

Bogdan Kulig¹, Andrzej Oleksy¹, Kazimierz Pyziak², Norbert Styrc³, Jan Staroń⁴

¹ Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin

² SDOO w Głubczycach, ³ SDOO w Pawłowicach

⁴ Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Zakład Nasienno-Rolny Modzurów

Wpływ warunków siedliskowych na plonowanie oraz zróżnicowanie wybranych wskaźników roślinnych populacyjnych odmian rzepaku ozimego

The influence of habitat conditions on the yield and size of selected plant indices of open pollinated cultivars of winter rape

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, odmiany populacyjne, plon, GAI – wskaźnik zielonej powierzchni asymilacyjnej, NDVI – indeks zieleni, SPAD – indeks zieloności liścia

Celem badań przeprowadzonych w latach 2006–2009 w stacjach oceny odmian Głubczyce i Pawłowice było określenie wielkości plonowania oraz kształtowania się wskaźników roślinnych u populacyjnych odmian rzepaku ozimego w zależności od warunków siedliskowych w okresie wiosennej wegetacji roślin oraz współzależności pomiędzy badanymi cechami. Badaniami objęto 11 odmian populacyjnych rzepaku (Baros, Bojan, Brise, Cabriolet, Californium, Carusel, Digger, Libomir, Lisek, Remy i Winner). W czterech terminach (11.04, 25.04, 8.05 i 25.05) określono indeks zieloności liścia (SPAD), wskaźnik zielonej powierzchni asymilacyjnej (GAI) oraz indeks zieleni (NDVI). Wykazano istotną interakcję odmian i lat badań. Największą wielkość powierzchni asymilacyjnej określono w fazie kwitnienia (6,15). Indeks zieloności liścia uzyskał największą wartość (65,0) pod koniec kwietnia, a następnie systematycznie malał, by pod koniec maja uzyskać średnią wartość na poziomie 53,9. Indeks zieleni (NDVI) największą wartość wykazywał na początku wiosennej wegetacji (11.04), kiedy to rośliny rzepaku tworzyły zwarty, gęsto ulistniony łan. Badane wskaźniki roślinne wykazywały większą korelację pomiędzy sobą niż z plonem nasion rzepaku ozimego.

Key words: winter rape, open pollinated cultivars, seeds yield, GAI – the green area index, NDVI – the normalized difference vegetation index, SPAD – leaf greenness index

The aim of the studies carried out in 2006–2009 at two experimental stations in Głubczyce and Pawłowice was to evaluate the yield of seeds and selected plant indices of open pollinated winter rape cultivars, depending on habitat conditions during spring vegetation, as well as to determine the correlation between investigated traits. The study included 11 varieties of oilseed rape (Baros, Bojan, Brise, Cabriolet, Californium, Carusel, Digger, Libomir, Lisek, Remy and Winner). In the four periods (11 Apr., 25 Apr., 8 May and 25 May) leaf greenness index (SPAD), the green area index (GAI) and the normalized difference vegetation index (NDVI) were identified. Significant interaction between cultivars and years of investigation was shown affected seed yield, the average level was 5.15 t·ha⁻¹. The highest GAI index was obtained during flowering (6.15). Leaf greenness index gained the highest value (65.0) at the end of April and then steadily declined towards the end of May to obtain the average value of 53.9. Green index (NDVI) showed the highest value in the early spring growing season (11 Apr.), when the rape plants create a compact, dense leafy canopy, and then during the extension of stem following the loosening of canopy. The investigated plant indices showed higher correlation with each other than with the yield of seeds.

Wstęp

W ostatnich latach rośnie dynamicznie powierzchnia uprawy rzepaku ozimego oraz liczba zarejestrowanych odmian. W krajowym rejestrze przeważają odmiany populacyjne, chociaż z roku na rok wzrasta udział odmian mieszańcowych (Opisowa lista... 2009). Obecnie do Krajowego Rejestru wpisanych jest 87 odmian podwójnie ulepszonych, w tym większość (52) stanowią odmiany populacyjne. Według Budzyńskiego i in. (2005) uprawę rzepaku należy prowadzić w systemie wysokonakładowym, również badania w ramach porejestrowego doświadczalnictwa odmianowego prowadzone są na tzw. intensywnym poziomie agrotechniki. Stwierdzony w porejestrowym doświadczalnictwie odmianowym poziom plonowania rzepaku ozimego kształtuje się najczęściej w przedziale 3–6 ton nasion z 1 ha (Kaczmarek i in. 2003, Kotecki i in. 2004). W doświadczeniach PDO bada się tylko podstawowe cechy gospodarcze. Wprowadzenie do nauki rolniczej niedestrukcyjnych metod pomiaru, np. testu SPAD (Soil Plant Analysis Development) czy określanie zielonej powierzchni łąnu (GAI), pozwala zwiększyć ilość uzyskanych informacji o właściwościach odmian i ich reakcji na zróżnicowane warunki siedliska. Między tymi wskaźnikami a plonem i wybranymi wskaźnikami fizjologicznymi oraz cechami biometrycznymi występują istotne zależności stwierdzone między innymi przez Behrensa i in. (2004), Müllera i in. (2008), Pałosza (1995), Piekarczyka i in. (2004), Wieslera i in. (2001), Ostrowską i in. (2008) oraz Wójtowicza i Wójtowicza (2008). Powszechnie stosowanym wskaźnikiem charakteryzującym zawansowanie wegetacji roślin jest tzw. indeks zieleni – NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Rouse i in. 1973). Wykorzystanie wskaźników jest dość szerokie i umożliwia między innymi oszacowanie plonu i wielkości biomasy, szacowanie stopnia zachwaszczenia oraz oznaczanie stanu odżywienia i potrzeb nawozowych, zwłaszcza w stosunku do azotu (Behrensa i in. 2004, Deguisse i in. 1999, Fotyma i Bezdusznik 2000, Moges i in. 2004, Wójtowicz i in. 2005). Badaniem korelacji pomiędzy masą roślin rzepaku i wielkością odbicia promieniowania z zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni zajmowali się Brown i in. (1997). W Polsce Piekarczyk (2001) opisał charakterystyki spektralne jednej odmiany rzepaku ozimego w 10 fazach wegetacyjnych w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. Wielkość odbicia fal zmieniała się wraz ze zmianami stopnia pokrycia gleby przez rośliny oraz wielkości masy zielonej roślin. Badania te potwierdziły, że można było odróżnić spektralnie od siebie uprawy rzepaku wysiane w odstępach pięciodniowych (Piekarczyk 2000). Różnicujący wpływ odmiany na wyniki pomiarów spektralnych wykazały także badania Behrensa i in. (2004) oraz Piekarczyka i in. (2004). Wysoki stopień korelacji między wielkością NDVI a wielkością wskaźnika powierzchni liściowej stwierdzili Jensen i Binford (2004). Müller i in. (2005) wykazali krzywoliniową zależność pomiędzy zawartością azotu w liściach a wielkością wskaźnika zieloności liścia (SPAD).

Zróżnicowanie wielkości tego wskaźnika w okresie wegetacji rzepaku jarego potwierdzili Ostrowska i in. (2008), a dla rzepaku ozimego Kulig i in. (2008).

Celem badań było określenie zróżnicowania plonowania oraz wskaźników SPAD, NDVI i GAI wybranych populacyjnych odmian rzepaku ozimego w relacji do warunków siedliskowych oraz ustalenie zależności między tymi wskaźnikami a wielkością plonu.

Material i metody

Doświadczenia polowe przeprowadzono w sezonach wegetacyjnym 2006–2009 w Stacjach Doświadczalnych Oceny Odmian w Głubczycach i Pawłowicach według metodyki stosowanej w porejestrowym doświadczalnictwie odmianowym. W badaniach uwzględniono 11 populacyjnych odmian rzepaku ozimego (Baros, Bojan, Brise, Cabriolet, Californium, Carusel, Digger, Libomir, Lisek, Remy i Winner). Nawożenie fosforowo-potasowe stosowano w ilości odpowiadającej potrzebom pokarmowym roślin uwzględniając zasobność gleby. Dawkę azotu określano na podstawie testu $N_{min.}$, wykonywanego wczesną wiosną. Podstawowe dane agrotechniczne oraz daty wystąpienia głównych faz rozwojowych przedstawia tabela 1. Stosowano pełną ochronę roślin (herbicydy, insektycydy i fungicydy), wynikającą ze stopnia nasilenia występowania agrofagów oraz dokarmiano rośliny nawozami mikroelementowymi.

Oznaczenia wskaźników roślinnych wykonano za pomocą następujących urządzeń: Minolta SPAD 502DL (indeks zieloności liścia), Sunscan System firmy Delta-T (wielkość powierzchni asymilacyjnej łanu – GAI) oraz GreenSeeker firmy N-tech (indeks zieleni – NDVI). Pomiary wykonywano w następujących terminach: 11 kwietnia 2008 i 2009 r. (stadium rozwojowe BBCH 35–51), 25 kwietnia 2008 i 2009 r. (BBCH 57–61), 8 maja 2008 (BBCH 64–65) oraz 25 maja 2007 i 2009 r. (BBCH 69–71).

Względna zawartość chlorofilu (M) wyrażona jednostkami SPAD kalkulowana jest według następującego wzoru (Uddling i in. 2007):

$$M = k \log_{10} \frac{I_{0(650)} I_{(940)}}{I_{(650)} I_{0(940)}}$$

gdzie:

k — współczynnik proporcjonalności (40 dla urządzenia SPAD 502 DL);

$I_{0(650)}$ i $I_{0(940)}$ — ilość światła monochromatycznego docierającego do liścia przy długości fali 650 i 940 nm,

$I_{(650)}$ i $I_{(940)}$ — wielkość transmisji światła o długości fali 650 i 940 nm. Zakres wartości tego wskaźnika stwierdzony dla rzepaku w badaniach Kuliga i in. (2008) kształtował się w zakresie 40–80.

Sposób obliczenia indeksu zieleni obrazuje poniższe równanie (Rouse i in. 1973):

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

gdzie:

NIR — wielkość odbicia promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni (780 nm dla urządzenia GreenSeeker),

R — wielkość odbicia światła czerwonego (670 nm). Wskaźnik NDVI dla obszarów pokrytych roślinnością przyjmuje najczęściej wartości od 0,1 do 0,7 (maksymalnie 1).

Tabela 1

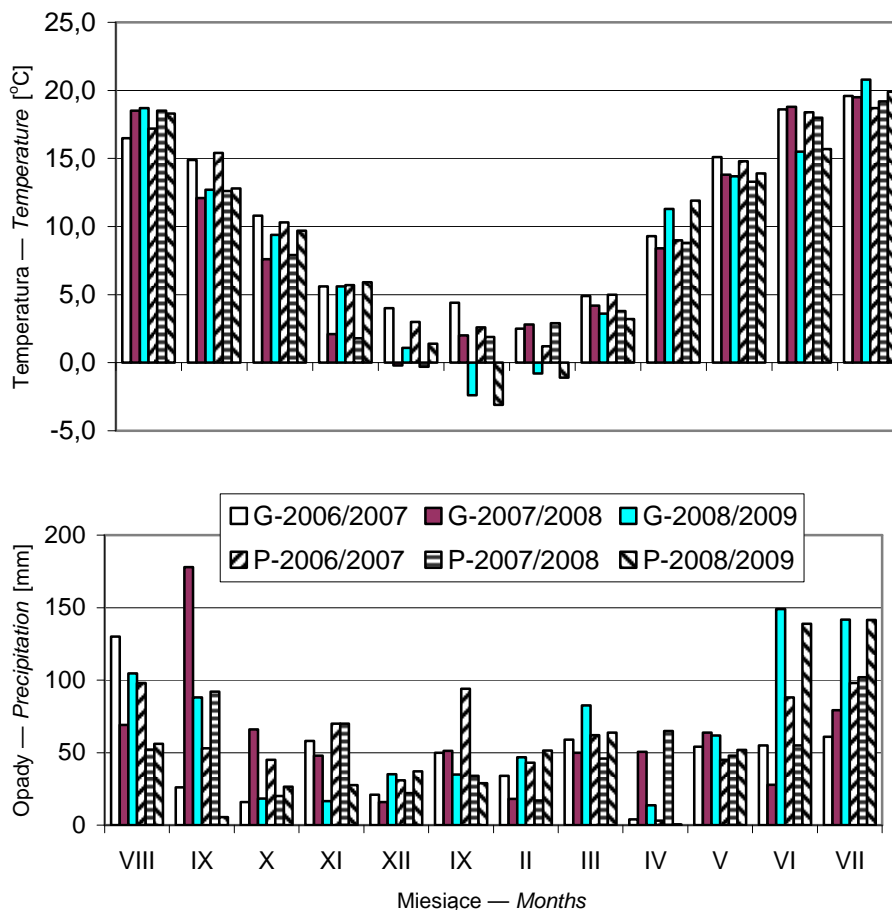
Podstawowe dane agrotechniczne oraz terminy wystąpienia głównych faz rozwojowych
Basic agronomical details and date of appearance of main developmental stages

Wyszczególnienie — <i>Item</i>	Głubczyce			Pawłowice		
Kompleks przydatności rolniczej <i>Soil suitability complex</i>	pszenny bardzo dobry (1) <i>very good wheat complex</i>			pszenny dobry (2) <i>good wheat complex</i>		
Klasa bonitacyjna <i>Soil valuation class</i>	II			IIIb		
Przedplon — <i>Forecrop</i>	jęczmień jary — <i>spring barley</i>			jęczmień jary — <i>spring barley</i>		
Obsada [nasion/m ²] — <i>Planting</i>	60			60		
Sezony wegetacyjne <i>Growing seasons</i>	2006/7	2007/8	2008/9	2006/7	2007/8	2008/9
Data siewu (dzień, miesiąc) <i>Sowing date</i>	3.09	27.08	27.08	26.08	28.08	26.08
Początek kwitnienia <i>Beginning of flowering</i>	17.04	02.05	23.04	18.04	02.05	22.04
Data zbioru — <i>Harvesting date</i>	13.07	28.07	23.07	18.07	22.07	24.07
Poziom nawożenia N; S [kg/ha] <i>Fertilization level</i>	225; 30	203; 12	210; 65	206; 40	184; 30	193; 20

Do opracowania wyników wykorzystano programy Statistica 8.0 PL, arkusz kalkulacyjny Excel oraz program do syntezy doświadczeń polowych AWAR. Plon nasion podano przy zawartości 13% wody.

Przebieg warunków pogodowych w sezonach wegetacyjnych 2006–2009 obrazuje rysunek 1. Spośród analizowanych lat najbardziej niekorzystnym dla plonowania rzepaku ozimego był sezon 2007/2008, w którym w Głubczycach występowały nadmierne opady we wrześniu oraz bardzo mała ilość opadów w czerwcu, co ujemnie wpłynęło na plonowanie roślin. Krótkotrwałe przymrozki

w trzeciej dekadzie kwietnia 2008 r. (kwitnienie rzepaku) w Pawłowicach spowodowały zmniejszenie liczby zawiązanych łuszczyn.



Rys. 1. Przebieg warunków pogodowych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych rzepaku ozimego (G – Głubczyce, P – Pawłowice) – *Meteorological conditions in vegetation seasons of winter rape (G – Głubczyce, P – Pawłowice)*

Wyniki

Plon nasion badanych odmian rzepaku ozimego w poszczególnych sezonach wegetacyjnych kształtował się w przedziale 2,18–7,08 t·ha⁻¹. Natomiast średni plon z okresu trzech lat wyniósł 5,15 t·ha⁻¹. Nie stwierdzono istotnego wpływu odmian i miejscowości na wielkość plonu nasion badanych odmian rzepaku (tab. 2). Obserwowano tendencje do lepszego plonowania odmian Cabriolet i Baros w wa-

runkach kompleksu pszennego bardzo dobrego (Głubczyce) oraz odmiany Baros na glebie kompleksu pszennego dobrego (Pawłowice). Warunki klimatyczne w poszczególnych latach istotnie różnicowały plon nasion (rys. 2). Przyczyną słabszego plonowania rzepaku w 2008 r. w Pawłowicach był przymrozek w trzeciej dekadzie kwietnia, który spowodował słabe zawiązywanie łuszczyń w środkowej części kwiatostanu.

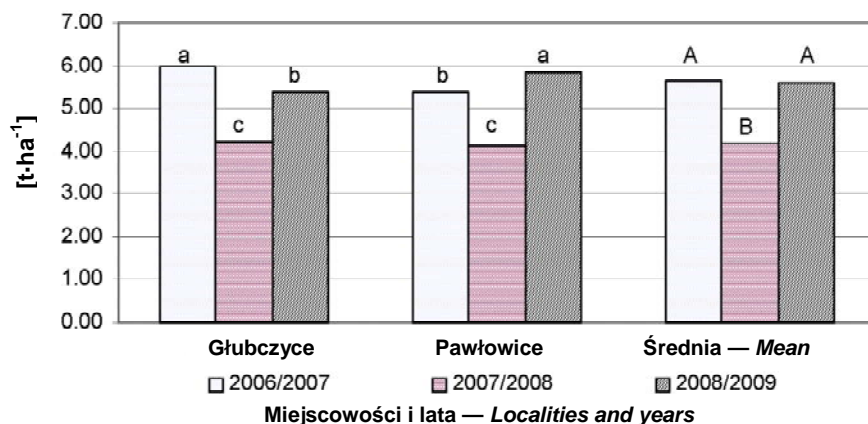
Natomiast w Głubczycach w 2008 r. wystąpił znaczny niedobór opadów w czerwcu (w okresie wykształcania łuszczyń). Nieco gorsze plonowanie rzepaku w Głubczycach w 2009 roku było wynikiem suszy glebowej w kwietniu oraz nadmiarem opadów w sierpniu i wrześniu 2008 roku, co mogło spowodować słabszy rozwój systemu korzeniowego.

Tabela 2
Średni plon nasion populacyjnych odmian rzepaku ozimego ($t \cdot ha^{-1}$, 87% suchej masy)
Average yield of seeds of selected open-pollinated winter rape cultivars ($t \cdot ha^{-1}$, 87% dry matter)

Odmiana — <i>Cultivar</i>	Miejscowość — <i>Locality</i>		Średnia — <i>Mean</i>
	Głubczyce	Pawłowice	
Baros	5,52	5,43	5,47
Bojan	4,93	5,05	4,99
Brise	5,22	5,27	5,25
Cabriole	5,63	5,11	5,37
Californium	5,18	5,16	5,17
Carousel	5,11	4,97	5,04
Digger	5,21	4,99	5,10
Libomir	5,22	5,18	5,20
Lisek	4,92	4,69	4,81
Remy	4,96	5,16	5,06
Winner	5,17	5,17	5,17
Średnia — <i>Mean</i>	5,19	5,11	5,15
NIR — $LSD_{(\alpha=0,05)}$	r.n.		r.n.

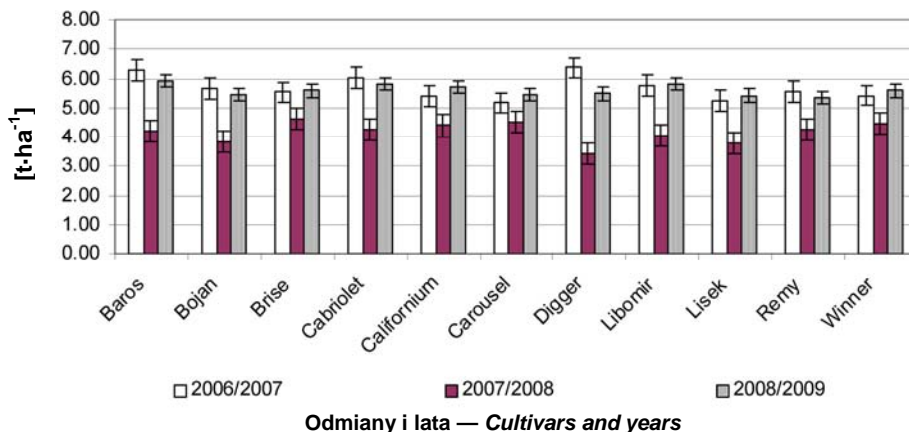
r.n. — różnica nieistotna — *no significant difference*

Wpływ warunków siedliskowych na plonowanie oraz zróżnicowanie ... 105



Rys. 2. Plon nasion rzepaku ozimego w poszczególnych latach i miejscowościach (te same małe litery oznaczają grupy jednorodnie dla współdziałania lata × miejscowości, a duże dla lat wyodrębnione na podstawie testu Duncana) — *Seeds yield of winter oilseed rape in separate years and localities (the same small letters stand for the homogeneous group interaction years × the localities, and large for years distinguished on the basis of Duncan's test)*

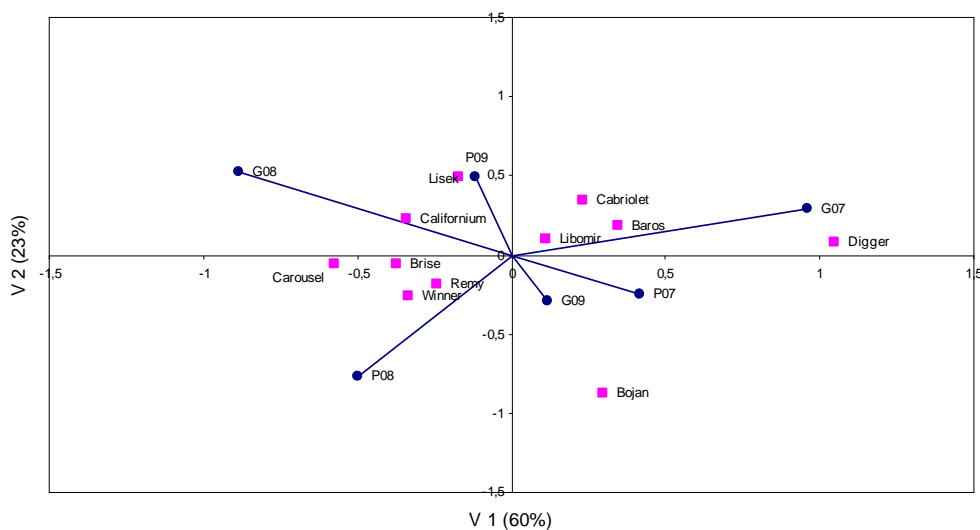
Współdziałanie odmian i lat badań przedstawia rysunek 3. Szczególnie silną reakcją na przebieg warunków pogodowych wykazywały odmiany Digger, Baros i Bojan, nieco mniejszą Libomir i Cabriolet, a najmniejszą Carrusel i Brise.



Rys. 3. Plon nasion badanych odmian rzepaku ozimego w latach 2007–2009 (słupki oznaczają NIR według testu Tukeya) — *Seeds yield of winter rape cultivars tested in 2007–2009 (the bars mean the LSD by Tukey test)*

Na rysunku 4 przedstawiono rozmieszczenie środowisk i odmian w układzie składowych głównych. Środowiska i odmiany o dużym udziale w interakcji genotypowo-środowiskowej odznaczają się dużą odległością od początku układu

współrzędnych, a odmiany leżące blisko przecięcia układu współrzędnych większą stabilnością plonowania. W środowisku G09 i P07 najwyższymi plonami cechowała się odmiana Bojan, natomiast w środowisku G07 Digger, jednocześnie odmiany te charakteryzowały się znaczną zmiennością plonu w poszczególnych latach, na co wskazuje ich oddalenie od początku układu współrzędnych. Stosunkowo małą zmiennością plonu charakteryzowały się odmiany Libomir, Remy i Brise.



Rys. 4. Wektorowe przedstawienie środowisk oraz odmian w układzie składowych głównych (G – Głubczyce, P – Pawłowice; 07–09 — kolejne lata badań) — *Vector representation of environments and genotypes in the system of principal components (G – Głubczyce, P – Pawłowice; 07–09 – subsequent years of research)*

Indeks zielonej powierzchni asymilacyjnej oznaczony na początku drugiej dekady kwietnia (BBCH 35–51) kształtował się w zależności od odmiany w zakresie od 2,69 (Baros) do 3,55 (Brise), a różnice między odmianami nie zostały potwierdzone statystycznie, natomiast pomiędzy miejscowościami były istotne. Większą powierzchnią asymilacyjną łąnu w tym terminie charakteryzował się rzepak w Głubczycach (tab. 3). W następnym terminie badań (25.04) powierzchnia asymilacyjna uległa zwiększeniu średnio o 46% w porównaniu do terminu pierwszego. Wskaźnik GAI badanych odmian wahał się w zakresie 4,29–5,13. Mimo istotnych różnic pomiędzy wielkością tego wskaźnika w obu miejscowościach, w tym terminie nastąpiło znaczne wyrównanie plantacji pod względem tej cechy, a wielkość wskaźnika GAI w Głubczycach była większa tylko o 0,43 (10%). Pod koniec pierwszej dekady maja odmiany uprawiane w Pawłowicach uzyskały maksymalną wartość wskaźnika GAI (BBCH 64–66), natomiast w Głubczycach zanotowano jeszcze nieznaczny wzrost wskaźnika aż do fazy końca kwitnienia.

Tabela 3
Zróżnicowanie wskaźnika powierzchni asymilacyjnej łąnu (GAI) w zależności od fazy rozwojowej rzepaku ozimego — *Values of green area index (GAI) dependent on the developmental stage of winter rape*

Odmiana <i>Cultivar</i>	Data — <i>Date</i>			
	11.04	25.04	8.05	25.05
Baros	2,69	4,39	5,32	5,30
Bojan	3,51	4,77	6,77	5,76
Brise	3,55	5,13	7,25	5,51
Cabriolet	3,36	4,70	6,72	4,85
Californium	2,71	4,29	5,87	5,67
Carousel	3,25	4,38	5,95	5,34
Digger	3,28	4,42	6,17	4,88
Libomir	3,23	4,74	5,40	6,13
Lisek	3,31	4,77	5,52	6,28
Remy	3,14	4,81	5,72	5,71
Winner	3,50	4,85	5,57	6,11
Średnio — <i>Mean</i>	3,23	4,66	6,03	5,59
NIR — <i>LSD</i> _($\alpha=0,05$)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
<i>Miejscowość — Locality</i>				
Głubczyce	3,70	4,87	6,56	6,73
Pawłowice	2,76	4,44	5,49	4,46
NIR — <i>LSD</i> _($\alpha=0,05$)	0,331	0,354	0,730	0,446

r.n. — różnica nieistotna — *no significant difference*

Indeks zieleni (NDVI) oznaczony w fazie wydłużania pędu/początku pako-
wania (BBCH 35–51) wykazywał nieznaczne zróżnicowanie w obrębie badanych
odmian i kształtował się w zakresie 0,82–0,85. Istotnie większą wartością tego
indeksu charakteryzował się rzepak uprawiany w Głubczycach. W drugim terminie
pomiaru nastąpiło wyraźne zmniejszenie wartości wskaźnika NDVI w Głubczycach
oraz utrzymanie się na podobnym poziomie, jak w I terminie pomiaru w Paw-
łowicach. W tym terminie wartość tego wskaźnika dla odmian mieściła się w prze-
dziale od 0,72 (Baros, Cabriolet, Californium) do 0,81 (Bojan). W okresie kwit-
nienia (8.05/BBCH 64–66), ze względu na żółte zabarwienie łąnu nastąpiło
wyraźne zmniejszenie wartości indeksu — do 0,66 w Pawłowicach i 0,58 w Głub-
czycach. Pod koniec kwitnienia i na początku zawiązywania łuszczyn wartości
indeksu zieleni były zbliżone, jak na początku kwitnienia, lecz zróżnicowanie
odmianowe nieco mniejsze (tab. 4).

Tabela 4

Zróznicowanie indeksu zieleni (NDVI) w zależności od fazy rozwojowej rzepaku ozimego
Values of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dependent on the developmental stage of winter rape

Odmiana <i>Cultivar</i>	Data — <i>Date</i>			
	11.04	25.04	8.05	25.05
Baros	0,83	0,72	0,58	0,75
Bojan	0,85	0,81	0,64	0,76
Brise	0,83	0,77	0,58	0,76
Cabriolet	0,82	0,72	0,62	0,75
Californium	0,82	0,72	0,62	0,75
Carousel	0,83	0,75	0,67	0,75
Digger	0,82	0,78	0,67	0,76
Libomir	0,83	0,78	0,51	0,77
Lisek	0,83	0,77	0,60	0,76
Remy	0,82	0,76	0,69	0,76
Winner	0,83	0,74	0,65	0,77
Średnio — <i>Mean</i>	0,83	0,76	0,62	0,76
NIR — <i>LSD</i> _($\alpha=0,05$)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.
<i>Miejscowość — Locality</i>				
Głubczyce	0,87	0,73	0,58	0,78
Pawłowice	0,78	0,78	0,66	0,74
NIR — <i>LSD</i> _($\alpha=0,05$)	0,023	0,044	0,059	0,007

r.n. — różnica nieistotna — *no significant difference*

Średnie wartości indeksu zieloności liścia (SPAD) w poszczególnych terminach badań wynosiły odpowiednio: 58,0; 62,1; 58,1 oraz 52,7 (tab. 5). W kolejnych terminach wartości tego wskaźnika wahały się w zależności od odmiany w przedziale 56,3–59,0; 61,8–68,7; 53,4–66,6; 51,2–58,7. Nie stwierdzono różnic dla średnich wartości tego wskaźnika w miejscowościach.

Analiza regresji prostoliniowej wykazała, że istnieje ścisła dodatnia zależność pomiędzy indeksem zieleni (NDVI) a wielkością wskaźnika GAI, zwłaszcza w fazie wydłużania pędu oraz pod koniec kwitnienia (rys. 5). W okresie kwitnienia współzależności te były znacznie mniejsze ze względu na zmianę zabarwienia łąnu i zmniejszenie wartości NDVI pomimo zwiększającej się powierzchni asymilacyjnej łąnu. Nie stwierdzono istotnej korelacji prostoliniowej pomiędzy plonem nasion a wielkością wskaźników GAI i SPAD. Stosując model regresji segmentowej (kawałkami liniowej) uzyskano duże przybliżenie wielkości rzeczywistych plonu nasion w zależności od wielkości badanych wskaźników roślinnych (równania 1–3).

Wpływ warunków siedliskowych na plonowanie oraz zróżnicowanie ... 109

$$Y = 4,299 - 0,381x_1, \text{ dla plonu } \leq 4,87$$

$$\text{ i } Y = 6,189 - 0,139x_1, \text{ dla plonu } > 4,87; R^2 = 72,9\% \quad (1)$$

$$Y = 2,579 + 0,031x_2, \text{ dla plonu } \leq 5,32$$

$$\text{ i } Y = 6,282 - 0,006x_2, \text{ dla plonu } > 5,32; R^2 = 64,4\% \quad (2)$$

$$Y = 5,074 - 1,168x_3, \text{ dla plonu } \leq 4,85$$

$$\text{ i } Y = 5,59 - 0,046x_3, \text{ dla plonu } > 4,85; R^2 = 72,3\% \quad (3)$$

gdzie:

Y — przewidywany plon nasion — *predicted yield of seeds*

x_1 — wartość wskaźnika GAI (25.04) — *value of GAI*

x_2 — wartość wskaźnika SPAD (25.04) — *value of SPAD*

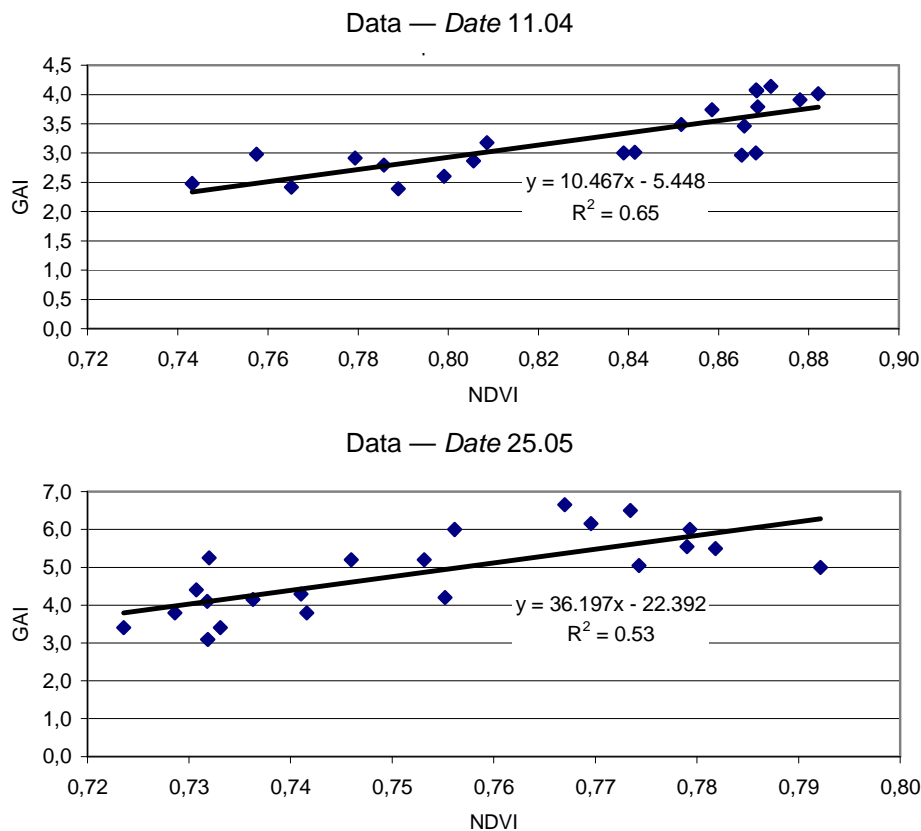
x_3 — wartość wskaźnika NDVI (25.04) — *value of NDVI*

Tabela 5

Zróżnicowanie indeksu zieloności liścia (SPAD) w zależności od fazy rozwojowej rzepaku ozimego — *Values of SPAD index dependent on the developmental stage of winter rape*

Odmiana <i>Cultivar</i>	Data — <i>Date</i>			
	11.04	25.04	8.05	25.05
Baros	57,8	64,0	57,2	52,9
Bojan	56,7	61,8	59,7	58,7
Brise	58,9	66,6	58,7	54,8
Cabriolet	57,9	68,7	66,6	57,8
Californium	58,6	65,5	58,7	53,3
Carousel	57,4	62,7	59,1	52,0
Digger	58,9	64,6	56,7	56,0
Libomir	58,4	66,1	57,2	51,2
Lisek	58,0	64,8	54,1	52,7
Remy	59,0	66,1	57,7	53,1
Winner	56,3	63,8	53,4	52,6
Średnio	58,0	65,0	58,1	54,1
NIR — $LSD_{(\alpha=0,05)}$	r. n.	r. n.	r. n.	r. n.
Miejscowość — <i>Locality</i>				
Głubczyce	58,4	64,8	57,4	53,1
Pawłowice	57,5	65,1	58,8	55,1
NIR — $LSD_{(\alpha=0,05)}$	r. n.	r. n.	r. n.	r. n.

r.n. — różnica nieistotna — *no significant difference*



Rys. 5. Zależność pomiędzy wartościami NDVI i GAI — *Relationship between NDVI and GAI values*

Dyskusja

Uzyskane w omawianym doświadczeniu plony nasion rzepaku kształtowały się w zależności od odmiany i warunków siedliskowych w granicach od 2,18 do 7,08 t·ha⁻¹. Były one zbliżone do plonu jaki uzyskiwali w warunkach Polski południowo-zachodniej Kotecki i in. (2004) oraz Kaczmarek i in. (2003). Stwierdzono istotny wpływ warunków siedliskowych wyrażony współdziałaniem lat i lokalizacji oraz lat i odmian w kształtowaniu plonu nasion. Spośród badanych odmian średnio w obu miejscowościach najlepiej plonowała odmiana Baros. Pomimo stosunkowo dużej zmienności plonu charakteryzowała się przeciętnie o 6% większym plonem nasion w porównaniu do średniej dla odmian oraz o 13,7% większym plonem w porównaniu do najgorzej plonującej odmiany Lisek (tab. 2,

rys. 3). Może to świadczyć o większej przydatności tej odmiany do uprawy w zróżnicowanych warunkach siedliskowych w porównaniu do innych odmian. Dobrze plonująca na lepszej glebie (Głubczyce) odmiana Cabriolet (8% powyżej średniej dla odmian w tej miejscowości), na gorszej glebie w Pawłowicach plonowała na poziomie przeciętnym. Natomiast dość stabilnym plonem przewyższającym średni poziom plonowania dla odmian w Pawłowicach charakteryzowała się odmiana Brise. Niezależnie od miejscowości odmiany Brise, Californium, Libomir, Remy i Winner charakteryzowały się w poszczególnych latach dość dużą stabilnością plonowania, ale na poziomie zbliżonym do średniej dla odmian (rys. 3), natomiast zdecydowanie najmniejszą wiernością plonowania cechowała się odmiana Digger (rys. 3 i 4). Odmiana ta w niesprzyjających warunkach pogodowych była zawodna plonując w sezonie wegetacyjnym 2007/2008 na poziomie $3,29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w Głubczycach i $3,59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w Pawłowicach. Natomiast w korzystnych warunkach (Głubczyce – 2007) osiągnęła największy plon wynoszący $7,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. W badaniach Koteckiego i in. (2004) uzyskano większe różnice w plonowaniu rzepaku w poszczególnych latach badan niż różnice w obrębie odmian. Znalazło to potwierdzenie w niniejszych badaniach, w których różnica w średnim plonie najlepiej i najgorzej plonującej odmiany wynosiła zaledwie $0,66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co stanowiło około 12% średniego plonu w omawianym trzyleciu. Kaczmarek i in. (2003) badając 9 odmian w 12 środowiskach (3 lata \times 4 miejscowości) stwierdzili, że plony nasion rzepaku były bardziej uzależnione od warunków atmosferycznych, aniżeli od potencjalnej produktywności gleby. Także w niniejszych badaniach nie stwierdzono istotnych różnic w plonowaniu rzepaku w omawianych miejscowościach.

Zależność wysokości plonowania od rozwoju roślin starano się wykazać za pomocą badań teledetekcyjnych. Badania te polegają na pozyskiwaniu, przetwarzaniu i interpretacji danych charakteryzujących badany obiekt pod względem ilości odbitego i emitowanego promieniowania elektromagnetycznego. Umożliwiają one opracowanie wielu tzw. wskaźników roślinnych bez konieczności uszkodzenia roślin. W omawianym doświadczeniu wartości wskaźników GAI, NDVI i SPAD zmieniały się w zależności od fazy rozwojowej rzepaku. Największymi wartościami indeksu zieleni (NDVI) charakteryzowały się odmiany w fazie wydłużania łodyg, indeksu zieloności liścia (SPAD) na początku kwitnienia, a wskaźnika powierzchni asymilacyjnej (GAI) w okresie od pełni do końca kwitnienia. Wartości indeksu zieleni w fazie wydłużania pędu/pąkowania (11.04) kształtowały się w zależności od odmiany w przedziale 0,82–0,85 i były zbliżone do tych, jakie w tej fazie rozwoju roślin uzyskali Wójtowicz i Wójtowicz (2008). Autorzy ci wykazali również istotną korelację pomiędzy wielkością NDVI w fazie pąkowania a plonem nasion, natomiast w fazie rozety i kwitnienia zależność ta była znacznie mniejsza i nieistotna. Piekarczyk (2001) wykazał podobny przebieg wartości NDVI w okresie wiosennej wegetacji (maksimum w fazie pąkowania, minimum w fazie kwitnienia oraz wzrost wielkości tego indeksu po kwitnieniu). Müller i in. (2008)

uzyskali wysoką wartość współczynnika determinacji (71%) dla współzależności pomiędzy wielkością indeksu zieleni a GAI, a znacznie mniejszą korelację pomiędzy NDVI a suchą masą nadziemną oraz ilością azotu zgromadzoną w tej biomase. Rezultaty te wskazują na silniejszą zależność pomiędzy badanymi wskaźnikami niż między nimi a plonem. Znajduje to potwierdzenie w niniejszych badaniach, w których wykazano wysoki stopień korelacji wskaźników NDVI i GAI (rys. 5). Natomiast w odniesieniu do plonu nasion nie była to współzależność prostoliniowa, o czym świadczą nieistotne współczynniki korelacji prostej oraz wysoki współczynnik determinacji dla równań regresji segmentowej opisującej plon nasion w określonym przedziale plonowania w zależności od wielkości wskaźników SPAD, GAI i NDVI. W jednorocznych badaniach Kulig i in. (2008) uzyskali dość wysoki współczynnik korelacji pomiędzy GAI a plonem nasion dla 26 populacyjnych i mieszańcowych odmian rzepaku. Jednakże zmienność warunków pogodowych może powodować, że duża powierzchnia asymilacyjna (wysoka wartość GAI oraz NDVI) nie zawsze znajdzie odzwierciedlenie w wysokim plonowaniu roślin, zwłaszcza jeśli wystąpią warunki stresowe w okresie wykształcania i dojrzewania owoców. Taki układ pogody silnie ogranicza wielkość plonu, jak to miało miejsce w obu miejscowościach w 2008 r. Zwiększenie wartości wskaźnika SPAD w II terminie pomiaru (25.04) w stosunku do I terminu (11.04) może być wytłumaczone nagromadzeniem azotu w roślinie po wiosennym nawożeniu, natomiast zmniejszenie tego indeksu w III i IV terminie rozcieńczeniem azotu w miarę intensywnego gromadzenia biomasy nadziemnej, na co wskazują Colnenne i in. (1998). Müller i in. (2005) przedstawili empiryczną zależność dla określenia zawartości azotu w liściach na podstawie pomiarów SPAD oraz sezonowy rozkład zawartości azotu w liściach rzepaku w zależności od nawożenia azotem, z którego wynika że między stadium rozwoju BBCH 60–65 a 81–85 następuje systematyczne zmniejszenie zawartości azotu w liściach.

Wnioski

1. Plon nasion populacyjnych odmian rzepaku był silnie uzależniony od warunków siedliskowych oraz współdziałania odmian i lat badań. Kształtował się on w przedziale 2,18–7,08 t·ha⁻¹. Dużą zmiennością plonowania charakteryzowały się odmiany Digger i Bojan, natomiast najmniejszą odmiana Libomir.
2. Wartości wskaźników GAI, NDVI i SPAD zmieniały się w zależności od fazy rozwojowej rzepaku. Największymi wartościami indeksu zieloności liścia charakteryzowały się odmiany na początku kwitnienia, indeksu zieleni (NDVI) w fazie wydłużania łodyg, a maksymalną wartość wskaźnik GAI osiąga w okresie od pełni do końca kwitnienia.

3. Indeks GAI był dodatnio skorelowany z indeksem zieleni w fazie wydłużania łodyg oraz po kwitnieniu.
4. Stosując model regresji segmentowej (kawałkami liniowej) uzyskano stosunkowo duże wyjaśnienie zmienności plonu nasion w oparciu o wartości wskaźników GAI, NDVI i SPAD.

Literatura

- Behrens T., Kraft M., Wiesler F. 2004. Influence of measuring angle, nitrogen fertilization and variety on spectral reflectance of winter oilseed rape canopies. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 99-105.
- Brown R.J., Staenz K., McNairn H., Hopp B., Van Acker R. 1997. Application of high resolution optical imagery to precision agriculture. *International Symposium, Geomatics in the Era of RADARSAT (GER'97)*, Ottawa, Canada, May 25-30: 9.
- Budzyński W.S., Jankowski K.J., Truszkowski W. 2005. Rolnicza i ekonomiczna efektywność technologii produkcji nasion rzepaku ozimego w wybranych gospodarstwach wielkoobszarowych. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI (2): 407-420.
- Colnenne C., Meynard J.M., Reau R., Justes E., Merrien A. 1998. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Oilseed Rape. *Ann. Botany*, 81: 311–317.
- Deguisse J.C., Staenz K., Lefebvre J. 1999. Agricultural application of airborne hyperspectral data weed detection. *International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 4th/21st Canadian Symposium on Remote Sensing*, Ottawa, Canada, 21-24 June 1999, II: 352-358.
- Fotyma E., Bezdusznik D. 2000. Ocena stanu odżywienia zbóż ozimych azotem na podstawie pomiaru indeksu zieloności liścia. *Fragm. Agronom.*, 4 (68): 29-45.
- Jensen R.R., Binford M.W. 2004. Measurements and comparison of leaf area index estimators derived from satellite remote sensing techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 4251-4265
- Kaczmarek J., Kotecki A., Kotowicz L., Weber R. 2003. Interakcja genotypowo-środowiskowa plonowania odmian rzepaku ozimego w doświadczeniach PDO. *Biuletyn IHAR*, 226/227 (2): 395-403.
- Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2004. Wpływ zróżnicowanego poziomu agrotechniki na rozwój i plonowanie odmian rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (1): 97-108.
- Kuliś B., Oleksy A., Styrc N., Pyziak K., Staroń J. 2008. Wpływ warunków siedliskowych i poziomu agrotechniki na plonowanie oraz wielkość indeksów GAI i SPAD różnych typów odmian rzepaku ozimego. *XXIX Konferencja Naukowa Rośliny Oleiste*, 11-12.03.2008, Streszczenia – Abstracts: 82-88.
- Lista opisowa odmian. 2009. COBORU. Słupia Wielka, Rośliny rolnicze, cz. 2. Rzepak: 5-28.
- Moges S.M., Raun W.R., Mullen R.W., Freeman K.W., Johnson G.V., Solie J.B. 2004. Evaluation of Green, Red, and Near Infrared Bands for Predicting Winter Wheat Biomass, Nitrogen Uptake, and Final Grain Yield. *J. Plant Nutr.*, 27 (8): 1431-1441.
- Müller J., Behrens T., Dipenbrock W. 2005. Measurement and modelling of canopy gas exchange of oilseed rape. *Agric. & Forest Meteorol.*, 132: 181-200.

- Müller K., Botcher U., Meyer-Schatz F., Kage H. 2008. Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems Engineering*, 101:172-182.
- Ostrowska D., Pietkiewicz S., Ciesiński M., Kucińska M., Gozdowski D. 2008. Biomass accumulation and absorption of photosynthetic active radiation by rapeseed plants depending on sulphur fertilization. *World J. Agric. Sci.*, 4 (2): 133-136.
- Pałusz T. 1995. Indeks liściowy (LAI) i jego zastosowanie do prognozowania plonu rzepaku. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XVI (1): 135-140.
- Piekarczyk J. 2001. Temporal variation of the winter rape crop spectral characteristics. *International Agrophysics*, 15: 101-107.
- Piekarczyk J., Wójtowicz M., Wójtowicz A. 2004. Wpływ nawożenia azotowego i odmian na charakterystyki spektralne łanu rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (1): 280-291.
- Rouse J.W., Has R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington, DC: NASA*, vol. 1: 309-317.
- Uddling J., Gelang-Alfredsson J., Piikki K., Pleijel H. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth. Res.*, 91: 37-46.
- Wiesler F., Behrens T., Horst W.J. 2001. Nitrogen efficiency of contrasting rape ideotypes. In: Horst W.J. et al. (eds.), *Plant Nutrition – Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems*, 60-61, Kluwer Academic Publishers.
- Wójtowicz A., Wójtowicz M., Piekarczyk J. 2005. Zastosowanie teledetekcji do monitorowania i oceny produktywności plantacji rzepaku. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXVI (1): 269-276.
- Wójtowicz M., Wójtowicz A. 2008. Monitoring of changes in the reflectance of electromagnetic radiation from winter oilseed rape canopy with the use of field radiometer CE313. *Acta Agrophysica*, 12 (1): 225-268.