

Ocena przydatności mikroorganizmów i krzemu do zaprawiania ziarna pszenicy z przeznaczeniem dla rolnictwa ekologicznego

Usefulness of microorganisms and silicon for the treatment of wheat seeds in organic farming

Joanna Krzymińska*

Streszczenie

Do głównych patogenów pszenicy należy *Fusarium* spp. Grzyb ten przyczynia się do poważnych strat w plonie, jak również często stanowi przyczynę znacznego pogorszenia jakości materiału siewnego. W zapobieganiu chorobom fuzaryjnym najważniejszy jest zdrowy materiał siewny oraz właściwe zaprawianie – najskuteczniejsza i najłatwiejsza metoda ochrony roślin. Niestety w rolnictwie ekologicznym dobór odpowiednich substancji jest ograniczony przez zakaz stosowania zapraw chemicznych. Celem badań była ocena wybranych, dostępnych produktów handlowych zawierających konsorcjum mikroorganizmów oraz krzem. Wykorzystano ziarno pszenicy jarej, odmiany Arabella. Oceniono kiełkowanie ziarna, zdrowotność siewek oraz ich rozwój. Zastosowanie zaprawy Panoramix wpłynęło negatywnie na zdolność kiełkowania ziarna. Zarówno zaprawianie mikrobiologiczne, jak i krzemem zwiększyło wysokość źdźbła oraz ograniczyło porażenie roślin w porównaniu do niezaprawionej kontroli. Dla testowanych zapraw zgodnych z wymaganiami rolnictwa ekologicznego uzyskano wyniki porównywalne z zaprawą chemiczną.

Słowa kluczowe: *Fusarium*, pszenica, zaprawianie, rolnictwo ekologiczne, krzem, mikroorganizmy

Summary

Fusarium spp. as one of the main pathogens of wheat contributes to yield loss and is carried with the plant material. To prevent *Fusarium* caused diseases, healthy seed material and proper seed treatment are essential. Unfortunately, in the organic farming the selection of appropriate substances is limited due to a ban on chemical seed treatment. The aim of the study was to evaluate the available commercial products containing a consortium of microorganisms and silicon. Spring wheat grain of the Arabella cultivar was used. The germination of grain, the health of seedlings and their development were assessed. Panoramix seed treatment had a negative effect on the germination capacity of the grain. Both the microbiological and silicon treatments increased the ear weight, the height of the stalk and reduced the infestation of the plants compared to the untreated control group. For the tested treatments, compliant with the requirements of organic farming, the obtained results were comparable to the chemical treatment.

Key words: *Fusarium*, wheat, seed treatment, organic farming, silicon, microorganisms

Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy

Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań

*corresponding author: j.krzyminska@iorpib.poznan.pl

ORCID: 0000-0002-6257-9850

Wstęp / Introduction

Obecnie ponad jedna trzecia powierzchni lądowej Ziemi przeznaczona jest pod uprawę roślin (FAOSTAT 2020). Rolnictwo musi zapewnić wystarczającą ilość pożywienia, przy jednoczesnym zminimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Intensywne systemy rolnictwa, choć charakteryzujące się wysoką wydajnością, negatywnie przyczyniają się do utraty bioróżnorodności, zanieczyszczenia środowiska oraz degradacji gleb. Z drugiej strony w przypadku upraw w systemie rolnictwa ekologicznego, cechującego się pozytywnym wpływem na środowisko, można obawiać się niższego plonu oraz problemów z ochroną przed chorobami i szkodnikami roślin związanych z ograniczonym zakresem środków ochrony dozwolonych do stosowania. Rolnictwo ekologiczne to system bardzo wymagający, gdzie istotnym problemem jest konieczność rezygnacji z przemysłowych środków produkcji, takich jak pestycydy czy nawozy sztuczne (Casagrande i wsp. 2016).

Jednocześnie w społeczeństwie wzrasta zapotrzebowanie na produkty spożywcze produkowane w sposób ekologiczny. Produkty ekologiczne są uznawane za bezpieczniejsze, a sposób ich produkcji za lepszy dla zmian klimatycznych, środowiska naturalnego czy dobrostanu zwierząt (Funk i Kennedy 2016; Seufert i wsp. 2017). Również w Polsce rynek produktów ekologicznych wzrasta – zwiększa się świadomość konsumentów oraz dostępność produktów ekologicznych (Makała 2019).

Jedną z barier, jakie istnieją w rolnictwie ekologicznym jest konieczność zaprawiania nasion przed siewem. Wpływ licznych patogenów, zarówno na samych nasionach, jak i w glebie, powoduje słabsze wschody, zamieranie siewek, co skutkuje mniejszą obsadą i w konsekwencji niższym plonem. Poszukiwanie alternatywnych metod ochrony nasion jest koniecznością. Substancjami, które mogą być brane pod uwagę są między innymi mikroorganizmy oraz substancje podstawowe (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego 2009), takie jak cynamon (Kowalska i wsp. 2020c), krzem czy mąka z gorczycy (Kowalska i wsp. 2021). Mikroorganizmy, takie jak bakterie wspomagające wzrost i rozwój roślin czy grzyby mikoryzy arbuskularnej są obiecującą alternatywą dla zapraw chemicznych (Ma 2019) i z powodzeniem były testowane w badaniach światowych (Arkhipova i wsp. 2019; Raja i wsp. 2019; Vassilev i wsp. 2020). Krzem wspomaga wzrost roślin, przyczynia się do zwiększenia plonu (Dorais i Thériault 2017; Patil i wsp. 2017; Kowalska i wsp. 2020b; Mastalerczuk i wsp. 2020), a także zwiększa odporność roślin na stres abiotyczny i takie czynniki, jak temperatura, susza (Askarnejad i wsp. 2019; Kowalska i wsp. 2020a), nadmierne zasolenie (Zhu i wsp. 2004; Romero-Aranda i wsp. 2006; Zhang i wsp. 2019; Gou i wsp. 2020) czy obecność metali ciężkich (Rizwan i wsp. 2015; Huang i wsp. 2019).

Celem badań była ocena przydatności jednych z dostępnych komercyjnie biopreparatów zawierających kon-

sortum mikroorganizmów oraz krzem w celu ograniczania objawów powodowanych przez *Fusarium graminearum*, ocena zdolności kiełkowania oraz wybranych parametrów pszenicy jarej.

Materiały i metody / Materials and methods

Do doświadczeń wybrano pszenicę jarą odmiany Arabella. Do zaprawiania ziarna zastosowano preparat Panoramix (Koppert Biological Systems) zawierający grzyby mikoryzowe i *Trichoderma* spp. oraz bakterie *Bacillus* spp. oraz łącznie preparaty ZumSil i AdeSil (Perma Guard Agro) otrzymywane z naturalnej, amorficznej ziemi okrzemkowej i zawierające monomery i dimery kwasu ortokrzemowego. Czynnikiem doświadczenia stanowił rodzaj zaprawy na jednym poziomie (stężenie zaprawy). Zaprawianie przeprowadzono w proporcjach według zaleceń producentów: preparat Panoramix 4 ml na 1 kg ziarna, preparat ZumSil w stężeniu 1% 0,5 l na 100 kg ziarna oraz preparat AdeSil 0,5 kg na 100 kg ziarna. Zaprawiano na mokro mocząc nasiona (po około 500 nasion dla każdej kombinacji dla pierwszego doświadczenia oraz około 100 nasion dla każdej kombinacji w pojedynczej serii dla drugiego doświadczenia) przez godzinę w cieczy roboczej, a następnie przez 24 godziny osuszano na ręczniku papierowym w temperaturze pokojowej (21°C).

Przeprowadzono dwa doświadczenia w naturalnych warunkach oświetlenia, w temperaturze 21°C, a rośliny nawadniano raz dziennie. W pierwszym doświadczeniu oceniono wpływ zaprawiania na energię kiełkowania i zdolność kiełkowania. W drugim doświadczeniu oceniono wpływ zaprawiania na zdrowotność roślin oraz ich rozwój w warunkach porażenia przez *F. graminearum* (Bank Patogenów Roślin IOR – PIB 2172).

W pierwszym doświadczeniu wysiano po 400 ziaren pszenicy w skrzynkach o wielkości 30 × 35 cm, w układzie losowanych bloków, w podłożu uniwersalnym do roślin zielonych. Ziarna wysiewano w ośmiu rzędach, po 50 ziaren. Dwa rzędy, czyli 100 ziaren stanowiło jedno powtórzenie. Dla każdej kombinacji zastosowano cztery powtórzenia. Ziarno wysiewano na głębokość 0,5–0,7 cm. Kontrolę stanowiło ziarno niezaprawiane i zaprawione chemicznie (zaprawa Vitavax 200 FS, substancje czynne karboksyna i tiuram). Po 4 dniach oceniano energię kiełkowania, a po 8 dniach oceniano zdolność kiełkowania poprzez obliczenie skiełkowanych roślin (na podstawie międzynarodowych przepisów ISTA 2016–2018).

Kolejne doświadczenie przeprowadzono w trzech identycznych seriach w układzie bloków losowanych. Każda seria obejmowała trzy powtórzenia dla każdej kombinacji doświadczalnej. Jedna doniczka stanowiła jedno powtórzenie. Prezentowane wyniki stanowią średnią dla trzech serii.

W warunkach szklarniowych w wazonach o średnicy 25 cm wypełnionych ziemią zakażoną *F. graminearum* (metodyka zakażenia gleby według Leslie i Summerell 2008) wysiano po 10 ziaren pszenicy na głębokość 0,5–0,7 cm. Kontrolę stanowiło ziarno niezaprawiane i ziarno zaprawione chemicznie (zaprawa jak w poprzednim doświadczeniu).

Po ośmiu tygodniach oceniono liczbę roślin w doniczce, średnią długość źdźbła (cm) oraz procent porażenia szyjek korzeniowych przez *F. graminearum* (Normes OEPP 2004). W celu potwierdzenia zakażenia dokonano reizolacji. Dla określenia cech biometrycznych rośliny oraz porażenia, delikatnie usuwano je z wazonów, oceniano procent porażonych roślin, odcinano część nadziemną rośliny oraz mierzone je.

Wartości liczbowe poddano analizie statystycznej (test t-Studenta na poziomie $p < 0,05$ za pomocą Microsoft Excel 2003).

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

W doświadczeniu pierwszym z roślinami wysianymi w niezakażoną ziemię, zarówno zaprawa chemiczna, jak i obydwie badane środki wpłynęły negatywnie na energię kiełkowania po czterech dniach od wysiewu. Jednakże po ośmiu dniach obniżoną zdolność kiełkowania stwierdzono jedynie w kombinacji, w której do zaprawiania nasion zastosowano zaprawę chemiczną. W przypadku roślin zaprawianych środkiem Panoramix zdolność kiełkowania nie została obniżona. Podobne wyniki osiągnęli Bicakci i wsp. (2018) w doświadczeniu z zaprawianiem nasion lucerny siewnej przy użyciu tego środka. W powyższym doświadczeniu szklarniowym zastosowane stężenia 2 i 4 litrów na 1 kg nasion zwiększyły zdolność kiełkowania z 35,8% dla kontroli do odpowiednio 36,7% oraz 39,2%, jednak różnica ta nie była istotna statystycznie. W kolejnym doświadczeniu szklarniowym z lucerną siewną zastosowanie zaprawy Panoramix zwiększyło zdolność kiełkowania z 58% w przypadku niezaprawianej kontroli do około 60% przy dawce zaprawy 2 i 4 l na 1 kg nasion (Bicakci i wsp. 2020). Przy zaprawianiu kompleksem szczepów *Bacillus* spp. również osiągnięto podobne wyniki (Amna i wsp. 2019). Xue i wsp. (2017) odnotowali wyższą zdolność kiełkowania ziarna pszenicy o 10,9% w porównaniu do kontroli po zastosowaniu zaprawy opartej o 22 szczepy gatunków *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum* i *Trichoderma citrinoviride*.

W przeprowadzonym badaniu zaprawy na bazie ziemi okrzemkowej również nie obniżyły zdolności kiełkowania w stosunku do niezaprawianej kontroli (tab. 1). Podobnie do osiągniętych wyników Anilina i wsp. (2020) stwierdzili wzrost zdolności kiełkowania ziarna pszenicy jarej z 19 do 27% po zastosowaniu mikronawozu zawierającego związki krzemu.

Na obiektach, w których zastosowano glebę zakażoną *F. graminearum*, liczba roślin w doniczce była najwyższa przy zastosowaniu zaprawy chemicznej. Stwierdzono nie-

liczne wypadki wynikające z infekcji grzybiczej. W przypadku zastosowania zapraw na bazie krzemu liczba ta była również istotnie wyższa od obiektów kontrolnych, niezaprawianych. W kombinacji z zaprawą Panoramix, liczba roślin w doniczce nie różniła się od niezaprawianej kontroli. Najkrótsze źdźbła stwierdzono w przypadku niezaprawianej kontroli i zaprawy Panoramix, natomiast rośliny zaprawiane zaprawą chemiczną oraz ZumSil i AdeSil były istotnie dłuższe (tab. 2). Podobny wynik w doświadczeniu z użyciem zaprawy Panoramix osiągnęli Kthiri i wsp. (2020). Choć zaprawa zwiększyła ogólną biomasa roślin pszenicy (z 1,96 g dla niezaprawianej kontroli do 2,36 g), to długość źdźbła zaprawianych roślin była taka sama, jak dla niezaprawianej kontroli (9,77 cm). Natomiast Huang i wsp. (2019) odnotowali wydłużenie części nadziemnej pszenicy z 9 do 18% po zaprawianiu *Trichoderma longibrachiatum*. Wzrost biomasy roślin przy zaprawianiu z wykorzystaniem poszczególnych składników preparatu Panoramix został odnotowany również przez innych autorów. Hansen (2020) po zastosowaniu kompleksu *Bacillus* spp. stwierdził wzrost biomasy i rozkrzewienia pszenicy ozimej, natomiast Oljira i wsp. (2019) odnotowali pozytywny wpływ na biomasa pszenicy zarówno poprzez zaprawianie *Trichoderma yunnanense*, *Trichoderma afroharzianum* oraz *Bacillus licheniformis*. Kowalska i wsp. (2018) zaobserwowali pozytywny wpływ biopreparatów ZumSil oraz AdeSil na wielkość plonu pszenicy jarej w warunkach polowych. Corozo Quiñonez i wsp. (2020) stwierdzili zwiększenie wysokości roślin cebuli po zastosowaniu preparatu ZumSil z 15,06 cm dla kontroli do 23,18 cm. Plonotwórczy wpływ krzemu został potwierdzony również w badaniach prowadzonych na świecie. Sandhya i wsp. (2018) w badaniach wazonowych zauważyli wzrost biomasy oraz plonu roślin ryżu przy zastosowaniu ziemi okrzemkowej. Korzystny wpływ na plon ziarna ryżu przy jednoczesnym zwiększeniu zawartości krzemu w liściach od 40 do 60% osiągnęli również Seebold i wsp. (2000). Amirkhani i wsp. (2016) odnotowali korzystny wpływ na zdolność kiełkowania i wzrost siewek brokułu po otoczkowaniu ich mieszaniną posiadającą w składzie ziemię okrzemkową oraz mąkę sojową i włókna celulozowe. W doświadczeniu wykazano wzrost świeżej i suchej masy roślin, a także zwiększoną długość pędów i korzeni siewek roślin. Franco i Damian (2016) potwierdzili natomiast korzystny wpływ stosowania preparatu ZumSil na wysokość roślin kukurydzy.

Zastosowanie zarówno środka Panoramix, jak i ZumSil oraz AdeSil efektywnie zabezpieczyło podstawę źdźbła roślin przed porażeniem przez *F. graminearum*, porównywalnie z zaprawą chemiczną (tab. 3). Antagonistyczny efekt *Bacillus* spp., jak i *Trichoderma* spp. wobec grzybów z rodzaju *Fusarium* będących składowymi preparatu Panoramix znajduje potwierdzenie w literaturze światowej. Zaila-Kolsi i wsp. (2016) stwierdzili znaczącą redukcję objawów porażenia na trzydziestodniowych roślinach pszenicy durum w warunkach szklarniowych. Redukcję porażenia

Tabela 1. Wpływ rodzaju zaprawiania na energię (po 4 dniach) oraz zdolność kiełkowania (po 8 dniach) pszenicy jarej odmiany Arabella
Table 1. The impact of seed treatment on germination energy (after 4 days) and germination capacity (after 8 days) on spring wheat (Arabella cultivar)

Kombinacja Combination	Niezaprawiana kontrola Untreated control	Kontrola zaprawiana chemicznie Chemical treatment	Panoramix	ZumSil/AdeSil
Energia kiełkowania Germination energy [%]	69,75 a	14,5 b	10 b	27 b
Zdolność kiełkowania Germination capacity [%]	84,75 a	72,25 b	84,25 a	87,5 a

Wartości w rzędach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$
The values in the rows marked with the same letter do not differ significantly at $p = 0.05$

Tabela 2. Wpływ rodzaju zaprawy na cechy biometryczne pszenicy jarej odmiany Arabella
Table 2. The impact of seed treatment on spring wheat (Arabella cultivar) parameters

Kombinacja Combination	Niezaprawiana kontrola Untreated control	Kontrola zaprawiana chemicznie Chemical treatment	Panoramix	ZumSil/AdeSil
Liczba roślin na 10 The amount of plants (of 10)	5,67 c	9,00 a	7,00 bc	7,67 b
Długość źdźbła The length of the blade [cm]	28,69 c	37,83 a	28,02 c	32,11 b

Wartości w rzędach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$
The values in the rows marked with the same letter do not differ significantly at $p = 0.05$

Tabela 3. Wpływ rodzaju zaprawy na porażenie podstawy źdźbła pszenicy jarej odmiany Arabella przez *Fusarium graminearum*
Table 3. The impact of seed treatment on root collar infection by *Fusarium graminearum* on spring wheat (Arabella cultivar)

Kombinacja Combination	Niezaprawiana kontrola Untreated control	Kontrola zaprawiana chemicznie Chemical treatment	Panoramix	ZumSil/AdeSil
% porażonych roślin % of infected plants	16,67 a	0 b	2,33 b	0,67 b

Wartości w rzędach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$
The values in the rows marked with the same letter do not differ significantly at $p = 0.05$

pszenicy przez tego patogena odnotowali także Palazzini i wsp. (2016) w warunkach polowych po zastosowaniu *Bacillus subtilis* RC 218. Spadek porażenia wyniósł od 42 do 76%. Cantoro i wsp. (2020) potwierdzili natomiast hamującą aktywność *Bacillus velezensis* wobec *F. graminearum* na pszenicy. Xue i wsp. (2017) potwierdzili antagonistyczne działanie *Trichoderma* spp. i redukcję porażenia korzeni o 51,7%. Narmani i wsp. (2019) badając komercyjnie dostępne oraz lokalne szczepy *Trichoderma* spp. również stwierdzili znaczący spadek porażenia roślin pszenicy przy jednoczesnym wzroście ich masy oraz masy ziarna. Również antagonistyczny wpływ krzemu został potwierdzony w badaniach Whan i wsp. (2016) wobec *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* na dwóch odmianach bawełny kosmatej (*Gossypium hirsutum* L.). W badaniach Yobo i wsp. (2019) granulowany krzemian potasu zredukował w warunkach szklarniowych porażenie pszenicy przez *F. graminearum* o 49% po 12 dniach po zabiegu. W doświadczeniu Huang i wsp. (2011) zastosowanie krzemu zmniejszyło po-

rażenie przez *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* na pomidorze, a Fortunato i wsp. (2012) odnotowali to na bananowcu przez *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

Wnioski / Conclusions

1. Zaprawianie ziarna pszenicy zarówno biopreparatem Panoramix, jak i ZumSil oraz AdeSil pomimo początkowego negatywnego wpływu na energię kiełkowania nie zmniejszyło zdolności kiełkowania.
2. Rośliny pochodzące z ziarna zaprawianego preparatami ZumSil oraz AdeSil były wyraźnie wyższe.
3. Zastosowanie preparatów Panoramix, ZumSil oraz AdeSil do zaprawiania ziarna pszenicy jarej skutecznie ochroniło podstawę źdźbła rośliny przed porażeniem przez *F. graminearum* na poziomie porównywalnym z zaprawą chemiczną.

Literatura / References

- Amirkhani M., Netravali A.N., Huang W., Taylor A.G. 2016. Investigation of soy protein-based biostimulant seed coating for broccoli seedling and plant growth enhancement. *HortScience* 51 (9): 1121–1126. DOI: 10.21273/HORTSCI10913-16
- Amna, Din B.U., Sarfraz S., Xia Y., Kamran M.A., Javed M.T., Sultan T., Munis M.F.H., Chaudhary H.J. 2019. Mechanistic elucidation of germination potential and growth of wheat inoculated with exopolysaccharide and ACC-deaminase producing *Bacillus* strains under induced salinity stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 183: 109466. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109466
- Anikina L.M., Udalova O.P., Panova G.G. 2020. Effect of pre-sowing treatment of spring wheat seeds with silicon-containing chelate microfertilizer on the growth and development of seedlings. *Sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy razvitiya agrarnoy nauki*: 15–17. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-2
- Arkhipova T., Galimsyanova N., Kuzmina L., Vysotskaya L., Sidorova L., Gabbasova I., Melentiev A., Kudoyarova G. 2019. Effect of seed bacterization with plant growth-promoting bacteria on wheat productivity and phosphorus mobility in the rhizosphere. *Plant, Soil and Environment* 65 (6): 313–319. DOI: 10.17221/752/2018-PSE
- Askarnejad M., Sodaeizadeh H., Arani A.M., Buicki R.Y., Mavandi P. 2019. Effect of silicone on increasing drought tolerance of *Stevia rebaudiana* Bertoni under moisture stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12 (3): 847–863. DOI: 10.22077/ESCS.2019.1559.1349
- Bicakci T., Aksu E., Arslan M. 2018. Effect of seed coating on germination, emergence and early seedling growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.) under salinity conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 27 (10): 6978–6984.
- Bicakci T., Aksu E., Arslan M. 2020. Determination of germination characteristics of covered alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds in drought stress conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* 17 (2): 124–136. DOI: 10.33462/jotaf.520836
- Cantoro R., Palazzini J.M., Yerkovich N., Miralles D.J., Chulze S.N. 2020. *Bacillus velezensis* RC 218 as a biocontrol agent against *Fusarium graminearum*: effect on penetration, growth and TRI5 expression in wheat spikes. *BioControl* 66: 259–270. DOI: 10.1007/s10526-020-10062-7
- Casagrande M., Peigné J., Payet V., Mäder P., Sans F.X., Blanco-Moreno J.M., Antichi D., Barberi P., Beeckman A., Bigongiali F., Cooper J., Dierauer H., Gascoyne K., Grosse M., Hess J., Kranzler A., Luik A., Peetsmann E., Surböck A., Koen W., David C. 2016. Organic farmers' motivations and challenges for adopting conservation agriculture in Europe. *Organic Agriculture* 6 (4): 281–295. DOI: 10.1007/s13165-015-0136-0
- Corozo Quiñonez L., Arteaga Alcívar F.J., Cuenca Cuenca E.W., Salas Macías C.A., Delgado Demera M.M., Montes Escobar K., Monteros-Altamirano Á., Macías Ponce F.C. 2020. Effect of organic and chemical fertilization on the onion crop (*Allium cepa* L.). *Journal of Central European Agriculture* 21 (3): 522–530. DOI: 10.5513/JCEA01/21.3.2900
- Dorais M., Thériault M. 2017. Beneficial effects of using silicon for organic greenhouse cucumber. s. 443–448. W: International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant Factory, 1227 ss. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1227.55
- FAOSTAT 2020. Food and agriculture organization of the united nations. FAOSTAT online database. www.fao.org/faostat/en/#data/EL/visualize [dostęp: 17.12.2020].
- Fortunato A.A., Rodrigues F.Á., do Nascimento K.J.T. 2012. Physiological and biochemical aspects of the resistance of banana plants to *Fusarium* wilt potentiated by silicon. *Phytopathology* 102 (10): 957–966. DOI: 10.1094/PHYTO-02-12-0037-R
- Franco J., Damian E. 2016. Evaluación de dosis y fuentes de silicio líquido aplicado foliarmente en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo de Titulación para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil, 48 ss.
- Funk C., Kennedy B. 2016. The new food fights: U.S. public divides over food science. PewResearchCenter. Internet, Science & Tech, 13 ss. <http://www.pewinternet.org/2016/12/01/thenewfoodfights/>
- Gou T., Chen X., Han R., Liu J., Zhu Y., Gong H. 2020. Silicon can improve seed germination and ameliorate oxidative damage of bud seedlings in cucumber under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 42: 12. DOI: 10.1007/s11738-019-3007-6
- Hansen V. 2020. Seed inoculation with *Penicillium bilaiae* and *Bacillus simplex* affects the nutrient status of winter wheat. *Biology and Fertility of Soils* 56 (1): 97–109.
- Huang H., Rizwan M., Li M., Song F., Zhou S., He X., Ding R., Dai Z., Yuan Y., Cao M., Xiong S., Tu S. 2019. Comparative efficacy of organic and inorganic silicon fertilizers on antioxidant response, Cd/Pb accumulation and health risk assessment in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Pollution* 255 (1): 113146. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113146
- Huang C.-H., Roberts P.D., Datnoff L.E. 2011. Silicon suppresses *Fusarium* crown and root rot of tomato. *Journal of Phytopathology* 159 (7–8): 546–554. DOI: 10.1111/j.1439-0434.2011.01803.x
- Kowalska J., Jakubowska M., Nowaczyk R. 2018. The effect of silicon application on growth of spring wheat under organic farming. [Wpływ stosowania krzemu na wzrost pszenicy jarej w systemie rolnictwa ekologicznego]. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 63 (3): 20–23.
- Kowalska J., Tyburski J., Bocianowski J., Krzywińska J., Matysiak K. 2020a. Methods of silicon application on organic spring wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *vulgare*) cultivars grown across two contrasting precipitation years. *Agronomy* 10 (11): 1655. DOI: 10.3390/agronomy10111655
- Kowalska J., Tyburski J., Jakubowska M., Krzywińska J. 2020b. Effect of different forms of silicon on growth of spring wheat cultivated in organic farming system. *Silikon* 13: 211–217. DOI: 10.1007/s12633-020-00414-4
- Kowalska J., Tyburski J., Krzywińska J., Jakubowska M. 2020c. Cinnamon powder: an *in vitro* and *in vivo* evaluation of antifungal and plant growth promoting activity. *European Journal of Plant Pathology* 156 (1): 237–243. DOI: 10.1007/s10658-019-01882-0
- Kowalska J., Tyburski J., Krzywińska J., Jakubowska M. 2021. Effects of seed treatment with mustard meal in control of *Fusarium culmorum* Sacc. and the growth of common wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*). *European Journal of Plant Pathology* 159 (2): 327–338. DOI: 10.1007/s10658-020-02165-9
- Kthiri Z., Jabeur M.B., Omri N., Hamada W. 2020. Effect of coating seeds with *Trichoderma harzianum* (S. INAT) on the oxidative stress induced by *Fusarium culmorum* in durum wheat. *Journal of New Sciences* 77 (5): 4523–4532.

- Leslie J.F., Summerell B.A. 2008. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing, John Wiley and Sons, 388 ss. ISBN 978-0-813-81919-8.
- Ma Y. 2019. Seed coating with beneficial microorganisms for precision agriculture. *Biotechnology Advances* 37 (7): 107423. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2019.107423
- Makała H. 2019. Żywność ekologiczna i czynniki jej wyboru przez konsumentów. [Organic food and factors of its choice by consumers]. *Zeszyty Naukowe. Turystyka i Rekreacja* 1 (23): 151–166.
- Mastalerczuk G., Borawska-Jarmułowicz B., Dąbrowski P., Szara E., Perzanowska A., Wróbel B. 2020. Can the application the silicon improve the productivity and nutritional value of grass-clover sward in conditions of rainfall shortage in organic management? *Agronomy* 10 (7): 1007. DOI: 10.3390/agronomy10071007
- Narmani A., Arzanlou M., Babaiahari A., Masteri Farahani H. 2019. Biological control of wheat *Fusarium* head blight using antagonistic strains of commercial and local *Trichoderma*, isolated from wheat plant rhizosphere. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 8 (2): 1–20.
- Normes OEPP 2004. EPP Standards. *Bulletin OEPP EPP Bulletin* 34 (1): 1–3. DOI: 10.1111/j.1365-2338.2004.00690.x
- Oljira A.M., Hussain T., Waghmode T.R., Zhao H., Sun H., Liu X., Wang X., Liu B. 2020. *Trichoderma* enhances net photosynthesis, water use efficiency, and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Microorganisms* 8 (10): 1565. DOI: 10.3390/microorganisms8101565
- Palazzini J.M., Alberione E., Torres A., Donat C., Köhl J., Chulze S. 2016. Biological control of *Fusarium graminearum sensu stricto*, causal agent of *Fusarium* head blight of wheat, using formulated antagonists under field conditions in Argentina. *Biological Control* 94: 56–61. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2015.12.009
- Patil H., Tank R.V., Manoli P. 2017. Significance of silicon in fruit crops – A review. *Plant Archives* 17 (2): 769–774.
- Przepisy ISTA 2016–2018. Polska wersja wydania. Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików.
- Raja K., Anandham R., Sivasubramaniam K. 2019. Infusing microbial consortia for enhancing seed germination and vigour in pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *Current Science* 117 (12): 2052–2058. DOI: 10.18520/cs/v117/i12/2052-2058
- Rizwan M., Ali S., Ibrahim M., Farid M., Adrees M., Bharwana S.A., Zia-ur-Rehman M., Qayyum M.F., Abbas F. 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (20): 15416–15431. DOI: 10.1007/s11356-015-5305-x
- Romero-Aranda M.R., Jurado O., Cuartero J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163 (8): 847–855. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.05.010
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywę Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG. <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/?uri=celex%3A32009R1107> [dostęp: 10.02.2021].
- Sandhya K., Prakash N.B., Meunier J.D. 2018. Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18 (2): 344–360. DOI: 10.4067/S0718-95162018005001201
- Seebold K.W., Datnoff L.E., Correa-Victoria F.J., Kucharek T.A., Snyder G.H. 2000. Effect of silicon rate and host resistance on blast, scald, and yield of upland rice. *Plant Disease* 84 (8): 871–876. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.8.871
- Seufert V., Ramankutty N., Mayerhofer T. 2017. What is this thing called organic? – How organic farming is codified in regulations. *Food Policy* 68: 10–20. DOI: 10.1016/j.foodpol.2016.12.009
- Vassilev N., Vassileva M., Martos V., del Moral L.F.G., Kowalska J., Tylkowski B., Malusá E. 2020. Formulation of microbial inoculants by encapsulation in natural polysaccharides: focus on beneficial properties of carrier additives and derivatives. *Frontiers in Plant Science* 11: 270. DOI: 10.3389/fpls.2020.00270
- Whan J.A., Dann E.K., Aitken E.A.B. 2016. Effects of silicon treatment and inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* on cellular defences in root tissues of two cotton cultivars. *Annals of Botany* 118 (2): 219–226. DOI: 10.1093/aob/mcw095
- Xue A.G., Guo W., Chen Y., Siddiqui I., Marchand G., Liu J., Ren C. 2017. Effect of seed treatment with novel strains of *Trichoderma* spp. on establishment and yield of spring wheat. *Crop Protection* 96: 97–102. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.02.003
- Yobo K.S., Mngadi Z.N.C., Laing M.D. 2019. Efficacy of two potassium silicate formulations and two *Trichoderma* strains on *Fusarium* head blight of wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 89 (1): 185–190. DOI: 10.1007/s40011-017-0935-z
- Zalila-Kolsi I., Mahmoud A.B., Ali H., Sellami S., Nasfi Z., Tounsi S., Jamoussi K. 2016. Antagonist effects of *Bacillus* spp. strains against *Fusarium graminearum* for protection of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*). *Microbiological Research* 192: 148–158. DOI: 10.1016/j.micres.2016.06.012
- Zhang S., Xu B., Gan Y. 2019. Seed treatment with *Trichoderma longibrachiatum* T6 promotes wheat seedling growth under NaCl stress through activating the enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense systems. *International Journal of Molecular Sciences* 20 (15): 3729. DOI: 10.3390/ijms20153729
- Zhu Z., Wei G., Li J., Qian Q., Yu J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science* 167 (3): 527–533. DOI: 10.1016/j.plantsci.2004.04.020