

TADEUSZ GÓRSKI

*Pracownia Meteorologii i Klimatologii Rolniczej IUNG — Puławy*W SPRAWIE OKREŚLANIA WPŁYWU POGODY  
NA ROŚLINĘ

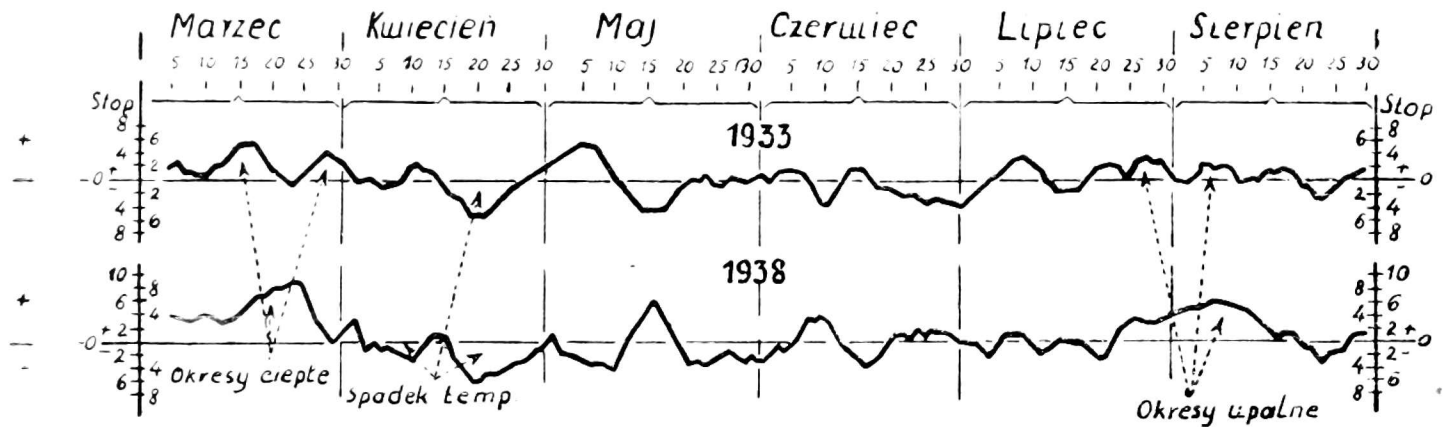
Jednym z ważnych zadań zarówno fizjologii rozwojowej, jak i ekologii, jest wykrycie, opisanie i praktyczne wykorzystanie zależności łączących roślinę z jej środowiskiem. Jeśli wyniki prac nie odpowiadają jeszcze zainteresowaniu i wysiłkom włożonym w rozwiązanie tych problemów, to dzieje się tak głównie dzięki wysokiemu stopniowi skomplikowania wzajemnych stosunków rośliny, czynników atmosferycznych i glebowych. Nauka dąży do poznania tych kompleksowych powiązań stosując dwie równoległe drogi (9): 1) fizjologiczno-doświadczalną; 2) statystyczno-empiryczną. Nie zajmując się, na tym miejscu, wzajemnym stosunkiem obydwóch metod badawczych, warto powtórzyć za Odumem (19): „wydaje się wielce prawdopodobne, że zjawiska przyrodnicze nie mogą być właściwie rozumiane ani dzięki samym tylko obserwacjom terenowym, ani dzięki samemu eksperymentowi, ponieważ każda z tych metod badania jest w pewien sposób ograniczona”.

Drogę fizjologiczno-doświadczalną stosuje przede wszystkim fizjologia roślin. Natomiast dyscypliny środowiskowe, w tym również agrometeorologia, chętniej korzystają z drogi statystyczno-empirycznej, a to ze względu na niemożliwość odtworzenia naturalnego środowiska w warunkach eksperymentu. Jak to wynika z samego określenia, postęp na tej drugiej drodze zależy z jednej strony od ulepszania bądź wprowadzania nowych metod statystycznych, a z drugiej strony od podniesienia na wyższy poziom zasad i techniki spostrzeżeń terenowych.

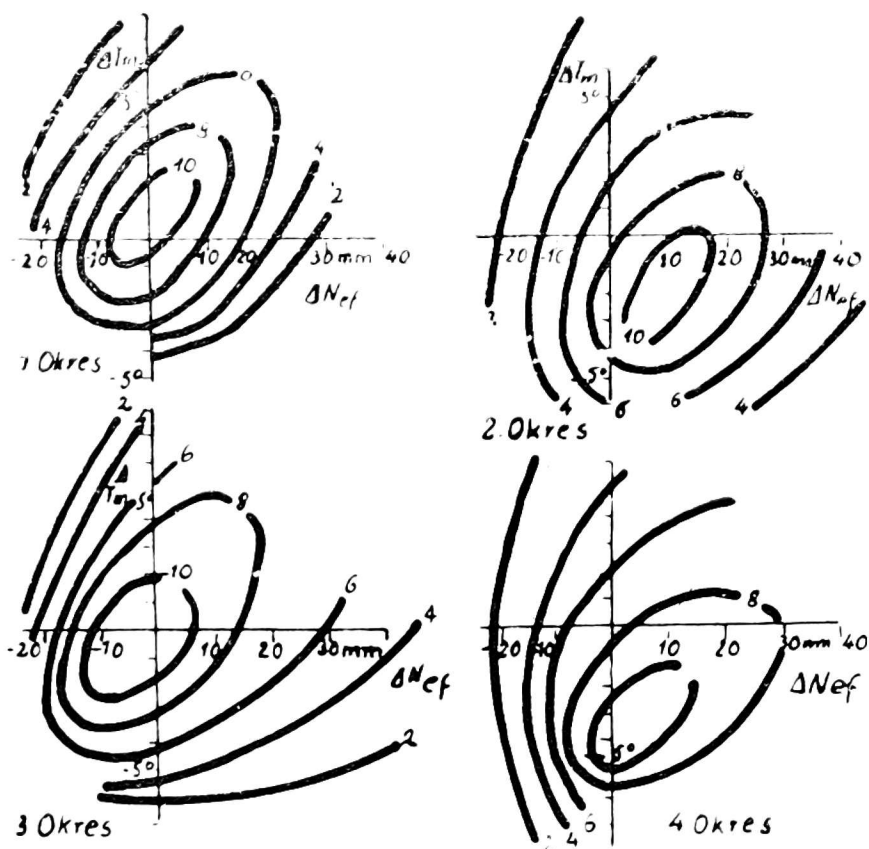
Na polu powiązań rośliny z pogodą i klimatem działało w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat wiele metod, kierunków i szkół badawczych. Wydaje się, że większość z nich można by sklasyfikować w trzech grupach, które, dość umownie, można nazwać metodą graficzną, metodą regresji i metodą ekwiwalentów meteorologicznych.

Kierunek korzystający z metody graficznej, reprezentowany przez H. Baumanna i jego szkołę, stara się określić wpływ pogody na plon roślin uprawnych, korzystając z założenia, że na plon wpływa przebieg najważniejszych elementów meteorologicznych (temperatury i opadów) przede wszystkim w pewnych wybranych okresach. Okresy te znajdowane są

przez graficzne porównanie przebiegów pogody w latach urodzajnych i złych. Rys. 1 przedstawia przebieg temperatury w dwóch latach o rekordowych plonach zbóż. Na uniknięcie trudności w ilościowym interpretowaniu tak przedstawionych zależności pozwala modyfikacja metody wprowadzona przez K. Zillmanna. Polega ona na przedstawieniu optymalnych warunków termicznych i opadowych w formie izoplet. Wartości izoplet nazwał Zillmann „liczbami pogody” (Wetterzahlen). Średnia liczba pogody z kilku wybranych okresów ma określać wysokość plonu (rys. 2 i 3).



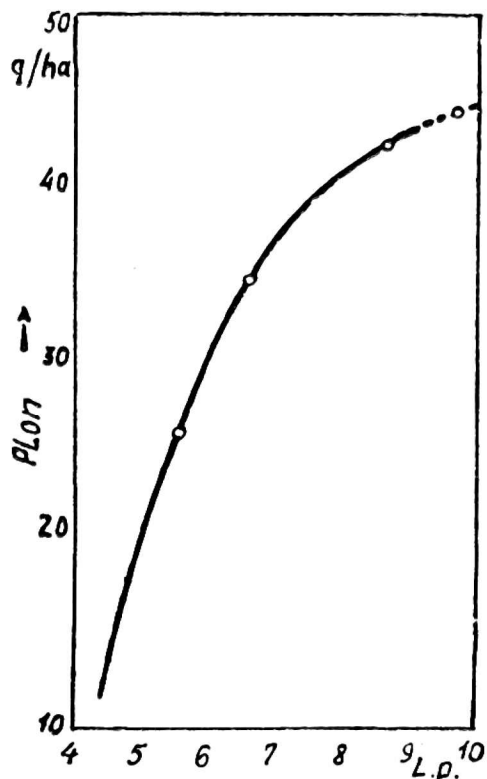
Rys. 1. Przebieg temperatury (średnie dobowe konsekwentne) w latach o rekordowych plonach zbóż (z H. Baumann, 1961). Na osi rzędnych odchylenia od średnich wieloletnich



Rys. 2. Liczby pogody dla żyta ozimego (z K. Zillmann, 1959). Między wiosennym ruszeniem vegetacji a kłoszeniem wyróżniono 4 okresy.  $\Delta T_m$  oznacza odchylenia temperatury od średnich wieloletnich, a  $\Delta N_{ef}$  odchylenia opadów efektywnych

Aczkolwiek pierwsze próby użycia współczynnika korelacji sięgają okresu, w którym statystyka matematyczna stworzyła wspomnianą metodę, za pioniera zastosowań w agrometeorologii uważa się W. Brouwera,

który pierwszy związał pogodę z okresami fenologicznymi, a nie kalendarzowymi. Brouwer wyliczał współczynniki korelacji pomiędzy elementami meteorologicznymi w poszczególnych fazach rozwojowych a plonem końcowym. W tabeli 1 przedstawiono próbkę wyników takich obliczeń dla pszenicy ozimej.



Rys. 3. Zależność plonu od średniej liczby pogody (L. p.) (z K. Zillman, 1959)

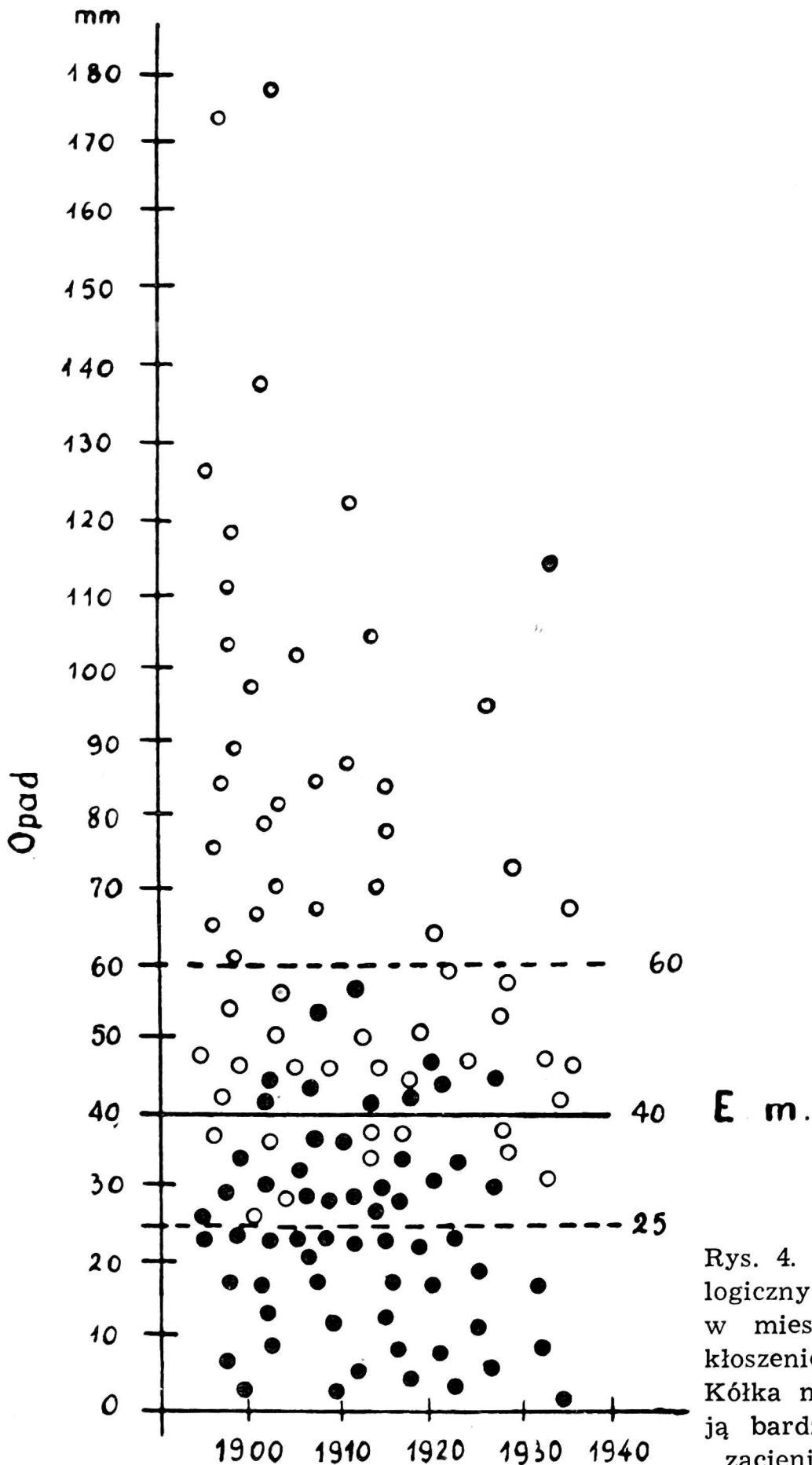
Sam współczynnik korelacji daje wskazówki pozwalające znaleźć okresy krytyczne i stopień determinowania plonu przez pogodę. Ilościowe zależności między elementami pogody a plonem określa współczynnik regresji, do którego od współczynnika korelacji już krok. Metodę korelacji i regresji stosowało wielu badaczy, z różnym zresztą powodzeniem.

Tabela 1

Okres	Współczynniki korelacji		
	opad	średnia temp.	uśonecznienie
21—30 dni przed kwitnieniem	+0,078	—0,257	—0,042
11—20 „ „ „	—0,200	—0,067	+0,176
1—10 „ „ „	+0,024	+0,326	+0,434
Kwitnienie (10 dni)	—0,196	—0,104	+0,254
1—10 dni po kwitnieniu	—0,625	—0,218	+0,006

Oryginalną metodę wiązania pogody z plonem stworzył G. Azzi. Korzystając z wielkiej liczby obserwacji, wprowadził tzw. ekwiwalenty meteorologiczne, stanowiące ilościowo określoną granicę między dobrymi i złymi dla plonu wartościami elementów meteorologicznych (głównie opadów

w wybranych okresach krytycznych). Najważniejszą zaletą tej metody jest to, że nie opierając się na średnich wieloletnich, lecz uwzględniając częstotliwość występowania poszczególnych przypadków, może być z powodzeniem stosowana w pracach rejonizacyjnych. Rys. 4 przedstawia ekwiwalent meteorologiczny suszy w okresie krytycznym dla pszenicy.



Rys. 4. Ekwiwalent meteorologiczny suszy dla pszenicy w miesiącu poprzedzającym kłoszenie. (z G. Azzi; 1956). Kółka niezacienione oznaczają bardzo wysokie urodzaje, zacienione — bardzo niskie



Jest rzeczą jasną, że każda z tych metod wnosi swój wkład w zrozumienie opracowywanych problemów. W każdym wypadku stosowanie odmiennych metod może być użyteczne, nawet jeśli problem, materiał lub tradycje szkoły preferują wyraźnie jedną z nich.

Wydaje się jednak, że szczególnie obiecująca jest metoda regresji, na co składają się następujące przyczyny:

- a) łatwość wyrażania stosunków ilościowych;
- b) wyższy stopień zbliżenia — poprzez funkcję — do zależności przyczynowych;
- c) stosunkowo łatwa weryfikacja hipotez, dzięki stworzonemu przez statystykę aparatowi testów;
- d) szybki rozwój teorii statystyki matematycznej.

Oczywiście metoda regresji ma również swoje słabe strony, polegające na trudnościach zaadaptowania częstotliwości występowania czynników meteorologicznych w określonych przedziałach, czego unika metoda ekwiwalentów, oraz na pracochłonności żmudnych obliczeń, czego ustrzegły się metody graficzne. Ta ostatnia trudność stała się zresztą względną, dzięki elektronicznym maszynom liczącym.

Zastosowanie metody regresji powoduje wprowadzenie do ekologii nie-raz dość skomplikowanego aparatu matematycznego. Aczkolwiek panuje powszechna zgoda co do tego, że korzystanie z metod ilościowych charakteryzuje wyższy etap rozwojowy każdej nauki przyrodniczej, rola zastosowań matematycznych — w tym wypadku biometrii — jest bardzo rozmaicie określana. Obok głosów nader entuzjastycznych, spotyka się opinie odmawiające wręcz biometrii wartości poznawczych<sup>1</sup>. Odpowiadają tym rozbieżnościom rozmaite postawy praktyczne, od takich, które pozwalają stosować dane statystyczne tylko jako ilustrację wydedukowanych pozastatystycznie zależności, do takich, dla których wzór matematyczny staje się wszechogarniającym „prawem”. Wydaje się, że zadania wyznaczone biometrii w pierwszym wypadku są zbyt skromne, natomiast druga postawa może przywieść do poważnych błędów. Motyka (17) na marginesie omówienia „prawa działania czynników wzrostu” Mitscherlicha, pisze: „Zbyttnia ufność w matematyczne wzory powoduje w biologii często więcej ujemnych skutków niż korzyści, gdyż zawsze upraszcza zjawiska bardzo złożone. Nie znaczy to jednak, aby zasada względności i równanie Mitscherlicha nie miały wartości. Należy je ujmować jako podstawę do

---

<sup>1</sup> K. Mather pisze: „Być może, iż nasi potomkowie będą kiedyś mówili o biometrii, że dla myślenia indukcyjnego zrobiła to samo, co geometria Greków przed dwoma tysiącami lat dla myślenia dedukcyjnego i że nauka biometrii jest tak samo ważna dla pełnowartościowego wykształcenia, jak geometria”. (podają za O. Heinisch (10). Zaś H. Baumann: „... widzę biometrię raczej jako metodę wykorzystującą (Auswertungsmethode) i przedstawiającą, a nie badawczą”. (3).

bardziej szczegółowego rozpatrywania zjawisk". B. Jastremski, krytykując próby przeceniania informacji dostarczonych przez rachunek korelacyjny, pisze: „Może ona (korelacja) służyć jedynie jako narzędzie mierzenia” (podaję za Marszałkowicz (15). Prawdopodobnie określenie: „narzędzie mierzenia” można uogólnić na całą biometrię: mimo pozorów, nie umniejsza ono jej znaczenia. Wprowadzenie odpowiednich narzędzi pomiarowych nie zastąpi logicznego myślenia, ale jest bardzo często koniecznym warunkiem postępu.

Oczywiście, jak każde narzędzie, biometria ma również własne granice zastosowań. O nich pisze Rundfeldt (24): „Granice biometrii wynikają z niemożliwości otrzymania większej ilości informacji, niż zawiera ich eksperyment. Także wnioskowanie o przyczynowości wyłącznie na podstawie istnienia zależności statystycznych nie jest dopuszczalne”.

Fakt, że nie można z eksperymentu wyciągnąć więcej informacji niż ten ich zawiera, zmusza do stosowania odpowiednio licznych próbek populacji o cechach zmieniających się w odpowiednim zakresie.

Sprawa powiązania przyczynowego stwierdzonych statystycznie zależności wykracza, być może, poza zakres agrometeorologii. Tym niemniej, warto wskazać na pewne prawidłowości, znane zresztą od dawna, których znajomość pozwoli uniknąć poważniejszych błędów interpretacji. Ponieważ najbardziej interesująca wydaje się być metoda regresji, warto omówić te prawidłowości na jej przykładzie.

Przypisywanie zależnościom statystycznym, określającym regresję, powiązań przyczynowych opiera się na tzw. trzecim kanonie Milla: „jeżeli zmienność natężenia danego czynnika wywołuje równoległą zmienność skutku, to czynnik ten jest przyczyną” (cytuję za Wilsonem, 28). Stąd też niedostatki przyczynowej interpretacji regresji są analogiczne do niedostatków kanonu. W literaturze statystycznej cytowane są często przypadki, w których uzyskiwano korelacje absurdalne z punktu powiązania przyczynowego. Tak np. stwierdzono, że pożary niszczą więcej zabudowań, jeśli do ich gaszenia użyto pomp strażackich (11). Stare statystyki wykazały korelację dodatnią między obecnością lekarzy przy porodach a procentem martwourodzonych dzieci (11). Gdzie indziej stwierdza się korelację ujemną między wysokością plonów a liczbą pożarów (11) oraz między liczbą radioabonentów a liczbą urodzeń (10).

We wszystkich rozpatrywanych przypadkach wystąpiła pozorna korelacja, ponieważ obydwie korelowane cechy zależne były od trzeciej cechy, mającej powiązanie przyczynowe z dwiema pierwszymi. W pierwszym przypadku tą cechą jest „natężenie pożaru”, w drugim „stan matki”, w trzecim „ilość opadów”, a w czwartym trudne do sformułowania zjawiska socjologiczne. Jeśli ta wspólna cecha jest mierzalna, tak jak w przypadku trzecim, można łatwo uwolnić korelację od jej wpływu stosując

znane w statystyce metody; gorzej jest wówczas, kiedy nie można jej wyrazić liczbowo.

W każdym z rozpatrywanych przypadków otrzymane statystycznie zależności były oczywiście absurdalne, co pozwoliło uniknąć błędnych uogólnień. Jeśli natomiast odkryte związki nie są niewiarygodne, prawidłowa weryfikacja przyczynowości jest bardzo trudna, ponieważ cecha wspólna może nie być brana pod uwagę, a co więcej — może być w ogóle nieznaną. Podobnie błędne interpretacje mogą występować w agrometeorologii dość często. Np. stwierdzone korelacje ujemne między temperaturą maja a wysokością plonów niekoniecznie świadczą na niekorzyść temperatury: może ona być bez znaczenia (w określonym przedziale), a właściwą przyczyną może być opad, skorelowany w maju ujemnie z temperaturą.

Podobne niebezpieczeństwo przedstawiają oczywiście, tym niemniej spotykane błędy metodyczne. Można by je podzielić na trzy grupy:

1. Błędy wynikłe z korelowania bezwzględnych wartości cech z populacji o niejednakowej liczebności. W ten sposób może wystąpić korelacja dodatnia między liczbą radioabonentów a liczbą zachorowań na gruźlicę w poszczególnych województwach, lub między liczbą bocianów a liczbą urodzeń w powiatach (obydwa przykłady z Perkala (21)).

2. Również stosowanie wartości względnych (na 1000 mieszkańców, na 1 ha) powoduje wystąpienie korelacji pozornej, wynikłej z dzielenia obydwóch wartości korelowanych cech przez tę samą liczbę. Sprawa korelacji między ilorazami o wspólnych mianownikach była wielokrotnie rozpatrywana (15).

W obydwu wypadkach można uwolnić się od korelacji pozornej przez wprowadzenie liczebności grup jako trzeciej zmiennej.

3. Włączenie do próbki szeregów pochodzących z dwóch, lub większej liczby niejednorodnych populacji, również może spowodować wystąpienie korelacji pozornej. Jeśli np. włączy się do próbki dane dotyczące dwóch odmian pszenicy, z których jedna jest wysoka i ma duży ciężar jednostkowy ziarna, a druga jest niska i o drobnym ziarnie, to łatwo można znaleźć korelację dodatnią między wysokością pszenicy w fazie kwitnienia a ciężarem 1000 ziarn. Rozpatrując dwie inne odmiany, można oczywiście uzyskać korelację ujemną. Sprawą korelacji niehomogeniczności (Inhomogenitätskorrelation) zajmuje się obszernie Heinisch (10). Wydaje się, że takich wypadków można ustrzec się, przeprowadzając analizę rozkładu cech.

Wszystko to, co napisano powyżej, świadczy dostatecznie jasno, że znalezienie korelacji w żadnym wypadku nie przesądza istnienia zależności przyczynowych. Tym niemniej, występowanie korelacji może być cenną wskazówką, pozwalającą doszukać się przyczynowości przy wykorzystaniu wiadomości pozastatystycznych.



Zarówno określone wyżej granice możliwości biometrii, jak i historia dotychczasowych prób stosowania metod matematycznych w biologii, przemawia wyraźnie za tym, że przynajmniej na obecnym etapie rozwoju nauk biologicznych zadaniem biometrii nie powinno być tworzenie „praw”, aczkolwiek jest ona — jako instrument — bez wątpienia bardzo użyteczna w procesie poznania. Wynika z tego, że biometria powinna podporządkować się zasadom przyrodniczym, jeśli jej zadanie ma być spełnione. Aby wykorzystać z pożytkiem aparat matematyczny, należy zdawać sobie sprawę z ogólnych, już poznanych zasad i prawidłowości, kierujących zjawiskami i procesami w biologii. Aczkolwiek zasady biologiczne nigdy nie bywają tak ściśle, jak w naukach zajmujących się przyrodą nieożywioną, niektóre z nich mają bez wątpienia uniwersalny charakter.

Ponizej zestawiono te zasady, które mogą być użyteczne w ekologii i które w świetle dotychczasowych postępów tej nauki przeszły należyłą weryfikację. Ich przegląd, być może, pozwoli wyciągnąć praktyczne wnioski dotyczące stosowania tych czy innych metod statystycznych.

### *1. Zasada czynników ograniczających*

Twierdzenie o zależności organizmu od czynnika znajdującego się w środowisku w ilościach niedostatecznych zostało po raz pierwszy sformułowane jasno przez Liebiga w 1840 r. i znane jest powszechnie jako tzw. „prawo minimum”. Aczkolwiek w ujęciu Liebiga dotyczyło ono wyłącznie substancji pokarmowych, wielu badaczy obejmowało jego zasięgiem także czynniki klimatyczne (19). Rozwój ekologii wykazał, że koncepcja Liebiga stanowi tylko pewne przybliżenie istniejących relacji, przez co straciła ona swój uniwersalny charakter „prawa”.

Niedostatki „prawa minimum” sprowadzają się do dwóch aspektów:

a. Czynniki środowiskowe wywiera ograniczający wpływ na roślinę nie tylko wówczas, gdy występuje w niedostatecznej, ale także wtedy, gdy w nadmiernej ilości. Słuszniej więc byłoby mówić — przez analogię — o „prawie ekstremum”. V. E. Shelford sformułował w 1913 r. „prawo tolerancji” : „Niewystępowanie albo degradacja biologiczna organizmu mogą być wywołane brakiem lub nadmiarem — tak pod względem ilości, jak i jakości — któregośkolwiek z czynników bliskich granic tolerancji tego organizmu” (podaję za Odumem, 19). Na podstawie „prawa minimum” i „prawa tolerancji” Odum wyprowadził koncepcję czynników ograniczających: „czynnik, który zbliża się do granic tolerancji gatunku, lub je przekracza, nazywamy warunkiem ograniczającym, lub czynnikiem ograniczającym”, „Istotna wartość koncepcji czynników ograniczających polega na tym, że stwarza ona ekologowi możliwość badania złożonych sytuacji” (19). To ostatnie stwierdzenie ma fundamentalne znaczenie dla metodyki badań.

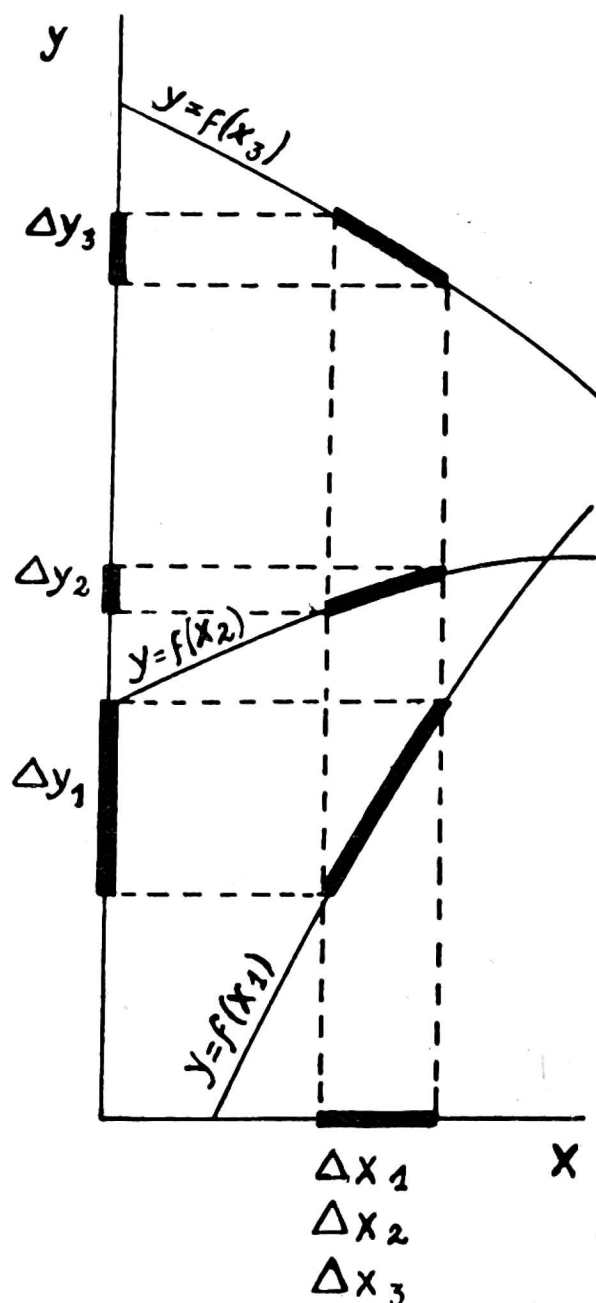
W biologii, jak również w praktyce rolniczej, zasada ta jest na tyle zrozumiała, że — jak się wydaje — nie ma potrzeby przytaczania przykładów dla jej poparcia. Z prawa tolerancji wynika, że każdy czynnik może mieć trojakić znaczenie ekologiczne: ograniczające z powodu niedoboru, ograniczające z powodu nadmiaru i optymalne w tym przedziale, w którym zmiany natężenia czynnika mają względnie mniejsze znaczenie. W ten właśnie sposób definiuje optimum ekologiczne Daubenmire (7): „każdy gatunek rośliny ma maksymalną i minimalną tolerancję względem temperatury, a gdzieś pomiędzy tymi ekstremami leży przedział, w którym zmiany temperatury mają względnie mniejsze znaczenie dla przeżycia; ten przedział jest przedziałem optymalnym...”. Podział wpływu czynnika na dwa przedziały ograniczające i jeden optymalny jest zawsze w pewnym stopniu subiektywny. Dlatego też najlepiej znaczenie ekologiczne czynnika przedstawiać w formie funkcji ciągłej. W takim wypadku optimum można określić jako ekstremum funkcji. Postać funkcji może być w poszczególnych przypadkach dość rozmaita. W dyskusji, jaka rozwinęła się wokół „prawa” i wzoru Mitscherlicha, wyprowadzono najróżniejsze typy funkcji niższych i wyższych rzędów (23). W oparciu o jej wyniki można sformułować następujące twierdzenia:

I. funkcja jest niemonotoniczna.

II. w każdym przypadku funkcja jest tylko lepszym lub gorszym przybliżeniem rzeczywistych zależności, nie wyraża natomiast obiektywnego „prawa” — a skoro tak, nie ma powodu odrzucać twierdzenia, że:

III. schematycznie można przedstawić funkcję w jej najprostszej postaci — jako parabolę.

b. Oprócz czynnika w minimum lub w maksimum („Grenzgebieten” u Lundegardha) na roślinę oddziałują także inne czynniki, aczkolwiek tym słabiej, im bardziej zbliżają się do optimum. Stwierdzili to jasno zarówno Lundegardh (14) formułując swoją „zasadę



Rys. 5. Zmiany czynnika ( $\Delta x$ ) mają tym mniejsze znaczenie ekologiczne ( $\Delta y$ ) im bardziej zbliża się on do optimum

względności”, jak i Mitscherlich (18). Schematycznie oddziaływanie czynników ekologicznych przedstawia rys. 5.

## 2. Zasada kompleksowego działania czynników

W kompleksowym oddziaływaniu środowiska można wyróżnić dwa aspekty:

a. Zmiana jednego czynnika ekologicznego wywołuje bardzo często zmiany innych czynników. Tak np. zwiększenie dopływu energii słonecznej wpływa na stosunki termiczne i wodne środowiska. Zmiany stanu wilgotności gleby oddziałują na stosunki termiczne, a także na stopień koncentracji roztworów glebowych. Również roślina staje się czynnikiem ekologicznym zmieniając stosunki środowiskowe. Wydaje się, że ta strona kompleksu przysparza względnie mniej trudności w badaniach<sup>2</sup>.

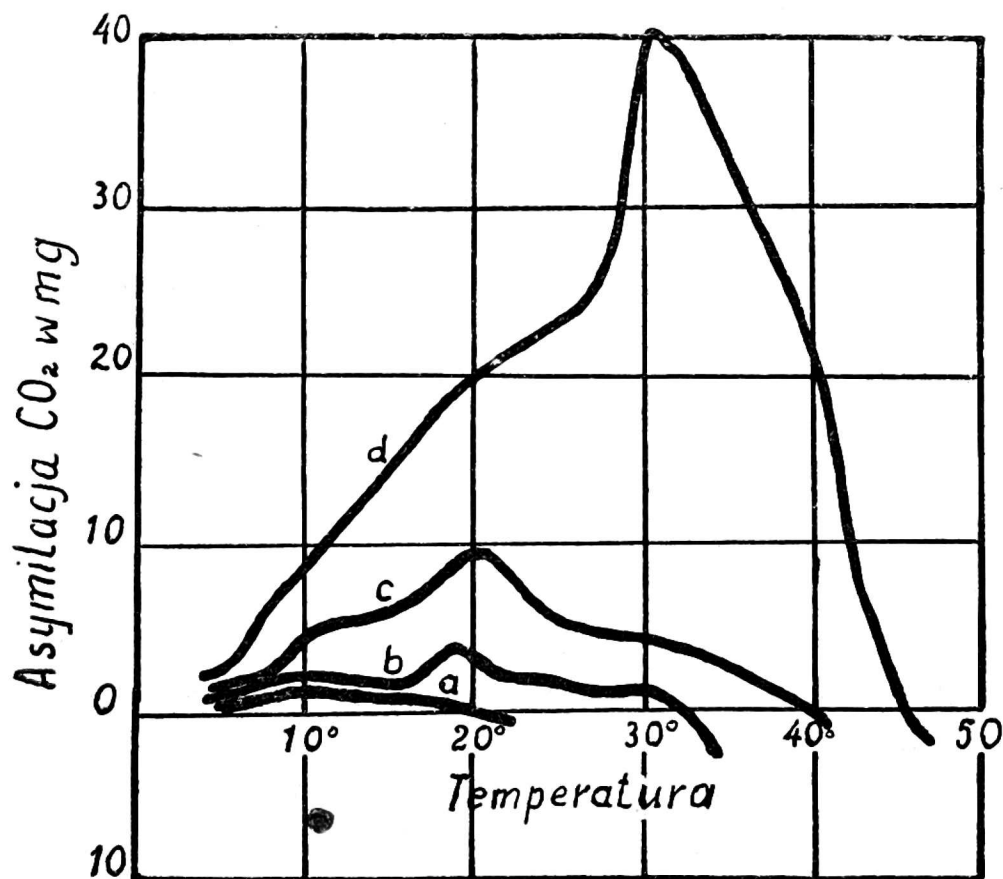
b. Nieporównanie trudniejsze do określenia są kompleksowe zależności istniejące między czynnikami środowiska a dynamiką rozwojową rośliny, będącą wyrazem procesów fizjologicznych. Trudność polega przede wszystkim na tym, że granice tolerancji organizmu w stosunku do jednego czynnika zmieniają się wraz ze zmianą innych czynników. Daubenmire (7) pisze: „Drugą ważną zasadą ekologiczną, odkrytą krótko po wejściu w użycie ilościowych metod określania środowiska, polega na tym, że minimalne, optymalne i maksymalne natężenia każdego czynnika nie są stałe, lecz zmieniają się stosownie do innych warunków, w których żyje organizm”. Rippel i Meyer (23) mówią o „Maximalverschiebung” mając na myśli przesunięcie optimum czynnika ekologicznego spowodowane zmianą innego czynnika. Paczoski (20), rozpatrując uszkodzenia mrozowe drzew, stwierdza, że: „Nawet przy zupełnie określonym genotypie nie można sobie stawiać pytania, przy jakiej mianowicie temperaturze dany gatunek czy odmiana zostaną od zimna uszkodzone. Temperatura wystarczająca do zabicia rośliny w pewnym kompleksie czynników może być nieszkodliwa, o ile kompleks ten będzie odpowiednio zmieniony”. Szennikow (26) pisze: „Każdy czynnik ekologiczny działa rozmaicie na tę samą roślinę, zależnie od kombinacji z innymi czynnikami”. Przytaczanym często w literaturze przykładem omawianych zależności są krzywe Lundegardha, przedstawiające asymilację jako funkcję temperatury, światła i natężenia CO<sub>2</sub> (rys. 6).

Niestety, zmienność granic tolerancji nie zawsze jest należycie uwzględniana w badaniach ekologicznych, co prowadzi często do nieprawdziwych uogólnień. Mitscherlich, wyprowadzając swoje „prawo działania czynników wzrostu”, pisze (18, str. 167): „Jeśli chcemy badać zależność wyso-

<sup>2</sup> R. F. Daubenmire (7) pisze: „środowisko jest wysoce kompleksowe i zintegrowane, ale to nie powinno być powodem do rozpacz, ponieważ środowiska są, mimo wszystko, prawdopodobnie mniej kompleksowe niż organizmy”.



kości plonu rośliny od jednego z glebowych czynników wzrostu, musimy — jak widzieliśmy — podczas całego okresu wegetacyjnego wszystkie inne czynniki wzrostu utrzymywać na stałym poziomie. Jak wysoko przy tym ustalimy poziom któregokolwiek z nich, jest samo przez się obojętne...”. Nie będziemy dalecy od prawdy, stwierdzając, że to drugie zdanie odpowiada rzeczywistości tylko wówczas, jeśli potraktujemy je jako bardzo grube przybliżenie (być może, w szczególnych warunkach dopuszczalne). Prawdopodobnie pewną rolę w oporach, z jakimi przyjmowana



Rys. 6. Zależność asymilacji od temperatury, światła i stężenia CO<sub>2</sub> (Wg H. Lundegardh): a — przy bardzo słabym świetle i bardzo małym stężeniu CO<sub>2</sub> (krzywa hipotetyczna); b — przy 1/25 pełnego światła i 0,03% CO<sub>2</sub>; c — przy pełnym świetle i 0,03% CO<sub>2</sub>; d — przy pełnym świetle i 1,22% CO<sub>2</sub>.  
Przykład korelacji sprzężonej

jest zasada zmienności granic tolerancji w zależności od poziomu innych czynników, odgrywa powszechnie przyjęta w doświadczeniach wazonowych praktyka badania wpływu jednego czynnika przy utrzymywaniu innych czynników na ustalonym poziomie, która sama przez się jest oczywiście konieczna i płodna. Należy pamiętać, że zależności odkryte w tego rodzaju doświadczeniach są ważne tylko dla warunków, w jakich zostały przeprowadzone. Jakakolwiek ekstrapolacja (tzn. próba wyciągnięcia informacji, których eksperyment nie zawiera) jest zawsze niebezpieczna; często również interpolacja.

Wydaje się, że wnioski płynące z zasady zmienności granic tolerancji znalazły pełny wyraz w stwierdzeniu Azzi'ego (1): „Działanie każdego czynnika na roślinę musi być starannie badane, a efekt któregośkolwiek z nich mierzony jako funkcja wszystkich innych czynników”.

### 3. Zasada zmienności granic tolerancji w cyklu życiowym rośliny

Znajomość tej zasady jest powszechnie ugruntowana. Niekiedy granice tolerancji (i optimum) przesuwają się bardzo znacznie. Tak np. Pisek i Schiessl stwierdzili, że w Tyrolu świerk ginie w końcu sierpnia w temperaturze poniżej  $-8^{\circ}\text{C}$ , natomiast w zimie znosi  $-38^{\circ}\text{C}$  (podaję za Motyką, 17). Daubenmire (7) podaje, że pszenica jest zupełnie odporna na suszę, dopóki koleoptyl nie przekracza 3—4 mm długości, lecz później odporność ta spada bardzo wyraźnie. Optymalne temperatury dla tulipana zmieniają się w cyklu rocznym od  $8^{\circ}\text{C}$  do  $23^{\circ}\text{C}$  (7). Według Luyten, Versluys i Blaauw'a optymalne temperatury dla wytworzenia kwiatów u hiacynta zmieniają się w ciągu  $2\frac{1}{2}$  miesiąca od  $34^{\circ}\text{C}$  do  $17^{\circ}\text{C}$  (podaję za Junges, 12).

Szczególnie interesujące dla ekologii są przypadki, kiedy zakres tolerancji zwięża się, bądź też przesuwa w kierunku wartości rzadziej spotykanych w środowisku. Okresy, w których takie przypadki występują, noszą nazwę okresów krytycznych. Według Azzi'ego okresem krytycznym względem temperatury jest faza tworzenia kwiatów i zapylania. Molga (16) pisze, że jęczmień uprawiany w Polsce jest bardzo wrażliwy na temperaturę w okresie 3—4 tygodni po skiełkowaniu. W stosunku do wody krytyczne są fazy, w których ma miejsce najszybszy wzrost roślin; u zbóż obejmuje on mniej więcej miesięczny okres przed kłoszeniem. Listowski (13), dzieląc „wielki okres krytyczny” u zbóż na „małe okresy krytyczne”, stwierdza: „Każdy z tych „małych okresów” ma własne optimum w stosunku do potrzeb rośliny . . .”.

Nie tylko w cyklu rocznym, lecz również w dobowym, rośliny zmieniają swoje wymagania. Jak to wykazały doświadczenia Wenta (29), optymalne temperatury w ciągu dnia różnią się nieraz bardzo znacznie od optymalnych temperatur nocnych.

### 4. Zasada działania następczego

Bodajże najwięcej trudności w wykrywaniu istniejących związków przysparza fakt, że w późniejszych fazach rozwojowych mogą odbić się warunki, w jakich roślina przebywała w poprzednich fazach, niekiedy nawet dość odległych. Działanie następcze może się wyrażać za pośrednictwem środowiska, bądź za pośrednictwem rośliny.

W pierwszym wypadku zależności są stosunkowo prostsze: w ten sposób opady zimowe lub wczesnowiosenne warunki ewaporacyjne mogą wpływać na zapas wody w glebie w okresie krytycznym.

W drugim wypadku działania następcze bywają często bardzo skomplikowane; interpretacja ich mechaniki nie jest łatwa. Oprócz, prawdopodobnie, pewnych reakcji przystosowawczych, istnieją tu jeszcze inne mechanizmy.

Kilka przykładów: Azzi (1) pisze o zbożach: „jeśli potrzeby (wodne) rośliny zostaną zaspokojone podczas okresu krytycznego, roślina może użytkować dalsze dawki wody aż do zżółknięcia źdźbła. Kiedy zaś wilgotność gleby podczas okresu krytycznego spadnie poniżej punktu wędnięcia, roślina jest niezdolna do zużytkowania dawek wody dostarczonych do jej dyspozycji po okresie krytycznym”. Baumann (3) stwierdza, że jęczmień jary w okresie tworzenia pierwszego kolanka transpiruje tym silniej, im niższa była wilgotność względna powietrza w okresie poprzedzającym. Tumanow pisze, że u roślin, które przeszły kilkakrotne wędnięcie, każde następne wędnięcie wywoływało coraz mniejsze zaburzenia w rozwoju rośliny i gromadzeniu suchej masy (podaję za Listowskim, 13). Filewicz, pisząc o zimie 1928/29 stwierdza, że „wszystkie drzewa renety landsberskiej, które owocowały w 1928 r., zginęły, gdy prawie wszystkie, które wówczas zupełnie nie owocowały — utrzymały się przy życiu, chociaż, jak jedne tak i drugie rosły w tych samych warunkach glebowych i uprawowych”. (podaję za Paczoskim, 20). Daubenmire (7) pisze: „stwierdzono u *Pinus resinosa*, że wzrost liniowy pnia odzwierciedla silnie warunki poprzedniego sezonu...”.

Wreszcie najliczniejsze przykłady można by znaleźć w doświadczeniach jarowizacyjnych.

Niekiedy działanie następcze zależne jest od zaistnienia jakiegoś, choćby bardzo ograniczonego w czasie, bodźca środowiskowego, tzw. „wyzwalacza” lub „sygnału” (Odum). Odum (19) pisze, że wiele nasion roślin pustynnych zawiera inhibitor, który musi być wypłukany, aby nasienie zaczęło kiełkować. W tym wypadku rolę „sygnału” pełni określona suma opadu (około 15 mm).

Istnieje jeszcze jeden aspekt działania następczego, o którym Daubenmire (7) pisze: „inny aspekt tego problemu, jeden z tych, które często wpływają na wnioski w pracy eksperymentalnej, polega na zjawisku, które było rozmaicie opisywane jako zmęczenie, przystosowanie protoplazmatyczne, uwarunkowanie fizjologiczne, albo po prostu jako czynnik czasu”. I dalej: „Tak więc, jeśli roślina zostanie umieszczona w bardziej sprzyjających warunkach termicznych, jej szybkość wzrostu może być zwiększona do stopnia, który nie może być utrzymywany dłużej niż kilka godzin”.

## 5. Zasada rozdzielnego traktowania zjawisk rozwojowych i wzrostowych

Warunki, w których roślina przechodzi najszybciej swój pełny cykl rozwojowy, rzadko bywają optymalne dla wzrostu i plonu. Co więcej, w niektórych wypadkach można zaobserwować wyraźny antagonizm między szybkością rozwoju a plonem. W naszych warunkach taki „antagonizm” występuje szczególnie często między szybkością rozwoju zbóż w fazie dojrzewania a plonem nasion, ponieważ ciężar jednostkowy ziarna koreluje się dodatnio z długością okresu wypełniania ziarna. Z reguły ujemna korelacja istnieje między szybkością rozwoju a plonem masy wegetatywnej; szczególnie wyraźnie potwierdzają to doświadczenia z fotoperiodyzmem. Azzi podaje, że pewna równikowa odmiana kukurydzy, przeniesiona z Brazylii do Włoch, osiągnęła wysokość siedmiu metrów, mimo że nie mogła dojrzeć. W Stanach Zjednoczonych ta sama odmiana tytoniu jest uprawiana w innych regionach na liście, a w innych na nasiona.

Z tych właśnie powodów powszechnie rozróżnia się optymalny (dla plonu) rozwój od rozwoju najszybszego.

## 6. Zasada odmienności zachowania się ekotypów

Przyjmuje się na ogół, że podział na florystyczne jednostki systematyczne nie wystarcza dla sklasyfikowania relacji zachodzących między rośliną a środowiskiem. W obrębie tego samego gatunku spotyka się odmiany bardzo znacznie różniące się swoimi wymaganiami. W tym znaczeniu populacja „*Triticum vulgare*” czy „*Solanum tuberosum*” jest niehomogeniczna. Dlatego też porównywać można tylko ekotypy (które, być może, dla większości roślin wolno identyfikować z odmianami). Oczywiście, dla specjalnych celów można niekiedy przyjąć w charakterze hipotezy roboczej, że różnice wewnątrzgatunkowe są na tyle małe, iż nie zaciemniają poszukiwanych dla gatunku ogólnych prawidłowości.

Korzystając z powyższego przeglądu ogólnych zasad, można przystąpić do formułowania wniosków, pozwalających właściwie wykorzystać materiał meteorologiczny i roślinny oraz metody statystyczne.

Z zasady zmian granic tolerancji w cyklu życiowym rośliny wynika konieczność przeprowadzania dokładnych obserwacji rozwojowych i pomiarów wzrostu rośliny. Być może, że w poszczególnych przypadkach, szczególnie z roślinami o krótkim cyklu rozwojowym, można uzyskać istotne choć nie wysokie korelacje między ich plonem a niektórymi czynnikami środowiska. Tego rodzaju opracowania, choć mogą być użyteczne dla niektórych praktycznych celów, wnoszą tylko ograniczony wkład w zrozumienie prawidłowości kierujących życiem rośliny. U roślin o dłuższym i bardziej skomplikowanym cyklu jest rzeczą konieczną traktować inaczej każdą główną fazę rozwojową. Taki sam plon jakiegokolwiek upra-



wy może być wynikiem zupełnie odmiennych przebiegów pogody, których odpowiednikiem są raczej elementy struktury plonu, niż jego wysokość bezwzględna. Tak np. w dwóch z gruntu odmiennych latach, jakimi były rok 1962 i 1963, uzyskano na polu ustalonym w Puławach prawie identyczne plony ziarna jęczmienia jarego. Powierzchniowa analiza wykazałaby, że przebieg pogody zupełnie nie wpływa na plon, z czym oczywiście nie można się zgodzić, ponieważ w ogromnej ilości doświadczeń zmienność „między latami” jest najbardziej istotna. Analiza elementów struktury plonu (tabela 2) wykazała ich wysokie zróżnicowanie (z wyjątkiem ciężaru 1000 ziarn).

Tabela 2

Rok	Liczba kłosów na 1 m <sup>2</sup>	Liczba ziarn w kłosie	Ciężar 1000 ziarn	Plon ziarna q/ha
1962	370	21,1	41,0	32,0
1963	469	16,8	41,0	32,3

Azzi pisze: „dane fenologiczne i daty rozmaitych faz wegetacyjnych od siewu (lub pączkowania) do dojrzewania są integralną częścią informacji potrzebnych do określenia przyrodniczych i agrotechnicznych czynników wpływających na plon roślin uprawnych”. Aczkolwiek, jak wyżej wspomniano, również materiał fragmentaryczny może być niekiedy z pożytkiem wykorzystany, zrozumienie zależności łączących roślinę ze środowiskiem może być osiągnięte tylko przy pomocy pełnowartościowego materiału, obejmującego:

- 1) obserwacje fenologiczne we wszystkich fazach rozwojowych;
- 2) pomiary przyrostów masy, wysokości roślin i wykształcenia części podziemnych;
- 3) obserwacje fitopatologiczne;
- 4) pomiary elementów struktury plonu;
- 5) analizy jakościowe plonu.

Dokładnym obserwacjom rozwojowym powinno towarzyszyć odpowiednie wykorzystanie danych meteorologicznych. Z zasady zmienności wymagań w cyklu życiowym wynika poważne ograniczenie stosowalności wszelkiego rodzaju „uśrednień”. Jest rzeczą zrozumiałą, że średnie wartości elementów meteorologicznych „za okres wegetacyjny” są na ogół bezużyteczne. Również średnie miesięczne, a nawet dekadowe, nie zawsze pozwolą znaleźć powiązania, ponieważ średnie za dłuższy okres mogą obejmować fazy o zróżnicowanych wymaganiach. Daubenmire (7) przestrzega: „powszechna praktyka łączenia pomiarów uzyskanych w ciągu pewnego okresu w formę wartości średnich może zaciemnić bardzo ważne aspekty czasowe zmienności czynnika”. Dekady kalendarzowe mogą w poszczególnych la-

tach odpowiadać zupełnie innym fazom rozwojowym. Zasada powinno być porównywanie dat fenologicznych a nie kalendarzowych.

Inny problem przedstawia wykorzystanie tzw. „średnich dobowych”. Wobec zmienności wymagań rośliny w cyklu dobowym, powinny być raczej wykorzystywane wartości maksymalne i minimalne czynnika. Inna sprawa, że po przyjęciu założenia, iż w danym regionie i danym okresie amplitudy nie wiele się różnią, a co więcej, iż amplitudy skorelowane są ze średnimi (np. w lecie wysokim średnim temperaturom odpowiadają na ogół wyższe amplitudy, a niższym — niższe), można w poszczególnych wypadkach wykorzystywać średnie. Każdorazowo będzie to jednak tylko przybliżenie statystyczne. Podobne założenia leżą u podstaw praktyki wykorzystywania danych pochodzących z klatki meteorologicznej umieszczonej na wysokości 2 m. Tego rodzaju dane nie pozwalają osiągnąć bardzo ścisłych interpretacji, ponieważ wartości czynnika w środowisku rośliny nieraz znacznie się różnią od tychże wartości w klatce.

Z zasady czynników ograniczających płyną przede wszystkim dwa wnioski: 1. Możliwość uproszczenia kompleksu przez przerzucenie na obszar „wariancji resztowej” czynników o szerokim zakresie tolerancji. 2. Ograniczenie stosowania regresji prostoliniowej.

Chociaż, oprócz czynników w ekstremum wpływają na roślinę wszystkie inne czynniki, niektóre z nich mogą nie być brane pod uwagę, o ile znajomość działania tych czynników, bądź wstępna interpretacja spostrzeżeń, upoważnia do postawienia hipotezy o szerokim zakresie tolerancji względem tego czynnika. Tak np. w przeciętnych warunkach można najczęściej w doświadczeniach polowych pominąć wpływ stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. W niektórych konkretnych przypadkach można również pomijać czynniki kiedy indziej bardzo ważne, np. wpływ wczesnego nawożenia na ciężar jednostkowy ziarna zbóż. Odum (19) pisze: „... w określonej sytuacji nie wszystkie zjawiska zachodzące w otaczającym środowisku muszą być brane pod uwagę...”.

Oczywiście, postępując w ten sposób, godzimy się na pewne konieczne uproszczenia i przybliżenia: ich wyrazem jest niemożliwość otrzymania bardzo wysokich współczynników korelacji. Każdorazowo właśnie współczynnik korelacji i jego istotność mówi o tym, w jakim stopniu hipoteza o niewielkim wpływie nieuwzględnionych czynników była słuszna.

Tego rodzaju uproszczone postępowanie jest konieczne, ponieważ, niezależnie od postępów statystyki matematycznej, nigdy prawdopodobnie nie uda się umieścić w jednym równaniu wszystkich czynników.

Ponieważ funkcja wyrażająca zależność rośliny od czynnika ekologicznego jest niemonotoniczna, zastępowanie jej funkcją prostoliniową może być uzasadnione tylko w rzadkich wypadkach. Aczkolwiek metoda Brouwera swego czasu na pewno wniosła znaczny wkład w rozwój ekologii,



zdarzające się jeszcze dzisiaj próby mechanicznego „liczenia korelacji” trzeba uznać za nieporozumienie. Tego rodzaju postępowanie uniemożliwiłoby określenie związków, nawet gdyby (co zresztą jest niemożliwe) występowały one ze ścisłością spotykaną w fizyce. Oczywiście, w poszczególnych wypadkach, ale tylko po starannej analizie materiału (najwygodniej metodą graficzną), można przyjąć, że prosta dostatecznie dokładnie przybliży zależności występujące w określonym przedziale. Wydaje się, że tego rodzaju przypadki w naszych warunkach będą dość rzadkie. Prawdopodobnie aproksymowanie przez linię prostą może częściej mieć miejsce w dwóch przypadkach: 1) w wypadku ekotypów przeniesionych z innych regionów; 2) przy określaniu wpływu czynników, które we wszystkich przedziałach są oczywiście szkodliwe (np. grad, choroby, szkodniki). Być może zresztą, że także wówczas lepsze przybliżenie dadzą krzywe wykładnicze, potęgowe lub logarytmiczne.

Dość często, jak się wydaje, dostatecznie dobre przybliżenie daje funkcja paraboliczna. Użył jej dla wyrażenia wpływu opadów Saloni (25). Na ogół z powodzeniem można przy jej pomocy wyrażać wpływ temperatury.

Ogólnie rzecz biorąc, w każdym przypadku przyjęcie tego czy innego typu funkcji powinno być poprzedzone wnikliwą analizą materiału, przy wykorzystaniu wszystkich informacji dotyczących danego problemu.

W poszczególnych rzadkich przypadkach może się okazać konieczne przyjęcie funkcji trzeciego, a nawet wyższych rzędów, co zresztą stanowi nie zawsze możliwą do przyjęcia komplikację rachunkową.

Często rozrzut pojedynczych wyników jest tak duży, że niesposób wybrać jakikolwiek typ funkcji. W takim wypadku pomocna może być metoda graficznego przedstawienia średnich w klasach, będąca podstawą metody Ezekiela (8).

Zasada kompleksowego oddziaływania czynników wymaga, jak to stwierdził Azzi, określania wpływu środowiska jako wypadkowego działania wszystkich czynników. Po odrzuceniu czynników o nieznacznym wpływie, pozostaje ich zwykle jeszcze spora liczba. Ponieważ, jak do tej pory, nie można wyrazić w jednym równaniu czynników wraz z ich interakcjami (które są wyrazem zmienności granic tolerancji w zależności od poziomu innych czynników) trzeba przedstawiać wpływ czynników tylko przy ustalonym poziomie innych. Można to osiągnąć dwiema drogami:

a) przy pomocy równania regresji, sporządzonego na podstawie wszystkich pomiarów w których pozostałe czynniki były ustalone: jest to możliwe na ogół tylko w kontrolowanych doświadczeniach.

Typ równania:

$$y_{1.23\dots n} = f(x_1) \quad (1)$$

b) przy pomocy równania regresji wielorakiej, kiedy materiał obejmuje inne czynniki w szerokim zakresie zmian.

Typ równania:

$$y = F(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) \quad (2)$$

Formę przejściową stanowią przypadki, w których czynniki jednego typu są ustalone, natomiast inne czynniki zmieniają się. Tęgo rodzaju jest np. materiał z pól ustalonych, zaprojektowanych przez Baca (2), na których za ustalone można uważać czynniki glebowe, uprawowe i płodozmianowe, a zmienności podlegają tylko czynniki meteorologiczne.

Ponieważ metoda regresji wielorakiej dostosowana jest do wypadków z tzw. korelacją addytywną, występującą przy braku interakcji, a w ekologii częściej mamy do czynienia z korelacją sprzężoną, interakcyjną, czego wyrazem jest zasada kompleksowego działania, wszystkie równania cząstkowe, wynikające z równania (2), są w gruncie rzeczy identyczne z równaniami typu (1). Odmienność polega na tym, że „ustalony” poziom innych czynników oznacza tutaj poziom „średni” wśród zaobserwowanych. Wyższość metody regresji wielorakiej polega więc głównie na możliwości wykorzystania materiałów polowych „niejednorodnych”. Nie może ona natomiast tworzyć wyrażen równości, które zachowałyby ważność w każdym przedziale natężenia rozpatrywanych czynników. Tym niemniej, w konkretnym regionie, w którym czynniki ekologiczne zmieniają się w pewnych określonych granicach, można przy jej pomocy wyrażać powiązania rośliny ze środowiskiem w sposób praktycznie ścisły, niemożliwy do osiągnięcia wówczas, gdy operuje się tylko parami zmiennych.

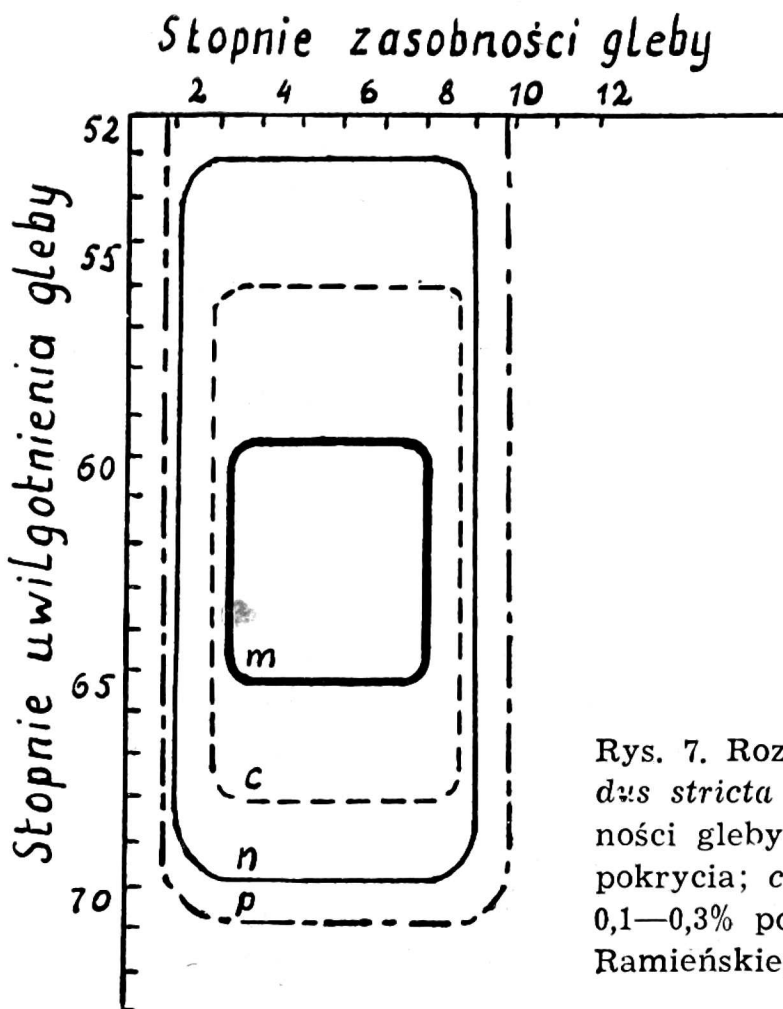
Ostatnio metoda korelacji wielorakiej używana jest coraz częściej w agrometeorologii. Thompson (27), badając wpływ temperatury i opadów na plon sorga w kilku stanach USA, wyprowadził równanie regresji wielorakiej, uwzględniając w nim 7 czynników o parabolicznym charakterze funkcji. Sześć czynników obejmowało temperaturę i opad w trzech letnich miesiącach, natomiast czynnik siódmy wyrażał trend rozwojowy, występujący w ciągu 27 rozpatrywanych lat, a przypisywany udoskonaleniom agrotechnicznym. Uzyskane współczynniki korelacji przekraczały 0,95. Oczywiście tego rodzaju opracowania nie mogłyby powstać bez użycia maszyn liczących. Ponomariew (22) przedstawił w formie równań regresji wielorakiej zależność ciężaru 1000 ziarn pszenicy i żyta od temperatury i polowego zużycia wody w okresie dojrzewania; przyjął przy tym prostoliniowy charakter funkcji. Współczynnik korelacji wielorakiej wynosił w tym wypadku około 0,75.

W obydwu wypadkach typ funkcji został założony. Wydaje się jednak, że częściej bardziej odpowiednie będzie uprzednie zorientowanie się co do charakteru funkcji przy pomocy metody Ezekiela, której jasny wykład

zawiera książka Marszałkiewicz (15); stosując ją można uwolnić się od subiektywizmu w ocenie funkcji w sposób maksymalnie możliwy.

Ścisłość powiązań wyrażonych przy pomocy metody regresji wielorakiej zależy od: 1) uwzględnienia wszystkich czynników ograniczających; 2) stopnia sprzężeń (interakcji); 3) charakteru materiału.

Wyjaśnień wymagają punkty 2 i 3. Aczkolwiek interakcje występują w ekologii prawie zawsze (przykład zależności interakcyjnej przedstawia rys. 6), często można przyjąć, że w rozpatrywanych przedziałach wartości czynników są one słabe. Przykład takich stosunków przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Rozmieszczenie i obfitość gatunku *Nardus stricta* przy różnym uwilgotnieniu i zasobności gleby: m — więcej niż 8% projekcyjnego pokrycia; c — 3—7%; n — 0,5—2%; p — około 0,1—0,3% pokrycia. (z A. Szennikowa, 1952, wg Ramieńskiego). Przykład korelacji addytywnej

Obecność interakcji można zbadać dzieląc posiadany materiał na co najmniej trzy klasy wartości zmiennej niezależnej, obliczając w tych klasach parametry równań. Istotność różnic parametrów wskaże na istnienie interakcji (podział na dwie klasy może nie wystarczyć, jeśli funkcje są niemonotoniczne). W wypadku stwierdzenia interakcji, parametry określone w jednej klasie są przybliżeniem zachowującym wartość tylko w danej klasie. Tego rodzaju opracowania wymagają oczywiście dysponowania odpowiednio liczniejszym materiałem.

Ścisłość otrzymanych korelacji zależy również od charakteru materiału. Jeśli wyraża on statystyczne średnie z regionu i roku, to można spodziewać się, że wpływ wielu czynników zostanie wyeliminowany. Np. w pra-

cach Thompsona i Saloniego użyto średnich, obejmujących dane z dużych regionów. Wpływ takich czynników jak gleba, osobliwości topoklimatu, choroby itd. można było pominąć, gdyż „średnia” oznacza ich średni poziom. Jeśli do obliczenia równania użyto nie średnich, lecz pojedynczych obserwacji, uzyskanie wysokich korelacji jest rzeczą raczej niemożliwą, ponieważ wpływ wszystkich nieuwzględnionych w równaniu czynników podwyższy znacznie niewyjaśnioną część zmienności. Nie musi to jednak oznaczać, że otrzymane w ten sposób określenia są mniej wartościowe, tylko dlatego, że współczynnik korelacji jest niższy.

W każdym wypadku należy zdawać sobie sprawę, że wyrażone równaniami funkcje nie są tak ścisłe, jak może to sugerować ich „matematyczny” charakter: są to funkcje przyrodnicze, wyrażone w formie matematycznej. Terminu „funkcje przyrodnicze” używa często Perkal (21).

Z zasady kompleksowości wynika również, że oddzielne traktowanie czynników klimatycznych i glebowych nie zawsze jest możliwe. Nie można np. osiągnąć ogólniejszych określeń nie uwzględniając w badaniach agrometeorologicznych wpływu gleby i odwrotnie — właściwa interpretacja doświadczeń nawozowych jest niemożliwa bez uwzględnienia czynników pogodowych. Dlatego też wszystkie syntezy wymagają kompleksowego, **e k o l o g i c z n e g o** podejścia.

Wnioski płynące z zasady rozdzielnego traktowania zjawisk rozwojowych i wzrostowych są na tyle proste, że nie wymagają bardziej szczegółowych omówień. Sprowadzają się one głównie do wskazania na konieczność przeprowadzania dokładnych obserwacji rozwojowych i pomiarów wzrostu. Inny wniosek mówi o konieczności uwzględnienia długości faz rozwojowych w badaniach zależności wzrostowych (a więc i plonu). Według niektórych badaczy, na procesy rozwojowe działa nieco prostszy kompleks niż na procesy wzrostowe. Według Bogusławskiego (4), na rozwój wpływają przede wszystkim czynniki klimatyczne i azot; inne czynniki mają niewielkie znaczenie.

Najtrudniejsze, prawdopodobnie, do określenia metodami statystycznymi są zależności wynikające z zasady działania następczego. Jeśli działanie następcze jest znane, jego siła może być określona przez parametr uwzględniony w równaniu regresji wielorakiej. W większości jednak wypadków działanie następcze nie jest znane; wówczas istnieją pewne możliwości jego wykrycia bardzo pracochłonnymi zresztą drogami:

- 1) przez wnikliwe rozpatrzenie wszystkich wypadków o dużej wartości odchylenia od zależności określonej równaniem. Jeśli jednokierunkowe odchylenia odpowiadają odchyleniom wartości czynnika w pewnym przedziale czasowym, pojawia się przypuszczenie, że w tym przedziale należy szukać „przyczyn” (metoda indukcyjna);

- 2) przez grupowanie materiału w klasy odpowiadające różnym wartoś-



ciom czynnika w założonym przedziale czasowym. Istotność różnic otrzymanych równań potwierdza wówczas przypuszczenie o działaniu następczym (metoda dedukcyjna).

Metoda opisana w punkcie 1 może być uogólniona; należy przypuszczać, że właśnie obszar „wariancji resztowej” zasługuje na szczególną uwagę; przez jego wnikliwe rozpatrzenie można dojść do wykrycia nieznanych prawidłowości. Na tym głównie polega wartość biometrii jako metody poznawczej.

#### LITERATURA

1. A z z i G. 1956. *Agricultural Ecology*. London.
2. B a c S. 1947. Pola Ustalone przy stacjach meteorologiczno-rolniczych. *Przegląd Doświadczalnictwa Rolniczego*, z. 2. Poznań.
3. B a u m a n n H. 1958. Zu Fragen der Forschungsmethodik im Acker- und Pflanzenbau. *Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Sitzungsberichte*, B. VII, H. 5.
4. B a u m a n n H. 1961. *Witterungslehre für die Landwirtschaft*. Berlin.
5. B o g u s l a w s k i E. v. 1959. Zur Problematik der Pflanzenbauwissenschaft. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, B. 108, H. 3.
6. B r o u w e r W. 1926. Die Beziehungen zwischen Ernte und Witterung in der Landwirtschaft. *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, B. 63. Berlin.
7. D a u b e n m i r e R. F. 1959. *Plants and Environment*. 2nd ed. New York.
8. E z e k i e l M., F o x K. A. 1959. *Methods of Correlation and Regression Analysis — Linear and Curvilinear*, 3rd ed. New York.
9. G u m i ń s k i R. 1951. *Meteorologia i klimatologia dla rolników*. Warszawa.
10. H e i n i s c h O. 1958. Die Bedeutung der Biometrie..., *Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Sitzungsberichte*, B. VII, H. 14.
11. H e l l w i g Z. 1963. *Regresja liniowa i jej zastosowanie w ekonomii*. Warszawa.
12. J u n g e s W. 1958. Zur Problematik des Zusammenhanges zwischen Entwicklung der Pflanze und klimatischer Umwelt..., *Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Sitzungsberichte*, B. VII, H. 16.
13. L i s t o w s k i A. 1955. Okresy krytyczne w gospodarce wodnej roślin. *Zeszyty Problemowe Nauki Polskiej*, z. 3. Warszawa.
14. L u n d e g a r d h H. 1957. *Klima und Boden*, 5-te Aufl. Jena.
15. M a r s z a ł k o w i c z T. 1963. *Zastosowanie korelacji do badania efektywności nakładów na produkcję roślinną*. Warszawa.
16. M o l g a M. 1958. *Meteorologia rolnicza*. Warszawa.
17. M o t y k a J. 1962. *Ekologia roślin*. Warszawa.
18. M i t s c h e r l i c h E. A. 1954. *Bodenkunde*, 7-te Aufl. Berlin.
19. O d u m E. P. 1963. *Podstawy ekologii*. Warszawa.
20. P a c z o s k i J. 1947. *Dynamika uszkodzeń mrozowych naszych drzew owocowych*. Poznań.
21. P e r k a l J. 1963. *Matematyka dla przyrodników i rolników*. Warszawa.
22. P o n o m a r i e w B. P. 1963. *Zawisimost' wiesa 1000 zieren...*, *Trudy Centralnogo Instituta Prognozow*, wyp. 131. Moskwa.
23. R i p p e l A., M e y e r R. 1931. *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre*. Berlin.

24. R u n d f e l d t H. 1964. Möglichkeiten und Grenzen der Biometrie in der biologischen Forschung. Biologisches Zentralblatt, B. 83, H. 1. Lipsk.
25. S a l o n i K. 1952. Zastosowanie krzywych parabolicznych do badań nad wpływem opadów na wysokość plonu. Roczniki Nauk Rolniczych, t. 62. Warszawa.
26. S z e n n i k o w A. 1952. Ekologia roślin. Warszawa.
27. T h o m p s o n L. M. 1963. Evaluation of Weather Factors in the Production of Grain Sorghum. Agronomy Journal, Vol. 55, No 2.
28. W i l s o n E. B. 1964. Wstęp do badań naukowych. Warszawa.
29. W e n t F. W. 1957. The Experimental Control of Plant Growth. Waltham.
30. Z i l l m a n n K. H. 1959. Frühzeitige Ertragsprognose beim Winterroggen. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, B. 109, H. 1.