

AGNIESZKA OSIŃSKA
ZBIGNIEW LAUDAŃSKI

Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Radzików

Metody statystyczne w ocenie materiałów kolekcyjnych soi

Część II. Współzależność wybranych cech

Statistical methods in evaluation of soybean collection materials **Part II. Relationship between chosen characters**

Oceniana kolekcja soi pochodziła ze zbiorów Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie. W opracowaniu przedstawiono metody statystyczne takie jak analiza korelacji i czynnikowa, których celem było wykrycie zależności między 13 badanymi cechami i grupowanie cech ściśle ze sobą skorelowanych w zbiorach i grupach wcześniej i późno dojrzewających form kolekcyjnych soi. Stwierdzono bardzo silny związek pomiędzy cechami określającymi produktywność roślin (masą nasion, liczbą nasion oraz liczbą strąków z rośliny). Zależności te potwierdziła analiza czynnikowa. Wyznaczone składowe główne związane z wyżej wymienionymi cechami produktywności wyjaśniały w największym stopniu całkowitą zmienność analizowanych cech we wszystkich badanych zbiorach obiektów kolekcji soi.

Słowa kluczowe: analiza czynnikowa, analiza korelacji, cechy, czynnik, współczynnik korelacji

Examined soybean collection was obtained from the National Centre of Plant Genetic Resources of the Plant Breeding and Acclimatization Institute at Radzików. In this paper statistical methods such as correlation analysis and factor analysis were used to detect the relationships between 13 tested traits and for grouping closely related traits in classes and in groups of early and late maturing accessions of soybean collection. There was very close relationship between productivity traits (seed weight, seed number and pod number per plant). Those relationships were confirmed by factor analysis. Calculated principal components connected with mentioned above productivity traits explained in the highest degree total variability of examined traits in all classes of soybean collection accessions.

Key words: factor analyses, correlation analyses, traits, factor, correlation coefficient

WSTĘP

Kolekcja soi ze względu na jej pochodzenie, podlega podziałowi na światową i krajową kolekcję. W polskiej kolekcji odmian soi odtworzono większość przed i powojennych odmian populacyjnych. Znajdują się w niej również nowsze odmiany soi wyhodowane po

1980 roku stanowiące łącznie cenne materiały hodowlane. Kolekcja światowa składa się z obiektów pochodzących ze Wschodniej Azji (Chin, Japonii, krajów dawnego ZSRR), Europy (Węgier, Rumunii, Francji, Hiszpanii, Włoch, Słowacji, Serbii, Chorwacji, Szwecji), Ameryki Północnej (Stanów Zjednoczonych, Kanady), Ameryki Południowej (Brazylii) i in. Bogactwo form morfologicznych i genotypowych w kolekcji soi umożliwia hodowcom poszukiwanie lepszych form i warunków glebowo-klimatycznych, przydatnych do uprawy soi w warunkach Polski (Kęsik i Konopiński, 1996).

W poprzedniej I części opracowania podjęto próbę oceny cech użytkowych form kolekcyjnych soi. Badania objęły, losową grupę form kolekcyjnych soi oraz odmianę Aldana hodowli IHAR. Pierwszą procedurą zastosowaną w interpretacji statystycznej wyników uzyskanych w 1999 roku w doświadczeniu kolekcyjnym soi była analiza wariancji. Testy tej analizy były podstawowym narzędziem w ocenie zróżnicowania badanych form kolekcyjnych soi. Testowane formy kolekcyjne wraz z odmianą wzorcową Aldana zostały sklasyfikowane metodą analizy skupień k -średnich na różne grupy obiektów wg cech o podobnej wartości gospodarczej. Typowanie grup wykonano w całej kolekcji soi oraz w podzbiorach form wczesnych i późnych. Opisane powyżej metody statystyczne pozwoliły wyodrębnić z kolekcji soi formy o dużej wartości hodowlanej, które można wykorzystać w hodowli nowych odmian soi.

W niniejszym opracowaniu przeprowadzono analizę współzależności cech u form kolekcyjnych soi w zbiorach, podzbiorach i grupach wytypowanych w analizie skupień (Osińska i Laudański, 2001). Wykorzystano dwie metody: analizę korelacji i analizę czynnikową. W analizie korelacji jako miary siły związku między cechami użyto współczynników korelacji r . W ocenie struktury zależności cech zastosowano analizę czynnikową, której celem było wykrycie pewnych wspólnych, nieznanych czynników powodujących istnienie zależności między cechami. Obserwowane cechy przedstawiono w postaci funkcji mniejszej liczby „ukrytych” cech zwanych czynnikami. Dzięki tej analizie uzyskano oszczędniejszy opis struktury zależności cech u form kolekcyjnych soi. W badaniach wykorzystano zróżnicowany materiał pod względem pochodzenia, długości trwania faz rozwojowych, morfologii i elementów, decydujących o produktywności roślin.

Celem pracy było poznanie struktury zależności między badanymi 13 cechami w zbiorze kolekcyjnym soi. Wzbogacenie charakterystyki form kolekcyjnych o parametry współzależności cech ma ogromne znaczenie w hodowli nowych odmian soi, jak i innych gatunków roślin, ponieważ pozwala przewidzieć wpływ określonego kierunku selekcji na inne cechy. Poniżej przedstawiono propozycję zastosowania metod wielowymiarowych w analizie wyników badań kolekcyjnych soi.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym były nasiona soi pochodzące ze zbiorów kolekcji nasion tego gatunku w Krajowym Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR. Przedstawione wyniki są częścią 3-letniego programu badawczego prowadzonego przez IHAR, którego celem jest odtworzenie kolekcji nasion soi. W latach 1997–1999 odtworzono całą kolekcję (935 obiektów). W sezonie wegetacyjnym 1999 roku wysiano kolejną,

ostatnią partię około 1/3 obiektów znajdujących się w długoterminowym przechowywaniu.

W opracowaniu wyników badań korzystano z pakietu statystycznego Systat.

Analiza statystyczna przebiegała w dwóch etapach:

- I etap — Analiza korelacji dla całego zbioru kolekcji i jego skupień oraz dla podzbiorów i skupień obiektów o różnej wczesności.
- II etap — Analiza czynnikowa dla całego zbioru kolekcji i jego skupień oraz dla podzbiorów i skupień obiektów o różnej wczesności.

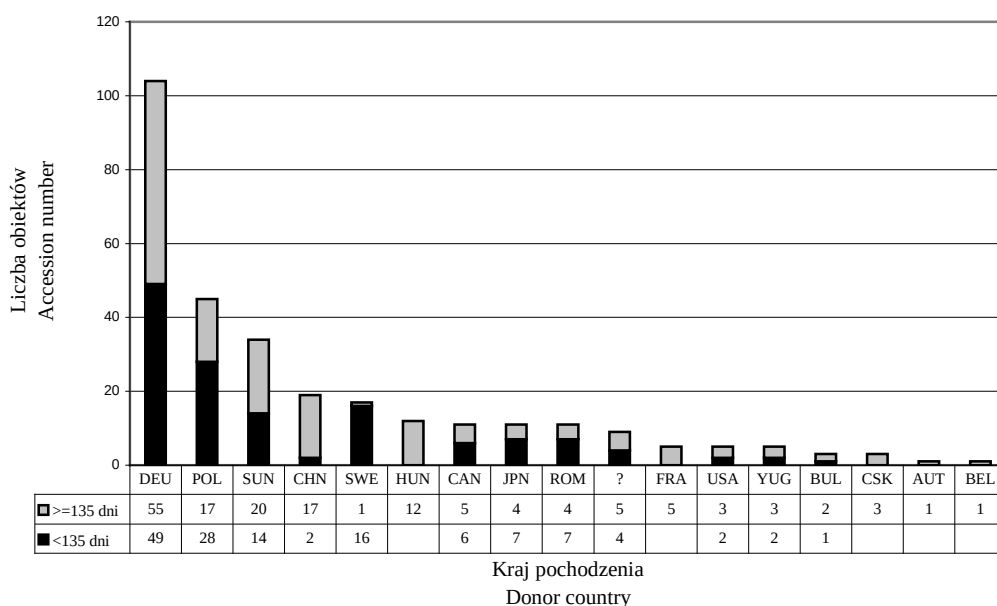
Oceniając doświadczenie kolekcyjne soi przyjęto, że długość okresu wegetacji jest cechą główną, według której można ocenić przystosowanie kolekcyjnych odmian i materiałów hodowlanych soi do warunków Polski (Łykowski, 1984; Szyrmer i Boros, 1996).

Równocześnie z oceną zasobów kolekcji soi pod względem długości okresu wegetacji badano pochodzenie form. Ze względu na brak danych paszportowych w dokumentacji nie można było określić pochodzenia czterech wczesnych i pięciu późnych form soi.

Testowane formy kolekcyjne (295) wraz z odmianą wzorcową Aldana, zostały sklasyfikowane na formy wczesne i późno dojrzewające w naszych warunkach klimatycznych. Przyjęto, że formy wczesne to takie, których długość okresu wegetacji była krótsza od 135 dni, stanowiły one 46,62% całej kolekcji soi (138 obiektów). Najliczniejszą grupą reprezentującą formy wczesne były odmiany pochodzące z Niemiec, Polski, krajów dawnego ZSRR, Szwecji, Kanady, Japonii i Rumunii. Wśród obiektów wczesnie dojrzewających, najkrótszym okresem wegetacji (107 dni) cechowała się kanadyjska odmiana soi ND 2353, sprowadzona do kolekcji w 1990 roku oraz polska odmiana Progres.

Formy późne, których długość okresu wegetacji była wyższa od 135 dni, przeważały w kolekcji (158 obiektów) i stanowiły 53,38%. Wśród odmian późnych blisko połowa z nich miała najdłuższy okres wegetacji wynoszący 161 dni. Pochodziły one głównie z Niemiec, z krajów dawnego ZSRR, Polski, Chin i Węgier. Pochodzenie odmian z podziałem na grupy wczesności przedstawiono na rysunku 1.

W okresie wegetacji prowadzono obserwację kwitnienia, dojrzewania i wylegania roślin. Wyleganie określano w skali 1–9, gdzie 9 oznaczało obiekty nie wylegające. Przed zbiorem soi, z każdego poletka wybierano po 5 reprezentatywnych roślin, dla których określono parametry wzrostu roślin (wysokość roślin, wysokość osadzenia pierwszego strąka). Ocena biometryczna roślin obejmowała również parametry plonu (liczbę strąków i nasion z rośliny, masę nasion z rośliny, masę tysiąca nasion oraz współczynnik biologiczny plonu). Dla ograniczenia wpływu różnej ilości wysianych nasion i nierównomiernych wschodów plon z poletka przeliczono na 1000 roślin. Ocena pojedynków uwzględniała cechy jakościowe, czyli zawartość białka i tłuszczu w nasionach. Oznaczenia zawartości białka i tłuszczu w nasionach wykonano aparatem Infratec 1255 firmy Tecator.



Rys. 1. Struktura wczesności odmian ze względu na pochodzenie
Fig. 1. Earliness structure of varieties in respect to their origin

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza korelacji

W pierwszym etapie analizy wyników doświadczenia z formami kolekcyjnymi soi określono zależności między 13 cechami w obrębie całej kolekcji soi i jej 5 grupach (Trętowski i Wójcik, 1988; Zieliński, 1999).

Współczynniki korelacji między zmiennymi dla całego doświadczenia i jego grup podaje tabela 1. Analiza danych w wymienionych zbiorach pozwala stwierdzić istotne, bardzo silne zależności pomiędzy cechami określającymi produktywność roślin. Masa nasion z rośliny była silnie skorelowana z liczbą nasion (dla całej kolekcji $r = 0,97$ natomiast w 3 jej skupieniach II, IV i V współczynniki korelacji wynosiły kolejno: $r = 0,94$, $r = 0,98$, $r = 0,92$) oraz liczbą strąków z rośliny (dla całej kolekcji $r = 0,79$ dla skupień I, II, IV i V współczynniki wynosiły kolejno: $r = 0,92$, $r = 0,79$, $r = 0,85$, $r = 0,8$). Pomiedzy liczbą nasion a liczbą strąków z rośliny stwierdzono silną dodatnią korelację (dla całej kolekcji $r = 0,81$ oraz dla skupień I, II, IV i V współczynniki korelacji wynosiły kolejno: $r = 0,94$, $r = 0,82$, $r = 0,92$, $r = 0,87$). Podobne zależności stwierdził Boros i wsp. (1996) w badaniach nad soją. Obliczone korelacje wykazały istotny związek długości okresu wegetacji z terminem kwitnienia roślin ($r = 0,55$), wysokością roślin ($r = 0,46$) oraz wysokością osadzania pierwszych strąków na roślinie ($r = 0,59$) (tab. 1).

Tabela 1

Analiza korelacji wybranych cech form doświadczenia kolekcyjnego
Correlation analysis for some traits of collection experiment

Pary cech Pairs of traits	Doświadczenie kolekcyjne Collection experiment	Grupy form soi Soybean from groups			
		I	II	IV	V
Wysokość roślin a wysokość osadzenie pierwszego strąka Height of plants vs. height of the lowest pod	0,49 **	0,52 **		0,34 **	0,59 **
Długość okresu wegetacji a termin kwitnienia roślin Vegetation period length vs. time of flowering	0,50 **	0,40 **	0,41 **	0,46 **	0,55 **
Długość okresu wegetacji a wysokość roślin Vegetation period length vs. height of plants	0,46 **	0,47 **			
Odporność roślin na wyłeganie a plon z 1000 roślin Resistance to lodging vs. yield from 1000 plants	0,34 **		0,44 **	0,33 **	0,41 *
Liczba strąków z rośliny a plon z 1000 roślin Number of pods per plant vs. yield from 1000 plants	0,38 **	0,40 **	0,30 **		
Liczba nasion z rośliny a plon z 1000 roślin Number of seeds per plant vs. yield from 1000 plants	0,32 **	0,44 **	0,31 **		
Masa nasion z rośliny a plon z 1000 roślin Weight of seeds per plant vs. yield from 1000 plants	0,35 **	0,44 **	0,39 **		
Liczba strąków z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Number of pods per plant vs. harvest index		0,41 **			
Liczba strąków a liczba nasion z rośliny Number of pods per plant vs. number of seeds per plant	0,81 **	0,94 **	0,82 **	0,92 **	0,87 **
Liczba strąków a masa nasion z rośliny Number of pods per plant vs. weight of seeds per plant	0,79 **	0,92 **	0,79 **	0,90 **	0,80 **
Masa nasion z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Weight of seeds per plant vs. harvest index	0,40 **	0,58 **	0,65 **	0,67 **	
Liczba nasion a masa nasion z rośliny Number of seeds per plant vs. weight of seeds per plant	0,97 **		0,94 **	0,98 **	0,92 **
Liczba nasion z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Number of seeds per plant vs. harvest index	0,35 **		0,60 **		0,49 **
Zawartość białka w nasionach a długość wegetacji Protein content in seeds vs. vegetation period length			0,43 **		
Zawartość białka a zawartość tłuszczu w nasionach Protein content in seeds vs. oil content in seeds	-0,42 **	-0,57 **	-0,51 **	-0,36 **	

Stwierdzono istotną dodatnią korelację pomiędzy plonem nasion z 1000 roślin a masą nasion (0,44), liczbą nasion (0,44) i strąków z rośliny (0,40) oraz odpornością roślin na wyłeganie (0,44). Zaobserwowano istotną korelację pomiędzy długością okresu wegetacji a wysokością roślin (0,47). W analizie korelacji dla całego doświadczenia i wyróżnionych grup, uzyskano ujemną korelację pomiędzy zawartością białka i tłuszczu w nasionach (-0,57). W skupieniu III ze względu na małą liczbę obiektów nie wykonano wyliczeń współczynników korelacji.

W następnym etapie analizy wyników doświadczenia z formami kolekcyjnymi soi określono zależności między badanymi cechami w obrębie zbiorów form wczesnych i późnych oraz dla obiektów pogrupowanych w skupienia. Uzyskane współczynniki korelacji między zmiennymi w wymienionych zbiorach kolekcji podaje tabela 2. W analizowanych zbiorach stwierdzono bardzo silną, dodatnią korelację pomiędzy cechami charakteryzującymi produktywność roślin.

Tabela 2

Analiza korelacji wczesnych i późnych form soi
Correlation analysis for early and late forms of soybean

Pary cech Pairs of traits	Formy wczesnie dojrzewające Early maturing forms					
	Doświadczenie kolekcyjne Collection experiment	Grupa Group				
		I	II	III	IV	V
Wysokość roślin a wysokość osadzenie pierwszego strąka Height of plants vs. height of the lowest pod	0,40 **	0,57 **	0,49 **			
Długość okresu wegetacji a termin kwitnienia roślin Growth period length vs. time of flowering	0,43 **		0,46 **	0,67 **	0,37 **	
Długość okresu wegetacji a wysokość roślin Growth period length vs. height of plants	0,49 **	0,68 **		0,41 **	0,33 *	
Długość okresu wegetacji a plon z 1000 roślin Growth period length vs. yield from 1000 plants		-0,55 **			-0,38 **	
Odporność roślin na wyłeganie a plon z 1000 roślin Resistance to lodging vs. yield from 1000 plants	0,32 **	0,46 *	0,48 **		0,47 **	
Odporność roślin na wyłeganie a długość okresu wegetacji Resistance to lodging vs. growth period length	-0,40 **	-0,46 *	-0,44 **	-0,42 *	-0,53 **	
Liczba strąków z rośliny a plon z 1000 roślin Number of pod per plant vs. yield from 1000 plants						
Liczba nasion z rośliny a plon z 1000 roślin Number of seeds per plant vs. yield from 1000 plants	0,31 **					
Masa nasion z rośliny a plon z 1000 roślin Weight of seeds per plant vs. yield from 1000 plants						
Liczba strąków z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Number of pod per plant vs. harvest index	0,42 **		0,74 **			
Liczba strąków a liczba nasion z rośliny Number of pod per plant vs. number of seeds per plant	0,94 **	0,95 **	0,88 **	0,82 **	0,87 **	
Liczba strąków a masa nasion z rośliny Number of pod per plant vs. weight of seeds per plant	0,90 **	0,91 **	0,84 **	0,85 **	0,86 **	
Masa nasion z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Weight of seeds per plant vs. harvest index		0,57 **	0,86 **			0,93 *
Liczba nasion a masa nasion z rośliny Number of seeds per plant vs. weight of seeds per plant	0,95 **	0,98 **	0,98 **	0,95 **	0,96 **	0,95 **
Liczba nasion z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Number of seeds per plant vs. harvest index	0,56 **	0,49 *	0,83 **			0,98 **
Zawartość białka w nasionach a plon z 1000 roślin Protein content in seeds vs. yield from 1000 plants						-0,96 **
Zawartość białka w nasionach a liczba nasion z rośliny Protein content in seeds vs. number of seeds per plant	-0,46 **		-0,42 *		-0,41 **	
Zawartość białka w nasionach a długość okresu wegetacji Protein content in seeds vs. growth period length						
Zawartość białka a zawartość tłuszczu w nasionach Protein content in seeds vs. oil content in seeds	-0,39 **			-0,64 **		
Zawartość tłuszczu a liczba nasion z rośliny Oil content in seeds vs. number of seeds per plant						-0,92 *
Zawartość tłuszczu a współczynnik biologiczny plonu Oil content in seeds vs. harvest index						-0,90 *

c.d. Tabela 2

Pary cech Pairs of traits	Formy późno dojrzewające Late maturing forms				
	doświadczenie kolekcyjne experiment	grupa group			
		I	III	IV	V
Wysokość roślin a wysokość osadzenie pierwszego strąka Height of plants vs. height of the lowest pod					0,46 **
Długość okresu wegetacji a termin kwitnienia roślin Growth period length vs. time of flowering	0,36 **	0,39 **		0,41 **	
Długość okresu wegetacji a wysokość roślin Growth period length vs. height of plants					
Długość okresu wegetacji a plon z 1000 roślin Growth period length vs. yield from 1000 plants				0,55 **	
Odporność roślin na wyleganie a plon z 1000 roślin Resistance to lodging vs. yield from 1000 plants	0,35 **	0,48 **		0,36 *	0,52 **
Odporność roślin na wyleganie a długość okresu wegetacji Resistance to lodging vs. growth period length					
Liczba strąków z rośliny a plon z 1000 roślin Number of pod per plant vs. yield from 1000 plants	0,43 **		0,48 **		
Liczba nasion z rośliny a plon z 1000 roślin Number of seeds per plant vs. yield from 1000 plants	0,32 **	0,44 **	0,44 **		
Masa nasion z rośliny a plon z 1000 roślin Weight of seeds per plant vs. yield from 1000 plants	0,36 **	0,50 **	0,44 **		
Liczba strąków z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Number of pod per plant vs. harvest index	0,34 **		0,50 **		
Liczba strąków a liczba nasion z rośliny Number of pod per plant vs. number of seeds per plant	0,78 **	0,81 **	0,95 **	0,91 **	0,92 **
Liczba strąków a masa nasion z rośliny Number of pod per plant vs. weight of seeds per plant	0,77 **	0,76 **	0,91 **	0,88 **	0,89 **
Masa nasion z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Weight of seeds per plant vs. harvest index	0,40 **	0,70 **	0,68 **		0,53 **
Liczba nasion a masa nasion z rośliny Number of seeds per plant vs. weight of seeds per plant	0,98 **	0,96 **		0,97 **	0,98 **
Liczba nasion z rośliny a współczynnik biologiczny plonu Number of seeds per plant vs. harvest index	0,33 **				
Zawartość białka w nasionach a plon z 1000 roślin Protein content in seeds vs. yield from 1000 plants		-0,35 **			
Zawartość białka w nasionach a liczba nasion z rośliny Protein content in seeds vs. number of seeds per plant		-0,43 **			-0,66 **
Zawartość białka w nasionach a długość okresu wegetacji Protein content in seeds vs. vegetation period length		0,51 **		0,41 **	
Zawartość białka a zawartość tłuszczu w nasionach Protein content in seeds vs. oil content in seeds	-0,49 **	-0,52 **	-0,66 **		-0,51 **
Zawartość tłuszczu a liczba nasion z rośliny Oil content in seeds vs. number of seeds per plant					0,50 **
Zawartość tłuszczu a współczynnik biologiczny plonu Oil content in seeds vs. harvest index					

Wśród form późnych zależności te były nieco słabsze. U obu form stwierdzono dodatnie korelacje między terminem kwitnienia a długością okresu wegetacji. Występowała również

podobna zależność pomiędzy odpornością roślin na wyleganie a plonem nasion z 1000 roślin. Zwiększona odporność roślin na wyleganie wiązała się z wyższym plonem nasion z 1000 roślin. W analizowanych zbiorach widoczna była zależność pomiędzy cechami związanymi z jakością nasion. U form wczesnych zawartość białka była średnio, ujemnie skorelowana z zawartością tłuszczu. Związek ten był silniejszy u form późnych (tab. 2).

W obrębie form wczesnych oraz grup uzyskanych metodą analizy skupień obserwowano dodatnią zależność pomiędzy długością okresu wegetacji a wysokością roślin. Takiej zależności nie zaobserwowano u form późnych. U form wczesnych stwierdzono ujemną korelację pomiędzy długością okresu wegetacji a wyleganiem. Tego związku nie wykazała analiza korelacji dla form późnych. U form późnych istniała dodatnia, o średnim poziomie wielkości, korelacja pomiędzy długością okresu wegetacji a zawartością białka w nasionach. W miarę wydłużania się okresu wegetacji form późnych wzrastała zawartość białka w nasionach. Dla skupienia drugiego form późnych nie wyliczono współczynników korelacji ze względu na małą liczbę obiektów w tym skupieniu.

Najwyższe współczynniki korelacji we wszystkich ocenianych grupach obiektów kolekcji soi uzyskano dla zależności między liczbą nasion i masą nasion z rośliny. W zbiorze form wczesnych, w grupach I i II, współczynnik ten wynosił ($r = 0,98$), a w IV ($r = 0,96$). Natomiast w zbiorze obiektów późnych ($r = 0,98$). Podobną wartość uzyskano w piątym skupieniu form. Podane współczynniki korelacji dowodzą, że istnieje bardzo silny związek pomiędzy masą nasion z rośliny a liczbą nasion z rośliny. Na podobne zależności wskazywały wcześniejsze badania (Ibupoto i Kotecki, 1994).

Analiza czynnikowa

Kolejną wielocechową statystyczną metodą, którą zastosowano przy ocenie kolekcji soi była analiza czynnikowa. Celem analizy było wykrycie struktury zależności między badanymi cechami i grupowanie cech ściśle ze sobą powiązanych (skorelowanych). Czynniki (grupy cech) wyznaczone w analizie macierzy korelacji danych empirycznych wykorzystuje się w tej analizie, jako tzw. zmienne syntetyczne, przenoszące zbiorczą informację o zjawiskach tkwiących w analizowanych 13 cechach. Suma wartości własnych uwzględnionych czynników (w %) całkowitej informacji o zmienności cech jest miernikiem informacji zawartych w tych czynnikach. Jedną z ważniejszych własności czynników jest opisywanie jak największej zmienności doświadczenia. Wyznacza się pewną minimalną liczbę czynników, dla których wariancje są duże i istotnie różne. Czynniki mogą być wyznaczane dotąd, aż pewien z góry założony procent, (co najmniej 75%) całkowitej zmienności będzie wyjaśniony. Jeżeli taki procent zmienności nie może być wyjaśniony przez pierwsze cztery lub pięć czynników to dalsze wyznaczanie tych czynników jest zazwyczaj mało owocne. Interpretacja tych czynników jest trudna a nawet niemożliwa (Wójcik i Laudański, 1989; Morrison, 1990). Do określania liczby czynników wykorzystuje się *Kryterium Kaisera* (1960 za Anonim, 1997), w którym wartość własna pozostawionych czynników jest większa niż 1 oraz metodę graficzną — *Test Osypiska* — zaproponowaną przez Cattella (1966 za Anonim, 1997). W drugiej metodzie na wykresie liniowym wartości własnych wszystkich czynników jest to punkt, od którego następuje łagodny ich spadek. Rotację czynników dokonano metodą Varimax. Pozwala ona dokonać

obrotu kierunków głównych określających składowe główne, aby ładunki przy cechach maksymalnie się różnicowały, dzięki czemu mamy prostszą interpretację czynników.

Analizę czynnikową wykonano dla całej kolekcji soi (tab. 3). Uzyskane w tej analizie współczynniki składowych głównych są jednocześnie współczynnikami korelacji poszczególnych cech z tymi składowymi. Porównanie składowych głównych i ich współczynników korelacji (ładunków) z 13 cechami w obrębie całej kolekcji soi oraz jej 4 skupień pozwala zauważyć, że w wymienionych zbiorach składowe główne będące miarami cech związanych z produktywnością, jakością nasion oraz tempem wzrostu i rozwoju roślin, są podobne. Potwierdza to fakt, że w obrębie wymienionych wyżej zbiorów istniały zestawy cech (tzw. super cechy), które poprzez zależności z ocenianymi zmiennymi wpływały na produktywność, jakość nasion oraz wzrost i rozwój badanych obiektów. Najwyższą wartość całkowitej zmienności analizowanych cech wykazywały składowe związane z następującymi cechami produktywności: liczbą i masą nasion, liczbą strąków oraz masą tysiąca nasion oraz współczynnikiem biologicznym plonu. Nieco niższe wartości zmienności ogólnej wykazywały składowe będące miarami cech związanych z rozwojem i wzrostem roślin. Natomiast najniższe dotyczyły czynników, które przypisane były cechom związanym z jakością nasion, czyli zawartością białka i tłuszczu w nasionach.

Analizując ładunki wskazujące korelację składowych z 13 cechami obserwowano, że najwyższe, bardzo silne dodatnie korelacje występowały u cech związanych z produktywnością. Jak podają Ibupoto i Kotecki (1994) plon nasion z rośliny decyduje o plonie z poletka oczywiście przy określonej obsadzie roślin na jednostce powierzchni. Plon nasion z rośliny zależy od interakcji długości okresu wegetacji, podatności na wyleganie, wysokości roślin, liczby nasion i strąków z rośliny.

W analizie czynnikowej cech związanych ze wzrostem i rozwojem roślin ładunki wykazywały nieco słabszą korelację z czynnikami, w porównaniu do ładunków występujących u cech związanych z produktywnością. Parametry opisujące rozwój roślin, czyli długość okresu wegetacji oraz termin kwitnienia, wykazywały bardzo wysokie i wysokie, dodatnie wartości korelacji z czynnikami. Ładunki przy cechach odpowiadających za wzrost roślin miały podobne wartości. Jedynie pomiędzy trzecią składową II grupy a wysokością roślin istniała silna korelacja ujemna. Najbardziej zróżnicowane były ładunki przy czynnikach, które były miarami jakości nasion. W obrębie całej kolekcji oraz w jej pierwszej grupie, trzecie składowe wykazywały bardzo silną ujemną korelację z zawartością białka w nasionach, natomiast silną i bardzo silną dodatnią korelację z zawartością tłuszczu w nasionach. W grupie II i V składowe wykazywały silną lub bardzo silną dodatnią korelację z zawartością białka i tłuszczu w nasionach. W obrębie IV grupy ładunek był silnie ujemny w stosunku do obu cech. Na podstawie porównania czynników i ładunków w omówionych powyżej zbiorach stwierdzono, że grupa I charakteryzująca się krótkim okresem wegetacji, niską produktywnością oraz wysokimi roślinami i wysoką zawartością białka w nasionach (Osińska i Laudański, 2001) była najbardziej reprezentatywna dla całej kolekcji soi.

Tabela 3

Współczynniki korelacji składowych głównych dla wszystkich obiektów kolekcji soi oraz jej skupień
Correlation coefficients of principal components for all accessions of soybean collection and its cluster

Cecha Traits	Wszystkie obiekty kolekcji All collection accessions					Grupa I Group I					Grupa II Group II					Grupa IV Group IV					Grupa V Group V			
	składowe główne principal components					składowe główne principal components					składowe główne principal components					składowe główne principal components					składowe główne principal components			
Numer Number	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4
% zmienności ogólnej % variability	23,2	17,1	13,6	11,0	9,4	27,6	15,9	12,9	11,3	10,1	23,6	18,0	12,2	12,6	10,0	28,4	13,9	12,3	11,6	9,3	24,8	21,2	16,5	12,8
Odporność na wyleganie (°) Resistance to lodging (°)				0,82					0,87				0,82						0,71				0,82	
Długość okresu wegetacji (dni) Vegetation period length (days)		0,72					0,67					0,77					0,72							0,61
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)		0,52					0,53		0,63			0,78					0,85							0,74
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)				0,66		0,55						0,67					0,83						0,67	
Zawartość białka w nasionach (%) Protein content in seeds (%)			-0,85					-0,85				0,53				-0,61								0,85
Zawartość tłuszczu w nasionach (%) Oil content in seeds (%)			0,61					0,87				0,85				-0,56							0,54	

c.d. Tabela 3

Cecha Traits	Wszystkie obiekty kolekcji All collection accessions					Grupa I Group I					Grupa II Group II					Grupa IV Group IV					Grupa V Group V			
	składowe główne principal components					składowe główne principal components					składowe główne principal components					składowe główne principal components					składowe główne principal components			
Numer Number	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)		0,82					0,83					-0,61					0,77					0,84		
Wysokość osadzania I-go strąka (cm) Height of the lowest pod (cm)		0,77					0,76					0,57					0,76					0,81		
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,89					0,94					0,95					0,90					0,86			
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,95					0,96					0,93					0,96					0,96			
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,94					0,96					0,89					0,95					0,95			
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)					0,93					-0,85				0,95					0,89		0,77			
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index					0,51	0,57				-0,61		-0,61			0,77					0,55		-0,51		

Potwierdza to również uzyskana w obrębie grupy I i w całej kolekcji dodatnia korelacja pomiędzy długością okresu wegetacji a wysokością roślin (tab. 3). Analiza porównawcza składowych głównych i ich współczynników korelacji ze zmiennymi w obrębie zbiorów form wczesnych i późnych potwierdza fakt, że składowe główne będące miarami cech związanych z produktywnością, jakością nasion oraz tempem wzrostu i rozwoju roślin kształtowały się podobnie w obu zbiorach (tab. 4, 5, 6). Całkowitą zmienność badanych cech w najwyższym stopniu tłumaczyły składowe związane z produktywnością. Składowe będące miarami cech związanych z rozwojem i wzrostem roślin oraz jakością nasion objaśniały zmienność całkowitą w nieco mniejszym stopniu.

W obrębie obu form stwierdzono bardzo silne dodatnie korelacje pomiędzy czynnikami a cechami decydującymi o produktywności roślin. Ładunki przy cechach odpowiadających za wzrost i rozwój roślin miały podobne wartości w obu grupach, wykazując silną dodatnią korelację w stosunku do składowych.

Tabela 4

Współczynniki korelacji składowych głównych dla różnych form kolekcyjnych
Correlation coefficients of principal components for different collection forms

Cecha Trait	Formy kolekcyjne soi wczesnie dojrzewające Early maturing soybean collection forms				
	składowe główne principal components				
	I	II	III	IV	V
% zmienności ogólnej % variability	27,06	13,72	12,50	10,17	10,99
Odporność na wyleganie (°) Resistance to lodging (°)					-0,88
Długość okresu wegetacji (dni) Vegetation period length (days)		0,50			0,60
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)				0,75	
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)					
Zawartość białka w nasionach (%) Protein content in seeds (%)	-0,46		-0,49		
Zawartość tłuszczu w nasionach (%) Oil content in seeds (%)			0,82		
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)		0,70			
Wysokość osadzania I-go strąka (cm) Height of the lowest pod (cm)		0,83			
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,88				
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,93				
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,96				
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)				-0,73	
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index	0,75				

c.d. Tabela 4

Cecha Trait	Formy kolekcyjne soi późno dojrzewające Late maturing soybean collection forms				
	składowe główne principal components				
	I	II	III	IV	V
% zmienności ogół.nej % variability	23,12	11,50	12,48	11,71	15,37
Odporność na wyleganie (°) Resistance to lodging (°)				0,75	
Długość okresu wegetacji (dni) Vegetation period length (days)					0,68
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)					0,70
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)				0,64	
Zawartość białka w nasionach (%) Protein content in seeds (%)			-0,77		
Zawartość tłuszczu w nasionach (%) Oil content in seeds (%)			0,80		
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)		0,71			
Wysokość osadzania. I-go strąka (cm) Height of the lowest pod (cm)		0,82			
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,89				
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,95				
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,94				
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)					-0,53
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index					-0,71

Wśród form późnych istniała silniejsza ujemna zależność między składową a zawartością białka w nasionach. Dla zawartości tłuszczu w nasionach zależności te przedstawiały się na tym samym poziomie jak u form wczesnych. Wyniki analizy czynnikowej wykonanej w obrębie poszczególnych skupień form wczesnych kolekcji soi przedstawia tabela 5.

W wymienionych wczesnych grupach kolekcji soi składowe główne związane z cechami produktywności wyjaśniały w największym stopniu całkowitą zmienność analizowanych cech. W nieco niższym stopniu zmienność ogólną wyjaśniały składowe będące miarami cech związanych z rozwojem i wzrostem roślin. Czynniki, które były miarami cech związanych z jakością nasion, czyli zawartością białka i tłuszczu wyjaśniały zmienność w najmniejszym stopniu. Odmienne wartości miały czynniki w grupie V, wyróżnionej wcześniej w analizie skupień. Każdy z trzech wyznaczonych czynników z tej grupy wyjaśniał w ponad 30% zmienność ogólną badanych cech. Pierwszy tłumaczył ponad третią część zmienności i wykazywał bardzo silną ujemną korelację z cechami produktywności. W pozostałych grupach czynniki miały z tymi cechami bardzo silną dodatnią korelację. Dwa pozostałe czynniki, będące miarami cech związanych z jakością, rozwojem i wzrostem roślin, posiadały podobne ładunki do składowych z innych grup tej

formy. Analizując wartości ładunków we wszystkich skupieniach stwierdzono, że najwyższe, bardzo silne dodatnie korelacje występowały przy cechach związanych z produktywnością roślin. Porównując czynniki i ładunki oraz współczynniki korelacji w skupieniach form wczesnych, można stwierdzić, że grupa I, charakteryzująca się wysoką masą tysiąca nasion, wysoką zawartością białka w nasionach oraz niskim plonem, była najbardziej reprezentatywną do całej zbiorowości form wczesnych.

Wyniki analizy czynnikowej wykonanej dla skupień form późnych kolekcji soi przedstawiono w tabeli 6. Składowe główne w obrębie czterech skupień form późnych wyjaśniały zmienność całkowitą w podobnym stopniu jak w poprzednio ocenianych zbiorach.

Tabela 5

Współczynniki korelacji składowych głównych w grupach dla wczesnych form soi
Correlation coefficients of principal components in groups for early soybean forms

Cecha Trait	Grupa I Group I					Grupa II Group II				
	składowe główne principal components					składowe główne principal components				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
% zmienności ogólnej % variability	25,31	17,58	15,81	12,24	12,70	31,22	15,19	14,30	12,27	10,54
Odporność na wyleganie (°) Resistance to lodging (°)				0,71					0,86	
Długość okresu wegetacji (dni) Vegetation period length (days)		-0,74					0,54		-0,70	
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)				0,92					-0,73	
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)			0,61							0,82
Zawartość białka w nasionach Protein content in seeds (%)			-0,89							0,69
Zawartość tłuszczu w nasionach Oil content in seeds (%)			0,77					0,76		
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)		-0,92					0,84			
Wysokość osadzania I-go strąka Height of the lowest pod (cm)		-0,77					0,86			
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,96					0,91				
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,98					0,97				
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,96					0,97				
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)					0,92			0,75		
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index					0,66	0,92				

c.d. Tabela 5

Cecha Trait	Grupa III Group III					Grupa IV Group IV				Grupa V Group V		
	składowe główne principal components					składowe główne principal components				składowe główne principal components		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3
% zmienności ogólnej % variability	24,51	15,61	15,22	11,01	9,49	24,47	17,73	15,78	10,17	35,09	30,54	31,31
Odporność na wyleganie (°) Resistance to lodging (°)							-0,70			0,74	-0,61	
Długość okresu wegetacji (dni) Vegetation period length (days)		0,88					0,73					0,90
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)		0,89						0,57	0,59		0,86	
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)				0,47	-0,59		-0,73					-0,98
Zawartość białka w nasionach (%) Protein content in seeds (%)			-0,83									0,94
Zawartość tłuszczu w nasionach Oil content in seeds (%)			0,85				-0,78	0,51		0,90		
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)				0,79				0,55			0,97	
Wysokość osadzania I-go strąka Height of the lowest pod (cm)					0,86						0,85	
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,94					0,93						0,85
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,91					0,94				-0,99		
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,96					0,95				-0,98		
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)	0,55			-0,49					-0,86		0,83	
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index								-0,83		-0,98		

Największy udział w zmienności ogólnej cech miały składowe związane z cechami produktywności. Niższy udział w wyjaśnianiu zmienności ogólnej wykazywały składowe odpowiadające za cechy jakościowe nasion oraz składowe będące miarami cech związanych z rozwojem i wzrostem roślin. W obrębie czterech skupień stwierdzono bardzo silne dodatnie korelacje, pomiędzy czynnikami a cechami decydującymi o produktywności roślin. Ładunki przy cechach związanych ze wzrostem i rozwojem roślin oraz jakością nasion różniły się w poszczególnych grupach. Porównanie czynników i ładunków w omawianych skupieniach form późnych można stwierdzić, że grupa III była najbardziej reprezentatywną do całej zbiorowości form późnych. Obiekty z tej grupy cechowała wysoka zawartość białka w nasionach oraz wysoka masa tysiąca nasion (Osińska i Laudański, 2001).

Tabela 6

Współczynniki korelacji składowych głównych w grupach dla późnych form soi
Correlation coefficients of principal components in groups for late forms of soybean

Cecha Trait	Grupa I Group I					Grupa III Group III			
	składowe główne principal components					składowe główne principal components			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
% zmienności ogólnej % variability	22,99	18,23	14,68	12,17	12,34	28,01	14,47	18,48	11,80
Odporność na wyłeganie (°) Resistance to lodging (°)			0,85						
Długość okresu wegetacji (dni) Growth period length (days)		0,79							
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)		0,77						0,80	
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)			0,69			0,61			
Zawartość białka w nasionach (%) Protein content in seeds (%)					-0,67			-0,81	
Zawartość tłuszczu w nasionach (%) Oil content in seeds (%)					0,87			0,88	
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)			-0,66				0,79		
Wysokość osadzania I-go strąka (cm) Height of the lowest pod (cm)							0,87		
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,95					0,95			
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,90					0,92			
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,86			0,94		0,86			
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)						-0,66			
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index									

c.d. Tabela 6

Cecha Trait	Grupa IV Group IV					Grupa V Group V			
	Składowe główne Principal components					Składowe główne Principal components			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
% zmienności ogólnej % variability	23,24	19,58	14,62	11,29	11,14	32,62	12,64	12,78	12,93
Odporność na wyleganie (°) Resistance to lodging (°)					0,90			0,83	
Długość okresu wegetacji (dni) Growth period length (days)		0,59	0,62				0,85		
Termin kwitnienia (dni) Time of flowering (days)		0,82					0,63		
Plon z 1000 roślin (kg) Yield from 1000 plants (kg)			0,64		0,49			0,81	
Zawartość białka w nasionach (%) Protein content in seeds (%)		0,82				-0,70			
Zawartość tłuszczu w nasionach (%) Oil content in seeds (%)			0,65			0,67			
Wysokość roślin (cm) Height of plants (cm)				0,78					0,55
Wysokość osadzania I- go strąka Height of the lowest pod (cm)			0,73						0,76
Liczba strąków z rośliny Number of pods per plant	0,97					0,91			
Liczba nasion z rośliny Number of seeds per plant	0,97					0,96			
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds per plant (g)	0,94					0,94			
Masa tysiąca nasion (g) Weight of 1000 seeds (g)				0,85					0,69
Współczynnik biologiczny plonu Harvest index		-0,82							

WNIOSKI

1. Wykazano bardzo silne zależności liczby nasion i liczby strąków z masą nasion z rośliny.
2. Cechy związane z produktywnością roślin w największym stopniu wyjaśniały całkowitą zmienność form kolekcyjnych soi.
3. Metody analizy korelacji i analizy czynnikowej w połączeniu z metodami ANOVA i analiza skupień, można polecać jako standardowe postępowanie przy ocenie materiałów kolekcyjnych.

LITERATURA

- Anonim 1997. Statistica Pl dla Windows. Tom I: Ogólne konwencje i statystyki I. StatSoft, Kraków.
- Boros L., Szyrmer J., Sawicki J. 1996. Wartość użytkowa odmian wyhodowanych w IHAR Radzików. Biul. IHAR 198: 97 — 95.
- Ibupoto A. A., Kotecki A. 1994. Wpływ doglebowego nawożenia azotem i dolistnego mikroelementami na rozwój i plonowanie soi odmiany Polan. Część II. Cechy struktury plonu i plonowania. Biul. IHAR 190: 153 — 159.
- Kęsik T., Konopiński M. 1996. Wpływ zróżnicowania uprawy przedsiewnej roli, dawek azotu i dokarmiania dolistnego, mocznikiem na plonowanie soi uprawnej. Mat. konf. Strączkowe Rośliny Białkowe. II Soja. AR, Lublin: 170 — 177.
- Łykowski B. 1984. Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce. Rozprawy Naukowe i Monografie. SGGW 41: 1 — 84.
- Morrison D. F. 1990. Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa.
- Osińska A., Laudański Z. 2001. Metody statystyczne w ocenie materiałów kolekcyjnych soi. Część I. Analiza porównawcza cech użytkowych form kolekcyjnych soi. Biul. IHAR 220: 247— 261.
- Szyrmer J., Federowska B. 1975. Kierunki badań i hodowli roślin soi. Biul. IHAR126/127: 3 —7.
- Szyrmer J., Boros L. 1996. Postęp w krajowej hodowli soi. Mat. konf. Strączkowe Rośliny Białkowe. II Soja.: 7 — 17.
- Trętowski J. Wójcik A. R. 1988. Metodyka doświadczeń rolniczych. WSRP Siedlce.
- Wójcik A. R., Laudański Z. 1989. Planowanie i wnioskowanie statystyczne w doświadczalnictwie. PWN, Warszawa.
- Zieliński T. 1999. Jak pokochać statystykę, czyli statystyka do poduszki. StatSoft, Kraków.