

Jerzy Grabiński, Marta Wyzińska

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

SUPERABSORBENTY – MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA W NOWOCZESNEJ PRODUKCJI ROŚLINNEJ*

Słowa kluczowe: superabsorbenty, hydrożele, nowoczesna produkcja, produktywność roślin

Wstęp

Nowoczesna produkcja roślinna stoi przed wyzwaniami związanymi z postępującymi zmianami klimatu, deficytem wody w glebie, jak również degradacją gleb. Dlatego też coraz większe zainteresowanie budzą technologie i produkty wspierające efektywne gospodarowanie zasobami wodnymi i poprawę jakości środowiska glebowego oraz dostępności wody dla roślin. Jednym z innowacyjnych rozwiązań (produktów) w tym zakresie są superabsorbenty – polimery posiadające zdolności do wiązania i zatrzymywania znacznych ilości wody w odniesieniu do swojej masy własnej.

Rośliny dla wydania wysokiego i dobrej jakości plonu wymagają odpowiednio dużej ilości wody. Dla roślin uprawianych w warunkach polowych głównym jej źródłem są opady. Przy czym ważna jest nie tylko ich ilość (suma), ale także rozkład w trakcie sezonu wegetacyjnego, bo możliwości magazynowania wody, zwłaszcza przez gleby posiadające słabo rozwinięty kompleks sorpcyjny, są ograniczone. Jeśli duże opady wystąpią tylko na początku danego okresu, to po upływie kilku tygodni, szczególnie na glebach lżejszych, rośliny zaczynają cierpieć na niedobór wody. W ostatnich latach niekorzystne rozkłady opadów stały się pewną normą. Nierzadko w okresie intensywnego wzrostu roślin zdarzają się bowiem okresy bezopadowe trwające dłużej niż 1 miesiąc. Producent może w pewnym stopniu niwelować negatywne skutki złego rozkładu opadów, zwłaszcza poprzez tworzenie odpowiedniej struktury gleby warunkującej jej potencjał retencyjny. Jest to możliwe przede wszystkim poprzez działania agrotechniczne związane z odpowiednią uprawą roli oraz poprzez

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.8. pt. „Wykorzystanie dronów w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2025 r.

działania związane z wprowadzaniem do gleby różnego rodzaju materii organicznej (popłony, obornik).

Celem niniejszego opracowania jest ocena wykorzystania superabsorbentów w nowoczesnej produkcji roślinnej.

Wyniki i dyskusja

Superabsorbenty (SAP, *ang. Super Absorbent Polymers*) to materiały polimerowe zdolne do wchłaniania i zatrzymywania wody. Zdolność ta wynika z obecności grup hydrofilowych w strukturze chemicznej polimeru oraz jego usieciowienia przestrzennego, które umożliwia zatrzymywanie wody. Pod względem chemicznym superabsorbenty dzielą się na naturalne, syntetyczne oraz hybrydowe. Z punktu widzenia rolnictwa najbardziej istotny jest fakt, że posiadają one zdolność do wielokrotnego uwalniania i ponownego wchłaniania wody (Huttermann i in. 2009).

Rozważania dotyczące możliwości stosowania superabsorbentów w rolnictwie wynikają ze zdolności wiązania przez te substancje dużych ilości wody. Jak podają producenci, są to ilości rzędu 200–600 g wody $\cdot$ g⁻¹ hydrożelu. Tak duży zakres spowodowany jest różnicą w budowie chemicznej hydrożeli, są to bowiem związki różniące się znacznie pod względem składu chemicznego. Przykładowo w badaniach Dąbrowskiej i Lejcuś (2012) różnice w ilości wchłoniętej wody pomiędzy hydrożelem będącym usieciowionym poliakrylanem potasu a hydrożelem będącym usieciowionym kopolimerem akrylamidu z akrylanem przekraczały 30%.

Należy tutaj podkreślić, że określana przez producentów hydrożelu ilość wody, jaką może on wchłoniąć dotyczy wody zdemineralizowanej. Ilość wody niezdemineralizowanej możliwej do wchłonięcia jest znacznie mniejsza. W badaniach Dąbrowskiej i Lejcuś (2012) obecność jonów jednowartościowych spowodowała zmniejszenie ilości wody wchłoniętej przez hydrożel potasowy aż o ponad 70%. Badania innych autorów wykazały, że w przypadku jonów dwuwartościowych te ograniczenia również występują. Powyższe stwierdzenia rodzą pytanie, jak wygląda proces wchłaniania wody deszczowej. Można założyć, że obecność jonów jedno- i dwuwartościowych w wodzie deszczowej jest raczej śladowa, ale jeśli woda ta przesiąknie przez wierzchnią warstwę gleby, to szybko zmienia swój skład i różne jony zaczynają się w niej pojawiać. Na pewno jest zapotrzebowanie na badania, które wyjaśniłyby ten problem. Można jeszcze dodać, że pewien wpływ na ilość wchłanianej wody przez dany superabsorbent ma także stopień jego rozdrobnienia (wielkość granulek). Najlepiej chłonie wodę hydrożel o granulach średniej wielkości (Dąbrowska i Lejcuś 2012). W rozważaniach o przyszłości hydrożeli informacje o ilości wody, jaką mogą te substancje chłoniąć jest o tyle istotna, że ma związek bezpośredni z proponowanymi dawkami na jednostkę powierzchni, a tym samym na koszt zastosowania. Wydaje się, że szansę na szersze zastosowanie w praktyce rolniczej mają SAP charakteryzujące się pobieraniem wody na poziomie co najmniej 250–300 g $\cdot$ g⁻¹.

Bariery dla stosowania SAP w nowoczesnej polowej produkcji roślinnej

Jeszcze niedawno superabsorbenty były traktowane jako produkty jednoznacznie nieszkodliwe dla człowieka i środowiska, rozkładające się w drodze reakcji chemicznych na dwutlenek węgla, wodę i materię organiczną (Thombare i in. 2018). Stwierdzono jednak, że jest to proces rozkładu raczej powolny (Nyssölä i Ahlgren 2019, Adjud i in. 2022), którego tempo zależy od wielu czynników: typu związku chemicznego, głębokości aplikacji oraz temperatury gleby i jej wilgotności. Niski poziom tlenu i wilgoci, wysokie zasolenie oraz niska dostępność składników odżywczych dodatkowo zmniejszają tempo biodegradacji SAP (Gu 2003, Adjud i in. 2022).

W ostatnich latach zaobserwowano zmiany w podejściu do stosowania hydrożeli, ponieważ pojawiły się doniesienia o zanieczyszczeniu środowiska mikroplastikiem. Z tego względu rozkład superabsorbentów, należących do klasy materiałów antropogenicznych, powinien być dodatkowo zbadany. Stawiane są hipotezy, że SAP w środowisku glebowym może na drodze różnych przemian chemicznych doprowadzać do powstania związków przypominających plastik. Na razie są to właściwie tylko przypuszczenia. Ważnym głosem w dyskusji nad tym zagadnieniem była praca przeglądowa Buchmanna i in. (2024), z której wnioski wskazały na konieczność przeprowadzenia szerokich badań, które określą mechanizmy i warunki przemian SAP w procesie ich starzenia. Zasugerowana została mapa drogowa dla takich badań, które miałyby wyjaśnić ten problem. W tej mapie przewidziano dwa etapy:

1. Identyfikacja najbardziej istotnych procesów i ich wzajemnych oddziaływań, które wywołają powstawanie stałych pozostałości SAP w glebie.
2. Ocena, w jakim stopniu ilość, częstotliwość i metody stosowania SAP modulują powstawanie stałych pozostałości SAP w glebie.

Rynek światowy SAP

Rynek superabsorbentów wykazuje dynamiczny wzrost, który jest napędzany rosnącym zapotrzebowaniem na produkty higieniczne, ale także rozwijającym rolnictwem. W sektorze rolnictwa superabsorbenty zyskują na znaczeniu jako środki poprawiające retencję wody w glebie, szczególnie w regionach narażonych na susze. Ich zastosowanie przyczynia się do zwiększenia efektywności wykorzystania wody i poprawy wysokości i jakości plonów (Liu i in. 2020).

Wykorzystanie superabsorbentów w rolnictwie będzie zależne od tego, jak będzie wyglądała produkcja i rynek tych substancji w perspektywie najbliższych lat. Prognozy, jakie wykonują różne agencje wskazują, że będzie on się rozwijał dość dynamicznie. Jak wynika z prognoz firmy Grand View Research, zarejestrowanej w stanie Kalifornia i mającej siedzibę w San Francisco, w najbliższych latach produkcja SAP na świecie będzie rosła i w 2030 r. będzie ona wyższa niż w 2023 r.

o ponad 50% (Raport 2024). Skumulowany roczny wskaźnik wzrostu produkcji SAP (CAGR, ang. *Compound Annual Growth Rate*) według tej firmy wyniesie aż 6,5% dla lat 2024–2030. Można zatem zakładać, że dostępność SAP na rynku będzie większa niż obecnie i w związku z tym nie można wykluczyć, że także ich cena będzie mniejsza.

Korzyści z zastosowania superabsorbentów w nowoczesnej produkcji roślinnej

Zdolność do wchłaniania wody przez hydrożele sprawia, że mogą one odegrać istotną rolę w kształtowaniu wilgotności gleby. Modelowe badania określające rolę superabsorbenta w ograniczaniu wysychania gleby przeprowadzili Yu i in. (2017) (tab. 1.).

Tabela 1

Zdolność do utrzymania wody w różnych glebach poddanych suszeniu, w zależności od ilości i rodzaju różnych superabsorbentów (piasek gliniasty)

Czas suszenia	Rodzaj SAP*	Dawka SAP (%)			
		0,1	0,5	1	2
0	WOTE	44,07Bdt*	68,5Cc	91,57Bb	132,2Ba
	GNKH	47,28Ad	73,06BCc	94,90Bb	141,28Ba
	BJ-2101S	45,44Bd	79,72Ac	109,99Ab	157,41Aa
	BJ-2010-M	43,57Bd	64,17Cc	78,69Cb	109,01Da
5	WOTE	5,9Dd	32,97Ec	48,56Fb	73,36Fa
	GNKH	10,11Cd	33,53Ec	57,52Eb	96,26Ea
	BJ-2101S	9,38Cd	42,64Dc	70,81Db	115,13Ca
	BJ-2010-M	10,74Cd	34,04Ec	51,05EFb	78,44Fa
10	WOTE	0,01Cd	6,44Gc	20,41b	46,17Ha
	GNKH	0,04EFd	12,75Fc	32,69Hb	65,31Fa
	BJ-2101S	0,38Ed	16,08Fc	42,42Gb	85,33Ea
	BJ-2101-M	0,06Efd	14,31Fc	32,65Hb	55,72Ca

*oznaczenia SAP: WOTE (SAP potasowy – 15% akryl + 85 akrylamid), GNKH (SAP sodowy – 60% akryl + 40% akrylamid), BJ-2101M (SAP sodowy 15% akryl + 85% akrylamid), BJ-2101M (SAP sodowy 15% akryl + 85% akrylamid)

**dane oznaczone takimi samymi literami nie różnią się istotnie ($p < 0,05$). Dla każdego czasu suszenia wielkie litery określają istotność różnic w kolumnie między rodzajami SAP, a małe litery istotność różnic w zależności od ilości zastosowanego SAP

Źródło: Yu i in. 2017

Te same badania (Yu i in. 2017) wykazały, że rola superabsorbenta w ograniczaniu strat wody wzrasta na glebach lżejszych, co potwierdziły również badania Li i in. (2014). Fallahi i in. (2015) udowodnili, że zastosowanie SAP dogłębowo w warunkach stresu suszy wpływa pozytywnie na efektywność wykorzystania wody (o 14%) w uprawie bawełny. SAP mogą także wywierać pewien wpływ na właściwości fizyczne gleb. Na przykład Li i in. (2014) stwierdzili, że hydrożel w dawce $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wpływa dodatnio na tworzenie dużych agregatów glebowych ($>0,25 \text{ mm}$). Pozytywny wpływ SAP na właściwości fizyczne gleby został dostrzeżony także przez Abrisham i in. (2018) (zmniejszenie jej masy objętościowej o 25,5% oraz wskaźnika infiltracji o 21,5%).

Wpływ superabsorbentów na plonowanie roślin uprawnych

Wiele badań dokumentuje pozytywny wpływ SAP na plonowanie roślin uprawianych w warunkach polowych, przy czym wielkość stosowanych dawek i zwyczaj plonu jest bardzo zmienna. Robiul i in. (2011) przeprowadzili badania polowe z pszenicą ozimą (*Triticum aestivum* L.) w warunkach suszy, stosując SAP w dawkach: 10; 20; 30 i $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W przypadku niskiej i średniej dawki wzrost plonu ziarna badanego gatunku był statystycznie nieistotny. Istotne zwiększenia plonu dotyczyły dawek 30 i $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Badania te wykazały również dodatni wpływ SAP na cechy jakościowe ziarna (zawartość białka, cukru i skrobi).

Autorzy niniejszego opracowania realizowali doświadczenia polowe z pszenicą ozimą i jara, w których stosowali dawki od 0 do 30 kg superabsorbentu (hydrożelu potasowego). Badania prowadzono na stosunkowo mocnych glebach i przyrosty plonu były niezbyt duże – poniżej 10%. Tylko w jednym przypadku wzrost ten był zdecydowanie większy, ale dotyczył on suszy, która wystąpiła w sezonie 2015/2016 w środkowej części kraju, w RZD Błonie-Topola.

Shahrajabian (2019) określił jako właściwą dawkę SAP przy uprawie kukurydzy na poziomie $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Uzyskał on wzrost plonu ziarna tego gatunku o 3,4–10%. Fallahi i in. (2015) badali możliwość wykorzystania SAP w warunkach stresu suszy w uprawie bawełny, przy czym stosowali oni SAP w dawkach: 0; 30; 60 i $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dawka $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ została określona jako wystarczająca do ograniczenia umiarkowanego stresu suszy, który był związany z 15-dniowymi interwałami w nawadnianiu. Moslemi i in. (2011) przeprowadzili badania związane ze stosowaniem SAP na glinie ilastej. Superabsorbent w tych badaniach był stosowany zarówno w formie sypkiej, jak i w formie żelu, w rzędach, na głębokość 15 cm, w dawce $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Badania przeprowadzono na kukurydzy w warunkach stresu suszy bez stresu. W stosunku do obiektu kontrolnego plon ziarna po zastosowaniu SAP w formie sypkiej był wyższy o 27%, co wynikało z wyższej masy 1000 ziaren i większej ich ilości w kolbie. Warto zaznaczyć, że w warunkach bezstresowych również zaobserwowano wzrost plonu po zastosowaniu hydrożelu.

Znacznie większe dawki superabsorbentu stosowali Yazdani i in. (2007). Najwyższa uwzględniona w badaniach dawka wynosiła $275 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, a rośliną uprawną była soja. Najniższa stosowana dawka $75 \text{ kg SAP} \cdot \text{ha}^{-1}$ zwiększała plon soi o 11%, niezależnie od sposobu stosowanego nawodnienia.

Na uwagę zasługują również badania meta-analityczne. Zheng i in. (2023) dokonali przeglądu ponad 310 publikacji obejmujących 1504 pary danych i wykazali, że średni wzrost plonów po zastosowaniu superabsorbentów wynosił 12,8%, natomiast efektywność wykorzystania wody poprawiła się o 17,2%. Największe efekty odnotowano w uprawach warzywniczych oraz roślinach bulwiastych.

Podsumowanie

Zastosowanie superabsorbentów (SAP) w nowoczesnej produkcji roślinnej może stanowić odpowiedź na jedno z najpoważniejszych wyzwań współczesnego rolnictwa, jakim jest deficyt wody spowodowany zmianami klimatu. Analiza dostępnych źródeł literaturowych oraz wyników badań dowodzi, że SAP mają korzystny wpływ nie tylko na wzrost plonów, ale również na ich jakość (zwiększenie zawartości białka, skrobi i cukrów), szczególnie w warunkach stresu suszy oraz na glebach lekkich o niskiej pojemności wodnej. Ich skuteczność zależy jednak od rodzaju zastosowanego polimeru, warunków glebowych, sposobu aplikacji oraz dawki.

Dawki określone przez różnych autorów jako odpowiednie do stosowania w praktyce mieszczą się w przedziale $30\text{--}90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, choć w badaniach eksperymentalnych wykorzystywano także znacznie większe ilości – nawet do $275 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Koszt zastosowania SAP może wydawać się wysoki, jednak w przeliczeniu na okres kilku lat działania produktu (np. 5 lat, zgodnie z deklaracjami producentów) oraz potencjalne zwwyżki plonów – może okazać się opłacalny, zwłaszcza w warunkach ograniczonej dostępności wody. W październiku 2024 r. cena hydrożelu sodowego w opakowaniach przemysłowych (np. big-bagach) wynosiła ok. $11 \text{ zł} \cdot \text{kg}^{-1}$, co przy dawce $60\text{--}90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ oznacza koszt rzędu $660\text{--}990 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dla hydrożelu potasowego – ok. 30% więcej.

Rosnące zainteresowanie praktyki rolniczej stosowaniem SAP sprzyja pojawianiu się pytań o ich wpływ na środowisko. Jeszcze do niedawna uznawano je za substancje bezpieczne i biodegradowalne, a obecnie rozważa się ich potencjalny udział w powstawaniu mikroplastiku w glebie. Procesy rozkładu SAP są złożone, powolne i zależą od wielu czynników środowiskowych, takich jak wilgotność, zasolenie, dostępność tlenu czy temperatura. Dla pełnego ich wyjaśnienia potrzeba jeszcze wiele pogłębionych badań, które pozwolą ocenić, czy ryzyko akumulacji SAP w środowisku glebowym rzeczywiście istnieje. Dopóki nie zostanie to jednoznacznie potwierdzone, SAP mogą być postrzegane jako realne narzędzie wspierające zrównoważone rolnictwo.

Dla szerokiego upowszechnienia stosowania SAP w praktyce rolniczej potrzeba jednak jeszcze wielu badań, także w zakresie sposobu ich wprowadzania do gleby. Można założyć, że największą efektywność ich działania można osiągnąć, gdy są one

rozmieszczone w bezpośredniej bliskości kiełkujących nasion, natomiast równomierne rozsiewanie SAP po całej powierzchni pola przynosi mniej spektakularne rezultaty. Dodatkowych wyjaśnień uzyskanych w ramach badań naukowych wymaga także problem wpływu obecności różnych jonów w wodzie znajdującej się w glebie na zdolność SAP do jej wchłaniania. Warto również zaznaczyć, że rosnąca dostępność hydrożeli na rynku sprzyja ich wykorzystywaniu jako komponentów nawozów mineralnych i organicznych, choć jest to zagadnienie wymagające osobnego omówienia.

Podsumowując, należy stwierdzić, że superabsorbenty mają potencjał, by stać się istotnym elementem nowoczesnych technologii produkcji – zwłaszcza w regionach narażonych na suszę. Główne bariery ich stosowania dotyczą kosztów oraz nie do końca wyjaśnionych aspektów środowiskowych. Jeśli badania wykażą, że hipotezy o negatywnym wpływie SAP na środowisko są nieprawdziwe, to do szybkiego wprowadzania ich do praktyki potrzeba jeszcze wielu badań, które wyjaśnią wszystkie aspekty związane z prawidłowym ich stosowaniem dla uzyskania najlepszego efektu.

Literatura

1. Abrisham E.S., Jafari M., Tavili A., Rabii A., Chahoki M.A.Z., Zare S., Egan T., Yazdanshenas H., Ghasemian D., Tahmoures M.: Effects of a super absorbent polymer on soil properties and plant growth for use in land reclamation. *Arid Land Research and Management*, 2018, **32**: 407-420.
2. Adjuk T.A., Nokes S.E., Montross M.D., Wendroth O.: The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: A review. *Polymers*, 2022, **14(21)**, 4721.
3. Buchmann C., Neff J., Meyer M., Bundschuh M., Steinmetz Z.: Superabsorbent polymers in soil: The new microplastics? *Environmental Science: Processes & Impacts: Cambridge University Press*, 2024, *Plastics*, **2**, e3: 1-14.
4. Dąbrowska J., Lejcuś K.: Charakterystyka wybranych właściwości superabsorbentów. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich: PAN*, 2012, **3/IV**: 59-68.
5. Fallahi H.R., Taherpour Kalantari R., Aghhavani-Shajari M., Soltanzadeh M.G.: Effect of super absorbent polymer and irrigation deficit on water use efficiency, growth and yield of cotton. *Notulae Scientia Biologicae: Notulae*, 2015, **7(3)**: 338-344; DOI: 10.15835/nsb.7.3.9626
6. Gu J.D.: Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: Recent research advances. *International Biodeterioration & Biodegradation: Elsevier*, 2003, **52(2)**: 69-91.
7. Hüttermann A., Orikiriza L.J.B., Agaba H.: Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. *Clean – Soil, Air, Water: Wiley*, 2009, **37(7)**: 517-526.
8. Li X., He J.Z., Hughes J.M., Liu Y.R., Zheng Y.M.: Effects of super-absorbent polymers on a soil–wheat (*Triticum aestivum* L.) system in the field. *Applied Soil Ecology: Elsevier*, 2014, **73**: 58-63.
9. Liu M., Gong L., Zhao W., Yang B., Chen B.: Effects of super-absorbent polymer on soil remediation and crop growth in arid and semi-arid areas. *Agronomy: MDPI*, 2020, **10(3)**, 405.
10. Moslemiz, Habibi D., Asgharzadeh A., Ardakani M.R., Mohammadi A., Sakari A.: Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. *African Journal of Agricultural Research: Academic Journals*, 2011, **6(19)**: 4471-4476.
11. Nyysölä A., Ahlgren J.: Microbial degradation of polyacrylamide and the deamination product polyacrylate. *International Biodeterioration & Biodegradation: Elsevier*, 2019, **139**: 24-33.

12. Report: Superabsorbent Polymers Market Research Report Information By Type (Sodium Polyacrylate, Polyacrylamide Copolymer, and Others), By Application (Health Care & Personal Care, Agriculture, Industry, Mining & Petroleum, and Others), And By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, And Rest Of The World) – Market Forecast Till 2032 Source: https://www.marketresearchfuture.com/reports/superabsorbent-polymers-market-1956?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2893753364&hsa_cam=20373674291&hsa_grp=150985931723&hsa_ad=665909881832&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-2086491755987&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1 (Dostęp 11.06.2025)
13. Robiul Islam M., Hu Y., Chen F., Xin Q., Egrinya Eneji A., Xue X.: Application of superabsorbent polymer: A new approach for wheat (*Triticum aestivum* L.) production in drought-affected areas of northern China. Journal of Food, Agriculture & Environment: WFL Publisher, 2011, **9(1)**: 304-309.
14. Shahrabian M.H., Sun W., Cheng Q., Khoshkham M.: The impact of soil amendment of superabsorbent polymer on grain yield and yield components of corn in center of Iran. Cercetări Agronomice în Moldova: Agricultural Research and Development Station, 2019, **LII(2, 178)**: 151-157; DOI: 10.2478/cerce-2019-0015
15. Thombare N., Mishra S., Siddiqui M.Z., Jha U., Singh D., Mahajan G.R.: Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications. Carbohydrate Polymers: Elsevier, 2018, **185**: 169-178.
16. Yazdani F., Allahdadi I., Akbari G.A.: Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. Pakistan Journal of Biological Sciences: ANSInet, 2007, **10(23)**: 4190-4196.
17. Yu J., Shi J.G., Ma X., Dang P.F., Yan Y.L., Mamedov A.I., Shainberg I., Levy G.G.: Superabsorbent polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. Soil Science Society of America Journal: SSSA, 2017; <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.07.0231>.
18. Zheng H., Li X., Wang Y., Zhang Z., Liu J.: Effects of super absorbent polymer on crop yield, water productivity and soil properties: A global meta-analysis. Agricultural Water Management: Elsevier, 2023, **282**, 108167.

Adres do korespondencji:

dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB
dr inż. Marta Wyzińska
Zakład Uprawy Roślin i Jakości Plonu
IUNG-PIB
ul. Czartosryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 47 86 814; 811
e-mail: jurek@iung.pulawy.pl
mwyzinska@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Jerzy Grabiński	0000-0003-0427-9398
Marta Wyzińska	0000-0002-2763-7955