



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

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO
I OGRODNICTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Remigiusz Kledzik

**OCENA EFEKTYWNOŚCI DESZCZOWANIA, NAWOŻENIA
AZOTOWEGO ORAZ ICH INTERAKCJI W UPRAWIE JĘCZMIENIA
JAREGO W ASPEKCIE POPRAWY PRZYDATNOŚCI
SŁODOWNICZEJ ZIARNA**

*Assessment of effectiveness of sprinkling irrigation, nitrogen
fertilization and their interaction in cultivation of spring
malting barley in the aspect of improvement of its end-use
quality*

DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE

DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO

PROMOTOR PRACY

PROF. DR HAB. INŻ. JACEK ŻARSKI



Bydgoszcz, 2024

1. WSTĘP

Umiarkowany, przejściowy klimat Polski odznacza się dużą zmiennością czasową warunków atmosferycznych. Trudne do przewidzenia warunki pogodowe sprawiają, że produkcja roślinna w Polsce obciążona jest znacznym ryzykiem klimatycznym. Roczna suma opadów w Polsce jest jedną z najmniejszych w środkowej i północnej Europie. Na obszarze Polski występuje ujemny bilans wodny podczas okresu wegetacji, sumaryczny opad atmosferyczny jest mniejszy od transpiracji. Uprawy muszą bazować na rezerwach wodnych zgromadzonych podczas półrocza chłodnego. Brak lub niedostateczna ilość opadów przyczyniają się do występowania okresów posusznych. Według prowadzonego w sposób ciągły przez IUNG-PIB monitoringu suszy w drugiej dekadzie XXI wieku następuje nasilenie występowania suszy na terenie Polski. Wyniki obserwacji wykazują na coroczne występowanie niedoborów opadów, jednak z różnym nasileniem w poszczególnych latach oraz na zmienność obszarową tego niekorzystnego zjawiska. Prowadzone na przestrzeni lat pomiary i badania wskazują, że największe niedobory opadów występują na obszarze nizin centralnej Polski, miejsce to określane jest jako obszar szczególne deficytowy w wodę.

Jednym z najważniejszych czynników ograniczających plonowanie roślin jest stres wodny. Przyczyną niedoboru wody łatwo dostępnej dla roślin może być brak wody w podłożu, susze atmosferyczne towarzyszące wysokim temperaturom, a także przewaga transpiracji nad adsorpcją wody. Niedobór wody, pełniący wiele ważnych funkcji w organizmie roślinnym, prowadzi do szeregu zmian morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych ograniczających jej wzrost i rozwój. Skutkiem niedoboru wody jest ilościowy spadek wielkości plonu. Pogorszeniu ulegają również cechy jakościowe uzyskanego plonu. Na niedobór wody łatwo dostępnej narażone są szczególnie rośliny uprawiane na glebach lekkich i bardzo lekkich o małej pojemności wodnej.

Negatywne skutki niedoboru wody mogą być niwelowane przez zastosowanie nawadniania. Pozwala ono zaopatrzyć rośliny w wodę w okresach jej niedoboru, zapobiegając niekorzystnym zmianom wywołanym stresem wodnym. Liczne badania wykazują na stabilizację w latach i wzrost wielkości plonu pod wpływem nawadniania oraz korzystny wpływ na jego cechy jakościowe. Nawodnianie roślin rozwinęło się przede wszystkim w strefach klimatycznych stale lub okresowo suchych. Występująca w warunkach klimatycznych Polski duża zmienność czasowa opadów atmosferycznych wpływa na nierównomierne zaopatrzenie roślin w wodę. Nawadnianie w Polsce ma charakter interwencyjny, mający na celu zaopatrzenie roślin w wodę w sytuacji niedoboru opadów atmosferycznych oraz wyczerpania jej zapasów w glebie. Korzystny wpływ zastosowania nawadniania na wielkość i jakość plonu oraz jego niezawodność jest najważniejszym czynnikiem mogącym przyczynić się do rozpowszechnienia tego zabiegu w Polsce. Jako inny czynnik stymulujący rozwój nawodnień, można wskazać potrzebę wzrostu konkurencyjności i nowoczesności gospodarstw rolnych oraz prognozowane zmiany klimatu. Wiele prognoz wskazuje na wzrost temperatury powietrza oraz transpiracji, zwiększyć się może również wariancja opadów atmosferycznych, co w konsekwencji może doprowadzić do częstszego występowania susz atmosferycznych i rolniczych.

Jęczmień (roślina zbożowa należąca do rodziny wiechlinowatych) był jedną z pierwszych udomowionych roślin. Współcześnie jęczmień nadal pozostaje rośliną o dużym znaczeniu gospodarczym, zarówno w Polsce jak i na świecie. Łączna powierzchnia uprawy jęczmienia na świecie w 2020 r. wynosiła około 52 mln hektarów, światowe zbiory w tym okresie wyniosły 156,86 mln ton. Wspomniana powierzchnia klasyfikuje jęczmień na piątym miejscu na świecie pod względem powierzchni upraw zaraz za pszenicą, kukurydzą, ryżem oraz soją. W zależności od kierunku użytkowania, pożądane są odmienne cechy jakościowe co wiąże się z ukierunkowaniem prac hodowlanych oraz zastosowaniem odpowiedniej agrotechniki. Jęczmień zwyczajny *Hordeum vulgare* L. występuje w formie ozimej oraz jarej.

Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji, w dużym stopniu wpływają na plonowanie jęczmienia jarego. Jednym z najważniejszych czynników decydującym o wielkości i jakości plonów jest ilość i rozkład opadów. Jęczmień jest gatunkiem wrażliwym zarówno na niedobór, jak i nadmiar wody w glebie, reaguje największym spadkami plonowania, spośród podstawowych zbóż. W warunkach klimatycznych Polski uzyskanie ziarna jęczmienia browarnego o pożądanych parametrach jakościowych jest bardzo istotne, ale trudne. Występujące okresowo susze uniemożliwiają odpowiednie zaopatrzenie roślin w wodę, co skutkuje zmniejszeniem wielkości plonu oraz pogorszeniem cech jakościowych ziarna. Ziarno uzyskane w warunkach niedoboru wody odznacza się gorszym

wyrównaniem, mniejszą MTZ, ciemniejszą łuską i wyższą zawartością białka, co czyni je nieprzydatnym dla przemysłu browarniczego. Uprawa browarnego jęczmienia jarego na gruntach nawadnianych pozwoliłaby uzyskać surowiec o pożądanych cechach jakościowych. Dotychczasowe, nieliczne badania i analizy dotyczące nawadniania jęczmienia dotyczyły przede wszystkim jego wpływu na wielkość plonu i podstawowe cechy jakościowe. Niewiele jest badań dotyczących wpływu zastosowania nawadniania na cechy ziarna pod kątem jego przydatności jako surowca dla przemysłu browarniczego. Brakuje także analiz ekonomicznych przedsięwzięcia, których wyniki są kluczowe dla rozwoju nawadniania w Polsce.

CEL PRACY

Celem badań jest ocena wpływu nawadniania i nawożenia azotem, na wielkość plonu oraz jakość ziarna jęczmienia jarego browarnego ze szczególnym uwzględnieniem cech jakościowych wpływających na przebieg i wydajność procesu słodowania.

Najważniejsze zadania:

- Analiza efektów nawadniania, nawożenia azotem oraz ich interakcji, ocena wpływu tych czynników na wielkość, strukturę i jakość plonu ziarna.
- Określenie optymalnej dawki nawożenia azotowego, która pozwoli zmaksymalizować wielkość plonu, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednich parametrów jakościowych ziarna.
- Określenie efektów ekonomicznych nawadniania.

HIPOTEZA BADAWCZA

Hipoteza badawcza zakłada, że nawadnianie oraz nawożenie azotem, są czynnikami w istotny sposób modyfikującymi wielkość uzyskanego plonu oraz cechy jakościowe ziarna jęczmienia browarnego. Zakłada się, że zastosowanie nawadniania w korzystny sposób wpłynie zarówno na poprawę cech ilościowych, jak i jakościowych plonu ziarna jęczmienia. W warunkach nawadniania będzie możliwe stosowanie wyższych dawek nawożenia azotem, które przyczynią się do wzrostu plonu ziarna, a nie pogorszą jego przydatności browarnej.

2. MATERIAŁ I METODY DADAŃ

2.1. MIEJSCE BADAŃ

Ścisłe doświadczenie polowe zostało przeprowadzone na polu doświadczalnym Katedry (obecnie Pracowni) Melioracji i Agrometeorologii zlokalizowanym w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP w Mochełku (53°12'24"N, 17°51'40"E, h=98,5 m npm), będącej jednym z najstarszych obiektów doświadczalnych w Polsce. Początki jej istnienia sięgają roku 1905 i związane są z utworzeniem na tych terenach bazy doświadczalnej ówczesnego Instytutu Rolniczego w Bydgoszczy. Aktualnie gospodarstwo Mochełek należy do Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Politechniki Bydgoskiej w Minikowie.

2.2. CHARAKTERYSTYKA ODMIANY

Obiektem doświadczalnym była odmiana jęczmienia jarego Signora, jest to odmiana browarna jęczmienia jarego o kłosie dwurzędowym wpisana do rejestru 24.01.2008 roku. Signora jest odmianą o wysokim potencjale plonowania zalecaną do uprawy na terenie całego kraju. Według badań COBORU Signora charakteryzuje się wysoką MTZ (47,5 g) oraz średnią do wysokiej odpornością na wyleganie (5,7). Rośliny tej odmiany osiągają wysokość około 72 cm. Jest to odmiana odporna na choroby, odporność na: mączniaka (7,3), rynchosporiozę (7,9), rdzę jęczmienia (7,4), plamistość siatkową (7,4), czarną plamistość (7,6) w skali 1-9 według badań COBORU. Biorąc pod uwagę cechy technologiczne ziarna wyróżnia się wysokimi wskaźnikami jakości technologicznej, szczególnie bardzo wysoką ekstraktywnością i bardzo dobrą lepkością brzezki oraz niską do średniej zawartością białka

2.3. CZYNNIKI DOŚWIADCZENIA

Dwuczynnikowy eksperyment polowy przeprowadzono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym split-plot w czterech replikacjach. Pojedyncze poletko doświadczalne do obsiewu miało powierzchnię 10 m², zbioru dokonywano z powierzchni 5,81 m² (1,21 m x 4,8 m).

Zastosowane w dwóch wariantach nawadnianie deszczowniane było pierwszym z badanych czynników:

- W₀ – obiekty kontrolne (bez deszczowania),
- W₁ – deszczowanie optymalne, utrzymujące w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w całym okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia.

Nawadnianie prowadzono za pomocą przenośnego systemu deszczownianego z wykorzystaniem niskociśnieniowych, sektorowych głowic nawadniających typu Nelson o wydajności jednostkowej 200 l h⁻¹. Woda wykorzystywana do nawodnień pochodziła z ujęcia wykonanego na rurociągu wiejskim. Terminy poszczególnych zabiegów deszczowania ustalano na podstawie analizy standardowych pomiarów atmosferycznych, ponadto stale prowadzono monitoring wilgotności gleby w warstwie korzeniowej roślin, metodą bezpośrednią przy użyciu sondy Fieldscout TDR 200 Soil Moisture Meter oraz za pomocą bilansowania zapasu wody łatwo dostępnej na podstawie parametrów meteorologicznych. Wyniki pomiarów meteorologicznych, prowadzonych w sposób standardowy zgodny z procedurami IMGW, pochodzą z agrometeorologicznego punktu pomiarowego zlokalizowanego w sąsiedztwie pola doświadczalnego w Mochełku. Punkt znajduje się na obszarze słabo zurbanizowanym i uprzemysłowionym z dala od wpływu lokalnych i miejskich czynników antropogenicznych, pomiary prowadzone są nieprzerwanie od 1949 roku

Drugim zastosowanym czynnikiem było nawożenie azotowe zastosowane w czterech wariantach (wartości podane w czystym składniku):

- N₀ - obiekty kontrolne (bez nawożenia),
- N₁ - nawożenie przedsiewne 30 kg ha⁻¹,
- N₂ - nawożenie przedsiewne 60 kg ha⁻¹,
- N₃ - nawożenie przedsiewne 60 kg ha⁻¹, uzupełnione o nawożenie pogłównie 30 kg ha⁻¹ w fazie strzelania w źdźbło.

2.4. PRZEPROWADZONE ZABIEGI AGROTECHNICZNE

Uprawa jęczmienia była prowadzona według zasad poprawnej agrotechniki, obejmującej optymalne nawożenie PK (70kg P₂O₅ w formie superfosfatu oraz 80kg K₂O w formie soli potasowej) oraz chemiczną ochronę. Pierwszym wiosennym zabiegiem było bronowanie mające na celu ograniczenie parowania i wyrównanie powierzchni gleby. Przed siewem rozsiano nawozy i wymieszano je z glebą za pomocą bronowania. Siewów dokonano w optymalnym dla danego roku terminie

Nawadnianie miało charakter interwencyjny i było stosowane w momencie wystąpienia niedoboru wody łatwo dostępnej w strefie korzeniowej, liczba dawek nawodnieniowych zależała od przebiegu warunków pogodowych w danym okresie wegetacji, przede wszystkim od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Wielkość oraz terminy dawek nawodnieniowych przedstawia tabela 9. Zastosowane nawadnianie miało na celu przeciwdziałania negatywnym skutkom niedoboru wody na poszczególnych etapach wzrostu i rozwoju roślin.

Podczas wegetacji jęczmienia jarego regularnie dokonywano obserwacji na podstawie których można było bardzo ogólnie stwierdzić, że rośliny nawadnianie odznaczały się bujniejszym wzrostem, były bardziej dorodne, wytworzyły większą zieloną masę ich rozwój był bardziej równomierny.

2.5. ZBIÓR I ANALIZA ZIARNA

Zbioru dokonano kombajnem poletkowym w fazie pełnej dojrzałości. Zebrane z każdego poletka ziarno zważono, a uzyskany wynik przeliczono na teoretyczny plon z jednego hektara dla wilgotności 15%. Przygotowano próbki do dalszych analiz. Masę tysiąca ziaren określono w próbach pochodzących z każdego poletka w laboratorium Katedry Melioracji i Agrometeorologii UTP (obecnie Pracownia Melioracji i Agrometeorologii PBŚ). Pozostałe analizy ziarna pod względem cech technologicznych dokonano w laboratorium Katedry Technologii Rolnej i Przechowalnictwa Uniwersytetu

Przyrodniczego we Wrocławiu. Przebadano próby zbiorcze, dokonując analiz w 3 powtórzeniach. Analizy obejmowały oznaczenie zawartości białka oraz wyrównania ziarna. Na separatorze laboratoryjnym PFEUFFER SORTIMAT oznaczono wyrównanie ziarna (frakcja o grubości powyżej 2,5mm), próbki ziarna o masie 100g przesiewano na sitach o wielkości oczek 2,8mm, 2,5mm, 2,2mm w czasie 5 minut. Uzyskane frakcje zważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do setnych części grama. Zawartość białka w ziarnie oznaczono przy pomocy urządzenia Infratec™ 1241 Grain Analyzer. Analizy ziarna przeprowadzono zgodnie z analityką opracowaną przez Europejską Unię Browarniczą. Uzyskane wyniki posłużyły do obliczenia teoretycznej ekstraktywności ziarna jęczmienia (E) według metody Bishopa:

$$E=84,5-0,75B+0,1MTZ$$

gdzie:

B - zawartość białka w ziarnie podana w % suchej substancji,

MTZ - masa 1000 ziaren w gramach suchej substancji.

Ekstraktywność teoretyczna szacowana zgodnie z formułą opracowaną przez Bishopa w ocenie przydatności słodowniczej ziarna jęczmienia pozwala z dużą dokładnością szacować rzeczywistą ekstraktywność sódów typu pilzneńskiego. Zastosowanie wzoru Bishopa pozwala na szacowanie przydatności słodowniczej ziarna mimo różnic odmianowych, odmiennych warunków pogodowych w danym okresie wegetacji oraz różnych warunków glebowych prowadzenia uprawy.

Obliczenia statystyczne przeprowadzono w oparciu o analizę wariancji dwuczynnikowego doświadczenia polowego w układzie zależnym z wykorzystaniem testu Tukey'a. Do obliczeń wykorzystano pakiet ANALWAR-5.1.FR, autorstwa prof. dr hab. Franciszka Rudnickiego. Pakiet ten służy do wykonywania analiz wariancji danych źródłowych z doświadczeń rolniczych, zawiera programy obliczeniowe danych ortogonalnych z doświadczeń pojedynczych oraz wielokrotnych. Analizę wariancji danych doświadczenia wielokrotnego (syntezę) dokonano w modelu łączonych nieściśłości. Według Autora pakietu, ten model syntezy jest właściwy dla większości doświadczeń rolniczych, zwłaszcza doświadczeń wielokrotnych składających się tylko z 2-3 doświadczeń pojedynczych (rocznych).

2.6. METODYKA ANALIZY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Warunki klimatyczne w rejonie doświadczenia scharakteryzowano na podstawie danych meteorologicznych dotyczących opadów oraz temperatury w latach 2015-2017. Dane pochodziły z punktu pomiarowego znajdującego się w Mochełku na terenie Stacji Badawczej i istniejącego od 1949 roku. Od roku 1996 opiekę nad punktem pomiarowym sprawują pracownicy Katedry Przyrodniczych Podstaw Rolnictwa i Ogrodnictwa Politechniki Bydgoskiej.

Panujące w latach trwania eksperymentu warunki termiczne scharakteryzowano wykorzystując metodę Lorenc. Metoda ta jest oparta o kryterium standaryzowanego odchylenia od średniej (11 klas).

Innym wykorzystanym w niniejszej pracy wskaźnikiem agroklimatycznym jest suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru jęczmienia. Charakteryzująca zasoby termiczne. Stopniodni wzrostu (GDD) zostały obliczone według poniższego wzoru.

$$GDD = \left[\frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} \right] - T_{\text{base}}$$

gdzie:

GDD – sumy temperatur efektywnych [°C],

T_{\max} – maksymalna dobowa temperatura powietrza [°C],

T_{\min} – minimalna dobowa temperatura powietrza [°C],

T_{base} – wartość progowa temperatury powietrza [°C].

Ocena efektywności nawadniania wymagała przeprowadzania analizy warunków wodnych w okresie i miejscu eksperymentu polowego. Pierwszym z parametrów była ilość opadu w okresie doświadczenia wykonana z wykorzystaniem wskaźnika RPI w oparciu klasyfikację Kaczorowskiej.

Niedobory opadów oszacowano z wykorzystaniem metody Klatta. Opady optymalne Klatta określone zostały dla szeregu roślin, są uzależnione od średnich temperatur powietrza. Ponadto zostały

zróżnicowane ze względu na rodzaj gleby. Punktem wyjściowym są gleby średnie, dla gleb ciężkich stosuje się przelicznik 0,85, dla lekkich 1,15 lub 1,25. Mnożniki mają wyrównywać różnice wynikające z odmiennych właściwości fizyko-chemicznych gleby i związanej z nimi możliwością retencji wody w okresie zimowym oraz wody opadowej. W badaniach własnych przyjęto mnożnik 1,15, właściwy dla gleby lekkiej.

Przeprowadzono bilans wody łatwo dostępnej dla roślin w latach trwania eksperymentu polowego. sporządzony na podstawie metody Drupki. Metoda ta uwzględnia jako przychody wody opady atmosferyczne i dawki nawodnieniowe, a jako rozchody – dobowe wartości zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu (e_h), zależne od średniej dobowej temperatury powietrza.

Ponadto wykonano analizę warunków wodnych pod kątem ciągów dni bezopadowych, czyli kolejnych dni bez opadu atmosferycznego. Są one szczególnie niekorzystne jeśli występują w okresach krytycznych pod względem zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę. W przypadku jęczmienia jarego za okres wzmożonego zapotrzebowania na wodę uznaje się czas od początku 2 dekady maja do końca 2 dekady lipca.

2.7. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA NAWADNIANIA JĘCZMIENIA BROWARNEGO

Jednym z elementów całościowego opracowania była analiza efektywności ekonomicznej nawadniania jęczmienia jarego. Uzyskane w polowym doświadczeniu wyniki produkcyjne, wykorzystano do oszacowania efektywności ekonomicznej. Analizie poddano najkorzystniejszy z punktu widzenia produkcyjnego wariant doświadczenia, z nawożeniem azotowym wysokości 30 kg·ha⁻¹, pozwalający uzyskać możliwie największy plon ziarna, przy jednoczesnym zachowaniu pożądanym w przemyśle browarniczym parametrów ziarna.

2.7.1. Nadwyżka bezpośrednia

Jako podstawowy wskaźnik efektywności ekonomicznej nawadniania przyjęto przyrost nadwyżki bezpośredniej wyliczony zgodnie ze wzorem Grabarczyka.

$$\Delta D = \Delta P - (K_d + \Delta K_r)$$

gdzie:

- przyrost nadwyżki bezpośredniej (zł·ha⁻¹),
- wartość produkcji dodatkowej uzyskanej dzięki zastosowaniu nawadniania (zł·ha⁻¹),
- koszty nawadniania (zł·ha⁻¹),
- dodatkowe koszty bezpośrednie, związane z uzyskaniem dodatkowej produkcji (zł·ha⁻¹).

W kalkulacjach efektywności ekonomicznej przyjęto pięć wariantów nawadnianych powierzchni: 1, 5, 10, 25, 50 ha, oraz deszczowniany system nawadniający. Informacje niezbędne do oszacowania kosztów instalacji i eksploatacji deszczowni opracowano na podstawie publikacji Kledzik i in. 2017 z uwzględnieniem wzrostu kosztów inwestycji spowodowanego wzrostem poziomu cen na poziomie 15% dla wariantu II i 30% dla wariantu III. Na potrzeby kalkulacji założono 15 letni okres użytkowania instalacji nawadniającej (amortyzacja 6,67%), koszty materiałów i napraw na poziomie 2% całkowitych kosztów inwestycji oraz oprocentowanie kapitału na poziomie 5%. Ponadto założono zastosowanie pompowni o napędzie elektrycznym. Ostatnim uwzględnionym czynnikiem był wzrost kosztów bezpośrednich spowodowanych przyrostem plonu, który ustalono na poziomie 30% wartości dodatkowo uzyskanej produkcji. W kalkulacji pominięto koszty robocizny oraz opłaty za wykorzystywaną do nawodnień wodę. W przeprowadzonych kalkulacjach wykorzystano realne ceny skupu jęczmienia browarnego pochodzące ze strony internetowej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

W obliczeniach efektywności ekonomicznej przyjęto i porównano trzy warianty cen ziarna jęczmienia browarnego, pierwszy wariant, ceny z okresu trwania doświadczenia lata 2015-2017, drugi lata 2019-2022, oraz najbardziej aktualne z 2022 roku.

Na podstawie powyższych cen wyliczono średnie ceny dla trzech wariantów kalkulacji:

- wariant I (2015-2017) 684 zł·t⁻¹,
- wariant II (2019-2022) 994 zł·t⁻¹,
- wariant III (2022) 1358 zł·t⁻¹.

3.7.2. Okres zwrotu inwestycji

Dodatkowym wskaźnikiem efektywności ekonomicznej, który zastosowano w niniejszej pracy był czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych. Obliczono go dla powyższych wariantów kalkulacji, z wyłączeniem najmniejszej powierzchni 1ha, która w każdym z analizowanych wariantów wykazuje ujemny wynik. W obliczeniach wykorzystano wzór:

$$PP=Wi/Pn$$

gdzie:

PP- Okres zwrotu inwestycji [lata],

Wi- Wartość inwestycji [zł]

Pn- Roczne przepływy pieniężne netto z inwestycji [zł]

3. WARUNKI DOŚWIADCZENIA

3.1. WARUNKI GLEBOWE

Doświadczenie polowe zlokalizowane było w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Politechniki Bydgoskiej w Mochelku. Na danym terenie dominują gleby płowe typowe. Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów w sprawie gleboznawczej klasyfikacji gruntów te zaliczono do IV klasy bonitacyjnej i do żyznego dobrego kompleksu przydatności rolniczej.

3.2. WARUNKI METEOROLOGICZNE W LATACH 2015–2017

Warunki termiczne w latach 2015-2017

Średnia temperatura powietrza okresu wegetacyjnego (IV-IX) w Mochelku wyznaczona na podstawie normy klimatycznej 1991–2020 wynosi 14,8°C. W 2015 roku temperatura ta była równa średniej wieloletniej, w związku z czym według klasyfikacji metodą Lorenc pod względem termicznym okres ten zaklasyfikowano jako normalny. Do tej samej kategorii zaliczono okres wegetacyjny w 2016 roku, z temperaturą średnią na poziomie 14,9°C t. Natomiast warunki termiczne panujące w Mochelku w okresie wegetacyjnym w roku 2017 określono w odniesieniu do całego okresu jako lekko chłodne.

Analizę przebiegu warunków termicznych powietrza, przeprowadzono także w okresach miesięcznych i dekadowych. Biorąc pod uwagę okres wzrostu i rozwoju (kwiecień – lipiec) jęczmienia jarego w 2015 roku można stwierdzić, średnie miesięczne temperatury były niższe od wartości normalnych, a według metody Lorenc poszczególne miesiące zostały zaklasyfikowane jako lekko chłodne (kwiecień i czerwiec) lub normalne (maj i lipiec). Spośród dekad najzimniejsza (4,3°C) była I dekada kwietnia, wysoką temperaturę powietrza zanotowano tylko w pierwszej dekadzie lipca 20,5°C.

Warunki termiczne w okresie wegetacyjnym 2016 roku w rejonie Bydgoszczy były zbliżone do średnich wieloletnich, a cały okres wegetacyjny został sklasyfikowany jako normalny. W okresie wegetacji jęczmienia jarego wystąpiły dwa miesiące lekko ciepłe (maj i czerwiec) oraz dwa normalne pod względem termicznym (kwiecień i lipiec). Po dwóch cieplejszych, chłodna była trzecia dekada kwietnia. Znacznie wyższą temperaturą, w porównaniu z warunkami przeciętnymi, cechowała się przede wszystkim trzecia dekada maja (18,5°C) oraz trzecia dekada czerwca (19,8°C).

Średnia temperatura w okresie od kwietnia do września 2017 roku była niższa 0,6 °C od średniej wieloletniej, okres ten został zaklasyfikowany jako lekko chłodny. Miesiącem w którym średnia temperatura najbardziej odbiegała od średniej wieloletniej był kwiecień, miesiąc wschodów i początkowego wzrostu jęczmienia, w którym średnia miesięczna temperatura była niższa o 1,5°C od normy klimatycznej. Miesiąc został zaklasyfikowany jako chłodny, po ciepłej pierwszej dekadzie, wystąpiły dwie chłodne. Niższą temperaturą od średniej cechował się także lekko chłodny lipiec, natomiast warunki termiczne w maju i czerwcu określono jako normalne. Analiza temperatury w dekadach wskazuje jednak na duże wahania warunków termicznych w trzecim roku doświadczenia. Np. w maju bardzo chłodna była pierwsza dekada, po której wystąpiły dwie cieplejsze. Chłodno było także w pierwszej dekadzie lipca (16,5°C).

Warunki opadowe w latach 2015-2017

W latach 1991–2020 sumaryczna wielkość opadów w okresie wegetacyjnym wynosiła średnio 324,5 mm. Opady atmosferyczne w analogicznym okresie 2015 roku, wynosiły 193,3 mm co stanowi 59,6% normy. Według klasyfikacji RPI był to bardzo suchy okres wegetacyjny. Biorąc pod uwagę miesiące od kwietnia do lipca, istotne w uprawie jęczmienia, sumy opadów nich były niskie, stanowiąc od 39,2% w maju do 65,1% normy w lipcu. Według wskaźnika RPI miesiące te zostały zaklasyfikowane jako suche (kwiecień, czerwiec, lipiec), natomiast maj jako bardzo suchy. Najniższe opady wystąpiły w III dekadzie maja i było to zaledwie 0,5 mm, bardzo niskimi opadami cechowała się także druga dekada kwietnia i pierwsza dekada czerwca. Rzeczywiste opady dekadowe w większości przypadków nie pokrywały potrzeb wodnych jęczmienia. W związku z tym potrzeby nawadniania roślin w pierwszym roku doświadczenia można określić jako duże.

Opady atmosferyczne w sezonie wegetacyjnym 2016 roku wynosiły 386,7 mm i były większe od średniej wieloletniej. Według klasyfikacji RPI Kaczorowskiej był to okres wegetacji wilgotny z sumą opadów na poziomie 119,2% normy. W czasie wzrostu i rozwoju jęczmienia dwa pierwsze miesiące cechowała ilość opadów zbliżona do normy, natomiast czerwiec i lipiec były bardzo wilgotne. Analizując dekadowe sumy opadów można zauważyć, iż rozkład ich był dość równomierny poza czerwcem, w którym w I dekadzie spadło tylko 3,1 mm deszczu, natomiast w drugiej dekadzie aż 71,3 mm. Reasumując można stwierdzić, że pod względem ilości i rozkładu opadów okres wegetacyjny 2016 roku stwarzał dobre warunki do wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego, a potrzeby nawadniania można określić jako niewielkie.

Według czynnika RPI okres wegetacyjny w 2017 roku był bardzo wilgotny, suma opadów wyniosła 474,8 mm i stanowiła 146,3% normy wieloletniej. Spośród miesięcy wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego kwiecień i lipiec były bardzo wilgotne, natomiast maj i czerwiec cechowały się sumą opadów zbliżoną do normy. Spośród dekad, zmniejszone opady zanotowano przede wszystkim w II dekadzie maja, a w dalszej kolejności w III dekadzie maja i II dekadzie czerwca. Reasumując, okres wegetacyjny 2017 roku oznaczał się wysokimi sumami opadów, średnie opady we wszystkich miesiącach były wyższe od średniej wieloletniej lub do niej zbliżone (maj), zatem potrzeby nawadniania roślin można określić jako małe.

Ciągi dni bezopadowych w latach 2015-2017

W ocenie potrzeb nawadniania, obok sumy opadów atmosferycznych, duże znaczenie ma także ich rozkład. Jedną z miar tego rozkładu stanowią ciągi dni bezopadowych. Analiza występowania ciągów dni bez opadów w okresie wegetacji jęczmienia jarego (IV-VII) pokazała, iż najdłuższe i w związku z tym najbardziej niekorzystne dla roślin serie dni bezopadowych występowały w pierwszym roku trwania eksperymentu polowego. Biorąc pod uwagę niskie sumy opadów i występowanie długich ciągów dni bezopadowych, można jednoznacznie stwierdzić, że warunki opadowe panujące w 2015 roku nie były korzystne dla uprawy jęczmienia jarego. W okresie wegetacji jęczmienia w 2016 roku stwierdzono również wystąpienie dłuższych ciągów dni bezopadowych. W okresie od początku kwietnia do końca lipca 2017 roku, wystąpił tylko jeden dłuższy ciąg dni bezopadowych

3.3. FENOFAZY JĘCZMIENIA BROWARNEGO NA TLE SUM TEMPERATUR EFEKTYWNYCH

Każda roślina wymaga dostarczenia specyficznej ilości ciepła potrzebnej do przejścia z jednej fazy rozwojowej do kolejnej w ciągu cyklu życiowego. Pomocnym narzędziem do przewidywania wzrostu i rozwoju roślin są stopniodni, czyli suma dodatnich średnich dobowych temperatur powietrza z danego okresu, wyliczona według wzoru:

$$\sum(T_{\text{śr}} > 0^{\circ}\text{C})$$

Na podstawie danych literaturowych oszacowano liczby stopniodni potrzebne do osiągnięcia kolejnych faz rozwojowych przez rośliny jęczmienia jarego oraz sumę temperatur efektywnych, potrzebną do przejścia całego cyklu wzrostu i rozwoju. Według cytowanych autorów, jęczmień jary od momentu siewu do uzyskania dojrzałości fizjologicznej potrzebuje 1455 stopniodni. Przeprowadzona analiza pokazuje, że ze względu na czynnik termiczny, wzrost i rozwój roślin może następować w

różnym tempie. Temperatura jest czynnikiem decydującym o terminie siewu, wpływa również na dalszy wzrost i rozwój roślin.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. POTRZEBY NAWADNIANIA ORAZ STEROWANIE ZABIEGIEM DESZCZOWANIA W UPRAWIE JĘCZMIENIA JAREGO W LATACH 2015-2017.

Bilans wody łatwo dostępnej w uprawie jęczmienia browarnego

Wprowadzenie do technologii uprawy zabiegu nawadniania w okresie wegetacyjnym 2015 pozwoliło utrzymać zapas wody w warstwie korzeniowej gleby w ciągu całego okresu wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia, od drugiej dekady maja do końca drugiej dekady lipca. Na obiektach nienawadnianych zapas wody wyczerpał się już trzeciej dekadzie maja, i z wyłączeniem krótkich okresów, trwał do końca analizowanego okresu. Wystąpiły dwa dłuższe okresy braku wody łatwo dostępnej od 26 maja do 12 czerwca i od 26 czerwca do 8 lipca. Opady atmosferyczne występujące w obejmującym 7 dekad okresie wzmożonych potrzeb wodnych 2015 roku były za niskie, w związku z tym wegetacja roślin nienawadnianych długimi okresami przebiegała w warunkach braku wody łatwo dostępnej dla roślin w korzeniowej warstwie gleby.

W sezonie wegetacji 2016 roku, w czasie największego zapotrzebowania na wodę jęczmienia, nie występowały dłuższe okresy, kiedy zapas wody łatwo dostępnej dla roślin był wyczerpany. Najdłuższe okresy wyczerpania zapasu wody łatwo dostępnej na stanowiskach nienawadnianych trwały od 24 do 27 maja oraz od 5 do 12 czerwca. W okresach tych zastosowano nawadnianie, które zapobiegło wyczerpaniu się zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w korzeniowej warstwie gleby.

W okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2017 roku wystąpiły kilka krótkich okresów deficytowych w wodę łatwo dostępną dla roślin. Najdłuższe z nich miały miejsce od 2 do 6 czerwca oraz od 18 do 22 czerwca. Zastosowane w tym czasie nawadnianie pozwoliło utrzymać stały dostęp do wody łatwo dostępnej dla roślin jęczmienia.

Niedobory opadów według Klatta

W warunkach naturalnych potrzeby wodne roślin pokrywane są przez opady oraz zapasy wody łatwo dostępnej zmagazynowane w glebie. W warunkach Polski najważniejszą pozycję stanowią opady, których ilość i rozkład decydują w znacznym stopniu o wegetacji roślin. Ilość opadów najkorzystniejsza w danych warunkach glebowych i klimatycznych określana jest mianem opadów optymalnych. W Polsce opady optymalne zostały określone przez Woltmana, Freckmana, Hohendorfa oraz Klatta. Opady optymalne Klatta określone zostały dla szeregu roślin, są uzależnione od średnich temperatur powietrza. Ponadto zostały zróżnicowane ze względu na rodzaj gleby. Opady optymalne dla jęczmienia browarnego zależały od czynnika termicznego, zatem najwyższe wystąpiły w najcieplejszym spośród lat badań roku 2016. Zróżnicowanie opadów optymalnych w poszczególnych latach było widoczne zwłaszcza w maju i czerwcu, a w mniejszym zakresie w kwietniu.

Porównanie opadów optymalnych z rzeczywistymi pozwoliło ustalić, czy w danym okresie wystąpił niedobór lub nadmiar opadów atmosferycznych. Ze względu na niskie opady rzeczywiste w okresie wegetacji jęczmienia jarego w 2015 roku, w każdym z miesięcy wystąpiły niedobory opadów. Największy deficyt sięgający 50,8 mm wystąpił w czerwcu, a najmniejszy 4,2 mm w lipcu. W ciągu całego okresu wegetacji jęczmienia jarego łączny deficyt wyniósł 133 mm. W sezonie wegetacyjnym 2016 roku, w kwietniu i maju wystąpił niedobór opadów w wysokości odpowiednio 25,5 mm i 27,4 mm, w czerwcu opady rzeczywiste były zbliżone do optymalnych. Wysokie opady w lipcu przewyższały opady optymalne aż o 80,3 mm. Suma opadów rzeczywistych w okresie wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego była wyższa o 30,2 mm od opadów optymalnych. Od początku wzrostu jęczmienia w 2017 roku występowały niedobory opadów. W kwietniu były one niewielkie (4,8 mm), w maju wyniosły 15 mm, a w czerwcu 35,8 mm. W lipcu opady rzeczywiste były o 68,9 mm wyższe od optymalnych. Spowodowało to, że w ujęciu sumarycznym całego sezonu wegetacji 2017 r. zanotowano niewielki nadmiar opadów rzeczywistych, w stosunku do potrzeb opadowych (13,3 mm).

4.2. PLON ZIARNA JĘCZMIENIA BROWARNEGO

Średnia wielkość plonu ziarna jęczmienia browarnego odmiany Signora uzyskana w badaniach wynosiła $56,50 \text{ dt ha}^{-1}$. Plon ten był istotnie zróżnicowany pod wpływem czynników doświadczenia oraz ich interakcji. W większym stopniu na zróżnicowanie plonu ziarna wpłynęło deszczowanie, a w mniejszym stopniu poziom nawożenia azotem.

Pod wpływem zastosowania deszczowania plon ziarna wzrósł średnio z $42,88$ do $70,12 \text{ dt ha}^{-1}$. Bezwzględna przyrost plonu wynosiła $27,24 \text{ dt ha}^{-1}$, względna $63,5\%$, a jednostkowa $31,8 \text{ kg ha}^{-1}$ w przeliczeniu na 1 mm wody użytej do nawadniania. Pod wpływem nawożenia azotem plon wzrósł średnio z $53,84 \text{ dt ha}^{-1}$ do $56,46-58,12 \text{ dt ha}^{-1}$ w zależności od zastosowanej dawki azotu. Najkorzystniejszym poziomem nawożenia azotem, niezależnie od wariantu wodnego, okazał się poziom $N_1 - 30 \text{ kg N ha}^{-1}$. Na kształtowanie wielkości plonu ziarna istotny wpływ miało także współdziałanie wody i azotu. Na stanowiskach nienawadnianych jęczmień browarny reagował na nawożenie azotem obniżką plonu, średnio w latach badań z $44,31$ do $41,38-43,58 \text{ dt ha}^{-1}$. W warunkach deszczowania nawożenie azotem prowadziło z kolei do wzrostu plonu ziarna z $63,38$ do $71,54-72,87 \text{ dt ha}^{-1}$, w zależności od dawki azotu. W rezultacie, średnia w latach badań efektywność produkcyjna deszczowania jęczmienia zależała istotnie od poziomu nawożenia azotem. Na stanowiskach nienawożonych tym składnikiem, bezwzględna przyrost plonu pod wpływem zastosowania deszczowania wynosiła średnio $19,07 \text{ dt ha}^{-1}$, względna $43,0\%$, a jednostkowa $22,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, a w warunkach nawożenia azotem, w zależności od poziomu, odpowiednio $29,09-30,63 \text{ dt ha}^{-1}$, $66,8-72,9\%$ oraz $34,0-35,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Średnia wielkość plonu ziarna, jak również działanie oraz współdziałanie deszczowania i nawożenia azotem w kształtowaniu plonu, zależało istotnie od roku badań. Największy średni plon ziarna $64,46 \text{ dt ha}^{-1}$ uzyskano w roku wilgotnym 2016, znacznie niższy w bardzo suchym sezonie 2015 roku, a jeszcze niższy $51,93 \text{ dt ha}^{-1}$ w bardzo wilgotnym okresie wegetacji 2017 roku z powodu niższych plonów, uzyskanych na stanowiskach nawadnianych. Przyczyną było wyleganie roślin zaobserwowane w 2017 roku głównie w warunkach nawadniania i nawożenia azotem dawkami 60 i 90 kg ha^{-1} . Wpływ deszczowania na plon ziarna był istotny w każdym roku badań. Bezwzględne i względne przyrosty plonów ziarna pod wpływem deszczowania były najwyższe w pierwszym, bardzo suchym okresie wegetacji, a najniższe w sezonie bardzo wilgotnym 2017 roku. Jednostkowa efektywność deszczowania okazała się najwyższa w wilgotnym roku 2016. Istotny wpływ nawożenia azotem na wielkość plonu ziarna, niezależnie od wariantu wodnego, stwierdzono w latach o zwiększonej ilości opadów. W roku 2016 nawożenie azotem prowadziło do wzrostu plonu – najwyższy plon uzyskano stosując dawkę 90 kg ha^{-1} . Podobnie było w bardzo wilgotnym sezonie 2017, jednak z powodu wylegania roślin nawadnianych obserwowanego głównie w warunkach wyższych poziomów nawożenia azotem, najkorzystniejszą dawką azotu było 30 kg ha^{-1} . Z tego samego powodu nieistotna była interakcja wody i azotu w kształtowaniu wielkości plonu ziarna w sezonie 2017 roku. W pozostałych dwóch latach obserwowano korzystne współdziałanie czynników w zwiększaniu tego plonu.

4.3. ZAWARTOŚĆ BIAŁKA W ZIARNIE JĘCZMIENIA

Zawartość białka w ziarnie stanowi ważny wyróżnik przydatności słodowniczej ziarna jęczmienia browarnego. Powinna być ona niska i według większości zaleceń nie przekraczać $11,5\%$. Ustalona na podstawie analizy składu ziarna, średnia zawartość białka w pierwszym roku eksperymentu wyniosła $12,73\%$ s.m. i była istotnie zróżnicowana w zależności od działania i współdziałania nawadniania oraz nawożenia azotem. Deszczowanie niezależnie od poziomu nawożenia azotem, wpłynęło w sposób korzystny na zawartość białka pod względem oceny przydatności browarniczej. Ziarno roślin nawadnianych cechowało się bowiem niższą o $1,6 \text{ p.p.}$ zawartością białka. Ziarno roślin nienawadnianych zawierało średnio $13,53\%$ s.m. białka, a zawartość tego składnika rosła wraz ze wzrostem wielkości nawożenia azotem, od $11,20\%$ dla próby kontrolnej do $14,70\%$ s.m. W warunkach nawadniania, wzrost zawartości białka w ziarnie jęczmienia w miarę zwiększania dawki nawożenia azotem był znacznie mniejszy niż na stanowiskach nienawadnianych. Średnia zawartość białka wynosiła $11,93\%$ s.m. i mieściła się w przedziale od $11,10\%$ do $12,60\%$ s.m. Niezależnie od zastosowanych wariantów wodnych, nawożenie azotem powodowało wzrost zawartości białka w ziarnie, przyczyniając się do pogorszenia jakości surowca pod kątem przydatności do produkcji słodu.

Średnia zawartość białka pod wpływem nawożenia azotem wzrosła z 11,15% (wariant bez nawożenia azotem) do 13,65% s.m. u roślin nawożonych azotem dawką 60 i 90 kg·ha⁻¹.

W przeprowadzonym doświadczeniu w sezonie wegetacyjnym w 2016 roku, średnia zawartość białka w zebranych materiale roślinnym była wyższa niż w pierwszym roku doświadczenia i wynosiła 13,36 % s.m. Wprowadzenie nawadniania do technologii uprawy jęczmienia browarnego wpłynęło w sposób istotny na zawartość białka (zawartość zmniejszona średnio o 2,72 p.p. w stosunku do poletek nienawadnianych). Uzyskane wyniki pozwalają zatem na stwierdzenie, że nawadnianie wpłynęło w sposób korzystny na jakość badanego ziarna pod względem przydatności dla przemysłu piwowarskiego. Zawartość białka w ziarnie roślin zebranych z obiektów nienawadnianych wynosiła średnio 14,72% s.m. i zawierała się w przedziale od 13,20% (N₀) do 15,60% s.m. (N₂). Na polatkach deszczowanych zawartość białka była mniej zróżnicowana pod wpływem poziomu nawożenia azotem i wynosiła od 11,20% do 12,90% s.m. Pod wpływem wzrastającego nawożenia azotem, niezależnie od deszczowania, zawartość białka w ziarnie systematycznie rosła od 12,20 do 14,20 % s.m.

Zawartość białka w ziarnie w bardzo wilgotnym roku 2017 była najmniejsza i wynosiła średnio 11,49% s.m. Istotny wpływ na zróżnicowanie tej zawartości wywarło nawożenie azotem. Pod wpływem tego czynnika zawartość białka w ziarnie wzrastała od 9,65 do 13,15 % s.m. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu deszczowania oraz interakcji czynników na kształtowanie się omawianej cechy ziarna.

4.4. MASA TYSIĄCA ZIAREN JĘCZMIENIA BROWARNEGO

Średnia masa tysiąca ziaren w pierwszym roku trwania eksperymentu polowego wynosiła 52,97 g. Cecha ta była istotnie zróżnicowana pod wpływem działania czynników doświadczenia. Rośliny deszczowane wykształciły ziarno o zwiększonej masie średnio o 9,06 g, z kolei nawożenie roślin azotem dawkami 60 i 90 kg·ha⁻¹ przyczyniało się do zmniejszonej dorodności ziarna. W drugim roku badań działanie i współdziałanie deszczowania i nawożenia azotem nie spowodowało istotnego zróżnicowania masy tysiąca ziaren, która wynosiła średnio 52,22 g. Zaznaczyła się tendencja zwiększonej dorodności ziarna roślin nawadnianych, w porównaniu z nienawadnianymi. Przeciętna masa tysiąca ziaren w ostatnim roku doświadczenia (2017) wyniosła 48,92 g i była najmniejsza w całym trzyletnim okresie. W trzecim roku eksperymentu stwierdzono zmniejszoną masę tysiąca ziaren pod wpływem nawożenia azotem, zwłaszcza u roślin nawadnianych. Było to spowodowane wyleganiem roślin nawadnianych i nawożonych wyższymi dawkami azotu (poziomy N₂ i N₃). Wyleganie przyczyniło się spadku dorodności ziarna.

Nawożenie azotem oraz zaopatrzenie roślin w wodę wpływało na zróżnicowanie masy tysiąca ziaren (MTZ). W bardzo suchym okresie wegetacyjnym 2015 roku wprowadzenie do technologii uprawy zabiegu deszczowania, przyczyniło się w największym i istotnym stopniu do poprawy dorodności ziarna, ziarno z poletek nawadnianych cechowało się największą masą tysiąca ziaren w całym analizowanym okresie. W drugim roku eksperymentu nawadnianie spowodowało nieznaczny i nieistotny wzrost dorodności ziarna. Z kolei w sezonie wegetacji 2017 roku dodatkowe zaopatrzenie roślin w wodę wpłynęło na spadek masy tysiąca ziaren z powodu wylegania roślin. Według syntezy wyników, istotny wpływ na masę tysiąca ziaren wywarło tylko nawożenie azotem, które przyczyniło się do jej zmniejszenia z 52,60 g (poziom N₀) do 49,62 (poziom N₃). Zmniejszenie to zachodziło zarówno na stanowiskach nienawadnianych, jak i w warunkach nawadniania.

4.5. WYRÓWNANIE ZIARNA JĘCZMIENIA JAREGO

Wyrównanie ziarna jest jednym z ważnych wskaźników jakości ziarna jęczmienia przeznaczonego dla przemysłu browarniczego. Wyrównanie ziarna wpływa na równomierne wchłanianie wody w procesie słodowania, w rezultacie ułatwia otrzymanie wysokiej jakości słodu. Podczas analizy laboratoryjnej oznaczono wyrównanie ziarna na trzech rodzajach sit.

4.5.1. Wyrównanie ziarna jęczmienia na sicie 2,8x25 mm

Zróżnicowanie wyrównania ziarna na sicie 2,8x25 mm pod wpływem działania i współdziałania czynników doświadczenia okazało się bardzo podobne do zróżnicowania stwierdzonego w odniesieniu

do masy tysiąca ziaren Według analizy wariancji danych z doświadczenia wielokrotnego powielonego w trzech okresach wegetacji, istotny wpływ na kształtowanie się celności ziarna wywarło tylko nawożenie azotem. Pod wpływem tego czynnika udział frakcji najbardziej dorodnego ziarna zmniejszył się średnio z 81,86 (poziom N_0) do 70,04 % jego łącznej masy (poziom N_3). Ten udział, malejący wraz ze wzrostem dawki azotu, obserwowano zarówno w warunkach bez nawadniania, jak i na stanowiskach nawadnianych. Deszczowanie przyczyniło się z kolei do zwiększonego udziału ziarna omawianej frakcji w plonie (średnio o 5,01 p.p.), jednak ze względu na różny wpływ czynnika w poszczególnych latach badań na omawianą cechę, jego działanie nie było istotne w odniesieniu do wyników średnich z lat 2015-2017. Bardzo korzystny wpływ deszczowania na wyrównanie ziarna na sicie 2,8x25mm wystąpił w bardzo suchym sezonie wegetacji 2015, w którym spowodowało ono średni wzrost celności ziarna aż o 24,30 p.p., a na poziomie nawożenia 60 i 90 kg·ha⁻¹ odpowiednio o 29,73 i 36,87 p.p. W wilgotnym sezonie 2016 deszczowanie nie spowodowało istotnego zróżnicowania omawianej cechy, natomiast w bardzo wilgotnym 2017 roku przyczyniło się do zmniejszenia celności z powodu wylegania roślin nawadnianych i nawożonych azotem, zwłaszcza dawkami 60 i 90 kg·ha⁻¹.

4.5.2. Wyrównanie ziarna jęczmienia na sicie 2,5x25 mm

Drugim parametrem określającym celność ziarna jest wyrównanie oceniane na sicie o średnicy otworów 2,5x25 mm. Udział tej frakcji ziarna był generalnie wysoki, zbliżony w latach badań i wynosił średnio 96,03 %. Tylko w nielicznych przypadkach był on mniejszy od 95%. Niższą od podanej wartości celnością cechowało się ziarno roślin nienawadnianych i nawożonych wyższymi dawkami nawożenia azotu w bardzo suchym sezonie 2015 roku oraz ziarno nawadnianego i nawożonego jęczmienia (poziomy nawożenia azotem N_2 i N_3) w bardzo wilgotnym sezonie 2017 roku. Zróżnicowanie omawianej cechy pod wpływem działania i współdziałania czynników było bardzo podobne, jak w przypadku masy tysiąca ziaren i wyrównania ziarna na sicie 2,8x25 mm. Do istotnego zmniejszenia celności przyczyniło się nawożenie azotem. Pod wpływem zastosowania nawożenia udział frakcji malał z 97,46% (poziom N_0) do 94,46 (poziom N_3). Istotny, korzystny (wzrost celności) wpływ deszczowania oraz interakcji czynników w kształtowaniu omawianej cechy wystąpił w bardzo suchym okresie wegetacji 2015 roku, a niekorzystny (spadek celności) w bardzo wilgotnym sezonie 2017 roku

4.6. EKSTRAKTYWNOŚĆ ZIARNA WEDŁUG WZORU BISHOPA

Średnia ekstraktywność ziarna jęczmienia browarnego wynosiła 79,63%. Zróżnicowanie omawianej cechy pod wpływem czynników doświadczenia pozwala na stwierdzenie, iż deszczowanie przyczyniło się do wzrostu ekstraktywności średnio w latach badan z 78,98 do 80,27%, natomiast zastosowanie i zwiększanie nawożenia azotem powodowało zmniejszenie ekstraktywności z 80,88 (poziom N_0) do 78,62 (poziom N_3).

Nawadnianie oraz nawożenie azotem poprzez wpływ na zawartość białka w ziarnie oraz masę tysiąca nasion oddziałuje na ekstraktywność teoretyczną ziarna wyliczoną zgodnie ze wzorem Bishopa. Jak można zauważyć, w pierwszym i drugim roku doświadczenia, nawadnianie spowodowało wzrost ekstraktywności ziarna. Zastosowanie i zwiększanie nawożenia azotem powodowało z kolei zmniejszenie ekstraktywności teoretycznej. W ostatnim sezonie prowadzenia eksperymentu polowego ekstraktywność ziarna uzyskanego z obiektów nienawadnianych i nawadnianych była podobna, natomiast pod wpływem nawożenia azotem zmniejszała się. Spadek ten dotyczył zarówno ziarna roślin nienawadnianych, jak i nawadnianych.

4.7. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA NAWADNIANIA JAREGO JĘCZMIENIA BROWARNEGO

W podrozdziale zostanie przedstawiona kolejno ocena kosztów wprowadzenia deszczowania do technologii produkcji jęczmienia browarnego, wyznaczenie uzyskanych w doświadczeniu polowym efektów produkcyjnych deszczowania, stanowiących podstawę oszacowania wartości dodatkowo uzyskanej dzięki nawadnianiu produkcji oraz analiza wskaźników efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia – nadwyżki bezpośredniej oraz okresu zwrotu inwestycji.

Koszty nawadniania deszczownianego

Jak wynika z przyjętych i określonych w metodyce pracy założeń, analizę efektywności ekonomicznej przeprowadzono w trzech wariantach, obejmujących różne ceny. W pierwszym z nich przyjęto koszty nawadniania na poziomie cen z okresu trwania eksperymentu polowego, czyli lat 2015-2017. Całkowity koszt inwestycji rósł wraz ze wzrostem założonej w analizie powierzchni z 21000zł dla 1ha do poziomu 271000zł dla 50ha. Odwrotna zależność występowała w przypadku kosztów jednostkowych, przeliczonych na 1 ha, które malały z poziomu 21000zł do 4800zł dla powierzchni 30 ha. Nawadnianie powierzchni 50 ha wymagało zastosowania dwóch deszczowni szpulowych co spowodowało skokowy wzrost kosztów inwestycji i zakłóciło zależność spadku kosztów jednostkowych w stosunku do wzrostu nawadnianej powierzchni.

W drugim wariantcie kalkulacji przeprowadzonej na podstawie średnich cen z lat 2019-2022, całkowity koszt inwestycji był większy i wynosił od 24150 zł do 1ha do 311650 zł dla 50 ha. Wpłynęło to na wzrost kosztów rocznych, tym bardziej, że wyższe były także koszty energii. Całkowity roczny koszt nawadniania był największy w przypadku założonego wariantu stosowania zabiegu na powierzchni 1 ha (3647,93 zł), w pozostałych przypadkach wahał się od 1104,93 (30 ha) do 1387,49 zł \cdot ha⁻¹ (5 ha).

Ostatni z wariantów zakłada przyjęcie wysokiego poziomu cen z 2022 roku. Podobnie jak w powyższych wariantach koszt całkowity inwestycji wzrastał wraz ze wzrostem powierzchni z poziomu 27300 zł do 352300 zł dla powierzchni 50 ha, najmniejszy koszt jednostkowy wynoszący 6249 zł oszacowano dla nawadnianej powierzchni 30 ha. Można stwierdzić, że koszty nawadniania malały wraz ze wzrostem założonej powierzchni. Szczególnie widoczny jest skokowy spadek rocznych kosztów nawadniania powierzchni 5 ha w stosunku do arealu 1 ha. Najmniejsze roczne koszty deszczowania wystąpiły przy założeniu stosowania zabiegu na powierzchni 30 ha.

Efekty produkcyjne deszczowania

Średnia wielkość plonu w warunkach naturalnych bez nawadniania wynosiła 43,58 dt \cdot ha⁻¹, po zastosowaniu nawadniania wzrosła do 72,67 dt \cdot ha⁻¹. Zabieg nawadniania przyczynił się do wzrostu wielkości plonu o 29,09 dt \cdot ha⁻¹ (66,8%). Zastosowanie 1 mm wody nawodnieniowej skutkowało jednostkowym wzrostem wielkości plonu o 34,0 kg \cdot ha⁻¹.

Kalkulacja nadwyżki bezpośredniej uzyskanej dzięki zastosowaniu nawadniania

W pierwszym analizowanym wariantcie cen (lata 2015-2017) wprowadzenie do technologii uprawy jęczmienia jarego uprawianego dla przemysłu browarniczego, nie było ekonomicznie uzasadnione przy nawadnianiu plantacji na powierzchni 1ha. Przyrost plonu na poziomie 29,09 dt \cdot ha⁻¹ przełożył się na uzyskanie dodatkowej wartości produkcji na poziomie 1989,67 zł \cdot ha⁻¹, która była mniejsza o 1779,28 zł od kosztów poniesionych na nawadnianie i przyrostu kosztów rolniczych. W pozostałych analizowanych wariantach wielkości deszczowanych upraw jęczmienia browarnego, wartość produkcji uzyskana ze sprzedaży zwyżki plonu, przekraczała poniesione koszty, przyczyniając się do uzyskania dodatniej nadwyżki bezpośredniej, która wynosiła od 186,32 (w przypadku zakładanej powierzchni nawadnianej 5 ha) do 432,02 zł \cdot ha⁻¹ dla powierzchni 30ha.

W wariantcie II w kalkulacjach przyjęto ceny kosztów oraz sprzedaży na średnim poziomie cen dla lat 2019-2022. Uzyskany dzięki wprowadzeniu nawadniania przyrost plonu ziarna 29,09 t \cdot ha⁻¹ pozwolił uzyskać wartość dodatkową produkcji na poziomie 2892,54 zł \cdot ha⁻¹, a przyrost kosztów rolniczych oszacowano na 867,46 zł \cdot ha⁻¹. Ostateczne wyniki kalkulacji różnicowej wykazały brak ekonomicznej efektywności wprowadzania nawadniania na najmniejszej plantacji 1ha. W pozostałych analizowanych obszarach, uzyskano nadwyżkę bezpośrednio od 636,60 zł \cdot ha⁻¹ (5 ha) do 919,16 zł \cdot ha⁻¹ (30 ha).

Ostatni rozważany wariant III, zakłada przyjęcie w kalkulacji najbardziej aktualnych cen z 2022 roku. Zastosowanie deszczowania spowodowało uzyskanie dodatkowej wartości produkcji na poziomie 3950,42 zł \cdot ha⁻¹, oraz przyrost kosztów rolniczych o 1185,13 zł \cdot ha⁻¹. Podobnie jak we wcześniejszych wariantach kalkulacyjnych, nierentowne okazało się nawadnianie jęczmienia browarnego na powierzchni 1ha, które generowało ujemną nadwyżkę bezpośrednią -1358,45 zł \cdot ha⁻¹. W przypadku

pozostałych zakładanych powierzchni, deszczowanie pozwoliło uzyskać nadwyżkę bezpośrednią w wartości powyżej $1000 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$, od $1196,83 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla 5ha do $1516,24 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla 30ha.

Kalkulacja pozwoliła ocenić efektywność ekonomiczną wprowadzenia nawadniania do technologii uprawy jęczmienia browarnego w zależności od nawadnianej powierzchni oraz przyjętego poziomu cen. Niezależnie od przyjętego poziomu cen, nawadnianie plantacji 1ha było nieopłacalne. Efektywność ekonomiczna nawadniania rosła wraz ze wzrostem nawadnianej powierzchni w przedziale od 5ha do 30ha, a następnie nieznacznie spadała w przypadku powierzchni 50ha. Opłacalność nawadniania zmieniała się także wraz ze zmianą poziomu cen. Mimo wzrostu kosztów nawadniania, jednoznacznie najkorzystniejszy był najwyższy poziom cen zbóż przyjęty w wariantcie III, obejmującym 2022 rok.

Okres zwrotu inwestycji

Nakłady poniesione na inwestycję nawodnieniową oraz uzyskiwana nadwyżka bezpośrednia, wpływają na czas zwrotu inwestycji. Zależy on zatem od poziomu cen środków produkcji i energii, ale także poziomu cen uzyskanego ziarna.

Ujemny wynik ekonomiczny nawadniania powierzchni 1ha wyklucza możliwość zwrotu inwestycji. Najdłuższy czas zwrotu inwestycji wystąpił w przypadku poziomu cen z lat 2015-2017 i nawadnianej powierzchni wielkości 5 ha i wynosił ponad 35 lat. Długość czasu zwrotu inwestycji malała wraz ze wzrostem nawadnianej powierzchni w każdym wariantcie cenowym. Najszybciej, bo już po przeszło 4 latach, zwróciłaby się inwestycja poniesiona na nawadnianie 30ha w trzecim wariantcie poziomu cen (rok 2022).

5. WNIOSKI

Niniejsza praca powstała w oparciu o wyniki ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych na glebie lekkiej w gospodarstwie Mochełek Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Politechniki Bydgoskiej. Badania pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków.

1. Warunki termiczne w rejonie Bydgoszczy w okresie prowadzenia doświadczeń polowych nie odbiegały od wieloletniej normy dla okresu 1991-2020. W poszczególnych latach trwania eksperymentu polowego występowały jednak odmienne warunki opadowe. Okres wegetacyjny 2015 roku był bardzo suchy, 2016 wilgotny, a 2017 bardzo wilgotny.
2. Deszczowanie miało charakter interwencyjny i zapewniało roślinom zapas wody łatwo dostępnej w korzeniowej warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu. Największe niedobory opadów i potrzeby deszczowania jęczmienia wystąpiły w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia polowego. W sezonach wilgotnych deszczowanie stosowano sporadycznie z powodu nierównomiernego rozkładu opadów.
3. Deszczowanie wpłynęło istotnie na wzrost wielkości plonu ziarna jęczmienia jarego w każdym roku, ponadto spowodowało stabilizację wielkości plonu w latach. Bezwzględne i względne przyrosty plonów pod wpływem zastosowania tego zabiegu były najwyższe w bardzo suchym sezonie wegetacji, a jednostkowe w roku wilgotnym.
4. Zastosowanie deszczowania istotnie wpłynęło na poprawę przydatności słodowniczej ziarna, przyczyniając się do zmniejszonej zawartości białka w ziarnie, wzrostu MTZ, zwiększenia wyrównania ziarna oraz jego ekstraktywności.
5. Nawożenie azotem, niezależnie od wariantu wodnego, wpłynęło istotnie na wzrost plonu ziarna. Istotny wpływ stwierdzono w sezonach wilgotnych, w roku bardzo suchym nawożenie nie spowodowało istotnego zróżnicowania wielkości plonu ziarna.
6. Nawożenie azotem, niezależnie od deszczowania, skutkowało pogorszeniem jakości ziarna pod względem przydatności dla przemysłu browarniczego. Wraz z zastosowaniem i wzrostem dawki nawożenia azotem, zwiększała się zawartość białka w ziarnie, zmniejszeniu ulegała MTZ, wyrównanie ziarna oraz jego ekstraktywność.
7. Deszczowanie i nawożenie azotem istotnie współdziałały w kształtowaniu wielkości plonu ziarna jęczmienia browarnego. Korzystny wpływ interakcji na wielkość plonu stwierdzono w suchym sezonie 2015 roku oraz w okresie wegetacji 2016 roku. W bardzo wilgotnym roku 2017 zastosowanie deszczowania i wyższych dawek nawożenia azotem przyczyniło się do wylegania roślin i obniżenia plonu.

8. Bezwzględna, względna i jednostkowa efektywność produkcyjna deszczowania wzrastała wraz z zastosowaniem i zwiększaniem dawki nawożenia azotem.
9. Deszczowanie niwelowało niekorzystny wpływ nawożenia azotem na jakość ziarna jęczmienia browarnego. Optymalną dawką nawożenia azotem w warunkach deszczowania było zastosowanie przedsięwzięcia 30 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie nawożenia azotem w tej ilości umożliwiło uzyskanie możliwe wysokiego plonu ziarna, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych cech jakościowych.
10. Efektywność ekonomiczna deszczowania jęczmienia browarnego uzależniona była od kosztów inwestycji i cen skupu zboża oraz od projektowanej powierzchni nawadniania roślin. Jednostkowe koszty nawadniania (w przeliczeniu na 1 ha) malały wraz ze wzrostem areálu przeznaczonego do deszczowania.
11. Deszczowanie jęczmienia browarnego było zabiegiem efektywnym ekonomicznie w każdym przyjętym wariantcie kosztów inwestycji i cen zboża, pod warunkiem stosowania go na większych powierzchniach – 5, 10, 30 i 50 ha. Zastosowanie deszczowania jęczmienia na powierzchni 30 ha według cen ziarna z 2022 r. przyniosłoby nadwyżkę bezpośrednią rzędu 45,5 tys. zł, a koszt inwestycji zwróciłby się już po 4,1 latach.

