

Jerzy D a w i d o w s k i (Słupia Wielka)

Kazimierz D m o c h o w s k i (Słupia Wielka)

Wiesław P i l a r c z y k (Słupia Wielka)

STOSOWANIE ANALIZY WARIANCJI
W OCENIE ODMIAN ROŚLIN UPRAWNYCH
W POLSCE

1. Zastosowania analizy wariancji w polskiej ocenie odmian
do roku 1970

Stosowanie analizy wariancji w polskiej ocenie odmian ma długą tradycję i wiąże się z rozwojem zastosowań metod statystyki matematycznej w hodowli roślin i w doświadczalnictwie rolniczym w ogóle. Tradycja ta sięga w Polsce początków dwudziestego wieku i związana jest przede wszystkim z nazwiskiem E. Załęskiego. Nowy impuls w stosowaniu metod statystyki matematycznej w doświadczalnictwie rolniczym dały teoretyczne prace J. Neymana.

Doświadczalnictwo odmianowe, przede wszystkim polowe, będące podstawą oceny odmian roślin uprawnych, było zawsze jednym z głównych terenów zastosowań statystyki matematycznej, dzięki między innymi dużej liczbie doświadczeń.

Wprowadzenie do polskiego doświadczalnictwa odmianowego metody analizy wariancji opracowanej przez R.A.Fishera nastąpiło w połowie lat trzydziestych i wiąże się z nazwiskiem S.Barbackiego, autora znanego przed wojną podręcznika metodyki doświadczeń polowych (Barbacki 1935). Analizę wariancji zaczęto stosować jednocześnie z wprowadzeniem do praktyki doświadczalnej układu losowanych bloków. Podjęto także, choć bez powodzenia, oryginalną próbę zastosowania tej analizy do układów wzorcowych, rozpowszechnionych zwłaszcza w hodowli roślin, gdzie operuje się najczęściej dużą liczbą badanych obiektów (Przyborowski i Wileński 1937).

Na podkreślenie zasługuje szybkie wprowadzenie analizy wariancji do opracowań wyników serii doświadczeń odmianowych, przy czym pracom polskim należy przyznać światowe pierwszeństwo w tej dziedzinie, co niestety nie jest powszechnie znane nawet w naszym kraju (Przyborowski i Wileński 1938, Przyborowski i Nawrocki 1939).

Bardziej szczegółowe omówienie zastosowań statystyki matematycznej w polskim doświadczalnictwie rolniczym przed drugą wojną światową można znaleźć w pracy S.Schmidta (Schmidt 1971).

Po zniszczeniach i stratach wojennych polskie doświadczalnictwo odmianowe i hodowla roślin nie tylko kontynuują dobre tradycje przedwojenne w stosowaniu nowoczesnych metod statystyki matematycznej, ale systematycznie rozszerzają ich znaczenie praktyczne. Proces ten trwa systematycznie, mimo przeszkód stwarzanych przez pewne przejściowe koncepcje zasadniczo niechętnie, a nawet przeciwne stosowaniu w badaniach rolniczych i biologicznych obiektywnych metod statystyki matematycznej. I tak w doświadczalnictwie rolniczym, w związku z wprowadzaniem na szeroką

skalę doświadczeń wieloczynnikowych, analizę wariancji stosuje się także do bardziej złożonych modeli, przeważnie w powiązaniu z dominującym w tym typie doświadczeń układem "split-plot" lub "split-split-plot", a później także "split-block". Hodowla roślin coraz szerzej stosuje układy kratowe. Układy te przenikają także do doświadczalnictwa odmianowego, opartego o sieć licznych terenowych placówek doświadczalnych, nazwanych stacjami doświadczalnymi oceny odmian (obecnie stacjami oceny odmian).

Wznowione zostaje wydawanie syntetycznych opracowań wyników wieloletnich doświadczeń odmianowych. Autorzy tych syntez w różnym stopniu wykorzystują metody analizy wariancji a także analizy regresji opierając się początkowo głównie na polskich pracach przedwojennych z tego zakresu. Dopiero w latach sześćdziesiątych pojawiają się nowe koncepcje związane z zastosowaniem analizy wariancji w analizie wyników doświadczeń odmianowych. Wymienić tu należy syntezę oparte o prace T.Calińskiego (Barbacki i Caliński 1962, 1963, Caliński 1961a, 1961b, 1966, 1967a, 1967b). Inne rozwiązania znajdujemy w syntezach wykorzystujących koncepcje L.C.A. Corstena (Corsten 1958) w szczególnym ujęciu Nawrockiego (Nawrocki 1967). W syntezach tych usiłowano przełamać trudności i niedostatki informacyjne wynikające z immanentnej nieortogonalności serii doświadczeń odmianowych (Borucka-Ubysz i Walewski 1965, Nawrocki i Prueffer 1961). W innych syntezach trudności te usiłowano obejść poprzez sztuczną ortogonalizację serii doświadczeń. W tej grupie prac szerokim zastosowaniem analizy wariancji i regresji wyróżniają się prace E. Bilskiego (Bilski 1961, 1963). W niektórych innych pracach przy pomocy analizy wariancji usiłowano rozwiązać jeden

4 Jerzy Dawidowski, Kazimierz Dmochowski, Wiesław Pilarczyk
z ważnych problemów oceny odmian jakim jest ustalenie właściwego i optymalnego podziału kraju na rejony względnie jednolite z punktu widzenia plonowania odmian gatunku rośliny (Brykczyński 1952, Łubkowski 1954, 1963, 1968, Łubkowski i Olszewska 1973a, 1973b).

Podkreślić wreszcie trzeba zapoczątkowane już w latach pięćdziesiątych i kontynuowane następnie w coraz szerszej skali stosowanie automatycznego przetwarzania danych dostosowanego do wymagań analizy wariancji wyników tak pojedynczych jak i serii doświadczeń odmianowych. Wykorzystywano do tego celu początkowo maszyny analityczne f-my Bull, a później kolejne wczesne generacje polskich emc: XYZ i ZAM gamma 2.

Począwszy od roku 1969 kierowanie całą oceną odmian przejmuje nowa instytucja - Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych w Słupi Wielkiej w woj. poznańskim. Lata siedemdziesiąte, lata działalności COBORU, omówiono w rozdziałach 2 i 3.

2. Doświadczenia pojedyncze

2.1. Doświadczenia jednoczynnikowe

W badaniach kierowanych lub koordynowanych przez COBORU wykonuje się w każdym roku około 3000 doświadczeń polowych, w tym około 2100 doświadczeń jednoczynnikowych. Pozostałe to doświadczenia wieloczynnikowe, przeważnie dwu- a czasami i trzyczynnikowe. Spośród doświadczeń jednoczynnikowych największą część stanowią doświadczenia przeprowadzane w układzie bloków losowanych (około 75% wszystkich). Pozostałe doświadczenia jednoczynnikowe przeprowadza się najczęściej w układach

kratowych: w kratkach kwadratowych, prostokątnych i, rzadziej, w kubicznych. W nielicznych przypadkach stosowano także układy z dwukierunkową eliminacją zmienności glebowej (kwadraty łacińskie, kwadraty kratowe), ale ostatnio zarzucono je prawie całkowicie. Układy o blokach losowanych kompletnych stosuje się w zasadzie przy liczbie obiektów $t \leq 15$, chociaż czasem przy większej ich liczbie, szczególnie dla takich "niewygodnych" liczb t jak np. $t=23$. Nie można wówczas zastosować układu kratowego, gdyż trzeba by wtedy albo wprowadzić dwa nowe obiekty i zastosować układ kratowy $t=k^2=25$, albo zrezygnować z badania trzech obiektów i zastosować kratę prostokątną z $t=4 \times 5=20$ obiektami. Sytuacja w tym względzie ulegnie niedługo poprawie po wprowadzeniu do praktyki szerszej klasy układów o blokach niekompletnych zrównoważonych i częściowo zrównoważonych (Cochran i Cox 1957). W analizie wyników z doświadczeń o blokach kompletnych i niekompletnych przyjmuje się tradycyjny model matematyczny addytywny. Jak dotychczas w standardowych opracowaniach nie bada się przyjętych w modelu założeń: normalności rozkładu błędów, jednorodności wariancji i addytywności modelu. W wydruku wyników podaje się tablicę analizy wariancji uwzględniającą źródła zmienności określone przyjętym modelem.

Oprócz tabeli analizy wariancji, do standardowych składowych części programu analizy wyników należy obliczenie i wydrukowanie wartości średnich dla obiektów, odchyłeń średnich dla obiektów od średnich dla obiektów wzorcowych, błędu standardowego różnicy średnich dla dwóch obiektów i $LSD_{0,05}$ (najmniejsza różnica istotna na poziomie 0,05) a nadto $LSD_{0,05}$ w procentach średniej ogólnej. Oprócz tego, w niektórych przypadkach dokonuje się pogrupowania średnich obiektowych w grupy jednorodne w oparciu

o minimalizację sumy kwadratów wewnątrz grup (Caliński i Wagner 1974, Wagner 1977).

W doświadczeniach jednoczynnikowych z niektórymi roślinami o stosunkowo niewielkiej liczbie roślin na poletku (roślinami korzeniowymi, kukurydzą, chmielem i niektórymi warzywami) wykonuje się często analizę kowariancji z liczbą roślin jako zmienną towarzyszącą. W analizie tej przyjmuje się model podany przez B. Cerankę (Ceranka 1972).

Rocznie wykonuje się w COBORU obliczenia analiz wariancji wyników około 2100 doświadczeń jednoczynnikowych własnych i około 1100 doświadczeń hodowlanych. W jednym doświadczeniu wykonuje się obliczenia dla 1 do 8 cech, średnio dla 2.

2.2. Doświadczenia wieloczynnikowe

Doświadczenia wieloczynnikowe w ocenie odmian przeprowadza się prawie wyłącznie w następujących układach doświadczalnych:

- doświadczenia dwuczynnikowe w układach "split-plot" i "split-block",
- doświadczenia trójczynnikowe w układach "split-split-plot" i w układach będących kombinacjami układów "split-plot" z układami "split-block".

Sporadycznie stosuje się też doświadczenia dwu- i trójczynnikowe w układzie bloków zrandomizowanych kompletnych. Czynniki nieodmianowymi w tych doświadczeniach są najczęściej następujące czynniki agrotechniczne:

- czynniki nawozowe w doświadczeniach ze zbożami, warzywami i trawami,

- ilość wysiewu lub rozstawa roślin w doświadczeniach ze zbożami i warzywami,
- terminy sprzętu w doświadczeniach z ziemniakami i warzywami,
- stosowanie preparatów chemicznych (np. Camposanu) w niektórych doświadczeniach specjalnych.

W układzie "split-plot" hierarchia czynników jest najczęściej narzucana przez technikę wykonywania doświadczenia. Jako ilustrację niech nam posłużą doświadczenia odmianowo-nawozowe. W nich na dużych poletkach, rozmieszczone są z reguły poziomy czynnik nawozowy, a na małych poletkach rozmieszczone są odmiany, łatwiej bowiem jest dozować i rozsiewać nawóz na poletkach dużych. Specjalnie dogodne ze względów technicznych są układy "split-block".

Przy wykonywaniu analizy, oprócz tablicy analizy wariancji oblicza się wartości średnie dla poziomów poszczególnych czynników i ich kombinacji, błędy standardowe porównań średnich dla poziomów poszczególnych czynników i ich interakcji, oraz odpowiednie LSD.

Rocznie wykonuje się w COBORU około 2000 analiz wariancji doświadczeń wieloczynnikowych własnych i 200 analiz doświadczeń hodowlanych. Analiza w tym typie doświadczeń odnosi się przeważnie do trzech cech.

Konieczność badania w ocenie odmian reakcji poszczególnych odmian na nawożenie spowodowała zainteresowanie się tzw. układami rotacyjnymi (Box 1954, Box i Hunter 1958, Cochran i Cox 1957, Paprzycki 1974). Łącząc badanie czynników o charakterze ilościowym z czynnikiem o charakterze jakościowym (czynnikiem odmianowym), skonstruowano złożony układ doświadczalny będący połączeniem jednego ze stojących do dyspozycji układów rotacyjnych

o blokach niekompletnych z układem "split-block" (Dmochowski 1966). Uzyskano w ten sposób możliwość otrzymania powierzchni odpowiedzi (powierzchni reakcji) dla kilku odmian oraz zbadania współdziałania odmian z czynnikami nawozowymi poprzez rozbitcie w analizie wariancji efektów współdziałania na składniki odpowiadające kontrastom ortogonalnym. Metoda ta umożliwia bardziej wnikliwą analizę tego współdziałania przy stosunkowo małej liczbie poletek w doświadczeniu.

Duże trudności nastęrcza problem wykorzystania powierzchni odpowiedzi w syntezach wyników serii doświadczeń zakładanych w takich układach. Obecnie COBORU stara się opracowywać wieloletnie serie takich doświadczeń ze zbożami przy pomocy regresji wielokrotnej uwzględniającej wiele mierzalnych czynników środowiska (takich jak gleba, opady, temperatura).

2.3. Doświadczenia z powtarzaniem pomiarów

Z punktu widzenia analizy wariancji specjalną grupę roślin stanowią gatunki, w badaniu których powtarza się wielokrotnie pomiary na tych samych poletkach, np. dokonując wielokrotnych pokosów u wieloletnich traw i roślin motylkowych lub zbierając wielokrotnie plony niektórych warzyw. Wobec braku zadowalająco uzasadnionych metod analizy wariancji, uwzględniających w pełni korelacje pomiędzy kolejnymi zbiorami wzgl. pokosami, oraz istniejących sporów co do metod stosowanych dotychczas lub proponowanych (Caliński et al. 1975, Federer 1955, Finney 1956, Oktaba 1967, Przybysz 1964, 1967a i b, Steel i Torrie 1960, Świetlicka-Grala 1972) stosuje się różne próby obejścia istniejących trudności w prawidłowym oszacowaniu interakcji obiektów

z tzw. czynnikami profilowymi (pokosami wzgl. zbiorami i/lub latami użytkowania). Najczęściej sumuje się plony poprzez lata użytkowania lub/i pokosy i wykonuje analizę wariancji jak dla zwykłej, jednej cechy. W doświadczeniach z odmianami warzyw analizę wariancji wykonuje się dla interesujących nas sum plonów z poszczególnych zbiorów (np. dla tzw. plonu wczesnego). Oczywiście przy sumowaniu traci się możliwość zbadania interakcji odmian ze zbiorami, która jest ważna w ocenie odmian tych roślin.

2.4. Brakujące poletka oraz stosowana technika obliczeń

Panującą praktyką jest uzupełnianie (niewielkiej liczby) brakujących danych i przeprowadzenie analizy danych kompletnych - zgodnie z planem doświadczenia. Jedyną konsekwencją uzupełniania jest zmniejszenie liczby stopni swobody dla błędu. Nie wprowadza się poprawek do sum kwadratów, gdyż w badaniach oceny odmian w zasadzie nie wnioskuje się z doświadczeń pojedynczych i niewielkie różnice w sumie kwadratów dla obiektów nie mają praktycznie żadnych konsekwencji. To, że uzupełnia się brakujące dane, a nie analizuje dane niekompletne, jest także częściowo uzasadnione czasem obliczeń. Przy uzupełnianiu brakujących danych obliczenia prowadzone są wg metody zaproponowanej przez Rubina (Rubin 1975). W przypadku wystąpienia niewielkiej liczby brakujących obserwacji w doświadczeniach wieloczynnikowych postępuje się w ten sposób jak gdyby doświadczenie przeprowadzano w układzie bloków losowanych a obiektem jest kombinacja poziomów czynników. Jest to postępowanie nie w pełni uzasadnione ale wydaje się być praktycznie przydatnym przybliże-

niem. Podobnych uproszczeń dokonuje się przy analizie wyników doświadczeń z powtarzonymi pomiarami.

W pierwszym okresie stosowania komputerów w ocenie odmian tworzono oddzielnie programy analizy wariancji dla różnych układów doświadczalnych. Były więc oddzielne programy analizy wariancji dla doświadczeń przeprowadzanych w układzie bloków losowanych kompletnych, w kracie kwadratowej, w kracie prostokątnej, w zrównoważonych układach blokowych (BIB) itd. Do obliczeń stosowano tradycyjne wzory na uzupełnianie brakujących danych podawane w podręcznikach (Federer 1955, Cochran i Cox 1957). Następnym etapem było stworzenie jednego dużego programu analizy wariancji dla doświadczeń blokowych (o blokach kompletnych i niekompletnych). Program ten opierał obliczenia na znalezieniu macierzy kowariancji Ω (patrz np. Tocher 1952). Program był elegancki i zwarty, ale efektywność jego szybko malała przy wzroście liczby obiektów.

Zastosowano więc metodę iteracyjną obliczania średnich poprawionych (to znaczy nieobciążonych) dla poszczególnych obiektów (Corsten 1958, Wilkinson 1970, Caliński 1971). Wyniki przeszły najśmielsze oczekiwania. Czas wykonywania analizy wariancji doświadczenia z $t=169$ obiektami został skrócony z 6 godzin do około 3 minut, przy założonej dokładności wyliczenia średnich $\epsilon=0,001$. Istnieje także możliwość wyliczenia dokładnych wartości wariancji dla interesujących porównań międzyodmianowych, bez konieczności wyliczenia całej macierzy Ω . Wykorzystano tu metodę zaproponowaną przez T. Calińskiego (Caliński 1971). Czas obliczeń może nie jest czynnikiem najważniejszym jeśli analizuje się małą liczbę doświadczeń, ale wobec ponad 5000 analiz wa-

riancji doświadczeń blokowych wykonywanych przez COBORU w każdym roku ma to zasadnicze znaczenie.

3. Serie doświadczeń

Jak już podkreślono w rozdziale 1, główną rolę w ocenie odmian odgrywa analiza wyników serii doświadczeń oraz oparte na tej analizie wnioskowanie i podejmowanie decyzji. Wnioskowanie to powinno uwzględniać przede wszystkim wyniki z wieloletnich serii doświadczeń wykonywanych w wielu (od kilku do kilkuset) miejscowościach.

Cechą charakterystyczną dla takich serii jest ich nieortogonalność. Wynika ona z samej istoty dopływu odmian do doświadczeń. Stale bowiem tworzone są nowe odmiany, wypierające w produkcji odmiany wytworzone dawniej. Dodatkowo na tę nieortogonalność wpływają zmiany przestrzennego planu doświadczeń, organizacyjne trudności w realizacji zaplanowanego doboru odmian oraz nieuniknione dyskwalifikacje doświadczeń pojedynczych, całych lub poszczególnych ich obiektów. Mimo, że ocenę odmian najbardziej interesują modele analizy wariancji serii nieortogonalnych, to jednak z uwagi na przejrzystość przedstawiania takiego modelu, a także z uwagi na brak jednoznacznie poprawnych i skutecznych metod analizy wariancji serii nieortogonalnych, omówimy najprzód model dla serii ortogonalnej.

W serii przestrzenno-czasowej przyjmuje się za najbardziej poprawny model oparty na modelu Scheffégo (Scheffé 1959) uwzględniającym występowanie korelacji między niektórymi wchodzącymi w grę zmiennymi losowymi.

Ten model mieszany oparty jest na klasyfikacji krzyżowej, w której odmiany traktuje się jako konkretne przedmioty zainteresowania (czynnik stały), a lata i miejscowości, w których wykonano doświadczenia, traktuje się jako próbę losową ze wszystkich interesujących nas lat i miejscowości na danym obszarze (Caliński 1961, 1967a, 1967b, Cochran i Cox 1957, Elandt 1958a, 1958b, Kempthorne 1952).

Ponieważ jednak dla modelu Schaffégo przy dwóch losowych czynnikach klasyfikacyjnych testowanie porównań obiektowych jest możliwe tylko w przypadku, gdy liczba obiektów jest mniejsza zarówno od liczby lat jak i od liczby miejscowości (Imhof 1960), praktyczne stosowanie tego modelu jest b.mało realne przy z reguły krótkim okresie badania odmian, wynoszącym 2-4 lata. Także próba rozwiązania tej trudności przy pomocy wielozmiennej analizy wariancji nie usunęła tego ograniczenia (Caliński et al. 1972, Czajka 1974). Z uwagi na przytoczone ograniczenia w praktyce stosuje się model zakładający brak jakichkolwiek korelacji. Rozwiązanie to znane jest z literatury podręcznikowej (Kempthorne 1952).

Także w przypadku analizy serii jednorocznej lub analizy serii wieloletniej w jednej miejscowości stosowanie modelu Scheffégo natrafia na ograniczenia, związane z wymaganiem aby liczba miejscowości wzgl. lat była większa od liczby obiektów. Wprawdzie w serii jednorocznej ograniczenie to może nie mieć praktycznego znaczenia, mimo to także w przypadku serii z jednym losowym czynnikiem środowiska stosuje się uproszczony model analizy wariancji.

Analizę wariancji wykonuje się na wartościach średnich z pojedynczych doświadczeń, a sumę kwadratów dla błędu oblicza się

przez jej tzw. odtwarzanie. W modelu tym wymaga się, by we wszystkich miejscowościach wchodzących w skład serii były badane te same obiekty, niekoniecznie jednak w takich samych układach doświadczalnych i niekoniecznie z tą samą liczbą powtórzeń. Jest to wymaganie trudne do spełnienia i praktycznie prawie w każdej serii trzeba dokonać pewnej redukcji danych, aby warunek ten był spełniony. Te redukcje to albo zrezygnowanie z kilku obiektów i wykonanie analizy tylko dla tych obiektów, dla których dostępne są wyniki ze wszystkich miejscowości i lat, albo zrezygnowanie z kilku miejscowości i wykonanie analizy serii dla wszystkich obiektów, ale na okrojonym materiale. Często łączy się obydwie możliwości i rezygnuje zarówno z kilku obiektów jak i z niektórych miejscowości. W przypadku niewielkiej nieortogonalności (braku jednego lub kilku wyników w serii) dopuszcza się możliwość teoretycznego obliczenia brakujących danych metodą minimalizacji interakcji najwyższego rzędu. Ten sposób postępowania jest jednak o wiele bardziej dyskusyjny niż uzupełnianie brakujących danych w doświadczeniach pojedynczych, a to z uwagi na większą rolę jaką odgrywają interakcje w serii doświadczeń niż błąd w doświadczeniu pojedynczym. Zabieg ten, podobnie jak ortogonalizację serii poprzez rezygnację z niektórych danych, należy więc uznać za zło konieczne, które powinno się zastąpić stosowaniem innych, bardziej poprawnych metod analizy.

Podstawową sprawą w opracowaniu serii przestrzennych jest badanie interakcji obiektowo-środowiskowej, o czym mowa będzie później (w rozdziale 4).

Postępowanie z seriami przestrzennymi (lub czasowymi) doświadczeń wieloczynnikowych jest analogiczne, z tym, że w zależności od układu doświadczalnego odtwarza się sumy kwadratów dla

dwóch lub więcej błędów. W tym typie serii wszystkie doświadczenia wieloczynnikowe muszą być przeprowadzane w tym samym układzie doświadczalnym i z tymi samymi poziomami poszczególnych czynników.

Jedną z metod ostatnio zastosowanych w ocenie odmian jest analiza serii wieloletnich nieortogonalnych ze względu na liczbę i rozmieszczenie miejscowości. Można przy jej pomocy opracowywać wyniki dla określonego doboru odmian wykorzystując wyniki ze wszystkich miejscowości we wszystkich latach. Traci się jedynie informacje o niektórych interakcjach (Corsten 1958, Verdooren 1969).

Jeśli chodzi o testowanie różnic odmianowych oraz interakcji w seriach to ocena odmian przychyła się raczej do tzw. podejścia konserwatywnego (Cochran i Cox 1957, Kempthorne 1952, Le Clerg et al. 1962) zachowując rezerwę względem alternatywnej metody polegającej na łączeniu tych średnich kwadratów, dla których nie zostają odrzucone hipotezy o równych wartościach oczekiwanych (Caliński 1967 b).

Serie doświadczeń z powtarzanymi pomiarami, wobec braku odpowiedniej metody analizy wariancji, traktuje się tak jak serie wyników doświadczeń z pojedynczymi pomiarami, przy czym pomiarami tymi są albo sumy (np. plony sumaryczne) albo średnie (np. średnie porażenie chorobami).

Rocznie w ocenie odmian wykonuje się około 1000 analiz wariancji serii własnych oraz około 200 serii doświadczeń hodowlanych.

Liczba tych serii będzie wzrastać, co zależy między innymi od dalszych decyzji co do stosowania bardziej złożonych metod ich analizy.

4. Perspektywy wykorzystania w ocenie odmian analizy wariancji i metod z nią związanych

4.1. Wybór układu doświadczalnego

Obecna praktyka stosowania układów doświadczalnych w doświadczeniach oceny odmian nie jest w pełni zadowalająca. Przede wszystkim zakładane są doświadczenia w układzie losowanych bloków o zbyt dużej liczbie obiektów, kiedy to skuteczność tego układu może być wyraźnie mniejsza w porównaniu do znanych układów o blokach niekompletnych (Ceranka 1973), bądź też zakłada się doświadczenia w układach kratowych dodając często dodatkowe odmiany, jeśli dla danej liczby odmian brak jest układu kratowego.

Problemy te są obecnie rozwiązywane poprzez opracowanie i wdrożenie instrukcji stosowania i zakładania doświadczeń w różnych układach doświadczalnych, uwzględniających m.in. układy o blokach niekompletnych zrównoważonych, częściowo zrównoważonych i innych, przez rozszerzenie posiadanego programu o możliwość generowania rozlosowań obiektów dla układów o blokach niekompletnych oraz przez opracowanie i wdrożenie programów analizy wariancji i kowariancji uwzględniających m.in. dostatecznie szeroką klasę układów o blokach niekompletnych.

Analogiczny problem stwarza zbyt duża liczba odmian, głównie w doświadczeniach z ziemniakiem w różnych terminach kopania, zakładanych w układzie "split-block". Potrzebne jest więc opracowanie metody analizy wariancji doświadczeń w układzie "split-plot" lub "split-block" uwzględniającej jeden czynnik w układzie o blokach niekompletnych.

Stosowanie układów o blokach niekompletnych wiąże się często z trudnością wyboru jednego z istniejących układów dla tej samej liczby obiektów i powtórzeń. Z reguły zaleca się wybór układu zrównoważonego (BIB), jeśli taki istnieje. Jeśli BIB nie istnieje to należy wybrać układ częściowo zrównoważony (PBIB) z możliwie małą liczbą klas partnerów. Jeśli istnieje kilka układów "PBIB" z tą samą liczbą klas partnerów, to wydaje się, że lepszy będzie ten, który przewiduje większą liczbę obiektów w bloku. Należy jednak pamiętać, że wielkość bloku nie powinna być zbyt duża, gdyż wówczas może nie być spełnione założenie o jednorodności (wyrównaniu) warunków w bloku. Wydaje się, że maksymalna liczba obiektów w bloku nie powinna przekraczać 15.

W rozważaniach nad wyborem optymalnego układu doświadczalnie należałoby także rozważyć układy stosowane w holenderskiej ocenie odmian. Ich zaletą jest możliwość znalezienia odpowiedniego układu dla każdej liczby obiektów i powtórzeń (Verdooren 1966).

Inną pożądaną z praktycznego punktu widzenia własnością układu doświadczalnego o blokach niekompletnych powinna być możliwość łączenia bloków niekompletnych w kompletne powtórzenia, tak jak to zapewniają np. układy kratowe. Własność ta ma szczególne znaczenie wówczas, gdy obserwacje pewnych cech uzyskuje się poprzez pobieranie próbek losowych z niektórych tylko powtórzeń. Jeśli bloki niekompletne nie tworzą wyodrębnionych kompletnych powtórzeń, wówczas pobieranie próbek z części doświadczenia natrafia na trudności lub może być wogóle nie możliwe. Zgrupowanie bloków niekompletnych w kompletne powtórzenia ma także znaczenie w przypadku powstania pomyłek technicznych w rozmieszczeniu

obiektów w blokach, gdyż w takich przypadkach zawsze można jeszcze zastosować analizę wariancji tak, jak dla układu bloków kompletnych.

Wydaje się także, że założenie o stałych efektach blokowych w doświadczeniach odmianowych jest bliższe rzeczywistości, niż założenie o ich losowym charakterze (por. Scheffé 1959). Gdyby bloki niekompletne były rozmieszczone losowo na całym polu doświadczalnym, a nie zgrupowane obok siebie jak to się powszechnie praktykuje, albo zgoła gdyby rozlosowano je w różnych miejscowościach (Hopp 1954, Nawrocki 1967), to wówczas trzeba by było uznać ich efekty za losowe i zastosować model analizy "inter-block". Także w doświadczeniach hodowli roślin, w których w jednym doświadczeniu bada się zazwyczaj dużą liczbę obiektów (często powyżej 100), model analizy "inter-block" może być bardziej uzasadniony od modelu "intra-block", jednak w tym przypadku raczej ze względu na lepsze oszacowanie efektów blokowych (Kempthorne 1952).

4.2. Nieortogonalne serie doświadczeń

Jak już podkreślono w rozdziałach 1 i 3, jednym z głównych problemów statystycznych w ocenie odmian jest stosowanie poprawnych i skutecznych metod analizy wariancji wyników nieortogonalnych czasoprzestrzennych serii doświadczeń. Stosowaną dotychczas praktykę sztucznego "ortogonalizowania" wyników takich serii należy uznać za procedurę niezadawalającą, z uwagi na połączone z nią straty informacji lub/i niewygody praktyczne. Także druga metoda analizy wieloletnich serii omówiona w rozdziale 3 tylko częściowo rozwiązuje istniejące trudności, gdyż nie daje możli-

wości porównywania odmian badanych jedynie w niektórych latach i miejscowościach.

Trudności przy opracowaniu i wyborze właściwej metody analizy wariancji wyników nieortogonalnych serii doświadczeń odmianowych i odmianowo-uprawowych wynikają w głównej mierze z faktu nader częstego występowania w takich seriach statystycznie istotnych i rolniczo znaczących interakcji odmian z losowymi czynnikami środowiska. Fakt ten podważa zasadność stosowania niektórych metod analizy wariancji wyników serii nieortogonalnych, takich jak np. metoda dopasowania stałych. Nic więc dziwnego, że szereg dawniejszych propozycji sugerowało stosowanie metod uproszczonych o poprawności przybliżonej (Cochran 1954, Federer 1957, Oktaba 1962 a i 1962 b).

Niektórzy autorzy (Corsten 1958, Nawrocki 1967, Chmielewski 1975) wykorzystując metody iteracyjne oparte na teorii operatorów rzutowych usiłują na tej drodze rozwiązać istniejące trudności. Metody te budzą jednak wiele zasadniczych zastrzeżeń, takich jak np. przyjęcia dla czasoprzestrzennej serii doświadczeń modelu stałego (Nawrocki 1967), dowolność w wyborze "ortogonalnych jąder" szacowania niektórych koniecznych współczynników (Corsten 1958, Chmielewski 1975) lub przyjmowanie w każdym przypadku czynnika lat jako stałego (Corsten 1958). Zastrzeżenia co do tych metod są tym poważniejsze, że w wyniku ich stosowania oblicza się średnie "poprawione", co przy niedostatecznie uzasadnionych założeniach prowadzi do zmiany reprezentatywności serii w nieznanym kierunku i stopniu. Dotychczasowe praktyczne zastosowanie tych metod prowadziło zbyt często, zwłaszcza przy dużym stopniu nieortogonalności serii, do otrzymywania b. dużych oszacowań błędów porównania średnich obiektowych. Niejednokrot-

nie najmniejsza różnica istotna wyrażana w procentach średniej ogólnej przekracza 20%, co dyskwalifikuje metodę jako skrajnie nieskuteczną i choćby tylko z tego względu nie nadającą się do stosowania w ocenie odmian. Dla porównania można przytoczyć, że wielkość ta w 3-4 letnich ortogonalnych seriach doświadczeń odmianowych waha się zazwyczaj w przedziale 3 do 10%.

Wobec braku nowych propozycji metodycznych, które rozwiązywałyby wszystkie trudności, proponuje się następującą drogę prowadzącą do powszechnego stosowania analizy wariancji wyników nieortogonalnych serii doświadczeń odmianowych. Należy opracować procedury określające postępowanie w wyborze metod o przybliżonej poprawności i dostatecznej skuteczności w określonych typach sytuacji. Procedura taka mogłaby być zautomatyzowana przynajmniej dla częściej powtarzających się sytuacji, co umożliwiłoby zautomatyzowanie sterowania obliczeniami analiz wariancji serii doświadczeń. Opracowanie takiej procedury wymaga przeprowadzenia analizy porównawczej metod, uwzględniającej różne sytuacje, tak jak dawniej robił to W.G.Cochran (Cochran 1954). Oczywiście byłoby pożądane, aby taka analiza obejmowała materiał pochodzący z licznych serii dotyczących różnych roślin i cech. Ponieważ jednak taka obszerna analiza nie wydaje się obecnie być praktycznie wykonalną należałoby zastanowić się nad możliwością wykorzystania do tego celu metod symulacyjnych. Rozwiązanie tego trudnego problemu choćby przybliżone, warunkuje w ogromnym stopniu pełne zastosowanie i praktyczne wykorzystanie analizy wariancji, nie tylko w poprawnym analizowaniu wyników oceny odmian ale także we wnioskowaniu i podejmowaniu bardziej obiektywnych decyzji w sprawach dotyczących doboru odmian do produkcji.

4.3. Interakcja odmian ze środowiskiem i podział serii doświadczeń na grupy

Ocena odmian od dawna, a od pewnego czasu także hodowla roślin, zainteresowane są metodami statystycznymi, które dawałyby możliwość weryfikowania różnych hipotez odnoszących się do współdziałania odmian ze środowiskiem. Taka bardziej szczegółowa analiza potrzebna jest m.innymi do lepszego poznania gospodarczych lub biologicznych właściwości odmiany i określenia jej wymagań co do rolniczo-przyrodniczych warunków środowiska, do oceny stabilności (albo inaczej ryzyka) plonowania, a także do wyznaczenia tak lub inaczej rozumianych rejonów, wewnątrz których wymagania badanych odmian byłyby stosunkowo podobne. Dla hodowli roślin problem ten wiąże się z podejmowaniem decyzji o tworzeniu nowych odmian, uniwersalnych lub dostosowanych tylko do określonych warunków środowiska.

Najogólniej można stwierdzić, że do tego celu wykorzystuje się zarówno analizę wariancji jak i analizę regresji albo też połączenie obu tych metod. Możliwe jest też wykorzystanie metody analizy ścieżkowej ("path analysis") lub czynnikowej ("factor analysis"). Duża liczba ukazujących się prac z tego zakresu budzi nadzieję na znalezienie metod i opracowanie procedur właściwych i skutecznych z punktu widzenia oceny odmian poszczególnych gatunków roślin: powinno to być poprzedzone krytyczną analizą porównawczą istniejących metod, również z ewentualnym wykorzystaniem symulacji. Z bardziej interesujących prac z tej dziedziny należy wymienić następujące: Caliński et al. 1977, Caliński et.

al. 1978, Comstock i Moll 1963, Eberhardt i Russel 1966, Finlay i Wilkinson 1963, Freeman 1973, Hinkelmann 1974, Mather 1975, Utz 1972 i Weiling 1973.

Do badania interakcji odmian ze środowiskiem próbuje się także wykorzystać metody analizy wielozmiennej (Caliński et al. 1972, Czajka 1974). Wydaje się jednak, że metody te trudno jest powiązać z określonymi hipotezami rolniczymi. Być może mogłyby one być przydatne jako metody pomocnicze przy wstępnej analizie materiału doświadczalnego, kiedy opracowujący wyniki serii ma trudności w sformułowaniu rolniczej hipotezy związanej z podziałem serii na rejony wzgl. inne grupy.

Ostatnio w COBORU opracowuje się (Pilarczyk 1977) nową metodę podziału serii na grupy opartą częściowo o wcześniejsze koncepcje Z. Łubkowskiego (Łubkowski 1954, 1968, Łubkowski i Olszewska 1973 b). Idea tej metody sprowadza się do szukania takich rejonów, w których interakcja odmian z miejscowościami wewnątrz rejonów będzie najmniejsza. Zadanie polega przede wszystkim na opracowaniu quasioptymalnej metody, która nie wymagałaby obliczeń dla wszystkich możliwych podziałów, co nawet na szybkim komputerze praktycznie byłoby niewykonalne. Metoda ta stanowić będzie oczywiście jedynie narzędzie pomocnicze dla doświadczalnika, wobec nadrzędnej roli kryteriów przyrodniczo-rolniczych w stosunku do kryteriów statystycznych.

4.4. Optymalizacja planu i metodyki badań odmianowych

Optymalizacja planowanej serii doświadczeń odmianowych sprowadza się do ustalenia względnie wyboru układów do doświadczeń pojedynczych, wielkości i kształtu poletka, liczby powtórzeń

oraz liczby miejscowości i lat badania. Bierze się przy tym pod uwagę ustaloną a priori liczbę odmian oraz ograniczenia co do wielkości i kształtu poletka wynikające z przyczyn technicznych, organizacyjnych a nawet finansowych. W oszacowaniach optymalizujących zakłada się też określoną ścisłość porównania i/lub ryzyko podjęcia błędnej decyzji o doborze odmian, moc testu a także koszty lub pracochłonność. Dla cech jakościowych lub ilościowych określających jakość i strukturę plonu należy jeszcze uwzględnić wielkość i liczebność próbek materiału roślinnego pobieranych z poletek oraz sposób ich pobierania, a także liczebność oznaczeń w próbce.

Dodatkowe trudności w opracowaniu metody kompleksowego optymalizowania serii doświadczeń i badań powstają w tych gatunkach roślin, w których odmiany wykazują wyraźną interakcję z trudnymi do wyodrębnienia warunkami środowiska.

Różnymi aspektami optymalizacji w planowaniu doświadczeń i analiz jakościowych w rolnictwie, a w szczególności w badaniach odmianowych, zajmowało się wielu autorów, proponując metody rozwiązujące jednak tylko część problemu. I tak wielu autorów zagranicznych (Smith 1938, Crews et al. 1963, Hathaway 1961, Hathaway i Williams 1958, Koch i Rigney 1951, Zuhlke i Griffon 1969), a w Polsce J. Trętowski (Trętowski 1975), zajmowało się oszacowaniem wielkości poletka i liczby powtórzeń w doświadczeniu pojedynczym. Inna grupa prac dotyczy optymalnego rozmieszczenia doświadczeń w przestrzeni i w czasie, z uwzględnieniem liczby powtórzeń ale już nie wielkości poletka. Niektóre z tych prac wiążą się z optymalizacją strategii selekcji materiału hodowlanego w procesie tworzenia odmiany (Elandt 1960 i 1963, Federer

1963, Hanson i Brim 1963, Jones et al. 1960, Rundfeldt 1957, Utz 1974). Tylko niektóre prace odnoszą się do problemu optymalizacji pobierania prób z poletek do badań struktury lub jakości plonu (Bätz et al. 1970, Peterson i Chamblee 1955, Weber i Horner 1957, Trętowski 1976) lub też zajmują się problemem optymalizacji analiz jakościowych w serii doświadczeń (Le Clerg 1962). Nowsze prace (Anonim 1975, Pilarczyk 1977) uwzględniają w analizach optymalizacyjnych błędy I i II rodzaju. I tak oparta o koncepcje metodyczne zastosowane w holenderskim Instytucie Oceny Odmian - IVRO (Anonim 1975) i opracowana przez Pilarczyka metoda optymalizacji odnosi się do serii doświadczeń jednoczynnikowych i jednakowej liczby powtórzeń w doświadczeniach pojedynczych. Obliczenia z opartym na tej metodzie programem wykonywane są dla żądanego poziomu istotności, mocy testu i założonej wykrywalnej różnicy między obiektami.

Pierwsze, nie zakończone jeszcze całkowicie, użytkowe obliczenia dla serii doświadczeń z ziemniakiem wskazują, że właściwe wykorzystanie programu nie jest takie proste, że do ostatecznego rozwiązania dochodzić się będzie po wielu obliczeniach uwzględniających różne warianty danych i że konieczne jest jeszcze wypracowanie pewnej konwersacyjnej praktyki postępowania.

Dla pełnego rozwiązania potrzeb oceny odmian w zakresie optymalizacji planowania serii doświadczeń i badań odmianowych, pożądane byłoby opracowanie metody rozwiązującej całość problemu, a także procedur optymalnego wyboru oszacowanych parametrów używanych w planowaniu serii, w oparciu o oszacowania uzyskane z analizy wyników już wykonanych serii doświadczeń. Wówczas będzie można okresowo analizować istniejące dane doświadczalne i

dokonywać sukcesywnych przybliżeń do planu optymalnego. Konieczna będzie także okresowa weryfikacja a posteriori wartości prognostycznych otrzymanych przy pomocy zastosowanych metod optymalizacji badań.

Jeśli chodzi o badania odmianoznawcze (rejestrów) to metody optymalizowania pomiarów są znane z podręczników. Zachodzi jednak potrzeba porównania i weryfikacji metod losowych i losowo-warstwowych pobierania prób dla licznych cech i na badanym w Polsce materiale, a także uwzględnienie zmienności cech w przestrzeni i w czasie. Celowym będzie wykorzystanie wniosków z analogicznych badań optymalizacyjnych wykonywanych zagranicą (Misselwitz 1975, Philipp 1964).

4.5. Analiza wyników doświadczeń z powtarzаныmi pomiarami

Dotychczasowe zastosowania analizy wariancji w ocenie odmian ograniczają się w zasadzie do analizy jednozmiennnej.

Perspektywy zastosowań wielozmiennnej analizy wariancji wiążą się przede wszystkim z możliwościami wykorzystania jej w analizie jednocechowej dla specyficznych grup roślin, takich jak rośliny wieloletnie i/lub wielokośne o plonie odrastającym (np. trawy) oraz rośliny o zbiorze wielokrotnym, o plonie narastającym (np. ogórki, pomidory), a także dla cech wielokrotnie obserwowanych u roślin jednobiorowych (np. wyleganie, porażenie, dojrzewanie).

Dla analizy wyników w doświadczeniach z roślinami wieloletnimi i/lub wielokośnymi proponuje się ostatnio tzw. analizę profilową (Caliński 1970, Świetlicka-Grala 1972 i Caliński et al.

1975). Metodę tę opracowano dla analizy wyników doświadczenia pojedynczego w układzie losowych bloków. Metoda zakłada pełną ortogonalność danych oraz krzyżową klasyfikację czynników profilowych (pokosów i lat użytkowania). W odróżnieniu od tradycyjnie stosowanej analizy wariancji dla tej grupy roślin, proponowana metoda dopuszcza skorelowanie pokosów oraz lat użytkowania i to niekoniecznie jednakowe.

O częściowej przydatności analizy profilowej w ocenie odmian będzie można mówić po opracowaniu metody analizy wariancji dla serii doświadczeń w układzie losowanych bloków z jednym czynnikiem środowiskowym oraz z możliwością przyjęcia hierarchicznej klasyfikacji czynników profilowych (pokosów w obrębie lat użytkowania). Przyjęcie klasyfikacji hierarchicznej pozwoli jednocześnie na analizę doświadczeń częściowo nieortogonalnych.

Do pełnego wykorzystania analizy profilowej w ocenie odmian konieczne jest także opracowanie metod analizy wyników z

- doświadczeń pojedynczych w układach "split-plot" i "split-block",
- serii doświadczeń przeprowadzonych w tych układach z jednym czynnikiem środowiskowym,
- serii doświadczeń przeprowadzonych we wszystkich omawianych układach z dwoma czynnikami środowiskowymi (latami zakładania doświadczeń i miejscowościami) oraz z możliwością ich klasyfikacji zarówno krzyżowej jak i hierarchicznej.

Przy opracowywaniu metod analiz wyników z serii powinno się wziąć pod uwagę możliwość niejednorodności macierzy kowariancji błędów doświadczalnych, a także rozwinąć metody wnioskowania szczegółowego: analizę efektów interakcyjnych, podział serii na

bardziej jednorodne grupy, porównania wielokrotne - analogicznie zresztą do istniejącej w tym zakresie potrzeby opracowania procedury analizy i wnioskowania w doświadczeniach z roślinami jednozbiorowymi.

Z kolei do opracowania wyników doświadczeń z roślinami o zbiorze wielokrotnym proponuje się tzw. analizę krzywych wzrostu opartą na modelu Potthoffa-Roya (Potthoff i Roy 1964). Opracowano już metodę do analizy wyników doświadczeń zakładanych w układzie całkowicie losowym (Baksalary et al. 1976). Umożliwia ona estymowanie krzywych wzrostu charakteryzujących dynamikę plonowania badanych odmian, wyznaczenie dla tych krzywych charakteryzujących poszczególne odmiany obszarów ufności, a także obszarów ufności dla określonej postaci estymowalnych funkcji parametrycznych. Między innymi jest to możliwe dla funkcji wyrażających porównanie krzywych wzrostu określonych par odmian, co pozwala na stwierdzenie istotności zróżnicowania dynamiki plonowania odmian w dowolnych wycinkach czasowych.

Z punktu widzenia potrzeb oceny odmian w metodzie tej widać jeszcze wiele problemów do rozwiązania, a mianowicie

- potrzebna jest możliwość statystycznego porównywania sumarycznych plonów odmian w dowolnym przedziale czasowym;
- potrzebne jest obiektywne kryterium wyboru stopnia krzywej wzrostu, przy czym wydaje się, że muszą to być kryteria analogiczne jak w regresji krzywoliniowej;
- potrzebna jest możliwość porównań zarówno krzywych wzrostu, jak i sumarycznej wartości gospodarczej odmian w dowolnym przedziale czasu.

Dalsze problemy to rozszerzenie zastosowania metody na układy losowanych bloków w doświadczeniach jedno- i dwuczynnikowych

oraz na układy "split-plot" i "split-block", a także na przestrzenno-czasowe serie doświadczeń zakładanych w wymienionych układach.

Wreszcie istnieją rośliny np. truskawki, w ocenie których interesującym jest porównanie krzywych wzrostu różnych dla różnych odmian i dla różnych kolejnych lat użytkowania. Pełna analiza wariancji doświadczeń z tego rodzaju roślinami wymagałaby połączenia analizy profilowej z analizą krzywych wzrostu.

Z uwagi na złożoność tych metod i konieczność dysponowania oprogramowaniem dla ich szerokiego praktycznego stosowania, oraz z uwagi na zasadniczą rolę serii w ocenie odmian, zweryfikowanie tych metod na dużym materiale COBORU zamierza się dokonać po opracowaniu metody analizy profilowej dla jednorocznej serii doświadczeń, a dla metody krzywych wzrostu - po opracowaniu metody dla układu losowanych bloków oraz po ich oprogramowaniu w ramach wykorzystania realizowanego w COBORU banku danych doświadczeń roślinnych (Dawidowski i Dmochowski 1976).

4.6. Podejmowanie optymalnych decyzji w doborze odmian

Chociaż głównym celem oceny odmian roślin uprawnych jest podjęcie optymalnej decyzji co do doboru i rozmiaru uprawy tych odmian, to jednak zagadnieniu temu nie poświęcano dotychczas należytej uwagi, zatrzymując właściwie cały proces badawczo-decyzyjny na analizie wyników doświadczeń i wyciąganiu uogólnionych wniosków w oparciu o testy statystyczne, co nie koniecznie jest równoznaczne z podjęciem decyzji optymalnej.

W literaturze polskiej można znaleźć propozycje rozwiązania problemu podjęcia optymalnej decyzji w doborze odmian na drodze

wykorzystania niektórych metod wielozmiennej analizy wariancji, takich jak analiza funkcji dyskryminacyjnych (Nawrocki 1964) lub analiza kontrastu maksymalnego (Caliński et al. 1972, Czajka 1974). Nie wydaje się jednak, aby były to metody właściwe do podejmowania decyzji o charakterze ekonomicznym.

Ostatnio w COBORU pracuje się nad możliwie ogólnym modelem decyzyjnym w ocenie odmian uwzględniającym obok zmienności występującej w danych doświadczalnych także inne kryteria i wielkości uwzględniane przez teorię podejmowania decyzji, a w szczególności przez zobiektywizowane modele decyzyjne właściwe dla tzw. badań operacyjnych. Zarysowuje się zasadność i możliwość zbudowania modelu wykorzystującego i uwzględniającego założenia i możliwości analizy wariancji i analizy komponentów wariacyjnym w ramach programowania stochastycznego, z dodatkowym wykorzystaniem kryteriów teorii gier i parametryzacji funkcji celu oraz ograniczeń bocznych. W modelu tym będzie wykorzystana w szczególności koncepcja H. Rundfeldta posługiwania się przy porównywaniu odmian w serii wieloletniej współczynnikiem korelacji wewnątrzklasowej obliczanym z uwzględnieniem nieortogonalności danych (Rundfeldt 1968 i 1970).

Zachętą do stosowania metod programowania matematycznego i teorii gier przy podejmowaniu optymalnych decyzji w doborze odmian w skali kraju, rejonu lub pojedynczego gospodarstwa rolnego jest coraz szersze stosowanie tych metod w problematyce rolniczej, w tym także odmianowej (Dörfel 1969, Hanf 1970, Hazell 1970 i 1971, Heady i Candler 1958, Maruyama 1972, Mc Inerney 1967 i 1969, Sengupta 1972, Walker et al. 1964).

Koncepcja powiązania założeń i wykorzystania wyników analizy wariancji i komponentów wariacyjnym w modelu decyzyjnym właści-

ciwym dla programowania stochastycznego jest koncepcją nową nie spotykaną dotąd w literaturze światowej. Powodzenie w opracowaniu takiego modelu dawałoby rękojmię pełnego wykorzystania metod analizy wariancji i komponentów wariacyjnej przy podejmowaniu decyzji w ocenie odmian.

4.7. Wielozmienne metody analizy w badaniach odmianoznawczych

Rodzajem badań w ocenie odmian, w których wielozmienna analiza wariancji (MANOVA) znajduje swoje uzasadnienie, są badania odmianoznawcze (zwane czasem rejestrowymi). W badaniach tych chodzi między innymi o stwierdzenie odrębności bądź tożsamości odmian, a nie ich wartości gospodarczej. Drugoplanowym zadaniem tych badań jest klasyfikacja odmian, a także weryfikacja mocy dyskryminacyjnej badanych cech.

Zgodnie z międzynarodowymi, a także polskimi przepisami prawnymi, do stwierdzenia odrębności odmiany wystarczy, aby różniła się ona od innej odmiany jedną cechą, niekoniecznie tą samą względem wszystkich porównywanych odmian. Toteż dotąd tylko w rzadkich przypadkach uciekano się do analizy wielocechowej. Zaleca się ją szczególnie wtedy gdy analizy jednocechowe nie wykazują różnicy pomiędzy dwiema odmianami przy przyjętym poziomie istotności, a mimo to zachodzi podejrzenie, że są to dwie odrębne odmiany.

Przy cechach ciągłych, których pomiary można traktować jak zmienne o rozkładzie normalnym, stosuje się obecnie do porównywania par odmian jednozmienny test Tukey'a, gdy liczebności pomiarów są równe, lub test Scheeffégo gdy liczebności pomiarów są różne, a dla apriorycznie ustalonych porównań stosuje się

Do cech opisywanych za pomocą liczebności osobników różnych kategorii przewiduje się użycie metody zaproponowanej przez Gabriela (1966).

Inny rodzaj cech, nie uwzględniany jak dotąd w statystycznym porównywaniu odmian, to oceny bonitacyjne.

Wydaje się, że do rozróżniania, klasyfikacji i badania mocy dyskryminacyjnej tych cech odmianowych, których pomiary można traktować jako podlegające wielowymiarowym rozkładom normalnym, najwłaściwsze będzie stosowanie wielozmiennej analizy wariancji oraz związanych z nią metod i testów.

Jako przypuszczalnie najbardziej użyteczne wymienić można:

- test T^2 Hotellinga, który w oparciu o odległość D^2 Mahalanobisa pozwala na badanie istotności różnicy między dwiema populacjami,
- metody porównań wielokrotnych,
- metoda testowania mocy dyskryminacyjnej cech z wykorzystaniem statystyki Λ Wilksa,
- analiza zmiennych kanonicznych, umożliwiająca m.innymi graficzne przedstawienie wyników wielozmiennej analizy wariancji,
- a także przydatna dla klasyfikacji odmian metoda grupowania populacji wielowymiarowych o rozkładach normalnych uzyskiwanego za pomocą testów jednoczesnych (Caliński i Karoński, 1977).

Omówienie metody MANOVA oraz innych metod z nią związanych można znaleźć w pracy Calińskiego (1970), a zastosowanie ich do kompleksowej analizy doświadczenia z odmianami słonecznika w pracy Calińskiego i Kaczmarka (1973).

Metody te nie są jedynymi, które nadają się do stosowania w omawianych zagadnieniach. Wymienić tu trzeba przede wszystkim

inne metody analizy dyskryminacyjnej i metody analizy skupień (zobacz obszerną monografię Sneatha i Sokala, 1973).

Te ostatnie metody zazwyczaj nie wymagają żadnych założeń o rozkładach, stąd też zastosowanie ich może być przydatne dla szerszego zespołu cech, głównie jednak do klasyfikacji a nie do porównywania odmian.

W literaturze polskiej można znaleźć opisy niektórych algorytmów dotyczących analizy skupień, na przykład w pracy Harabasa i Karońskiego (1977), algorytm wg metody zaproponowanej przez Calińskiego (1969), a opisanej przez Calińskiego i Harabasa (1974), oraz w pracy Chudzik i Karońskiego (1977), wykorzystującej metodę Ruspinię (1969).

Problemem dla wdrażających metody statystyczne w ocenia odmian jest dobieranie wyboru najwłaściwszych metod statystycznych analizy wielowymiarowej. Innym problemem jest opracowanie metody wielowymiarowej kompleksowo ujmującej różne wymienione wcześniej rodzaje cech. Metoda ta powinna w maksymalnym stopniu wykorzystywać uchwyconą zmienność osobniczą cech mierzalnych.

4.8. Sprawdzanie założeń analizy wariancji

Poprawne stosowanie metod statystycznych wymaga spełnienia ich założeń. Praktyka wskazuje, że założenia te często nie są spełniane. Podawane w literaturze reguły postępowania i omówienia konsekwencji stosowania metod w sytuacjach nie spełnienia założeń są bądź niepełne, bądź niejednoznaczne, a dla wielu metod po prostu takich opracowań brak.

W oparciu o prace Pilarczyka i Wagnera (1976) oraz Wagnera i

Wiśniewskiego (1977) realizować się będzie w COBORU oprogramowanie weryfikujące następujące założenia analizy wariancji pojedynczych doświadczeń w układach blokowych: nieskorelowanie, jednorodność wariancji i normalność rozkładu błędów losowych oraz addytywność efektów blokowych i obiektowych.

W pewnym okresie czasu wszystkie analizy wariancji wykonywać się będzie łącznie z weryfikacją założeń. Wyniki tych weryfikacji gromadzić się będzie celem dokonania analizy zakresu i charakteru braku spełniania założeń dla poszczególnych gatunków roślin i cech. Dalszym krokiem byłoby podjęcie badań symulacyjnych mających na celu ustalenie związków między stopniem niespełnienia założeń analizy wariancji i stosowaniem różnych metod zaradczych, takich jak np. przekształcenia danych, a wynikami wnioskania w oparciu o analizę wariancji. Konsekwencją tego byłoby ustalenie ogólnych reguł postępowania uwzględniających rodzaje i zakres odchylen od wymaganych założeń analizy wariancji.

Weryfikację i ustalanie reguł poprawnego testowania hipotez powinno się dokonywać co pewien czas, zwłaszcza jeżeli w istotnym stopniu zmieniać się będzie technika przeprowadzania doświadczeń i/lub skład badanych odmian. Problem weryfikacji założeń analizy wariancji wymaga rozwiązania również dla innych omawianych w artykule metod, np. dla analizy wariancji układów doświadczalnych z rozszczepionymi poletkami oraz dla analizy wariancji serii doświadczeń (założeń o jednorodności wariancji błędów a zwłaszcza interakcji).

5. Literatura cytowana

- Anonim, 1975 - IVRO Jaarverslag, 1975. Wageningen.
- Baksalary, J., Caliński, T., Kala, R., 1976 - Estymacja krzywych wzrostu i jej zastosowanie do oceny odmian gatunków o plonowaniu wielokrotnym (maszynopis w COBORU).
- Bätz, G., Franzke, W., Köpchens, H., 1970 - Die Bestimmung des Stichprobenumfanges für Inhaltsermittlungen bei Futtermais in Feldversuchen. A.Thaeer-Archiv 14, 159-167.
- Barbacki, S., 1935 - Ogólna metodyka doświadczeń polowych. PINGW, Puławy.
- Barbacki, S., Caliński, T., 1962 - Wyniki doświadczeń odmianowych z grochem, peluszką i bobikiem wykonanych w latach 1952-1956. Ministerstwo Rolnictwa, Seria B, T.XVIII, Warszawa.
- Barbacki, S., Caliński, T., 1963 - Wyniki doświadczeń odmianowych. Groch, peluszką, bobik w latach 1957-1960. Ministerstwo Rolnictwa, Seria B, T.XXX, Warszawa.
- Bilski, E., 1961 - Wyniki doświadczeń przeprowadzonych w latach 1948-1951 z odmianami buraka pastewnego. Ministerstwo Rolnictwa, Seria B, T.IX, Warszawa.
- Bilski, E., 1963 - Wyniki doświadczeń przeprowadzonych w latach 1952-1955 z odmianami buraka cukrowego. Ministerstwo Rolnictwa, Seria B, T.VI, Warszawa.
- Box, G.E.P., 1954 - The exploration and exploitation of response surfaces: some general considerations and examples. Biometrics 10, 16-60.

- Box, G.E.P., Hunter, J.S., 1958 - Experimental design for the exploration, and exploitation of response surfaces. W: Chew. V./ed./ - Experimental designs in industry - New York.
- Borucka-Ubysz, L., Walewski, R., 1965 - Wyniki doświadczeń z odmianami żyta ozimego wykonanych w latach 1959-61. Ministerstwo Rolnictwa, Seria B, T.XXIX, Warszawa.
- Brykczyński, J., 1952 - Zagadnienie rejonizacji odmian buraka cukrowego. Roczniki Nauk Rolniczych, T.60, 95-118.
- Caliński, T., 1961a - O stosowaniu analizy wariancji wyników wielokrotnych doświadczeń odmianowych. WSR, Poznań, ss.80 (praca doktorska w maszynopisie).
- Caliński, T., 1961b - On a certain statistical method for investigating interaction in several experiments with plant varieties. Second Hungarian Mathematical Congress, Budapest.
- Caliński, T., 1967a - Model analizy wariancji dla doświadczeń wielokrotnych. Roczniki Nauk Rolniczych, T. 93A, 549-579.
- Caliński, T., 1967b - Doświadczenia wielokrotne i wieloletnie. W: Podstawowe problemy doświadczalnictwa rolniczego, Cz. I. Elementy statystyki matematycznej. 118-151. COBORU Słupia Wielka.
- Caliński, T., 1969 - On the application of cluster analysis to experimental results. W: Proceedings of the 37-th Session of the International Statistical Institute. ISI, London.
- Caliński, T., 1970 - Teoria układów eksperymentalnych. Cz. II. Wielozmienna analiza wariancji i pokrewne metody wieloczynnikowe - PAN, Warszawa.
- Caliński, T., 1971 - On some desirable patterns in block designs. Biometrics 27, 275-292.

- Caliński, T., Czajka, S., Kaczmarek, Z., 1972 - Wielozmienna analiza wariancji w zastosowaniu do wyników serii doświadczeń. Listy Biometryczne 42-45, 9-41.
- Caliński, T., Czajka, S., Kaczmarek, Z., 1977 - Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej, I. Model analizy wariancji dla serii doświadczeń. Siódme Colloquium Metodologiczne z Agro-Biometrii, 138-157, PAN, Warszawa.
- Caliński, T., Czajka, S., Kaczmarek, Z., 1978 - Analiza jednorocznej serii ortogonalnej doświadczeń odmianowych ze szczególnym uwzględnieniem interakcji genotypowo-środowiskowej. Biuletyn Oceny Odmian (w druku).
- Caliński, T., Harabasz, J.S., 1974 - A dendrite method for Cluster analysis. Communications in Statistics 3.
- Caliński, T., Kaczmarek, Z., 1973 - Metody kompleksowej analizy doświadczenia wielocechowego. Materiały Trzeciego Colloquium z Agrobiometrii, 256-320, PAN i PTB, Wrocław.
- Caliński, T., Karoński, M., 1977 - Grupowanie populacji wielowymiarowych o rozkładach normalnych za pomocą procedury testów jednoczesnych. Algorytmy Biometryczne i Statystyczne 6, 123-134, AR Poznań.
- Caliński, T., Świetlicka-Grała, J., Grała, B., 1975 - Analiza doświadczeń z roślinami wielopokosowymi. Biuletyn Oceny Odmian, T.IV. z.6, 117-138.
- Caliński, T., Wagner, W., 1974 - Grupowanie średnich obiektowych w jednozmiennnej analizie wariancji. Algorytmy Biometryczne i Statystyczne 3, 61-73, AR Poznań.
- Ceranka, B., 1972 - Analiza kowariancji dla doświadczalnych układów blokowych - Materiały Kursu Szkoleniowego PTB i PAN, z.2, Warszawa.

- Ceranka, B., 1973 - Układy doświadczalne o blokach niekompletnych, Teoria i zastosowanie. Materiały Trzeciego Colloquium z Agro-Biometrii, 143-212, PAN i PTB, Wrocław.
- Chmielewski, M., 1975 - Ocena różnic między wartościami przeciętnymi plonów odmian na podstawie serii doświadczeń - Biuletyn Oceny Odmian, T.IV z.6, 139-152.
- Chudzik, H., Karoński, M., 1977 - Analiza skupień metodą Ruspinięgo. Algorytmy Biometryczne i Statystyczne 6, 149-162. AR Poznań.
- Cochran, W.G., 1954 - The combination of estimates from different experiments. Biometrics 10, 101-129.
- Cochran, W.G., Cox, G., 1957 - Experimental design. 2nd ed., New York.
- Comstock, R.E., Moll, R.H., 1963 - Genotype - environment interactions. W: Statistical genetics and plant breeding, NAS-NRS Publ. 982, 164-196, Washington.
- Corsten, L.C.A., 1958 - Vectors, a tool in statistical regression theory, Mededelingen van der Landbouwhogeschool 58, 1-92. Wageningen.
- Crews, J.W., Jones, G.L., Mason, D D., 1963 - Field plot technique studies with flue cured tobacco. I. Optimum plot size and shape. Agronomy Journal 55, 197-199.
- Czajka, S., 1974 - Analiza wyników serii doświadczeń nieortogonalnych. Czwarte Colloquium Metodologiczne z Agro-Biometrii, 10-56. PAN, Warszawa.
- Dawidowski, J., Dmochowski, K., 1976 - Możliwości zastosowań informatyki w ocenie odmian roślin uprawnych - Materiały Konferencji n.t. "Obiektowe systemy informatyczne - AMPIG-76", TNOiK, Poznań.

- Dmochowski, K., 1966 - Research in yield surface in variety-fertilizer field trials. W: International Symposium on Plant Variety Testing. I., 225-236. Budapest 1967.
- Dörfel, H., 1969 - Spieltheoretische Betrachtungsweise bei der Auswertung von Sortenversuchen. A.Thaeer-Archiv 13, 1003-1012.
- Eberhardt, S.A., Russel, W.A., 1966 - Stability parameters for comparing varieties - Crop Science 6, 36-40.
- Elandt, R., 1958a - O stosowaniu analizy wariancji. Uwagi metodyczne I. Roczniki Nauk Rolniczych, T.78-A-4.
- Elandt, R., 1958b - O stosowaniu analizy wariancji. Uwagi metodyczne II. Roczniki Nauk Rolniczych, T.80-A-1.
- Elandt, R., 1960 - Zagadnienie zmniejszenia ilości powtórzeń w doświadczeniach rejonizacyjnych. Roczniki Nauk Rolniczych, T.88-A-1, 203-214.
- Elandt, R.C., 1963 - Optimal and sufficient allocation of multiple varietal experiments. Biometrics 19, 616-628.
- Federer, W.T., 1955 - Experimental design. New York.
- Federer, W.T., 1957 - Variance and covariance analyses for unbalanced classifications. Biometrics 13, 333-362.
- Federer, W.T., 1963 - Procedures and designs useful for screening material in selection and allocation with a bibliography. Biometrics 19, 553-587.
- Finlay, K.W., Wilkinson, G.H., 1963 - The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Jour. Agric Research 14, 749-754.
- Finney, D.J., 1956 - Multivariate analysis and agricultural experiments. Biometrics 12, 67-71.

- Freeman, G.H., 1973 - Statistical methods for the analysis of genotype x environment interactions. *Heredity* 31, 339-354.
- Gabriel, K.R., 1966 - Simultaneous test procedures for multiple comparisons on categorial data. *Journal of American Stat. Association* 61, 1081-1096.
- Hanf, E., 1970 - Über Entscheidungskriterien bei Unsicherheit. *Agrarwirtschaft, Sonderheft* 39, Hannover.
- Hanson, W.D., Brim, C.A., 1963 - Optimum allocation of test material for two-stage testing with an application to evaluation of soybean lines - *Crop Science* 3, 43-49.
- Harabasz, J.S., Karoński, M., 1977 - Dendrytowa metoda analizy skupień. *Algorytmy Biometryczne i Statystyczne* 6, 135-148, AR Poznań.
- Hathaway, W.H., 1961 - Convenient plot size. *Agronomy Journal* 53, 279-280.
- Hathaway, W.H., Williams, E.J., 1958 - Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of crop yields. *Biometrics* 14, 207-222.
- Hazell, P.B.R., 1970 - Game theory - and extension its application to farm planning under uncertainty *Journal of Agric. Economics* 21, 239-252.
- Hazell, P.B.R., 1971 - A linear alternative to quadratic and semivariance programming for farm planning under uncertainty. *American Jour. Agric. Economics* 53, 53-62.
- Heady, E.O., Candler, W., 1958 - Linear programming methods. Ames, Iowa.
- Hinkelmann, K., 1974 - Genotype-environment interaction: aspects of statistical design, analysis and interpretation. 8 th International Biometric Conference, Constanta.

- Hopp, H., 1954 - A guide to extensive testing on farms. Parts I-IV. USDA, Washington.
- Imhof, J.P., 1960 - A mixed model for the complete three-way layout with two-random effects factors. *Annales Math. Stat.* 31, 906-928.
- Jones, G.L., Matzinger, D.F., Collins, W.K., 1960 - A comparison of flue cured tobacco varieties repeated over locations and years with implications on optimum plot allocation. *Agronomy Journal* 52, 195-199.
- Kempthorne, O., 1952 - The design and analysis of experiments. New York.
- Koch, E.J., Rigney, J.A., 1951 - A method of estimating optimum plot size from experimental data - *Agronomy Journal* 43, 17-21.
- Le Clerg, E.L., Leonard, W.H., Clark, A.G., 1962 - Field plot technique. 2nd ed., Minneapolis.
- Łubkowski, Z., 1954 - Jedna z metod syntetycznego opracowania wyników doświadczeń wielokrotnych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, T. 69-A-2.
- Łubkowski, Z., 1963 - Wyniki doświadczeń z odmianami owsa wykonanych w latach 1956-68. Ministerstwo Rolnictwa, Seria B, T. XXXIII, Warszawa.
- Łubkowski, Z., 1968 - *Metodyka doświadczalnictwa rolniczego*. Warszawa.
- Łubkowski, Z., Olszewska, A., 1973a - Wyniki doświadczeń z odmianami pszenicy ozimej wykonanych w latach 1966-1968. COBORU-PWRiL, Warszawa.

- Lubkowski, Z., Olszewska, A., 1976 - Kryteria i metody określania rejonów w ocenie odmian. Biuletyn Oceny Odmian, z.4, 5-22.
- Maruyama, Y., 1972 - A truncated maximin approach to farm planning under uncertainty with discrete probability distribution. American Jour.Agric. Economics 54, 192-200.
- Mather, K., 1975 - Genotype x environment interaction. II. Some genetical considerations. Heredity 35, 31-53.
- Mc Inerney, J.P., 1967 - Maximin programming an approach to farm planning under uncertainty. Journal Agric. Economics 18, 279-289.
- Mc Inerney, J.P., 1969 - Linear programming and game theory - some extensions. Journal Agric. Economics 20, 269-278.
- Misselwitz, G., 1975 - Variabilität und Stichprobenumfang morphologischer Merkmale von Winterweizen - und Wintergerstensorten unter verschiedenen Umweltbedingungen. Archiv f. Acker - u.Pflanzenbau u. Boden 19, 641-656.
- Nawrocki, Z., 1964 - Zarys metodyki doświadczeń rolniczych, Wyd. III. Łódź-Warszawa.
- Nawrocki, Z., 1967 - Teoria i praktyka doświadczalnictwa rolniczego. Warszawa.
- Nawrocki, Z., Prueffer, B., 1961 - Wyniki doświadczeń z wczesnymi i średniowczesnymi odmianami ziemniaka wykonanych w latach 1954-1956. Min.Rolnictwa Seria B, T.XIII, Warszawa.
- Oktaba, W., 1962 a - Mixed models $I \times J$ and $I \times 2$ with interaction in the case of non-orthogonal data. Annales UMCS, A 16. 53-76.

- Oktaba, W., 1962b - Estimates of parameters of mixed model IxJ with interaction in the case of non-orthogonal data. Annales UMCS, A 16, 77-83.
- Oktaba, W., 1967 - Metody statystyki matematycznej w doświadczalnictwie, Warszawa.
- Paprzycki, L., 1974 - Dwuczynnikowe rotacyjne układy jedno-orbitalne drugiego rzędu - Czwarte Colloquium Metodologiczne z Agro-Biometrii, 177-200. PAN Warszawa.
- Peterson, R.G., Chamblee, D.S., 1955 - Optimum size of sample for hand separation of forage crop mixtures into their species in small plot experiments. Agronomy Journal 47, 20-23.
- Philipp, L., 1964 - Eine Studie über die Beurteilung und Erfassung der Variabilität von Merkmalen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen für die Sortendiagnostik. Zeitschrift f.Acker-m.Pflanzenbau 121,148-170.
- Pilarczyk, W., 1977 - Propozycja metody tworzenia rejonów uprawnych odmian (maszynopis w COBORU).
- Pilarczyk, W., 1977 - Optymalizacja wielkości serii doświadczeń w czasie i przestrzeni. Siódme Colloquium Metodologiczne z Agro-Biometrii, 272-282, PAN Warszawa.
- Pilarczyk, W., Wagner, W., 1976 - Weryfikacja założeń jednozmiennej analizy wariancji - (maszynopis w COBORU).
- Potthoff, R.E., Roy, S.N., 1964 - A generalized analysis of variance model useful especially for growth curve problems. Biometrika 51, 313-326.
- Przyborowski, J., Nawrocki, Z., 1939 - Doświadczenia z odmianami pszenicy jarej przeprowadzone w Polsce w latach 1936-38. Warszawa.

- Przyborowski, J., Wileński, H., 1937 - Metoda przeprowadzania doświadczeń z zastosowaniem poletek wzorcowych. Kraków.
- Przyborowski, J., Wileński, H., 1938 - Analiza zmienności wyników doświadczeń wielokrotnych. Kraków.
- Przybysz, T., 1964 - Pojedyncze i wielokrotne doświadczenia oparte na zasadzie rozszczepionych poletek. Część I. Analiza wariancji. Annales UMCS. Vol.XIX. Sec.E, 307-332.
- Przybysz, T., 1967a - Schematy doświadczeń bloków losowanych i rozszczepionych poletek z roślinami wieloletnimi. Annales UMCS, Vol.XXII, Sec.E, 123-140.
- Przybysz, T., 1967b - Analiza statystyczna doświadczeń z roślinami wieloletnimi w układzie bloków losowanych. Annales UMCS, Vol.XXII, Sec.R. 141-148.
- Rubin, D., B. 1975 - A non - iterative algorithm for least squares estimation of missing values in any analysis of variance design. Applied Statistics 24, 136-141.
- Rundfeldt, H., 1957 - Zur Berechnung eines optimalen Verhältnisses zwischen der Anzahl der Prüffahre, der Prüfforte und der Vergleichsteilstücke bei Feldversuchen. Zeitschrift f.Pflanzenzüchtung 37, 192-201.
- Rundfeldt, H., 1968 - Kritische Überlegungen zur Bedeutung biometrischer Berechnungen für die Pflanzenselektion. Vorträge der II Ungarischen Biometrischen Konferenz, 369-383. Budapest 1970.
- Rundfeldt, H., 1970 - Über die Zukunft des Feldversuchswesens. EDV in Medizin u.Biologie 1. 17-23.
- Ruspini, E.M., 1969 - A new approach to clustering. Information and Control 15.

- Scheffé, H., 1959 - Analysis of variance - New York.
- Schmidt, S., 1971 - Istotne aspekty w rozwoju zastosowań statystyki matematycznej w doświadczalnictwie rolniczym:
I. Roczniki Nauk Rolniczych T.79-G-3, 7-26
II. Roczniki Nauk Rolniczych T. 79-G-4, 7-26
- Sengupta, J.K., 1972 - Stochastic programming. Amsterdam.
- Smith, H.F., 1938 - An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. Journal Agric. Science 28, 1-123.
- Sneath, P., Sokal, R., 1973 - Numerical taxonomy. 2nd ed. San Francisco.
- Sprague, G.F., Federer, W.T., 1951 - A comparison of variance components in corn yield trials. II. Error, year x variety, location x variety and variety components. Agronomy Journal 42, 535-541.
- Steel, R.G.D., 1955 - An analysis of perennial crop data. Biometrics 11, 201-212.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., 1960 - Principles and procedures of statistics - New York.
- Świetlicka-Grala, J., 1972 - Analiza profilowa. Materiały Kursu Szkoleniowego PTB i PAN, z.4. Warszawa.
- Tocher, K.D., 1952 - The design and analysis of block experiments - Journal Royal Statist. Soc. Ser. B.14, 45-100.
- Trętowski, J., 1975 - Wielkość jednostek doświadczalnych w różnych układach polowych eksperymentów ziemniaczanych. Poznań.
- Trętowski, J., 1976 - Studia metodyczne nad oceną cech jakości ziemniaka jadalnego. Instytut Ziemniaka. Bonin.
- Utz, H.F., 1972 - Die Zerlegung der Genotyp \times Umwelt Interaktionen. EDV in Medizin u. Biologia 3, 52-59.

- Utz, H.F., 1974 - Mehrstufenselektion in der Pflanzenzüchtung. Stuttgart.
- Verdooren, L.R., 1966 - Anwendung und Analyse nicht-orthogonaler Sortenversuche. W: International Symposium on Plant Variety Testing. I. 405-411 Budapest 1967.
- Verdooren, L.R., 1969 - Een gemengd model indelingen naar ineer dan één klassificatie. (maszynopis referatu wygłoszonego na V Holenderskim Kongresie Matematycznym 10-11 IV 1969 w Wageninen).
- Wagner, W., 1977 - Grupowanie a posteriori odmian lub obiektów. Biuletyn Oceny Odmian, z.10, 147-196.
- Walker, O.L., Heady, E.O., Pesek, J.T., 1964 - Application of game theoretic models to agricultural decision making. Agronomy Journal 456, 170-173.
- Weber, C.R., Horner, T.W., 1957 - Estimates of cost and optimum plot size and shape for measuring yield and chemical characters in soybeans. Agronomy Journal 49, 444-449.
- Weiling, F., 1973 - Zur Bestimmung der Leistungsstabilität von Pflanzentypen nach den Verfahren von Wricke, Finlay, Eberhaedt u.a. Zugleich ein Beitrag zum Wesen sowie zur Analyse von Wechselwirkungen. EDV in Medizin u. Biologie 4, 88-98.
- Wilkinson, G.N., 1970 - A general recursive procedure for analysis of variance. Biometrika 57, 19-46.
- Zuhlke, T., Gritton, E., 1969 - Optimum plot size and shape estimates for pea yield trials. Agronomy Journal 61, 905-908.

THE APPLICATION OF ANALYSIS OF VARIANCE
IN TESTING OF CULTIVARS IN POLAND

Summary

The paper discusses the history, the actual state, and the prospects of applications of ANOVA in the Polish research on testing cultivars.

The pioneering character of these applications before the World War II, especially in analysing series of field experiments, is underlined. The continuous increase in the use of ANOVA after the World War II, connected with the introduction of factorials in the experimental practice and also with some new concepts of analysing nonorthogonal series of experiments, is commented (Chapter 1).

The ANOVA methods applied to the results of single one - and multifactor experiments are discussed, with some more extended comments on the incomplete block, split-plot, split-block and rotatable designs and also on experiments with repeated observations (Sections 2.1., 2.2. and 2.3). Attention is drawn to some methodological and computational implications, in particular with the reference to the missing data problem (Section 2.4.).

As to the analysis of series of experiments, the imperfection of the applied and discussed methods, which are not fully suited to deal with the inherent nonorthogonality of these series, is underlined (Chapter 3).

In the discussion of directions and future prospects of the development of ANOVA applications, attention is called upon the

necessity of elaborating criteria and procedures for the selection of the most suitable incomplete block designs applicable for any chosen number of experimental treatments and suitable number of replicates (Section 4.1).

Thus, since fully satisfactory ANOVA methods for nonorthogonal series of experiments do not exist, a reiterated comparative analysis of all existing methods in the connection with different statistical situations (such as the grade of nonorthogonality, relations between variance components of variety effects and their interactions, and the lack of fulfillment of the underlying ANOVA assumptions) is postulated. The possibility of using some simulation methods in this context is also considered and the elaboration of a procedure of an automatical or semiautomatical selection of the best ANOVA methods is postulated (Section 4.2).

The important role of a detailed analysis of variety-environment interactions in any research on variety testing is stressed, in particular with the reference to the problem of dividing a set of environments in more uniform groups. The ANOVA and regression methods useful in solving some aspects of these problems are mentioned. (Section 4.3.).

In connection with the experiments with repeated observations, the attention is focused on the profile analysis and the analysis of growth curves based on the Potthof-Roy model (Section 4.4).

A complex optimization of planning of variety trials both series and single experiments, including quality determinations, that takes into account costs as well as other inference and decision criteria, is postulated (Section 4.5). The possibility of using ANOVA and variance components analysis in some stochas-

tic decision models devised for solving variety selection and allocation problems is briefly mentioned (Section 4.6).

The role and the application possibility of MANOVA and related methods in variety description and taxonomic analysis for registration and identification purposes is also discussed. Restricted possibilities of these multivariate methods are underlined (Section 4.7).

The necessity of periodical verifications of the assumptions of ANOVA on a large experimental material is stressed. The results of such verifications may have relevant consequences for the applications of ANOVA and other statistical inference methods.