

Wpływ stymulacji zmiennym polem magnetycznym nasion pszenicy o różnym przeznaczeniu technologicznym

Streszczenie. Celem pracy było określenie reakcji nasion pszenicy (*Triticum aestivum* L.) o różnym przeznaczeniu technologicznym na zmienne pole magnetyczne. W doświadczeniu wykorzystano stanowisko z układem RC OSCILLATOR TYPE G502 generującym sygnały sinusoidalne i prostokątne o częstotliwościach w zakresie 0-100 Hz. Stosowano wielkość indukcji magnetycznej pola: 10, 40 i 70 mT oraz czas ekspozycji nasion: 10, 600 i 1800 s. Wykazano istotny wpływ zmiennego pola magnetycznego na niektóre parametry ontogenetycznych roślin.

Abstract. The aim of the study was to determine the reaction of wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds for various technological purposes to a variable magnetic field. In the experiment, a stand with the RC OSCILLATOR TYPE G502 system generating sinusoidal and square signals with frequencies in the range of 0-100 Hz was used. The magnitude of the magnetic field induction was used: 10, 40 and 70 mT and the seed exposure time: 10, 600 and 1800 s. A significant influence of the alternating magnetic field on some ontogenetic parameters of plants was demonstrated. (**Effect of stimulation with variable magnetic field of wheat seeds for various technological purposes**).

Słowa kluczowe: pole magnetyczne, nasiona, pszenica.

Keywords: magnetic field, seeds, wheat.

Wstęp

Pole magnetyczne definiowane jest jako stan przestrzeni, w której siły działają zarówno na poruszające się ładunki elektryczne jak i na ciała mające moment magnetyczny, niezależnie od ich ruchu. Ładunki elektryczne poruszające się ruchem zmiennym generują zmienne pola magnetyczne czego efektem są fale elektromagnetyczne (zjawiska opisane przez reguły Biota-Savarta, Ampère'a, Herza oraz równania Maxwella). Fale elektromagnetyczne, będące efektem zaburzeń pola elektrycznego i magnetycznego, propagują się w postaci drgań prostopadłe do ich kierunku - jednocześnie przenoszą energię (wektor Poyntinga) i wchodzą w reakcję z otoczeniem. Promieniowanie elektromagnetyczne może być pochłaniane przez ośrodek, w którym rozchodzą się fale - co jest uzależnione m.in. od rodzaju ośrodka i długości fali (miarą zdolności pochłaniania jest współczynnik absorpcji). Opisane powyżej zjawisko było przesłanką do zastosowania tej metody fizycznej w stymulacji materiału siewnego w celu podniesienia jego wigoru [1-3].

Zwiększenie wartości siewnej nasion najczęściej uzyskuje się poprzez ich chemiczne uszlachetnianie (zaprawianie, regulatory lub aktywatory wzrostu, etc.). Alternatywą dla agrotechnicznych metod chemicznych mogą być metody fizyczne [4-6]. Fizyczne sposoby (głównie oparte o działanie pól elektromagnetycznych) modyfikacji cech roślin uprawnych w aspekcie ich wzrostu, rozwoju i plonowania czy zastosowań gospodarczych są tematem aktualnym [7-9]. Pszenica (*Triticum aestivum* L.) była już przedmiotem badań w aspekcie jej reakcji na pole magnetyczne o różnych wartościach indukcji: Hirota i in. [10] - wykazano wpływ pola magnetycznego (10 T) na geotaksję roślin oraz (50 mT) na zawartość białka (wzrost o 8% w stosunku do próby kontrolnej), Waleed i in. [11] i Hussein i in. [12] (50 mT) na wzrost korzenia nasiona, Balakhnina i in. [13] na wzrost potencjału przeciwutleniającego roślin (30 mT, 50 Hz, 30 s), Pietruszewski i in. [14] na plonowanie a Yi-ping i in. [15] na akumulację metali ciężkich (Pb i Cd) w biomase roślin. W przytoczonych wyżej doświadczeniach badano najczęściej jedną odmianę roślin oraz stosowano różne czasy ekspozycji przy jednej wartości indukcji magnetycznej - co w swojej pracy podnosi Nyakane i in. [16], jednocześnie wskazując na problem interpretacji tak uzyskanych wyników badań.

Pszenica (*Triticum* L.) jest rodzajem zboża z rodziny wiechlinowatych (*Poaceae*). Roślina ta, zaraz po ryżu i kukurydzy, jest najpowszechniej uprawianym zbożem na całym świecie. Z punktu widzenia gospodarczego odmiany pszenicy, przeznaczonej do spożycia, dzieli się na pięć grup technologicznych: elitarna (E), jakościowa (A), chlebowa (B), na ciastka (K) oraz paszowa lub inna (C). Wymienione wyżej grupy technologiczne różnią się między sobą wymaganiami jakie stawiane są ziarnu w zakresie m. in.: liczby opadania, zawartości białka, wskaźnika sedymentacji, wodochłonności i wydajności mąki, rozmięczenia i energii ciasta oraz objętości chleba czy pracy odkształcenia. Bez względu na przyporządkowanie pszenicy do kategorii technologicznej od każdej odmiany wymaga się stabilności plonowania i wysokiego potencjału plonotwórczego w zmiennych warunkach środowiskowych (interakcja genotypowo-środowiskowa). Zarówno stabilność plonowania jak i potencjał plonotwórczy warunkowane są przebiegiem pierwszej fazy okresu wegetacji rośliny, ponieważ po wysiewie nasion pszenicy do gleby rozwijają się źdźbła kłosońskie oraz system korzeniowy. W fazie tej, przed tworzeniem korzeni przybyszowych, roślina korzysta z substancji zapasowych ziarniaka [17-21].

W dostępnej literaturze tematu nie znaleziono informacji (lub informacje te są pobieżne) na temat wpływu pola magnetycznego na nasiona pszenicy przeznaczone do różnych zastosowań technologicznych. Cel pracy sformułowano jako badanie reakcji nasion pszenicy (*Triticum aestivum* L.) o różnym przeznaczeniu technologicznym na zmienne pole magnetyczne.

Materiał i metody

Doświadczenie realizowano w latach 2020-2021 w warunkach laboratoryjnych. Nasiona pszenicy będące w pełnej fazie dojrzałości technicznej traktowano zmiennym polem magnetycznym. Stosowano kolejne wielkości indukcji magnetycznej pola: 10, 40 i 70 mT oraz czas ekspozycji nasion: 10, 600 i 1800 s. Doświadczenie wykonano w 3 powtórzeniach (powtórzenia 1 i 2 w roku 2020 a 3 w roku 2021) w układzie całkowicie zrandomizowanym. Liczebność pojedynczej kombinacji doświadczenia wynosiła 300 nasion i obejmowała 3 replikacje (3 szalki Petriego po 100 nasion każda). Każdą kombinację eksperymentu oznaczano (kodowano) wg algorytmu: nr powtórzenia - nr replikacji - odmiana - wielkość indukcji - czas ekspozycji.

Doświadczenie obejmowało udział kombinacji kontrolnej (oznaczonej jako K).

Obiektem badań były ziarniki jarej pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.) odmian Bombona, Arabella i Harenda różniące się przeznaczeniem technologicznym (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka odmian pszenicy wykorzystanych w doświadczeniu

Odmiana	Kategoria technologiczna	Masa 1000 ziaren [g]*	Wyrównanie ziarna [%] >2.5 mm w %**
Bombona	elitarna chlebowa (E)	40.2	90
Arabella	jakościowa chlebowa (A)	38.9	79
Harenda	chlebowa (B)	41.4	81

*Określenie masy 1000 nasion zgodnie z metodyką przyjętą przez ISTA, PN-68/R-74017, **zgodnie z Normą Branżową (BN-69/9131-02).

Stanowisko do ekspozycji nasion w polu magnetycznym

Stanowisko do ekspozycji w polu magnetycznym przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do stymulacji ziarniaków zmiennym polem magnetycznym

Stanowisko zasilano układem RC OSCILLATOR TYPE G502 generującym sygnały sinusoidalne i prostokątne o częstotliwościach w zakresie 0-100 Hz. Układ posiadał możliwość regulacji napięcia wyjściowego w przedziale 0-5 V. Sygnał generatora zasiliał wzmacniacz mocy pasma akustycznego typu M.2600 o mocy 2000 W. Korpus cewki elektrycznej (karkas) wykonano z materiału elektroizolacyjnego o grubości 2 mm. Uzwojenia cewki posiadały cieczowy system chłodzenia. Z badań Dróżdża [21] wynika, że dla częstotliwości 50 Hz do uzyskania indukcji 50 mT prąd płynący przez cewkę wynosi 3,5 A przy napięciu 80 V a moc tracona w cewce to 250 W. Zasadniczym elementem stanowiska był solenoid o długości 100 mm, średnicy wewnętrznej 50 mm i indukcji do 70 mT posiadający trzy niezależne uzwojenia pozwalające na uzyskanie założonych parametrów pola elektromagnetycznego. Stanowisko pomiarowe wyposażono w miernik SMS z sondą hallotronową kontrolującą natężenie pola magnetycznego we wnętrzu solenoidu [21].

Obliczenie dawki ekspozycyjnej

Parametrem obrazującym powiązanie indukcji magnetycznej z czasem ekspozycji w polu magnetycznym jest dawka ekspozycyjna (wzory 1 i 2). Parametr ten pozwala na wzajemne porównanie badanych kombinacji doświadczenia.

$$(1) \quad D = \frac{10^7}{4\pi} B^2 \cdot t_e [J \cdot m^{-3}]$$

$$(2) \quad B = \frac{\mu_0 n I}{L} [T]$$

gdzie: D – dawka ekspozycyjna [$J \cdot m^{-3}$], B - indukcja magnetyczna w solenoidzie [T], t_e - czas ekspozycji [s], μ_0 –

przenikalność magnetyczna próżni, n - liczba zwojów solenoidu, I - prąd zasilający solenoid [A], L - długość solenoidu [m].

Zastosowaną wielkość indukcji magnetycznej pola oraz czasu ekspozycji nasion w poszczególnych kombinacjach doświadczenia wyrażono poprzez ekwiwalent dawki ekspozycyjnej (D), zgodnie ze zależnością (1):

- indukcja 10 mT + założony czas ekspozycji; D w zakresie $4,8-143,2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$

- indukcja 40 mT + założony czas ekspozycji; D w zakresie $19,1-572,8 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$

- indukcja 70 mT + założony czas ekspozycji; D w zakresie $33,4-1002,4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$

Ekspozycja nasion w polu magnetycznym

Nasiona umieszczano w szklanej probówce o średnicy zewnętrznej 20 mm. Tak przygotowaną probówkę umieszczano we wnętrzu solenoidu (rdzeń cewki generującej pole magnetyczne) w jego osi symetrii. Z doświadczeń realizowanych przez Dróżdża [21] wynika, że zastosowanie próbki o średnicy zewnętrznej nie większej niż $\frac{1}{2}$ średnicy wewnętrznej cewki pozwala uzyskać jednorodne natężenia pola w całej objętości próbki z nierównomiernością poniżej 5%.

Przygotowanie nasion do kiełkowania

Bezpośrednio po ekspozycji nasion w polu magnetycznym sytuowano je na bibule w szalkach Petriego ($\varphi=100 \text{ mm}$) pełniących rolę kiełkownika. Określono masę kiełkowników z bibułą a następnie kiełkowników z bibułą i nasionami. Bibułę zwilżano wodą destylowaną stosując jednakowe dawki nawadniające dla wszystkich replikacji. Tak przygotowane kiełkowniki pozostawiono bez dostępu światła na okres 24 godzin w temperaturze 22°C a następnie nasiona podkiełkowano przy udziale światła dziennego w temperaturze $20-22^\circ\text{C}$ przez 5 dób (łączy okres wegetacji roślin trwał 6 dób).

Badanie wzrostu siewki

Badaniami objęto pierwszą fazę rozwoju pszenicy (wzrost siewki) w okresach, w których pierwszy liść przebija się przez koleoptyl oraz pełnego wykształcenia pierwszego liścia. W doświadczeniu badano kolejne parametry roślin:

- liczbę nasion aktywnie kiełkujących - zgodnie z PN-R-65950:1994 oraz standardami ISTA,

- całkowitą (wraz z korzeniem) długość wyrosłej siewki - suwmiarka DIN 862 +/- 0,03 mm + jednostka rejestrująca pomiar,

- przyrost świeżej biomasy roślin – laboratoryjna waga precyzyjna o dokładności pomiaru 0.01 g (wyrażano w % jako iloraz masy roślin wyrosłych z nasion eksponowanych w polu magnetycznym do kombinacji stanowiącej próbę kontrolną, przyjmowano $K=100\%$).

Liczbę nasion aktywnie kiełkujących oraz biomasę roślin określano przy kroku pomiarowym 24 godziny a długość wyrosłej siewki badano w 6 dniu wegetacji roślin (w trakcie likwidacji doświadczenia). Określając długość siewki losowo pobierano do badania z każdej replikacji po 30 roślin (90 roślin dla każdej kombinacji).

W oparciu o wzór 3 wyznaczono wskaźnik kiełkowania (W_k) określający wartość siewną nasion rzeżuchy oraz graficznie zobrazowano, w oparciu o wzór (4), przebieg tego procesu.

$$(3) \quad W_k = \frac{N_t}{N_0}$$

gdzie: N_t – liczba wykiełkowanych nasion w czasie t , N_0 - liczba wykiełkowanych nasion w próbie kontrolnej w czasie t .

$$(4) \quad N_t = \frac{N_k}{1 + (N_k - 1) \exp(-\alpha N_k (t - t_0))}$$

gdzie: N_k – końcowa liczba wykiełkowanych nasion (%), N_t – liczba wykiełkowanych nasion po danym czasie t (%), α – współczynnik szybkości kiełkowania, t_0 – czas pierwszego wykiełkowanego nasiona (h).

Statystyczna analiza wyników badań

Analizę statystyczną uzyskanych wyników badań (długości siewki) wykonano w programie *STATISTICA 13.3* na założonym poziomie istotności $\alpha=0,05$. W wyodrębnionych źródłach zmienności szacowano komponenty wariancji według modelu mieszanego, w którym odmiana, czas ekspozycji i wartość indukcji magnetycznej (wraz z próbą kontrolną) przyjęto jako czynniki stałe, a replikacje i powtórzenia doświadczenia stanowiły czynnik losowy. Normalność rozkładu w próbach określano testem Kołmogorowa-Smirnowa a jednorodność wariancji testem Levene'a. Istotność różnic badano wykorzystując analizę wariancji z testem *F-Snedecora*. Stosowano test post-hoc Tukeya (HSD, procedura Spjotvolla i Stolinea) dla prób o różnych liczebnościach (założono możliwy brak równoliczności w próbach w końcowej fazie doświadczenia).

Wyniki i dyskusja

Wszystkie kombinacje doświadczenia, w odniesieniu do próby kontrolnej, cechowały się wyższą zdolnością kiełkowania. We wszystkich powtórzeniach z udziałem nasion pszenicy odmiany Harenda, zmienne pole magnetyczne o indukcji 10 T i czasie ekspozycji 1800 s ($143,2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$), wpływało na najwyższą (98%) liczbę nasion aktywnie kiełkujących (rys. 3).



Początkowa faza doświadczenia (pierwsza doba)



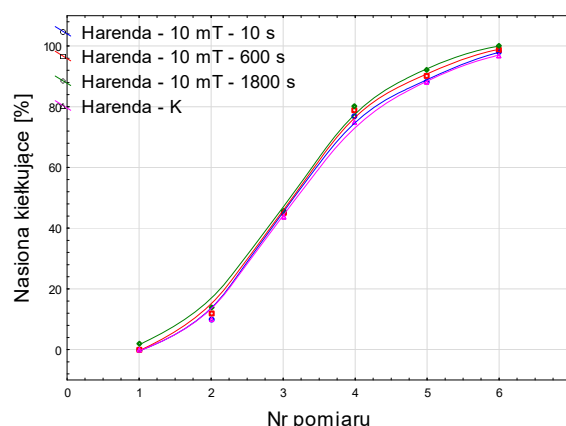
Czwarta doba doświadczenia



a) b)

Szósta doba doświadczenia: a) kombinacja cechująca się najwyższym wskaźnikiem kiełkowania i największym przyrostem biomasy w odniesieniu do pozostałych kombinacji i próby kontrolnej (b).

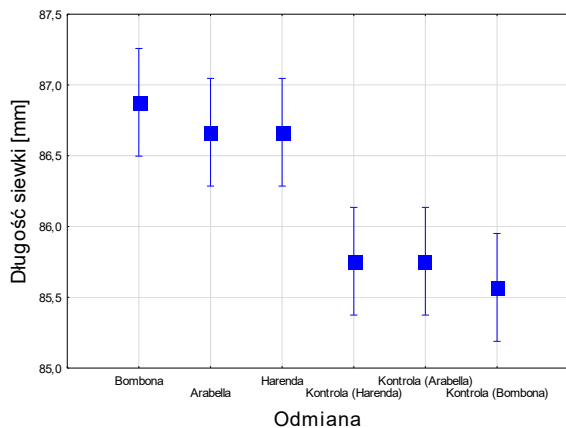
Rys. 2. Przebieg doświadczenia – wybrane kombinacje eksperymentu (przykład dla jednego powtórzenia, odmiana Harenda)



Rys. 3. Zdolności kiełkowania nasion pszenicy odmiany Harenda poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego (średnia dla powtórzeń 1-3)

Analiza statystyczna wyników badań wykazała, w odniesieniu do prób kontrolnych, istotny wpływ zmiennej grupującej wyrażonej jako interakcja indukcji pola magnetycznego i czasu jego ekspozycji ($143,2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$) na całkowitą długość siewki (wartość testu *F-Snedecora* = 3,116, poziom prawdopodobieństwa testowego $p = 0,001$). Efekt taki stwierdzono w obrębie wszystkich przyjętych w doświadczeniu odmian pszenicy wyrosłych z ziarniaków poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego o wartości indukcji 10 mT przez czas 1800 s (rys. 4). Rośliny pszenicy odmian Bombona, Arabella i Harenda cechowały się siewkami dłuższymi od przynależnych im prób kontrolnych o odpowiednio: 1,49, 1,15 i 1,04 [%] (uśredniono dla wszystkich powtórzeń).

Zbadana wielkość przyrostu masy roślin pszenicy nie pozwoliła na jednoznaczne wskazanie różnic w tym procesie z uwzględnieniem zastosowanego czynnika fizycznego (pola magnetycznego). Efektem spodziewanym, we wszystkich kombinacjach doświadczenia, był wzrost biomasy w kolejnych krokach pomiarowych. Nie odnotowano jednak, aby zastosowane zmienne pole magnetyczne jednoznacznie przyczyniało się do większego przyrostu obserwowanej masy roślin - w odniesieniu do prób kontrolnych (i kolejnych kroków pomiarowych). Najlepszy efekt działania zmiennego pola magnetycznego na przyrost biomasy uzyskano dla roślin pszenicy odmiany Harenda odnotowany w 2 i 3 powtórzeniu w kombinacjach 10 mT – 1800 s ($143,2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$).



Rys. 4. Wpływ zmiennego pola magnetycznego (kombinacja: 10 mT – 1800 s) na całkowitą długość siewki pszenicy (średnia dla powtórzeń 1-3)

Tabela 2. Przyrost masy roślin pszenicy odmiany Harenda wyrosłych z ziarniaków poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego 10 mT przez czas 1800 s (K=100%)

Nr powtórzeń	Nr pomiaru, przyrost biomasy [%]					
	1	2	3	4	5	6
2	6	3	4	4	2	2
3	8	4	4	4	1	2

W pracy Nyakane i in. [16] przedstawiono przegląd badań dotyczących wpływu pól magnetycznych na rośliny (oraz możliwych mechanizmów reakcji tych roślin na tę ekspozycję) objawiającą się zmianami w ich niektórych procesach ontogenetycznych. Wynik przeprowadzonego doświadczenia wskazuje, że zmienne pole magnetyczne może modyfikować procesy życiowe rośliny. Możliwość modyfikacji procesów życiowych wynika z faktu, że białka roślinne zawierają paramagnetyczne jony metali (hemoglobina, cytochrom, ferrytyna, etc.) [23,24]. Przyczyn pozytywnych zmian, powodowanych działaniem pola magnetycznego, w zakresie badanych parametrów wzrostu i rozwoju pszenicy upatrywać należy, zdaniem autorów, w aktywacji enzymów na skutek dostarczonej energii co w efekcie wpływa na tempo reakcji biochemicznych rośliny. Pogląd taki byłby zgodny z teorią, w której założono, że pole magnetyczne wpływa na strukturę błon komórkowych rośliny powodując zwiększoną przyswajalność wody, stymuluje aktywność białek [25] oraz aktywuje fitohormony (ekwiwalenty kwasu gibberelinowego, kwas indolo-3-octowy i zeatyna trans) [26]. Niewątpliwie pole magnetyczne posiada również działanie destrukcyjne na organizmy żywe. W przypadku przeprowadzonego doświadczenia uwzględnić należy również obecność wolnych rodników (atomy lub cząsteczki, posiadające wolne niesparowane elektrony), gdyż jedną z egzogennych przyczyn ich powstawania są właśnie pola magnetyczne. Jeśli procesy biochemiczne zachodzą z udziałem wolnych rodników to efektem może być stres oksydacyjny. Obecność stresu oksydacyjnego uruchamia w roślinie reakcje obronne (antyoksydacyjny system obronny) umożliwiające usuwanie reaktywnych form tlenu (system wychwytyjący RFT) [27, 28]. Powyższe nie zmienia faktu, że reaktywne formy tlenu (np. anionorodnik nadadtlenkowy (O_2^-), tlen singletowy (1O_2), nadtlenek wodoru (H_2O_2) czy rodnik hydroksylowy (OH^*)) są substancjami standardowo uczestniczącymi w metabolizmie roślin regulując jej procesy fizjologiczne (geotropizm, działanie fitohormonów, reakcje odpornościowe roślin, wzrost i rozwój) [29-31]. Podnieść należy, że do podobnych konkluzji doszedł Sobol i in. [32] badając reakcję roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) na naświetlanie ultrafioletem.

Podsumowanie

Przeprowadzone doświadczenie wskazuje, że zmienne pole magnetyczne może modyfikować procesy związane ze wzrostem i rozwojem roślin pszenicy. Dodatkowo wykazano, że reakcja badanych roślin na zastosowany w doświadczeniu czynnik fizyczny (jak w przypadku długości siewki, gdzie najlepszy efekt uzyskano stosując dawkę $143,2 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$) może być uzależniona od odmiany pszenicy.

Uzyskane wyniki mogą stanowić przesłankę do kontynuowania badań w tym kierunku z uwzględnieniem nie tylko innych parametrów pracy solenoidu, ale i cech fizycznych mąki (półproduktu) uzyskiwanej z ziaren pszenicy poddanej działaniu pola magnetycznego.

Autorzy: PhD, Tomasz Jakubowski, University of Agriculture in Krakow, Faculty of Production and Power Engineering, Balicka 116 B str., 30-149 Krakow, E-mail: tomasz.jakubowski@urk.edu.pl.; PhD Serhiy Syrotyuk, Lviv National Agrarian University, Department of Energy, V. Velykogo str., Dubliany-Lviv, 80381, E-mail: ssyr@ukr.net.; Prof. Vasyl Lopushniak, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Henerala Rodimtseva str.19, Kyiv, Ukraine 03041, E-mail: lopushniak@i.ua, Prof. dr Atilgan Atilgan, Alanya Alaaddin Keykubat University, E-mail: atilganatilgan01@gmail.com.

LITERATURA

- [1] Jakubowski T., Wpływ stymulacji sadzeniaków (*Solanum tuberosum* L.) w polu magnetycznym na wybrane parametry vegetacji roślin ziemniaka, *Przegląd Elektrotechniczny*, 96 (2020), nr 1, 166-169
- [2] Sunita K., Lokesh B., Meeta J., Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18 (2019), 101090
- [3] Krawczyk A., Korzeniewska E., Kontrowersje wokół skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego na obiekty biologiczne w świetle postnormalnej nauki, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12, (2020), 243-245
- [4] Baghel, S. Kataria, K.N. Guruprasad L. Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress, *Photosynthetica*, 56 (2018), 718-730
- [5] Hozayn M., EL-Mahdy Amal A., Zalama M.T., Magneto-priming for improving germination, seedling attributes and field performance of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress, *Middle East J. Agric. Research*, 7 (2018), nr 3, 1006-1022
- [6] Donetskikh V.I., Upadyshev M.T., Selivanov V.G., An innovative device for exposing plants to a stationary, traveling and rotating pulsed magnetic field, *Machinery and Equipment for Rural Areas*, 7 (2018), nr 253, 32-37
- [7] Iqbal M. A., Imtiaz H., Muzammil H. S., Essa A., Zahoor A., Probing profitability of irrigated and rainfed bread wheat (*Triticum aestivum* L.) crops under foliage applied sorghum and moringa extracts in Pakistan, *Custos e-Agronegocio*, 14, (2018), nr 2, 2-16
- [8] Golshani F., Asgharipour M.R., Electromagnetic application for stimulation of wheat seed germination and early seedling growth, *Int. J. Biosci.*, 5 (2014), nr 6, 148-155
- [9] Radkowski A., Radkowska I., Lemek T., Effect of zinc ammonium acetate on characteristics of timothy canopy and seed yield, *Ecological Chemistry and Engineering*, 26 (2019), nr 4, 797-806
- [10] Hirota N., Nakagawa J., Kitazawa K., Effects of a magnetic field on the germination of plants, *Journal of Applied Physics*, 85, (1999), 5717
- [11] Waleed A., Riyadh A., Hussein F. Effect of magnetic field on seed germination of *Triticum aestivum*, *World Journal of Agricultural Sciences*, 1 (2013), nr 5, 168-171
- [12] Hussein F., Reyad A., Waleed A., Effect of magnetic field on seed germination of wheat, *Walailak Journal of Science and Technology*, 9 (2012), 341-345
- [13] Balakhnina T., Bulak P., Nosalewicz M., Pietruszewski S., Włodarczyk T., The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination seedling growth and antioxidant potential under optimal soil

- watering and flooding, *Acta Physiol Plant.*, 37, (2015), nr 59, 544
- [14] Pietruszewski S., Kania K., Effect of magnetic field on germination and yield of wheat, *International Agrophysics*, 24, (2010), nr. 3, 297-302
- [15] Yi-ping C., Dong C., Qiang L., Exposure to a magnetic field or laser radiation ameliorates effects of Pb and Cd on physiology and growth of young wheat seedlings, *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, 169, (2017), 171-177
- [16] Nyakane N., Markus E. Sedibe M., The effects of magnetic fields on plants growth: a comprehensive review, *International Journal of Food Engineering*, 5, (2019), nr 1, 79-87
- [17] Wójcik-Gront E., Variables influencing yield-scaled global warming potential and yield of winter wheat production, *Field Crops Res.*, 227, (2018), 19-29
- [18] Paderewski J., Rodrigues P.C., Constrained AMMI model: Application to polish winter wheat post-registration data, *Crop Sci.*, 58, (2018), 1458-1469
- [19] Rozbicki J., Gozdowski D., Studnicki M., i in., Management intensity effects on grain yield and its quality traits of winter wheat cultivars in different environments in Poland, *Biotechnology*, 22, (2019), nr 1, 30825
- [20] Findura P., Hara P., Szparaga A., Kocira S., Czerwińska E., Bartoš P., Nowak J., Treder K., Evaluation of the effects of allelopathic aqueous plant extracts, as potential preparations for seed dressing, on the modulation of cauliflower seed germination, *Agriculture*, 10, (2020), nr 4, 122
- [21] Kowalczyk Z., Kwaśniewski D. Environmental impact of the cultivation of energy willow in Poland, *Scientific Reports*, 11, (2021), nr 1, 4571
- [22] Drózdź T., Bieńkowski P., Kielbasa P., Nawara P., Popardowski E., Stanowisko do stymulacji zróżnicowanym polem elektromagnetycznym substancji biologicznej, *Przegląd Elektrotechniczny*, 97 (2019), nr 3, 66-69
- [23] Hozayn M., Qados A., Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production, *Agric. Biol. J. N. Am.*, 1, (2010), nr 4, 677-682
- [24] Azita S., Ahmad M., Effect of magnetic fields on growth and antioxidant systems in agricultural plants, *PIERS Proceedings*, (2009), 1142-1147
- [25] Radhakrishnan R., Kumari B., Pulsed magnetic field: a contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean, *Plant Physiology and Biochemistry*, 51, (2012), 139-144
- [26] Faten D., Al-Khayri J., Essam H., Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.), *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5, (2009), nr 2, 161-166
- [27] Balabusta M., Szafrńska K., Posmyk M., Exogenous melatonin improves antioxidant defense in cucumber seeds (*Cucumis sativus* L.) germinated under chilling stress, *Front Plant Sci.*, 7 (2016), 575, 1-12
- [28] Hasanuzzaman M., Nahar K., Hossain M., Al Mahmud J., Rahman A., Inafuku M., Oku H., Fujita M., Coordinated actions of glyoxalase and antioxidant defense systems in conferring abiotic stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.*, 18, (2017), nr 1, 200-228
- [29] Biczak R., Pawłowska B., Feder-Kubis J., Growth inhibition and oxidative stress in plants under the influence of chiral imidazolium ionic liquid with tetrafluoroborate anion, *Chem. Environ. Biotechnol.*, 19, (2016), 35-45
- [30] Tuncbilek F., Atilgan A. The effects of usage of colored covering materials in greenhouses on lettuce (*lactuca sativa*) cultivation, *Fresenius Environmental Bulletin*, 29, (2020), nr 2, 864-873
- [31] Senyigit U., Kadayifci A., Ozdemir F. Oz H. Atilgan A. Effects of different irrigation programs on yield and quality parameters of eggplant (*Solanum melongena* L.) under greenhouse conditions, *African journal of biotechnology*, 10 (2011), nr 34, 6497-6503
- [32] Sobol Z., Jakubowski T., Nawara P., Application of the CIE L*a*b* method for the evaluation of the color of fried products from potato tubers exposed to C band ultraviolet light, *Sustainability*, 12, (2020), nr 8, 3487