

TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI**ANDRZEJ BICHONSKI**

Zakład Oceny Jakości i Metod Hodowli Zbóż

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Krakowie

Zastosowanie analizy ścieżek do oceny współzależności między wybranymi cechami jęczmienia jarego browarnego

A path coefficient analysis to estimate the relations of some traits in spring brewery barley

Wykonano analizę ścieżkową na podstawie korelacji genotypowych pomiędzy ekstraktem mąki a 6 cechami: celnością ziarna, białkiem słodu, kruchością słodu, lepkością brzeczki, siłą diastatyczną, odfermentowaniem brzeczki. Materiałem badawczym było ziarno jęczmienia jarego browarnego z 3 serii doświadczeń; kolekcji jęczmienia jarego browarnego, przedwstępnych i wstępnych przeprowadzonych w latach 1996–1998. Stwierdzono wysoce istotne, dodatnie współczynniki korelacji genotypowej oraz wysoce istotne dodatnie bezpośrednie efekty pomiędzy ekstraktem mąki a kruchością słodu w 3 badanych seriach jęczmienia jarego browarnego. Okazało się również, że kruchość słodu pośrednio wpływa na zawartość białka w słodzie. Według przeprowadzonej analizy ścieżkowej cecha kruchości słodu określająca stopień rozluźnienia słodu może być ważną cechą przydatną do celów selekcyjnych rodów jęczmienia browarnego.

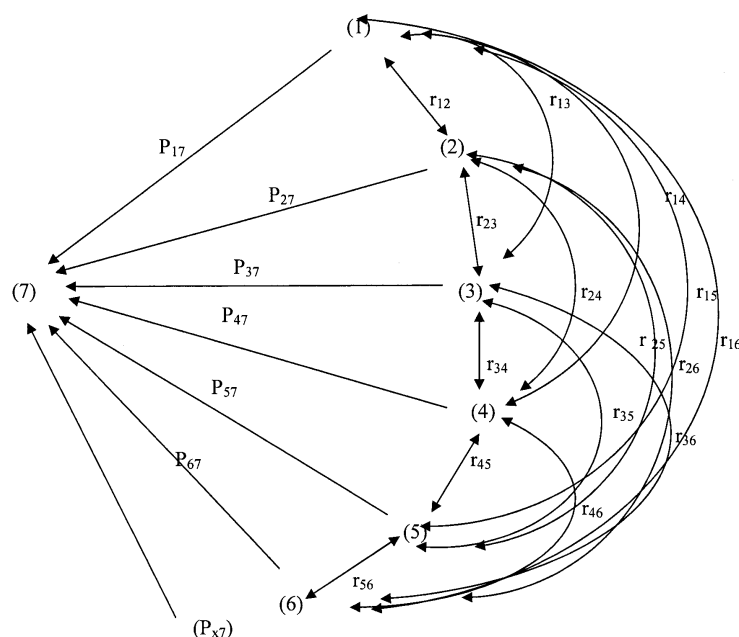
Słowa kluczowe: analiza ścieżkowa, cechy jakości browarnej, jęczmień jary browarny

A path coefficient analysis based on the genotypic correlation between fine grain extract and 6 traits: grain filling, protein content of malt, malt friability, wort viscosity, diastatic power and fermentability in spring brewery barley was done. The investigated material was the grain from 3 series of experiments: barley collection, first preliminary trials and second preliminary trials, performed in the years 1996–1998. Highly significant positive coefficients of genotypic correlation as well as highly significant direct effects between fine grain extract and malt friability were found. Malt friability in the examined samples, excepting those from the collection, had indirect effects on protein content of malt. The path analysis showed that malt friability may be considered as a useful trait in selecting valuable lines of spring brewery barley.

Key words: brewing traits, spring brewery barley, path analysis

WSTĘP

Oczekiwania oraz potrzeby odbiorców jęczmienia jarego browarnego w stosunku do producentów i hodowców jęczmienia narzucają bardzo rygorystyczne normy jakościowe partiom ziarna oferowanych w handlu i wykorzystywanym do słodowania, a następnie wytwarzania piwa (Kowalska i in., 1998; 1992; 2000; Bichoński i in., 2000). Dlatego ocenę wartości browarnej materiałów hodowlanych ziarna jęczmienia jarego browarnego przeprowadza się w oparciu o dokładne analizy, które obejmują 11 cech; masę 1000 ziaren, celność ziarna, procentową zawartość białka w ziarnie i w słodzie, zawartość białka rozpuszczalnego, liczbę Kolbacha, ekstrakt mąki, kruchość słodu, lepkość brzeczki, siłę diastatyczną i odfermentowanie brzeczki (Edney i in., 1996; Kowalska i in., 1973).



Współczynniki ścieżek obliczono z następującego układu równań (Dewey i Lu (1959))

The path coefficient were obtained by the following equations

$$1. r_{17} = P_{17} + r_{12}P_{27} + r_{13}P_{37} + r_{14}P_{47} + r_{15}P_{57} + r_{16}P_{67}$$

$$2. r_{27} = P_{27} + r_{12}P_{17} + r_{23}P_{37} + r_{24}P_{47} + r_{25}P_{57} + r_{26}P_{67}$$

$$3. r_{37} = P_{37} + r_{13}P_{17} + r_{23}P_{27} + r_{34}P_{47} + r_{35}P_{57} + r_{36}P_{67}$$

$$4. r_{47} = P_{47} + r_{14}P_{17} + r_{24}P_{27} + r_{34}P_{37} + r_{45}P_{57} + r_{46}P_{67}$$

$$5. r_{57} = P_{57} + r_{15}P_{17} + r_{25}P_{27} + r_{35}P_{37} + r_{45}P_{47} + r_{56}P_{67}$$

$$6. r_{67} = P_{67} + r_{16}P_{17} + r_{26}P_{27} + r_{36}P_{37} + r_{46}P_{47} + r_{56}P_{57}$$

$$1 = P_{x7} - P_{17}^2 - P_{27}^2 - P_{37}^2 - P_{47}^2 - P_{57}^2 - P_{67}^2 + 2P_{17}r_{12}P_{27} + 2P_{17}r_{13}P_{37} + 2P_{17}r_{14}P_{47} + 2P_{17}r_{15}P_{57} + 2P_{17}r_{16}P_{67} + 2P_{27}r_{23}P_{37} + 2P_{27}r_{24}P_{47} + 2P_{27}r_{25}P_{57} + 2P_{27}r_{26}P_{67} + 2P_{37}r_{34}P_{47} + 2P_{37}r_{35}P_{57} + 2P_{37}r_{36}P_{67} + 2P_{47}r_{45}P_{57} + 2P_{47}r_{46}P_{67} + 2P_{57}r_{56}P_{67}$$

P_{x7} — Efekt resztowy; Residual factors

Rys. 1. Diagram zależności i współzależności między cechami browarnymi (1–6) a ekstraktem mąki (7) jęczmienia jarego

Fig. 1. Path diagram for the independent brewing traits (1–6) and fine grain extract (7), the dependent character of the spring barley

Cechy te pozostają ze sobą w ścisłych związkach, których naruszenie w procesie hodowlanym może spowodować przekroczenie norm jakościowych a zatem pozbawienie cech browarnych wyhodowanego jęczmienia (Węgrzyn i in., 1982; Bichoński i in., 2000; Thomas i in., 1985). Przeprowadzone badania (Węgrzyn i in., 1982; Bichoński i in., 2000) wskazują na silne korelacje pomiędzy badanymi cechami. Niektóre z nich są również silnie uwarunkowane genetycznie (Węgrzyn i Bichoński, 2001), ale ich wpływ na jakość browarną jest nierównomierny (Molina-Cano, 1987). Spośród 11 badanych cech najważniejszą wskaźnikową cechą jakości browarnej jest ekstrakt mąki, a następnie; celność ziarna, białko słodu, kruchość słodu, lepkość brzeczki, siła diastatyczna i odfermentowanie brzeczki. Przyjęto założenie, że pomiędzy tymi cechami występują silne związki przyczynowo-skutkowe i współzależności. Zostały one przedstawione na wykresie zwanym diagramem ścieżek (rys. 1), za pomocą strzałki idącej od zmiennej objaśniającej (przyczynowej) do zmiennej objaśnianej (skutkowej) (Śmiałowski, 2002). Stosownie do założenia do zbadania związków przyczynowo-skutkowych między cechami pozostającymi w związkach biologicznych zastosowano jedną z metod statystycznych, którą jest analiza ścieżkowa. W oparciu o tą metodę wykonano badania, których celem była ocena wzajemnego związku oraz wpływu skorelowanych cech (6 zmiennych objaśniających; (1) celnością ziarna, (2) białkiem słodu, (3) kruchością słodu, (4) lepkością brzeczki, (5) siłą diastatyczną, (6) odfermentowaniem brzeczki) na cechą objaśnianą (7) ekstrakt mąki) (rys. 1), otrzymanych w wyniku oceny laboratoryjnej ziarna jęczmienia badanego w 3 seriach doświadczeń; kolekcji jęczmienia jarego browarnego, przedwstępnych i wstępnych. Ponieważ w polskiej literaturze naukowej nie są znane publikacje opisujące analizę ścieżkową w oparciu o wyniki analiz otrzymanych z polskich materiałów jęczmienia browarnego niniejsza praca uzupełnienia tę lukę.

MATERIAŁ I METODY

Założenia statystyczne metody współczynników ścieżek dla metod genetycznych opracował Wright w 1921 roku, a w hodowli roślin jako pierwszy zastosował Dewey i Lu (1959). W Polsce przykłady zastosowań metody współczynników ścieżek Wrighta podaje Żuk (1966). Analizę ścieżkową w układach przyczynowo-skutkowych opisał w swojej pracy Konys i wsp. (1984). Autorzy innych badań (Binek, 1983; Kadłubiec i in., 1983; Jedyński, 2001; Gołaszewski i in., 1993; 1996; Mądry i in., 1995; Węgrzyn i in., 1996) przeprowadzali analizę skutkowo-przyczynową wykorzystując współczynniki korelacji fenotypowych. Dewey i wsp. (1959); Sidwell i wsp. (1976); Johnson i wsp. (1983); Śmiałowski (2002) przeprowadzili analizę ścieżkową w oparciu o genotypowe współczynniki korelacji. Przytoczone prace pomijają jednak informacje dotyczące współzależności cech u jęczmienia jarego browarnego. W niniejszej pracy w analizie ścieżkowej rozpatrzono wpływ bezpośredni poszczególnych zmiennych przyczynowych ($X_1, X_2, \dots, X_n$ — celność, białko itd.) na zmienną skutkową (Y — ekstrakt mąki), a także wpływ pośredni każdej z nich przez pozostałe zmienne przyczynowe (Mądry i Rozbicki, 1995). W sumie efekt bezpośredni danej zmiennej tzw. ścieżka prosta oraz efekty pośrednie tzw. ścieżki

złożone składają się na strukturę korelacji danej cechy z cechą wynikową (Gołaszewski, 1996).

Do naszych badań wykorzystano współczynniki korelacji genotypowych obliczonych pomiędzy wybranymi cechami jakości browarnej otrzymanymi w wyniku przeprowadzenia analiz 3 serii doświadczeń; kolekcji, przedwstępnych i wstępnych w 3 latach 1996–1998 i w 3 miejscowościach. Materiał badawczy i metodykę oraz wyniki opisano w pracy Bichońskiego i wsp. (2000).

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono średnie wartości cech, zakresy zmienności i współczynniki zmienności. Największą zmiennością charakteryzowała się aktywność enzymów amylolitycznych słodu (> 20% CV). Dla pozostałych cech, tj. zawartości białka w słodzie, kruchości słodu, ostatecznego stopnia odfermentowania brzeczki, celności ziarna i ekstraktu mąki stwierdzono niskie wartości współczynników zmienności, poniżej CV 10%, co było spowodowane małą różnicą genetyczną badanych materiałów (Bichoński i in., 2000). Na to niepokojące zjawisko występujące u jęczmienia browarnego szczególnie zwraca uwagę Kowalska i wsp. (2000).

Tabela 1
Średnie wartości, zakresy cech i współczynniki zmienności dla wybranych cech browarnych jęczmienia jarego

Cechy Traits	Kolekcja jęczmienia browarnego Spring barley collection				Przedwstępne doświadczenie First preliminary trials				Wstępne doświadczenie Second preliminary trials			
	$\bar{X}$	min	max	CV (%)	$\bar{X}$	min	max	CV (%)	$\bar{X}$	min	max	CV (%)
Celność ziarna Grain filling	89,9	26,7	99,2	10,4	92,9	32,7	99,9	7,9	91,8	68,2	100,0	7,6
Białko słodu Malt protein	11,6	8,5	15,9	4,2	10,9	8,0	14,2	7,9	11,6	7,8	14,7	3,8
Kruchość słodu Malt friability	68,2	52,8	86,0	7,2	81,6	45,2	97,6	8,5	73,1	43,0	91,0	8,6
Lepkość brzeczki Wort viscosity	1,5	1,4	1,8	3,2	1,5	1,36	1,9	4,1	1,5	1,37	2,0	2,8
Siła diastatyczna Diastatic power	391	206	620	26,4	343	117	576	24,5	336	152	533	20,6
Odfermentowanie Fermentability	81,1	75,4	88,4	9,6	80	68,2	86,4	3,2	80,4	73,8	85,3	2,8
Ekstrakt mąki Fine grid extract	82,4	75,9	86,0	2,14	81,6	70,1	85,9	2,9	80,8	76,9	85,0	1,4

Zatem zachodzi pilna potrzeba poszukiwania nowych źródeł zmienności w celu uzyskania rodów charakteryzujących się lepszymi wartościami tego ważnego parametru.

W tabeli 2 przedstawiono fenotypowe i genotypowe współczynniki korelacji pomiędzy wybranymi 6 cechami jakości browarnej a ekstraktem mąki. Pomimo niskiej zmienności badanych cech odnotowano wysoce istotnie zarówno dodatnie korelacje fenotypowe i genotypowe pomiędzy kruchością słodu i odfermentowaniem a ekstraktem mąki, jak

i ujemne pomiędzy zawartością białka w słodzie, lepkością brzeczki a ekstraktem mąki (tab. 2). Podobne ujemne zależności między ekstraktywnością a zawartością białka w ziarnie jęczmienia czy słodzie zaobserwowali również: Kowalska i Ruśniak (1973), Węgrzyn i wsp. (1982). Opisane właściwości dla takich cech, jak ekstraktywność siodu i rozpuszczalność substancji białkowych są ważne dla jakości piwa, ponieważ cechy te mają wpływ na barwę piwa i właściwości piany piwa (Edney i in., 1996; Kowalska, Ruśniak, 1973).

Tabela 2

Współczynniki korelacji fenotypowych (rP) i genotypowych (rG) pomiędzy wybranymi 6 cechami jakości browarnej a ekstraktem mąki w doświadczeniach z rodami w kolekcji, przedwstępnych i wstępnych w latach 1996–1998

Phenotypic (rP) and genotypic (rG) correlation of the 6 traits of brewing quality and fine grain extract in spring barley collection and first and second preliminary trials in 1996–1998

Cechy Traits	Współczynniki korelacji pomiędzy cechami a ekstraktem mąki Correlation coefficient for traits and fine grain extract					
	kolekcja collection		przedwstępne first preliminary trials		wstępne second preliminary trials	
	rP	rG	rP	RG	rP	RG
Celność ziarna Grain filling	0,24	0,33	-0,12	0,36**	0,15	0,20
Białko siodu Malt protein	-0,41*	-0,67**	-0,18	-0,66**	-0,41**	-0,63**
Kruchość siodu Malt friability	0,56**	0,79**	0,56**	0,70**	0,56**	0,71**
Lepkość brzeczki Wort viscosity	-0,24	-0,39*	-0,01	-0,24*	-0,05	-0,54**
Siła diastatyczna Diastatic power	-0,02	-0,03	0,02	0,07	0,08	0,10
Odfermentowanie Fermentability	0,08	0,56**	0,06	0,21*	0,23	0,37*

*, ** Istotne, odpowiednio przy $P = 0,05$ i $P = 0,01$

*, ** Significant at $P = 0.05$ and $P = 0.01$, respectively

W celu wyjaśnienia wzajemnych zależności ważnych dla jakości piwa cech przeprowadzono w oparciu o współczynniki korelacji genotypowych analizę ścieżkową dla form badanych w kolekcji jęczmienia (tab. 3) w doświadczeniu przedwstępnym (tab. 4) i wstępnym (tab. 5). Analiza ścieżkowa dla kolekcji (tab. 3) wykazała, że istotnej korelacji pomiędzy celnością ziarna a ekstraktem mąki ($rG = 0,330^*$) odpowiada wysoce istotny efekt bezpośredniego działania (odpowiednio $P_{17} = 0,584^{**}$). Również wysoce istotna korelacja pomiędzy białkiem siodu i ekstraktem mąki ($rG = -0,670^{**}$) uwarunkowana jest wysoce istotnym efektem bezpośrednim ($P_{27} = -0,722^{**}$). Oznacza to, że w kolekcji celność ziarna i białko siodu w silny bezpośredni sposób wpływała na wartość ekstraktu mąki. Zależność ta nie była maskowana przez efekty pośrednie innych cech. Analiza ścieżkowa kolejnej wysoce istotnej korelacji pomiędzy kruchością siodu a ekstraktem mąki ($rG = 0,790^{**}$) ujawniła, że zależność ta wynikała głównie z silniejszego wpływu pośredniego białka siodu ($P_{r27P37} = 0,433$), podobnie silna korelacja pomiędzy odfermentowaniem brzeczki a ekstraktem mąki ($rG = 0,560^{**}$) uwarunkowana

była również silniejszym wpływem pośrednim białka słodu ($P_{r26P27} = 0,462$) (tab. 3). Reasumując; w kolekcji rodów browarnych ekstrakt mąki w sposób bezpośredni nie maskowany innymi cechami związany był z poziomem białka w słodzie i celnością ziarna. Przedstawiona analiza regresji R^2 wyjaśniła 43,4%% zmienności ekstraktu mąki wywołanej 6 współzależnymi cechami jakościowymi.

Tabela 3

Efekty bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech jakości browarnej jęczmienia jarego na ekstrakt mąki oraz współczynniki korelacji genotypowej w kolekcji jęczmienia jarego browarnego w latach 1996–1998

Direct and indirect effects the 6 traits determining brewing quality in spring barley on fine grain extract and correlation coefficients in the collection of barley in 1996–1998

Cechy Traits	Efekty bezpośrednie między cechami a ekstraktem mąki Direct effects of the traits on fine grain extract	Efekty pośrednie pomiędzy 6 cechami a ekstraktem mąki Indirect effects of traits on fine grain extract						(rG) między cechami a ekstraktem mąki (rG) between traits and fine grain extract
		1	2	3	4	5	6	
Celność ziarna Grain filling	0,584**	—	-0,20	0,007	-0,03	-0,024	-0,004	0,33*
Białko słodu Malt protein	-0,722**	0,166	—	-0,11	-0,028	0,063	-0,035	-0,67**
Kruchość słodu Malt friability	0,189	0,023	0,433	—	0,129	0,018	0,0001	0,79**
Lepkość brzożki Wort viscosity	-0,13	0,134	-0,152	-0,180	—	-0,04	-0,12	-0,39*
Siła diastatyczna Diastatic power	0,203	-0,07	-0,224	0,017	0,29	—	0,015	0,03
Odfermentowanie Fermentability	0,055	-0,047	0,462	0,0002	0,035	0,055	—	0,56**

*, ** Istotne, odpowiednio przy $P = 0,05$ i $P = 0,01$

*, ** Significant at $P = 0,05$ and $P = 0,01$, respectively

Efekt resztowy (P_{x7}) = 0,567

Residual factor

W tabeli 4 przedstawiono analizę ścieżkową przeprowadzoną dla rodów badanych w doświadczeniach przedwstępnych. Stwierdzono wysoce istotny ujemny współczynnik korelacji pomiędzy białkiem słodu a ekstraktem mąki ($rG = -0,630^{**}$), natomiast niski okazał się bezpośredni efekt pomiędzy tymi cechami ($P_{27} = -0,250^*$). Z powyższym efektem bezpośrednim sumował się stosunkowo silny pośredni wpływ kruchości słodu $P_{r23P37} = -0,472$, co w końcowym efekcie dawało wysoce istotny współczynnik korelacji pomiędzy białkiem słodu a ekstraktem mąki (tab. 4). Inny wysoce istotny współczynnik korelacji ($rG = 0,710^{**}$) pomiędzy kruchością słodu a ekstraktem mąki był silnie uwarunkowany tylko efektem bezpośrednim ($P_{37} = 0,657^{**}$ (tab. 4). Nie wzmacniały i nie osłabiały tej korelacji inne pośrednie efekty badanych cech. W przypadku kolejnej istotnej, ale słabej dodatniej korelacji pomiędzy odfermentowaniem a ekstraktem mąki ($rG = 0,370^*$) bezpośredni efekt działania okazał się nieznaczny ($P_{67} = -0,158$) (tab. 4). Analiza ścieżkowa ujawniła, że dodatni współczynnik korelacji pomiędzy odfermentowaniem a ekstraktem mąki wynikał głównie z silniejszego pośredniego wpływu kruchości słodu

$P_{r36P37} = 0,434$). Przeprowadzona analiza regresji R^2 wyjaśniła 85,0% obserwowanej zmienności ekstraktu mąki wywołanej współzależnością 6 badanych cech jakościowych jęczmienia jarego.

Tabela 4

Efekty bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech jakości browarnej jęczmienia jarego na ekstrakt mąki oraz współczynniki korelacji genotypowej w doświadczeniach przedwstępnych jęczmienia jarego browarnego w latach 1996–1998

Direct and indirect effects the 6 traits determining brewing quality in spring barley on fine grain extract and correlation coefficients in first preliminary trials in 1996–1998

Cechy Traits	Efekty bezpośrednie pomiędzy 6 cechami a ekstraktem mąki Direct effects of traits on fine grain extract	Efekty pośrednie pomiędzy cechami a ekstraktem mąki Indirect effects of traits on fine grain extract						(rG) pomiędzy cechami a ekstraktem (rG) between traits and fine grain extract
		1	2	3	4	5	6	
Celność ziarna Grain filling	0,209*	—	-0,058	-0,053	-0,008	-0,033	0,036	0,200
Białko słodu Malt protein	-0,250*	0,048	—	-0,427	-0,002	-0,027	0,027	-0,630**
Kruchość słodu Malt friability	0,657**	0,017	0,136	—	0,017	-0,039	-0,104	0,710**
Lepkość brzezki Wort viscosity	-0,033	0,050	-0,013	-0,342	—	0,085	0,133	-0,119
Siła diastatyczna Diastatic power	-0,157	0,044	-0,043	0,164	0,018	—	0,073	0,099
Odfermentowanie Fermentability	-0,158	-0,048	0,043	0,434	0,028	0,072	—	0,370*

*,** Istotne, odpowiednio przy $P = 0,05$ i $P = 0,01$

*,** Significant at $P = 0,05$ and $P = 0,01$, respectively

Efekt resztowy (P_{x7}) = 0,404

Residual factor

W tabeli 5 przedstawiono analizę ścieżkową dla rodów jęczmienia badanych doświadczeniach wstępnych. Podobnie jak w serii 1 i 2 stwierdzono silną ujemną istotną korelację ($rG = -0,660^{**}$) pomiędzy białkiem słodu a ekstraktem mąki. Okazało się, że w tym przypadku wysoka korelacja pomiędzy białkiem słodu a ekstraktem mąki wynika z oddziaływania pośredniego efektu kruchości słodu ($P = r_{37P27} = -0,569$), który determinuje wysoką wartość korelacji pomiędzy białkiem słodu a ekstraktem mąki. Inny wysoce dodatni i istotny współczynnik korelacji pomiędzy kruchością słodu a ekstraktem mąki ($rG = 0,700^{**}$) jest uwarunkowany wysokim efektem bezpośrednim ($P_{37} = 0,875^{**}$). W tej samej serii doświadczeń wstępnych obserwujemy niski współczynnik korelacji pomiędzy celnością ziarna a ekstraktem mąki ($rG = 0,360^*$) (tab. 5). Analiza ścieżkowa ujawniła, że pomiędzy tymi cechami jednak istnieje silniejszy związek, na co wskazuje istotny wysoki efekt bezpośredni ($P_{17} = -0,488^{**}$). Podobne zjawisko wystąpiło w kolekcji (tab. 3). Zależności takiej nie obserwujemy w doświadczeniach przedwstępnych.

Tabela 5

Efekty bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech jakości browarnej jęczmienia jarego na ekstrakt mąki oraz współczynniki korelacji genotypowej w wstępnych doświadczeniach jęczmienia jarego browarnego w latach 1996–1998

Direct and indirect effects the 6 traits determining brewing quality in spring barley on fine grain extract and correlation coefficients in second preliminary trials in 1996–1998

Cechy Traits	Efekty bezpośrednie pomiędzy 6 cechami a ekstraktem mąki Directs effects the traits on fine grid extract	Efekty pośrednie pomiędzy 6 cechami a ekstraktem mąki Indirect effects of traits on fine grain extract						(rG) między cechami a ekstraktem mąki (rG) between traits and fine grain extract
		1	2	3	4	5	6	
Celność ziarna Grain filling	-0,488**	—	-0,035	0,035	0,083	-0,001	0,046	-0,360**
Białko słodu Malt protein	-0,182	-0,093	—	-0,569	0,079	0,025	0,080	-0,660**
Kruchość słodu Malt friability	0,875**	-0,020	0,188	—	-0,199	0,029	-0,104	0,700**
Lepkość brzożki Wort viscosity	0,415	-0,098	-0,035	-0,420	—	-0,022	0,119	-0,050
Siła diastatyczna Diastatic power	0,133	0,005	-0,035	0,193	-0,100	—	-0,129	0,070
Odfermentowanie Fermentability	-0,221*	0,102	0,066	0,411	-0,224	0,076	—	0,201*
Współczynnik determinacji wielokrotnej liniowej $R^2 = 85,0\%$								
Multiple determination coefficient								

*, ** Istotne odpowiednio dla $P = 0,05$, $P = 0,01$

*, ** Significant at $P = 0,05$ and $P = 0,01$, respectively

Efekt resztowy (P_{x7}) = 0,141

Residual factor

Pomiędzy inną ważną zależnością odfermentowaniem brzożki a ekstraktem mąki w doświadczeniach wstępnych stwierdzamy dodatni, ale niski współczynnik korelacji ($rG = 0,201^*$) natomiast efekt bezpośredni jest ujemny ($P_{67} = -0,221$). Analiza otrzymanych wyników wskazuje, że ujemny efekt bezpośredni został zrekomensowany silnym pośrednim dodatnim wpływem kruchości słodu ($P_{36P67} = 0,411$) (tab. 5). Przedstawiona analiza regresji R^2 wyjaśniła tylko 59,6% zmienności ekstraktu mąki wywołanej współzależnością 6 badanych cech jakościowych jęczmienia jarego.

PODSUMOWANIE

1. Na podstawie analizy ścieżkowej współczynników korelacji genotypowych przeprowadzonych w oparciu o 7 cech jakości browarnej ziarna jęczmienia z wieloletnich doświadczeń z 3 seriami można stwierdzić, że istnieje silny związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy ekstraktem mąki, kruchością słodu i białkiem słodu. Okazało się, że wysoce istotne współczynniki korelacji pomiędzy ekstraktem mąki a kruchością słodu są silnie wzmacniane przez bezpośrednie efekty (z wyjątkiem kolekcji). Zawartość białka w słodzie jest wysoce istotnie skorelowana z ekstraktem mąki i nie wykazała wysokich bezpośrednich efektów, natomiast jest w silny, ale pośredni sposób determinowana przez kruchość słodu (z wyjątkiem kolekcji). Zatem według

- przeprowadzonej analizy ścieżkowej cecha kruchości słoju określająca stopień rozluźnienia słoju może być ważną cechą przydatną do celów selekcyjnych. Prowadząc selekcję rodów browarnych w kierunku wyższej zawartości ekstraktu z mąki poprzez zwiększenie kruchości słoju należy się również liczyć z korzystnym pośrednim zmniejszeniem zawartości białka w słodzie, lub zmniejszając zawartość białka w słodzie w sposób pośredni zwiększamy rozluźnienie słoju i w konsekwencji zwiększamy wartość ekstraktu z mąki.
2. Pozostałe korelacje pomiędzy badanymi cechami, jeśli są wysoce istotne, na ogół charakteryzują się niskimi wartościami efektów bezpośrednich. Oznacza to, że nie jest możliwa selekcja pośrednia w kierunku zwiększenia zawartości ekstraktu mąki przy wykorzystaniu pozostałych badanych cech jakości browarnej jęczmienia jarego.
 3. Analiza ścieżkowa okazała się przydatna dla poznania zależności i współzależności pomiędzy cechami jakości browarnej jęczmienia jarego.

LITERATURA

- Bichoński A., Burek J. 2000. Wartość browarna i plonowanie rodów jęczmienia ozimego ocenianych w latach 1989–1998. Biul. IHAR 215: 153 — 160.
- Bichoński A., Burek J. 2000. Zmienność i współzależność pomiędzy wybranymi cechami jakościowymi jęczmienia ozimego browarnego. Biul. IHAR 215: 161 — 166.
- Binek A. 1983. Korelacja i analiza współczynników ścieżek pomiędzy cechami warunkującymi strukturę plonu nasion *esparcety siewnej*. PNR Zesz. Probl. 290: 112 — 124.
- Dewey D. R., Lu K. H. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of created wheatgrass seed production. Agron. J.: 515 — 517.
- Edney M. J., Barley W., Henry R. J., Kettlewell P. S. 1996. Cereal grain quality. Chapman and Hall, London.
- Gołaszewski J., Koczowska I., Korona A., Idzkowska M. 1993. Metoda współczynników ścieżek w ocenie współzależności wybranych cech żyta ozimego i pszenżyta jarego. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Nr 223: 157 — 163.
- Gołaszewski J., Puzio-Idzkowska M. 1996. Analiza ścieżkowa w ocenie współzależności niektórych komponentów plonu nasion *grochopeluski*. Biul. IHAR 200: 314 — 317.
- Jedyński S. 2001. Odziedziczalność i analiza ścieżkowa komponentów plonu pszenicy jarej. Biul. IHAR 218/219: 203 — 210.
- Johnson S. K., Helsel. D. B., Frey. K. J. 1983. Direct and indirect selection for grain yield in oat (*Avena sativa* L.). Euphytica 32, vol. 3: 407 — 413.
- Kadłubiec W., Jedyński S., Lonc W., Strugała J. 1989. Analiza ścieżek Wrighta komponentów plonu linii i mieszańców F₁ pszenicy ozimej. Zesz. Probl. PNR 382: 127 — 132.
- Konys L., Wiśniewski P. 1984. Analiza ścieżkowa w układach przyczynowo-skutkowych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Algorytmy biometryczne i statystyczne 11. ABS-102: 37 — 54.
- Kowalska M., Ruśniak L. 1973. Jęczmień dla przemysłu browarnego. PWRiL, Warszawa.
- Kowalska M., Zator J. 1992. Wartość browarna i gospodarcza jęczmienia ozimego w warunkach Polski. Biul. IHAR 181/182: 129 — 141.
- Kowalska M., Winiarski J. 1998. Wartość krajowych odmian i rodów jęczmienia jarego w porównaniu z odmianami zagranicznymi. Biul. IHAR 207: 35 — 49.
- Kowalska M., Winiarski J., Burek J. 1998. Wartość browarna i rolnicza zagranicznych odmian jęczmienia ozimego w warunkach Polski. Biul. IHAR 207: 51 — 62.
- Kowalska M., Bichoński A., Burek J. 2000. Wartość zagranicznych odmian jęczmienia browarnego w warunkach Polski w porównaniu z odmianami i rodami hodowli krajowej. Biul. IHAR 214: 115 — 127.
- Kowalska M., Bichoński A. 2000. Wartość browarna i plonowanie rodów jęczmienia jarego w ciągu 24 lat hodowli w Polsce. Biul. IHAR. 214: 129 — 142.

- Mądry W., Rozbicki J. 1995. Analiza współczynników ścieżek dla cech rozwijających się w trakcie ontogenezy oraz plonu ziarna pszenżyta ozimego. Roczniki Nauk Rolniczych Seria A t. III Z 3/ 4: 9 — 21.
- Molina-Cano J. L. 1987. The EBC barley and malt committee index for the evaluation of malting quality in barley and its use in breeding. Plant Breeding 98: 249 — 256.
- Sidwell. R. J., Smith E. L., McNew R. W. 1976. Inheritance and interrelationships of grain yield and selected yield-related traits in a hard red winter wheat cross. Crop. Sci. 16: 650 — 654.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2000. Zmienność i zależność oraz genetyczne uwarunkowania wybranych cech u odmian i rodów żyta ozimego. Biul. IHAR 216 (1): 61 — 68.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2001. Zmienność i współzależność niektórych cech struktury plonu żyta ozimego. Biul. IHAR 216 (1): 401 — 408.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2002. Zastosowanie analizy współczynników ścieżek do oceny współzależności elementów struktury plonu żyta ozimego (*S. cereale* L.). Genetyka Ilościowa Roślin. Duszynki Zdrój. Mat. Konf.: 119 — 120.
- Thomas W. T. B., Tapsell C. R. 1985. Cross prediction studies on spring barley. Theor. Appl. Genet. 71: 550 — 555.
- Węgrzyn S., Kowalska M., Ruśniak L. 1982. Zmienność i genetyczne uwarunkowanie plonu oraz cech wartości browarnej jęczmienia jarego. Hod. Rośl. Aklim. 26, 1: 41 — 51.
- Węgrzyn S., Śmiałowski T., Grochowski L. 1996. Zmienność i współzależność cech oraz ocena zjawisk genetycznych w kolekcji roboczej żyta ozimego 1977–1992. Biul. IHAR 200: 69 — 84.
- Winiarski J. 1998. Odziedziczalność wybranych cech wartości browarnej jęczmienia jarego. Biul. IHAR 207: 25 — 34.
- Żuk B. 1966. Metoda współczynników ścieżek Wrighta i jej niektóre zastosowania. Post. Nauk Rol. 3: 85 — 99.