

Andrzej GREGORCZYK¹, Agnieszka GAWSKA², Anna STOLARSKA²

WPLYW KADMU NA KINETYKĘ WZROSTU ROŚLIN OWSA

THE EFFECT OF CADMIUM ON GROWTH KINETICS OF OAT

¹Katedra Agronomii, Zakład Doświadczalnictwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI 3, 71-459 Szczecin, e-mail: andrzej.gregorczyk@zut.edu.pl

²Katedra Fizjologii Roślin, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie ul. J. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin

Abstract. The goal of the study was the assessment of the elongation growth of the naked oat var. 'Akt' to the contents of the toxic dosage of cadmium. Cadmium in toxic doses 20 and 100 mg per 1 kg of the soil and the control variant (0 mg Cd per 1 kg of the soil) were used in the pot experiment. The kinetics of plant elongation growth was analysed by means of a logistic function. The coefficients of logistic model have been estimated numerically by means of the Levenberg-Marquardt method. The applied dose of cadmium 20 mg · kg⁻¹ of the soil did not significantly limited the elongation growth of the oak plants. The cadmium dose of 100 mg · kg⁻¹ in the soil had an adverse influence on the growth as a result the stage of the maximum growth speed was about 10 days delayed in comparison to the control variant and the final height of plants was significantly limited.

Słowa kluczowe: funkcja logistyczna, metale ciężkie, model matematyczny, odmiana Akt, owies nagoziarnisty.

Key words: heavy metals, logistic function, mathematical model, naked oat, Akt variety.

WSTĘP

Najbardziej niepożądanym metalem ciężkim, z punktu widzenia potencjalnej szkodliwości dla organizmów żywych, jest kadm. Wynika to z jego dużej toksyczności, obserwowanej nawet przy bardzo małej zawartości w organizmie oraz szczególnie szybkiego przemieszczania się tego pierwiastka w łańcuchu troficznym. Na świecie rośnie nieustannie powierzchnia pól uprawnych zagrożonych ekologicznie z powodu nadmiernego skażenia metalami ciężkimi. Coraz częściej też stwierdza się zanieczyszczenie gleb kadmem. Najbardziej narażone są uprawy przeznaczone do konsumpcji. Dlatego konieczne jest prowadzenie badań nad koncentracją tego metalu w glebie i jego pobieraniem przez rośliny uprawne (Piotrowska i Trelak 1997).

Ziarno owsa wykorzystywane jest na paszę dla zwierząt i w diecie człowieka. W ostatnich latach rolnicy zwracają uwagę na odmiany nagoziarniste tego zboża (Sułek i in. 2005). Owies jest gatunkiem o dużych możliwościach przystosowawczych do niekorzystnych warunków glebowych. Celem podjętych badań była ocena wzrostu elongacyjnego bezłuskowej odmiany owsa Akt (*Avena sativa* var. *nuda*) pod wpływem zawartości w podłożu toksycznych dawek kadmu. Akt jest pierwszą zarejestrowaną krajową odmianą o nieoplewionym ziarnie. W porównaniu z odmianami konwencjonalnymi, charakteryzuje się ona mniejszym

ciężarem (masa 1000 ziaren wynosi 21–32,5 g), dużą zawartością białka (14–18%) i tłuszczu (7,5–10%), a także zwiększoną ilością lizyny, metioniny i beta-glukanu (Nita i Orłowska-Job 1996; Cyfert 2007).

Przeprowadzone badania opierały się na analizie kinetyki wzrostu elongacyjnego za pomocą tzw. funkcji logistycznej, często stosowanej w badaniach botanicznych i rolniczych (France i Thornley 1984; Gregorczyk 1991).

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w hali wegetacyjnej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zastosowano doglebowo trzy dawki kadmu: 0 (wariant zerowy), 20 oraz 100 mg Cd na kg podłoża.

W celu scharakteryzowania kinetyki wzrostu elongacyjnego, dokonywano co siedem dni pomiarów wysokości owsa odmiany Akt, począwszy od wschodów (DC = 10) do osiągnięcia maksymalnej wartości tej cechy roślin, co nastąpiło w fazie dojrzałości woskowej (DC = 83) w 71. dniu wegetacji. Mierzono przymiarem – z dokładnością do 0,5 cm – wysokość tych samych 20 roślin dla każdego wariantu doświadczenia, a następnie obliczono wartości średnie.

Do opisu procesu wzrostu użyto funkcji logistycznej:

$$h = \frac{h_{max}}{1 + b \cdot \exp(-kt)}$$

gdzie:

h – wysokość roślin, h_{max} – teoretyczna maksymalna wysokość roślin, t – czas wegetacji, b , k – współczynniki ($b > 1$, $k > 0$). Współczynniki modelu logistycznego, czyli h_{max} , b i k , estymowano numerycznie metodą Levenberga-Marquardta, wykorzystując pakiet statystyczny Statistica®8. Dodatkowo obliczono inne parametry funkcji logistycznej: wartość początkową h_0 , współrzędne punktu przegięcia wykresu funkcji (t_i , h_i) oraz charakterystyczną dla tego punktu maksymalną teoretyczną szybkość wzrostu $(dh/dt)_{max}$. Obliczenia te wykonano na podstawie następujących wzorów: $h_0 = h_{max}/(1 + b)$; $t_i = (\ln b)/k$; $h_i = 0,5h_{max}$; $(dh/dt)_{max} = 0,25 kh_{max}$.

Celem porównania stopnia dopasowania krzywych teoretycznych do danych doświadczalnych obliczono wartości współczynników determinacji R^2 . Dla każdego wariantu doświadczenia, posługując się analityczną postacią funkcji logistycznej, wykonano krzywe przedstawiające wzrost elongacyjny roślin $h = h(t)$. Wykreślono też krzywe szybkości wzrostu, po uprzednim obliczeniu pochodnych dh/dt :

$$dh/dt = \frac{h_{max} b k \cdot \exp(-kt)}{[1 + b \cdot \exp(-kt)]^2}$$

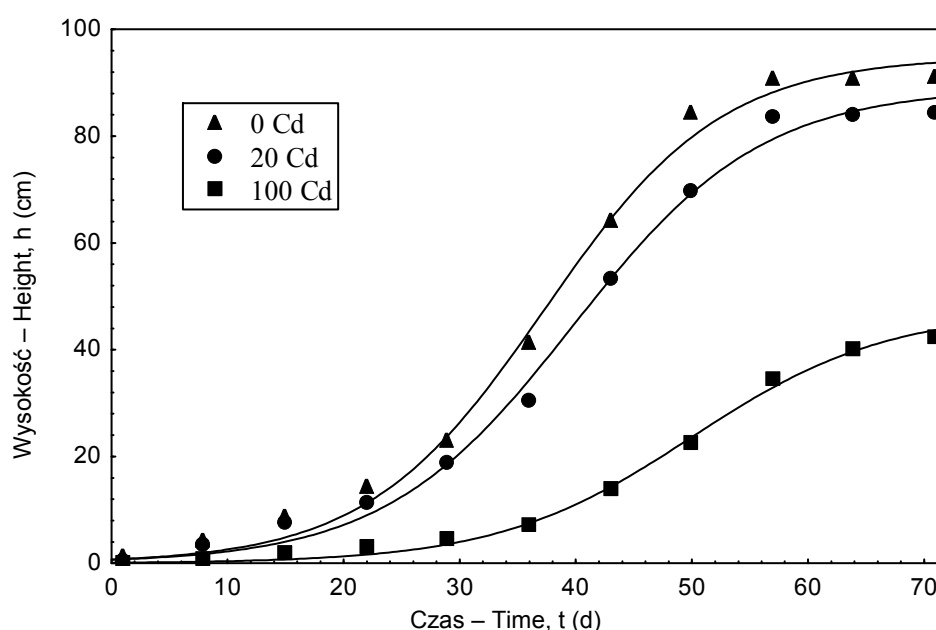
WYNIKI I DISKUSJA

W tabeli 1 podano parametry funkcji logistycznej – uzyskane w wyniku procedur estymacji nieliniowej – ukazujące zróżnicowaną kinetykę wzrostu roślin owsa w poszczególnych wariantach doświadczenia.

Tabela 1. Parametry funkcji logistycznej opisującej wzrost elongacyjny roślin owsa odmiany Akt
 Table 1. Parameters of the logistic function describing elongation growth of the oat variety Akt

Dawka kadmu Dose of cadmium (mg · kg ⁻¹)	h_{\max} (cm)	b	k (d ⁻¹)	t_i (d)	h_i (cm)	h_o (cm)	$(dh/dt)_{\max}$ (cm · d ⁻¹)	R ²
0	94,9	132	0,131	37,3	47,5	0,71	3,11	0,995
20	89,0	133	0,123	39,8	44,5	0,66	2,74	0,995
100	47,3	384	0,119	50,0	23,6	0,12	1,41	0,997

Na podstawie otrzymanych wyników przedstawiono – na tle punktów doświadczalnych – odpowiednie estymowane krzywe wzrostu $h = f(t)$ – rys. 1.

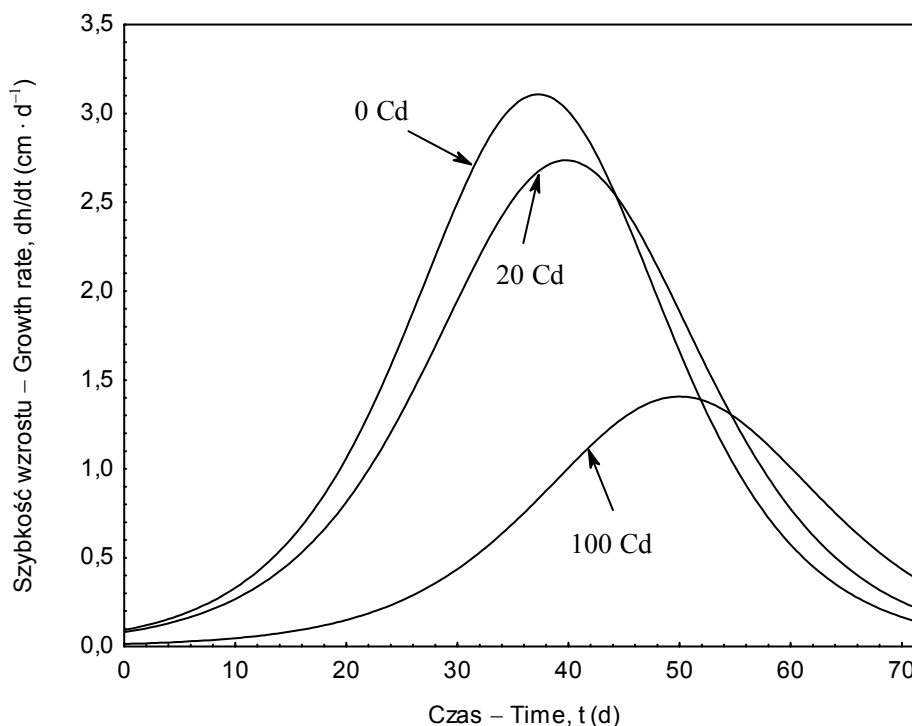


Rys. 1. Wykresy krzywych wzrostu roślin owsa w zależności od dawki kadmu
 Fig. 1. Graphs of growth curves of the oat plants depending on the dose of cadmium

Rysunek 2 przedstawia krzywe szybkości wzrostu $dh/dt = f(t)$, w których można wyróżnić trzy charakterystyczne fazy: wolny wzrost początkowy, fazę maksymalnego wzrostu oraz wzrost końcowy.

Intensywny wzrost roślin odmiany Akt, rosnących na podłożu bez dodatku kadmu i z aplikacją 20 mg Cd na kg, trwał odpowiednio do 38. i do 40. dnia wegetacji. Krzywe szybkości wzrostu osiągnęły wówczas maksimum, a krzywa wzrostu bezwzględnego – punkt przegięcia t_i . Natomiast krzywe roślin rosnących na podłożu z dodatkiem 100 mg Cd na kg punkt przegięcia osiągnęły w 50. dniu wegetacji. Największy dobowy przyrost zanotowano u roślin rosnących na podłożu kontrolnym: 3,11 cm · d⁻¹, zaś najmniejszy u roślin rosnących na podłożu o największym skażeniu kadmem: 1,41 cm · d⁻¹. Największą rzeczywistą średnią wysokość roślin zanotowano na podłożu w wariancie zerowym (91,0 cm) i w wariancie „20” (84,4 cm), zaś najmniejszą na podłożu z aplikacją 100 mg Cd · kg⁻¹ – 42,9 cm. Obliczenia testu t-Studenta i C Cochran-Coxa dla par niepołączonych wykazują, że pod względem

średniej końcowej wysokości rośliny owsa z wariantów „0” i „20” nie różnią się istotnie, natomiast końcowa średnia wartość u roślin aplikowanych największą dawką kadmu istotnie odbiega od wartości dla pozostałych obiektów.



Rys. 2. Wykresy krzywych szybkości wzrostu roślin owsa w zależności od dawki kadmu
Fig. 2. Graphs of growth rate curves of the oat plants depending on the dose of cadmium

Z analizy modelu logistycznego wynika, że ta funkcja opisująca intensywny wzrost roślin ma możliwie małą wartość współczynnika b i jednocześnie stała szybkości wzrostu k jest stosunkowo duża. W obrębie trzech wariantów eksperymentu najmniej korzystne wartości parametrów wzrostu elongacyjnego otrzymano dla roślin z wariantu 100 (duża wartość współczynnika b).

Funkcja logistyczna dobrze opisuje faktyczny przebieg wzrostu elongacyjnego, o czym świadczą wartości współczynników determinacji R^2 , przyjmujące wartości bliskie jedności ($R^2 \geq 0,995$) oraz stosunkowo niewielkie odchylenia krzywych teoretycznych od punktów doświadczalnych.

Charakterystyka przebiegu wzrostu elongacyjnego jest dobrą miarą intensywności procesów fizjologicznych. Wzrost roślin jest integralnym procesem, który jest wynikiem wyspecjalizowanej organizacji i zależy od współdziałania głównych procesów fizjologicznych w roślinie, a te mogą ulec zaburzeniu, np. na skutek działania metali ciężkich (Vassilev i Yordanov 1997). Dopuszczalna zawartość kadmu w glebach użytkowanych rolniczo wynosi $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias i Pendias 1999), ale ze względu na jego szczególnie łatwe przyswajanie przez rośliny interesujące jest badanie wpływu dużej koncentracji tego metalu na wzrost owsa.

W doświadczeniu własnym udowodniono, że zastosowana największa toksyczna dawka kadmu ograniczała wzrost badanych roślin, a także wpływała niekorzystnie na kinetykę

wzrostu, co między innymi uwidoczniło się opóźnieniem wystąpienia maksimum szybkości wzrostu o ponad 10 dni w porównaniu z roślinami kontrolnymi.

Model logistyczny zastosowany był wcześniej z dobrym skutkiem do opisu i porównania dynamiki wzrostu owsa odmiany oplewionej i nagoziarnistej (Gregorczyk i Piech 1999; Gregorczyk i Piech 2000). Mimo że współczynniki funkcji logistycznej pozbawione są interpretacji biologicznej, to ten deterministyczny model można traktować jako model opisowy, dający obraz głównych właściwości procesu wzrostu roślin.

WNIOSKI

1. Dodatek kadmu do podłoża w ilości 20 mg na kg nie spowodował istotnego ograniczenia wzrostu elongacyjnego roślin owsa odmiany Akt.

2. Kadm w dawce $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby był przyczyną ograniczenia wzrostu roślin owsa odmiany Akt. Wpłynął on niekorzystnie na kinetykę tego procesu, opóźniając osiągnięcie fazy maksymalnej szybkości wzrostu o około 12 dni w porównaniu z wariantem kontrolnym oraz istotnie ograniczając końcową wysokość roślin.

PIŚMIENNICTWO

- Cyfert R.** 2007. Owies. Plon ziarna odmian w latach 2005–2007 [w: Zboża jare. Wstępne wyniki plonowania odmian w doświadczeniach porejestrowych]. Red. J. Zych. Słupia Wielka, COBORU.
- France J., Thornley J.H.M.** 1984. *Mathematical models in agriculture*. London, Butterworths.
- Gregorczyk A.** 1991. The logistic function – its application to the description and prognosis of plant growth. *Acta Soc. Bot. Pol.* 60, 67–76.
- Gregorczyk A., Piech M.** 1999. Wskaźnikowa analiza wzrostu owsa nagoziarnistego i oplewionego. *Rocz. Nauk Rol., Seria Prod. Rośl. A.* 114, 3–4.
- Gregorczyk A., Piech M.** 2000. Porównanie dynamiki wzrostu owsa nieoplewionego z oplewionym. *Biul. IHAR.* 215, 201–208.
- Kabata-Pendias A., Pendias H.** 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Warszawa.
- Nita Z., Orłowska-Job W.** 1996. Hodowla owsa nagoziarnistego w Zakładzie Doświadczalnym HAR w Strzelcach. *Biul. IHAR.* 197, 141–145.
- Piotrowska M., Trelak H.** 1997. Kadm w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 448, 251–257.
- Sulek A., Leszczyńska D., Cyfert R.** 2005. Charakterystyka i technologia uprawy odmian owsa. *Biul. IHAR, Radzików.*
- Vassilev A., Yordanov I.** 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated plants: a review. *Bulg. J. Plant Physiol.* 23, 114–133.