

JANUSZ SABOR

## Badanie wartości genetycznej populacji drzew leśnych

Genetic value of forest trees

**Abstract.** Methods of assessing the genetic value of forest trees and stands were based on progeny tests of partial populations of forest trees in accordance with the assumptions of provenience trials and the Finlay-Wilkinson method. Phenotypic, genetic and interactive variability effects were determined. Indices and genetic reactivity types identifying i.a. the so-called provenance plasticity used in the selective studies were defined.

**Key words:** progeny test, provenance trial, Finlay-Wilkinson test, selection indices, reactivity

### Wstęp

**P**przedstawiona praca jest próbą wprowadzenia do praktyki gospodarstwa leśnego metod oceny wartości genetycznej populacji drzew leśnych.

W dotychczasowej praktyce selekcyjnej dominowała problematyka poznawania zmienności wewnątrzgatunkowej, realizowana w doświadczalnictwie proveniencyjnym oraz wyborze populacji selekcyjnych, opartym głównie na ocenie fenotypowej drzew i drzewostanów.

W realizowanych programach selekcji w niewielkim tylko stopniu był uwzględniany program oceny genetycznej wybranych populacji drzewostanów nasiennych i drzew doborowych. Aktualnie, poza wykonywaniem zabiegów pielęgnacyjnych w drzewostanach nasiennych oraz zakładaniem upraw pochodnych mających na celu tylko zachowanie ich puli genowej, rzadko są uwzględniane w praktyce gospodarstwa leśnego dwa istotne etapy programów selekcyjnych, które powinny obejmować poza **wyborem** (selekcją) również **testowanie** potomstwa oraz **rozmnażanie** wybranymi technologiami produkcji sadzonek zweryfikowanych pod kątem wartości genetycznej wyłączonych drzewostanów nasiennych. Wdrażanie dotychczasowych programów selekcji drzew leśnych uwzględniało w praktyce rozliczanie jednostek administracji leśnej tylko z powierzchni zakładanych obiektów selekcyjnych, tj. liczby drzew doborowych, powierzchni wyłączonych drzewostanów nasiennych i upraw pochodnych, pozostawiając ocenę ich wartości genetycznej Instytutowi Badawczemu Leśnictwa. Ten sposób wprowadzania programów selekcyjnych do praktyki

leśnej nie może być efektywny m.in. z uwagi na brak merytorycznego zaangażowania się lokalnej administracji w poprawę zagospodarowanych przez siebie drzewostanów na poziomie genetycznym, jak również możliwości jednoczesnego, wiarygodnego wyboru przez Komisję Kwalifikacyjną wartościowych populacji selekcyjnych na terenie całego kraju oraz ich testowania i rozmnażania.

Niewielka skuteczność uszlachetniania drzew w Polsce wynika również z ogólnego przekonania, że istniejące rasy wyselekcjonowane w sposób naturalny są jednymi z najlepszych w świecie, a zatem ich selekcja prowadzona przez leśników nie jest konieczna. Aktualna ocena zmienności genetycznej na podstawie niejednorodnych zasad indeksacji potomstwa drzewostanów i drzew selekcyjnych również utrudnia wiarygodną ocenę ich wartości genetycznej. Należy również dodać, że dotychczas istniejące doświadczenia proweniencyjne nie mają charakteru inwentaryzacyjnego, nie spełniają wymagań tzw. randomizacji strefowej, a także testują w większości upraw porównawczych przypadkowo dobrany materiał doświadczalny. Tylko niewielka liczba obiektów doświadczalnych umożliwia ocenę efektu genetycznego oraz tak ważnego dla praktyki hodowlanej i regionalizacji nasiennej efektu genotyp (pochodzenie nasion) lokalizacja uprawy określającego tzw. plastyczność populacji drzew leśnych.

W pracy przedstawiono propozycję stworzenia jednolitego programu selekcji, testowania i rozmnażania populacji drzew leśnych na podstawie jednolitych kryteriów weryfikacji genetycznej wykorzystujących dotychczasowe wyniki oceny zmienności proweniencyjnej, ocenę indeksową oraz propagowane przez Katedrę Nasiennictwa, Szkółkarstwa i Selekcji Drzew Leśnych metody testowania ich potomstwa (pochodzenia i rody) w tzw. regionalnych bankach genów. Zostały one opracowane w ramach tematu zleconego przez Dyрекcję Generalną LP oraz przedstawione na seminarium pt. "Testowanie potomstw", które odbyło się 27 kwietnia 2000 r. w LBG Kostrzyca.

## **Testowanie potomstw w doświadczeniach proweniencyjnych (testach potomstwa)**

### **Założenia teoretyczne**

Analiza populacji cząstkowych (drzewostanów) wewnątrz subpopulacji mendlowskiej jaką tworzy gatunek w swym naturalnym zasięgu występowania jest jedną z metod oceny zmienności genetycznej stosowanych w genetyce populacyjnej drzew leśnych. Przyjmuje się, że badania proweniencyjne analizują zmienność potomstwa populacji cząstkowych gatunku (drzewostanów rodzicielskich) na poziomie genetycznym oraz stanowią podstawową metodę ich weryfikacji w ramach programów selekcyjnych drzew. Pomierzona (zaobserwowana) wartość cechy jest określona tzw. wartością fenotypową osobnika ( $P$ ), która dzieli się na komponent wynikający z oddziaływania genotypu ( $G$ ), środowiska ( $E$ ) oraz interakcji tych czynników ( $GE$ ). Zależność tę można przedstawić:

$$P = G + E + GE$$

Zmienność cechy w populacjach cząstkowych ( $V_p$ ) określona wariancją jest sumą efektów: genetycznego ( $V_G$ ), środowiskowego ( $V_E$ ) i interakcyjnego ( $V_{GE}$ ), co można wyrazić następującą zależnością:

$$V_P = V_G + V_E = V_{GE}$$

Ocena każdego efektu zmienności całkowitej ma istotny wpływ na określenie rodzaju reaktywności badanych genotypów (pochodzeń). Fakt ten wyraża rycina 1, ilustrująca zależności pomiędzy wartościami fenotypowymi cech a środowiskiem, w zależności od reakcji genotypowej potomstwa.

W doświadczeniach pochodzeniowych zakładamy jednolitość wpływu środowiska ( $E$ ) na badane potomstwa, natomiast uzyskaną zmienność ( $V_P$ ) określoną na podstawie wieloletnich badań, przypisujemy wpływom genotypu ( $G$ ) oraz interakcji ( $G \times E$ ). Najczęściej interakcje te wyrażamy jako współzależności: "pochodzenie  $\times$  lata obserwacji" ( $G \times E_{lata}$ ) oraz "pochodzenie  $\times$  lokalizacja" ( $G \times E_{lok.}$ ) pod względem określonej cechy.

### Dobór materiału badawczego, reprezentatywność pochodzeń

Dobór materiału istotnie wpływa na interpretację wyników doświadczeń proweniencyjnych. W przypadku analizy tzw. doświadczeń inwentaryzacyjnych eksperyment powinien charakteryzować zmienność populacji cząstkowych (drzewostanów) w całym zasięgu występowania gatunku. Dla gatunków o małym areale występowania test proweniencyjny jest wtedy wiarygodny, gdy obejmuje 20-30 potomstw (pochodzeń) populacji cząstkowych (drzewostanów rodzicielskich). W przypadku dużego zasięgu reprezentatywne doświadczenie musi uwzględnić 50 do 200 proweniencji. Dobór pochodzeń powinien odpowiadać tzw. **randomizacji strefowej** zasięgu występowania gatunku, tzn. w możliwie jednakowy sposób charakteryzować całą zmienność jego populacji cząstkowych, tj. drzewostanów rodzicielskich badanego w doświadczeniu potomstwa.

O reprezentatywności genetycznej populacji potomnych drzewostanów macierzystych testowanych w doświadczeniu proweniencyjnym decyduje typ kolekcji nasion. Nie jest obojętne czy nasiona pozyskano z drzew najlepszych, przeciętnych czy przypadkowo wybranych w drzewostanach rodzicielskich. Na ogół zbiera się nasiona z 10-20 przeciętnych lub losowo wybranych drzew, a w celu wyhodowania potomstwa do testu proweniencyjnego wysiewa się mieszaninę zabranych nasion [Wright 1976].

### Analiza wyników

Populacje genetyczne są również populacjami statystycznymi, w których wykonuje się homologiczne pomiary lub obserwacje bliskich sobie genetycznie osobników o różnym stopniu pokrewieństwa. Metody analizy wyników opierają się głównie na analizie wariancyjnej oraz korelacji i regresji. Należy zatem przyjąć założenie, że populacja stanowiąca zbiór elementów jednorodnych różni się między osobnikami, a zróżnicowanie to jest czysto losowe [Żuk 1989]. W takiej populacji zaobserwowana wartość  $x_i$  cechy  $i$ -tego osobnika można przedstawić modelem:

$$x_i = \mu + e_i$$

gdzie:

- $\mu$  – średnia wartość populacji;
- $e_i$  – wartość zmiennej losowej.

leśnej nie może być efektywny m.in. z uwagi na brak merytorycznego zaangażowania się lokalnej administracji w poprawę zagospodarowanych przez siebie drzewostanów na poziomie genetycznym, jak również możliwości jednoczesnego, wiarygodnego wyboru przez Komisję Kwalifikacyjną wartościowych populacji selekcyjnych na terenie całego kraju oraz ich testowania i rozmnażania.

Niewielka skuteczność uszlachetniania drzew w Polsce wynika również z ogólnego przekonania, że istniejące rasy wyselekcjonowane w sposób naturalny są jednymi z najlepszych w świecie, a zatem ich selekcja prowadzona przez leśników nie jest konieczna. Aktualna ocena zmienności genetycznej na podstawie niejednorodnych zasad indeksacji potomstwa drzewostanów i drzew selekcyjnych również utrudnia wiarygodną ocenę ich wartości genetycznej. Należy również dodać, że dotychczas istniejące doświadczenia proweniencyjne nie mają charakteru inwentaryzacyjnego, nie spełniają wymagań tzw. randomizacji strefowej, a także testują w większości upraw porównawczych przypadkowo dobrany materiał doświadczalny. Tylko niewielka liczba obiektów doświadczalnych umożliwia ocenę efektu genetycznego oraz tak ważnego dla praktyki hodowlanej i regionalizacji nasiennej efektu genotyp (pochodzenie nasion) lokalizacja uprawy określającego tzw. plastyczność populacji drzew leśnych.

W pracy przedstawiono propozycję stworzenia jednolitego programu selekcji, testowania i rozmnażania populacji drzew leśnych na podstawie jednolitych kryteriów weryfikacji genetycznej wykorzystujących dotychczasowe wyniki oceny zmienności proweniencyjnej, ocenę indeksową oraz propagowane przez Katedrę Nasiennictwa, Szkółkarstwa i Selekcji Drzew Leśnych metody testowania ich potomstwa (pochodzenia i rody) w tzw. regionalnych bankach genów. Zostały one opracowane w ramach tematu zleconego przez Dyрекcję Generalną LP oraz przedstawione na seminarium pt. "Testowanie potomstw", które odbyło się 27 kwietnia 2000 r. w LBG Kostrzyca.

## **Testowanie potomstw w doświadczeniach proweniencyjnych (testach potomstwa)**

### **Założenia teoretyczne**

Analiza populacji cząstkowych (drzewostanów) wewnątrz subpopulacji mendlowskiej jako tworzy gatunek w swym naturalnym zasięgu występowania jest jedną z metod oceny zmienności genetycznej stosowanych w genetyce populacyjnej drzew leśnych. Przyjmuje się, że badania proweniencyjne analizują zmienność potomstwa populacji cząstkowych gatunku (drzewostanów rodzicielskich) na poziomie genetycznym oraz stanowią podstawową metodę ich weryfikacji w ramach programów selekcyjnych drzew. Pomierzona (zaobserwowana) wartość cechy jest określona tzw. wartością fenotypową osobnika ( $P$ ), która dzieli się na komponent wynikający z oddziaływania genotypu ( $G$ ), środowiska ( $E$ ) oraz interakcji tych czynników ( $GE$ ). Zależność tę można przedstawić:

$$P = G + E + GE$$

Zmienność cechy w populacjach cząstkowych ( $V_p$ ) określona wariancją jest sumą efektów: genetycznego ( $V_G$ ), środowiskowego ( $V_E$ ) i interakcyjnego ( $V_{GE}$ ), co można wyrazić następującą zależnością:

$$V_P = V_G + V_E = V_{GE}$$

Ocena każdego efektu zmienności całkowitej ma istotny wpływ na określenie rodzaju reaktywności badanych genotypów (pochodzeń). Fakt ten wyraża rycina 1, ilustrująca zależności pomiędzy wartościami fenotypowymi cech a środowiskiem, w zależności od reakcji genotypowej potomstwa.

W doświadczeniach pochodzeniowych zakładamy jednolitość wpływu środowiska ( $E$ ) na badane potomstwa, natomiast uzyskaną zmienność ( $V_P$ ) określoną na podstawie wieloletnich badań, przypisujemy wpływom genotypu ( $G$ ) oraz interakcji ( $G \times E$ ). Najczęściej interakcje te wyrażamy jako współzależności: "pochodzenie  $\times$  lata obserwacji" ( $G \times E_{lata}$ ) oraz "pochodzenie  $\times$  lokalizacja" ( $G \times E_{lok.}$ ) pod względem określonej cechy.

### Dobór materiału badawczego, reprezentatywność pochodzeń

Dobór materiału istotnie wpływa na interpretację wyników doświadczeń proweniencyjnych. W przypadku analizy tzw. doświadczeń inwentaryzacyjnych eksperyment powinien charakteryzować zmienność populacji cząstkowych (drzewostanów) w całym zasięgu występowania gatunku. Dla gatunków o małym areale występowania test proweniencyjny jest wtedy wiarygodny, gdy obejmuje 20-30 potomstw (pochodzeń) populacji cząstkowych (drzewostanów rodzicielskich). W przypadku dużego zasięgu reprezentatywne doświadczenie musi uwzględnić 50 do 200 proweniencji. Dobór pochodzeń powinien odpowiadać tzw. **randomizacji strefowej** zasięgu występowania gatunku, tzn. w możliwie jednakowy sposób charakteryzować całą zmienność jego populacji cząstkowych, tj. drzewostanów rodzicielskich badanego w doświadczeniu potomstwa.

O reprezentatywności genetycznej populacji potomnych drzewostanów macierzystych testowanych w doświadczeniu proweniencyjnym decyduje typ kolekcji nasion. Nie jest obojętne czy nasiona pozyskano z drzew najlepszych, przeciętnych czy przypadkowo wybranych w drzewostanach rodzicielskich. Na ogół zbiera się nasiona z 10-20 przeciętnych lub losowo wybranych drzew, a w celu wyhodowania potomstwa do testu proweniencyjnego wysiewa się mieszaninę zabranych nasion [Wright 1976].

### Analiza wyników

Populacje genetyczne są również populacjami statystycznymi, w których wykonuje się homologiczne pomiary lub obserwacje bliskich sobie genetycznie osobników o różnym stopniu pokrewieństwa. Metody analizy wyników opierają się głównie na analizie wariancyjnej oraz korelacji i regresji. Należy zatem przyjąć założenie, że populacja stanowiąca zbiór elementów jednorodnych różni się między osobnikami, a zróżnicowanie to jest czysto losowe [Żuk 1989]. W takiej populacji zaobserwowana wartość  $x_i$  cechy  $i$ -tego osobnika można przedstawić modelem:

$$x_i = \mu + e_i$$

gdzie:

- $\mu$  – średnia wartość populacji;
- $e_i$  – wartość zmiennej losowej.

Średnią  $\mu$  przyjmujemy jako wynik działania czynników wpływających na wszystkie elementy populacji,  $e_i$  jest wynikiem działania czynników specyficznych dla  $i$ -tego osobnika.

Przy analizie zmienności zakładamy, że rozpatrywane populacje mają rozkład normalny, umożliwiającą zastosowanie analizy wariancyjnej do oceny zmienności cech badanych w doświadczeniach proweniencyjnych.

Do określenia istotności wpływu poszczególnych efektów komponentów wariancji najczęściej stosuje się model klasyfikacji krzyżowej dwuczynnikowej z interakcjami, gdzie model matematyczny określony jest następująco:

$$y_{ij} = m + p_i + b_j + (pb)_{ij} + e_{ij}$$

gdzie:

- $y_{ij}$  – wartość cechy  $i$  proweniencji w  $j$  bloku;
- $m$  – średnia doświadczenia;
- $p_i$  – odchylenie  $i$  proweniencji od średniej;
- $b_j$  – odchylenie  $j$  bloku od średniej;
- $e_{ij}$  – błąd doświadczalny,
- $(pb)_{ij}$  – efekt interakcji  $G \times E$

lub dla modelu biometrycznego:

$$y_{ij} = m + p_i + b_j + e_{ij}$$

gdzie:

- $y_{ij}$  – wartość cechy  $i$  proweniencji w  $j$  bloku;
- $m$  – średnia doświadczenia;
- $p_i$  – odchylenie  $i$  proweniencji od średniej;
- $b_j$  – odchylenie  $j$  bloku od średniej;
- $e_{ij}$  – błąd doświadczalny.

przy zastosowaniu modelu dwuczynnikowej analizy wariancyjnej, przy którym całkowita wariancja składa się z następujących komponentów:

Źródło zmienności	Stopnie swobody	Oczekiwane średnie kwadraty
międzyproweniencyjna	$(p - 1)$	$V_E + bV_P$
międzyblokowa	$(b - 1)$	$V_E + pV_B$
błąd	$(p-1)(b-1)$	$V_E$

gdzie:

- $V_E$  – oznacza błąd doświadczenia wynikający z różnorodności siedliska (bloki) lub innych przyczyn (interakcje  $\times$  blok  $\times$  pochodzenie; lokalizacja  $\times$  pochodzenie; pochodzenie  $\times$  lata);
- $V_P$  – komponent wariancji spowodowany różnicami pomiędzy proweniencjami (wariancja genotypowa);
- $V_B$  – komponent wariancji spowodowany różnicami pomiędzy blokami;
- $p$  – liczba proweniencji;
- $b$  – liczba bloków.

Zastosowanie analizy wariancyjnej według wymienionych modeli wymaga odpowiednich założeń metodycznych doświadczenia polowego. Ze względu na możliwość oceny poszczególnych elementów modelu wyróżnia się doświadczenia pochodzeniowe bez powtórzeń, w których nie jest możliwa ocena wpływu środowiska ( $E$ ) i interakcji ( $G \times E$ ), doświadczenia pojedyncze z powtórzeniami (brak możliwości oceny interakcji  $G \times E_{lok.}$ ) oraz wielokrotny test pochodzeniowy z powtórzeniami, gdzie jest możliwa ocena współzależności  $G \times E_{lok.}$ . W tym celu wykorzystuje się głównie systemy doświadczeń polowych zapewniające jednorodność warunków środowiska, tj. metodę bloków losowanych, kwadratu lub prostokąta łacińskiego itp. Nieliczne doświadczenia są zakładane systemem poletek jednego drzewa (single tree plot) [Sabor 1997].

### Ocena wewnątrzgatunkowej zmienności genetycznej

Wewnątrzgatunkowa zmienność genetyczna jest określana zmiennością genotypową poszczególnych populacji cząstkowych w zasięgu występowania gatunku.

Ocena zmienności genotypowej polega na określeniu istotności wpływu genotypu ( $G$ ), środowiska ( $E$ ) i interakcji ( $G \times E$ ) na zróżnicowanie cech badanych populacji cząstkowych (pochodzeń). Udział zmienności genetycznej w zmienności ogólnej cechy określa tzw. współczynnik odziedziczalności ogólnej:

$$h^2 = \frac{V_G}{V_G + V_E + V_{GE}}$$

gdzie:

- $h^2$  – odziedziczalność ( $h^2_{SL}$  - sensu lato);
- $V_G$  – zmienność genetyczna;
- $V_G + V_E + V_{GE}$  – zmienność fenotypów

W schemacie polowym bloków losowanych, m.in. w doświadczeniu proveniencyjnym sosny zwyczajnej w Polanach pod Grybowem, wskaźnik ten może być wyrażony tzw. **powtarzalnością** lub **odziedziczalnością** doświadczenia ( $h_o^2$  operacyjne Sváb 1978):

$$h^2 = \frac{V_P}{V_P + \frac{V_E}{b}}$$

gdzie:

- $h^2$  – odziedziczalność ( $h_o^2$  operacyjne, powtarzalność);
- $V_P$  – komponent wariancji spowodowany różnicami pomiędzy proveniencjami (wariancja genotypowa);
- $V_E$  – błąd doświadczenia wynikający z różnorodności siedliska (bloki) lub innych przyczyn (interakcje blok  $\times$  pochodzenie; lokalizacja  $\times$  pochodzenie; pochodzenie  $\times$  lata);
- $b$  – liczba bloków.

Współczynnik  $h_o^2$  jest równoznaczny z  $h^2$  i odpowiada odziedziczalności w szerokim sensie, niemniej jednak nie może określać postępu genetycznego w potomstwie [Svab 1978].

Podstawowe kryteria selekcji odnoszą się głównie do oceny wartości hodowlanej pochodzeń na podstawie odziedziczalności cechy określonej udziałem genotypu w zmienności ogólnej, plastyczności i adaptacji populacji cząstkowych (ocena interakcji  $G \times E$ ) oraz przyjętych indeksów ekonomiczno-selekcyjnych. W pracach selekcyjnych jesteśmy zainteresowani, aby populacje charakteryzowały się jak największym udziałem efektu genotypowego w zmienności ogólnej cechy (wysoka odziedziczalność), gdyż ich potomstwo będzie rosło w innych warunkach siedliskowych, a jego wartość hodowlana, w przypadku małej odziedziczalności, nie będzie odpowiadała korzystnym cechom drzewostanów rodzicielskich.

W selekcji preferujemy pochodzenia, które charakteryzują się małym efektem interakcji "pochodzenie  $\times$  lokalizacja" podstawowych cech adaptacyjnych, a zatem są plastyczne i bez względu na lokalizację upraw będą dobrze adaptowały się do nowego siedliska.

Wartość hodowlaną określają indeksy selekcyjne łączące wskaźniki genetyczne (odziedziczalność cech), hodowlane (wartości standaryzowane różnicy selekcyjnej cech) oraz ekonomiczne (wartość ekonomiczna cech uwzględnionych w indeksie). Indeksy te określa m.in. formuła opracowana przez Giertycha [1989]:

$$I = \Delta G_1 E_1 + \Delta G_2 E_2 + \dots + \Delta G_i E_i$$

gdzie:

$$\Delta G = i h^2$$

$$i = (M - M_0) / S$$

gdzie:

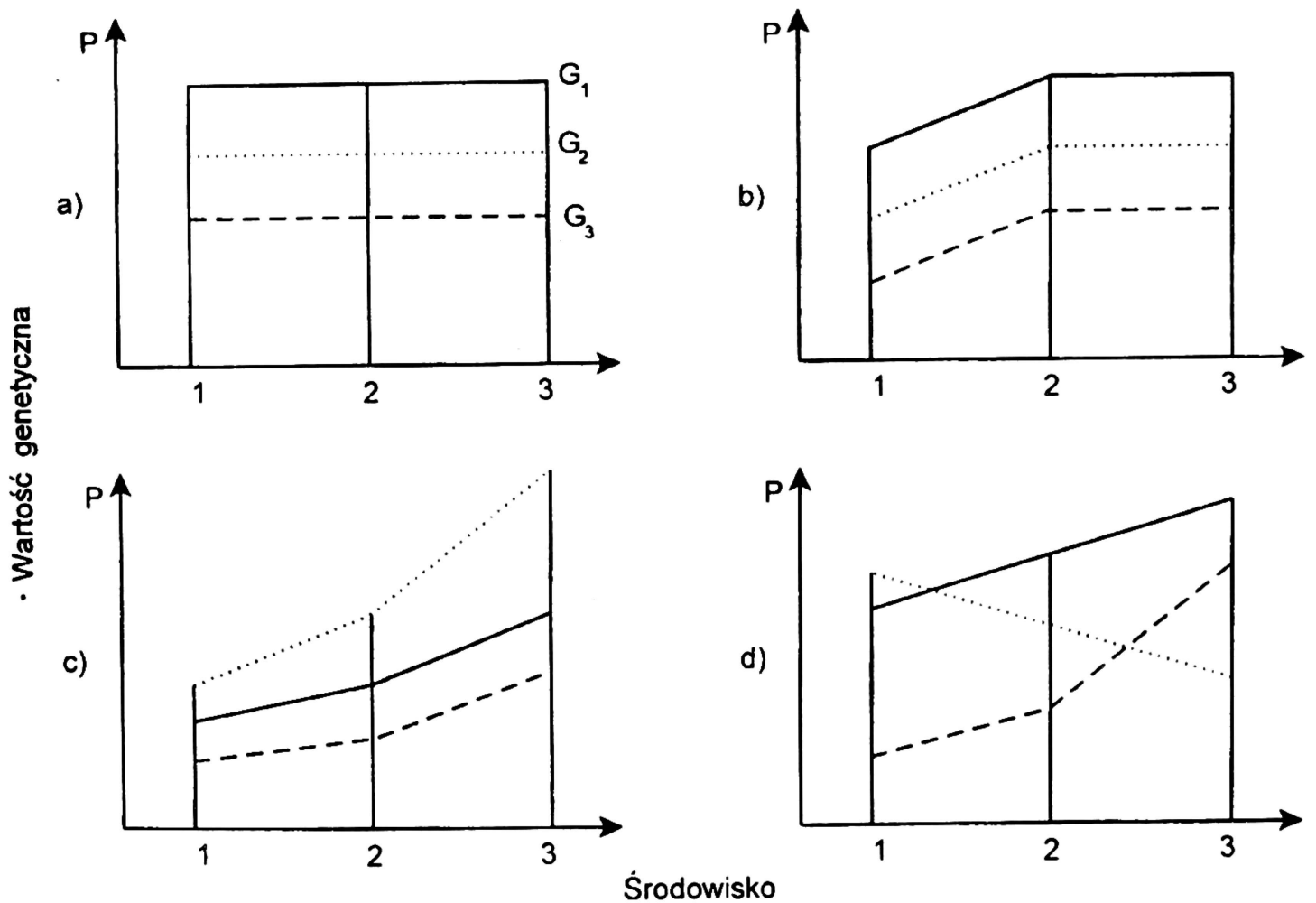
- $I$  – wartość ekonomiczna pochodzenia;
- $\Delta G$  – zysk genetyczny cechy 1,2,... $i$ ;
- $E$  – ocena ekonomiczna cechy;
- $i$  – standaryzowana różnica selekcyjna;
- $h^2$  – współczynnik powtarzalności;
- $M$  – średnia cechy w pochodzeniu;
- $M_0$  – średnia cechy w całym doświadczeniu;
- $S$  – fenotypowe odchylenie standardowe.

## Ocena potomstw metodą Finlay-Wilkinsona

Ocena efektu interakcyjnego ( $G \times E$ ) w badaniach proveniencyjnych odnosząca się do określenia zależności: pochodzenie (genotyp) lata obserwacji (środowisko) jest wykorzystywana w tej metodzie do określania tzw. miernika **adaptacji** i pochodzeń (generatywnego potomstwa drzewostanów rodzicielskich) do nowych warunków siedliskowych uprawy porównawczej [Finlay-Wilkinson 1963].

Efekt interakcyjny "genotyp (pochodzenie)  $\times$  lata obserwacji (wiek)" –  $G \times E_{\text{wiek}}$  oraz "genotyp  $\times$  lokalizacja uprawy (siedlisko)" –  $B G \times E_{\text{siedlisko}}$  badanych cech adaptacyjnych pochodzeń na powierzchniach badawczych analizowany jest na podstawie zmian pozycji rankingowych oraz oceny reaktywności testowanych proveniencji według klasyfikacji Gallaisa (1990) za Saborem (1997) (ryc. 1).





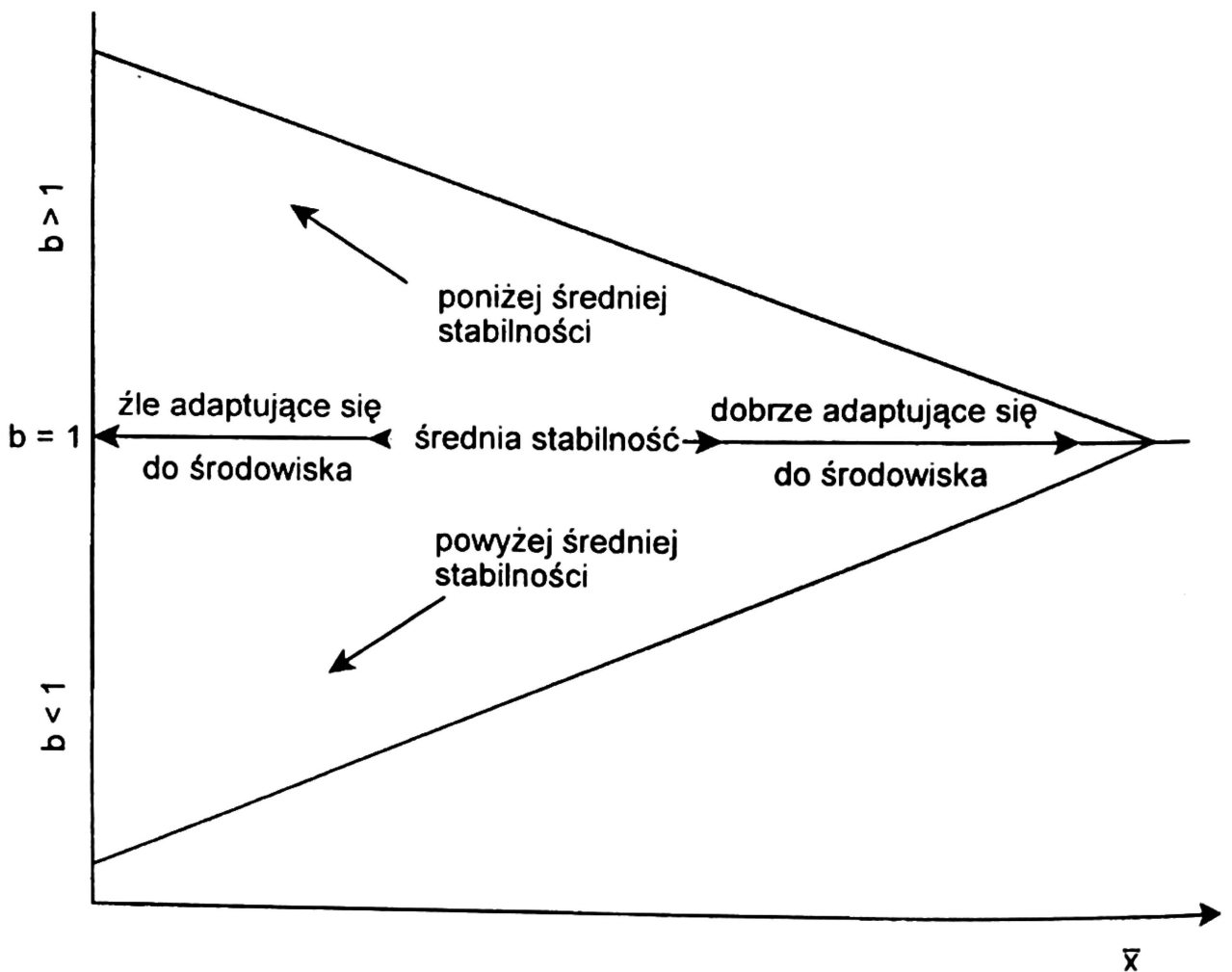
RYC. 1. Reakcje genotypów ( $G_{1,2,3}$ ) na trzech różnych siedliskach ( $E$ ) 1-3 B wzrastająca produktywność: a) brak efektu siedliska; b) nakładający się efekt siedliska i genotypu; c) interakcja  $G \times E$  bez zmiany klasyfikacji; d) interakcja  $G \times E$  ze zmianą klasyfikacji (według Gallaisa [1990])

Ocenę adaptacji określa współczynnik regresji między średnimi wieloletnimi wartościami wybranych cech pochodzenia a średnimi obliczonymi dla całej populacji (b). Gdy  $b > 1$ , populacja charakteryzuje się dużą **reaktywnością** na zmianę środowiska (poprawa lub pogorszenie), natomiast gdy  $b < 1$ , pochodzenie odznacza się dużą stabilnością (ryc. 2).

Dla hodowli selekcyjnej korzystniejsze są te proweniencje, których  $b < 1$ , gdyż nie mamy wpływu na istotne poprawienie warunków siedliska leśnego. Określenie interakcji "pochodzenie (genotyp)  $\times$  lokalizacja uprawy (środowisko)" ( $G \times E_{lok.}$ ) wyznacza tzw. **plastyczność** pochodzeń. Jeśli efekt tej interakcji jest nieistotny, to pochodzenia są plastyczne i bez względu na lokalizację będą dobrze się adaptować i rosnać.

### ■ Przykład

W doświadczenia proweniencyjnym sosny zwyczajnej w Polanach pod Grybowem [Sabor 1993] przyjęto jako podstawę oceny właściwości adaptacyjnych pochodzeń efekt interakcji "pochodzenie  $\times$  lata" cechę przeżywalności oraz wysokości drzew poszczególnych pochodzeń w wieku 21 lat (przed trzebieżą) oraz 25 lat (po trzebieży). Dla każdego pochodzenia określono liniową regresję wybranych cech. Procent wypadków wyrażono jednostkami transformacji  $j$  (Zieliński 1990), natomiast wysokość drzew wartością średnią dla całej populacji. Regresja określa zakres wpływu kompleksu naturalnych czynników na efekt interakcji "pochodzenia  $\times$  lata", wielkość tego efektu i zmian spowodowanych czynnikami



RYC. 2. Interpretacja oceny stabilności oraz adaptacji pochodzeń na podstawie współczynnika regresji ( $b$ ) oraz wartości cechy (według Finlay-Wilkinsona 1963)

sezonowymi. Jako podstawę do oceny właściwości adaptacyjnych pochodzeń przyjęto wartości średnie cech: przeżywalności po 21 latach życia oraz wysokości w wieku 21 i 25 lat. Pochodzenia charakteryzowane przez współczynnik regresji  $b = 1$  odznaczają się przeciętną stabilnością do określonego środowiska. W przypadku  $b > 1$  i  $b < 1$  można mówić o stabilności badanych potomstw sosny poniżej i powyżej przeciętnej. W tym przypadku efekt interakcji "genotyp  $\times$  lata" w odniesieniu do przeżywalności i cech wzrostowych drzew jest duży. Gdy  $b > 1$  populacja charakteryzuje się dużą reaktywnością na środowisko, tj. na jego poprawę lub pogorszenie, natomiast gdy  $b < 1$  dużą stabilnością.

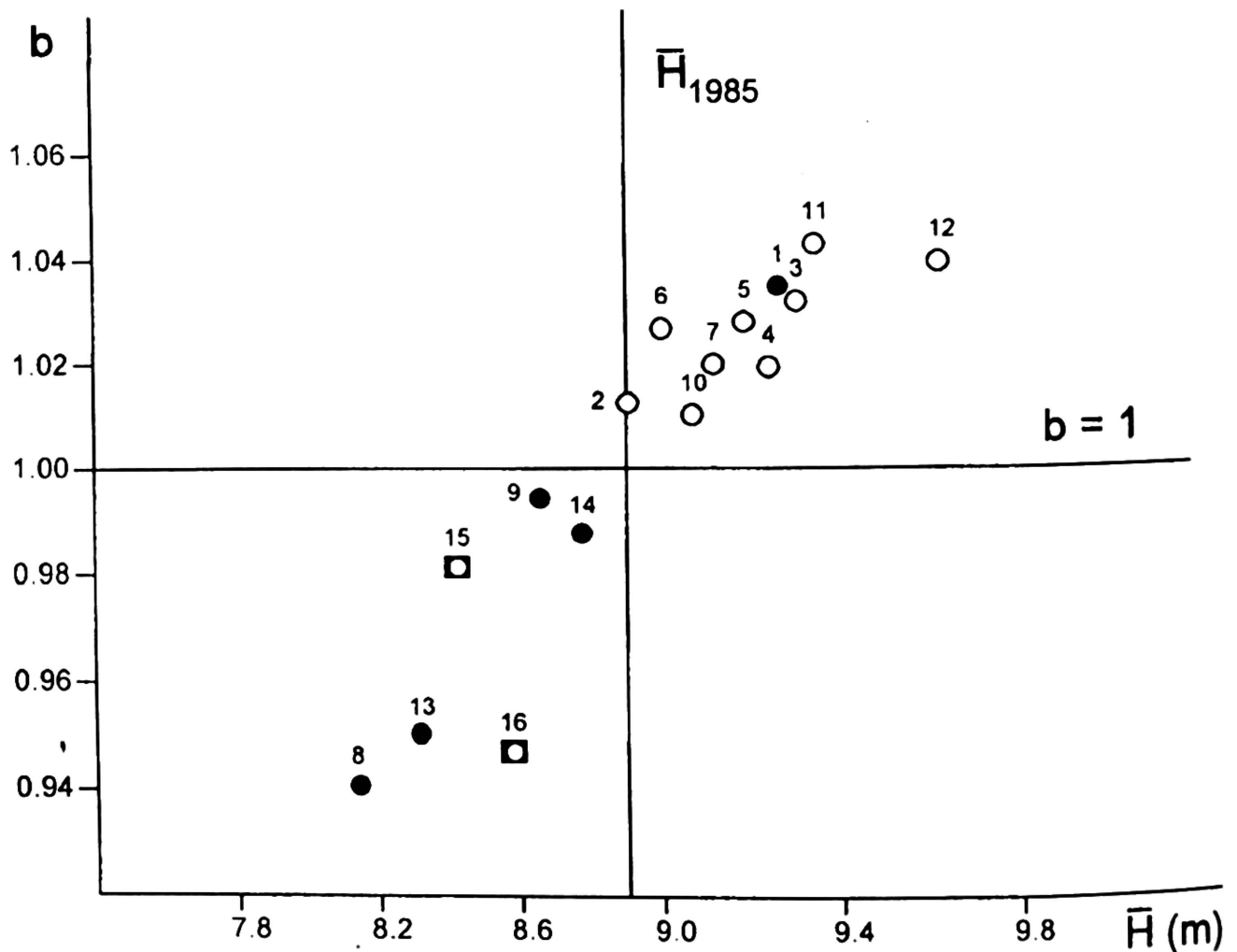
Jeśli małe wartości  $b$  łączą się z małymi wartościami wypadów i korzystnymi cechami wzrostowymi to pochodzenia takie można określić jako dobrze reagujące na zmianę Środowiska (Sabor 1993).

Uzyskane wyniki określają zależności funkcyjne pomiędzy tymi wartościami w układzie współrzędnych ( $b$  i  $H$ ) dla drzewostanów w wieku 21 lat (tab. 1, ryc. 3). Do proveniencji o dużej reaktywności oraz Średnich wysokościach powyżej przeciętnej w doświadczeniu zaliczyć należy sosnę pochodzeń: Karsko, Dłużek, Ruciane, Rozpuda, Supraśl, Starzyna, Bolewice, Lipowa i Jegiel. Stabilnością powyżej średniej ( $b > 1$ ) przy wysokościach poniżej przeciętnej charakteryzowały się natomiast pochodzenia: Gubin, Rychtal, Spała i Janów Lubelski, a także sosny górskie z Nowego Targu i Piwnicznej (Sabor 1993).

TABELA

Ocena właściwości adaptacyjnych sosny zwyczajnej badanych pochodzeń w doświadczeniu proweniencyjnym w Polanach k. Grybowa według metody Finlay-Wilkinsona [1963]. Średnie wysokości pochodzeń w % średnich rocznych. H<sub>1985</sub> i H<sub>1989</sub> – średnie wysokości w wieku 21 i 25 lat; b - współczynniki regresji [Sabor 1993]

Nr poch.	Nazwa pochodzenia	Lata														H <sub>1985</sub>	H <sub>1989</sub>	b
		1966	1967	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1978	1985	1989						
1	Karsko	108	106	103	102	104	102	102	103	104	103	103	104	103	9,29	11,43	1,031	
2	Tabórz	104	103	104	102	106	104	105	104	103	100	102	100	102	8,94	11,33	1,009	
3	Dłużek	106	105	104	107	107	106	105	103	105	104	102	104	102	9,30	11,38	1,027	
4	Ruciane	106	101	105	101	101	102	100	98	101	103	100	103	100	9,25	11,16	1,014	
5	Rozpuda	109	107	112	112	112	112	112	108	105	103	102	103	102	9,22	11,41	1,021	
6	Supraśl	126	113	110	110	110	109	109	108	106	107	103	107	103	9,01	11,60	1,025	
7	Starzyna	106	103	108	102	101	103	102	105	103	102	104	102	104	9,14	11,23	1,013	
8	Gubin	109	91	81	80	82	81	78	78	79	91	101	91	101	8,13	9,96	0,902	
9	Rychtal	86	99	96	93	90	94	95	97	97	98	89	98	89	8,76	11,05	0,991	
10	Bolewice	99	106	103	105	104	103	106	106	102	102	99	102	99	9,12	11,17	1,007	
11	Lipowa	111	117	119	120	117	118	116	117	113	104	100	104	100	9,31	11,64	1,037	
12	Jegiel	95	99	102	103	103	102	102	102	105	107	106	107	106	9,55	11,23	1,032	
13	Spała	82	91	90	91	93	90	92	93	93	93	101	93	101	8,29	10,60	0,945	
14	Janów Lubelski	96	98	103	104	103	102	103	103	101	99	95	99	95	8,84	11,03	0,988	
15	Nowy Targ	83	84	87	90	89	89	90	84	96	94	99	94	99	8,44	11,03	0,981	
16	Piwniczna	77	79	79	82	80	80	81	92	88	96	94	96	94	8,58	10,49	0,956	
Średnia		7,9	19,0	54,8	81,1	1,15	1,58	2,12	2,59	4,63	8,95	11,13	8,95	11,13	8,95	11,13	-	
Jednostka pomiarowa		cm			m													
%		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-	



RYC. 3. Ocena właściwości adaptacyjnych badanych populacji sosny pospolitej na powierzchni proweniencyjnej w Polanach k. Grybowa, na podstawie wskaźnika adaptacji ( $b$ ) oraz średniej wysokości pochodzeń ( $H$ ) w wieku 21 lat (przed trzebieżą). Metoda Finlay-Wilkinson [1963]; okrąg – pochodzenia I grupy klimatycznej, czarne koło – pochodzenia II grupy klimatycznej, czarny kwadrat z białym kołem wewnątrz – pochodzenia III grupy klimatycznej. 1-16 – numeracja populacji (pochodzeń); według Sabora [1993]

## Uogólnienie

Przedstawione metody analityczne określają możliwości i zakres testowania potomstw drzew leśnych. Są zatem istotnym uzupełnieniem realizowanych aktualnie programów selekcji drzew i drzewostanów w praktyce gospodarstwa leśnego. Przedstawione metody mogą stanowić również istotną podstawę do opracowania zasad hodowli lasu oraz obowiązujących regionalizacji materiału odnowieniowego w naszym kraju.

*Katedra Nasiennictwa, Szkółkarstwa i Selekcji Drzew Leśnych  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków*

## Literatura

- Gallais H. 1990.** Theorie de la selection en amelioration des plantes. Masson Paris Milan Barcelon Mexico.
- Giertych M. 1976.** Doskonalenie składu gatunkowego drzew leśnych. Wyd. SGGW
- Finlay K.W., Wilkinson G.N., 1963:** Analysis of adaptation in a plant breeding programme. Austr. J. Agric. Res., 14, 742-754.
- Sabor J., 1993:** Zmienność sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i hodowlana wartość jej polskich proweniencji w warunkach siedliskowych Beskidu Sądeckiego. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, rozprawa habilit. nr 185.
- Sabor J. 1997.** Nasiennictwo, szkółkarstwo i selekcja drzew leśnych. Skrypt do wykładów i ćwiczeń. Część III. Podstawy selekcji drzew. Skrypty Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie.
- Sabor J. 2000:** Uwagi do opracowania autorstwa dr Adolfa R. Korczyka "Metodyka sporządzania regionalnych programów zachowania leśnych zasobów genowych". Leśny Bank Genów Kostrzyca, z. 20, s. 29-32.
- Sabor J., Skrzyszewska K. 1999:** Opracowanie programu i metodyki testowania potomstw z wyłączonych drzewostanów nasiennych i plantacji poprzez zakładanie upraw porównawczych w nadleśnictwach. Sprawozdanie końcowe do tematu nr 19, Katedra Nasiennictwa, Szkółkarstwa i Selekcji drzew Leśnych AR w Krakowie, maszynopis.
- Sabor J., Skrzyszewska K. 2000:** Synteza pracy badawczej nr 19/1999 pt. "Opracowanie programu i metodyki testowania potomstw z wyłączonych drzewostanów nasiennych i plantacji poprzez zakładanie upraw porównawczych w nadleśnictwach." Leśny Bank Genów Kostrzyca, zeszyt nr 20, cz. II.
- Sváb J. 1978.** Genetyka populacji. Wprowadzenie. PWRiL Warszawa.
- Wright W.J. 1976.** Introduction to Forest Genetics. Acad. Press. New York, San Francisco, London.
- Zieliński R., Zieliński W. 1990.** Tablice statystyczne. Wyd. II. PWN Warszawa.
- Żuk B. 1989.** Biometria stosowana. PWN Warszawa.