

Roman W a l e w s k i (Warszawa)

OPRACOWANIE SERII DOŚWIADCZEŃ ŁAKARSKICH

1. Wstęp

Doświadczenia prowadzone na użytkach zielonych są szczególnym przypadkiem doświadczeń z roślinami wieloletnimi. Ich cechą charakterystyczną jest ciągłość doświadczenia na tym samym miejscu oraz powtarzanie zbiorów w ciągu kolejnych lat użytkowania danej rośliny (względnie: zespołu roślin). Powtarzalność zbiorów oraz kilkuletnia ciągłość doświadczeń na użytkach zielonych odróżnia je od doświadczeń z roślinami jednorocznymi, zakładanymi co roku w innym miejscu. Tak więc różnica polega na niejednakowym znaczeniu czynnika czasu. W doświadczeniu z rośliną o jednorocznym okresie wegetacji "lata" dotyczą nowej lokalizacji (wielokrotność w czasie), gdy w doświadczeniach z roślinami wieloletnimi - przy tej samej lokalizacji - są to "lata użytkowania" (wieloletniość). Z powyższego wynika konieczność odrębnego sposobu opracowania statystycznego.

Doświadczeniom z roślinami wieloletnimi niewiele miejsca poświęca się w literaturze fachowej, w której zagadnienie to traktowane jest co najwyżej ubocznie ([1], [2], [4], [9], [12]). Spośród wyjątków, szerzej ujmujących zagadnienie, wymienić można kilka prac specjalnych: Pearce'a [5], Steela [8], Przybysza ([6], [7]), jak również opracowania Tretera i Walewskiego ([10], [11]), w których użyte metody statystyczne pokazane są tylko pośrednio.

W artykule niniejszym przedstawia się kilka podstawowych schematów analiz zmienności, wybranych spośród stosowanych przy opracowywaniu doświadczeń łakarskich w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Palentach.

2. Doświadczenie pojedyncze: pokosy, lata użytkowania

Rozpatruje się schematy opracowania doświadczeń łąkarskich zakładanych metodą losowanych bloków, ze zbiorami powtarzаныmi w roku i w latach. W doświadczeniach łąkarskich poszczególne zbiory nazywane są pokosami, natomiast w odniesieniu do lat proponuje się używać określenia "lata użytkowania" w odróżnieniu od "lat" z odrębną lokalizacją doświadczenia.

Można przyjąć, że czynnikiem podstawowym są obiekty (warianty) doświadczenia, czynnikiem zaś dodatkowym są terminy zbioru. Ponieważ warunki pogody między terminami zbiorów w jednakowy sposób oddziałują na obiekty w blokach, więc można zastosować schemat analizy zmienności odpowiadający polowemu układowi krzyżowemu (obiekty dwu czynników rozmieszczone na prostopadłych pasach). Układ ten w literaturze angielskiej i amerykańskiej nazywany jest układem split block (por. [2]). Jego model - przy uproszczonych oznaczeniach - ma postać (por. [11]):

$$y = m + g + a + e_1 + b + e_2 + ab + e_3$$

gdzie: y - plon z pojedynczego poletka, m - średnia ogólna, g - efekt bloków (gleby), a - efekt obiektów, b - efekt pokosów lub lat użytkowania, e - składnik losowy, przy czym $e_1 = ag$; $e_2 = bg$; $e_3 = abg$. Zarówno pokosy jak i lata użytkowania traktuje się jako czynniki stałe (model stały).

Modelowi temu odpowiada analiza zmienności, przedstawiona w tabeli 1. Analiza ta - w porównaniu ze zwykłą analizą dla losowanych bloków - ma dodatkową zaletę, mianowicie daje możliwość uzyskania ważnej informacji dotyczącej współdziałania obiektów z pokosami lub z latami użytkowania.

Przykład zastosowania obu schematów analizy zmienności, podanych w tab. 1, zawiera praca [10]. Należy jednak zauważyć, że schematy te różnią się częściowo od schematów, podanych przez niektórych autorów (por. [1], [7], [9]).

W tabeli 2 podano wzory do obliczenia przedziałów ufności.

Wzór (1) służy do obliczenia przedziałów ufności na podstawie analiz zmienności wykonanych dla poszczególnych pokosów lub dla ich sumy, ale bez uwzględnienia pojedynczych pokosów (tj. tak, jakby to był jeden zbiór).

Tabela 1

Schemat analizy zmienności dla doświadczenia łąkowego

Przyczyna zmienności	Opracowanie wyników	
	jeden rok - p pokosów	kilka lat ^x
Zmienność całkowita	kpn - 1	kln - 1
Bloki	n - 1	n - 1
Obiekty (warianty)	k - 1	k - 1
Błąd I	$(k - 1)(n - 1) - s_{e_1}^2$	$(k - 1)(n - 1)$
Pokosy (lub lata użytkowania)	p - 1	l - 1
Błąd II	$(p - 1)(n - 1) - s_{e_2}^2$	$(l - 1)(n - 1)$
Współdziałanie obiekty × pokosy (lub: obiekty × lata użytkowania)	$(k - 1)(p - 1)$	$(k - 1)(l - 1)$
Błąd III	$(k - 1)(p - 1)(n - 1) - s_{e_3}^2$	$(k - 1)(l - 1)(n - 1)$

^x Sumy pokosów z poszczególnego roku lub jeden pokos poprzez lata.

Przedziałem obliczonym wg wzoru (2) porównuje się średnie obiektowe w obrębie tego samego pokosu. Jest to przedział ufności "średnioważony". Ponieważ między poziomem plonów w pokosach występują zwykle znaczne różnice (dużo wyższe plony w pokosie I), przeto przedział (2) nie stanowi dobrej miary różnic między średnimi, szczególnie z pokosu o niższych plonach. W związku z tym dla pojedynczych pokosów wskazane jest obliczyć przedziały ufności na podstawie oddzielnych analiz zmienności.

Przedział ufności (3) służy do porównania rocznych sum obiektowych (suma z pokosów, gdy w analizie zmienności uwzględnia się pokosy).

Przedziałem (4) porównuje się średnie tych samych obiektów w różnych pokosach, natomiast przedział ufności (5) służy do stwierdzenia różnic między pokosami (tj. między ogólnymi średnimi z pokosów bez uwzględnienia obiektów) - i oblicza się, gdy pokosów jest więcej niż dwa.

Tak więc dla pojedynczego doświadczenia łąkowego należy przewidzieć następującą kolejność opracowania analiz zmienności wraz

Tabela 2

Wzory do obliczenia przedziałów ufności

Pokos I	Pokos II	Suma roczna (I + II)
$t \sqrt{\frac{2 s_e^2}{n}} \quad (1)$	$t \sqrt{\frac{2 s_e^2}{n}} \quad (1)$	$t \sqrt{\frac{2 s_e^2}{n}} \quad (1)$
$\frac{(p-1) s_{e_3}^2 t_3 + s_{e_1}^2 t_1}{(p-1) s_{e_3}^2 + s_{e_1}^2} \cdot$ $\cdot \sqrt{\frac{2 [(p-1) s_{e_3}^2 + s_{e_1}^2]}{pn}} \quad (2)$		$pt \sqrt{\frac{2 s_{e_1}^2}{pn}} = \sqrt{\frac{2 s_{e_1}^2 F p}{n}} \quad (3)$
$t \sqrt{\frac{2 s_{e_1}^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 s_{e_1}^2 F}{n}} \quad (4)$		
$t \sqrt{\frac{2 s_{e_2}^2}{kn}} = \sqrt{\frac{2 s_{e_2}^2 F}{kn}} \quad (5)$		

z odpowiednimi przedziałami ufności:

- 1^o dla poszczególnych pokosów,
- 2^o dla rocznej sumy plonów - z uwzględnieniem pojedynczych pokosów (informacja o współdziałaniu) - wg tabeli 1,
- 3^o dla kilku lat użytkowania - z pominięciem pojedynczych pokosów (informacja o współdziałaniu obiektów z latami), albo dla kilku lat ale z każdego pokosu osobno (jeden pokos poprzez lata użytkowania) - wg tabeli 1.

Może się czasem zdarzyć, że wpływ zabiegów, stosowanych wczesną wiosną (np. zalewanie łąki), wywiera tak duży wpływ na plony pokosu I, iż z góry wiadomo, że współdziałanie obiektów z pokosami będzie istotne. Wówczas analiza zmienności dla rocznej sumy plonów (pkt 2^o) jest zbędna, a zamiast niej należy wykonać analizy zmienności dla lat użytkowania - osobno dla każdego pokosu poprzez lata (pkt 3^o). Taki sposób postępowania przyjęto w pracy [11] ze względu na odmienną tendencję plonowania w pokosach.

Tabela 3

Schemat analizy zmienności z uwzględnieniem lat i pokosów

Przyczyna zmienności		Liczba stopni swobody
Zmienność całkowita		kpn - 1
	Bloki	n - 1
	Obiekty	k - 1
	Błąd I	(k - 1)(n - 1)
A	Lata użytkowania	l - 1
	Błąd II	(l - 1)(n - 1)
	Współdziałanie objekty × lata użytkowania	(k - 1)(l - 1)
	Błąd III	(k - 1)(l - 1)(n - 1)
	Pokosy	p - 1
	Błąd IV	(p - 1)(n - 1)
	Współdziałanie objekty × pokosy	(k - 1)(p - 1)
	Błąd V	(k - 1)(p - 1)(n - 1)
B	Współdziałanie lata użytkowania × pokosy	(l - 1)(p - 1)
	Błąd VI	(l - 1)(p - 1)(n - 1)
	Współdziałanie objekty × lata użyt. × pokosy	(k - 1)(l - 1)(p - 1)
	Błąd VII	(k - 1)(l - 1)(p - 1)(n - 1)

Jeżeli potrzebne jest sprawdzenie współdziałania pokosów z latami użytkowania, wtedy może być aktualna analiza, wynikająca z połączenia analiz wymienionych w punktach 2^o i 3^o, a pokazanych w tabeli 1. Analiza taka, rzadko stosowana, przedstawiona jest w tabeli 3.

3. Doświadczenie wieloletnie jako wielokrotne w przestrzeni

Wyniki pojedynczego doświadczenia nie dają pełnej podstawy do wyciągania wniosków uogólniających, dlatego doświadczenie powinno być powtórzone w różnych miejscowościach na obszarze, dla

Tabela 4

Doświadczenie wieloletnie jako wielokrotne w przestrzeni

Rok kalenda- rzowy	Miejscowości				Rok użytkowania (l)
	m_1	m_2	...	m_n	
1965	+	+	...	+	I
1966	+	+	...	+	II
1967	+	+	...	+	III

Krzyżykami oznaczono lata zbiorów poszczególnego doświadczenia.

Tabela 5

Porównanie miejscowości w tym samym roku
(schemat analizy zmienności)

Przyczyna zmienności	Liczba stopni swobody
Zmienność całkowita	$mk - 1$
Miejscowości (M)	$m - 1$
Obiekty (O)	$k - 1$
$M \times O$	$(m - 1)(k - 1)$
Błąd odtworzony	$\sum \left[(k - 1)(n - 1) \right]$

U w a g a: miejscowości mogą być uznane
za czynnik stały lub losowy.

którego potrzebne są informacje co do działania pewnych zabiegów^x. Doświadczenie takie przedstawiono w tabeli 4.

Z tabeli tej wynika, że mogą być wykonane dwa rodzaje opracowań:

1° dla doświadczenia wieloletniego w danej miejscowości w ciągu kilku lat użytkowania - schemat takiej analizy zmienności, podany w tabeli 1, został omówiony w poprzednim rozdziale;

^x Na razie pomija się sprawę powtórzenia doświadczenia w czasie.

2^o dla porównania wyników z kilku miejscowości w tym samym roku kalendarzowym - schemat analizy podano w tabeli 5.

Schemat ten przewiduje wykonanie analizy zmienności na średnich (z pominięciem powtórzeń). Wynika to stąd, że doświadczenia w poszczególnych miejscowościach mogą mieć niejednakową liczbę powtórzeń i różnej wielkości poletka.

Rozwinięciem tej ostatniej analizy będzie analiza zmienności, w której porównuje się doświadczenia z kilku miejscowości z uwzględnieniem lat użytkowania. Jeżeli miejscowości uznamy za dostatecznie reprezentatywne dla danego obszaru, to możemy je uznać za czynnik losowy i - w związku z tym - zastosować model mieszany (tab. 6).

Tabela 6

Schemat analizy zmienności dla doświadczeń wieloletnich powtórzonych w przestrzeni

Przyczyna zmienności	Liczba stopni swobody	Testowanie ^x
Zmienność całkowita	$mk - 1$	-
Miejscowości (M)	$m - 1$	$M/s_e^2_1$
Obiekty (O)	$k - 1$	O/M O
$M \times O$	$(m - 1)(k - 1)$	$M O/s_e^2_1$
Błąd I - odtworzony - $s_e^2_1$	$\sum^m [(k - 1)(n - 1)]$	
Lata użytkowania (L)	$l - 1$	L/L M
$L \times M$	$(l - 1)(m - 1)$	$L M/s_e^2_2$
Błąd II odtworzony - $s_e^2_2$	$\sum^m [(l - 1)(n - 1)]$	
$O \times L$	$(k - 1)(l - 1)$	OL/O L M
$O \times L \times M$	$(k - 1)(l - 1)(m - 1)$	OLM/ $s_e^2_3$
Błąd III - odtworzony - $s_e^2_3$	$\sum^m [(k - 1)(l - 1)(n - 1)]$	

^x Zastosowano model mieszany, przyjmując za czynnik losowy miejscowości, a za czynnik stały - lata użytkowania.

Tabela 7
Porównanie doświadczeń z rośliną jednoroczną i wieloletnią

Rok kalendaryzowy	R o ś l i n a						Rok użytkowania	
	jednoroczna			wieloletnia				
	lokalizacja			seria (lokalizacja)				
	s ₁	s ₂	s ₃	s ₁	s ₂	s ₃		
1965	+			+			I	
1966		+		+	+			
1967			+	+	+	+		
1968					+	+		II
1969						+		III

Krzyżykami oznaczono lata zbiorów poszczególnego doświadczenia

4. Serie w doświadczeniu wieloletnim (wielokrotność w czasie)

W doświadczeniach z roślinami jednorocznymi, zgodnie z wymaganiami poprawnej metodyki, obowiązuje jako minimum trzyletni cykl prowadzenia doświadczenia w danej miejscowości (doświadczenie zakłada się co roku na innym polu). Jest to konieczne ze względu na zmienne warunki pogody w latach (lewa część tab. 7). W przypadku roślin wieloletnich odpowiednikiem tego jest zakładanie trzech równoległych serii doświadczenia, rozpoczynanych z rocznym opóźnieniem (prawa część tab. 7). Tak więc serie stanowią powtórzenie doświadczenia wieloletniego w czasie (w danej miejscowości).

W literaturze nie znajduje się zalecenia takiego postępowania, chociaż wydaje się to oczywiste i szczególnie wskazane w przypadkach badania radykalnie działających zabiegów (np. zaoranie i ponowny zasiew łąki). Wówczas o udaniu się zabiegu oraz o jego wpływie następczym w dalszych latach użytkowania mogą decydować warunki pogody w roku rozpoczęcia doświadczenia.

Ujemnym następstwem powtarzania serii w danej miejscowości jest zwiększenie powierzchni doświadczenia, a więc i pracy przy jego prowadzeniu. W przykładzie w tabeli 7 doświadczenie trwa 5 lat, przy czym w trzecim roku powierzchnia zwiększa się trzy-

Tabela 8

Ograniczenie powierzchni doświadczenia

Rok kalendaryzowy	S e r i a			Łączna liczba powtórzeń w roku kalendaryzowym przy liczbie powtórzeń w serii	
	I	II	III	3	4
1965	+			3	4
1966	+	+		6	8
1967		+	+	6	8
1968			+	3	4

krotnie. Można zmniejszyć te ujemne następstwa skracając czas trwania serii do dwóch lat oraz ograniczając liczbę powtórzeń do czterech lub nawet trzech - zamiast stosowanych normalnie pięciu. Wó-

wczas powierzchnia zwiększy się tylko dwukrotnie, a łączny czas trwania trzech serii skróci się do czterech lat (tab. 8). Natomiast zmniejszy się dokładność doświadczenia na skutek zmniejszenia liczby stopni swobody zmienności błędu pojedynczej serii, jednakże dzięki powtórzeniu serii wzrośnie liczba stopni swobody błędu odtworzonego, co dostatecznie zabezpieczy właściwą ocenę odpowiednich zmienności.

Przyjmując sugestie autora niniejszej pracy, Kownacka^x zastosowała powtarzanie serii w doświadczeniu z kilkuletnimi mieszankami motylkowo-trawlistymi, prowadzonym w kilku miejscowościach w rejonie podgórskim. Ze względu na brak dostatecznej powierzchni niektóre serie różniły się liczbą powtórzeń.

Ze schematu w tabeli 7 wynika, że dla doświadczeń w jednej miejscowości można przeprowadzić dwa rodzaje opracowań:

1^o porównanie zgodności serii w danym (np. w pierwszym) roku użytkowania tj. w różnych latach kalendarzowych - analizę zmienności wykonuje się wg schematu podanego w tabeli 5 (zastępując "miejscowości" "seriami");

2^o porównanie zgodności kilku serii z uwzględnieniem lat użytkowania - analizę zmienności wykonuje się wg schematu podanego w tabeli 6 (zastępując "miejscowości" "seriami").

Ostatni etap opracowania stanowi ujęcie w łącznej analizie zmienności miejscowości i serii w miejscowościach w danym (np. pierwszym) roku użytkowania^{xx}. Obrazuje to tabela 9. Jest to typowe opracowanie doświadczenia, powtórzonego w czasie (serie) i w przestrzeni (miejscowości). Analiza daje możliwość sprawdzenia, czy obiekty (warianty) podobnie reagują na warunki glebowe i agrotechniczne w miejscowościach oraz na warunki pogody w latach rozpoczynania i trwania serii. W analizie tej zarówno miejscowości, jak i serie uznano za czynniki losowe. Odpowiednio do tego dokonano testowania według modelu mieszanego.

^x Praca dr Kownackiej w przygotowaniu do druku w jednej z publikacji IMUZ.

^{xx} Albo inaczej: Porównanie serii z danego (np. pierwszego) roku użytkowania między miejscowościami.

Tabela 9

Porównanie miejscowości i serii w miejscowościach
w danym roku użytkowania
(schemat analizy zmienności)

Przyczyny zmienności	Liczba stopni swobody	Testowanie ^x
Zmienność całkowita	msk - 1	-
Miejscowości (M)	m - 1	M/s_e^2
Serie (S)	s - 1	S/s_e^2
Obiekty (warianty) (O)	k - 1	$O/OS + OM - OMS$ ^{xx}
O × M	$(k - 1)(m - 1)$	$O M/O M S$
O × S	$(k - 1)(s - 1)$	$O S/O M S$
M × S	$(m - 1)(s - 1)$	$M S/s_e^2$
O × M × S	$(k - 1)(m - 1)(s - 1)$	$O M S/s_e^2$
Błąd odtworzony	$\sum_m \sum_s [(k - 1)(n - 1)]$	s_e^2

^x Przyjęto model mieszany, uznając wpływ miejscowości i serii za losowy.

^{xx} Według Satterhwaíta.

5. Zakończenie

W pracy przedstawiono kilka typowych schematów opracowania wieloletnich doświadczeń łąkarskich. Nie wyczerpują one jednak wszelkich możliwości, przy czym nie jest celowe ustalanie z góry jednolitego szablonu, odpowiedniego dla różnych zagadnień i tematów. O wyborze właściwych schematów opracowania decydować powinien sam doświadczalnik - w zależności od pytań, na które pragnie uzyskać odpowiedzi na podstawie wyników przeprowadzonych doświadczeń, czyli w zależności od hipotezy, przyjętej przy planowaniu doświadczenia.

W celu uniknięcia ewentualnych błędów, przy stosowaniu wybranych schematów analiz zmienności należy pamiętać o zróżnicowaniu podejścia. Będzie ono odmienne w zależności od tego, czy porównuje się wyniki z kolejnych zbiorów z tych samych poletek, czy też z poletek o różnej lokalizacji.

Literatura cytowana

- [1] Anderson, R. L., Bancroft, T. A., Statistical theory in research, New York 1952.
- [2] Federer, W. T., Experimental design, New York 1955.
- [3] Harter, H. L., On analysis of split plot experiments, Biometrics 17 (1961).
- [4] Mudra, A., Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche, Berlin 1958.
- [5] Pearce, S. C., Field experimentation with fruit trees and other perennial plants, London 1953.
- [6] Przybysz, T., Schematy doświadczeń bloków losowych i rozszczepionych poletek z roślinami wieloletnimi, Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska, ser. E, 22 (1967), z. 8.
- [7] Przybysz, T., Analiza statystyczna doświadczenia z roślinami wieloletnimi w układzie bloków losowych, Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska, ser. E, 22 (1967), z. 9.
- [8] Steel, R. G. D., An analysis of perennial crop, Biometrics 11 (1955).
- [9] Steel, R. G. D., Torrie, J. H., Principles and procedures of statistics, New York 1960.
- [10] Treter, K., Walewski, R., Porównanie dwugatunkowych mieszanek traw z motylkowymi w warunkach górskich z uwzględnieniem dwóch norm wysiewu, Roczn. Nauk Roln., ser. F, 77 (1969), z. 2.
- [11] Treter, K., Walewski, R., Wpływ terminu sprzętu pierwszego pokosu na wydajność łąki górskiej, Wiadomości IMUZ, 10, (1971), z. 1.
- [12] Vessereau, A., Méthodes statistiques en biologie et en agromonie, Paris 1960.

R. Walewski (Warszawa)

OPRACOWANIE SERII DOŚWIADCZEN ŁĄKARSKICH

Streszczenie

Przedstawiono kilka typowych schematów opracowywania wyników doświadczeń łąkarskich, jako szczególnego przypadku doświadczeń z roślinami wieloletnimi. Omówiono schematy analiz zmienności przy powtarzaniu zbiorów w czasie z tych samych poletek, jak również dla doświadczeń, powtórzonych w czasie jako serie w danej miejscowości oraz powtórzonych w przestrzeni czyli w różnych miejscowościach.

R. Walewski (Warszawa)

ELABORATION OF GRASSLAND EXPERIMENTS SERIES

Summary

Several typical schemes of elaboration of grassland experiment results are presented as a specific case of experiments with perennial plants.

The schemes of analyses of variance at harvest replication from the same plots in time as well as of the experiments replicated in time as series in the given locality and replicated in space, i. e. in different localities, are discussed.