

IZABELA PRZETACZEK-ROŻNOWSKA, JACEK ROŻNOWSKI,
TERESA FORTUNA, KAMILA SZUBELAK-IŻYK

WPLYW JONÓW MIEDZI NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE SKROBI RÓŻNEGO POCHODZENIA BOTANICZNEGO

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu wysycania skrobi różnego pochodzenia jonami miedzi na wybrane właściwości fizykochemiczne otrzymanych preparatów skrobiowych.

Materiał badawczy stanowiły: skrobia ziemniaczana, pszenna oraz kukurydziana, które poddano modyfikacji przez wbudowanie jonów miedzi metodą przemycania skrobi roztworami siarczanu(VI) miedzi(II) o trzech różnych stężeniach. W skrobiach naturalnych oraz modyfikowanych chemicznie oznaczono ilość wbudowanych jonów miedzi oraz zawartość sodu, potasu, wapnia oraz magnezu metodą ASA. Ponadto oznaczono zawartość: suchej masy, amylozy, białka, tłuszczu, fosforu, a także przeprowadzono analizę zdolności wiązania wody i rozpuszczalności w temperaturze: 40, 60 i 70 °C.

Przeprowadzona analiza dowiodła obecności jonów miedzi w badanych preparatach skrobi modyfikowanych i wypłukania z nich jonów sodu, potasu, wapnia i magnezu. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że modyfikacja chemiczna skrobi metodą wysycania miedzią nie wpłynęła na zawartość amylozy i białka w preparatach, ale istotnie zmniejszyła zawartość tłuszczu. Stwierdzono również wpływ wzbogacania skrobi w jony miedzi na zdolność wiązania wody i rozpuszczalność w wodzie. Zmiany te zależały zarówno od stężenia roztworu użytego podczas modyfikacji, jak również od pochodzenia botanicznego skrobi.

Słowa kluczowe: skrobia modyfikowana, jony miedzi, właściwości fizykochemiczne skrobi

Wprowadzenie

Skrobia jest naturalnym biopolimerem, występującym w przyrodzie w wielu roślinach. Polimer ten podatny jest na modyfikacje czynnikami fizycznymi i chemicznymi, dlatego też skrobia jest surowcem o różnorodnym zastosowaniu w wielu gałęziach przemysłu, zwłaszcza w przemyśle spożywczym. Wykorzystuje się jej naturalne

właściwości tworzenia żeli i zagęszczania. Używa się jej głównie w postaci przetworzonej, ale jest także stosowana w postaci naturalnej. Skrobia nadaje produktom odpowiednią teksturę, wygląd, konsystencję oraz trwałość podczas przechowywania [17].

Technolodzy poszukują nowych zastosowań skrobi w produkcji żywności. Prowadzone są badania mające na celu lepsze poznanie właściwości fizykochemicznych i reologicznych skrobi naturalnej oraz jej modyfikatów.

Pojawianie się na rynku nowych produktów spożywczych wysoko przetworzonych może być przyczyną mniejszego spożycia niektórych witamin i składników mineralnych, dlatego podejmowane są próby wzbogacania skrobi mikroelementami. Skrobia jest dobrym nośnikiem, czyli substancją łatwo dostępną, wykorzystywaną w wytwarzaniu wielu produktów spożywczych, niezmieniającą ich jakości i smaku [15].

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu stężenia roztworów siarczanu(VI) miedzi(II) na stopień wzbogacania skrobi różnego pochodzenia w miedź oraz analiza wpływu wbudowanych jonów miedzi na wybrane właściwości fizykochemiczne skrobi.

Materiał i metody badań

Materiał badawczy stanowiły skrobie: ziemniaczana (PEPEES S.A., Łomża), kukurydziana (Cargill, Kąty Wrocławskie) oraz pszenna (Krüner Stärke, Ibbenbüren). Skrobie wyjściowe poddano modyfikacji przez wbudowanie jonów miedzi metodą przemywania skrobi roztworami $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ o trzech stężeniach: 2,3 g, 9,2 g lub 36,6 g jonów miedzi w 1000 ml roztworu. Wysycanie skrobi jonami miedzi rozpoczęto od nawodnienia 100 g skrobi, używając do tego celu 250 cm³ wody dejonizowanej i mieszając tak przygotowaną zawiesinę przez 5 min. Następnie zawiesinę przenoszono ilościowo na lejek Shotta G3 i odsączano nadmiar wody przy obniżonym ciśnieniu, wykorzystując w tym celu pompę próżniową, po czym odłączano pompę i dodawano 200 cm³ roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) i ponownie mieszano mieszadłem elektrycznym przy prędkości 330 obr./min przez 5 min. Po upływie tego czasu odsączano nadmiar roztworu. Proces ten powtarzano jeszcze dwukrotnie. Po zakończeniu modyfikacji próbkę przepłukiwano wodą dejonizowaną aż do zaniku jonów siarczanowych. Uzyskaną skrobię suszono na bibule, na wolnym powietrzu, do wilgotności ok. 10 % i mielono w młynku Retsch RM200. Po zmieleniu preparatów przesiewano je przez sita Retsch AS200 o średnicy 250 µm (preparaty skrobi ziemniaczanej) lub 125 µm (preparaty skrobi kukurydzianej i pszennej). Proces przemywania, suszenia i rozdrabniania skrobi prowadzono kilkakrotnie do uzyskania ok. 1 kg każdej ze zmodyfikowanych skrobi. Uzyskane porcje poszczególnych rodzajów skrobi mieszano w celu uzyskania uśrednionych preparatów skrobiowych, które stanowiły materiał do dalszych badań.

Wszystkie próbki skrobi wyjściowych oraz wysycanych jonami miedzi poddawano analizie na zawartość wybranych mikro- i makroelementów przy zastosowaniu atomowej spektrometrii absorpcyjnej ASA. Ponadto oznaczano w nich zawartość: suchej masy [13], amylozy [7], białka [10], tłuszczu [12], fosforu [11], a także przeprowadzono oznaczenia zdolności wiązania wody i rozpuszczalności w wodzie [14] w temp.: 40, 60 i 70 °C. Wszystkie przeprowadzone oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach ($n = 3$).

Oznaczenia składników mineralnych wykonywano aparatem ASA firmy GBC, typ Avanta Sigma, przy długości fali λ odpowiednio: Cu – 324,7 nm, Na – 589 nm, Mg – 422,7 nm, Ca – 285, 2 nm oraz K – 769 nm.

Do mineralizacji próbek podczas oznaczania zawartości białka używano pieca do mineralizacji firmy Büchi, model Unit Digestion B-426, a destylację prowadzono w aparacie destylacyjnym Destillation Unit B-324 tej samej firmy. Zawartość białka obliczano mnożąc ilość oznaczonego azotu zawartego w próbkach przez równoważnik białkowy wynoszący 6,25.

Podczas analizy zawartości tłuszczu przeprowadzano hydrolizę próbek skrobi 2M HCl pod chłodnicami zwrotnymi, a następnie prowadzono ekstrakcję w aparacie firmy Büchi, Extraction System, typ B-811, stosując eter naftowy jako rozpuszczalnik.

W trakcie oznaczeń zawartości fosforu oraz zawartości amylozy używano spektrofotometru UV/VIS firmy Jasco, typ V-530.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie stosując analizę wariancji przy wykorzystaniu programu Statistica 9.0 (ANOVA, test HSD Tukey'a, $p = 0,05$).

Wyniki i dyskusja

Skrobia coraz częściej wykorzystywana jest w przemyśle jako nośnik składników mineralnych [15]. Przeprowadzona analiza atomowej spektrometrii absorpcyjnej potwierdziła brak miedzi w skrobiach naturalnych i dowiodła efektywności procesu modyfikacji, gdyż we wszystkich skrobiach modyfikowanych oznaczono istotną zawartość jonów tego składnika mineralnego (tab. 1). Najwięcej miedzi zostało wprowadzone do skrobi ziemniaczanej. Prawdopodobnie przyczyniła się do tego największa zawartość fosforanów w tej skrobi (tab. 2), które przypuszczalnie związały znaczącą ilość jonów miedzi. Dowodzi to, że na proces adsorpcji miedzi wpływają nie tylko grupy karboksylowe [15], ale także ilość fosforanów w skrobi. Hipotezę tę potwierdza mniejsza efektywność adsorpcji miedzi przez skrobię pszenną, a tym bardziej kukurydzianą, które charakteryzowała istotnie mniejsza zawartość fosforu (tab. 2 i 3).

Stwierdzono, że tylko w przypadku modyfikacji skrobi pszennej istotne było stężenie użytych roztworów siarczanu(VI) miedzi(II). Ilość wbudowanej miedzi w przypadku tego polimeru była tym większa, im wyższe było stężenie użytego roztworu

siarczynu(VI) miedzi(II) (tab. 1). W przypadku skrobi kukurydzianej nie zaobserwowano wpływu stężenia soli miedzi na efektywność wbudowania jonów Cu^{2+} , a modyfikacja skrobi ziemniaczanej roztworem o najwyższym stężeniu jonów miedzi spowodowała, że ten składnik mineralny uległ adsorpcji w mniejszym stopniu niż przy użyciu roztworów o niższych koncentracjach soli (tab. 1).

Tabela 1

Zawartość jonów miedzi w skrobiach naturalnych i wysycanych miedzią [mg/100 g s.m.].
Content of copper ions in native starches saturated with copper [mg/ 100 g d.m.].

Próbki Samples	Skrobia / Starch of		
	ziemniaczana potato	pszenna wheat	kukurydziana corn
ns	Nd	nd	nd
L	86,81 a	8,73	11,31 b,c
M	88,46 a	10,56 b	11,75 b,c
H	81,66	12,40 c	13,05 c

Objaśnienia: / Explanatory notes:

Małymi literami a, b, ... oznaczono wartości nie różniące się statystycznie istotnie na poziomie $p = 0,05$; $n = 3$ / Values denoted by the small a, b, and c letters do not statistically significantly differ at $p = 0,05$; $n = 3$; ns – skrobia naturalna / native starch; L – skrobia przemywana roztworem siarczynu(VI) miedzi(II) o najniższym stężeniu 2,3 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the lowest concentration rate (2.3 g/1000 ml); M – skrobia przemywana roztworem siarczynu(VI) miedzi(II) o średnim stężeniu 9,2 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of medium concentration rate (9.2 g/1000 ml); H – skrobia przemywana roztworem siarczynu(VI) miedzi(II) o najwyższym stężeniu 36,6 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the highest concentration rate (36.6 g/1000 ml); nd – poniżej granicy wykrywalności / not detectable (below the detectable limit).

Równie istotnych obserwacji dokonano, analizując zawartość wybranych składników mineralnych w badanych skrobiach. Przeprowadzone analizy dowiodły, że podczas wbudowywania miedzi do skrobi jony: sodu, potasu, wapnia i magnezu naturalnie występujące w badanych skrobiach (tab. 3) zostały wypłukane. Sugeruje to istotne zubożenie skrobi o te składniki mineralne, podczas wzbogacania skrobi w jony miedzi.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wysycanie skrobi jonami miedzi wpłynęło na zawartość suchej masy w preparatach w odmienny sposób w zależności od pochodzenia botanicznego skrobi (rys. 1). Modyfikacja skrobi ziemniaczanej nie miała wpływu na zawartość suchej masy w preparatach ziemniaczanych wzbogacanych jonami miedzi, niezależnie od stężenia roztworu siarczynu miedzi użytego podczas wysycania polimeru. Również nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic pod względem zawartości suchej masy miedzianych preparatów kukurydzia-

nych i skrobi naturalnej. Świadczy to, że modyfikacja obu tych rodzajów skrobi poprzez przemywanie wodnymi roztworami nie wpłynęła na zawartość wody w tak modyfikowanych preparatach skrobiowych. Odmiennej obserwacji dokonano w przypadku skrobi pszennej, która to po wysycaniu jonami miedzi charakteryzowała się istotnie mniejszą zawartością suchej masy (rys. 1).

Tabela 2

Zawartość fosforu w skrobiach naturalnych i wysycanych miedzią [mg/100 g s.m.].
Content of phosphorus ions of native starches saturated with copper [mg/100 g d.m.].

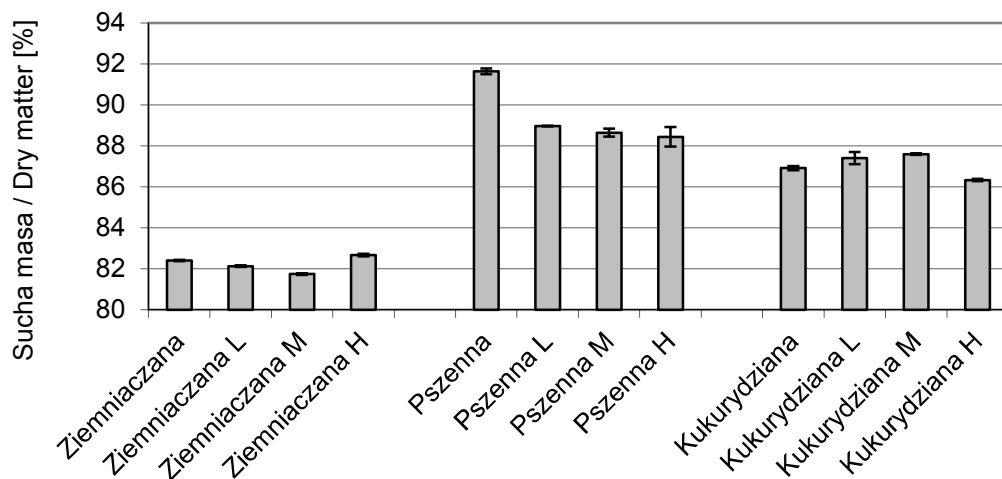
Próbki Samples	Skrobia / Starch of		
	ziemniaczana potato	pszenna wheat	kukurydziana corn
ns	45,00 a	30,27 b	13,49 c
L	52,51 a	32,55 b	18,34 c
M	46,07 a	32,06 b	19,67 c
H	48,48 a	36,99 b	15,53 c

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Tabela 3

Zawartość wybranych składników mineralnych w skrobiach naturalnych [mg/100 g s.m.].
Content of selected mineral components in native starches [mg/100 g dry matter].

Składniki mineralne Mineral components	Skrobia / Starch of		
	Ziemniaczana Potato	Pszenna Wheat	Kukurydziana Corn
Na ⁺	1,8733	3,3867	2,5433
K ⁺	21,1100	17,7467	3,2067
Ca ²⁺	33,5534	8,8900	6,8933
Mg ²⁺	9,5000	3,4333	2,2767



Objaśnienia: / Explanatory notes:

L – skrobia przemycana roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) o najniższym stężeniu 2,3 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the lowest concentration rate (2.3 g/1000 ml); M – skrobia przemycana roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) o średnim stężeniu 9,2 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the medium concentration rate (9.2 g/1000 ml);

H – skrobia przemycana roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) o najwyższym (ang. high) stężeniu 36,6 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the highest concentration rate (36.6 g/1000 ml).

Rys. 1. Zawartość suchej masy [%] skrobi naturalnych oraz wysycanych jonami miedzi.

Fig. 1. Content of dry matter [%] in native starches saturated with copper ions.

Przeprowadzone oznaczenia dowodzą, że pochodzenie botaniczne skrobi, a w związku z tym struktura ziaren skrobiowych wpływa na stopień uwodnienia skrobi, jednak wszystkie z badanych preparatów skrobiowych wykazały zawartość suchej masy powyżej 80 %, co jest akceptowaną zawartością suchej masy [6].

Skrobia zbudowana jest z reszt glukozydowych, połączonych ze sobą wiązaniami α -1,4-glikozydowymi w proste łańcuchy, stanowiące frakcję amylozy oraz wiązaniami α -1,6-glikozydowymi występującymi w miejscach rozgałęzień łańcuchów we frakcji amylopektynowej. Zgodnie z danymi literaturowymi zawartość amylozy w skrobi zbożowej mieści się w granicach od 20 do 27 %, a w skrobiach nie zbożowych sięga nawet 30 % [2]. W badaniach własnych wykazano, że skrobia ziemniaczana charakteryzowała się zawartością amylozy wynoszącą 29,6 % (tab. 4). Jest to jednak wynik wyższy od tych, które niezależnie uzyskali Lewandowicz i Mączyński [5], Lewandowicz i Walkowski [6, 16], Orłowska [8] oraz Pałasiński [9]. Z kolei zawartość amylozy w badanych skrobiach zbożowych wynosiła ok. 21 % (tab. 4) i była zgodna z danymi literaturowymi [2].

Tabela 4

Zawartość amylozy w skrobiach naturalnych i wysycanych miedzią [%].
Content of amylose in native starches saturated with copper [%].

Próbki Samples	Skrobia / Starch of		
	ziemniaczana potato	pszenna wheat	kukurydziana corn
ns	29,59 a	21,31 b	21,79 c
L	30,37 a	22,69 b	22,06 c
M	28,92 a	21,81 b	20,96 c
H	29,77 a	21,62 b	20,96 c

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Tabela 5

Zawartość białka w skrobiach naturalnych i wysycanych miedzią [%].
Content of protein in native starches saturated with copper [%].

Próbki Samples	Skrobia/ Starch of		
	ziemniaczana potato	pszenna wheat	kukurydziana corn
ns	0,08 a	0,28 b,e	0,21 c,d
L	0,12 a	0,23 b,d	0,22 c,d
M	0,09 a	0,25 b,d	0,20 c,d
H	0,11 a	0,28 b,e	0,25 c,d,e

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Proces modyfikacji skrobi, niezależnie od jej pochodzenia botanicznego, nie wpłynął na zmianę zawartości amylozy w skrobiach. Również wysycanie polimeru jonami miedzi nie spowodowało istotnych różnic pod względem zawartości białka w badanych skrobiach (tab. 5).

Wśród wyjściowych skrobi największą zawartością białka charakteryzowała się skrobia pszenna, nieco mniejszą kukurydziana, a najmniejszą skrobia ziemniaczana. Powyższe wyniki potwierdzają dane uzyskane przez Fortunę i Juszczaka [1].

Wśród nieodłącznych substancji nieskrobiowych w skrobi obok białka znaczącą ilość stanowi tłuszcz, który w największych ilościach występuje w skrobiach zbożowych [3], co potwierdzają badania autorów (tab. 6). Jednak uzyskane wyniki były mniejsze od danych publikowanych przez Walkowskiego i Lewandowicz [16], a także

Fortunę i Juszcza [1]. Rozbieżności wyników mogą wynikać z różnic odmianowych roślin, z których zostały wyosobnione skrobie.

Analiza wyników zawartości tłuszczu pozwala stwierdzić wpływ modyfikacji na zawartość lipidów w badanych skrobiach. Zmiany te zależały od pochodzenia botanicznego polimeru. Proces wysycania skrobi miedzią wpłynął na istotne zmniejszenie zawartości tłuszczu w preparatach skrobi ziemniaczanej i pszennej (tab. 6). Prawdopodobnie proces nawodnienia skrobi oraz przemywania jej wodnymi roztworami siarczanu(VI) miedzi(II) przyczyniły się do wypłukania lipidów ze skrobi. Jednak w przypadku skrobi kukurydzianej, która charakteryzowała się największą zawartością lipidów w skrobi wyjściowej, modyfikacja tylko przy wykorzystaniu roztworu o najwyższym stężeniu jonów miedzi spowodowała istotne zmniejszenie zawartości tłuszczu w skrobi (tab. 6).

Tabela 6

Zawartość tłuszczu skrobiach naturalnych i wysycanych miedzią [%].
Content of fat in native starches saturated with copper [%].

Próbki Samples	Skrobia / Starch		
	ziemniaczana potato	pszena wheat	kukurydziana corn
ns	0,12	0,31 d	0,47 c
L	0,04 a	0,23 b	0,44 c
M	0,04 a	0,26 b	0,42 c
H	0,06 a	0,24 b	0,34 d

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Skrobia ziemniaczana oraz jej preparaty miedziowe charakteryzowały się większą wodochłonnością w temp. 40 °C w porównaniu ze skrobiami zbożowymi i ich preparatami (tab. 7). Potwierdza to dane opublikowane przez Leszczyńskiego [3, 4] oraz Fortunę i Juszcza [1]. Jednak oznaczenia zdolności wiązania wody w wyższej temperaturze nie potwierdziły tej zależności (tab. 7).

Obecność jonów miedziowych w preparatach skrobi wpłynęła na zdolność wiązania wody takich preparatów w porównaniu ze skrobiami wyjściowymi. Skrobie ziemniaczane z wbudowaną miedzią charakteryzowały się większą wodochłonnością w porównaniu ze skrobią naturalną zarówno w temp. 40 °C, jak i 60 °C. W temp. 70 °C nie dokonano pomiaru, gdyż skrobia ziemniaczana i jej preparaty skleikowały. Z kolei wzbogacanie skrobi zbożowych w jony miedzi nie przyczyniło się do jednoznacznych zmian zdolności wiązania wody w ich preparatach. W przypadku skrobi pszennej tylko przemywanie jej roztworami o średnim i najwyższym stężeniu soli mie-

dzi spowodowało istotny wzrost wodochłonności w temp. 40 i 60 °C (tab. 7). Natomiast skrobia kukurydziana wzbogacona w miedź tylko w temp. 60 °C wykazała istotny wpływ modyfikacji na zdolność wiązania wody (tab. 7).

Tabela 7

Zdolność wiązania wody skrobi naturalnych i wysycanych miedzią w temp. 40, 60 i 70 °C
Water binding capacity of native starches saturated with copper at 40, 60 and 70 °C

Próbki Samples	Skrobia/ Starch of		
	ziemniaczana / potato	pszenna / wheat	kukurydziana / corn
Zdolność wiązania wody w temp. 40 °C [g/g s.m.] Water binding capacity at 40 °C [g/g d.m.]			
ns	0,94 a	0,85 a	0,82 a
L	1,48 b,c	1,09 a,b	1,05 a
M	1,36 b	1,12 b	1,00 a
H	1,69 c	1,13 b	0,90 a
Zdolność wiązania wody w temp. 60 °C [g/ g s.m.] Water binding capacity at 60 °C [g/g d.m.]			
ns	1,35 b	4,22 c	0,95 a
L	3,07 d	4,40 c	1,52 b
M	2,93 d	4,46 c	1,78 c
H	3,55 e	4,38 c	1,19 a
Zdolność wiązania wody w temp. 70 °C [g/ g s.m.] Water binding capacity at temp. of 70 °C [g/g d.m.]			
ns	-	5,23 d	4,86 d
L	-	5,48 d,e	5,16 d
M	-	5,50 e	4,97 d
H	-	6,40 f	4,49 e

Objaśnienia: / Explanatory notes:

Małymi literami a-f oznaczono wartości w kolumnach nie różniące się istotnie statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$; $n = 3$ / Values denoted by the same letters a-f in columns do not significantly differ statistically at $\alpha = 0.05$; $n = 3$; ns – skrobia naturalna/ native starch; L – skrobia przemywana roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) o najniższym stężeniu 2,3 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the lowest concentration rate (2.3 g/1000 ml); M – skrobia przemywana roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) o średnim stężeniu 9,2 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of middle concentration rate (9.2 g/1000 ml); H – skrobia przemywana roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) o najwyższym (ang. high) stężeniu 36,6 g/1000 ml / starch bathed in copper(II) sulfate (VI) solution of the highest concentration rate (36.6 g/1000 ml).

Wysycanie skrobi miedzią przyczyniło się do zmiany rozpuszczalności badanych preparatów. Skrobia ziemniaczana wzbogacona jonami miedzi charakteryzowała się istotnie wyższą rozpuszczalnością w temp. 40 °C i znacząco niższą w temp. 60 °C w porównaniu ze skrobą naturalną (tab. 8). Z kolei modyfikacja skrobi pszennej jedynie przy wykorzystaniu roztworu soli miedzi o najwyższym stężeniu spowodowała zmianę rozpuszczalności w temp. 40 i 70 °C. Natomiast przemywanie skrobi kukurydzianej roztworami siarczanu(VI) miedzi(II) przyczyniło się do obniżenia rozpuszczalności tak przygotowanych preparatów w temp. 40 ° i 60 °C w porównaniu ze skrobą kukurydzianą wyjściową i podwyższenia wartości tego parametru w temp. pomiaru 70 °C (tab. 8).

Tabela 8

Rozpuszczalność w wodzie skrobi naturalnych i wysycanych miedzią w temp. 40, 60 i 70 °C
Solubility in water of native starches saturated with copper at 40, 60, and 70 °C

Próbki Samples	Skrobia/ Starch of		
	ziemniaczana potato	pszenna wheat	kukurydziana corn
Rozpuszczalność w wodzie w temp. 40 °C[%]/ Solubility in water at 40 °C [%]			
ns	0,94 a	0,85 a	0,82 a
L	1,48 b	1,09 a	0,16 b
M	1,36 b	1,12 a	0,22 b
H	1,54 b	0,33 b	0,09 b
Rozpuszczalność w wodzie w temp. 60 °C[%]/ Solubility in water at. 60 °C [%]			
ns	4,25 c	1,79 c	3,31 c
L	1,66 b	1,65 c	0,19 b
M	2,10 d	2,26 c	0,32 b
H	4,05 c	1,93 c	0,40 b
Rozpuszczalność w wodzie w temp. 70 °C[%]/ Solubility in water at. 70 °C [%]			
ns	-	4,73 d	3,66 d
L	-	4,84 d	4,01 e
M	-	4,78 d	6,43 f
H	-	7,33 e	6,24 f

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Wnioski

1. Skrobie naturalne efektywnie adsorbują jony miedzi i mogą być stosowane jako nośniki tego składnika mineralnego. Jednak wysycanie polimeru metodą przemycania wodnymi roztworami siarczanu(VI) miedzi(II) eliminuje ze skrobi naturalnie występujące składniki mineralne.
2. Chemiczna modyfikacja skrobi, niezależnie od stężenia roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) nie spowodowała istotnych różnic zawartości amylozy, białka i fosforu, przy równoczesnym zmniejszeniu zawartości tłuszczu.
3. Wysycanie skrobi jonami miedzi przy wykorzystaniu roztworu o średnim i wysokim stężeniu jonów nadaje otrzymanym preparatom większą wodochłonność. Nie zaobserwowano jednak stałej zależności pomiędzy stężeniem użytych roztworów do modyfikacji a rozpuszczalnością w wodzie otrzymanych preparatów skrobiowych.

Praca finansowana ze środków grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr NN 312 43 80 37. Część przedstawionych badań była prezentowana podczas XL Sesji Komitetu Nauk o Żywności PAN, w Warszawie, w dniach 29.06. - 01.07. 2011 roku.

Literatura

- [1] Fortuna T., Juszcak L.: Wybrane właściwości skrobi różnego pochodzenia. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 2000, **367**, 39-50.
- [2] Leszczyński W.: Zastosowanie skrobi modyfikowanych w przemyśle spożywczym. Cz. I. Przegl. Piek. Cukier. 2006, **5**, 54-56.
- [3] Leszczyński W.: Zróżnicowane właściwości skrobi. Przem. Spoż., 2001, **3 (55)**, 38-39.
- [4] Leszczyński W.: Zmiany właściwości skrobi wywołane działaniem czynników fizycznych. Mat. IV Szkoły Skrobiowej, Zawoja 1992, ss. 63-74.
- [5] Lewandowicz G., Mączyńska M.: Chemiczna modyfikacja skrobi. Cz. II. Reaktywność skrobi różnych gatunków roślin. Chemik, 1999, **3**, 69-71.
- [6] Lewandowicz G., Walkowski A.: Aspekty żywieniowe i toksykologiczne stosowania skrobi modyfikowanych. Przem. Spoż., 1994, **11**, 365-376.
- [7] Morrison W.R., Laignelet B.: An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. J. Cereal. Sci, 1983, **1**, 9-20.
- [8] Orłowska M.: Budowa i właściwości skrobi w świetle najnowszych badań. Cz. II. Przegl. Piek. i Cukier. 2008, **4**, 18-22.
- [9] Pałasiński M.: Właściwości skrobi różnego pochodzenia. Post. Nauk Rol. 1994, **41**, 47-59.
- [10] PN-EN ISO 3188:2000. Skrobia i produkty pochodne. Oznaczanie zawartości azotu metodą Kjeldahla. Metoda miareczkowa.
- [11] PN-EN ISO 3946:2000. Oznaczenie całkowitej zawartości fosforu. Metoda spektrofotometryczna.
- [12] PN-ISO-3947:2001. Skrobie naturalne i zmodyfikowane. Oznaczanie całkowitej zawartości tłuszczu.
- [13] PN-78/A-74701. Hydrolizaty skrobiowe (krochmalowe). Metody badań.

- [14] Richter M., Augustat S., Schierbaum F.: *Ausgewählte Methoden der Stärkechemie* Leipzig. VEB Fachbuchverlag, **40**, 110-112.
- [15] Śmigielska H., Lewandowicz G.: Właściwości funkcjonalne skrobi modyfikowanych wzbogaconych jonami miedzi. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **6 (55)**, 198-209.
- [16] Walkowski A., Lewandowicz G.: Skrobie modyfikowane, właściwości technologiczne i zakres stosowania. *Przem. Spoż.*, 2004, **5**, 49-51.
- [17] Tegge G.: *Skrobia i jej pochodne*. Wyd. Oddz. Małopolski PTTŻ, Kraków 2010.

EFFECT OF COPPER IONS ON SELECTED PROPERTIES OF STARCH OF DIFFERENT BOTANICAL ORIGIN

S u m m a r y

The objective of the study was to assess the impact of copper ions-saturated starch of different origin on physical and chemical properties of the starch preparations produced.

The investigation material included starches of potato, corn, and wheat. The starches analyzed were modified through incorporating copper ions; the method applied consisted in bathing the starches in copper (II) sulfate (VI) solutions of three different concentration rates. In the native and chemically modified starches determined were the contents of copper ions incorporated, as well as of sodium, potassium, calcium, and magnesium. The determination method applied was an ASA method. Moreover, the contents of dry matter, amylose, protein, fat, and phosphorus were determined. The water-binding capacity of the starches and their water solubility at temperatures of 40 °C, 60 °C and 70 °C were analyzed, too.

The analysis performed proved the presence of copper ions in the modified starch preparations analyzed; it also confirmed that the ions of sodium, potassium, calcium, and magnesium were washed away from the starches. Based on the results obtained, it was found that the chemical modification of starches using the saturation with copper ions did not change the content of amylose and protein in the preparations; however, it significantly decreased the content of fat. Additionally, it was found that enriching the starches with copper ions impacted its water-binding capacity and its water solubility. Those changes depended on both the concentration rate of the solution used during the modification and the botanical origin of starch.

Key words: modified starch, copper ions, physical-chemical properties of starch ☒