

Anna FURMAŃCZUK<sup>1</sup>

## REAKCJA APARATU FOTOSYNTETYCZNEGO FASOLI SZPARAGOWEJ NA NADMIAR KOBALTU W PODŁOŻU

### RESPONSE OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF STRING-BEAN TO COBALT EXCESS IN THE SUBSTRATE

**Abstrakt:** Celem pracy było zbadanie wpływu nadmiaru kobaltu w podłożu na te parametry aparatu fotosyntetycznego fasoli szparagowej odmiany Dakota, które w fizjologii stresu przyjmowane są jako miara stresu abiotycznego. Uprawę fasoli przeprowadzono w kulturach wazonowych, w fitotronie. Kobalt zastosowano w formie  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  w stężeniach 20, 40, 60 i 80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby o pH 6,7. W początkowej fazie kwitnienia roślin wykonano pomiary przewodności szparkowej, intensywności fotosyntezy netto oraz kinetyki indukcji fluorescencji chlorofilu *a* w liściach będących w stacjonarnej (końcowej) fazie wzrostu. Następnie w liściach tych oznaczono zawartość chlorofilu. Wyniki badań wykazały, że kobalt w zastosowanych w doświadczeniu stężeniach obniża zawartość chlorofilu w stopniu większym chlorofilu *a* niż *b*. Ponadto, zmniejsza przewodność szparkową dla gazów, sprawność fotochemiczną PSII ( $F_v/F_m$ ) i efektywność kompleksu wydzielania tlenu ( $F_v/F_0$ ). Obniża także intensywność fotosyntezy netto oraz istotnie redukuje zarówno plon biologiczny, jak i użytkowy fasoli. Kierunek zmian wszystkich oznaczanych parametrów aparatu fotosyntetycznego oraz redukcja plonu wskazywały, że kobalt w zastosowanych stężeniach jest czynnikiem stresogennym dla roślin fasoli szparagowej odmiany Dakota.

**Słowa kluczowe:** fluorescencja chlorofilu *a*, fotosynteza, rośliny strączkowe, przewodność szparkowa liścia, toksyczność kobaltu

### Wprowadzenie

Kobalt jest pierwiastkiem niezbędnym w rozwoju roślin motylkowatych [1-5]. Wchodzi on bowiem w skład kobalaminy (witaminy B<sub>12</sub>), będącej składnikiem systemu wiązania wolnego azotu. Ponadto, pierwiastek ten stymuluje infekcyjność i nodulację korzeni oraz sprawność wiązania N<sub>2</sub>. Kobalt korzystnie wpływa również na skład chemiczny i sprawność fizjologiczną aparatu fotosyntetycznego [1-3, 6]. Stymuluje wzrost oraz plonowanie roślin [4, 6].

Z dotychczasowych badań wiadomo, że fizjologiczna aktywność kobaltu uzależniona jest od jego stężenia w roślinach; w stężeniach niskich pełni on rolę stymulatora procesów fizjologicznych, w tym procesu fotosyntezy, natomiast w stężeniach wysokich wykazuje działanie toksyczne [4, 7]. Toksyczny wpływ kobaltu na aparat fotosyntetyczny roślin jest wielokierunkowy [2, 4, 7-9]. Pierwiastek ten redukuje powierzchnię asymilacyjną i dezintegruje strukturę aparatu fotosyntetycznego roślin, obniża zawartość barwników asymilacyjnych oraz zaburza przebieg reakcji fotochemicznych i biochemicznych fotosyntezy. W konsekwencji zmniejsza intensywność tego procesu oraz produktywność fotosyntetyczną i plonowanie roślin.

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ nadmiaru kobaltu w podłożu na zawartość chlorofilu oraz sprawność fizjologiczną aparatu fotosyntetycznego fasoli szparagowej

<sup>1</sup> Zakład Biologii Roślin, Wydział Nauk Rolniczych w Zamościu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Szczepkowska 102, 22-400 Zamość, tel. 84 677 27 66, email: anna.furmanczuk@up.lublin.pl

odmiany Dakota, którą oceniono na podstawie niektórych parametrów fluorescencji chlorofilu *a*, przewodności szparkowej i intensywności fotosyntezy netto.

### Materiał i metody

Doświadczenia przeprowadzono w kulturach wazonowych na czystym chemicznie, gruboziarnistym piasku (3 kg/wazon), do którego dodano pożywki Tolley-Henry i Rappera bez azotu [10]. Nasiona fasoli szparagowej odmiany Dakota przed wysiewem zaprawiano nitraginą uzyskaną z Katedry Mikrobiologii IUNG w Puławach. Kobalt zastosowano doglebowo w postaci  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  w dawkach 20, 40, 60 i 80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby. Odczyn gleby utrzymano na poziomie pH 6,7, a pojemność wodną na poziomie 65% ppw. Doświadczenia przeprowadzono w fitotronie (temp. 20°C, W = 75%, intensywność światła w zakresie FAR = 170  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

W początkowym okresie kwitnienia roślin zmierzono przewodność szparkową liści dla gazów oraz intensywność fotosyntezy netto przy udziale aparatu LI-COR model LI-6200. Następnie zmierzono niektóre parametry indukowanej fluorescencji chlorofilu *a* przy użyciu fluorymetru PAM 2000. Oznaczono  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$  i  $F_v/F_0$ , czyli odpowiednio fluorescencję początkową, maksymalną, zmienną, wskaźnik sprawności fotochemicznej PSII oraz wskaźnik efektywności kompleksu wydzielania tlenu. Definicje oraz wzory tych parametrów i wskaźników fluorescencji chlorofilu *a* szczegółowo są przedstawione w publikacjach autorstwa Öquist i Wass [11], Baker i in. [12] oraz Lawson i in. [13]. Wszystkie pomiary wykonano w stacjonarnej (końcowej) fazie wzrostu liścia. Następnie liście te zebrano i oznaczono w nich zawartość chlorofilu według metody Arnona [14]. W okresie dojrzałości konsumpcyjnej badanej odmiany fasoli oznaczono metodą wagową plon świeżej masy strąków, a metodą suszarkowo-wagową plon suchej masy całych roślin.

Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej, a w przypadku stwierdzenia istotnych różnic obliczono wartość półprzedziału ufności Tukeya określoną w pracy jako najmniejsza istotna różnica (NIR).

### Wyniki i dyskusja

W warunkach nadmiaru kobaltu w podłożu zanotowano istotne zmiany parametrów indukowanej fluorescencji chlorofilu *a* w liściach fasoli szparagowej odmiany Dakota (tab. 1), które wskazują na zakłócenie fotosyntezy na etapie reakcji pierwotnych tego procesu. Według Karuse i Weis [15], parametry indukcji fluorescencji chlorofilu *a* pozwalają określić prawidłowość i sprawność przebiegu pierwotnych reakcji fotosyntezy *in vivo* [16]. Pozwalają także na bezinwazyjne badania wpływu czynników stresowych, w tym metali ciężkich, na przebieg fotosyntezy [16-19].

Wraz ze wzrostem stężenia kobaltu w podłożu sukcesywnie zwiększały się wartości fluorescencji zerowej (początkowej)  $F_0$  (tab. 1). Z literatury wiadomo, że  $F_0$  jest związana z wydajnością przekazywania energii z barwnikowo-białkowego kompleksu antenowego zbierającego światło do centrum reakcji PSII [12, 13, 15]. Wzrost wartości tego parametru, wywołany najczęściej czynnikami stresowymi, świadczy o obniżeniu tej wydajności.

Współczynnik  $F_v/F_m$  jest miarą wydajności utylizacji światła w pierwotnych reakcjach fotosyntezy, a jego wartość jest proporcjonalna do wydajności kwantowej reakcji fotochemicznych PSII [12, 13]. Dla zdrowych liści większości gatunków roślin

naczyniowych wartość współczynnika  $F_v/F_m$  wynosi ok. 0,832 [20]. Obniżenie tej wartości (proporcjonalnie do wydajności kwantowej) świadczy o obniżeniu sprawności PSII. Zanotowana wartość współczynnika  $F_v/F_m$  w liściach roślin fasoli szparagowej odmiany Dakota z obiektu kontrolnego mniej więcej odpowiadała wartości podanej przez Björkmana i Demmig [20] i wynosiła 0,811. Wartości tego współczynnika na obiektach doświadczalnych sukcesywnie zmniejszały się wraz ze wzrostem stężenia kobaltu w podłożu (tab. 1). Wyniki te wskazywały na wzrost liczby uszkodzeń fotoinhibycyjnych w roślinach badanej odmiany fasoli poddanych działaniu kobaltu.

Tabela 1

Zmiany parametrów aparatu fotosyntetycznego fasoli szparagowej w warunkach nadmiaru kobaltu w podłożu

Table 1

The changes of photosynthetic apparatus parameters of string-bean under cobalt excess in the substrate

Parametr Parameter	Dawka kobaltu [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby] Cobalt dose [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of soil]					NIR <sub>p0,05</sub> LSD <sub>p0,05</sub>
	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	
$F_m$ (fluorescencja maksymalna) $F_m$ (fluorescence max)	1971,2	1919,0	2301,3	2108,0	2157,7	51,4
$F_0$ (fluorescencja zerowa) $F_0$ (fluorescence 0)	378,7	389,3	670,0	694,3	685,7	10,06
$F_v/F_m$ (potencjalna efektywność PSII) $F_v/F_m$ (potentiale efficiency of PSII)	0,811	0,757	0,708	0,681	0,669	0,03
$F_v/F_0$ (efektywność kompleksu wydzielania $\text{O}_2$ ) $F_v/F_0$ (complex evolution of $\text{O}_2$ )	0,0025	0,0017	0,0010	0,0007	0,0005	0,0001
Fotosynteza netto Net photosynthesis [ $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	3,18	3,03	2,76	2,71	2,69	0,135
Przewodność szparkowa Stomatal conductance [ $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,005
Chlorofil $a$ [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ś.m.] Chlorophyll $a$ [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ F.W.]	1,29	1,02	0,96	0,53	0,80	0,05
Chlorofil $b$ [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ś.m.] Chlorophyll $b$ [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ F.W.]	1,24	0,56	0,50	0,28	0,70	0,11
Chlorofil ( $a+b$ ) [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ś.m.] Chlorophyll ( $a+b$ ) [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ F.W.]	2,53	1,58	1,46	1,49	0,81	0,07

Według Krause i Somersalo [21], wartość współczynnika  $F_v/F_m$  zmniejsza się proporcjonalnie do redukcji szybkości asymilacji  $\text{CO}_2$ . Zależność ta wystąpiła także w przeprowadzonych badaniach, gdzie obliczony współczynnik korelacji między  $F_v/F_m$  i asymilacją  $\text{CO}_2$  (fotosyntezą netto) był istotny statystycznie i wynosił  $R = 0,87$ .

Należy podkreślić, że intensywność fotosyntezy netto roślin fasoli szparagowej odmiany Dakota, oceniona na podstawie asymilacji  $\text{CO}_2$ , zmniejszała się wraz ze wzrostem stężenia tego metalu w podłożu (tab. 1). Jak wykazano, jednym z czynników ograniczających asymilację  $\text{CO}_2$  było zmniejszenie przewodności szparkowej liści dla gazów, przy czym redukcję przewodności szparkowej liści fasoli zanotowano tylko w obecności kobaltu o stężeniach 60 i  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby (tab. 1).

Kobalt wprowadzony do gleby w nadmiarze obniżał także efektywność kompleksu wydzielania tlenu, którą oceniono na podstawie współczynnika  $F_v/F_0$ . Jak przedstawiono w tabeli 1, wartość współczynnika  $F_v/F_0$  istotnie zmniejszała się wraz ze wzrostem stężenia kobaltu w podłożu i w warunkach największego stężenia tego metalu była aż 5-krotnie mniejsza w stosunku do wartości zanotowanej na obiekcie kontrolnym. Sugeruje się, że kompleks wydzielania tlenu jest najbardziej wrażliwym miejscem w łańcuchu fotosyntetycznego transportu elektronów na działanie czynników stresowych [16]. Hipotezę tę potwierdziły przeprowadzone pomiary fluorescencji chlorofilu *a* w liściach fasoli szparagowej odmiany Dakota, według których zanotowany poziom zmniejszenia wartości współczynnika  $F_v/F_0$  w warunkach nadmiaru kobaltu był znacznie większy niż innych parametrów indukowanej fluorescencji chlorofilu *a*.

W warunkach nadmiaru kobaltu w podłożu zanotowano redukcję zawartości chlorofilu w liściach badanej odmiany fasoli, przy czym poziom redukcji chlorofilu *b* był większy niż chlorofilu *a* (tab. 1). Podobne wyniki były rejestrowane we wcześniejszych badaniach innych autorów, przeprowadzonych m.in. na innych odmianach fasoli zwyczajnej [22, 23], fasoli wielokwiatowej [24] i innych gatunków roślin naczyniowych [25-29] oraz na glonach [18]. Niekorzystny wpływ nadmiaru kobaltu na zawartość chlorofilu wiązany jest głównie z niedoborem żelaza w liściach, wynikającym z antagonizmu między  $\text{Co} \rightarrow \text{Fe}$  [4, 26, 28-30].

Należy zauważyć, że w przeprowadzonych badaniach wraz ze wzrostem stężenia kobaltu w zakresie stężeń  $20\text{-}60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby zawartość chlorofilu w liściach badanej odmiany fasoli sukcesywnie się zmniejszała, po czym w obecności kobaltu w stężeniu kolejno wyższym, czyli  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby, zawartość tego barwnika zwiększyła się, chociaż była mniejsza aniżeli w roślinach kontrolnych. Według Baszyńskiego [31], wzrost stężenia chlorofilu w liściach w warunkach silnego stresu powodowanego przez metale ciężkie nie jest wynikiem wzmożonej jego biosyntezy, lecz wynikiem wolniejszej inhibicji syntezy tego barwnika aniżeli redukcji powierzchni liści. Jest to więc efekt tzw. „mniejszego rozcieńczenia” składnika.

Plonowanie roślin zależy od wielu czynników natury endogennej i środowiskowej, przy czym jednym z głównych czynników jest intensywność fotosyntezy [32]. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że wraz ze wzrostem kobaltu w podłożu zmniejszał się zarówno plon biologiczny, jak i użytkowy fasoli szparagowej odmiany Dakota (tab. 2). Poziom redukcji plonu fasoli był zintegrowany z obniżeniem intensywności fotosyntezy netto oraz zmianami parametrów fluorescencji chlorofilu *a*, określającymi natężenie stresu powodowanego przez kobalt (tab. 1 i 2).

Jak przedstawia tabela 2, kobalt zastosowany we wszystkich czterech dawkach zmniejszał plon suchej masy całych roślin oraz plon świeżej masy strąków, przy czym zastosowany w najwyższej dawce, tj.  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby, wyłączał z rozwoju fazę generatywną. W dawkach  $20$  i  $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby zmniejszał plon suchej masy roślin odpowiednio o 13,2 i 25%, natomiast zastosowany w dawkach  $60$  i  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby redukował plon o 27,1 i 41,6%. Metal ten dodany do gleby w dawce najwyższej ( $80 \text{ mg Co} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby) powodował spadek plonu suchej masy całych roślin prawie o 50% w stosunku do plonu suchej masy roślin z obiektu kontrolnego.

Plon użytkowy fasoli, czyli plon świeżej masy strąków w obecności kobaltu w stężeniu  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby, był o 25,5% mniejszy niż na obiekcie kontrolnym, a przy dawce  $40$

i  $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby był mniejszy odpowiednio o 60,5 i 76,9%. Wyniki te wskazują, że nadmiar kobaltu w podłożu w większym stopniu negatywnie wpływa na fazę generatywną niż na fazę wegetatywną fasoli szparagowej odmiany Dakota.

Tabela 2

Plon biologiczny i użytkowy fasoli szparagowej odmiany Dakota

Table 2

The biological and usable crop of string-bean of Dakota cultivar

Parametr Parameter	Dawka kobaltu [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby] Cobalt dose [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of soil]					NIR <sub>p0,05</sub> LSD <sub>p0,05</sub>
	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	
Plon suchej masy całych roślin [g/wazon] Crop of whole plant dry mass [g per pot]	9,55 (100)	8,29 (86,8)	7,16 (75)	6,96 (72,9)	5,58 (58,4)	0,19
Plon świeżej masy strąków [g/wazon] Crop of bean pod fresh mass [g per pot]	16,75 (100)	11,97 (74,5)	6,62 (39,5)	3,87 (23,1)	0,0 (0,0)	2,17

## Podsumowanie

Kobalt zastosowany doglebowo w dawkach 20, 40, 60 i  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby powodował zmiany parametrów indukowanej fluorescencji chlorofilu *a* ( $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$  i  $F_v/F_0$ ) liści fasoli szparagowej odmiany Dakota. Kierunek zmian tych parametrów wskazywał, że metal ten zmniejszał wydajność przekazywania energii z barwnikowo-białkowego kompleksu antenowego, zbierającego światło do centrum reakcji PSII, obniżał sprawność fotochemiczną PSII oraz efektywność kompleksu wydzielania tlenu. Ponadto, zmniejszał przewodność szparkową liści dla gazów oraz zawartość chlorofilu w liściach, w stopniu większym chlorofilu *b* niż chlorofilu *a*. Redukował także intensywność fotosyntezy netto. Wyniki te wskazują, że negatywny wpływ nadmiaru kobaltu w podłożu na aparat fotosyntetyczny fasoli szparagowej odmiany Dakota jest wielokierunkowy, a obniżenie jego sprawności fizjologicznej jest jednym z głównych czynników ograniczających plonowanie tej rośliny.

## Literatura

- [1] Riley IT, Dilwarth MJ. Cobalt in soil and plant. *Micronutrien News and Informat.* 1986;2:4-5.
- [2] Palit S, Sharma A. Effects of cobalt on plants. *Bot Rev.* 1994;60(2):149-181.
- [3] Yadov DV, Khanna SS. Role of cobalt on nitrogen fixation - a review. *Agric Rev.* 2002;9:180-182.
- [4] Marschner H. *Mineral nutrition in higher plants.* London - San Diego - New York - Boston - Sydney - Tokyo - Toronto: Academic Press; 1995:427-430.
- [5] Gad N. Increasing the efficiency of nitrogen fertilization through cobalt application to pea plants. *Res J Agric Biol Sci.* 2006;2(6):433-442.
- [6] Furmańczyk A. Ocena efektywności nawożenia kobaltem fasoli szparagowej odmiany Dakota. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 2010;556:211-219.
- [7] Kabata-Pendias A, Pendias H. *Biogeochemia pierwiastków śladowych.* Warszawa: Wyd Nauk PWN; 1999:336-343.

- [8] Liu J, Reid RJ, Smith FA. The mechanism of cobalt toxicity in mung beans. *Physiol Plant*. 2000;110:104-110.
- [9] Ali B, Hayat S, Hayat Q, Ahmad A. Cobalt stress affects nitrogen metabolism, photosynthesis and antioxidant system in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J Plant Inter*. 2010;5(3):223-231.
- [10] Tolley-Henry L, Rapper CD Jr. Cyclic variation in nitrogen uptake rate of soybean plants. *Plant Physiol*. 1989;91:1345-1350.
- [11] Óquist G, Wass R. A portable microprocessor operated instrument for measuring chlorophyll fluorescence kinetics in stress physiology. *Physiol Plant*. 1988;73(2):211-217.
- [12] Baker NR, Oxborough K, Lawson T, Morrison JLL. High resolution imaging of photosynthetic activities of tissues, cells and chloroplasts in leaves. *J Exp Bot*. 2001;52:615-621.
- [13] Lawson T, Oxborough K, Morrison JLL, Baker NR. Responses of photosynthetic electron transport in stomatal guard and mesophyll cells in intact leave to light, CO<sub>2</sub> and humidity. *Plant Physiol*. 2006;128:52-62.
- [14] Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*. 1949;24:1-15.
- [15] Krause GH, Weis E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. *Photosynth Res*. 1984;5:139-157.
- [16] Havaux M, Lannoye R. In vivo chlorophyll fluorescence and delayed light emission as rapid screening techniques for stress tolerance in crop plants. *Pflanzenzucht*. 1985;95:1-13.
- [17] Krupa Z, Baszyński T. Some aspects of heavy metals toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reaction. *Acta Physiol Plant*. 1995;17:177-190.
- [18] El-Sheekh MM, El-Naggar AH, Osman MEH, El-Mazaly E. Effect of cobalt on growth pigments and the photosynthetic electron transport in *Monoraphidium minutum* and *Nitzschia perminuta*. *Braz J Plant Physiol*. 2003;15(3):159-166.
- [19] Sikora J, Żurawski J, Rutkowska J, Ponedzialek B, Witkiewicz K, Dutkowiak A. Wpływ metali ciężkich na fluorescencję chlorofilu a *Scynechocystis aquatilis*. *Ochr. Środow. Zasob. Natur*. 2009;41:293-299.
- [20] Björkman O, Demmig B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics among vascular plants of diverse origins. *Planta*. 1987;170:489-504.
- [21] Krause GH, Somersalo S. Fluorescence as a tool in photosynthesis research: application in studies of photoinhibition, cold acclimation and freezing stress. *Biol Sci B*. 1989;323:281-293.
- [22] Zeid IM. Responses of *Phaseolus vulgaris* to chromium and cobalt treatments. *Biol Plant*. 2001;44(1):111-115.
- [23] Zengin FK, Munzuroglu O. Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biol Crac Ser Botanica*. 2005;47(2):157-164.
- [24] Tewari RK, Kumar P, Sharma PN, Bisht SS. Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt. *Plant Sci*. 2002;162:381-388.
- [25] Perez-Espinosa A, Moreno-Caselles J, Moral R, Perez-Murcia MD, Gomez I. Effect of cobalt on chlorophyll and carotenoids contents in tomato plants. *J Plant Nutr*. 2002;25(9):1933-1940.
- [26] Chatterjee J, Chatterjee C. Management of phytotoxicity of cobalt in tomato by chemical measures. *Plant Sci*. 2003;164:793-801.
- [27] Gad N. Interactive effect of salinity and cobalt on tomato plants. II. Some physiological parameters as affected by cobalt and salinity. *Res J Agric Biol Sci*. 2005;1(3):270-276.
- [28] Yavakumar K, Jaleel ChA, Vijarengan P. Changes growth, biochemical constituents, and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under cobalt stress. *Turk J Biol*. 2007;31:127-136.
- [29] Kandil H. Effect of cobalt fertilizer on growth, yield and nutrient status of faba bean (*Vicia faba* L.) plants. *J Appl Sci Res*. 2007;3(9):867-872.
- [30] Gad N, Abd El-Moez MR. Broccoli growth, yield quality as affected by cobalt nutrition. *Agric Biol J N Am*. 2011;2(2):226-231.
- [31] Baszyński T. Wrażliwość aparatu fotosyntetycznego na działanie metali ciężkich w różnych fazach wzrostu roślin. In: *Ekofizjologiczne aspekty reakcji roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych*. Grzesiuk S, Miszański Z, editors. Kraków: Wyd ZFR PAN; 1996:19-36.
- [32] Górecki RJ, Grzesiuk S. *Fizjologia plonowania roślin*. Olsztyn: Wyd UWM; 2002.

## RESPONSE OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF STRING-BEAN TO COBALT EXCESS IN THE SUBSTRATE

Department of Plant Biology, Faculty of Agricultural Sciences in Zamość, University of Life Sciences in Lublin

**Abstract:** The aim of the study was to examine the effect of cobalt excess in the substrate on these parameters of the photosynthetic apparatus of string-bean cv. Dakota which are assumed to be a measure of abiotic stress in stress physiology. String-bean was grown in pot cultures in a greenhouse. Cobalt was applied as  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  in concentrations of 20, 40, 60 and 80  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of soil of pH 6.7. At the initial stage of plant blooming stomatal conductance was measured as well as net photosynthesis intensity and kinetics of induction of chlorophyll *a* fluorescence in leaves at the stationary (final) stage of growth. Then the content of chlorophyll in leaves was determined. Results of the study showed that cobalt concentrations used in the experiment decreased the content of chlorophyll *b* more than that of chlorophyll *a*. It reduced stomatal conductance of gases, photochemical efficiency PSII ( $F_v/F_m$ ) and the efficiency of oxygen evolution complex ( $F_v/F_0$ ). It also decreased net photosynthesis intensity and reduced significantly both the biological and usable crop of string-bean. The direction of changes in all the parameters of the photosynthetic apparatus and crop reduction suggested that used in the applied concentrations cobalt is a stress-generating factor for string-bean cv. Dakota.

**Keywords:** chlorophyll *a* fluorescence, cobalt toxicity, leaf stomatal conductance, leguminous plants, photosynthesis

