

ANNA KOCON

Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

EFEKTYWNOŚĆ WYKORZYSTANIA PROMIENIOWANIA
FOTOSYNTETYCZNIE CZYNNEGO (PAR) W FOTOSYNTEZIE LIŚCI
WYBRANYCH ODMIAN PSZENICY OZIMEJ

Efficiency utilization of photosynthetic active radiation (PAR) in leaves photosynthesis of chosen winter wheat cultivars

ABSTRAKT: W pracy przedstawiono wyniki doświadczeń wazonowych dotyczące efektywności wykorzystania światła w wymianie gazowej wybranych odmian pszenicy ozimej. Testowano 4 odmiany pszenicy ozimej: Begra, Juma, Mikula i Kobra będące aktualnie w doborze. Doświadczenie prowadzono w częściowo kontrolowanych warunkach w hali wegetacyjnej w latach 2002–2004. Nawożenie mineralne było jednakowe i optymalne dla wzrostu i rozwoju roślin pszenicy ozimej. Parametry wymiany gazowej: m.in. intensywność fotosyntezy netto i transpiracji oraz przewodność szparkową mierzono na liściach flagowych, w 4 wybranych fazach rozwojowych roślin.

Badane odmiany pszenicy różniły się intensywnością fotosyntezy netto i efektywnością wykorzystania PAR w procesie wymiany gazowej. Odmiany Kobra i Mikula lepiej wykorzystywały promieniowanie fotosyntetycznie czynne w procesie fotosyntezy niż odmiany Juma i Begra.

słowa kluczowe – key words:

pszenica ozima – *winter wheat*, odmiany – *cultivars*, fotosynteza – *photosynthesis*, promieniowanie fotosyntetycznie czynne – *photosynthetic active radiation*

WSTĘP

Potencjał fotosyntetyczny roślin, zdefiniowany jako maksymalna zdeterminowana genetycznie zdolność roślin do fotosyntezy w danych warunkach środowiskowych, wykorzystywany jest w różnym stopniu. To stwierdzenie dotyczy również różnic w wykorzystaniu promieniowania fotosyntetycznie czynnego PAR (Photosynthetic Active Radiation) przez odmiany pszenicy, zboża dominującego w uprawach rolniczych w Polsce (1, 8, 9).

Proces fotosyntezy zachodzi we wszystkich zielonych częściach roślin, ale najintensywniej w liściach. Liście flagowe pojawiają się stosunkowo wcześniej w rozwoju

pszenicy, pozostają fotosyntetycznie aktywne przez cały okres formowania ziarna aż do jego dojrzałości i są głównym źródłem asymilatów dla kłosa i rozwijających się ziarniaków. Mają największy potencjał fotosyntetyczny spośród organów pszenicy, dlatego oparcie oceny efektywności fotosyntetycznej pszenicy na pomiarach wymiany gazowej liści flagowych wydaje się jak najbardziej zasadne (5, 11, 13). Ponadto, zdaniem Garczyńskiego (3), fotosyntetyczna aktywność liści flagowych pszenicy jest dobrym pośrednim kryterium selekcji na podwyższanie plonu ziarna pszenicy. W dostępnej literaturze naukowej niewiele miejsca poświęca się badaniom wykorzystania energii świetlnej przez uprawiane w Polsce odmiany pszenicy, więc niniejsza praca będzie rozwinięciem tej tematyki.

Celem prowadzonych badań była ocena międzyodmianowej zmienności genetycznej wybranych odmian pszenicy ozimej w efektywności wykorzystania energii słonecznej PAR pod kątem intensywności i efektywności fotosyntezy netto.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w 3-letnim doświadczeniu wazonowym, w latach 2002–2004, w częściowo kontrolowanych warunkach w hali vegetacyjnej w Puławach, na 4 odmianach pszenicy ozimej: Begra, Juma, Kobra i Mikula. Pszenicę wysiewano do wazonów Mitscherlicha wypełnionych 7 kg gleby (piasek słabo gliniasty) jesienią, pod koniec września lub na początku października, po 15 ziarn na wazon. Wschody oraz wzrost i rozwój roślin przebiegały prawidłowo, bez żadnych zakłóceń. Przerwykę wykonywano na wiosnę, docelowo pozostawiając w wazonie po 10 roślin.

Nawożenie pszenicy było optymalne (9, 15) i jednakowe we wszystkich obiektach. Wszystkie makro- i mikroelementy, z wyjątkiem azotu, podano do gleby jesienią, przy zakładaniu doświadczenia. Natomiast azot, w formie NH_4NO_3 , w ilości 2,4 g N na wazon rośliny otrzymały na wiosnę, w 4 dawkach po 0,6 g N na wazon: w fazie krzewienia – ruszenia vegetacji, w fazie strzelania w źdźbło, w fazie początku kłoszenia roślin i w fazie nalewania ziarna. Rośliny przez cały okres vegetacji (z wyjątkiem miesięcy zimowych) podlewano wodą zdemineralizowaną do 60% polowej pojemności wodnej. Każdą odmianę wysiewano w 3 powtórzeniach – 3 wazonach.

W okresie wzrostu i rozwoju na liściach flagowych pszenicy wykonano pomiary wymiany gazowej m.in. intensywności fotosyntezy netto i transpiracji oraz przewodnictwa szparkowego, aparatem Li – 6400 (firmy Li–COR), w 4 fazach rozwojowych roślin określanych wg skali Zadoksa (4): I – grubienie pochwy liściowej (45-46 wg Zadoksa), II – kłoszenie, kłos widoczny w 1/2 do 3/4 długości (52-55); III – kwitnienie, w środkowej części kłosa ukazują się pylniki (61-63); IV – początek dojrzałości młecznej (72-73). Pomiary wykonywano zawsze na tych samych liściach flagowych pszenicy, w ich środkowej części, w porównywalnych warunkach środowiska, w tych samych godzinach, przy stałym – zadanym natężeniu napromie-

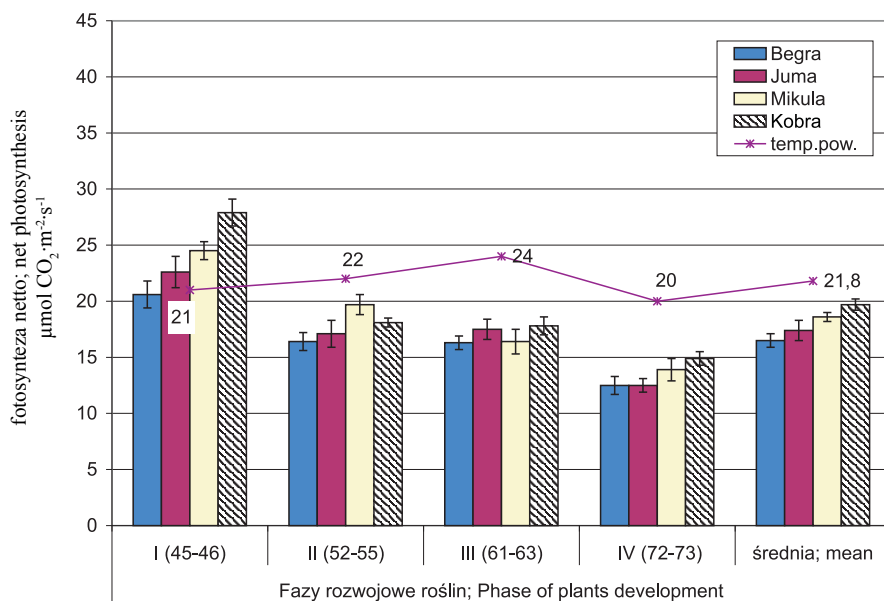
niowania PAR – $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, w trzech powtórzeniach, a wyniki na wykresach są średnimi arytmetycznymi. Dodatkowo w fazach rozwojowych (45-46) i (54-55) w 2003 roku dla testowanych odmian wykreślono krzywe świetlne fotosyntezy przy zadanym zmiennym natężeniu napromieniowania w zakresie od 0 do $2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Efektywność wykorzystania wody w procesie fotosyntezy określano na podstawie współczynnika wykorzystania wody – WUE, wyliczonego ze stosunku intensywności fotosyntezy netto do intensywności transpiracji (14). Wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji, oceniając istotność różnic testem Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Prezentowane wyniki badań są fragmentem szerszych badań fizjologicznych.

WYNIKI I DYSKUSJA

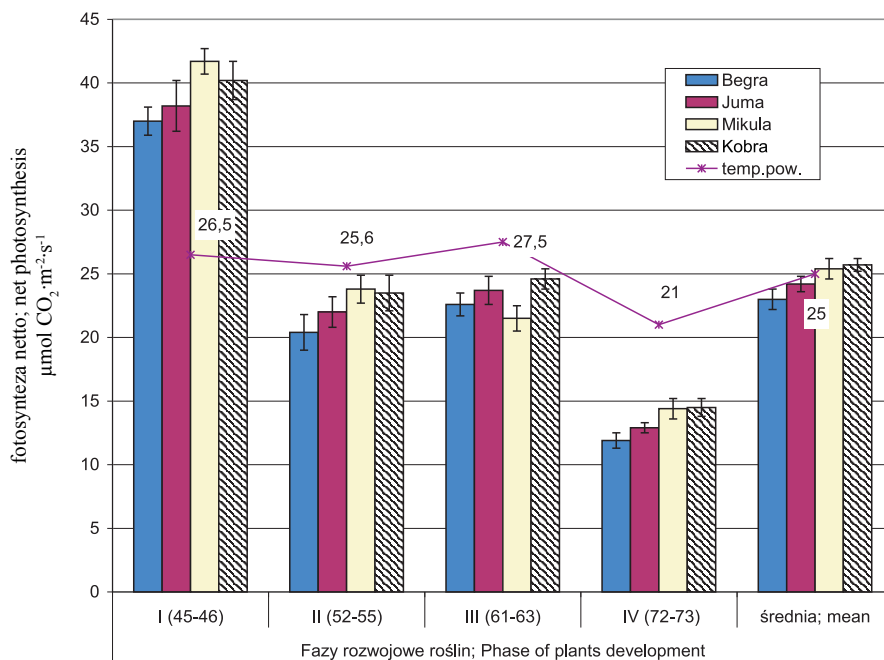
Intensywność fotosyntezy netto liści badanych odmian pszenicy ozimej zależała od fazy rozwojowej, odmiany, a także od roku prowadzenia badań (rys. 1-3). Dynamika tego procesu w czasie rozwoju roślin badanych odmian miała podobny przebieg i charakter. Na ogół największe wartości uzyskiwano w fazie grubienia pochwy liściowej, po czym w kolejnych fazach rozwojowych roślin intensywność fotosyntezy prawie zawsze malała. Otrzymane wartości fotosyntezy netto na ogół mieściły się w przedziałach wartości uzyskanych przez Łobodę i in. (11, 12), a także Hejnak i Kriżkową (6). W sezonie wegetacyjnym 2003 pszenica, we wszystkich badanych fazach, na ogół uzyskiwała większe wartości intensywności fotosyntezy liści w porównaniu z dwoma pozostałymi latami. Zaważyły na tym, jak się wydaje, wyższe temperatury powietrza w dniach pomiaru, średnio o $3-4^{\circ}\text{C}$, co pozytywnie wpłynęło na intensywność tego procesu. Znana jest prawidłowość, że intensywność fotosyntezy wzrasta wraz ze wzrostem temperatury powietrza, oczywiście w pewnym zakresie temperatur (8, 17, 18). Wyniki uzyskane dla konkretnych pomiarów intensywności fotosyntezy oraz średnie wartości z badanych faz rozwojowych i lat badań wskazują, że odmiany różniły się intensywnością asymilacji CO_2 – Kobra i Mikula wykazywały wyższą intensywność fotosyntezy niż Begra i Juma (rys. 1-3 i tab. 1).

Z analizy krzywych świetlnych pszenicy wynika, że badane odmiany w zróżnicowanych warunkach oświetlenia różnie wykorzystują promieniowanie fotosyntetycznie czynne (PAR) (rys. 4 a i b) – odmiany Kobra i Mikula lepiej niż Juma i Begra. Ma to duże implikacje praktyczne, gdyż w uprawach polowych pszenica rośnie przy naturalnym zmiennym oświetleniu i odmiana, która lepiej wykorzystuje promieniowanie PAR; powinna lepiej plonować (2, 3, 10, 12, 16).

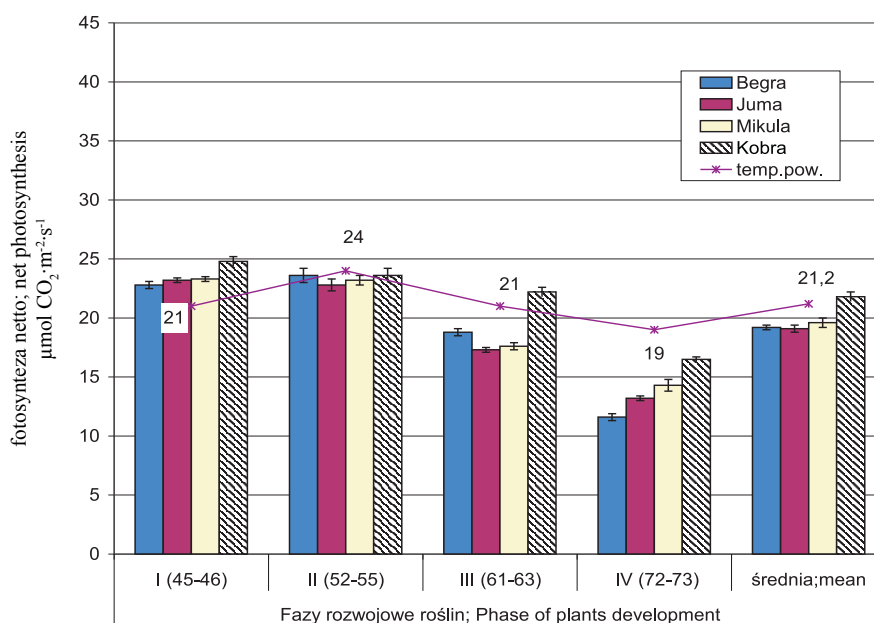
Badane odmiany różniły się także tempem transpiracji oraz przewodnictwem szparkowym (tab. 1). Z uwagi na dużą liczbę wyników, w niniejszej pracy nie analizowano tych parametrów dla poszczególnych faz rozwojowych i lat, lecz ograniczono się do podania średnich dla badanych odmian i lat. Wyższe wartości dla obu tych



Rys. 1. Intensywność fotosyntezy netto liści pszenicy ozimej oraz temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w dniach pomiaru w 2002 r. (SE, n = 3)
 Net photosynthesis rate of winter wheat leaves and air temperature in $^{\circ}\text{C}$ in days of measurement in 2002



Rys. 2. Intensywność fotosyntezy netto liści pszenicy ozimej oraz temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w dniach pomiaru w 2003 r. (SE, n = 3)
 Net photosynthesis rate of winter wheat leaves and air temperature in $^{\circ}\text{C}$ in days of measurement in 2003

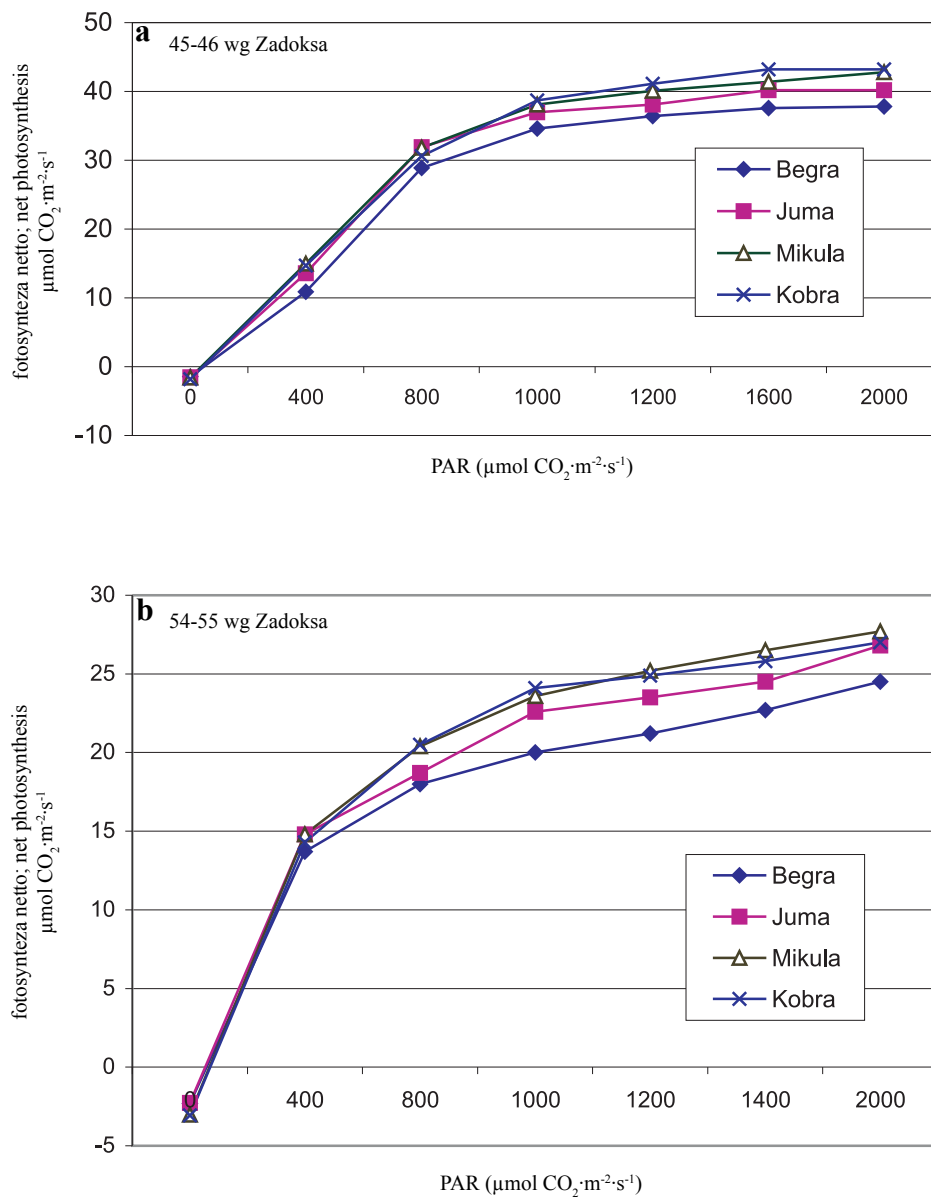


Rys. 3. Intensywność fotosyntezy netto liści pszenicy ozimej oraz temperatury powietrza (°C) w dniach pomiaru w 2004 r. (SE, n = 3)

Net photosynthesis rate of winter wheat leaves and air temperature in °C in days of measurement in 2004

procesów stwierdzono dla odmiany Kobra i Mikula w porównaniu z Jumą i Begrą. Świadczy to o tym, iż wzrost intensywności fotosyntezy u tych odmian związany był ze zwiększeniem przewodnictwa szparkowego, co z fizjologicznego punktu widzenia jest korzystne, lecz także, że odbywał się przy większej transpiracji, co wskazuje na rozrzutniejsze gospodarowanie wodą (7). Jednak wyliczona fotosyntetyczna efektywność wymiany gazowej (WUE), określana poprzez stosunek intensywności fotosyntezy do intensywności transpiracji, wskazuje na niewielkie zróżnicowanie w tym względzie wśród badanych odmian i w latach. Badane odmiany na ogół uzyskiwały podobne wartości efektywności wymiany gazowej, co oznacza, że podobnie gospodarowały wodą w tym procesie. Wzrost transpiracji związany był prawie zawsze ze wzrostem intensywności fotosyntezy netto, co w efekcie dało podobne wyniki w efektywności gospodarowania wodą w procesie wymiany gazowej.

Wartości parametrów wymiany gazowej mieściły się w zakresach wartości uzyskiwanych dla pszenicy przez Kocoń i Podleśną (9) oraz przez Garczyńskiego (3) i podobnie jak w badaniach nad burakiem cukrowym Pietkiewicza i in. (14) bardziej zmieniały się składowe wskaźniki WUE niż wartości samego współczynnika wykorzystania wody.



Rys. 4. Krzywe świetlne fotosyntezy liści pszenicy ozimej w różnych fazach rozwojowych roślin w 2003 roku
Light curves of photosynthesis of winter wheat leaves in different development phases of plants in 2003

Tabela 1

Intensywność fotosyntezy netto, transpiracji, efektywność wymiany gazowej oraz przewodnictwo szparkowe liści pszenicy w kolejnych latach badań (n = 4)
 Net photosynthesis rate, transpiration, gas exchange efficiency and stomatal conductance of wheat leaves in successive investigated years (n = 4)

Odmiany Cultivars	2002	2003	2004	Średnia z 3 lat Mean from 3 years
Intensywność fotosyntezy netto; Net photosynthesis rate ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)				
Begra	16,5	23,0	19,2	19,5
Juma	17,4	24,2	19,1	20,3
Mikula	18,6	25,4	19,6	21,2
Kobra	19,7	25,7	21,8	22,4
Średnia; Mean	18,1	24,6	19,9	21,0
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	1,11	1,73	0,75	1,05
Intensywność transpiracji; Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)				
Begra	4,0	4,6	4,2	4,3
Juma	4,4	4,5	4,3	4,4
Mikula	4,7	5,6	4,8	5,0
Kobra	5,1	5,8	5,1	5,3
Średnia; Mean	4,5	5,1	4,6	4,8
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	0,62	0,84	0,42	0,57
Efektywność wymiany gazowej; Gas exchange efficiency – WUE ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)				
Begra	4,1	5,0	4,6	4,5
Juma	3,9	5,4	4,7	4,7
Mikula	4,0	4,5	4,2	4,2
Kobra	3,9	4,4	4,8	4,4
Średnia; Mean	4,0	4,8	4,5	4,4
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	r.n.	0,78	r.n.	r.n.
Przewodnictwo szparkowe; Stomatal conductance ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)				
Begra	0,59	0,77	0,50	0,62
Juma	0,55	0,85	0,57	0,65
Mikula	0,63	0,85	0,68	0,72
Kobra	0,68	0,90	0,76	0,78
Średnia	0,61	0,84	0,63	0,69
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	0,067	0,082	0,073	0,071

WNIOSKI

1. Badane odmiany pszenicy ozimej różniły się intensywnością fotosyntezy netto oraz efektywnością wykorzystania promieniowania fotosyntetycznie czynnego – PAR w procesie wymiany gazowej.
2. Największe wartości intensywności fotosyntezy netto uzyskiwano w fazie grubienia pochwy liściowej, po czym intensywność tego procesu na ogół malała w kolejnych fazach rozwojowych roślin.
3. Spośród badanych odmian Kobra i Mikula lepiej niż Juma i Begra wykorzystywały promieniowanie fotosyntetycznie czynne PAR w procesie fotosyntezy.
4. Pomimo różnic w intensywności fotosyntezy netto i transpiracji analizowane odmiany pszenicy ozimej na ogół podobnie gospodarowały wodą i nie różniły się istotnie efektywnością wykorzystania wody (WUE).

LITERATURA

1. Austin R.B.: Variation in photosynthesis. *J. Agric. Sci.*, 1989, **112**: 287-294.
2. Carlson P.S.: Fotosynteza, produktywność i plon roślin uprawnych. *Biologia plonowania. PWRiL, Warszawa*, 1985, 14-57.
3. Garczyński S.: Wpływ genotypu i poziomu nawożenia na zmienność w fotosyntetycznej aktywności liści u pszenicy tetraploidalnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **496(II)**: 357-366.
4. Gąsowski A., Ostrowska D.: Klucz do oznaczania stadiów rozwojowych niektórych gatunków roślin uprawnych w Polsce. *SGGW, Warszawa*, 1993.
5. Górny A., Garczyński S., Banaszak Z., Łągowska B., Grzesiak S., Bandurska H., Komosa A.: Photosynthetic activity and efficiency of gas exchange of the under leaves in field-grown cultivars of winter wheat under varied nitrogen nutrition. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **496(I)**: 61-72.
6. Hejnak V., Križkova J.: The effect of water stress on photosynthesis of spring barley. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **496(II)**: 241-249.
7. Jones H.G.: Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *J. Exp.*, 1998, **49**: 387-398.
8. Kałaji H.M., Zebrowski M.: Intensywność fotosyntezy jedno- i dwuliściennych roślin C3 i C4 w różnych warunkach środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **496(I)**: 133-142.
9. Kocoń A., Podleśna A.: Wstępna ocena efektywności fotosyntetycznej wybranych odmian pszenicy ozimej w warunkach stresu wodnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2004, **496(II)**: 259-266.
10. Lu C.M., Zhang J.H.: Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Austr. J. Plant Physiol.*, 1998, **25**: 883-892.
11. Łoboda T., Pietkiewicz S.: Fizjologiczne parametry łanu różnych gatunków zbóż ozimych. *Fragm. Agron.*, 1993, **4**: 99-100.
12. Łoboda T., Pietkiewicz S., Nalborczyk E., Rozbicki J., Wszyński Z.: Fotosynteza, transpiracja i wykorzystanie energii słonecznej w produkcji biomasy roślin pszenżyta i buraka cukrowego w różnych warunkach uprawy. *Fragm. Agron.*, 1993, **4**: 125-126.
13. Nalborczyk E.: Dobór i wykorzystanie nowoczesnej aparatury kontrolno-pomiarowej w doświadczeniach polowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1996, **447**: 81-90.
14. Pietkiewicz S., Wszyński Z., Łoboda T.: Współczynnik wykorzystania wody buraka cukrowego na tle wybranych czynników agrotechnicznych. *Fragm. Agron.*, 2005, **1**: 521-529.
15. Podolska G.: Pszenica ozima. Zalecenia agrotechniczne. IUNG, Puławy, 2000.

16. Richards R.A.: Selectable traits to increase crop photosynthesis activity and yield of grain crops. *J. Exp. Bot.*, 2000, **51**: 447-458.
17. Starck Z.: Współzależność pomiędzy fotosyntezą i dystrybucją asymilatów a tolerancją roślin na niekorzystne warunki środowiska. *Post. Nauk Rol.*, 1995, **3**: 19-35.
18. Starck Z.: Mechanizmy integracji procesów fotosyntezy i dystrybucji biomasy w niekorzystnych warunkach środowiska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2002, **481**: 111-123.

EFFICIENCY UTILISATION OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVE RADIATION (PAR) IN LEAVES PHOTOSYNTHESIS OF CHOSEN WINTER WHEAT CULTIVARS

Summary

In the paper, the results for the efficiency of light utilisation in the gas exchange of chosen winter wheat cultivars were presented. The pot experiments were conducted in a green house in the years 2002–2004. Four varieties of winter wheat chosen from the register of varieties were tested: Begra, Juma, Mikula, and Kobra. The mineral nutrient components were given in appropriate amounts to guarantee the normal growth pattern of winter wheat plants. In four successive stages of plant development the net photosynthesis rate, transpiration and stomatal conductance on flag leaves of wheat were measured.

It was shown that the investigated wheat cultivars differed in the net photosynthesis rate and efficiency of PAR utilisation in the gas exchange process. The utilisation of the photosynthetic active radiation in photosynthesis of Kobra and Mikula cultivars were better compared with the Begra and Juma cultivars.

Praca wpłynęła do Redakcji 23 XI 2005 r.