

OPTIMALIZACJA NAWOŻENIA JĘCZMIENIA JAREGO (*Hordeum vulgare* L.) W ŚRODKOWÓWSCHODNIEJ POLSCE

BARBARA SYMANOWICZ¹, SEBASTIAN KRASUSKI¹

¹*Instytut Rolnictwa i Ogrodnictwa, Uniwersytet w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce*

Synopsis. Celem badań było określenie optymalnych dawek nawozów mineralnych (NPK) i wapna w uprawie jęczmienia jarego w warunkach środkowowschodniej Polski. Doświadczenie polowe przeprowadzono w Rolniczej Stacji Doświadczalnej im. prof. Feliksa Ceglarka w Zawadach, należącej do Uniwersytetu w Siedlcach w latach 2019–2021. Uwzględniono dwa czynniki badawcze: czynnik I – wapnowanie (bez wapnowania, wapnowanie); czynnik II – nawożenie azotem (N0, N30, N60, N90, N120). Wapnowanie stosowano jesienią w dawce 2 t Ca·ha⁻¹ w formie wapna węglanowo-magnezowego. Azot stosowano w formie saletry amonowej (32%). Na wszystkich obiektach nawozowych jesienią stosowano 28 kg P·ha⁻¹ w formie superfosfatu wzbogaconego (40% P₂O₅) i 81 kg K·ha⁻¹ w formie soli potasowej (60% K₂O). Zastosowane wapnowanie w dawce 2 t CaO·ha⁻¹ i nawożenie azotem w dawce 120 kg N·ha⁻¹ wpłynęło istotnie na zwiększenie plonu ziarna i słomy jęczmienia jarego. Zawartość azotu, fosforu i potasu w ziarnie i słomie jęczmienia jarego oraz stosunki masowe wybranych pierwiastków kształtowały się na średnim poziomie.

Słowa kluczowe: jęczmień jary, wapnowanie, nawożenie mineralne, plon, stosunki masowe

WSTĘP

Jęczmień jary (*Hordeum vulgare* L.) przeznaczany jest na cele paszowe, browarne i spożywcze. W ostatnich latach jęczmień traci na znaczeniu. Głównymi przyczynami są coraz częściej niekorzystne warunki pogodowe i znaczne deficyty wodne w okresie letnim. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego [2024] powierzchnia arealu jaką został obsiany jęczmień jary wyniosła 426 tysięcy hektarów. Uprawa jęczmienia jarego stanowi 6,4% zasiewów zbóż razem z mieszkankami zbożowymi [Kubala 2018]. W krajowym rejestrze odmian [Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2022] w roku 2022 wpisano 6 nowych odmian jęczmienia jarego. Wśród nich znalazło się między innymi pięć odmian typu pastewnego: RGT Gagarin, Bizon, Florence, SM Redstar i Tilmor. Odmianami polskimi zarejestrowanymi są odmiany: SM Redstar, Tilmor i Bizon, a pozostałe są odmianami zagranicznymi. Warunki pogodowe i środowiskowe mają duży wpływ na uprawę jęczmienia jarego. Jest on bardzo wrażliwy na porażenie mączniakiem prawdziwym, ciemnobrunatną plamistością i rynchosporiozą. Kluczowe są również cechy ziarna: zawartość białka, która powinna być w przedziale od 9,5 do 11,5%, masa 1000 ziaren, gęstość ziarna oraz wyrównanie ziarna [Drażkiewicz 2022]. Na glebach słabszych należy zwrócić szczególną uwagę na uregulowanie odczynu gleby (pH 6,0–6,8) i jej wysoką kulturę. Gleba powinna zawierać jak najwięcej próchnicy i charakteryzować średnią zasobność w przyswajalne formy potasu, fosforu i magnezu. Wiosną zaleca się w jak największym stopniu ograniczyć uprawki, by zminimalizować utratę wody, przy jednoczesnym zniszczeniu kielkujących chwastów [Jaskulska i in. 2018].

Wiosenne nawożenie jęczmienia jarego ma duży wpływ na parametry jakościowe ziarna. Należy rośliny odpowiednio szybko rozkrzewić w celu uzyskania optymalnej obsady kłosów [Kwiatkowski i in. 2020]. W zależności od przebiegu pogody siew jęczmienia jarego można rozpocząć się już w pierwszej połowie marca [Wojciechowski i in. 2015]. Wczesny termin siewu wymusza zwiększenie nawożenia startowego, aby zbilansować mniej korzystne warunki rozwojowe w marcu i kwietniu. Nie można przy tym dopuścić do nadmiernego nawożenia plantacji

¹Adres do korespondencji – *Corresponding address*: barbara.symanowicz@uws.edu.pl

azotem [Jaskulska i Jaskulski 2020]. Taka sytuacja ma najczęściej miejsce wówczas, gdy do puli mineralnej dołączy azot uwolniony z mineralizacji resztek poźniwnych. Aby nawożenie było skuteczne, jego plan powinien się opierać na aktualnym badaniu gleb oraz na dokładnej kalkulacji nawozowej przedplonów [Jańczak-Pieniążek i in. 2020]. Azot najkorzystniej jest zastosować na 7 do 14 dni przed siewem. Pozostałe makroskładniki powinny być dawkowane podobnie jak dla jęczmienia ozimego ($30\text{--}70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, $40\text{--}90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ i $20\text{--}45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ MgO}$) odpowiednio do zakładanych plonów ziarna. Nawożenie fosforem i potasem jest najbardziej efektywne, gdy nawozy mineralne będą dobrze wymieszane z glebą na głębokości około 10–20 cm [Góral i Rembisz 2017]. Kompleksowe nawozy zawierające składniki nawozowe NPK najkorzystniej jest stosować pod wiosenne uprawki przedsiewne lub orkę jesienną. Należy unikać nawożenia pogłównego, ze względu na ryzyko spadku parametrów jakościowych ziarna [Noworolnik i in. 2014]. Azot z resztek poźniwnych oraz z nawozów naturalnych jest uwalniany w większych ilościach wtedy, gdy gleba jest ciepła i wilgotna [Suwara i in. 2019].

Zapotrzebowanie jęczmienia jarego na azot, fosfor i potas wynosi: od 18 do 26 kg N, 26 kg P, 14–22 kg K na wyprodukowanie jednej tony ziarna wraz ze słomą. Istotną rolę w nawożeniu jęczmienia jarego azotem, oprócz określenia dawki, odgrywa również termin jego stosowania [Suwara i in. 2019]. W praktyce rolniczej wyróżnia się najczęściej dwa lub trzy terminy nawożenia azotem [Bojarszczuk i in. 2017]. Dawki powyżej $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ zaleca się dzielić na dwie. Pierwszą (60% dawki) należy zastosować po ruszeniu vegetacji, w celu uzyskania właściwej zwartości krzewistości łanu, drugą (40% dawki) na początku fazy strzelania w źdźbło, co przyczyni się do wytworzenia odpowiedniej ilości źdźbeł kłosonośnych oraz prawidłowej liczby ziaren w kłosie [Smagacz 2016]. Jeżeli stosujemy trzy dawki azotu to dzielimy odpowiednio: 50% podczas ruszenia vegetacji, 35% pod koniec fazy krzewienia oraz 15% na początku kłoszenia w celu polepszenia parametrów jakościowych ziarna [Korbas i Mrówczyński 2017]. W okresach suszy lepsze efekty przynosi dokarmianie roślin (2 i 3 dawką) nawozami płynnymi, które można swobodnie łączyć z ciekłymi nawozami mikroelementowymi oraz wybranymi pestycydami [Ignaszak i in. 2016]. Uwzględniając pełne nawożenie azotowe roślin, nie można zapominać o korekcie dawek azotowych wynikających z typu gleby, na której jest prowadzona uprawa, nawożenia organicznego oraz rośliny poprzedzającej uprawę. Stosowanie trzeciej dawki azotu oraz jej wielkość powinna być odpowiednio dobrana do zaplanowanego plonu ziarna [Noworolnik i Jaśkiewicz 2018]. Ważna jest forma azotu trzeciej dawki. Formy amonowa i amidowa zdecydowanie zmniejszają ryzyko wylegania i są one częściej stosowane w praktyce rolniczej.

W hipotezie badawczej założono, że zastosowane wapnowanie w uprawie jęczmienia jarego zwiększy plon, pozwoli na ustalenie optymalnego nawożenia mineralnego oraz wpłynie korzystnie na wybrane stosunki masowe pierwiastków. Celem badań było określenie optymalnych dawek wapna i nawozów mineralnych NPK w uprawie jęczmienia jarego w warunkach środkowo-wschodniej Polski.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym było ziarno i słoma jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) oraz gleba. Doświadczenie polowe (fot. 1) było prowadzone w Rolniczej Stacji Doświadczalnej im. prof. Feliksa Ceglarka w Zawadach ($52^{\circ}03' \text{ N}$, $22^{\circ}33' \text{ E}$). Stacja Doświadczalna jest własnością Uniwersytetu w Siedlcach. Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2019–2021 jako dwuczynnikowe w układzie losowanych podbloków, w trzech powtórzeniach. Czynniki I – wapnowanie (2): bez wapnowania, wapnowanie. Czynniki II – obiekty nawozowe (5): N0, N30, N60, N90, N120. Powierzchnia poletek do zbioru wynosiła 20 m^2 .



Fot. 1. Doświadczenie polowe (wyk. S. Krasuski)
Phot. 1. Field experiment

Wapnowanie jęczmienia stosowano w dawce $2t\ CaO\cdot ha^{-1}$ w formie wapna węglanowo-magnezowego. Nawożenie azotem stosowano w dawkach: 0, 30, 60, 90 i $120\ kg\ N\cdot ha^{-1}$. Wiosną przedsięwzięcie stosowano 30 i $60\ kg\ N\cdot ha^{-1}$, a na obiektach 4 i 5 dodatkowo 30 i 60 kg na hektar zastosowano pogłównie. Azot stosowano w formie saletry amonowej (32% N). Na wszystkich obiektach nawozowych, nawożenie fosforowo-potasowe stosowano jesienią w dawkach $28\ kg\ P\cdot ha^{-1}$ i $81\ kg\ K\cdot ha^{-1}$. Fosfor stosowano w formie superfosfatu wzbogaconego 40% P_2O_5 , a potas w formie soli potasowej $60\% K_2O\cdot ha^{-1}$.

Jęczmień jary odmiany Teksas C1 wysiewano w dawce $160\ kg\cdot ha^{-1}$, w pierwszym tygodniu kwietnia każdego roku badań. W czasie wegetacji wykonywano konieczne i zalecane zabiegi pielęgnacyjne i polowe. Chwasty zwalczano herbicydem Chwastox Trio 540 SL w dawce $1,5\ dm^3\cdot ha^{-1}$ a choroby grzybowe fungicydem Amistar 250 SC w dawce $1\ dm^3\cdot ha^{-1}$. Zbiór jęczmienia jarego odbywał się 2–7 sierpnia, w kolejnych latach prowadzonych badań.

Charakterystykę warunków meteorologicznych w latach prowadzenia badań (2019–2021) wykonano po wykorzystaniu danych udostępnionych dla Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej w Siedlcach przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie. Miesięczne opady i temperatury powietrza w czasie wegetacji jęczmienia jarego w latach 2019–2021 zestawiono w tabeli 1. Sumaryczna ilość opadów w drugim i trzecim roku badań (2020 i 2021 rok) w okresie wegetacji była o około 10% większa od sumarycznej ilości opadów z wielolecia, a w pierwszym roku badań (2019 rok) o 15% mniejsza od danych z wielolecia. Najwięcej opadów odnotowano w czerwcu 2020 roku ($169,6\ mm$), a najmniej w kwietniu 2020 roku ($6,9\ mm$). Średnie temperatury w kolejnych okresach wegetacyjnych kształtowały się na zbliżonym poziomie ($13,1$ – $4,4^\circ C$) i były zbliżone z średnią z wielolecia ($13,3^\circ C$). Średnie największe temperatury powietrza odnotowano w czerwcu ($19,8^\circ C$) a najmniejsze w marcu ($3,9^\circ C$).

Tabela 1. Warunki meteorologiczne w latach 2019–2021. Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Siedl-
cach. Dane udostępnione z IMiGW PiB Warszawa

Table 1. Characteristic fo hydrothermal conditions in 2019–2021. On the basis of data by the Institute of
Meteorology and Water Management in Warsaw, the Hydrological and Meteorological Station in Siedlce

Lata /Years	Miesiące/Months						
	III	IV	V	VI	VII	VIII	Suma/Sum Średnia/Mean
Opady/Rainfalls (mm)							
2019	34,3	8,9	113,9	28,6	40,3	72,1	298,1
2020	12,3	6,9	111,4	169,6	39,2	65,4	404,8
2021	15,2	52,7	79,3	51,0	47,0	161,4	406,6
Średnia/Mean	20,6	22,8	101,5	83,1	42,2	99,6	369,8
Średnia z wielolecia/ Multi-year mean	31,1	31,2	70,4	67,3	67,9	76,2	344,1
Temperatury/Temperatures (°C)							
2019	5,1	9,4	13,0	21,5	18,0	19,3	14,4
2020	4,1	7,9	11,1	18,7	18,4	19,3	13,2
2021	2,5	6,4	12,2	19,1	21,9	16,7	13,1
Średnia/Mean	3,9	7,9	12,1	19,8	19,4	18,4	13,6
Średnia wieloletnia/ Multi-year mean	2,8	8,6	13,8	16,5	19,6	18,5	13,3

Współczynnik Sielianinowa przedstawiony w tabeli 2 obliczony został według wzoru Skowery i in. [2014]. Warunki hydrologiczno-termiczne w pierwszym roku badań były optymalne dla uprawy jęczmienia jarego. Obliczone średnie wartości współczynników hydrotermicznych dla okresów wegetacyjnych 2020 i 2021 roku wykazały, że były to lata umiarkowanie mokre.

Próbki glebowe w kolejnych latach badań pobierano przed założeniem doświadczenia z poziomu Ap w celu określenia zasobności gleby w przyswajalnej formie N, P, K, Mg, oraz pH. Próbki wysuszono na powietrzu, przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm i wykorzystano do analiz chemicznych.

Tabela 2. Współczynnik Sielianinowa K (2019–2021)

Table 2. Sielianinov's K hydrothermal index (2019–2021)

Lata badań/ Years of research	Miesiące/Months						
	III	IV	V	VI	VII	VIII	Średnia/ Mean
2019	2,24	0,31	2,92	0,44	0,75	1,24	1,32
2020	1,00	0,29	3,25	3,02	0,71	1,13	1,57
2021	2,03	2,74	2,17	0,89	0,71	3,22	1,96

Materiał roślinny, próbki całych roślin jęczmienia jarego (razem z korzeniami) pobrano z powierzchni 1 m² w fazie dojrzałości pełnej, z wszystkich obiektów nawozowych. Rozdzielono ziarno, słomę, plewy i korzenie. W każdym roku badań określono plon ziarna i słomy w trzech powtórzeniach, ze wszystkich obiektów nawozowych. Następnie przygotowano próbki średnie, które zostały dosuszone, rozdrobnione i przygotowane do analiz chemicznych.

W próbkach glebowych oznaczono: pH w KCl o stężeniu 1 mol-dm⁻³ metodą potencjometryczną. Stosunek gleby do roztworu 1:2,5. Zastosowano elektrodę kombinowaną H/1131 i pH-metr pH301 firma Hanna Instruments. Określono odczyn gleby. W glebie oznaczono: zawartość węgla (Ct) i azotu (Nt) wykorzystując autoanalyzer CHNS/O series II 2400 firmy Perkin Elmer z detektorem (TCD) przewodności cieplnej i materiałem wzorcowym (acetanilidem), zawartość całkowitego P, K oznaczono po mineralizacji w mieszaninie stężonego HCl i HNO₃ (3:1) przy wykorzystaniu metody ICP-AES i spektrofotometru emisyjnego z plazmą wzbudzoną indukcyjnie model Optima 3200 RL firmy Perkin Elmer. Zawartość przyswajalnego fosforu i potasu oznaczono po ekstrakcji mleczanem wapnia 0,0275 mol-dm⁻³ (metoda Egnera-Riehma), a następnie metodą ICP-AES. Zawartość przyswajalnego magnezu oznaczono po ekstrakcji 0,01 mol-dm⁻³ CaCl₂, a następnie metodą ICP-AES. Na podstawie zebranych próbek jęczmienia jarego obliczono: plon ziarna i słomy oraz oznaczono: zawartość azotu (Nt) przy wykorzystaniu autoanalyzer CHNS/O 2400 firmy Perkin Elmer, zawartość fosforu i potasu metodą ICP-AES, po zmineralizowaniu próbek w temperaturze 450–500°C. Ponadto obliczono: wybrane stosunki masowe pierwiastków w ziarnie i słomie jęczmienia.

W badaniach wykorzystano programy statystyczne FR analwar – 4.1; 4.2; 4.3; 5.1 i 5.2 dla doświadczeń dwuczynnikowych. Po wykonaniu analizy wariancji i wykorzystaniu testu Tukeya wyznaczono najmniejsze istotne różnice (NIR) przy istotności p ≤ 0,05. Po stwierdzeniu istotnych różnic obliczono współczynnik korelacji i określono równania regresji liniowej przy wykorzystaniu programu Statistica 13.1 i 13.3 w latach 2021 i 2022.

WYNIKI I DYSKUSJA

Właściwości fizykochemiczne gleby

Badania prowadzono na glebach płowych próchnicznych należących do typu gleb płowych i rzędu gleb płowoziemnych – Polskie Towarzystwo Gleboznawcze [2019] a według klasyfikacji IUSS WRB (2014, 2022) jako Haplic Luvisols. Poziom Ap tych gleb charakteryzował się składem granulometrycznym gliny piaszczystej. Były to gleby średnie. Oznaczony skład granulometryczny poziomu Ap przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Skład granulometryczny gleby z poziomu próchnicznego Ap
Table 3. Granulometric composition of soil from the Ap humus horizon

Poziom genetyczny/ Soil level	Zawartość frakcji/Fraction content (%)		
	Piasek/Sand 2–0,05 mm	Pył/Silt 0,05–0,002 mm	Il/Clay <0,002 mm
Ap1	66	26	8

Były to gleby bardzo intensywnie użytkowane rolniczo, charakteryzowały się zmiennością antropogeniczną, która dotyczyła głównie poziomu Ap (próchniczego) i AE (poziomu przejściowego). Analizowane gleby zaliczono do klasy bonitacyjnej IIIb (gleby orne średnio dobre) i do kompleksu 4 – żytniego bardzo dobrego. Gleby charakteryzowały się odczynem lekko kwaśnym (tab. 3). W kolejnych latach badań (2019–2021) zawartość Ct i Nt w poziomach próchnicznych kształtowała się na średnim poziomie [Kuśmierz i in. 2023]. Również zawartość całkowitych form makroskładników kształtowała się na średnim poziomie (tab. 4). Zawartość przyswajalnych form analizowanych pierwiastków w poziomach Ap gleb kształtowała się na poziomie średniej zasobności (tab. 5) według zaleceń nawozowych [1990].

Tabela 4. Średnia zawartość całkowitych form makroskładników ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w poziomie Ap gleb pływch próchnicznych w latach 2019–2021

Table 4. Average content of total macronutrient forms ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in the Ap horizon of humus lessive soils in 2019–2021

Parametry/ Parameters	Lata badań/Years of research		
	2019	2020	2021
pH	5,85	5,97	6,20
C	12,51	12,93	13,07
N	1,21	1,28	1,33
P	0,55	0,73	0,78
K	0,65	0,72	0,70
Ca	0,50	0,51	0,54
Mg	0,60	0,62	0,56
S	0,10	0,12	0,12

Tabela 5. Zawartość przyswajalnych form wybranych makroskładników w poziomie Ap gleb przed rozpoczęciem badań w latach 2019–2021

Table 5. Content of available forms of selected macronutrients in the Ap horizon of soils before the start of the research in 2019–2021

Przyswajalne formy/ Available forms ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Lata badań/Years of research		
	2019	2020	2021
N	59,9	67,2	57,9
P	71,0	74,0	76,0
K	159,0	172,0	169,0
Ca	64,7	61,7	63,5
Mg	91,5	88,7	89,9
S	25,6	27,1	26,8

Plony ziarna i słomy jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.)

Plony ziarna jęczmienia jarego odmiany Teksas C1 przedstawiono w tabeli 6. Na podstawie 3-letnich badań średni plon ziarna jęczmienia jarego określono na poziomie 3,86 Mg·ha⁻¹. W badaniach Blecharczyka i Małeckiej [2005], Kozery i in. [2017], Ziemińskiej i Tkaczuka [2017] oraz Żuk-Gołaszewskiej [2008] uzyskano plony ziarna jęczmienia jarego na podobnym poziomie. W tych badaniach uprawiano jęczmień w monokulturze. Zastosowane wapnowanie w dawce 2 t CaO·ha⁻¹ istotnie wpłynęło na zwiększenie plonu ziarna o około 30% w kolejnych latach badań. Zwiększenie plonu ziarna (o około 40%) odnotowano w trzecim roku badań (2021). Nawożenie azotem istotnie różnicowało plon ziarna jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) w latach prowadzenia badań. Istotnie największe plony ziarna uzyskano z obiektów, na których zastosowano 120 kg N·ha⁻¹. Plony ziarna w kolejnych latach badań na tych obiektach wynosiły odpowiednio 4,39; 4,54 i 4,38 Mg·ha⁻¹. Taki poziom plonów uzyskano w badaniach Schmidta [2001] i Wojtasika [2004], gdzie stosowano większe dawki potasu i deszczowanie. Na stosowanie większych dawek azotu wskazują wyniki badań Angasa i in. [2006], Cantero-Martinez i in. [2003] oraz Martina-Rudea i in. [2007].

Obliczenia statyczne wskazywały również istotne różnice w plonach ziarna dla współdziałania wapnowania i nawożenia azotem. Największy plon odnotowano na obiektach wapnowanych przy dawce 120 kg N·ha⁻¹ (5,64 Mg·ha⁻¹). Plon ziarna jęczmienia jarego w 2021 roku był dodatnio skorelowany z plonem słomy ($r = 0,908$; $Pls = 1,920 + 0,606Plz$).

Tabela 6. Plon ziarna jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), Mg·ha⁻¹
 Table 6. Spring barley grain yields (*Hordeum vulgare* L.), Mg·ha⁻¹

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/ Nitrogen fertilization					średnio/ mean
	N0	N30	N60	N90	N120	
2019						
-Ca	2,91 a	3,35 ab	3,62 ab	3,21 a	3,39 ab	3,29 A
+Ca	3,61 b	4,04 bc	4,08 bc	4,71 bc	5,39 bc	4,36 B
średnio/mean	3,26 A	3,69 B	3,85 B	3,96 B	4,39 B	3,83
2020						
-Ca	2,63 a	3,81 ab	3,80 ab	3,60 ab	3,78 ab	3,52 A
+Ca	3,21 b	4,17 bc	4,51 bc	4,47 bc	5,29 bc	4,33 B
średnio/mean	2,92 A	3,99 B	4,16 B	4,03 B	4,54 B	3,93
2021						
-Ca	2,59 a	2,99 ab	3,74 ab	3,43 ab	3,12 ab	3,17 A
+Ca	3,51 b	4,08 bc	4,61 bc	4,40 bc	5,64 bc	4,45 B
średnio/mean	3,05 A	3,54 B	4,17 B	3,92 B	4,38 B	3,81

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
 Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

Plony słomy jęczmienia jarego odmiany Teksas C1 zestawiono w tabeli 7. Na podstawie badań z okresu 3 lat średni plon słomy jęczmienia jarego określono na poziomie 4,25 Mg·ha⁻¹. Największe plony słomy osiągnięto w trzecim roku badań (2021). Nawożenie azotem istotnie wpływało na plon słomy jęczmienia jarego w latach badań. W badaniach innych autorów [Wojciechowski i in. 2015] również uzyskano największy plon słomy z obiektów, na których zastosowano największe dawki azotu 120 kg N·ha⁻¹. Plony słomy w kolejnych latach badań wynosiły odpowiednio 4,47; 4,20; 4,84 Mg·ha⁻¹. Obliczenia statystyczne wskazywały różnice w plonach słomy dla współdziałania nawożenia azotem i wapnowania. Największy plon odnotowano na obiektach wapnowanych przy dawce 120 kg N·ha⁻¹ (5,84 Mg·ha⁻¹).

Tabela 7. Plony słomy jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), Mg·ha⁻¹
Table 7. Spring barley straw yields (*Hordeum vulgare* L.), Mg·ha⁻¹

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem / Nitrogen fertilization					średnio/ mean
	N0	N30	N60	N90	N120	
2019						
-Ca	3,44 a	3,55 a	3,59 a	3,61 a	3,68 a	3,57 A
+Ca	3,59 a	3,88 a	3,88 a	4,77 a	5,26 a	4,27 B
średnio/mean	3,51 A	3,71 A	3,73 A	4,19 A	4,47 B	3,92
2020						
-Ca	3,65 a	3,63 a	3,78 a	3,82 a	3,49 a	3,67 A
+Ca	3,87 a	4,70 b	5,53 b	5,54 b	4,92 b	4,91 B
średnio/mean	3,76 A	4,16 B	4,65 B	4,68 B	4,20 B	4,29
2021						
-Ca	3,65	3,72	3,52	3,88	3,84	3,72 A
+Ca	4,56	4,87	5,72	5,72	5,84	5,34 B
średnio/mean	4,10 A	4,29 A	4,62 B	4,80 B	4,84 B	4,53

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

Zawartość azotu, fosforu i potasu w ziarnie i słomie jęczmienia jarego

Średnia zawartość azotu w ziarnie jęczmienia jarego kształtowała się na poziomie 16,3 g·kg⁻¹s.m. (tab. 8). Wapnowanie i nawożenie azotem istotnie różnicowało zawartość azotu w ziarnie jęczmienia jarego. Również współdziałanie badanych czynników w 2020 i 2021 roku miało istotny wpływ na zawartość azotu w ziarnie. Największą zawartość azotu oznaczono w ziarnie zebranych z obiektów wapnowanych i nawożonych N120 w 2020 roku (20,4 g·kg⁻¹s.m.). Zastosowane wapnowanie i zwiększające dawki azotu wpłynęły istotnie na zwiększenie zawartości azotu w ziarnie. Badania Spiak i in. [2010a, 2010b] wskazały na istotność formy azotu stosowanej w nawożeniu jęczmienia. Według Skowrońskiej i Filipka [2014] oraz Skowrońskiej [2018] podwyższanie dawek azotu wpływa na zwiększenie pobrania i wykorzystania azotu przez rośliny kukurydzy uprawianej na ziarno i może przyczynić się do pojawienia ujemnego salda bilansu oraz istotnego spadku zawartości tego składnika w glebie.

Tabela 8. Zawartość N w ziarnie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹s.m.
 Table 8. Nitrogen content in spring barley grain (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹ d.m.

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/Nitrogen fertilization					
	N0	N30	N60	N90	N120	średnio/ mean
2019						
-Ca	10,5 a	12,2 b	17,3 b	18,2 b	19,2 b	15,5 A
+Ca	11,2 a	13,2 b	19,2 b	19,4 b	19,7 b	16,5 B
średnio/mean	10,9 A	12,7 B	18,2 B	18,8 B	19,4 B	16,0
2020						
-Ca	12,1 a	13,9 b	18,2 b	18,2 b	19,0 b	16,3 A
+Ca	12,2 a	14,1 b	18,8 b	19,6 b	20,4 b	17,0 B
średnio/mean	12,1 A	14,0 B	18,5 B	18,9 B	19,7 B	16,6
2021						
-Ca	12,5 a	13,2 b	18,0 b	18,2 b	18,2 b	16,0 A
+Ca	12,0 a	13,5 b	19,3 b	19,2 b	19,7 b	16,8 B
średnio/mean	12,2 A	13,4 B	18,7 B	18,7 B	19,0 B	16,4

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
 Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

Zawartość azotu w ziarnie jęczmienia jarego była istotnie skorelowana z plonem ziarna ($r = 0,905$; $Nz = -8,245 + 6,378Plz$) oraz z plonem słomy ($r = 0,969$; $Nz = -27,231 + 10,237Pls$). Również obliczone współczynniki korelacji wskazały na istotną zależność pomiędzy zawartością azotu w ziarnie oraz zawartością azotu i fosforu w słomie ($r = 0,897$; $r = 0,920$).

Zawartość fosforu w ziarnie jęczmienia jarego przedstawiono w tabeli 9. Średnia zawartość fosforu w ziarnie jęczmienia jarego w latach 2019–2021 wynosiła 3,39 g·ha⁻¹. Na optymalną zawartość fosforu w ziarnie ma również wpływ wielkość zastosowanej dawki fosforu [Naceur i in. 2017]. Największa zawartość fosforu oznaczona w ziarnie z obiektów nawożonych N120 w latach 2019 i 2021 wyniosła odpowiednio 3,81 i 3,76 g·kg⁻¹ s.m., a w 2020 roku największą zawartość fosforu oznaczono w ziarnie jęczmienia jarego zebranego z obiektu kontrolnego (3,17 g·kg s.m.).

Obliczenia statystyczne nie wskazywały istotnych różnic w zawartości fosforu w ziarnie dla wapnowania i nawożenia azotem w 2020 roku oraz dla współdziałania wapnowania i nawożenia azotem w 2021 roku. Największą zawartość fosforu w ziarnie jęczmienia jarego odnotowano przy dawce 90 N·ha⁻¹ (4,08 g·kg⁻¹ s.m.) na poletkach wapnowanych w 2019 roku.

Zawartość potasu w ziarnie jęczmienia jarego przedstawiono w tabeli 10. Średnia zawartość potasu z trzech lat badań wyniosła 5,03 g·kg⁻¹s.m. W 2020 roku badane czynniki oraz ich współdziałanie istotnie różnicowało zawartość potasu w ziarnie jęczmienia. W pierwszym roku badań (2019) wapnowanie i nawożenie azotem miało istotny wpływ na zmiany zawartości potasu w ziarnie, a w 2021 roku tylko nawożenie azotem istotnie różnicowało zawartość potasu w ziarnie. Zmienność wpływu badanych czynników na zawartość potasu w ziarnie można łączyć ze zmiennością pogodową w kolejnych latach badań.

Tabela 9. Zawartość P w ziarnie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹s.m.
Table 9. Phosphorus content in spring barley grain (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹ d.m.

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/Nitrogen fertilization					średnio/ mean
	N0	N30	N60	N90	N120	
2019						
-Ca	3,56 a	3,13 b	3,42 a	3,67 b	3,91 b	3,54 A
+Ca	3,55 a	3,44 a	3,49 a	4,08 b	3,72 b	3,66 B
średnio/mean	3,56 A	3,28 B	3,46 A	3,88 B	3,81 B	3,60
2020						
-Ca	3,09 a	3,12 a	3,15 a	3,09 a	2,97 a	3,09 A
+Ca	3,25 a	3,12 a	2,96 ab	3,03 ab	3,10 a	3,09 A
średnio/mean	3,17 A	3,12 A	3,05 A	3,06 A	3,04 A	3,09
2021						
-Ca	3,16 a	3,27 a	3,33 a	3,46 a	3,71 a	3,38 A
+Ca	3,31 a	3,42 a	3,56 a	3,74 a	3,82 a	3,57 B
średnio/mean	3,23 A	3,34 B	3,45 B	3,60 B	3,76 B	3,48

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

Tabela 10. Zawartość K w ziarnie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹s.m.
Table 10. Potassium content in spring barley grain (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹ d.m.

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/Nitrogen fertilization					średnio/ mean
	N0	N30	N60	N90	N120	
2019						
-Ca	4,07 a	4,64 a	5,18 b	5,58 b	5,47 b	4,99 A
+Ca	4,17 a	5,37 b	5,77 b	5,80 b	5,17 b	5,25 B
średnio/mean	4,12 A	5,00 A	5,48 B	5,69 B	5,32 B	5,12
2020						
-Ca	5,29 a	4,66 b	5,15 a	5,11 b	4,84 b	5,01 A
+Ca	4,87 a	4,72 b	4,69 b	5,34 b	4,84 a	4,89 B
średnio/mean	5,08 A	4,69 B	4,92 B	5,23 B	4,84 B	4,95
2021						
-Ca	5,18 a	4,82 b	5,07 a	5,06 a	5,01 b	5,03 A
+Ca	5,23 a	4,75 b	4,97 b	5,16 a	4,93 b	5,01 A
średnio/mean	5,21 A	4,79 B	5,02 B	5,11 A	4,97 B	5,02

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

Zastosowanie wapna w dawce 2 t·ha⁻¹ istotnie wpłynęło na zwiększenie zawartości potasu w ziarnie jęczmienia jarego w roku 2019. Największą zawartość potasu (5,80 g·kg⁻¹s.m.) odnotowano w ziarnie na obiektach wapnowanych i nawożonych azotem w dawce 90 kg N·ha⁻¹ w pierwszym roku badań.

Średnia zawartość azotu w słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) wynosiła 6,6 g·kg⁻¹ s.m. (tab. 11). Zastosowane nawożenie azotem na kolejnych obiektach nawozowych istotnie różnicowało zawartość azotu w słomie jęczmienia jarego w kolejnych latach badań. Wapnowanie nie wpłynęło istotnie na zawartość azotu w słomie. Zastosowane nawożenie mineralne N30, N60, N90, N120 istotnie zwiększyło zawartość azotu w słomie jęczmienia jarego w odniesieniu do poziomu azotu w słomie zebranej z obiektu kontrolnego. W kolejnych latach badań największe zawartość oznaczono w słomie pochodzącej z obiektów wapnowanych i nawożonych N120 (odpowiednio 7,7; 7,9; 8,3; g·kg⁻¹ s.m.).

Tabela 11. Zawartość N w słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹s.m.

Table 11. Nitrogen content in spring barley straw (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹ d.m.

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/ Nitrogen fertilization					średnio/ mean
	N0	N30	N60	N90	N120	
2019						
-Ca	4,9 a	6,1 b	7,2 b	7,3 b	7,2 b	6,5 A
+Ca	4,6 a	6,9 b	7,3 b	7,1 b	7,7 b	6,7 A
średnio/mean	4,7 A	6,5 B	7,2 B	7,2 B	7,4 B	6,6
2020						
-Ca	3,9 a	6,8 b	7,0 b	7,5 b	7,9 b	6,6 A
+Ca	3,6 a	6,5 b	6,5 b	7,6 b	7,9 b	6,4 A
średnio/mean	3,8 A	6,6 B	6,7 B	7,6 B	7,9 B	6,5
2021						
-Ca	4,2 a	6,4 b	7,2 b	7,3 b	8,0 b	6,6 A
+Ca	4,6 a	6,2 b	6,9 b	7,3 b	8,3 b	6,7 A
średnio/mean	4,4 A	6,3 B	7,1 B	7,3 B	8,1 B	6,6

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)

Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

Istotnie największą średnią zawartość azotu oznaczono w słomie zebranej z obiektów nawożonych N120 (8,1 g·kg⁻¹s.m.) w 2021 roku. Zawartość azotu, fosforu i potasu w słomie jęczmienia jarego była dodatnio skorelowana z plonem ziarna ($r = 0,967$; $r = 0,899$; $r = 0,923$). Zawartość azotu w słomie była istotnie skorelowana z plonem słomy ($r = 0,939$; $N_s = -9,774 + 3,845Pls$).

Średnia zawartość fosforu w słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) wynosiła 0,70 g·kg⁻¹s.m. (tab. 12). Wapnowanie gleby przed uprawą jęczmienia jarego w 2021 roku wpłynęło istotnie na zmiany w zawartości fosforu w słomie jęczmienia jarego. Zastosowane nawożenie azotem istotnie różnicowało zawartość fosforu w słomie jęczmienia jarego w 2019, 2020 i 2021 roku. Zastosowane zróżnicowane nawożenie mineralne N30, N60, N90, N120, istotnie zwiększyło

Tabela 12. Zawartość P w słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹s.m.
 Table 12. Phosphorus content in spring barley straw (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹ d.m.

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/Nitrogen fertilization					
	N0	N30	N60	N90	N120	średnio/ mean
2019						
-Ca	0,41 a	0,37 a	0,70 b	0,69 b	1,20 b	0,67 A
+Ca	0,55 a	0,73 b	1,03 b	0,73 b	0,48 a	0,70 A
średnio/mean	0,48 A	0,55 A	0,86 B	0,71 B	0,84 B	0,69
2020						
-Ca	0,55 a	0,77 b	0,60 a	0,60 a	0,57 a	0,62 A
+Ca	0,65 a	0,46 b	0,73 a	0,53 a	0,66 a	0,60 A
średnio/mean	0,60 A	0,62 A	0,66 A	0,57 A	0,61 A	0,61
2021						
-Ca	0,67 a	0,78 b	0,79 b	0,84 b	0,82 b	0,78 A
+Ca	0,83 a	0,86 a	0,85 a	0,85 a	0,86 a	0,85 B
średnio/mean	0,75 A	0,82 B	0,82 B	0,85 B	0,84 B	0,82

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
 Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

szły zawartość fosforu w słomie jęczmienia jarego w odniesieniu do poziomu zawartości fosforu w słomie zebranej z obiektu kontrolnego. Największą zawartość fosforu oznaczono w słomie z obiektu wapnowanego i nawożonego N 120 (0,86 g·kg⁻¹s.m.) w trzecim roku badań (2021). Średnie zawartości fosforu w słomie jęczmienia jarego w kolejnych latach badań (2019–2020–2021 rok) były istotnie zróżnicowane i kształtowały się odpowiednio 0,69; 0,61; 0,82 g·kg⁻¹s.m. W badaniach Spiak i Gediga [2012] oznaczono 4-krotnie mniej fosforu w roślinach uprawianych na glebie zdegradowanej przez przemysł miedziowy.

Zawartość potasu w słomie jęczmienia jarego kształtowała się na niskim poziomie i wynosiła 16,5 g·kg⁻¹ s.m. (tab. 13). Stosowane wapnowanie, nawożenie azotem oraz współdziałanie badanych czynników istotnie różnicowało zawartość potasu w słomie jęczmienia jarego w latach prowadzenia badań.

Wapnowanie istotnie wpłynęło na zawartość potasu w słomie jęczmienia jarego w roku 2021 przy nawożeniu N120 (18,9 g·kg⁻¹s.m.) oraz w roku 2020 przy nawożeniu N90 (20,4 g·kg⁻¹ s.m.). Istotnie największe średnie zawartości potasu (18,2 g·kg⁻¹s.m.) oznaczono w słomie jęczmienia jarego zebranej z obiektów, na których stosowano nawożenie N90 w 2020 roku.

Oznaczone zawartości potasu były istotnie większe odniesieniu do zawartości potasu w słomie jęczmienia jarego zebranej z obiektu kontrolnego. Rozpatrując nawożenie azotem i lata badań, obliczenia statystyczne wykazały istotny wpływ nawożenia azotem na średnią zawartość potasu w słomie jęczmienia jarego. Istotnie największą średnią zawartość potasu oznaczono w słomie jęczmienia jarego wapnowanego i nawożonego N 90 (20,4 g·kg⁻¹ s.m.), uprawianego w 2020 roku.

Tabela 13. Zawartość K w słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹·s.m.
 Table 13. Potassium content in spring barley straw (*Hordeum vulgare* L.), g·kg⁻¹ d.m.

Wapnowanie/ Liming	Nawożenie azotem/Nitrogen fertilization					średnio/ mean
	N0	N30	N60	N90	N120	
2019						
-Ca	18,2 b	15,0 a	17,7 b	15,4 a	16,3 b	16,5 B
+Ca	19,2 b	15,3 b	14,7 b	12,7 a	15,3 b	15,4 A
średnio/mean	18,7 B	15,1 B	16,2 B	13,9 A	15,8 B	15,9
2020						
-Ca	16,6 b	15,0 a	15,2 a	16,0 a	15,2 a	15,6 A
+Ca	17,9 b	14,8 a	16,6 b	20,4 b	18,8 b	17,7 B
średnio/mean	17,3 B	14,9 A	15,9 B	18,2 B	17,0 B	16,7
2021						
-Ca	17,8 b	15,4 a	16,2 a	17,0 b	15,5 a	16,4 A
+Ca	18,1 b	16,2 a	17,3 b	17,6 b	18,9 b	17,6 B
średnio/mean	18,0 B	15,8 A	16,7 B	17,3 B	17,2 B	17,0

Różne duże litery w kolumnach i różne małe litery w wierszach oznaczają istotne różnice ($p \leq 0,05$)
 Different uppercase letters within a columns and different lowercase letters within a lines indicate significant differences ($p \leq 0,05$)

Wybrane stosunki masowe pierwiastków w ziarnie i słomie jęczmienia jarego

Ilościowe stosunki pomiędzy pierwiastkami w roślinach są bardzo ważne w aspektach jakości uzyskanej paszy i składu chemicznego [Kępka i in. 2017, Maćkowiak i in. 2011]. W tabelach 14 i 15 przedstawiono stosunki masowe pomiędzy wybranymi pierwiastkami w ziarnie i słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Na podstawie wykonywanych analiz chemicznych i obliczeń wykazano, że stosunki N:K w ziarnie jęczmienia jarego były większe od tych, które obliczono dla słomy. Zastosowane wapnowanie w dawce 2 t CaO·ha⁻¹ nie miało większego wpływu na wartości stosunków masowych pierwiastków. Zróżnicowane dawki azotu wpłynęły na zmianę stosunków N:K i N:P. Kolejne większe dawki nawozów azotowych spowodowały rozszerzenie wymienionych stosunków masowych pierwiastków w ziarnie i słomie jęczmienia jarego.

 Tabela 14. Stosunki masowe wybranych makroskładników w ziarnie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), średnie z 3 lat
 Table 14. Mass ratios of selected macronutrients in spring barley grain (*Hordeum vulgare* L.), 3-year averages

Stosunki pierwiastków/ Ratios of elements	Nawożenie azotem/ Nitrogen fertilization					Wapnowanie/ Liming	
	N0	N30	N60	N90	N120	-Ca	+Ca
N:P	3,52	4,12	5,57	5,36	5,48	4,76	4,48
N:K	2,44	2,77	3,60	3,52	3,85	3,17	3,33

Tabela 15. Stosunki masowe wybranych makroskładników w słomie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.), średnie z 3 lat

Table 15. Mass ratios of selected macronutrients in spring barley straw (*Hordeum vulgare* L.), 3-year averages

Stosunki pierwiastków/ Ratios of elements	Nawożenie azotem/ Nitrogen fertilization					Wapnowanie/ Liming	
	N0	N30	N60	N90	N120	-Ca	+Ca
N:P	7,05	9,85	8,97	10,42	10,26	9,52	9,17
N:K	0,24	0,42	0,43	0,45	0,47	0,41	0,39

Obliczone stosunki masowe N:P i N:K kształtowały się na poziomie zbliżonym do tych, które uzyskano w badaniach innych autorów [Barczak i in. 2019, Gaj i in. 2020, Godlewska i Becher 2021 i Wadas 2022].

WNIOSKI

1. Największe średnie plony ziarna i słomy jęczmienia jarego ($4,44$ i $4,56$ Mg·ha⁻¹) uzyskano po zastosowaniu wapnowania 2 t CaO·ha⁻¹ i 120 kg N·ha⁻¹.
2. Zastosowane wapnowanie i nawożenie mineralne w uprawie jęczmienia jarego pozwoliło na utrzymanie na optymalnym poziomie zawartość azotu, fosforu, potasu, w ziarnie i słomie jęczmienia jarego.
3. Stosunki masowe wybranych pierwiastków kształtowały się na zróżnicowanym poziomie.
4. Na podstawie przeprowadzonych badań nawozowych można zalecać dla praktyki rolniczej na glebach średnich następujące nawożenie mineralne jęczmienia jarego: zwiększone wapnowanie do 3 t CaO·ha⁻¹ w formie wapna węglanowo – magnezowego, jesienią w każdym roku; 120 kg N·ha⁻¹ (dawka dzielona) w formie saletry amonowej; 28 kg P·ha⁻¹ jesienią w formie superfosfatu wzbogaconego i 81 kg K·ha⁻¹ jesienią w formie soli potasowej.

PIŚMIENNICTWO

- Angas P, Lampurlanes J, Cantero-Martinez C. 2006. Tillage and N fertilization effect on N dynamics and barley field under semiarid Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.* 87: 59–71.
- Barczak B., Jastrzębska M., Kostrzevska M.K. 2019. Biofortification of spring barley grain with microelements through sulphur fertilization. *J. Chem.*, article ID 8214298, 1–7.
- Blecharczyk A., Małecka I. 2005. Wpływ nawożenia i systemu następstwa na stabilność plonowania jęczmienia jarego w doświadczeniu wieloletnim od 1957 roku. *Fragm. Agron.* 22(1): 11–20.
- Bojarszczuk J., Książek J., Gałązka A. 2017. Soil respiration depending on different agricultural practices before maize sowing. *Plant Soil Environ.* 63(10): 435–441.
- Cantero-Martinez C., Angas P, Lampurlanes J. 2003. Grown, yield and water productivity of barley affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. *Field Crops Res.* 84: 341–357.
- Drażkiewicz K. 2022. Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Słupia Wielka, s. 17–18.
- Gaj R., Szulc P., Siatkowski I., Waligóra H. 2020. Assessment of the effect of the mineral fertilization system on the nutritional status of maize plants and grain field prediction. *Agriculture* 10, art. no. 404.

- Godlewska A., Becher M. 2021. The effect of waste materials on the content of some macroelements in test plants. *J. Ecol. Eng.* 22(4): 167–174.
- Góral J., Rembisz W. 2017. Produkcja w rolnictwie w kontekście ochrony środowiska. *Rocz. Nauk. Ekon. Rol. Rozw. Obsz. Wiej.* 104(1): 7–21.
- GUS. 2022. Przewodnikowy szacunek głównych płodów rolnych w latach 2010–2022.
- Ignaszak P., Ropińska P., Nowak J. 2016. Wpływ stosowania międzyplonów i mikroelementów na wybrane właściwości gleby płowej. *Ekologia i Technika* 24(2): 83–87.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106, Rome: FAO.
- Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Jarecki W., Boborecka-Jamro D. 2020. Effect of high nitrogen doses on yield, quality and chemical composition grain of winter wheat cultivars. *J. Elem.* 25(3): 1005–1017.
- Jaskulska I., Gałęzowski L., Piekarczyk M., Jaskulski D. 2018. Strip-till technology – a method for uniformity in the emergence and plant growth of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) in different environmental conditions of Northern Poland. *Italian J. Agronomy*. 3, 981: 194–199.
- Jaskulska I., Jaskulski D. 2020. Strip till one-pass technology in central and eastern Europe: A MZURI Pro-Til hybrid machine Case Study. *Agronomy* 10(7), art. no. 925.
- Kępką W., Antonkiewicz J., Gambuś F., Witkiewicz R. 2017. The effect of municipal sewage sludge on the content, use and mass ratios of some elements in spring barley biomass. *Soil Sci. Ann.* 68(2): 99–105.
- Korbas M., Mrówczyński M. 2017. *Metodyka integrowanej ochrony pszenicy ozimej i jarej dla doradców*. PIORiN, Warszawa ss. 220.
- Kozera W., Barczak B., Knapowski T., Spychaj-Fabisiak E., Murawska B. 2017. Reaction of spring barley to NPK and S fertilization. Yield, the content of macroelements and the value of ionic ratios. *Romanian Agric. Res.* 34: 275–285.
- Kubala S. 2018. Tendencje w kształtowaniu się cen skupu zbóż w krajach Grupy Wyszehradzkiej w latach 2000–2017. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 4: 43–57.
- Kuśmierz S., Skowrońska M., Tkaczyk P., Lipiński W., Mielniczuk J. 2023. Soil organic carbon and mineral nitrogen contents in soils as affected by their pH, texture and fertilization. *Agronomy* 13, art. no. 267.
- Kwiatkowski C., Harasim E., Staniak M. 2020. Effect of catch crops and tillage systems on some chemical properties of loess soil in a short-term monoculture of spring wheat. *J. Elem.* 25(1): 34–43.
- Lista opisowa odmian roślin rolniczych. 2022. *Zboża*. Słupia Wielka – Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych, ss.175.
- Maćkowiak C.L., Myer R.O., Blount A.R., Foster J.L., Barnett R.D. 2011. Yield and mineral concentration of southeastern United States oat cultivars used for forage. *J. Plant Nutrit.* 34(12): 1828–1842.
- Martin-Rudea I., Munoz-Guerra L., Yunta F., Esteban E., Tenorio J., Lucena J. 2007. Tillage and crop rotation effects on barley field and soil nutrients on a *Calciortiolic Haploxeralf*. *Soil Till. Res.* 92: 1–9.
- Naceur A.B., Cheikh – M’hamed H., Teixeira la Silva J.A., Abdelly Ch., Naceur M.B. 2017. The response of two naked barley varieties (*Hordeum vulgare* L.) to four phosphorus fertilizer levels. *J. Agric. Crop Res.* 5(2): 17–24.
- Noworolnik K., Jaśkiewicz B. 2018. Wpływ zróżnicowanych warunków glebowych na plonowanie odmian pszenżyta ozimego. *Fragm. Agron.* 35(1): 62–71.
- Noworolnik K., Wirkijowska A., Mikos-Szymańska M. 2014. Effect of genotype and nitrogen fertilization on grain yield and quality of spring barley intended for health food use. *Bulg. J. Agric. Sci.* 20: 576–580.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. 2019. *Systematyka gleb Polski*. Komisja Genezy Klasyfikacji i Kartografii Gleb. Wyd. UP we Wrocławiu, PTG Wrocław-Warszawa, ss. 162.
- Schmidt L. 2001. Effects of long-term potassium fertilization on crop yield and quality. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 480: 329–336.
- Skowrońska M., Kopcińska J., Kopeć B. 2014. Changes in thermal and precipitation conditions in Poland. *Ann. Warsaw Univ. Life Soil, SGGW, Land Reclam.* 46(2): 153–162.
- Skowrońska M. 2018. Nutrient balance under differentiated maize fertilization and sowing. *Przem. Chem.* 97(11): 1970–1974.
- Skowrońska M., Filipek T. 2014. Life cycle assessment of fertilizers: a review. *Int. Agrophys.* 28: 101–110.

- Smagacz J. 2016. Konsekwencje organizacyjne i środowiskowe różnych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. 47(1): 139–153.
- Spiak Z., Gediga K. 2012. Applicability of selected plant species for the occupance of land degraded by copper industry. *Przem. Chem.* 91(5): 996–999.
- Spiak Z., Śmiatacz S., Piszcz U. 2010a. Effect of phosphorus and potassium fertilization on nitrates (V) content in maize and buckwheat. *Ecol. Chem. Eng. A* 17(7): 847–854.
- Spiak Z., Śmiatacz S., Piszcz U. 2010b. Effect of nitrogen form and dose on nitrates (V) content in selected species of vegetables. *Ecol. Chem. Eng. A* 17(7): 837–846.
- Statistica 13.1. 2021. Statsoft Inc. 2021 / data analysis Software system.
- Statistica 13.3 2022. Statsoft Inc. 2022/ data analysis Software system.
- Suwara I., Masionek M., Wysmułek A., Ciesielska A., Gozdowski D. 2019. Zachwaszczenie pszenżyta jarego w zmianowaniu i monokulturze w zależności od wieloletniego nawożenia mineralnego. *Fragm. Agron.* 36(1): 74–81.
- Wadas W. 2022. Effect of foliar silicon application on nutrient content in early crop potato tubers. *Agronomy* 12, art. no. 2706.
- Wojciechowski W., Szałata M., Lehmann A. 2015. Międzyzplony ścierniskowe uprawiane zgodnie z zasadami programu rolno środowiskowego „Ochrona gleb i wód” jako czynnik fitosanitarny w pszenicy jarej. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin* 55(2): 211–223.
- Wojtasik D. 2004. Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie jęczmienia browarnego i pastewnego uprawianego na glebie lekkiej. *Cz. II. Plon i jakość ziarna. Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(2): 131–142.
- Ziemińska J., Tkaczuk C. 2017. Wpływ terminu siewu i odmiany na plonowanie jęczmienia jarego w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Fragm. Agron.* 34(1): 126–134.
- Żuk-Golaszewska K. 2008. Produkcyjność i produktywność jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) uprawianego w różnych warunkach agrotechniki. *Rozprawy i Monografie UWM, Olsztyn*, 136: ss. 109.

B. SYMANOWICZ, S. KRASUSKI

**OPTIMIZATION OF SPRING BARLEY (*Hordeum vulgare* L.)
FERTILIZATION IN CENTRAL EASTERN POLAND**

Summary

The aim of the study was to determine the optimal doses of mineral fertilizers (NPK) and lime in spring barley cultivation in the conditions of central-eastern Poland. The field experiment was conducted at the Prof. Feliks Ceglarek Agricultural Experimental Station in Zawady, belonging to the University of Siedlce, from 2019 to 2021. Two research factors were taken into account: factor I – liming (without liming, with liming); factor II – nitrogen fertilization (N0, N30, N60, N90, N120). Liming was applied in autumn at a dose of 2 t Ca·ha⁻¹ in the form of calcium carbonate-magnesium nitrate. Nitrogen was applied in the form of ammonium nitrate (32%). In all treatments, 28 kg of P·ha⁻¹ in the form of enriched superphosphate (40% P₂O₅) and 81 kg of K·ha⁻¹ in the form of potassium salt (60% K₂O) were applied in autumn. Liming at a rate of 2 t CaO·ha⁻¹ and nitrogen fertilization at a rate of 120 kg N·ha⁻¹ significantly increased spring barley grain and straw yield. The nitrogen, phosphorus, and potassium contents in spring barley grain and straw, as well as the mass ratios of selected elements, were at an average level.

Key words: spring barley, liming, mineral fertilization, yield, mass ratios

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 20.11.2025

Do cytowania – *For citation*:

Symanowicz B., Krasuski S. 2025. Optymalizacja nawożenia jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) w środkowowschodniej Polsce. *Fragm. Agron.* 42(2): 21–36.