

Stanisław PIETRUSZEWSKI, Konrad KANIA, Krzysztof KORNAZYŃSKI
Katedra Fizyki
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Zastosowanie pola magnetycznego jako ekologicznej metoda poprawy jakości upraw

Streszczenie

Pole magnetyczne jest jednym z czynników fizycznych poprawiających kiełkowanie i wzrost roślin. W pracy przedstawiono zastosowanie zmiennego pola magnetycznego oraz wody uzdatnianej magnetycznie w eksperymentach prowadzonych w katedrze Fizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Pięć odmian pszenicy jarej (Banti, Łagwa, Parabola, Hewilla i Żura) poddano przedsięwzięciu oddziaływaniu zmiennego pola magnetycznego. Zastosowano dwie magnetyczne dawki ekspozycyjne $D1 = 21,50 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ (30 mT, 30 s) oraz $D2 = 7,16 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ (30 mT, 10 s). Kinetykę kiełkowania mierzono co 1 h za pomocą elektronicznego kiełkownika, opracowanego i wykonanego w Katedrze Fizyki. Następnie opisano je za pomocą funkcji logistycznej i wyznaczono jej parametry. Stwierdzono, że każda z odmian pszenicy reaguje indywidualnie na zastosowane pole magnetyczne. Kiełkowanie oraz plony pszenicy zależą od wartości przedsięwzięcia magnetycznej dawki ekspozycyjnej. Próby kiełkowania oraz badania polowe wykazały, że uzyskane efekty są zbliżone dla takich samych dawek ekspozycyjnych, niezależnie od sposobu ich uzyskania. Woda uzdatniana magnetycznie posiada inne właściwości niż woda źródłana lub kanalizacyjna (woda z ujęć komunalnych). Zależą one od natężenia pola magnetycznego i od szybkości przepływu wody w polu magnetycznym. Prezentowane badania wykazały, że wartość współczynnika napięcia powierzchniowego wody kanalizacyjnej zmniejszyła się w zależności od krotności przepływu przez pole magnetyczne i od indukcji magnetycznej tego pola. Zastosowanie wody uzdatnianej magnetycznie w próbach kiełkowania nasion pomidora i ogórka wykazały, że powoduje ona szybsze kiełkowanie i wzrost roślin.

Słowa kluczowe: pole magnetyczne, magnetyczna dawka ekspozycyjna, woda uzdatniana magnetycznie, kiełkowanie

The application of magnetic field as ecological method of quality culture improvement

Summary

Magnetic field is one of physical factors that can improve germination and growth of plants. This paper presents the results of a few experiments carried out in the Department of Physics of the University of Life Sciences in Lublin in which alternating magnetic field and magnetic water were applied. Five varieties of spring wheat (Banti, Łagwa, Parabola, Hewilla and Żura) were exposed to alternating magnetic treatment before sowing. Two exposure doses $D1 = 21,50 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ (30 mT, 30 s) and $D2 = 7,16 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ (30 mT, 10 s) were applied. The germination time courses data were collected by electronic seed germinator which was designed and developed in our Department. The germination data were described using the logistic curve equation and its parameters were assigned. The results showed that varieties of spring wheat react individually to magnetic field. The germination and yield of wheat depend on the pre-sowing magnetic dose. Germination test and field test showed that the results were similar to the same exposure doses regardless of how they were obtained. Magnetic water has different properties than mineral or tap water. The differences depend on the strength of magnetic field and the rate of water flow through the magnetic field area. The tap water's surface tension coefficient reduced depending on the strength of magnetic field's flux and applied multiplication factor. The experiments showed also that the tomato and cucumber seeds watered with magnetic water germinate and grow quicker.

Key words: magnetic field, magnetic exposure dose, magnetic water, germination

Wstęp

Nauka na początku XXI wieku stoi przed trudnym zadaniem, jak zapewnić dla wzrastającej na Ziemi liczby ludności odpowiednią ilość dobrej i zdrowej żywności. Aby ten problem rozwiązać, prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych badania nad poprawą materiału siewnego roślin uprawnych. Jedną z wielu testowanych metod jest zastosowanie do tego celu pól magnetycznych lub elektromagnetycznych.

Badanie wpływu pola magnetycznego na struktury biologiczne, w tym na rośliny, datuje się od drugiej połowy XIX

wieku. Jako pierwszą udokumentowaną pracę należy uznać publikację z 1876 roku (Reinke 1876), w której przedstawiono wyniki eksperymentów dotyczących oddziaływania pola magnetycznego na rozwój roślin. Nie stwierdzono wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie nasion i wzrost roślin. Podobnie nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie ziaren w pracy D'Astre (1882). Natomiast udokumentowano efekt szybszego kiełkowania w polu magnetycznym w publikacji z roku 1893 (Tolomei 1893). Była to również pierwsza praca stwierdzająca efekt magnetotropizmu. Zjawisko magnetotropizmu odkryte przez

Tolomei było następnie dokładniej zbadane przez Audusa (1960). Należałoby jeszcze dodać, że w latach 1900 – 1901 ukazała się dwutomowa monografia (Danielewski 1901), w której rozpatrzono eksperymentalne i teoretyczne podstawy działania pola elektromagnetycznego na różne struktury biologiczne – od komórek do całych organizmów.

Do klasycznych i historycznych prac należy również publikacja z 1903 roku (Ewart 1903). Stwierdzono w niej, że u roślin wodnych (*Valisneria* i *Chara*) umieszczonych w polu magnetycznym zamiera ruch cytoplazmy, jeżeli linie pola magnetycznego są prostopadłe do kierunku ruchu. Pole równoległe nie wywołuje tego efektu. Zjawisko to potwierdził później Sawostin (1930), przy czym w równoległym polu magnetycznym, o natężeniu 7000 Oe (0,7 T), ruch cytoplazmy maleje o 15 – 30%. W prostopadłym polu magnetycznym, o takim natężeniu, zachodzi zaś przyspieszenie ruchu cytoplazmy. Sawostin zaobserwował również, że pole magnetyczne przyspiesza wzrost korzeni roślin i zwiększa przepuszczalność błony komórkowej. Udało mu się wyhodować kielki pszenicy, o 100% dłuższe od przeciętnych.

Rozwój badań biomagnetycznych nastąpił jednak dopiero w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku. W tym czasie, w Stanach Zjednoczonych (Barnothy 1964; 1969) oraz w dawnym ZSRR, ukazały się liczące się monografie dotyczące oddziaływania pola magnetycznego na struktury biologiczne (Presman 1971; Chołodov 1978).

Lata siedemdziesiąte to liczne prace prowadzone w Kanadzie. W opublikowanej w 1970 roku pracy (Pitman, Ormrod 1970) wykazano, że ziarna pszenicy poddane działaniu pola magnetycznego $H = 1800$ Oe (0,18 T) mają inny współczynnik oddychania niż nasiona kontrolne. Kielkujące nasiona, traktowane polem magnetycznym, oddychały wolniej, przy czym różnica ta wynosiła 20% po 20 godzinach, by następnie maleć w miarę upływu czasu. Zaś w pracy Pitman, Ormrod (1971), przedstawionej rok później, stwierdzono, że nasiona jęczmienia browarnego kiełkowały od 8 do 12 godzin wcześniej niż kontrolne. Stosując pole magnetyczne $H = 1500$ Oe (0,15T), w temperaturze $T = 23^{\circ}\text{C}$ (300 K) i prowadząc eksperymenty przez 120 godzin, zespół Pitmana (1979), stwierdził, że aktywność amylolityczna w kiełkujących nasionach jest spowodowana traktowaniem nasion polem magnetycznym przed namoczeniem do kiełkowania. Wygląd skrobi otaczającej fragmenty tkanek roślinnych wskazywał, że w tym przypadku mieliśmy do czynienia z aktywnością α -amylazy a nie β -amylazy. Na skutek działania pola magnetycznego nastąpiło wyraźnie obniżenie aktywności enzymu β -amylazy.

Prowadzone badania z nasionami pszenicy *Kharkov 22MC* (Pitman 1967), wykazały, że słabe pole magnetyczne (100 Oe – 0,01 T) powoduje wcześniejsze kiełkowanie, o 8 – 12 godzin, w stosunku do nasion umieszczonych w polu równym polu geomagnetycznemu (0,5 Oe – 0,05 mT). Ponadto, ziarniaki przetrzymywane w temperaturze 26°C (303 K), wzrastały szybciej niż w temperaturze 7°C (280 K). Różnice te zanikły w polu magnetycznym o natężeniu 1500 Oe. Ten sam autor (Pitman 1963, 1965) prowadził doświadczenia polowe w agrostacjach prowincji Alberta (Kanada). W ciągu czterech lat trwania eksperymentu przedsięwziętej stymulacji, badaniom poddano ziarna pięciu odmian pszenicy, trzech odmian jęczmienia i jednej owsa. Wartość indukcji magnetycznej

stałego pola magnetycznego, w zależności od typu stosowanego magnezu, wahała się od 50 do 650 Oe (0,005 – 0,065 T). Nasiona wysiano na jednakowo przygotowanych poletkach. Kryterium oceny stosowanej metody stymulacji był uzyskany plon. W przypadku owsa nie stwierdzono wpływu pola magnetycznego. Dla trzech odmian pszenicy reakcje były różnorodne. Odmiany *Nepava* i *Sundance* w pierwszych dwóch latach wykazały istotny wzrost plonów, ale trzeci rok tego nie potwierdził. Dla jęczmienia otrzymano wyraźny wzrost plonów w granicach 2,8 – 6,5 q ha^{-1} , ponadto rośliny próbne dojrzewały 3 – 5 dni wcześniej i były o 5 – 8 cm wyższe niż kontrolne. Zmalał natomiast ciężar objętościowy ziaren o 0,96 kg dm^{-3} . Pitman uzależniał uzyskane wyniki od długości czasu pomiędzy stymulacją a wysiewem oraz od modelu stosowanego magnezu. Ten ostatni wniosek wydaje się dużym błędem metodycznym, ponieważ nie model magnezu decyduje o efektach stymulacji magnetycznej, ale charakter pola magnetycznego, jakie on wytwarza. Ponadto, jak istotnie zauważa, plony są uzależnione od czynników klimatyczno-środowiskowych, które nie są dostatecznie poznane.

W Polsce, pierwsze prace dotyczące wpływu pola magnetycznego na nasiona, prowadziła Kopeć (1984; 1985). Dotyczyły one wpływu pola magnetycznego na nasiona buraka cukrowego odmiany *PN Mono 3*. Uzyskane wyniki były niejednoznaczne. Stwierdzono zarówno dodatni wpływ (szybsze kiełkowanie i niewielki wzrost plonów), jak również brak efektów, w odniesieniu do nasion stymulowanych przedsięwzięciem polem magnetycznym. W chwili obecnej, badanie wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie, wzrost i plony roślin uprawnych są prowadzone w licznych jednostkach badawczych na całym świecie.

Stosując bardzo słabe stałe pole magnetyczne 0,5 mT, uzyskano powiększenie liści, zwiększenie zawartości białka i chlorofili w sadzonkach cebuli (Nowicki i in. 2001). Oddziałując stałym polem magnetycznym 150 mT na nasiona kukurydzy (Aladjadiyan 2010) uzyskano większy wzrost łodyg w rosnących roślinach, a w przypadku pól 60 – 200 mT wzrost plonów, w stosunku do próby kontrolnej. Badania prowadzone w Hiszpanii dotyczyły nasion ryżu i jęczmienia. Stosując pola 150 mT i 200 mT, uzyskano szybsze kiełkowanie nasion ryżu (Carbonell i in. 2000), a w przypadku pola 125 mT wyższe plony jęczmienia, dla czasów ekspozycji 24 godzin (Martinez i in. 2000). Pole magnetyczne 125 mT i 250 mT, otrzymane za pomocą magnesów stałych, było użyte do wpływu tak otrzymanych pól, na kiełkowanie nasion pomidora (Martinez i in. 2009). Zaobserwowano dodatni efekt dla stosowanych czasów ekspozycji i wykreślono krzywe kinetyki kiełkowania. Szkoda, że autorzy nie opisali tych krzywych równaniami logistycznymi. Stałe pole magnetyczne 2,9 – 4,6 mT stosowano w przypadku nasion soi (Atak i in. 2003). Pole magnetyczne dodatnio wpłynęło na rozwój korzeni oraz na zawartość chlorofili *a* i *b*.

W pracy zespołu Rochalskiej (2007), wykazano, że zmienne pole magnetyczne 16 Hz, 5 mT, powoduje zmniejszenie aktywności enzymów α - i β -amylazy w przypadku pszenicy. Natomiast w pracy zespołu Aksenova (2001), wykazano, że pole magnetyczne 50 Hz, 30 mT, powoduje dla pszenicy większy wzrost korzeni i kielków, w porównaniu do próby kontrolnej. Wpływ słabego pola magnetycznego 20 μT i częstotliwości $16\frac{2}{3}$ Hz, powodującego zwiększenie masy i wysokości

roślin słonecznika oraz lepsze kiełkowanie pszenicy, wykazano w publikacji zespołu Fischera (2004). Ratushnyak z zespołem (2008), wykazał natomiast, że pole magnetyczne wysokiej częstotliwości 30 – 60 GHz i strumieniu 10^{-16} – 10^{-10} W·cm⁻² oraz czasie ekspozycji 5 – 15 minut, wpływa na rozwój mikroflory w przypadku nasion sosny.

Wpływ zmiennego pola magnetycznego (60 Hz) 20, 60 i 100 mT, dla kilku czasów ekspozycji, na wschody trzech genotypów kukurydzy w warunkach polowych przedstawiono w pracy Aguilar i in. (2009) stwierdzając, że efekt zależy od genotypu roślin. Wpływ na kiełkowanie pola magnetycznego, w zakresie od 0,5 μT do 30 mT, i długich czasach ekspozycji mieszanki nasion lucerny nerkowej i kaniarki (pasożyt roślinny), przedstawiono w pracy Balonchi i in. (2009). Zastosowane pola magnetyczne poprawiają kiełkowanie lucerny a zmniejszają kiełkowanie kaniarki. Autorzy pracy stwierdzili, że pole magnetyczne może być w tym przypadku czynnikiem chwastobójczym. Wpływ stałego pola magnetycznego 150 mT dla czterech czasów ekspozycji (Aladjadjiyan 2010), dotyczącego procesu kiełkowania soczewicy, wykazały lepsze kiełkowanie nasion w stosunku do próby kontrolnej. Pozytywny wpływ zmiennego pola magnetycznego 480 mT i pięciu czasów ekspozycji, stwierdzono w przypadku nasion kukurydzy (Zapeda–Bautista i in. 2010). Natomiast przedsięwzięta stymulacja zmiennym polem magnetycznym 30 mT nie powodowała statystycznie istotnego wzrostu plonów pszenicy jarej w przypadku uprawy mechanicznej (Bujak, Frant 2009). Wpływ pola magnetycznego oraz promieniowania laserowego na procesy związane z kiełkowaniem amarantusa, były przedstawiane w pracach wykonanych w Katedrze Fizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (Dziwulska–Hunek i in. 2009; Sujak, Dziwulska–Hunek 2010).

Pole magnetyczne można również stosować do otrzymania tzw. wody uzdatnianej magnetycznie. Wodę taką uzyskujemy używając specjalne magnetyzery lub przepuszczając strumień wody przez pole magnetyczne. Ten ostatni sposób został zastosowany przez w przypadku nasion sosny tropikalnej (Morejón i in. 2007). Stwierdzono wyraźny wpływ wody uzdatnianej magnetycznie na wzrost roślin. Podobnie stosując magnetyzery przepływowe (Podleśny 2009), wykazano, że woda uzdatniana magnetycznie przyspiesza kiełkowanie, wzrost oraz plony bobiku. Pole magnetyczne wpływa na napięcie powierzchniowe wody (Pietruszewski i in. 2007).

Badania prowadzone w Katedrze Fizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

Od szeregu lat w Katedrze Fizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie prowadzi się badania w celu określenia wpływu pola magnetycznego na otrzymanie wysokiej jakości materiału siewnego roślin uprawnych. Pole magnetyczne można wykorzystać do przedsięwziętej stymulacji materiału siewnego lub otrzymania wody uzdatnianej magnetycznie. W tym ostatnim przypadku woda taka posiada inne właściwości fizykochemiczne niż woda destylowana lub woda z ujęć komunalnych.

W przypadku przedsięwziętej stymulacji nasion, ważną rzeczą było określenie fizycznej wielkości, która mogła służyć do określenia wpływu pola magnetycznego na proces kiełkowania i późniejsze plony. Wielkością taką była magnetyczna dawka ekspozycyjna.

Magnetyczna dawka ekspozycyjna jest iloczynem gęstości energii pola magnetycznego (elektrycznego) i czasu ekspozycji. Gęstość energii pola elektrycznego lub magnetycznego, określa równanie (1), które uzyskamy ma scałkowaniu równania opisującego pole elektromagnetyczne (Pietruszewski 1999).

$$\rho = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \mu_0 H^2 = \frac{1}{2\mu_0} B^2 \quad (1)$$

gdzie: ε_0 – przenikalność elektryczna próżni;
 μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni;
 E – natężenie pola elektrycznego;
 H – natężenie pola magnetycznego;
 B – indukcja magnetyczna.

Dawka ekspozycyjna byłaby wówczas określona zależnością (2).

$$D = \rho \cdot t \quad (2)$$

gdzie: t – czas ekspozycji.

Wpływ pola magnetycznego na nasiona można określić poprzez badanie kinetyki kiełkowania po wcześniejszej ich stymulacji polem magnetycznym. Otrzymane krzywe kinetyki kiełkowania opisuje się w tym przypadku jedną z krzywych logistycznych, która najlepiej obrazuje ten efekt.

W oparciu o dane doświadczalne można np. dopasować krzywe równanie Malthusa–Verhulsta (3) (Pietruszewski 2001).

$$N(t) = \frac{N_k}{1 + (N_k - 1) \exp[\alpha N_k (t - t_0)]} \quad (3)$$

gdzie:

$N(t)$ – liczba wykiełkowanych ziarniaków w czasie t ;
 N_k – końcowa liczba wykiełkowanych ziarniaków;
 α – współczynnik szybkości kiełkowania;
 t_0 – czas wykiełkowania pierwszego ziarniaka.

W oparciu o krzywą logistyczną określono również szybkość kiełkowania (4).

$$v_k = \frac{dN(t)}{dt} = N(t) \cdot \alpha \cdot [N_k - N(t)] \quad (4)$$

gdzie: v_k – szybkość kiełkowania.

Zarówno krzywa logistyczna, jak i krzywa szybkości kiełkowania bardzo dobrze modelują proces kiełkowania nasion stymulowanych, a błędy dopasowania krzywych nie przekraczają 8%. Różniczkując równanie (4) i przyrównując je do zera, otrzymamy możliwość określenia ekstremum (maksimum) szybkości kiełkowania i czasu, w którym to nastąpiło (5) oraz $t = t_{\max}$ dla $N_k = 2N(t)$ i wówczas mamy (6).

$$\frac{d^2 N(t)}{dt^2} = \alpha \cdot N(t) \cdot [N_k - N(t)] \cdot [N_k - 2N(t)] \quad (5)$$

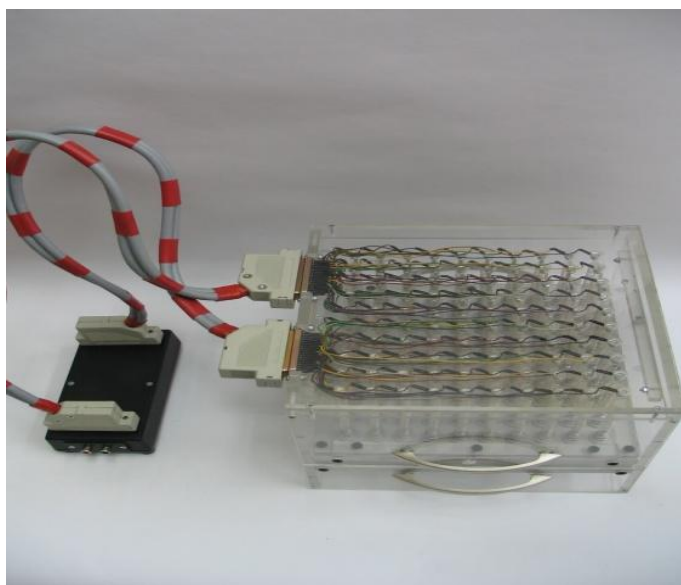
$$t_{\max} = \frac{\ln(N_k - 1)}{\alpha \cdot N_k} + t_0 \quad (6)$$

Prezentowane w pracy badania można podzielić na trzy grupy:

- a) wpływ przedsięwziętej stymulacji nasion na kinetykę kiełkowania pięciu odmian pszenicy jarej;
- b) wpływ dwóch dawek otrzymanych różnymi sposobami na kiełkowanie oraz późniejsze plony,
- c) wpływ wody uzdatnianej magnetycznie na kiełkowanie i rozwój siewek.

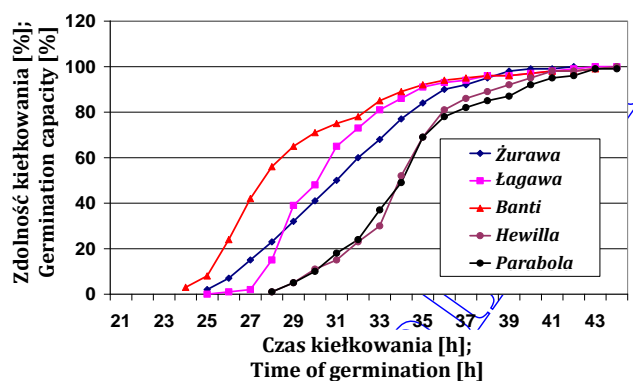
Przedsięwzięta stymulacja ziarniaków pszenicy jarej

Materiałem doświadczalnym były ziarniaki pięciu odmian pszenicy jarej (*Banti*, *Łagwa*, *Parabola*, *Hewilla* i *Żura*) otrzymane z Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie. Każdą z odmian poddano oddziaływaniu dwóch dawek ekspozycyjnych o wartościach $D1 = 21,50 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ (30 mT, 30 s) oraz $D2 = 7,16 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ (30 mT, 10 s). Kinetykę kiełkowania rejestrowano w trzech powtórzeniach, łącznie z próbami kontrolnymi dla każdej odmiany w ilości 100 nasion dla każdej próby. Rejestracji dokonano za pomocą elektronicznego kiełkownika (Kania i in. 2007, Patent PL 378397), co 1 h (rys. 1). W trakcie pomiarów była stała temperatura 20°C (Pietruszewski i in. 2013).



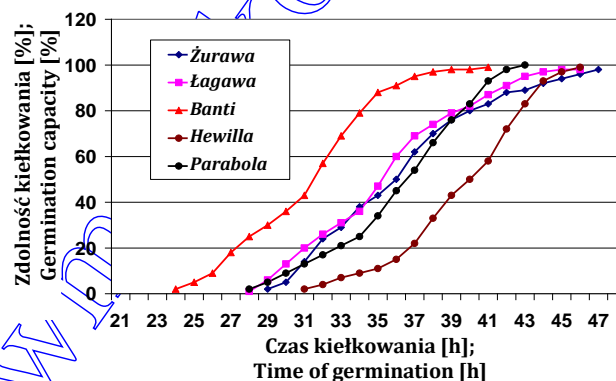
Rys. 1. Elektroniczny kiełkownik (Patent, PL 378397)
Fig. 1. Electronic germination (Patent, PL 378397)

W oparciu o zebrane dane z trzech powtórzeń wykreślono krzywe kinetyki kiełkowania dla ziarniaków pięciu odmian pszenicy, rysunki 2 i 3. Stwierdzono, że najlepiej dodatnio na pole magnetycznie reagują ziarniaki odmiany *Banti*, najslabiej zaś ziarniaki odmiany *Parabola*. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe krzywe kinetyki kiełkowania dla ziarniaków odmiany *Hewilla*, zaś rysunek 5 pokazuje dopasowanie krzywej logistycznej dla ziarniaków odmiany *Hewilla*, stymulowanych magnetyczną dawką ekspozycyjną D1. Dla odmiany *Banti*, obserwujemy najwcześniejsze kiełkowanie, które o kilka godzin wyprzedza kiełkowanie *Paraboli* dla dawki D2. Różna jest również szybkość kiełkowania dla poszczególnych odmian. Różnice te widać, gdy porównamy parametry krzywej logistycznej dla ziarniaków poszczególnych odmian, obliczone w oparciu o równania (3) i (6), tabela 1.



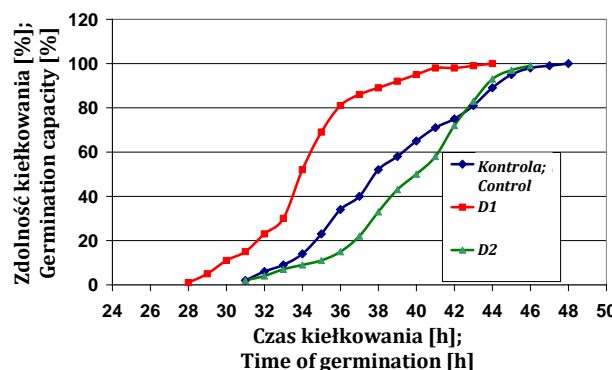
Rys. 2. Krzywe kinetyki kiełkowania dla dawki ekspozycyjnej D1 (Pietruszewski i in. 2013)

Fig. 2. Curve of kinetic germination for D1 exposure dose (Pietruszewski et al. 2013)



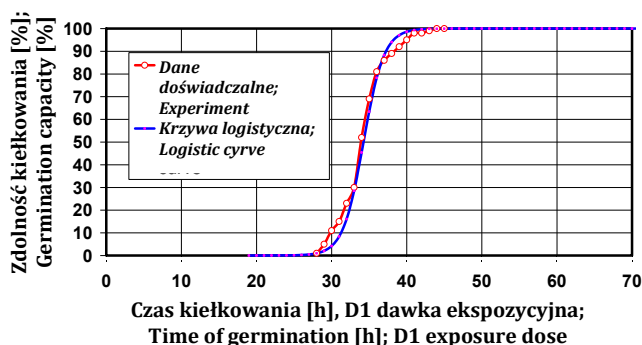
Rys. 3. Krzywe kinetyki kiełkowania dla dawki ekspozycyjnej D2 (Pietruszewski i in. 2013)

Fig. 3. Curve of kinetic germination for D2 exposure dose (Pietruszewski et al. 2013)



Rys. 4. Krzywa kinetyki kiełkowania dla odmiany Hewilla (Pietruszewski i in. 2013)

Fig. 4. Curve of kinetic germination for Hewilla variety (Pietruszewski et al. 2013)



Rys. 5. Kinetyka kiełkowania dla Hewilli i dawki D1 oraz krzywa logistyczna
Fig. 5. Kinetic germination for Hewilla and D1 dose and logistic curve

Tabela 1. Parametry krzywej logistycznej (Pietruszewski i in. 2013)

Table 1. Parameters of the logistic curve (Pietruszewski et al. 2013)

Odmiana; Variety	N_k [%]	t_0 [h]	$10^{-6} \alpha$ [%·h ⁻¹]	t_{max} [h]	V_{max} [%·h ⁻¹]
<i>Banti</i>					
K	94	24	5965	32±1	12,7±0,9
D1	99	22	7835	28±1	18,9±0,8
D2	99	23	5550	31±1	13,5±0,9
<i>Hewilla</i>					
K	100	30	6250	37±1	15,0±0,9
D1	100	28	7350	34±1	18,3±0,8
D2	99	30	4950	39±1	11,9±0,9
<i>Łagwa</i>					
K	98	29	6755	36±1	21,4±0,7
D1	100	26	10655	30±1	26,6±0,7
D2	99	27	5600	35±1	13,7±0,9
<i>Parabola</i>					
K	100	28	6850	35±1	17,1±0,8
D1	99	27	6650	34±1	16,3±0,8
D2	100	27	4850	36±1	12,0±0,9
<i>Żura</i>					
K	100	30	7755	36±1	18,8±0,8
D1	100	24	6055	32±1	14,5±0,9
D2	98	28	5900	36±1	14,0±0,9

Wpływ wartości dawki ekspozycyjnej na kiełkowanie i plony pszenicy (Pietruszewski, Kania 2010)

Przeprowadzono również eksperymenty związane z zastosowaniem dwóch dawek ekspozycyjnych w przedsewniej stymulacji polem magnetycznym nasion pszenicy jarej. Badania dotyczyły pomiarów kinetyki kiełkowania, które następnie były weryfikowane w badaniach polowych. Po 4 dniach od ostatniej stymulacji nasiona w liczbie 600 ziarniaków na 1 m², w 5 powtórzeniach, łącznie z próbą kontrolną, zostały wysiane na poletkach doświadczalnych. Eksperyment został przeprowadzony na terenie Gospodarstwa Doświadczalnego w Felinie, k/Lublina. Zbiór plonów dokonano ręcznie.

Magnetyczne dawki ekspozycyjne otrzymano dwoma sposobami (Tab. 2). Dawkę D13 uzyskano przez trzy kolejne dni stosując zmienne pole magnetyczne o indukcji magnetycznej 30 mT i czasie ekspozycji 6 sekund. Identyczna dawka D11 została otrzymana przy 45 mT i czasie ekspozycji 8 sekund. Dawkę D23 uzyskano stosując pole 30 mT i czasie ekspozycji 8 sekund przez trzy kolejne dni, zaś dawkę D13 jednorazowo przy indukcji magnetycznej 60 mT i czasie ekspozycji 8 sekund.

Tabela 2. Parametry magnetycznej dawki ekspozycyjnej (Pietruszewski, Kania 2010)

Table 2. Parameters of the magnetic exposure dose (Pietruszewski, Kania 2010)

Dawka; Dose	1 dzień; Day 1	2 dzień; Day 2	3 dzień; Day 3	Wartość dawki; Value of dose [J·m ⁻² ·s]
D11			45 mT, 8s	12900
D13	30mT, 6s	30 mT, 6s	30 mT, 6s	12900
D21			60 mT, 8s	17200
D23	30 mT, 8s	30 mT, 8s	30 mT, 8s	17200

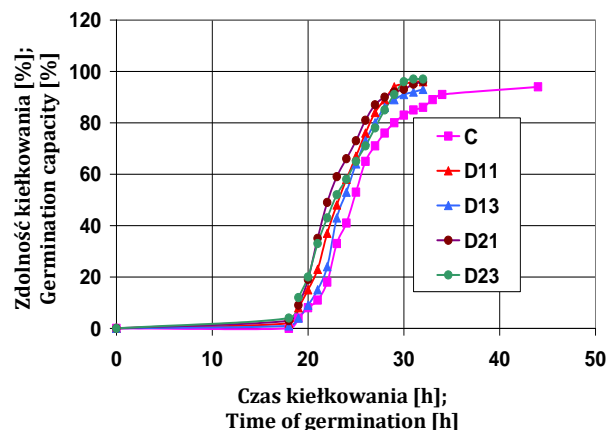
Kinetykę kiełkowania nasion stymulowanych przedsewnie polem magnetycznym opisywano równaniem Malthusa-Verhulsta (3).

Tabela 3. Parametry krzywej logistycznej (Pietruszewski, Kania 2010)

Table 3. Parameters of the logistic curve (Pietruszewski, Kania 2010)

Dawka, Dose	N_k [%]	t_0 [h]	$10^{-6} \alpha$ [%·h ⁻¹]	t_{max} [h]	V_{max} [%·h ⁻¹]
C	94	16	5155	25,35±1,17	10,9±0,9
D11	96	17	7625	23,22±1,16	17,5±0,8
D13	93	17	7625	23,36±1,16	16,5±0,8
D21	96	16	7085	22,70±1,14	13,6±0,7
D23	97	15	5855	23,01±1,15	13,7±0,7

Kinetykę kiełkowania dla wszystkich magnetycznych dawek ekspozycyjnych oraz dla próby kontrolnej, rejestrowano w trzech powtórzeniach, za pomocą elektronicznego kiełkownika. W oparciu o obliczone wartości średnie wykreślono krzywe kinetyki, które są przedstawione na rysunku 6. Widać wyraźnie, że przedsewna magnetyczna stymulacja przyspiesza kiełkowanie, w stosunku do próby kontrolnej, dla wszystkich zastosowanych dawek. Następnie do poszczególnych krzywych kinetyki kiełkowania dopasowano równania logistyczne, zgodnie z równaniem (3) oraz obliczono parametry krzywych logistycznych, których wartości są zamieszczone w tabeli 3.



Rys. 6. Kinetyka kiełkowania dla czterech dawek ekspozycyjnych (Pietruszewski, Kania 2010)

Fig. 6. Kinetic germination for four exposure doses (Pietruszewski, Kania 2010)

Wyniki z testów polowych, z uwzględnieniem opracowania statystycznego, przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wpływ przedsewnej dawki ekspozycyjnej na plony i ocena statystyczna (Pietruszewski, Kania 2010)

Table 4. The effect of the pre-sowing exposure dose on yield parameters after a statistical evaluation (Pietruszewski, Kania 2010)

Parametr; Parameter	Dawka ekspozycyjna; Exposure dose					NIR LSD
	Kontrola; Control	D11	D13	D21	D23	
Długość kłosa; Spike length [cm]	5,72 a	6,74 b	6,78 b	7,32 c	6,66 b	0,87
Liczba kłosów z 1m ² ; Number of spikes per m ²	505 a	522 b	526 b	536 b	537 b	13,7
Plony z 1m ² ; Yield per m ² [g]	369 a	448 b	476 b	514 c	557 c	38,3
Długość; żdźbła Culm height [cm]	70 a	82 b	85 b	86 b	83 b	3,7

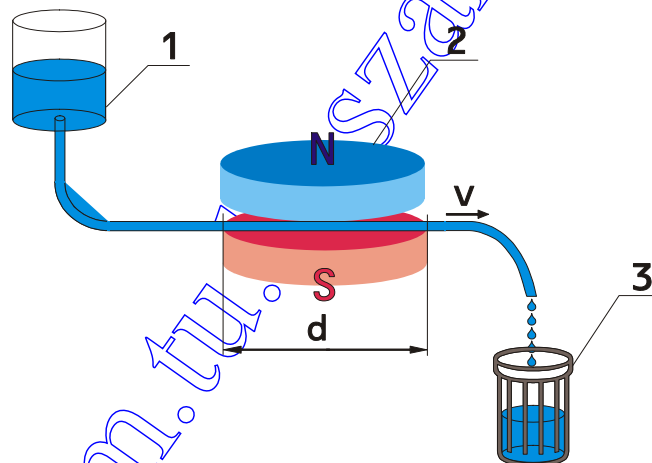
Wyniki oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Means in the same row with the same letters are not significantly different

Badania polowe potwierdziły wcześniejsze rezultaty, uzyskane za pomocą elektronicznego kielkownika. Wysokość plonów oraz cechy biometryczne są zależne od wartości dawki ekspozycyjnej, niezależnie od sposobu jej uzyskania. Pole magnetyczne nie działa selektywnie, lecz całościowo. Nie tylko plony są wyższe od kontroli dla nasion stymulowanych przedsewnie, dłuższe są również żdźbła roślin. Ta ostatnia cecha nie jest pożądana, gdyż może dochodzić do wylegania zbóż.

Wpływ wody uzdatnianej magnetycznie na kiełkowanie i rozwój siewek (Pietruszewski i in. 2007)

Do magnetyzowania była używana woda z sieci wodociągowej w Lublinie. Charakteryzuje się ona dużą twardością i wysokim stopniem mineralizacji. Wodą pobraną z ujęcia wodociągowego napełniano zbiornik plastikowy i odstawiano na kilka godzin. Przed przystąpieniem do jej magnetyzowania wyznaczano współczynnik napięcia powierzchniowego zgodnie z metodyką stosowaną w pracowni fizycznej. Przeprowadzono również badania z wodą destylowaną. Woda przepływała przez plastikową rurkę, umieszczoną pomiędzy nabiegunkami elektromagnesu, przez odcinek o długości $d = 0,15$ m, ze stałą szybkością $v = 0,55$ m·s⁻¹ (ok. 7 m·s⁻¹). Magnetyzowanie wody przeprowadzono na stanowisku do magnesowania wody, które przedstawia rysunek 7. Magnesowanie wody odbywało się poprzez jedno-, trzy- i dziesięciokrotny przepływ w polu magnetycznym. Zastosowano dla wszystkich przepływów trzy różne pola magnetyczne: $B = 75$ mT, 300 mT oraz 900 mT. Dla każdej indukcji magnetycznej i krotności przepływu oraz dla wody niemagnesowanej, dwudziestokrotnie powtórzone pomiary współczynnika napięcia powierzchniowego. Dla wody destylowanej nie stwierdzono wpływu pola magnetycznego na jej właściwości fizykochemiczne.

Wodą wodociągową oraz magnetyczną nasączano bibułę filtracyjną na płytkach Petriego, na której następnie umieszczano nasiona pomidora gruntowego odmiany *Utan*, w trzech próbach, po 100 nasion w każdej. Badania przeprowadzono w komorze klimatycznej, w całkowitej ciemności, w temperaturze 20°C. Dla nasion ogórka odmiany *Hermes Skierniewicki F1* i nasion pomidora odmiany *Utan* przeprowadzono próby wazonowe, używając do podlewania wody magnesowanej polem 300 mT. Badano kinetykę kiełkowania nasion.



Rys. 7. Stanowisko do magnesowania wody: 1 - zbiornik górny z wodą niemagnesowaną, 2 - nabiegunki elektromagnesu lub magnesu stałego, 3 - zbiornik dolny z wodą magnesowaną (Pietruszewski i in. 2007)

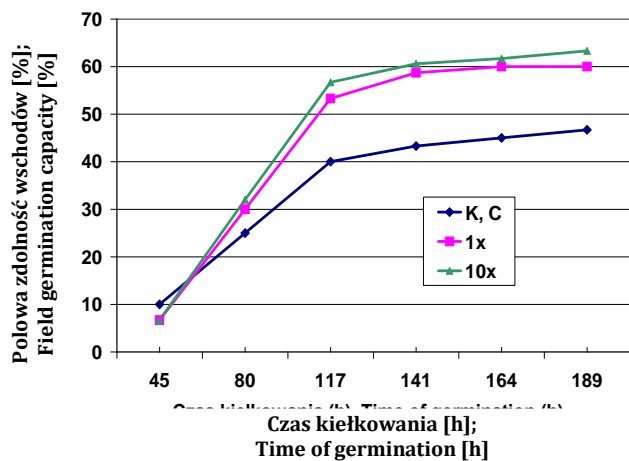
Fig. 7. Apparatus for magnetic treatment water: 1 - upper reservoir with unmagnetic water, 2 - magnetic field, 3 - lower reservoir with magnetic water (Pietruszewski et al. 2007)

W tabeli 5 przedstawiono zmianę wartości współczynnika napięcia powierzchniowego w zależności od krotności przepływu wody przez pole magnetyczne oraz wartości indukcji magnetycznej stosowanego pola magnetycznego. Rysunek 8 przedstawia przykładowe krzywe kinetyki kiełkowania nasion ogórka w próbie wazonowej, otrzymane dla wody uzdatnianej polem magnetycznym 300 mT. Rysunki 9 i 10 pokazują całkowitą masę kiełków, otrzymaną dla kiełkujących nasion ogórka i pomidora, przy zastosowaniu wody magnetyzowanej polem magnetycznym 300 mT.

Tabela 5. Zależność wartości współczynnika napięciowego wody od krotności przepływu i wartości indukcji magnetycznej (Pietruszewski i in. 2007)

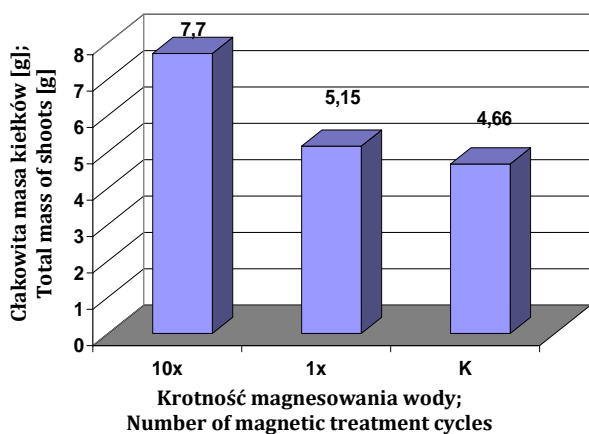
Table 5. Relationship value of coefficient of surface tension between multiplication factor of water flow and value of magnetic induction (Pietruszewski et al. 2007)

Krotność; Multiplication factor	Współczynnik napięcia powierzchniowego; Coefficient of surface tension [mN·m ⁻¹]		
	75mT	300mT	900mT
0	75,13	75,29	75,32
1	74,88	75,26	75,28
3	74,25	73,99	74,33
10	73,10	72,12	72,49



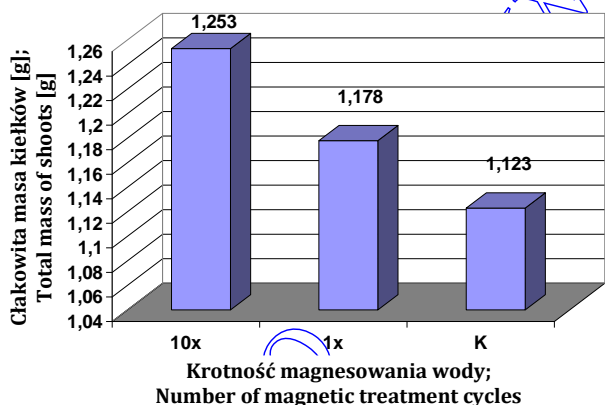
Rys. 8. Kinetyki kiełkowania nasion ogórka dla wody magesowanej polem 300 mT. Próba wazonowa (Pietruszewski i in. 2007)

Fig. 8. Kinetic germination of cucumber seeds for water treatment magnetic field of 300 mT. Pot test (Pietruszewski et al. 2007)



Rys. 9. Całkowita masa kiełków ogórka dla wody magesowanej polem magnetycznym 300mT (Pietruszewski i in. 2007)

Fig. 9. Total mass of cucumber shoots for water treatment of magnetic field 300mT (Pietruszewski et al. 2007)



Rys. 10. Całkowita masa kiełków pomidora dla wody magesowanej polem magnetycznym 300mT (Pietruszewski i in. 2007)

Fig. 10. Total mass of tomato shoots for water treatment of magnetic field 300mT (Pietruszewski et al. 2007)

Podsumowanie i dyskusja

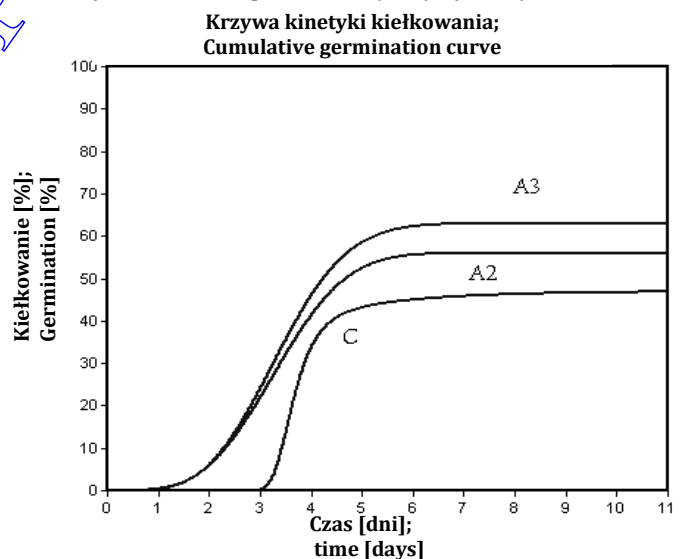
Zmienną indukcję magnetyczną, o wartości 15 μT i 50Hz, zastosowano do określenia jej wpływu na kiełkowanie nasion dębu korkowego (Celestyni i in. 1998). Przedstawione przez autorów wyniki, wskazują, że takie słabe pole magnetyczne znacznie poprawia zdolność kiełkowania nasion. Pole magnetyczne w zakresie 40 – 78 μT i 60Hz było stosowane

w celu określenia ich wpływu na kiełkowanie nasion kilku roślin (Davis 1996). Autor pracy wykazał, że w przypadku nasion gorczycy, jęczmienia i rzodkiewki, wpływ pola magnetycznego zwiększał zdolności kiełkowania nasion w stosunku do próby kontrolnej.

Innego typu badania zostały przedstawione w pracy (Sirota i in. 1999) przy zastosowaniu stałego pola magnetycznego, o bardzo dużej wartości indukcji magnetycznej, 10T. Tak bardzo silne pole magnetyczne zostało uzyskane dzięki wykorzystaniu zjawiska nadprzewodnictwa. W polu 10T i 7T, stwierdzono zdecydowanie lepsze kiełkowanie nasion ogórka w stosunku do kiełkowania próby kontrolnej.

Nasiona szałwii lekarskiej oraz nagietka lekarskiego badano w stałym polu magnetycznym, 125 mT (Flórez i in. 2012). Określano kiełkowanie nasion wybranych ziół, w zależności od zastosowanej dawki. Wyniki zostały przedstawione między innymi w postaci krzywych kinetyki kiełkowania. Jedno z otrzymanych krzywych przedstawia rysunek 11, brak jednak opisu tych wykresów za pomocą równań krzywych logistycznych.

Wpływ pola magnetycznego na nasiona roślin był badany w bardzo szerokim zakresie wartości indukcji magnetycznej. Wartości te wahały się od kilkunastu mikrotesli, aż do bardzo dużej wartości, jaką była wartość 10T. Różnice między tymi wartościami są rzędu milion razy. Oddziaływanie pola magnetycznego zależy od jego energii, a więc od wartości indukcji magnetycznej podniesionej do kwadratu. Wynika stąd, że wpływ tych oddziaływań różni się 10^{12} razy. Przy tak dużej różnicy, bardzo trudno jest porównać otrzymane wyniki przez różnych autorów. Dodatkową trudnością jest to, czy stosowane pola magnetyczne były stałe, czy też zmienne. Mechanizm oddziaływania takich pól różni się między sobą.



Rys. 11. Kinetyka kiełkowania dla szałwii lekarskiej i dawek A2–20 min i A3–1H oraz C–kontroli (Flórez i in. 2012)

Fig. 11. Kinetic germination for garden sage and doses A2–20 min i A3–1H and C–control (Flórez et al. 2012)

Przedstawiony w rozdziale „Przedsięwzięta stymulacja ziarniaków pszenicy jarej” materiał siewny pięciu odmian pszenicy charakteryzował się wysoką jakością. We wszystkich przypadkach, końcowa liczba wykiełkowanych ziarniaków była wyższa od 95% (za wyjątkiem nasion kontrolnych odmiany Banti). Poszczególne odmiany reagowały różnie na przed-

siewną stymulację zmiennym polem magnetycznym. Ziarniaki odmiany *Banti* i *Łagwa* kiełkowały wcześniej niż nasiona kontrolne, co wcale nie znaczyło, że kiełkowały zawsze szybciej. Bardzo przydatne do oceny wpływu pola magnetycznego okazało się równanie logistyczne Malthusa–Verhulsta. Równanie to również z powodzeniem stosował do oceny wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie czarnej fasoli (Mahajan, Pandey 2011). Porównanie parametrów krzywej logistycznej i wykresów kinetyk kiełkowania pozwalają prawidłowo określić wpływ pola magnetycznego na vegetację roślin. Wpływ ten jest bardzo zróżnicowany. Zależy on od dawki ekspozycyjnej, czyli od wielkości pola i czasu ekspozycji, ale również od odmiany rośliny. Na podstawie przytoczonych danych widać wyraźnie, że nie można jednoznacznie określić czy pole magnetyczne działa pozytywnie, czy też negatywnie. Badania kinetyki kiełkowania są badaniami laboratoryjnymi. Dzięki nim uzyskuje się wstępną informację. Ich weryfikacja powinna nastąpić w oparciu o badania polowe. Wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie, jak również na plony, wyraźnie zależy od zastosowanej dawki ekspozycyjnej, zdefiniowanej wzorem (2), niezależnie od sposobu jej uzyskania. Kinetykę kiełkowania najlepiej opisać za pomocą krzywej logistycznej, podając również wyliczone w oparciu o tę krzywą jej parametry, co zostało pokazane w tabelach 1 i 3.

W odniesieniu do wody uzdatnianej magnetycznie można stwierdzić, że pole magnetyczne zmniejsza współczynnik napięcia powierzchniowego wody „kanalizacyjnej”. Nie stwierdzono natomiast tego w przypadku wody destylowanej, dla wszystkich użytych nateżeń pól. Wpływ pola dla wody „kanalizacyjnej” jest niewielki, ale wyraźny. Zależy on jednak nie tylko, jak by się wydawało, od nateżenia stosowanego pola, ale od krotności przepływu wody przez to pole. Można przyjąć hipotezę, że decydującym czynnikiem nie jest energia pola magnetycznego, bo ona zależy od kwadratu indukcji magnetycznej, lecz czas oddziaływania. Przy czym istnieje takie pole, przy którym oddziaływanie jest największe. Z naszych badań wynika, że jest to pole o indukcji magnetycznej równej 300 mT.

Zmniejszenie wartości współczynnika napięciowego, to lepsze zwilżanie. Tym można tłumaczyć szybsze kiełkowanie nasion w próbach na płytkach Petriego. A jak jest w przypadku badań wazonowych? Uzyskane wyniki nie dają na to jednoznacznej odpowiedzi. Podlewane nasiona magnetycznie uzdatnianą wodą, kiełkują zdecydowanie szybciej i lepiej. Wydaje nam się, że w tym przypadku dodatkowym czynnikiem musi być oddziaływanie wody uzdatnianej magnetycznie na składniki gleby.

Rewelacyjne wyniki, jakie zostały przedstawione w referacie Hilal i Helal (2003) też nie dają na to zadawalającej odpowiedzi. W badaniach egipskich, oprócz wody uzdatnianej magnetycznie, była stosowana jeszcze dodatkowa przed-siewna stymulacja nasion polem magnetycznym i specjalnie opracowany przez nich nawóz. Te wszystkie czynniki decydowały o tym, że uzyskane wyniki były tak dobre.

Jedno wydaje się pewne. Woda uzdatniana magnetycznie ma mniejszy współczynnik napięcia powierzchniowego, lepszą przez to zwilżalność. Z powodzeniem może być stosowana w rolnictwie, jako czynnik poprawiający plony.

Wniosek

W oparciu o przedstawiony przegląd literatury oraz badania prowadzone w Katedrze Fizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, uzasadniony jest wniosek, że pole magnetyczne może być jednym z czynników poprawiających kiełkowanie, wzrost i plony roślin.

Literatura

1. Aguilar C.H., Dominguez–Pacheco A., CarballoCarballo A., Cruz–Orea A., Ivanom R., Lopez–Bonilla J.L., Valcarce lMontoñez J.P. 2009. *Alternating magnetic field irradiation on three genotype maize seed*. *ActaAgrophysica*, 14, 1, 7–17.
2. Aksenov S.I., Gruzina T.I., Gorichev S.N. 2001. *Characteristic of low frequency magnetic field effect on swelling of wheat seeds at various stages*. *Biofizika*, 46, 1127–1132.
3. Aladjadjyan A. 2010. *Influence of stationary magnetic field on lentil seeds*. *Int. Agrophysics*, 24, 321–324.
4. Atak C., Emiroğlu Ö., Alikamenğlu S., Razkoulieva A. 2003. *Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (Glicine max L. Merrill) tissue cultures*. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 2, 113–119.
5. Audus L.J. 1960. *Magnetotropism: A New Plant Growth Response*. *Nature*, 185, 132–134.
6. Balonchi H.R., Moderres Sanavy S.A.M. 2009. *Electromagnetic field impact on annual medics and dodder seed germination*. *Int. Agrophysics*, 23, 111–115.
7. Barnothy M.F. 1964. *Biological Effect on Magnetic Fields*. Plenum Press 1, New York, London.
8. Barnothy M.F. 1969. *Biological Effect on Magnetic Fields*. Plenum Press 2, New York, London.
9. Bujak K., Frant M. 2009. *Wpływ przed-siewnej stymulacji zmiennym polem magnetycznym na plonowanie pszenicy Jarej*. *Acta Agrophysica*, 14, 1, 19–29.
10. Carbonell M.V., Martinez E., Amaya J.M. 2000. *Stimulation of germination in rice (Oryzasavita L.) by a static magnetic field*. *Electro and Magnetobiol.* 19, 121–128.
11. Celestino C., Picazo M.L., Torbio M., Alvarez–Ude J.A., Bardasano J.L. 1998. *Influence of 50 Hz electromagnetic fields on recurrent embryogenesis and germination of cork somatic embryos*. *Plant Cell. Tissue and Organ Culture*, 54, 65–69.
12. Cholodov J.A. 1978. *Reaction of biological systems on magnetic field*. Nauka, Moskwa.
13. Davis M.S. 1996. *Effect of 60 Hz electromagnetic field on early growth in three plant species and a replication of previous results*. *Bioelectromagnetics*, 17, 154–161.
14. Danilewski W.J. 1971. *Studies on the influence of electricity on physiology of plants. t. 1, 2, Charków 1901*, w Presman. Pola elektromagnetyczne a żywa przyroda. PWN, Warszawa.
15. Dziwulska–Hunek A., Kornarzyński K., Matwijczuk A., Pietruszewski S., Szot B. 2009. *Effect of laser and variable magnetiv field stimulation on amaranth seeds germination*. *International Agrophysics*, 23, 215–227.
16. Eward A. 1971. *On the Physics and Physiology of Protoplasmatic Streaming in Plants. Oxford 1903.*, w Presman A.S. Pola elektromagnetyczne a żywa przyroda. PWN, Warszawa.
17. Fiszer G., Tausz M., Gill D. 2004. *Effect of weak 16 $\frac{2}{3}$ Hz magnetic field on growth parameters of young sunflower and wheat seedling*. *Bioelectromagnetics*, 25, 638–641.

18. Flórez M., Martínez E., Carbonell M.V. 2012. *Effect of Magnetic Field Treatment on Germination of Medicinal Plant*. Polish Journal Environ Stud., 21, 1, 57–63.
19. Hilal M., Helal M.M. 2003. *Application of magnetic technologies in desert agriculture. Some germination and seedling emergence of some crops in a saline calcareous soil*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze. Agrolaser, Referaty i doniesienia, Lublin.
20. Hirota N., Nakagawa J., Kitazawa K. 1999. *Effect of magnetic field on the germination of plant*. Journal of applied physics, 85, 8, 5717–5719.
21. Kania K., Pietruszewski S., Kornarzyński K. 2007. *Urządzenie do oznaczania zdolności kiełkowania nasion*. Patent, PL 378397.
22. Kopeć B. 1984. *Wpływ pól elektrycznych i magnetycznych na właściwości biologiczne nasion*. Praca doktorska, maszynopis. WTR AR, Lublin.
23. Kopeć B. 1985. *Zastosowanie pola magnetycznego do przedsewnej obróbki nasion*. Postępy Nauk Rolniczych, 1, 93–100.
24. Mahajan T.S., Pandey O.P. 2011. *Reormulation of Malthus-Verhulst equation for black gram seeds pretrated with magnetic field*. International Agrophysics, 25, 355–359.
25. Martínez E., Carbonell M.V., Amaya J.M. 2000. *A static magnetic field of 125 mT stimulates in initial growth stages of barley (Hordeum vulgare L.)*. Electro and Magnetobiol., 19, 271–277.
26. Martínez E., Carbonell M.V., Flórez H., Amaya J.M., Maqueda R. 2009. *Germination of tomato seeds (Lycopersicon esculantum L.) under magnetic fields*. International Agrophysics, 23, 44–50.
27. Moreón L.P., Castro Palacio J.C., Velázquez Abad L., Govea A.P. 2007. *Stimulation of Pinus Tropicalis M. seeds by magnetically treated water*. International Agrophysics, 21, 173–177.
28. Novitskiy I., Novitskaya G.V., Kosheshova T.K., Nechiporenko G.A., Dobrovolskiy M.V. 2001. *Growth of green onions in a weak permanent magnetic field*. Journal Plant Physiol, 48, 709–715.
29. Pietruszewski S. 1999. *Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej*. Rozprawy Naukowe, AR Lublin.
30. Pietruszewski S. 2001. *Modelowanie krzywą logistyczną kiełkowania nasion pszenicy odmiany Henika w polu magnetycznym*. Acta Agrophysica, 58, 143–151.
31. Pietruszewski S., Muszyński S., Dziewulska A. 2007. *Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulants for seeds (selected methods and responses)*. International Agrophysics, 21, 95–100.
32. Pietruszewski S., Kornarzyński K., Łopucki M. 2007. *Woda magnetyczna, jej niektóre właściwości fizyczne i zastosowanie*. Przegląd Telekomunikacyjny, LXXX. 8–9, 675–682.
33. Pietruszewski S., Kania K. 2010. *Effect of magnetic field on germination and yield of wheat*. International Agrophysics, 24, 275–302.
34. Pietruszewski S., Szczotka P.S., Kania K. 2013. *Wpływ przedsewnej stymulacji magnetycznej na kiełkowanie ziarniaków różnych odmian pszenicy jarej*. Acta Agrophysica, 20.
35. Pitman U.J. 1963. *Magnetism and Plant Growth: I Effect of Germination and Early Growth of Cereals Seeds*. Journal of Plant Sciences, 43, 513–518.
36. Pitman U.J. 1965. *Magnetism and Plant Growth: III Effect of Germination and Early Growth of Corn and Beans*. Journal of Plant Sciences, 45, 549–555.
37. Pitman U.J. 1967. *Biomagnetic Responses in Kharkov 22 MC Winter Wheat*. Journal of Plant Sciences, 47, 389–393.
38. Pitman U.J., Carefoot J.M., Ormrod D.P. 1979. *Effect of magnetic seed Treatment on Amylolytic Activity of Quiescent and Germinating Barley and Wheat*. Journal of Plant Sciences, 59, 1007–1011.
39. Pitman U.J., Ormrod D.P. 1970. *Physiological and Chemical Features of Magnetically Treated Winter Wheat Seed and Resultant Seedling*. Journal of Plant Sciences, 50, 211–217.
40. Pitman U.J., Ormrod D.P. 1971. *Biomagnetic Responses in Germinating Barley*. Journal of Plant Sciences, 51, 64–65.
41. Podlesny J., Pietruszewski S. 2009. *Wpływ wody uzdatnianej magnetycznie na wzrost, rozwój i plonowanie dwóch genotypów bobiku*. Annale UMCS, E, LXIV, 1, 52–58.
42. Presman A.S. 1971. *Pola elektromagnetyczne a żywa przyroda*. Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
43. Ratushnyak A.A., Andreeva M.G., Morozova G.A., Trushin M.V. 2008. *Effect of extremely high frequency electromagnetic fields on microbiological community in rhizosphere of plants*. International Agrophysics, 22, 71–74.
44. Reinke J. 1876. *Untersuchungen der Wachstrum*. Botan. Ztg., 34, 129.
45. P.W. Sawostin. 1930. *Magnetic growth reaction in plants*. Planta, 12, 327–333.
46. Sujak A., Dziwulska-Hunek A. 2010. *Minerale and fatty acids of amaranth seeds subjected to pre-sowing electromagnetic stimulation*. International Agrophysics, 24, 375–379.
47. Tolomei G. 1893. *Anzione del magnetismo sulla germinazione*. Malpighia, 7, 470.
48. Zepeda-Bautista R., Hernandez-Aguilar C., Dominguez-Pacheco A., Cruz-Orea A., Godina-Nova J.J., Martinez-Ortiz E. 2010. *Electromagnetic field and seed vigor of corn hybrids*. International Agrophysics, 24, 329–332.

Stanisław Pietruszewski, Konrad Kania, Krzysztof Kornarzyński

Katedra Fizyki

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

stanislaw.pietruszewski@up.lublin.pl

konrad.kania@up.lublin.pl

krzysztof.kornarzyński@up.lublin.pl