

Jerzy Grabiński, Marta Wyzińska

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

WYKORZYSTANIE SUPERABSORBENTÓW W ROLNICTWIE*

Słowa kluczowe: superabsorbenty, wilgotność gleby, dawki superabsorbentów, plonowanie roślin uprawnych, jakość plonu.

Wstęp

Niedobór wody słodkiej jest głównym globalnym problemem środowiskowym XXI wieku (17), a jednym z najważniejszych jej konsumentów jest produkcja roślinna (13). W Europie do obszarów o szczególnie dużym niedoborze opadów należą na ogół kraje w południowej części kontynentu, takie jak Włochy, Hiszpania, czy Portugalia. Ostatnie dekady (zwłaszcza dwa ostatnie lata) wskazują na to, że susze stają się również problemem krajów innych części Europy, w tym także Europy Środkowej. Dlatego prowadzone są liczne badania naukowe (także w naszym kraju) nad możliwościami ograniczania skutków niekorzystnych zmian pogodowych związanych z niedoborem opadów. Sporo miejsca w badaniach zajmują w związku z tym elementy agrotechniki związane z bezorkową uprawą gleby. Ograniczona intensywność uprawy roli zmniejsza straty materii organicznej, która po przekształceniu w próchnicę odgrywa istotną rolę w kształtowaniu pojemności wodnej gleby. Wyniki badań prowadzonych w różnych ośrodkach naukowych w ostatnich dwóch dziesięcioleciach wskazują, że pewną rolę w polepszeniu wykorzystania wody mogą odegrać także superabsorbenty (zwane dalej w pracy także SAP od ang. *superabsorbent polymer*), których najważniejszym walorem jest posiadanie bardzo dużych możliwości wchłaniania wody.

Synteza pierwszego polimeru absorbującego wodę miała miejsce tuż przed II wojną światową (1938 rok). Odkrycie to przypisuje się Kernowi, który spolimeryzował diwinylobenzen w środowisku wodnym (4). Pod koniec lat 50. XX wieku pojawiła się pierwsza generacja hydrożeli oparta głównie na metakrylanie hydroksyalkilu o zdolności pęcznienia do 40-50%, wykorzystanych do opracowania metody produkcji

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

soczewek kontaktowych, które wprowadziły rewolucyjne zmiany w okulistyce (3).

Pierwszy komercyjny SAP został wyprodukowany w latach 70. XX wieku w Stanach Zjednoczonych. Wysokie koszty i niedostateczna zdolność sorbowania sprawiły jednak, że produkt o nazwie HSPAN nie osiągnął sukcesu na rynku (2).

W 1978 roku w Japonii użyto SAP do produkcji higienicznych chusteczek dla kobiet. Natomiast wykorzystywanie SAP do produkcji pieluch rozpoczęto w 1980 roku we Francji i Niemczech, a następnie szerokie wykorzystanie tych produktów odnotowano w USA i innych państwach Europy, a także krajach azjatyckich. Pod koniec 1990 r. światowa produkcja SAP przekroczyła już 1 milion ton (2).

Celem pracy jest charakterystyka superabsorbentów i określenie możliwości ich stosowania w produkcji rolniczej.

Rodzaje superabsorbentów

Zasadniczo SAP dzieli się na dwie grupy związane z ich pochodzeniem – naturalne i syntetyczne. Do pierwszej grupy zalicza się polisacharydy (np. celuloza, skrobia, alginiany czy agaroza) oraz polipeptydy (np. żelatyna, czy kolagen). Syntetyczne SAP opierają się na produktach petrochemicznych (kwas poliakrylowy, kwas metakrylowy, octan winylu, glikol). Charakteryzują się wyższą hydrofobowością i wytrzymałością mechaniczną oraz trwałością niż naturalne. Podstawą do podziału superabsorbentów może być także obecność lub brak ładunku elektrycznego w tworzącej go sieci (jonowe, niejonowe, amfoteryczne, dwubiegunowe). Większość obecnych na rynku SAP ma charakter anionowy. Można również dzielić polimery w zależności od stopnia zróżnicowania ich składu. W takim przypadku wyróżniamy: homopolimery (sieć składająca się z jednego rodzaju polimeru), kopolimery (z dwu lub więcej rodzajów polimerów), wielopolimery (dwa niezależnie usieciowane, syntetyczne i/lub naturalne polimery). Jeszcze inny podział SAP związany jest z ich strukturą fizyczną, i wtedy wyróżniamy superabsorbenty bezpostaciowe, półkrystaliczne i krystaliczne); (2).

Zasadniczo wyróżnia się trzy sposoby wytwarzania superabsorbentów: masową polimeryzację i odwróconą polimeryzację suspensyjną.

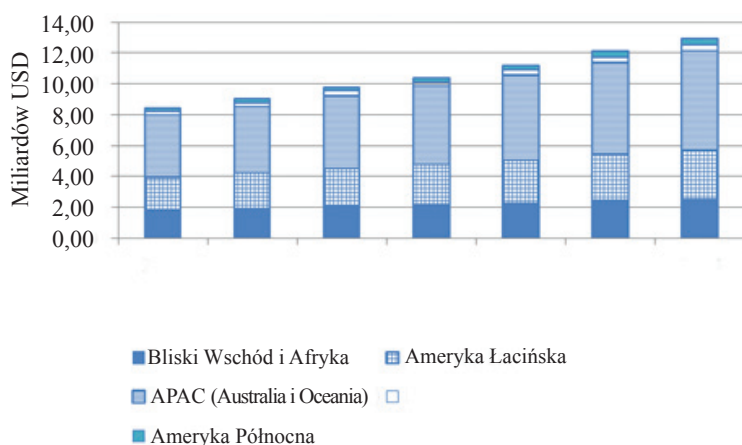
Właściwości superabsorbentów

Podstawową cechą superabsorbentów jest wysoka chłonność wody, której nie traci nawet przy wielokrotnym wchłanianiu i wysychaniu. Jeden gram SAP może absorbować nawet 1000 g wody, choć zwykle ilość ta nie jest większa niż 600 g $H_2O \cdot g^{-1}$ superabsorbenta. Możliwe do nabycia na rynku superabsorbenty różnią się wielkością cząstek, co nie jest bez wpływu na ich walory związane z wchłanianiem wody. Dąbrowska i Lejcuś (6) stwierdzili, że najlepiej chłoną wodę superabsorbenty o średnim uziarnieniu, bo w drobnym SAP część cząstek bierze udział w absorpcji wody tylko w ograniczonym stopniu. Warunki termiczne mają znaczenie w zakresie

ilości wchłanianej wody, ale dotyczy to tylko początkowego okresu. Ponadto wymienieni autorzy potwierdzili, że obecność jonów w roztworze zmniejsza zdolności sorpcyjne SAP. Poza tym superabsorbenty są bezbarwne, bezwonne i nietoksyczne, oraz biodegradowalne. Dotychczasowe badania wskazują, że nie ma podstaw do tego, by zaliczyć superabsorbenty do grupy substancji szkodliwych dla człowieka i środowiska. Wprawdzie substancje wykorzystywane do ich produkcji mogą być toksyczne, ale te wyjściowe toksyczne monomery są przekształcane chemicznie w całkowicie nietoksyczne produkty poprzez reakcję polimeryzacji (21). Tradycyjne SAP są zatem neutralne i obojętne, oraz biodegradowalne mikrobiologicznie, a ich ostatecznym produktem rozkładu jest dwutlenek węgla, woda i materia organiczna. LD50 przyjmuje się dla SAP na poziomie 5000 mg·kg⁻¹.

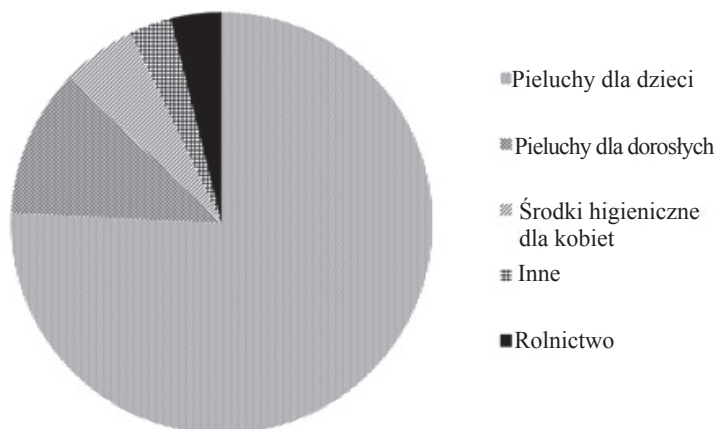
Rynek światowy SAP

Prognozy wykonywane przez różne agencje wskazują, że rynek superabsorbujących polimerów będzie w najbliższych latach rozwijał się i w połowie następnej dekady powinien wolumen ich produkcji zbliżyć się do 13 mld USD (19); (rys. 1). Skumulowany roczny *wskaźnik* wzrostu produkcji SAP (ang. *Compound Annual Growth Rate* – CAGR) wyniesie według tej prognozy 7,4%. Kluczowymi producentami SAP pozostają niezmiennie BASF SE, Formosa Plastics Corporation, LG Chemicals Ltd., SDP Global Co., Ltd, Songwon Industrial Co., Ltd., Evonik Industries AG, KAO Corporation, Nippon Shokubai Co., Ltd., Sumitomo Seika Chemicals Co. Sp. z o.o. (18).



Rys. 1. Wielkość światowego rynku SAP (2018-2024)

Źródło: www.marketsandmarkets.com (19)



Rys. 2. Światowy rynek SAP w 2018 roku w procentach

Źródło: Stahl i in., 2000 (18)

Zasadnicza większość SAP wykorzystywana jest do produkcji pieluch dla dzieci i środków higienicznych dla dorosłych i kobiet, natomiast wykorzystanie SAP w rolnictwie jest relatywnie niewielkie (18); (rys. 2). Jednak publikowane prognozy wskazują, że w najbliższych latach zainteresowanie wykorzystaniem SAP w tym zakresie będzie także zwiększało się. W szczególności zwiększone zainteresowanie SAP w produkcji rolniczej dotyczy regionów, gdzie występują bardzo duże okresowe niedobory wody.

Superabsorbenty jako czynnik wiążący wodę w glebie

Aby osiągnąć odpowiednio wysoki i dobrej jakości plon producent musi zapewnić roślinom właściwe warunki do wzrostu i rozwoju w ciągu całego okresu wegetacji, w tym w szczególności w zakresie uwilgotnienia gleby. Niedostateczna ilość wody w glebie, zwłaszcza w okresach krytycznych, prowadzi nieuchronnie do strat w plonie i jego jakości. Dlatego też szczególnego znaczenia w technologii produkcji nabierają te zabiegi, które w największym stopniu decydują o pojemności wodnej gleby, oraz zmniejszeniu strat wody poprzez spływy powierzchniowe. Literatura na temat wpływu stosowania SAP na zdolność gleby do magazynowania wody jest stosunkowo bogata. Modelowe badania określające rolę superabsorbenta w ograniczaniu wysychania gleby przeprowadził m.in. Yu i in. (26). Wynika z nich, że dodawanie superabsorbenta do gleby istotnie ogranicza straty wody, niezależnie od rodzaju zastosowanego superabsorbenta. Należy przy tym zaznaczyć, że różnice między rodzajami zastosowanych superabsorbentów w zakresie ograniczania strat wody były stosunkowo duże (tab. 1).

Tabela 1

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

Czas suszenia (h)	Rodzaj SAP	Dawka SAP (w %)			
		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

* 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 wierszach w zależności od ilości zastosowanego SAP. 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)

Źródło: Yu i in., 2017 (26)

W tych samych badaniach Yu i in. (26) wykazali również, że efektywność superabsorbentu w ograniczaniu strat wody zależy od rodzaju gleby (tab. 2). Wyniki jakie uzyskali nie są jednoznaczne, ale można z nich wnioskować, że zwłaszcza w przypadku gleb lżejszych rola superabsorbenta w podwyższaniu retencji wodnej może być bardzo duża (tab. 2).

Tabela 2

Retencja wody g g^{-1} przez hydrożel potasowy WOTE w zależności od dawki

Czas suszenia (h)	Rodzaj gleby	Dawka SAP (w %)			
		0,1	0,5	1	2
0	piasek gliniasty	44,2Cb*	57,94Ba	53,68Aab	48,5Aab
	głina ilasta	46,57Ca	39,76Ba	37,93Ca	38,42Ba
5	piasek gliniasty	53,37Ba	64,74Aa	49,36Aba	38,05Bb
	głina ilasta	119,97Aa	46,94Bb	42,7Bb	34,92Bb
10	piasek gliniasty	0,33Dc	14,05Cb	22,23Da	24,85Ca
	głina ilasta	54,6Ba	24,33Cb	25,09Db	22,07Cb

* 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 wierszach w zależności od ilości zastosowanego SAP

Źródło: Yu i in., 2017 (26)

Abrisham i in. (1) prowadzili badania nad możliwością wykorzystania SAP w działaniach rekultywacyjnych. Wykazano w nich, że zastosowanie SAP w ilości 3 g dm^{-3} zwiększało ilość dostępnej wody nawet o 68,5%. Li i in. (11) stosowali dwa rodzaje hydrożelu w dawce $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, aby określić ich wpływ na wzrost, rozwój i plonowanie pszenicy ozimej. Wykazali, że w obiektach z SAP znacznie zwiększa

się zawartość wody w glebie (SWC) i maksymalna wilgotność higroskopijna gleby (SMHM) w stosunku do kontroli, w czasie rozwoju kłosa i wypełniania ziarna pszenicy, nie stwierdzono jednak wpływu SAP na ilość dostępnej wody w glebie (AWC). W fazie nalewania ziarna. Fallahi i in. (8) badali możliwość wykorzystania SAP w warunkach stresu suszy w uprawie bawełny. Zastosowane superabsorbenty w dawce 60 kg ha^{-1} poprawiały efektywność zużycia wody (WUE) o 14%. Liao i in. (12) przeprowadzili doświadczenie wazonowe z zastosowaniem SAP w dawkach 0,01, 0,03 i 0,06%, wykazując duży wpływ SAP na dyfuzję wody w glebie. W badaniach tych zmniejszenie dyfuzji w początkowym okresie 0-10 dni od zastosowania SAP mieściło się w zakresie od 30,6 do 76,6%, a poprawa retencji wodnej wynosiła od 2,7 do 26,5%.

Wpływ SAP na właściwości fizyczne i aktywność mikrobiologiczną gleby

Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że SAP mogą wywierać pewien wpływ na właściwości fizyczne i chemiczne gleby oraz na jej aktywność mikrobiologiczną. Na przykład Li i in. (10) stwierdzili, że hydrożel w dawce 200 kg ha^{-1} wpływa dodatnio na tworzenie dużych agregatów glebowych (wielkość cząstek $> 0,25 \text{ mm}$) oraz nie prowadzi do niekorzystnego wpływu na społeczność drobnoustrojów glebowych, a nawet zwiększa ich aktywność. W badaniach Abrisham i in. (1) również potwierdzono wpływ pozytywny SAP na właściwości fizyczne gleby, a w szczególności na zmniejszenie masy objętościowej o 25,5% i wskaźnika infiltracji o 21,5%. Superabsorbent wpływał również na chemiczne właściwości gleby – najwyższa dawka SAP (3 g dm^{-3}) zwiększała zdolność wymiany kationów glebowych w porównaniu z kontrolą nawet o 31%.

Li i in. (2019) zauważyli, że SAP może odegrać istotnie pozytywną rolę w zwiększaniu efektywnego oddziaływania pożytecznych bakterii (*Paenibacillus beijingensis* i *Bacillus* sp.) na rośliny pszenicy i ogórka. W innych badaniach (12) zastosowanie SAP znacznie zmniejszyło przepuszczalność hydrauliczną gleby. W okresie od 0 do 50 dni od zastosowania SAP średnie spadki nienasyconej przepuszczalności wyniosły od 65,6 do 94,1%.

Wpływ superabsorbentów na plonowanie roślin uprawnych

Wiele badań dokumentuje pozytywny wpływ SAP na plonowanie roślin uprawnych, przy czym wielkość stosowanych dawek i zwyczaj plonu jest bardzo zmienna, co sugeruje, że o roli superabsorbenta w ograniczaniu strat plonu decyduje wiele różnych czynników. Robiul i in. (15) przeprowadzili badania polowe z pszenicą ozimą (*Triticum aestivum* L.) w warunkach suszy w sezonie wegetacyjnym 2009-2010, ze stosowaniem różnych poziomów SAP (mała dawka – 10 kg/ha , średnia – 20 kg ha^{-1} ; duża 30 kg ha^{-1} i bardzo duża - 40 kg ha^{-1}). W przypadku małej i średniej dawki wzrost plonu ziarna badanego gatunku był statystycznie nieistotny, ale po zastosowaniu dużej

i bardzo dużej dawki ten wzrost wynosił odpowiednio 30,8 i 30,0%. Zwyżka plonu wynikała z pozytywnego wpływu hydrożelu na parametry wzrostu roślin i strukturę plonu (tab. 3). Należy dodać, że również pozytywny wpływ SAP na rośliny pszenicy znalazł swoje odzwierciedlenie w cechach jakości (zawartość białka, cukru i skrobi); (tab. 4). Uzyskane wyniki pozwoliły autorom na określenie dawki SAP wynoszącej 30 kg·ha⁻¹ jako optymalnej do zastosowania w produkcji. Wyższa dawka (40 kg·ha⁻¹) aczkolwiek bardziej zwiększająca plony, to jednak ze względów ekonomicznych nie została wskazana jako odpowiednia.

Tabela 3
Cechy roślin w łanie i struktury plonu pszenicy w zależności od dawki superabsorbentu

Dawka SAP w kg·ha ⁻¹	Wysokość roślin w cm	Rozkrzewienie	Odsetek pędów produkcyjnych (%)	Liczba kłosów na 1 m ²	Liczba ziaren w kłosie	Masa 1000 ziaren
0	65,5b	4,92d	77,8c	1290b	90,6c	48,9c
10	64,7b	4,98d	81,1bc	1400ab	98,7bc	50,3c
20	67,7a	5,41cd	85,6ab	1404ab	104,1ab	54,0bc
30	72,3a	6,23b	90,2a	1526a	110,9a	58,9ab
40	72,1a	6,90a	90,3a	1553a	114,6a	62,8a
Średnia	68,5	5,69	85,0	1434	103,8	54,9
NIR (0,05)	5,31	0,66	6,32	194,5	12,1	6,12

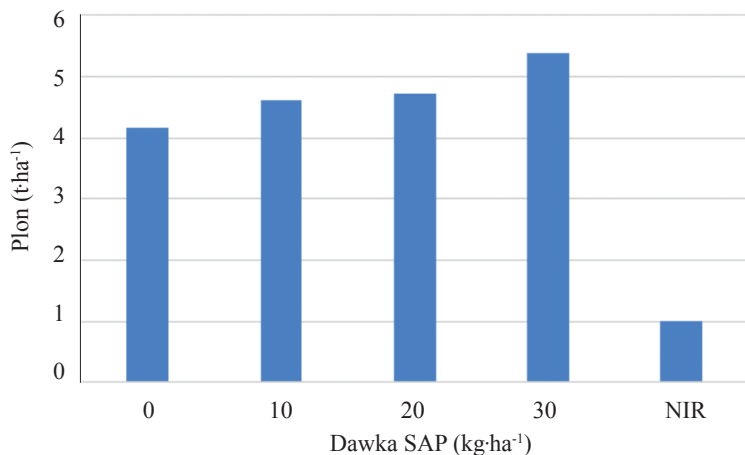
Źródło: Robiul Islam i in., 2011 (15)

Tabela 4
Wybrane cechy jakości ziarna pszenicy w zależności od dawki superabsorbentu

Dawka SAP w kg/ha	Białko surowe (%)	Rozpuszczalne węglowodany (%)	Skrobia (%)
0	14,9±0,83	4,08±0,13	48,1±3,78
10	15,1±0,48	4,03±0,20	47,2±2,59
20	17,2±0,49	4,62±0,21	51,1±2,44
30	17,9±0,38	4,97±0,26	55,7±1,75
40	18,2±0,44	4,98±0,28	53,9±2,22
Średnia	16,6	4,54	51,2
NIR (0,05)	1,74	0,70	8,35

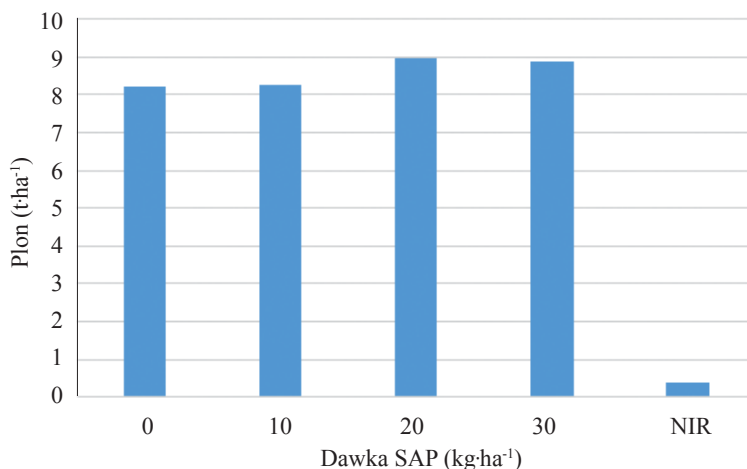
Źródło: Robiul Islam i in., 2011 (15)

Autorzy niniejszego opracowania (9 i 24) w doświadczeniach polowych z pszenicą ozimą i jara, w których stosowali dawki od 0 do 30 kg superabsorbentu (hydrożelu potasowego), za optymalną uznali ilość 30 SAP kg·ha⁻¹. Przy czym największe przyrosty plonu wskutek zastosowania superabsorbentu uzyskiwano w przypadku obu wymienionych gatunków w warunkach bardzo dużych niedoborów opadów, jakie miały miejsce w centralnej Polsce (Rolniczy Zakład Doświadczalny Błonie –Topola) w 2016 roku (rys. 3). W tym samym roku w Polsce środkowo-wschodniej (RZD Osiny) stres suszy w przypadku zbóż praktycznie nie występował i wówczas rola superabsorbentu w kształtowaniu plonu była zdecydowanie mniejsza (rys. 4).



Rys. 3. Plon ziarna pszenicy jarej (t·ha⁻¹) w zależności od zastosowanej dawki hydrożelu w roku 2016 w miejscowości Błonie-Topola

Źródło: Grabiński i Wyzińska, 2018 (9)



Rys. 4. Plon ziarna pszenicy ozimej (t·ha⁻¹) w zależności od zastosowanej dawki hydrożelu w roku 2016 w miejscowości Osiny

Źródło: Wyzińska i Grabiński, 2018 (24)

Również Shahrajabian i in. (16) określili jako właściwą dawkę SAP na poziomie 30 kg ha⁻¹, a rośliną uprawną była w tych badaniach kukurydza, której plon był wyższy po zastosowaniu superabsorbentu o 3,4-10%. Natomiast Fallahi i in. (8) badali możliwość wykorzystania superabsorbentów w warunkach stresu suszy w uprawie bawełny, przy czym stosując 0, 30, 60 i 90 kg SAP na 1 ha ustalili, że dawka 60 kg ha⁻¹, była wystarczająca do ograniczenia umiarkowanego stresu suszy,

związanego z 15 dniowymi interwałami w nawadnianiu i wpływała pozytywnie zwiększając: wysokość i suchą masę rośliny, liczbę torebek na roślinie oraz wydajność włókna odpowiednio o: 16, 28, 42 i 10% w stosunku do kontroli.

Moslemi i in. (14) przeprowadzili badania związane ze stosowaniem SAP na glinie ilastej, stosując superabsorbent zarówno w formie sypkiej, jak i w formie żelu w rzędach, na głębokość 15 cm (dawka w przeliczeniu na 1ha wynosiła 110 kg). Ponadto w badaniach tych stosowano szczepionki bakteryjne. Badania przeprowadzono w uprawie kukurydzy w warunkach stresu suszy i bez stresu. Zastosowanie SAP w warunkach stresu suszy wpłynęło pozytywnie na plon ziarna, który zwiększył się po zastosowaniu SAP w formie sypkiej w stosunku do kontroli o 27%, co wynikało z wyższej masy 1000 ziaren i większej ich liczby w kolbie. Warto zaznaczyć, że w warunkach bezstresowych również zaobserwowano wzrost plonu po zastosowaniu hydrożelu. Znacznie większe dawki superabsorbentu stosowali Yazdani i in. (25) w uprawie soi (od 75 do 275 kg·ha⁻¹). Najniższa dawka SAP zwiększała średnio (niezależnie od sposobu stosowanego nawodnienia) plon soi o 11, a najwyższa ponad 30% (tab. 5).

Tabela 5

Wpływ różnych dawek SAP i długości okresów między kolejnymi podlewaniami roślin na plonowanie soi

Długość okresu między kolejnymi podlewaniami (dni)	Dawka SAP w kg·ha ⁻¹				
	0	75	150	275	Średnia
6	4533±177	4872±347	4982±69	6417±468	5201
8	4033±194	4542±239	4778±289	5079±112	4608
10	3950±150	4424±276	4482±234	4990±154	4461
Średnia	4172±182	4613±134	4748±145	5495±461	

Źródło: Yazdani i in., 2007 (25)

Podsumowanie

Produkcja SAP na świecie ciągle rośnie, a główne wykorzystanie tych substancji związane jest z higieną ludzi. Wykorzystanie SAP w innych gałęziach gospodarki jest zdecydowanie mniejsze, ale także zwiększa się. W szczególności pojawiają się tendencje do wzrostu wykorzystania SAP w rolnictwie krajów mających największe problemy z niedoborem opadów. Ostatnie lata wskazują, że tego rodzaju problemy występują w coraz większym nasileniu także w naszym kraju, co potwierdza przebieg pogody w obecnym sezonie wegetacyjnym 2019-2020, w którym po zupełnie beżśnieźnej zimie, miały miejsce trwające nawet ponad 1,5 miesięczne okresy bez opadów.

Długie okresy bez deszczu zwłaszcza na glebie lżejszej są zawsze powodem bardzo dużych obniżek wielkości i jakości plonu. Dlatego dążenie do zwiększenia możliwości magazynowania wody na takich glebach jest bardzo ważnym wyzwaniem.

Na razie trudno jednoznacznie stwierdzić, czy superabsorbenty znajdą większe zastosowanie w rozwiązaniu problemów z niedoborami opadów w naszym kraju.

Wyniki badań polowych zamieszczone w tym opracowaniu wskazują, że taka możliwość istnieje. Jeżeli zatem w związku ze zmianami klimatycznymi niedobory opadów będą coraz większe, a ceny SAP ulegną obniżeniu, to rolnictwo może w większym stopniu zacząć wykorzystywać tego typu substancje. Trzeba jednak podkreślić, że brakuje badań związanych ze stosowaniem SAP w odniesieniu do poszczególnych gatunków roślin uprawnych. Dlatego też zasadne jest podejmowanie badań zmierzających do wyjaśnienia zagadnień dotyczących ilości wody wiązanej w różnych warunkach glebowych, wielkości dawek, techniki stosowania SAP, czy też problemów ekologicznych i ekonomicznych, związanych z rozkładem SAP w glebie i opłacalnością ich stosowania w rolnictwie.

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. Behera S., Mahanwar P.A.: Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2019. <https://doi.org/10.1080/25740881.2019.1647239>
3. Brannon-Peppas L., Harland R. S.: *Absorbent Polymer Technology*, Elsevier, Amsterdam, 1990: 1-4.
4. Buchholz F. L., Graham A. T.: *Modern Superabsorbent Polymer Technology*, Wiley-VCH, New York, 1998, 1-7.
5. Buchholz F. L., Peppas N.A.: *Superabsorbent Polymers Science and Technology*, ACS Symposium Series, 573, American Chemical society, Washington, 1994, 2- 9.
6. Dąbrowska J., Lejcuś K.: Charakterystyka wybranych właściwości superabsorbentów. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2012, **3/IV**: 59-68.
7. Dayal U., Mehta S.K., Choudhari M. S., Jain R.: Synthesis of acrylic superabsorbents, *J. Macromol Sci.*, 1999, **C39**: 507-525.
8. 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, 2015, www.notulaebiologicae.ro (data dostępu 09.02.2020 r.)
9. Grabiński J., Wyzińska M.: The effect of super-absorbent polymer application on yielding of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Conference "Research for Rural Development 2018", vol. 2, *Agricultural Sciences (Crop Science, Animal Science)*, 2018: 55-61. DOI: 10.22616/rrd.24.2018.051
10. 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*, 2014, **73**: 58-63.
11. Li Y., Shi H., Zhang H., Chen S. : Amelioration of drought effects in wheat and cucumber by the combined application of super absorbent polymer and potential biofertilizer, 2019, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6330032/> (data dostępu 20.04.2020 r.).
12. Liao R., Wu W., Ren S., Yan P.: Effects of Superabsorbent Polymers on the Hydraulic Parameters and Water Retention Properties of Soil, *J. Nanomaterials*, <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2016/5403976/> (data dostępu 11.03.2020 r.).
13. Morison J. I. L., Baker, N. R., Mullineaux P. M., Davies W. J.: Improving water use incrop production. *Philos. Trans. Biol. Sci.*, 2008, **363**: 639-658.
14. Moslemi Z., 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 J. Agric. Res.*, 2011, **6(19)**: 4471-4476.
15. Robiul Islam M., Hu Y., Chen F., Xin Q., Egrinya Eneji A., Xuzhang Xue.: Application of superabsorbent polymer: A new approach for wheat (*Triticum aestivum* L.) production in drought-affected areas of northern China. *J. Food, Agric. Env.*, 2011, **9(1)**: 304-309.

16. Shahrajabian M.H., Sun W., Cheng Q., Khoshkharam 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*, 2019, LII, **2(178)**: 151-157.
17. Srinivasan V., Lambin E.F., Gorelick S.M., Thompson B.H., Rozelle S.: The nature and causes of the global water crisis: syndromes from a meta analysis of coupled human water studies. *Water Resour. Res.*, 2012, **48(10)**: 1-16. DOI: 10.1029/2011wr011087.
18. Stahl J. D., Cameron M. D., Haselbach J., Aust S. D.: Biodegradation of superabsorbent polymers in soil, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2000, **7**: 83-88.
19. Super Absorbent Polymer (SAP) Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Female Hygiene Products, Baby Diapers, Agriculture, Adult Incontinence Products), By Region, And Segment Forecasts, 2019-2025. <https://www.grandviewresearch.com> (data dostępu 11.03.2020 r.).
20. Super Absorbent Polymers (SAP) Market by Type (Sodium Polyacrylate, Polyacrylate/ Polyacrylamide, Copolymers), Application (Personal Hygiene, Agriculture, Medical, Industrial, Packaging, Construction, Oil & Gas), Region – Global Forecast to 2024. <https://www.marketsandmarkets.com> (data dostępu 05.03.2020 r.).
21. 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. *Carbohydr. Polym.*, 2018, **185**: 169-178.
22. Tohidi-Moghadam H. R., Shirani-Rad A. H., Nour-Mohammadi G., Habibi D., Modarres-Sanavy S.A.M., Mashhadi-Akbar-Boojari M., Dolatabadian A.: Response of six oilseed rape genotypes to water stress and hydrogel application. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 2009, **39(3)**: 243-250.
23. Tohidi-Moghadam H.R., Zahedi Ghooshchi F.: Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 2011, **41(4)**: 579-586.
24. Wyzińska M., Grabiński J.: The influence of autumn sowing date on the productivity of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Conference “Research for Rural Development 2018”, vol. 2, Agricultural Sciences (Crop Science, Animal Science), 2018: 35-41. DOI: 10.22616/rrd.24.2018.051
25. 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 J. Biol. Sci.*, 2007, **10(23)**: 4190-4196.
26. 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 Sci. Society of America J.*, 2017, **81(4)**: 889-901.
27. Zhao W., Cao T., Dou P., Sheng J., Luo M.: Effect of various concentrations of superabsorbent polymers on soil particle-size distribution and evaporation with sand mulching; <https://www.readcube.com/articles/10.1038%2Fs41598-019-39412-x> ((data dostępu 07.03.2020 r.).
28. Zohuriaan-Mehr M.J.: Super-Absorbents (in Persian), Iran Polymer Society, Teheran, 2006: 2-4.

Adres do korespondencji:

dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
Tel. 81 4786 811
e-mail: jurek@iung.pulawy.pl

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

