zabiegów defoliacji wywołanych różnymi czynnikami biotycznymi i abiotycznymi. Podobnie problem ten rozpoznali Pavek i in. [2018] na podstawie eksperymentu zrealizowanego w stanie Waszyngton. Autorzy określili wpływ symulowanej defoliacji spowodowanej gradem, stopniując nasilenie uszkodzeń na poziomie niskiego (33%), średniego (66%) i wysokiego (99%), w stosunku do nieuszkodzonej kontroli (0%) na plony i korzyści ekonomiczne producentów u jednej średnio- i jednej późnodojrzewającej odmiany ziemniaka w trzech fazach wzrostu (zawijanie, wczesne pęcznienie i późne pęcznienie bulw). Autorzy wykazali, że intensywność defoliacji i faza wzrostu miały istotny i interakcyjny wpływ na plony bulw. Zwrot brutto i plon u obu odmian na każdym etapie wzrostu zostały znacznie zmniejszone dla 99% defoliacji. Plon całkowity i zwrot brutto były najmniejsze, gdy defoliacja miała miejsce we wczesnej fazie rozwojowej. Gdy usunięto 99% liści we wczesnej fazie wzrostu, zwrot brutto i plonowanie odmiany wcześniejszej zostały zmniejszone odpowiednio do 14% i 38% wartości dla kontroli, a zwrot brutto i wydajność odmiany późniejszej zostały zmniejszone do odpowiednio 30% i 51% wartości kontrolnych. Defoliacja na poziomie 99% na wszystkich etapach wzrostu znacznie obniżyła ogólny plon rynkowy w porównaniu z kontrolami dla obu odmian. Krajowe badania w tym zakresie przeprowadził Kołodziejczyk [2012] oceniając wpływ terminu i stopnia symulowanych uszkodzeń na plon średnio wczesnej odmiany ziemniaka. Kołodziejczyk i Szmigel [2012] uzupełnili te badania o cechy jakościowe uzyskanego plonu. Autorzy testowali reakcję ziemniaka na trzy poziomy defoliacji 25, 50, 75% w odniesieniu do obiektu kontrolnego bez uszkodzeń dokonane w trzech fazach wegetacji. Kołodziejczyk [2012] stwierdził, że każde zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej skutkowało obniżeniem plonu bulw, a redukcja ta była tym większa, im we wcześniejszej fazie dokonano uszkodzeń. W zależności od stopnia uszkodzenia w fazie formowania pąków kwiatowych spadek plonu bulw oszacowany został na poziomie 36-62%, w fazie kwitnienia 19 - 47%, a w fazie zawijania owoców 8 - 23%. Wynikało to ze zmniejszania się liczby zawijanych bulw oraz mniejszego udziału bulw handlowych i dużych w plonie. Redukcja aparatu asymilacyjnego skutkowała niekorzystnym

wzrostem koncentracji azotanów w bulwach oraz zmniejszeniem zawartości suchej masy, skrobi i białka ogółem. Im wcześniej nastąpiły uszkodzenia, tym nasilenie niekorzystnych zjawisk w składzie chemicznym było większe.

4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

4.1. LOKALIZACJA DOŚWIADCZENIA

Badania zostały przeprowadzone w latach 2021 – 2023, w prywatnym gospodarstwie rolnym w miejscowości Zawada pod Sycowem w Wielkopolsce (współrzędne geograficzne 51°26' N 17°73' E). Doświadczenie zlokalizowano na glebie płowej, wytworzonej z piasku gliniastego, kompleksu żytniego dobrego, klasy bonitacyjnej IVb [PTG, 2019] o średniej lub wysokiej zawartości fosforu i potasu oraz odczynie kwaśnym (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość składników pokarmowych i odczyn gleby przed nawożeniem pola doświadczalnego, w poszczególnych latach badań

Rok badań	P ₂ O ₅		K ₂ O		Odczyn w 1M KCl	
	g·kg ⁻¹	Ocena	g·kg ⁻¹	ocena	pH	ocena
2021	135	średnia	173	średnia	5,4	kwaśny
2022	154	wysoka	230	wysoka	5,3	kwaśny
2023	144	średnia	157	średnia	5,5	kwaśny

4.2. CZYNNIKI I UKŁAD DOŚWIADCZENIA

Przedmiotem badań był ziemniak skrobiowy 'Verdi', uprawiany z przeznaczeniem na produkcję chipsów. Istotą badań polowych była ocena reakcji ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne części nadziemnych. Ścisłe dwuczynnikowe doświadczenie polowe zostało wykonane w układzie równoważnych podbloków (split - block) w trzech powtórzeniach, gdzie czynnikami doświadczenia były:

I - faza rozwojowa, w której dokonywano uszkodzeń pędów nadziemnych ziemniaka:

- BBCH 12,
- BBCH 29,
- BBCH 39
- BBCH 49.

II - stopień uszkodzenia nadziemnych pędów ziemniaka:

- 100% - ścięcie za pomocą nożyczek wszystkich pędów ziemniaka przy powierzchni gleby (fot. 1);
- 50% - ścięcie za pomocą nożyczek każdego pędu w połowie wysokości (fot. 2);
- 25% - ścięcie za pomocą nożyczek 50% liści na co drugiej łodydze (fot. 3);
- 0% - kontrola - bez uszkodzeń (fot. 4).



Fot. 1. Uszkodzenie 100% części nadziemnych Fot. 2. Uszkodzenie 50% części nadziemnych



Fot. 3. Uszkodzenie 25% części nadziemnych Fot. 4. Kontrola - rośliny nieuszkodzone

W obrębie doświadczenia zostało wytyczone 48 poletek. Badania prowadzono na poletkach o powierzchni 20 m², o wymiarach 1,5 m szerokości i 13,33 m długości. Pomiędzy poletkami został zachowany odstęp dwóch rzędów.

4.3. AGROTECHNIKA STOSOWANA W UPRAWIE ZIEMNIAKA

W doświadczeniu testowano odmianę ziemniaka 'Verdi'. Jest to odmiana średnio wczesna o kształcie okrągło-owalnym, żółtej skórce i płtykich oczkach (fot. A1) przeznaczona do produkcji chipsów - typ kulinarny BC [Stypa i Urbanowicz, 2016]. Odmianę tą cechuje przeciętna odporność na mokrą zgniliznę bulw [Lebecka, 2019] i bardzo dobra odporność na zarazę ziemniaka, czarną nóżkę i rizoktoniozę. Bulwy nie mają skłonności do pęknięcia i są także odporne na uszkodzenia mechaniczne. Odmiana 'Verdi' nadaje się do długotrwałego przechowywania w niskich temperaturach nie tracąc przydatności

do przetwórstwa. Zgodnie z deklaracją producenta jest to odmiana odporna na mątwika ziemniaczanego oraz na raka ziemniaka [<https://solanapolska.pl/>].

Przedplonem dla ziemniaka była pszenica ozima. Ziemniak uprawiany był z wykorzystaniem nawożenia obornikiem kurzym aplikowanym w dawce $15 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, jesienią roku poprzedzającego uprawę na ściernisko. Po rozrzuconiu obornika wysiano międzyplon ścierniskowy w postaci mieszanki: rzodkiew oleista $14 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, owies $40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, słonecznik $3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, gorczyca $3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, za pomocą siewnika do poplonu na głębokość 2-4cm, wykonując jednocześnie płytka (na głębokość 5-10 cm) uprawę późniwną za pomocą brony talerzowej. Międzyplon ścierniskowy pozostawiono nieskoszony w celu ochrony gleby w okresie jesienno-zimowym. W połowie lutego wykonano orkę siewną na głębokość 25-28 cm. Następnie stosowano włókę, a na kilka dni przed sadzeniem głębosz na 40 cm. Każdego roku przed sadzeniem stosowano nawozy mineralne w dawkach: $100,2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$; $115 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ P}_2\text{O}_5$ oraz $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ K}_2\text{O}$, w postaci: mocznika ($120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), fosforanu amonu ($250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) i soli potasowej ($300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$). Przed sadzeniem aplikowano również siarczan magnezu w dawce $5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Stosowano również nawożenie dolistnie aplikując:

- w pierwszej dekadzie maja roztwór saletrzano mocznikowy (RSM 32% w dawce $33 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2} - 10,56 \text{ kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$),
- w pierwszej dekadzie czerwca siarczan magnezu ($4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),
- w drugiej dekadzie czerwca siarczan magnezu ($6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),
- w trzeciej dekadzie czerwca roztwór saletrzano mocznikowy (RSM 32% w dawce $33 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2} - 10,56 \text{ kgN} \cdot \text{hm}^{-2}$) + siarczan magnezu ($5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + Polonuran Płynny (tlenochlorek miedzi + wodorotlenek miedzi) $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$
- w pierwszej dekadzie lipca siarczan magnezu ($5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) + siarczan potasu ($2,5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$).

Co roku po zbiorze ziemniaków na pole uprawne aplikowano wapno magnezowe (dolomit) w dawce $1 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

Sadzeniaki zaprawiano substancją grzybobójczą flutolanil w postaci preparatu Moncut 460 SC w dawce $200 \text{ cm}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$. Aplikowano również pestycydy w postaci oprysku:

herbicydy:

- w pierwszej dekadzie maja: Sharpen 400 SC (pendimetalina) w dawce $2,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, Channon 600 (aklonifen) w dawce $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, Boa Pro 480EC (chlomazon) w dawce $0,13 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ z dodatkiem adiuwantu Adsol w dawce $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

fungicydy:

- w pierwszej dekadzie czerwca: Infinito 687,5 SC (chlorowodorek propamokarbu + fluopikolid) w dawce $1,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, Lablador Extra 50 EC (chizalofop-p-etylu) w dawce $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, Carial Star 500 SC (mandipropamid + difenokonazol) w dawce $0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$

- w drugiej dekadzie czerwca: Dauphin 45 WG (cymoksanil) w dawce 0,22 dm³·hm⁻², Diprospero (chlorowodorek propamokarbu + dimetomorf) w dawce 2,0 dm³·hm⁻²
- w trzeciej dekadzie czerwca: Globaztar AZT 250 EC (azoksystrobina) w dawce 0,5 dm³·hm⁻², Zorvec Entecta (oksatiapirolina + amisulbrom) w dawce 0,25 dm³·hm⁻²
- w pierwszej dekadzie lipca: Cabrio Duo 112 EC (dimetomorf + piraklostrobina) w dawce 2,25 dm³·hm⁻² z dodatkiem adiuwantu Adsol w dawce 0,5 dm³·hm⁻²
- w drugiej dekadzie lipca: Zorvec Entecta (oksatiapirolina + amisulbrom) w dawce 0,25 dm³·hm⁻²
- w trzeciej dekadzie lipca: Electis CX (cymoksanil + zoksamid) w dawce 0,45 dm³·hm⁻²
- w pierwszej dekadzie sierpnia: Nando 500 SC (fluazydam) w dawce 0,4 dm³·hm⁻²

insektycydy:

- w drugiej dekadzie maja: Cyperkill Max 500 SC (cypermetryna) w dawce 0,05 dm³·hm⁻²
- w pierwszej dekadzie czerwca: Cyperkill Max 500 SC (cypermetryna) w dawce 0,05 dm³·hm⁻²
- w trzeciej dekadzie czerwca: Benevia 100 OD (cyjanotraniliprol) w dawce 0,125 dm³·hm⁻²

Desykant:

- w trzeciej dekadzie sierpnia: Reglone 200 SL (dikwat) w dawce 2,5 dm³·hm⁻²

Ziemniaki wysadzano w systemie redlinowym (fot. A2) za pomocą czterorzędowej sadzarki Gruse zagregatowanej z broną aktywną rotacyjną, w obsadzie 40000 szt·hm⁻², na głębokość 18-20 cm w rozstawie rzędów 75 cm i odstępach w rzędzie 33 cm. Do sadzenia zastosowano materiał sadzeniowy w stopniu kwalifikacji „A”. W kolejnych latach ziemniaki wysadzano: 14.04.2021, 16.04.2022, 15.04.2023. Doświadczenie nie było nawadniane.

Zbiór bulw z poletek doświadczenia dokonano po desykacji roślin przed zbiorem plantacji produkcyjnej ręcznie (fot. A3) W kolejnych latach termin zbiór przypadał na 13-14.09.2021, 08-09.09.2022, 04-05.09.2023.

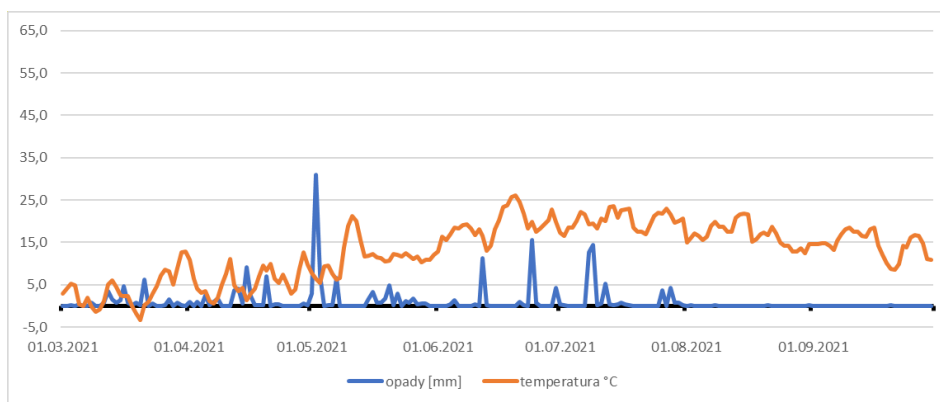
4.4. WARUNKI METEOROLOGICZNE

Wegetacja ziemniaka w kolejnych latach badań przebiegała w różnych warunkach pogodowych. Stwierdzono znaczny niedobór opadów atmosferycznych w 2021 roku oraz ich nadmiar w 2022 roku (tab. 2). Trzeci rok badań charakteryzował się przeciętnymi warunkami wodnymi w okresie wegetacji ziemniaka. W 2021 roku szczególnie niekorzystny był brak opadów w sierpniu i wrześniu, kiedy przez dwa miesiące spadło zaledwie 0,6 mm deszczu,

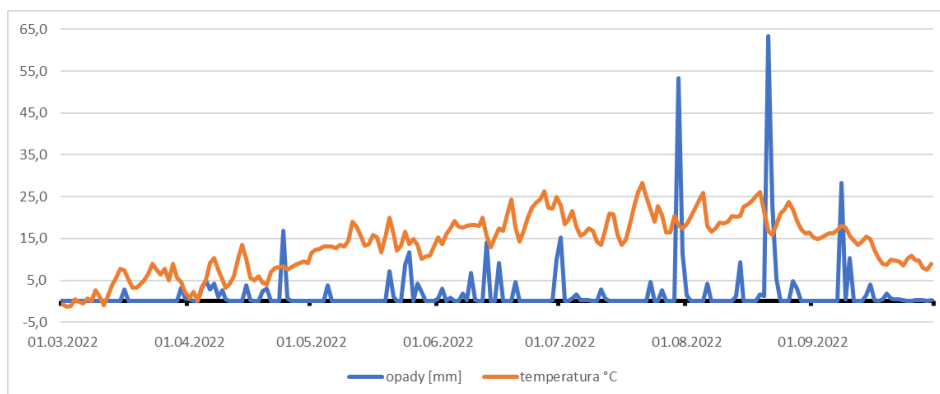
choć wcześniejsze miesiące tego roku pod względem opadów były sprzyjające, zwłaszcza obfitujący w opady maj. Pod względem temperatury rok 2021 w początkowym okresie wegetacji ziemniaka był chłodniejszy od pozostałych dwóch lat badań. W tym roku stwierdzono również wystąpienie krótkotrwałych przymrozków w sięgających -4°C w trzeciej dekadzie marca (rys. 1).

Tabela 2. Rozkład opadów [mm] i temperatur powietrza [$^{\circ}\text{C}$] – odpowiednio sumy i średnie dekadowe i miesięczne w poszczególnych latach badań

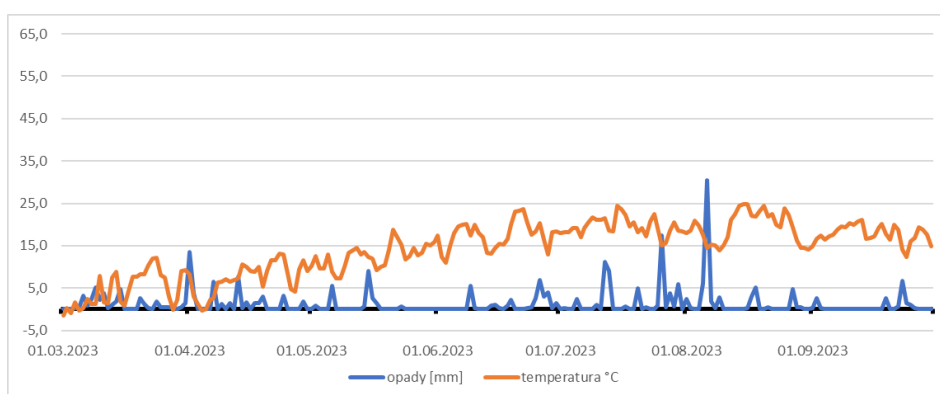
miesiąc	Dekada /miesiąc	sumy opadów [mm]			średnie temperatury powietrza $^{\circ}\text{C}$		
		2021	2022	2023	2021	2022	2023
marzec	1	1,1	0,1	14,7	1,7	0,1	1,2
	2	14,2	2,8	14,3	1,9	4,1	5,0
	3	9,2	4	6,6	6,5	6,2	7,4
	miesiąc	24,5	6,9	35,6	3,4	3,5	4,6
kwiecień	1	7,0	19,9	25,4	4,4	4,7	3,7
	2	27,0	9,6	17,2	5,7	6,9	8,4
	3	1,2	17,7	5,1	7,2	8,4	9,7
	miesiąc	35,2	47,2	47,7	5,8	6,7	7,3
maj	1	48,1	4,0	6,4	9,2	12,9	10,2
	2	13,0	7,2	13,8	13,6	15,8	12,3
	3	8,1	28	0,7	11,6	13,2	14,8
	miesiąc	69,2	39,2	20,9	11,5	14,0	12,4
czerwiec	1	2,0	13,4	5,9	17,2	17,2	17,1
	2	11,4	27,8	5,2	19,9	17,9	16,6
	3	21,5	10,4	19,1	20,2	21,7	19,0
	miesiąc	34,9	51,6	30,2	19,1	18,9	17,6
lipiec	1	27,7	18,5	3,8	19,2	18,1	19,2
	2	7,9	3,5	26	21,3	18,3	20,8
	3	9,6	72,2	29,7	20,3	20,6	18,7
	miesiąc	45,2	94,2	59,5	20,2	19,0	19,6
sierpień	1	0,2	5,7	44,2	17,2	20,0	16,9
	2	0,0	13,5	8,5	18,6	22,3	22,6
	3	0,3	99,9	6,2	14,7	19,0	19,0
	miesiąc	0,5	119,1	58,9	16,9	20,4	19,5
wrzesień	1	0,0	39,1	3,1	15,5	16,2	17,8
	2	0,1	9,1	2,6	15,0	12,3	18,6
	3	0,0	2,1	10,2	13,3	9,3	16,9
	miesiąc	0,1	50,3	15,9	14,6	12,6	17,8
marzec-wrzesień		209,6	408,5	268,7	13,1	13,6	14,1



Rys. 1. Dynamika opadów [mm] i średnich temperatur powietrza [°C] w ujęciu dobowym dla okresu 01 marzec – 30 wrzesień 2021



Rys. 2. Dynamika opadów [mm] i średnich temperatur powietrza [°C] w ujęciu dobowym dla okresu 01 marzec – 30 wrzesień 2022



Rys. 3. Dynamika opadów [mm] i średnich temperatur powietrza [°C] w ujęciu dobowym dla okresu 01 marzec – 30 wrzesień 2023

Najbardziej obfitującym w opady był rok 2022, w którym ilość opadów w okresie badań była niemal dwukrotnie większa niż w roku 2021 (tab. 2, rys. 1 i 2). Opady w 2022 nie były rozłożone równomiernie w okresie wegetacji. Blisko połowa całej sumy opadów przypadła na lipiec i sierpień, czyli na miesiące, w których występują największe potrzeby wodne ziemniaka. Niestety niekorzystne było to, że większość opadów wystąpiła dopiero w III dekadzie sierpnia. Rok 2023 był pod względem ilości i rozkładu opadów zdecydowanie korzystniejszy niż rok 2021, zwłaszcza w lipcu, sierpniu i wrześniu. Rok 2023 (tab. 2 rys. 3) był również najcieplejszym z analizowanych lat, zwłaszcza w okresie poprzedzającym sadzenie bulw oraz w okresie ich kiełkowania, tj. w marcu i kwietniu.

4.5. BADANIA I OBSERWACJE POLOWE

W trakcie wegetacji ziemniaka prowadzono systematyczny monitoring przebiegu rozwoju roślin, występowania chwastów i szkodników oraz stanu zdrowotnego roślin pod kątem chorób wirusowych, bakteryjnych i grzybowych. We wszystkich latach badań rośliny były w dobrej kondycji, nie wykazywały objawów niedoboru składników odżywczych. Nie stwierdzono również występowania szkodników oraz objawów chorób roślin ziemniaka nawet tych, które regenerowały uszkodzone pędy (fot. A4). Zastosowana ochrona herbicydowa okazała się skuteczna, ponieważ na powierzchni doświadczenia w trakcie wegetacji nie pojawiało się zachwaszczenie mogące mieć wpływ na wynik doświadczenia – stwierdzono jedynie pojedyncze okazy chwastów.

Po zakończonej wegetacji bulwy z każdego poletka zostały ręcznie wykopane i oddzielone od pędów. Plon bulw zebrano oddzielnie dla każdego poletka i określono jego masę z dokładnością do 0,01 kg. Plon ogólny rozdzielono na frakcje: plon handlowy (bulwy pozostające na sicie o kwadratowych oczkach o boku 40 mm), i plon niehandlowy, tj. bulwy niewymiarowe (przechodzące przez w/w sito), bulwy zdeformowane (dzieciuchowate, lalkowate, paciorkowate), bulwy silnie spękane fizjologicznie (tzw. kajzerkowość bulw). Na każdym poletku ustalono całkowitą masę plonu bulw, masę plonu handlowego oraz masę bulw zdeformowanych. Plon handlowy stanowi część plonu ogólnego pomniejszony o masę bulw niewymiarowych i udział bulw z wadami wyglądu. Plon handlowy przyjęto w rozumieniu pierwotnego przeznaczenia bulw ziemniaka jako surowca do produkcji chipsów i frytek uwzględniając w prezentacji wyników tylko kryterium cech zewnętrznych bulw. Plon niehandlowy stanowią bulwy pozostałe z założenia stanowiące surowiec o niższej wartości przeznaczone do produkcji skrobi ziemniaczanej.

4.6. BADANIA LABORATORYJNE

Po zbiorze próby (fot. A5 i A6) ziemniaków (masa każdej próby wynosiła 10 kg) zakwalifikowane do plonu handlowego zostały poddane ocenie wpływu czynników badawczych na cechy jakościowe w laboratorium Pracowni Towaroznawstwa Rolno – Spożywczego, Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii, Politechniki Bydgoskiej. Wykonano następujące oznaczenia: zawartość suchej masy (1), zawartość skrobi (2), zawartość cukrów redukujących (3) oraz zawartość cukrów ogółem (4).

1. Zawartość suchej masy - określono zgodnie z międzynarodowymi metodami [AACC, 1993]. Bulwy ziemniaka umyto, wysuszono, pokrojono w kostkę i zhomogenizowano za pomocą blendera laboratoryjnego (Retsch 169 ZM 100) do uzyskania jednorodnej stałej masy. Próbkę pulpy o masie 10 g odważono do szalki Petriego (fot. A7), a następnie suszono w suszarce (WAMED - SUP-100) w temperaturze 60 °C przez 24 godziny (fot. A8). Po tym czasie temperaturę w suszarce podniesiono do 105 °C i suszono przez kolejne 3 godziny. Następnie próbkę schłodzono w eksykatorach do temperatury pokojowej i określono ich masę. Całkowitą zawartość suchej masy bulw ziemniaka obliczono na podstawie różnicy mas i wyrażono w jednostkach procentowych [%].
2. Zawartość skrobi – określono metodą polarymetryczną zgodnie z przyjętą normą ICC [ICC nr, 123]. Do kolby Erlenmayera odważono 10 g zhomogenizowanych bulw ziemniaka, następnie dodano 50 ml 1,124 % roztworu HCl. Zawartość kolby ogrzewano w łaźni wodnej przez 25 minut w celu zhydrolizowania skrobi. Po schłodzeniu do temperatury pokojowej całą zawartość przeniesiono do kolby miarowej o pojemności 100 ml i dodano 1,5 ml 14,4% roztworu molibdenianu amonu. Kolbę uzupełniono wodą destylowaną, wymieszano, a następnie całą zawartość przesączono przez bibułę filtracyjną nr 593,5 odrzucając pierwsze krople przesączu (fot. A9). Przesącz umieszczono w rurce polarymetrycznej (Krüss, typ P 1000) i określono skręcalność optyczną roztworu (fot. A10). Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka określono przy założeniu, że skręcalność właściwa skrobi rozpuszczonej w HCl wynosi 183,7°. Zawartość skrobi wyrażono w % świeżej masy.
3. Zawartość cukrów redukujących – oznaczono metodą spektrofotometryczną [Talbert i Smith, 1987]. Zhomogenizowaną próbkę rozdrobnionego ziemniaka o masie 10 g umieszczono w kolbie miarowej o pojemności 250 ml i po dodaniu wody destylowanej (fot. A11). wytrząsano przez 60 minut (fot. A12), po czym uzupełniono kolbę wodą destylowaną do objętości 250 cm³. Następnie zawartość kolby przesączono przez bibułę filtracyjną Whatman (International Limited, Kent, Wielka Brytania), odrzucając pierwsze krople przesączu (fot. A13). W celu oznaczenia cukrów redukujących pobrano 1 ml przesączu,

umieszczono w probówce, dodano 3 ml roztworu DNP – Dinitrophenol (Grand-bio, Shepreth Cambridgeshire, Anglia) i wstrząśnięto zawartością probówki, a następnie ogrzewano przez 6 minut we wrzącej łaźni wodnej. Probówki wraz z zawartością schłodzono do temp. pokojowej (fot. A14). Zawartość cukrów redukujących określono za pomocą spektrofotometru SHIMADZU UV-1800 (Nishinokyo Kuwabara-cho, Nakagyo-ku, Kioto, Japonia), przy długości fali 600 nm. W celu wyznaczenia krzywej wzorcowej użyto glukozy. Wyniki podano w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy (fot. A15).

4. Zawartość cukrów ogółem – oznaczono metodą spektrofotometryczną [Talbert i Smith, 1987]. Przygotowany jak w przypadku oznaczania cukrów redukujących przesącz w ilości 40 ml przeniesiono do kolby Erlenmeyera i zakwaszono stężonym HCl. Zawartość kolby ogrzewano we wrzącej łaźni wodnej przez 30 min. Po schłodzeniu zawartość kolby zneutralizowano stężonym NaOH. W celu oznaczenia cukrów ogółem pobrano 1 ml zneutralizowanego roztworu i następnie postępowano zgodnie z procedurą oznaczania cukrów redukujących. Wyniki podano w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy, korzystając ze standardowej krzywej, używając glukozy.

4.7. ZASTOSOWANE METODY STATYSTYCZNE

Liczbowy materiał źródłowy poddano analizie statystycznej. Dane z każdego roku badań dla wszystkich cech poddano analizie wariancji dla układu split-block. Dane z wielolecia poddano syntezie analizy wariancji w modelu mieszanym (lata losowe, czynniki stałe) stosownie do układu doświadczenia. Oceny istotności różnic obiektowych dokonano za pomocą wielokrotnego testu istotności różnicy średnich *post-hoc* Q-Tukeya przy poziomie istotności $p=0,05$. Do obliczeń użyto pakietu ANALWAR 5,3FR na bazie arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

Wszystkie cechy poddano analizie korelacji zestawiając wartości współczynnika korelacji Pearsona (r) w macierzy. W tej samej macierzy zestawiono równania regresji. Obliczeń dokonano za pomocą arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

Dla oceny wartości plonu zastosowano wielocechową analizę uwzględniającą plon handlowy oraz cechy jakościowe brane pod uwagę w przetwórstwie spożywczym. Na podstawie wartości cech jakościowych wprowadzono współczynniki korekcyjne sprowadzające wielkość plonu do plonu o standardowych parametrach jakościowych – plon przeliczeniowy.

W ocenie wielocechowej przyjęto współczynniki korekcyjne wartości plonu uwzględniające zawartość skrobi (a), zawartość cukrów redukujących (b)

a) Zawartość skrobi dla produkcji chipsów i frytek [dane kontraktacyjne]:

standardowa: 16 – 17 % = 100 % ceny – korekta (mnożnik) = 1

w przedziale 17,1% do 18,0 % dopłata 5% - korekta (mnożnik) = 1,05

powyżej 18,1% - dopłata 10 % - korekta (mnożnik) = 1,1

w przedziale 16% do 15% potrącenie 10% - korekta (mnożnik) = 0,9

poniżej 15% - korekta (mnożnik) = 0 (dyskwalifikacja surowca)

b) Zawartość cukrów redukujących [Zagórska, 2004]:

- Dla produkcji chipsów: do $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ - korekta (mnożnik) = 1

Powyżej $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ - korekta (mnożnik) = 0

(dyskwalifikacja surowca)

- Dla produkcji frytek: do $2,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ - korekta (mnożnik) = 1

Powyżej $2,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ - korekta (mnożnik) = 0 – dyskwalifikacja surowca

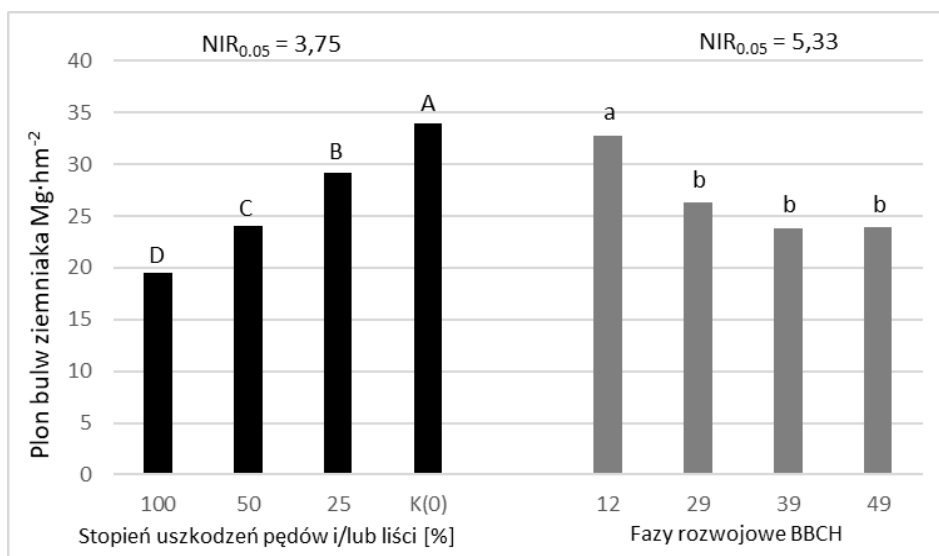
Ocena wielocechowa odnosi się jedynie do pierwotnego przeznaczenia plonu na produkcję chipsów i frytek. Ziemniaki nie spełniające wymagań jakościowych są dyskwalifikowane, a ich plon równy jest zero.

W analizie ekonomicznej przyjęto, że plon ogólny ziemniaków nie spełniających norm do produkcji chipsów i frytek stanowi surowiec do produkcji skrobi ziemniaczanej, a jego wartość wyliczana jest z plonu skrobi. Analiza ekonomiczna nie uwzględniała założeń kontraktowych związanych z terminem dostawy surowca. Testowana odmiana ze względu na dużą zawartość skrobi nie ma walorów ziemniaka kulinarnego. Do wyliczenia dochodu rolniczego dla każdego obiektu dodano: płatność redystrybucyjną 180,96 PLN, podstawowe wsparcie dochodów 502,35 PLN, dopłatę do sadzeniaków 300 PLN, ekoschemat 517,8 PLN - łącznie 1501,11 PLN [MRiRW, 2023 i 2024]. Przy wyliczaniu dochodu rolniczego z surowca przeznaczonego do produkcji frytek i chipsów dodano wartość plonu niehandlowego wynikającą z możliwości przeznaczenia go do produkcji skrobi. Dla pominięcia wpływu wahan cen sezonowych analiza ekonomiczna efektu działania stosowanych czynników w produkcji ziemniaka rozpatrywana była jako wpływ uszkodzeń pędów nadziemnych ziemniaka w różnych warunkach środowiskowych (trzy lata badań) na dochód rolniczy z uprawy przy określonych (nie zmiennych w latach) realiach cen środków produkcji i wartości uzyskanego surowca dla roku 2024.

5. OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

5.1. Plon Bulw ziemniaka i Jego Struktura

Przeprowadzone badania wykazały, że ziemniak uprawny ‘Verdi’ jest rośliną silnie reagującą na uszkodzenia pędów nadziemnych, a siła tej reakcji jest zależna od stopnia oraz terminu wystąpienia uszkodzeń (rys. 4).

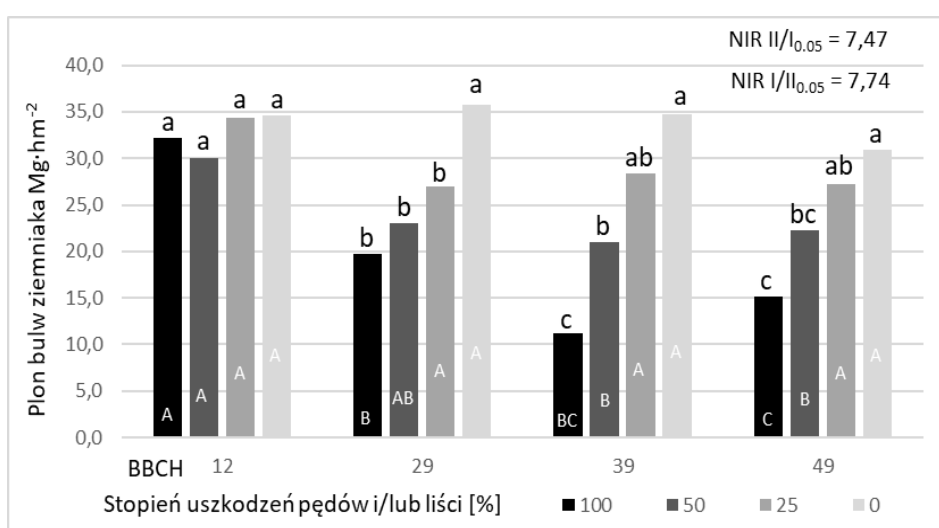


Rys. 4. Plon bulw ziemniaka w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)

Największy plon ogólny bulw uzyskano z roślin nieuszkodzonych, a każde zwiększenie stopnia uszkodzenia części nadziemnych skutkowało istotnym zmniejszeniem wartości tej cechy. Średnio dla wszystkich terminów wykonywania uszkodzeń, całkowite pozabawienie roślin pędów nadziemnych skutkowało redukcją plonu w stosunku do obiektu kontrolnego aż o 42,5%. Istotnie mniejszy negatywny skutek przyniosło usunięcie wszystkich pędów nadziemnych w połowie ich wysokości. W tym przypadku redukcja plonu ogólnego bulw w porównaniu do plonu uzyskanego z roślin nieuszkodzonych wyniosła 29,2%. Pozabawienie roślin ziemniaka 25% aparatu asymilacyjnego również skutkowało istotną redukcją plonu, ale była ona na poziomie 14,0% w stosunku do kontroli. Stwierdzone w badaniach własnych zależności są zgodne z wynikami prezentowanymi w badaniach Kołodziejczyka [2012], który dokonując uszkodzenia pędów nadziemnych w późniejszych fazach rozwojowych (BBCH 21, 61, 71) dowiódł jednak, że każdy z zastosowanych

poziomów skutkowało obniżeniem plonu bulw. Plon bulw determinowany jest jednak nie tylko uszkodzeniem części nadziemnej roślin ziemniaka wyrażanym odsetkiem zredukowanej powierzchni asymilacyjnej, ale również sposobem wykonywania i zakresem tych uszkodzeń. Hoback i in. [2020] stwierdzili, że testowana przez nich odmiana FL 1867 może tolerować znaczną defoliację zanim zostanie zaobserwowany istotny efekt w stracie plonów. Autorzy ci jednak dowodzą, że unikanie uszkodzeń nerwów głównych przez ręczne cięcie nożyczkami krawędzi liści i dziurkowanie przy pozostawieniu nienaruszonych ogonków liściowych nie miało wpływu na plony handlowe dla żadnego z testowanych w fazie kwitnienia (BBCH 60-69) zakresów defoliacji, które wynosiły 60, 65 i 80%. Istotną jest również informacja, że liście ścięte odrastały szybciej i determinowały dłuższą żywotność łanu w stosunku do kontroli i liści dziurkowanych. Pozostaje to w zgodzie z wcześniejszymi badaniami [Shields i Wyman, 1984], z których wynika, że poszczególne partie łanu – górne z młodymi liśćmi i dolne ze starszymi, mają inną zdolność fotosyntezy. Stąd rośliny są bardziej wrażliwe na uszkodzenia młodych niż starych liści. Gwałtowne zjawiska atmosferyczne, zwłaszcza gradobicie, generują jednak uszkodzenia nie tylko delikatnych blaszek liściowych ale całych fragmentów liści, łącznie z ogonkami lub nawet całych pędów, co było przedmiotem badań własnych. Uszkodzenie łodyg utrudnia lub uniemożliwia przemieszczanie się asymilatów z liści do bulw [Wille i Kleinkopf, 1992]. Zatem ze zwiększonymi stratami należy się liczyć, gdy uszkodzeniu, tak jak w badaniach własnych, ulegają pędy, co potwierdzają także badania Stieha i Poveda [2015]. Przytoczeni autorzy odnoszą się do progów uszkodzeń definiowanych jako maksymalny zakres defoliacji, jakiego mogą doświadczyć rośliny bez utraty plonów. Autorzy oszacowali, że progi uszkodzeń były większe niż 60% przy defoliacji podczas wschodów i po kwitnieniu oraz mniejsze niż 40% przy defoliacji przed kwitnieniem i w trakcie kwitnienia ziemniaków. Jeśli jednak pędy zostały uszkodzone, progi uszkodzeń w trakcie wschodów i po kwitnieniu zmniejszają się z 60% defoliacji dla uszkodzeń samych liści do 35% i 52% defoliacji dla zdarzeń z uszkodzeniem pędów. Również progi uszkodzeń w fazie kwitnienia zostały zmniejszone do 20% defoliacji, w przypadkach, w których pędy zostały uszkodzone. Obserwacje te wyjaśniają uzyskane wyniki badań własnych, w których wykazano, że plon bulw ziemniaków był zależny od fazy rozwojowej, w której uszkodzono pędy (rys. 4). Potwierdzają to również wnioski sformułowane przez Jalali [2013], który uważa, że termin defoliacji ziemniaków ma większy wpływ na ich plonowanie niż intensywność uszkodzeń. Niezależnie od skali uszkodzeń części nadziemnych roślin, plon bulw stwierdzony w badaniach własnych w obiektach, w których usunięto część liści i/lub łodyg w fazie BBCH 12, był istotnie większy niż przy uszkodzeniach wykonanych w fazach BBCH 29, 39 i 49. Przedmiotowa redukcja plonu była w zakresie od 19,5 do aż 27,4%. Jakkolwiek nie wykazano istotnego zróżnicowania w plonie

ogólnym bulw ziemniaka z roślin uszkodzonych w fazach BBCH 29, 39 i 49 świadczy to o większych zdolnościach regeneracyjnych młodych roślin niż starszych, co znajduje częściowe potwierdzenie we wnioskach Hoback i in. [2020]. Literatura tematu wskazuje, że okres, w którym następuje uszkodzenie, ma bezpośredni wpływ na reakcję rośliny. W literaturze istnieją jednak różnice zdań na temat krytycznego okresu defoliacji. Badania Irigoyen i in., [2011] oraz Stieha i Poveda [2015], podobnie jak wyniki badań własnych, wskazują, że jest to okres formowania bulw lub kwitnienia, natomiast Pavek i in. [2018] twierdzą, że większe straty generują uszkodzenia roślin ziemniaka występujące we wczesnych etapach wzrostu.



Rys. 5. Plon bulw ziemniaka w zależności od terminu (I) i stopnia uszkodzenia (II) pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)

Stwierdzono, że uszkodzenia wykonane we wczesnej fazie rozwojowej niezależnie od ich nasilenia nie skutkowały redukcją plonu w stosunku do nieuszkodzonego w tym terminie obiektu kontrolnego (rys. 5). Zaobserwowano jednak prawidłowość, że na ogół im bardziej rozwinięte rośliny poddane były uszkodzeniom, tym bardziej miało to negatywny wpływ na plon. Na przykład, gdy całkowitego usunięcia pędów nadziemnych dokonano w fazie BBCH 29 redukcja plonu w stosunku do nieuszkodzonego obiektu kontrolnego wyniosła 44,9%. Różnica w plonie pomiędzy tymi samymi obiektami uszkodzonymi w fazie BBCH 39 wyniosła aż 67,9%. Nieco mniejszą ale i tak bardzo wysoką redukcję plonu na poziomie 51,0% odnotowano w wyniku uszkodzenia części nadziemnych w fazie BBCH 49.

Można zatem stwierdzić, że stopień uszkodzenia pędów nadziemnych daje różny efekt w różnych fazach wegetacyjnych. Całkowita redukcja aparatu asymilacyjnego w fazie BBCH 12 umożliwiła uzyskanie istotnie wyższego plonu niż z obiektów uszkodzonych w takim samym stopniu w fazach późniejszych. Przy redukcji połowy wysokości pędów ziemniaków termin wykonania uszkodzeń miał już nieco mniejszy ale nadal istotny wpływ na plonowanie ziemniaków. Usunięcie 25% części nadziemnych w żadnej z faz wykonania tego uszkodzenia nie skutkowało istotną redukcją plonu. Uzyskane reakcje korespondują z wcześniejszymi badaniami innych autorów. Jalali [2013] zauważył, że ziemniaki były w stanie zregenerować się bez istotnej straty plonowania po każdym z poziomów defoliacji (20, 40, 60, 80 i 100%), jeśli wystąpiła ona we wczesnych fazach rozwojowych. Podobnego, interakcyjnego działania stopnia i terminu uszkodzeń aparatu asymilacyjnego dowiedli Irigoyen i in. [2011], Kołodziejczyk [2012] oraz Stieha i Poveda [2015]. Poszczególne wartości strat plonu przytaczane w tych badaniach nie pokrywają się w pełni z wynikami badań własnych, choć są kierunkowo zbieżne. Brak pełnej spójności wyników własnych z wynikami innych autorów należy przypisać innym warunkom prowadzonych testów, innemu sposobowi indukcji i stopniowi uszkodzeń czy w końcu różnicom odmianowym. Nie zawsze jednak utrata części aparatu asymilacyjnego jest jednoznaczna z redukcją plonu. Ziems i in. [2006], Bastos i in. [2011], Hoback i in. [2020] wykazali, że odmiany o niezdeteminowanym wzroście mogą wytrzymać znaczną defoliację, zanim zaobserwowany zostanie jakikolwiek znaczący wpływ na liczbę bulw lub utratę plonów handlowych. Hoback i in. [2020] twierdzą jednak, że w przypadku defoliacji, która zmniejsza efektywność korony w przechwytywaniu światła poniżej 90%, należy spodziewać się pewnego zmniejszenia plonów, ponieważ roślina będzie musiała preferencyjnie przesunąć przepływ składników odżywczych w stronę odrostu korony, zamiast kontynuować rozprowadzanie maksymalnej ilości składników odżywczych do bulw.

Z konfrontacji średnich plonów bulw ziemniaka dla poszczególnych lat badań własnych (tab. 3) ze średnimi plonami uzyskiwanych w tym czasie dla Polski (2021 r. - 30,0 Mg·hm⁻²; 2022 r. - 30,8 Mg·hm⁻²; 2023 r. - 29,6 Mg·hm⁻²) wynika, że w dwóch latach badań średnie plony z doświadczenia były niższe od średniej krajowej. Należy jednak zwrócić uwagę, że stosowany czynnik wpływał destrukcyjnie na rośliny co istotnie przełożyło się na wyniki plonowania i obniżyło średnią. Odnosząc się jednak do obiektów kontrolnych, w których części nadziemne roślin ziemniaków nie były uszkodzane uzyskane plony dla lat badań były zbliżone lub wyższe od średnich plonów uzyskiwanych w produkcji.

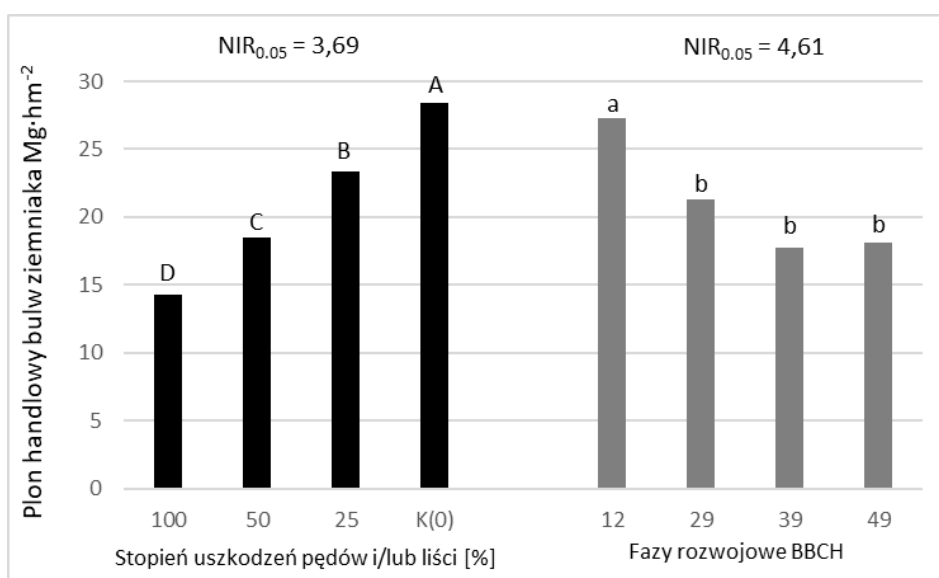
Tabela 3. Plon bulw ziemniaka [$\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$] w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	28,6	19,3	11,4	14,3	18,4
50	24,5	21,5	17,9	16,8	20,2
25	33,0	30,3	29,3	31,6	31,1
0	32,9	32,6	33,1	34,0	33,1
średnia [I]	29,8	25,9	22,9	24,2	25,7
NIR _{0,05}	I=4,62	II=5,89	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2022					
100	31,1	15,5	7,9	11,0	16,4
50	28,1	21,2	24,3	23,3	24,2
25	33,0	17,7	24,0	19,0	23,4
0	29,4	33,3	34,1	23,3	30,0
średnia [I]	30,4	21,9	22,6	19,2	23,5
NIR _{0,05}	I=6,79	II=6,06	II/I=12,11	I/II=12,44	
rok 2023					
100	36,7	24,4	14,1	20,1	23,8
50	37,7	26,4	20,9	26,6	27,9
25	37,0	32,9	31,7	31,2	33,2
0	41,5	41,4	36,9	35,6	38,9
średnia [I]	38,2	31,3	25,9	28,4	30,9
NIR _{0,05}	I=10,75	II=6,67	II/I=n.i.	I/II=n.i.	

n.i.- nieistotne statystycznie.

Wpływ stopnia i terminu uszkodzenia roślin na plon bulw ziemniaka był różny w poszczególnych latach badań (tab. 3). Wskazuje to, że obserwowane reakcje mają różne nasilenie w zależności od roku, w którym było prowadzone doświadczenie. W przeciwieństwie do średnich z lat nie stwierdzono istotności interakcji pomiędzy czynnikami w kształtowaniu plonu bulw czynników w latach 2021 i 2023, choć relacje pomiędzy poszczególnymi obiektami są zbliżone do średnich z całego okresu badań. W 2022 roku stwierdzono interakcję pomiędzy czynnikami badawczymi w kształtowaniu plonu bulw ziemniaka. Jeżeli uszkodzenia wykonano w fazie BBCH 12, to stopień uszkodzenia nie wpływał istotnie na ubytek plonu bulw ziemniaka. Stopień uszkodzeń w fazie BBCH 29

wpłynął istotnie na plon, który był mniejszy po usunięciu 25%, 50% i 100 % części nadziemnych niż w obiektach nieuszkodzonych. W fazach BBCH 39 i 49 jedynie usunięcie 100% części nadziemnych skutkowało istotnym w porównaniu do obiektu kontrolnego ubytkiem plonu bulw. Ponadto stwierdzono, że usunięcie 100% części nadziemnych w fazach BBCH 29, 39 i 49 skutkowało istotnym zmniejszeniem plonu bulw w porównaniu do uzyskanego w wyniku tego samego stopnia uszkodzenia w fazie BBCH 12. W obiektach, w których usunięto 50% części nadziemnych, ubytek plonu bulw nie był zależny od fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia, natomiast w obiektach z 25% uszkodzeniem części nadziemnych stwierdzono istotny ubytek plonu bulw w obiektach, w których uszkodzenia wykonywano w fazach BBCH 29 i 49 w porównaniu do uszkodzeń w fazie BBCH 12.



Rys. 6. Plon bulw handlowych ziemniaka w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)

Plon bulw handlowych, czyli tych, które pozostają na sicie o kwadratowych oczkach szerokości 40 mm we wszystkich latach oraz średnio dla całego okresu badań determinowany był zarówno terminem uszkodzania części nadziemnych jak również stopniem uszkodzenia (rys. 6, tab. 4). Interakcję między testowanymi czynnikami stwierdzono jedynie w roku 2022.

Tabela 4. Plon bulw handlowych ziemniaka [$\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$] w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	21,9	15,1	7,1	8,3	12,7
50	17,3	16,6	12,3	8,5	13,5
25	29,0	23,2	18,8	21,3	23,0
0	28,8	25,8	18,9	20,4	23,5
średnia [I]	24,0	20,2	14,4	14,3	18,0
NIR _{0,05}	I=3,79	II=5,71	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2022					
100	21,6	9,8	4,9	5,9	10,2
50	24,0	15,9	16,8	16,5	18,2
25	27,3	13,9	13,8	13,4	16,9
0	25,1	27,0	29,4	19,2	25,1
średnia [I]	24,5	16,3	15,5	13,3	17,2
NIR _{0,05}	I=4,54	II=4,84	II/I=9,67	I/II=9,49	
rok 2023					
100	31,2	17,0	8,6	16,2	17,6
50	33,0	24,0	14,8	20,9	22,9
25	31,4	28,1	28,2	27,8	28,9
0	36,9	38,2	31,7	30,9	34,4
średnia [I]	33,0	26,5	19,9	23,8	25,6
NIR _{0,05}	I=10,38	II=6,49	II/I=n.i.	I/II=n.i.	

n.i.- nieistotne statystycznie.

Średnio dla lat badań i terminów uszkadzania części nadziemnych stwierdzono, że każde zwiększenie stopnia uszkodzenia istotnie obniżało plon bulw stanowiących plon handlowy (rys. 6). W obiekcie kontrolnym plon wynosił $27,6 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, a uszkodzenie 25%, 50% i 100% części nadziemnych skutkowało spadkiem plonu odpowiednio o 17,7%, 35,0% i 49,7%. W warunkach doświadczenia średni plon handlowy bulw z roślin z różnym stopniem uszkodzeń w fazie BBCH 12 wynosił $27,1 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$, a gdy destrukcja pędów nadziemnych została wykonana w późniejszych fazach rozwojowych plon był istotnie niższy. Różnica między plonem handlowym bulw z roślin uszkodzonych w fazie BBCH 12 oraz w fazie BBCH 29 wyniosła $5,9 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Uszkadzanie w późniejszym

okresie nie skutkowało dalszym spadkiem plonu na poziomie dającym się statystycznie potwierdzić.

Udział procentowy bulw dużych stanowiących plon handlowy w ogólnym plonie ziemniaków w całym okresie badań mieścił się w szerokim zakresie 50,7-92,3% (tab. 5). W każdym z lat badań zakres ten był inny, co również przełożyło się na różny układ istotności wpływu testowanych czynników w poszczególnych latach na omawianą cechę. W 2021 roku potwierdzono jedynie istotność wpływu terminu wykonania uszkodzeń części nadziemnych roślin ziemniaka na tę cechę. W 2022 roku oba czynniki determinowały odsetek bulw dużych. Nie stwierdzono jednak interakcji pomiędzy czynnikami badawczymi w kształtowaniu tej cechy. W 2023 roku stwierdzono istotność wpływu stopnia uszkodzeń oraz interakcję tego czynnika z fazą rozwojową, w której były one generowane. Średnio dla całego okresu badań udział bulw dużych był największy w obiektach, w których organy nadziemne nie były uszkodzone, jednak uszkodzenia na poziomie 25 i 50% nie skutkowały istotnym statystycznie spadkiem wartości tej cechy. Dopiero całkowite pozbawienie roślin ziemniaka części nadziemnych skutkowało istotnym spadkiem udziału bulw dużych, który w odniesieniu do obiektu kontrolnego wyniósł 15,6% (12,7 pkt,%). Stwierdzono również, że największy negatywny wpływ na opisywaną cechę miały uszkodzenia w fazie BBCH 39, choć nie skutkowało to istotnie większymi stratami niż uszkodzenia wykonane w BBCH 29 i 49, ale większymi niż w fazie BBCH 12. Średnio w trzyletnich badaniach czynniki determinowały udział bulw dużych niezależnie – interakcje były nieistotne. Hoback i in. [2020] wysuwają przypuszczenie, że wraz ze wzrostem poziomu uszkodzeń aparatu asymilacyjnego udział bulw drobnych w plonie powinien być większy, co znajduje częściowe potwierdzenie w badaniach własnych. Można to tłumaczyć tym, że jak twierdzą Stieha i Poveda [2015], istotne uszkodzenia roślin wiążą się z nierównomierną realokacją zasobów pomiędzy bulwami. Ponadto, jeśli uszkodzeniu tak jak w badaniach własnych ulegają nie tylko liście ale i pędy ziemniaków, skutkuje to utrudnieniem lub nawet uniemożliwieniem transportu asymilatów do bulw [Wille i Kleinkopf, 1992]. W takim przypadku, jak wskazują Ziems i in. [2008], należy liczyć się ze zwiększeniem liczby małych bulw i zmniejszeniem masy bulw dużych i to niezależnie od testowanej odmiany. W badaniach własnych wykazano również, że im później (do fazy BBCH 39) uszkodzeniu ulegają części nadziemne ziemniaka tym mniejszy jest odsetek bulw handlowych. Jeżeli uszkodzenia części nadziemnych następują już po ustaleniu się ostatecznej liczby bulw dla roślin to niezależnie od stopnia uszkodzeń w poszczególnych obiektach liczba bulw jest podobna, ale różnią się one masą [Hoback i in. 2020]. Chociaż badania Pavek i in. [2018] wykazały, że rośliny uszkodzane we wczesnych i późnych stadiach rozwojowych nie różniły się

istotnie pod względem liczby bulw w porównaniu z roślinami nieuszkodzonymi, to średnia masa bulw została zmniejszona w wyniku zwiększonej defoliacji.

Tabela 5. Udział bulw handlowych [%] w plonie ogólnym bulw ziemniaka w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	76,5	78,4	62,3	57,8	68,8
50	70,5	77,3	68,5	50,7	66,7
25	87,8	76,5	64,2	67,5	74,0
0	87,4	79,2	57,2	59,9	71,0
średnia [I]	80,6	77,8	63,1	59,0	70,1
NIR _{0,05}	I = 16,2	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.	
rok 2022					
100	69,5	63,4	62,1	54,0	62,3
50	85,3	74,8	69,3	70,7	75,0
25	82,6	78,7	57,3	70,5	72,3
0	85,4	81,2	86,1	82,4	83,8
średnia [I]	80,7	74,5	68,7	69,4	73,3
NIR _{0,05}	I = 10,1	II = 13,9	II/I = n.i.	I/II = n.i.	
rok 2023					
100	85,1	69,8	61,2	80,4	74,1
50	87,5	90,9	70,7	78,5	81,9
25	84,8	85,4	89,1	89,2	87,1
0	88,8	92,3	85,9	86,9	88,5
średnia [I]	86,5	84,6	76,7	83,8	82,9
NIR _{0,05}	I = n.i.	II = 8,4	II/I = 16,9	I/II = 20,1	
rok 2021- 2023					
100	77,0	70,5	61,9	64,1	68,4
50	81,1	81,0	69,5	66,6	74,6
25	85,1	80,2	70,2	75,7	77,8
0	87,2	84,3	76,4	76,4	81,1
średnia [I]	82,6	79,0	69,5	70,7	75,4
NIR _{0,05}	I = 12,9	II = 8,7	II/I = n.i.	I/II = n.i.	

n.i.- nieistotne statystycznie.

Tabela 6. Plon bulw małych* i bulw zdeformowanych [Mg·hm⁻²] w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	6,7	4,2	4,3	6,0	5,7
50	7,2	4,9	5,6	8,3	6,7
25	4,0	7,1	10,5	10,3	8,1
0	4,1	6,8	14,2	13,6	9,6
średnia [I]	5,8	5,7	8,5	9,9	7,7
NIR _{0,05}	I = n.i.	II = 4,12	II/I = n.i.	I/II = n.i.	
rok 2022					
100	9,5	5,7	3,0	5,1	6,2
50	4,1	5,3	7,5	6,8	6,1
25	5,7	3,8	10,2	5,6	6,5
0	4,3	6,3	4,7	4,1	4,9
średnia [I]	5,9	5,6	7,1	5,9	6,3
NIR _{0,05}	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.	
rok 2023					
100	5,5	7,4	5,5	3,9	6,2
50	4,7	2,4	6,1	5,7	5,0
25	5,6	4,8	3,5	3,4	4,3
0	4,6	3,2	5,2	4,7	4,5
średnia [I]	5,2	4,8	6,0	4,6	5,3
NIR _{0,05}	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.	
rok 2021- 2023					
100	7,4	5,8	4,2	5,4	6,2
50	5,7	4,4	6,4	7,4	6,1
25	5,1	5,3	8,4	6,6	6,5
0	4,4	5,6	8,2	7,3	6,4
średnia [I]	5,7	5,5	7,3	7,0	6,6
NIR _{0,05}	I = n.i.	II = n.i.	II/I = n.i.	I/II = n.i.	

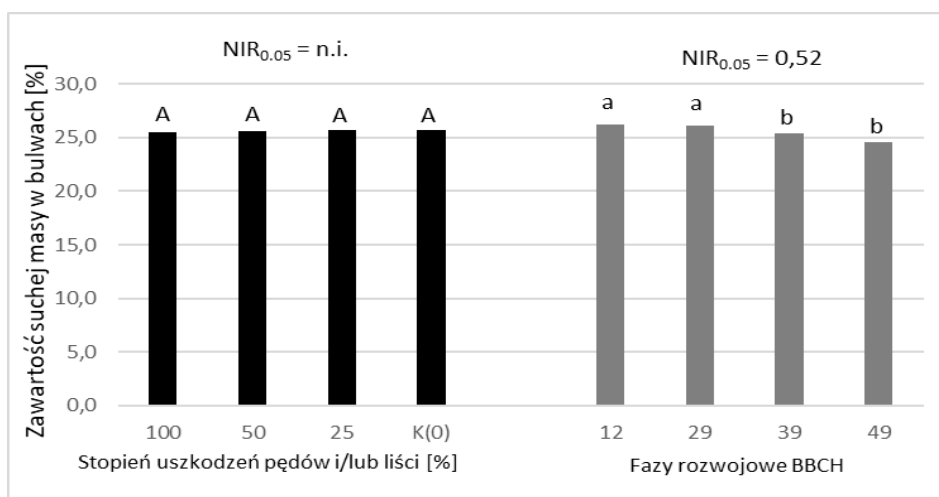
* bulwy małe - bulwy przechodzące przez sito o kwadratowych oczkach 40 mm
n.i.- nieistotne statystycznie.

W poszczególnych latach i obiektach plon bulw ziemniaka niespełniających norm dla przetwórstwa spożywczego, czyli przechodzących przez sito o kwadratowych oczkach 40 mm oraz bulw zdeformowanych mieścił

się w przedziale średnio od $5,3 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ w 2023 roku do $7,7 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ w 2021 roku (tab. 6). Plon ten był bardzo zmienny dla poszczególnych powtórzeń tych samych obiektów, stąd nie wykazano istotności wpływu czynników na tą cechę. Dla wszystkich obiektów we wszystkich latach badań plon ten stanowił 7,7-49,3% plonu ogólnego. Tak szeroki zakres udziału plonu bulw niehandlowych w plonie ogólnym powodował wzrost zmienności pozostałych cech, tj. plonu handlowego, udziału bulw handlowych w plonie ogólnym oraz plonu skrobi. Stąd pomimo wykazania istotności działania testowanych czynników i ich interakcji w plonie ogólnym, bardzo zmienny odsetek pojawiających się w różnych obiektach bulw nie wchodzących do plonu handlowego powodował mniejszy wpływ testowanych czynników na pozostałe cechy opisujące plon. Plon bulw nie spełniających norm nie jest jednak odpadem, tylko jego wartość handlowa jest mniejsza, stąd wyniki tej cechy są również prezentowane.

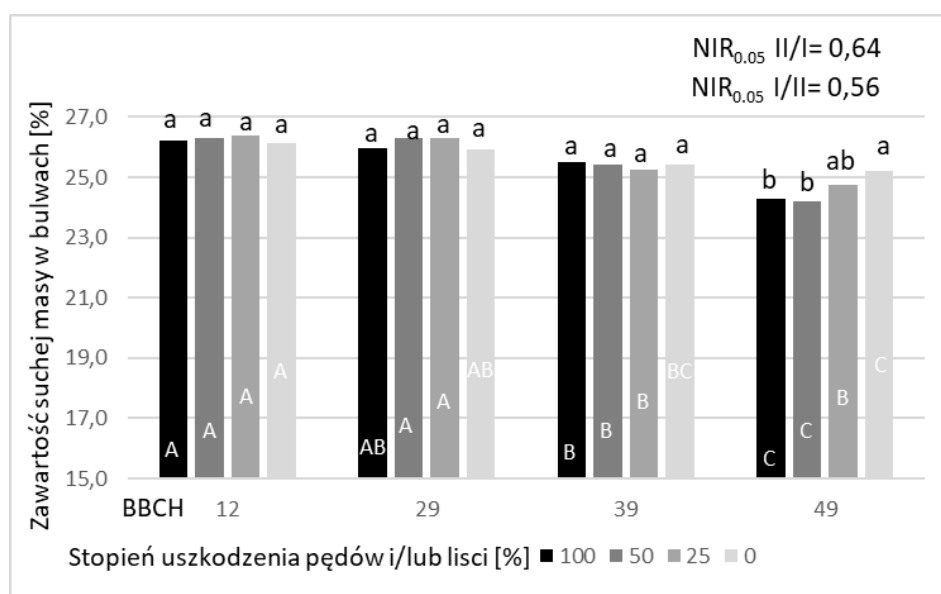
5.2. ZAWARTOŚĆ SUCHEJ MASY W BULWACH ZIEMNIAKA

Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka była zależna od fazy rozwojowej, w której jego części nadziemne zostały uszkodzone (rys. 7). Średnio dla stopnia uszkodzeń generowanych w fazach rozwojowych BBCH 12 i 29 zawartość suchej masy w bulwach ziemniaków była wyższa niż w przypadku bulw wykształconych przez rośliny uszkodzane na dalszych etapach rozwoju tj. w fazach BBCH 39 i 49. Opisywane różnice między obiektami o największej (BBCH 12) i najmniejszej (BBCH 49) zawartości suchej masy sięgały 1,65pkt, %.



Rys. 7. Zawartość suchej masy [%] w bulwach ziemniaka w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023, Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)

W warunkach doświadczenia nie stwierdzono istotnego wpływu stopnia uszkodzeń części nadziemnych roślin ziemniaka na średnią dla faz rozwojowych zawartość suchej masy w jego bulwach (rys. 7). Stwierdzono natomiast interakcyjne działanie obu czynników w kształtowaniu tej cechy (rys. 8).



Rys. 8. Zawartość suchej masy [%] w bulwach ziemniaka w zależności od terminu (I) i stopnia (II) uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)

Uszkodzenie pędów nadziemnych ziemniaka w fazach rozwojowych BBCH 12, 29 i 39 nie miało wpływu na koncentrację suchej masy w bulwach ziemniaków. Jeżeli natomiast uszkodzenia wykonywano w fazie BBCH 49, to uszkodzenia na poziomie 50 i 100% pędów nadziemnych istotnie zmniejszały zawartość suchej masy w bulwach w stosunku do roślin, których nie uszkodzono. W przypadkach roślin uszkodzanych (dla każdego stopnia uszkodzenia) stwierdzono, że generowanie tych uszkodzeń w fazach BBCH 12 i 29 skutkowało istotnie większą koncentracją suchej masy w bulwach niż gdy uszkodzenia wykonywano w fazie BBCH 49. Usunięcie 100 %, 50% i 25% części nadziemnych ziemniaka w fazie BBCH 49 skutkowało uzyskaniem bulw o niższej zawartości suchej masy odpowiednio o 1,93; 2,11 i 1,65 pkt, % w porównaniu do obiektów, w których takie same uszkodzenia wykonano w fazie BBCH 12 i były to największe wartości różnic dla porównywanych obiektów. W obiekcie kontrolnym skrajne różnice były znacznie mniejsze i wyniosły 0,91pkt.%. Należy je jednak traktować jako różnice przypadkowe wynikające z kompilacji uśrednienia dla lat badań oraz wpływu niekontrolowanych

czynników środowiskowych (np. zmienności glebowej). Analiza wyników w poszczególnych latach (tab. 7) dla roku 2021 i 2022 wskazuje, że w obiektach z nieuszkodzonymi roślinami różnice dla poszczególnych faz rozwojowych były znikome i poniżej istotności statystycznej.

Tabela 7. Zawartość suchej masy [%] w bulwach ziemniaka w poszczególnych latach badań, w zależności od fazy rozwojowej i stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	25,9	25,6	25,5	23,8	25,2
50	26,3	26,2	25,1	24,0	25,4
25	25,8	26,0	25,1	24,5	25,4
0	25,4	25,7	25,1	25,2	25,3
średnia [I]	25,9	25,9	25,2	24,4	25,3
NIR ^{0,05}	I= n.i.	II= n.i.	II/I= 1,117	I/II =2,574	
rok 2022					
100	26,4	26,0	25,6	24,4	25,6
50	25,9	25,9	25,5	24,4	25,4
25	26,2	26,0	25,1	24,9	25,6
0	25,9	25,9	25,6	25,3	25,7
średnia [I]	26,1	25,9	25,4	24,7	25,6
NIR _{0,05}	I= n.i.	II= n.i.	II/I= n.i.	I/II= n.i.	
rok 2023					
100	26,4	26,2	25,5	24,7	25,7
50	26,7	26,7	25,7	24,2	25,8
25	27,1	26,9	25,5	24,9	26,1
0	27,0	26,1	25,6	25,1	26,0
średnia [I]	26,8	26,5	25,6	24,7	25,9
NIR _{0,05}	I= n.i.	II= n.i.	II/I= n.i.	I/II= n.i.	

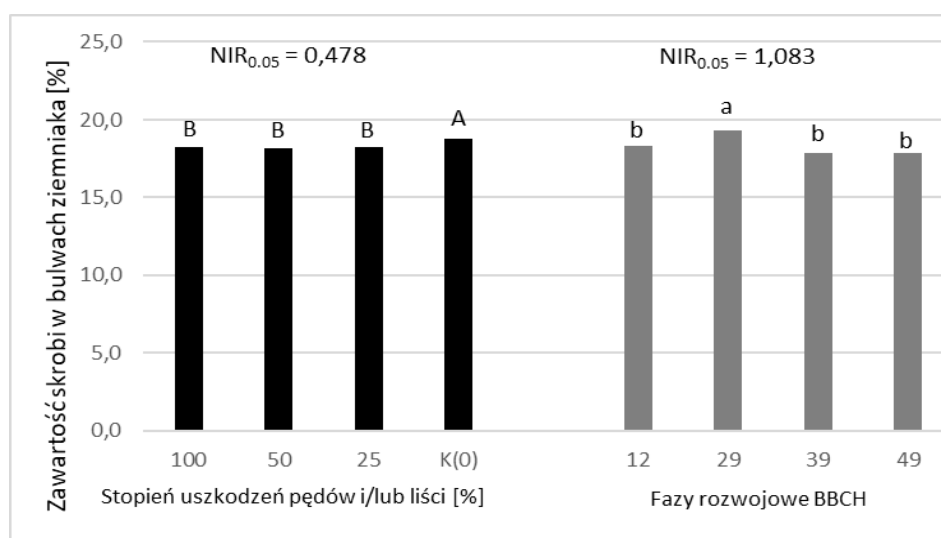
n.i.- nieistotne statystycznie.

Zawartość suchej masy w ziemniaku jest naturalnie zależna od fazy rozwojowej rośliny. Początkowo (faza inicjacji tuberyzacji) wzrasta ona wykładniczo. Następnie można zaobserwować długi okres prawie liniowego wzrostu, po którym następuje spadek tempa wzrostu i ostatecznie koniec wzrostu, gdy pęd się starzeje. Ponadto przed zbiorem bulw następuje ubytek suchej masy [Kolbe i Stephan-Beckmann, 1997, Kumlay i in., 2002, Kumar i Ezekiel, 2006]. Bulwy dojrzałe fizjologicznie charakteryzują się maksymalną zawartością suchej

masy [Shabba i in., 2007]. Ezekiel i Rani [2006] testując zawartość suchej masy w dojrzałych bulwach 33 genotypów ziemniaka stwierdzili, że mieści się ona w zakresie 16,3 do 26,2%. Pomimo, że zawartość suchej masy determinowana jest genotypem rośliny, co potwierdzają również inni autorzy [Kumlay i in., 2006, Lana i in., 1970], to ma na nią wpływ cały szereg czynników środowiskowych [Ezekiel i in., 1999, Baranowska, 2018], Jednym z takich czynników są defoliacja i termin jej wykonania. Wcześniejsze wyniki innych autorów potwierdzają, że zawartość suchej masy w bulwach ziemniaków maleje na skutek stosowanej defoliacji. Badania te jednak odnoszą się do celowej desykcji chemicznej lub mechanicznego niszczenia nadziemnych pędów ziemniaka jako elementu agrotechniki przygotowującej uprawę do zbioru [Parvizi i Asadin, 2017, Wilcockson, 1986]. Wilcockson [1986] szacuje, że zawartość suchej masy bulw zmniejsza się po defoliacji, średnio o około 0,3 - 0,6% na każdy tydzień do terminu zbiorów. W badaniach cytowanego autora największy spadek (z 22,7% do 16,7%) został odnotowany w ciągu 10 tygodni po mechanicznej defoliacji wykonanej w połowie sierpnia. Autor przypisuje ten efekt pobieraniu wody przez odrastające rośliny, które było głównym czynnikiem odpowiedzialnym za spadek koncentracji suchej masy w bulwach, ponieważ dowody wykazały, że świeża masa bulw wzrastała proporcjonalnie po defoliacji, podczas gdy sucha masa pozostawała praktycznie stała. W aspekcie składu chemicznego bulw ziemniaka najbardziej założeniom badań własnych odpowiadają badania przeprowadzone przez Kołodziejczyka i Szmigła [2012]. Przytoczne badania wskazują, że największą zawartością suchej masy cechowały się bulwy zebrane z obiektów kontrolnych (rośliny nieuszkodzone) - średnio 24,5%. Istotnie mniejszą koncentrację suchej masy w bulwach stwierdzono w przypadku 25, 50 i 75% redukcji ulistnienia roślin, odpowiednio 23,8; 23,1 i 22,2%, najmniejszą natomiast przy całkowitej redukcji powierzchni asymilacyjnej roślin, średnio 21,5%. Zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka zmniejszała się również wraz z opóźnieniem terminu wykonania symulowanej redukcji ulistnienia roślin. Badania własne i cytowane poniżej wzajemnie się uzupełniają i wyjaśniają. Zakres faz fenologicznych w badaniach własnych obejmował BBCH 12-49. Dopiero w fazie BBCH 49 zaobserwowano spadek zawartości suchej masy, który był tym większy im większy był stopień uszkodzeń. Natomiast Kołodziejczyk i Szmigiel [2012] swoje obserwacje prowadzili w fazach BBCH 51, 61 i 71. Z badań tych wynika, że redukcja ulistnienia w fazie BBCH 51 skutkowałą zmniejszeniem zawartości suchej masy o 1,5%, natomiast w fazie BBCH 61 – o 1,1% w porównaniu do obiektów, w których redukcja ulistnienia nastąpiła w fazie BBCH 71. W badaniach własnych uzyskano dużą stabilność średniej zawartości suchej masy w bulwach we wszystkich trzech latach badań, a więc niezależnie od warunków pogodowych, tj. 25,3-25,9% (tab. 7). Nie potwierdza się zatem obserwowany w badaniach Kołodziejczyka i Szmigła [2012] efekt wpływu zmienności warunków pogodowych w poszczególnych latach na zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka.

5.3. ZAWARTOŚĆ SKROBI W BULWACH ZIEMNIAKA I JEJ PLON

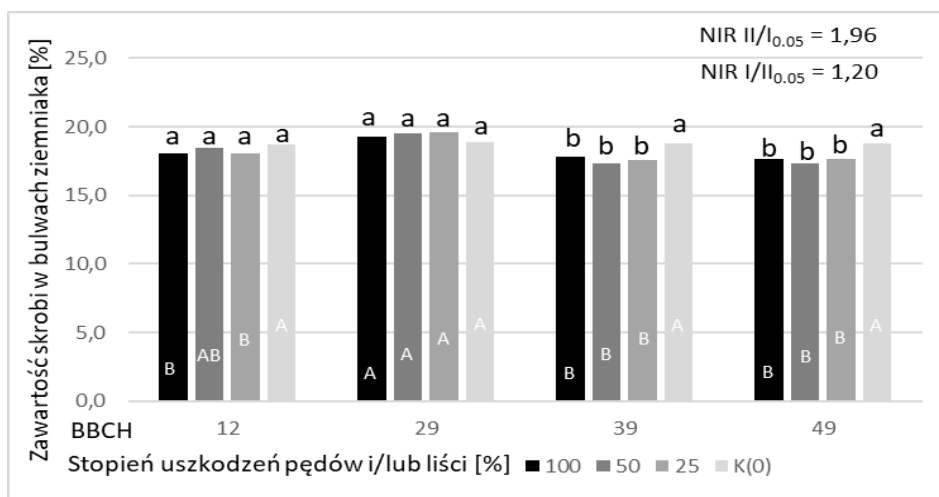
Skrobia jest głównym składnikiem bulwy ziemniaka, stanowiącym od 66% do 80% jej suchej masy [Akhila i in., 2022]. Jest to zgodne z badaniami własnymi, w których średnio skrobia stanowiła 69,5% suchej masy bulw. W literaturze jednak najczęściej podawana jest zawartość skrobi w świeżej masie [Kolbe i Stephan-Beckmann, 1997, Kołodziejczyk i Szmigiel, 2012], stąd tak właśnie prezentowane są wyniki badań własnych. Zawartość skrobi w bulwach ziemniaka średnio dla lat badań determinowana była zarówno terminem jak i stopniem uszkodzenia części nadziemnych (rys. 9). Średnio dla lat badań czynniki te działały interakcyjnie (rys. 10) w poszczególnych latach jednak takiej interakcji nie stwierdzono (tab. 8).



Rys. 9. Zawartość skrobi [%] w bulwach ziemniaka w zależności od stopnia (II) uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej (I), w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)

Średnio dla lat badań i faz rozwojowych zawartość skrobi w bulwach wykształconych przez nieuszkodzone w trakcie wegetacji rośliny wynosiła 18,8% i była istotnie wyższa 0,6 – 0,7 pkt.% (3,2 – 3,7 %) niż w roślinach z uszkodzonymi pędami nadziemnymi (rys. 9). Zróznicowanie uszkodzeń w zakresie 25-100% części nadziemnych nie skutkowało istotną zmianą zawartości skrobi. Średnie z lat badań wskazują, że jeśli uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka miały miejsce w fazie rozwojowej BBCH 29, to ich negatywny efekt na gromadzenie w bulwach skrobi był istotnie mniejszy niż w przypadku uszkodzeń wykonanych w fazach BBCH 12, 39, 49, dla których

zawartość skrobi w bulwach wynosiła odpowiednio o 1,0 pkt.%, 1,4 pkt.%, 1,5 pkt.% (5,2 %, 7,3 %, 7,8 %) mniej niż fazy BBCH 29.



Rys. 10. Zawartość skrobi [%] w bulwach ziemniaka w zależności od terminu (I) i stopnia (II) uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)

Analiza interakcji wskazuje, że stopień wykonywanych uszkodzeń części nadziemnych ziemniaków w fazach BBCH 12 i 29 nie miał istotnego wpływu na koncentrację skrobi w bulwach (rys. 10). Wpływ taki stwierdzono natomiast w fazach BBCH 39 i 49, w których bulwy wykształcone przez nieuszkodzone rośliny ziemniaka cechowała istotnie wyższa zawartość skrobi niż bulwy pochodzące z roślin uszkodzonych, niezależnie od stopnia uszkodzenia. Rośliny ziemniaka, których części nadziemne usuwano w 100% lub 25 % gromadziły największą zawartość skrobi w bulwach, gdy do zabiegu tego doszło w fazie BBCH 29, istotnie mniej skrobi w bulwach stwierdzono, gdy uszkodzenia wykonano w pozostałych fazach rozwojowych. Podobnie było w przypadku uszkodzenia 50% zielonych części roślin, z tym, że nie stwierdzono istotności różnicy w zawartości skrobi w bulwach między fazami BBCH 12 i 29. Takie zależności interakcyjnie uzyskano tylko dla wyników uśrednionych z lat badań, natomiast nie stwierdzono ich istotności w poszczególnych latach doświadczeń, w których ilość gromadzonej przez ziemniaki skrobi w bulwach była różna (tab. 8). Najkorzystniejsze warunki dla magazynowania skrobi przez bulwy ziemniaka stwierdzono w 2021 roku, w którym koncentracja tego składnika wynosiła średnio w obiekcie kontrolnym 19,9 %. Mniej korzystnym w tym aspekcie okazał się rok 2022, w którym wartość ta wyniosła o 1,5 pkt.% mniej, a najmniej korzystnym był rok 2023 z adekwatną różnicą wynoszącą 1,9pkt.%. Należy jednak zauważyć, że w 2023 roku uzyskano największy plon bulw.

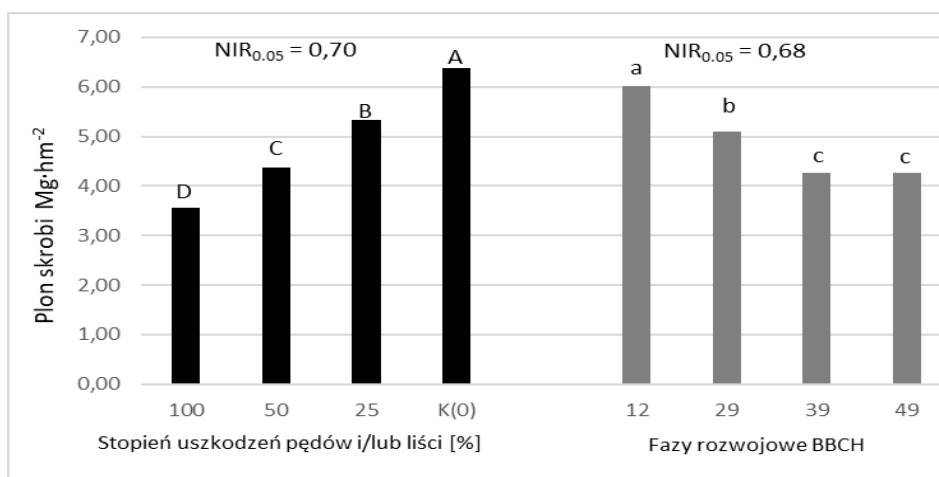
Tabela 8. Zawartość skrobi [%] w bulwach ziemniaka w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	18,9	19,4	18,5	18,5	18,8
50	18,6	20,0	17,7	17,8	18,5
25	19,3	20,2	18,2	18,2	19,0
0	19,9	19,9	19,8	20,0	19,9
średnia [I]	19,2	19,9	18,6	18,6	19,1
NIR _{0,05}	I=1,324	II=1,152	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2022					
100	17,6	19,9	17,3	17,5	18,1
50	18,5	19,9	16,8	17,2	18,1
25	17,5	20,4	16,8	17,1	17,9
0	18,3	18,6	18,4	18,3	18,4
średnia [I]	18,0	19,7	17,3	17,5	18,1
NIR _{0,05}	I=1,670	II=n.i.	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2023					
100	17,7	18,6	17,7	17,0	17,8
50	18,2	18,6	17,5	16,9	17,8
25	17,4	18,2	17,8	17,7	17,8
0	17,9	18,1	18,1	18,1	18,0
średnia [I]	17,8	18,4	17,8	17,4	17,8
NIR _{0,05}	I=n.i.	II=n.i.	II/I=n.i.	I/II=n.i.	

n.i.- nieistotne statystycznie.

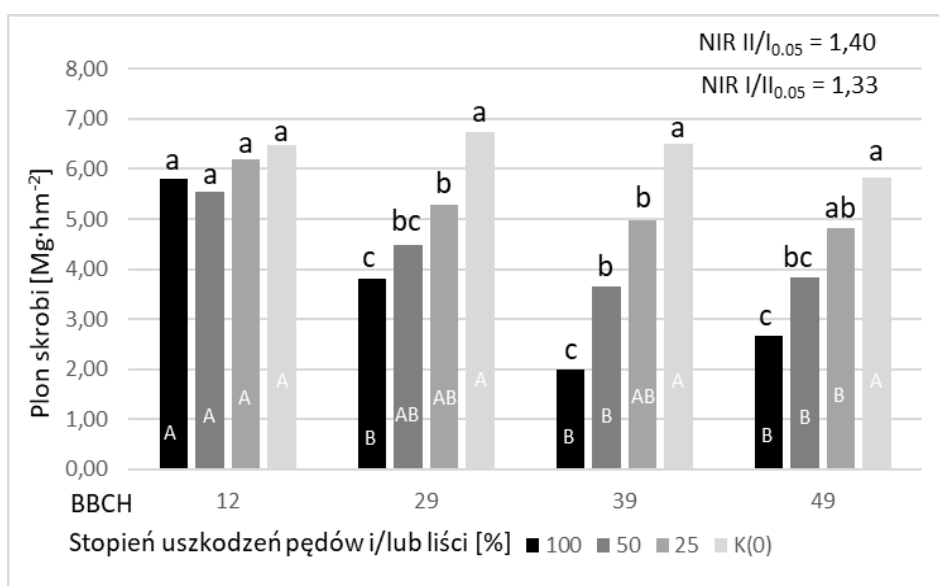
W 2021 roku stwierdzono istotny wpływ czynników badawczych na zawartość skrobi w bulwach. Była ona istotnie wyższa w obiekcie kontrolnym niż w przypadku usunięcia 50% powierzchni asymilacyjnej. Ponadto bulwy z obiektów uszkodzonych w fazie BBCH 29 zawierały istotnie więcej skrobi niż w przypadku uszkodzonych w fazach BBCH 39 i 49. Wpływ tego czynnika stwierdzono również w 2022 roku, w którym bulwy uzyskane z obiektów uszkodzanych w fazie BBCH 29 cechowała istotnie wyższa zawartość skrobi niż w przypadku uszkodzenia roślin w fazach BBCH 12, 39 i 49. W 2023 roku nie wykazano istotnego wpływu czynników badawczych na zawartość skrobi w bulwach ziemniaka. W żadnym z lat badań nie stwierdzono interakcji pomiędzy czynnikami w kształtowaniu tej cechy.

W podobnych badaniach krajowych przeprowadzonych przez Kołodziejczyka i Szmigła [2012], zawartość skrobi w bulwach wahała się w znacznie szerszych granicach niż w badaniach własnych. Cytowani autorzy podają zakres tego parametru jakościowego w granicach od 12,9 do 19,5% w zależności od roku badań, terminu oraz stopnia redukcji ulistnienia roślin ziemniaka. Trzeba jednak zaznaczyć, że cytowani autorzy [Kołodziejczyk i Szmigiel, 2012] wykonywali uszkodzenia roślin w późniejszych fazach rozwojowych, a więc w fazach większej intensywności gromadzenia skrobi w bulwach niż intensywności przyrostu ich masy [Kolbe i Stephan-Beckmann, 1997]. Kołodziejczyk i Szmigiel [2012] odnotowali mniejszą koncentrację skrobi w nieuszkodzonych obiektach kontrolnych tj. 17,0% czyli o 1,8 pkt% mniej niż uzyskano w badaniach własnych. Różnice w zawartości skrobi obiektów kontrolnych różnych doświadczeń wynikają z uwarunkowań genetycznych testowanej odmiany oraz różnych warunków pogodowych, glebowych i agrotechnicznych prowadzonych doświadczeń, przy czym największe znaczenie ma dostępność wody, a więc ilość i rozkład opadów [Islam i in., 2020, Zagórska i Frydecka-Mazurczyk, 2000]. Pomimo różnic w wartościach koncentracji skrobi w bulwach w stosunku do badań własnych, wyniki prezentowane przez Kołodziejczyka i Szmigła [2012] potwierdzają, że redukcja części nadziemnej ziemniaka skutkuje obniżeniem zawartości skrobi w bulwach. Trzeba jednak zaznaczyć, że usuwanie części nadziemnych w późnych fazach rozwojowych (BBCH 81 - 91), tj. 10 – 15 dni przed terminem zbioru, jest powszechną praktyką agrotechniczną mającą na celu nie tylko ułatwienie zbioru bulw, ale poprawę ich jakości, w tym również wzrost koncentracji skrobi [Upadhyay i Bashyal, 2020].



Rys. 11. Plon skrobi [Mg·hm⁻²] w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya p=0,05)

Ostatecznie z punktu widzenia odbiorcy bulw ziemniaka stanowiącego surowiec przemysłowy, najważniejszym parametrem jest ilość kupowanej skrobi, stanowiąca wypadkową jej zawartości i plonu bulw. W warunkach przeprowadzonego doświadczenia średnio dla lat badań wraz z każdym, rosnącym stopniem uszkodzeń części nadziemnych ziemniaka odnotowano istotny spadek plonu skrobi [rys. 11]. Destrukcja 25% nadziemnych części roślin ziemniaka skutkowałą spadkiem plonu skrobi o $1,05 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (16,5%) w stosunku do kontroli, analogicznie destrukcja 50% - $2,01 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (31,5%) i destrukcja 100% - $2,82 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (44,2%). Istotne znaczenie miało również to, kiedy uszkodzenia te były wykonywane. Największym plonem skrobi cechowały się obiekty, w których uszkodzono części nadziemne w najwcześniejszej fazie, tj. BBCH 12, istotnie mniejszy o $0,92 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ plon uzyskano, gdy czynnik destrukcji części nadziemnych wprowadzono w fazie BBCH 29. Największy spadek plonu skrobi zarejestrowano, gdy organy nadziemne ziemniaka uległy uszkodzeniu w fazach BBCH 39 i 49, gdzie spadek względem fazy BBCH 12 wyniósł $1,75 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$, tj. 29,2%.



Rys. 12. Płon skrobi [$\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$] w zależności od terminu (I) i stopnia (II) uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)

Oddziaływania testowanych czynników były interakcyjne (rys. 12). Rośliny, które były uszkodzane w fazie BBCH 12 nie reagowały istotnym spadkiem plonu skrobi w stosunku do roślin nieuszkodzonych niezależnie od

stopnia uszkodzenia. Destrukcja części nadziemnych wykonywana w późniejszych fazach rozwojowych wiązała się ze spadkiem plonu skrobi. W fazie BBCH 29 już redukcja 25% części nadziemnych roślin ziemniaka skutkowała istotnym spadkiem plonu skrobi, wynoszącym aż 1,46 Mg·hm⁻² (21,7%), w stosunku do nieuszkodzonej kontroli, a redukcja 50% i 100% aparatu asymilacyjnego ziemniaka spowodowała stratę na poziomie odpowiednio 2,26 Mg·hm⁻² i 2,94 Mg·hm⁻² (33,4% i 43,6%). Analogiczne spadki plonu w fazie BBCH 39 wyniosły dla uszkodzeń 25% - 1,53 Mg·hm⁻² (23,4%), dla uszkodzeń 50% - 2,87 Mg·hm⁻² (44%) i dla uszkodzeń 100% aż 4,53 Mg·hm⁻², czyli o 69% plonu jaki uzyskano w kontroli. W fazie BBCH 49 analogiczne różnice w stosunku do kontroli wyniosły odpowiednio 1,0 Mg·hm⁻² (różnica nieistotna), 1,98 Mg·hm⁻² (33,9%) i 3,15 Mg·hm⁻² (54,1%).

Tabela 9. Plon skrobi z plonu ogólnego bulw ziemniaka [Mg·hm⁻²] w latach 2021-2023 w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	5,41	3,74	2,11	2,65	3,46
50	4,56	4,30	3,17	2,99	3,74
25	6,37	6,12	5,33	5,75	5,91
0	6,55	6,49	6,55	6,80	6,59
średnia [I]	5,72	5,15	4,26	4,50	4,91
NIR _{0,05}	I=1,101	II=1,274	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2022					
100	5,47	3,08	1,37	1,93	2,97
50	5,20	4,22	4,08	4,01	4,38
25	5,78	3,61	4,03	3,25	4,19
0	5,38	6,19	6,27	4,26	5,52
średnia [I]	5,47	4,31	3,91	3,36	4,25
NIR _{0,05}	I=0,702	II=1,010	II/I=2,020	I/II=1,880	
rok 2023					
100	6,50	4,54	2,50	3,42	4,24
50	6,86	4,91	3,66	4,50	4,97
25	6,44	5,99	5,64	5,52	5,91
0	7,43	7,49	6,68	6,44	7,00
średnia [I]	6,80	5,76	4,61	4,94	5,50
NIR _{0,05}	I=2,017	II=1,216	II/I=n.i.	I/II=n.i.	

n.i. - nieistotne statystycznie.

W poszczególnych latach badań kierunkowe prawidłowości redukcji plonu skrobi pod wpływem uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka opisane na danych uśrednionych z lat na ogół się potwierdzają (tab. 9). Najkorzystniejszym pod względem produkcji skrobi okazał się rok 2023, a najmniej korzystnym rok 2022. To właśnie w najmniej korzystnym roku z punktu widzenia uzyskiwanego plonu skrobi ujawniły się statystycznie istotne interakcyjne oddziaływania zastosowanych czynników. Przedmiotowe interakcje dla roku 2022 były kierunkowo zgodne z opisanymi powyżej interakcjami dla średniej z lat badań.

5.4. ZAWARTOŚĆ CUKRÓW W BULWACH ZIEMNIAKA

Zawartość cukrów ogółem była najslabiej determinowaną przez testowane czynniki cechą spośród wszystkich oznaczanych cech. W poszczególnych latach wystąpiły bardzo duże różnice w wartościach przedmiotowej cechy (tab. 10), co świadczy o tym, że duży wpływ na nią miały zmienne warunki pogodowe w latach badań.

Uzyskane wyniki wskazują, na stosunkowo niską zawartość cukrów ogółem w latach 2021 i 2023 w stosunku do wartości oznaczanych przez innych autorów [Frydecka – Mazurczyk i Zgórska, 2002, Wójcik-Stopczyńska, 2013, Zarzecka i in., 2022]. Zdaniem przytoczonych autorów jest to jednak cecha zależna od odmiany. Odmiany przeznaczone do produkcji chipsów, a taką testowano w badaniach własnych, powinny cechować się niską zawartością cukrów ogółem i cukrów redukujących. Na podstawie wieloletnich badań ustalono, że bulwy ziemniaka przeznaczone do bezpośredniej konsumpcji, na susze, produkty smażone i konserwowane powinny zawierać nie więcej niż 1% cukrów ogółem [Zarzecka i in., 2022]. W badaniach własnych analiza średnich z trzech lat badań nie wykazała istotnego wpływu na tę cechę zarówno stopnia wykonywanych uszkodzeń części nadziemnych roślin ziemniaka jak i terminu ich wykonania. Nie stwierdzono również interakcji tych czynników w odniesieniu do średniej z lat zawartości cukrów ogółem. Jakkolwiek w dwóch z trzech lat badań (2021 i 2023) wykazano istotny wpływ terminu wykonywania uszkodzeń organów nadziemnych roślin ziemniaka na zawartość cukrów ogółem oznaczonych w bulwach po zbiorze. W 2021 roku stwierdzono większą zawartość cukrów ogółem, gdy uszkodzenia wykonano w fazach BBCH 12 i 29 niż w fazach BBCH 39 i 49, a w 2023 roku była ona większa, gdy uszkodzenia wykonano w fazach BBCH 29 i 39 niż w fazie BBCH 49.

Tabela 10. Zawartość cukrów ogółem [g·kg⁻¹] w świeżej masie bulw ziemniaka w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano

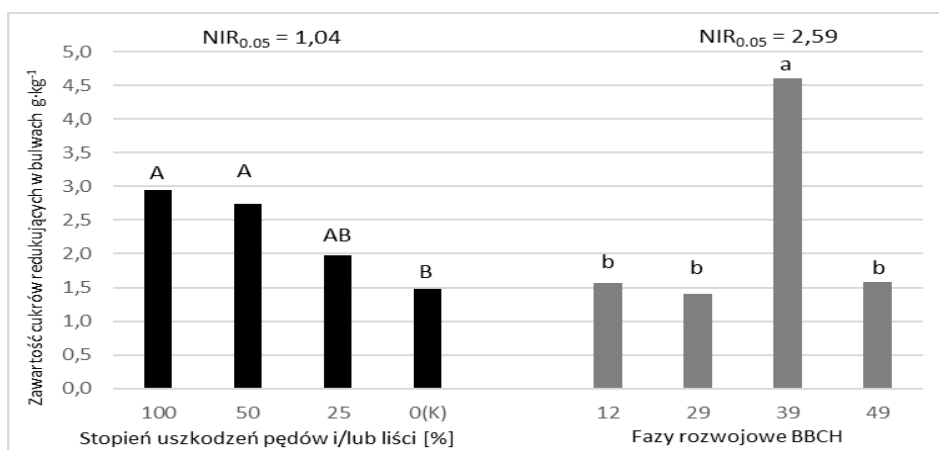
Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	2,29	2,12	1,31	1,05	1,69
50	2,38	2,40	1,49	1,13	1,85
25	2,00	1,94	1,43	1,09	1,62
0	2,17	2,08	1,19	1,13	1,64
średnia [I]	2,21	2,14	1,36	1,10	1,70
NIR _{0,05}	I=0,550	II=n.i.	II/I n.i.	I/II =n.i.	
rok 2022					
100	4,78	7,04	17,77	7,95	9,39
50	5,41	6,78	17,76	6,69	9,16
25	4,91	7,26	7,17	7,03	6,59
0	5,25	6,26	7,03	6,85	6,35
średnia [I]	5,09	6,83	12,43	7,13	7,87
NIR _{0,05}	I=n.i.	II=n.i.	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2023					
100	3,56	4,33	6,34	2,97	4,30
50	3,85	4,54	5,44	3,16	4,25
25	3,63	4,16	4,52	2,92	3,81
0	3,86	4,18	3,48	2,88	3,60
średnia [I]	3,72	4,30	4,95	2,98	3,99
NIR _{0,05}	I=0,903	II=n.i.	II/I=n.i.	I/II=n.i.	
rok 2021- 2023					
100	3,54	4,50	8,47	3,99	5,12
50	3,88	4,57	8,23	3,66	5,09
25	3,51	4,45	4,38	3,68	4,00
0	3,76	4,17	3,90	3,62	3,86
średnia [I]	3,67	4,42	6,24	3,74	4,52
NIR _{0,05}	I=n.i.	II=n.i.	II/I=n.i.	I/II=n.i.,	

n.i.- nieistotne statystycznie.

Uzyskane wyniki wskazują, na stosunkowo niską zawartość cukrów ogółem w latach 2021 i 2023 w stosunku do wartości oznaczanych przez innych autorów [Frydecka – Mazurczyk i Zgórska, 2002, Wójcik-Stopczyńska, 2013, Zarzecka i in., 2022]. Zdaniem przytoczonych autorów jest to jednak cecha zależna od odmiany. Odmiany przeznaczone do produkcji chipsów, a taką testowano w badaniach własnych, powinny cechować się niską zawartością cukrów ogółem i cukrów redukujących. Na podstawie wieloletnich badań

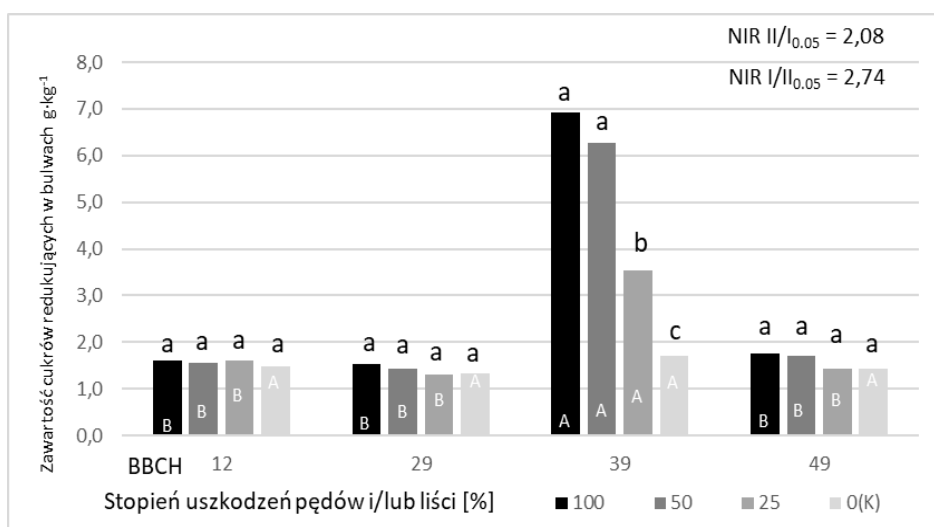
ustalono, że bulwy ziemniaka przeznaczone do bezpośredniej konsumpcji, na susze, produkty smażone i konserwowane powinny zawierać nie więcej niż 1% cukrów ogółem [Zarzecka i in., 2022]. W badaniach własnych analiza średnich z trzech lat badań nie wykazała istotnego wpływu na tę cechę zarówno stopnia wykonywanych uszkodzeń części nadziemnych roślin ziemniaka jak i terminu ich wykonania. Nie stwierdzono również interakcji tych czynników w odniesieniu do średniej z lat zawartości cukrów ogółem. Jakkolwiek w dwóch z trzech lat badań (2021 i 2023) wykazano istotny wpływ terminu wykonywania uszkodzeń organów nadziemnych roślin ziemniaka na zawartość cukrów ogółem oznaczonych w bulwach po zbiorze. W 2021 roku stwierdzono większą zawartość cukrów ogółem, gdy uszkodzenia wykonano w fazach BBCH 12 i 29 niż w fazach BBCH 39 i 49, a w 2023 roku była ona większa, gdy uszkodzenia wykonano w fazach BBCH 29 i 39 niż w fazie BBCH 49.

Średnia z trzech lat badań zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka determinowana była zarówno stopniem uszkodzeń części nadziemnych roślin ziemniaka jak i tym w jakiej fazie rozwojowej je wykonano (rys. 13). Generalnie uszkodzenia aparatu asymilacyjnego wiązały się ze wzrostem zawartości cukrów redukujących w bulwach i to w stopniu istotnym, jeśli przedmiotowe uszkodzenia były na poziomie 100 i 50%, a wzrost ten w stosunku do kontroli wyniósł odpowiednio 1,45 g·kg⁻¹ i 1,25 g·kg⁻¹ (98,8 % i 84,6 %). Zaobserwowano jednak, że uszkodzenia wywołane w fazie rozwojowej, BBCH 39 skutkowały bardzo wysoką zawartością cukrów redukujących w bulwach ziemniaków na poziomie 4,6 g·kg⁻¹, a czynnik ten zastosowany w innych fazach skutkował wartościami przedmiotowego parametru na poziomie 1,4 – 1,6 g·kg⁻¹ (tj. ok. 3-krotnie mniej).



Rys. 13. Zawartość cukrów redukujących [g·kg⁻¹] w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya p=0,05)

Oba czynniki miały działanie interakcyjne (rys. 14). Destrukcja pędów nadziemnych ziemniaka, niezależnie od stopnia jej nasilenia, mająca miejsce w fazach rozwojowych BBCH 12, 29 i 49 nie miała istotnego wpływu na zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaków. Uszkodzenia wywołane w fazie BBCH 39 wiązały się jednak z kilkukrotnym wzrostem koncentracji tych związków. Przy uszkodzeniach 100 % i 50 % części nadziemnych przedmiotowy wzrost był odpowiednio 4,1-krotny i 3,7-krotny, a przy uszkodzeniach 25% - 2,1-krotny.



Rys. 14. Zawartość cukrów redukujących [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] w zależności od terminu i stopnia uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$).

Zawartość cukrów redukujących w warunkach przeprowadzonych doświadczeń związana była ze zmiennymi warunkami w poszczególnych latach (tab. 11). W opisywanym powyżej zjawisku o znacznej koncentracji cukrów redukujących zaważyły wyniki uzyskane w 2022 r. O ile w pozostałych latach badań (2021 i 2023) zaobserwowano, że uszkodzenia aparatu asymilacyjnego roślin ziemniaka wywołane w fazie BBCH 39 powodowały większą koncentrację cukrów redukujących w bulwach niż w innych fazach rozwojowych, to skala tego zjawiska była o wiele mniejsza niż w roku 2022.

Tabela 11. Zawartość cukrów redukujących [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$] w świeżej masie bulw ziemniaka w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano

Stopień uszkodzenia pędów i/lub liści [II]	Termin uszkodzeń - faza rozwojowa BBCH [I]				średnia [II]
	12	29	39	49	
rok 2021					
100	1,00	1,27	4,83	1,00	2,03
50	1,02	1,18	4,63	1,27	2,03
25	1,07	1,08	3,10	0,92	1,54
0	1,18	1,17	1,76	0,93	1,26
średnia [I]	1,07	1,18	3,58	1,03	1,71
NIR _{0,05}	I=0,450	II=0,166	II/I=0,333	I/II=0,531	
rok 2022					
100	1,87	2,22	11,47	2,96	4,63
50	1,80	1,92	10,30	2,57	4,15
25	2,04	1,68	4,88	2,28	2,72
0	1,69	1,65	1,90	2,23	1,86
średnia [I]	1,85	1,87	7,14	2,51	3,34
NIR _{0,05}	I=0,448	II=0,488	II/I=0,975	I/II=0,953	
rok 2023					
100	1,93	1,09	4,44	1,28	2,19
50	1,83	1,18	3,85	1,28	2,04
25	1,71	1,19	2,66	1,10	1,66
0	1,58	1,15	1,44	1,11	1,32
średnia [I]	1,76	1,16	3,10	1,19	1,80
NIR _{0,05}	I=0,649	II=0,258	II/I=0,517	I/II=0,784	
rok 2021- 2023					
100	1,60	1,53	6,91	1,75	2,95
50	1,55	1,43	6,26	1,70	2,74
25	1,60	1,32	3,55	1,43	1,97
0	1,49	1,32	1,70	1,42	1,48
średnia [I]	1,56	1,40	4,60	1,58	2,28
NIR _{0,05}	I=2,592	II=1,037	II/I=2,075	I/II=2,737	

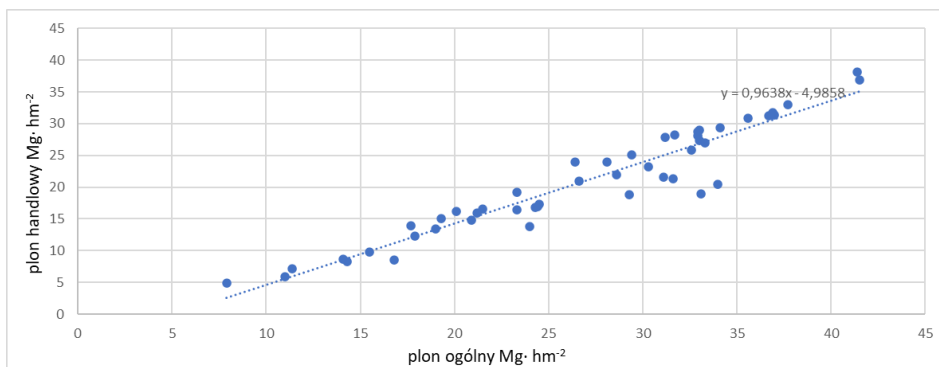
Koncentracja cukrów redukujących jaką uzyskano w 2022 r. przy uszkodzeniach części nadziemnych na poziomie 100 i 50% przekraczała 1% ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) świeżej masy bulw. W efekcie surowiec ten cechuje się słodkawym smakiem przyrządzanych ziemniaków znacznie pogarszając ich walory kulinarne [Leszczyński, 2000]. Ma to jednak zdecydowanie większe konsekwencje, gdy bulwy takie trafiają do termicznej obróbki w temperaturach 120-140 °C. W takich warunkach cukry redukujące w wysokiej koncentracji wraz

z aminokwasami wywołują reakcję Millarda, której efektem jest ciemna barwa oraz specyficzny smak i zapach frytek i chipsów [Fu i in., 2020]. Zgodnie z obecnymi wymaganiami jakościowymi w świeżej masie bulw ziemniaka przeznaczonych do konsumpcji i przetwórstwa suma cukrów nie powinna przekraczać 1%, a suma cukrów redukujących 0,5%. Jakkolwiek w produkcji frytek i chipsów zawartość cukrów redukujących nie powinna być większa niż odpowiednio 0,25 i 0,15% [Zagórska, 2004]. Jako jeden z czynników determinujących koncentrację cukrów redukujących w literaturze wskazuje się warunki przechowywania bulw, w tym głównie temperaturę [Colman i in., 2017]. Koncentracja cukrów redukujących związana jest z dojrzałością fizjologiczną bulw, początkowo w fazie inicjacji bulw zawartość cukrów jest wysoka a skrobi niska, ponieważ szybkość transportu cukrów wytwarzanych w liściach do bulw przekracza szybkość konwersji do skrobi. Ostatecznie, gdy bulwa osiąga dojrzałość fizjologiczną, cechuje się ona maksymalną akumulacją suchej masy i minimalną ilość cukrów [Stark i Love, 2003]. Zawartość cukru w bulwach może być jednak zależna od odmiany, etapu wzrostu i czynników środowiskowych [Thompson i in., 2008], Takimi czynnikami może być stres cieplny i susza w trakcie wegetacji [Hiller i Thornton, 1993, Kincaid i in., 1993, Shock i in., 1993]. Nie znajduje to jednak potwierdzenia w badaniach własnych, ponieważ w roku 2022, w którym uzyskano ekstremalne wartości koncentracji cukrów redukujących w bulwach, temperatury powietrza nie odbiegały od pozostałych lat badań, a sumy opadów w lipcu, sierpniu i wrześniu były wyższe niż w pozostałych latach. Wzrostowi zawartości cukrów redukujących powodujących czernienie końcówek frytek podczas smażenia sprzyjać mogą również nadmierne lub zbyt małe dawki nawożenia azotowego [Feibert i in., 1998, Iritani i Weller, 1978, Thornton i Iritani, 1986]. Brak jest w literaturze informacji o wpływie uszkodzeń części nadziemnych na koncentrację cukrów redukujących w bulwach ziemniaka po zbiorze. Pewne informacje na temat ciemnienia miąższu bulw ziemniaka płyną z badań przeprowadzonych przez Kołodziejczyka i Szmigła [2012], którzy stwierdzili wpływ stosowanych uszkodzeń części nadziemnych roślin ziemniaka na ciemnienie miąższu, ale nie można ich odnieść do koncentracji cukrów redukujących. Pewnym wyjaśnieniem zjawiska stwierdzonego w badaniach własnych może być to, że w fazie BBCH 39 koncentracja skrobi w bulwach była już znacząca, a rośliny dążąc do odbudowy aparatu asymilacyjnego, aż do momentu zbioru, uwalniały ze zmagazynowanej w bulwach skrobi cukry redukujące. Uszkodzenia we

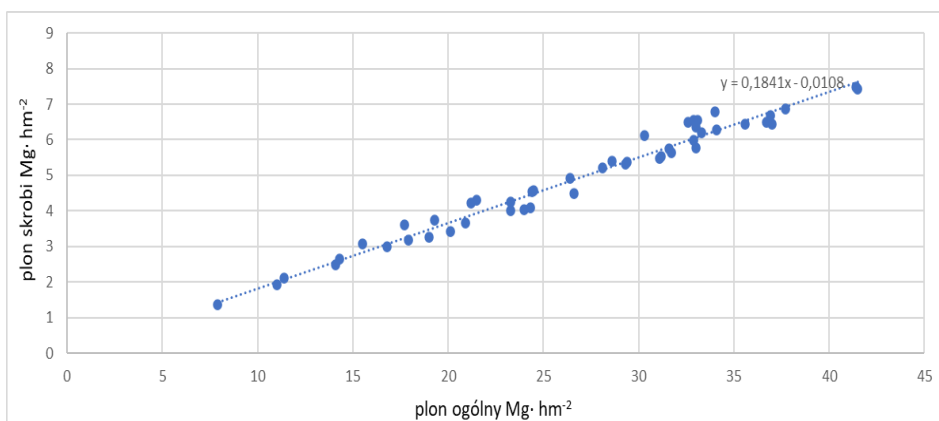
wcześniejszych fazach zostały prawdopodobnie szybciej zregenerowane i rośliny zdążyły przekonwertować cukry proste do skrobi. Trudniej wytłumaczalny natomiast jest fakt, dlaczego uszkodzenia wywołane w fazie BBCH 49 nie skutkowały utrzymaniem takiego poziomu cukrów redukujących jak w fazie BBCH 39.

4.5. ANALIZA WSPÓLZALEŻNOŚCI CECH PRODUKCYJNYCH I JAKOŚCIOWYCH

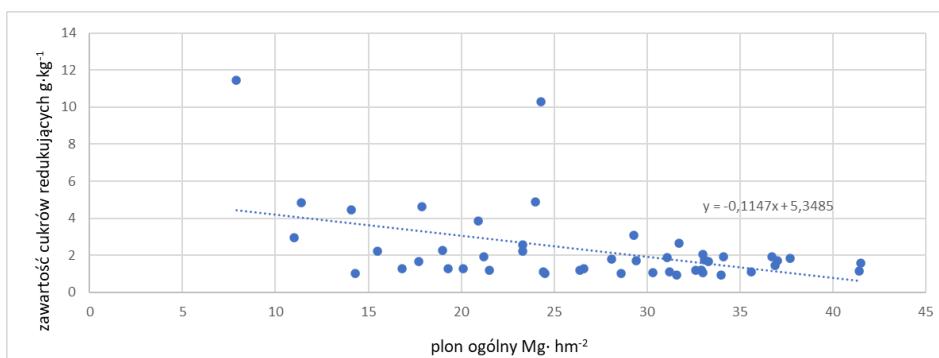
Wielkość plonu handlowego bulw ziemniaka była silnie dodatnio skorelowana z plonem ogólnym bulw (tab. 12), a zależność pomiędzy tymi cechami była liniowa (rys. 15). Analiza regresji wskazuje, że wraz ze wzrostem plonu ogólnego o $1 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ plon bulw handlowych wzrastał o $0,96 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Zarówno plon ogólny, handlowy jak i odsetek bulw handlowych były dodatnio skorelowane z zawartością suchej masy. Można zatem przypuszczać, że warunki sprzyjające wzrostowi plonowania sprzyjały również wzrostowi koncentracji suchej masy w bulwach ziemniaków, w tym kontekście zastanawiający jest jednak brak istotnej korelacji tych cech z zawartością skrobi. Choć nie ma w literaturze wyjaśnień takich zależności, to można jednak przypuszczać, że destrukcja aparatu asymilacyjnego w różnych fazach rozwojowych mogła powodować zakłócenia w konwersji cukrów prostych na skrobię i w efekcie nastąpiło wypaczenie dobrze poznanego związku pomiędzy zawartością skrobi i suchej masy w bulwach. Nie zmieniło to jednak faktu istnienia silnej dodatniej korelacji pomiędzy plonem bulw i plonem skrobi ($r=0,99$). Wraz ze wzrostem plonu ogólnego bulw o $1 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ plon skrobi wzrastał o $0,18 \text{ Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (tab. 12, rys. 16).



Rys. 15. Zależność plonu ogólnego i handlowego



Rys. 16. Zależność plonu ogólnego i plonu skrobi



Rys. 17. Zależność plonu ogólnego i zawartości cukrów redukujących w bulwach

Tabela 12. Macierz korelacji i regresji plonu i cech jakościowych bulw ziemniaka

wsp. korelacji równania regresji	plon ogólny bulw	plon bulw handlowych	odsetek bulw handlowych	zawartość suchej masy	zawartość skrobi	plon skrobi	zawartość cukrów ogółem	zawartość cukrów redukujących
plon ogólny bulw	-	0,96	0,66	0,43	0,07	0,99	-0,18	-0,46
plon bulw handlowych	$y = 0,96x - 4,99$	-	0,83	0,50	0,04	0,93	-0,11	-0,44
odsetek bulw handlowych	$y = 0,89x + 51,7$	$y = 1,112x + 52,2$	-	0,53	0,06	0,64	0,02	-0,36
zawartość suchej masy	$y = 0,04x + 24,5$	$y = 0,046x + 24,6$	$y = 0,036x + 22,9$	-	0,23	0,44	0,19	-0,07
zawartość skrobi	$y = 0,01x + 18,1$	$y = 0,005x + 18,2$	$y = 0,005x + 17,9$	$y = 0,298x + 10,7$	-	0,23	-0,16	-0,42
plon skrobi	$y = 0,18x - 0,01$	$y = 0,173x + 1,32$	$y = 0,088x - 1,76$	$y = 0,810x - 18,1$	$y = 0,36x - 1,72$	-	-0,21	-0,50
zawartość cukrów ogółem	$y = -0,05x + 4,99$	$y = -0,030x + 4,33$	$y = 0,005x + 3,37$	$y = 0,562x - 10,7$	$y = -0,36x + 10,4$	$y = -0,3x + 5,18$	-	0,33
zawartość cukrów redukujących	$y = -0,12x + 5,35$	$y = -0,110x + 4,57$	$y = -0,067x + 7,35$	$y = -0,205x + 7,54$	$y = -0,88x + 18,4$	$y = -0,68x + 5,61$	$y = 0,3034x + 1,16$	-

8

Zawartość cukrów ogółem nie była skorelowana z innymi cechami. Stwierdzono natomiast ujemną korelację zawartości cukrów redukujących z pozostałymi cechami (poza zawartością cukrów ogółem, zawartością suchej masy). Istotny ujemny związek zawartości cukrów redukujących z plonem i zawartością skrobi świadczy o tym, że im bardziej są korzystne warunki dla plonowania i gromadzenia skrobi tym mniej pozostaje w bulwach cukrów prostych, które nie zostały zamienione na skrobię. Związek ten nie jest jednak silny ($r = -0,46$). Zależność pomiędzy tymi cechami zmieniają przypadki odbiegające od linii trendu. Na uwagę zasługują szczególnie dwa obiekty odbiegające najsilniej od linii trendu (rys. 17). Były to przypadki ze skrajnie wysoką zawartością cukrów redukujących na poziomie 11,47 i 10,30 g·kg⁻¹ stwierdzone w 2022 roku dla obiektów z uszkodzeniami aparatu asymilacyjnego na poziomie odpowiednio 100 i 50% wykonanymi w fazie BBCH 39. Literatura nie dostarcza informacji o zależnościach określanych w badaniach własnych cech pod wpływem aplikowanych czynników doświadczalnych.

5.6. WIELOCECHOWA OCENA WIELKOŚCI I JAKOŚCI PLONU

Oceniana odmiana ziemniaka jest z założenia przeznaczona głównie do produkcji chipsów. Surowiec wykorzystywany w tym kierunku musi spełniać kryteria jakościowe, decydujące o jego wartości. Są to zarówno cechy morfologiczne jak kształt i wielkość bulw ale również cechy jakościowe, głównie wysoka zawartość skrobi i niska zawartość cukrów redukujących [Zgórska i Grudzińska, 2010]. Wprowadzony czynnik doświadczalny determinował szereg cech jakościowych mających znaczenie przy ocenie wartości plonu dla przetwórstwa spożywczego. Przeprowadzono więc analizę przydatności bulw ziemniaków z poszczególnych obiektów doświadczalnych do produkcji chipsów i frytek (tab. 13). Przyjęte założenie, że zawartość cukrów redukujących w surowcu do produkcji chipsów nie może przekraczać 1,5 g·kg⁻¹ skutkowało tym, że obiekty przekraczające tę wartość uzyskały mnożnik korygujący wartość plonu równy 0, co skutkuje dyskwalifikacją takiego surowca dla tego kierunku użytkowania. W roku 2021 były to obiekty, w których organy nadziemne uszkodzono w fazie BBCH 39, a w 2023 w fazie BBCH 12 i 39, niezależnie od stopnia ich uszkodzenia. W 2022 roku plon z żadnego z obiektów, nawet kontrolnego, nie spełniał norm dla produkcji chipsów. Kryteria jakościowe dla produkcji frytek na ogół spełniał plon z większości obiektów doświadczalnych poza tymi, w których organy nadziemne ulegały uszkodzeniom w fazie BBCH 39. Analiza skorygowanego o kryteria jakościowe plonu wskazuje, że uszkodzenia aparatu asymilacyjnego na poziomie 100 i 50% skutkują znaczną utratą plonu, zwłaszcza gdy stanowi on surowiec dla produkcji chipsów i frytek.

Tabela 13. Ocena wartości plonu w oparciu o wielkość plonu handlowego i jego cechy jakościowe

Czynnik I	Czynnik II	plon handlowy [Mg·hm ⁻²]	skrobia		cukry redukujące			plon przeliczeniowy [Mg·hm ⁻²]	
			zawartość %	korekta chipsy i frytki	zawartość [g·kg ⁻¹]	korekta		chipsy	frytki
						chipsy	frytki	chipsy	frytki
2021									
12	100	21,9	18,9	1,10	1,00	1,0	1,0	24,1	24,1
	50	17,3	18,6	1,10	1,02	1,0	1,0	19,0	19,0
	25	29,0	19,3	1,10	1,07	1,0	1,0	31,9	31,9
29	100	15,1	19,4	1,10	1,27	1,0	1,0	16,6	16,6
	50	16,6	20,0	1,10	1,18	1,0	1,0	18,3	18,3
	25	23,2	20,2	1,10	1,08	1,0	1,0	25,5	25,5
39	100	7,1	18,5	1,10	4,83	0,0	0,0	0,0	0,0
	50	12,3	17,7	1,05	4,63	0,0	0,0	0,0	0,0
	25	18,8	18,2	1,10	3,10	0,0	0,0	0,0	0,0
49	100	8,3	18,5	1,10	1,00	1,0	1,0	9,1	9,1
	50	8,5	17,8	1,05	1,27	1,0	1,0	8,9	8,9
	25	21,3	18,2	1,10	0,92	1,0	1,0	23,4	23,4
kontrola		23,5	19,9	1,10	1,26	1,0	1,0	25,8	25,8
2022									
12	100	21,6	17,6	1,05	1,9	0,0	1,0	0,0	22,7
	50	24,0	18,5	1,10	1,8	0,0	1,0	0,0	26,4
	25	27,3	17,5	1,05	2,0	0,0	1,0	0,0	28,7
29	100	9,8	19,9	1,10	2,2	0,0	1,0	0,0	10,8
	50	15,9	19,9	1,10	1,9	0,0	1,0	0,0	17,5
	25	13,9	20,4	1,10	1,7	0,0	1,0	0,0	15,3
39	100	4,9	17,3	1,05	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	50	16,8	16,8	1,00	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	25	13,8	16,8	1,00	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
49	100	5,9	17,5	1,05	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	50	16,5	17,2	1,05	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	25	13,4	17,1	1,05	2,3	0,0	1,0	0,0	14,1
kontrola		25,2	18,4	1,10	1,9	0,0	1,0	0,0	27,7
2023									
12	100	31,2	17,7	1,05	1,9	0,0	1,0	0,0	32,8
	50	33,0	18,2	1,10	1,8	0,0	1,0	0,0	36,3
	25	31,4	17,4	1,05	1,7	0,0	1,0	0,0	33,0
29	100	17,0	18,6	1,10	1,1	1,0	1,0	18,7	18,7
	50	24,0	18,6	1,10	1,2	1,0	1,0	26,4	26,4
	25	28,1	18,2	1,10	1,2	1,0	1,0	30,9	30,9
39	100	8,6	17,7	1,05	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0
	50	14,8	17,5	1,05	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	25	28,2	17,8	1,05	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
49	100	16,2	17,0	1,00	1,3	1,0	1,0	16,2	16,2
	50	20,9	16,9	1,00	1,3	1,0	1,0	20,9	20,9
	25	27,8	17,7	1,05	1,1	1,0	1,0	29,2	29,2
kontrola		34,4	18,1	1,10	1,3	1,0	1,0	37,9	37,9

5.7. OCENA SKUTKÓW EKONOMICZNYCH USZKODZEŃ CZĘŚCI NADZIEMNYCH ZIEMNIAKA

Uprawa ziemniaków na chipsy wymaga wysokich nakładów (tab. 14). Największe wydatki związane były z zakupem sadzeniaków, co generalnie potwierdza się także w innych opracowaniach [Baranowska i Zarzecka, 2017, Gołaś, 2016], choć również bardzo wysokie nakłady poniesiono na pracę maszyn własnych. Całość nakładów na uprawę zamknęła się kosztem 21094,47 PLN. Wartość produkcji warunkowana jest ceną zależną głównie od przeznaczenia surowca oraz wielkością produkcji. Zestawienie wartości plonu (tab. 15) wskazuje na bardzo dużą jego zmienność w poszczególnych latach. Uwzględniając to, że cena za ziemniaki przeznaczone do produkcji chipsów i frytek wynosiła odpowiednio 1050 i 860 PLN za Mg plonu przeliczeniowego, a cena 1 Mg skrobi 2100 PLN w 2024 r., zdecydowanie najbardziej opłacalne było odstawianie surowca na produkcję chipsów. W obiektach kontrolnych w warunkach lat 2021 i 2023. uzyskano dochód rolniczy odpowiednio 11417 i 21798 PLN z jednego hektara uprawy w przypadku sprzedaży surowca z plonu handlowego do produkcji chipsów i pozostającego plonu niehandlowego na skrobię. Wprowadzone czynniki doświadczalne jak i warunki pogodowe w poszczególnych latach uprawy w znacznej mierze wpływały nie tylko na wysokość plonu bulw ale także ich jakość, co w wielu przypadkach dyskwalifikowało wyprodukowany surowiec do produkcji chipsów i frytek. W takiej sytuacji wartość przedmiotowego surowca odpowiadała wartości wynikającej z ilości uzyskanej skrobi. W aspekcie wartości plonu uszkodzenie części nadziemnych roślin ziemniaków wiązało się ze znaczną utratą wartości plonu. W warunkach pogodowych 2021 r. przy realiach cenowych roku 2024 uszkodzenie części nadziemnych w fazie BBCH 39 i związana z tym konieczność przekwalifikowania plonu z przeznaczenia surowca na produkcję chipsów (plus wartość skrobi plonu niehandlowego) na surowiec wyłącznie do produkcji skrobi ziemniaczanej obniżało wynik finansowy aż z poziomu 11417 (kontrola) do straty rzędu od -8400 do -15162 PLN (zależnie od stopnia uszkodzeń). Analogiczne różnice w warunkach uprawy roku 2023 wyniosły 21798 PLN dochodu rolniczego dla kontroli i ujemnego wyniku finansowego od -7749 do -14343 PLN. Przy wskazanych bardzo wysokich nakładach na produkcję ziemniaków przeznaczonych do produkcji chipsów odstawianie surowca na produkcję skrobi okazało się ekonomicznie nieuzasadnione i wiązało się z ujemnym wynikiem finansowym produkcji nawet w obiektach kontrolnych. Przedmiotowy ujemny bilans pogłębiały uszkodzenia części nadziemnych roślin. Wyjątkowy pod tym względem okazał się rok 2022, w którym nawet w obiekcie kontrolnym ziemniaki nie spełniały restrykcyjnych norm jakościowych do produkcji chipsów i jedynie przeznaczenie ich do produkcji frytek przynosiło niewielki dochód rolniczy rzędu od 3111 do 5059 PLN, przy czym w obiekcie kontrolnym był to dochód rolniczy 4222 PLN.

Tabela 14. Zestawienie kosztów uprawy ziemniaka 'Verdi' z przeznaczeniem na chipsy przy cenach dla roku 2024

	Środki produkcji	Wyszczególnienie	Termin (dekada/mc)	Ilość na/z hm ²	Cena PLN/j.m.	Wartość PLN·hm ⁻²
Materiał siewny	Sadzeniaki ziemniaka [Mg]	Materiał bazowy "A"	II/kwiecień	2,5	2300	5750
	Międzyplony [kg]	Materiał siewny	II/sierpień	60	4,16	250
Nawozy mineralne	Sól potasowa [kg]	K ₂ O	III/luty	300	1,7	510
	Fosforan amonu [kg]	P ₂ O ₅	III/marzec	250	2,95	737,5
	Mocznik [kg]	N	III/marzec	120	2,05	246
	Siarczan magnezu [kg]	MgSO ₄	III/marzec	5	3,81	19,05
	RSM 32% [kg]		I/maj	33	1,35	44,55
	Siarczan magnezu [kg]	MgSO ₄	I/czerwiec	4	3,81	15,24
	Siarczan magnezu [kg]	MgSO ₄	II/czerwiec	6	3,81	22,86
	RSM 32% [kg]		III/czerwiec	33	1,35	44,55
	Siarczan magnezu [kg]	MgSO ₄	III/czerwiec	5	3,81	19,05
	Sól potasowa [kg]	K ₂ O	III/czerwiec	5	1,7	8,5
	Siarczan magnezu [kg]	MgSO ₄	I/lipiec	5	3,81	19,05
	Siarczan potasu [kg]	K ₂ SO ₄	I/lipiec	2,5	5,29	13,22
	Wapno [kg]		I/sierpień	1000	0,1	100
	Obornik broilerowy [Mg]		II/sierpień	15	70	1050
Środki ochrony roślin	Moncut 460 SC	zaprawa	II/kwiecień	0,2	442,4	88,48
	Sharpen 400 SC [dm ³]	herbicyd	I/maj	2,3	53	121,9
	Channon 600 [dm ³]	herbicyd	I/maj	1,5	98	147
	Boa Pro 480EC [dm ³]	herbicyd	I/maj	0,13	79	10,27
	Adsol [dm ³]	adiuwant	I/maj	0,5	39	19,5
	Cyperkill Max 500 SC [dm ³]	insektycyd	II/maj	0,05	184	9,2
	Infinito 687,5 SC [dm ³]	fungicyd	I/czerwiec	1,6	289	462,4
	Labrador Extra 50 EC [dm ³]	herbicyd	I/czerwiec	1	30	30
	Carial Star 500 SC [dm ³]	fungicyd	I/czerwiec	0,6	361	216,6
	Cyperkill Max 500 SC [dm ³]	insektycyd	I/czerwiec	0,05	184	9,2
	Dauphin 45 WG [dm ³]	fungicyd	II/czerwiec	0,22	108	23,76
	Diprospero [dm ³]	fungicyd	II/czerwiec	2	96	192
	Polonuran Płynny [dm ³]	fungicyd	III/czerwiec	0,5	46	23
	Globaztar 250 EC [dm ³]	fungicyd	III/czerwiec	0,5	67	33,5
	Zorvec Entecta [dm ³]	fungicyd	III/czerwiec	0,25	1099	274,75
	Benevia 100 OD [dm ³]	insektycyd	III/ czerwiec	0,125	153,6	19,2
	Cabrio Duo 112 EC [dm ³]	fungicyd	I/lipiec	2,25	173	389,25
	Adsol [dm ³]	adiuwant	I/lipiec	0,2	39	7,8
	Zorvec Entecta [dm ³]	fungicyd	II/lipiec	0,25	1099	274,75
	Electis CX [dm ³]	fungicyd	III/lipiec	0,45	250	112,5
	Nando 500 SC [dm ³]	fungicyd	I/sierpień	0,4	131,8	52,72
	Reglone [dm ³]	desykant	III/sierpień	2,5	129,6	324
	Praca maszyn własnych	Ładowarka teleskopowa h	Obsługa logistyczna	cały sezon	6	200
Ciągnik + opryskiwacz hm ²		Nawożenie i ochrona	cały sezon	12	40	480
Ciągnik + rozrzutnik		Nawożenie	sierpień	1	300	300
Ciągnik + brona talerzowa		Talerzowanie	sierpień	0,5	300	150
Ciągnik + brona talerzowa		Talerzowanie	II/luty	0,5	300	150
Ciągnik + pług		Orka siewna	I/marzec	1	250	250
Ciągnik + włóka hm ²		Włókowanie	I/marzec	0,5	150	75
Ciągnik + rozsiewacz nawozu		Nawożenie	III/marzec	1,5	150	225
Ciągnik + głębosz hm ²		Głęboszowanie	I/kwiecień	1	250	250
Ciągnik + sadzarka hm ²		Sadzenie	II/kwiecień	2	250	500
Ciągnik + redliniarka hm ²		Formowanie redlin	I/maj	1	150	150
Kombajn h		Zbiór ziemniaków	I-II/wrzesień	5	250	1250
Inne koszty (w tym praca najemna)	Praca najemna	Praca najemna	h	65	25	1625
	Dzierżawa gruntów	-	hm ²	1	600	600
	Kredyvtv	Obsługa kredyvtv	hm ²	1	700	700
	Pobieranie prób gleby	Analiza podstawowa	hm ²	1	13,12	13,12
	Ubezpieczenie uprawy	Zmienny	hm ²	1	485	485
	Koszty transportu	Zmienny	hm ²	1	1000	1000
RAZEM KOSZTY (PLN·hm ⁻²)						21094,47

Tabela 15. Zestawienie wartości produkcji i dochodu rolniczego uprawy ziemniaka ‘Verdi’ w zależności od zastosowanych czynników doświadczalnych i przeznaczenia plonu.

Czynnik		plon przeliczeniowy		plon skrobi z		wartość plonu PLN				dochód rolniczy* PLN			
I	II	chipsy	frytki	plonu ogólnego	bulw niehandlowych	chipsy	chipsy + skrobia z niehandlowych	frytki	frytki + skrobia z niehandlowych	skrobia	chipsy	frytki	skrobia
2021													
12	100	24,1	24,1	5,41	1,37	25295	28180	20717	23603	11361	8587	4009	-8232
	50	19,0	19,0	4,56	1,32	19982	22757	16366	19141	9576	3164	-452	-10017
	25	31,9	31,9	6,37	0,76	33495	35092	27434	29031	13377	15498	9437	-6216
29	100	16,6	16,6	3,74	0,89	17441	19310	14285	16154	7854	-284	-3440	-11739
	50	18,3	18,3	4,3	0,95	19173	21160	15704	17690	9030	1566	-1903	-10563
	25	25,5	25,5	6,12	1,40	26796	29740	21947	24892	12852	10147	5298	-6741
39	100	0,0	0,0	2,11	0,64	0	-	0	-	4431	-19593	-19593	-15162
	50	0,0	0,0	3,17	1,00	0	-	0	-	6657	-19593	-19593	-12936
	25	0,0	0,0	5,33	1,92	0	-	0	-	11193	-19593	-19593	-8400
49	100	9,1	9,1	2,65	1,10	9587	11896	7852	10161	5565	-7698	-9432	-14028
	50	8,9	8,9	2,99	1,44	9371	12393	7676	10697	6279	-7201	-8896	-13314
	25	23,4	23,4	5,75	2,05	24602	28897	20150	24445	12075	9304	4852	-7518
	kontrola	25,8	25,8	6,60	1,86	27114	31010	22207	26104	13855	11417	6510	-5739
2022													
12	100	0,0	22,7	5,47	1,69	0	-	19505	23062	11487	-19593	-89	-8106
	50	0,0	26,4	5,2	0,78	0	-	22704	24335	10920	-19593	3111	-8673
	25	0,0	28,7	5,78	1,05	0	-	24652	26855	12138	-19593	5059	-7455
29	100	0,0	10,8	3,08	1,09	0	-	9271	11555	6468	-19593	-10323	-13125
	50	0,0	17,5	4,22	1,11	0	-	15041	17367	8862	-19593	-4552	-10731
	25	0,0	15,3	3,61	0,74	0	-	13149	14702	7581	-19593	-6444	-12012
39	100	0,0	0,0	1,37	0,48	0	-	0	-	2877	-19593	-19593	-16716
	50	0,0	0,0	4,08	1,20	0	-	0	-	8568	-19593	-19593	-11025
	25	0,0	0,0	4,03	1,23	0	-	0	-	8463	-19593	-19593	-11130
49	100	0,0	0,0	1,93	0,78	0	-	0	-	4053	-19593	-19593	-15540
	50	0,0	0,0	4,01	1,18	0	-	0	-	8421	-19593	-19593	-11172
	25	0,0	14,1	3,25	0,86	0	-	12100	13909	6825	-19593	-7493	-12768
	kontrola	0,0	27,7	5,53	0,96	0	-	23816	25834	11603	-19593	4222	-7991

cd. tabeli 15.

Czynnik		plon przeliczeniowy		plon skrobi z		wartość plonu PLN					dochód rolniczy PLN		
I	II	chipsy	frytki	plonu ogólnego	bulw niehandlowych	chipsy	chipsy + skrobia z niehandlowych	frytki	frytki + skrobia z niehandlowych	skrobia	chipsy	frytki	skrobia
2023													
12	100	0,0	32,8	6,5	0,90	0	-	28174	30057	13650	-19593	8580	-5943
	50	0,0	36,3	6,86	0,85	0	-	31218	33000	14406	-19593	11625	-5187
	25	0,0	33,0	6,44	0,96	0	-	28354	30360	13524	-19593	8761	-6069
29	100	18,7	18,7	4,54	0,98	19635	21701	16082	18148	9534	2108	-1445	-10059
	50	26,4	26,4	4,91	0,61	27720	29000	22704	23984	10311	9407	4391	-9282
	25	30,9	30,9	5,99	0,87	32456	34282	26583	28409	12579	14688	8815	-7014
39	100	0,0	0,0	2,5	0,85	0	-	0	-	5250	-19593	-19593	-14343
	50	0,0	0,0	3,66	0,95	0	-	0	-	7686	-19593	-19593	-11907
	25	0,0	0,0	5,64	0,61	0	-	0	-	11844	-19593	-19593	-7749
49	100	16,2	16,2	3,42	0,67	17010	18423	13932	15345	7182	-1171	-4249	-12411
	50	20,9	20,9	4,5	0,89	21945	23821	17974	19850	9450	4227	256	-10143
	25	29,2	29,2	5,52	0,55	30650	31798	25103	26252	11592	12204	6658	-8001
	kontrola	37,9	37,9	7,01	0,78	39761	41392	32566	34197	14721	21798	14603	-4872

* - sposób obliczenia dochodu rolniczego przedstawiono w metodyce - str. 33

6. WNIOSKI

1. Uszkodzenia polegające na usunięciu 25 % części nadziemnych ziemniaka skutkowały istotnym spadkiem średniego z lat badań plonu ogólnego bulw w stosunku do roślin nieuszkodzonych. Zwiększanie stopnia uszkodzenia do 50% i 100% powodowało zawsze dalsze istotne obniżenie plonu. Uszkodzenia wywołane w fazach BBCH 29, 39, 49 powodowały istotnie większe straty plonu niż uszkodzenia wywołane w fazie BBCH 12, w której nawet uszkodzenie na poziomie 100% nie wywołały istotnych strat plonu.
2. Udział w plonie ogólnym bulw o walorach handlowych na ogół malał wraz z opóźnianiem terminu wykonania uszkodzeń organów nadziemnych ziemniaka i zwiększaniem stopnia ich uszkodzenia.
3. Zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka nie była determinowana stopniem uszkodzenia nadziemnych organów ziemniaka, jednak była ona zależna od fazy rozwojowej, w której zostały wykonane uszkodzenia. Gdy wykonano je w fazach BBCH 39 lub 49, to zawartość suchej masy w bulwach była istotnie mniejsza niż w przypadku wcześniejszych uszkodzeń. Czynniki te działały jednak interakcyjnie; stwierdzono, że jedynie w fazie BBCH 49 przedmiotowe uszkodzenia na poziomie 100 i 50% powodowały istotny spadek zawartości suchej masy w bulwach.
4. Zawartość skrobi w bulwach pochodzących z roślin, których części nadziemne były uszkodzane była mniejsza niż w obiektach kontrolnych – nieuszkodzanych. Prawidłowość ta obserwowana była, gdy uszkodzenia wykonywano w fazach BBCH 39 i 49, niezależnie od ich stopnia.
5. Plon skrobi zmniejszał się istotnie wraz ze wzrostem stopnia uszkodzeń części nadziemnych ziemniaka. Stwierdzono również, że w im wyższej fazie rozwojowej (do fazy BBCH 39) wykonane były uszkodzenia tym plon skrobi był niższy oraz że uszkodzenia wykonane w fazie BBCH 12, niezależnie od ich nasilenia, nie miały istotnego wpływu na plon skrobi.
6. Nie dowiedziono istotnego wpływu testowanych czynników na zawartość cukrów ogółem w bulwach ziemniaka. Stwierdzono jednak ich wpływ na zawartość cukrów redukujących, która była wyższa, gdy uszkodzenia wykonywano w fazie BBCH, 39 niż gdy miały one miejsce w innych fazach rozwojowych. Uszkodzenia aparatu asymilacyjnego na poziomie 50 i 100% w fazie BBCH 39 powodowały kilkukrotny wzrost zawartości cukrów redukujących w stosunku do obiektu kontrolnego.
7. Stwierdzono bardzo istotną dodatnią korelację plonu bulw ogółem i plonu bulw handlowych oraz plonu skrobi (odpowiednio $r = 0,96$ i $r = 0,99$). Stwierdzono również istotną ujemną zależność plonu ogólnego i zawartości cukrów redukujących w bulwach.
8. We wszystkich latach badań uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka wykonane w fazie BBCH 39 (niezależnie od ich stopnia), powodowały

dyskwalifikację uzyskanych bulw jako surowca do produkcji chipsów i frytek.

9. Obniżenie wysokości plonu, jak i pogorszenie cech jakościowych związanych z zawartością skrobi i cukrów redukujących wywołane testowanymi czynnikami powodowały, że w większości obiektów uprawa generowała ujemny wynik finansowy. Dotyczyło to zwłaszcza tych obiektów, w których surowiec zdyskwalifikowano jako surowiec do produkcji chipsów.
10. Ze względu na dużą zmienność plonu i jego jakości w poszczególnych latach badań, wartość strat poniesionych w wyniku uszkodzenia części nadziemnych ziemniaków można ustalić dopiero po zbiorze i oznaczeniu cech jakościowych uzyskanego plonu.

7. BIBLIOGRAFIA

1. AACC 1993. Am. Ass. Cereal Chem. Approved Method 44-15 A (Moisture-Air Oven Methods); AACC: St. Paul. MN. USA.
2. Adekiya A.O., Agbede T.M., Ejue W.S., Aboyeji C.M., Dunsin O., Aremu C.O., Owolabi A.O., Ajiboye B.O., Okunlola O.F., Adesola O.O. 2020. Biochar, poultry manure and NPK fertilizer: Sole and combine application effects on soil properties and ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) performance in a tropical Alfisol. *Open Agric.*, 5, 30–39. DOI:10.1515/opag-2020-0004.
3. Adhikari R.C. 2009. Effect of NPK on vegetative growth and yield of Desiree and Kufri Sindhuri potato. *Nepal Agric. Res J.*, 9, 67-75. DOI: 10.3126/narj.v9i0.11643.
4. Ahmed U., Sharma L. 2023. A review of Best Management Practices for potato crop using Precision Agricultural Technologies. *Smart Agric. Tech.*, 4, 100220. DOI: 10.1016/j.atech.2023.100220.
5. Aien A., Chaturvedi A.K., Bahuguna R.N., Pal M. 2016. Phenological sensitivity to high temperature stress determines dry matter partitioning and yield in potato. *Indian J. Plant Physiol.* 22, 63–69. DOI: 10.1007/s40502-016-0270-z.
6. Akhila P.P., Sunooj K.V., Aaliya B., Navaf M., Sudheesh C., Yadav D.N. 2022. Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. *Appl. Food Res.*, 2, 100193, DOI: 10.1016/j.afres.2022.100193.
7. Alamar M.C., Tosetti R., Landahl S., Bermejo A., Terry L.A. 2017. Assuring Potato Tuber Quality during Storage: A Future Perspective, *Front. Plant Sci.*, 8, 2034. DOI: 10.3389/fpls.2017.02034/full.
8. Aliche E.B., Oortwijn M., Theeuwes T.P.J.M., Bachem C.W.B., Visser R.G.F., van der Linden C.G. 2018. Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agric. Water Manag.* 206, 20–30. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.04.013.
9. Annicchiarico G., Caternolo G., Rossi E., Martiniello P. 2011. Effect of manure vs. fertilizer inputs on productivity of forage crop models. *Int. J. Environ. Res. Public Health.*, 8, 1893–1913. DOI: 10.3390/ijerph8061893.
10. Achiri T.D., Michele T.Z.S., Konje C.N., Njuaem D.K. 2018. Effect of NPK fertilizer and animal manure on some biometric parameters of Irish potato *Solanum tuberosum* L. in Bouham, West Region Cameroon. *Asian J. Res. Crop Sci.*, 2(1), 1-10. DOI: 10.9734/AJRCS/2018/42938
11. Asci S., Borisova T., Van Sickle J.J. 2015. Role of economics in developing fertilizer best management practices. *Agric. Water Manag.* 152, 251–261. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.01.021.
12. Bahl A., Kahl G. 1995. Air pollutant stress changes the steady-state transcript levels of three photosynthesis genes. *Environ. Pollut.* 88, 57–65. DOI: 10.1016/0269-7491(95)91048-P.
13. Balpande R. Paliwal H.B., Kumar A., Kumar P., Kumar V. 2019. Effect of sowing date on the growth and yield of different varieties of potato by using DSSAT model. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 8, 4737–9.
14. Baranowska A.J. 2018. Yield of dry matter and starch of edible potato tubers in conditions of application of growth biostimulators and herbicide. *Acta Agroph.*, 25(4), 397-407. DOI: 10,31545/aagr/99073.

15. Baranowska A., Zarzecka K. 2018. Koszty uprawy ziemniaków jadalnych odmiany Vineta. Roczn. Nauk. Stow. Ekon. Rol. Agrob. XIX 6, 25 - 30. DOI: 10.5604/01.3001.0010.7894.
16. Bastos C., Whipple S.D., Hoback W.W., Higley L.G. 2011. Grasshopper injury to potato: consumption, effect on photosynthesis, and economic injury level. Agron. J., 103, 1655–1660. DOI: 10.2134/agronj2011.0143.
17. Begum M., Saikia M., Sarmah A., Ojah N.J., Deka P., Dutta P.K., Ojah I. 2018. Water Management for Higher Potato Production: A Review. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 7(5), 24-33, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.705.004.
18. Beresford B.C. 1967. Effect of simulated hail damage on yield and quality of potatoes, Americ. Potato J., 44, 347–354.
19. Bindraban P.S., Dimkpa C.O., Pandey R. 2020. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. Biol. Fertil. Soils. 56, 299–317. DOI: 10.1007/s00374-019-01430-2
20. Birch P.R., Bryan G., Fenton B., Gilroy E.M., Hein I., Jones J.T. 2012. Crops that feed the world 8: potato: are the trends of increased global production sustainable? Food Sec., 4, 477–508, DOI: 10.1007/s12571-012-0220-1.
21. Blecharczyk A., Kowalczewski P.Ł., Sawinska Z., Rybacki P., Radzikowska-Kujawska D. 2023. Impact of Crop Sequence and Fertilization on Potato Yield in a Long-Term Study. Plants, 12, 495, DOI: 10.3390/plants12030495.
22. Bohman B.J., Rosen C.J., Mulla D.J. 2019. Evaluation of variable rate nitrogen and reduced irrigation management for potato production. Agron. J., 111 (4), 2005–2017. DOI: 10.2134/agronj2018.09.0566.
23. Bohnert H.J. 2007. Abiotic stress. In: Encyclopedia of life sciences (eLS). Chichester. John Wiley & Sons Ltd. DOI: 10.1002/9780470015902.a0020087.
24. Bussan A.J., Mitchell P.D., Copas M.E., Drilias M.J. 2007. Evaluation of the Effect of Density on Potato Yield and Tuber Size Distribution. Crop Sci., 47, 2462-2472. DOI: 10.2135/cropsci2007.01.0026.
25. Cantore V., Wassar F., Yamac S.S., Sellami M.H., Albrizio R., Stellacci A.M., Todorovic M. 2014. Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. Int. J. Plant Prod., 8(3), 409–428. DOI: 10.22069/ijpp.2014.1617.
26. Carter M.R., Noronhg C., Peters R.D., Kimpiński J. 2009. Influence of conservation tillage and crop rotation on the resilience of an intensive long-term potato cropping system: Restoration of soil biological properties after the potato phase. Agric. Ecos. Envir., 133, 1-2, 32-39. DOI: 10.1016/j.agee.2009.04.017.
27. Chen B.C., Wu X.J., Guo H.C., Xiao J.P. 2024. Effects of appropriate low-temperature treatment on the yield and quality of pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. BMC Plant Biol., 24(1), 274. DOI: 10.1186/s12870-024-04951-7.
28. Childs S.J., Schumacher R.S., Demuth J.L. 2020. Agricultural Perspectives on Hailstorm Severity, Vulnerability, and Risk Messaging in Eastern Colorado. Wea. Climate Soc., 12, 897–911. DOI: 10.1175/WCAS-D-20-0015.1.
29. Colman S.L., Massa G.A., Carboni M.F., Feingold S.E. 2017. Cold sweetening diversity in Andean potato germplasm from Argentina. J. Sci. Food Agric., 97 (14), 4744-4749. DOI: 10.1002/jsfa.8343.

30. Cormack W.F., Rogers-Lewis D.S., Ward J.T., 1992. Tuber yield and size distribution of cv. Estima as affected by physiological age and fertiliser rate. *Aspects of App. Biol.*, 33: 21–28.
31. Cramer G.R., Urano K., Delrot S., Pezzotti M., Shinozaki K. 2011. Effects of abiotic stress on plants: A systems biology perspective. *BMC Plant Biol.* 11: 14. DOI: 10.1186/1471-2229-11-163.
32. Cranshaw W.S., Radcliffe E.B. 1980. Effect of defoliation on yield of potatoes. *J. Econ. Entom.*, 73, 131–134.
33. Cui X., Zhang Y., Gao J., Peng F., Gao P. 2018. Long-term combined application of manure and chemical fertilizer sustained higher nutrient status and rhizospheric bacterial diversity in reddish paddy soil of Central South China. *Sci. Rep.*, 8, 16554. DOI: 10.1038/s41598-018-34685-0.
34. Czerko Z. 2015. Jak przechowywać ziemniaki, stosując integrowaną Ochronę roślin. *Ziemniak Polski*, 1, 24-30.
35. Dadrasi A., Torabi B., Rahimi A., Soltani A., Zeinali E. 2022. Modeling Potential production and yield gap of potato using modelling and GIS approaches. *Ecol. Modell.*, 471, 110050. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2022.110050.
36. Devaux A., Goffart J.P., Petsakos A., Kromann P., Gatto M., Okello J., Hareau G. 2020. Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems. In *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*; Campos H., Ortiz O., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 3–35. DOI: 10.1007/978-3-030-28683-5_1.
37. Devaux A., Goffart J.P., Kromann P., Andrade-Piedra J., Polar V., Hareau G. 2021. The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Res.*, 64 (4), 681–720. DOI: 10.1007/s11540-021-09501-4.
38. Dubois A., Teytaud F., Verel S. 2021. Short term soil moisture forecasts for potato crop farming: a machine learning approach. *Comput. Electron. Agric.*, 180, 105902. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105902.
39. Dzieżyc H., Chmura K., Domowski Z. 2012. Okreslanie wpływu warunków opadowych na plonowanie ziemniaka bardzo wczesnego i wczesnego w południowej Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12 z, 2 (38).
40. Ekanayake I.J. 1989. Studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. *CIP Res. Guide 30*. Inter. Potato Center, Lima, Peru, 40.
41. Eremeev V., Jöudu J., Löhmus A., Lääniste P., Makke A. 2003. The effect of pre-planting treatment of seed tubers on potato yield formation. *Agron. Res.*, 2, 115 – 122.
42. Eves-van den Akker S., Laetsch D.R., Thorpe P., Lilley C.J., Danchin E.G.J., Da Rocha M., Rancurel C., Holroyd N.E., Cotton J.A., Szitenberg A., Grenier E., Montarry J., Mimee B., Duceppe M.O., Boyes I., Marvin J.M.C., Jones L.M., Yusup H.B., Lafond-Lapalme J., Esquibet M., Sabeh M., Rott M., Overmars H., Finkers-Tomczak A., Smant G., Koutsovoulos G., Blok V., Mantelin S., Cock P.J.A., Phillips W., Henrissat B., Urwin P.E., Blaxter M., Jones J.T. 2016. The genome of the yellow potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, reveals insights into the basis of parasitism and virulence. *Genome Biol.*, 17, 124. DOI: 10.1186/s13059-016-0985-1.
43. Ezekiel R., Rani M. 2006. Oil content of potato chips: Relationship with dry matter and starch content and rancidity during storage at room temperature. *Potato J.*, 33, 1-2.

44. Ezekiel R., Verma S.C., Sukumaran N.P., Shekhawat G.S. 1999. A Guide to Potato Processor in India. Technic. Bull., 48, Central Potato Res. Instit., Shimla, India, 14-39.
45. FAO 2024. FAOSTAT, Statystyczne bazy danych FAO.
46. Fahad S., Chavan S.B., Chichaghare A.R., Uthappa A.R., Kumar M., Kakade V., Pradhan A., Jinger D., Rawale G., Yadav D.K. 2022. Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance. Sust., 14, 14877. DOI: 10.3390/su142214877.
47. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S.M.A. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Sustain. Agric. 153–188. DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8_12.
48. Feibert E.B.G., Shock C.C., Saunders L.D. 1998. Nitrogen fertilizer requirements of potatoes using carefully scheduled sprinkler irrigation. Hort. Sci., 32, 262–265. DOI: 10.21273/HORTSCI.33.2.0262.
49. Feibert E., Shock C., Saunders M. 1994. Simulated hail timing: influence on yield and quality of three potato cultivars. Malheur County Crop Res. Special Report 936, Annual Report for 1993: 100–108, Ontario: Oregon State University.
50. Fernandes A.M., Soratto R.P., Silva B.L. 2011. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I-macronutrientes, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35(6), 2039-2056. DOI: 10.1590/S0100-06832011000600020.
51. Fleisher D.H., Timlin D.J., Reddy V.R. 2006. Temperature influence on potato leaf and branch distribution and on canopy photosynthetic rate. Agron. J. 98, 1442–1452. DOI:10.2134/agronj2005.0322.
52. Fontes P.C.R., Braun H., Bussato C., Cecon P.R. 2010. Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. Potato Res., 53, 167–179. DOI: 10.1007/s11540-010-9160-3.
53. Frydecka – Mazurczyk A., Zgórska K. 2002. Wpływ jesiennego przechłodzenia bulw ziemniaka na zawartość glukozy, fruktozy i sacharozy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 481, 141-146.
54. Fu Y., Zhang Y.H., Soladoye O.P., Aluko R.E. 2020. Maillard reaction products derived from food protein-derived peptides: insights into flavor and bioactivity. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 60, 3429–42, DOI: 10.1080/10408398.2019.1691500.
55. Fuyi M., Mengyun L. 1995. Potato Cultivation Physiology. Beijing: China Agric. Press, 65–80.
56. Ganie Z.A., Soltani N., McKenzie-Gopsill A.G., Felix J., Hutchinson S., Dille J., Sikkema P.H. 2023. Potential potato yield loss from weed interference in the United States and Canada. Weed Tech., 37(1), 21-24. DOI:10.1017/wet.2023.5.
57. Gathungu G.K., Shibairo S.I., Githiri S.M., Mburu M.W.K., Ojiambo P.S., Kidanemariam H.M. 2000. Effect of source, time and method of nitrogen application on growth and yield components of potato in Kenya. African Crop Sci. J., 8(4), 387-402. DOI: 10.4314/acsj.v8i4.27679.
58. Gawrońska H., Dwelle R.B., Pavek J.J. 1990. Partitioning of photoassimilates by potato plants (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance: II. Partitioning patterns by four clones grown under high and low irradiance. Am. Potato J., 67, 163–176. DOI: 10.1007/BF02987069.
59. Gibson S., Kurilich A.C. 2013. The nutritional value of potatoes and potato products in the UK diet. Nutr. Bull., 38, 389–399. DOI: 10.1111/nbu.12057.

60. Ghosh U., Hatterman-Valenti H., Russet C.A. 2019. Potato yield, quality, and nitrogen uptake with enhanced efficiency fertilizers. *Agron. J.*, 111, 200–209. DOI: 10.2134/agronj2018.02.0105.
61. Gołaś Z. 2016. Ekonomia, organizacja i sytuacja dochodowa gospodarstw rolnych krajów Unii Europejskiej ukierunkowanych na produkcję roślin okopowych. *Rocz. Nauk. Ekon. Rol. Rozw. Obsz. Wiejskich*, 103 (1), 35-45.
62. Gościnną K., Retmańska K., Wszelaczyńska E., Pobereźny J. 2024. Influence of Edible Potato Production Technologies with the Use of Soil Conditioner on the Nutritional Value of Tubers. *Agron.* 14, 549. DOI: 10.3390/agronomy14030549.
63. Girma T., Beyene S., Biazin B. 2017. Effect of Organic and Inorganic Fertilizer Application on Soil Phosphorous Balance and Phosphorous Uptake and Use Efficiency of Potato in Arbegona District, Southern Ethiopia. *J. Fert. Pest.*, 8: 185. DOI: 10.4172/2471-2728.1000185.
64. Gopal J., Khurana S.M. 2006. Handbook of Potato Production, Improvement, and Postharvest Management. CRC Press: Boca Raton. FL. USA.; ISBN 9781000065015. DOI: 10.1201/9780429246623.
65. Gondwe R.L., Kinoshita R., Suminoe T., Aiuchi D., Palta J.P., Tani M. 2020. Yield and quality characteristics of popular processing potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in two contrasting soil types under grower management in Hokkaido. Japan. *Potato Res.*, 63, 385–402. DOI: 10.1007/s11540-019-09446-9.
66. Gruczek T. 2004. Przyrodnicze i agrotechniczne aspekty uprawy ziemniaka, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 500, 31-44.
67. Gruzewska A., Zarzecka K., Gugąła M., Paprocka S. 2016. Produkcja i znaczenie konsumpcyjne ziemniaka i rzepaku w Polsce i w wybranych krajach UE. *Zesz. Naukowe SGGW w Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego*, 16(2), 86–93. DOI:10.22630/PRS.2016.16.2.30.
68. Gttnasena H.P.M., Harris P.M. 1971. The effect of CCC, nitrogen and potassium on the growth and yield of two varieties of potatoes. *J. Agric. Sci.*, 76, 33–52. DOI: 10.1017/s0021859600015604.
69. Gunadi N. 2016. Response of potato to potassium fertilizer sources and application methods in andisols of West Java. *Indonesian J. Agric. Sci.*, 10(2), 65-72. DOI: 10.21082/ijas.v10n2.2009.65-72.
70. GUS 2023. Wynikowy szacunek głównych ziemiopłodów rolnych i ogrodniczych w 2023 roku, Informacja sygnałna w formacie PDF, <https://stat.gov.pl/>
71. Hack H., Gall H., Klemke T., Klose R., Meier U., Straub R. Witzemberger A. 1993. Phäinologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). *Deutscher Pflanzenschutzdienst* 45, 11-19.
72. Haifa 2019. Potato guide: nutritional requirements, Available at http://www.haifa-group.com/knowledge_center/crop_guides/potato/nutritional_requirements/
73. Handayani T., Gilani S.A., Watanabe K.N. 2019. Climatic changes and potatoes: How can we cope with the abiotic stresses? *Breed Sci. Dec.*, 69(4), 545-563, DOI: 10.1270/jsbbs.19070.
74. Herman D.J., Knowles L.O., Knowles N.R. 2017. Heat stress affects carbohydrate metabolism during coldinduced sweetening of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Planta* 245, 563–582. DOI:10.1007/s00425-016-2626-z.
75. Hijmans R.J. 2001. Global distribution of the potato crop. *Am. J. Potato Res.* 78, 403–412. DOI:10.1007/BF02896371.

76. Hijmans R.J. 2003. The effect of climate change on global potato production. *Am. J. Potato Res.* 80, 271–279. DOI:10.1007/BF02855363.
77. Hiller L.K., Thornton R.E. 1993. Management of physiological disorders. In *Potato Health Management*. ed. R.C. Rowe, 87–94.
78. Hoback W.W., Hajashida R., Ziemis J., Zechmann B., Bueno A.F., Higley L.G. 2020. Yield Response of Determinate Chipping Potato to Artificial Defoliation *J. Economic Ent.*, 114, (1), 371–376. DOI: 10.1093/jee/toaa276.
79. Hopkins B.G., Ellsworth J.W., Bowen T.R., Cook A.G., Stephens S.C., Jolley V.D., Shiffler A.K., Eggett D. 2010. Phosphorus fertilizer timing for Russet Burbank potato grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 33, 529–540. DOI: 10.1080/01904160903506266.
80. Hopkins B.G. 2013. Russet Burbank potato phosphorus fertilization with dicarboxylic acid copolymer additive (AVAIL®). *J. Plant Nutr.* 36, 1287–1306. DOI:10.1080/01904167.2013.785565.
81. Hopkins B.G., Horneck D.A., MacGuidwin A.E. 2014. Improving phosphorus use efficiency through potato rhizosphere modification and extension. *Am. J. Potato Res.*, 91, 161–174. DOI:10.1007/s12230-014-9370-3
82. Horneck D., Rosen C. 2008. Measuring nutrient accumulation rates of potatoes - tools for better management. *Better Crops* 92, 4–6.
83. ICC nr 123. 1994. Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung. e.v. Standard Methoden für Getreide Mehl und Brot, 7th ed.; Verlag Moritz Schäfer: Detmold, German.
84. IPCC (Intergov. Panel Clim. Change). 2019. Summary for policymakers. In *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, ed. Shukla P.R., Skea J. Calvo Buendia E. Masson-Delmotte V. Pörtner H-O, et al., 3–36, Rep., Intergov, Panel Clim, Change, Geneva, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf.
85. Irigoyen I., Domeño I., Muro J. 2011. Effect of defoliation by simulated hail damage on yield of potato cultivars with different maturity performed in Spain. *Am. J. Potato Res.* 88, 82–90. DOI: 10.1007/s12230-010-9166-z.
86. Iritani W.M., Weller L.D. 1978. Influence of low fertility and vine killing on sugar development in apical and basal portions of Russet Burbank potatoes. *Am. Potato J.* 55, 239–246.
87. Islam J., Choi S.P., Azad O.K., Kim J.W., Lim Y.S. 2020. Evaluation of Tuber Yield and Marketable Quality of Newly Developed Thirty-Two Potato Varieties Grown in Three Different Ecological Zones in South Korea. *Agric*, 10, 327. DOI: 10.3390/agriculture10080327.
88. Isreal Z., Tana T., Wogi L., Mohammed A. 2018. Effect of Combined Use of Cattle Manure and Inorganic Nitrogen and Phosphorus on Yield Components Yield and Economics of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Belg and Meher Season at Abelo Area Masha District, South-Western Ethiopia. *J. Agric. Sci. Food Res.*, 9, 214.
89. Izmirliglu G., Demirci A. 2015. Enhanced bio-ethanol production from industrial potato waste by statistical medium optimization. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 24490–24505. DOI: 10.3390/ijms161024490.
90. Jagatee S., Behera S., Dash P.K., Sahoo S., Mohanty R.C. 2015. Bioprospecting starchy feedstocks for bioethanol production: a future perspective. *JMRR* 3, 24–42.
91. Jama-Rodzeńska A., Janik G., Walczak A., Adamczewska-Sowińska K., Sowiński J. 2021. Tuber yield and water efficiency of early potato varieties (*Solanum*

- tuberosum* L.) cultivated under various irrigation levels. Sci. Rep., 11. DOI: 10.1038/s41598-021-97899-9.
92. Jalali A.H. 2013. Potato (*Solanum tuberosum* L.) yield response to simulated hail damage. Arch.Agr. Soil Sci., 59(7). DOI:10.1080/03650340.2012.699674.
 93. Jansen M.A.K. 2002. Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses. Physiol. Plant, 116, 423–429. DOI: [10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.x](https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.x).
 94. Jenkins P.D., Ali H. 2000. Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops. Ann. Appl. Biol. 136, 41–46, DOI: 10.1111/j.1744-7348.2000.tb00007.x.
 95. Jennings S.A., Koehler A.K., Nicklin K.J., Deva C., Sait S.M., Challinor A.J. 2020. Global Potato Yields Increase Under Climate Change With Adaptation and CO₂ Fertilisation. Front. Sustain., Food Syst., 4, 519324. DOI: 10.3389/fsufs.2020.519324.
 96. Jessie S. 2017. Potatoes: Health Benefits. Risks and Nutrition Facts. Live Sci. <https://www.livescience.com/45408-broccoli-nutrition.html>
 97. Jesse R., Ziemis B.J., Zechmann W., Hoback W.W., Wallace J.C., Madsen R.A., Hunt T.E., Higley L.G. 2006. Yield Response of Indeterminate Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Simulated Insect Defoliation. Agr. J. 98(6), DOI: 10.2134/agronj2005.0245.
 98. Jewell S., Stanley R. 1989. The influence of defoliation date and harvest interval on the quality of potatoes for french fry production. Potato Res. 32, 431–438. DOI: 10.1007/bf02358498.
 99. Jin J.Y., Li J.K., Li S.T. 2006. Chemical fertilizer and food safetyThe demand of chemical fertilizer for cereal crops. Phosphate Compd. Fertil., 21, 1–6.
 100. Karam F., Massaad R., Skaf S., Breidy J., Rouphael Y. 2011. Potato response to potassium application rates and timing under semi-arid conditions. Adv. Horti. Sci., 25(4), 265-268. DOI: 10.13128/ahs-12761.
 101. Khadem S.H., Galavi M., Ramrodi M., Mousavi S.R., Rousta M.J., Moghaddam P.R. 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. Aust. J. Crop. Sci., 4, 642–647.
 102. Khan M.Z., Akhtar M.E., Safdar M.N., Mahmood M.M., Ahmad S., Ahmed N. 2010. Effect of source and level of potash on yield and quality of potato tubers. Pakistan J. Botany, 42(5), 3137-3145.
 103. Kincaid D.C., Westermann D.T., Trout T.J. 1993. Irrigation and soil temperature effects on Russet Burbank quality. Am. Potato J. 71, 711–723.
 104. King B.A., Stark J.C., Neibling H. 2020. Potato Irrigation Management, In Potato Production Systems; Stark J., Thornton M., Nolte P., Eds.,; Springer: Berlin/Heidelberg. Germany 417–446. ISBN 978-3-030-39156-0.
 105. Kiptoo J.J., Abbas A., Bhatti 2021. *Rhizoctonia solani* of potato and its management: a review. Plant Prot., 05 (03), 157-169, DOI: 10.33804/pp.005.03.3925.
 106. Kmoch M., Lubova V., Veselevska M., Jikova B., Vichova J. 2024. Antifungal Activity of Essential Oils on *Helminthosporium solani* Causing Potato Silver Scurf under In Vitro and In Vivo Conditions. Agric. 14, 66, DOI: 10.3390/agriculture14010066.

107. Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. 2017. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Res.*, 63, 97–119. DOI: 10.1007/s11540-019-09431-2.
108. Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. 2020. The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. *Potato Res.*, 63, 97–119. DOI:10.1007/s11540-019-09431-2.
109. Kolbe H., Stephan-Beckmann S. 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). I. leaf and stem. *Potato Res.*, 40, 111-129. DOI: 10.1007/BF02407567.
110. Kołodziejczyk M. 2012. Effect of the degree and timing of the simulated reduction of plants assimilation area on the yielding of potato. *Fragm. Agron.*, 29, 81–87.
111. Kołodziejczyk M., Szmigel A. 2012. Chemical composition and selected quality parameters of potato tubers depending on timing and degree of reduction of assimilation area of plants. *Fragm. Agron.* 29(3), 88–94.
112. Kowalska A., Gurskowska K. 2019. Changes in Potato Production and Consumption in Poland in 2001-2019. *Problems of World Agriculture. Zesz. Nauk. SGGW*, 19 (34), 3, 46–56. DOI: 10.22630/PRS.2019.19.3.45.
113. Kumar P., Pandey S.K., Singh B.P., Singh S.V., Kumar D. 2007. Influence of source and time of potassium application on potato growth, yield, economics and crisp quality. *Potato Res.*, 50(1), 1-13, DOI: 10.1007/s11540-007-9023-8.
114. Kumar M., Trehan S.P., Jatav M.K., Lal S.S. 2009. Efficacy of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars under varying levels of nitrogen and growth duration in eastern Indo-Gangetic plains. *Indian J. Agr.*, 54(1), 63-68.
115. Kumari A., Bhattacharya B., Agarwal T., Paul V., Chakkaravarthi S. 2022. Integrated approach towards acrylamide reduction in potato-based snacks: A critical review. *Food Res. Int.*, 156, 111172. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111172.
116. Kumar D., Ezekiel R. 2006. Developmental changes in sugars and dry matter content of potato tuber under sub-tropical climates. *Sci. Hortic.*, 110(2), 129-134. DOI:10.1016/j.scienta.2006.06.022.
117. Kumlay A.M., Kaya C., Olgun M., Dursun A., Pehlivan M., Dizikisa T. 2002. Comparison of seasonal change of specific gravity, dry matter accumulation and starch content of four potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Acta Hortic.*, 579, 255-258.
118. Lana E.P., Johansen R.H., Nelson D.C. 1970. Variation in specific gravity of potato tubers. *Am. Potato J.*, 47, 9-12.
119. Lebecka R. 2019. Laboratoryjna ocena porażenia bulw ziemniaka przez wysoko agresywne szczepy bakterii *Dickeya solani* i *Pectobacterium carotovorum subsp. Brasiliense*. *Ziemniak Polski* 1, 22-28.
120. Lee H.S., Shin B.S. 2020. Potato detection and segmentation based on mask R-CNN. *J. Biosyst. Eng.* 45, 233–238. DOI:10.1007/s42853-020-00063-w.
121. Leszczyński W. 2000. Jakość ziemniaka konsumpcyjnego. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość, Suplement* 4(25), 5-27.
122. Levy D., Veilleux R.E. 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity—a review. *Am. J. Potato Res.*, 84, 487–506. DOI: 10.1007/bf02987885.
123. Li H., Chang W. 2021. Exploring optimal film mulching to enhance potato yield in China: A meta-analysis. *Agron. J.*, 113, 4099–4115. DOI: 10.1002/agj2.20767.
124. Li L., Ljung K., Breton G., Schmitz R.J., Pruneda-Paz J., Cowing – Zitron C., Cole B.J., Ivans L.J., Pedmale U.V., Jung H.S., Ecker J.R., Kay S.A., Chory J. 2012.

- Linking photoreceptor excitation to changes in plant architecture. *Genes and Develop.* 26, 785-790 DOI: 10.1101/gad.187849.112.
125. Li S., Duan Y., Guo T., Zhang P., He P., Johnston A., Shcherbakov A. 2015. Potassium management in potato production in Northwest region of China. *Field Crops Res.*, 174, 48–54. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.01.010.
 126. Li F., Deng H., Wang Y., Li X., Chen X., Liu L., Zhang H. 2021. Potato growth, photosynthesis, yield, and quality response to regulated deficit drip irrigation under film mulching in a cold and arid environment. *Sci. Rep.* 11, 15888. DOI: 10.1038/s41598-021-95340-9.
 127. Lizarazo I., Rodriguez J.L., Cristancho O., Olaya F., Duarte M., Prieto F. 2023. Identification of symptoms related to potato Verticillium wilt from UAV-based multispectral imagery using an ensemble of gradient boosting machines. *Smart Agric. Tech.*, 3, DOI: 10.1016/j.atech.2022.100138.
 128. Litaladio N., Castaldi L., Litaladio N., Castaldi L. 2009a. Potato: The hidden treasure. *J. Food Compos. Anal.*, 22, 491–493.
 129. Litaladio N., Ortiz O., Caldiz D. 2009b. Sustainable potato production. Guide-lines for developing countries. Food and Agric Org.,
 130. Ma L., Velthof G.L., Wang F.H., Qin W., Zhang W.F., Liu Z., Zhang Y., Wei J., Lesschen J.P., Ma W.Q. 2012. Nitrogen and phosphorus use efficiencies and losses in the food chain in China at regional scales in 1980 and 2005. *Sci. Total Environ.*, 434, 51–61. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.028.
 131. Margus K., Eremeev V., Loit E., Runno-Paurson E., Mäeorg E., Luik A., Talgre L. 2022. Impact of farming system on potato yield and tuber quality in Northern Baltic Sea climate conditions. *Agric.*, 12, 568. DOI: 10.3390/agriculture12040568.
 132. Mariana M., Sauman-Hamdani J. 2016. Growth and Yield of *Solanum tuberosum* at Medium Plain with Application of Paclbutrazol and Paranet Shade. *Agric. Agric. Sci. Proc.*, 9, 26-30. DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.117.
 133. Marschner P. 1995. Marschner's Mineral Nutrition of higher plants, (2nd ed.). San Diego: Academic Press Elsevier, pp 651. ISBN: 9780124735439.
 134. Marton L. 2001. Potassium effects on potatoes (*Solanum tuberosum* L.) yield, J. Potassium, 1(4), 89-92.
 135. Mehdi S.M., Sarfraz M., Hafeez M. 2007. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 10, 2935-2939. DOI: 10.3923/pjbs.2007.2935.2939.
 136. Michalska A., Wojdyło A., Bogucka B. 2016. The influence of nitrogen and potassium fertilisation on the content of polyphenolic compounds and antioxidant capacity of coloured potato. *J. Food Compos. Anal.*, 47, 69–75. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.01.004.
 137. Milic S., Duro B., Livija M., Pejic B. 2010. Potato yield and yield structure depending on irrigation. *AGRIS*, 47:257–265.
 138. Molnar I., Rakosy-Tican E. 2021. Difficulties in Potato Pest Control: The Case of Pyrethroids on Colorado Potato Beetle. *Agron.*, 11(10), 1920, DOI: 10.3390/agronomy11101920.
 139. MRiRW 2023. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie stawek płatności w ramach schematów na rzecz klimatu i środowiska za 2023 r. (Dz. U. poz. 2219)

- 140.MRiRW 2024. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 27 lutego 2024 r. w sprawie stawek płatności w ramach schematów na rzecz klimatu i środowiska za 2023 r. (Dz. U. poz. 265)
- 141.Mugo J.N., Karanja N.N., Gachene C.K., Dittert K., Nyawade S.O., Schulte-Geldermann E. 2020. Assessment of soil fertility and potato crop nutrient status in central and eastern highlands of Kenya. *Sci. Rep.*, 10(1), 1-11.DOI: 10.1038/s41598-020-64036-x.
- 142.Moeller R., Deemyad T., Sebastian A., 2020. Autonomous navigation of an agricultural robot using RTK GPS and Pixhawk. 2020 *Inter. Eng., Tech. Comp. (IETC)*, IEEE, 1–6. DOI: 10.1109/IETC47856.2020.9249176.
- 143.Mujica N., Kroschel J. 2013. Pest intensity-crop loss relationships for the leafminer fly *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) in different potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Crop Prot.*, 47, 6–16. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.12.019.
- 144.Naresh R.K., Bhatt R., Chandra M.S., Laing A.M., Gaber A., Sayed S., Hossain A., 2021. Soil organic carbon and system environmental footprint in sugarcane-based cropping systems are improved by precision land leveling. *Agron.*, 11 (10), 1964. DOI: 10.3390/agronomy11101964.
- 145.Naqvi S.A.H., Abbas A., Farhan M., Kiran R., Hassan Z., Mehmood Y., Ali A., Ahmed N., Hassan M.Z., Alrefaei A.F., 2024. Unveiling the Genetic Tapestry: Exploring *Rhizoctonia solani* AG-3 Anastomosis Groups in Potato Crops across Borders. *Plants*, 13(5), 715, DOI: 10.3390/plants13050715.
- 146.Niedziński T., Rutkowska B., Łabętowicz J., Szulc W. 2023. Effect of Deep Placement Fertilization on the Distribution of Biomass, Nutrients, and Root System Development in Potato Plants. *Plants*, 12(9), 1880. DOI: 10.3390/plants12091880.
- 147.Niu Z., Zheng L., Yang P., Wang J., Tian M., Pan Y., Zhao D., Yang Z., Zhu J. 2022. Detection of *Alternaria solani* with high accuracy and sensitivity during the latent period of potato early blight. *Front. Microbiol. Sep. 23*, 13, 1016996. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1016996.
- 148.Nowicki M., Fooled M.R., Nowakowska M., Kozik E.U. 2012. Potato and tomato late blight caused by *Phytophthora infestans*: an overview of pathology and resistance breeding. *APS 96*, 4–17. DOI: 10.1094/Pdis-05-11-0458.
- 149.Obidiegwu J.E., Bryan G.J., Jones H.G., Prashar A. 2015. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Front. Plant. Sci.*, 6, 542. DOI: 10.3389/fpls.2015.00542.
- 150.Orr P.H., Sowokinos J.R., Nelson D.C., Thoreson M.C., Sacks J.M., Hofer J.D., Janardan K.G. 1991. Chipping quality and yield of Norchip potatoes damaged by simulated hail. *Eng. Sust. Future ASABE*, 34, 2085–2090. DOI: 10.13031/2013.31841.
- 151.Osowski J. 2021. Parch srebrzysty (*Helminthosporium solani*) – objawy i zwalczanie, *Biul. IHAR* 294, 35–50. DOI: 10.37317/biul-2021-0005.
- 152.Otieno H.M.O., Chemining'Wa G.N., Zingore S. 2018. Effect of farmyard manure, lime and inorganic fertilizer applications on soil pH, nutrients uptake, growth and nodulation of soybean in acid soils of western Kenya. *J. Agric. Sci.*, 10, 199-208. DOI: 10.5539/jas.v10n4p199.
- 153.Otieno H.M.O., Mageto E.K. 2021. A review on yield response to nitrogen, potassium and manure applications in potato (*Solanum tuberosum* L.) production. *Arch. Agric. Envir. Sci.*, 6(1), 80-86. DOI: 10.26832/24566632.2021.0601011.

154. Oufir M., Legay S., Nicot N., Van Moer K., Hoffmann L., Renaut J., Hausman J.F., Evers D. 2008. Gene expression in potato during cold exposure: changes in carbohydrate and polyamine metabolisms. *Plant Sci.*, 175, 839–852. DOI: 10.1016/j.plantsci.2008.08.010.
155. Ozturk E., Polat T. 2016. The effect of long term storage on physical and chemical properties of potato. *Turk. J. Field Crops*, 21, 218–223. DOI: 10.17557/tjfc.69595.
156. Parvizi K., Asadin A.R. 2017. Effect of defoliation timing on tuber yield, quality and storage capability of two potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Iranian J. Crop Sci.*, 19, (3), 181-194, DOI: 10.5555/20183159409.
157. Pavek M.J., Shelton S., Holden Z.J., Weddell B.J. 2018. Impact of Canopy Destruction from Simulated Hail on Potato Yield and Economic Return. *Am. J. Potato Res.*, 1, 33-44. DOI: 10.1007/s12230-017-9612-2.
158. Pedersen S.M., Bizik J., Costa L.D., Coutinho J., Dolezal F., Gluska A. 2005. Potato production in Europe - a gross margin analysis. Frederiksberg: Fødevareøkonomisk Institut, Københavns Universitet, København. FOI Working Paper, 5, 1-39.
159. Pervez M.A., Ayyub C.M., Shaheen M.R., Noor M.A. 2013. Determination of physiomorphological characteristics of potato crop regulated by potassium management. *Pak. J. Agric. Sci.*, 50, 611–615.
160. Peterson R.K.D., Higley L.G. 2001. Biotic stress and yield loss, CRC Press, Boca Raton, FL. DOI: 10.1201/9781420040753.
161. Peterson R.K.D., Higley L.G. 1996. Temporal changes in soybean gas exchange following simulated insect defoliation. *Agron. J.*, 88, 550–554. DOI: 10.2134/agronj1996.00021962008800040009x.
162. Petrick M., Weingarten P. 2004. The role of agriculture in Central and Eastern European rural development: an overview [In:] M., Petrick P., Weingarten (ed.). *The Role of Agriculture in Central and Eastern European Rural Development: Engine of Change or Social Buffer?* Institute of Agric. Dev. Central and Eastern Europe (IAMO), 25, 1–19.
163. Petropoulos S.A., Fernandes A., Polyzos N., Antoniadis V., Barros L., Ferreira I.C.F.R. 2020. The impact of fertilization regime on the crop performance and chemical composition of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivated in central Greece. *Agron.*, 10, 474, DOI: 10.3390/agronomy10040474.
164. PTG. 2019. Systematyka Gleb Polski. Wrocław-Warszawa, <http://www.ejpau.media.pl/PDFy/systematyka-gleb-polski-wyd%206.pdf>.
165. Rashed A., van Herik W.G. 2024. Pest Elaterids of North America: New Insights and Opportunities for Management. *Ann. Rev. Entom.*, 69. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-123249.
166. Raupach T., Martius O., Allen J., Kunz M., Lasher-Trapp S., Mohr S., Rasmussen K., Trapp R., Zhang Q. 2021. The effects of climate change on hailstorms. *Nature Rev. Earth Environ.*, 2, DOI: 10.1038/s43017-020-00133-9.
167. Rodon S.I., Feldman M., Thompson A., Oppedisano T., Shrestha G. 2021. Identifying Resistance to the Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) in Potato Germplasm. *Rev. Update. Front. Agron.*, 3. DOI: 10.3389/fagro.2021.642189.
168. Romero A.P., Alarcón A., Valbuena R.I., Galeano C.H. 2017. Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Front. Plant Sci.*, 8, 1–13. DOI: 10.3389/fpls.2017.01608.

169. Rolbiecki S., Rolbiecki R., Kuśmierk – Tomaszewska R., Dudek S. 2015. Requirements and effects of drip irrigation of mid-early potato on a very light soil in moderate climate. *Fresenius Environ. Bull.*, 24,11, 3895-3902.
170. Rosen C.J., Kelling K.A., Stark J.C., Porter G.A. 2014. Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production. *Am. J. Potato Res.*, 91, 145–160. DOI: 10.1007/s12230-014-9371-2.
171. Ruža A., Skrabule I., Vaivod A. 2013. Influence of nitrogen on potato productivity and nutrient use efficiency, In *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 67(3), 247-253. DOI: 10.2478/prolas-2013-0043.
172. Saha R., Mondal S., Das J. 2001. Effect of potassium with and without sulfur containing fertilizers on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Envir. Ecol.*, 19(1), 202-205.
173. Salih S.A., Abdulrahman F.A., Mahmood Y.A. 2018. The effect of different irrigation interval on tuber yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Kurdistan J. Appl. Res.*, 3 (2), 21–37. DOI: 10.24017/science.2018.3.5.
174. Saravia D., Farfán-Vignolo E.R., Gutiérrez R., Mendiburu F., Schafleitner R., Bonierbale M., Khan M.A. 2016. Yield and physiological response of potatoes indicate different strategies to cope with drought stress and nitrogen fertilization. *Am. J. Potato Res.*, 93. 288–295. DOI: 10.1007/s12230-016-9505-9.
175. Savy D., Cozzolino V. 2022. Novel fertilizing products from lignin and its derivatives to enhance plant development and increase the sustainability of crop production. *J. Clean. Prod.*, 366, 132832. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.132832.
176. Schmey T., Tominello-Ramirez C.S., Brune C., Stam R. 2024. *Alternaria* diseases on potato and tomato. *Molec. Plant Path.*, 25 (3). DOI: 10.1111/mpp.13435.
177. Schulz V.S., Munz S., Stolzenburg K., Hartung J., Weisenburger S., Graeff-Hönninger S. 2019. Impact of different shading levels on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agron.*, 9(6), 330. DOI: 10.3390/agronomy9060330.
178. Shabba M.A., Stushnoff C., McSay A.E., Holm D., Davidson R. 2007. Effect of temperature on storage properties, dormancy, soluble sugar content and α -galactosidase activity of seven new potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *J. Food Agric. Envir.*, 5(1), 116-121.
179. Shashkarov L., Samarkin A., Mefod'ev G. 2019. Formation of the assimilation surface of potato leaves, depending on seeding depth of tubers and pre-sowing treatment methods. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 14, 68-71. DOI: 10.12737/article5d3e16a104fed3.42056583.
180. Shields E.J., Wyman J.A. 1984. Effect of defoliation at specific growth stages on potato yields. *J. Econ. Entom.*, 77, 1194–1199. DOI: 10.1093/jee/77.5.1194.
181. Shock C.C., Holmes Z.A., Stieber T.D., Eldredge E.P., Zhang P. 1993. The effect of timed water stress on quality, total solids, and reducing sugar content of potatoes. *Am. Potato J.*, 70, 227–241.
182. Shuvar I.A., Korpita H.M. 2016. Influence of elements of cultivation technology on weediness and productivity of spring barley and potatoes. *Zbirnyk Naukovykh Prats Natsionalnoho Naukovoho Tsentru "Instytut zemlerobstva NAAN*, 3–4, 71–81.
183. Shuvar I., Korpita H., Shuvar A., Shuvar B., Balkovskyi V., Kosylovykh A., Dudar I. 2022. Relationship of potato yield and factors of influence on the background of herbological protection. *Open Agric.*, 7, 920–925. DOI: 10.1515/opag-2022-0153.

184. Singh P., Sandhu A.S. 2023. Energy budgeting and economics of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation under different sowing methods in north-western India. *Energy*, 269, 126755. DOI: 10.1016/j.energy.2023.126755.
185. Skiba D., Sawicka B., Pszczółkowski P., Barbaś P., Krochmal-marczak B. 2021. The impact of cultivation management and weed control systems of very early potato on weed infestation, Biodiversity, and Health Safety of Tubers. *Life (Basel)*, 11(8), 826, DOI: 10.3390/life11080826.
186. Sleutel S., De Neve S., Németh T., Tóth T., Hofman G. 2006. Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments. *Eur. J. Agron.*, 25, 280–288. DOI: 10.1016/j.eja.2006.06.005.
187. solanapolska, <https://solanapolska.pl/>
188. Soltys-Kalina D., Plich J., Strzelczyk-Żyta D., Śliwka J. Marczewski W. 2016. The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of ‘Katahdin’ derived potato cultivars. *Breed. Sci.*, 66: 328–331. DOI: 10.1270/jsbbs.66.328.
189. Stark J.C., Hopkins B.G. 2015. Fall and spring phosphorus fertilization of potato using a dicarboxylic acid polymer (AVAIL®). *J. Plant Nutr.* 38, 1595–1610. DOI: 10.1080/01904167.2014.983124.
190. Stark J.C., Live S.I. 2003. Tuber quality. In Stark J. C., Love S. L. (Eds.). *Potato production systems* (pp, 329-343), Idaho: Center of Potato Research and Education. DOI:10.1007/978-3-030-39157-7_15.
191. Stark J.C., Westermann D.T., Hopkins B. 2004. Nutrient management guidelines for Russet Burbank potatoes. University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences, 840, 1-12.
192. Stieha C., Poveda K. 2015. Tolerance responses to herbivory: Implications for future management strategies in potato. *Ann. Appl. Biol.* 166, 208–217. DOI: 10.1111/aab.12174.
193. Struik P.C. 2007. Responses of the potato plant to temperature. *Potato Biol. Biotech.: Adv Perspect*, 366–96. DOI: 10.1016/B978-044451018-1/50060-9.
194. Struik P.C., Wiersema S.G. 1999. *Seed potato technology*, Wageningen, Wageningen Academic Publishers. DOI: 10.3920/978-90-8686-759-2.
195. Stypa I., Urbanowicz J. 2016. Struktura odmianowa nasiennictwa ziemniaka w Polsce w 2015 r. *Ziemniak Polski* 26(1), 4-9.
196. Tajner-Czopek A., Kita A., Rytel E. 2021. Characteristics of french fries and potato chips in aspect of acrylamide content—Methods of reducing the toxic compound content in ready potato snacks. *Applied Sci.*, 11(9), 3943, DOI: 10.3390/app11093943.
197. Tadesse Y., Almekinders C.J., Schulte R.P., Struik P.C. 2017. Understanding farmers’ potato production practices and use of improved varieties in Chencha, Ethiopia. *J. Crop Improv.*, 31(5), 673–688.
198. Talburt W., Smith O. 1987. *Potato Processing* (No 6648 T3 1987); Van Nostrand Reinhold: New York, NY, USA; pp, 1–796.
199. Tiemens-Hulscher M., VanBuere E.T.L., Struik P.C. 2014. Identifying nitrogen-efficient potato cultivars for organic Farming. *Euphytica*, 199, 137–154. DOI: 10.1007/s10681-014-1143-z.
200. Thompson B. 2010. *Efficient fertilizer use-potassium* (1 st edition ed.), New York: John Wiley and Sons.

201. Thompson A.L., Love S.L., Sowokinos J.R., Thornton M.K., Shock. C.C. 2008. Review of the sugar end disorder in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Am. J. Potato Res.*, 85(5), 375-386. DOI: 10.1007/s12230-008-9034-2.
202. Thornton R.E., Iritani W.M. 1986. Sugar end potatoes. *Proc. Univ. Idaho Winter Comm. Schools* 18, 202–210.
203. Timlin D., Rahman S.M.L., Baker J., Reddy V.R. 2006. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. *Agron. J.* 98(5). DOI:10.2134/agronj2005.0260.
204. Trapero-Mozos A., Morris W.L., Ducreux L.J.M., McLean K., Stephens J., Torrance L., Bryan G.J., Hancock R.D., Taylor M.A. 2018. Engineering heat tolerance in potato by temperature-dependent expression of a specific allele of HEAT-SHOCK COGNATE 70. *Plant Biotechnol. J.* 16(1), 197-207, DOI: 10.1111/pbi.12760.
205. Trumble J.T., Kolodny-Hirsch D.M., Ting I.P. 1993. Plant compensation for arthropod herbivory. *Annu. Rev. Entomol.* 38, 93–119. DOI: 10.1146/annurev.en.38.010193.000521.
206. Upadhyay A., Bashyal S. 2020. Effects of dehauling in Potato (*Solanum tuberosum*) Cultivation: A Review. *Inter. J. Envir. Agric. Biotech.*, 5(4) DOI: 10.22161/ijeab.54.20.
207. Vos J., Groenwold J. 1987. Mean annual yield reductions of potatoes due to water deficits for Dutch weather conditions. *Acta Hortic.*, 214, 61–70. DOI: 10.17660/ActaHortic.1988.214.4.
208. Vos J., Haverkort A.J. 2007. Water availability and potato crop performance, In: Vreugdenhil D. (ed.) *Potato biology and biotechnology: Advance and perspective*, Elsevier, Amsterdam, The Netherland, 333–351. DOI: 10.1016/B978-044451018-1/50058-0.
209. Wadas W., Dziugiel T. 2020. Changes in assimilation area and chlorophyll content of very early potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars as influenced by biostimulants. *Agron.*, 10(3), 387. DOI: 10.3390/agronomy10030387.
210. Wang D., Wang Q., Sun X., Gao Y., Ding J. 2020. Potato tuberworm phthorimaea operculella (Zeller) (*Lepidoptera: Gelechioidea*) leaf infestation effects performance of conspecific larvae on harvested tubers by inducing chemical defenses. *Insects* 11(9). DOI:10.3390/insects11090633.
211. Wang F.X., Kang Y., Liu S.P. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. *Agric. Water Manag.*, 79, 248–264. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.02.016.
212. Wang M.X., Mei C., Song Q.N., Wang H.J., Wu S.Y., Feng R.Y. 2021. Evaluation on Cold Tolerance of six potato seedlings in tissue culture under low temperature stress. *J. Shanxi Agric. Sci.*, 49 (12), 1502–6.
213. Wang H., Wang X., Bi L., Wang Y., Fan J., Zhang F., Hou X., Cheng M., Hu W., Wu L., 2019. Multi-objective optimization of water and fertilizer management for potato production in sandy areas of northern China based on TOPSIS. *Field Crops Res.*, 240, 55–68. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.06.005.
214. Wellik M.J., Slosser J.E., Kirby R.D. 1981. Effects of simulated insect defoliation on potatoes. *Am. Potato J.*, 58: 627–632.
215. Wilcockson S.J. 1986. Effects of defoliation and time of harvest on tuber dry-matter percentage of Pentland Crown Potatoes. *J. Agric. Sci.*, 107(3), 723-733. DOI: 10.1017/S0021859600069872.

216. Wille M.J., Kleinkopf G.E. 1992. Effect of simulated hail damage on yield and quality of Russet Burbank potatoes. *Am. J. Potato Res.*, 69, (11), 705-714 DOI: 10.1007/bf02853814.
217. Wille M.J., Kleinkopf G.E. 1988. Simulating hail injury to potatoes. In 20th Annual Idaho Potato School, Pocatello: Presented January 28.
218. Wishart J., George T.S., Brown L.K., White P.J., Ramsay G., Jones H., Gregory P.J. 2014. Field phenotyping of potato to assess root and shoot characteristics associated with drought tolerance. *Plant Soil*, 378, 351–363. DOI: 10.1007/s11104-014-2029-5.
219. Workman M., Denhard C., Gough J. 1979. Potato loss adjustor's handbook, Fort Collins: Colorado State University Experiment Station, Special Series 14.
220. Wójcik-Stopczyńska B. 2013. Wartość cukrów w ziemniakach jadalnych dostępnych w handlu na terenie Szczecina. *Ziemniak Polski* 3, 47- 51.
221. Zagórska 2004. Wymagania jakościowe wobec odmian ziemniaka do przetwórstwa spożywczego. *Ziemniak Polski* 4, 26-28.
222. Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. 2000. Wpływ warunków w czasie wegetacji oraz temperatury przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Biul, IHAR* 213, 239–251.
223. Zgórska K., Grudzińska M. 2010. Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa spożywczego. *Ziemniak Polski*. 3, 1-3.
224. Zarzecka K., Gugąła M., Domański Ł. 2022. Zmiany zawartości cukrów w bulwach ziemniaka pod wpływem herbicydu i biostymulatorów. *Agron. Sci. LXXVII* (1), 4-13. DOI: 10.24326/as.2022.1.1.
225. Zarzecka K., Gugąła M., Zarzecka M. 2013. Ziemniak jako dobre źródło składników odżywczych. *Postępy Fitoterapii*, 3, 191-194.
226. Zarzyńska K., Wierzbička A., Grudzińska M. 2016. Organic potato production as a guarantee of its pro-health features. *Biul. IHAR*, 279, 77-87. DOI: 10.37317/biul-2016-0018.
227. Zhang Y., Kang L., Gao J., Puri K.D., Jia R., Zhang Z., Zhang J., Zhao J. 2023. Systemic colonization of potato plants by *verticillium dahliae* leads to infection of tubers and sprouting buds. *Plant Disease* 107 (3), DOI: 10.1094/PDIS-05-22-1029-RE.
228. Zhou L., Mu T., Ma M., Zhang R., Sun Q., XU Y. 2019. Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *J.Integ. Agric.*, 18 (1), 231-245. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)62137-9.
229. Ziems J.R., Zechmann B.J., Hoback W.W., Wallace J.C., Madsen R.A., Hunt T.E., Higley L.G. 2006. Yield response of indeterminate potato (L.) to simulated insect defoliation. *Agr. J.*, 98 (6), 1435-1441. DOI: 10.2134/agronj2005.0245.
230. Ziems J.R., Hoback W.W., Higley L.G., Hunt T.E., Fernandes O.A., Bastos C., De Freitas B.A. 2008. Second generation European corn borer injury and Irish potato physiology, yield, and quality. *Agron. J.*, 100, 720–725. DOI: 10.2134/agronj2007.0066.

STRESZCZENIE

Wpływ uszkodzeń mechanicznych części nadziemnych na cechy jakościowe, wielkość plonu oraz wartość utraconych korzyści w produkcji ziemniaka

mgr inż. Krzysztof Pietrzykowski

Słowa kluczowe: wartość plonu, wartość produkcji, *Solanum tuberosum* L., powierzchnia asymilacyjna, zawartość skrobi, zawartość cukrów redukujących

Ziemniak to gatunek o ogromnym znaczeniu w wielu krajach, stąd czynniki działające destrukcyjnie na jego plonowanie przekładają się na wymierne straty tak gospodarcze jak i finansowe dla poszczególnych producentów. W dotychczasowej literaturze nie opracowano tego zagadnienia w stopniu umożliwiającym oszacowanie przedmiotowych strat spowodowanych zdarzeniami powodującymi uszkodzenia części nadziemnych roślin ziemniaka.

Celem badań było określenie zależności pomiędzy rodzajem i terminem uszkodzeń mechanicznych pędów, a wielkością i wartością użytkową plonu bulw w odniesieniu do produkcji ziemniaków przemysłowych. Dla realizacji postawionego celu przeprowadzono trzyletnie doświadczenie polowe w latach 2021-2023, w którym czynnikami doświadczalnymi były: I – termin uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka (BBCH: 12, 29, 39, 49), II – stopień uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka (100%, 50%, 25%, 0% - kontrola). W każdym roku badano łącznie 16 obiektów doświadczalnych. Uszkodzenia pędów wykonywano ręcznie za pomocą nożyczek zgodnie z przyjętym układem doświadczenia. Eksperyment polowy zrealizowano w układzie split-block w czterech powtórzeniach. Oznaczono cechy związane z wielkością i jakością plonu. Wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji i testu Tukeya, przeprowadzono również analizę korelacji i regresji testowanych cech, wykonano wielocechową analizę wartości plonu oraz dokonano kalkulacji ekonomicznej uprawy dla każdego obiektu doświadczalnego.

Badania wykazały, że uszkodzenia części nadziemnych ziemniaka powodowały istotny spadek plonu bulw w stosunku do roślin nieuszkodzonych. Uszkodzenia dokonywane w fazach BBCH 29, 39 i 49 powodowały większe straty plonu niż uszkodzenia w fazie BBCH 12, w której nawet uszkodzenie na poziomie 100% nie powodowało istotnych strat plonu. Udział bulw o walorach handlowych w plonie ogólnym malał wraz z opóźnianiem terminu uszkodzeń organów nadziemnych ziemniaka i zwiększaniem stopnia ich uszkodzenia. Stwierdzono, że jedynie w fazie BBCH 49 uszkodzenia aparatu asymilacyjnego na poziomie 100 i 50% powodowały istotny spadek zawartości suchej masy

w bulwach. Zawartość skrobi, w bulwach pochodzących z roślin, których części nadziemne były uszkodzane w fazach BBCH 39 i 49 była mniejsza niż w kontroli. Plon skrobi malał wraz ze wzrostem stopnia uszkodzeń, przy czym uszkodzenia niezależnie od ich nasilenia wykonane w fazie BBCH 12 nie miały istotnego wpływu na plon skrobi. Uszkodzenia aparatu asymilacyjnego na poziomie 50 i 100% w fazie BBCH 39 powodowały kilkukrotny wzrost zawartości cukrów redukujących w stosunku do obiektu kontrolnego, co powodowało dyskwalifikację plonu jako surowca do produkcji chipsów. Obniżenie wysokości plonu, jak i pogorszenie cech jakościowych związanych z zawartością skrobi i cukrów redukujących wywołane testowanymi czynnikami powodowały, że w większości obiektów uprawa generowała ujemny wynik finansowy. Ze względu na dużą zmienność plonu i jego jakości w poszczególnych latach badań, wartość strat poniesionych w wyniku uszkodzenia części nadziemnych ziemniaków można ustalić dopiero po zbiorze i oznaczeniu cech jakościowych uzyskanego plonu.

ABSTRACT

The influence of mechanical damage to above-ground parts on quality features, yield quantity and the value of lost benefits in potato production

M.Sc. Krzysztof Pietrzykowski

Keywords: yield value, production value, *Solanum tuberosum* L. assimilation surface, starch content, reducing sugar content

Potato is a species of great importance in many countries, therefore factors that have a destructive effect on its yield translate into measurable losses, both economic and financial, for individual producers. The existing literature has not addressed this issue to a degree that would allow for estimating the losses in question caused by events that cause damage to the above-ground parts of potato plants.

The aim of the study was to determine the relationship between the type and date of mechanical damage to leaves and shoots, and the size and utility value of the tuber yield in relation to the production of industrial potatoes. To achieve the set goal, a 3-year field experiment was carried out in 2021-2023, in which the experimental factors were: I - date of damage to the above-ground parts of the potato (BBCH: 12, 29, 39, 49), II - degree of damage to the above-ground parts of the potato (100%, 50%, 25%, 0% - control). A total of 16 experimental objects were examined each year. According to the experimental design used, damage to shoots was performed manually using scissors. The field experiment was carried out in a split-block design in four replications. Traits related to the size and quality of the yield were determined. The results were statistically analyzed using the analysis of variance and the Tuckey test, correlation and regression analyses of the tested features were also performed, a multi-feature analysis of the yield value was performed and an economic calculation of the crop was made for each experimental object.

Studies have shown that damage to the above-ground parts of potatoes caused a significant decrease in tuber yield compared to undamaged plants. Damage caused in BBCH 29, 39, 49 phases caused greater yield losses than damage caused in BBCH 12 phase, in which even 100% damage did not cause significant yield losses. The share of tubers with commercial value in the total yield decreased with the delay in the date of damage to the above-ground organs of potatoes and the increase in their degree of damage. It was found that only in BBCH 49 phase, damage to the assimilation apparatus at the level of 100 and 50% caused a significant decrease in the dry matter content in tubers. The starch content in tubers from plants whose above-ground parts were damaged in BBCH 39 and 49 phases was lower than in undamaged objects. Starch yield decreased with increasing damage level, however, damage regardless of its intensity made

in BBCH 12 phase had no significant effect on starch yield. Damage to the assimilation apparatus at the level of 50 and 100% in BBCH 39 phase caused several times higher content of reducing sugars compared to the control object, which resulted in disqualification of the crop as a raw material for chips production. Reduction in the height of the crop and deterioration of quality features related to the content of starch and reducing sugars caused by the tested factors caused that in most of the objects the cultivation generated a negative financial result. Due to the high variability of the yield and its quality in the individual years of the study, the value of losses incurred as a result of damage to the above-ground parts of potatoes can be determined only after harvesting and marking the quality features of the obtained crop.

ANEKS



Fot. A1. bulwa ziemniaka odmiany 'Verdi



Fot. A2. Redlinowy system uprawy ziemniaka w doświadczeniu



Fot. A3. Ręczny zbiór ziemniaków na doświadczeniu



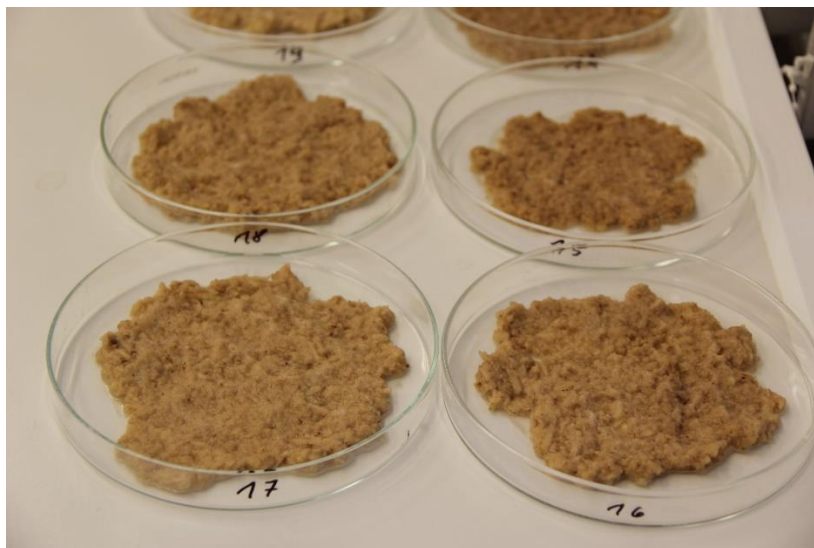
Fot. A4. Stan zdrowotny zregenerowanych roślin, których pędy nadziemne uszkodzono w fazie BBCH 12 w 100%



Fot. A5. Próby bulw ziemniaka w workach raszlowych w laboratorium Pracowni Towaroznawstwa Rolno - Spożywczego (Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Politechnika Bydgoska)



Fot. A6. Przygotowanie bulw ziemniaka do badań laboratoryjnych



Fot. A7. Oznaczanie zawartości suchej masy w bulwach ziemniaka – rozdrobniony materiał na płytkach Petriego



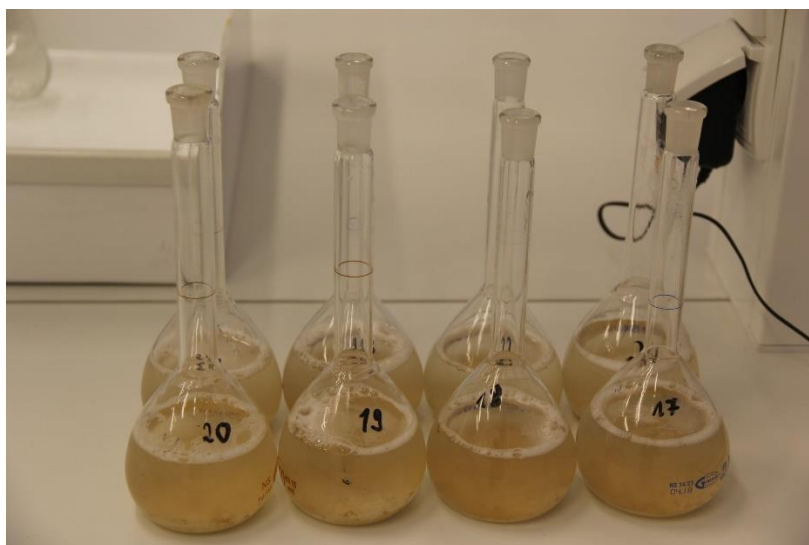
Fot. A8. Oznaczanie zawartości suchej masy w bulwach ziemniaka – Suszarka z wymuszonym obiegiem powietrza (SUP-100W, Warmed,Polska)



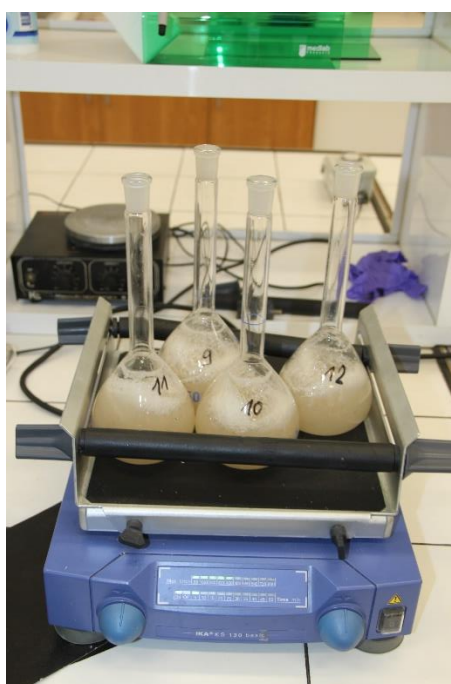
Fot. A9. Oznaczanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka – sączenie roztworu do badań



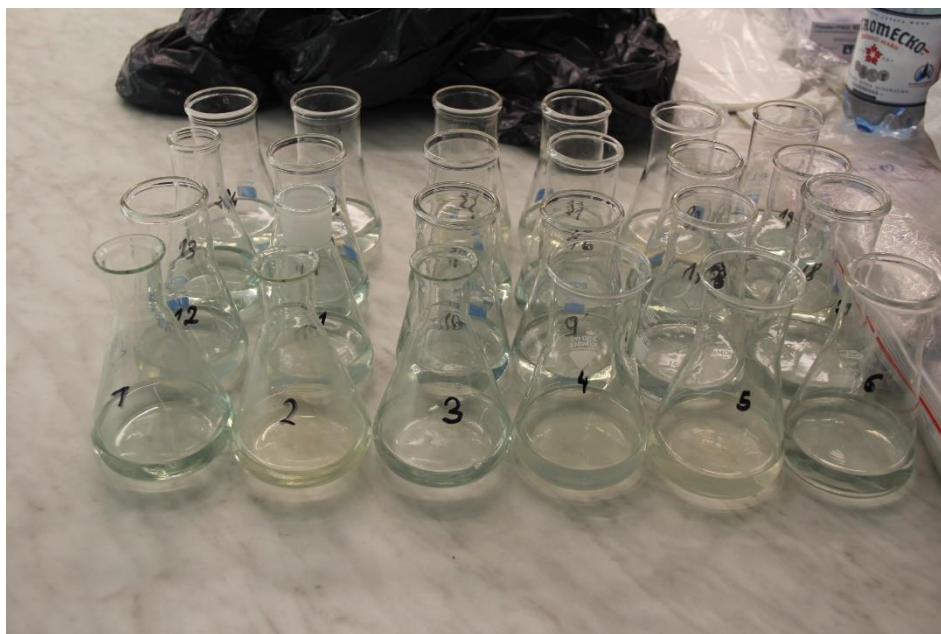
Fot. A10. Oznaczanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka – Polarymetr P1200 (Krüss Optronic, Niemcy)



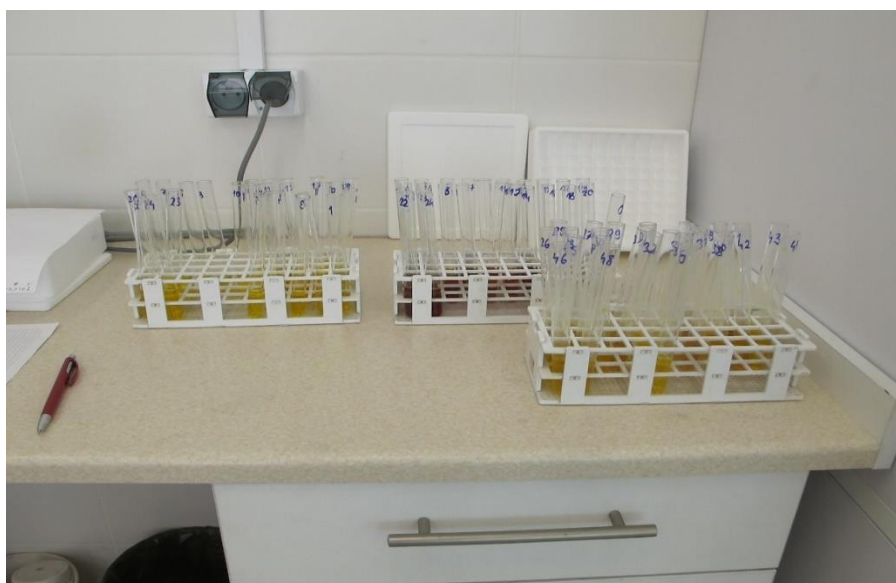
Fot. A11. Oznaczenie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka - przygotowanie prób do wytrząsania



Fot. A12. Oznaczenie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka – wytrząsanie prób – Wytrząsarka laboratoryjna (IKA KS 130 basic, Polska)



Fot. A13. Oznaczanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka – przesącz do pomiarów w Polarymetrze P1200



Fot. A14. Oznaczanie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka – przygotowane roztwory w próbkach szklanych do oznaczeń w Spektrofotometrze (SHIMADZU UV-1800, Japonia)



Fot. A15. Oznaczenie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka - Spektrofotometr SHIMADZU UV-1800 (Japonia)

Spis tabel, rysunków i fotografii

Tabela	s.
Tabela 1. Zawartość składników pokarmowych i odczyn gleby przed nawożeniem pola doświadczalnego, w poszczególnych latach badań	23
Tabela 2. Rozkład opadów [mm] i temperatur powietrza [°C] – odpowiednio sumy i średnie dekadowe i miesięczne w poszczególnych latach badań	28
Tabela 3. Plon bulw ziemniaka [Mg·hm ⁻²] w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia	38
Tabela 4. Plon bulw handlowych ziemniaka [Mg·hm ⁻²] w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia	40
Tabela 5. Udział bulw handlowych [%] w plonie ogólnym bulw ziemniaka w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której wykonano uszkodzenia	42
Tabela 6. Plon bulw małych* i bulw zdeformowanych [Mg·hm ⁻²] w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano	43
Tabela 7. Zawartość suchej masy [%] w bulwach ziemniaka w poszczególnych latach badań, w zależności od fazy rozwojowej i stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych	46
Tabela 8. Zawartość skrobi [%] w bulwach ziemniaka w latach 2021-2023, w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano	50
Tabela 9. Plon skrobi z plonu ogólnego bulw ziemniaka [Mg·hm ⁻²] w latach 2021-2023 w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano	53
Tabela 10. Zawartość cukrów ogółem [g·kg ⁻¹] w świeżej masie bulw ziemniaka w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano	55
Tabela 11. Zawartość cukrów redukujących [g·kg ⁻¹] w świeżej masie bulw ziemniaka w zależności od stopnia [%] uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której uszkodzenia wykonano	58

Tabela 12. Macierz korelacji i regresji plonu i cech jakościowych bulw ziemniaka	62
Tabela 13. Ocena wartości plonu w oparciu o wielkość plonu handlowego i jego cechy jakościowe	64
Tabela 14. Zestawienie kosztów uprawy ziemniaka 'Verdi' z przeznaczeniem na chipsy przy cenach dla roku 2024	66
Tabela 15. Zestawienie wartości produkcji i dochodu rolniczego z uprawy ziemniaka 'Verdi' w zależności od zastosowanych czynników doświadczalnych i przeznaczenia plonu.	67

Rysunek	s.
Rys. 1. Dynamika opadów [mm] i średnich temperatur powietrza [°C] w ujęciu dobowym dla okresu 01 marzec – 30 wrzesień 2021	29
Rys. 2. Dynamika opadów [mm] i średnich temperatur powietrza [°C] w ujęciu dobowym dla okresu 01 marzec – 30 wrzesień 2022	29
Rys. 3. Dynamika opadów [mm] i średnich temperatur powietrza [°C] w ujęciu dobowym dla okresu 01 marzec – 30 wrzesień 2023	29
Rys. 4. Plon bulw ziemniaka w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)	34
Rys. 5. Plon bulw ziemniaka w zależności od terminu (I) i stopnia uszkodzenia (II) pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)	36
Rys. 6. Plon bulw handlowych ziemniaka w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)	39
Rys. 7. Zawartość suchej masy [%] w bulwach ziemniaka w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023, Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)	44
Rys. 8. Zawartość suchej masy [%] w bulwach ziemniaka w zależności od terminu (I) i stopnia (II) uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)	45
Rys. 9. Zawartość skrobi [%] w bulwach ziemniaka w zależności od stopnia (II) uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej (I), w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)	48

Rys. 10. Zawartość skrobi [%] w bulwach ziemniaka w zależności od terminu (I) i stopnia (II) uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)	49
Rys. 11. Plon skrobi [$\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$] w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)	51
Rys. 12. Plon skrobi [$\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$] w zależności od terminu (I) i stopnia (II) uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$)	52
Rys. 13. Zawartość cukrów redukujących [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] w zależności od stopnia uszkodzeń pędów nadziemnych i fazy rozwojowej, w której dokonano uszkodzeń – średnie z lat 2021-2023. Te same duże litery – dla stopnia uszkodzeń, lub małe litery – dla fazy rozwojowej, nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy (test Tukeya $p=0,05$)	56
Rys. 14. Zawartość cukrów redukujących [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] w zależności od terminu i stopnia uszkodzenia pędów nadziemnych – średnie z lat 2021-2023. Te same małe litery nad słupkami wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji II/I (test Tukeya $p=0,05$). Te same duże litery na słupkach wartości oznaczają brak istotnej różnicy dla interakcji I/II (test Tukeya $p=0,05$),	57
Rys. 15. Zależność plonu ogólnego i handlowego	61
Rys. 16. Zależność plonu ogólnego i plonu skrobi	61
Rys. 17. Zależność plonu ogólnego i zawartości cukrów redukujących w bulwach	61

Fotografia	s.
Fot. 1. Uszkodzenie 100% części nadziemnych	24
Fot. 2. Uszkodzenie 50% części nadziemnych	24
Fot. 3. Uszkodzenie 25% części nadziemnych	25
Fot. 4. Kontrola – rośliny nieuszkodzone	25
Fot. A1. bulwa ziemniaka odmiany ‘Verdi	90
Fot. A2. Redlinowy system uprawy ziemniaka w doświadczeniu	90
Fot. A3. Ręczny zbiór ziemniaków na doświadczeniu	91
Fot. A4. Stan zdrowotny zregenerowanych roślin, których pędy nadziemne uszkodzono w fazie BBCH 12 w 100%	91
Fot. A5. Próby bulw ziemniaka w workach raszlowych w laboratorium Pracowni Towaroznawstwa Rolno – Spożywczego (Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Politechnika Bydgoska)	92
Fot. A6. Przygotowanie bulw ziemniaka do badań laboratoryjnych	92
Fot. A7. Oznaczanie zawartości suchej masy w bulwach ziemniaka – rozdrobniony materiał na płytkach Petriego	93
Fot. A8. Oznaczanie zawartości suchej masy w bulwach ziemniaka – Suszarka z wymuszonym obiegiem powietrza (SUP-100W, Wamed, Polska)	93
Fot. A9. Oznaczanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka – sączenie roztworu do badań	94
Fot. A10. Oznaczanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka – Polarymetr P1200 (Krüss Optronic, Niemcy)	94
Fot. A11. Oznaczanie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka – przygotowanie prób do wytrząsania	95
Fot. A12. Oznaczanie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka – wytrząsanie prób – Wytrząsarka laboratoryjna (IKA KS 130 basic, Polska)	95
Fot. A13. Oznaczanie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka – przesącz do pomiarów w Polarymetrze P1200	96

Fot. A14. Oznaczenie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka - Spektrofotometr SHIMADZU UV-1800 (Japonia)	96
Fot. A15. Oznaczenie zawartości cukrów redukujących i ogółem w bulwach ziemniaka – przygotowane roztwory w probówkach szklanych do oznaczeń w Spektrofotometrze (SHIMADZU UV-1800, Japonia)	97