

MODELOWANIE WZROSTU ROZSADY KAPUSTY CHIŃSKIEJ
(*BRASSICA RAPA* VAR. *CHINENSIS*) ORAZ OCENA ZALEŻNOŚCI MIĘDZY
CECHAMI ROŚLIN PRZED SADZENIEM DO GRUNTU
I PODCZAS ZBIORÓW

Andrzej Kalisz, Joanna Kostrzewa

Katedra Roślin Warzywnych i Zielarskich, Uniwersytet Rolniczy
Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków
e-mail: a.kalisz@ur.krakow.pl

Streszczenie. Przedstawiono wykorzystanie analizy regresji prostej do stworzenia modeli wzrostu rozsady kapusty chińskiej (*Brassica rapa* var. *chinensis*, pak choy) względem czasu, jak też do przewidywania rozwoju liści tych roślin na podstawie temperatur efektywnych (stopniodni). Opracowane modele czasowe charakteryzowały się wysokimi współczynnikami determinacji R^2 wynoszącymi od 0,765 do 0,880 (dla wysokości rozsady) oraz od 0,964 do 0,970 (liczba liści). Dla temperatur efektywnych dopasowanie danych przewidywanych, dotyczących rozbudowy aparatu liściowego rozsady, do rzeczywistych wynosiło ponad 89%. Rozsadę produkowano w dwóch terminach, wysiewając nasiona na początku III dekady lipca (1. termin) i na początku sierpnia (2. termin). Rozsada przygotowywana w terminie późniejszym posiadała większą wysokość rozetek oraz powierzchnię i długość liści. Charakteryzowała się również większą świeżą masą części nadziemnej, jednocześnie niższą zawartością suchej masy, cukrów rozpuszczalnych i karotenoidów w porównaniu do 1. terminu. Stwierdzono istotne zróżnicowanie w analizowanych parametrach roślin ze względu na czynnik odmianowy. Cechy rozsady kapusty chińskiej były w dużej mierze skorelowane z cechami dojrzałych rozetek oraz z plonem ogólnym tego warzywa.

Słowa kluczowe: kapusta chińska, rozsada, modele regresji, wzrost, rozwój

WSTĘP

Kapusta chińska (pak choy) jest warzywem stosunkowo mało znanym w Polsce. Należy do roślin o krótkim okresie wegetacji, stąd doskonale nadaje się do uprawy jako poplon (Rubatzky i Yamaguchi 1997). Technika produkcji jest zbliżona jak dla spokrewnionej kapusty pekińskiej, a wymagania środowiskowe pak choy sprawiają, że w polskich warunkach klimatycznych dobrze udaje się w uprawie na zbiór od

września do października (Kalisz 2004). Jednym z ważnych elementów agrotechniki tego warzywa jest uzyskanie rozsady o odpowiednich parametrach jakościowych. Zastosowanie w produkcji warzyw rozsady dobrej jakości niewątpliwie wywiera wpływ na dalszy rozwój roślin podczas wegetacji w polu oraz w konsekwencji na ich plonowanie (Vavrina 1994, Heins i in. 2000, Korkmaz i Dufault 2001, Reghin i in. 2003). Interesującym zagadnieniem jest sprawdzenie, przez obliczenie korelacji, na ile parametry rozsady (morfologiczne i chemiczne) są związane z analogicznymi parametrami dorosłych roślin oraz z ich plonem. Takie prace były już podejmowane (Kalisz 2010). Opracowania tego typu przynoszą cenną informację, jakie cechy rozsady są najbardziej pożądane w produkcji. Niewątpliwie na jakość rozsady wpływ wywiera czynnik genetyczny, co ma duże znaczenie u pak choy, którego odmiany przynależą do kilku grup zróżnicowanych morfologicznie (Kalisz 2004), ale także warunki produkcji, które mogą być odmienne m.in. z powodu zróżnicowania terminu siewu nasion (Kalisz i in. 2006). Stąd zastosowanie różnych odmian oraz terminów produkcji przynosi szerszy pogląd na problematykę jakości rozsady kapusty chińskiej. Ważnym aspektem jest również użycie metod statystycznych do opracowania modeli wzrostu i rozwoju młodych roślin pak choy. Takie modele są opracowane dla wielu różnych gatunków warzyw i dla różnych ich stadiów rozwojowych (Wurr i in. 2002). Mogą one mieć charakter modeli opartych na relacjach czasowych (Zhang i in. 2007, Kalisz 2010) lub też na stopniodniach, które wyznaczane są poprzez sumowanie wartości temperatur efektywnych dla konkretnych faz rozwojowych roślin (Heins i in. 2000, Cho i Son 2007). Modele te przynoszą wiele korzyści, gdyż prognozowanie umożliwia precyzyjną ocenę przebiegu wzrostu i rozwoju roślin, w tym wypadku rozsady, a w konsekwencji precyzyjne oszacowanie długości cykli produkcyjny roślin lub faz rozwojowych. Ułatwia to w dużym stopniu planowanie produkcji.

MATERIAŁ I METODY

Rośliny kapusty chińskiej (*Brassica rapa* var. *chinensis*) produkowano z rozsady przygotowanej w szklarniach Wydziału Ogrodniczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, w tacach systemu VEFI (96 komórek w 1 palecie, objętość komórki 53 cm³) wypełnionych standardowo przygotowanym substratem torfowym. Doświadczenia uwzględniały w każdym roku 2 terminy siewu nasion (czynnik I): na początku III dekady lipca oraz na początku sierpnia (odpowiednio 1. i 2. termin produkcji). Czas produkcji rozsady wynosił około 3-4 tygodni. Wykorzystano następujące odmiany kapusty chińskiej (pak choy): Taisai, Pak Choy White i Green Fortune F₁ (czynnik II). Doświadczenia polowe prowadzono w miesiącach letnio-jesiennych na terenie Stacji Doświadczalnej Mydlniki UR w Krakowie, w latach 2003-2005. Sadzenie rozsady wykonano w połowie sierp-

nia oraz pod koniec tego miesiąca. Zabiegi pielęgnacyjne roślin w polu były zgodne z aktualnymi zaleceniami. Pierwsze zbiory rozet miały miejsce w połowie września (1. termin) lub w pierwszej dekadzie października (2. termin). Całkowity plon ogólny stanowiły wszystkie zebrane rośliny: handlowe oraz poza wyborem.

Ocenie poddano następujące cechy rozsady: wysokość i liczbę liści roślin oraz powierzchnię i długość liści (sekwencyjnie lub przed sadzeniem), świeżą masę części nadziemnej (metoda wagowa, waga Sartorius A120S), zawartość suchej masy (metoda suszarkowa), cukrów rozpuszczalnych (metoda antronowa) oraz karotenoidów (metoda Lichtenthalera i Wellburna). Dla dojrzałych rozet pak choy przeprowadzono zbliżone pomiary i analizy, dodatkowo oznaczono w nich zawartość kwasu L-askorbinowego (metoda Tillmansa).

Podstawowym założeniem było opracowanie modeli regresji opisujących wzrost rozsady kapusty chińskiej oraz opisanie powiązań między wybranymi cechami roślin przed sadzeniem i w trakcie zbiorów. Konstrukcję modeli wzrostu rozsady pak choy przeprowadzono posługując się regresją prostą w oparciu o zmienną czasu. W modelowaniu rozwoju liści rozsady zostały uwzględnione stopniodni ($^{\circ}\text{D}$, GDD), które obliczono na podstawie danych mikroklimatycznych zarejestrowanych przez rejestratory autonomiczne HOBO Pro RH/Temp. (Onset Computer Corp., USA), wykorzystując wzór opublikowany przez McMaster i Wilhelm (1997): $\text{GDD} = \Sigma(T_{\text{avg}} - T_{\text{base}})$; jeśli $T_{\text{avg}} < T_{\text{base}}$ to $T_{\text{avg}} = T_{\text{base}}$, gdzie T_{avg} oznaczało średnią dobową temperaturę powietrza, a $T_{\text{base}} = 5,0^{\circ}\text{C}$. Temperatury efektywne były sumowane od wschodów siewek. Zależności pomiędzy cechami biometrycznymi rozsady oraz rozet w trakcie zbioru, podobnie jak dla składu chemicznego, analizowano za pomocą macierzy korelacyjnych obliczając współczynniki korelacji liniowej (r) przy $P < 0,05$. W odniesieniu do modeli przy ocenie ich dopasowania posługiwano się współczynnikiem determinacji R^2 , a siłę zależności oceniano współczynnikiem korelacji liniowej r . Przy modelowaniu zależności od stopniodni obliczono również błąd standardowy estymacji SE_e . Do konstruowania równań regresji i macierzy korelacyjnych zastosowano program Statistica (StatSoft Inc., USA). Analizę danych doświadczalnych (parametry wzrostu i skład chemiczny rozsady pak choy) przeprowadzono ponadto w oparciu o moduł ANOVA (analiza wariancji), w celu określenia istotności różnic między średnimi (przy $P < 0,05$ oraz $P < 0,01$), posługując się testem HSD Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

Podczas produkcji rozsady kapusty chińskiej uwidoczniły się różnice odmianowe pod względem wysokości roślin (rys. 1). W miarę upływu czasu (DAS – dni od siewu) odmiana Taisai wykształcała coraz wyższe rozetki w porównaniu do dwóch po-

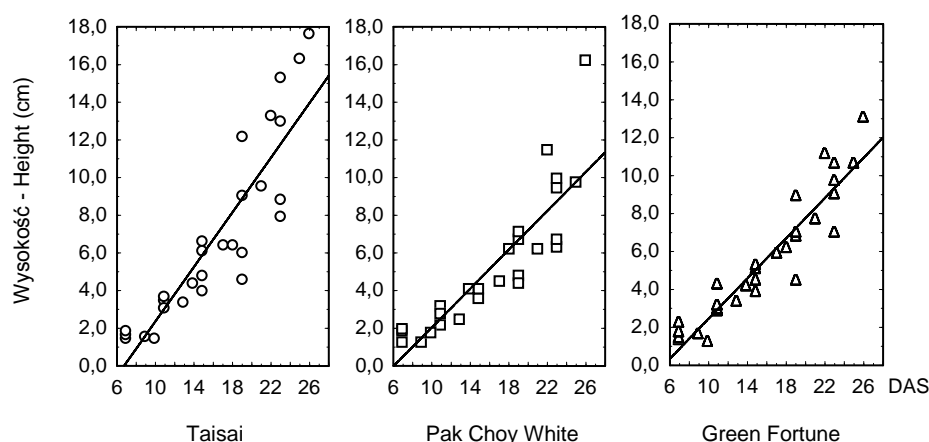
zostałych odmian. Przebieg zmian wysokości rozsady testowanych odmian opisują następujące równania regresji (y = wysokość):

$$\text{Taisai } y = -4,877 + 0,724 \cdot \text{DAS} \quad (r = 0,898; R^2 = 0,806),$$

$$\text{Pak Choy White } y = -3,109 + 0,516 \cdot \text{DAS} \quad (r = 0,875; R^2 = 0,765),$$

$$\text{oraz Green Fortune: } y = -2,837 + 0,530 \cdot \text{DAS} \quad (r = 0,938; R^2 = 0,880).$$

Zwracają uwagę wysokie współczynniki korelacji oraz determinacji, najlepsze dopasowanie modelu do danych rzeczywistych osiągnięto dla Green Fortune.



Rys. 1. Predykcja wysokości rozsady kapusty chińskiej względem czasu (DAS - dni od siewu)

Fig. 1. Height prediction of Chinese cabbage transplants against time (DAS - days after sowing)

Graficznie zilustrowane modele regresji prostej dla przewidywania liczby liści rozsady kapusty chińskiej względem czasu przedstawiono na rysunku 2. Ilość wykształcanych liści przez rośliny testowanych odmian była dosyć zbliżona przez większy okres ich produkcji. Proces rozbudowy aparatu liściowego rozsady pak choy przedstawiają następujące równania (y = liczba liści):

$$\text{Taisai } y = -1,283 + 0,304 \cdot \text{DAS} \quad (r = 0,985; R^2 = 0,970),$$

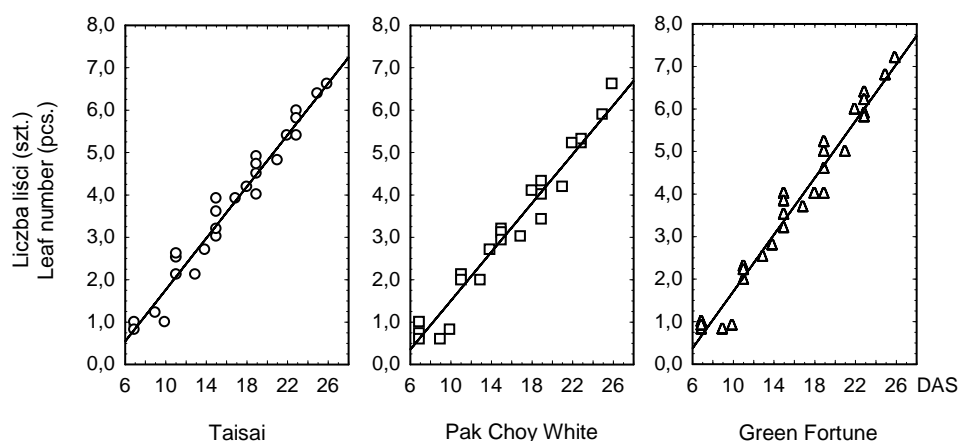
$$\text{Pak Choy White } y = -1,377 + 0,288 \cdot \text{DAS} \quad (r = 0,982; R^2 = 0,964)$$

$$\text{oraz Green Fortune } y = -1,630 + 0,334 \cdot \text{DAS} \quad (r = 0,984; R^2 = 0,969).$$

Uzyskane dla tych równań współczynniki determinacji R^2 , wskazują na bardzo dobre dopasowanie danych estymowanych do rzeczywistych.

Symulacja przebiegu wzrostu rozsady w oparciu o relacje czasowe została przedstawiona w innej publikacji opisującej kapustę pekińską (Kalisz 2010). Opracowane równania regresji pozwoliły na oszacowanie zmian w wysokości rozsady

tego gatunku z precyzją wynoszącą powyżej 67-81%, podczas gdy dla rozbudowy aparatu liściowego modele cechowały się dokładnością wyższą niż 84-91%. Z kolei Cho i Son (2007) uzyskali dopasowanie rzędu 98% dla modelu prognozującego rozwój nowych liści pak choi względem czasu, aczkolwiek dane te dotyczyły okresu po posadzeniu roślin na miejsce stałe. Powyższe wyniki, uzyskane w niniejszym doświadczeniu, można wykorzystać do przewidywania wzrostu i rozwoju rozsady kapusty chińskiej tylko w oparciu o upływający czas, bez uwzględniania innych czynników doświadczalnych. Tym samym dostarczają podstawowej informacji o długości cyklu produkcyjnego tych roślin i terminie sadzenia.



Rys. 2. Predykcja liczby liści rozsady kapusty chińskiej względem czasu (DAS - dni od siewu)
Fig. 2. Leaf number prediction of Chinese cabbage transplants against time (DAS - days after sowing)

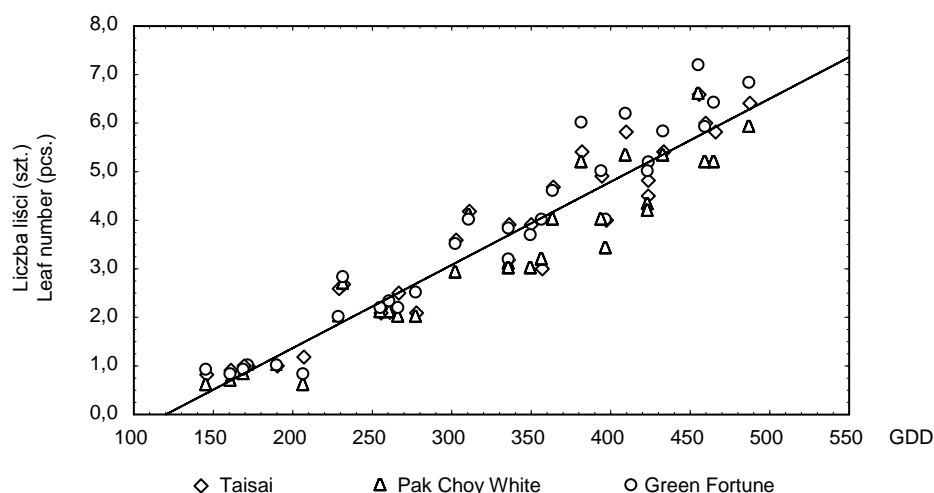
Rozwój nowych liści w dużej mierze uwarunkowany jest temperaturą. Zależność pomiędzy temperaturami efektywnymi (stopniodni, GDD) a liczbą wykształczanych przez rozsadę pak choi liści przedstawiono na rysunku 3. Równanie regresji opisujące te zmiany miało następującą postać (y = liczba liści):

$$y = -2,056 + 0,017 \cdot \text{GDD}.$$

Dla tego modelu współczynnik korelacji r wyniósł 0,948, współczynnik determinacji okazał się również wysoki, wskazując na dobre dopasowanie danych ($R^2 = 0,899$; $p < 0,000$). Błąd standardowy estymacji $SE_e = 0,590$ mówi, że przy oszacowaniu liczby liści względem stopniodni model myli się średnio o około 0,6 sztuk.

Analizę regresji do przewidywania liczby liści kapusty chińskiej w oparciu o stopniodni ($^{\circ}\text{D}$) zastosowali również Cho i Son (2007). Według tych autorów kapusta chińska po posadzeniu wykształca 0,05 liścia na 1°D , zależność miała charakter liniowy, a więc podobnie jak w niniejszym doświadczeniu. Uzyskane równanie re-

gresji cechowało się precyzją rzędu 92%. W przypadku rozsady pak choy do wytworzenia około 6,5 sztuk liści odmiana Taisai i Pak Choy White wymagała około 455°D, natomiast Green Fortune 465°D. Natomiast dla rozsady kapusty pekińskiej, do wykształcenia ponad 6 liści, było potrzebne około 260-311°D (Kalisz 2010). Modele oparte na temperaturach efektywnych zostały także opracowane do przewidywania rozwoju liści innych gatunków warzyw (NeSmith 1997, Tan i in. 2000).



Rys. 3. Zależność liniowa między liczbą liści rozsady kapusty chińskiej a liczbą stopniodni (GDD) skumulowanych od wschodów

Fig. 3. Linear relationship between leaf number of Chinese cabbage transplants and growing degree-days (GDD) accumulated from emergence

Charakterystyka cech morfologicznych rozsady kapusty chińskiej została przedstawiona w tabeli 1. Wysokość rozsady, powierzchnia liści oraz długość liści była istotnie większa w 2. terminie produkcji w stosunku do wcześniejszego. Termin produkcji nie wywarł wpływu na liczbę liści. Wyraźnie zaznaczyły się różnice odmianowe w analizowanych cechach. Najwyższe rośliny wytworzyła odmiana Taisai, niższe Pak Choy White, a najniższe Green Fortune. Identycznie układały się zależności, jak chodzi o powierzchnię liści i długość liści. Natomiast najwięcej liści posiadała rozsada odmiany Green Fortune, podczas gdy najmniej – Pak Choy White. Dla wszystkich tych cech statystycznie istotnie zaznaczyło się współdziałanie odmiany i terminu produkcji. Najwyższa była rozsada Taisai w 2. terminie produkcji, podobnie było dla długości liści. Powierzchnia liści okazała się pod względem statystycznym największa dla tej odmiany zarówno w 1., jak i 2. terminie produkcji. W obu terminach najwięcej liści wykształciła rozsada Green Fortune.

Tabela 1. Cechy morfologiczne rozsady kapusty chińskiej przed sadzeniem do gruntu**Table 1.** Morphological features of Chinese cabbage transplants before planting out to the field

Okres produkcji Growing period	Odmiana Cultivar	Wysokość Height (cm)	Liczba liści Leaf number (szt. – pcs.)	Powierzchnia liści Leaf area (cm ²)	Długość liścia Leaf length (cm)
1. termin / 1 st term	Taisai	15,4 d	6,6 c	25,3 c	14,8 d
	Pak Choy White	10,9 a	6,0 a	19,2 ab	10,4 b
	Green Fortune	10,7 a	7,1 d	18,3 a	9,4 a
2. termin / 2 nd term	Taisai	16,8 e	6,5 bc	26,6 c	15,8 e
	Pak Choy White	13,0 c	6,2 ab	21,5 b	11,9 c
	Green Fortune	11,6 b	7,0 d	18,5 ab	10,2 b
Średnia dla okresu produkcji / Means for growing period					
1. termin / 1 st term		12,3 a	6,6 a	20,9 a	11,5 a
2. termin / 2 nd term		13,8 b	6,6 a	22,2 b	12,6 b
Średnia dla odmiany / Means for cultivar					
Taisai		16,1 c	6,6 b	26,0 c	15,3 c
Pak Choy White		12,0 b	6,1 a	20,4 b	11,2 b
Green Fortune		11,2 a	7,1 c	18,4 a	9,8 a
Istotność / Significance					
Odmiana / Cultivar		**	**	**	**
Okres produkcji / Growing period		**	ni / ns	*	**
Odmiana × Okres produkcji / Cultivar × Growing period		**	**	**	**

*, ** – istotne przy $P < 0,05$ lub $P < 0,01$ (test HSD Tukeya) / significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ (Tukey's HSD test); ni / ns – statystycznie nieistotne / statistically not significant.

Tabela 2. Świeża masa i zawartość suchej masy, cukrów rozpuszczalnych i karotenoidów w rozsadzie kapusty chińskiej przed sadzeniem do gruntu
Table 2. Fresh matter and content of dry matter, soluble sugars and carotenoids of Chinese cabbage transplants before planting out to the field

Okres produkcji Growing period	Odmiana Cultivar	Świeża masa (g·roślina ⁻¹) Fresh matter (g·plant ⁻¹)	Sucha masa (% św.m.) Dry matter (% f.m.)	Cukry rozpuszczalne (% św.m.) Soluble sugars (% f.m.)	Karotenoidy (mg·100 g ⁻¹ św.m.) Carotenoids (mg·100 g ⁻¹ f.m.)
1. termin / 1 st term	Taisai	4,71 b	8,56 c	0,89 c	23,15 b
	Pak Choy White	3,97 a	8,29 b	0,91 c	27,49 c
	Green Fortune	3,92 a	8,63 c	0,84 c	26,17 c
2. termin / 2 nd term	Taisai	6,28 c	6,86 a	0,53 a	20,36 a
	Pak Choy White	5,20 b	6,79 a	0,48 a	25,78 c
	Green Fortune	4,76 b	6,98 a	0,71 b	23,10 b
Średnia dla okresu produkcji / Means for growing period					
1. termin / 1 st term		4,20 a	8,49 b	0,88 b	25,60 b
2. termin / 2 nd term		5,41 b	6,88 a	0,57 a	23,08 a
Średnia dla odmiany / Means for cultivar					
	Taisai	5,50 b	7,71 b	0,71 a	21,76 a
	Pak Choy White	4,59 a	7,54 a	0,70 a	26,64 c
	Green Fortune	4,34 a	7,81 b	0,78 b	24,64 b
Istotność / Significance					
	Odmiana / Cultivar	**	**	**	**
	Okres produkcji / Growing period	**	**	**	**
	Odmiana × Okres produkcji / Cultivar × Growing period	**	**	**	**

*, ** – istotne przy $P < 0,05$ lub $P < 0,01$ (test HSD Tukeya) / significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ (Tukey's HSD test); ni / ns – statystycznie nieistotne / statistically not significant.

Istotnie większą świeżą masą cechowała się rozsada produkowana w 2. terminie (tab. 2). Statystycznie najwięcej suchej masy, cukrów rozpuszczalnych oraz karotenoidów miały jednak rośliny z 1. terminu. Znaczące były również różnice między średnimi dla odmian kapusty chińskiej. Największą świeżą masą charakteryzowała się rozsada odmiany Taisai. Suchej masy najwięcej zawierała rozsada tej odmiany i zwłaszcza rozsada Green Fortune. Dla tej ostatniej odmiany zaobserwowano również największą akumulację cukrów rozpuszczalnych. Natomiast najbardziej zasobna w karotenoidy okazała się rozsada Pak Choy White. Stwierdzono ponadto współdziałanie czynników doświadczenia. Świeża masa była największa dla odmiany Taisai z 2. terminu produkcji, a sucha masa dla Taisai i Green Fortune z cyklu wcześniejszego. W 1. terminie produkcji wszystkie odmiany posiadały podobną ilość cukrów rozpuszczalnych, znacznie większą niż miało to miejsce w uprawie późniejszej. Niejednoznacznie i odmiennie dla poszczególnych odmian ułożyło się współdziałanie z terminem produkcji odnośnie karotenoidów. Najwięcej tych barwników posiadały Pak Choy White i Green Fortune w 1. terminie oraz Pak Choy White w 2. terminie.

Analizowane cechy rozsady zależały więc zarówno od czynnika genetycznego jak i terminu produkcji. Zastosowane odmiany kapusty chińskiej przynależą do 3 grup odmianowych ze względu na wysokość rozet: Taisai do wysokich, Pak Choy White do pośrednich i Green Fortune do niskich (Kalisz 2004). To zróżnicowanie genetyczne uwidoczniło się już podczas przygotowywania rozsady, nie tylko jak chodzi o wysokość roślin. Nieco inne warunki mikroklimatyczne, jakie panowały podczas produkcji w stosowanych terminach, również miało przełożenie na parametry jakościowe rozsady. Wpływ terminu siewu nasion na cechy rozsady stwierdzono także w innych publikacjach, aczkolwiek dotyczyły one kapusty pekińskiej (Kalisz i in. 2006, Kalisz 2010). Zróżnicowanie we wzroście pak choi w zależności od terminu uprawy obserwował również Siomos (1999), aczkolwiek wpływ tego czynnika na skład chemiczny roślin nie był zbyt znaczący. Znacznie silniejszy efekt terminu produkcji na zawartość składników odżywczych w dojrzalej kapuście chińskiej stwierdziła Kobryń (2001).

Zaobserwowano zależności pomiędzy parametrami biometrycznymi rozsady a cechami dojrzałych rozet kapusty chińskiej (tab. 3). Istotnie skorelowana okazała się wysokość rozsady Taisai z wysokością rozet i liczbą ich liści, mierzonymi w czasie zbiorów. Również powierzchnia liści rozsady była dodatnio skorelowana z tymi cechami rozet. Dla odmiany Pak Choy White statystycznie znaczących związków nie znaleziono, lecz dla Green Fortune niektóre zależności okazały się istotne. Wystąpiły one pomiędzy wysokością rozsady a liczbą liści rozet, związek ten był ujemny. Na-

tomiast liczba liści rozsady tej odmiany była pozytywnie skorelowana z wysokością rozet i liczbą ich liści w czasie zbiorów.

Tabela 3. Zależność korelacyjna między parametrami morfologicznymi rozsady kapusty chińskiej a rozetami w fazie dojrzałości zbiorczej

Table 3. Correlation relationship between some morphological features of Chinese cabbage transplants and rosettes ready to harvest

Odmiana Cultivar	Cechy rozsady Transplant features	Rozety podczas zbioru Rosettes during harvest			
		wysokość height		liczba liści leaf number	
		r	P	r	P
Taisai	wysokość / height	0,940**	0,001	0,826*	0,011
	liczba liści / leaf number	-0,131	0,757	-0,281	0,500
	powierzchnia liścia / leaf area	0,852**	0,007	0,864**	0,006
Pak Choy White	wysokość / height	0,350	0,396	-0,417	0,304
	liczba liści / leaf number	0,035	0,934	0,608	0,110
	powierzchnia liścia / leaf area	0,047	0,912	-0,533	0,174
Green Fortune	wysokość / height	-0,425	0,294	-0,717*	0,045
	liczba liści / leaf number	0,848**	0,008	0,903**	0,002
	powierzchnia liścia / leaf area	-0,290	0,486	0,000	0,999

*, ** – istotne przy $P < 0,05$ lub $P < 0,01$ – significant at $P < 0,05$ and $P < 0,01$; P – poziom istotności – significance level; N = 8.

Zaobserwowano korelacyjne powiązania między wybranymi cechami rozsady kapusty chińskiej a poziomem plonu ogólnego roślin, lecz tylko w 2. terminie produkcji, stąd tylko te dane zostały zamieszczone (tab. 4). Dla odmiany Taisai korelacje były istotne i miały charakter ujemny, czyli im większe były wartości analizowanych parametrów rozsady, tym niższy okazywał się plon ogólny. Podobnie było w przypadku pozostałych odmian, współczynniki korelacji również były ujemne, nie wszędzie jednak zależności korelacyjne były statystycznie znaczące. Wyjątkiem okazała się w tym przypadku liczba liści rozsady Pak Choy White i Green Fortune, która nie była istotnie powiązana z plonem ogólnym.

W tabeli 5 przedstawiono tylko istotne związki korelacyjne pomiędzy wybranymi składnikami chemicznymi rozsady oraz dojrzałych rozet kapusty chińskiej. Związek między suchą masą rozsady a cukrami rozpuszczalnymi rozet był ujemny, podobnie jak między karotenoidami w rozsadzie a suchą masą i kwasem L-

askorbinowym rozet. Zawartość cukrów rozpuszczalnych w rozsady kapusty chińskiej była natomiast pozytywnie skorelowana z suchą masą, cukrami rozpuszczalnymi i kwasem L-askorbinowymi oznaczonymi w rozetach.

Tabela 4. Zależność korelacyjna między parametrami morfologicznymi rozsady kapusty chińskiej a plonem ogólnym ($t \cdot ha^{-1}$) w 2. terminie produkcji

Table 4. Correlation relationship between some morphological features of Chinese cabbage transplants and total yield ($t \cdot ha^{-1}$) in the 2nd term of production

Odmiana Cultivar	Cechy rozsady Transplant features	Plon ogólny – Total yield	
		r	P
Taisai	wysokość / height	-0,701*	0,011
	liczba liści / leaf number	-0,736**	0,006
	powierzchnia liścia / leaf area	-0,646*	0,023
	świeża masa / fresh matter	-0,722**	0,008
Pak Choy White	wysokość / height	-0,631*	0,028
	liczba liści / leaf number	-0,486	0,109
	powierzchnia liścia / leaf area	-0,731**	0,007
	świeża masa / fresh matter	-0,688*	0,013
Green Fortune	wysokość / height	-0,728**	0,007
	liczba liści / leaf number	-0,498	0,099
	powierzchnia liścia / leaf area	-0,792**	0,002
	świeża masa / fresh matter	-0,655*	0,021

*, ** – istotne przy $P < 0,05$ lub $P < 0,01$ – significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$; r – współczynnik korelacji – coefficient of correlation; P – poziom istotności – significance level; N = 12.

Przedstawione powiązania korelacyjne dowodzą, że niektóre cechy jakościowe rozsady wpływają na dalszy wzrost i rozwój roślin, ich plon, a nawet na skład chemiczny dojrzałych rozet kapusty chińskiej. O związku pomiędzy parametrami rozsady a plonowaniem kapusty pekińskiej wspomniano już w innej publikacji (Kalisz 2010). Przedstawiono w niej również wybrane zależności korelacyjne między składem chemicznym rozsady a wartością odżywczą główek tego warzywa. Dane opisujące tego typu korelacje nie są szeroko dostępne dla innych gatunków warzyw, także uprawianych z rozsady. Wiele jednak publikacji przedstawia, choć w sposób opisowy za pomocą analizy wariancji, istnienie takich związków (Vavrina 1994, Wien 1997, Heins i in. 2000, Korkmaz i Dufault 2001). Daje to

podstawę do stwierdzenia, że jakość wyprodukowanej rozsady wywiera znaczący wpływ na dalszy rozwój roślin warzywnych i jakość ich plonów.

Tabela 5. Zależność korelacyjna między wybranymi składnikami roślin kapusty chińskiej przed sadzeniem do gruntu oraz w trakcie zbioru

Table 5. Correlation relationship between chosen constituents of Chinese cabbage plants before planting out to the field and during harvest

Rozsada Transplants	Rozety Rosettes	r	P
Sucha masa Dry matter	Cukry rozpuszczalne Soluble sugars	-0,311	0,008
Cukry rozpuszczalne Soluble sugars	Sucha masa Dry matter	0,485	0,000
Cukry rozpuszczalne Soluble sugars	Cukry rozpuszczalne Soluble sugars	0,437	0,000
Cukry rozpuszczalne Soluble sugars	Kwas L-askorbinowy L-ascorbic acid	0,403	0,000
Karotenoidy Carotenoids	Sucha masa Dry matter	-0,392	0,001
Karotenoidy Carotenoids	Kwas L-askorbinowy L-ascorbic acid	-0,232	0,050

r – współczynnik korelacji – coefficient of correlation; P – poziom istotności – significance level; N = 72.

WNIOSKI

1. Modele regresji liniowej wyjaśniają w 77% zmiany w wysokości rozsady kapusty chińskiej i w 96% w liczbie jej liści względem czasu upływającego od siewu nasion.

2. Dla predykcji liczby liści rozsady tego gatunku można wykorzystać temperatury efektywne (stopniodni), sumowane od wschodów siewek.

3. Rozsada przygotowywana w terminie późniejszym cechowała się większymi rozmiarami (wysokość, powierzchnia i długość liści). Opóźnienie produkcji zwiększyło także świeżą masę rozsady, lecz obniżyło zawartość suchej masy, cukrów rozpuszczalnych i karotenoidów.

4. Stwierdzono istnienie korelacji między niektórymi parametrami morfologicznymi rozsady kapusty chińskiej a jej dojrzałymi rozetami, jednak wystąpiły one tylko u odmian Taisai oraz Green Fortune.

5. Zależności pomiędzy cechami morfologicznymi rozsady kapusty chińskiej a jej plonem ogólnym były istotne tylko w 2. terminie produkcji. Im większe były rozmiary rozsady tego warzywa, tym niższy uzyskiwano plon ogólny.

6. Skład chemiczny rozsady pak choy wpływał istotnie na poziom niektórych składników w rozetach. Najsilniejsze korelacje zaobserwowano między zawartością cukrów rozpuszczalnych w juwenilnych roślinach a ilością tych związków oraz suchej masy i kwasu L-askorbinowego w dojrzałych rozetach.

PIŚMIENNICTWO

- Cho Y.Y., Son J.E., 2007. Estimation of leaf number and leaf area of hydroponic pak-choi plants (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) using growing degree-days. *Journal of Plant Biology*, 50(1), 8-11.
- Heins R.D., Liu B., Runkle E.S., 2000. Regulation of crop growth and development based on environmental factors. *Acta Horticulturae*, 511, 15-26.
- Kalisz A., 2004. Przydatność kilku odmian kapusty chińskiej (*Brassica chinensis*) do uprawy na zbiór jesienny. *Nowości Warzywnicze*, 39, 105-110.
- Kalisz A., 2010. Optymalizacja jakości rozsady a plonowanie kapusty pekińskiej (*Brassica pekinensis* Rupr.) oraz wybrane elementy modelowania rozwoju roślin. *Zeszyty Naukowe UR w Krakowie, ser. Rozprawy*, 465(342).
- Kalisz A., Siwek P., Cebula S., 2006. Ocena wzrostu i składu chemicznego rozsady kapusty pekińskiej (*Brassica pekinensis* Rupr.) w zależności od metod hartowania i terminu produkcji. *Folia Horticulturae Supplement*, 2006/1, 200-207.
- Kobryń J., 2001. Effect of planting date on pak choi and butterhead lettuce growth, yield and quality characteristics. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW Horticulture, Landscape Architecture*, 22, 43-48.
- Korkmaz A., Dufault R.J., 2001. Developmental consequences of cold temperature stress at transplanting on seedling and field growth and yield. I. Watermelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(4), 404-409.
- McMaster G.S., Wilhelm W.W., 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87, 291-300.
- NeSmith D.S., 1997. Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) leaf number as influenced by thermal time. *Scientia Horticulturae*, 68, 219-225.
- Reghin M.Y., Otto R.F., van der Vinne J., 2003. Tamanho da célula de diferentes bandejas na produção de mudas e no cultivo do pak choi na presença e ausência do agrotêxtil. *Scientia Agraria*, 4(1-2), 61-67.
- Rubatzky V.E., Yamaguchi M., 1997. *World vegetables: principles, production, and nutritive values*. Chapman & Hall, New York, USA.
- Siomos A.S., 1999. Planting date and within-row plant spacing effects on pak choi yield and quality characteristics. *Journal of Vegetable Crop Production*, 4(2), 65-73.
- Tan D.K.Y., Birch C.J., Wearing A.H., Rickert K.G., 2000. Predicting broccoli development. I. Development is predominantly determined by temperature rather than photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 84, 227-243.
- Vavrina C.S., 1994. Vegetable transplants. In: *Bedding plants IV* (Ed. E.J. Holcomb). Ball Publishing, Batavia, 351-362.
- Wien H.C., 1997. Transplanting. In: *The physiology of vegetable crops* (Ed. H.C. Wien). CAB International, New York, 37-67.
- Wurr D.C.E., Fellows J.R., Phelps K., 2002. Crop scheduling and prediction - principles and opportunities with field vegetables. *Advances in Agronomy*, 76, 201-234.

Zhang W., Bai C., Liu G., 2007. Neural network modeling of ecosystems: a case study on cabbage growth system. *Ecological Modelling*, 201(3-4), 317-325.

GROWTH MODELLING OF CHINESE CABBAGE
(*BRASSICA RAPA* VAR. *CHINENSIS*) SEEDLINGS AND EVALUATION
OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN PLANT FEATURES BEFORE
PLANTING OUT TO THE FIELD AND DURING HARVEST

Andrzej Kalisz, Joanna Kostrzewa

Department of Vegetable and Medicinal Plants, University of Agriculture in Krakow
Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków, Poland
e-mail: a.kalisz@ur.krakow.pl

Abstract. The paper presents the use of simple regression analysis to create models of Chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *chinensis*, pak choy) seedling growth with respect to time, as well as to predict the development of the leaves of these plants on the basis of effective temperatures (growing degree-days). Developed time models were characterised by high coefficients of determination R^2 ranging from 0.765 to 0.880 (for height of seedlings) and from 0.964 to 0.970 (for the number of leaves). For the effective temperatures the predicted data (leaf expansion apparatus) fitted real values in more than 89%. Seedlings were produced at two dates, sowing was done in the early third decade of July (1st term) and in the beginning of August (2nd term). Seedlings prepared at the later time had a greater height of rosettes as well as higher leaf area and leaf length. Plants were also characterised by a greater fresh weight of the shoots, while they had a reduced content of dry matter, soluble sugars and carotenoids, compared to the 1st term. There were significant differences in the analysed parameters of plants due to the cultivar factor. Features of Chinese cabbage seedlings were largely correlated with those of mature rosettes and overall yield of this vegetable crop.

Key words: Chinese cabbage, seedlings, regression models, growth, development