

Andrzej Bochniak, Mirosława Wesołowska-Janczarek
Katedra Zastosowań Matematyki
Akademia Rolnicza w Lublinie

WYKORZYSTANIE METODY BOOTSTRAPU DO BADANIA WPLYWU POLA MAGNETYCZNEGO NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE ŻDŹBEŁ ZBÓŻ

Streszczenie

W pracy zaproponowano wykorzystanie symulacyjnej metody bootstrapu do tworzenia przedziałów ufności w celu oceny wpływu przedsiewnej stymulacji polem magnetycznym ziaren zbóż na późniejsze własności mechaniczne źdźbeł. Przedziały ufności zostały skonstruowane dla różnic między średnimi oraz dla różnic między wariancjami otrzymanymi dla modułów sprężystości podłużnej źdźbeł zbóż. Do porównań wykorzystano grupy, których ziarna zostały poddane wstępnemu stymulacyjnemu oddziaływaniu pola magnetycznego w czasie 8 i 30 sekund oraz grupy kontrolne, którym takiemu zabiegowi nie poddano. Dokonano także symulacji komputerowych mających na celu potwierdzenie, że skonstruowane metodą bootstrapu przedziały ufności mogą być stosowane do oceny różnic średnich i wariancji dla rozważanej tu cechy.

Słowa kluczowe: stymulacja nasion polem magnetycznym, bootstrap, przedziały ufności

Wstęp i cel pracy

Zadaniem rolnictwa jest produkcja odpowiedniej ilości żywności o określonych cechach jakościowych. W celu osiągnięcia wysokich plonów konieczne jest wykorzystanie wielu środków produkcji. Jedną z metod wpływających na poprawę uzyskiwanych plonów jest zwiększenie ilości stosowanych nawozów, co może jednak prowadzić do podwyższenia kosztów wytwarzanych produktów, a także niekorzystnie wpływać na środowisko naturalne. W celu ograniczenia negatywnych zmian trwają poszukiwania takich sposobów upraw, które są bardziej wskazane ze względów ekologicznych. W ostatnich latach w dążeniu do podwyższenia plonów stosowane są metody, do których należy zaliczyć: hodowanie nowych odmian, lepiej wykorzystujących lokalne warunki środowiskowe oraz poddawanie roślin działaniu stymulujących bodźców elektrofizycznych takich jak: promieniowanie jonizujące, podczerwone, ultrafioletowe, laserowe, ultradźwięki, mikrofały oraz pola magnetyczne, elektryczne i elektromagnetyczne.

W Katedrze Fizyki Akademii Rolniczej w Lublinie od dłuższego czasu prowadzone są badania mające na celu określenie wpływu pola magnetycznego na właściwości biologiczne materiału siewnego, a także uzyskiwanych z niego plonów [Pietruszewski i Kornarzyński 1999, 2001].

Celem pracy jest przedstawienie metody analizy danych uzyskanych przy badaniu wpływu pola magnetycznego na własności mechaniczne źdźbeł zbóż. Pokazano możliwość wykorzystania symulacyjnej metody bootstrapu do tworzenia przedziałów ufności dla dwóch miar rozkładu cechy: średniej i wariancji. Przedstawiona metoda nie wymaga dokładnej wiedzy statystycznej, a umożliwia przy użyciu ciągle wzrastającej mocy obliczeniowej komputerów, pozwalającej w krótkim czasie na dokonywanie coraz większej liczby obliczeń, wyznaczać przedziały ufności określające wielkości różnic wartości populacyjnych średnich i wariancji. Dodatkową zaletą metody jest także fakt, że nie są wymagane założenia o normalności rozkładu badanej cechy.

Materiał doświadczalny

Do badań użyto nasion pochodzących z Instytutu Genetyki i Hodowli Roślin Akademii Rolniczej w Lublinie. Były to trzy odmiany zbóż: pszenżyto „Presto”, pszenperz PPG 115 oraz mieszaniec „Presto” x PPG 115. Partie nasion wszystkich odmian poddano działaniu zmiennego pola magnetycznego o indukcji 30 mT w dwóch czasach ekspozycji 8 i 30 sekund zgodnie z przyjętą metodyką badań [Pietruszewski 1998]. W celach porównawczych dla poszczególnych odmian pobrano nasiona kontrolne. W Katedrze Fizyki Akademii Rolniczej w Lublinie zostały przeprowadzone badania mające na celu określenie cech wytrzymałościowych poszczególnych odmian zbóż i wpływu na te cechy stymulacji materiału siewnego. Jako materiał doświadczalny zostało wybranych w losowy sposób po 20 źdźbeł z każdej grupy badanych roślin. Wykonano na nich pomiary modułu sprężystości podłużnej. Do określenia jego wartości wykorzystano metodę ugięcia, w której zbadano odporność próbek o długości 5 cm, wyciętych ze środkowych międzywęźli źdźbeł, na działanie siły zginającej.

W celu stwierdzenia wpływu stymulacji na nasiona badanych zbóż wykorzystano porównanie średnich modułów sprężystości pomiędzy grupą kontrolną a grupami poddanymi 8 i 30 s oddziaływaniu pola magnetycznego.

Szacowanie różnicy dla średniej i wariancji

Najprostszą metodą wykorzystywaną do porównania wartości badanej cechy dla pobranych prób jest porównanie dwóch podstawowych miar, jakimi są średnia $\bar{X}$ oraz wariancja $war(X)$. Obliczane są one według ogólnie znanych wzorów. Pierwsza określa punkt, wokół którego skupione są wartości dla badanej cechy, druga zaś rozrzut poszczególnych wartości cechy wokół tego punktu.

Wpływ określonego czynnika można badać poprzez porównanie różnicy tych miar dla próby X pobranej z grupy poddanej oddziaływaniu tego czynnika oraz próby kontrolnej X_c , pochodzącej z grupy, której nie poddano jego działaniu, a mianowicie

$$\begin{aligned} R\acute{S} &= \bar{X} - \bar{X}_c \\ RW &= war(X) - war(X_c) \end{aligned} \quad (1)$$

Jeżeli różnica porównywanych wartości jest bliska zeru mamy informację, że miary są zbliżone do siebie. Wskazuje to wtedy na to, że pomiędzy badanymi grupami nie zaobserwowano zróżnicowania. Jeżeli różnica odbiega od wartości 0 to widać, że rozkłady cechy w próbie dla poszczególnych grup są różne. Różnica dodatnia wskazuje, że wartość cechy wzrosła, a ujemna, że zmalała. Jednak takie porównanie może okazać się niewystarczające. Ważną rolę odgrywa bowiem rząd wielkości badanej cechy. Jeżeli różnica wyniesie 0,1 oznacza to co innego wtedy, gdy wartości cechy są rzędu 1, a co innego, gdy rzędu 1000. W pierwszym przypadku ta różnica stanowi 10% wartości cechy, a w drugim przypadku to tylko 0,1% wartości. Lepszym rozwiązaniem w tym wypadku jest badanie różnic względnych, które uwzględniają rząd badanej wielkości.

$$\begin{aligned} R\acute{S}_w &= \frac{\bar{X} - \bar{X}_c}{\bar{X}_c} \\ RW_w &= \frac{war(X) - war(X_c)}{war(X_c)} \end{aligned} \quad (2)$$

Ale i w tym wypadku napotykamy na problem ustalenia, kiedy uznajemy, że różnica ta mówi o istotnym zróżnicowaniu średnich i wariancji populacyjnych, a kiedy nie. Dla porównań średnich i wariancji lepsze okazują się przedziały ufności określające przedział, w którym powinna znajdować się szacowana różnica parametrów dla populacji, z których pobrane są próby. Przedziały te oznaczane będą jako

$$(R\acute{S}_d, R\acute{S}_g) \text{ oraz } (RW_d, RW_g) \quad (3)$$

odpowiednio dla średnich i wariancji, gdzie symbol d odnosi się do dolnego końca, a g do górnego końca przedziału.

Tworzenie przedziałów ufności dla średniej i wariancji

Istnieje wiele różnych sposobów tworzenia przedziałów ufności. Jednym z nich jest zastosowanie metody bootstrapu, która wykorzystuje możliwości komputera. W celu zbadania różnicy między wartościami średnich i wariancji dla poszczególnych czasów ekspozycji ziaren w polu magnetycznym zastosowano percentylową metodę bootstrapu [Efron i Tibshirani 1991, 1993]. Metoda ta nie wymaga założenia o normalności rozkładu badanej cechy.

Percentylowa metoda bootstrapu jest najprostszą z używanych metod do tworzenia bootstrapowych przedziałów ufności. Technika bootstrapu szacuje wartość interesującej nas statystyki dla pobranej próby poprzez aproksymację nieznanego rozkładu w dwóch krokach. Najpierw nieznaną rozkład cechy dla całej populacji, z której pochodzi pobrana próba, jest aproksymowany poprzez dyskretną dystrybucję empiryczną. Następnie na podstawie tego rozkładu dyskretnego losowanych jest wiele prób bootstrapowych. Nieznany rozkład cechy dla populacji jest szacowany poprzez rozkład wartości estymatorów otrzymanych z prób bootstrapowych. W przypadku, kiedy statystyka jest użyta do badania dwóch populacji potrzebne są dwa równoległe i niezależne procesy próbkowania, jeden dla pierwszej populacji, a kolejny dla drugiej. Próby bootstrapowe są losowane odpowiednio z pierwszej i drugiej dyskretnych populacji w celu wyznaczenia pojedynczej wartości estymatora oszacowującego różnicę pomiędzy badanymi parametrami, jak np. średnimi czy wariancjami dla poszczególnych populacji.

W celu utworzenia przedziału ufności metodą bootstrapu potrzebnych jest przynajmniej 1000 prób powstałych w wyniku losowania ze zwracaniem elementów z oryginalnej próby. Liczebność każdej z nich jest taka sama jak wyjściowej, z tą różnicą, że niektóre elementy mogą się powtarzać, a niektóre mogą w ogóle nie wystąpić. Aby uzyskać przedział ufności na zakładanym poziomie istotności α trzeba wyznaczyć odpowiednie percentyle z rozkładu wartości estymatora otrzymanych w wyniku próbkowania bootstrapu. Np. utworzenie 95% przedziału ufności wymaga wyznaczenia percentyli rzędu 2,5 i 97,5. Wyznaczenie tych percentyli umożliwi uporządkowanie w kolejności rosnącej ocen parametru otrzymanych w 1000 powtórzeniach bootstrapu. Percentyl rzędu 2,5 może być oszacowany przez średnią 25-tej i 26-tej wartości estymatora, zaś 97,5 percentyl podobnie poprzez średnią z wartości o numerach 975 i 976. Innymi słowy w percentylowej metodzie bootstrapu odrzucamy w przybliżeniu po 25 wartości najmniejszych i największych otrzymanych dla prób bootstrapowych.

W pracy szacowane są oceny różnic między średnimi oraz wariancjami dla wartości modułu sprężystości otrzymanymi dla żdźbeł zbóż poddanych wstępnemu

oddziaływaniu pola magnetycznemu oraz grupą kontrolną, która nie została poddana jego wpływowi. W pojedynczej operacji bootstrapu losowano po dwie próby, po jednej dla każdej z porównywanych grup, o licznosci 20 elementów. Następnie wyznaczana była różnica pomiędzy średnimi lub wariancjami otrzymanymi dla pierwszej i drugiej próby. Ta operacja, w celu uzyskania odpowiedniej dla metody percentylowej liczby wartości, była powtarzana 1000 razy. Następnie otrzymane wartości ustawiano w kolejności rosnącej i wyznaczano wartości odpowiednich percentyli dla przedziału ufności na poziomie $\alpha=0,05$. Na końcu sprawdzano czy wyznaczony tą metodą przedział zawiera wartość 0, która określa, że pomiędzy estymowanymi wartościami parametru nie występuje różnica. Jeśli więc przedział zawiera wartość 0 świadczy to, że pomiędzy porównywanymi parametrami nie ma istotnej statystycznie różnicy.

Przedziały ufności zostały utworzone dla wszystkich odmian zbóż zarówno dla oddziaływania pola magnetycznego w czasie 8, jak i 30 sekund. Porównań dokonano z odpowiednimi próbami kontrolnymi dla danej odmiany. W celu zbadania poprawności przedziałów ufności tworzonych przy pomocy metody bootstrapu dokonano także symulacji komputerowej mającej określić, na ile dobrze takie przedziały utworzone dla różnic średnich i wariancji pokrywają wartość teoretyczną. Do symulacji użyto programu Microsoft Excel XP z wykorzystaniem oprogramowania Visual Basic for Applications. W symulacji użyto kilku rodzajów rozkładów statystycznych, z których były generowane dane. Z każdego rozkładu, o parametrach wybieranych także w sposób losowy, losowano dwie próby o licznosci 20 elementów każda. Dla każdej pary tworzono przedział ufności z wykorzystaniem percentylowej metody bootstrapu. Dla każdego rodzaju rozkładu losowano po 1000 par prób i badano w ilu procentach utworzone przedziały ufności pokrywają wartość 0. Przy założeniu poziomu istotności $\alpha=0,05$ pokrycie przedziałów powinno oscylować wokół wartości 95%. Otrzymane wyniki z symulacji dla trzech przykładowych rozkładów umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Pokrycie bootstrapowych przedziałów ufności dla różnic średnich i wariancji

Table 1. Coverage of bootstrap confidence intervals for difference of means and variance

Rozkład	Pokrycie dla różnicy średnich	Pokrycie dla różnicy wariancji
Normalny	93,6%	93,8%
Gamma	93,4%	92,7%
Jednostajny	93,1%	95,2%

Wyniki badań

Wyniki obliczeń wykonanych na materiale doświadczalnym zostały przedstawione w tabelach 2 i 3. W tabeli 2 w poszczególnych kolumnach pokazano wartość różnicy bezwzględnej $R\acute{S}$, liczoną według wzoru (1) i względną $R\acute{S}_w$ (2) średnich modułów sprężystości, jaką zaobserwowano między grupą poddaną oddziaływaniu pola magnetycznego a grupą kontrolną. W ostatniej kolumnie umieszczono przedziały ufności ($R\acute{S}_d$, $R\acute{S}_g$) określone wzorem (3) dla różnicy średnich otrzymane przy pomocy percentylowej metody bootstrapu. Kolumna pierwsza zawiera nazwę badanej odmiany zboża oraz czas oddziaływania pola magnetycznego na ziarna.

Tabela 2. Różnice, różnice względne i przedziały ufności dla wartości średnich dla ziaren stymulowanych polem magnetycznym i kontrolnych

Table 2. Differences, relative differences and confidence intervals for mean values for seeds stimulated with magnetic field and control ones

Odmiana i czas	Różnica z kontrolą $R\acute{S}$	Różnica względna $R\acute{S}_w$	Przedział ufności ($R\acute{S}_d$, $R\acute{S}_g$)	
pszenżyto 8s	0,059	0,014	-0,553	0,708
pszenżyto 30s	0,765	0,183	-0,162	1,757
pszenperz 8s	-4,131	-0,494	-7,714	-0,892
pszenperz 30s	-4,527	-0,541	-8,603	-1,515
mieszaniec 8s	-1,129	-0,222	-2,492	0,122
mieszaniec 30s	0,201	0,040	-1,189	1,455

Tabela 3. Różnice, różnice względne i przedziały ufności dla wariancji dla ziaren stymulowanych polem magnetycznym i kontrolnych

Table 3. Differences, relative differences and confidence intervals for variance for seeds stimulated with magnetic field and control ones

Odmiana i czas	Różnica z kontrolą RW	Różnica względna RW_w	Przedział ufności (RW_d , RW_g)	
pszenżyto 8s	0,629	0,796	-0,098	1,266
pszenżyto 30s	3,237	4,099	1,071	5,595
pszenperz 8s	-59,723	-0,977	-116,350	-5,710
pszenperz 30s	-60,320	-0,987	-113,856	-7,254
mieszaniec 8s	-2,738	-0,435	-9,191	2,693
mieszaniec 30s	-2,658	-0,422	-8,5499	2,247202

Porównania dokonane dla wariancji zostały przedstawione w tabeli 3. Tabela ta podobnie jak tabela dla średnich zawiera różnice bezwzględną, względną oraz przedział ufności dla różnicy wariancji.

Wnioski

Przedstawiona metoda bootstrapu umożliwiła dokonanie odpowiednich porównań przy braku założenia o normalności rozkładu badanej cechy. Dodatkowo przy jej użyciu nie była potrzebna zaawansowana wiedza statystyczna. Metoda ta pozwoliła wyznaczyć przedziały ufności dla wybranych parametrów poprzez wykorzystanie pracy komputerów. Wykorzystując przedziały ufności wykazano, że oddziaływanie pola magnetycznego ma różny wpływ na wartości modułu sprężystości źdźbeł. Dane z tabeli 2 wskazują, że dla pszenperzu stwierdzono negatywny wpływ oddziaływania pola magnetycznego na średnią wartość modułu sprężystości. Ta odmiana charakteryzuje się jednak dużą łamliwością źdźbeł i być może stąd wynika otrzymany wynik. Różnice otrzymane w pozostałych przypadkach nie są istotne statystycznie.

Analiza przedziałów ufności dla wariancji (tabela 3) pozwoliła na zaobserwowanie podobnego faktu. Dla pszenperzu zaobserwowano zmniejszenie rozrzutu wartości cechy, zaś dla pozostałych odmian różnice wykazano tylko przy 30-sekundowym oddziaływaniu pola magnetycznego na ziarna pszenżyta.

Inaczej niż przy porównaniu zwykłych średnich bezwzględnych i względnych zastosowanie przedziałów ufności dało porównanie populacyjnych średnich i wariancji. Zatem w ogólniejszy sposób przeanalizowano, czy nastąpił istotny statystycznie wpływ oddziaływania pola magnetycznego czy też nie.

Z tabeli 1 wynika, że empiryczny poziom ufności przedziału dla różnicy średnich tworzony przy pomocy percentylowej metody bootstrapu jest nieco niższy od zakładanego dla wszystkich rozpatrywanych w pracy rozkładów. Przedział ufności dla różnicy wariancji wykazuje także nieco niższy poziom ufności dla prób pochodzących z populacji o rozkładach normalnym i gamma, a nieznacznie wyższy dla rozkładu jednostajnego. Istnieje jednak możliwość poprawienia dokładności tych przedziałów poprzez zwiększenie liczby pomiarów lub poprzez zastosowanie bardziej zaawansowanych metod bootstrapu (Efron i Tibshirani 1993).

Bibliografia

Efron B., Tibshirani R.J. 1993. An introduction to the Bootstrap. Chapman & Hall. New York.

Efron B., Tibshirani R.J. 1991. Statistical data analysis in the computer age. *Science* 253, 390-395.

Pietruszewski S. 1998. Stanowisko do przedsięwzięcia biostymulacji nasion zmiennym polem magnetycznym. *Inżynieria Rolnicza* 2(3): 31-36.

Pietruszewski S., Kornarzyński K. 2001. Kiełkowanie nasion pszenicy jarej odmiany Jasna w stałym polu magnetycznym. *Fragmenta Agronomica* (XVIII), nr 2 (70), 2001.

Pietruszewski S., Kornarzyński K. 1999. Wpływ pól magnetycznych na proces kiełkowania nasion. *Inżynieria Rolnicza* 2(8): 13-20.

APPLICATION OF BOOTSTRAP METHOD TO STUDY OF MAGNETIC FIELD INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF CORN STALKS

Summary

Application of bootstrap method to creation of confidence intervals was proposed. This method was used to estimate influence of magnetic field stimulation on mechanical properties of corn stalks. These intervals were constructed for differences among means and variances of corn stalk elasticity modulus. Corn seeds, which were used in comparison with control groups, were stimulated with magnetic field during 8 and 30 seconds periods. Computer simulations were done to confirm that such confidence intervals can be used to estimate differences among means and variances.

Key words: magnetic field stimulation, bootstrap, confidence intervals