

## OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI SKROBI WYIZOLOWANEJ Z NASION KOMOSY RYŻOWEJ

Małgorzata Piecyk<sup>✉</sup>, Katarzyna Kowalska, Elwira Worobiej,  
Ewa Ostrowska-Ligęza

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** Celem pracy była ocena wybranych właściwości skrobi z komosy ryżowej uprawianej w Polsce w porównaniu do skrobi wyizolowanej z nasion komosy pochodzącej z Peru oraz z pszenicy. W skrobiach oznaczano podstawowy skład chemiczny, zbadano ich pęcznienie (SP) i rozpuszczanie amylozy (AML), synerezę, zdolność emulgowania (EC), właściwości termiczne i strawność skrobi *in vitro*. Różnice między skrobią z różnych komos były głównie wynikiem różnej zawartości amylozy – skrobia z komosy czerwonej o najmniejszej zawartości amylozy (3,3%) cechowała się najniższą temperaturą przemiany, najmniejszą synerezą oraz najlepszą zdolnością emulgowania. Skrobia z komosy uprawianej w Polsce miała bardzo słabą zdolność emulgowania, ale dużą stabilność żeli podczas przechowywania. Wyznaczone wartości przewidywanego indeksu glikemicznego wskazują, że zastępowanie skrobi pszennej skrobią z komosy w produktach poddawanych obróbce termicznej nie będzie powodowało obniżenia ich indeksu glikemicznego.

**Słowa kluczowe:** amyloza, strawność skrobi, właściwości funkcjonalne, właściwości termiczne

### WSTĘP

Komosa ryżowa (*Chenopodium quinoa* Willd.) zaliczana jest, podobnie jak gryka i amarantus, do pseudozbóż. Uprawiana jest głównie na terenie Ameryki Południowej i charakteryzuje się dużą odpornością na warunki środowiskowe i znacznymi zdolnościami adaptacyjnymi. Podjęte próby jej uprawy w Polsce pozwoliły na uzyskanie plonów wynoszących 0,5–1,5 t·ha<sup>-1</sup>, co potwierdza, że roślina w pełni przystosowała się do warunków klimatycznych naszego kraju [Grochowski 1998, Gozdecka i Gęsiński 2011].

---

<sup>✉</sup>malgorzata.piecyk@up.wroc.pl

W porównaniu do tradycyjnych zbóż charakteryzuje się dużą wartością odżywczą. Z tego powodu FAO wytypowało ją na roślinę, która może zapewnić bezpieczeństwo żywnościowe na świecie w XXI wieku [FAO 2011]. Wykorzystanie komosy do celów konsumpcyjnych może jednak utrudniać znaczna zawartość saponin na powierzchni jej nasion. Ich ilość w zależności od odmiany i warunków uprawy waha się w granicach 0,01–4,65% suchej masy [Kozioł 1992]. Do zmniejszenia ilości saponin można zastosować zabiegi takie jak skaryfikacja mechaniczna lub wymywanie wodą, które pozwalają na ich redukcję o około 60% [Gozdecka i in. 2010]. Nasiona o dużej zawartości saponin, które nie mogą być przeznaczone na cele konsumpcyjne, mogą być wykorzystane do otrzymywania preparatów białkowych i skrobi.

Ze względu na bardzo mały rozmiar ziarenek skrobia komosy ryżowej charakteryzuje się szczególnymi właściwościami jak duża stabilność żeli czy zdolność emulgowania i stabilizacji emulsji. Może być również wykorzystywana w tworzeniu kremowej, gładkiej tekstury, wykazując właściwości podobne do tłuszczu. Skrobia komosy ryżowej stosowana może być również w produkcji biofilmów czy biodegradowujących folii [Abugoch James 2009, Valcárcel-Yamani i da Silva Lannes 2012]. Wymienione możliwości wykorzystania skrobi z komosy ryżowej uwarunkowane są nie tylko rozmiarem jej ziarenek, ale zależą również od odmiany nasion, zawartości amylozy oraz od warunków uprawy [Lindeboom i in. 2005b]. Komosa ryżowa uprawiana w jednym z gospodarstw w Polsce ze względu na dużą zawartość saponin nie jest dopuszczona do spożycia. Nasiona takie można wykorzystać do pozyskiwania skrobi, ale konieczna jest ocena jej właściwości wskazujących na możliwość wykorzystania w przemyśle spożywczym. W związku z tym celem pracy była ocena wybranych właściwości skrobi z komosy ryżowej uprawianej w Polsce w porównaniu do skrobi wyizolowanej z nasion pochodzących z Peru oraz z pszenicy.

## MATERIAŁY I METODY

Skrobię izolowano z handlowych nasion komosy białej (QW), czarnej (QB) i czerwonej (QR) pochodzących z Peru oraz nasion komosy białej (QWPL) wyhodowanych w gospodarstwie rolnym, w województwie kujawsko-pomorskim.

Do izolacji materiału zastosowano metodę na mokro, w której prowadzono ekstrakcję składników rozpuszczalnych wodą po zhomogenizowaniu z nią nasion, a następnie po przelaniu zawiesiny przez sito i odwirowaniu ekstrahowano ponownie w środowisku o pH 9,1. Otrzymany osad mieszano czterokrotnie z wodą, za każdym razem odwirowując zawiesinę, po czym suszono go w temperaturze otoczenia przez 2 dni, mielono i przesiewano przez sito (o oczkach o średnicy 0,090 mm). Materiałem porównawczym była handlowa skrobia pszenna (PS).

Do badania morfologii ziarenek skrobi komosy i pszenicy zastosowano obserwacje pod mikroskopem skaningowym (Hitachi S-4200, Japan) przy powiększeniu wynoszącym odpowiednio 10 000× i 3000×. Wilgotność mąk oraz skrobi oznaczano metodą grawimetryczną, prowadząc suszenie próbek (od 2 do 5 g) w temperaturze 130°C przez 2 h. Ilość popiołu oznaczano również grawimetrycznie według metody 923.03 [AOAC 1990]. Zawartość białka oznaczano metodą Kjeldahla, a do przeliczenia azotu na białko

stosowano przelicznik 6,25. Zawartość amylozy w skrobi oznaczano metodą spektrofotometryczną Williama i innych [1970].

Analizy kleikowania skrobi przeprowadzono w skaningowym kalorymetrze różnicowym (DSC, TA Instruments Q 200) według Piecyk i innych [2013]. Z termogramów kleikowania skrobi wyznaczano temperaturę: początku przemiany fazowej ( $T_o$ , °C), maksimum endotermy ( $T_p$ , °C) i końcową przemiany ( $T_k$ , °C), oraz entalpię przemiany ( $\Delta H$ , J·g<sup>-1</sup> s.m.). Ponadto obliczano zakres temperatury przemiany ( $T_k - T_o$ ) oraz indeks wzrostu piku – *PHI* (ang. *peak height index*) jako stosunek  $\Delta H/T_p - T_o$  [Krueger i in. 1987].

Badania właściwościowości funkcjonalnych obejmowały oznaczenie pęcznienia skrobi i rozpuszczania amylozy w temperaturze 55, 65, 75 i 85°C metodą Leacha z zespołem [1959] w modyfikacji Piecyk i innych [2013]. Do zbadania synerozy przygotowano 8-procentowe żele i po odwirowaniu (1500 g, 30 min) przechowywano je w 4°C i po 1 dniu oraz 2 i 7 dniach ponownie je wirowano. Ilość wydzielonej wody ze 100 g początkowej masy żelu przedstawiano jako stopień synerozy. Do oceny zdolności emulgowania wykorzystano metodę Koksela i innych [2008], przygotowując emulsje przez zhomogenizowanie (20 000 obr. · m<sup>-1</sup>, 90 s) 0,5 g skrobi, 4 cm<sup>3</sup> 0,05-procentowego roztworu białka sojowego i 4 cm<sup>3</sup> oleju sojowego, które następnie wirowano (2100 g, 20 min). Zdolność emulgowania wyrażano w procentach jako stosunek objętości emulsji do całkowitej objętości roztworu.

Strawność *in vitro* skrobi natywnej i skleikowanej oznaczano metodą Englysta i innych [1992] w modyfikacji Chunga i innych [2009]. Skrobię skleikowaną przygotowano przez ogrzewanie (95°C, 30 min) jej 5% roztworów, które, chłodzono, zamrażano i liofilizowano (40°C, 24 h) i rozdrabniano. Próbkę natywną i skleikowaną trawiono mieszaniną enzymów, pobierając po 10, 20, 30, 60, 90, 120 i 180 min tego procesu 100 µl, w których oznaczano ilość uwolnionej glukozy testem enzymatycznym (K-GLUC, Megazyme). Do opisu strawności skrobi wyznaczano ilość skrobi szybko trawionej (RDS) strawionej po 20 min, wolno trawionej (SDS) strawionej między 20 a 120 min hydrolizy. Ilość skrobi odpornej (RS) stanowiła różnicę między skrobią całkowitą (TS) oznaczoną testem enzymatycznym (K-TSTA, Megazyme) a skrobią strawioną po 120 min hydrolizy. Ponadto obliczono przewidywany indeks glikemiczny (*pIG*) ze wzoru  $pIG = 8,198 + 0,862 \cdot IH$  [Granfeld i in. 1992]. Indeks hydrolizy (*IH*) obliczano jako stosunek pola powierzchni pod krzywą hydrolizy skrobi w próbkach do pola powierzchni pod krzywą hydrolizy skrobi w chlebie pszennym.

Otrzymane wyniki przedstawiono jako wartości średnie  $\bar{x} \pm SD$  i porównano przy użyciu jednoczynnikowej analizy wariancji przy poziomie istotności  $p < 0,05$ , a istotność różnic zbadano testem Duncana w programie Statistica 10.0.

## WYNIKI I DyskusJA

W wyizolowanej skrobi z nasion komosy zawartość białka mieściła się w zakresie 0,63–0,89% (tab. 1). Uzyskane wyniki potwierdzają doniesienia, że izolacja skrobi z nasion komosy jest trudna ze względu na zamknięcie małych ziarenek skrobi w białkowej matrycy. Z tego powodu w zależności od sposobu izolacji skrobienia ta może zawierać białko w ilości 0,1–2,7% [Lindeboom i in. 2005a, Steffolani i in. 2013]. Można stwierdzić, że zastosowana w pracy metoda izolacji na tle badań prezentowanych w literaturze pozwoliła na dość efektywne usunięcie białek. Ilość popiołu, odzwierciedlająca zanieczyszczenie

Tabela 1. Skład chemiczny skrobi wyizolowanej z nasion komosy ryżowej i ze skrobi pszennej

Table 1. Chemical composition of isolated quinoa starch and wheat starch

Skrobia Starch	Wilgotność Moisture [g·100 g <sup>-1</sup> ]	Popiół [g·100 g <sup>-1</sup> s.m.] Ash [g·100 g <sup>-1</sup> d.m.]	Białko [g·100 g <sup>-1</sup> s.m.] Protein [g·100 g <sup>-1</sup> d.m.]	Amyloza [g·100 g <sup>-1</sup> s.m.] Amylose [g·100 g <sup>-1</sup> d.m.]
QB	7,2 ±0,4 <sup>a</sup>	0,10 ±0,01 <sup>c</sup>	0,86 ±0,02 <sup>a</sup>	10,3 ±0,3 <sup>c</sup>
QW	4,4 ±0,3 <sup>b</sup>	0,10 ±0,01 <sup>c</sup>	0,89 ±0,03 <sup>a</sup>	15,4 ±0,3 <sup>b</sup>
QR	2,9 ±0,1 <sup>d</sup>	0,13 ±0,02 <sup>b</sup>	0,89 ±0,03 <sup>a</sup>	3,5 ±0,3 <sup>c</sup>
QWPL	3,4 ±0,2 <sup>c</sup>	0,44 ±0,01 <sup>a</sup>	0,63 ±0,02 <sup>b</sup>	9,6 ±0,3 <sup>d</sup>
PS	7,2 ±0,1 <sup>d</sup>	0,15 ±0,02 <sup>b</sup>	nd	23,0 ±0,3 <sup>a</sup>

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są istotnie różne przy  $p < 0,05$ ; nd – nie oznaczano.

The values in columns with varied letters are statistically different at  $p < 0,05$ ; nd – no detected.

blonnikiem, była na zbliżonym poziomie w skrobiach z nasion komos peruwiańskich (0,10%–0,13%), a w skrobi z komosy białej była znacznie większa (0,45%).

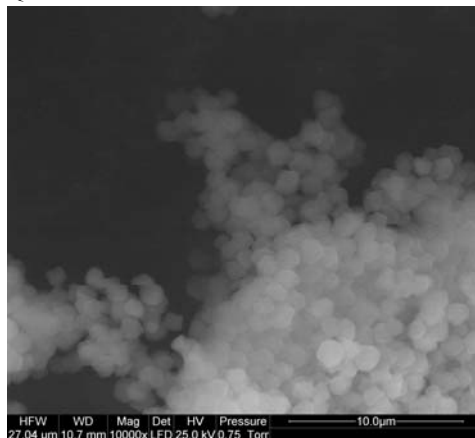
Największe istotne różnice między badanymi skrobiami z komosy stwierdzono w zawartości amylozy, której ilość mieściła się w szerokim zakresie od 3,5 do 15,4%. Zawartość tego składnika w skrobi z komosy podawana w literaturze mieści się w jeszcze szerszym zakresie, tj. 3,0–25,7%, i jest uzależniona nie tylko od odmiany, ale również od miejsca uprawy i stadium dojrzałości nasion [Lindeboom i in. 2005b, Steffolani i in. 2013, Li i in. 2016].

Analiza mikroskopowa nie wykazała różnic w morfologii i wielkości ziarenek skrobi komosy (rys.). Stwierdzono jedynie różnice w tendencji do tworzenia aglomeratów – ich największa ilość występowała w skrobi z QB i QWPL. Uzyskane wyniki obserwacji są zgodne z danymi zawartymi w literaturze, według których kształt ziarenek skrobi komosy opisywany jest jako poligonalny, a wielkość mieści się w zakresie 1–2  $\mu\text{m}$  [Abugoch James 2009].

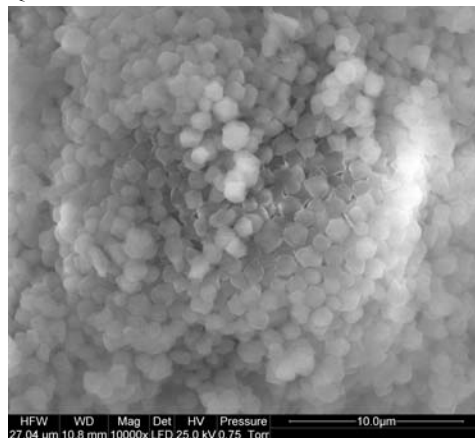
W tabeli 2 przedstawiono różne rodzaje temperatury ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_k$ ) i entalpię ( $\Delta H$ ) oraz zakres temperatury przemiany skrobi z komosy i pszenicy. Z przedstawionych danych wynika, że w porównaniu do skrobi z QB i QW oraz z pszenicy skrobia z QR ma najmniejsze wartości temperatury  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_k$  (odpowiednio 48,0; 54,6; 63,4°C) oraz najmniejszą entalpię kleikowania (6,8 J·g<sup>-1</sup>). Tak znaczne różnice w wartościach temperatury oraz entalpii przemiany skrobi komosy znajdują potwierdzenie w literaturze, w której podawane wyniki są zbliżone do uzyskanych w pracy [Lindeboom i in. 2005a, Steffolani i in. 2013, Li i in. 2016]. Właściwości termiczne skrobi uwarunkowane są przede wszystkim wewnętrzną strukturą i wielkością jej ziarenek. O szybkości pęcznienia i kleikowania skrobi decydują m.in. sposób i stopień uporządkowania łańcuchów amylopektyny oraz ich długość i oddziaływania między obszarami amorficznymi i krystalicznymi.

Różnice w entalpii rozpatrywane są najczęściej jako różnice w energii niezbędnej do roztopienia krystalitów, któremu towarzyszy rozerwanie wiązań wodorowych wewnątrz helis. Według Testera i Morrisona [1990] entalpia odzwierciedla całkowitą krystaliczność, tj. jakość i ilość krystalitów w ziarenkach. Obszary krystaliczne w ziarenkach skrobi są tworzone przez łańcuchy amylopektyny, dlatego wydawać by się mogło, że skrobie o małym

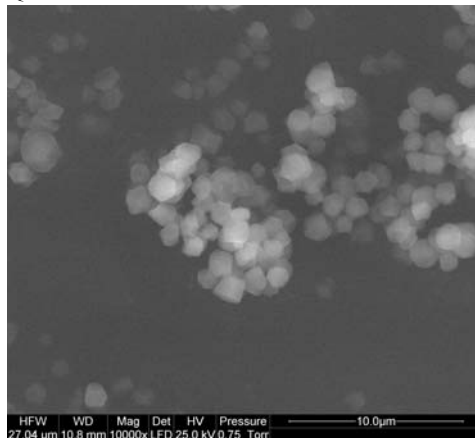
QB



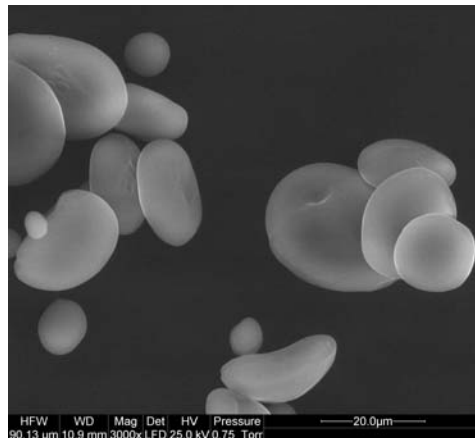
QWPL



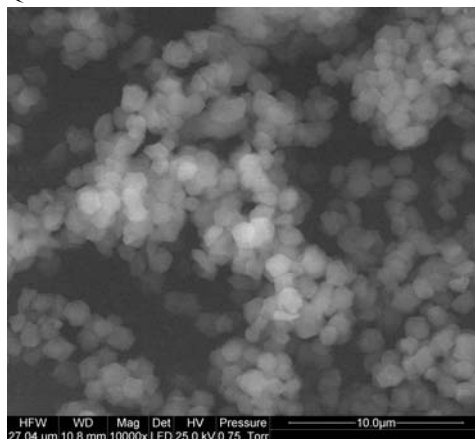
QW



PS



QR



Rys. Mikrofotografie (SEM) skrobi z nasion komosy czarnej (QB), białej (QW) i czerwonej (QR) z Peru oraz z komosy białej polskiej (QWPL) (10 000×) i ze skrobi pszennej (PS) (3000×)

Fig. Scanning electron micrograph of quinoa black starch (QB), white (QW) and red (QR) from Peru and of Polish white quinoa (QWPL) (10 000×) and wheat starch (PS) (3000×)

Tabela 2. Właściwości termiczne skrobi

Table 2. Thermal properties of starch

Skrobia Starch	Kleikowanie – Gelatinization					
	$T_o$ [°C]	$T_p$ [°C]	$T_k$ [°C]	$\Delta H$ [J·g <sup>-1</sup> ]	$T_k - T_o$ [°C]	$PHI$ [-]
QB	50,2 ± 0,2 <sup>d</sup>	58,9 ± 0,1 <sup>d</sup>	69,8 ± 0,7 <sup>b</sup>	12,7 ± 0,0 <sup>a</sup>	19,7 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,1
QW	60,7 ± 0,1 <sup>a</sup>	66,3 ± 0,0 <sup>a</sup>	74,1 ± 0,8 <sup>a</sup>	11,8 ± 0,1 <sup>b</sup>	13,5 ± 0,9 <sup>c</sup>	2,1 ± 0,0
QR	48,0 ± 0,3 <sup>c</sup>	54,6 ± 0,0 <sup>d</sup>	63,4 ± 0,3 <sup>d</sup>	6,8 ± 0,3 <sup>d</sup>	15,4 ± 0,0 <sup>b</sup>	1,0 ± 0,0
QWPL	57,7 ± 0,1 <sup>b</sup>	63,7 ± 0,6 <sup>b</sup>	73,3 ± 0,0 <sup>a</sup>	11,1 ± 0,3 <sup>c</sup>	15,7 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,8 ± 0,1
PS	55,0 ± 0,1 <sup>c</sup>	59,3 ± 0,1 <sup>c</sup>	67,0 ± 0,5 <sup>c</sup>	10,8 ± 0,2 <sup>c</sup>	12,0 ± 0,6 <sup>d</sup>	2,5 ± 0,1

a–e – różnice między wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ).

a–e – differences among mean values denoted by different letters are statistically significant ( $p < 0.05$ ).

udziale amylozy będą charakteryzowały się większymi wartościami  $T_o$ ,  $T_p$  i  $\Delta H$ , ale w przypadku skrobi z QR o najmniejszej zawartości amylozy zależność ta jest odwrotna. Wszystkie badane w niniejszej pracy skrobie reprezentują typ polimorficzny A, więc obserwowane różnice w entalpii mogą być wynikiem różnic w stopniu uporządkowania łańcuchów amylopektyny. Można więc przypuszczać, że skrobia z QR ma najmniejszą krystaliczność. Ponadto z badań Noda i innych [1998] wynika, że  $T_o$ ,  $T_p$  i  $\Delta H$  są skorelowane ujemnie z udziałem krótkich łańcuchów w amylopektynie. Dysocjacja dłuższych łańcuchów amylopektyny zachodzi w wyższej temperaturze, i dlatego skrobie o większym udziale amylozy i dużej liczbie długich łańcuchów w amylopektynie mają wysoką temperaturę przemiany.

Z kolei  $PHI$  charakteryzuje kształt i stopień symetrii różnych endoterm zależących od oddziaływań między obszarami amorficznymi i krystalicznymi [Krueger i in. 1987]. Najmniejszą wartość  $PHI$  miała skrobia z QR o najmniejszej zawartości amylozy.

Obserwowane różnice we właściwościach termicznych badanych skrobi znalazły odzwierciedlenie w pęcznieniu skrobi (SP) oraz rozpuszczalności amylozy (AML) – tabela 3. W 85°C największe SP miała skrobia z QR (17,0 g·g<sup>-1</sup>), najmniejszą zaś z QW i QWPL, tj. około 8,4 g·g<sup>-1</sup> (różnice nieistotne statystycznie). Otrzymane wyniki są zbliżone do tych podawanych przez Ahameda [1996], tj. 8,54 g·g<sup>-1</sup> w temperaturze 95°C, ale niższe od podawanych przez Lindeboom i innych [2005a], tj. 15–53 g·g<sup>-1</sup> w temperaturze 85°C, oraz przez Li i innych [2016], tj. 19,0–33,1 g·g<sup>-1</sup> w tej samej temperaturze. Jak zwracają uwagę Li i inni [2016], tak znaczne różnice w wynikach podawanych w literaturze mogą być wynikiem nie tylko odmienności skrobi, ale również warunków badań, np. wirowania kleików.

Największą AML wśród skrobi z komosy ryżowej w 85°C miała skrobia z QR, tj. 1,05%, a najmniejszą z QB i QWPL (~ 0,6%). Niewielka wartość AML świadczy może o zwięzłości ziarenek skrobi komosy ryżowej i silnych interakcjach między łańcuchami amylozy i amylopektyny, na co wskazywały wyniki badań przeprowadzonych w DSC, z wyjątkiem skrobi z QR o małej zawartości amylozy, która miała największą wartość SP i AML.

Najwyższy stopień synerezy po dniu przechowywania zaobserwowano w żelu skrobi z QW (0,93 g wody·100 g<sup>-1</sup> żelu) i była to wartość większa niż dla skrobi pszennej

Tabela 3. Pęcznienie skrobi komosy i rozpuszczalność amylozy w różnej temperaturze  
 Table 3. Swelling power of quinoa starch and amylose leaching at various temperatures

Skrobia Starch	Pęcznienie Swelling power [g·g <sup>-1</sup> ]				Rozpuszczalność amylozy Amylose leaching [g·100 g <sup>-1</sup> ]			
	55°C	65°C	75°C	85°C	55°C	65°C	75°C	85°C
QB	6,0 ±0,2 <sup>b</sup>	6,0 ±0,2 <sup>d</sup>	6,6 ±0,3 <sup>d</sup>	9,6 ±0,4 <sup>e</sup>	0,04 ±0,00 <sup>e</sup>	0,08 ±0,01 <sup>b</sup>	0,19 ±0,04 <sup>c</sup>	0,60 ±0,07 <sup>c</sup>
QW	2,9 ±0,1 <sup>c</sup>	6,4 ±0,1 <sup>c</sup>	7,2 ±0,0 <sup>c</sup>	8,3 ±0,1 <sup>d</sup>	0,06 ±0,00 <sup>e</sup>	0,27 ±0,05 <sup>b</sup>	0,52 ±0,02 <sup>b</sup>	0,83 ±0,08 <sup>b,c</sup>
QR	7,2 ±0,0 <sup>a</sup>	7,3 ±0,3 <sup>b</sup>	9,0 ±0,1 <sup>a</sup>	17,0 ±0,6 <sup>a</sup>	0,22 ±0,00 <sup>b</sup>	0,27 ±0,01 <sup>b</sup>	0,45 ±0,06 <sup>b</sup>	1,06 ±0,01 <sup>b</sup>
QWPL	3,7±0,0 <sup>d</sup>	5,9 ±0,0 <sup>d</sup>	7,7 ±0,3 <sup>b</sup>	8,4 ±0,3 <sup>d</sup>	0,08 ±0,01 <sup>c</sup>	0,16 ±0,01 <sup>b</sup>	0,49 ±0,03 <sup>b</sup>	0,64 ±0,04 <sup>c</sup>
PS	5,3 ±0,4 <sup>e</sup>	9,6 ±0,1 <sup>a</sup>	11,4 ±0,1 <sup>b</sup>	15,7 ±0,1 <sup>b</sup>	0,35 ±0,06 <sup>a</sup>	2,76 ±0,24 <sup>a</sup>	4,13 ±0,22 <sup>a</sup>	7,15 ±0,26 <sup>a</sup>

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są istotnie różne przy  $p < 0,05$ .

The values in columns with varied letters are statistically different at  $p < 0.05$ .

(0,52 g wody · 100 g<sup>-1</sup> żelu), a najniższy w żelu ze skrobi z QR (0,02 g wody · 100 g<sup>-1</sup> żelu) oraz z QWPL (0,15 g wody · 100 g<sup>-1</sup> żelu) – tabela 4. Po 7 dniach przechowywania największą stabilność miał żel ze skrobi z QR (0,17 g wody · 100 g<sup>-1</sup> żelu), a najmniejszą żel ze skrobi z QW (3,10 g wody · 100 g<sup>-1</sup> żelu). Stabilność żelu ze skrobi z QWPL w pierwszych 2 dniach przechowywania była mniejsza niż skrobi z QR, ale większa niż żelu pszennego, w przeciwieństwie do innych badanych skrobi komosy. Sodhi i Singh (2002) w badaniach skrobi ryżowej wykazali, że najmniejszą synerезę miały żele ze skrobi o najmniejszej zawartości amylozy i największym udziale małych ziarenek. Z kolei Tovar i inni (2002) zbadali synerезę po 24 h przechowywania w temperaturze chłodniczej w żelach z natywnych skrobi kukurydzianej, ryżowej i z sorgo. Wynosiła ona odpowiednio 2,1, 4,6 i 1,4 g wody · 100 g<sup>-1</sup> żelu i nie była skorelowana z zawartością amylozy pozornej czy oznaczoną ilością amylozy zretrogradowanej. Autorzy zwracają uwagę, że pewne zależności między zawartością amylozy a podatnością na synerезę można obserwować jedynie wśród skrobi o tym samym pochodzeniu botanicznym. Wśród badanych skrobi komosy, które miały podobną wielkość, czynnikiem decydującym o dużej stabilności przechowalniczej ich żeli była mała zawartość amylozy i dlatego skrobia z QR wykazywała najlepsze właściwości w tym zakresie.

Tabela 4. Stopień synerезy żeli oraz zdolność emulgowania roztworów białka sojowego i oleju

Table 4. Syneresis degree of gels and emulsion capacity of soy protein solution and oil

Skrobia Starch	Synerезa [g wody · 100 g <sup>-1</sup> żelu] po Syneresis [g water · 100 g <sup>-1</sup> gel] after			Zdolność emulgowania Emulsifying capacity [%]
	1 dniu 1 day	2 dniach 2 days	7 dniach 7 days	
QB	0,55 ± 0,14 <sup>b</sup>	1,20 ± 0,22 <sup>b</sup>	2,05 ± 0,18 <sup>b</sup>	6,2 ± 0,0 <sup>b</sup>
QW	0,93 ± 0,02 <sup>a</sup>	2,21 ± 0,30 <sup>a</sup>	3,10 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,4 <sup>b</sup>
QR	0,02 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,17 ± 0,02 <sup>d</sup>	41,2 ± 0,0 <sup>a</sup>
QWPL	0,15 ± 0,10 <sup>c</sup>	0,55 ± 0,10 <sup>c</sup>	1,40 ± 0,26 <sup>c</sup>	3,0 ± 0,1 <sup>c</sup>
PS	0,52 ± 0,13 <sup>b</sup>	0,83 ± 0,01 <sup>bc</sup>	1,10 ± 0,08 <sup>c</sup>	0

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są istotnie różne przy  $p < 0,05$ .

The values in columns with varied letters are statistically different at  $p < 0.05$ .

Skrobie same nie mogą tworzyć emulsji, ale mogą modyfikować ich właściwości. Zdolność emulgowania i stabilizacji emulsji typu olej w wodzie przez skrobię może być wynikiem mechanizmu Pickeringa, polegającego na adsorpcji na granicy faz cząstek stałych o średnicy mniejszej niż średnica kropli fazy wewnętrznej. Zdolność skrobi komosy do stabilizacji emulsji o/w ma związek z bardzo małym rozmiarem jej ziarenek oraz kształtem przypominającym zaokrąglone wielościiany [Rayner i in. 2012], co potwierdzają wyniki prezentowanych badań, gdyż skrobia pszenna o większych ziarenkach niż skrobia komosy nie wykazała zdolności emulgowania. Skrobia z QWPL charakteryzowała się gorszą zdolnością emulgowania (3,0%) w porównaniu do innych skrobi z komosy, zwłaszcza do skrobi z QR, której zdolność emulgowania wynosiła aż 41,2%. Może to wynikać z większej tendencji skrobi z QWPL do tworzenia aglomeratów (rys.).



Na podstawie przedstawionych w literaturze wyników badań wykazano, że nasiona komosy zastosowane w produktach bezglutenowych wpływają na zmniejszenie ich indeksu glikemicznego [Berti i in. 2004], w związku z tym przeprowadzono badania strawności *in vitro* skrobi z komosy (tab. 5). W skrobiach natywnych udział skrobi szybko trawionej (RDS) wahał się w przedziale 74,9–86,9% i był znacznie większy niż w skrobi pszennej (19,5%). Największy udział skrobi wolno trawionej (SDS) miała skrobia QW (22,7%), ale był on ponad trzy razy mniejszy niż w skrobi pszennej (68,5%). Różna szybkość trawienia natywnej skrobi znalazła odzwierciedlenie w wartości przewidywanego indeksu glikemicznego (*pIG*), który wahał się w skrobi komosy w granicach od 86,6 (QWPL) do 93,1 (QW), podczas gdy w skrobi pszennej wynosił 65,3. Skrobia komosy cechuje się tym samym typem polimorficznym struktury krystalicznej jak skrobia pszenna. Tego typu struktura jest bardziej podatna na hydrolizę niż skrobia o typie polimorficznym B charakterystycznym dla skrobi ziemniaczanej [Srichuwong i in. 2005]. Strawność skrobi determinowana jest nie tylko strukturą krystaliczną ziarenka, ale również jego wielkością. Przeprowadzone badania kinetyki hydrolizy skrobi o różnym pochodzeniu botanicznym wykazały, że stosunek powierzchni ziarenka skrobi do jego objętości jest jednym z najważniejszych wskaźników określających wielkość obszarów dla wiązania enzymów oraz liczbę dostępnych wiązań glikozydowych [Dhital i in. 2010], dlatego szybkość trawienia skrobi natywnej z komosy była znacznie większa niż skrobi pszennej. Nie można również wykluczyć, że różnice te są efektem rozmieszczenia warstw semikrystalicznych i amorficznych w ziarenkach skrobi. Warren i inni [2011] wykazali, że szybkość wiązania enzymów na powierzchni ziarenka skrobi jest uzależniona od udziału frakcji amorficznej w tym obszarze, tj. im większy jej udział, tym szybsza hydroliza skrobi.

Po gotowaniu w skrobi pszennej udział RDS gwałtownie wzrósł do 85,4%, z jednoczesnym zmniejszeniem udziału SDS do 4,1% i RS do 10,5%. Z kolei w skrobiach komosy zmiany te w stosunku do skrobi natywnej nie były tak znaczne: stwierdzono

Tabela 5. Parametry wyznaczone w czasie trawienia *in vitro* [g·100 g<sup>-1</sup> s.m.]Table 5. Parameters determined by *in vitro* starch digestion [g·100 g<sup>-1</sup> d.m.]

Skrobia – Starch		RDS	SDS	RS	<i>pIG</i>
QB	natywna – native	86,7 ±0,2 <sup>b</sup>	8,9 ±1,1 <sup>c</sup>	4,4 ±0,9 <sup>c</sup>	92,3 ±1,4 <sup>ab</sup>
	skleikowana – gelatinized	86,9 ±0,6 <sup>b</sup>	3,0 ±0,8 <sup>d</sup>	10,1 ±0,5 <sup>c</sup>	89,3 ±0,5 <sup>cd</sup>
QW	natywna – native	74,9 ±2,0 <sup>c</sup>	22,7 ±2,6 <sup>b</sup>	2,4 ±0,7 <sup>f</sup>	93,1 ±0,0 <sup>a</sup>
	skleikowana – gelatinized	89,6 ±1,4 <sup>a</sup>	2,2 ±1,1 <sup>d</sup>	8,2 ±1,6 <sup>d</sup>	92,2 ±1,8 <sup>ab</sup>
QR	natywna – native	86,9 ±0,5 <sup>b</sup>	3,1 ±1,0 <sup>d</sup>	9,9 ±0,6 <sup>c</sup>	91,0 ±1,1 <sup>bc</sup>
	skleikowana – gelatinized	85,5 ±0,7 <sup>bc</sup>	4,0 ±1,1 <sup>d</sup>	10,5 ±1,0 <sup>bc</sup>	89,0 ±1,0 <sup>d</sup>
QWPL	natywna – native	78,1 ±2,1 <sup>d</sup>	9,1 ±1,0 <sup>c</sup>	12,9 ±1,1 <sup>a</sup>	86,6 ±1,8 <sup>c</sup>
	skleikowana – gelatinized	84,2 ±0,9 <sup>c</sup>	3,8 ±0,3 <sup>d</sup>	12,0 ±0,9 <sup>ab</sup>	88,1 ±0,4 <sup>dc</sup>
PS	natywna – native	19,5 ±0,7 <sup>f</sup>	68,5 ±0,8 <sup>a</sup>	12,0 ±1,4 <sup>ab</sup>	65,3 ±0,7 <sup>f</sup>
	skleikowana – gelatinized	85,4 ±1,1 <sup>bc</sup>	4,1 ±0,6 <sup>d</sup>	10,5 ±1,0 <sup>bc</sup>	88,5 ±0,3 <sup>dc</sup>

Wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami są istotnie różne przy  $p < 0,05$ .

The values in columns with varied letters are statistically different at  $p < 0.05$ .

zmniejszenie udziału SDS (z wyjątkiem QR) oraz w skrobi z QB i z QW istotne zwiększenie udziału RS. Zmiany te wpłynęły na nieznaczne zmniejszenie *pIG* skrobi z QB i z QR w stosunku do skrobi natywnych. Z danych literaturowych wynika, że zastąpienie mąki pszennej mąką z komosy w chlebie wpływa na zmniejszenie *pIG* ze 100 do 95 [Wolter i in. 2013]. Uzyskane wyniki strawności skrobi wskazują na znaczący wpływ izolacji skrobi z nasion komosy na jej wartość. Bardzo małe ziarenka tej skrobi otoczone są białkami [Lindeboom i in. 2005a], przez co jej dostępność w nasionach lub mące dla enzymów jest ograniczona. Powstające podczas przetwarzania żywności interakcje między białkami a skrobią również mogą mieć wpływ na strawność skrobi. Wpływ białek na strawność skrobi został potwierdzony m.in. w badaniach *in vivo*, w których badano efekt glikemiczny u ludzi po spożyciu chleba z mąki pszennej i bezglutenowego z oczyszczonej skrobi, ponieważ stwierdzono, że usunięcie białek wpływało na zwiększenie poziomu glukozy we krwi badanych o 10–20% [Thorne i in. 1983].

## WNIOSKI

1. W porównaniu do skrobi pszennej skrobia z nasion komosy ryżowej charakteryzowała się istotnie mniejszą rozpuszczalnością amylozy, zdolnością emulgowania oraz większą strawnością w stanie natywnym.

2. Właściwości termiczne i funkcjonalne skrobi komosy ryżowej w dużym stopniu zależą od zawartości amylozy. Skrobia z QR o najmniejszej zawartości amylozy cechowała się również najniższą temperaturą przemiany, małą synerezą, ale największą siłą pęcznienia i rozpuszczaniem amylozy, co wskazuje na słabsze interakcje między łańcuchami amylozy i amylopektyny.

3. Wyznaczone wartości przewidywanego *pIG* wskazują, że zastępowanie skrobi pszennej skrobią komosy w produktach poddawanych obróbce termicznej nie będzie powodowało obniżenia ich indeksu glikemicznego.

4. Skrobia z komosy uprawianej w Polsce ma słabszą zdolność emulgowania w porównaniu do innych skrobi komosy, ale dużą stabilność żeli podczas przechowywania.

## LITERATURA

- Abugoch James L.E., 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Adv. Food Nutr. Res.* 58, 1–31.
- Ahamed N.T., Singhal R.S., Kulkarni R.K., Pal M., 1996. Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. *Carbohydr. Polym.* 31, 99–103.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Wyd. XV. AOAC, Arlington, VA.
- Berti C., Riso O., Monti L.D., Porrini M., 2004. *In vitro* starch digestibility and *in vivo* glucose response of gluten-free foods and their gluten counterparts. *Eur. J. Nutr.* 43, 198–204.
- Chung H.J., Liu Q., Hoover R., 2009. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydr. Polym.* 75, 436–447.
- Dhital S., Shrestha A.K., Gidley M.J., 2010. Relationship between granule size and *in vitro* digestibility of maize and potato starches. *Carbohydr. Polym.* 82, 480–488.

- Englyst H.N., Kingman S.M., Cummings J.H., 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46, 33–50.
- FAO, 2011. Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security. Regional Office for Latin America and the Caribbean.
- Gozdecka G., Gęsiński K., 2011. Charakterystyka masy nasiennej komosy ryżowej po zbiorze. *Inż. Ap. Chem.* 3, 27–28.
- Gozdecka G., Weiner W., Gesinski K., Muszynska J., 2010. Zastosowanie wybranych metod usuwania saponin z powierzchni nasion. *ZPPNR* 546, 99–105.
- Granfeldt Y., Björck I., Drews A., Tovar J., 1992. An in vitro procedure based on chewing to predict metabolic responses to starch in cereal and legume products. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46, 649–660.
- Grochowski Z., 1998. Biologia, uprawa i wykorzystanie komosy ryżowej w Polsce (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Hodowla Roślin i Nasiennictwo* 2, 21–26.
- Koksel H., Masatcioglu T., Kahraman K., Ozturk S., Basman A., 2008. Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. *J. Cereal Sci.* 47, 275–282.
- Kozioł M.J., 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Food Compos. Anal.* 5(1), 35–68.
- Krueger B.R., Walker C.E., Knutson C.A., Inglett G.E., 1987. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64, 187–190.
- Leach H.W., Mccowen L.D., Schoch T.J., 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 36, 534–537.
- Li G., Wang S., Zhu F., 2016. Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydr. Polym.* 137, 328–338.
- Lindeboom N., Chang P.R., Falk K.C., Tyler R.T., 2005a. Characteristics of starch from eight quinoa lines. *Cereal Chem.* 82(2), 216–222.
- Lindeboom N., Chang P.R., Tyler R.T., Chibbar R.N., 2005b. Granule-bound starch synthase I (GBSSI) in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship to amylose content. *Cereal Chem.* 82(3), 246–250.
- Noda T., Takahata Y., Sato T., Suda I., Morishita T., Ishiguro K., Yamakawa O., 1998. Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. *Carbohydr. Polym.* 37, 153–158.
- Piecyk M., Drużyńska, B., Worobiej E., Wołosiak R., Ostrowska-Ligeza E., 2013. Effect of hydrothermal treatment of runner bean (*Phaseolus coccineus*) seeds and starch isolation on starch digestibility. *Food Res. Internat.* 50, 428–437.
- Rayner M., Timgren A., Sjöö M., Dejmeek P., 2012. Quinoa starch granules: a candidate for stabilising food-grade Pickering emulsions. *J. Sci. Food Agric.* 92, 1841–1847.
- Sodhi N.S., Singh N., 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chem.* 80(1), 99–108.
- Srichuwong S., Sunarti T.C., Mishima T., Isono N., Hisamatsu M., 2005. Starches from different botanical sources II: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydr. Polym.* 60, 529–538.
- Steffolani M.E., León A.E., Pérez G.T., 2013. Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *Starch-Stärke* 65, 976–983.
- Tester R.F., Morrison W.R., 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.* 67(6), 551–557.
- Tovar J., Melito C., Herrera E., Rascón A., Pérez E., 2002. Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels. *Food Chem.* 76, 455–459.

- Valcárcel-Yamani B., da Silva Lannes S.C., 2012. Applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value of cereal based foods. *Food Pub. Health* 2(6), 265–275.
- Warren F.J., Royall P.G., Gaisford S., Butterworth P.J., Ellis P.R., 2011. Binding interactions of  $\alpha$ -amylase with starch granules: The influence of supramolecular structure and surface area. *Carbohydr. Polym.* 86, 1038–1047.
- Williams P.C., Kuzina F.D., Hlynka I., 1970. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47, 411–420.
- Wolter A., Hager A.S., Zannini E., Arendt E.K., 2013. *In vitro* starch digestibility and predicted glycaemic indexes of buckwheat, oat, quinoa, sorghum, teff and commercial gluten-free bread. *J. Cereal Sci.* 58, 431–436.
- Thorne M.J., Thompson L.U., Jenkins D.J., 1983. Factors affecting starch digestibility and the glycaemic response with special reference to legumes. *Am. J. Clin. Nutr.* 38, 481–488.

## THE ASSESSMENT OF SELECTED PROPERTIES OF STARCH ISOLATED FROM QUINOA SEEDS

**Summary.** The use of quinoa seeds for consumption can be hindered by the significant saponin content. These seeds could be used to obtain starch, but its properties depend on the seed variety, amylose content, and growth conditions. Therefore, the aim of this study was to evaluate selected properties of starch from quinoa cultivated in Poland as compared to starch isolated from seed originating from Peru and wheat starch. The starch was isolated from seeds of white (QW), black (QB) and red (QR) quinoa originating from Peru, and from seeds of the white quinoa grown in Poland (QWPL). Comparative material was commercial wheat starch (PS). Starch samples were subject to determinations of moisture, protein, ash, and amylose contents, as well as microscopic examinations. Swelling power (*SP*) and amylose leaching (*AML*) during heating of starch solutions, syneresis, emulsifying capacity (*EC*), thermal properties of starch using differential scanning calorimetry (*DSC*), and starch digestibility *in vitro* were also tested. The quinoa starches were characterized by very small granule size and large differences in amylose content (3.3–15.6% d.m.). These two factors determined the properties of quinoa starch. The small size quinoa starch grains have caused that it was rapidly digested in the native state and its predicted glycemic index (*pGI*) ranged from 86.6 (QWPL) to 93.1 (QW), while that for wheat starch 65.3. Due to the small size granules, quinoa starch also has emulsifying properties in contrast to wheat starch, but this property was dependent on other factors, among others, amylose content. The largest value of *EC* characterized QR starch (41.2) with the lowest amylose content (3.3%). The QR starch was characterized by the lowest transition temperature, low syneresis, but the greatest swelling power and leaching amylose indicating weak interactions (within the granule interior) between amylose–amylopectin chains. The QWPL starch was characterized by weakest emulsifying capacity, relatively high gel stability during storage, and lowest digestibility in the native state as compared to the other quinoa starches. The studies of digestibility of gelatinized starch showed that relative to native starches, the *pGI* value of starch from QB and from QR slightly decreased, but it was greater or at the same level as in wheat starch. Recorded *pGI* value indicates that replacing the wheat starch with quinoa starch in products subjected to heat treatment will not cause a reduction in their glycemic index.

**Key words:** amylose, starch digestibility, functional properties, thermal properties