

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Ocena zdolności kiełkowania nasion soi w zależności od odczynu podłoża

Assessment of the germination capacity of soybeans depending on the pH of the substrate

Katarzyna Rymuza^{A*}, Elżbieta Radzka^B**Streszczenie**

W doświadczeniu laboratoryjnym oceniano kiełkowanie nasion trzech niemodyfikowanych genetycznie odmian soi: Abelina, SG Anser i Merlin w zależności od pH podłoża: 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 i 7,0. Nasiona soi pochodziły z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2017–2018. Wyniki opracowano przy pomocy analizy wariancji dla doświadczenia dwuczynnikowego w układzie całkowicie losowym. Spośród badanych odmian najwyższą zdolnością kiełkowania charakteryzowała się odmiana Abelina. Na podłożu o pH w zakresie od 6,0 do 6,5 jej zdolność kiełkowania wynosiła odpowiednio: 90,0 i 92,0%. Najwyższą liczbę nasion kiełkujących nienormalnie zaobserwowano u odmiany SG Anser oraz wówczas, gdy pH podłoża wynosiło od 5,0 do 5,5. Liczba nasion niekiełkujących była wyższa w 2018 niż 2017 roku i tylko u odmiany Abelina nie różniła się istotnie w latach.

Słowa kluczowe: soja (*Glycine max* L. Merr), zdolność kiełkowania, pH, nasiona kiełkujące nienormalnie, nasiona zdrowe niekiełkujące

Abstract

Germination of three non-GMO soybean cultivars: Abelina, SG Anser and Merlin was examined in a laboratory study as affected by pH level: 5.0; 5.5; 6.0; 6.5 and 7.0. The soybean seeds came from a field experiment carried out in 2017–2018. Analysis of germination capacity was based on two-factor analysis of variance in a completely randomized setting. Among the tested cultivar Abelina had the highest germination capacity. An application of pH from 6.0 to 6.5 contributed the most germinated seeds: 90.0 and 92.0%, respectively. The highest number of abnormally germinating seeds was observed in cultivar SG Anser and when the pH of the soil was 5.0 to 5.5. The number of non-germinating seeds was higher in 2018 than 2017 and only in the cultivar Abelina did not differ significantly between years.

Key words: soy (*Glycine max* L. Merr), germination capacity, pH, seeds germinating abnormally, seeds healthy non-germinating

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Wydział Agrobiotechnologii i Nauk o Zwierzętach

Prusa 14, 08-110 Siedlce

*corresponding author: katarzyna.rymuza@uph.edu.pl

ORCID: ^A0000-0002-9475-7527, ^B0000-0003-4728-4779

Wstęp / Introduction

Soja (*Glycine max* L. Merr) jest rośliną należącą do rodziny bobowatych. Jest uprawiana w wielu krajach o zróżnicowanych warunkach klimatyczno-glebowych. Uprawia się ją głównie na nasiona, które zawierają przeciętnie 40% białka i około 20% tłuszczu o dużej zawartości kwasu linolowego. Ponadto nasiona zawierają składniki mineralne (wapń, fosfor, potas), a także witaminy z grupy B oraz cenne fitoestrogeny (Rogalska-Niedźwiedź 2000; Nowak 2011). Nasiona soi wykorzystuje się do celów spożywczych, paszowych oraz w przemyśle. Obecnie w Polsce, jak i w całej Europie kładzie się duży nacisk na produkcję własnego białka paszowego i ograniczenie w ten sposób importu śruty sojowej pochodzącej z roślin genetycznie modyfikowanych.

Soja, podobnie jak inne gatunki roślin ma ściśle określone wymagania fizjologiczne dotyczące odczynu gleb, który obok próchnicy i składu mechanicznego jest podstawowym wskaźnikiem jej żyzności. Odczyn gleby wpływa na aktywność mikroorganizmów, tempo procesów mineralizacji i humifikacji materii organicznej, a przez to na dostępność składników pokarmowych i efektywność nawożenia (Yang i wsp. 2001; Filipek i Skowrońska 2009, 2013). Optymalny odczyn gleby (pH) dla uprawy soi kształtuje się na poziomie 6–7. Przy takim odczynie prawidłowo przebiega symbioza pomiędzy soją a bakteriami brodawkowymi. Zakwaszenie gleby w większym stopniu wpływa ujemnie na proces symbiozy, niż na rozwój samych bakterii brodawkowych (Martyniuk 2012). Uguru i wsp. (2012) twierdzą, że optymalnym odczynem dla wzrostu i rozwoju soi jest odczyn lekko kwaśny, ale roślina ta może tolerować zakres pH od 5,8 do 7,0.

Rozwój i plonowanie roślin w bardzo dużym stopniu zależą od dobrych i wyrównanych wschodów, które z kolei zależą od wielu czynników, ale przede wszystkim od jakości nasion, która decyduje między innymi o zdolności kiełkowania (Dąbrowska i wsp. 2000; Prusiński 2000; Ghassemi-Golezani i Hosseinzadeh-Mahootchy 2009; Faligowska i wsp. 2012, 2013). Zdolność kiełkowania według Waclawowicza i Zimnego (2020) określana jest jako procent nasion normalnie skielkowanych w czasie tak długim, aby mogły skielkować wszystkie zdrowe nasiona. Liczne badania laboratoryjne oraz polowe dowodzą, że skuteczność kiełkowania nasion zależy nie tylko od ich masy, wilgotności, twardości, ale również od odczynu gleby czy podłoża, w którym proces kiełkowania następuje (Domoradzki i wsp. 2002; Mut i Akay 2010; Hojjat 2011; Nik i wsp. 2011; Sadeghi i wsp. 2011; Amin i Brinis 2013). Optymalne dla wzrostu i rozwoju pH gleby nie zawsze wpływają na największą zdolność kiełkowania (Deska i wsp. 2011), a w przypadku roślin bobowatych występuje duże zróżnicowanie między zakładaną a uzyskaną zdolnością kiełkowania w warunkach polowych (Faligowska i Szukała 2012; Faligowska i wsp. 2018).

Celem pracy była ocena zdolności kiełkowania, liczby nasion kiełkujących nienormalnie oraz liczby nasion

zdrowych niekiełkujących, trzech niemodyfikowanych genetycznie odmian soi w zależności od zróżnicowanego pH podłoża.

Materiały i metody / Materials and methods

W celu zbadania wpływu odczynu podłoża na kiełkowanie nasion trzech niemodyfikowanych genetycznie odmian soi przeprowadzono dwuczynnikowe doświadczenie laboratoryjne. Badanymi czynnikami były:

- czynnik A – odmiana soi: A₁ – Abelina, A₂ – SG Anser, A₃ – Merlin,
- czynnik B – odczyn pH podłoża: B₁ – 5,0; B₂ – 5,5; B₃ – 6,0; B₄ – 6,5; B₅ – 7,0.

Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Nasiona użyte w eksperymencie uzyskano z doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2017–2018 we wschodniej Polsce w miejscowości Łączka (N52°15', E21°95'). Soję uprawiano zgodnie z zasadami Dobrej Praktyki Eksperymentalnej. Warunki wilgotnościowo-termiczne panujące w czasie prowadzenia doświadczenia przedstawiono w tabeli 1.

W 2017 roku maj i czerwiec były miesiącami dość suchymi, lipiec był optymalny, sierpień suchy, a wrzesień bardzo wilgotny. W 2018 roku maj i sierpień były bardzo suche, wrzesień był suchy, a w czerwcu i lipcu panowały warunki optymalne.

Nasiona dezynfekowano w C₂H₅OH (40%) przez 24 godziny oraz w 3% roztworze HClO₄ przez 8 godzin. Następnie umieszczono je na szalkach Petriego 150 × 25 (po 50 nasion) na podłożu z wysterylizowanej bibuły. Odczyn podłoża re-

Tabela 1. Wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa w poszczególnych miesiącach wegetacji soi

Table 1. Values of the Sielianinow hydrothermal coefficient during the vegetation periods of soybean

Miesiąc Month	Rok – Year	
	2017	2018
	wartość współczynnika values of the coefficient	wartość współczynnika values of the coefficient
IV	3,81	1,39
V	1,12	0,50
VI	1,07	1,36
VII	1,38	1,56
VIII	0,89	0,47
IX	2,69	0,91

$k \leq 0,4$ – skrajnie suchy; $0,4 < k \leq 0,7$ – bardzo suchy; $0,7 < k \leq 1,0$ – suchy; $1,0 < k \leq 1,3$ – dość suchy; $1,3 < k \leq 1,6$ – optymalny; $1,6 < k \leq 2,0$ – umiarkowanie wilgotny; $2,0 < k \leq 2,5$ – wilgotny; $2,5 < k \leq 3,0$ – bardzo wilgotny; $k > 3,0$ – skrajnie wilgotny

$k \leq 0,4$ – extremely dry (ed); $0,4 < k \leq 0,7$ – very dry (vd); $0,7 < k \leq 1,0$ – dry (d); $1,0 < k \leq 1,3$ – rather dry (rd); $1,3 < k \leq 1,6$ – optimum (o); $1,6 < k \leq 2,0$ – rather humid (rh); $2,0 < k \leq 2,5$ – humid (h); $2,5 < k \leq 3,0$ – very humid (vh); $k > 3,0$ – extremely

gulowano odpowiednimi ilościami 0,1M H₂SO₄. W trakcie kiełkowania sprawdzano odczyn przy pomocy pehametru. Temperatura eksperymentu była stała i utrzymywała się na poziomie 20°C. W doświadczeniu zgodnie z wytycznymi zawartymi w ISTA (1999) przeanalizowano następujące cechy: zdolność kiełkowania (procent nasion normalnie skiełkowanych), procent nasion kiełkujących nienormalnie oraz procent nasion zdrowych niekiełkujących. Oceny dokonano po 14 dniach od momentu założenia doświadczenia.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie wykorzystując w tym celu dwuczynnikową analizę wariancji zgodnie z modelem (Trętowski i Wójcik 1991):

$$y_{ij} = m + a_i + b_j + ab_{ij} + e_{ij}$$

gdzie: y_{ij} – wartość badanej cechy, m – średnia populacji, a_i – efekt i -tego poziomu czynnika A, b_j – efekt j -tego poziomu czynnika B, ab_{ij} – efekt interakcji czynnika A i B, e_{ij} – błąd losowy.

Przed wykonaniem analizy wariancji wykonano transformację danych z uwagi na to, że rozkład cech nie był zgodny z rozkładem normalnym. Do szczegółowego porównania średnich wykorzystano test Tukeya przy poziomie 0,05. Obliczenia wykonano w programie STATISTICA v. 13.1.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Kiełkowanie nasion jest zespołem procesów fizjologiczno-biochemicznych. Proces kiełkowania rozpoczyna się pobieraniem wody przez suche nasiona, a kończy aktywacją metaboliczną zarodka, a następnie przebicciem okryw nasiennych przez korzeń zarodkowy (Kucera i wsp. 2005; Nonogaki i wsp. 2010). Proces ten jest warunkowany przez wiele czynników zarówno środowiskowych, jak i genetycznych (Kurasiak-Popowska i wsp. 2003; Kurasiak-Popowska i Szukała 2007, 2008; Faligowska i Szukała 2012).

W przeprowadzonych badaniach analiza statystyczna wykazała istotny wpływ lat, odmian oraz pH na zdolność kiełkowania nasion. Więcej nasion normalnie skiełkowanych uzyskano z doświadczenia przeprowadzonego w 2017 niż w 2018 roku. Przebieg pogody mógł wpłynąć na procesy biochemiczne zachodzące w nasionach. Z doniesień literaturowych wynika, że w warunkach stresowych rośliny wytwarzają więcej kwasu abscysynowego (ABA). Kwas abscysynowy w początkowym etapie embriogenezy stymuluje wzrost zarodka i jego dojrzewanie, a w późniejszych stadiach hamuje ten proces. Podwyższony poziom ABA warunkuje również stan spoczynku nasion (Chen i wsp. 2008; Finkelstein i wsp. 2008; Drechsel i wsp. 2010). Na zależność pomiędzy warunkami meteorologicznymi panującymi w czasie wegetacji a zdolnością kiełkowania nasion łubinu żółtego wskazują Faligowska i wsp. (2018) twierdząc, że nadmierne opady w fazie dojrzewania nasion powodują pogorszenie jakości siewnej nasion, poprzez obniżenie

zdolności kiełkowania i wzrost udziału nasion martwych (pleśniejących i gnijących).

Największą zdolnością kiełkowania odznaczały się nasiona odmiany Abelina, istotnie mniejszą odmiany Merlin, a najmniejszą SG Anser. Różnice w ilości wykiełkowanych nasion tych odmian w zależności od zastosowanych inhibitorów wzrostu wykazali Rymuza i wsp. (2019) wskazując, że najlepszą średnią zdolnością kiełkowania (89,5%) charakteryzowała się odmiana Abelina, zaś odmiany SG Anser i Merlin nie różniły się pod tym względem istotnie.

Najwięcej nasion bez względu na lata badań i odmianę skiełkowało w pH = 6,5 (92,0%), istotnie mniej przy pH = 6,0 (90,0%), zaś przy pH = 5,0 tylko 87%. Zdolność kiełkowania nasion przy pH 5,5 oraz przy odczynie obojętnym była porównywalna (tab. 2, 3). Podobne wyniki

Tabela 2. Zdolność kiełkowania nasion soi w zależności od lat i odmiany [%]

Table 2. Soybean seed germination capacity depending on the years and cultivar [%]

Rok – Year	Odmiany – Cultivars			Średnie dla lat Mean for year
	Abelina	Merlin	SG Anser	
2017	92,0 a	89,0 b	88,0 b	90,0 A
2018	92,0 a	89,0 b	86,0 c	89,0 B
Średnie dla odmian Mean for cultivars	92,0 a	89,0 b	87,0 c	–

Średnie dla lat oznaczone różnymi literami (A, B) różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Means for years followed by different letters (A, B) differ significantly at $p \leq 0,05$

Średnie oznaczone różnymi literami (a, b, c) dla odmian w poszczególnych latach oraz odmian różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Means for cultivar and cultivar depending for pH followed by different letters (a, b, c) differ significantly at $p \leq 0,05$

Tabela 3. Zdolność kiełkowania nasion soi w zależności od odmiany i pH [%]

Table 3. Soybean seed germination capacity depending on the variety and pH [%]

pH	Odmiany – Cultivars			Średnie dla pH Mean for pH
	Abelina	Merlin	SG Anser	
5,0	90,0 c	86,0 c	86,0 b	87,0 D
5,5	91,0 bc	88,0 bc	86,0 b	88,0 CD
6,0	93,0 ab	90,0 ab	87,0 ab	90,0 B
6,5	94,0 a	91,0 a	90,0 a	92,0 A
7,0	93,0 a	90,0 ab	85,0 b	89,0 C

Średnie dla pH oznaczone różnymi literami (A, B, C, D) różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Means for pH followed by different letters (A, B, C, D) differ significantly at $p \leq 0,05$

Średnie oznaczone różnymi literami (a, b, c) dla odmian w zależności od pH oraz odmian różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Means for cultivar depending for pH followed by different letters (a, b, c) differ significantly at $p \leq 0,05$

otrzymali Suthipradit i Alva (1986), którzy badając wpływ różnych pH roztworu (3,75; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5) na zdolność kiełkowania soi (*G. max* L.) stwierdzili, że przy $\text{pH} \geq 4,5$ wykiełkowało około 85% nasion soi, a wraz z obniżeniem wartości pH odsetek nasion wykiełkowanych ulegał zmniejszeniu. Na różnice w ilości wykiełkowanych nasion pod wpływem zróżnicowanych odczynów podłoża u różnych gatunków roślin wskazują również Qing-fang i wsp. (2003) oraz Deska i wsp. (2011).

Zdolność kiełkowania nasion poszczególnych odmian różniła się w zależności od pH podłoża na co wskazuje istotność interakcji odmiana \times pH (tab. 3). Najwięcej skiełkowanych nasion odmiany Abelina zaobserwowano przy $\text{pH} = 6,5$, jednak liczba skiełkowanych nasion tej odmiany nie różniła się statystycznie po zastosowaniu podłoża o pH w zakresie od 6,0 do 7,0. Najniższą zdolność kiełkowania tej odmiany zaobserwowano w środowisku, w którym pH wahało się od 5,0 do 5,5. Odmiana Merlin, podobnie jak odmiana Abelina najslabiej kiełkowała w środowisku o $\text{pH} = 5,0$ i 5,5, a najlepiej w środowisku o pH wahającym się od 6,0 do 7,0. Nasiona odmiany SG Anser najlepiej kiełkowały w środowisku o $\text{pH} = 6,5$ i 6,0. Odczyn o pH w zakresie od 5,0 do 5,5 determinował zdolność kiełkowania tej odmiany na poziomie około 86,3%, a w środowisku obojętnym na poziomie 85%. Wyniki te świadczą o tym, że zdolność kiełkowania w zależności od podłoża jest cechą nie tylko gatunkową, ale i odmianową.

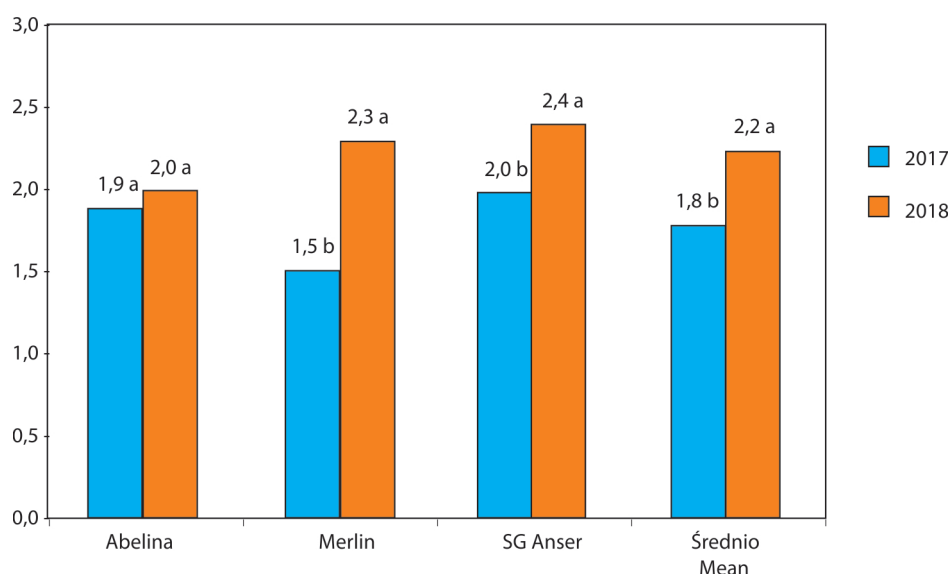
Najwięcej nasion kiełkujących nienormalnie stwierdzono u odmiany SG Anser, mniej u odmiany Merlin, a najmniej u odmiany Abelina. Wszystkie odmiany różniły się pod tym względem statystycznie. Maryam i Oskouie (2011) wskazu-

ją, że międzyodmianowe różnice w ilości niewykiełkowanych nasion mogą wynikać z grubości okrywy nasiennej, która warunkuje odporność nasion na uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenia tego typu zdaniem Sosnowskiego (2006) ujemnie korelują ze zdolnością kiełkowania, więc w miarę wzrostu uszkodzeń obniża się zdolność kiełkowania i wzrasta odsetek nasion nienormalnie skiełkowanych.

Najwięcej nasion kiełkujących nienormalnie bez względu na odmiany stwierdzono w przypadku zastosowania podłoża, którego $\text{pH} = 5,0$ (11,0%), istotnie mniej na podłożu, którego pH było obojętne (8,8%), zaś najmniej na podłożu o $\text{pH} = 6,5$ (7%). Odsetek nasion kiełkujących nienormalnie uzyskanych na podłożu o $\text{pH} = 6,0$ był porównywany statystycznie do otrzymanego przy $\text{pH} = 6,5$ (tab. 4).

Przeprowadzona analiza wykazała, że odsetek nasion poszczególnych odmian kiełkujących nienormalnie kształtował się odmiennie w zależności od pH. U odmiany Abelina najwięcej takich nasion zaobserwowano w przypadku, gdy podłoże charakteryzowało się pH w zakresie od 5,0 do 5,5 (odpowiednio 9% i 7,0%), mniej przy odczynie obojętnym (5%), zaś najmniej przy pH w zakresie od 6,0 do 6,5 (odpowiednio 5,0% i 4%). Najwięcej tego typu nasion u odmiany Merlin otrzymano na podłożu o pH z zakresu od 5,0 do 5,5. Na podłożu o pH w zakresie od 6,0 do 7,0 liczba nasion kiełkujących nienormalnie była porównywalna. Z kolei u odmiany SG Anser najwięcej takich nasion stwierdzono na podłożu obojętnym oraz o pH w zakresie od 5,0 do 5,5, najmniej zaś na podłożu o $\text{pH} = 6,5$.

Analiza statystyczna nie wykazała wpływu odczynu podłoża i odmiany na liczbę nasion zdrowych niekiełku-



Średnie oznaczone różnymi literami (a, b) różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$
Means followed by different letters (a, b) differ significantly at $p \leq 0.05$

Rys. 1. Procent nasion zdrowych niekiełkujących w zależności od odmiany i lat
Fig. 1. Percentage of non-germinated seeds depending on variety and years

Tabela 4. Odsetek nasion kiełkujących nienormalnie w zależności od odmiany i pH [%]**Table 4.** Percentage of abnormal seedlings depending on the cultivar and pH [%]

pH	Odmiany – Cultivars			Średnie dla pH Mean for pH
	Abelina	Merlin	SG Anser	
5,0	9,0 a	12,0 a	12,0 a	11,0 A
5,5	7,0 a	10,0 ab	12,0 a	10,0 AB
6,0	5,0 bc	8,0 b	10,0 ab	8,0 CD
6,5	4,0 c	8,0 b	8,0 b	7,0 D
7,0	5,0 b	9,0 b	13,0 a	9,0 BC
Średnie dla odmian Mean for cultivars	6,0 c	9,0 b	11,0 a	–

Średnie dla lat oznaczone różnymi literami (A, B) różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Means for years followed by different letters (A, B) differ significantly at $p \leq 0,05$

Średnie oznaczone różnymi literami (a, b, c) dla odmian w poszczególnych latach oraz odmian różnią się istotnie przy $p \leq 0,05$

Means for cultivar and cultivar depending for pH followed by different letters (a, b, c) differ significantly at $p \leq 0,05$

jących. Ich odsetek istotnie zależał natomiast od sezonów wegetacyjnych, w których nasiona były zbierane. Więcej zaobserwowano takich nasion w 2018 niż w 2017 roku.

Procent nasion zdrowych niekiełkujących u poszczególnych odmian kształtował się odmiennie w zależności od sezonu wegetacyjnego na co wskazuje istotność interakcji odmiana \times lata (rys. 1). Ich odsetek u odmiany Abelina był taki sam w 2017 i 2018 roku. U pozostałych odmian większy odsetek nasion zdrowych niekiełkujących pochodził z doświadczenia prowadzonego w 2018 roku. Różnica

w liczbie niewykiełkowanych nasion w latach może wynikać z aktywności metabolicznej nasion świadczącej o ich spoczynku. Spoczynek nasion jest kontrolowany przez czynniki zewnętrzne oraz wewnętrzne – genetyczne i hormonalne (Gniazdowska i wsp. 2013). Nasiona spoczynkowe charakteryzują się wysokim stężeniem ABA, który jak już wspomniano wcześniej jest inhibitorem kiełkowania, a jego zwiększona zawartość przedłuża spoczynek i opóźnia kiełkowanie nasion.

Wnioski / Conclusions

1. Najwyższą zdolnością kiełkowania odznaczały się nasiona odmiany Abelina, istotnie mniejszą Merlin, a najmniejszą SG Anser. Z doświadczenia przeprowadzonego w 2017 roku uzyskano więcej nasion normalnie skielkowanych niż z pochodzących z 2018 roku.
2. Nasiona badanych odmian soi najlepiej kiełkowały (92%) po zastosowaniu podłoża o pH = 6,0 i 6,5, a zdolność kiełkowania nasion przy pH = 5,5 oraz przy odczytanie obojętnym była porównywalna.
3. Nasiona kiełkujące nienormalnie bez względu na odmianę najczęściej występowały w przypadku podłoża o pH = 5,0 i 5,5, a najmniej przy pH = 6,5. Najwięcej takich nasion zanotowano u odmiany SG Anser, mniej Merlin, a najmniej Abelina.
4. Procent nasion zdrowych niekiełkujących badanych odmian soi kształtował się odmiennie w zależności od sezonu wegetacyjnego z którego pochodziły nasiona. Więcej takich nasion odmiany SG Anser i Merlin zaobserwowano w 2018 roku, a u odmiany Abelina nie stwierdzono takiej zależności.

Literatura / References

- Amin C., Brinis L. 2013. Effect of seed size on germination and establishment of vigorous seedlings in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Advances in Environmental Biology* 7 (1): 77–81.
- Chen H., Zhang J., Neff M.M., Hong S.-W., Zhang H., Deng X.-W., Xiong L. 2008. Integration of light and abscisic acid signaling during seed germination and early seedling development. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (11): 4495–4500. DOI: 10.1073/pnas.0710778105
- Dąbrowska B., Pokojka H., Suchorska-Tropiło K. 2000. *Metody laboratoryjnej oceny materiału siewnego*. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa, 112 ss.
- Deska J., Jankowski K., Bombik A., Jankowska J. 2011. Effect of growing medium pH on germination and initial development of some grassland plants. [Wpływ pH pożywki na kiełkowanie i początkowy rozwój wybranych roślin użytków zielonych]. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura* 10 (4): 45–56.
- Domoradzki M., Korpala W., Weiner W. 2002. Badania kalibracji nasion warzyw. [Study on sowing seeds of vegetable crops]. *Inżynieria Rolnicza* 9 (42): 75–82.
- Drechsel G., Raab S., Hoth S. 2010. Arabidopsis zinc-finger protein 2 is a negative regulator of ABA signaling during seed germination. *Journal of Plant Physiology* 167 (16): 1418–1421. DOI: 10.1016/j.jplph.2010.05.010
- Faligowska A., Bartos-Spychała M., Panasiewicz K. 2012. Wpływ okresu przechowywania na wartość siewną i wigor zaprawionych nasion łubinu wąskolistnego. [The effect of storage period on sowing value and vigor of narrow-leaved lupin dressed seed]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 52 (4): 1151–1155. DOI: 10.14199/ppp-2012-198
- Faligowska A., Panasiewicz K., Szymańska G., Bartos-Spychała M. 2013. Jakość siewna nasion łubinu żółtego w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych. [The seeds quality of yellow lupine depending on selected agrotechnical factors]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 53 (2): 293–296. DOI: 10.14199/ppp-2013-086

- Faligowska A., Panasiewicz K., Szymańska G., Szukała J., Koziara W. 2018. Wpływ sposobu i gęstości siewu na produktywność i jakość nasion łubinu białego. Część II. Wartość siewna i wigor nasion. *Fragmenta Agronomica* 35 (3): 47–54. DOI: 10.26374/fa.2018.35.28
- Faligowska A., Szukała J. 2012. Wpływ deszczowania i systemów uprawy roli na wigor i wartość siewną nasion łubinu żółtego. [Influence of sprinkling irrigation and soil tillage systems on vigour and sowing value of yellow lupine seeds]. *Nauka Przyroda Technologie* 6 (2): #26.
- Filipek T., Skowrońska M. 2009. Optymalizacja odczynu gleby i gospodarki składnikami pokarmowymi w rolnictwie polskim. [Optimization of soil reaction and nutrient management in Polish agriculture]. *Postępy Nauk Rolniczych* 61 (1): 25–37.
- Filipek T., Skowrońska M. 2013. Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. [Current dominant causes and effects of acidification of soils under agricultural use in Poland]. *Acta Agrophysica* 20 (2): 283–294.
- Finkelstein R., Reeves W., Ariizumi T., Steber C. 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology* 59: 387–415. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740
- Ghassemi-Golezani K., Hosseinzadeh-Mahootchy A. 2009. Changes in seed vigour of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars during development and maturity. *Seed Science and Technology* 37 (3): 713–720. DOI: 10.15258/sst.2009.37.3.18
- Gniazdowska A., Budnicka K., Krasuska U. 2013. Regulacja spoczynku i kiełkowania nasion – czynniki endogenne i oddziaływania środowiskowe. s. 25–38. W: *Różnorodność biologiczna – od komórki do ekosystemu. Rośliny i grzyby w zmieniających się warunkach środowiska* (I. Ciereszko, A. Bajguz, red.). Polskie Towarzystwo Botaniczne, Oddział w Białymstoku, 333 ss. ISBN 978-83-62069-37-8.
- Hojjat S.S. 2011. Effects of seed size on germination and seedling growth of some Lentil genotypes (*Lens culinaris* Medik.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 3 (1): 1–5.
- Kucera B., Cohn M.A., Leubner-Metzger G. 2005. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research* 15 (4): 281–307. DOI: 10.1079/SSR2005218
- Kurasiak-Popowska D., Szukała J. 2007. Effect of tillage systems, microelement foliar fertilization and harvest methods on the germinability and vigor of narrow-leaf lupin seeds. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 10 (4): #27.
- Kurasiak-Popowska D., Szukała J. 2008. Wpływ systemów uprawy roli, dolistnego nawożenia mikroelementami i sposobów zbioru na kształtowanie zdolności kiełkowania i wigoru nasion łubinu żółtego odmiany Parys. [Effect of tillage systems, foliar microelement fertilization and harvest methods on seed germination capacity and vigor of yellow lupine variety Parys]. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura* 7 (2): 51–67.
- Kurasiak-Popowska D., Szukała J., Mystek A. 2003. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych na wigor nasion łubinu żółtego i wąskolistnego. [The influence of some agricultural factors on vigour of yellow and narrow-leaved lupin seeds]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 495: 179–190.
- Martyniuk S. 2012. Naukowe i praktyczne aspekty symbiozy roślin strączkowych z bakteriami brodawkowymi. [Scientific and practical aspects of legumes symbiosis with root-nodule bacteria]. *Polish Journal of Agronomy* 9: 17–22.
- Maryam D., Oskouie B. 2011. Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor. *Journal of Agricultural and Biological Science* 6 (7): 60–64.
- Mut Z., Akay H. 2010. Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16 (4): 459–467.
- Nik S.M.M., Tilebeni H.G., Zeinali E., Tavassoli A. 2011. Effects of seed ageing on heterotrophic seedling growth in cotton. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 10 (4): 653–657.
- Nonogaki H., Bassel G.W., Bewley J.D. 2010. Germination – still a mystery. *Plant Science* 179 (6): 574–581. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.02.010
- Nowak A. 2011. Nasiona soi zwyczajnej – cenny surowiec dietetyczny i leczniczy. [Soybean (*Glycine max* L. Merr.) – important dietary and medical ingredient]. *Kosmos Problemy Nauk Biologicznych* 60 (1–2): 179–187.
- Prusiński J. 2000. Połowa zdolność wschodów roślin strączkowych. Cz. I. Wpływ agrotechniki oraz warunków dojrzewania i zbioru plantacji nasiennych na wartość siewną nasion. *Fragmenta Agronomica* 17 (4): 70–83.
- Qing-fang L., Tian-rong X., Cheng-cang M. 2003. Effect of pH value on wheat seed germination and seedlings growth and metabolism. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* 2: 185–187.
- Rogalska-Niedźwiedz M. 2000. Białko sojowe. *Debate* 2: 121–132.
- Rymuza K., Radzka E., Cała J., Cała P., Bombik A. 2019. Effect of selected microbiological products on soybean seed germination capacity. *Acta Agrophysica* 26 (1): 5–13. DOI: 10.31515/aagr/105098
- Sadeghi H., Khazaei F., Sheidaei S., Yari L. 2011. Effect of seed size on seed germination behavior of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science* 6 (4): 5–8.
- Sosnowski S. 2006. Przyczyny powstawania uszkodzeń mechanicznych nasion fasoli podczas zbioru. *Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie* 1 (130), 65 ss.
- Suthipradit S., Alva A.K. 1986. Aluminum and pH limitations for germination and radicle growth of soybean. *Journal of Plant Nutrition* 9 (1): 67–73. DOI: 10.1080/01904168609363424
- Trętowski J., Wójcik A.R. 1991. *Metodyka doświadczeń rolniczych*. Wyższa Szkoła Rolniczo-Pedagogiczna, Siedlce, 538 ss.
- Uguru M.I., Oyiga B.C., Jandong E.A. 2012. Responses of some soybean genotypes to different soil pH regimes in two planting seasons. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology* 6 (1): 26–37.
- Wacławowicz R., Zimny L. 2020. Materiał siewny i siew. Cz. 4. s. 411–412. W: *Uprawa roślin*. Tom I (A. Kotecki, red.). Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- Yang S.S., Bellogi'n R.A., Buendi'a-Clavera A.M., Camacho M., Chen M., Cubo T., Daza A., Dı'az C.L., Espuny M.R., Gutie'rrez R., Harteveld M., Li X.H., Lyra M.C.C.P., Madinabeitia N., Medina C., Miao L., Ollero F.J., Olsthoorn M.M.A., Rodri'guez D.N., Santamarı'a C., Schlaman H.R.M., Spaink H.P., Temprano F., Thomas-Oates J.E., van Brussel A.A.N., Vinardell J.M., Xie F., Yang J., Zhang H.Y., Zhen J., Zhou J., Ruiz-Sainz J.E. 2001. Effect of pH and soybean cultivars on the quantitative analyses of soybean rhizobia populations. *Journal of Biotechnology* 91: 243–255.