

WPLYW DUZYCH DAWEK ZMIENNEGO POLA MAGNETYCZNEGO NA KIELKOWANIE NASION PSZENICY TWARDEJ

Krzysztof Kornarzyński, Stanisław Pietruszewski

Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki stymulacji nasion pszenicy twardej zmiennym polem magnetycznym o częstotliwości $f = 50$ Hz na ich kiełkowanie, dla dużych dawek tego pola. Zastosowano indukcje pola magnetycznego o wartości: 1,5; 5; 15; 30; 60 i 90 mT dla czasu oddziaływania jednej godziny, w celu sprawdzenia wpływu długiego czasu stymulacji na kiełkowanie nasion pszenicy. Przeprowadzono modelowanie procesu kiełkowania przy wykorzystaniu krzywej logistycznej. Umożliwiło to wyznaczenie charakterystycznych parametrów kiełkowania nasion oraz wpływu stymulacji polem magnetycznym. Badanie wpływu dużych dawek zmiennego pola magnetycznego na kiełkowanie nasion wybranej odmiany pszenicy twardej wskazuje na ich zróżnicowane oddziaływanie na poszczególne etapy kiełkowania.

Słowa kluczowe: stymulacja magnetyczna nasion, pszenica twarda, krzywa logistyczna

WSTĘP

W celu otrzymania wyższych plonów nasiona przed wysiewem poddaje się oddziaływaniu pól magnetycznych i elektrycznych, naświetla się światłem laserowym oraz poddaje działaniu mikrofal i promieniowania jonizującego.

W badaniach stymulacji magnetycznej nasion pszenicy jarej Pietruszewski stosował zmienne pole magnetyczne o częstotliwości 50 Hz, a następnie ustalił, że najbardziej optymalną dawkę stanowi pole o indukcji 30 mT i czasie oddziaływania 4 i 8 sekund. Nasiona pszenicy jarej, odmiany Jara i Henika, poddane działaniu zmiennego pola magnetycznego [Pietruszewski 1991/1992, 1993], wysiano na poletkach doświadczalnych o wymiarach 1 m × 1 m po 500 sztuk na poletko. Uzyskano pozytywny wynik stymulacji polem magnetycznym w postaci wzrostu plonów o 24% dla 4 s stymulacji i 20% dla 8 s dla Heniki oraz 36% 4s i 25% dla 8 s dla Jarej. Nastąpił również wzrost liczby kłosów i ziaren oraz całkowitej masy ziaren w stosunku do próbki kontrolnej.

W pracach Pietruszewskiego [1998b, 1999b] zastosowano stymulację polem zmiennym dla nasion pszenicy (Henika i Jara) pochodzących z plonów z roku poprzedniego, w celu zbadania występowania jakichkolwiek wpływów następczych. Stwierdzono, że powtórna stymulacja tych nasion obniża plony lub nie powoduje istotnych zmian, podczas gdy ponowne wysianie ziarna z plonów nasion stymulowanych w roku poprzednim powoduje istotny, bo sięgający 25% wzrost dla Heniki i 13,5% dla Jarej. Wpływ przedśiewnej stymulacji zmiennym polem magnetycznym w drugim pokoleniu nasiennym jest negatywny [Pietruszewski 1999b]. Oznacza to, że nie należy stosować stymulacji w kolejnych latach wegetacji, ponieważ wpływa ona negatywnie na wysokość plonów.

W celu sprawdzenia wpływu czasu pomiędzy stymulacją magnetyczną a wysiewem, nasiona pszenicy poddano stymulacji na 3, 6, 10, 13, 17, 20 i 25 dni przed wysiewem na poletkach doświadczalnych [Pietruszewski 1998c]. Nasiona układano równolegle i prostopadle do linii pola magnetycznego. Stwierdzono, że dla czasu 4 s najbardziej odpowiedni okres przed wysiewem zawiera się pomiędzy 3 a 10 dniami, a dla czasu 8 s pomiędzy 10 a 13 dniem. Stwierdzono również, że orientacja (ułożenie prostopadle lub równolegle do linii pola) ziarniaków w polu magnetycznym nie ma wpływu na plony, szybkość kiełkowania nasion i ich skład chemiczny (zawartość białka i glutenu w ziarnie).

Nasiona pszenicy przed poddaniem działaniu zmiennego pola magnetycznego [Pietruszewski 1999a] moczone w wodzie przez 0,5 h oraz 1, 2, 3 h. Mierzono również pobór wody przez stymulowane nasiona. Stwierdzono brak wpływu stymulacji polem magnetycznym na szybkość pobierania wody przez badane nasiona dla zastosowanych pól. Największą zdolność kiełkowania osiągnęły nasiona moczone w wodzie przez 3 h, czyli posiadające najwyższą wilgotność, natomiast nasiona przebywające w wodzie przez 0,5 oraz 1, i 2 h nie różniły się od nasion suchych.

W przypadku prób wazonowych dla pszenicy stosowano dwie dawki zmiennego pola magnetycznego o częstotliwości 50 Hz (45 mT i 60 mT dla 8 s), uzyskując wzrost plonów od 28–37% dla Heniki i 19–21% dla Jarej oraz wzrost zawartości glutenu.

Inne badania przeprowadzono dla nasion pszenicy jarej 'Henika', które poddano stymulacji stałym polem magnetycznym o trzech wartościach indukcji: 50 mT, 400 mT i 1 T dla różnych wilgotności początkowych nasion [Pietruszewski 1999c, Kornarzyński i in. 1999]. Największą szybkość kiełkowania uzyskano dla największej indukcji pola $B = 1 \text{ T}$ i nasion o najwyższej wilgotności początkowej, podobnie jak dla zmiennego pola magnetycznego.

Rochalska stosowała stymulację zmiennym polem magnetycznym o częstotliwości 16 Hz i 50 Hz, indukcji 5 mT i czasie działania 2 h, dla nasion pszenicy jarej odmiany Jota i Sigma, wykorzystując cewkę Helmholtza [Rochalska 2002a]. Stymulowane nasiona, które kiełkowały w warunkach stresowych w temperaturze 5°C, już po trzech dniach kiełkowały o 50% lepiej niż nasiona kontrolne. Uzyskały one o ok. 20% większą zdolność kiełkowania i znaczne, bo wynoszące jeden dzień, skrócenie średniego czasu kiełkowania ziarniaków dla obu częstotliwości pola magnetycznego, gdzie częstotliwość 16 Hz oddziaływała nieco silniej.

W pracy Rochalskiej [2002b] przedstawiono wyniki stymulacji zmiennym polem magnetycznym o częstotliwości 16 Hz i 50 Hz, indukcji 5 mT i czasie działania 2 h nasion pszenicy jarej odmiany Jota i Sigma, które kiełkowały i plonowały w warunkach polo-

wych. Stwierdziła, że zastosowane pola magnetyczne zwiększyły połowę zdolność wschodów nasion, przyspieszyły rozwój roślin i podniosło ich plon. Efekt stymulacji był lepszy dla roślin, które wyrosły z nasion starych o niskich parametrach jakościowych.

Przeprowadzono również badania kiełkowania nasion różnych roślin umieszczonych w stałym i zmiennym polu magnetycznym [Pietruszewski 2001, 2002], uzyskując dla pszenicy największą szybkość kiełkowania dla zmiennego pola o częstotliwości 50 Hz – dla indukcji 35 mT, a dla stałego – dla indukcji 185 mT. Stwierdzono, że pszenica szybciej kiełkuje w stałym polu magnetycznym, uzyskując maksymalną szybkość kiełkowania o prawie 10 h wcześniej niż nasiona kiełkujące w polu zmiennym.

W pracy [Pietruszewski i in. 2001a] nasiona umieszczono w stałym polu magnetycznym, gdzie kiełkowały, dla siedmiu wartości indukcji. Największy wpływ zaobserwowano dla początkowego okresu kiełkowania trwającego ok. 20 h, kiedy słabe pola (25 i 50 mT) i pole najsilniejsze (240 mT) oddziaływały negatywnie na szybkość kiełkowania. Natomiast wpływ pozytywny nastąpił dla pól średnich (150, 185 mT), również w początkowym okresie 20 h trwania procesu.

W przypadku kiełkowania nasion pszenicy Henika umieszczonych w zmiennym polu magnetycznym o częstotliwości 50 Hz [Pietruszewski i in. 2001b], największy wpływ zaobserwowano dla pierwszych 20 h kiełkowania w polu o indukcji 35 i 45 mT.

Przeprowadzono również badania wpływu stałych i zmiennych pól magnetycznych na proces wzrostu kielków pszenicy twardej, gdzie nasiona i siewki kiełkowały, a po uzyskaniu kielka, rosły w polu magnetycznym [Kornarzyński i in. 2004a]. Okazuje się, że negatywny wpływ na szybkość wzrostu kielków posiada stałe pole magnetyczne dla całego zakresu stosowanych indukcji (od 5 do 150 mT) dla siewek i nasion. Najsilniejszy negatywny wpływ uzyskano dla wartości wysokich 100 mT i 150 mT, czyli odwrotnie niż w przypadku kiełkowania w stałym polu i stymulacji stałym polem. Natomiast w przypadku zmiennego pola magnetycznego pozytywny wpływ wystąpił dla indukcji 0,2 mT i 30 mT, zarówno dla nasion, jak i siewek, co oznacza podobne oddziaływanie, jak w przypadku stymulacji i kiełkowania w tym polu.

W związku z tym, że zmienne pole magnetyczne o indukcji 30 mT (częstotliwości 50 Hz) i krótkich czasach oddziaływania (4 i 8 s) wywiera korzystny wpływ na kiełkowanie nasion pszenicy, co wynika z wyżej omówionych badań, przeprowadzono stymulację dziesięciu odmian pszenicy twardej w czasie ekspozycji 30 s, wysiewając nasiona na płytkach Petriego [Kornarzyński i in. 2004b]. Uzyskane wyniki świadczą o wpływie stymulacji na czas początku kiełkowania ziarniaków poszczególnych linii oraz na szybkość kiełkowania w początkowym okresie ok. 20 h trwania tego procesu. Jednakże wpływ stymulacji dla części odmian był negatywny, a dla innych zaobserwowano brak wpływu stymulacji polem.

Badając oddziaływanie pola elektromagnetycznego energetycznej linii przesyłowej 110 kV na plonowanie pszenicy jarej odm. Sigma, Rochalska stwierdziła, że rośliny rosnące pod linią przesyłową były wyższe o ok. 15%, wytworzyły o 7% więcej kłosów dłuższych o 18% zawierających o ok. 119% więcej ziarniaków, dzięki czemu uzyskano wzrost plonów o ok. 128% [Rochalska 2005].

Z zamieszczonego przeglądu literatury wynika, że oddziaływanie stałego i zmiennego pola magnetycznego na nasiona pszenicy jest bardzo zróżnicowane, uzależnione od wielu cech nasion, sposobu i parametrów stymulacji i nie zawsze musi być pozytywne.

Celem pracy było badanie wpływu dużych dawek zmiennego pola magnetycznego o częstotliwości 50 Hz na kiełkowanie nasion pszenicy twardej. Wybór zastosowanych indukcji pola magnetycznego dokonany został na podstawie wcześniej przeprowadzonych i opublikowanych badań stymulacji nasion pszenicy twardej zmiennym polem magnetycznym [Kornarzyński i in. 2004b], ale dla czasu oddziaływania pola równego jednej godzinie.

MATERIAŁ I METODY

Materiał użyty w badaniach stanowiło ziarno jednej z dziesięciu ustalonych morfologicznie linii pszenicy twardej, które zostały wyprowadzone z kombinacji krzyżowań przeprowadzonych w Instytucie Genetyki i Hodowli Roślin AR w Lublinie. Formami matecznymi były krótkosłome odmiany hodowli austriackiej Grandur i Signadur i francuska Primadur, natomiast formy ojcowskie stanowiły dwie linie polskiego pochodzenia: K-5/827 i K-5/770 wyprowadzone z krzyżówek pomiędzy argentyńską odmianą Tagnarog Sel. Buck, algierską odmianą Kahla i rosyjską Kandikane 76/10. Do badań wykorzystano jedynie odmianę nr 3: Signadur (T × K), bezostną, LGR 899/17a (gdzie: (T × K) oznacza Tagnarog Sel. Buck × Kandicans 76/10) [Kornarzyński i in. 2004b]. Wyboru dokonano na podstawie tego, że dawka pola o indukcji B = 30 mT i czasie ekspozycji t = 30 s, posiada negatywny wpływ na kiełkowanie nasion odmiany nr 3, która charakteryzowała się również najdłuższym czasem początku kiełkowania w porównaniu do innych odmian.

Nasiona podzielono na pięć próbek po 100 sztuk dla danej indukcji i próbki kontrolnej, poddano stymulacji zmiennym polem magnetycznym na stanowisku badawczym przedstawionym na rysunku 1 [Pietruszewski 1998b]. Zastosowano indukcje zmiennego pola magnetycznego o wartości: 1,5; 5, 15, 30, 60 i 90 mT.

Po stymulacji polem magnetycznym, stymulowane nasiona i próbkę kontrolną umieszczono na płytkach Petriego w temperaturze pokojowej, pod osłoną zapewniającą brak dostępu światła przez cały czas trwania pomiaru.

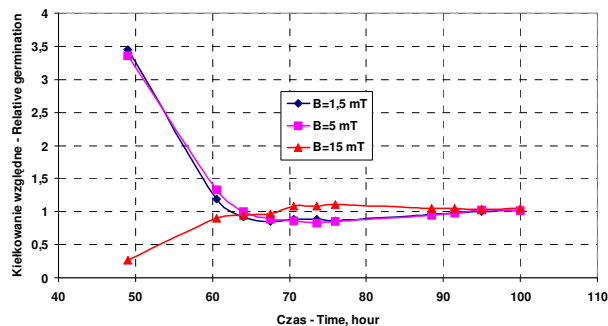
Ocena wpływu stymulacji zmiennym polem magnetycznym została dokonana na podstawie zliczeń wykiełkowanych nasion w krótkich, trwających 3–4 h, przedziałach czasu. Zdolność kiełkowania próbki stymulowanej daną indukcją pola, wyznaczona została jako wartość średnia z pięciu małych próbek wykiełkowanych nasion po czterech dniach trwania procesu. Kiełkowanie względne wyznaczono jako stosunek wartości średnich liczby wykiełkowanych nasion poddanych stymulacji do wartości średniej liczby nasion próbki kontrolnej w danym czasie.

W celu oceny wpływu zmiennego pola magnetycznego na kiełkowanie nasion pszenicy przeprowadzono modelowanie tego procesu za pomocą funkcji logistycznej [Torres i in. 1989, 1990], wyrażonej zależnością: $G = A[1 + \exp(\beta - Kt)]^{-1}$, gdzie: A – całkowita liczba wykiełkowanych nasion, β i K – współczynniki kiełkowania, t – czas kiełkowania. Zależność ta oznacza, że w przypadku, gdy wyrażenie $'1 + \exp(\beta - Kt)' \rightarrow 1$

(dąży do liczby jeden) to $G \rightarrow A$, czyli całkowitej liczby wykiełkowanych nasion. Użyjemy to wówczas, gdy $\exp(\beta-Kt) \rightarrow 0$. W ten sposób przebieg krzywej logistycznej będzie zależał głównie od stosunku β/K , czyli położenia punktu przegięcia krzywej logistycznej. Należy pamiętać również o tym, że krzywa logistyczna jest symetryczna względem swojego punktu przegięcia. Modelowanie krzywą logistyczną zostało przeprowadzone przy wykorzystaniu programu Grapher.

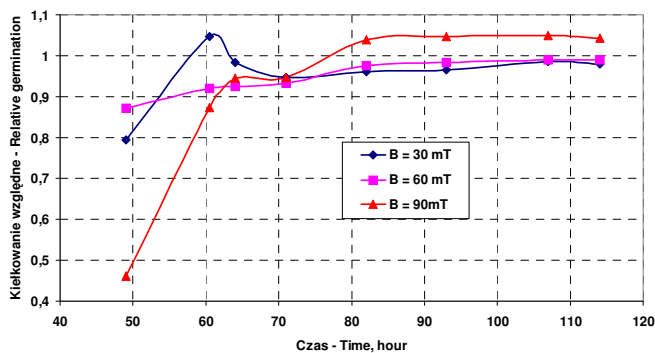
WYNIKI

Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci krzywych wyrażających kiełkowanie nasion w liczbach względnych na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Kiełkowanie nasion pszenicy twardej poddanych stymulacji zmiennym polem magnetycznym o niskiej wartości indukcji

Fig. 1. Germination of durum wheat seeds stimulated by alternating magnetic field with low induction



Rys. 2. Względna zdolność kiełkowania nasion pszenicy twardej poddanych stymulacji zmiennym polem magnetycznym o wysokiej wartości indukcji

Fig. 2. Relative germination of durum wheat seeds stimulated by alternating magnetic field with high induction

Tabela 1. Kiełkowanie nasion pszenicy twardej stymulowanej zmiennym polem magnetycznym o niskiej wartości indukcji

Table.1. Germination of durum wheat seeds stimulated by alternating magnetic field with low induction

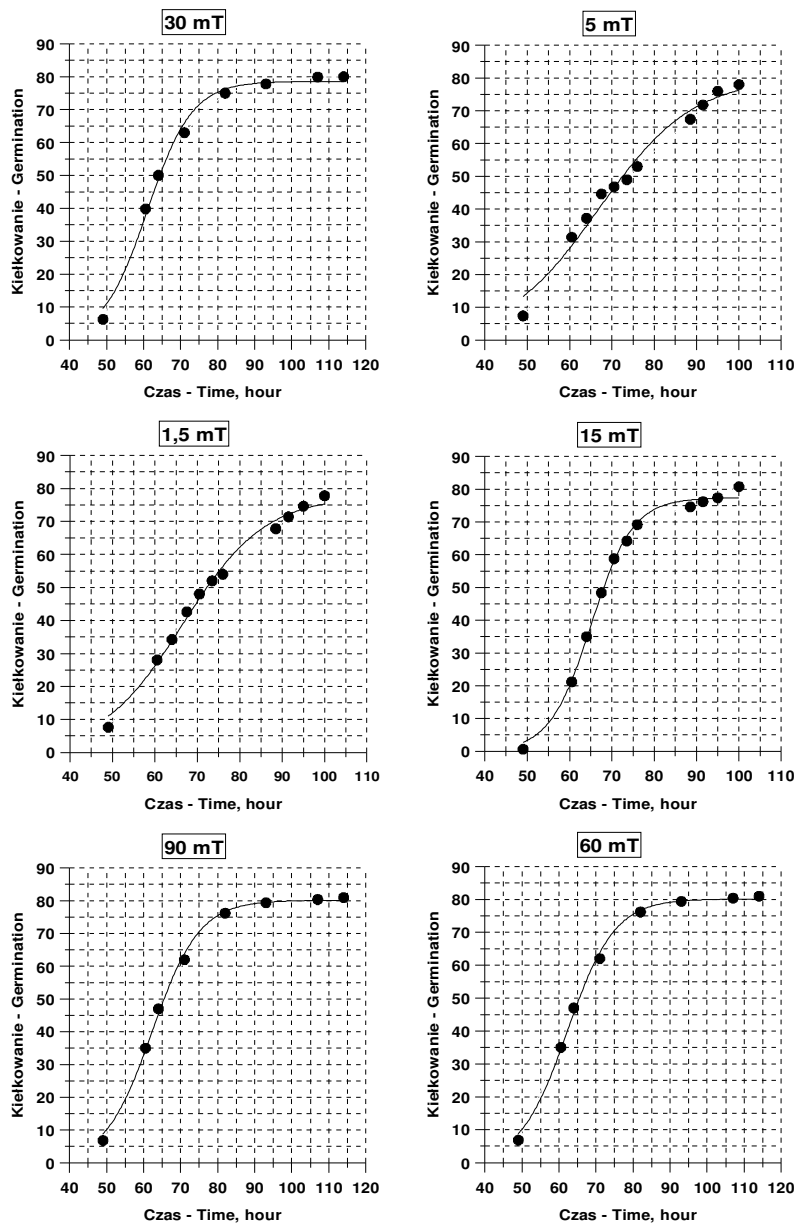
Czas, godz Time, hour	Kiełkowanie – Germination, %			
	B = 1,5 mT	B = 5 mT	B = 15 mT	Kontrola
49	7,6 ± 2,4	7,4 ± 2,4	0,6 ± 0,54	2,2 ± 2,48
60,5	28 ± 3,2	31,4 ± 4,3	21,2 ± 3,3	23,6 ± 4,7
64	34,2 ± 1,8	37,2 ± 2,4	35 ± 3,7	37 ± 2,07
67,5	42,6 ± 3,5	44,6 ± 2,5	48,4 ± 4,3	50 ± 5,1
70,5	48 ± 2,6	46,8 ± 1,3	58,8 ± 6,4	54,2 ± 2,4
73,5	52 ± 1,4	49 ± 1,6	64,2 ± 3,5	59 ± 1,3
76	54 ± 1	53 ± 3,9	69,2 ± 3,3	62,6 ± 1,7
88,5	67,8 ± 3,5	67,4 ± 1,8	74,6 ± 2,1	71 ± 3,6
91,5	71,4 ± 3,9	71,8 ± 2,2	76,2 ± 1,7	73 ± 0,7
95	74,6 ± 2,1	76 ± 2,2	77,4 ± 1,3	74,2 ± 0,8
100	77,8 ± 1,5	78,3 ± 2,1	80,2 ± 1,3	76,6 ± 1,9

Tabela 2. Kiełkowanie nasion pszenicy twardej stymulowanej zmiennym polem magnetycznym o wysokiej wartości indukcji

Table. 2. Germination of durum wheat seeds stimulated by alternating magnetic field with high induction

Czas, godz. Time, hour	Kiełkowanie – Germination, %			
	B = 30 mT	B = 60 mT	B = 90mT	Kontrola
49	6,2 ± 1,6	6,8 ± 2,5	3,6 ± 0,8	7,8 ± 2,2
60,5	39,8 ± 3,4	35 ± 4,5	33,2 ± 3	38 ± 4,7
64	50 ± 1,3	47 ± 4,2	48 ± 4,2	50,8 ± 4,4
71	63 ± 4,7	62 ± 3,4	63 ± 3,2	66,8 ± 4,9
82	75 ± 3,9	76,2 ± 5,8	81,4 ± 1,8	78,2 ± 2,9
93	77,8 ± 1,8	79,4 ± 1,3	84,8 ± 3,2	80,8 ± 1,5
107	79,9 ± 0,7	80,4 ± 1	85,4 ± 0,9	81,2 ± 0,9
114	80 ± 1,7	81 ± 1,5	85,4 ± 1,6	81,8 ± 1,1

W tabelach 1 i 2 zamieszczono punkty pomiarowe przedstawione na rysunku 3. Błędy popełnione w badaniach zostały podane w postaci odchylenia standardowego dla każdego punktu pomiarowego. Uzyskano dobre dopasowanie krzywej logistycznej do punktów pomiarowych, o czym świadczą wartości R^2 zamieszczone w tabeli 3.



Rys. 3. Modelowanie kiełkowania nasion pszenicy twardej stymulowanej zmiennym polem magnetycznym za pomocą krzywej logistycznej

Fig. 3. Modeling of germinations of durum wheat seeds stimulated with alternating magnetic field by means of logistic curve

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki modelowania kiełkowania badanych nasion za pomocą krzywej logistycznej dla wszystkich wartości indukcji zmiennego pola magnetycznego.

Tabela 3. Parametry charakteryzujące kiełkowanie nasion poddanych stymulacji zmiennym polem magnetycznym uzyskane dzięki modelowaniu krzywą logistyczną

Table 3. Parameters of seeds germination stimulated with alternating magnetic field obtain by modeling of logistic curve

	1,5 mT	5 mT	15 mT	30 mT	60 mT	90 mT
A, %	77,75	80,16	77,37	78,59	80,16	85,05
β	6,85	6,01	13,31	10,08	9,79	10,48
K, godz. ⁻¹	0,103	0,089	0,204	0,165	0,175	0,165
G _{t10%} , godz.	49,4	49,4	53,8	49,5	49,6	50,8
β/K , godz.	66,5	67,53	64,36	61,09	55,94	63,52
G _{β/K} , %	38,88	40,1	38,68	39,3	40,1	42,53
t _{1/2} , godz.	65,8	65,2	65,2	60	62	63
MGR, % × godz. ⁻¹	2	1,78	3,94	3,24	3,51	3,51
R _{sr} , godz. ⁻¹	0,065	0,045	0,109	0,083	0,088	0,083
R ²	0,992	0,981	0,996	0,993	0,997	0,994

G_{t10%} – początek kiełkowania definiowany jako czas uzyskania 10% całkowitej liczby wykiełkowanych nasion (A), β/K – czas uzyskania punktu przegięcia krzywej logistycznej, G _{β/K} – liczba nasion wykiełkowanych dla punktu przegięcia równa szybkości kiełkowania, t_{1/2} – czas wykiełkowania połowy kiełkujących nasion (A/2), MGR – maksymalna szybkość kiełkowania równa szybkości kiełkowania w punkcie przegięcia krzywej (MGR = AK/4), R_{sr} – średnia względna szybkość kiełkowania (R_{sr} = K/2), R² – współczynnik dopasowania krzywej logistycznej do punktów pomiarowych.

DYSKUSJA I WNIOSKI

W zastosowanym modelu, wykorzystującym krzywą logistyczną, maksymalną szybkość kiełkowania próbka osiąga w punkcie przegięcia krzywej, którego czas wynosi β/K . Największą szybkość kiełkowania (MGR) i średnią względną szybkość kiełkowania (R_{sr}) osiągają nasiona stymulowane polem o indukcji 15 mT, co może mieć związek z najdłuższym czasem początku kiełkowania (G_{t10%}) – tabela 3. Natomiast na podstawie przebiegu charakterystyk (względnych) kiełkowania nasion (rys. 1) możemy stwierdzić, że pole o indukcji 15 mT posiada negatywny wpływ na kiełkowanie nasion w początkowej fazie tego procesu trwającej ok. 20 h (przyjętym jako ok. 1/3 całego czasu kiełkowania).

Najniższe wartości parametrów MGR i R_{sr} osiągnęły nasiona poddane stymulacji polem o najmniejszych wartościach indukcji 1,5 i 5 mT. Ma to pozytywny wpływ na kiełkowanie nasion w początkowej fazie procesu (rys. 1).

Najwięcej wykiełkowanych nasion w punkcie przegięcia G _{β/K} , czyli dla największej szybkości kiełkowania, posiadała próbka stymulowana indukcją 90 mT, która osiągnęła również największą zdolność kiełkowania (tab. 2). Równocześnie można stwierdzić, że zmienne pola magnetyczne o największej indukcji (30, 60, 90 mT) wywierają negatywny wpływ na szybkość kiełkowania nasion w początkowej fazie procesu (rys. 2). Próbki te osiągają jednak stosunkowo wysokie wartości parametrów związanych z szybkością kiełkowania (MGR i R_{sr}).

Uzyskane wyniki modelowania kiełkowania nasion są zgodne z własnościami funkcji logistycznej – nasiona, które na początku szybko kiełkowały, osiągnęły najniższe wartości szybkości kiełkowania MGR i R_{sr} . Pozytywny wpływ stymulacji magnetycznej w początkowej fazie kiełkowania (ok. 20 h) przyspieszył kiełkowanie, wykiełkowało dużo nasion, stąd w punkcie przegięcia krzywej logistycznej niskie wartości parametrów (MGR i R_{sr}). Odwrotnie jest dla negatywnego wpływu pola – mało nasion wykiełkowało w początkowej fazie, stąd wysoka dynamika w punkcie przegięcia krzywej.

Dzięki zastosowaniu modelowania kiełkowania funkcją logistyczną udowodniono pozytywny i negatywny wpływ stymulacji magnetycznej nasion. Zastosowanie interpretacji wyników badań za pomocą krzywych kiełkowania i funkcji logistycznej wydaje się być przydatnym sposobem opisu procesu kiełkowania nasion oraz oceny wpływu stymulacji zmiennym polem magnetycznym.

Podsumowując, można stwierdzić, że długi, trwający jedną godzinę, czas stymulacji nasion pszenicy twardej zmiennym polem magnetycznym posiada pozytywny oraz negatywny wpływ na początkowy okres kiełkowania nasion, w zależności od indukcji tego pola. Długi czas stymulacji w większości przypadków nie wpływa na ostateczną zdolność kiełkowania badanych nasion.

PIŚMIENNICTWO

- Kornarzyński K., Pietruszewski S., 1999. Effect of stationary magnetic field on germination of wheat grain. *Int. Agroph.* 13, 457–461.
- Kornarzyński K., Pietruszewski S., Segit Z., Szwed-Urbaś K., Łacek R. 2004a. Wstępne badania wpływu stałego i zmiennego pola magnetycznego na szybkość wzrostu kiełków pszenicy. *Acta Agroph.* 3(3), 521–528.
- Kornarzyński K., Gładyszewska B., Pietruszewski S., Segit Z., Łacek R., 2004b. Ocena wpływu zmiennego pola magnetycznego na kiełkowanie ziarniaków pszenicy twardej. *Acta Agroph.* 4(1), 59–68.
- Pietruszewski S. 1991/1992. Wpływ przedsewnej obróbki nasion polem magnetycznym na plony pszenicy i własności biologiczne nasion. *Annales UMCS Sectio AAA, Vol. XLVI/XLVII*, 36, 369–374.
- Pietruszewski S. 1993. Effect of magnetic seed treatment on yields of wheat. *Seed Sci.&Technol.* 21, 621–626.
- Pietruszewski S. 1998a. Stanowisko do przedsewnej biostymulacji nasion zmiennym polem magnetycznym. *Inż. Roln.* 2, 31–36.
- Pietruszewski S. 1998b. Wpływ przedsewnej biostymulacji magnetycznej na plony pszenicy w kolejnych latach wegetacji. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 454, 249–254.
- Pietruszewski S. 1998c. Effects of magnetic biostimulation of wheat seeds on germination, yield and proteins. *Int. Agroph.* 10, 51–55.
- Pietruszewski S. 1999a. Influence of pre-sowing magnetic biostimulation on germination and yield of wheat. *Int. Agroph.* 13, 241–244.
- Pietruszewski S., Kornarzyński K. 1999. Magnetic biostimulation of wheat seeds. *Int. Agroph.* 13, 497–501.
- Pietruszewski S. 1999b. Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej. *Rozpr. Nauk.* 220, AR w Lublinie.

- Pietruszewski S., 1999c. Wpływ przemiennego pola magnetycznego na kiełkowanie, wzrost i plony roślin uprawnych. *Inż. Roln.* 5(11), 209–215.
- Pietruszewski S., Kornarzyński K., Łacek R., 2001a. Kiełkowanie nasion pszenicy w stałym polu magnetycznym. *Inż. Roln.* 2, 303–307.
- Pietruszewski S., Kornarzyński K., Łacek R., 2001b. Germination of wheat grain in an alternating magnetic field. *Int. Agroph.* 15, 269–272.
- Pietruszewski S., 2001. Modelowanie krzywą logistyczną kiełkowania nasion pszenicy odmiany Henika w polu magnetycznym. *Acta Agroph.* 58, 143–152.
- Pietruszewski S., 2002. Wpływ pól magnetycznych i elektrycznych na kiełkowanie nasion wybranych roślin uprawnych. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 1(1), 75–81.
- Rochalska M., 2002a. Pole magnetyczne jako środek poprawy wigoru nasion. *Acta Agroph.* 62, 103–111.
- Rochalska M., 2002b. Poprawa jakości materiału siewnego za pomocą zmiennego pola magnetycznego. Doświadczenia polowe. *Acta Agroph.* 62, 113–126.
- Rochalska M., 2005. Pola elektromagnetyczne w środowisku roślin. *Mat. Symp. Telekomunikacji* 2005, 7–9 września 2005, Akad. Techn.-Roln. w Bydgoszczy, 87–96.
- Torres M., Frutos G., 1989. Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. *Envir. Exp. Botany* 29, 3, 409–415.
- Torres M., Frutos G., 1990. Logistic function analysis of germination behaviour of aged fennel seeds. *Envir. Exp. Botany* 30, 3, 383–390.

INFLUENCE OF LARGE DOSES OF ALTERNATING MAGNETIC FIELD ON GERMINATION OF DURUM WHEAT SEEDS

Summary. This paper presents the results of stimulation of durum wheat seeds on their germination with alternating magnetic field (about frequencies $f = 50$ Hz) for large doses of this fields. One used inductions of field about values: 1, 5, 5, 15, 30, 60 and 90 mT for time of influence one hour, for verification of influence long time of stimulation on the germination of the wheat. The logistic function was used to analyze of germination. Using this model are possible found the characteristic parameters of seeds germination and influence of magnetic field stimulation. Investigation of influence of large doses of alternating magnetic fields on germination of select changes of durum wheat seeds shows on their different influence on each stages of germination.

Key words: magnetic stimulation of seeds, durum wheat, logistic curve

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.09.2005