

Wpływ stresu suszy na wskaźniki fluorescencji chlorofilu u lucerny mieszańcowej (*Medicago × varia* Martyn), koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.) i koniczyny białej (*Trifolium repens* L.)

M. STANIAK¹, E. BACA²

¹*Zakład Uprawy Roślin Pastewnych, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach*

²*Lubelski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Końskowoli*

The effect of drought stress on chlorophyll fluorescence indicators in alfalfa (*Medicago × varia* Martyn), red clover (*Trifolium pratense* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.)

Abstract. The aim of the study was to evaluate the impact of water shortage in the soil on the chlorophyll fluorescence indicators in alfalfa, red clover and white clover. Pot experiment was conducted in 2012–2014, in the vegetation hall of the Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Puławy, at the completely randomized block method, with four replications. Objects were evaluated at two soil moisture levels: well-watered conditions and drought stress. Chlorophyll fluorescence indicators Fv/Fm and PI as well as dry mass yield were evaluated. The studies have shown that the genetic factor more modified the chlorophyll fluorescence parameters, than water shortage in the soil. In the studied species, no damage was found in the field of photosystems caused by drought. All studied species showed a significant decrease in dry matter yield under stress conditions.

Keywords: alfalfa, red clover, white clover, chlorophyll fluorescence, yield.

1. Wstęp

Rośliny uprawne rosnące w naturalnych warunkach środowiska narażone są na oddziaływanie wielu czynników stresowych, zwłaszcza stresów abiotycznych takich jak np. susza, mróz, chłód, nadmiar światła. Czynniki te zakłócają procesy fizjologiczne roślin, ograniczając tym samym ich wzrost i plonowanie. Z procesów metabolicznych zachodzących w roślinie, najbardziej wrażliwy na działanie czynników stresowych jest proces fotosyntezy (MURKOWSKI, 2004). Na rośliny uprawne zazwyczaj oddziałuje kilka czynników stresowych jednocześnie, co określane jest mianem multistresu. W jego skład często wcho-

dzi stres świetlny, który wiąże się ze zbyt dużą absorpcją energii PAR przez barwniki fotosyntetyczne, w odniesieniu do możliwości jej przetworzenia na energię chemiczną w procesie fotosyntezy (MURKOWSKI, 2005). W takiej sytuacji może nastąpić naruszenie funkcji reakcji fotosyntezy (fotoinhibicja), a nawet uszkodzenie aparatu fotosyntetycznego, jako efekt stresu świetlnego (COLEMAN i WSP., 1988). W naturalnych warunkach, wysoki poziom promieniowania połączony jest na ogół z wysoką temperaturą, a często również z deficytem wodnym, co może doprowadzić do chronicznej fotoinhibicji, która obniża wydajność fotosyntetyczną (SOUZA i WSP., 2004).

Podczas produkcji biomasy istotną rolę pełni promieniowanie fotosyntetyczne czynne (PAR). Znaczna część energii (zwykle 70–80%) jest absorbowana przez liście roślin i może być wykorzystywana w procesie fotosyntezy. Pewna część tej energii może być jednak utracona w procesie wypromieniowania, które określane jest jako promieniowanie fluorescencyjne. Zakłada się, że wielkość fluorescencji jest odwrotnie proporcjonalna do intensywności fotosyntezy. Zdaniem KALAJI i WSP. (2004) fluorescencja chlorofilu *a* może być miarą stanu i kondycji aparatu fotosyntetycznego. W liściach jest średnio około trzy razy więcej chlorofilu *a* niż *b*. Fluorescencja chlorofilu *a* emitowana jest ze zdrowych liści i pochodzi praktycznie tylko z cząsteczek chlorofilu *a* znajdującego się głównie w fotosystemie II (PSII), jest ona zatem wskaźnikiem jego funkcjonalności (KALAJI i ŁOBODA, 2010). Zastosowanie pomiaru fluorescencji chlorofilu *a* może być więc dobrym wyznacznikiem wpływu czynników stresowych na funkcjonowanie aparatu fotosyntetycznego oraz stan zdrowotny i witalność rośliny (ŠESTAK i ŠIFFEL, 1997).

Reakcja na czynnik stresowy na poziomie liścia lub całej rośliny może pojawić się w czasie kilku dni, tygodni lub nawet miesięcy od zaistniałych warunków stresowych. Dzieje się tak dlatego, że rośliny wykształciły szereg mechanizmów, które chronią fotosystemy przed zmiennymi warunkami środowiska. Na poziomie molekularnym reakcja widoczna jest już w czasie sekund bądź minut od zaistnienia czynnika stresowego (SULKIEWICZ i CIERESZKO, 2016). Aparat fotosyntetyczny, a w szczególności struktura PSII jest miejscem wyjątkowo wrażliwym na różnego rodzaju stresy, dlatego dzięki wykorzystaniu metod fluorometrycznych możliwe jest zarejestrowanie bardzo wczesnych zmian w reakcjach zachodzących w PSII w wyniku czynników stresowych, jeszcze przed pojawieniem się innych objawów (MICHALCZUK i WSP., 2008). Techniki pomiaru fluorescencji chlorofilu umożliwiają szybką i bardzo precyzyjną ocenę reakcji roślin na zakłócenie procesu fotosyntezy przez czynniki stresowe. Jednocześnie oceniane są również zdolności roślin do koordynacji i regulacji procesów życiowych w warunkach zaistniałego stresu (MURKOWSKI, 2002). Należy jednak pamiętać, że fluorescencja chlorofilu jest bezpośrednio związana z reakcjami

fazy świetlnej, dlatego wartość uzyskiwanych parametrów nie jest pełnym odzwierciedleniem wydajności całego procesu fotosyntezy, a uzyskane wyniki powinny być analizowane w połączeniu z innymi danymi. Korelacja pomiędzy intensywnością transportu elektronów w PSII (oceniana na podstawie analizy pomiarów fluorescencji chlorofilu) i wiązaniem CO₂ jest zadowalająca w kontrolowanych warunkach doświadczenia, natomiast w doświadczeniach polowych czasem pojawiają się rozbieżności, ze względu na występującą konkurencję pomiędzy procesem asymilacji CO₂ i innymi procesami fizjologicznymi (KALAJI i ŁOBODA, 2010).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu niedoboru wody w glebie na wskaźniki fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm, PI) u lucerny mieszańcowej, koniczyny czerwonej oraz koniczyny białej.

2. Materiał i metody

Doświadczenie wazonowe dwuczynnikowe przeprowadzono w latach 2012–2014 w hali wegetacyjnej Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach, w układzie kompletnie zrandomizowanym, w czterech powtórzeniach. W badaniach uwzględniono 3 gatunki bobowatych drobnonasiennych: lucernę mieszańcową (*Medicago × varia* Martyn) odmianę Kometa, koniczynę łąkową (*Trifolium pratense* L.) odmianę Bona oraz koniczynę białą (*Trifolium repens* L.) odmianę Romena. Doświadczenie przeprowadzono w wazonach Mitscherlicha wypełnionych glebą pochodzącą z warstwy ornej pola uprawnego (0–30 cm), o składzie granulometrycznym piasku słabo-gliniastego. Zawartość P wynosiła 24,8 (bardzo wysoka), K – 14,2 (wysoka), Mg – 2,2 (średnia). Odczyn gleby mierzony w 1 mol KCl·dm⁻³ wynosił 7,4. Zastosowano 2 poziomy wilgotności gleby: 70% polowej pojemności wodnej, ppw (wilgotność optymalna) i 40% ppw (stres suszy). Pojemność wodną gleby oznaczono w cylindrach Vanschaffego. Wilgotność gleby na obiektach objętych stresem została zredukowana: w roku siewu – dwa miesiące po siewie (po dobrym zainstalowaniu się roślin), zaś w dwóch kolejnych latach – dwa tygodnie po ruszeniu wegetacji i utrzymywana była przez cały okres wegetacji. Odpowiednią wilgotność gleby utrzymywano przez jedno lub dwukrotne w ciągu dnia (w zależności od warunków pogodowych) podlewanie wodą zdeminalizowaną do określonej wagi wazonu z glebą. Doświadczenie założono 11.04.2012 roku. W każdym wazonie znajdowało się 8 roślin.

We wszystkich latach użytkowania nawożenie mineralne stosowano w postaci pożywek. Fosfor i magnez wprowadzano w postaci roztworów KH₂PO₄ i MgSO₄ × 7 H₂O jednorazowo wiosną w ilości: 1,0 g P i 0,5 g Mg na wazon,

zaś dawka K, w ilości 1,5 g na wazon, aplikowana była w postaci roztworu K_2SO_4 i dzielona na dwie części; jedną część stosowano wiosną, a drugą po zbiorze drugiego odrostu. Nawożenia azotem nie stosowano (z wyjątkiem dawki startowej 0,5 g N w formie roztworu NH_4NO_3). We wszystkich latach badań, pod pierwszy odrost aplikowano także pożywkę mikroelementową.

W badaniach określono plon suchej masy oraz efektywność fotosyntetyczną roślin na podstawie fluorescencji chlorofilu *a*. W latach pełnego użytkowania zbiór roślin przeprowadzano 4-krotnie, w fazie pełni pąkowania/początku kwitnienia roślin. Pomiar bezpośredniej fluorescencji chlorofilu *a* „*in vivo*” wykonywano za pomocą fluorymetru PocketPEA (Hansatech Instruments – WB). Ocenie poddano dwa wskaźniki: Fv/Fm – określający maksymalną wydajność kwantową PSII oraz PI (Performance Index) – wskaźnik funkcjonowania fotosystemu I i II dotyczący jego ogólnej żywotności. Pomiar fluorescencji chlorofilu wykorzystano do określenia sprawności aparatu fotosyntetycznego oraz oceny stanu fizjologicznego roślin w warunkach stresu. Pomiar przeprowadzono po 20 minutowej adaptacji liści w ciemności (młode, w pełni rozwinięte liście), w każdym odroście, na 5 roślinach w każdym z 4 wazonów (20 replikacji na obiekt).

Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji przy użyciu programu Statgraphics Centurion XVI. Do porównania różnic między średnimi dla efektów głównych (czynników) zastosowano wielokrotny test przedziałów ufności (Test Tukeya dla $\alpha = 0,05$).

3. Wyniki i dyskusja

Jednym z czynników ograniczających plonowanie roślin w warunkach klimatycznych Polski jest niedobór wody w glebie (STARCK i WSP., 1995). Większość roślin bobowatych drobnonasiennych ma duże wymagania wodne. Dla prawidłowego rozwoju wymagają one 500–700 mm rocznych opadów, w tym 300–450 mm w okresie wegetacji, przy czym odporność poszczególnych gatunków na suszę jest różna i zależy m.in. od wielkości i głębokości systemu korzeniowego, ciśnienia ssącego korzeni, poziomu wody gruntowej, zasobności gleby w wodę dostępną dla roślin, fazy rozwojowej, budowy anatomicznej łodygi i liści, ale także od warunków środowiska (ROJEK, 1986; GALON i WSP., 2013; ROOHI i WSP., 2013).

Przeprowadzone badania wykazały, że największy wpływ na wartość wskaźników fluorescencji chlorofilu w liściach miał gatunek. W obu latach badań istotnie większą wartością wskaźnika Fv/Fm, charakteryzowała się lucerna i koniczyna łąkowa niż koniczyna biała (tab. 1 i 2). Istotne różnice zanotowa-

no we wszystkich odrostach z wyjątkiem drugiego. Świadczy to o większej potencjalnej wydajności PSII u lucerny i koniczyny łąkowej niż u koniczyny białej. Poziom wilgotności gleby na ogół nie różnicował istotnie wartości tego wskaźnika, chociaż u wszystkich badanych gatunków zanotowano tendencję do obniżenia jego wartości w warunkach stresu. Nie zanotowano także interakcji badanych czynników doświadczenia.

Wskaźnik Fv/Fm szacuje maksymalną wydajność kwantową fotosytemu II (PSII) w ciemności (STRASSER i WSP., 2000). Według BJÖRKMAN i DEMIG (1987), dla większości roślin znajdujących się w fazie pełnego rozwoju i w warunkach bezstresowych maksymalna wartość tego parametru wynosi 0,83, zaś obniżenie tej wartości świadczy o reakcji rośliny na czynnik stresowy. Zmniejszenie wydajności fotochemicznej PSII może być spowodowane ingerencją w transport elektronów w łańcuchu fotosyntetycznym (TUBA i WSP.,

Tabela 1. Wskaźnik fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm) u lucerny mieszańcowej, koniczyny łąkowej oraz koniczyny białej w zależności od poziomu wilgotności gleby w 2013 roku
Table 1. Chlorophyll fluorescence indicator (Fv/Fm) in alfalfa, red clover and white clover depending on soil moisture level in 2013

Gatunek Species	I odrost 1 st regrowth		II odrost 2 nd regrowth		III odrost 3 rd regrowth		IV odrost 4 th regrowth		Średnia Mean	
	Poziom wilgotności gleby (% ppw) Level of soil moisture (% FWC)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Lucerna Alfalfa	0,795	0,785	0,798	0,800	0,823	0,808	0,825	0,818	0,815	0,800
Koniczyna łąkowa Red clover	0,833	0,833	0,813	0,808	0,800	0,803	0,813	0,815	0,815	0,813
Koniczyna biała White clover	0,773	0,800	0,798	0,753	0,808	0,783	0,780	0,795	0,793	0,783
Średnia Mean (A)	0,800	0,806	0,803	0,787	0,810	0,798	0,806	0,809	0,808	0,798
Średnia dla gatunku Mean for species (B)										
Lucerna Alfalfa	0,790		0,799		0,815		0,821		0,808	
Koniczyna łąkowa Red clover	0,833		0,810		0,801		0,814		0,814	
Koniczyna biała White clover	0,786		0,775		0,795		0,788		0,788	
NIR _{α=0,05} A	r.n.		r.n.		0,009		r.n.		r.n.	
NIR _{α=0,05} B	0,029		r.n.		0,014		0,025		0,016	
A × B	r.n.		r.n.		0,016		r.n.		r.n.	

Tabela 2. Wskaźnik fluorescencji chlorofilu (Fv/Fm) u lucerny mieszańcowej, koniczyny łąkowej oraz koniczyny białej w zależności od poziomu wilgotności gleby w 2014 roku
 Table 2. Chlorophyll fluorescence indicator (Fv/Fm) in alfalfa, red clover and white clover depending on soil moisture level in 2014

Gatunek Species	I odrost 1 st regrowth		II odrost 2 nd regrowth		III odrost 3 rd regrowth		IV odrost 4 th regrowth		Średnia Mean	
	Poziom wilgotności gleby (% ppw) Level of soil moisture (% FWC)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Lucerna Alfalfa	0,818	0,815	0,805	0,800	0,823	0,820	0,793	0,790	0,810	0,808
Koniczyna łąkowa Red clover	0,830	0,820	0,810	0,808	0,800	0,795	0,820	0,818	0,815	0,808
Koniczyna biała White clover	0,788	0,760	0,803	0,815	0,838	0,815	0,785	0,808	0,804	0,800
Średnia Mean (A)	0,809	0,798	0,806	0,808	0,820	0,810	0,799	0,805	0,810	0,805
Średnia dla gatunku Mean for species (B)										
Lucerna Alfalfa	0,816		0,803		0,821		0,792		0,809	
Koniczyna łąkowa Red clover	0,825		0,809		0,798		0,819		0,812	
Koniczyna biała White clover	0,774		0,809		0,826		0,796		0,802	
$NIR_{\alpha=0,05}^A$	r.n.		r.n.		r.n.		0,011		r.n.	
$NIR_{\alpha=0,05}^B$	0,026		r.n.		0,024		0,020		0,009	
A × B	r.n.		r.n.		r.n.		r.n.		r.n.	

2010) lub wskazuje na aktywną ochronę przeciwśłoneczną (HORTON i WSP., 1996). W przeprowadzonych badaniach wykazano nieznaczny (nieistotny statystycznie) spadek wartości wskaźnika Fv/Fm w warunkach niedoboru wody w glebie, co może świadczyć o niewielkim zmniejszeniu wydajności PSII i zakłóceniach w procesach fizjologicznych oraz braku uszkodzeń spowodowanych stresem w obrębie fotosystemu II.

Wskaźnik vitalności PSII – PI (*ang. Performance Index*) opisuje ilość efektywnej energii, która przetwarzana jest przez fotosystem II. Wyraża także zdolność rośliny do przeciwstawienia się warunkom stresowym (KALAJI i ŁOBODA, 2010). W przeprowadzonych badaniach większy wpływ na wartość wskaźnika PI miał gatunek niż poziom wilgotności gleby (tab. 3 i 4). W obu latach badań istotnie większym wskaźnikiem vitalności wykazała się lucerna i koniczyna łą-

kowa niż koniczyna biała. Biorąc pod uwagę wartości średnie dla badanych gatunków, w warunkach stresu wskaźnik PI był na ogół nieco większy niż przy optymalnej wilgotności gleby, ale różnice nie były statystycznie istotne, z wyjątkiem III odrostu w drugim roku badań. Analizując poszczególne gatunki wykazano, iż stres suszy istotnie zwiększał średnią wartość wskaźnika PI tylko u koniczyny białej w drugim roku badań.

Pomiar fluorescencji chlorofilu pomaga określić sprawność aparatu fotosyntetycznego roślin. Analiza krzywej indukcji fluorescencji chlorofilu pozwala ocenić współdziałanie fotochemicznych reakcji fazy świetlnej fotosyntezy z wydajnością biochemicznych reakcji w fazie ciemniowej. Ścisłe powiązanie i dostosowanie szybkości tych reakcji jest warunkiem wysokiej sprawności całego procesu fotosyntezy. Przy sprawnym przebiegu ciągu reakcji fotosyntetycznych intensywność fluorescencji chlorofilu pozostaje niewielka, natomiast wszelkie

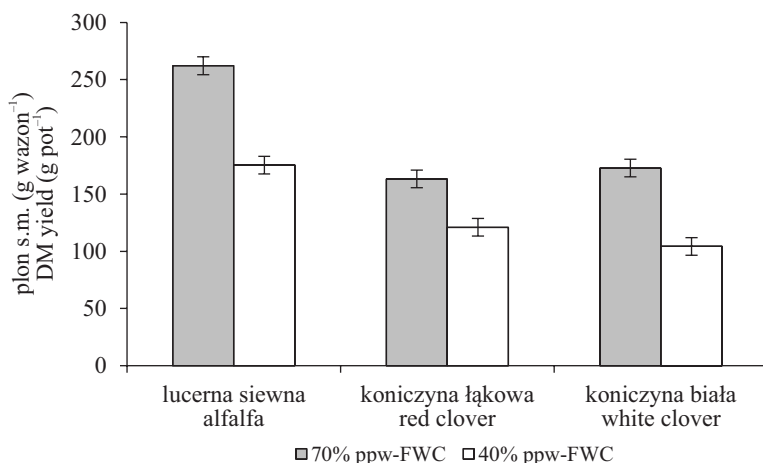
Tabela 3. Wskaźnik fluorescencji chlorofilu (PI) u lucerny mieszańcowej, koniczyny łąkowej oraz koniczyny białej w zależności od poziomu wilgotności gleby w 2013 roku
Table 3. Chlorophyll fluorescence indicator (PI) in alfalfa, red clover and white clover depending on soil moisture level in 2013

Gatunek Species	I odrost 1 st regrowth		II odrost 2 nd regrowth		III odrost 3 rd regrowth		IV odrost 4 th regrowth		Średnia Mean	
	Poziom wilgotności gleby (% ppw) Level of soil moisture (% FWC)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Lucerna Alfalfa	3,33	2,95	3,73	4,16	4,12	3,62	5,82	4,90	4,25	3,91
Koniczyna łąkowa Red clover	5,12	5,26	2,95	3,35	2,54	3,62	3,94	3,51	3,64	3,94
Koniczyna biała White clover	1,64	2,61	1,89	1,96	2,76	1,98	2,04	3,91	2,08	2,62
Średnia Mean (A)	3,36	3,61	2,86	3,16	3,14	3,07	3,93	4,11	3,32	3,49
Średnia dla gatunku Mean for species (B)										
Lucerna Alfalfa	3,14		3,94		3,87		5,36		4,08	
Koniczyna łąkowa Red clover	5,19		3,15		3,08		3,72		3,79	
Koniczyna biała White clover	2,13		1,93		2,37		2,98		2,35	
NIR _{α=0.05} A	r.n.		r.n.		r.n.		r.n.		r.n.	
NIR _{α=0.05} B	0,968		1,093		0,673		1,421		0,677	
A × B	r.n.		r.n.		r.n.		r.n.		r.n.	

Tabela 4. Wskaźnik fluorescencji chlorofilu (PI) u lucerny mieszańcowej, koniczyny łąkowej oraz koniczyny białej w zależności od poziomu wilgotności gleby w 2014 roku
 Table 4. Chlorophyll fluorescence indicator (PI) in alfalfa, red clover and white clover depending on the soil moisture level in 2014

Gatunek Species	I odrost 1 st regrowth		II odrost 2 nd regrowth		III odrost 3 rd regrowth		IV odrost 4 th regrowth		Średnia Mean	
	Poziom wilgotności gleby (% ppw) Level of soil moisture (% FWC)									
	70	40	70	40	70	40	70	40	70	40
Lucerna Alfalfa	5,34	5,75	4,10	4,33	5,27	5,45	3,00	3,38	4,43	4,72
Koniczyna łąkowa Red clover	6,26	4,34	3,77	3,96	2,58	3,20	6,10	4,81	4,68	4,08
Koniczyna biała White clover	1,71	2,16	1,94	3,23	4,05	5,58	2,25	4,05	2,49	3,75
Średnia Mean (A)	4,44	4,08	3,27	3,84	3,97	4,74	3,78	4,08	3,87	4,18
Średnia dla gatunku Mean for species (B)										
Lucerna Alfalfa	5,55		4,21		5,36		3,19		4,58	
Koniczyna łąkowa Red clover	5,30		3,86		2,89		5,45		4,38	
Koniczyna biała White clover	1,94		2,58		4,81		3,15		3,12	
NIR _{α=0,05} A	r.n.		r.n.		0,265		r.n.		r.n.	
NIR _{α=0,05} B	1,444		1,272		1,294		1,254		0,776	
A × B	1,785		r.n.		r.n.		r.n.		1,005	

powstałe zakłócenia w procesie fotosyntezy, np. stresy powodują jej wyraźny wzrost (ŠESTAK i ŠIFFEL, 1997; HAVAUX i TWARDY, 1996). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zadany roślinom stres suszy nie spowodował znaczących zmian w obrębie fotosystemów u badanych gatunków. Wzrost wartości wskaźnika PI wskazuje na pewną reakcję roślin na stres, ale brak istotnych różnic pokazuje, że zmiany były niewielkie i nie spowodowały trwałych uszkodzeń w obrębie fotosystemów u lucerny siewnej i koniczyny łąkowej. Silniejsza natomiast była reakcja koniczyny białej, u której średnia wartość wskaźnika PI zwiększyła się w warunkach niedoboru wody w glebie o 50,6% w drugim roku badań (różnice statystycznie istotne) oraz o 26,0% w pierwszym roku badań (różnice nieistotne). Znajduje to także odzwierciedlenie w plonowaniu roślin. Wszystkie gatunki wykazały się istotnym spadkiem plonu suchej masy w warunkach stresu, ale większą stratę zanotowano u koniczyny białej (40%),



Rycina 1. Łączny plon suchej masy (2013-2014) lucerny siewnej, koniczyny łąkowej i koniczyny białej w zależności od poziomu wilgotności gleby (słupki błędu – $NIR_{\alpha=0.05}$)

Figure 1. Total dry mass yield (2013-2014) of alfalfa, red clover and white clover depending on the soil moisture level (bars – $LSD_{\alpha=0.05}$)

w porównaniu z koniczyną łąkową (26%) i lucerną siewną (33%), co wskazuje na większe zakłócenia w procesach fizjologicznych i wzroście roślin u koniczyny białej niż u pozostałych gatunków (ryc. 1). Przeprowadzone badania potwierdziły doniesienia innych autorów, iż fluorescencja chlorofilu jest miarą efektywności aparatu fotosyntetycznego zależną w większym stopniu od gatunku niż czynników środowiskowych (DEMMING i BJÓRKMAN, 1987).

4. Wnioski

- Istotnie wyższe wartości wskaźników F_v/F_m oraz PI wykazano u lucerny mieszańcowej i koniczyny czerwonej niż u koniczyny białej, co świadczy o większej potencjalnej wydajności fotosystemu II i ogólnej żywotności tych dwóch gatunków.
- Stres związany z niedoborem wody w glebie w niewielkim stopniu zakłócał funkcjonowanie fotosystemów u lucerny i koniczyny łąkowej, nieco silniejsza była reakcja koniczyny białej na stres, u której zanotowano istotny wzrost wskaźnika PI w warunkach suszy, zwłaszcza w drugim roku pełnego użytkowania. U żadnego gatunku nie stwierdzono uszkodzeń w obrębie fotosystemów spowodowanych suszą.

- Wszystkie badane gatunki wykazały się istotnie mniejszym plonem suchej masy w warunkach stresu, przy czym największą stratę zanotowano u koniczyny białej (40%), mniejszą u lucerny (33%), a najmniejszą u koniczyny łąkowej (26%).

Literatura

- BJÖRKMÁN O., DEMMIG B., 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
- COLEMAN L.W., ROSEN B.H., SCHWARTZBACH S.D., 1988. Preferential loss of chloroplast proteins in nitrogen deficient *Euglena*. *Plant Cell Physiology*, 29, 1007-1014.
- DEMMING B., BJÖRKMÁN O., 1987. Comparison of effect of excessive light on chlorophyll fluorescence and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta*, 171, 171-184.
- GALON L., CONCENÇO G., FERREIRA E.A., ASPIAZÚ I., DA SILVA A.F., GIACOBBO C.L., ANDRES A., 2013. Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties. In: *Photosynthesis* (ed. Z. Dubinsky), InTech, (www.intechopen.com/books)
- HAVAUX M., TWARDY F., 1996. Temperature-dependent adjustment of thermal stability of photosystem II in vivo: possible involvement of xanthophyll-cycle pigments. *Planta*, 198, 324-333.
- HORTON P., RUBAN A.V., WALTERS R.G., 1996. Regulation of light harvesting in green plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47, 655-684.
- KALAJI M., ŁOBODA T., 2010. *Fluorescencja chlorofilu w badaniach stanu fizjologicznego roślin*. SGGW Warszawa.
- KALAJI M., WOLEJKO E., ŁOBODA T., PIETKIEWICZ S., WYSZYŃSKI Z., 2004. Fluorescencja chlorofilu – nowe narzędzie do oceny fotosyntezy roślin jęczmienia, rosnących przy różnych dawkach azotu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 496, 375-383.
- MICHALCZUK B., BORKOWSKA B., TREDER J., GOSZCZYŃSKA D.M., 2008. Chlorophyll fluorescence in senescing leaves of *alstroemeria*. *International Scientific Conference: Actualities in Plant Physiology*, 85.
- MURKOWSKI A., 2002. Oddziaływanie czynników stresowych na luminescencję chlorofilu w aparacie fotosyntetycznym roślin uprawnych. *Monografia, Acta Agrophysica*, 61, 108-123.
- MURKOWSKI A., 2004. Zastosowanie luminescencji chlorofilu do badania reakcji aparatu fotosyntetycznego roślin pomidora na stres świetlny oraz chłód. *Acta Agrophysica*, 4, 2, 431-439.
- MURKOWSKI A., 2005. Ocena wrażliwości roślin uprawnych na wybrane stropy środowiska przy użyciu metody fluorescencyjnej. *Inżynieria Rolnicza*, 4, 37-45.
- ROJEK S., 1986. Potrzeby wodne roślin motylkowatych. *Fragmenta Agronomica*, 2, 3-20.
- ROOHI E., TAHMASEBI-SARVESTANI Z., MODARRES-SANAVY S.A.M., SIOSEMARDEH A., 2013. Comparative study on the effect of soil water stress on photosynthetic function of

- triticale, bread wheat, and barley. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 215-228.
- SOUZA R.P., MACHADO E.C., SILVA J.A.B., LAGO A.M.M.A., SILVEIRA J.A.G., 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cow-pea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 45-56.
- STARCK Z., CHOŁUJ D., NIEMYSKA B., 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- STRASSER R.J., SRIVASTAVA A., TSIMILLI-MICHAEL M., 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation* (eds M. Yunus, U. Pathre, P. Mohanty), Taylor and Francis, London, 445-483.
- SULKIEWICZ M., CIERESZKO I., 2016. Fluorescencja chlorofilu α – historia odkrycia i zastosowanie w badaniach roślin. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, 65, 1, 103-115.
- ŠESTAK Z., ŠIFFEL P., 1997. Leaf – age related differences in chlorophyll fluorescence. *Photosynthetica*, 33, 3/4, 347-369.
- TUBA Z., SAXENA D.K., SRIVASTAVA K., SINGH S., CZOBEL S., KALAJI H.M., 2010. Chlorophyll a fluorescence measurements for validating the tolerant bryophytes for heavy metal (Pb) biomapping. *Current Science*, 98, 1505-1508.

The effect of drought stress on chlorophyll fluorescence indicators in alfalfa (*Medicago × varia* Martyn), red clover (*Trifolium pratense* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.)

M. STANIAK¹, E. BACA²

¹Department of Forage Crop Production, Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Pulawy

²Lublin Agricultural Advisory Resort in Końskowola

Summary

Water deficit in the soil is one of the factors that limits the yield of crops, causing great damage to agricultural production. This is the result of genotypic expression as modulated by interaction with the environment. The aim of the research was to evaluate the impact of water shortage in the soil on the chlorophyll fluorescence indicators in alfalfa, red clover and white clover. Pot experiment was conducted in 2012-2014, at the greenhouse of the Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Pulawy, at the completely randomized block method, with four replications. Objects were evaluated at two soil moisture levels: well-watered conditions (70% Field Water Capacity) and drought stress (40% FWC).

The studies have shown that the genetic factor significantly modified the chlorophyll fluorescence parameters. Significantly higher values of Fv/Fm and PI indicators were demonstrated in alfalfa and red clover than in white clover, which indicates higher potential of photosystem II

(PSII) and overall vitality of these two species. Drought stress disturbed the functioning of PSII in alfalfa and red clover only to a small extent. Slightly stronger was reaction of white clover to stress, in which there was a significant increase in PI in drought, especially in the second year of use. In any species, however, no damage was found in the field of photosystems caused by drought. All studied species showed a significant decrease in dry matter yield under stress conditions, with the highest loss in white clover (40%), lower in alfalfa (33%) and the lowest in red clover (26%).

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Dr hab. Mariola Staniak, prof. IUNG-PIB

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych

Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB

ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

tel. 81 478 67 95

e-mail: staniakm@iung.pulawy.pl