

KAROLINA IWASZKIEWICZ

ZADANIE DOŚWIADCZEŃ OBSERWACYJNYCH I DOŚWIADCZEŃ ŚCISŁYCH W BADANIACH ROLNICZYCH

„Rola metody w naukach przyrodniczych jest ważniejsza niż w innych gałęziach z powodu złożoności zjawisk i niezliczonych źródeł błędów”.

Claude Bernard

Indukcyjna metoda badania związków przyczynowych między faktami

Punktem wyjścia wiedzy o rzeczywistości są wyniki obserwacji i doświadczeń. W wyniku obserwacji i doświadczeń mianowicie stwierdzamy pewne fakty, dążąc do ich wyjaśnienia.

Wyjaśnić jakiś fakt jest to odpowiedzieć na pytanie: dlaczego fakt ten zaszedł? Stwierdziwszy na przykład, że rośliny na niektórych poletkach w doświadczeniach mają kłosa o większej liczbie ziarn, pytamy: dlaczego? I znajdujemy jako odpowiedź: dlatego, że rośliny nawożone pogłównie azotem prawdopodobnie mają kłosa o większej liczbie ziarn. Wyjaśnienie jakiegoś faktu jest to więc dobranie drugiego faktu jako przyczyny, z której by wynikał dany fakt jako skutek. Zależność między takimi dwoma faktami pojmujemy jako zależność przyczynową, jako związek przyczynowy.

Zdanie stwierdzające, że jeden fakt prawdopodobnie jest przyczyną drugiego faktu, stwierdza tym samym, że ilekroć zajdzie pierwszy fakt, tylekroć prawdopodobnie zajdzie drugi fakt. Wobec tego zdanie, stwierdzające związek przyczynowy, dotyczy nie tylko zaobserwowanych faktów szczegółowych, lecz także nieokreślonej liczby faktów szczegółowych nie zbadanych przez nas — dotyczy pewnej prawidłowości ogólnej, przeto jest zdaniem ogólnym.

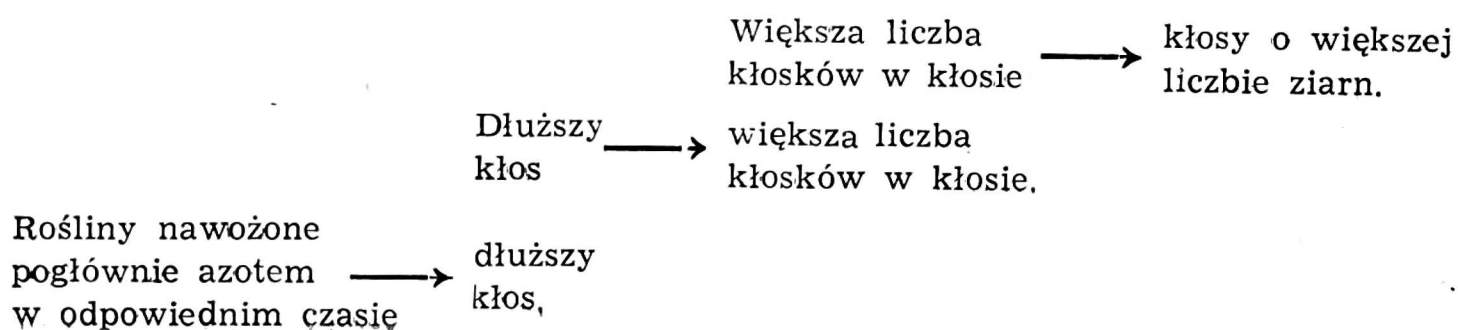
Doświadczenie dostarcza tylko faktów szczegółowych i prowadzi bezpośrednio do opisu tych faktów, wypowiedzanego w zdaniach szczegółowych. Dopiero odpowiednie rozumowanie prowadzi do wyjaśnienia zaobserwowanych faktów wypowiedzanego w zdaniach ogólnych, stwierdzających związek przyczynowy między faktami. Związek przyczynowy jest zasadniczym związkiem między elementami doświadczenia.

Jeżeli zależność między faktami jest ujęta w postać wzoru matematycznego, wtedy taka zależność jest przedstawiona jako zależność funkcyjna. Związek funkcyjny zachodzi więc wtedy, gdy określonym wartościom jednej wielkości przyporządkowane są ściśle określone wartości drugiej wielkości. W przyrodzie nieożywionej ilościową zależność między faktami ujmuje się w postać wzoru matematycznego.

Jeżeli zależność między faktami jest ujęta w postać równania regresji, to jest ona przedstawiona jako zależność korelacyjna. Związek korelacyjny występuje wtedy, gdy określonym wartościom jednej wielkości są przyporządkowane pewne średnie wartości drugiej.

W naukach biologicznych dążymy do ujęcia ilościowego związku przyczynowego pomiędzy faktami w postać równania regresji, przedstawiającą bardziej ogólną prawidłowość.

Można domagać się wyjaśnienia nie tylko szczegółowych faktów, lecz również prawidłowości, stwierdzonych w związkach przyczynowych między faktami. Można nie tylko pytać, dlaczego rośliny na niektórych polkach w doświadczeniu mają kłosa o większej liczbie ziarn, lecz także pytać, dlaczego rośliny nawożone pogłównie azotem mają kłosa o większej liczbie ziarn. Jeżeli u roślin nawożonych pogłównie azotem zaobserwowaliśmy większą liczbę kłosek w kłosie, to znajdujemy jako odpowiedź: dlatego, że rośliny, które mają większą liczbę kłosek w kłosie, prawdopodobnie mają kłosa o większej liczbie ziarn; rośliny zaś, które są nawożone pogłównie azotem w odpowiednim czasie, prawdopodobnie mają większą liczbę kłosek w kłosie. Jeśli u roślin nawożonych pogłównie azotem zaobserwowaliśmy również dłuższy kłos, to wyjaśnienie związku przyczynowego pomiędzy pogłównym nawożeniem azotem a liczebnością ziarn w kłosie przybiera postać następującego łańcucha przyczyn: rośliny, które mają większą liczbę kłosek w kłosie prawdopodobnie mają kłosa o większej liczbie ziarn, a rośliny, które mają dłuższy kłos, prawdopodobnie mają większą liczbę kłosek w kłosie; rośliny zaś, które są nawożone pogłównie azotem w odpowiednim czasie, prawdopodobnie mają dłuższy kłos. Ten łańcuch przyczyn można obrazowo przedstawić w następujący sposób:



Wyjaśnienie związku przyczynowego jest to dobranie faktów do pośrednich ogniw w łańcuchu przyczyn, które pozostają w takim stosunku do siebie, że każdy poprzedni fakt jest przyczyną następnego.

Wyjaśnienie związku przyczynowego ma charakter subiektywny, ponieważ każdy badacz może wyjaśnić w różny sposób związek przyczynowy między danymi dwoma faktami.

Jeżeli dla wyjaśnienia związku przyczynowego pomiędzy faktami znajdujemy twierdzenia już uznane (zgodne z aktualną wiedzą) i oparte na faktach, to tym samym związek przyczynowy jest wyjaśniony. Jeżeli zaś dla wyjaśnienia związku przyczynowego znajdujemy twierdzenia, które na razie nie są uznane albo są uznane, ale nie wiadomo czy trafnie zostały dobrane fakty w łańcuchu przyczyn, to takie wyjaśnienie uważamy na razie za przypuszczalne, za domysł — za hipotezę potrzebującą skontrolowania.

„Nauka ma dwa podstawowe i główne cele: przewidywanie i korzyść” — pisał D. I. Mendelejew. Możliwość przewidywania przyszłego biegu zdarzeń i wykorzystania w praktyce tego przewidywania jest oparta na poznaniu związków przyczynowych, tzn. na ustaleniu, wyjaśnieniu i ilościowej charakterystyce związków przyczynowych między faktami.

Poznanie związków przyczynowych ma niezmierną doniosłość dla praktyki, albowiem jest środkiem skutecznego oddziaływania na przyrodę. Znajomość związków przyczynowych między faktami i rozumienie istoty tych związków uczy nas mianowicie jak świadomie dobierać środki, za których pomocą moglibyśmy osiągnąć zamierzone cele, uczy nas ponadto przewidywać przyszły bieg zdarzeń wyznaczony przez czynniki od naszej woli niezależne.

Do wykrywania związków przyczynowych między faktami posługujemy się indukcyjną metodą badania, która składa się z empirycznych i teoretycznych metod badania, tj. z metod doświadczalnych i metod rozumowania.

Podstawy metod doświadczalnych ujął teoretycznie metodolog John Stuart Mill w dziele „A System of Logic Ratiocinative and Inductive”, w którym opisał cztery metody rozumowania, ustalającego związek przyczynowy pomiędzy elementami doświadczenia, podając następujące zasady każdej z nich:

1. Metoda jedynej zgodności: Jeśli dwa elementy stale współistnieją lub stale jeden następuje po drugim na tle innych zmiennych elementów, to są one prawdopodobnie powiązane ze sobą jakimś związkiem przyczynowym.

2. Metoda jedynej różnicy: Jeżeli obecność jednego z elementów współistnieje z obecnością drugiego elementu, a nieobecność pierwszego elementu pociąga za sobą nieobecność drugiego — na niezmiennym tle,

to są one prawdopodobnie powiązane ze sobą jakimś związkiem przyczynowym.

3. Metoda zmian: Jeżeli stopniowej zmianie jednego elementu towarzyszy stale stopniowa zmiana drugiego elementu na niezmiennym tle, to oba elementy są prawdopodobnie powiązane ze sobą jakimś związkiem przyczynowym.

4. Metoda reszt: Jeżeli istnieje związek przyczynowy dwu całości i związek przyczynowy pewnych ich części, to można z pewnym prawdopodobieństwem wnioskować o związku przyczynowym pozostałych części.

Metody Milla, pozwalające z obserwacji poszczególnych faktów dojść do wniosku, stwierdzającego związki przyczynowe pomiędzy faktami, pozwalają z jednostkowych obserwacji wywnioskować z pewnym prawdopodobieństwem pewne prawidłowości ogólne. Rozumowanie, w którym od zdań szczegółowych przechodzimy do obejmującego je zdania ogólnego lub od zdań mniej ogólnych do obejmującego je zdania bardziej ogólnego nazywa się rozumowaniem indukcyjnym. Metody Milla są więc metodami rozumowania indukcyjnego.

Rozumowanie indukcyjne rozszerza naszą wiedzę, ale nie prowadzi do uogólnień pewnych, lecz tylko do uogólnień mniej lub więcej prawdopodobnych, ponieważ uogólnienie, do którego dochodzimy, nie jest nigdy całkowicie uzasadnione przy pomocy zdań szczegółowych, stanowiących punkt wyjścia.

W wyniku doświadczenia otrzymujemy więc populację próbną. Stosując rozumowanie według metod Milla, dochodzimy do wniosku ogólnego, dotyczącego cech populacji generalnej. Wniosek, dotyczący cech populacji generalnej, nie jest pewny, lecz tylko mniej albo więcej prawdopodobny.

Indukcyjna metoda badania związków przyczynowych przewiduje następujące postępowanie na etapach kolejno po sobie następujących:

1. Zaobserwowanie przypadkowe lub przy pomocy doświadczeń faktów, które wydają się być powiązane ze sobą związkiem przyczynowym — empiryczna strona badania.

2. Rozumowanie prowadzące do sformułowania hipotezy o istnieniu związku przyczynowego pomiędzy dwoma danymi faktami i powiązania zaobserwowanych w doświadczeniu faktów w pewien system (łańcuch przyczyn) w celu przypuszczalnego wyjaśnienia wykrytego związku przyczynowego między faktami — teoretyczna strona badania.

3. Przeprowadzenie odpowiednich nowych doświadczeń dla otrzymania faktycznego materiału w celu sprawdzenia hipotezy — empiryczna strona badania.

4. Krytyczne zbadanie hipotezy w świetle zarówno starych jak i nowych danych — teoretyczna strona badania,

a) W przypadku zgodności hipotezy z nowouzyskanymi danymi badanie prowadzi do uogólnienia danych faktycznych, dotyczących związku przyczynowego oraz wyjaśnienia odkrytego związku przyczynowego.

b) W przypadku niezgodności hipotezy z nowouzyskanymi danymi badanie prowadzi do modyfikacji sprawdzanej hipotezy w taki sposób, aby była zgodna z nowouzyskanymi danymi. I wtedy nasuwa się konieczność przeprowadzenia dalszych doświadczeń w celu sprawdzenia wysuniętej nowej hipotezy.

Indukcyjna metoda badania uwzględnia podwójne zadanie badań naukowych: dokonanie odkrycia naukowego i uzasadnienie twierdzeń i wniosków, w których to odkrycie zostało wypowiedziane. Żadne twierdzenie i żaden wniosek nie mogą i nie powinny być przyjęte na wiarę.

Twierdzenia w naukach przyrodniczych dotyczą przyczyny i skutku; dla uzasadnienia albo obalenia twierdzeń o istnieniu związku przyczynowego i uzasadnienia słuszności wyjaśnienia danego związku przyczynowego potrzeba odtworzenia danego związku przyczynowego drogą nowych doświadczeń. Dlatego twierdzenia w naukach przyrodniczych uzasadnia się przez sprawdzenie przy pomocy nowych doświadczeń.

Twierdzenia w naukach matematycznych nie dotyczą przyczyn, dlatego wszystkie twierdzenia matematyczne można uzasadnić na drodze tylko rozumowania i nie trzeba odwoływać się do żadnych doświadczeń.

Empiryczne i teoretyczne sposoby badania w indukcyjnej metodzie badania są ze sobą związane, każdy z nich przewiduje drugi i każdy z nich jest uzależniony od drugiego.

Niewspółmierność między empirycznym i teoretycznym sposobem badania, tj. przeważający rozwój jednego z nich kosztem drugiego, zamyka drogę do poprawnego poznania związków przyczynowych. Zmniejszenie roli obserwacji i doświadczeń i zwiększenie roli wyrozumowanych konstrukcji prowadzi do oderwania się od rzeczywistości. Przeciwnie — zmniejszenie roli rozumowania i zwiększenie roli doświadczeń prowadzi do ślepego ograniczonego empiryzmu, pozbawiając badacza możliwości przenikania w istotę związków przyczynowych i zdolności krytycznego ustosunkowania się do faktów.

W jednym i drugim przypadku otrzymane wyniki nie odzwierciedlają należycie rzeczywistości. Tylko ścisła łączność obydwóch sposobów badania, będących momentami jedyne procesu badania związków przyczynowych między faktami, zabezpiecza możliwość poznania związków przyczynowych i ich istotę zgodnie z rzeczywistością.

Współczesny szybki postęp i rozwój nauk rolniczych jest wynikiem wzrastającego zastosowania indukcyjnej metody badania.

Rozpatrzmy zastosowanie tej metody badania w szczególności do rozwiązywania zagadnień uprawy roślin.

Odpowiednio do podwójnego zadania badań naukowych, uwzględnionego w indukcyjnej metodzie badania, możemy wyróżnić dwa zasadnicze rodzaje doświadczeń: doświadczenia obserwacyjne, które nasuwają domysł uogólnienia, prowadząc do wytłumaczenia poszczególnych danych, i doświadczenia ścisłe, które są środkiem sprawdzenia uogólnienia, pomyślanego uprzednio w charakterze hipotezy, na podstawie nowych danych.

Doświadczenie obserwacyjne

W doświadczeniach obserwacyjnych łączymy pewne warunki i chcemy stwierdzić, czy pewien określony skutek istnieje, czy go nie ma. Wszystkie takie doświadczenia są raczej jakościowe niż ilościowe, gdyż wynik może być większy albo mniejszy, określenie szczegółowej jego wartości ma drugorzędne znaczenie. Chodzi w nich przede wszystkim o wykrycie nieznanego poprzednio faktu i o wyjaśnienie tego faktu.

Doświadczenia obserwacyjne kryją w swej treści czynniki twórcze. Ponieważ odkrywania w nauce, tak jak wszelkiej twórczości, nie można ująć w system niezawodnych wskazówek, przeto nie ma określonych reguł dla poszukiwania nowych faktów i poszukiwania przyczyn, z których wynikałyby te fakty. Poszukiwanie takie wymaga cierpliwych prób lub twórczej pomysłowości. Największe znaczenie mają tu twórcze spostrzeżenia i z tego względu doświadczenia, dotyczące wykrywania faktów i wyjaśniania faktów, nazywają się doświadczeniami obserwacyjnymi. A więc doświadczeń obserwacyjnych nie można ująć w określone ramy, można tylko opisać wykonywane tego rodzaju doświadczenia i podać ogólne zasady przy ich wykonywaniu.

Do obserwacyjnych należą następujące doświadczenia:

1. Doświadczenie typu tzw. „próby możliwości” wykonywane w celu wyjaśnienia, czy pożądaný skutek nastąpi po zastosowaniu nieznanego zabiegu (przyczyny), np. próba możliwości uzyskania mieszańca dwóch gatunków roślin, próba możliwości znalezienia preparatów utrwalających konserwowanie warzyw itp.

2. Doświadczenie rozstrzygające wykonywane w celu wyjaśnienia czy nowy zabieg (przyczyna) wart jest dalszego badania. Doświadczenie takie prowadzi się na małą skalę, np. w celu wstępnego zbadania działania nowego preparatu do walki z chorobami opryskuje się tylko stosunkowo niewielką liczbę roślin.

3. Doświadczenie typu tzw. „próby drogą wyboru” wykonywane z dużą liczbą obiektów w celu znalezienia tych spośród nich, które będą nadawały się do dalszego badania; doświadczenie takie stosujemy np. przy selekcji odmian.

4. Doświadczenie kierunkowe wykonywane w celu wyjaśnienia mechanizmu działania badanego zabiegu, w celu wyjaśnienia badanego

związku przyczynowego. W tym celu wypada korzystać z osiągnięć podstawowych nauk rolniczych, jak fizjologii roślin, gleboznawstwa, meteorologii, chemii, fizyki i innych. Do doświadczeń kierunkowych należą np. badanie biologii nowych roślin, badanie systemu korzeniowego, badanie aparatu asymilacyjnego, badanie rozkładu różnego rozwoju nawozów zielonych, badanie żyzności różnych poziomów gleby itp. Im głębiej poznamy związek przyczynowy, tym dokładniej sprawdzają się nasze przewidywania oparte na tych związkach a dotyczące nowych faktów.

5. Doświadczenie orientacyjne, wykonywane w celu możliwości wyboru jednej z alternatywnych hipotez tj. jednego z możliwych wyjaśnień badanego związku. W tych doświadczeniach badany zabieg (czynnik) stosuje się w warunkach skrajnych, np. przy pomocy wysokiej dawki nawozów w zagadnieniach nawożenia, w celu otrzymania wyraźniejszych zmian, zachodzących pod wpływem nowego zabiegu, czy to we wzroście i rozwoju rośliny, czy w środowisku roślinnym.

Ogólnie w doświadczeniach obserwacyjnych poszukujemy przyczyny dla zaobserwowanego faktu. Jeżeli zaś domniemana przyczyna jest znana, to poszukujemy pośrednich ogniw w łańcuchu przyczyn, cofając się od skutku do pierwszej przyczyny w ten sposób, że do zaobserwowanego faktu dobieramy drugi fakt, który jest przyczyną zaobserwowanego faktu, do drugiego faktu dobieramy trzeci fakt, który jest przyczyną drugiego itd. aż dojdziemy do faktu, który jest przyczyną całego łańcucha.

W doświadczeniach obserwacyjnych poszukujemy więc odpowiedzi na pytanie: Dlaczego zaobserwowany fakt się wydarzył? Czy istnieje związek przyczynowy? Dlaczego istnieje związek przyczynowy pomiędzy danymi faktami?

Ponieważ odkrycia biologiczne są najpierw obserwowane jako fakty jakościowe, przeto w doświadczeniach obserwacyjnych, jako rozpoczynających badanie nad nowym zagadnieniem i nasuwających tylko pierwszy domysł poszukiwanego związku przyczynowego, uwzględnia się tylko stronę jakościową badanego związku przyczynowego. Otrzymanie ilościowych danych nie jest celem doświadczeń obserwacyjnych. Oczywiście plon może być większy lub mniejszy, określenie jednak szczegółowej jego wartości nie jest zadaniem doświadczeń obserwacyjnych. Zadaniem doświadczeń obserwacyjnych natomiast jest badanie faktów związanych z plonem, jak wzrost korzeni, wzrost liści, typ wzrostu, zawiązywanie się pączków kwiatowych, dorodność ziarna itp.

Wysokość plonu nie jest jedyną cechą, którą uwzględnia się przy decyzji wprowadzenia do praktyki nowego zabiegu czy nowej odmiany. Wartość nowego zabiegu czy odmiany określają również gospodarczo ważne jakościowe cechy rośliny i kwestia nadawania się zabiegu do zwykłych produkcyjnych warunków. Z tego względu w doświadczeniach

obserwacyjnych podlegają badaniu również gospodarczo ważne cechy, jak odporność na niesprzyjające czynniki meteorologiczne, odporność na choroby, na wyleganie, terminy dojrzewania itp. i bierze się pod uwagę względy gospodarcze, jak przydatność do mechanicznej uprawy, mechanicznego zbioru itp. — te cechy, które muszą być uwzględnione przy zastosowaniu wyników doświadczenia w warunkach praktyki.

W związku ze wzrostem i rozwojem rośliny bada się również środowisko roślinne jak również wszystkie te czynniki, z którymi jest związane życie rośliny.

Doświadczenia obserwacyjne są zakładane w taki sposób, aby do ich wyników można było zastosować rozumowanie według metody jedynej różnicy. Ze względu na zadanie, jakie spełniają doświadczenia obserwacyjne, wykonywane są one w jednym powtórzeniu jako doświadczenia wazonowe, mikropoletkowe, polowe. Doświadczenia obserwacyjne polowe są wykonywane na poletkach o dowolnej powierzchni — od powierzchni o kilku roślinach do 0,5 ha. Polowe doświadczenia obserwacyjne zakłada się albo na specjalnych poletkach doświadczalnych, albo w razie potrzeby zabezpieczenia uprawy stosowanej w produkcji i w przypadku, gdy na małych poletkach nie może się przejawić gospodarczy efekt zabiegu — na znacznie większych poletkach w warunkach produkcyjnych.

Doświadczenia obserwacyjne są zasadniczo krótkoterminowe, prowadzone w jednym punkcie geograficznym, lecz mogą być zagadnienia, które wymagają prowadzenia doświadczeń obserwacyjnych w kilku punktach geograficznych i w ciągu kilku lat, np. doświadczenia z roślinami wieloletnimi, albo gdy chodzi o zbadanie wpływu różnego klimatu względnie różnych typów gleby.

Doświadczenia obserwacyjne prowadzi się zasadniczo bez żadnych pomiarów i wazów. Wszystkie określenia wykonuje się przy pomocy obserwacji jakościowych i bezpośrednich, metodą punktową, w stosunku do znanego zabiegu względnie znanej odmiany. Wysokość plonu ocenia się też bezpośrednio „na oko” w stosunku do wysokości plonu znanego zabiegu. W ten sposób daje się uchwycić tylko znaczne różnice w wysokości plonu. Małe różnice w wysokości plonu mogą powstawać wskutek przypadkowych przyczyn i dlatego w doświadczeniach obserwacyjnych nie są brane pod uwagę. Najlepiej plonu nie ważyć, bo jeżeli nie można obliczyć błędu doświadczenia, to różnice w plonach, których nie chwyta oko, lecz tylko waga, nie przedstawiają żadnej wartości. O wysokości plonu prócz tego sędzimy na podstawie cech jakościowych związanych z plonem.

W doświadczeniach obserwacyjnych notuje się każdą widoczną różnicę i specjalnie wypatruje się fakty, które wedle uznanych teorii nie powinny się być wydarzyć, takie fakty bowiem służą jako klucze do nowych odkryć.

W doświadczeniach polowych w przypadku większej liczby obiektów w celu ułatwienia porównania i ze względu na zmienność glebową umieszcza się poletka ze znanym zabiegiem (kontrolne) kilkakrotnie — co kilka poletek.

Po zakończeniu doświadczeń obserwacyjnych i zestawieniu wyników obserwacji zdobyty materiał poddajemy rozważaniu, przy tym usiłujemy powiązać wykryte fakty w łańcuch przyczyn.

Wszystkie dane oczywiście są często niedokładne, ale pozwalają z najmniejszą stratą czasu, pracy i kosztów na dogłębne zbadanie jakościowej strony zagadnienia i na otrzymanie chociaż przybliżonej lecz szybkiej oceny badanego zabiegu ze względu na cechy jakościowe związane z plonem i ze względu na przydatność zabiegu w warunkach produkcji.

Ponieważ doświadczenia obserwacyjne są wykonywane w jednym powtórzeniu i nie uwzględniają strony ilościowej badanego obiektu, przeto nie może być mowy o porównywalnych ilościowych danych i o stosowaniu kryteriów statystyki matematycznej. Oczywiście sprawia to trudności w decyzji przy rozważaniu wyników doświadczeń obserwacyjnych. Osiągają powodzenie ci badacze, którzy przykładają wagę do każdego nieoczekiwanego faktu lub badają to, co wydaje się im obiecujące. Często badaczowi nie pozostaje nic innego, jak opierać się na swym własnym wyczuciu w wyborze obiektów do dalszego badania. Dużą rolę odgrywa tu intuicja „zwycięzcy”, przy tym bez wątpienia popełniane są błędy. Jednak ten wzgląd nie zmniejsza inwencyjnej wartości doświadczeń obserwacyjnych.

Opierając się na danych obserwacji, w wyniku rozumowania według metody jedynej różnicy jesteśmy skłonni przyjąć uogólnienie, że prawdopodobnie istnieje związek przyczynowy między określonymi faktami.

Przy wyjaśnieniu tego związku przyczynowego staramy się dobrać fakty w łańcuch przyczyn, tak aby przyjęte uogólnienie było najbardziej prawdopodobne ze względu na owe fakty. Ponieważ dobrane fakty w łańcuchu przyczyn powinny wynikać z przyjętego uogólnienia, tj. powinny być konsekwencjami, następstwami danego uogólnienia, przeto przyjęte uogólnienie znajduje pewne uzasadnienie w danych faktach, które służyły za punkt wyjścia przy jego domyślaniu się.

Jednak nasuwa się wątpliwość, czy dobierając przyczyny do danych faktów wzięliśmy pod uwagę wszystkie zjawiska, jako przypuszczalne przyczyny danych faktów. Tylko bowiem przy założeniu, że nie ma żadnych ukrytych jeszcze przed nami przyczyn, wolno przyjąć, że dobrane fakty są wykrytymi przyczynami. Założenie to może być nie zgodne z rzeczywistością, gdyż każdemu badanemu zabiegowi towarzyszy niezmiernie wiele okoliczności i jest rzeczą trudną zdać sobie sprawę z tego, które z nich należy uwzględnić jako decydujące przyczyny, a które mo-

zna pominąć, jako nie mające większego znaczenia. Wobec tego nie wiadomo czy dobrane zestawienie przyczyn jest trafnym wyrazem zaobserwowanych faktów i nie wiadomo, czy zaobserwowane fakty powtórzą się przy powtórzeniu kompleksu warunków.

Ze względu na powyższe wątpliwości wyjaśnienie uogólniające należy uważać jako uogólnienie częściowo tylko uzasadnione względnie jako domysł.

Wszelkie uogólnienia częściowo tylko uzasadnione, a przeto także wszelki domysł, za którego pomocą wyjaśniamy dane faktyczne, nazywa się hipotezą.

A więc uogólnienie osiągnięte na drodze rozumowania na podstawie danych doświadczeń obserwacyjnych jest hipotezą.

Proces powstawania hipotezy zilustrujemy na uproszczonym przykładzie:

Niech punktem wyjścia będzie fakt zaobserwowania kłosów o większej liczbie ziarn u roślin dodatkowo nawożonych pogłównie azotem. Chodzi o wyjaśnienie tego faktu, a więc o dobranie przyczyny, z której by wynikało jako skutek tworzenie się większej liczby ziarn w kłosie. W poszukiwaniu takiej przyczyny nasuwa się domysł, że przyczyną większej liczby ziarn w kłosie jest większa liczba kłosków w kłosie, a przyczyną większej liczby ziarn w kłosie jest pogłowne nawożenie azotem. Przy wyjaśnieniu przechodzimy od zaobserwowanego faktu do przyczyny — od skutku do przyczyny.

Takie wyjaśnienie jest formułowaniem hipotezy.

Hipoteza jest to więc domysł (przypuszczenie) o istnieniu stosunku przyczyny i skutku pomiędzy szeregiem następujących po sobie faktów. Hipotezę formułuje się, opierając się na znanych faktach.

Doświadczenie ścisłe

Indukcyjna metoda badania obejmuje nie tylko uzasadnienie hipotez przez dobieranie ich do danych wyjściowych, lecz także wzmacnianie lub obalenie tego uzasadnienia przez sprawdzenie hipotez.

Proces sprawdzenia hipotez zilustrujemy na przykładzie powyżej wysuniętej hipotezy:

1. Zakładamy, że hipoteza, wyjaśniająca fakt większej liczby ziarn w kłosie, jest zgodna z rzeczywistością. Wtedy można z niej logicznie wysunąć określone konsekwencje, następstwa, które mogą być nieznanne, np. takie: zastosowanie pogłównego nawożenia azotowego w dawce 15 kg/ha w fazie strzelania w źdźbło wpłynie na rozwój większej liczby kłosków w kłosie na tworzenie się większej liczby ziarn w kłosie; większa zaś liczba kłosków w kłosie wpłynie na zwyżkę plonu o 10%.

Materiału, dotyczącego wysokości dawki, terminu nawożenia, rozwoju większej liczby kłosków w kłosie i większej liczby ziarn w kłosie, dostarczają dane doświadczeń obserwacyjnych. Zwyżkę zaś plonu przewidujemy jako konsekwencję tworzenia się dorodniejszego ziarna. Wysokość zaś zwyżki powinna być wykalkulowana ze względu na opłacalność zabiegu. Jeżeli te zjawiska naprawdę zajdą w późniejszym doświadczeniu, to wzrośnie prawdopodobieństwo hipotezy, które kazało nam tych zjawisk oczekiwać.

2. Przeprowadzamy doświadczenie ścisłe w celu sprawdzenia zgodności tak wysnutych następstw hipotezy z faktami. W tym celu wprowadzamy do schematu doświadczenia dwa obiekty:

a) pogłównie nawożenie azotem i b) bez pogłównego nawożenia — element kontrolny.

3. Porównujemy z sobą wyniki obserwacji dwóch obiektów doświadczenia, zaczynając od zastosowanego zabiegu w kierunku wynikania, zaczynając więc od porównania nawożenia, następnie liczby kłosków w kłosie i liczby ziarn w kłosie i w końcu wysokości plonu.

4. Sprawdzamy zgodność następstw hipotezy z faktami uzyskanymi z doświadczenia.

Takie postępowanie nazywa się uzasadnianiem hipotezy przez sprawdzenie. Sprawdzenie hipotezy polega przede wszystkim na wykazaniu, że na jej podstawie można trafnie przewidzieć wyniki nowych doświadczeń.

W doświadczeniu ścisłym nie ograniczamy się tylko do ogólnego sprawdzenia hipotezy, że między określonymi faktami istnieje związek przyczynowy, lecz przystępujemy jednocześnie do badania ilościowego, polegającego na poszukiwaniu wielkości skutku wynikającego z warunków określonych według możliwości też ilościowo, które prawdopodobnie stanowią przyczynę.

Doświadczenia ścisłe w zależności od zagadnienia są zakładane jako doświadczenia wazonowe, mikropoletkowe, polowe.

Sprawdzenie hipotezy przy pomocy doświadczenia ścisłego ujmujemy w ramy zadania. Dane fakty, jako wynik poprzednich obserwacji i doświadczeń, stanowią niezbędną podstawę do zdefiniowania zadania. W zadaniu stawiamy pytanie: jaki jest związek przyczynowy pomiędzy danymi faktami, względnie jakie jest działanie danego zabiegu, czynnika?

Odpowiedzią na to pytanie jest wysnucie takich następstw „zadanej” do sprawdzenia hipotezy, które powinny się zdarzyć, jeżeli hipoteza jest zgodna z rzeczywistością. Następstwa hipotezy, dotyczące pierwszej przyczyny i ostatecznego skutku ujmujemy w schemat doświadczenia. Pośrednie zaś zjawiska w łańcuchu przyczyn, przewidziane przez następstwo hipotezy, ujmujemy w plan obserwacji. Obserwacje zjawisk wpływających z hipotezy mają więc charakter wyjaśniający.

Konstruujemy schemat doświadczenia w ten sposób, by do wyników doświadczenia można było zastosować rozumowanie według metod Milla. Przy czym w celu pełniejszego poznania działania badanego czynnika staramy się poznać jego działanie w całym zakresie. W tym celu, w przypadku czynnika zdolnego do zmian ciągłych, zmieniamy ilościowo badany czynnik. Odstępy w zmianie czynnika mogą być dowolne, jednak regularne odstępy w zmianie czynnika pozwalają zaobserwować prawidłowość w zmianie skutku.

Prawie każde doświadczenie ilościowe ma na celu znalezienie związku między różnymi wartościami jednej wielkości, dowolnie zmienianej, i drugiej wielkości, która się zmienia wskutek zmian pierwszej.

Ponieważ badany czynnik wpływa na życie rośliny nie w oderwaniu od pozostałych czynników środowiska, lecz w kompleksie ze wszystkimi innymi, stanowiącymi tło doświadczenia, przeto działanie każdego czynnika badamy w związku z innymi czynnikami. Badany czynnik może znacznie wpłynąć na warunki życia rośliny, ale jego wpływ modyfikują zmienne czynniki środowiska. Odnosi się to do naturalnych czynników środowiska jak i do tych, które są pod kontrolą człowieka. W celu wykrycia tego współdziałania opracowujemy plan obserwacji zjawisk charakteryzujących warunki przeprowadzania doświadczenia, tło doświadczenia. Obserwacje te mają charakter kontrolujący¹.

Doświadczenie zakładamy i przeprowadzamy w ten sposób, aby wyniki dały reprezentatywną próbę tej całości, którą mamy poznać. Zaraz po wykonaniu obserwacji na każdym poletku prowadzimy wstępne opracowanie uzyskanych liczb. Porównując jedne wyniki obserwacji z wynikami innych oraz zastanawiając się nad nimi, zyskujemy możliwość zadawania określonych pytań takich, iż poszukiwanie odpowiedzi na nie daje możliwość sprawdzenia poprawności uzyskanych danych, ułatwia dostrzeżenie zależności między faktami i pozwala wykryć czynniki modyfikujące, które mogły się wydać bez znaczenia.

Po zakończeniu doświadczenia wyniki obserwacji zestawiamy i podajemy rozważaniom w celu:

- 1) wykazania poprawności zastosowanej metody badania i możliwości zastosowania rozumowania według metod Milla do wyników doświadczenia,

- 2) sprawdzenia zgodności następstw hipotezy z nowouzyskanymi danymi. Sprawdzamy fakty w kierunku wynikania od zastosowanego zabiegu

¹ Obserwacje zjawisk wypływających z hipotezy mają charakter wyjaśniający, celem ich jest wykrycie związków przyczynowych pomiędzy szeregiem faktów.

Obserwacje zjawisk charakteryzujących tło doświadczenia mają charakter kontrolny, niezbędne są one zarówno do odtworzenia doświadczenia jak i do wykazania niezmienności tła, względnie do wykrycia czynników modyfikujących.

do ostatecznego skutku, do plonu. Przy czym porównujemy następstwa hipotezy z danymi uzyskanymi z obserwacji w związku z kompleksem warunków, które decydują o przebiegu i wyniku doświadczenia.

Postępując w ten sposób wykrywamy czynniki grające zasadniczą rolę i czynniki modyfikujące. Wykrycie czynników modyfikujących jest niezbędne do rozumienia nieoczekiwanych niezgodności przy zestawieniu faktów.

Jeżeli stwierdzimy zgodność następstw hipotezy z uzyskanymi z doświadczenia faktami, to prawdopodobieństwo hipotezy wzrasta. Im proces sprawdzenia hipotezy jest dokładniejszy, im liczniejsze i różnorodniejsze następstwa hipotezy potwierdzają się w doświadczeniu, tym prawdopodobniejsza, tym pewniejsza jest hipoteza i możemy się nią posługiwać z większym zaufaniem w przewidywaniu przyszłych wyników.

Wniosek z takiego doświadczenia formułujemy w postaci uogólnienia, dotyczącego związku przyczynowego pomiędzy badanym czynnikiem a końcowym efektem (plonem); fakty zaś, stanowiące pośrednie ogniwa w łańcuchu przyczyn służą do wyjaśnienia danego związku przyczynowego.

Dobór kompleksu warunków przeprowadzenia doświadczenia zabezpiecza możliwość powtórzenia doświadczenia dowolną liczbę razy i tym samym sprawdzenia osiągniętych wyników. To kryterium odtworzenia pozwala nam przyjąć dane doświadczone jako świadectwo zgodności z rzeczywistością otrzymanych faktów.

W przypadku zaś jakiegokolwiek bądź niezgodności uzyskanych danych z doświadczenia z przewidywanymi modyfikujemy hipotezę w taki sposób, aby była zgodna z nowouzyskanymi danymi i tę znowu poddajemy sprawdzeniu. Jeśli i ta ulegnie obaleniu, sięgamy po nową hipotezę, dopóki nie natrafimy na taką, która próbę sprawdzenia wytrzyma. Postępowanie takie prowadzi krok za krokiem do lepszego poznania.

Ponieważ zgodność następstw hipotezy z danymi doświadczeniami nie daje pewności co do zgodności hipotezy z faktami, przeto w praktyce wazymy się na uogólnienie dopiero po wielokrotnym zestawieniu faktów, gdyż chcemy się przekonać czy rzeczywiście nie przyplątała się podczas wegetacji jakaś inna przyczyna, która by właśnie wywołała efekt.

Następny krok w sprawdzaniu hipotezy polega na rozszerzeniu jej zastosowań, aby objąć przypadki, które pierwotnie nie były rozważone, tj. na zmienianiu okoliczności, w których działała przyczyna, celem upewnienia się, czy skutek jej ma charakter bardziej ogólny, aby wznosić się stopniowo od przypadków jednostkowych do coraz szerszych uogólnień.

Przy rozważaniu wyników takich doświadczeń ma zastosowanie rozumowanie według metody jedynej zgodności.

Hipoteza wielokrotnie sprawdzona staje się twierdzeniem. W wyniku każdego doświadczenia otrzymujemy szereg wartości badanego zabiegu i odpowiedni szereg wartości skutku. Te liczbowe wartości są odosobnionymi faktami ilościowymi, które same przez się nie stanowią wiedzy ogólnej o badanym związku przyczynowym. Zbiór faktów nie jest wiedzą ogólną. W dążeniu do uchwycenia tego, co jest ogólne i wspólne w poszczególnych przypadkach, należy sprawdzić czy zaobserwowane średnie wartości skutku można przestawić w zależności od poszczególnych wartości nadawanych badanemu zabiegowi. Zmierzamy do ustalenia związku między oddzielnymi ilościowymi faktami w postaci równania regresji, które w granicach obserwacji daje najbardziej prawdopodobne średnie wartości plonu przy określonych wartościach badanego czynnika. Takie równanie regresji służy następnie do ustalenia informacji, jakie nam mogą być w danej chwili potrzebne.

Zastosowanie metod statystyki matematycznej w biologicznej pracy badawczej

Przejście od jakościowej do ilościowej charakterystyki związków przyczynowych, od badań prostych i oczywistych związków przyczynowych do badań złożonych i mniej wyraźnych związków przyczynowych, od przybliżonego do coraz bardziej dokładnego ich odzwierciedlenia, jak też zastosowanie w biologii fizyki, chemii, radiotechniki prowadzą siłą rzeczy do tego, że metody statystyki matematycznej stają się stałym narzędziem badania biologa.

Korzystanie z metod statystyki matematycznej jest niezbędne nie tylko dla oceny pewności wyników doświadczeń, lecz też do wykrycia i poznania konieczności w przebiegu przypadkowych zjawisk. Metody statystyki matematycznej dają mianowicie możliwość wykrycia prawidłowości tam, gdzie występuje zdawałoby się chaos przypadkowych zjawisk. Właśnie zmienność w przebiegu biologicznych zjawisk przy jednakowych zdawałoby się zewnętrznych warunkach wymaga szerokiego zastosowania metod statystyki matematycznej.

Same przez się metody statystyczne wykrywają prawidłowość w przebiegu przypadkowych zjawisk i częstość występowania danego faktu wraz z innymi faktami, ale nie wykrywają związków przyczynowych między zjawiskami.

Np. bezpośrednio wykryty przy pomocy metod statystyki matematycznej związek korelacyjny między zjawiskami nie jest związkiem przyczynowym, może jednak nasuwać domysł związku przyczynowego. Stwierdzenie związku przyczynowego wymaga dalszych badań, przepro-

wadzenia doświadczeń i odpowiednich rozumowań. tj. zastosowanie indukcyjnej metody badania związków przyczynowych.

Z tego względu metody statystyki matematycznej są jedynie pomocniczymi metodami przy badaniu związków przyczynowych.

O właściwym posługiwaniu się metodami statystyki matematycznej pisze J. Wishard w pracy „Principles and Practice of Field Experimentation” jak następuje: „W naszych czasach w sprawie przeprowadzenia doświadczeń polowych trudno, choć to jest ważne, zachować poczucie miary. W ostatnich latach statystyczna strona sprawy przyjęła na tyle ważne znaczenie, że zjawia się realne niebezpieczeństwo uważania statystyki jako głównego elementu pracy doświadczalnej. Metody statystyki matematycznej jednak są tylko narzędziem w wyposażeniu badacza i powinny zajmować w jego myślach nie więcej miejsca, niż wykorzystywane przez niego analizy chemiczne czy botaniczne”.

Prawdopodobieństwo statystyczne nie jest równoważne prawdopodobieństwu metodologicznemu. W metodologicznym sensie mówiąc, że dane twierdzenie jest prawdopodobniejsze od innego, chcemy dać do zrozumienia, że jest ono lepiej od tamtego uzasadnione przez zgodność liczniejszych i różnorodniejszych jego następstw z danymi doświadczalnymi względnie przez wielokrotne sprawdzenie. I ten właśnie sens prawdopodobieństwa towarzyszy wypowiedzanym uogólnieniom indukcyjnym.

Niepoprawne postępowanie przy badaniu związków przyczynowych

Zdarza się, że pod wpływem niecierpliwości albo wobec braku środków, w celu przyspieszenia toku badań, bywają zakładane doświadczenia ścisłe w postaci zmian wprowadzonych bez określenia zadania i sformułowania hipotezy, w których zmienia się w samorzutnym toku zdarzeń to lub owo i patrzy się, co też z tego wyniknie. Czasem taki sposób badania prowadzi do cennych domysłów, a nawet do cennych uogólnień, lecz na ogół jest słusznie krytykowany jako naiwny i mało wydajny, ponieważ wniosek z takiego doświadczenia jest tylko częściowo uzasadniony przez dane fakty a nie jest uzasadniony przez sprawdzenie. Uogólnienie nie uzasadnione przez sprawdzenie jest hipotezą. W celu uzasadnienia przez sprawdzenie otrzymanego uogólnienia potrzeba nowych doświadczeń i znowu ścisłych. Pod tym względem dobrze pamiętać znaną wojenną zasadę „czas stracony na wywiad rzadko bywa stracony na próżno” (J. Wishard).

Zdarzają się też doświadczenia, których jedyną albo podstawową metodą badania jest metoda statystyki matematycznej zastosowana do końcowych wyników doświadczenia, do plonów.

Z punktu widzenia statystyki matematycznej zagadnienie jest postawione tak: czy jest „istotna” różnica w wysokości plonów badanych obiektów? Zadanie wyrażone w takim pytaniu jest rozstrzygnięciem między dwiema ewentualnościami, które mamy w procesie sprawdzania hipotezy biologicznej. Sprawdzając hipotezę biologiczną, staramy się mianowicie rozstrzygnąć czy tak jest, czy też tak nie jest, jak ta hipoteza głosi. Uzasadnione rozstrzygnięcie dają metody statystyki matematycznej, przy tym metody statystyki matematycznej są skuteczne tylko wtedy, gdy są spełnione założenia stosowanych metod. W każdym razie uogólnienie, do którego dochodzimy na podstawie metod statystyki matematycznej, nie prowadzi od skutku do przyczyny. Z tego, że różnica w wysokości plonów jest istotna, nie wynika, że różnica ta jest skutkiem działania badanego zabiegu. Jedynie rozumowanie według metod Milla pozwala powiązać przyczynowo stwierdzony przy pomocy metod statystyki matematycznej efekt z zastosowanym zabiegiem. Żeby zastosować rozumowanie według metod Milla trzeba mieć nie tylko odpowiednio skonstruowany schemat doświadczenia i nie tylko stwierdzić efekt, ale też trzeba wykazać, że efekt jest skutkiem zastosowanego zabiegu, jako jedynej przyczyny. Bez głębszego wniknięcia w istotę badanego związku możemy rolę przyczyny przypisać zastosowanemu zabiegowi, gdy w rzeczywistości mógł on nie mieć najmniejszego wpływu na obserwowane wyniki, gdyż w badaniach biologicznych skutek od przyczyny dzieli pewien okres czasu, a każdemu badanemu zabiegowi towarzyszy niezmiernie wiele okoliczności.

Jedynie indukcyjna metoda badania zastosowana jako podstawowa metoda badania związków przyczynowych, korzystająca z metod statystyki matematycznej jako pomocniczych, przy cennych zestawieniach nielicznych faktów pozwala nie tylko ustalić związek przyczynowy ale i wyjaśnić i dokładnie ilościowo go scharakteryzować. Jedno wnikliwe doświadczenie na przypuszczalnie reprezentatywnym materiale, przeprowadzone w celu sprawdzenia domniemanego związku przyczynowego, da wniosek bardziej prawdopodobny w sensie metodologicznym, niż wielka liczba doświadczeń prowadzonych bez z góry zadanego twierdzenia do sprawdzenia i bez głębszego wniknięcia w istotę badanego związku. Nic tak nie dorówna pod względem siły przekonania o słuszności wypowiedzanego twierdzenia, jak sprawdzenie się w doświadczeniu przewidywanych zjawisk, jako konsekwencji danego twierdzenia.

Podsumowanie

Podstawową metodą badania w pracy biologów jest indukcyjna metoda badania związków przyczynowych, tj. postępowanie, przy którego pomocy dokonujemy obserwacje i doświadczenia oraz, wychodząc z usta-

lonych tą drogą faktów, formułujemy hipotezy i wreszcie sprawdzamy te hipotezy przy pomocy nowych doświadczeń.

Odpowiednio do podwójnego zadania badań naukowych wyróżniamy dwa rodzaje doświadczeń: doświadczenia obserwacyjne i doświadczenia ścisłe.

Przy pomocy doświadczeń obserwacyjnych rozwiązujemy zadanie: czy istnieje związek przyczynowy? Przy pomocy doświadczeń ścisłych rozwiązujemy zadanie: Jaki jest związek przyczynowy?

Doświadczenia obserwacyjne mają wartość odkrywczą, wyjaśniającą. Dostarczają one materiału do sformułowania hipotezy, ale nie mogą jej uzasadnić przez sprawdzenie, ponieważ sprawdzenie hipotezy polega na wykazaniu, że pozwala ona przewidywać wyniki nowych doświadczeń. Wartość uzasadniająca mają bardzo precyzyjne, ale jednocześnie zawężające doświadczenia ścisłe, w których obserwowany fakt doprowadza się do procesów powtarzalnych, dających się określić ilościowo.

W doświadczeniach obserwacyjnych szukamy przyczyn do danych faktów. W doświadczeniu ścisłym szukamy faktów do danych przyczyn. W doświadczeniu ścisłym przechodzimy łańcuch od przyczyn do skutku w kierunku wynikania, w doświadczeniu obserwacyjnym przebiegamy łańcuch w kierunku przeciwnym od skutku do przyczyny.

Sprawdzenie w doświadczeniu ścisłym ma charakter raczej mechaniczny i odbywa się według ustalonych reguł. Wyjaśnienie w doświadczeniach obserwacyjnych, wiążące luźne fakty w uporządkowaną całość i przejawiające pierwiastek twórczy, nie może kierować się systemem niezawodnych reguł.

Ze względu na to, że doświadczenia obserwacyjne nasuwają tylko domysł uogólnienia, przeprowadzenie doświadczeń obserwacyjnych jest tylko wtedy celowe, gdy stanowią one jeden z etapów w badaniach rozpoczynających pracę nad nowym zagadnieniem. Doświadczenia obserwacyjne mogą być również prowadzone równoległe z doświadczeniem ścisłym, albo nawet po zakończeniu doświadczenia ścisłego, jeżeli wyniki doświadczenia ścisłego nasuną jakieś zagadnienie wymagające głębszego zbadania.

Doświadczenia zaś ścisłe nie są doświadczeniami prowadzonymi w pierwszym etapie badania nad nowym zagadnieniem. Do ilościowego badania związku przyczynowego przystępuje się wówczas, gdy ogólny związek przyczynowy pomiędzy danymi faktami został zaobserwowany.

Związek przyczynowy można uważać za zbadany tylko wtedy, kiedy jest poznany w całej swojej różnorodności, wyjaśniony i może być doświadczalnie odtworzony.

Metody statystyki matematycznej, przy ogromnym ich znaczeniu, nie mogą zastąpić biologicznych metod. Statystyka matematyczna tylko po-

maga biologicznemu badaniu, czyniąc je bardziej dokładnym. Ustalić przyczyny tych albo innych biologicznych zjawisk albo związków między nimi można tylko przy pomocy biologicznego badania.

LITERATURA

1. Ajdukiewicz K.: Zarys logiki, Warszawa 1959.
2. Bevéridge W. I. B.: Sztuka badań naukowych. Przekład Żeromskiego, Warszawa 1960.
3. Brouwer W., Schrimpf C. und Taheri T.: Untersuchungen über die Entwicklung der Ähre und der Bekörnung bei Winterweizen sowie Beeinflussung der Ähre durch verschiedene zeitlich gestaffelte Düngergaben. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 113, Heft 1, 1961.
4. Cochran W. G. and Cox G. M.: Experimental Designs. London 1957.
5. Czeżowski T.: Logika. Łódź 1952.
6. Curtis O. F., Clark D. G.: An Introduction to plant physio'ogy. New York, Toronto, London 1950.
7. Herschel J. Fr. W.: Wstęp do badań przyrodniczych. Przekład Pawłowski. Kraków 1955.
8. Jevons W. St.: Zasady nauki. Przekład Choynowskiego i Gaweckiego. Warszawa 1960.
9. Kotarbiński T.: Kurs logiki dla prawników. Warszawa 1960.
10. Kudriawcewa A. A.: Metodika i technika postanowki polewego opyta na stacjonarnych uczastkach. Moskwa 1949.
11. Łubnicki N.: Logika i metodologia ogólna. Lublin 1946.
12. Łukasiewicz J.: Z zagadnień logiki i filozofii. Warszawa 1961.
13. Primienienije matematycznych metodow w biologii. Izdatelstwo Leningradskogo Uniwersiteta, 1960.
14. Szulc St.: Metody statystyczne. Warszawa 1954.
15. Villee C.: Biology. Philadelphia and London 1957.
16. Wishart and J., Sanders H. G.: Principles and Practice of Field Experimentation. Cambridge 1958.
17. Wojszwillo E. K.: Predmiot i znaczenie logiki. Moskwa 1960.