

Regulacja zachwaszczenia i sposób uprawy a dostępność fosforu dla roślin uprawnych

¹Aleksandra Głowacka, ¹Hanna Klikocka, ²Bogdan Szostak, ¹Bartosz Narolski

¹Wydział Agrobiotechnologii, ²Instytut Żywienia Zwierząt i Bromatologii
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, Polska

Abstrakt. Fosfor jest niezbędny dla rozwoju wszystkich organizmów żywych i jest elementem reakcji biochemicznych związanych z gromadzeniem lub uwalnianiem energii. Jest on niezbędny do fotosyntezy i metabolizmu roślin. Fosfor wpływa na wytworzenie obfitego systemu korzeniowego przez rośliny, a tym samym zmniejsza ich wrażliwość na stresy środowiskowe, a także umożliwia intensywne pobieranie składników mineralnych z gleby. Odpowiednia zawartość fosforu w roślinach jest istotna dla uzyskania wysokich i dobrych jakościowo plonów. Wysoką zawartością fosforu przyswajalnego charakteryzuje się ok. 19% gleb Polski, natomiast 48% wykazuje niską zasobność w ten składnik. Jednak nawet na glebach zasobnych w fosfor rośliny mogą wykazywać symptomy jego niedoboru, gdyż pierwiastek ten bardzo łatwo ulega procesowi uwstecznienia i przechodzi w formy trudno dostępne dla roślin. O dostępności fosforu dla roślin, oprócz zasobności gleby, decydują również warunki siedliska oraz stosowana agrotechnika. Ważnym jej elementem jest regulacja zachwaszczenia, gdyż chwasty bardzo często skutecznie konkurują z rośliną uprawną o fosfor. Duże znaczenie w zwiększaniu dostępności fosforu mogą mieć również oddziaływania międzygatunkowe w ryzosferze w uprawach mieszanych roślin.

słowa kluczowe: fosfor, dostępność, agrotechnika, regulacja zachwaszczenia, uprawa współrzędna

WSTĘP

Fosfor jest pierwiastkiem niezbędnym do życia zarówno dla roślin, jak i zwierząt. Plonotwórcze działanie fosforu szczególnie silnie zaznacza się w okresie budowania systemu korzeniowego oraz tworzenia plonu. Rozpatrując dostępność fosforu dla roślin należy uwzględnić trzy for-

my tego składnika: aktywną, ruchomą i zapasową. Fosfor aktywny występuje w roztworze glebowym w postaci jonów fosforanowych (V), które są bezpośrednio pobierane przez korzenie roślin. Ruchoma jego forma to związki rozpuszczalne w słabych kwasach. Fosfor aktywny pozostaje w równowadze z fosforem ruchomym w glebie, czyli fosfor ruchomy może przekształcić się do postaci biodostępnej, gdy ilość fosforu aktywnego zmniejsza się. Źródłem fosforu zapasowego są trudno rozpuszczalne minerały, takie jak apatyt, fosforyty, waryscyt, z których uwalnia się on bardzo powoli (Gaj, 2008; Sapek 2014).

O dostępności fosforu dla roślin decydują czynniki środowiskowe, tj. zasobność gleby, odczyn, zawartość materii organicznej, temperatura, wilgotność i zagęszczenie gleby. Poza tym, na pobieranie fosforu mogą wpływać zmiany przyswajalności składników w wyniku wzajemnego oddziaływania roślin w strefie korzeniowej, a także elementy agrotechniki, w tym stosowane nawożenie, uprawa roli, odchwaszczanie. Fosfor jest drugim po azocie składnikiem mineralnym bardzo ważnym dla wzrostu roślin. Pomimo iż znaczna część gleb charakteryzuje się wysoką zawartością fosforu ogólnego, to w dużej części jest on niedostępny dla roślin, gdyż około 20–80% fosforu glebowego występuje w formach organicznych (Richardson i in., 2009). Składnik ten łatwo tworzy nierozpuszczalne kompleksy z kationami i/lub jest włączany w substancję organiczną. Zarówno rośliny, jak i mikroorganizmy mogą wpływać na zwiększanie podaży fosforu poprzez np. zmniejszenie wartości wskaźnika pH w ryzosferze, uwalnianie kwasów organicznych oraz wydzielanie zewnątrzkomórkowej fosfatazy. Enzymy te katalizują uwolnienie mineralnego fosforu z organicznych estrów fosforanowych w glebach kwaśnych i alkalicznych ubogich w fosfor, a tym samym czynią go bardziej dostępnym dla roślin (Ryan, 2001; Maseko, Dakora, 2013). Celem pracy było przedstawienie wpływu regulacji zachwaszczenia oraz uprawy współrzędnej na zawartość i pobranie fosforu przez rośliny uprawne.

Autor do kontaktu:

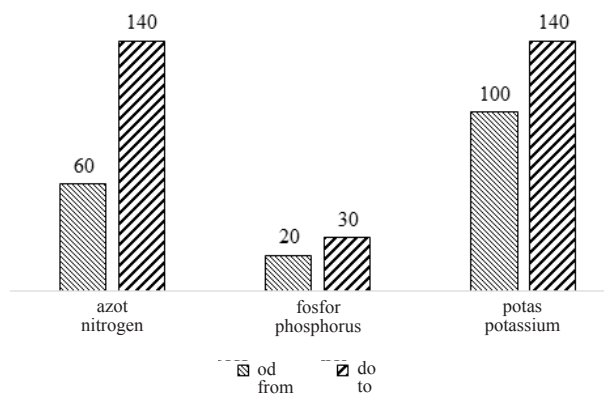
Aleksandra Głowacka
e-mail: aleksandra.glowacka@up.lublin.pl
tel.: +48 81 445 66 23

WPLYW REGULACJI ZACHWASZCZENIA
NA ZAWARTOŚĆ FOSFORU W ROŚLINACH
UPRAWNYCH

Chwasty są nieodłącznym elementem agrocenoz. Duża ich różnorodność, jak również ich ogromne zdolności adaptacyjne powodują, że mogą one być bardzo uciążliwe i powodować duże straty w plonach. Chwasty pobierają duże ilości wody i zwykle zwyciężają w konkurencji o nią z roślinami uprawnymi, ponieważ mają w porównaniu np. ze zbożami lepiej rozbudowany system korzeniowy, większą siłę ssącą korzeni i szybsze tempo wzrostu. Jedna roślina gorczyca polnej pobiera tyle wody ile 4 rośliny owsa siewnego, a jedna roślina owsa głuchego tyle co dwie owsa siewnego. Chwasty konkurują również z roślinami uprawnymi o składniki mineralne. Przy poziomie zachwaszczenia 100–200 szt. m⁻² mogą pobrać z gleby taką ilość azotu, potasu i fosforu (rys. 1), jaka wystarczyłaby na wyprodukowanie ok. 3 ton ziarna pszenicy (Starczewski, 2008).

W warunkach europejskich przyjmuje się, że przy średnim poziomie zachwaszczenia obniżka plonów powodowana przez chwasty wynosi dla zbóż 20%, ziemniaka 10%, kukurydzy 30% i buraka cukrowego 15%. Chwasty mogą również wpływać na jakość roślin uprawnych, np. na zawartość składników mineralnych. Dlatego też bardzo ważnym elementem agrotechniki decydującym nie tylko o wielkości, ale również o jakości plonów roślin jest regulacja zachwaszczenia.

Konkurencyjność chwastów w pobieraniu fosforu zależy od gatunku i fazy rozwojowej roślin, stopnia zachwaszczenia ładu, szybkości i długości okresu pobierania, zasobności siedliska w dostępne formy składnika, od zabiegów agrotechnicznych i warunków pogodowych w czasie wegetacji (Qasem, Hill, 1995; Parylak, 1996; Trąba, Wiater,



Rysunek 1. Pobieranie azotu, potasu i fosforu [kg·ha⁻¹] w nadziemnej biomacie chwastów przy średnim zachwaszczeniu (Starczewski, 2008)

Figure 1. Uptake of nitrogen, potassium and phosphorus [kg ha⁻¹] in above-ground biomass of weeds at average weed infestation (Starczewski, 2008)

2007). Chwasty bardzo często wykazują większą zdolność akumulacji fosforu niż rośliny uprawne. Z badań Głowackiej (2013a) wynika, iż w uprawie kukurydzy gatunki segetalne najbardziej konkurencyjne w pobieraniu fosforu i zawierające znacznie więcej pierwiastka niż biomasa kukurydzy to żóltlica drobnokwiatowa, komosa biała, rdest kolankowy, natomiast mniej konkurencyjne to chwastnica jednostronna i ostrożeń polny (tab. 1). W określeniu potencjalnego wpływu chwastów na dostępność fosforu dla roślin uprawnych ważna jest nie tylko zawartość, ale przede wszystkim wielkość pobrania składnika z biomasą chwastów. W wyżej wymienionych badaniach, fosfor pobrany przez nadziemną biomasę chwastów stanowił od

Tabela 1. Zawartość i pobranie fosforu w nadziemnej biomacie chwastów i kukurydzy w warunkach różnych metod regulacji zachwaszczenia (Głowacka, 2013b)

Table 1. Content and uptake of phosphorus in above-ground parts of weed species and maize depending on method of weed control (Głowacka, 2013b).

Gatunek Species	Zawartość [g·kg ⁻¹ s.m.] Content [g kg ⁻¹ d.w.]		Pobranie [kg·ha ⁻¹] Uptake [kg ha ⁻¹]	
	mechaniczna mechanical	chemiczna chemical	mechaniczna mechanical	chemiczna chemical
Chwastnica jednostronna Barnyardgrass	2,1	2,6	2,11	1,88
Żóltlica drobnokwiatowa Gallant Soldier	5,9	5,7	0,34	0,04
Komosa biała White Goosefoot	4,1	4,4	1,24	0,41
Ostrożeń polny Creeping Thistle	2,9	2,2	0,08	0,02
Rdest kolankowy Curlytop Knotweed	5,6	5,8	0,04	0,07
Łącznie z biomasą chwastów; In total weed biomass			3,8	2,4
Kukurydza; Maize	2,0	2,3	19,2	27,1

8,1% do 16,5% całkowitego pobrania przez łan kukurydzy (tab. 1). O akumulacji fosforu decydowała głównie wielkość biomasy wytworzonej przez chwasty, a w znacznie mniejszym stopniu zawartość pierwiastka. Dlatego też metoda chemiczna, która znacznie skuteczniej ograniczała zarówno liczbę, jak i masę chwastów zmniejszała ilość fosforu pobranego przez chwasty, a jednocześnie sprzyjała większemu pobraniu tego składnika przez kukurydzę (Głowacka, 2013a). Z kolei Liszka-Podkowa i Sowiński (2009) stwierdzili, iż zawartość poszczególnych składników w biomase chwastów w dużym stopniu wpływała na ich pobranie. Ponadto, w przeciwieństwie do prezentowanych wcześniej wyników (Głowacka, 2013a) autorzy ci stwierdzili, iż mechaniczne zabiegi regulacji zachwaszczenia skuteczniej niż chemiczne odchwaszczanie zmniejszały zarówno zawartość fosforu, jak i pobranie pierwiastka z biomasą chwastów przed zbiorem kukurydzy.

O większej konkurencyjności w pobieraniu fosforu gatunków chwastów wymienionych w tabeli 1 świadczy nie tylko zawartość fosforu w suchej masie, ale również wartość względnego współczynnika specyfiki gatunkowej (WSG), który dla większości dominujących gatunków chwastów był znacznie większy niż dla kukurydzy (tab. 2).

Zawiślak i Kostrzewska (2000) podają, iż zawartość fosforu w biomase chwastów występujących w łanie żyta była dwukrotnie większa niż w biomase żyta. Z kolei w badaniach Parylak (1999) zawartość fosforu w biomase chwastów i pszenżyta była zbliżona. Według Malickiego i Berbeciowej (1986) groźnymi konkurentami o fosfor dla roślin uprawnych, odznaczającymi się wysoką jego zawartością w biomase, są gwiazdnica pospolita (0,53–0,85 g P·kg⁻¹),

mlecz kolczasty (0,39–0,57 g P·kg⁻¹), niezapominajka polna (0,42–0,59 g P·kg⁻¹), fiołek polny (0,3–0,58 g P·kg⁻¹) czy też komosa biała (0,33–0,65 g P·kg⁻¹). Zarzecka i in. (2010) stwierdzili, iż w uprawie ziemniaka najgroźniejszymi konkurentami w gromadzeniu fosforu są komosa biała i chwastnica jednostronna. Zawartość fosforu w chwastach zależy nie tylko od gatunku i rośliny uprawnej, w której występują, ale również od warunków siedliska. W badaniach Parylak (2000) zawartość fosforu zarówno w korzeniach, jak i nadziemnych częściach żóltlicy drobnokwiatowej była najniższa na glebie o pH 5,6, zaś najwyższa przy pH 6,7. Rośliny rosnące na glebie o odczynie obojętnym zawierały o 38% więcej fosforu niż na glebie kwaśnej.

WPLYW UPRAWY WSPÓLRZĘDNEJ NA DOSTĘPNOŚĆ I POBIERANIE FOSFORU PRZEZ ROŚLINY

Uprawa współrzędna polega na uprawie dwóch lub więcej gatunków roślin na tym samym polu i w tym samym czasie. Jest ona stosowana od dawna w wielu regionach świata, do produkcji paszy i żywności. Liczne badania potwierdzają, iż uprawa współrzędna sprzyja nie tylko uzyskiwaniu większych plonów, ale również poprzez oddziaływanie pomiędzy roślinami w strefie korzeniowej zwiększa dostępność i wykorzystanie składników pokarmowych przez rośliny w porównaniu do upraw jednogatunkowych (Wasaki i in., 2003; Gunes i in., 2007; Jastrzębska i in., 2015). Uprawa współrzędna roślin motylkowatych i zbóż wpływa na zwiększenie dostępności i pobierania azotu (Karpenstein-Machan, Stuelpnagel, 2000; Hauggard-Nielsen i in., 2001). Wzrost pobrania potasu stwierdzono we współrzędnej uprawie kukurydzy i soi, kukurydzy i ryżu czy sorgo i słonecznika (Morris, Garrity, 1993). Z kolei Li i in. (2003) podają, że uprawa współrzędna pszenicy i ciecierzycy nie wpływała na zawartość wapnia i magnezu w pszenicy, natomiast zwiększała istotnie zawartość Ca w ciecierzycy i pobranie zarówno Ca, jak i Mg przez oba gatunki.

Tak jak w przypadku innych składników, badania potwierdzają wpływ uprawy współrzędnej na dostępność fosforu dla roślin uprawnych. W zależności od gatunków w uprawie współrzędnej różne mogą być mechanizmy zwiększonego pobierania fosforu. Inal i in. (2007) stwierdzili, iż uprawa współrzędna orzecha ziemnego i kukurydzy spowodowała wzrost zawartości fosforu w obu gatunkach w porównaniu do ich uprawy w siewie czystym. W przypadku orzecha ziemnego zawartość fosforu wzrosła z 1,56 do 1,84 g P·kg⁻¹, natomiast w kukurydzy wzrost ten był znacznie wyraźniejszy z 0,99 do 1,70 g P·kg⁻¹. Wynika to z przypuszczalnie, z modyfikacji strefy ryzosferowej przez korzenie uprawianych współrzędnie roślin. Powyższe zmiany wpłynęły na poprawę w szczególności dostępności P i Fe, ale także innych składników mineralnych, ta-

Tabela 2. Wartość współczynnika specyfiki gatunkowej (WSG[#]) dla chwastów i kukurydzy (Głowacka, 2013b)

Table 2. Value of the species specificity coefficient (SSC[#]) for maize and weeds (Głowacka, 2013b).

Gatunek Species	Regulacja zachwaszczenia Weed regulation	
	mechaniczna mechanical	chemiczna chemical
Chwastnica jednostronna Barnyardgrass	0,56	0,78
Żóltlica drobnokwiatowa Gallant Soldier	1,57	1,71
Komosa biała White Goosefoot	1,09	1,31
Ostrożeń polny Creeping Thistle	0,77	0,66
Rdest kolankowy Curlytop Knotweed	1,49	0,85
Kukurydza; Maize	0,53	0,70

[#] WSG – stosunek zawartości fosforu w danym gatunku do średniej zawartości dla wszystkich badanych gatunków zbiorowiska roślinnego; SSC – relation of phosphorus content in tested species to average phosphorus content in all plant species in community

Tabela 3. Zmiany aktywności kwaśnej fosfatazy w warunkach uprawy współrzędnej orzech ziemny/kukurydza (Inal i in., 2007)
Table 3. Changes of acid phosphatase activity in the conditions of peanut/maize intercropping (Inal et al., 2007).

Uprawa Crop	Aktywność kwaśnej fosfatazy [$\mu\text{mol pNP} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] The activity of acid phosphatase [$\mu\text{mol pNP} \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$]		
	w strefie ryzosferowej in rhizosphere	poza strefą ryzosferową in bulk soil	w korzeniach in roots
Orzech ziemny; Peanut	0,30	0,09	17,8
Kukurydza; Maize	0,07	0,02	14,8
Orzech ziemny/Kukurydza Peanut/Maize	0,38	0,18	22,5

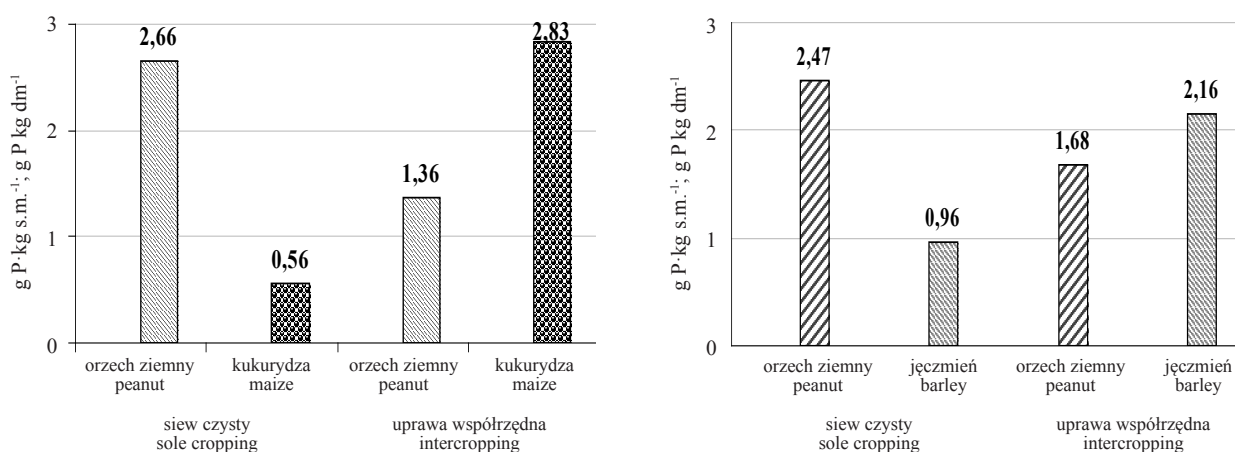
pNP – p-Nitrofenol; p-nitrophenol

kich jak K, Zn i Mn. Zwiększenie dostępności fosforu dla roślin w uprawie współrzędnej mogło być efektem obserwowanego wzrostu aktywności kwaśnej fosfatazy zarówno w ryzosferze, jak i w korzeniach (tab. 3).

Wzrost aktywności fosfatazy w warunkach międzygatunkowej konkurencji o składniki pokarmowe spowodował zwiększenie koncentracji P w ryzosferze w uprawie współrzędnej. Rengel (2002) również uważa, że w warunkach niedoboru fosforu rośliny pozyskują ten składnik poprzez modyfikację zarówno fizjologii, jak i morfologii korzeni. Takie modyfikacje mogą obejmować zwiększone uwalnianie enzymu kwaśnej fosfatazy i spadek wartości wskaźnika pH gleby w strefie ryzosferowej. Obserwowane zmiany aktywności fosfatazy sugerują, że korzenie, a także liście roślin wytwarzają znaczne ilości tego enzymu w warunkach konkurencji o P pomiędzy uprawianymi współrzędnie orzechem arachidowym i kukurydzą (Inal i in., 2007). Wpływ uprawy współrzędnej na zawartość fosforu w roślinach zależy od właściwości gleby, jak też konkurencyjności uprawianych gatunków. Badania wazo-

nowe prowadzone przez Inala i Gunesa (2008) na glebie ubogiej w składniki pokarmowe, zasolonej, z nadmierną zawartością boru pokazały, iż zawartość fosforu w orzechu ziemnym uprawianym współrzędnie z kukurydzą lub jęczmieniem była znacznie niższa niż w uprawie w siewie czystym. Natomiast zarówno jęczmień, jak i kukurydza znacznie zwiększały zawartość tego pierwiastka, gdy były uprawiane współrzędnie z orzechem ziemnym (rys. 2). Jednocześnie uprawa współrzędna z kukurydzą oraz jęczmieniem sprzyjała zwiększeniu zawartości w roślinach orzecha ziemnego potasu, cynku, żelaza i manganu. Li i in. (2003) obserwowali wzrost zawartości fosforu w kukurydzy i pszenicy uprawianych współrzędnie z ciecierzycą. Tłumaczą to zdolnością ciecierzycy do uwalniania lub aktywacji enzymów oraz wydzielania przez korzenie karboksylanów, które poprawiają rozpuszczalność fosforu w ryzosferze i zwiększają jego pobieranie.

Występują różnice gatunkowe w rodzaju uwalnianych karboksylanów: łubin biały wydziela głównie cytryniany, ciecierzycza maloniany, pszenica natomiast jabłczany,



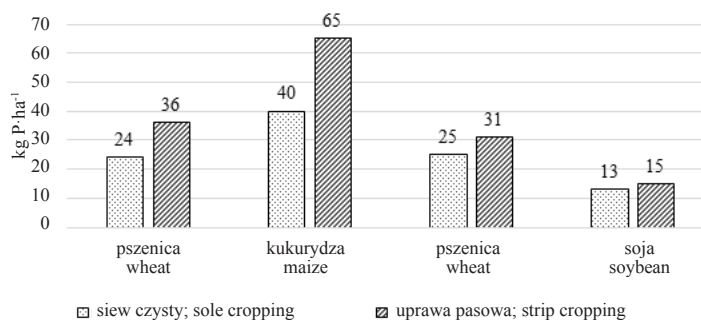
Rysunek 2. Wpływ uprawy współrzędnej na zawartość fosforu w roślinach (Inal, Guns, 2008)
Figure 2. The effect of intercropping on the content of phosphorus in plant (Inal, Guns, 2008).

a gatunki z rodziny *Proteaceae* – różne kwasy organiczne (Ryan i in., 2001; Roelofs i in., 2001). Skuteczność karboksylanów zależy od ilości grup karboksylowych i ich struktury molekularnej. Trikarboksylany (cytrynian) są na ogół bardziej skuteczne od dikarboksylanów (np. jabłczan, malonian) ze względu na silniejsze wiązanie liganda. Duży wpływ na skuteczność karboksylanów mają również właściwości gleby (Veneklaas i in., 2003).

Z kolei Jastrzębska i in. (2015) podają, że uprawa mieszana jęczmienia z koniczyną czerwoną nie wpływała na zmianę zawartości fosforu w organach rośliny zbożowej, natomiast konkurencja ze strony jęczmienia hamowała pobieranie i magazynowanie fosforu przez koniczynę czerwoną. Odmienne wyniki badań dotyczących wpływu upraw mieszanych na dostępność fosforu dla roślin, które wynikają z różnej konkurencyjności gatunków, właściwości gleb czy też ilości i rodzaju wydzielanych karboksylanów potwierdzają opinię, iż aby można było wykorzystać zdolność niektórych gatunków do zwiększania wykorzystania fosforu, potrzebne są dalsze badania wyjaśniające, które czynniki fizjologiczne czy środowiskowe stymulują bądź ograniczają wydzielanie karboksylanów przez rośliny (Veneklaas i in., 2003).

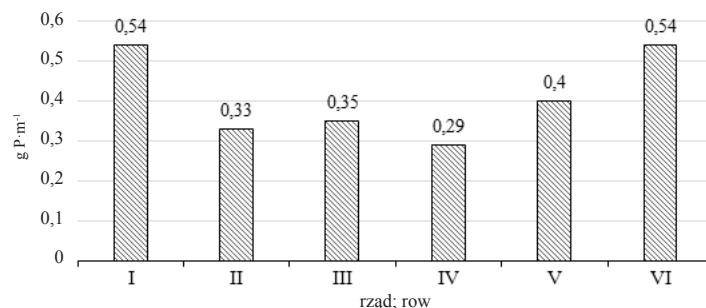
Uprawa pasowa jest formą uprawy mieszanej (wielogatunkowej) i polega na uprawie dwóch lub więcej gatunków roślin w sąsiadujących pasach. Pasy powinny być na tyle szerokie, aby umożliwić niezależną mechaniczną uprawę, a jednocześnie na tyle wąskie, aby zachodziło oddziaływanie między sąsiadującymi pasami. Czasowe i przestrzenne zróżnicowanie roślin w uprawie pasowej powoduje, że konkurencja pomiędzy nimi o wodę, światło i składniki pokarmowe jest zminimalizowana, a większa różnorodność zwiększa stabilność agroekosystemu. W efekcie plon wzrasta, zwłaszcza w brzeźnych rzędach pasa (Ghaffarzadeh i in., 1997; Lesoing, Francis 1999). System ten chroni glebę przed erozją wodną i wietrzną, ogranicza proces wymywania składników pokarmowych w głąb profilu glebowego poza system korzeniowy i może przyczyniać się do zmniejszenia nasilenia występowania szkodników, chorób i chwastów (Zhang, Li, 2003; Bucur i in., 2007; Ma i in., 2007; Rogobete, Grozav, 2011). W odróżnieniu od powszechnie stosowanej w Polsce uprawy mieszanej zbóż i zbóż ze strączkowymi (Tobiasz-Salach i in., 2011; Wojciechowski i in., 2013), z której pozyskuje się surowce z przeznaczeniem głównie na paszę, uprawa pasowa daje większe możliwości poprzez indywidualny siew i zbiór poszczególnych gatunków.

W przeciwieństwie do innych rodzajów uprawy mieszanej, w uprawie pasowej umieszczenie roślin w osobnych pasach może zmniejszyć siłę oddziaływania pomiędzy roślinami w brzeźnych rzędach sąsiadujących pasów oraz wpływ na pobieranie składników. Jednak nieliczne badania (Li i in., 2001a; Głowacka i in., 2013b) prowadzone w warunkach polowych, gdzie jest znacznie trudniej wyjaśnić przyczyny obserwowanych tendencji, potwierdzają wpływ uprawy pasowej na zawartość i pobieranie pierwiastków, w tym również fosforu przez rośliny. Wpływ uprawy pasowej na zmiany zawartości fosforu w roślinach zależy od gatunków wybranych do uprawy, sezonu wegetacyjnego, jak i właściwości gleby. Li i in. (2001a) obserwowali brak istotnego wpływu uprawy pasowej pszenicy i soi na akumulację fosforu przez rośliny oraz większe pobieranie pierwiastka przez uprawianą współrzędnie pszenicę i kukurydzę (rys. 3). Cytowani autorzy stwierdzili, iż na akumulację fosforu przez pszenicę w uprawie pasowej wpływało również położenie rzędu w pasie (rys. 4).



Rysunek 3. Zmiany w pobraniu fosforu w uprawie pasowej pszenica/kukurydza i pszenica/soja (Li i in., 2001a)

Figure 3. Changes in the uptake of phosphorus in wheat/maize and wheat/soy strip cropping (Li et al., 2001a)



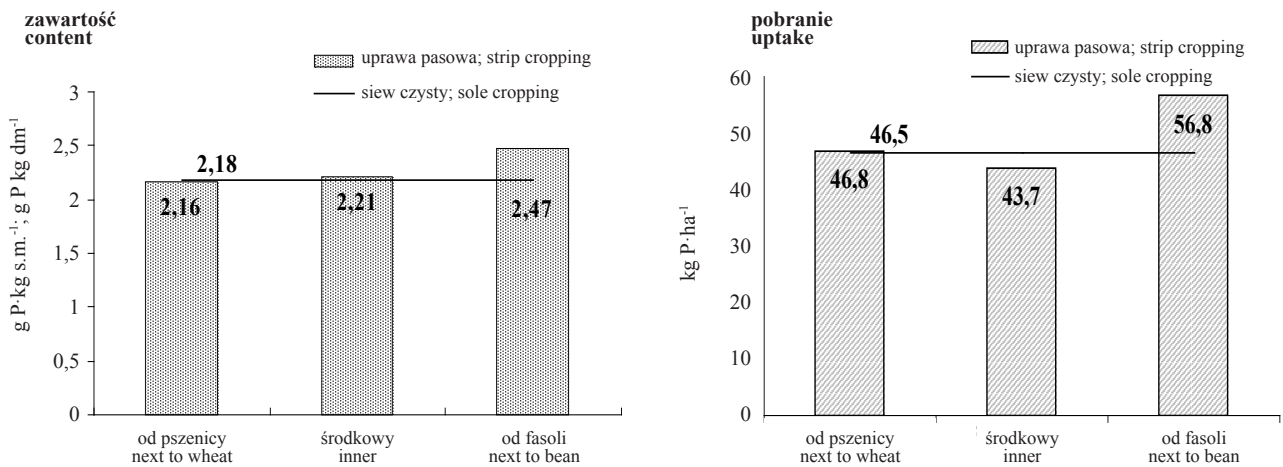
Rysunek 4. Wpływ położenia rzędu w pasie na pobranie fosforu przez pszenicę w uprawie pasowej pszenica/soja (Li i in., 2001a)

Figure 4. The influence of row position in the strip on the uptake of phosphorus by wheat in the wheat/soy strip cropping (Li et al., 2001a).

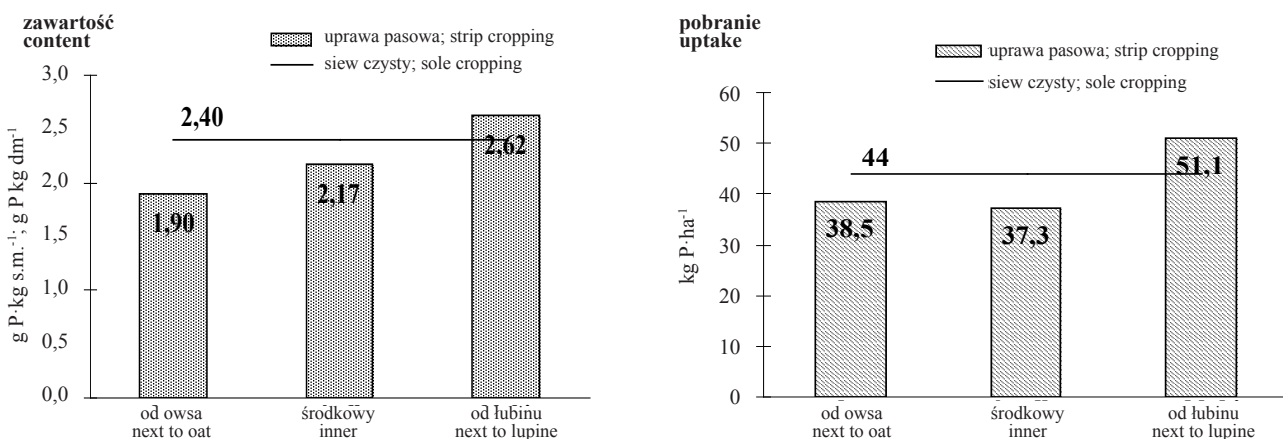
Również badania prowadzone w warunkach Polski południowo-wschodniej potwierdzają wpływ uprawy pasowej oraz gatunku rośliny sąsiadującej na zawartość i pobranie fosforu przez rośliny. Uprawa pasowa: kukurydza, pszenica i fasola zwyczajna zwiększała zarówno zawartość, jak i pobranie fosforu w biomacie kukurydzy w porównaniu do uprawy w siewie czystym (Głowacka, 2011). Na zawartość fosforu w kukurydzy wpływało również położenie rzędu w pasie oraz gatunek rośliny sąsiadującej. Istotnie więcej fosforu gromadziła kukurydza w rzędzie brzeżnym, sąsiadującym z pasem fasoli zwyczajnej, a różnice pomiędzy rzędem środkowym i brzeżnym od pasa pszenicy były niewielkie (rys. 5). Veneklaas i in. (2003) podają, że

rośliny strączkowe mogą wydzielać przez korzenie dużą ilość karboksylanów, które mogą odgrywać ważną rolę w zwiększaniu dostępności dla roślin różnych pierwiastków z mniej rozpuszczalnych form. Ponadto rośliny strączkowe mają dobrze rozwinięty system korzeniowy i mogą pobierać i przemieszczać składniki mineralne, takie jak P, K, Mg i Ca, z głębszych warstw gleby, zwiększając ich dostępność dla roślin następczych (Ae i in., 1990).

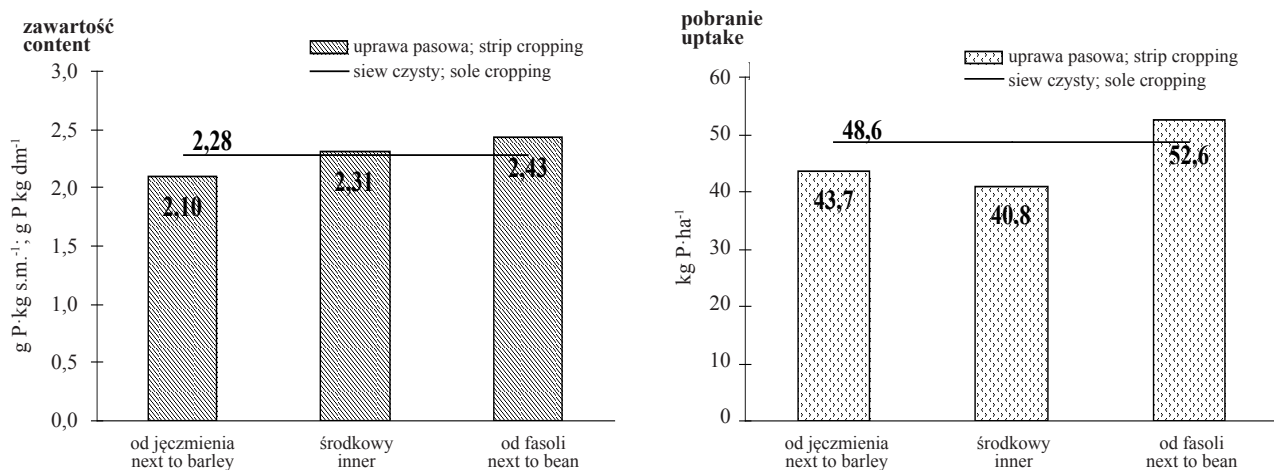
Badania potwierdziły, iż uprawa pasowa owies/kukurydza/lubin wąskolistny oraz jęczmień jary/kukurydza/fasola zwyczajna może również wpływać na dostępność i pobranie fosforu przez kukurydżę. Uzyskane wyniki wykazały, iż uprawa pasowa zmniejszała istotnie zawartość tego



Rysunek 5. Wpływ uprawy pasowej i rośliny sąsiadującej na zawartość i pobranie fosforu w biomacie kukurydzy (Głowacka, 2011)
Figure 5. The influence of strip cropping and adjacent plant species on the content and uptake of phosphorus by maize biomass (Głowacka, 2011).



Rysunek 6. Wpływ uprawy pasowej owies/kukurydza/lubin wąskolistny i położenia rzędu w pasie na zawartość i pobranie fosforu w biomacie kukurydzy (Głowacka, 2014)
Figure 6. The effect of oat/maize/narrow leafed lupin strip cropping and row position in the strip on the content and uptake of phosphorus by maize biomass (Głowacka, 2014)



Rysunek 7. Wpływ uprawy pasowej jęczmień jary/kukurydza/fasola zwyczajna i położenia rzędu w pasie na zawartość i pobranie fosforu w biomase kukurydzy

Figure 6. The effect of spring barley/maize/common bean strip cropping and row position in the strip on the content and uptake of phosphorus by maize biomass

składnika w kukurydzy, w porównaniu z siewem czystym. Było to efektem mniejszej zawartości fosforu w kukurydzy ze skrajnego rzędu pasa sąsiadującego z owsem siewnym. Różnice pomiędzy rzędem środkowym i brzeżnym od łubinu były nieznaczne. Największą zawartość i pobranie fosforu w uprawie pasowej obserwowano w kukurydzy z rzędu brzeżnego pasa, od łubinu wąskolistnego (rys. 6) (Głowacka, 2014).

Z kolei uprawa pasowa z jęczmieniem jarym i fasolą zwyczajną nie wpływała istotnie na zawartość fosforu w biomase kukurydzy w porównaniu z uprawą w siewie czystym. Natomiast w uprawie pasowej sąsiedztwo fasoli zwyczajnej zwiększało zarówno zawartość, jak i pobranie tego pierwiastka przez kukurydzę (rys. 7).

Rośliny strączkowe mają zdolność odzyskiwania fosforu glebowego z form niedostępnych. Jednym z mechanizmów jest wydzielanie kwasów organicznych, które obniżają wartość wskaźnika pH gleby otaczającej korzenie i uwalniają fosfor z niedostępnych związków. Fasola i soja wydzielają głównie cytryniany (Shen i in., 2002; Nwoke i in., 2008), natomiast łubin, groch siewny i bobik – głównie jabłczany (Nuruzzaman i in., 2005). Tak jak i inne gatunki, rośliny strączkowe mogą uwalniać do gleby fosfatazy, które rozkładają związki organiczne zawierające fosfor, a w konsekwencji zwiększają stężenie dostępnego fosforu w strefie korzeniowej. Obserwowane zmiany zawartości i pobrania fosforu w poszczególnych rzędach pasa kukurydzy potwierdzają, iż różnice w międzygatunkowych zdolnościach konkurencyjnych odgrywają ważną rolę w akumulowaniu fosforu przez rośliny uprawiane pasowo. Poprzez dobór różnych gatunków do uprawy pasowej możemy wpływać na dostępność fosforu dla roślin uprawnych.

PODSUMOWANIE

1. Przy dużym nasileniu występowania chwasty mogą pobierać znaczne ilości fosforu i ograniczać jego dostępność dla roślin uprawnych. Gatunki bardzo konkurencyjne w akumulacji fosforu to żółtlica drobnokwiatowa, komosa biała, gwiazdnica pospolita, rdest kolankowy, niezapominajka polna.

2. Uprawa pasowa z roślinami bobowatymi może wpływać na dostępność i pobieranie fosforu przez rośliny uprawne, a obserwowane tendencje mogą wynikać z kilku przyczyn:

- głęboki, dobrze rozwinięty system korzeniowy roślin strączkowych umożliwia pobieranie składników odżywczych z głębszych warstw i przemieszczanie ich do górnych warstw profilu glebowego, czyniąc dostępnymi dla innych roślin.
- różny termin siewu i zbioru roślin oraz różnice gatunkowe w okresach najintensywniejszego pobierania składników.
- zdolność roślin strączkowych do wydzielania kwasów organicznych, które obniżają pH w ryzosferze i uwalniają fosfor z niedostępnych związków. Fasola i soja wydzielają głównie cytryniany, podczas gdy groch siewny i bobik – głównie jabłczany.
- rośliny strączkowe mogą uwalniać fosfatazy, które rozkładają związki organiczne fosforu w glebie.

3. Różne formy uprawy współrzędnej mogą być efektywnym czynnikiem zwiększającym dostępność i pobieranie fosforu przez rośliny. Zależy to od doboru gatunków, właściwości gleby, jak i przebiegu warunków pogodowych.

PIŚMIENNICTWO

- Ae N., Arihara J., Okada K., Yoshihara T., 1990.** Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping system of the Indian subcontinent. *Science*, 248: 477-480.
- Bucur D., Jitareanu G., Ailincai C., Tsadilas C., Ailincai D., Mercus A., 2007.** Influence of soil erosion on water, soil, humus and nutrient losses in different crop systems in the Moldavian Plateau, Romania. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5(2): 261-264.
- Gaj R., 2008.** Zrównoważona gospodarka fosforem w glebie i roślinie w warunkach intensywnej produkcji roślinnej. *Nawozy i Nawożenie*. Z. 33. ss. 143.
- Ghaffarzadeh M., Garcia-Prézac F., Cruse R.M., 1997.** Tillage effect on soil water content and corn yield in a strip intercropping system. *Agronomy Journal*, 89: 893-899.
- Głowacka A., 2011.** Zmiany zawartości oraz pobrania fosforu i potasu w kukurydzy pastewnej pod wpływem różnych metod uprawy i regulacji zachwaszczenia. *Fragmenta Agronomica*, 28(3): 26-34.
- Głowacka A., 2013a.** Uptake of Cu, Zn, Fe and Mn by maize in the strip cropping system. *Plant, Soil and Environment*, 59(7): 322-328.
- Głowacka A., 2013b.** Content and uptake of nutrients by maize and accompanying weeds. LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany ISBN 978-3-659-40866-3, ss. 129.
- Głowacka A., 2014.** The influence of strip cropping and adjacent plant species on the content and uptake of N, P, K, Mg and Ca by maize (*Zea mays* L.). *Romanian Agricultural Research*, 31: 219-227.
- Gunes A., Inal A., Adak M.S., Alpaslan M., Bagci E.G., Erol T., Pilbeam D.J., 2007.** Mineral nutrition of wheat, chickpea and lentil as affected by intercropped cropping and soil moisture. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 78: 83-96.
- Hauggard-Nielsen H., Ambus P., Jensen E.S., 2001.** Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research*, 70: 101-109.
- Inal A., Gunes A., 2008.** Interspecific root interactions and rhizosphere effects on salt ions and nutrient uptake between mixed grown peanut/maize and peanut/barley in original saline-sodic-boron toxic soil. *Journal of Plant Physiology*, 165: 490-503.
- Inal A., Gunes A., Zhang F., Cakmak I., 2007.** Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 350-356.
- Jastrzębska M., Kostrzevska M.K., Wanic M., Makowski P., Treder K., 2015.** Phosphorus content in spring barley and red clover plants in pure and mixed sowing. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 14(1): 21-32.
- Karpenstein-Machan M., Stuelpnagel R., 2000.** Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and Soil*, 218: 215-232.
- Lesoing G.W., Francis Ch.A., 1999.** Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum and soybean. *Agronomy Journal*, 91: 807-813.
- Li L., Sun J., Zhang F., Li X., Rengel Z., Yang S., 2001a.** Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. *Field Crops Research*, 71: 173-181.
- Li L., Sun J., Zhang F., Li X., Yang S., Rengel Z., 2001b.** Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interaction on nutrients. *Field Crops Research*, 71: 123-137
- Li L., Tang C., Rengel Z., Zhang F.S., 2003.** Chickpea facilitates phosphorus uptake by wheat from an organic phosphorus. *Plant and Soil*, 248: 297-303.
- Liszka-Podkowa A., Sowiński J., 2009.** Skuteczność różnych metod odchwaszczania kukurydzy oraz pobranie makroprzwiastków przez chwasty. *Fragmenta Agronomica*, 26(3): 109-117.
- Ma K.Z., Hao S.G., Zhaz H.Z., Kang L., 2007.** Strip cropping wheat and alfalfa to improve the biological control of the wheat aphid *Macrosiphum avenae* by the mite *Allothrombium ovatum*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 49-52.
- Malicki L., Berbeciowa Cz., 1986.** Uptake of more important mineral components by common field weeds on loess soil. *Acta Agrobotanica*, 39(1): 129-141.
- Maseko S.T., Dakora F.D., 2013.** Rhizosphere acid and alkaline phosphatase activity as a marker of P nutrition in nodulated *Cyclopia* and *Aspalathus* species in the Cape fynbos of South Africa. *South African Journal of Botany*, 89: 289-295.
- Morris R.A., Garrity D.P., 1993.** Resource capture and utilization in intercropping: non-nitrogen nutrients. *Field Crops Research*, 34: 319-334.
- Nuruzzaman M., Lambers H., Bollard M.D.A., Veneklaas E.J., 2005.** Phosphorus uptake by grain legumes and subsequently grown wheat at different levels of residual phosphorus fertiliser. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56: 1041-1047.
- Nwoke O.C., Diels J., Abaidoo R., Nziguheba G., Merckx R., 2008.** Organic acids in the rhizosphere and root characteristics of soybean (*Glycine max*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in relation to phosphorus uptake in poor savanna soils. *African Journal of Biotechnology*, 7: 3620-3627.
- Parylak D., 1996.** Konkurencyjne pobieranie składników pokarmowych przez jęczmień jary i chwasty. *Fragmenta Agronomica*, 4(52): 68-74.
- Parylak D., 1999.** Zmiany konkurencyjności chwastów w pszenicy jarym pod wpływem nawożenia mineralnego. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 39(2): 683-685.
- Parylak D., 2000.** Wpływ pH gleby na pobieranie składników przez żóltlicę drobnokwiatową (*Galinsoga parviflora* Cav.). *Annales UMCS, section E, LV, supp. 17: 143-149.*
- Qasem J.R., Hill T.A., 1995.** Growth, development and nutrient accumulation in *Senecio vulgaris* L. and *Chenopodium album* L. *Weed Research*, 35: 87-196.
- Rengel Z., 2002.** Genetic control of root exudation. *Plant and Soil*, 245: 59-70.
- Richardson A.E., Barea J.M., Mcneill A.M., Prigent-Combaret C., 2009.** Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, 321: 305-339.
- Roelofs R.F.R., Rengel Z., Cawthray G.R., Dixon K.W., Lambers H., 2001.** Exudation of carboxylates in Australian *Proteaceae*: chemical composition. *Plant Cell Environment*, 24: 891-904.

- Rogobete G., Grozav A., 2011.** Methods for assessment of soil erosion. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 43: 174-179.
- Ryan P.R., Delhaize E., Jones D.L., 2001.** Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52: 527-560.
- Sapek B., 2014.** Nagromadzenie i uwalnianie fosforu w glebach – źródła, procesy, przyczyny. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, t. 14, 1(45): 77-100.
- Shen H., Yan X., Zhao M., Zheng S., Wang X., 2002.** Exudation of organic acids in common bean as related to mobilization of aluminium- and ironbound phosphates. *Environmental and Experimental Botany*, 48: 1-9.
- Starczewski J., 2008.** Uprawa roli i roślin. Cz. I. *Środowisko Herbologia*. Wydawnictwo AP w Siedlcach, ss. 159.
- Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D., Szponar-Krok E., 2011.** Ocena produktywności i wzajemnego oddziaływania zbóż jarych uprawianych w mieszkawkach. *Fragmenta Agromonica*, 28(4): 116-130.
- Trąba C., Wiater J., 2007.** Zawartość i pobranie niektórych mikroelementów przez komosę białą w zależności od rośliny uprawnej i nawożenia odpadami. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 502: 1011-1021.
- Veneklaas E.J., Stevens J., Cawthray G.R., Turner S., Grigg A.M., Lambers H., 2003.** Chickpea and white lupin rhizosphere carboxylates vary with soil properties and enhance phosphorus uptake. *Plant and Soil*, 248: 187-197.
- Wasaki J., Yamamura T., Shinano T., Osaki M., 2003.** Secreted acid phosphatase is expressed in cluster lupin in response to phosphorus deficiency. *Plant and Soil*, 248: 129-136.
- Wojciechowski W., Kozak M., Białkowska M., Ćwierniewska M., 2013.** Wpływ mieszanek strączkowo-zbożowych na zachwaszczenie łąn. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 53(1): 110-114.
- Zarzecka K., Gugala M., Baranowska A., 2010.** Zawartość i pobranie azotu, fosforu i potasu przez chwasty w uprawie ziemniaka w warunkach zróżnicowanych zabiegów agrotechnicznych. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 255: 77-84.
- Zawiślak K., Kostrzewska M., 2000.** Konkurencja pokarmowa chwastów w łąkach żyta ozimego uprawianego w płodozmianie i w wieloletniej monokulturze. II. Zawartość i pobranie makroelementów w nadziemnej biomase żyta ozimego i chwastów. *Annales UMCS, sect. E, LV, suppl.*, 33: 269-275.
- Zhang F., Li L., 2003.** Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*, 248: 305-312.

A. Głowacka, H. Klikocka, B. Szostak, B. Narolski

THE INFLUENCE OF SELECTED ELEMENTS OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY ON THE AVAILABILITY OF PHOSPHORUS FOR CROP PLANTS

Summary

Phosphorus is essential for the development of all living organisms and is a component of almost all chemical reactions involving energy. It is essential to photosynthesis and plant metabolism. Phosphate affects the formation of abundant root system of the plants, thereby reducing their sensitivity to stress, and also allows extensive uptake minerals from the soil. The appropriate amount of phosphorus in plants is very important for obtaining high and good quality yields. Only 19% of Polish soil has a high content of available phosphorus, while almost 48% have a low abundance of this macroelement. However, even on soils rich in phosphorus plants may exhibit symptoms of deficiency, since phosphorus is very readily immobilized and becomes to form low available to the plant. The availability of phosphorus for plants depends on the content of the element in the soil, but also on the conditions of the habitat and agricultural technology used. An important element in agricultural technology is weed control, because weeds very often prevail crop plants in the competition for nutrients, including phosphorus and may reduce its availability for plants. An important role in increasing the availability of phosphorus for plants can also play an interspecific interaction and changes in the rhizosphere observed in intercropping (mixed cropping).

Key words: phosphorus, availability, agrotechnology, weed regulation, intercropping, strip cropping