

OCENA WPŁYWU PRZEDSIĘWNEJ LASEROWEJ BIOSTYMULACJI NASION POMIDORÓW NA PROCES ICH KIEŁKOWANIA

B. Gładyszewska, R. Koper

Katedra Fizyki AR, ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail: broz@ursus.ar.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem przedsięwnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów gruntowych odmiany Promyk na proces ich kiełkowania. W celu przeprowadzenia prawidłowej oceny wyników pomiarów podjęto próbę opracowania metod precyzyjniejszego opisu procesu kiełkowania, niż opis wynikający z metod powszechnie stosowanych i zalecanych przez Polską Normę. W związku z występującymi, nieznacznymi różnicami pomiędzy parametrami określającymi żywotność nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych opisano zależności intensywności kiełkowania i liczby kiełkowań od czasu przy pomocy dwu modeli matematycznych – modelu analitycznego i modelu symulacyjnego.

Słowa kluczowe: biostymulacja laserowa, nasiona pomidorów, kiełkowanie, matematyczne modelowanie

WSTĘP I CEL

W przypadku roślin uprawnych zauważono pozytywny wpływ promieniowania laserowego na zdolność kiełkowania nasion, wzmocnienie i zwiększenie odporności młodych roślin z nich wyrosłych na niekorzystne warunki atmosferyczne np. przymrozki [1, 2, 6]. Wyniki badań polowych wskazują na korzystny wpływ przedsięwnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na ich plonowanie [4]. Nie wiadomo natomiast, czy przedsięwne naświetlanie nasion pomidorów światłem lasera helowo-neonowego ma wpływ - i w jakim stopniu - już na początkowy etap rozwoju nasion, czyli na proces kiełkowania. Celem pracy jest przeprowadzenie badań, które by wyjaśniły, czy taki wpływ występuje w zakre-

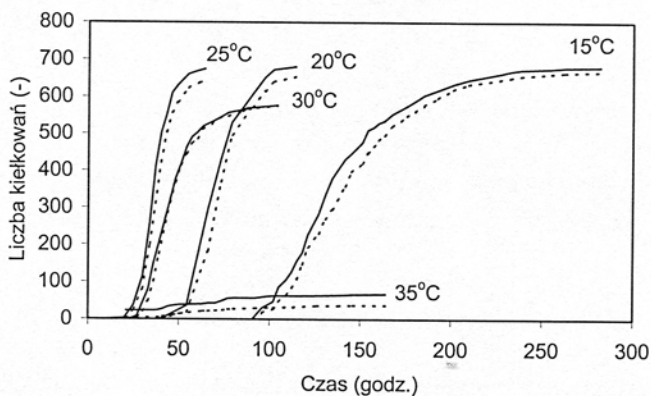
się dającym się stwierdzić aktualnie dostępnymi metodami. Wpływ przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion na proces ich kiełkowania należy do zjawisk stosunkowo trudno podlegających obiektywnej, naukowej ocenie, dlatego też w pracy tej w celu uzyskania metodycznie poprawnego rozwiązania należało użyć kilku metod badań.

WARUNKI DOŚWIADCZALNE KIEŁKOWANIA NASION

Każda badana grupa była reprezentowana przez 700 nasion pomidorów gruntowych odmiany „Promyk”, wysianych na podłożu z bibuły na płytkach Petriego, po 100 nasion w 7 próbach. Płytki umieszczone były w piecu termostatycznym, zapewniającym stabilizację temperatury z dokładnością do $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Przed wysianiem nasion, płytki wraz z bibułą sterylizowano w temperaturze 150°C przez okres 30 min., a następnie schładzano do temperatury 20°C . Nasiona znajdując się w piecu termostatycznym kiełkowały bez dostępu światła. Co kilka godzin dokonywano zliczeń kiełkujących nasion. Za wykiełkowane przyjmowano nasiono, które uformowało kiełek o długości co najmniej 2 mm. W trakcie eksperymentu utrzymywano stałą wilgotność bibuły przez dozowanie wody destylowanej.

WYNIKI DOŚWIADCZEŃ I ICH INTERPRETACJA W OPARCIU O OBOWIĄZUJĄCE NORMY OCENY ŻYWOTNOŚCI NASION

Rysunek 1 przedstawia wyniki eksperymentalne liczby kiełkowań uzyskane w temperaturach 15°C , 20°C , 25°C , 30°C i 35°C nasion biostymulowanych dawką 4,5 mJ oraz nasion grupy kontrolnej (niebiostymulowanych). Już pierwsza, pobieżna ocena uzyskanych wykresów prowadzi do wniosku, iż w zależności od temperatury kiełkowanie następuje w różnych przedziałach czasu, a także, iż zdolności kiełkowania (reprezentowane przez poziom „nasycenia” krzywych) są silnie zależne od temperatury. Wyraźne jest także znaczące podobieństwo krzywych kiełkowania w przypadku nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych. Sugeruje to, iż naświetlanie nasion w nieznacznym tylko stopniu wpływa na przebieg procesu, jaki przedstawiają krzywe kiełkowania, co w związku z tym wymaga ich bardziej precyzyjnego opisu. Widoczne jest także, że w temperaturach 20°C , 25°C i 35°C nasiona biostymulowane kiełkują nieznacznie lepiej niż nasiona grupy kontrolnej. Niezależnie od temperatury, również energia kiełkowania była wyższa dla nasion biostymulowanych. Powyżej 25°C następuje gwałtowne obniżenie zdolności kiełkowania.



Rys. 1. Zależności liczby kiełkowań od czasu otrzymane w różnych temperaturach kiełkowania dla nasion biostymulowanych dawką 4,5 mJ (—) oraz nasion niebiostymulowanych (-----).

Fig. 1. Dependencies of the number of sproutings on time obtained at different temperatures for seeds laser biostimulated by the dose 4.5 mJ (—) and for not biostimulated seeds (-----).

Tabela 1 przedstawia uzyskane zdolności kiełkowania Z_k , średnie czasy kiełkowania nasion t_p oraz energie kiełkowania E_k określone według normy PN-65950 dla arbitralnie wybranego czasu od momentu wysiania.

Tabela 1. Zdolności kiełkowania Z_k , średnie czasy kiełkowania nasion t_p oraz energie kiełkowania E_k określone według normy PN-65950 dla nasion biostymulowanych dawką 4,5 mJ (b) i nasion niebiostymulowanych (nb)

Table 1. Germination abilities Z_k , mean germination times t_p , and germination energies E_k , defined according to the standard PN - 65950 for those biostimulated with the dose 4.5 mJ (b) and for not biostimulated seeds (nb)

$T(^{\circ}C)$	t_p (godz.)		Z_k (%)		E_k (%)	
	b	nb	b	nb	b	Nb
15	142,6	148,0	97,3	95,4	40,4	32,9
20	75,3	77,5	97,3	93,4	42,3	26,1
25	38,2	39,7	96,4	91,6	37,6	28,6
30	47,7	49,2	82,4	82,3	29,3	25,0
35	56,2	69,4	9,7	5,4	5,9	31

OCENA WPŁYWU BIOSTYMULACJI NASION POMIDORÓW NA KIEŁKOWANIE

W celu przeprowadzenia prawidłowej oceny wyników pomiarów dotyczących wpływu przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania, opracowano metody precyzyjniejszego opisu tego procesu, niż opis wynikający z metod powszechnie stosowanych i zalecanych przez Polską Normę [9].

Badanie rozkładów intensywności i liczby kiełkowań

W zakresie średnich temperatur: 20°C i 25°C zarówno rozkład Gaussa, jak i rozkład Rayleigha z równie dobrą dokładnością opisywały wyniki eksperymentalne. Jednakże w przypadku pozostałych zakresów temperatur w obu przypadkach jakość dopasowania była wyraźnie gorsza. Spowodowane jest to silną asymetrią części wykresów intensywności kiełkowania, która symetrycznym w swej naturze rozkładem Gaussa po prostu nie może być opisana. Natomiast rozkład Rayleigha nie umożliwia całkowicie poprawnego odwzorowania tych punktów eksperymentalnych, które charakteryzuje symetryczny rozkład.

Model analityczny procesu kiełkowania

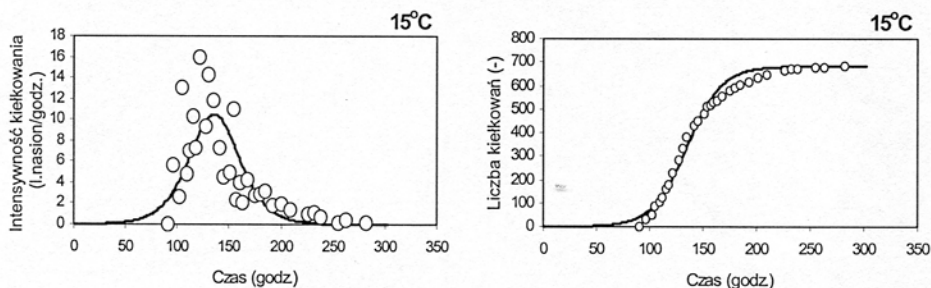
Opierając się na rozumowaniu wynikającym z obserwacji doświadczalnej postawiono hipotezę roboczą: względna szybkość kiełkowania nasion jest proporcjonalna do różnicy między końcową liczbą wykiełkowanych nasion n_k , a liczbą nasion $n(t)$ wykiełkowanych po danym czasie t :

$$\frac{dn}{n(t) \cdot dt} = \alpha_p \cdot (n_k - n(t)) \quad (1)$$

gdzie: α_p jest empirycznie wyznaczanym współczynnikiem proporcjonalności. Hipoteza ta wynika z analogii procesu kiełkowania do procesów wzrostu (dowolnych obiektów lub systemów) opisywanych funkcją logistyczną [3,8]. Podejście takie sugerują obserwacje doświadczalne kiełkowania. Rozwiązanie równania (1) jest następujące:

$$n(t) = \frac{n_k}{1 + (n_k - 1) \cdot e^{-\alpha_p \cdot n_k \cdot (t - t_0)}} \quad (2)$$

Niestety, podobnie jak w przypadku poprzednich prób, tak i w przypadku równania (2) charakterystyczny kształt krzywej eksperymentalnej nie został w pełni odtworzony (Rys. 2). Pojawiła się więc konieczność dalszego poszukiwania jeszcze innego modelu matematycznego, który pozwoliłby precyzyjniej odtworzyć eksperymentalne zależności.

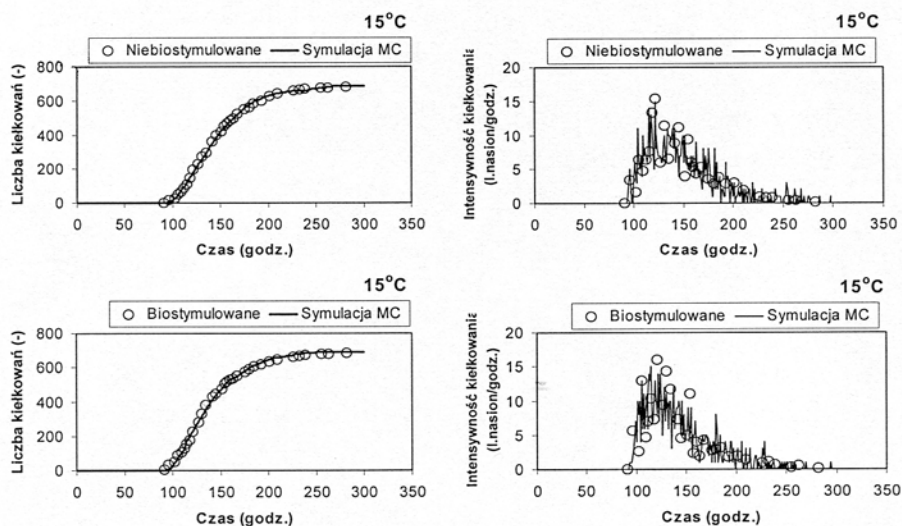


Rys. 2. Doświadczalne zależności intensywności kiełkowania oraz liczby kiełków uzyskane w temperaturze 15°C dla nasion biostymulowanych dawką 4,5 mJ (o) oraz zależności wynikające z analitycznego modelu procesu kiełkowania (linia ciągła).

Fig. 2. Experimental dependencies of germination intensities and number of germinations obtained at 15°C for 4.5 mJ biostimulated seeds and theoretical ones given by the analytical model (solid line).

Model symulacyjny

Przeprowadzono również symulację komputerową procesu kiełkowania nasion w oparciu o przesłanki teoretyczne, wynikające z fizjologii kiełkowania nasion, sugerujące złożenie tego procesu z trzech sukcesywnie po sobie następujących etapów: fizycznego, biochemicznego i fizjologicznego. Tworząc model symulacyjny tego procesu posłużono się metodą Monte Carlo [10]. Model ten zakłada, iż prawdopodobieństwo wyjścia nasiona z każdego etapu rozwoju jest określone oraz, że proces ma charakter sukcesywny, tzn. nasiono nie może przejść np. do etapu fizjologicznego bez wcześniejszego wyjścia z etapu fizycznego. Wobec braku liczbowych danych określających prawdopodobieństwa przechodzenia z jednego etapu do drugiego, proces kiełkowania symulowano dla różnych prawdopodobieństw przejścia do etapu wyższego: $p_{0,1}$, $p_{1,2}$, $p_{2,3}$, przy czym prawdopodobieństwo $p_{2,3}$ jest prawdopodobieństwem, iż nasiono uformuje kielek, czyli zostanie uznane za nasiono wykiełkowane. Prawdopodobieństwa te nie są prawdopodobieństwami zdarzeń niezależnych, zatem ich suma nie musi być równa jedności. $p_{0,1}$, $p_{1,2}$, $p_{2,3}$, Z_k oraz t_0 rozpoczyna procedurę symulacji procesu kiełkowania, korzystając z generatora liczb losowych o rozkładzie równomiernym.



Rys. 3. Doświadczalne krzywe kiełkowania uzyskane w temperaturze 15°C dla nasion laserowo biostymulowanych dawką 4,5 mJ oraz niebiostymulowanych. Rezultatom doświadczalnym towarzyszą zależności wpisane przy użyciu programu "McKiel", wynikające z modelu symulacyjnego (linia ciągła).
Fig. 3. Experimental sprouting curves obtained at the temperature 15°C for seeds laser biostimulated by the dose 4.5 mJ and for seeds not biostimulated. The experimental results are accompanied by the dependencies entered by means of the programme "McKiel", resulting from the simulation model (solid line).

DYSKUSJA WYNIKÓW

Fakt, iż symulacje Monte Carlo odtworzyły nie tylko kształt kiełkowania, ale także rozrzut statystyczny danych eksperymentalnych, świadczy o tym, że ocena wpływu laserowej biostymulacji na proces kiełkowania nasion może być przeprowadzona w oparciu o analizę statystyczną uzyskanych rezultatów, które wskazują na to, iż laserowa biostymulacja nasion prowadzi do wzrostu zdolności i energii kiełkowania. Ponieważ różnice pomiędzy parametrami uzyskanymi dla nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych są nieznaczne, należy określić, jakie jest prawdopodobieństwo, iż uzyskane – lepsze - wyniki dla nasion biostymulowanych nie są jedynie wynikiem opisanego wcześniej rozrzutu statystycznego. Zastosowanie równania Bernoulliego [7] pozwoliło oszacować to prawdopodobieństwo.

Uzyskane różnice pomiędzy wartościami liczb kiełkowań Δn_k nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych, wyrażone jako wielokrotność standardowego odchylenia σ_{nk} wskazują na to, iż w temperaturach 20°C, 25°C i 35°C pozytywny wpływ laserowej biostymulacji można uznać za istotny. Wskazują na to także wyniki uzyskane na podstawie porównania energii kiełkowania nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych. Pozytywny wpływ na energię i zdolność kiełkowania można stwierdzić w temperaturach 15°C, 20°C, 25°C i 35°C. Jedynie rezultaty uzyskane w temperaturze 30°C nie były jednoznaczne (patrz Tab. 2 i Tab. 3).

Dla różnych temperatur kiełkowania negację hipotezy zerowej, w odniesieniu do średnich liczb kiełkowań, będących podstawą do obliczania zdolności kiełkowania Z_k , można było uzyskać dla różnych poziomów istotności α . W przypadku temperatur 20°C i 25°C pozytywny wpływ naświetlania można stwierdzić przy poziomach ufności (równych $1-\alpha$) odpowiednio 95% i 99%, czyli bardzo wysokich. W przypadku temperatur 15°C i 35°C podobny wniosek można wyprowadzić przy niższych poziomach ufności odpowiednio 80% i 70%. W przypadku temperatury 30°C hipotezy zerowej nie da się zanegować, nawet przyjmując zaledwie 10% poziomu ufności. Analogiczną procedurę zastosowano w odniesieniu do liczb kiełkowań będących podstawą do obliczania energii kiełkowania E_k . Ponownie pozytywny wpływ naświetlania najwyraźniej uwidacznia się dla temperatur 20°C i 25°C. Można go bowiem stwierdzić przy poziomach ufności odpowiednio 99,9% oraz 95%. Zarówno w temperaturze 15°C, jak i 35°C wniosek o pozytywnym wpływie naświetlania można wyprowadzić dla poziomu ufności 80%. Podobnie, jak w przypadku określania zdolności kiełkowania, tak i w przypadku określania energii kiełkowania w temperaturze 30°C, pozytywny wpływ naświetlania jest trudny do wykazania. Następuje on bowiem dopiero przy przyjęciu bardzo niskiego, 50%-ego poziomu ufności.

Tabela 2. Liczby kiełkowań nasion biostymulowanych (n_E/bio) i niebiostymulowanych (n_k/kon), będące podstawą do obliczenia energii kiełkowania, variancje (V_{nE}), standardowe odchylenia (σ_{nE}), różnice bezwzględne liczb kiełkowań nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych (Δn_E), a także różnice tych liczb wyrażone jako wielokrotność standardowych odchyłeń ($\Delta n_E/\sigma_{nE}$)

Table 2. Numbers of sproutings used to calculate germination energies E obtained for biostimulated seeds (n_k/bio) and not biostimulated seeds (n_k/kon), variances (V_{nE}), standard deviations (σ_{nE}), absolute differences of the sprouting numbers for biostimulated seeds and not biostimulated seeds (Δn_E), and also differences of these numbers expressed as manifold of the standard deviations ($\Delta n_E/\sigma_{nE}$)

$T(^{\circ}\text{C})$	n_E/bio	n_E/kon	V_{nE}	σ_{nE}	Δn_E	$\Delta n_E/\sigma_{nE}$
15	283	230	154.4	12.43	53	4,6
20	296	183	135.2	11.63	113	9,2
25	263	200	142.9	11.95	63	5,7
30	205	175	131.3	11.46	30	2,2
35	41	22	21.3	4.62	19	4,2

Tabela 3. Całkowite liczby kiełkowań, będące podstawą do obliczenia zdolności kiełkowania, otrzymane dla nasion biostymulowanych (n_k/bio) i niebiostymulowanych (n_k/kon), variancje (V_{nk}), standardowe odchylenia (σ_{nk}), różnice bezwzględne całkowitych liczb kiełkowań nasion biostymulowanych i niebiostymulowanych (Δn_k), a także różnice tych liczb wyrażone jako wielokrotność standartowych odchyłeń ($\Delta n_k/\sigma_{nk}$)

Table 3. Numbers of sproutings used to calculate gemination abilities Z_k obtained for biostimulated seeds ($n_k = \text{bio}$) and not biostimulated seeds (n_k/kon), variances (V_{nk}), standard deviations (σ_{nk}), absolute differences of the sprouting numbers for biostimulated seeds and not biostimulated seeds (Δn_k), and also differences of these numbers expressed as manifold of the standard deviations ($\Delta n_k/\sigma_{nk}$)

$T(^{\circ}\text{C})$	n_k/bio	n_k/kon	V_{nk}	σ_{nk}	Δn_k	$\Delta n_k/\sigma_{nk}$
15	681	668	30,5	5,53	13	2,35
20	681	654	43,0	6,56	27	4,12
25	675	641	54,0	7,35	34	4,63
30	577	576	102,0	10,10	1	0,10
35	68	38	35,9	5,99	30	5,00

WNIOSKI

1. Przeprowadzone pomiary i ich analiza wskazują na pozytywny wpływ laserowej biostymulacji nasion na ich **zdolność kiełkowania** w temperaturach 20°C i 25°C.
2. Pozytywny wpływ laserowej biostymulacji na **energię kiełkowania** został również potwierdzony, gdy kiełkowanie przebiegało w temperaturach 20°C i 25°C.
3. Rozkład Rayleigha nie opisuje dostatecznie dobrze tych rozkładów intensywności kiełkowania, w których nie występuje odchylenie od symetrii rozkładu, natomiast rozkład Gaussa nie opisuje tych rozkładów intensywności kiełkowania, w których odchylenie takie jest znaczne.
4. Zaproponowaną hipotezę, wyrażoną formalnie matematycznym modelem procesu kiełkowania – hipotezę logicznie uzasadnioną i wskazującą na podstawową strukturę modelu, a także częściowo wyjaśniającą ten proces - wyniki pomiarów potwierdzają jednak tylko w temperaturach 20°C i 25°C.
5. Wyraźnie lepiej modeluje proces kiełkowania badanych nasion zaproponowany w tej pracy model oparty na metodzie Monte Carlo, pozwalając zarazem wniknąć głębiej w przebieg tego procesu, wskazując także na potrzebę podjęcia w dziedzinie nauk przyrodniczych dalszych badań tej problematyki.
6. Wykazany w niniejszej pracy i metodycznie uzasadniony pozytywny wpływ laserowej biostymulacji na proces kiełkowania badanych nasion jest niewielki (w odróżnieniu od znanego już wpływu na plonowanie), niemniej jednak wskazuje na przyspieszenie tego procesu, co w sposób pośredni może przyczynić się do wzrostu plonowania.

PIŚMIENNICTWO

1. **Drozd D., Szajsner H., Koper R.:** Wpływ biostymulacji laserowej na zdolność kiełkowania pszenicy jarej. *Annales UMCS, Sec. E, vol. XLIX/29, 217-223, 1994.*
2. **Dziamba J., Koper R., Matyka S.:** The influence of pre sowing laser biostimulation of maize seeds on the crop and value of the corn. 45 th Australian Cereal Chemistry Conference Adelaide, 33-35, 1995.
3. **Glaser R.:** Wstęp do biofizyki. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa., 1975.
4. **Gładyszewska B.:** Ocena wpływu przedsiwnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. Rozprawa doktorska, Wydz. Techniki Rolniczej AR w Lublinie., 1998.

5. **Gładyszewska B., Koper R., Kornarzyński K.:** Matematyczny model procesu kiełkowania nasion. Inżynieria Rolnicza, 2, 7-12, 1999.
6. **Koper R.:** Presowing laser biostimulation of seeds of cultivable plants and its results in agrotechnics. Int. Agrophysics 8, 593-596, 1994.
7. **Oktaba W.:** Metody statystyki matematycznej w doświadczałnictwie. PWN, Warszawa, 1972.
8. **Pabis S.:** Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa, 1985.
9. **Polska Norma.** Materiał siewny. Metody badania nasion. PN -94/R - 6595, 1994.
10. **Roe Byron P.:** Probability and statistics in experimental physics. Springer-Verlag, New York, 1992.

INFLUENCE OF THE PRESOWING LASER BIOSTIMULATION OF TOMATOE SEEDS ON THEIR GERMINATION PROCESS

B. Gładyszewska, R. Koper

Department of Physics, University of Agriculture, Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail: broz@ursus.ar.lublin.pl

Summary. Results of performed investigations on an influence of a presowing laser biostimulation of „Promyk” variety tomatoe seeds on their germination are presented. The correct description of the process and interpretation of the results required new more precise models than those commonly used or proposed by standards. Due to small differences between germination abilities for biostimulated and not biostimulated seeds two mathematical models have been involved in the analysis – an analytical model and a simulation model.

Key words: laser biostimulation, tomatoes seeds, germination, mathematical modeling.