

WPŁYW STYMULACJI MAGNETYCZNEJ NASION NA WZROST, ROZWÓJ I PLONOWANIE ROŚLIN UPRAWNYCH

Janusz Podleśny

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: jp@iung.pulawy.pl, Poland

Streszczenie. Przeprowadzone dotychczas badania wykazały korzystny wpływ pola magnetycznego na nasiona i wyrosłe z nich rośliny. Wielkość uzyskiwanych efektów mierzonych przyspieszeniem kiełkowania nasion oraz korzystnym wpływem na wschody, rozwój i plonowanie roślin jest różna. Wskazuje to na ich zależność od wielu czynników fizycznych, takich jak: dawka ekspozycyjna i rodzaj pola magnetycznego, konstrukcja urządzenia do stymulacji oraz czynników przyrodniczych takich jak: gatunek i odmiana rośliny, wilgotność nasion, przebieg pogody w okresie wegetacji. Zagadnienie wpływu pola magnetycznego na rozwój i plonowanie roślin zostało w znacznym stopniu udokumentowane wieloma wynikami, ale kompleksowe wyjaśnienie tego zjawiska wymaga dalszego prowadzenia badań, głównie procesów biochemicznych i fizjologicznych zachodzących w nasionach oraz w roślinach. Tematyka ta będzie z pewnością przedmiotem zainteresowań nauki, bowiem zdaniem wielu autorytetów naukowych zagadnienia z pogranicza biologii i fizyki wymagające działań interdyscyplinarnych będą jednymi z ważniejszych badań prowadzonych w obecnym stuleciu, a wyjaśnienie ich mechanizmów działania będzie dużym wyzwaniem dla agrofizyki XXI wieku.

Słowa kluczowe: pole geomagnetyczne, stymulacja magnetyczna nasion, kiełkowanie nasion, rozwój roślin, plonowanie, jakość plonu

WSTĘP

Rozwój nowoczesnego rolnictwa i związane z tym propagowanie zasad racjonalnego wykorzystania zasobów środowiska przyrodniczego zmusza do poszukiwania bezpiecznych metod podwyższania wielkości i jakości plonów roślin uprawnych. Dobra jakość i odpowiednie przygotowanie materiału siewnego jest jednym z ważniejszych czynników plonotwórczych. Znanych jest obecnie wiele chemicznych, fizycznych i fizjologicznych metod ulepszania materiału siewnego [2-4,16,20,21). Najbardziej poznane i najczęściej stosowane w praktyce

są metody chemiczne związane z zaprawianiem nasion różnymi substancjami (zaprawy nasienne, regulatory wzrostu itp.). Jednak stosowane środki mimo ich dużej skuteczności stanowią zagrożenie dla środowiska. Wiele substancji aktywnych może przenikać bowiem do wnętrza nasion i modyfikować ich skład chemiczny a także zanieczyszczać środowisko glebowe. Dlatego też w ostatnich latach większą wagę zaczęto przywiązywać do niektórych fizycznych czynników wpływających korzystnie na materiał siewny roślin uprawnych [8,9,20,21,43,50]. Przeważa pogląd, że fizyczne metody przedsewnej obróbki nasion stymulują jedynie przebieg zmian fizjologicznych i biochemicznych w nasionach, są zatem bezpieczne dla środowiska [1,17,19,24,27,41]. Metody fizyczne nie zastąpią skutecznych metod chemicznych, ale mogą być dobrym ich uzupełnieniem. Jedną z metod fizycznych mogących mieć zastosowanie w ulepszaniu materiału siewnego jest stymulacja nasion stałym lub zmiennym polem magnetycznym.

Celem opracowania jest przedstawienie dotychczasowego stanu wiedzy o zjawisku oddziaływania pola magnetycznego na nasiona oraz jego wpływu na stymulację wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych.

ODDZIAŁYWANIE ZIEMSKIEGO POLA MAGNETYCZNEGO NA OBIEKTY BIOLOGICZNE

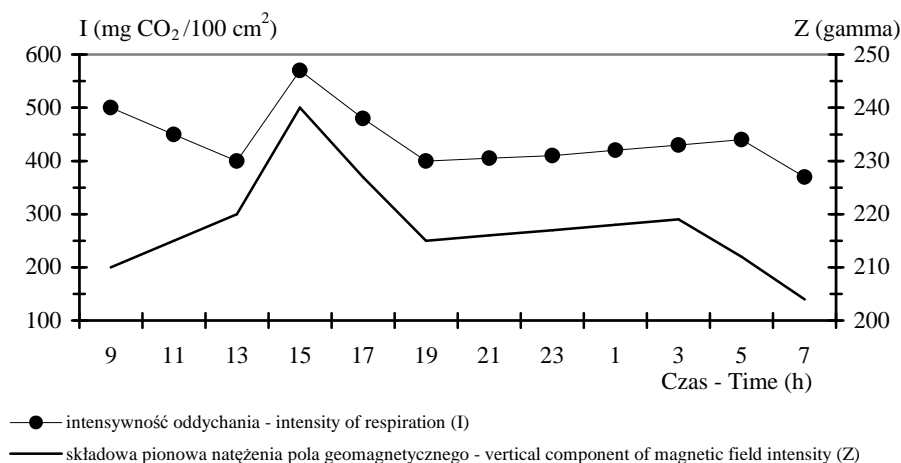
Wiele badań związanych z oddziaływaniem czynników fizycznych na obiekty biologiczne dotyczyło ziemskiego pola magnetycznego, określanego często jako pole geomagnetyczne. Nowoczesne techniki badawcze pozwalają śledzić rytm zmian tego pola w krótkich i dłuższych odstępach czasu. Krótkie zmiany wartości parametrów pola geomagnetycznego powodowane są przede wszystkim obrotem Słońca wokół własnej osi, a zmiany długie zjawiskami zachodzącymi w głębi skorupy ziemskiej oraz oddziaływaniem przestrzeni kosmicznej. Najnowsze badania wykazują wielkość zmian natężenia pola magnetycznego Ziemi i związane z tym przemieszczanie się jej biegunów magnetycznych. Z badań NASA wynika, że w dziejach Ziemi zamiana biegunów magnetycznych następowała wiele razy. Z tymi zmianami wiąże się procesy ewolucyjne i katastrofy na Ziemi, na przykład wymieranie i powstawanie nowych gatunków zwierząt oraz nowych gatunków roślin. Zanikowi pola magnetycznego towarzyszy bowiem zwiększone promieniowanie jonizujące powstałe z powodu braku osłony magnetycznej – zwiększa się wówczas liczba mutacji i liczniejsze są błędy w materiale genetycznym [57].

Z prac przeprowadzonych dotychczas wynika, że istnieje ścisły związek między zmianami pola magnetycznego a przebiegiem procesów życiowych na Ziemi, który uwidacznia się w rytmie przebiegu procesów fizjologicznych, biochemicznych, genetycznych i biofizycznych. Istota tego związku jest dotychczas słabo poznana i wyjaśniona. Według Dubrova [13] u jego podstaw leży

budowa i funkcja błon komórkowych i związane z nimi ich biologiczne nadprzewodnictwo (superconductivity) wykazane w niektórych badaniach medycznych i botanicznych. Na przykład, z doświadczeń NASA wynika, że zmniejszenie natężenia ziemskiego pola magnetycznego wpływa niekorzystnie na wzrost i rozwój myszy; objawia się zmniejszeniem ich aktywności życiowej, utratą sierści i zmianami histologicznymi w wielu tkankach [57]. Również w odniesieniu do ludzi ekranowanie pola geomagnetycznego prowadzi do zmian w funkcjonowaniu centralnego układu nerwowego i zaburzeń rytmu wielu procesów fizjologicznych. Gwałtowne zmiany wartości parametrów pola magnetycznego stymulują rozwój bakterii i wirusów, co prowadzi do zwiększonej infekcji i zachorowalności na niektóre choroby. Potwierdzają to badania Dubrova [12], w których wykazano wyraźną zależność liczby zachorowań na szkarlatynę od przebiegu zaburzeń pola geomagnetycznego. Ekranowanie mikroorganizmów przed oddziaływaniem pola geomagnetycznego prowadzi do zahamowania ich wzrostu i powstawania mutantów [11,33]. Zagadnienia wpływu ziemskiego pola magnetycznego na nasiona i rozwój roślin były przedmiotem zainteresowania naukowców już w końcu XIX i początku XX wieku. Ich prekursorem był Tolomei [54], który wykazał efekt magnetotropizmu oraz zaobserwował, że nasiona pszenicy będące w polu magnetycznym wcześniej i lepiej kiełkują niż nasiona w obiektach kontrolnych. Zjawisko to było szczegółowo zbadane i opisane przez Audusa [6] dopiero w latach 60-tych minionego stulecia. Magnetotropizm kiełkujących nasion pszenicy obserwował także Pitman [38] w odniesieniu do kilku gatunków roślin uprawnych. Nasiona ułożone dłuższą osią symetrii wzdłuż linii sił pola magnetycznego kiełkowały zdecydowanie wcześniej i równomierniej niż nasiona ułożone prostopadle do tego kierunku. Różnica między długością korzeni siewek wyrosłych z nasion ułożonych równoległe w stosunku do korzeni siewek wyrosłych z nasion ułożonych prostopadle do linii sił pola magnetycznego wynosiła średnio dla badanych gatunków 165%.

Późniejsze prace Ewarda [15] wykazały, że ruch cytoplazmy u niektórych roślin wodnych umieszczonych w prostopadłym polu magnetycznym szybko zamiera, natomiast pole równoległe nie wywołuje takiego efektu. Potwierdzeniem tego były badania Sawostina [52], który udokumentował szczegółowymi wynikami badań spowolnienie lub przyspieszenie ruchu cytoplazmy w zależności od natężenia i kierunku pola magnetycznego. Zaobserwował on również przyspieszony wzrost korzeni i zwiększoną przepuszczalność błon komórkowych u roślin rosnących w polu magnetycznym. W warunkach zmniejszonego natężenia pola geomagnetycznego, w tzw. warunkach hypomagnetycznych, tempo kiełkowania nasion i wzrostu siewek było mniejsze niż w warunkach większego natężenia tego pola. Kiełki pszenicy rosnącej w polu magnetycznym były o 100% dłuższe od kiełków roślin ekranowanych. Przykładem oddziaływania pola magnetycznego na

przebieg procesów fizjologicznych w roślinach są badania Dubrova [12], który wykazał ścisły związek między zmianami natężenia pola geomagnetycznego intensywnością oddychania liści tytoniu (rys.1).



Rys. 1. Przebieg dziennego rytmu oddychania roślin i wartości składowej pionowej natężenia pola geomagnetycznego [12]

Fig. 1. The course of daily rhythm of plant respiration and values of magnetic field vertical component [12]

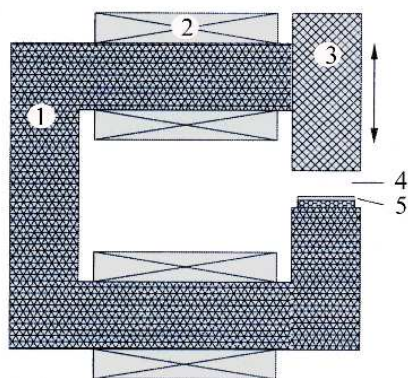
Z badań Kryłowa i Tarkanowej [23] wynika, że oprócz kierunku ułożenia nasion względem linii sił pola magnetycznego ważne jest także położenie zarodka. Nasiona kukurydzy skierowane zarodkiem w stronę bieguna południowego szybciej kiełkują, a wyrosłe z nich siewki cechuje większy wigor. Korzeń siewki wyrosłej z ziarniaka ułożonego w kierunku północnym tworzy pętlę i ponownie zwraca się do bieguna południowego, co wyraźnie wskazuje na istnienie geomagnetotropizmu kiełka. Ziemskie pole magnetyczne stymuluje nie tylko intensywność procesu kiełkowania nasion lecz może oddziaływać również na późniejszy rozwój roślin. Dlatego rośliny wyrosłe z nasion ułożonych zarodkiem w kierunku południowym szybciej rosną oraz wytwarzają większą masę nadziemną i korzeniową niż rośliny wyrosłe z nasion ułożonych w kierunku przeciwnym.

Stwierdzenie korzystnego oddziaływania ziemskiego pola magnetycznego na kiełkowanie nasion i rozwój roślin zainspirowało badania nad wpływem sztucznych pól magnetycznych uzyskiwanych w specjalnie konstruowanych urządzeniach, na zmiany procesów metabolicznych zachodzące w nasionach oraz rozwój i plonowanie roślin.

URZĄDZENIA DO STYMULACJI NASION POLEM MAGNETYCZNYM

Z danych literatury krajowej i zagranicznej wynika, że wykonano dotychczas wiele urządzeń wytwarzających stałe lub zmienne pole magnetyczne, których elementem roboczym był magnes trwały lub elektromagnes zasilany prądem stałym lub zmiennym [10,40,48]. Autorzy badań najczęściej nie podają szczegółowego opisu konstrukcji lecz tylko wielkości charakteryzujące uzyskane pole magnetyczne. W polskich warunkach urządzenie do stymulacji nasion polem magnetycznym wykonano w Katedrze Fizyki Akademii Rolniczej w Lublinie [36]. Podstawowym elementem urządzenia jest elektromagnes składający się z rdzenia wykonanego ze stali transformatorowej z nawiniętymi uzwojeniami (rys. 2). Ruchoma część rdzenia pozwala na płynną regulację zmian szerokości szczeliny. Dzięki tej regulacji uzyskuje się płynną zmianę indukcji magnetycznej w zakresie od 30 do 100 mT.

Konstruowane urządzenia pozwalają na wykonywanie przewidzianej obróbki nasion, a niekiedy także na umieszczanie całych roślin w polu magnetycznym. Podstawową zasadą w konstrukcji tego typu urządzeń jest uzyskanie jednorodnego pola magnetycznego o wymaganych parametrach, głównie o określonej indukcji magnetycznej. Dlatego zarówno elektromagnesy, jak i magnesy stałe będące podstawową częścią urządzeń stosowanych do wytwarzania jednorodnych zmiennych lub stałych pól magnetycznych są najczęściej w kształcie pierścienia lub kwadratu [40,51].



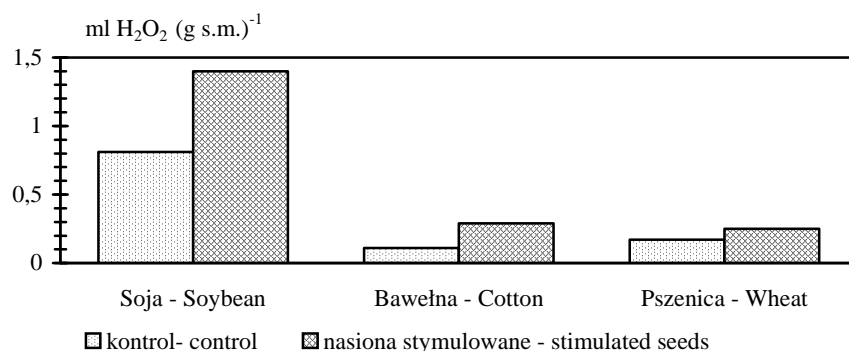
s. 2. Schemat elektromagnesu stosowanego do stymulacji magnetycznej nasion [36]
 rys. 2. Block diagram of electromagnet [36]

- 1 - rdzeń – magnetic core
- 2 - uzwojenia cewek – field coils
- 3 - ruchoma część rdzenia – mobile magnetic core
- 4 - szczelina elektromagnesu – air gap
- 5 - stymulowane nasiona – seed sample

MECHANIZM ODDZIAŁYWANIA POLA MAGNETYCZNEGO NA NASIONA I ROZWÓJ ROŚLIN

Przeprowadzone dotychczas eksperymenty wykazały korzystny wpływ pola magnetycznego na nasiona i rozwój roślin. Ze względu na znaczną rozbieżność uzyskiwanych rezultatów wynikającą z różnych warunków prowadzenia badań trudno jest dokonać porównania i interpretacji uzyskanych wyników. Wskazuje to również na zależność efektów stymulacji nasion od wielu czynników, co udało się wykazać w niektórych pracach naukowych dotyczących tego zjawiska. Dotychczas nie udało się dokładnie poznać i opisać sposobu oddziaływania pola magnetycznego na nasiona i rośliny. Tłumaczenie tego zjawiska opiera się najczęściej na hipotezach – niektóre z nich zostały częściowo poparte fragmentarycznymi badaniami szczegółowymi, głównie z zakresu biochemii i fizjologii. Zdaniem Aristarchowa i in. [5] pole magnetyczne wpływa na zmiany szybkości lub mechanizmu dyfuzji jonów i orientacji biologicznych molekuł obdarzonych podatnością magnetyczną, co może powodować zmianę przebiegu reakcji biochemicznych na skutek działania pola magnetycznego na struktury elektronowe molekuł. Niektórzy badacze [26,32] uważają, że pole magnetyczne zmienia przepuszczalność błon komórkowych, przez co zwiększa się szybkość dyfuzji jonów przez membrany komórkowe. Według Sedlaka [49] oddziaływanie czynników fizycznych na nasiona można tłumaczyć na podstawie teorii bioplazmy, którą stanowi przestrzeń wypełniona fotonami i polem elektromagnetycznym. Bioplazma zapewnia przepływ swobodnej energii dostarczanej przez pola magnetyczne i elektryczne. Zdaniem Wadasa [56] pole magnetyczne oddziałuje na organizmy żywe poprzez nieskompensowane spiny elektronowe, działanie na ciekłe kryształy oraz na poruszające się ładunki elektryczne. Według Grzesiuka i Kulki [17] czynniki fizyczne oddziałują wszechstronnie na nasiona roślin uprawnych, ale w największym stopniu stymulują przebieg procesów enzymatycznych. Potwierdzeniem takiego rozumowania są badania Podleśnego [45], w których wykazano wyraźny wpływ promieniowania laserowego na aktywność enzymów amylolitycznych w kiełkujących nasionach bobiku. Lebediev i in [25] wskazali również zwiększoną aktywność lipazy, amylazy i katalazy w nasionach soi, słonecznika i pszenicy poddanej działaniu pola magnetycznego (rys. 3), a Pittman [39] zwiększoną aktywność enzymów amylolitycznych w kiełkujących nasionach jęczmienia. Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że pole magnetyczne stymuluje aktywność niektórych enzymów nie tylko u roślin, ale także u zwierząt [58].

Według Wojtusiaka i Majlert [57], dużą rolę w oddziaływaniu pola magnetycznego na organizmy roślinne i zwierzęce może odgrywać woda, niezbędna do przebiegu procesów życiowych i bardzo wrażliwa na pola elektromagnetyczne o nawet niewielkiej energii. Dużą rolę przypisuje się również własnym polom biomagnetycznym obecnym w każdym żywym organizmie. Badania ostatnich lat wykazały istnienie takich pól o natężeniu kilku gamma także w nasionach roślin uprawnych. Według Wadasa [56], pole magnetyczne oddziałuje na organizmy żywe poprzez jony magnetyczne występujące w różnych stanach magnetycznych i spełniające ważne funkcje w dynamicznych procesach życiowych. Zastosowanie zewnętrznych pól magnetycznych może powodować zmianę ich stanu związaną ze zmianami funkcjonalnymi.



Rys. 3. Aktywność katalazy w nasionach soi, bawełny i pszenicy traktowanych i nie traktowanych polem magnetycznym [25]

Fig. 3. The activity of catalase in soybean, cotton, wheat seeds treated and non-treated with magnetic field [25]

Obecnie dysponujemy nowoczesnymi technikami badawczymi nieznanymi w czasach, gdy odkrywano i opisywano występowanie biomagnetyzmu i magnetotropizmu. Można zatem znacznie poszerzyć zakres wiedzy dotyczący tego zagadnienia. Na przykład wiadomo, że niektóre czynniki fizyczne powodują powstawanie w białkach złożonych dużej liczby wolnych rodników, które w reakcji z tlenem mogą dawać początek szybko przebiegającym reakcjom utleniania prowadzącym do zmian w wewnętrznych strukturach protoplazmy spełniających rolę błon półprzepuszczalnych. Pod wpływem tych zmian wzrasta aktywność enzymów hydrolitycznych i zwiększa się pobieranie wody przez nasiona [17]. W dostępnej literaturze nie ma jednak doniesień dotyczących wpływu pól magnetycznych na koncentrację wolnych rodników w nasionach i roślinach. Zagadnienia te są przedmiotem obecnie prowadzonych badań.

KIEŁKOWANIE I WSCHODY ROŚLIN Z NASION TRAKTOWANYCH POLEM MAGNETYCZNYM

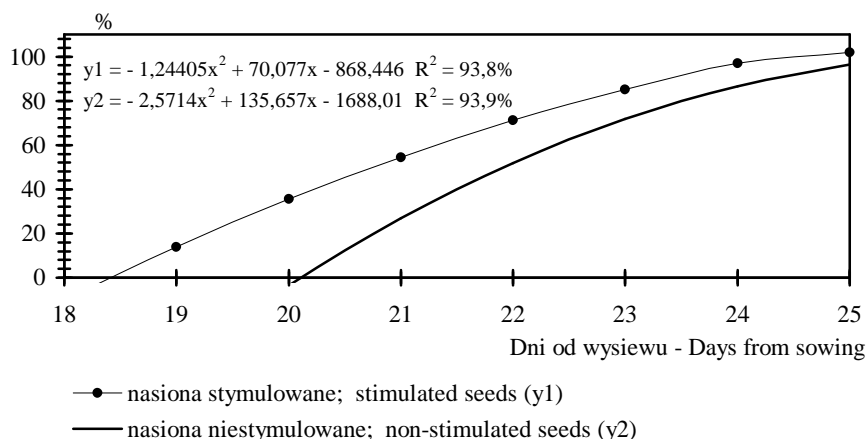
Z doniesień literatury krajowej i zagranicznej wynika, że pole magnetyczne zmieniając przebieg niektórych procesów fizjologicznych i biochemicznych w nasionach oddziałuje także na kiełkowanie i późniejszy rozwój roślin. Zwiększona aktywność enzymatyczna nasion stymulowanych wskazuje na większe zawansowanie procesu kiełkowania w porównaniu z nasionami kontrolnymi. Traktowane polem magnetycznym nasiona szybciej pęcznieją i rozpoczynają kiełkowanie, czego efektem są wcześniejsze i bardziej równomierne wschody roślin [1,18,28,30,46]. Pole magnetyczne oddziałuje szczególnie wyraźnie na początkowy okres rozwoju roślin. Siewki wyrosłe z nasion stymulowanych wytwarzają dłuższą łodygę i korzeń oraz charakteryzuje je często większy wigor. Z badań Strekovej i in. [53] wynika, że pole magnetyczne przyspieszając intensywność podziałów komórkowych, prowadzi do zwiększonej dynamiki wzrostu wegetatywnego roślin. Przyrost długości koleoptyla siewek żyta, hipokotyła łubinu żółtego i ogórków wyrosłych z nasion umieszczanych przedsięwzię w polu magnetycznym w porównaniu do roślin z obiektu kontrolnego wynosił odpowiednio: 28, 50 i 46%, a korzeni odpowiednio 48, 64 i 41%.

Dodatni wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie i wzrost młodych siewek pszenicy ozimej i jęczmienia wykazano także w badaniach kanadyjskich prowadzonych w prowincji Alberta [42]. Wyraźne różnice między roślinami wyrosłymi z nasion stymulowanych i kontrolnych obserwowano w odniesieniu do długości koleoptyla oraz plonu suchej masy koleoptyla i korzeni.

Na ogół uważa się, że pole magnetyczne o małym natężeniu wpływa korzystnie na kiełkowanie i rozwój roślin a pole magnetyczne o dużym natężeniu może zmniejszać zdolność kiełkowania i ograniczać rozwój roślin. W przeprowadzonych dotychczas badaniach stosowano różne dawki ekspozycyjne pola magnetycznego, charakteryzowane najczęściej wielkością natężenia pola magnetycznego i czasem ekspozycji [29]. Uzyskane rezultaty badań nie dają podstaw do jednoznacznego określenia granicznych dawek pola magnetycznego wpływających korzystnie na wzrost i rozwój roślin. Prowadzono bowiem badania z różnymi gatunkami roślin, w różnych warunkach glebowo-klimatycznych i stosując różnorodne urządzenia do wytwarzania pól magnetycznych.

W polskich warunkach korzystny wpływ pola magnetycznego na kiełkowanie pszenicy wykazał Pietruszewski [35]. W wyniku traktowania nasion polem magnetycznym uzyskano zdecydowane przyspieszenie kiełkowania i zwiększenie ich zdolności kiełkowania. Natomiast z badań Podleśnego i in. [46] przedstawiających przebieg dynamiki wschodów łubinu białego wynika, że efekt stymulacji ujawnia się najbardziej w początkowym okresie wschodów roślin (rys. 4).

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że bardzo dobre efekty oddziaływania czynników fizycznych na kiełkowanie nasion uzyskuje się w odniesieniu do drzew owocowych. Z badań przeprowadzonych na Uniwersytecie Stanowym w Logan wynika, że stymulacja nasion polem magnetycznym przyspiesza kiełkowanie i zwiększa bardzo wyraźnie liczbę kiełkujących nasion jabłoni, brzoskwini i moreli [10].



Rys. 4. Dynamika wschodów łubinu białego – % wschodzących roślin [46]

Fig. 4. Plant emergence dynamics – percentage of emerging plants [46]

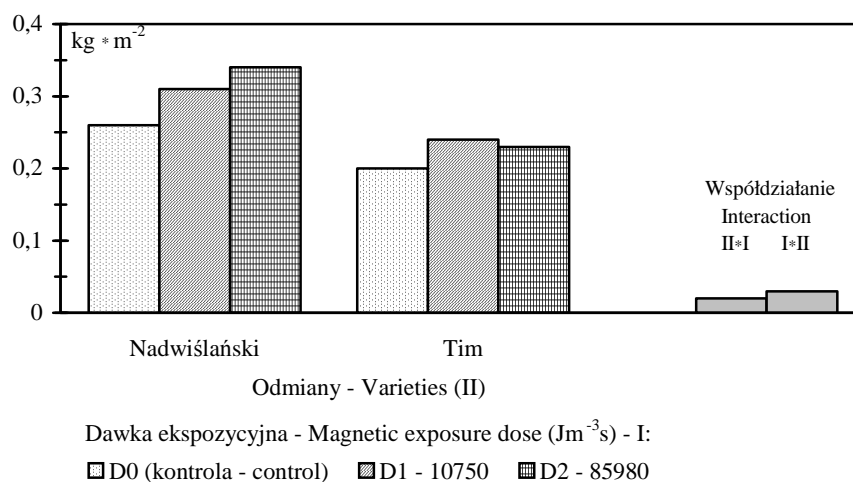
Wielkość efektu oddziaływania czynników fizycznych na nasiona roślin uprawnych zależy bardzo często od wilgotności materiału siewnego poddawanego takiej obróbce. Nasiona wilgotniejsze są bardziej podatne na działanie czynników fizycznych niż nasiona suche. Metabolizm nasion wilgotnych jest zdecydowanie szybszy niż suchych, bardziej zawansowane są w nich również procesy biochemiczne dlatego stymulacja tych procesów czynnikami fizycznymi jest o wiele efektywniejsza. Badania Kornarzyńskiego i Pietruszewskiego [22] wskazują na istnienie takiej zależności również w odniesieniu do pola magnetycznego. Nasiona pszenicy zawierające więcej wody, w wyniku stymulacji polem magnetycznym wschodziły wcześniej i równomierniej niż kontrolne.

Zdaniem Rochalskiej [47] szczególnie korzystne efekty wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie nasion uzyskuje się w odniesieniu do materiału siewnego o słabej zdolności kiełkowania oraz nasion gatunków ciepłolubnych takich jak soja, czy kukurydza. Wskazuje to na ochronne działanie pola magnetycznego przed uszkodzeniami spowodowanymi niską temperaturą, najprawdopodobniej poprzez zmianę gospodarki energetycznej kiełkującego nasienia.

WPLYW POLA MAGNETYCZNEGO NA ROZWÓJ I PLONOWANIE ROŚLIN

Od dynamiki kiełkowania nasion w dużym stopniu zależy przebieg wzrostu i rozwoju roślin w późniejszych etapach ontogenezy. Siewki roślin wyrosłych z nasion szybko kiełkujących są na ogół lepiej wykształcone i charakteryzuje je większy wigor. Wyrosłe z nich rośliny są natomiast odporniejsze na niekorzystne czynniki środowiska, szybciej rosną i lepiej plonują. Zatem pole magnetyczne przyspieszając wschody roślin i zwiększając wigor siewek wpływa także na późniejszy rozwój roślin. Badania Lebedieva [25] wykazują, że rośliny soi wyrosłe z nasion stymulowanych polem magnetycznym były wyższe niż w obiektach kontrolnych i zdecydowanie wcześniej zakwitły. Skrócenie okresu wegetacji, wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie jest według Grzesiuka i Kulki [17] częstym efektem oddziaływania czynników fizycznych na materiał siewny roślin. Potwierdzeniem tego są badania Podleśnego [44], w których wykazano wcześniejsze zakwitanie i dojrzewanie łubinu białego wyrosłego z nasion traktowanych przed siewem promieniami laserowymi. Boe i Salunkhe [7] stwierdzili zdecydowanie szybsze dojrzewanie owoców pomidora uzyskanych z roślin wyrosłych z nasion poddawanych działaniu pola magnetycznego w porównaniu do obiektu kontrolnego. Wskaźnik dojrzewania mierzony stosunkiem liczby owoców wcześniej dojrzałych do całkowitej liczby owoców dojrzałych był szczególnie korzystny w późniejszym etapie dojrzewania roślin. Przyspieszenie dojrzewania może mieć duże znaczenie w uprawie gatunków roślin o długim okresie wegetacji, których zbiór wypada często w miesiącach jesiennych – zbiera się wówczas plony o słabej wartości paszowej i siewnej.

Następstwem wcześniejszego kiełkowania i przyspieszonego rozwoju roślin wyrosłych z nasion stymulowanych jest często wyższa plonu [34]. Z badań Pitmana i in. [42] wynika, że reakcja różnych gatunków zbóż na działanie pola magnetycznego jest niejednakowa i zależy od warunków klimatyczno-glebowych. Największą wyżkę plonów na skutek traktowania nasion polem magnetycznym uzyskano w uprawie jęczmienia i pszenicy. Natomiast Vakaharia i in. [55] donosi o korzystnym wpływie pola magnetycznego na plonowanie orzeszków ziemnych. W polskich warunkach Pietruszewski [35] wykazał korzystny wpływ pola magnetycznego na plonowanie pszenicy ozimej odmiany Henika i Jara. Stymulacja nasion polem magnetycznym wpływała korzystnie na kształtowanie takich cech plonotwórczych pszenicy jak: długość kłosa, liczba nasion w kłosie, liczba kłosów i masa nasion z 1m². Przeprowadzone w ostatnich latach badania Podleśnego i in. [46] wykazały, że przedsewna stymulacja nasion polem magnetycznym może wpływać korzystnie na kształtowanie niektórych cech morfologicznych i plonowanie bobiku (rys. 5).



Rys. 5. Plon nasion bobiku w zależności od odmiany i dawki pola magnetycznego [46]

Fig. 5. Yield of faba bean seeds in dependence on variety and magnetic field dose [46]

JAKOŚĆ PŁONU ROŚLIN WYROSŁYCH Z NASION TRAKTOWANYCH POLEM MAGNETYCZNYM

W dostępnej literaturze krajowej i zagranicznej jest niewiele wyników badań dokumentujących w sposób jednoznaczny wpływ traktowania nasion polem magnetycznym na jakość uzyskiwanych plonów. Dodatni wpływ stymulacji magnetycznej nasion na zawartości cukru w korzeniach buraka cukrowego stwierdzili między innymi Pietruszewski i Wójcik [37], ale istotne różnice wystąpiły tylko w odniesieniu do niektórych odmian i dawek ekspozycyjnych. Natomiast Dulbina [14] wykazała dodatni wpływ pola magnetycznego na zawartość azotu w części nadziemnej i korzeniach dwutygodniowych siewek kukurydzy. Również Lebediev i in. [25] stwierdzili podwyższenie zawartości sacharozy w komórkach korzeni buraka cukrowego oraz poprawę ich własności technologicznych poprzez zmniejszenie zawartości popiołu. Novikova [31] wykazała, że zmienne pole elektromagnetyczne powoduje korzystne z punktu widzenia żywieniowego zmiany składu chemicznego roślin warzywnych, takich jak kapusta, cebula, rzodkiew i groch. Z badań Pietruszewskiego i Kornarzyńskiego [22] wynika, że pole magnetyczne powoduje zwiększenie zawartości glutenu w ziarnie pszenicy uzyskanym z roślin wyrosłych z nasion stymulowanych.

Mimo doniesień o korzystnym wpływie stymulacji magnetycznej nasion na jakość plonu trudno, ze względu na skąpy materiał dokumentacyjny, jednoznacznie określić wpływ tego zabiegu na cechy jakościowe plonu. Wyjaśnienie tego zagadnienia wymaga dalszego prowadzenia badań.

PODSUMOWANIE

W większości przeprowadzonych dotychczas badań wykazano korzystny wpływ pola magnetycznego na nasiona oraz wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Istnieją także, choć nieliczne prace w których nie stwierdzono takiego oddziaływania. Rozbieżność w wielkości uzyskiwanych efektów mierzonych dynamiką kiełkowania nasion oraz przebiegiem ontogenezy wyrosłych z nich roślin potwierdzają opinię o dużej zależności przebiegu stymulacji magnetycznej od wielu czynników fizycznych, takich jak: dawka ekspozycyjna i rodzaj pola magnetycznego, konstrukcja urządzenia do stymulacji oraz czynników przyrodniczych takich jak: gatunek i odmiana rośliny, wilgotność nasion, przebieg pogody w okresie wegetacji. Zapewne istnieją jeszcze inne, nieznanne czynniki kształtujące przebieg tego zjawiska, dlatego zagadnienie wpływu pola magnetycznego na nasiona oraz rozwój i plonowanie roślin wymaga prowadzenia dalszych, kompleksowych badań dotyczących głównie procesów biochemicznych i fizjologicznych zachodzących w nasionach i roślinach. Tematyka ta będzie z pewnością przedmiotem zainteresowań nauki, bowiem zdaniem wielu autoritetów naukowych zagadnienia z pogranicza biologii i fizyki wymagające działań interdyscyplinarnych będą jednymi z ważniejszych badań prowadzonych w obecnym stuleciu, a wyjaśnienie ich mechanizmów działania będzie dużym wyzwaniem dla agrofizyki XXI wieku.

PIŚMIENNICTWO

1. **Alexander M.P., Doijode S.D.:** Electromagnetic field, a novel tool to increase germination and seedling vigour of conserved onion (*Allium cepa* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) seeds with low viability. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 104, 1-5, 1995.
2. **Andreoli C., Khan A.A.:** Improving seedling emergence of papaya, *Carica papaya* L., by com-bining matricconditioning and gibberellin treatment. *Hort Sci.*, 28, 708-709, 1993.
3. **Andreoli C., Khan A.A.:** Matricconditioning integrated with gibberellic acid to hasten seed germination and improve stand establishment of pepper and tomato. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34, 1953-1958, 1999.
4. **Andreoli C., Khan A.A.:** Integration of physiological, chemical and biological seed treatments to improve stand establishment and yield of vegetables. *Acta Horticulturae*, 533, 31-38, 2000.
5. **Aristarchov V.M., Piruzian L.A., Cybysev V.P.:** Физикохимические основы первичных механизмов биологического действия магнитного поля. W: *Реакции биологических систем на магнитное поле*. Red. J.A. Chołodov, Nauka, Moskwa, 6-25, 1978.
6. **Audus L.J.:** Magnetotropism; a New Plant-Growth Response. *Nature*, 185, 132-134, 1960.
7. **Boe A. A., D.K. Salunkhe.:** Effects of Magnetic Fields on Tomato Ripening. *Nature*, 199, 91-92, 1963.
8. **Bovelli R., Bennici A.:** Stimulation of germination, callus growth and shoot regeneration of *Nicotiana tabacum* L. by Pulsing Electromagnetic Fields (PEMF). *Hort. Sci.*, 14, 3-6, 2000.

9. **Celestino C., Picazo M L., Toribio M.:** Influence of chronic exposure to an electromagnetic field on germination and early growth of *Quercus suber* seeds: preliminary study. *Electro and Magnetobiology*, 19(1), 115-120, 2000.
10. **Chao L., Walker D.R.:** Effects of a Magnetic Field on the Germination of Apple, Apricot, and Peach Seeds. *Hort Sci.*, 2(4), 152-153, 1967.
11. **Chervinets V.M.:** Variation of Escherichia due to experimentally simulated fluctuations of the geomagnetic fields. In: *Effect of Magnetic Field on Biological Objects*. Ed. Kalliningrad State University, 1975.
12. **Dubrov A.P.:** Wlianie geomagnitnovo pola na fiziologiceskie procesy u rastienii. *Fiziol. Rast.*, 17,4, 836-842, 1970.
13. **Dubrov A.P.:** *The geomagnetic Field and Life. Geomagnetobiology*. Plenum Press, New York, London, 1978.
14. **Dulbińska D.A.:** Wlianie postoiannovo magnitnovo pola na rost prorostkov kukuruzy. *Fiziol. Rast.*, 20, 1, 183-186, 1973.
15. **Eward A.:** *On the Physics and Physiology of Protoplasmic Streaming in Plants*. Oxford, Clarendon Press, 1903.
16. **Górecki R.J., Grzesiuk S.:** Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych. *Konf. Nauk. "Uszlachetnianie materiałów nasiennych"*. Olsztyn-Kortowo, 9-24., 1994.
17. **Grzesiuk S., Kulka K.:** *Fizjologia i biochemia nasion*. PWRiL, Warszawa, 1986.
18. **Hirota N., Nakagawa J., Kitazawa K.:** Effects of a magnetic field on the germination of plants. *J. Applied Physics*, Vol. 85, 8, 5717-5719, 1999.
19. **Iimoto M., Watanabe K., Fujiwara K.:** Effects of magnetic flux density and direction of the magnetic field on growth and CO₂ exchange rate of potato plantlets in vitro In *Proceeding of the International. Symposium on Plant Production in Closed Ecosystem* ed. T. Kozai Narita Japan, 606-610, 1996.
20. **Inyushin W.M., Iljasov G.U., Fedorova N.N.:** *Laser Light and Crop*. 1981, Kainar Publ. Alma-Ata, 1981.
21. **Koper R.:** Pre-sowing laser biostimulation of seeds of cultivated plants and its results in agrotechnics. *Int. Agrophysics*, 8, 593 – 596, 1994.
22. **Kornarzyński K., Pietruszewski S.:** Effect of the stationary magnetic field on the germination of wheat grain. *Int. Agrophysics*, 13, 457-461, 1999.
23. **Krylov A.W., Tarakanova G.A.:** Jawlienie magnitotropizma u rastienii i jego priroda. *Fiziologia Rastienii*. 7, 2, 191-197, 1960.
24. **Labes M. M.:** A Possible Explanation for the Effect of Magnetic Fields on Biological Systems. *Nature*, 211, 969, 1993.
25. **Lebediev S.J., Baranskij P.I., Litvinenko L.G., Shiyan L.T.:** Fiziologo-biochimiceskie osobiennosti rostieni poslie priedposievnovo vozdieistva postoiannym magnitnym polem. *Fiziol. Rast.* 22, 1, 103-109, 1975.
26. **Liboff R.L.:** *Biomagnetic Hypoteses. Biological Effect on Magnetic Field*. Plenum Press, New York-London, 171-175, 1969.
27. **Maling J.E., Weissbluth - Jacobs E. E.:** Enzyme substrate reactions in high magnetic fields. *Biophys. J.*, 165, 767-776, 1965.
28. **Maronek D.M.:** Electromagnetic Seed Treatment Increases Germination of *Floelreuteria paniculata* Laxm. *Hort Sci.*, 10(3), 1975.
29. **Martinez E., Carbonell M.V., Socorro A., Amaya J.M.:** Biological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to magnetic treatment. *Mat. I Międzynarodowej Konf. Nauk „Oddziały-*

- wanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze - Agrolaser 2001". Lublin 26-28.09.2001, 63-68.
30. **Murphy J.B.:** The influence of magnetic fields on seed germination. *Am. J. Botany*, 29, 15-18, 1942.
 31. **Novikova G.W.:** Kmetodikie korrektsii režimov vozdejstvija elektromagnitnogo pola vysokoj czastoty na semena redisa pri izmienenii elektriczeskich parametrov. *Elekt. Obr. Mat.*, 3, 63-65, 1981.
 32. **Neurath P.W.:** The Effect of High-Gradient, High-Strength Magnetic Fields. Plenum Press, New York-London, 177-187, 1969.
 33. **Pawłowicz S.A.:** Magnetic field as ecological factor in variation of microorganismus. In: *Physicomathematical and Biological Problems of Effect of Electromagnetics field and Ionization of Air*. Nauka, Moskwa, 2, 113-130, 1975.
 34. **Phirke P.S., Patil M.N., Umbarkar S.P., Dudhe Y.H.:** The application of magnetic treatment to seeds: methods and responses. *Seed Science and Technology*, 24, 365-373, 1996.
 35. **Pietruszewski S.:** Influence of pre-sowing magnetic biostimulation on germination and yield of wheat. *Int. Agrophysics*, 13, 241-244, 1999.
 36. **Pietruszewski S., Kornarzyński K.:** Magnetic biostimulation of wheat seeds. *Int. Agrophysics*, 13, 497-501, 1999.
 37. **Pietruszewski S., Wójcik S.:** Effect of magnetic field on yield and chemical composition of sugar beet roots. *Int. Agrophysics*, 14, 89-92, 2000.
 38. **Pittman U.J.:** Magnetism and plant growth. I. Effect on germination and early growth of cereal seeds. *Can. J. Plant Sci.*, 43, 513-518, 1963.
 39. **Pittman U.J.:** Biomagnetic responses in germinating malting barley. *Can. J. Plant Sci.*, 51, 64-65, 1971.
 40. **Pittman U.J., Anstey, H.:** Magnetic treatment of seed orientation of a single-harvest snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 91, 310-314, 1967.
 41. **Pittman U.J., Carefoot J. M., Ormrod D. P.:** Effect of magnetic seed treatment on amylolytic activity of quiescent and germinating barley and wheat seeds. *Can. J. Plant Sci.*, 59, 1007-1011, 1979.
 42. **Pittman U.J., Carefoot J.M., Ormrod D.P.:** Effect of magnetic Seed Treatment on Yield of Barley, Wheat and Oats in Southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, 57, 37-45, 1977.
 43. **Podleśny J.:** Biostymulacja nasion światłem laserowym i jej wpływ na wzrost, rozwój i plonowanie roślin. *Post. Nauk Roln.*, 6, 27-39, 2000.
 44. **Podleśny J.:** Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, rozwój roślin i kształtowanie czynników plonowania łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Monografie i Rozprawy Naukowe*, 3, 1-59, 2002.
 45. **Podleśny J.:** Effect of laser irradiation on the biochemical changes in seeds and the accumulation of dry matter in the faba bean. *Int. Agrophysics.*, 16, 209-213, 2002.
 46. **Podleśny J., Pietruszewski S., Podleśna A.:** Effectiveness of magnetic biostimulation of faba bean seeds cultivated under field experiment conditions. *Int. Agrophysics*, 18, 65-71, 2004.
 47. **Rochalska M.:** Pole magnetyczne jako środek poprawy wigoru nasion. *Mat. I Międzynarodowej Konf. Nauk „Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze - Agrolaser 2001”*. Lublin 26-28.09.2001, 167-168.
 48. **Romana R., Jerman, I., Nada G.:** Water Stress Reveals Effects of ELF Magnetic Fields on the Growth of Seedlings, 17(1), 17-30, 1997.
 49. **Sedlak W.:** Teoria bioplazmy po 18 latach. *KUL, Lublin*, 11-19, 1988.

50. **Smith S., Mays R.:** Effect of Pulsed Magnetic Fields on Root Development in Plant Cuttings. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 12, 567-573, 1984.
51. **Smith S., McLeod B., Liboff, A.:** Effects of CR- tuned 60 Hz magnetic fields on sprouting and early growth of *Raphanus sativus*. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 32, 67-76, 1993.
52. **Sawastin P.W.:** Magnetowachstumsreaktionen bei Pflanzen. *Planta*, 11, 683-726, 1930.
53. **Striekova I., Tarakanova G.A., Prudnikova W.P.:** Niekatoryje fizjologicieskie i citologicieskie izmieniienia u prorastaiuszczich siemian w postoiannom magnitnom pole. *Fizjologia rastienii*, 5, 920-929, 1965.
54. **Tolomei G.:** Anzione del magnetismo sulla germinazione. *Malpighia*, 7, 470, 1893.
55. **Vakharia D.N., Davariya R.L., Parameswaran M.:** Influence of Magnetic Treatment on Groundnut Yield and Yield Attributes. *Indian J. Plant Physiol.*, Vol. 34, 2, 131-136, 1991.
56. **Wardas R.:** Biomagnetyzm. PWN Warszawa, 1978.
57. **Wojtusiak R.J., Majlert Z.:** Geomagnetobiologia. Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, 1992.
58. **Young W.:** Biological effects of magnetic fields. Plenum Press. New York-London, 1969.

THE EFFECT OF MAGNETIC STIMULATION OF SEEDS ON GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELDING OF CROPS

Janusz Podleśny

Department of Forage Crop Production, Institute of Soil Science and Plant Cultivation
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: jp@iung.pulawy.pl

Abstract. Studies conducted till now showed a favourable effect of magnetic field on the development of seeds and plants. The value of the effects obtained which are measured by the acceleration of seed germination and by a favourable effect on plant development and yield is different. This can be seen in their dependence on some physical factors – like the exposure dose and the kind of magnetic field applied, construction of the device used for seed stimulation, and also natural factors, like: plant species and variety, seed moisture content or course of the weather during vegetation. The problem of magnetic field effect on plant development and yield was, to a considerable degree, supported by many results, but general elucidation of this phenomenon requires further research, especially on the biochemical and physiological processes which occur in whole plants and in seeds. This problem will certainly be a subject of scientific interest, because according to some scientists problems from the borderland of biology and physics which require interdisciplinary actions will be among the most important research efforts undertaken in the present century. Explanation of their action mechanisms will be a great challenge for biophysics of the 21st century.

Key words: geomagnetic field, seeds stimulation, germination of seeds, plant development, yielding, yield quality