



Wpływ syntetycznych hormonów roślinnych na koncentrację Ca, Mg i K w biomasie *Medicago x varia* T. Martyn i *Trifolium pratense* L.

Jacek Sosnowski, Justyna Król
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny, Siedlce

1. Wstęp

Zdaniem Frimal i in. (2003) oraz Jenik i Barton (2005), w fizjologicznej regulacji procesów zachodzących w roślinach, ważną rolę odgrywają hormony roślinne z grupy auksyn i cytokinin, które wykazują zdolność regulacji procesu transportowania substancji pokarmowych. Ponadto, według wielu autorów (Mazu i in. 200, Frimal i in. 2003, Jenik i Barton 2005, Cheng i in. 2006, Cheng i in. 2007), roślinne substancje hormonalne są czynnikami uczestniczącymi w regulacji dystrybucji związków pokarmowych poprzez wpływ na wzrost elongacyjny korzeni, co wiąże się z intensywniejszym pobieraniem składników pokarmowych z gleby. Z kolei, jak wynika z badań (Hwang i Sakakibara 2006), z rozwojem systemu korzeniowego, wzrasta pobieranie składników pokarmowych z gleby (Sosnowski i in. 2017). Aldesuquy (2000) oraz Ali i in. (2008) podają, iż największy wpływ odgrywają tutaj auksyny, które sygnalizują o wzrastającym zapotrzebowaniu na substancje pokarmowe. Wśród ogromnej ilości pobranych składników pokarmowych z gleby przez system korzeniowy, bardzo ważne jest, aby jak największa ich część została odtransportowana z organów wegetatywnych do organów generatywnych (Nowak i in. 1997).

Zdaniem Nowak i Wróbla (2010a), nawożenie nie daje już możliwości znacznego podwyższenia plonów, więc coraz częściej zwraca się uwagę na stosowanie różnych substancji wzrostowych w produkcji ro-

ślinnej. Według tych autorów, celem tego typu preparatów powinno być zwiększenia potencjału produkcyjnego w niesprzyjających warunkach klimatycznych, bądź warunkach stresowych dla danej rośliny. Von Richthofen (2006) twierdzi, że ma to duże znaczenie w uprawie roślin bobowatych, charakteryzujących się niestabilnym plonowaniem i wrażliwością na warunki pogodowe. Do takich substancji wzrostowych zaliczyć możemy syntetyczne fitohormony, stosowane jako egzogenne regulatory wzrostu, które już od kilku lat są wykorzystywane w praktyce rolniczej i ogrodniczej (Harms i Nowak 1990, Czaplą i in. 2003, 2005, Nowak i Wróbel 2010 a, b). Warto zaznaczyć, że dostępna literatura (Markarska i Michalik 2003, Wierzbowska 2006 a, b) podaje różne, często sprzeczne informacje o wpływie syntetycznych substancji o działaniu fitohormonalnym na stężenie pierwiastków w biomase roślinnej.

Celem pracy była ocena wpływu syntetycznych hormonów roślinnych z grupy auksyn i cytokinin na kumulację K, Ca i Mg oraz stosunek ilościowy K:(Ca+Mg) w biomase nadziemnej *Medicago x varia* T. Martyn i *Trifolium pratense* L.

2. Materiał i metody badań

Badania realizowano w oparciu o doświadczenie pierścieniowe, prowadzone na obiekcie doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach (52°10'03"N; 22°17'24"E, Polska) w latach 2014-2016. Jesienią 2014 roku pierścienie poliuretanowe o średnicy 36 cm i wysokości 40 cm, w rozstawie 0,8 x 0,8 m, wkopano na głębokość 30 cm i wypełniono glebą o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, która jest zaliczana do rzędu gleb antropogenicznych, typu kulturoziemnych, podtypu hortisoli. Wykazano, że w glebie przed założeniem doświadczenia zawartość węgla w związkach organicznych (C_{org}) wynosiła 13,50 g·kg⁻¹ s. m., natomiast azotu ogółem 1,30 g·kg⁻¹ s. m. Stosunek C:N wyniósł 10,4:1. Odczyn gleby był zbliżony do obojętnego, pH wynosiło 6,8. Ponadto gleba charakteryzowała się wysoką zasobnością w przyswajalne formy fosforu i magnezu. Przewodność gleby kształtowała się natomiast w granicach średniej zasobności. Ze względu na zasobność gleby, zaniechano przedsięwzięcia i pogłównego nawożenia roślin.

Przestrzeń między pierścieniami wyłożono matą, która zredukowała zachwaszczenie uprawy. Następnie do każdego pierścienia wysiano po 10 nasion badanych gatunków roślin. Po siewku, gdy siewki osiągnęły fazę 3-10 liści, dokonano selekcji negatywnej, pozostawiając na przezimowanie 3 najlepiej wyglądające rośliny. Pełny cykl użytkowania obiektów badawczych przypadł na okres wegetacyjny w latach 2015-2016. Doświadczenie prowadzono w układzie split-plot w trzech powtórzeniach. Badania prowadzono na lucernie mieszańcowej (*Medicago x varia* T. Martyn) odmiana Kometa i koniczynie łąkowej (*Trifolium pratense* L.) odmiana Krynica traktowanych syntetycznymi hormonami roślinnymi (w formie oprysku). Obiekty badawcze: K – kontrola (woda destylowana), A – kwas indolilo-3-masłowy (IBA – syntetyczna auksyna), C – 6-benzyloaminopuryna (BAP – syntetyczna cytokinina), AC – kwas indolilo-3-masłowy + 6-benzyloaminopuryna (IBA+BAP – stosunek ilościowy 1:1).

Każdy odrost opryskiwano dwukrotnie w fazach wzrostu i rozwoju roślin określonych według europejskiej skali BBCh. Lucerna mieszańcowa – pierwszy oprysk przy widocznym pierwszym międzywęźlu (BBCh 31), drugi w fazie widocznych pierwszych pąków kwiatowych na zewnątrz liści (BBCh 51). Koniczyna łąkowa – pierwszy oprysk po wykształceniu się pierwszego bocznego rozgałęzienia (BBCh 21), drugi przy widocznych pierwszych kwiatostanach (BBCh 51). Na jednorazowy oprysk używano 0,2 dm³ roztworu o stężeniu regulatora 30 mg·dm⁻³, uzyskując całkowite zroszenie roślin w pierścieniu. Obiekty kontrolne opryskiwano taką samą ilością wody destylowanej. W sezonach wegetacyjnych, w latach pełnego użytkowania doświadczenia (rok 2015 i 2016), zostały zebrane trzy pokosy lucerny mieszańcowej i koniczyny łąkowej (w momencie kwitnienia 30-40% kwiatostanów). W czasie sprzętu roślin, z każdego pierścienia ścięto zieloną masę. Surowiec roślinny w postaci suchej masy, został poddany analizie chemicznej. Zawartość ogólną (g·kg⁻¹) K, Ca i Mg oznaczono metodą ICP-AES. Wyliczono także stosunek ilościowy K:(Ca+Mg).

W celu określenia czasowej i przestrzennej zmienności elementów meteorologicznych oraz ich wpływu na przebieg wegetacji roślin, określono współczynnik hydrotermiczny Sielianiowa. Współczynnik ten wyznaczono na podstawie miesięcznej sumy opadów atmosferycznych

(P) oraz miesięcznej sumy temperatur powietrza (t) przy pomocy wzoru (Skowera i Puła 2004):

$$K = P/0,1\sum t \quad (1)$$

Wartości współczynnika Sielianinova dla poszczególnych miesięcy w badanych latach przedstawiono w tabeli 1. Przyjęto, iż warunki eksperymentalne miały miejsce gdy wyliczony współczynnik przybierał wartości skrajne – poniżej 0,7 oraz powyżej 2,5 (Skowera i Puła 2004).

Tabela 1. Wartość współczynnika hydrotermicznego Sielianinova (K) w poszczególnych miesiącach okresów wegetacyjnych w latach prowadzenia badań
Table 1. The value of the Sielianinov hydrothermal coefficient (K) in each month of the growing season throughout the experiment

Lata	Miesiące						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
2014	1,36 (o)	1,87 (dw)	1,64 (dw)	0,59 (bs)	1,92 (dw)	0,64 (bs)	0,12 (ss)
2015	1,22 (ds)	2,63 (bw)	0,87 (s)	1,08 (ds)	0,18 (ss)	1,46 (o)	1,94 (dw)
2016	1,89 (dw)	0,82 (s)	1,02 (ds)	2,15 (w)	1,05 (ds)	0,36 (ss)	7,65 (sw)

$K \leq 0,4$ skrajnie suchy (ss); $0,4 < K \leq 0,7$ bardzo suchy (bs); $0,7 < K \leq 1,0$ suchy (s); $1,0 < K \leq 1,3$ dość suchy (ds); $1,3 < K \leq 1,6$ optymalny (o); $1,6 < K \leq 2,0$ dość wilgotny (dw); $2,0 < K \leq 2,5$ wilgotny (w); $2,5 < K \leq 3,0$ bardzo wilgotny (bw); $K > 3,0$ skrajnie wilgotny (sw)

Optymalne warunki termiczno-wilgotnościowe wystąpiły wyłącznie w kwietniu 2014 roku oraz we wrześniu 2015 roku. W pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego warunki termiczno-wilgotnościowe były skrajnie różne od skrajnie suchych w sierpniu 2015 roku. Najlepsze warunki hydrotermiczne występowały na początku okresu wegetacyjnego w każdym roku prowadzenia doświadczenia. Można stwierdzić, że najtrudniejsze warunki do rozwoju roślin występowały w 2015 roku, gdzie nie licząc maja oraz końca okresu wegetacyjnego było dość sucho i skrajnie sucho. Z kolei rok 2016 charakteryzował się brakiem okresu o optymalnych warunkach do uprawy roślin. Duży poziom opadów w lipcu i susze w większości pozostałych miesięcy nie sprzyjały uprawom polowym.

Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie wykorzystując analizę wariancji. O istotności wpływu czynników doświadczalnych na wartość badanych cech wnioskowano na podstawie testu F Fishera-Snedecora, a wartość $NIR_{0,05}$ weryfikowano testem Tukey'a.

3. Wyniki i dyskusja

Z danych przedstawionych w tabeli 2 wynika, że niezależnie od rodzaju regulatora i lat badań, ilość wapnia zawartego w badanych gatunkach była zbliżona i nie różniła się istotnie – lucerna mieszańcowa ($19,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), koniczyna łąkowa ($18,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Również lata badań, niezależnie od gatunku i regulatora, nie wpływały na zróżnicowanie zawartości wapnia w suchej masie roślin. Istotnie statystycznie różnice co do zawartości tego makroelementu w roślinach, uzyskano pod wpływem zastosowanych w doświadczeniu regulatorów wzrostu. Niezależnie od gatunku i roku badań, największa zawartość wapnia ($21,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w suchej masie roślin wystąpiła na obiektach opryskiwanych auksyną. Wartość ta była o 31,9% wyższa od tej uzyskanej na obiektach kontrolnych. Rośliny z obiektów traktowanych cytokinina, cechowały się mniejszą zawartością badanego pierwiastka w suchej masie ($19,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Z kolei mieszanina auksyny i cytokininy, jeszcze bardziej zmniejszała udział wapnia w analizowanej biomacie ($18,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w stosunku do obiektów opryskiwanych auksyną. Należy jednak podkreślić, że każdy regulator powodował istotne zwiększenie zawartości wapnia względem obiektów kontrolnych. Podobne wyniki otrzymały Wierzbowska i Bowszys (2008). Według autorek, zastosowane w przeprowadzonym przez nie doświadczeniu regulatory wzrostu w postaci gibereliny i auksyny, zwiększyły zawartość Ca w ziarnie pszenicy, źdźble, plewach i najstarszych liściach badanych roślin. Różnice względem kontroli wynosiły nawet 28%.

Z badań wynika (tab. 3), że średnia zawartość magnezu w suchej masie lucerny mieszańcowej i koniczyny łąkowej, niezależnie od regulatora i roku badań, była na tym samym poziomie i wynosiła $3,20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Ponadto analiza statystyczna wykazała istotny wpływ regulatora na koncentrację magnezu w roślinach. Istotnie większa zawartość wapnia (42,3%) względem obiektów kontrolnych, wystąpiła w roślinach traktowanych auksyną i cytokinina. Mieszanina hormonów nie wpływała na

wzrost koncentracji wapnia. Wpływ syntetycznych hormonów na wzrost kumulacji Mg w pszenicy jarej odnotowały także Wierzbowska i Bowszys (2008). W badaniach autorki wykazały, że giberelina zwiększyła zawartość Mg źdźble, plewach i najstarszych liściach, a auksyna zmniejszała jego stężenie w tych organach, co nie znalazło potwierdzenia w badaniach własnych.

Tabela 2. Zawartość wapnia ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w suchej masie roślin w zależności od gatunku i rodzaju regulatora w poszczególnych latach badań (średnia dla pokosu)
Table 2. Calcium concentration ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in the dry matter in relation to the species and the type of treatment (the average of all harvests in a year)

Czynnik	Rok		Średnia
	2015	2016	
Średnia dla regulatora			
K	16,2 Ab	16,4 Ac	16,3 d
A	21,7 Aa	21,4 Aa	21,5 a
C	20,4 Aa	18,9 Ab	19,7 b
AC	17,3 Ab	20,2 Aa	18,8 c
Średnia dla gatunku			
Lucerna mieszańcowa	19,6 Aa	19,5 Aa	19,5 a
Koniczyna łąkowa	18,2 Aa	19,0 Aa	18,6 a
Średnia	18,9 A	19,2 A	
Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi małymi literami nie różnią się istotnie Średnie w wierszach oznaczone tymi samymi dużymi literami nie różnią się istotnie			

K – kontrola, A – syntetyczna auksyna, C – syntetyczna cytokinina, AC – syntetyczna auksyna i cytokinina

Tabela 3. Zawartość magnezu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w suchej masie roślin w zależności od gatunku i rodzaju regulatora w poszczególnych latach badań (średnia dla pokosu)

Table 3. Magnesium concentration ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in the dry matter in relation to the species and the type of treatment (the average of all harvests in a year)

Czynnik	Rok		Średnia
	2015	2016	
Średnia dla regulatora			
K	2,50 Ab	2,70 Ab	2,60 b
A	3,60 Aa	3,80 Aa	3,70 a
C	3,70 Aa	3,70 Aa	3,70 a
AC	2,70 Ab	3,00 Ab	2,80 b
Średnia dla gatunku			
Lucerna mieszańcowa	3,20 Aa	3,30 Aa	3,20 a
Koniczyna łąkowa	3,10 Aa	3,30 Aa	3,20 a
Średnia	3,20 A	3,30 A	
Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi małymi literami nie różnią się istotnie Średnie w wierszach oznaczone tymi samymi dużymi literami nie różnią się istotnie			

K – kontrola, A – syntetyczna auksyna, C – syntetyczna cytokinina, AC – syntetyczna auksyna i cytokinina

Na ogół rośliny bobowate charakteryzującej się dużą zawartością potasu (Gaweł 2009). Jak stwierdzili Gaweł i Madej (2008), brak opadów może doprowadzić do nadmiernego pobrania tego składnika przez rośliny z gleby i jego nadmiernej kumulacji w częściach nadziemnych. Jak wskazują uzyskane wyniki badań (tab. 4), niezależnie od zastosowanego regulatora i lat badań, zawartość potasu w suchej masie lucerny mieszańcowej wyniosła $16,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ a koniczyny łąkowej $17,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartości te nie różniły się istotnie i jak wskazują dane literaturowe (Ćwintal i Wilczek 2002, Ćwintal i Kościelecka 2005), są typowe dla tych gatunków. Ponadto niezależnie od zastosowanych regulatorów i gatunku, najwięk-

szy udział potasu w suchej masie roślin, wystąpił w pierwszym roku uprawy ($17,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wykazano również zróżnicowanie kumulacji potasu w biomacie roślin w zależności od zastosowanego regulatora. Na obiektach, gdzie aplikowano auksynę i cytokininę, niezależnie od gatunku i roku badań, uzyskano zbliżoną, największą ($19,2$ i $19,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) zawartość potasu w analizowanym materiale roślinnym. Mniejsze zawartości tego makroelementu wystąpiły w suchej masie roślin zebranej z obiektów traktowanych mieszaniną regulatorów ($16,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Z kolei najmniejszą zawartość tego pierwiastka wykazywały rośliny uprawiane na kontroli ($12,9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). O wzroście zawartości potasu w roślinach traktowanych syntetycznymi hormonami informuje także Wierzbowska (2006 a, b). Autorka traktując pszenicę hormonami stwierdziła, że kinetyna i auksyna wyraźnie zwiększają zawartość potasu w ziarnie odpowiednio o $16,73\%$ i $10,33\%$. Odmienne wyniki prezentują Czapla i in. (2003), którzy donoszą o obniżeniu zawartości potasu, średnio o 9% w nasionach soi po opryskaniu roślin syntetycznymi auksynami tj. IBA i NAA, IBA+NAA. Z kolei Prusiński i Borowska (2002), stosując na rośliny łubinu IBA i BAP oraz IBA+BAP, zaobserwowali spadek zawartości potasu w badanych roślinach, zwłaszcza w nasionach, pod wpływem wszystkich wymienionych hormonów.

Z badań nad roślinami bobowatymi drobnonasiennymi, prezentowanymi w licznych opracowaniach literaturowych (Mosimann i in. 1995, Kallenbach i in. 2002, Kochanowska-Bukowska 2003, Gawęł 2005, Nowak i Sowiński 2007, Mastalerczuk 2007) wynika, że intensywne użytkowanie porostu wzbogaca surowiec roślinny w składniki pokarmowe, powodując zmiany wartości stosunków niektórych makroskładników mineralnych. Zdaniem wielu autorów (Falkowski i in. 2000, Mastalerczuk 2007, Nowak i Sowiński 2007), w ocenie wartości pokarmowej pasz, ważne są optymalne proporcje makroelementów względem siebie, gdyż niedobór lub nadmiar niektórych z nich, zgodnie z efektem antagonizmu i synergizmu jonowego, może zmniejszać wykorzystanie paszy i prowadzić do zaburzeń metabolicznych u zwierząt.

Tabela 4. Zawartość potasu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w suchej masie roślin w zależności od gatunku i rodzaju regulatora w poszczególnych latach badań (średnia dla pokosu)

Table 4. Potassium concentration ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in the dry matter in relation to the species and the type of treatment (the average of all harvests in a year)

Czynnik	Rok		Średnia
	2015	2016	
Średnia dla regulatora			
K	13,0 Ac	12,7 Ac	12,9 c
A	19,6 Aa	18,8 Aa	19,2 a
C	20,2 Aa	18,0 Ba	19,1 a
AC	17,3 Ab	15,9 Ab	16,6 b
Średnia dla gatunku			
Lucerna mieszańcowa	17,3 Aa	16,3 Aa	16,8 a
Koniczyna łąkowa	17,7 Aa	16,4 Aa	17,1 a
Średnia	17,5 A	16,3 B	
Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi małymi literami nie różnią się istotnie Średnie w wierszach oznaczone tymi samymi dużymi literami nie różnią się istotnie			

K – kontrola, A – syntetyczna auksyna, C - syntetyczna cytokinina, AC – syntetyczna auksyna i cytokinina

Ponadto podkreślają oni, że stosunki jonowe pomiędzy potasem a kationami dwuwartościowymi tj. magnezem i wapniem, są bardzo ważne dla utrzymania właściwej kondycji zdrowotnej konsumentów. Według Czapli i Nowaka (1995), proporcje te nie powinny być wyższe od 1,62. Przekroczenie tej wartości świadczy o bardzo dużym niedoborze wapnia oraz magnezu w materiale roślinnym. Z kolei Ćwintal i Wilczek (2002), za wartość graniczną tego stosunku uznają 2,2. Jak wskazują przeprowadzone badania (tab. 5), wyliczony stosunek równoważnikowy $\text{K}:(\text{Ca}+\text{Mg})$ w suchej masie lucerny mieszańcowej i koniczyny łąkowej nie różnił się istotnie i kształtował się na poziomie odpowiednio 0,75 i 0,79. Wartości te świadczą o prawidłowym udziale poszczególnych makroelementów

w roślinach, gdyż jak podaje Gawęł (2009), dla pasz objętościowych optymalna wielkość omawianego stosunku powinna kształtować się w przedziale 0,66-0,98. Ponadto jak twierdzi autorka, na kształtowanie się tej cechy wpływa częstość koszenia i długość użytkowania uprawy.

Tabela 5. Stosunek jonowy K:(Ca+Mg) w suchej masie roślin w zależności od gatunku i rodzaju regulatora w poszczególnych latach badań (średnia dla pokosu)
Table 5. The ion ratio K: (Ca + Mg) by weight in the dry matter in relation to the species and the type of treatment (the average of all harvests in a year)

Czynnik	Rok		Średnia
	2015	2016	
Średnia dla regulatora			
K	0,70 Ab	0,68 Ab	0,69 c
A	0,78 Ab	0,75 Aa	0,77 b
C	0,85 Aa	0,82 Aa	0,83 a
AC	0,87 Aa	0,71 Aab	0,79 b
Średnia dla gatunku			
Lucerna mieszańcowa	0,76 Ab	0,73 Aa	0,75 a
Koniczyna łąkowa	0,84 Aa	0,75 Ba	0,79 a
Średnia	0,80 A	0,74 B	
Średnie w kolumnach oznaczone tymi samymi małymi literami nie różnią się istotnie Średnie w wierszach oznaczone tymi samymi dużymi literami nie różnią się istotnie			

K – kontrola, A – syntetyczna auksyna, C – syntetyczna cytokinina, AC – syntetyczna auksyna i cytokinina

W przytaczanych badaniach, w drugim roku uprawy, nastąpił spadek wartości stosunku K:(Ca+Mg). Warto zatem zaznaczyć, że w badaniach własnych, również wystąpiła podobna tendencja. W pierwszym roku prowadzenia uprawy, stosunek potasu do sumy wapnia i magnezu, niezależnie od regulatora i gatunku, był istotnie wyższy od wartości uzyskanej w kolejnym roku. Należy podkreślić, że analiza staty-

styczna wykazała również istotne zróżnicowanie wartości omawianej cechy w zależności od regulatora wzrostu. Zastosowanie cytokininy spowodowało wzrost wartości stosunku $K:(Ca+Mg)$ z 0,69 dla obiektów kontrolnych do 0,83 dla obiektów traktowanych cytokinina. Oprysk auksyną i mieszaniną hormonów, również przyczynił się do zwiększenia tego stosunku względem upraw kontrolnych, ale uzyskana wartość była istotnie mniejsze od tej wyliczonej dla roślin opryskiwanych cytokinina. Wpływ egzogennych hormonów roślinnych na kształtowanie się stosunku równoważnikowego $K:(Ca+Mg)$ wykazała również Wierzbowska (2006 a, b), badając efekty stosowania fitohormonów w uprawie pszenicy. Autorka podaje, że największy stosunek uzyskano w ziarnie, na obiektach z auksyną i cytokinina. Z kolei w źdźble oraz liściach flagowych i podflagowych stosując auksynę i kinetynę. Gibereliny zmniejszały ten stosunek, poprzez ograniczenie kumulacji wapnia.

4. Wnioski

1. Auksyna i cytokinina stosowane oddzielnie w uprawie lucerny mieszańcowej i koniczyny łąkowej, powodowały wzrost zawartości K i Mg w suchej masie roślin. Naturalnie duża zawartość Ca w badanych gatunkach, w warunkach stosowania auksyny, ulegała dalszemu wzrostowi, co spowodowało zmniejszenie wartości proporcji $K:(Ca+Mg)$, obniżając wartość pokarmową analizowanego surowca roślinnego.
2. Gatunek rośliny nie determinował istotnie kumulacji K, Ca i Mg w suchej masie. Nie wpływał również na zróżnicowanie ocenianej w doświadczeniu proporcji makroelementów.

Literatura

- Aldesuquy, H. S. (2000). Effect of indol-3-yl acetic acid on photosynthetic characteristics of wheat flag leaf during grain filling. *Photosynthetica*, 38(1), 135-141.
- Ali, B., Hayat, S., Hasan, S., Ahmad, A. (2008). A comparative effect of IAA and 4-Cl-IAA on growth, nondulation and nitrogen fixation in *Vigna radiata* (L.) *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 35-41.
- Cheng, Y., Dai, X., Zhao, Y. (2006). Auxin biosynthesis by the YUCCA Flavin monooxygenases controls the formation of floral organs and vascular tissues in Arabidopsis. *Genes & Development*, 20, 1790-1799.

- Cheng, Y., Dai, X., Zhao, Y. (2007). Auxin synthesized by the YUCCA flavin monooxygenases is essential for embryogenesis and leaf formation in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 19, 2430-2439.
- Ćwintal, M. & Kościelecka, D. (2005). Wpływ sposobu i ilości wysiewu nasion na strukturę zagęszczenia, plonowanie oraz jakość di- i tetraploidalnej konicznej czerwonej w roku siewu. Cz. I. Struktura zagęszczenia roślin i pędów. *Biuletyn IHAR*, 237/238, 237-248.
- Ćwintal, M. & Wilczek, M. (2002). Wpływ liczby pokosów i odmian różnego pochodzenia na plonowanie oraz jakość lucerny. Cz. II. Zawartość składników organicznych i mineralnych. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 1(2), 141-152.
- Czapla, J., Nogalska, A., Stasiulewicz, L. (2003). Działanie syntetycznych auksyn na plonowanie i gospodarkę mineralną soi. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2, 123-131.
- Czapla, J. & Nowak, A. G. (1995). Plonowanie i jakość roślin w warunkach zróżnicowanego żywienia potasem, sodem, wapniem i magnezem. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis*, 61, 101-107.
- Czapla, J., Stasiulewicz, L., Nogalska, A. (2005). Plonowanie pszenżyta jarego w zależności od stosowania regulatorów wzrostu i ich mieszanek z siarczanem magnezu. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 4(2), 29-36.
- Frimal, J., Vieten, A., Sauer, M., Weijers, D., Schwarz, H., Hamann, T., Offringa, R., Jürgens, G. (2003). Efflux-dependent auxin gradients establish the apical-basal axis of *Arabidopsis*. *Nature*, 426, 147-153.
- Gaweł, E. (2005). Wpływ terminu zbioru pierwszego pokosu na plonowanie, dynamikę przyrostu suchej masy i strukturę plonu kilku odmian lucerny. *Biuletyn IHAR*, 233, 237-238.
- Gaweł, E. (2009). Struktura i wielkość plonu, zasobność w składniki pokarmowe oraz wartość pokarmowa mieszanki motylkowato-trawiastej w warunkach różnej częstotliwości wypasania. *Fragmenta Agronomica*, 26(2), 43-54.
- Gaweł, E. & Madej, A. (2008). Plon i ekonomiczna ocena pozyskiwania pasz z runi mieszanek roślin motylkowatych z trawami w zależności od sposobu, częstotliwości użytkowania i składu gatunkowego. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura* 7(3), 53-63.
- Harms, H. & Nowak, G. (1990). Effect of foliar applied nitrogen and kinetin on nitrogen redistribution during growth in wheat. Grain growth, accumulation and redistribution of nitrogen. *Angewandte Botanik*, 64, 253-260.
- Hwang, I. & Sakakibara, H. (2006). Cytokinin biosynthesis and perception. *Physiologia Plantarum*, 126, 528-538.
- Jenik, P.D. & Barton, M.K. (2005). Surge and destroy: the role of auxin in plant embryogenesis. *Development*, 132, 3577-3585.

- Kallenbach, R. I., Nelson, C. J., Coutts, J. H. (2002). Yield, quality, and persistence of grazing – and hay – type alfalfa under three harvest frequencies. *Agronomy Journal*, 94, 1094-1103.
- Kochanowska-Bukowska, Z. (2003). Wstępna ocena przydatności niektórych gatunków traw do mieszanek z lucerną siewną (*Medicago sativa* L.) Legend na użytki przemienne. *Biuletyn IHAR*, 225, 221-228.
- Mastalerczuk, G. (2007). Zawartość składników pokarmowych w organach roślin łąkowych w warunkach różnej intensywności użytkowania. *Łąkarstwo w Polsce*, 9, 131-140.
- Mazur, H., Konop, A., Synak, R. (2001). Indole-3-acetic acid in the culture medium of two axenic green microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 13, 35-42.
- Mosimann, E., Chalet, C., Lehmann, J. (1995). Mélange luzerne-graminées: composition et fréquence d'utilisation. *Revue Suisse d'Agriculture*, 27(3), 141-147.
- Nowak, A. & Wróbel, J. (2010 a). Wpływ wybranych regulatorów wzrostu na plonowanie soi (*Glycine max* L. Merr) w warunkach kontrolowanego uwilgotnienia podłoża. *Rośliny Oleiste-Oilseed Crops*, 31, 124-132.
- Nowak, A. & Wróbel J. (2010 b). Wpływ egzogennych regulatorów wzrostu na zawartość barwników asymilacyjnych w liściach trzech odmian soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr). *Rośliny Oleiste-Oilseed Crops*, 31, 351-359.
- Nowak, G. A., Klasa, A., Wierzbowska, J., Gotkiewicz, M. (1997). Plonowanie oraz zawartość makroskładników w roślinach bobiku w warunkach stosowania retardantów i fitohormonów. Cz. I. Plonowanie roślin. *Biuletyn IHAR*, 201, 289-294.
- Nowak, W. & Sowiński, J. (2007). Wpływ podziału dawki azotu i doboru komponentów traw do mieszanek z koniczyną czerwoną na plonowanie i skład chemiczny. Cz. II. Skład chemiczny. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 516, 129-135.
- Prusiński, J., & Borowska, M. (2002). Wpływ wybranych regulatorów wzrostu na skład chemiczny, żywotność i wigor łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 1(1), 81-97.
- Skowera, B., & Puła, J. (2004). Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. *Acta Agrophysica*, 3(1), 171-177.
- Sosnowski, J., Jankowski, K., Malinowska, E., Truba, M. (2017). The effect of *Eclonia maxima* extract on *Medicago x Varia* T. Martyn biomass. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(3), 770-780.
- Von Richthofen, J. S. (2006). What do European farmers think about grain legumes. *Grain Legumes*, 45, 14-15.
- Wierzbowska, J. (2006 a). Gospodarka wapnem i magnezem w roślinach pszenicy jarej w warunkach stosowania regulatorów wzrostu i zróżnicowanych dawek potasu. *Journal of Elementology*, 11(1), 109-118.

- Wierzbowska, J. (2006 b). Gospodarka potasem pszenicy jarej w zależności od stosowania regulatorów wzrostu i poziomu nawożenia tym składnikiem. *Journal of Elementology*, 11(1), 99-107.
- Wierzbowska, J., & Bowszys, T. (2008). Effect of growth regulators applied together with different phosphorus fertilization levels on the content and accumulation of potassium, magnesium and calcium in spring wheat. *Journal of Elementology*, 13(1), 411-422.

The Effect of Synthetic Plant Hormones on Ca, Mg, and K Concentration in *Medicago x varia* T. Martyn and *Trifolium pratense* L.

Abstract

The aim of the experiment was to assess the effect of auxins and cytokinins, synthetic plant hormones, on Ca, Mg, and K concentration and the K: (Ca + Mg) ratio in the above-ground biomass of *Medicago x varia* t. Martyn and *Trifolium pratense* L. The research was based on a pot experiment conducted in an experimental facility of the University of Natural Sciences and Humanities in Siedlce in the years 2014-2016. The experimental factors were as follows: – plant species: alfalfa (*Medicago x varia* T. Martyna) cultivar Comet; red clover (*Trifolium pratense* L.) variety Krynica, – growth regulators: (A) indolilo 3-butyric acid (synthetic auxin IBA); (C) 6-benzylaminopurine (BAP synthetic cytokine); (AC) 3-butyric acid indolilo + 6-benzylaminopurine (IBA + BAP in the ratio 1: 1); control treated with distilled water. During each growth cycle, the grass was treated twice. For a single application, 0.2 dm³ of spray liquid with a growth regulator concentration of 30 mg·dm⁻³ was used until the plants in the pots were thoroughly wet. The control pots were treated with distilled water of the same amount. The experiment was repeated three times, with three harvests during the growing season. The following parameters were determined in the assessment of selected nutritional characteristics of plants: content of selected macroelements (K, Ca, Mg) in the dry mass of plants: ratio of macroelements in the dry matter plants: K: (Ca+Mg). The results of the study were statistically processed using the analysis of variance. F Fisher's test was used to assess the significance of the influence of experimental factors on the tested properties, while the LSD values were verified by the Tukey test. Auxin and cytokinin applied separately to hybrid alfalfa and red clover increased concentration of K and Mg in plant dry matter. Auxin used on its own increased Ca content, which excessively narrowed the ratio of K:(Ca+Mg).

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu syntetycznych hormonów roślinnych z grupy auksyn i cytokinin na koncentrację K, Ca i Mg oraz stosunek ilościowy K:(Ca+Mg) w biomacie nadziemnej *Medicago x varia* T. Martyn i *Trifolium pratense* L. Badania realizowano w oparciu o doświadczenie pierścieniowe prowadzone na obiekcie doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach w latach 2014-2016. Czynniki doświadczenia: – gatunek rośliny: lucerna mieszańcowa (*Medicago x varia* T. Martyn) odmiana Kometa oraz koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense* L.) odmiana Krynica, – regulator wzrostu: (K) kontrola: woda destylowana, (A) kwas indolilo-3-masłowy (IBA – syntetyczna auksyna), (C) 6-benzyloaminopuryna (BAP – syntetyczna cytokinina), (AC) kwas indolilo-3-masłowy + 6 benzyloaminopuryna (IBA + BAP – stosunek ilościowy 1:1). Każdy odrost opryskiwano dwukrotnie. Na jednorazowy oprysk zużywano 0,2 dm³ roztworu o stężeniu regulatora 30 mg·dm⁻³, uzyskując całkowite zroszenie roślin w pierścieniu. Pierścienie kontrolne opryskiwano taką samą ilością wody destylowanej. Obiekty prowadzono w trzech powtórzeniach i użytkowano trzykrotnie w sezonie wegetacyjnym. W ocenie wybranych elementów wartości użytkowej roślin, wykorzystano następujące parametry: zawartość ogólna wybranych makroelementów (K, Ca, Mg) w suchej masie roślin, stosunek ilościowy makroskładników K:(Ca+Mg). Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie wykorzystując analizę wariancji. O istotności wpływu czynników doświadczalnych na wartość badanych cech wnioskowano na podstawie testu F Fishera-Snedecora, a wartość NIR_{0,05} weryfikowano testem Tukey'a. Auksyna i cytokinina stosowane oddzielnie w uprawie lucerny mieszańcowej i koniczyny łąkowej powodowały wzrost koncentracji K i Mg w suchej masie roślin. Tylko w warunkach stosowania auksyny, udział Ca wzrastał, co nadmiernie zawężyło proporcję K:(Ca+Mg).

Słowa kluczowe:

makroelementy, fitohormony, lucerna, koniczyna, koncentracja, proporcje

Keywords:

macroelements, phytohormones, alfalfa, clover, concentration, proportions