

Andrzej Mila, Antoni Murkowski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Fizyki i Agrofizyki

Oddziaływanie podwyższonego stężenia CO₂ na wzrost i rozwój wybranych genotypów rzepaku ozimego

The effect of increased CO₂ concentration in atmosphere
on growth and development of some genotypes of winter oilseed rape

Słowa kluczowe: dwutlenek węgla, odmiany mieszańcowe, odmiany populacyjne, rzepak ozimy, zmiany klimatu

Celem przedstawionej pracy było zbadanie wpływu podwojonego stężenia dwutlenku węgla (względem naturalnego ok. 400 ppm CO₂) na wzrost i rozwój młodych roślin rzepaku należących do wybranych odmian populacyjnych i mieszańców, a zwłaszcza wpływu tego podwyższonego stężenia CO₂ na przyrost świeżej i suchej masy ich części nadziemnej oraz korzeni.

Do badań wybrano rośliny rzepaku ozimego należące do: odmian populacyjnych (Bosman i Libomir), mieszańców męskosterylnych MH 35 F₁ i MH 36 F₁ (odpowiednio składniki mieszańców złożonych Mazur i Kaszub) oraz mieszańców zrestorowanych (Titan F₁ i Kronos F₁).

Rośliny rosły w warunkach kontrolowanych (PPFD 300 μmoli·m⁻²·s⁻¹ i temperatura 16°C) w dwóch stężeniach CO₂: 400 i 800 ppm, na podłożu piaszkowym podlewane pożywką Hoaglanda. Doświadczenie trwało 4 tygodnie, a rośliny osiągnęły fazę 5–6 liścia.

Podwojenie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze uprawy przyczyniło się do znacznego zwiększenia powierzchni liści roślin rzepaku wszystkich badanych genotypów (od ok. 47% u mieszańców męskosterylnych do 126% u Libomira) oraz niewielkiego wzrostu (od 6 do 21%) zawartości chlorofilu w badanych liściach.

Świeża masa części nadziemnej roślin rosnących przy zwiększonym poziomie CO₂ wszystkich trzech form hodowlanych była większa od kontrolnych od 42 do 58%, a sucha masa — większa o 64% w przypadku MH 36 F₁ i aż o 96% dla Titana. Świeża masa korzeni była również wyższa (od 40% u MH 36 F₁ do 106% u Bosmana), jednak wzrost suchej masy korzeni stwierdzono tylko u roślin odmian populacyjnych (o ok. 57%) oraz mieszańca zrestorowanego Titan (o ok. 23%). Przy podwojonym CO₂ sucha masa zarówno części nadziemnej, jak i korzeni badanych mieszańców była istotnie wyższa w porównaniu z suchą masą roślin rzepaku należących do obu odmian populacyjnych.

Key words: carbon dioxide, climate changes, hybrid varieties, open pollinated varieties, winter oilseed rape

The aim of the present work was the study of the effect of doubled CO₂ concentration on growth and development of young plants of winter oilseed rape belonging to some population varieties and hybrids, and particularly on the increase of fresh and dry mass of shoots and roots.

In last years a lot of new high-yielding population cultivars and hybrids appeared. We studied plants of winter oilseed rape of the open pollinated varieties (Bosman and Libomir), male sterile

hybrids MH 35 F₁ and MH 36 F₁ (ingredients of combined hybrid varieties, respectively Mazur and Kaszub) and plants of the restored hybrids (Titan F₁ and Kronos F₁).

The plants were grown on sand with the Hoagland nutrient in two chambers with controlled conditions (PPFD 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 16°C) at two concentrations of CO₂: 400 and 800 ppm. The experiment was conducted during four weeks, and the plants reached the phase of 5th–6th leaf.

Doubling of carbon dioxide concentration in the vegetation atmosphere contributed to a considerable increase in total leaf area of the plants of all investigated genotypes by ca. 47% in the male sterile hybrids to 126% in Libomir, and slight increase (from 6 to 21%) of chlorophyll content in the leaves. Moreover, fresh mass of shoots of the plants grown at higher CO₂ level was higher by 42 to 58% compared to the control, and dry mass — by 64% in the case of MH 36 F₁ to 96% in Titan. Fresh mass of roots increased by 40% in MH 36 F₁ to 106% in Bosman, however, the increase of dry mass of roots was found only in the plants of population varieties by ca. 57% and the restored hybrid Titan (by ca. 23%). At double CO₂, dry mass of both shoots and roots of the studied hybrids was significantly higher in comparison with dry mass of the plants of both population varieties.

Wstęp

Obserwowane zmiany klimatu spowodowane systematycznym wzrostem stężenia gazów cieplarnianych budzą uzasadniony niepokój. Szczególnie groźna może być szybkość prognozowanych zmian klimatu (podwojenie stężenia CO₂ już w drugiej połowie obecnego stulecia) i przesunięcie stref klimatycznych (Obrębska-Starkłowa 1999). Wiadomo również, że podwyższenie stężenia dwutlenku węgla może korzystnie wpływać na wegetację, a w siedliskach bogatych w składniki pokarmowe zwiększać przyrosty ich świeżej i suchej masy (Sharma-Natu i in. 1997, Mishra i in. 1999, Janicki i Brzóstowicz 2005). Uwzględniając również i korzystne następstwa spodziewanych zmian klimatycznych należy jednak pamiętać, że wejście roślin upraw ozimych w okres zimowy w nieodpowiedniej fazie rozwoju może utrudnić im przezimowanie (Wałkowski i in. 1996, Jankowski i Budzyński 2007). Wymienione aspekty obserwowanych zmian klimatycznych stawiają nowe i trudne wyzwania przed rolnictwem.

Rzepak jest najważniejszą rośliną oleistą uprawianą w Polsce i należy do ważnych roślin oleistych uprawianych na obszarze klimatu umiarkowanego. Prognozy wskazują, że zapotrzebowanie rynku krajowego na rzepak będzie systematycznie wzrastać, do czego przyczyni się zwiększony popyt na wysokobiałkowe surowce do produkcji pasz oraz rozwój sektora biopaliw (Bartkowiak-Broda i Krzymański 2004, Wielebski 2005).

Uwzględniając powyższe przesłanki uznano za celowe podjęcie badań nad wpływem zwiększonego stężenia CO₂ na wzrost i cechy biometryczne roślin rzepaku ozimego.

Material i metody badań

Do badań wybrano 6 form hodowlanych rzepaku ozimego:

- dwa mieszańce zrestorowane (Titan F₁ i Kronos F₁),
- dwa mieszańce męskosterylne¹ (MH 35 F₁ i MH 36 F₁),
- dwie odmiany populacyjne (Bosman i Libomir).

Mieszańce męskosterylne MH 35 F₁ i MH 36 F₁ są odpowiednio składnikami mieszańców złożonych Mazur i Kaszub.

Wszystkie wymienione formy hodowlane rzepaku należą do podwójnie ulepszonych i były rekomendowane do uprawy w latach 2003–2005 (Bartkowiak-Broda i Krzymański 2004, Wałkowski i in. 2006).

Rośliny rzepaku rosły w minifitotronach skonstruowanych w Zakładzie Fizyki Akademii Rolniczej w Szczecinie. Źródłem światła były lampy rtęciowe HPL-R400 (Philips). Do pomiaru i regulacji stężenia CO₂ wykorzystano mierniki AirTECH 2600S (Gazex) w wersji dyfuzyjnej, które zamontowano w komorach minifitotronów. Są to niewielkie nowoczesne mierniki, niewrażliwe na parę wodną oraz inne niż CO₂ gazy absorbujące promieniowanie podczerwone. Mierniki oraz współdziałające z nimi specjalnie skonstruowane układy sterujące zapewniały dopływ powietrza atmosferycznego (z zewnątrz budynku) do komór minifitotronów i dozowanie dopływu CO₂. Umożliwiało to utrzymanie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze rosnących roślin na zadanym poziomie z dokładnością ±5%. Wilgotność powietrza utrzymywano na poziomie ok. 75%.

Rośliny rzepaku rosły w pojemnikach wypełnionych sterylnym piaskiem kwarcowym, podlewane pożywką Hoaglanda. Wilgotność podłoża utrzymywano na poziomie ok. 70% pojemności wodnej wagowej.

Utrzymywano następujące warunki wzrostu:

- oświetlenie PFD 300 μmol·m⁻²·s⁻¹,
- fotoperiod 12/12 h,
- temperatura 16/14°C, odpowiednio dzień/noc,
- w atmosferze dwóch stężeń CO₂:
 - 400 μmol(CO₂)·mol⁻¹ [w skrócie 400 ppm CO₂] – wariant I (stężenie zbliżone do naturalnego, które w roku 2008 osiągnęło wartość 386 ppm CO₂; wg: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>),
 - 800 μmol(CO₂)·mol⁻¹ [w skrócie 800 ppm CO₂] – wariant II.

Co dwa dni, począwszy od 6 dnia doświadczenia do każdego pojemnika dolewano po 20 ml pożywki Hoaglanda. Kontrolowano jednocześnie pojemność wodną podłoża i uzupełniano wodą destylowaną do poziomu wyjściowego.

¹ Nasiona otrzymano dzięki uprzejmości dr Henryka Wosia ze Spółki Hodowli Roślin Strzelce, Oddział Borowo, Sp. z o. o., Grupa IHAR

Doświadczenie trwało 24 dni. W obu jego wariantach rośliny osiągnęły fazę 5–6, liścia tzn. stadium rozety 22–23 (wg skali BBA).

W celu oceny oddziaływania podwyższonej zawartości CO₂ w atmosferze na wzrost i parametry biometryczne roślin określono powierzchnię asymilacyjną liści oraz świeżą i suchą masę części nadziemnej oraz korzeni.

Powierzchnię asymilacyjną liści badanych roślin wyznaczano przy użyciu specjalnego oprogramowania Win FOLIA (Regent Instruments). W tym celu odcinano liście każdej rośliny, układano je na białej powierzchni i fotografowano aparatem cyfrowym wraz ze wzorcem powierzchni. Z uzyskanych obrazów cyfrowych określano sumaryczną powierzchnię asymilacyjną każdej rośliny z dokładnością $\pm 4\%$.

Świeżą i suchą masę części nadziemnej i korzeni mierzono metodą wagową. W celu wyznaczenia świeżej masy korzeni wypłukiwano z nich piasek, a następnie osuszano bibułą. W celu oznaczenia suchej masy materiał roślinny suszono przez 12 godzin w temperaturze 105°C. Wartości wszystkich parametrów biometrycznych wyznaczano dla każdej rośliny osobno.

Wyniki wszystkich pomiarów przedstawiono jako średnie z 6 powtórzeń. Analizę statystyczną wykonano wykorzystując program Statistica, wersja 7.1. Średnie mierzone wielkości porównano wykonując dwuczynnikową analizę wariancji. Określono grupy jednorodne stosując test Newmana-Keulusa przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki

Rośliny wszystkich badanych genotypów rzepaku rosnące w podwojonym stężeniu CO₂ miały większą powierzchnię asymilacyjną od roślin rosnących w stężeniu 400 ppm CO₂ — średnio o 70%. Z kolei w wyższym stężeniu CO₂ powierzchnie asymilacyjne mieszańców, zarówno męskosterylnych jak i zrestorowanych, były istotnie większe (średnio o ok. 11%) od powierzchni asymilacyjnych roślin odmian populacyjnych (tab. 1).

Przy stężeniu CO₂ zbliżonym do naturalnego (wariant I), świeża masa roślin wszystkich czterech mieszańców w sposób istotny przewyższała świeżą masę roślin rzepaku należących do obu odmian populacyjnych (tab. 2). Rośliny wszystkich badanych genotypów rzepaku rosnące przy stężeniu 800 ppm CO₂ wykazywały istotne i znacznie wyższe od kontroli przyrosty świeżej masy części nadziemnej (od 42 do 58%). Największe wartości świeżej masy stwierdzono u mieszańca zrestorowanego Kronos i mieszańca męskosterylnego MH 35 F₁.

Sucha masa części nadziemnej wszystkich badanych roślin rzepaku rosnących przy wyższym stężeniu CO₂ była istotnie wyższa (o ok. 100%) od suchej masy roślin ze stężenia naturalnego. Należy zaznaczyć, że sucha masa, zarówno mieszańców zrestorowanych jak i męskosterylnych, z wariantu II była istotnie wyższa (o ok. 17%) od suchej masy roślin obu badanych odmian populacyjnych (tab. 3).

Tabela 1
Powierzchnia asymilacyjna badanych genotypów rzepaku ozimego rosnących przy stężeniu 400 i 800 ppm CO₂ — *Assimilation area of the investigated breeding forms of winter oilseed rape grown at CO₂ concentration of 400 and 800 ppm.*

Stężenie CO ₂ CO ₂ concentration	Powierzchnia asymilacyjna — <i>Assimilation area</i> [cm ²]					
	Titan	Kronos	MH 35 F ₁	MH 36 F ₁	Libomir	Bosman
400 ppm	129 d	133 d	161 c	170 c	95 e	128 d
800 ppm	234 a	235 a	245 a	242 a	215 b	215 b

Tabela 2
Świeża masa części nadziemnej badanych genotypów rzepaku ozimego rosnących przy stężeniu 400 i 800 ppm CO₂ — *Fresh mass of shoots of the investigated breeding forms of winter oilseed rape grown at CO₂ concentration of 400 and 800 ppm.*

Stężenie CO ₂ CO ₂ concentration	Świeża masa części nadziemnej — <i>Fresh mass of shoots</i> [g]					
	Titan	Kronos	MH 35 F ₁	MH 36 F ₁	Libomir	Bosman
400 ppm	7,50 d	7,43 d	7,64 d	7,59 d	6,17 f	6,79 e
800 ppm	10,68 b	11,77 a	11,41 a	10,77 b	9,20 c	10,75 b

Tabela 3
Sucha masa części nadziemnej badanych genotypów rzepaku ozimego rosnących przy stężeniu 400 i 800 ppm CO₂ — *Dry mass of shoots of the investigated breeding forms of winter oilseed rape grown at CO₂ concentration of 400 and 800 ppm.*

Stężenie CO ₂ CO ₂ concentration	Sucha masa części nadziemnej — <i>Dry mass of shoots</i> [g]					
	Titan	Kronos	MH 35 F ₁	MH 36 F ₁	Libomir	Bosman
400 ppm	0,564 de	0,550 de	0,598 d	0,597 d	0,468 e	0,534 de
800 ppm	1,106 a	1,033 ab	1,035 ab	0,979 b	0,882 c	0,896 c

W atmosferze zawierającej 400 ppm CO₂ świeża masa korzeni roślin form mieszańcowych była większa niż u roślin odmian populacyjnych (tab. 4), a u mieszańców męskosterylnych (MH 35 F₁ i MH 36 F₁) przewyższała o ok. 35% masę korzeni roślin odmian populacyjnych Libomir i Bosman. U wszystkich roślin rzepaku rosnących w atmosferze z podwojonym stężeniem CO₂ świeża masa korzeni znacznie przewyższała masę korzeni roślin z wariantu kontrolnego.

Najwyższe wartości świeżej masy korzeni odnotowano u roślin mieszańca Titan oraz mieszańca męskosterylnego MH 35 F₁.

Tabela 4
Świeża masa korzeni badanych genotypów rzepaku ozimego rosnących przy stężeniu 400 i 800 ppm CO₂ — *Fresh mass of roots of the investigated breeding forms of winter oilseed rape grown at CO₂ concentration of 400 and 800 ppm*

Stężenie CO ₂ CO ₂ Concentration	Świeża masa korzeni — <i>Fresh mass of roots</i> [g]					
	Titan	Kronos	MH 35 F ₁	MH 36 F ₁	Libomir	Bosman
400 ppm	1,07 cd	1,09 cd	1,25 c	1,28 c	0,954 d	0,930 d
800 ppm	2,05 a	1,80 b	2,03 ab	1,81 b	1,81 b	1,92 ab

W atmosferze z 400 ppm CO₂ również i sucha masa korzeni roślin form mieszańcowych przewyższała suchą masę u roślin odmian populacyjnych. Na podwojenie stężenia CO₂ rośliny odmian mieszańcowych zareagowały w stopniu umiarkowanym, a przyrost o 26% (statystycznie istotny) odnotowano tylko u mieszańca zrestorowanego Titan. W odróżnieniu od mieszańców rośliny obu odmian populacyjnych, rosnące w atmosferze z 800 ppm CO₂, wytworzyły ok. 54% większą suchą masę korzeni w porównaniu z wariantem kontrolnym.

Tabela 5
Sucha masa korzeni badanych genotypów rzepaku ozimego rosnących przy stężeniu 400 i 800 ppm CO₂ — *Dry mass of roots of the investigated breeding forms of winter oilseed rape grown at CO₂ concentration of 400 and 800 ppm*

Stężenie CO ₂ CO ₂ Concentration	Sucha masa korzeni — <i>Dry mass of roots</i> [g]					
	Titan	Kronos	MH 35 F ₁	MH 36 F ₁	Libomir	Bosman
400 ppm	0,237 b	0,260 ab	0,280 a	0,235 b	0,136 c	0,151 c
800 ppm	0,291 a	0,295 a	0,293 a	0,258 ab	0,216 b	0,234 b

Porównując zawartość chlorofilu w czwartym liściu roślin badanych genotypów rzepaku ozimego, rosnących w stężeniu 400 ppm CO₂ oraz przy podwojonej jego wartości, można stwierdzić, że zwiększenie stężenia dwutlenku węgla spowodowało niewielki, ale statystycznie istotny wzrost zawartości chlorofilu (wyjątek stanowi mieszaniec męskosterylny MH 36 F₁). W obu wariantach badań największą zawartość chlorofilu odnotowano u mieszańca zrestorowanego Titan (tab. 6).

Tabela 6

Zawartość chlorofilu w czwartym liściu badanych genotypów rzepaku ozimego rosnących przy stężeniu 400 i 800 ppm CO₂ — *Chlorophyll content in the fourth leaf of the investigated breeding forms of winter oilseed rape grown at CO₂ concentration of 400 and 800 ppm.*

Stężenie CO ₂ CO ₂ Concentration	Zawartość chlorofilu — <i>Chlorophyll content</i> [mg/dm ²]					
	Titan	Kronos	MH 35 F ₁	MH 36 F ₁	Libomir	Bosman
400 ppm	2,69 cd	2,19 g	2,39 f	2,63 cd	2,43 ef	2,56 de
800 ppm	2,99 a	2,64 cd	2,67 cd	2,79 bc	2,91 ab	2,91 ab

Dyskusja

Mishra i in. (1999), a także Rabha i Uprety (1998) badając oddziaływanie zwiększonego stężenia CO₂ na rośliny należące do rodziny *Brassica* potwierdzają w swoich pracach pozytywny jego wpływ na wzrost i wymianę gazową. Sawada i in. (2001) badając rośliny soi rosnące w podwyższonym (700 ppm) stężeniu CO₂ stwierdzili istotny wzrost suchej masy części nadziemnej i korzeni. Również inni autorzy (Sherma-Natu i in. 1997, Fritschi i in. 1999, Baker 2004, Janicki i Brzós-towicz 2005) stwierdzili istotny wzrost świeżej i suchej masy części nadziemnej oraz korzeni, a także powierzchni liści u innych roślin uprawianych w atmosferze z podwyższonym (od 600 do 800 ppm) stężeniem CO₂.

Powyższe prace potwierdzają uzyskane przez nas wyniki badań, które wykazały, że podwojenie stężenia dwutlenku węgla może korzystnie wpływać na wzrost wytworzonej biomasy roślin badanych genotypów rzepaku ozimego należących zarówno do odmian mieszańcowych jak i populacyjnych.

Porównując badane genotypy rzepaku należy także stwierdzić, że w podwyższonym stężeniu CO₂ rośliny, zarówno mieszańców zrestorowanych jak i mieszańców męskosterylnych, charakteryzowały się większą akumulacją suchej masy, jak i większą powierzchnią asymilacyjną liści w porównaniu z roślinami obu badanych odmian populacyjnych. Korzystne oddziaływanie zwiększonej zawartości CO₂ w atmosferze można po części tłumaczyć zmniejszoną intensywnością fotooddychania i mniejszymi stratami zasymilowanego uprzednio dwutlenku węgla (Bazzaz i Fajer 1992). Zwiększone stężenie dwutlenku węgla w atmosferze, przy jednocześniej dobrej dostępności składników pokarmowych, poprawia wykorzystanie azotu przez rośliny i przyspiesza produkcję biomasy. Stwierdzili to Sims i in. (1998) badając akumulację biomasy młodych roślin soi rosnących w warunkach podwyższonego stężenia CO₂ (700 ppm) przy dobrym zaopatrzeniu w azot.

Podsumowanie

1. W porównaniu z wariantem kontrolnym (400 ppm CO₂) podwyższone do 800 ppm stężenie CO₂ korzystnie wpłynęło na wzrost i rozwój młodych roślin rzepaku należących do odmian populacyjnych (Libomir i Bosman) oraz roślin mieszańców męskosterylnych (MH 35 F₁ i MH 36 F₁) i zrestorowanych (Titan i Kronos).
2. Rośliny rzepaku rosące w atmosferze z 800 ppm CO₂, w porównaniu z roślinami wariantu kontrolnego zwiększyły znacznie powierzchnię swoich liści (od ok. 47% u mieszańców męskosterylnych do 126% u odmiany Libomir).
3. Podwyższony poziom dwutlenku węgla w niewielkim, ale istotnym, stopniu spowodował wzrost zawartości chlorofilu w liściach badanych roślin (od 6 do 21%).
4. Rośliny rzepaku rosące w atmosferze z podwyższonym stężeniem CO₂, w porównaniu z kontrolnymi osiągnęły od 42 do 58% większą świeżą masę części nadziemnej oraz bardziej zróżnicowany przyrost masy korzeni (od 40% u mieszańca MH 36 F₁ do 106% u odmiany Bosman).
5. Sucha masa części nadziemnej roślin rzepaku rosnących w atmosferze z 800 ppm CO₂ była większa od suchej masy roślin z wariantu kontrolnego (od 64% u mieszańca MH 36 F₁ i aż o 96% u mieszańca zrestorowanego Titan).
6. W podwyższonym stężeniu CO₂ odnotowano przyrost suchej masy korzeni jedynie u roślin mieszańca Titan (o 23%) i większy, bo ok. 57% u roślin obu odmian populacyjnych (Libomir i Bosman).
7. Sucha masa części nadziemnej i korzeni zakumulowana przez rośliny rzepaku badanych mieszańców zrestorowanych i mieszańców męskosterylnych rosnących w atmosferze z 800 ppm CO₂ była istotnie wyższa od suchej masy roślin obu odmian populacyjnych z tego samego wariantu doświadczenia.

Literatura

- Bartkowiak-Broda I., Krzymański J. 2004. Zalecane odmiany krajowe rzepaku dla przemysłu olejarskiego, paszowego i na cele energetyczne. *Więś Jutra*, 7 (12): 36-39.
- Bazzaz F.A., Fajer E.D. 1992. Rośliny w świecie bogatym w dwutlenek węgla. *Świat Nauki*, 3: 18-25.
- Beker J.T. 2004. Yield responses of southern US rice cultivars to CO₂ and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122: 129-137.
- Fritschi F.B., Boote K.J., Sollenberger L.E., Allen Jr L.H., Sinclair T.R. 1999. Carbon dioxide and temperature effects on forage establishment: photosynthesis and biomass production. *Global Change Biology*, 5: 441-453.

- Janicki W.K., Brzóstowicz A. 2005. Wpływ zwiększonego stężenia CO₂ na wzrost siewek zbóż ozimych. Inżynieria Rolnicza, 3 (63): 211-218.
- Jankowski K., Budzyński W. 2007. Reakcja różnych form hodowlanych rzepaku ozimego na termin i gęstość siewu. I. Jesienny wzrost i rozwój oraz przezimowanie roślin. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXVIII (2): 177-194.
- Mishra R.S., Abdin M.Z., Uprety D.C. 1999. Interactive effects of elevated CO₂ and moisture stress on the photosynthesis, water relation and growth of Brassica species. J. Agronomy & Crop Science, 182: 223-229.
- Obrebska-Starkłowa B. 1999. Wybrane problemy adaptacji ekosystemów i systemów społeczno-gospodarczych do współczesnych zmian klimatu. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 469: 69-78.
- Rabha B.K., Uprety D.C. 1998. Effects of elevated CO₂ and moisture stress on *Brassica juncea*. Photosynthetica, 35 (4): 597-602.
- Sawada S., Kuninaka M., Watanabe K., Sato A., Kawamura H., Komine K., Sakamoto K., Kasai M. 2001. The mechanism to suppress photosynthesis through end-product inhibition in single-rooted soybean leaves during acclimation to CO₂ enrichment. Plant Cell Physiol., 42 (10): 1093-1102.
- Sharma-Natu P., Khan F.A., Ghildiyal M.C. 1997. Photosynthetic acclimation to elevated CO₂ in wheat cultivars. Photosynthetica, 34 (4): 537-543.
- Sims D.A., Luo. Y., Seemann J.R. 1998. Comparison of photosynthetic acclimation to elevated CO₂ and limited nitrogen supply in soybean. Plant Cell and Environment, 21: 945-952.
- Wałkowski T., Lewandowska A., Wójtowicz M. 1996. Wpływ terminu siewu na przezimowanie i plonowanie rzepaku ozimego na podstawie badań ankietowych plantacji produkcyjnych z lat 1984-1986 i 1992-1995. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XVIII (1): 263-268.
- Wałkowski T., Bartkowiak-Broda I., Krzymański J. 2006. Rzepak ozimy. IHAR Poznań: 3-161.
- Wielebski F. 2005. Udział elementów struktury plonu w kształtowaniu plonu nasion mieszańcowych odmian rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXVI (1): 87-98.