

Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin  
e-mail: leszek.rachon@up.lublin.pl

LESZEK RACHOŃ, GRZEGORZ SZUMIŁO

**Zmienność wskaźnika powierzchni liści (LAI)  
w zależności od genotypu pszenicy  
i intensyfikacji technologii uprawy**

---

Variability of leaf area index (LAI), depending on the wheat genotype  
and the intensification of the cultivation technology

**Streszczenie.** W pracy określono zmienność wskaźnika powierzchni liści (LAI) w zależności od genotypu pszenicy oraz intensywności technologii uprawy. Dwuczynnikowe doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2011–2013 w Gospodarstwie Doświadczalnym Felin Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem były 4 gatunki (podgatunki) pszenicy ozimej: pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) – odmiana Tonacja, pszenica twarda (*Triticum durum* Desf.) – odmiana Komnata, pszenica orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* (L.) Thell.) – odmiana Schwabekorn, pszenica jednoziarnowa (*Triticum monococcum* L.) – PL 5003 (materiał siewny pozyskany z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych). Drugą zmienną były poziomy agrotechniki: przeciętny poziom agrotechniki – nawożenie mineralne (N – 70, P – 30,5, K – 99,6 kg·ha<sup>-1</sup>), zaprawianie ziarna i zwalczanie chwastów; wysoki poziom agrotechniki – zwiększone nawożenie azotowe (N – 140, P – 30,5, K – 99,6 kg·ha<sup>-1</sup>), zaprawianie ziarna, zwalczanie chwastów, 2 zabiegi przeciw chorobom, insektycyd i regulator wzrostu. W okresie wegetacyjnym określono na każdym poletku wskaźnik powierzchni liści (LAI) w fazach: kłoszenia (BBCH 55–58), kwitnienia (BBCH 61–65) i dojrzałości młeczej (BBCH 73–75), wykonując pomiary aparatem Sun Scan Canopy Analysis System typu SS1 (Delta-T Devices UK). Uzyskane wyniki wskazują, że zarówno porównywane genotypy pszenicy ozimej, jak i intensyfikacja technologii produkcji różnicowały indeks LAI. Największą wartość indeksu powierzchni liści osiągnęła odmiana pszenicy orkisz – Schwabekorn, a najmniejszą pszenica jednoziarnowa. Podwyższony poziom agrotechniki skutkowało wzrostem indeksu LAI u wszystkich analizowanych genotypów. Odnotowano także zróżnicowanie omawianego wskaźnika w latach badań.

**Słowa kluczowe:** pszenica zwyczajna, pszenica twarda, pszenica orkisz, pszenica jednoziarnowa, wskaźnik powierzchni liści, technologia uprawy

## WSTĘP

Wskaźnik powierzchni liści (LAI) to sumaryczna powierzchnia liści mierzona na jednostkę powierzchni obsianego gruntu. Określa on właściwości strukturalne i biochemiczne roślin i jest jednym z parametrów, który wpływa na produktywność roślin [Glenn i in. 2008, Zheng i Moskal 2009, Uździcka i in. 2012]. Dane literaturowe dowodzą, iż między wielkością plonu ziarna a wartością wskaźnika LAI istnieje zależność – im wyższy wskaźnik, tym większa powinna być produkcja biomasy [Woźniak i in. 2005, Jaśkiewicz 2007]. Z kolei zbyt duże wartości LAI mogą pogarszać warunki świetlne, przez co zwiększają podatność roślin na porażenie patogenami. Wskaźnik LAI może przyjmować wartości od 0 na terenach pozbawionych roślinności do 6 w wielopiętrowym, gęstym lesie. Optymalny LAI dla roślin zbożowych powinien wynosić około 4 [Czerednik i Nalborczyk 2000]. Wartość LAI zależy od warunków siedliskowych, agrotechnicznych i genetycznych [Biskupski i in. 2004, Biskupski i in. 2007, Oleksy i in. 2009]. Obok powszechnie uprawianej pszenicy zwyczajnej na naszych polach pojawiają się coraz częściej mniej znane gatunki pszenicy, takie jak pszenica twarda, orkisz, płaskurka czy samopsza. Niektóre z nich, mimo niższego plonowania, cechują się mniejszymi wymaganiami siedliskowymi oraz wysoką wartością odżywczą ziarna i jego przetworów [Rachoń i in. 2013, 2014]. Badaniami objęto kilka genotypów pszenicy. W hipotezie badawczej założono, że zarówno genotyp, jak i intensyfikacja technologii uprawy będą miały istotny wpływ na wartość wskaźnika powierzchni liści LAI. Celem było określenie zmienności wskaźnika powierzchni liści pod wpływem genotypu pszenicy oraz intensywności technologii uprawy.

## MATERIAŁ I METODY

Chcąc zrealizować założone cele badawcze w latach 2011–2013 w Gospodarstwie Doświadczalnym Felin Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie przeprowadzono metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach dwuczynnikowe doświadczenia polowe. Pole doświadczalne zlokalizowane było na glebie wytworzonej z pyłów pochodzenia lessowego, zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego. Zasobność gleby w fosfor i potas była wysoka (P – 78,9 i K – 180,1 mg·kg<sup>-1</sup> gleby), natomiast zawartość magnezu w glebie kształtowała się na niskim poziomie (39,5 mg·kg<sup>-1</sup>).

Pierwszym czynnikiem były 4 gatunki (podgatunki) pszenicy ozimej:

- pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum* L.) – odmiana Tonacja;
- pszenica jednoziarnowa (*Triticum monococcum* L.) – PL 5003 (materiał siewny pozyskany z Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych);
- pszenica twarda (*Triticum durum* Desf.) – odmiana Komnata;
- pszenica orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* (L.) Thell.) – odmiana Schwabenkorn.

Drugim czynnikiem były poziomy agrotechniki:

- przeciętny poziom agrotechniki: nawożenie mineralne (N – 70, P – 30,5, K – 99,6 kg·ha<sup>-1</sup>), zaprawianie ziarna i zwalczanie chwastów;
- wysoki poziom agrotechniki: zwiększone nawożenie azotowe (N – 140, P – 30,5, K – 99,6 kg·ha<sup>-1</sup>), zaprawianie ziarna, zwalczanie chwastów, 2 zabiegi przeciw chorobom, insektycyd i regulator wzrostu.

Doświadczenie zostało założone w stanowisku po rzepaku ozimym. Przed siewem ziarno pszenicy zaprawiano preparatem Baytan Universal 094 FS w ilości 400 ml środka z dodatkiem 200 ml wody na 100 kg ziarna.

Uprawa roli była zgodna z przyjętą dla pszenicy ozimej agrotechniką. Po zbiorze przedplonu wykonano zespół uprawek poźniwnych, a 10–14 dni przed siewem orkę siewną i bronowanie poprzedzone nawożeniem mineralnym. Powierzchnia poletek do siewu wynosiła 22 m<sup>2</sup>, a do zbioru – 10 m<sup>2</sup>. Siew wykonywano w optymalnych terminach agrotechnicznych. Pszenicę ozimą wysiewano w ilości 450 ziaren na 1 m<sup>2</sup>.

W okresie wegetacyjnym określono na każdym poletku wskaźnik powierzchni liści (LAI) w fazach: kłoszenia (BBCH 55–58), kwitnienia (BBCH 61–65) i dojrzałości młecznej (BBCH 73–75), wykonując pomiary aparatem SunScan Canopy Analysis System typu SS1 (Delta-T Devices UK).

Wyniki poddano analizie wariancji, natomiast różnice oszacowano testem Tukeya na poziomie istotności  $p = 0,05$ .

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały, że najwyższą wartością indeksu powierzchni liściowej (LAI) cechowała się odmiana Schwabenkorn pszenicy orkiszowej (tab. 2, 3, 4). Pomiary wykonane w fazach: kłoszenia, kwitnienia i dojrzałości młecznej wykazały wartości odpowiednio 4,90; 4,56; 3,47. Były to wartości istotnie wyższe w porównaniu z odmianą Tonacja pszenicy zwyczajnej (4,25; 3,99; 3,01), odmianą Komnata pszenicy twardej (3,97; 3,92; 3,08) oraz pszenicą jednoziarnistą (2,97; 3,05; 2,76). Wysoki wskaźnik powierzchni liści pszenicy orkiszowej w fazie kłoszenia – w zależności od odmiany od 4,05 do 3,14 – uzyskali także Andruszczak i in. [2012].

Tabela 1. Opady i temperatura powietrza w latach 2011–2013 w zestawieniu ze średnimi wieloletnimi (1951–2010) wg Obserwatorium Meteorologicznego w Felinie  
Table 1. Rainfalls and air temperatures of the years 2011–2013 as compared to the long-term mean figures (1951–2010), according to the Meteorological Observatory at Felin

Lata Years	Miesiące/ Months											
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Opady/ Rainfalls (mm)											
2011/2012	5,4	28,5	1,0	34,5	33,6	22,1	28,6	34,0	56,3	62,8	52,3	37,6
2012/2013	35,5	88,8	29,8	28,8	57,7	28,5	60,8	51,1	101,6	105,9	126,1	17,8
Średnio z lat Mean for 1951–2010	53,7	40,1	38,2	31,4	23,4	25,8	28,0	39,0	60,7	65,9	82,0	70,7
	Temperatura powietrza/ Air temperature (°C)											
2011/2012	15,2	8,0	2,4	2,0	-1,8	-7,1	4,3	9,5	15,0	17,3	21,5	19,2
2012/2013	15,0	8,1	5,5	-3,8	-3,8	-1,0	-2,4	8,1	15,3	18,5	19,2	19,2
Średnio z lat Mean for 1951–2010	12,6	7,6	2,6	-1,6	-3,7	-2,8	1,0	7,4	13,0	16,3	18,0	17,2

Tabela 2. Wielkość wskaźnika powierzchni liści łanu pszenicy ozimej w fazie kłoszenia ( $m^2 \cdot m^{-2}$ )  
Table 2. Value of leaf area index of winter wheat at earing stage ( $m^2 \cdot m^{-2}$ )

Genotypy Genotypes	PA			WA			Średnio/ Mean		Średnio Mean
	2012	2013	średnio mean	2012	2013	średnio mean	2012	2013	
<i>T. aestivum</i>	3,88	4,10	3,99	4,27	4,76	4,51	4,07	4,43	4,25
<i>T. monococcum</i>	2,26	2,59	2,42	3,01	4,04	3,52	2,63	3,32	2,97
<i>T. durum</i>	3,30	3,91	3,60	3,84	4,84	4,34	3,57	4,38	3,97
<i>T. spelta</i>	4,48	4,63	4,55	5,05	5,43	5,24	4,76	5,03	4,90
Średnio/ Mean	3,48	3,81	3,64	4,04	4,77	4,40	3,76	4,29	–
NIR/ LSD <sub>0,05</sub>	a – 0,257; b – 0,137; a × b – 0,363; c – 0,137; a × c – 0,363; b × c – 0,275								

PA – przeciętny poziom agrotechniki/ average level of agricultural technology; WA – wysoki poziom agrotechniki/ high level of agricultural technology; a – dla genotypów/ for genotypes; b – dla poziomów agrotechniki/ for levels of agricultural technology; c – dla lat/ for years; a × b – dla interakcji genotyp × poziom agrotechniki/ for interaction genotype × level of agricultural technology; a × c – dla interakcji genotyp × rok/ for interaction genotype × year; b × c – dla interakcji poziom agrotechniki × rok/ for level of agricultural technology × year; r.n. – różnice nieistotne/ not significant

Tabela 3. Wielkość wskaźnika powierzchni liści łanu pszenicy ozimej w fazie kwitnienia ( $m^2 \cdot m^{-2}$ )  
Table 3. Value of leaf area index of winter wheat at flowering stage ( $m^2 \cdot m^{-2}$ )

Genotypy Genotypes	PA			WA			Średnio/ Mean		Średnio Mean
	2012	2013	średnio mean	2012	2013	średnio mean	2012	2013	
<i>T. aestivum</i>	3,75	3,89	3,82	3,90	4,42	4,16	3,83	4,15	3,99
<i>T. monococcum</i>	2,35	3,13	2,74	2,80	3,94	3,37	2,58	3,53	3,05
<i>T. durum</i>	3,59	4,02	3,80	3,63	4,46	4,04	3,61	4,24	3,92
<i>T. spelta</i>	4,24	4,01	4,13	4,70	5,28	4,99	4,47	4,64	4,56
Średnio/ Mean	3,48	3,76	3,62	3,76	4,52	4,14	3,62	4,14	–
NIR/ LSD <sub>0,05</sub>	a – 0,264; b – 0,141; a × b – 0,373; c – 0,141; a × c – 0,373; b × c – 0,282								

Objaśnienia pod tabelą 2/ Explanations under the table 2

W badaniach prowadzonych przez Woźniaka [2008] wskaźnik LAI dla pszenicy zwyczajnej kształtował się odpowiednio: 4,07; 3,83 i 2,54, a w badaniach Woźniaka i in. [2005], dotyczących pszenicy twardej, wskaźnik ten w fazie kwitnienia w warunkach intensywnej technologii uprawy miał wartość 2,39. Podwyższony poziom agrotechniki, niezależnie od porównywanych gatunków, zwiększył istotnie wartość indeksu LAI w kolejnych fazach odpowiednio o 0,76; 0,52; 0,68. Badania prowadzone przez Oleksego i in. [2009] wykazały, że pszenica ozima uprawiana w technologii intensywnej osiągała wyższe wartości wskaźnika LAI niż na obiektach z uprawą standardową. Kołodziejczyk

i Szmigiel [2010] stwierdzili wyższą wartość omawianego wskaźnika po zastosowaniu ochrony fungicydowej, retardanta oraz nawożenia azotem. Niższy wskaźnik LAI, po zastosowaniu ochrony chemicznej, uzyskali natomiast Andruszczak i in. [2012]. Uzasadniają to mniejszym zachwaszczeniem obiektów chronionych w porównaniu z obiektami kontrolnymi.

Tabela 4. Wielkość wskaźnika powierzchni liści łanu pszenicy ozimej w fazie dojrzałości mleczonej ( $m^2 \cdot m^{-2}$ )

Table 4. Value of leaf area index of winter wheat at milk maturity stage ( $m^2 \cdot m^{-2}$ )

Genotypy Genotypes	PA			WA			Średnio/ Mean		Średnio Mean
	2012	2013	średnio mean	2012	2013	średnio mean	2012	2013	
<i>T. aestivum</i>	2,62	2,76	2,69	2,95	3,69	3,32	2,79	3,23	3,01
<i>T. monococcum</i>	2,11	2,57	2,34	2,71	3,66	3,19	2,41	3,11	2,76
<i>T. durum</i>	2,68	2,83	2,75	3,04	3,76	3,40	2,86	3,29	3,08
<i>T. spelta</i>	3,16	3,18	3,17	3,51	4,01	3,76	3,34	3,60	3,47
Średnio/ Mean	2,64	2,83	2,74	3,05	3,78	3,42	2,85	3,31	—
NIR/ LSD <sub>0,05</sub>	a – 0,239; b – 0,128; a × b – r.n.; c – 0,128; a × c – r.n.; b × c – 0,256								

Objaśnienia pod tabelą 2/ Explanations under the table 2

Stwierdzono współdziałanie między badanymi czynnikami w fazie kłoszenia i kwitnienia, w których to pszenica zwyczajna i orkiszowa reagowały istotnym wzrostem analizowanego wskaźnika. Pszenica jednoziarnowa pozytywną reakcję wykazała tylko w fazie kwitnienia, a pszenica twarda w fazie kłoszenia. Pomiary wykonane w latach 2012–2013 wykazały wyższe wartości wskaźnika w 2013 r., w którym to warunki klimatyczne były bardziej sprzyjające dla wzrostu i rozwoju roślin (tab. 1). Spowodowane to było równomiernym rozkładem opadów, zwłaszcza w okresie wschodów i krzewienia zbóż ozimych, jak również w okresie wiosennym. Z kolei w 2012 r. odnotowano znaczny deficyt opadów w okresie wschodów i krzewienia pszenicy. Od września do końca listopada spadło tylko 34,9 mm deszczu. W badaniach stwierdzono interakcję genotyp × lata. Istotne zróżnicowanie analizowanego wskaźnika wykazano dla pszenicy twardej i jednoziarnowej w fazach: kłoszenie i kwitnienie. Z kolei analiza interakcji poziom agrotechniki × lata pozwoliła stwierdzić istotne zmiany wskaźnika we wszystkich 3 fazach w 2013 r. oraz w fazie kłoszenia i dojrzałości w 2012 r.

#### WNIOSKI

1. Porównywane genotypy pszenicy ozimej oraz intensyfikacja technologii produkcji różnicowały indeks LAI.
2. Największą wartość indeksu powierzchni liści osiągnęła odmiana pszenicy orkisz Schwabenkorn, a najmniejszą pszenica jednoziarnowa.

3. Podwyższony poziom agrotechniki skutkował wzrostem indeksu LAI u wszystkich analizowanych genotypów.

#### PIŚMIENNICTWO

- Andruszczak S., Kwiecińska-Poppe E., Kraska P., Pałys E., 2012. Wpływ niektórych środków ochrony roślin na kształtowanie powierzchni liści i kąta ich nachylenia u wybranych odmian ozimych pszenicy orkisz (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.). Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 52(1), 163–166.
- Biskupski A., Kaus A., Pabin J., Włodek S., 2004. Wpływ zróżnicowanego nawożenia na wskaźnik powierzchni liści (LAI), średni kąt nachylenia liści (MTA) i plon wybranych odmian pszenicy jarej. Annales UMCS, Sec. E, Agricultura 59, 2, 649–654.
- Biskupski A., Kaus A., Włodek S., Pabin J., 2007. Zróżnicowane nawożenie azotem a plonowanie i wybrane wskaźniki architektury łanu kilku odmian pszenicy jarej. Inż. Rol. 3 (91), 29–36.
- Czerednik A., Nalborczyk E., 2000. Współczynnik wykorzystania napromieniowania fotosyntetycznie aktywnego (RUE) – nowy wskaźnik fotosyntetycznej produktywności roślin w łanie. Biul. IHAR, 215, 13–21.
- Glenn P., Huete A., R., Nagler P. L., Nelson S.G., 2008. Relationship between Remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. Sensors 8, 2136–2160.
- Jaśkiewicz B., 2007. Wskaźnik pokrycia liściowego (LAI) pszenżyta ozimego w zależności od jego obsady i nawożenia NPK. Acta Agrophys. 10(2), 373–382.
- Kołodziejczyk M., Szmigiel A., 2010. Wpływ ochrony fungicydowej, retardanta oraz poziomu nawożenia azotem na kształtowanie się architektury łanu pszenicy jarej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 50(2), 542–546.
- Oleksy A., Szmigiel A., Kołodziejczyk M., 2009. Plonowanie oraz kształtowanie się powierzchni liści wybranych odmian pszenicy ozimej w zależności od poziomu agrotechniki. Fragm. Agron. 26(4), 120–131.
- Rachoń L., Szumiło G., Kurzydłowska I., 2013. Wpływ intensywności technologii produkcji na jakość ziarna pszenicy zwyczajnej, twardej, orkisz i jednoziarnistej. Annales UMCS, Sec. E, Agricultura 68 (2), 60–68.
- Rachoń L., Szumiło G., Machaj H., 2014. Wpływ intensywności technologii uprawy na plonowanie różnych genotypów pszenicy ozimej. Annales UMCS, Sec. E, Agricultura 69 (3), 32–41.
- Uździcka B., Juszczak R., Sakowska K., Olejnik J., 2012. Związek między wskaźnikiem LAI a spektralnymi wskaźnikami roślinności na przykładzie wybranych gatunków roślin uprawnych. Woda, Śr., Obsz. Wiej. 12, 2(38), 283–311.
- Woźniak A., 2008. Wpływ zróżnicowanego udziału pszenicy jarej w zmianowaniu na indeks powierzchni liści (LAI). Acta Agrophys. 12(1), 269–276.
- Woźniak A., Gontarz D., Staniszewski M., 2005. Wpływ zmianowania na plonowanie i wartość wskaźnika LAI pszenicy twardej (*Triticum durum* Desf.). Biul. IHAR, 237/238, 13–21.
- Zheng G., Moskal L. M., 2009. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theory, method, and sensors. Sensors 9(4), 2719–2745.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr N N310 306839.

**Summary.** The paper determines the variability of the leaf area index (LAI), depending on the genotype of wheat and the intensity of cultivation technology. A two-factor field experiment was conducted in 2010–2013 at the Felin Experimental Farm of the University of Life Sciences in Lublin, using a method of randomized blocks in 4 replications. The first factor were 4 species (subspecies) of winter wheat: common wheat (*Triticum aestivum* ssp *aestivum* L.) – cultivar Tonacja, durum wheat (*Triticum durum* Desf.) – cultivar Komnata, spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp *spelta* (L.) Thell.) – cultivar Schwabenkorn, einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.) – EN 5003 (seed obtained from the National Centre for Plant Genetic Resources). The second variable was the level of agricultural technology: average level of agricultural technology: mineral fertilization (N – 70, P – 30.5, K – 99.6 kg·ha<sup>-1</sup>), seed treatment and weed control; a high level of agricultural technology: increased nitrogen fertilization (N – 140, P – 30.5, K – 99.6 kg·ha<sup>-1</sup>), seed treatment, weed control, 2 treatments against the disease, insecticide and growth regulator. In the growing period the leaf area index (LAI) was determined for each plot during the stages of earing (BBCH 55–58), flowering (BBCH 61–65) and milk maturity (BBCH 73–75) using the measurement apparatus of Sun Scan Canopy Analysis System SS1 type (Delta-T Devices, UK). The obtained results show that both the genotype of winter wheat and intensification of the technology differentiated LAI index. The highest leaf area index was achieved for Schwabenkorn variety of spelt wheat and the lowest – for einkorn wheat. Increasing levels of agricultural technology resulted in an increase in the LAI index in all the analyzed genotypes. This indicator varied in the years of the study.

**Key words:** common wheat, durum wheat, spelt wheat, einkorn wheat, leaf area index, cultivation technology