

Z. LUBKOWSKI

ZAGADNIENIE ZMIENNOŚCI W DOŚWIADCZENIACH FIZJOLOGICZNYCH

Zasadniczymi cechami zjawisk biologicznych są masowość i zmienność. Masowość powoduje, że nie możemy na ogół poznać bezpośrednio zbiorowości, która jest celem naszych badań, lecz musimy wnioskować o niej z mniej lub więcej licznej i reprezentatywnej próby. Zmienność objawia się w tym, że nie na takich samych dwu roślin jednego gatunku, dwu liści na jednej roślinie i dwu komórek w jednym liściu i że wszystkie organizmy żywe podlegają stale przemianom. Skutkiem tego osobniki, które wejdą w skład populacji próbnej, będą pod względem badanej cechy — różnić się między sobą. W ślad za tym średnia populacji próbnej nie będzie równa średniej populacji generalnej. Gdyby tak nie było, gdyby pomiary osobników populacji próbnej dały tę samą wartość, wtedy oznaczenie badanej cechy u jednego osobnika byłoby miarodajne dla wszystkich osobników populacji próbnej, a także dla populacji generalnej, jeśli próbna dobrze ją reprezentuje. Tak bywa nieraz w fizyce lub chemii, natomiast w biologii nie możemy poznać rzeczywistej wartości badanej cechy populacji generalnej, lecz tylko przybliżenie tej wartości. Będzie ono różnić się od niepoznawalnej wartości rzeczywistej, czyli, jak to mówimy, będzie obarczone pewnym błędem. Scharakteryzować populację generalną możemy więc przy pomocy dwu liczb: przybliżenia średniej wartości badanej cechy i przybliżenia jej średniego błędu. Im większy ten błąd, tym mniej informacji o rzeczywistej wartości populacji generalnej daje nam populacja próbna; jeśli wielkość ta przekroczy odpowiednie granice, to nie będziemy nawet mogli stwierdzić, czy rzeczywista wartość badanej cechy populacji generalnej różni się od zera.

Wysokość tego błędu zależy od dwu czynników: od liczebności populacji próbnej i od jej zmienności. Ponieważ zwiększenie liczebności próby jest często utrudnione, a nieraz nawet niemożliwe, starano się zmniejszyć błąd przez ograniczanie zmienności populacji próbnej. Jeśli jednak przyjmiemy, że pomiary wykonuje się z odpowiednią starannością i dokładnością, jeśli więc nie można — praktycznie biorąc — uzyskać zmniejszenia błędu drogą zwiększenia precyzji badań, to pozostanie jedynie ujednostajnienie warunków, w jakich wykonuje się doświadczenie lub ujednoczenie materiału. Wolno to przeprowadzić tylko w tym wypadku, jeśli znamy dobrze zmienność mate-

riału. W przeciwnym bowiem razie ograniczanie zmienności może doprowadzić do wypaczenia próby, spowodować, że nie będzie ona dobrze reprezentować populacji generalnej.

Dlatego Fisher przestrzega przed jednostronnym dążeniem do zmniejszenia zmienności. Uważa on, że należy raczej starać się poznać tę zmienność, ustalić jej wysokość i zbadać przyczyny. W związku z tym nazywa on statystykę nauką o zmienności. Poznanie źródeł zmienności umożliwia zwykle jej podział na części w zależności od przyczyn, które wywołały daną część zmienności. Ten podział nazwał Fisher analizą zmienności. Zmienność w znaczeniu statystycznym, którą staramy się podzielić na części, mierzymy sumą kwadratów odchyłeń liczb uzyskanych z pomiarów od ich średniej. Analiza zmienności, opracowana po raz pierwszy przez Fishera przed blisko 40 laty, jest obecnie najważniejszą spośród stosowanych w biologii metod statystycznych.

Przyczyny wywołujące zmienność wyników możemy podzielić na dwie podstawowe grupy. Pierwszą, która obejmuje tzw. przyczyny główne, stanowi wpływ badanych przez nas czynników. Wykonawca wprowadza te czynniki do badanego materiału dla stwierdzenia, czy spowodują one dodatkową jego zmienność. Czasem jednak celem pracy jest tylko ustalenie i opisanie zmienności materiału, wykrycie przyczyn tej zmienności i znaczenia każdej z tych przyczyn. Jeśli celem naszym jest zbadanie jakiejś cechy populacji jednorodnej, to do grupy przyczyn głównych zaliczymy liczbową wartość tej cechy. Przyczyny uboczne zaciemniają lub wypaczają działanie przyczyn głównych. Wypaczenie wyników powodują przyczyny, które obejmujemy ogólną nazwą «błędów systematycznych». Wynikają one najczęściej z tego, że populacja próbna nie reprezentuje odpowiednio populacji generalnej. Jedynym właściwie sposobem zabezpieczenia się przed popełnieniem błędu systematycznego jest losowe pobranie populacji próbnej z populacji generalnej. W większości wypadków nie jest to łatwe, w niektórych nawet zupełnie niemożliwe. Przypuśćmy, że chcemy ustalić przeciętne roczne spożycie cukru przez mieszkańca Krakowa. Nie możemy brać za podstawę obliczeń ilości cukru sprzedanej w sklepach krakowskich, gdyż w sklepach tych zaopatruje się też ludność okolicznych wsi. Zdecydujemy się więc na przeprowadzenie ankiety i postanowimy wysłać 1000 kwestionariuszy. Losowanie przeprowadziliśmy prawidłowo, otrzymaliśmy adresy 1000 mieszkańców, przyjmujemy, że ta populacja próbna dobrze reprezentuje populację generalną, ogół mieszkańców Krakowa. Otrzymaliśmy 700 odpowiedzi. Czy populacja próbna, którą stanowią te odpowiedzi, dobrze reprezentuje populację generalną, jaką byłyby odpowiedzi od wszystkich mieszkańców? Należy się obawiać, że nie. Wśród adresatów kwestionariuszy mogli się znajdować analfabeci, którzy pytań nie przeczytali i dlatego na nie nie odpowiedzieli. Niektórzy nie odpowiedzieli na ankietę, gdyż nie orientują się w ilości spożytego przez

siebie cukru lub nie zrozumieli pytania. Wymienione grupy konsumują na ogół mniej cukru, ocena spożycia przeprowadzona na podstawie uzyskanych odpowiedzi byłaby więc obciążona błędem systematycznym, jego wartość byłaby zbyt wysoka. Zwiększenie liczebności próby, a więc wysłanie np. 2000 kwestionariuszy zmniejszyłoby błąd średni średniej arytmetycznej uzyskanych odpowiedzi, nie wpłynęłoby natomiast zupełnie na zmniejszenie błędu systematycznego. Dokładniejsze wyznaczenie średniej arytmetycznej z próby mogłoby spowodować, że średnia ta różniłaby się istotnie od średniej rzeczywistej populacji generalnej, co pociągnęłoby za sobą wnioski udowodnione statystycznie, a zupełnie błędne. Przy mniejszej liczebności próby wypaczonej, a więc większym jej błędzie różnice między średnią z próby a średnią rzeczywistą populacji generalnej mogłyby się mieścić w granicach przedziału ufności, wnioski z takiej próby byłyby mało dokładne, ale nie błędne.

Sprawie pobierania prób poświęca się ostatnio dużo miejsca w literaturze. Między innymi W. Cochran miał na ten temat cykl wykładów, które następnie wydał w formie przeszło 300-stronicowego podręcznika.

Jeśli przy pobieraniu prób, a więc przy zakładaniu doświadczenia nie popełniono błędów wypaczających wyniki, to zmienność spowodowana przez czynniki uboczne zaciemnia wynik doświadczenia i utrudnia wnioskowanie. Jeśli znamy niektóre przyczyny tej zmienności i potrafimy ustalić rachunkowo wpływ tych przyczyn, to będziemy mogli ze zmienności ogólnej wydzielić część spowodowaną przez te przyczyny i zmniejszyć przez to zmienność przypadkową, losową, nie kontrolowaną, będącą podstawą do oceny istotności wpływu badanego czynnika. Wydzielanie tej zmienności będzie celowe w wypadku istnienia zależności między jakimiś znanymi warunkami wykonywania badań a ich wynikiem. Tę zależność będzie jednak zwykle można stwierdzić tylko w razie uwzględnienia jej przy planowaniu schematu doświadczenia.

Ogromny rozwój metodyki doświadczalnictwa, jaki nastąpił szczególnie w krajach anglosaskich, w ciągu ostatnich 30 lat, wynika przede wszystkim z potrzeb rolnictwa. Gdy zerwano z zasadą zakładania doświadczeń tylko na polach wyrównanych, a przede wszystkim, gdy zaczęto badać wpływ na wyniki kilku czynników, co zwiększyło rozmiary doświadczenia, wzrósł znacznie wpływ zmienności glebowej. Zaciemniała ona wyniki w niektórych wypadkach do tego stopnia, że nie można było stwierdzić istotności różnic nawet dużych, wynoszących 20—30% średniego plonu. Opracowano bardzo wiele układów, które, odpowiednio zastosowane, umożliwiają wyeliminowanie znacznej części wpływu tej zmienności i w ślad za tym zakładanie na glebie niejednorodnej doświadczeń o dużej liczbie obiektów. Układów tych jest tak dużo, że bardzo, raczej zbyt treściwe podręczniki Cochran'a i Cox'a oraz Kempthorn'a mają objętości po przeszło 600 stron.

Wiele z tych metod mogłoby mieć też znaczenie w doświadczeniach fizjologicznych. Jak słusznie jednak stwierdza Cornelia Harte w swym bardzo

pięknym szkicu o zmienności i statystycznym ujmowaniu doświadczeń fizjologicznych, w badaniach tych nie stosowano dotąd metod statystycznych albo używano ich zupełnie niewłaściwie. Może w związku z tym, wskutek braku «zamówienia społecznego» nie ma ani jednego podręcznika poświęconego specjalnie metodyce doświadczeń nad fizjologią roślin. Doskonała książka Mathera omawia doświadczenia biologiczne przede wszystkim z punktu widzenia potrzeb genetyki, a obszerne dzieło Finneya poświęcone jest badaniom medycznym i farmakologicznym. Z doświadczeniami fizjologicznymi związany jest szereg problemów, które wymagają metod specjalnych, względnie do nich dostosowanych.

Zmienność losowa, zaciemniająca wyniki doświadczeń i obarczająca je pewnym błędem, wynika z przyczyn, które można podzielić na trzy główne grupy. Pierwszą stanowią nieuniknione błędy techniczne. Wynikają one z niedokładności ludzkich rąk i oczu oraz związanych z tym błędów oznaczeń, z niedostatecznej precyzji użytych przyrządów itp. Niektóre z tych przyczyn łączą się z drugą grupą, którą stanowi zmienność warunków, w jakich przeprowadzono poszczególne części doświadczenia. I tak np. człowiek zmęczony wykonuje zwykle pomiary i przeprowadza obserwacje mniej dokładnie, w związku z czym dane zebrane w pierwszych godzinach są poprawniejsze. Wielu pracuje inaczej rano, a inaczej po południu, duży wpływ może też wywierać rodzaj oświetlenia, temperatura panująca w pracowni itp. Ta temperatura, zwykle niższa rano, a podnosząca się w ciągu dnia, ma też wpływ na przyrządy pomiarowe, które wydłużają się pod wpływem ciepła. W ten sam sposób działa na przyrządy ciepło ludzkich rąk; przy dłuższym używaniu jakiegoś przyrządu można więc otrzymać inne wartości pomiarów. Wyniki są też zależne od tego, czy badania przeprowadza się bliżej lub dalej źródła ciepła i światła, w powietrzu o mniejszej lub większej zawartości wilgoci lub CO_2 itp. Ta druga grupa przyczyn ma szczególne znaczenie w tym wypadku, jeśli doświadczenie trwa dłuższy czas, a więc jeśli badane rośliny przebywają w normalnej szklarni, gdzie nie można im zapewnić jednakowej w każdym miejscu ciepłoty, jednakowego oświetlenia. Jako przyczynę zmienności warunków podaje Went przede wszystkim przewietrzanie, które nie powoduje jednakowej wymiany powietrza w całej szklarni i wpływa w niejednakowym stopniu na jego temperaturę, wilgotność i zawartość CO_2 .

Went przytacza szereg przykładów zmienności, wynikającej z nieujednostajnienia warunków w pomieszczeniach, w których rośliny przebywają. Poziomka jest rośliną krótkiego dnia, ale w niskich temperaturach staje się niewrażliwą na długość dnia. Jeśli więc w szklarni, w której rosną poziomki, ciepłota nie jest jednolita, może się zdarzyć, że rośliny umieszczone bliżej źródła ciepła nie wytworzą kwiatostanów, natomiast zakwitną te, które znajdują się w chłodniejszym otoczeniu. Ten typ zmienności może powodować niezgodność wyników uzyskanych przez różnych badaczy. Virtanem w Hel-

sinkach i Wilson w Madison badali wydzielanie azotu przez korzenie motylkowych. Pierwszy otrzymał wyniki pozytywne, a drugi negatywne, przy czym obaj przeprowadzali badania na tych samych roślinach i stosowali taką samą technikę. Później stwierdził Wilson, że wydzielanie azotu następuje tylko przy długim dniu i dużym natężeniu światła, a niskich temperaturach. Takie właśnie warunki panują w Helsinkach. Podobnie stwierdzono, że tiamina wpływa dodatnio na wzrost roślin w niższych temperaturach, a nie działa w wyższych. Wielu badaczy stwierdziło u siewek owsa różną wrażliwość na auksynę w zależności od pory dnia i roku; ostatnio zauważono jednak, że te różnice ustępują, jeśli siewki bada się w pomieszczeniu o powietrzu oczyszczonym przez przepuszczenie przez filtry z aktywowanego węgla. Tą drogą stwierdzono, że zanieczyszczenia powietrza, w których przebywają rośliny, powodują dodatkową zmienność w reagowaniu roślin na badane czynniki. Ponieważ zanieczyszczenie powietrza wzrasta w dzień, a maleje w nocy, skład powietrza w szklarni będzie różny, zależnie od tego, kiedy ją przewietrzemy. Skład ten nie będzie się zmieniał jednakowo we wszystkich miejscach szklarni.

Z tej zmienności warunków w szklarni zdawano sobie sprawę już dawno i usiłowano w różny sposób temu przeciwdziałać. M. in. jednym ze sposobów zmniejszenia wpływu tej zmienności na badane obiekty miało być przestawianie wazonów. Oczywiście metodę tę należy tak z punktu widzenia przyrodniczego, jak i statystycznego uznać za zupełnie niepoprawną. Przeszawianie jest bowiem niepokojeniem roślin, powoduje zakłócenie ich rozwoju, mniejsze lub większe, tym większe, im częściej się je stosuje i im rośliny są wyższe. Z punktu widzenia statystycznego przestawianie staje się dodatkowym źródłem zmienności, która może spowodować błąd o charakterze systematycznym. Jedynym sposobem uniknięcia tego błędu byłoby losowanie miejsc dla poszczególnych wazonów przed każdym przestawianiem. Jeśli zaś zdecydujemy się na losowanie, to będziemy mogli rozmieścić na stałe wazonów w szklarni w sposób, który pozwoli w dużym stopniu wyeliminować wpływ zmienności warunków na wyniki badań. Odpadnie w tym wypadku potrzeba przestawiania wazonów.

Jedną z takich metod najpowszechniej stosowaną w rolnictwie są tzw. losowane bloki. Celem jest podział zmienności wywołanej przez czynniki uboczne na dwie części: pierwszą, która wpływa jednakowo na wszystkie obiekty, i drugą, wynikającą z niejednakowego reagowania obiektów na warunki, w jakich wykonano poszczególne powtórzenia. W doświadczeniu polowym ta zmienność wynika przede wszystkim z niejednorodności gleby, w szklarniowym z niejednakowych warunków w szklarni. Szklarnię lub jej część przeznaczoną pod doświadczenie należy podzielić na tyle części — bloków — ile ma być powtórzeń. Bloki powinno się rozmieścić w taki sposób, by zmienność wewnątrz bloków była możliwie mała. Układ będzie tym lepszy,

im więcej zmienności warunków uda się wydzielić jako zmienność między-blokową. Potrzebna jest do tego pewna znajomość tej zmienności; uzyskuje się ją najlepiej drogą przeprowadzenia doświadczenia ślepego. Jeśli jednak wskutek braku rozeznania bloki rozmieścimy w ten sposób, że stosunkowo duża część zmienności pozostanie wewnątrz bloków, to układ nie stanie się niepoprawny, będzie tylko mniej skuteczny.

W szklarni może nieraz panować zmienność dwukierunkowa; przed nią zabezpiecza najlepiej układ zwany łacińskim kwadratem, pozwalający na wydzielenie zmienności rzędów i zmienności kolumn. Układ ten powinien znaleźć duże zastosowanie w doświadczeniach fizjologicznych, nie tylko szklarniowych. Przykład doświadczenia przeprowadzonego w łacińskim kwadracie podaje Finney. Chodziło o zbadanie skuteczności działania 12 środków nasercowych na kotach. Zastosowano 12 powtórzeń, a więc każdy lek zastrzyknięto 12 kotom. Ponieważ poziom wrażliwości kotów na leki mógł się zmieniać z dnia na dzień, ponieważ jeden pracownik mógł obserwować działanie leku w ciągu dnia tylko na 4 kotach (dwo przed południem i dwo po południu), powtórzeniami (blokami, rzędami) tego doświadczenia było 12 kotów zbadanych jednego dnia przez trzech pracowników; kolumny — miejsca w blokach — stanowiły: pierwszy i drugi kot zbadany przez każdego z tych obserwatorów rano i po południu każdego dnia. Gdyby zmienność kolumn okazała się duża, można by ją podzielić na zmienność pory dnia, pierwszego i drugiego kota bez względu na porę dnia i obserwatorów oraz współdziałania tych czynników. Gdyby zmienność kolumn wynikała przede wszystkim ze zmienności obserwatorów, można by się obawiać, że każdy z nich z inną dokładnością wykonywał badania. Ponieważ zasadniczym warunkiem łącznego opracowania wyników całego doświadczenia, a więc wydzielenia w analizie zmienności łącznej zmienności błędu, jest jednorodność tej zmienności, należałoby w tym wypadku zbadać, w jakim stopniu różnice w sposobie wykonywania obserwacji wpłynęły na wyniki i czy można je traktować jako całość, czy też raczej opracować osobno dane uzyskane przez każdego z trzech obserwatorów.

Jako dalsze przyczyny zmienności, związanej z powtórzeniami można wymienić: ograniczoną pojemność termostatów, aparatów Warburga i innych przyrządów, co pociąga za sobą konieczność powtórzenia badań w tym samym aparacie w czasie późniejszym lub równoczesnego użycia kilku aparatów. W zależności od liczby obiektów można przebadać równocześnie jedno lub parę powtórzeń — należy jednak pamiętać o tym, że powtórzeń (bloków) rozdzielać nie wolno, nie można więc np. umieścić w jednym termostacie $2\frac{1}{2}$ powtórzeń i w drugim $2\frac{1}{2}$, i uważać, że założyło się doświadczenie w pięciu powtórzeniach. Pojemność aparatów należy więc uwzględnić przy układaniu schematów doświadczeń.

Jeśli doświadczenie założone w 6 powtórzeniach umieścimy w dwu apa-

ratach, w każdym po 3 powtórzenia, będziemy mogli wydzielić obok zmienności powtórzeń — zmienność aparatów i współdziałania obiektów z aparatami. Jeśli się okaże, że rośliny umieszczone w każdym z dwu aparatów istotnie inaczej reagowały na badany czynnik, trzeba będzie ustalić przyczynę tych różnic i wyciągnąć z tego ewentualne dalsze wnioski.

Tak jak w doświadczeniu polowym, jak i w szklarni skuteczność układu losowanych bloków maleje ze wzrostem rozmiaru bloków, gdyż pociąga to za sobą zwiększenie zmienności wewnątrzblokowej. Starano się temu zaradzić przez opracowanie układów, w których poszczególne bloki nie obejmowałyby wszystkich obiektów. Układy takie znane są pod ogólną nazwą bloków niekompletnych. Mogą one w badaniach fizjologicznych mieć różne zastosowanie. Przypuśćmy, że dla przeprowadzenia doświadczenia o 16 obiektach mamy do dyspozycji 8 termostatów, z których każdy może pomieścić 8 obiektów, a więc połowę powtórzenia. Jeśli nasze doświadczenie jest doświadczeniem złożonym, o 2 czynnikach, z których każdy badany jest w 4 wariantach lub o 4 czynnikach w dwu wariantach, to możemy je założyć w układzie doświadczeń uwikłanych (confounding), których ogólną zasadą jest uwikłanie zmienności niektórych współdziałań ze zmiennością powtórzeń w ten sposób, że wydzielenie zmienności tych współdziałań staje się niemożliwe. Rezygnujemy więc z informacji, którą dałyby nam te współdziałania, uzyskując w zamian za to bądź w ogóle możliwość przeprowadzenia większego doświadczenia, bądź też — w szklarni — wyeliminowania większej części zmienności warunków.

Cornelia Harte podaje inny przykład tego rodzaju zmienności. Do badań potrzebna jest większa liczba liści, które pochodzą z różnych roślin i nie są jednakowego wieku i wielkości. Chcemy zbadać tak wiele czynników, że nie można każdego liścia podzielić na tyle części, ile mamy obiektów; należy poza tym liczyć się z różnicami fizjologicznymi w obrębie liścia, co wprowadza dodatkową niekontrolowaną zmienność. W tym wypadku można albo obiekty podzielić na kilka grup i przeprowadzić doświadczenie z każdą grupą z osobna, przy czym z góry rezygnujemy ze wszystkich informacji, jakie nam daje współdziałanie między grupami, albo też zrezygnować tylko z części współdziałań i całe doświadczenie przeprowadzić łącznie.

Inny rodzaj zmienności stanowi zmienność osobnicza. Jej znaczenie wzrasta w miarę jak zmniejsza się liczba roślin w powtórzeniach tego samego obiektu lub jeśli badania wykonuje się na częściach roślin. Zmienność osobnicza wynika z dwu przyczyn: z niejednorodności genetycznej materiału i niejednorodności warunków, w których rośliny rosły. Wielkość, kształt i skład chemiczny rośliny są wynikiem współdziałania jej składu genetycznego z warunkami zewnętrznymi, w których wyrosła. Jak podaje Went zmienność procentowej ilości splazmolizowanych komórek w różnych stężeniach osmotycznych była u roślin z normalnej szklarni dwa razy większa niż u wyrosłych w warunkach

zupełnie ujednostajnionych, w tzw. fytotronach, w których rośliny otacza stale powietrze o takiej samej temperaturze, wilgotności i zawartości CO₂. Genetycznie bardziej jednolite są rośliny uprawne niż zbierane z dzikiego stanu; w obrębie roślin uprawnych najbardziej jednolite są rozmnażane wegetatywnie, a najmniej obcopylne.

Zmniejszenie zmienności osobniczej jest często możliwe i konieczne; należy jednak zdać sobie sprawę z tego, że ogranicza się przez to zakres wnioskowania, że uzyskane wyniki należy sprawdzić, i to często wielokrotnie w doświadczeniach wykonanych na innym materiale. Przenoszenie wyników na warunki odmienne od tych, w których wykonano doświadczenie, prowadzi do poważnych błędów.

Będziemy się starali używać do badań materiału możliwie wyrównanego w tym wypadku, jeśli obawiamy się, że wpływ badanego czynnika spowoduje niewielkie zmiany w tym materiale i jeśli zależy nam na stwierdzeniu istotności tych niewielkich różnic. Zmienność osobnicza zwiększa nam bowiem tę część zmienności, która stanowi podstawę oceny istotności wpływu badanego czynnika. Należy jednak zwracać uwagę na to, by ograniczenie zmienności nie prowadziło do wypaczenia próby, do obarczenia wyników błędem systematycznym, a także pamiętać, że wnioski z takiego doświadczenia można stosować tylko w bardzo ograniczonym zakresie. Stanowią one zwykle jedynie hipotezę roboczą, podstawę do dalszych prac. Przed ich uogólnieniem będzie trzeba powtórzyć badania na odmiennym materiale i opracować łącznie serię takich doświadczeń. Jedną ze zmienności takiej serii będzie zmienność współdziałania obiektów z rodzajem materiału, na jakim wykonano poszczególne doświadczenia. Jeśli zmienność ta nie okaże się istotna, jeśli więc wyniki pozwolą odrzucić hipotezę, że efekt badanego czynnika jest zależny od materiału, na którym się badania wykonuje, to wnioski będą mogły mieć charakter ogólniejszy. W przeciwnym razie będzie nam wolno tylko stwierdzić, że efekt badanego czynnika zmienia się w zależności od materiału i zadaniem naszym będzie dążyć do wyjaśnienia przyczyn tej zmienności.

Osobny wreszcie rodzaj zmienności powodują widoczne błędy, których przyczyny możemy ustalić, a więc np. zanieczyszczenie lub zakażenie, uszkodzenie przez owady lub zwierzęta, zaginięcie części materiału. Tego rodzaju zmienność, jeśli nie jest powodem dyskwalifikacji doświadczenia, pociąga za sobą konieczność odrzucenia niektórych danych. Wolno jednak odrzucać tylko te wartości, przy których można stwierdzić wyraźnie przyczynę odchylenia i ustalić, że powstało ono wskutek nieprzewidzianej schematem zmiany warunków doświadczenia. Nie wolno natomiast eliminować innych wartości o dużych nawet odchyleniach, gdyż równałoby się to selekcjonowaniu materiału. Czynniki losowe powodują bowiem nieraz występowanie krańcowych pozornie odchyień dodatnich i ujemnych. Usunięcie ich wypacza całość materiału. Należy tego ściśle przestrzegać szczególnie w doświadczeniach

o małych rozmiarach. W większych jest to mniej szkodliwe, ale niepotrzebne.

Jeśli zgodzimy się z Fisherem, że poznanie zmienności jest podstawą wszystkich badań, to dojdziemy to przekonania, iż stosowany u nas powszechnie sposób statystycznego opracowania materiału, polegający na obliczaniu najmniejszej różnicy udowodnionej, czyli tzw. przedziału ufności, nie jest poprawny i pociąga za sobą stratę wielu informacji. Jedną z przyczyn tego, że podawanie przedziału ufności stało się u nas niemal synonimem statystycznego opracowania wyników, było stosowanie statystyki przede wszystkim przez hodowców przy ocenie wartości odmian roślin uprawnych. Można się zgodzić z tym, że w doświadczeniach odmianowych przedział ufności pozwala na ogół wydzielić grupę czołową o plonach najwyższych, nie różniących się istotnie między sobą, lecz w wielu wypadkach i w tych doświadczeniach inny sposób opracowania daje więcej informacji o zmienności badanej serii odmian. W pozostałych natomiast doświadczeniach, szczególnie w badaniach fizjologicznych, przedział ufności ma znaczenie jedynie pomocnicze, pełne informacje o całości wyników badań może dać tylko analiza zmienności. Wydaje się, że należałoby to uwzględnić tak przy planowaniu badań, jak też przy publikacji wyników.

LITERATURA

1. Cochran William G., 1953. Sampling techniques. New York, J. Wiley & Sons Inc.
2. Cochran William G. i Cox Gertrud M., 1957. Experimental designs. New York, J. Wiley & Sons. Inc. wyd. II.
3. Finney D. F., Statistical method in biological assay. Charles Griffin Company Limited, London.
4. Fisher R. A., 1947. Les méthodes statistiques adaptées à la recherche scientifique, Paris Presses universitaires de France (przekład z 10 wydania angielskiego).
5. Harte Cornelia, 1955. Variabilität und statistische Behandlung physiologischer Experimente. Handbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin—Göttingen—Heidelberg. Springer—Verlag.
6. Kempthorne Oscar, 1952. The design and analysis of experiments. New York, 7. Wiley & Sons Inc.
7. Mather K., Statistische Analysen in der Biologie, Wien, Springer—Verlag (przekład z 2 wydania angielskiego)
8. Went F. M., Physiological variability in connection with experimental procedures and reproducibility. (Handbuch der Pflanzenphysiologie).