

MAŁGORZATA PIECYK, MAŁGORZATA GODLEWSKA

Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Oceny Żywności  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## WPLYW IZOLACJI I OBRÓBKII TERMICZNEJ NA STRAWNOŚĆ SKROBI GROCHU

**Streszczenie.** Celem pracy było zbadanie strawności *in vitro* skrobi zawartej w natywnej mące grochu oraz po jej wyizolowaniu i poddaniu obróbce termicznej i porównanie otrzymanych wyników ze strawnością skrobi o innych typach krystaliczności. Strawność skrobi zawartej w mące grochowej była największa (58,7%) w porównaniu z innymi próbkami, natomiast po wyizolowaniu jej wartość zmalała (44,0%) do poziomu podobnego jak w przypadku skrobi pszennej i ziemniaczanej. Po ogrzewaniu strawność skrobi w mące znacząco się poprawiła – do poziomu 91,2%, podobnego jak w skrobi pszennej, natomiast skrobia wyizolowana miała strawność zbliżoną do skrobi ziemniaczanej. Po zamrażaniu strawność zmalała we wszystkich próbkach. Jednocześnie zaobserwowano wzrost zawartości skrobi odpornej z 10,11% do 12,58% w skrobi grochowej oraz z 4,53% do 7,02% w mące grochowej.

**Słowa kluczowe:** strawność skrobi *in vitro*, skrobia oporna, gotowanie, gotowanie i zamrażanie

### Wstęp

Suche nasiona roślin strączkowych są cennym źródłem wielu składników odżywczych, takich jak białka czy skrobia, oraz związków o dużej aktywności biologicznej takich jak błonnik, oligosacharydy, składniki mineralne i witaminy.

Węglowodany stanowią główną frakcję nasion, której ilość zawiera się w przedziale 24-68% s.m. Dominuje w niej skrobia, której ilość w zależności od gatunku nasion mieści się w przedziale 22-45% (HOOVER i SOSULSKI 1991). Obecna w diecie skrobia stanowi przede wszystkim źródło energii, chociaż w ostatnich latach zwraca się szczególną uwagę na wartość odżywczą skrobi, która jest związana z jej podatnością na trawienie w jelicie cienkim. O wartości odżywczej skrobi decyduje przede wszystkim zawartość frakcji skrobi odpornej (RS) oraz udział skrobi szybko (RDS) i wolno (SDS) trawionej. Skrobia oporna jest definiowana jako skrobia i produkty jej rozkładu, które nie są wchłaniane w jelicie cienkim zdrowego człowieka (ENGLYST i HUDSON 1996).

Wyróżnia się cztery rodzaje skrobi odpornej: RS1 – fizycznie niedostępna dla enzymów trawiennych, występująca np. w niecałkowicie zmielonym ziarnie zbóż, RS2 – natywne, odporne na działanie enzymów ziarna, występujące np. w surowych ziemniakach, RS3 – skrobia zretrogradowana, która tworzy się w wyniku retrogradacji, RS4 – skrobia modyfikowana chemicznie oraz fizycznie (ENGLYST i IN. 1992, EERLINGEN i DELCOUR 1995). Obecność skrobi odpornej w diecie korzystnie oddziałuje na organizm człowieka, gdyż powoduje m.in. zwiększenie ilości SCFA, zmniejszenie wartości pH w okrężnicy, stymulację wzrostu korzystnych dla organizmu bakterii, redukcję poposiłkowej ilości glukozy we krwi oraz obniżenie poziomu cholesterolu we krwi (SAJILATA i IN. 2006). SDS to część skrobi ulegająca powolnej, ale kompletnej hydrolizie w jelicie cienkim (ENGLYST i HUDSON 1996). Jej fizjologiczna przewaga nad RDS jest związana z tym, że wpływa stabilizująco na poziom cukru we krwi. Korzyści, jakie wynikają ze spożycia SDS, to m.in. profilaktyka i leczenie cukrzycy typu II, ponieważ jej obecność w diecie wpływa na uczucie sytości poprzez odpowiedź metaboliczną, jaką jest poposiłkowy niski wzrost poziomu glukozy i insuliny we krwi (JENKINS i IN. 2002).

Ilość zarówno SDS, jak i RS jest uzależniona od wielu czynników, m.in. od obecności innych składników pokarmowych, jak i obróbki termicznej (ESCARPA i IN. 1997, MARCONI i IN. 2000, ROSIN i IN. 2002). Zwłaszcza SDS jest niestabilna termicznie, dlatego otrzymywanie żywności bogatej w tę frakcję jest trudne i w przemyśle ograniczone (LEHMAN i ROBIN 2007). Skrobia roślin strączkowych jest określana jako skrobia o dobrej wartości odżywczej ze względu na stosunkowo dużą zawartość SDS i RS, dzięki czemu charakteryzuje się małą wartością indeksu glikemicznego (CHUNG i IN. 2008). Słaba przyswajalność skrobi w nasionach jest spowodowana obecnością nienaruszonych struktur tkankowych otaczających ziarenka skrobi, dużym udziałem amylozy (25-65%), dużą zawartością rozpuszczalnych frakcji błonnika o dużej lepkości, zawartością składników ograniczających strawność, typem krystaliczności C i silnymi interakcjami między łańcuchami amylozy (HOOVER i SOSULSKI 1985, HOOVER i ZHOU 2003, ZHOU i IN. 2004, CHUNG i IN. 2008).

Pomimo korzyści płynących z obecności w diecie nasion roślin strączkowych ich spożycie w Polsce nie jest duże, co wynika m.in. z ich długotrwałego przygotowania do konsumpcji. Alternatywą jest możliwość stosowania wyizolowanej skrobi w produktach spożywczych przeznaczonych m.in. dla diabetyków. Należy jednak określić, w jakim stopniu proces izolacji wpływa na strawność skrobi. Przeprowadzono wiele badań dotyczących strawności skrobi w nasionach, jak i skrobi wyizolowanej, jednak uzyskane rezultaty trudno porównywać ze względu na różnorodność stosowanych metod wykorzystujących enzymy o różnym stężeniu i pochodzeniu (HOOVER i ZHOU 2003). Celem tej pracy było zbadanie strawności *in vitro* skrobi zawartej w natywnej mące grochu oraz po jej wyizolowaniu i poddaniu obróbce termicznej i porównanie otrzymanych wyników ze strawnością skrobi o innych typach krystaliczności.

## Material i metody

Materiałem doświadczalnym były: handlowa skrobia pszenna i ziemniaczana oraz mąka grochowa, z której wyizolowano skrobię. W tym celu prowadzono ekstrakcję białek w środowisku o pH 10, następnie przemywano osad wodą i trzykrotnie alkoholem etylowym o wzrastającym stężeniu (30%, 50% i 70%), po czym suszono w temperatu-

rze pokojowej (22-25°C), mielono i przesiewano przez sита o średnicy oczek 0,08 mm w celu uzyskania jednolitej granulacji końcowego produktu. W celu sprawdzenia wpływu obróbki termicznej na strawność skrobi w badanych produktach przeprowadzono modyfikacje. Badane preparaty skrobiowe lub mąkę mieszano z wodą destylowaną w stosunku 1:10 i tak przygotowaną zawiesinę gotowano przez 5 min. Część kleiku zamrażano w -21°C i przechowywano przez 24 h. Kleiki niemrożone i po rozmrożeniu suszono w temperaturze 40°C i następnie mielono.

We wstępnych badaniach dokonano charakterystyki chemicznej mąki grochowej i preparatów skrobiowych. Oznaczano zawartość skrobi polarymetrycznie, zawartość amylozy – metodą MORRISONA i LAIGNELETA (1983). Zawartość azotu, popiołu, suchą masę oznaczano znormalizowanymi metodami. Strawność skrobi *in vitro* oznaczano metodą MUIR i O'DEY (1992) zmodyfikowaną przez GALIŃSKIEGO i IN. (2000). Do hydrolizy skrobi stosowano ślinę oraz amyloglukozydazę, pankreatynę i Termamyl 120L. Po hydrolizie wyliczano stosunek skrobi łatwo trawionej i wolnej glukozy do skrobi całkowitej i wolnej glukozy. Końcową wartość wyrażano w procentach. Ilość skrobi opornej wyznaczano, stosując metodę GOŃIEGO i IN. (1996), która polega na usunięciu z próbki białka oraz skrobi podatnej na trawienie, rozpuszczeniu skrobi opornej w roztworze wodorotlenku potasu i jej hydrolizie enzymatycznej. Uwolnioną podczas trawienia glukozę w obu metodach oznaczano po reakcji z kwasem dinitrosalicylowym (DNS), mierząc absorbancję w spektrofotometrze (Shimadzu, UV-1201V) przy 550 nm.

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej z użyciem programu Statgraphics wersja Plus 2.1. Do porównania średnich wartości wyników w populacjach zastosowano test LSD.

## Wyniki i dyskusja

We wstępnych badaniach scharakteryzowano mąkę grochową oraz skrobię, oznaczając suchą masę, zawartość białka i popiołu (tab. 1). Badane preparaty skrobiowe nie różniły się istotnie pod względem zawartości suchej masy, natomiast stwierdzono różnice w ilości białek oraz popiołu. W wyniku izolacji skrobi z mąki grochowej nastąpiło znaczne zmniejszenie zawartości azotu i popiołu odpowiednio z 3,28 do 0,38% i z 3,23 do 0,58% s.m. Wartości te były jednak większe od uzyskanych dla skrobi pszennej i ziemniaczanej. Zawartość azotu, jak i popiołu w wyizolowanej skrobi jest przede wszystkim uzależniona od sposobu jej izolacji oraz od surowca, z którego jest ona wyodrębniana. HOOVER i RATNAYAKE (2002) oraz RATNAYAKE i IN. (2001) podają, że zawartość azotu w skrobi roślin strączkowych zawiera w zakresie 0,04-0,09% oraz 0,04-0,07%. Inne źródła podają jego większą zawartość, np. 0,19% w skrobi grochu (WRONKOWSKA i IN. 2002). Uzyskane wyniki ilości popiołu są zbliżone do otrzymanych przez MORADA i IN. (1980): 0,62% (groch żółty) i 0,82% (soczewica i bób). Stosunkowo mała zawartość popiołu świadczy o względnie dokładnym usunięciu składników mineralnych, łuski i błonnika pochodzącego z pozostałości ścian komórkowych otaczających gałeczkę skrobiową. Niedostateczne oczyszczenie skrobi podczas procesu izolacji może wpływać na zwiększoną zawartość popiołu w preparatach skrobiowych (HOOVER i RATNAYAKE 2002, CHAVAN i IN. 1999).

Tabela 1. Charakterystyka mąki grochowej oraz preparatów skrobiowych  
Table 1. Characteristics of pea flour and starch preparations

Produkt	Sucha masa (%)	Azot (% s.m.)	Popiół (% s.m.)
Mąka grochowa	90,4 <sup>a</sup> ±0,4	3,28 <sup>a</sup> ±0,01	3,23 <sup>a</sup> ±0,06
Skrobia grochowa	87,9 <sup>b</sup> ±0,3	0,38 <sup>b</sup> ±0,01	0,58 <sup>b</sup> ±0,01
Skrobia pszenna	87,5 <sup>b</sup> ±0,1	0,06 <sup>c</sup> ±0,01	0,16 <sup>c</sup> ±0,01
Skrobia ziemniaczana	87,8 <sup>b</sup> ±0,6	0,10 <sup>d</sup> ±0,01	0,24 <sup>c</sup> ±0,04

Te same litery w kolumnie oznaczają brak statystycznie istotnych różnic między wartościami średnimi ( $p \geq 0,95$ ).

Porównując zawartość skrobi w preparatach skrobiowych (tab. 2), można zauważyć, że wszystkie badane preparaty charakteryzowały się dużą zawartością tego składnika, ale stwierdzono różnice między preparatami handlowymi a skrobią wyizolowaną z grochu. Uzyskane wyniki są zbliżone do rezultatów uzyskanych przez MORADA i IN. (1980) w badaniach preparatów skrobiowych otrzymanych z różnych roślin strączkowych (od 90,8% w bobie do 91,3 i 91,5% w soczewicy i grochu żółtym – odpowiednio).

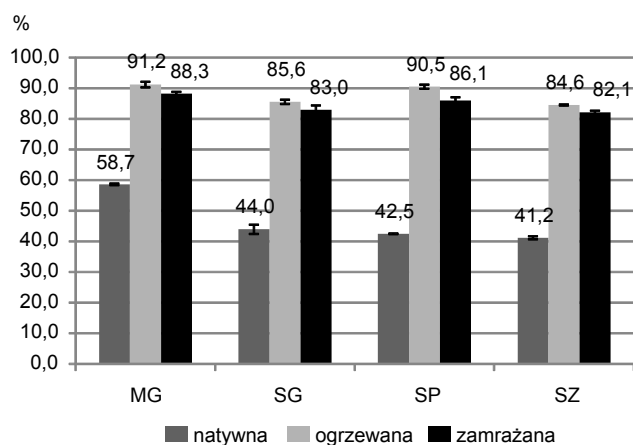
Tabela 2. Zawartość skrobi i amylozy w mące grochu i preparatach skrobi  
Table 2. Starch and amylose contents in pea flour and starch preparations

Produkt	Skrobia (% s.m.)	Amyloza (% s.m. skrobi)
Mąka grochowa	51,0 <sup>a</sup> ±0,2	16,7 <sup>a</sup> ±0,6
Skrobia grochowa	90,0 <sup>b</sup> ±0,3	14,7 <sup>b</sup> ±0,5
Skrobia pszenna	97,2 <sup>c</sup> ±0,3	23,1 <sup>c</sup> ±0,9
Skrobia ziemniaczana	96,6 <sup>c</sup> ±0,5	13,7 <sup>b</sup> ±0,2

Te same litery w kolumnie oznaczają brak statystycznie istotnych różnic między wartościami średnimi ( $p \geq 0,95$ ).

Badania zawartości amylozy wskazują na mniejszą jej ilość w skrobi grochowej i ziemniaczanej niż w skrobi pszennej, dla której uzyskane wartości są zbliżone do wartości podawanych w literaturze, tj. 20% (GAMBUŚ i GUMUL 2004) czy 25-29% (BULÉON i IN. 1998). Wyniki uzyskane w badaniach skrobi grochowej i ziemniaczanej są znacznie gorsze od danych literaturowych, podających, że zawartość amylozy w skrobi grochu zawiera się w przedziale od 20 do nawet 70%, a w skrobi ziemniaka – od 18 do 21% (BULÉON i IN. 1998, THEMEIER i IN. 2005). Na uwagę zasługuje fakt, że w wyniku izolacji skrobi z mąki grochowej zmniejszyła się zawartość amylozy, co może być spowodowane jej częściowym rozkładem i wyflukiwaniem w czasie tego procesu.

Badanie strawności *in vitro* skrobi natywnych wykazało, że największą wartością w porównaniu ze skrobią zawartą we wszystkich badanych preparatach (rys. 1) charakteryzuje się skrobia zawarta w mące: 58,7%. Uzyskana wartość jest mniejsza od wartości uzyskanych w innych badaniach różnych nasion roślin strączkowych: mieszczą się one w przedziale 95,2-98,0% (TOVAR i MELITO 1996). Jednakże w większości innych badań wartości strawności *in vitro* skrobi w natywnych nasionach są mniejsze od przytoczonych, jak również uzyskanych w pracy, np. 27,5-35,6% (MARCONI i IN. 2000) czy 33,1-43,1% (CHUNG i IN. 2008). Tak duże różnice między przytoczonymi badaniami wynikają przede wszystkim z zastosowanej metody oznaczania strawności, a w szczególności od rodzaju enzymów oraz ich dawki. Ta zastosowana w pracy warunkami była bardziej zbliżona do ostatnich przytoczonych badań, a uzyskane różnice mogą być spowodowane małą zawartością amylozy w badanej skrobi, bo, jak wiadomo, jej duża ilość znacznie zmniejsza strawność skrobi (HOOVER i SOSULSKI 1985).



Rys. 1. Strawność *in vitro* skrobi w mące grochowej (MG) oraz preparatach skrobi grochowej (SG), pszennej (SP) i ziemniaczanej (SZ) natywnych i poddanych procesom termicznym  
Fig. 1. Digestibility *in vitro* of starch in the pea flour (MG) and pea (SG), wheat (SP) and potato (SZ) starch preparations raw and after thermal treatment

Po procesie izolacji strawność skrobi istotnie się obniżyła – do poziomu 44%, co może być spowodowane faktem iż w przypadku mąki mamy do czynienia z produktem, w którym oprócz skrobi znajdują się również inne składniki, które mogą wpływać na trawienie skrobi. Podobne wyniki dla wyizolowanej skrobi można odnaleźć w literaturze. Jak podają CHAVAN i IN. (1999), strawność skrobi wyizolowanej z nasion roślin strączkowych mieści się w przedziale od 15 do 35%. Szerszy zakres podają SANDHU i LIM (2008): od 21,1 do 49,7%. Najmniejszą strawnością charakteryzowała się skrobia ziemniaczana (41,2%). Zgodnie z doniesieniami literaturowymi ma ona największe spośród badanych preparatów ziarna (BULÉON i IN. 1998), a strawność skrobi jest negatywnie skorelowana ze średnicą jej granulek. Ich wielkość może wpływać na strawność,

ponieważ stosunek powierzchni granulki skrobi do jej objętości decyduje o kontakcie substratu z enzymem (SANDHU i LIM 2008). Dodatkowo powierzchnia ziaren skrobi ziemniaczanej nie ma porów, które zwiększają ich dostępność dla enzymów, a przez to zwiększają stopień hydrolizy enzymatycznej (FANNON i IN. 1992). Strawność skrobi pszennej, której ziarna są mniejsze, ale ich powierzchnia porowata, była nieco większa i wynosiła 42,53%.

Strawność skrobi zawartej w mące i preparatach ogrzewanych w temperaturze 100°C przez 5 min była znacznie większa niż w przypadku skrobi w próbkach natywnych. Podczas ogrzewania roztworu wodnego skrobi w temperaturze powyżej 50°C zachodzą nieodwracalne zmiany w jej strukturze pierwotnej. Pękają wiązania wodorowe pomiędzy łańcuchami amylozy, a woda wnika do wnętrza granulek tworzy nowe wiązania z uwolnioną amylozą. Część amylozy wypływa z ziarna, tworząc przestrzenie, do których wnika woda. Przemiany te, nazywane kleikowaniem skrobi, prowadzą do pęcznienia ziaren skrobi i utraty przez nie budowy krystalicznej (EERLINGEN i DELCOUR 1995). Dzięki temu struktura jest mniej zwężła i bardziej dostępna dla enzymów trawiennych niż to jest w skrobi surowej. Tę tendencję potwierdzają również doniesienia literaturowe, np. XUE i IN. (1996) wykazali około czterokrotny wzrost strawności skrobi pszennej i pięciokrotny kukurydzianej. Mniejsze wartości otrzymali REHMAN i IN. (2001), badając strawność skrobi zawartej w nasionach fasoli. W przypadku fasoli surowej strawność wyniosła 38,0-39,6%, zależnie od odmiany, po procesie gotowania zaś mieściła się w zakresie 50,7-52,0%.

Porównując uzyskane wartości, można zauważyć, że wśród badanych produktów najmniejszą strawnością ponownie charakteryzowała się skrobia ziemniaczana, choć jej strawność po obróbce termicznej wzrosła ponad dwukrotnie: z 41,23 do 84,56%.

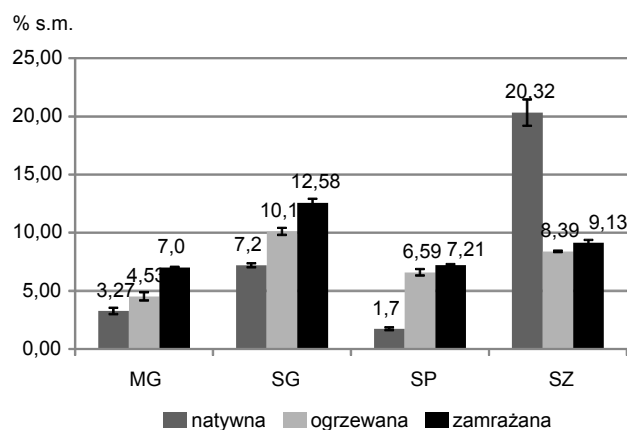
Porównując strawność skrobi zawartej w mące grochowej (91,2%) oraz po wyizolowaniu (85,6%), można zauważyć, że wyizolowana skrobia, podobnie jak w przypadku preparatów niemodyfikowanych, charakteryzowała się mniejszą strawnością (różnice istotne statystycznie). Mąka grochowa zawierała znacznie więcej białka (20,5% s.m. – Nx6.25) niż wyizolowana skrobia (2,4% s.m.), a jak wiadomo z literatury w skrobi poddanej obróbce termicznej obecność białka powoduje poprawę strawności poprzez ograniczenie tworzenia się RS (ESCARPA i IN. 1997). Wyznaczona strawność skrobi w mące grochu jest większa niż podawana w literaturze w nasionach poddanych obróbce termicznej, tj. 77,9-80,7% (MARCONI i IN. 2000) czy 50,7-52,0% (REHMAN i IN. 2001), co może wynikać z zastosowanego w jej przypadku dwukrotnego mielenia – przy otrzymywaniu mąki i po suszeniu. Proces ten w znacznym stopniu rozrywa struktury tkankowe otaczające ziarenka skrobi, powodując poprawę strawności (GARCÍA-ALONSO i IN. 1999, OSARIO-DÍAZ i IN. 2002).

W skrobi skleikowanej, a następnie mrożonej obserwowano pogorszenie strawności. Największą strawnością wśród zamrażanych mąk ponownie odznaczała się skrobia mąki grochowej (88,3%), a najmniejszą – skrobia ziemniaczana (82,1%). Podobne rezultaty w badaniach skrobi ziemniaczanej po gotowaniu i zamrożeniu otrzymali ROSIN i IN. (2002). W przypadku gotowanej skrobi, zarówno ziemniaczanej, jak i grochu strawność była większa niż po zamrożeniu i przechowywaniu jej przez 30 dni w temperaturze -21°C. Podczas przechowywania żele wykazują rosnącą tendencję do asocjacji cząsteczek poprzez krzyżowe usieciowanie za pomocą wiązań wodorowych. W miarę postępowania procesu tzw. starzenia się żelu tworzą się w nim coraz większe rejony

krystaliczne, a woda związana w procesie kleikowania zostaje uwolniona i wypchnięta, co skutkuje zacieśnieniem struktury. Przemiany te, określane mianem retrogradacji, zachodzą intensywniej w temperaturach chłodniczych i prowadzą do zmniejszenia strawności skrobi poprzez utrudnienie dostępu enzymom trawiennym do wnętrza ziaren skrobiowych (EERLINGEN i DELCOUR 1995).

Porównując uzyskane wyniki strawności skrobi dla wszystkich badanych produktów przed modyfikacją i po niej, można zauważyć, że te otrzymane w badaniach skrobi ziemniaczanej i grochowej są do siebie zbliżone. Wykazywały one podobnie małą strawność. Można to tłumaczyć podobieństwem w budowie krystalicznej obu rodzajów skrobi. Skrobia ziemniaczana wykazuje krystaliczność typu B, grochowa zaś – typu C, pośrednią między A i B. Skrobia o strukturze typu B wykazuje dużą oporność na amyloлизę, ponieważ tak zbudowane ziarna skrobiowe charakteryzują się zwartą strukturą, do której enzymy mają utrudniony dostęp. Trawienie zachodzi więc wolniej i w mniejszym stopniu, niż to jest obserwowane np. w przypadku skrobi pszennej o krystaliczności typu A. Również w skrobi nasion roślin strączkowych wzrost udziału struktury B powoduje pogorszenie strawności (HOOVER i ZHOU 2003, THEMEIER i IN. 2005).

Porównując wyniki zawartości skrobi odpornej (RS), można zauważyć, że zdecydowanie największą jej ilością wśród produktów natywnych cechowała się skrobia ziemniaczana: 20,32% s.m. (rys. 2). W stanie surowym tworzy ona jedną z frakcji skrobi odpornej (RS II), którą stanowią nieskleikowane ziarna skrobiowe. Jej oporność wynika ze stosunkowo odwodnionej i ściśle upakowanej struktury, która ogranicza w znacznym stopniu dostępność dla enzymów amylolytycznych (SAJILATA i IN. 2006). GOŃI i IN. (1996) zakwalifikowali surowe ziemniaki do produktów o dużej (powyżej 15% s.m.) zawartości skrobi odpornej, natomiast w wyizolowanej skrobi ziemniaczanej oznaczyli zawartość RS na poziomie 18,18% s.m. (GOŃI i IN. 1997).



Rys. 2. Zawartość skrobi odpornej w mące grochowej (MG) oraz preparatach skrobi grochowej (SG), pszennej (SP) i ziemniaczanej (SZ) natywnych i poddanych procesom termicznym  
Fig. 2. Resistant starch contents in the pea flour (MG) and pea (SG), wheat (SP) and potato (SZ) starch preparations raw and after thermal treatment

Widoczna jest również różnica między zawartością RS w skrobi grochowej przed wyizolowaniem i po wyizolowaniu (odpowiednio 3,27% i 7,20% s.m.; różnice istotne statystycznie). Wynika ona z obecności w mące szeregu innych składników żywności (m.in. białka), które zmniejszają zawartość RS (ESCARPA i IN. 1997). W literaturze można odnaleźć znacznie większe zawartości RS w nasionach grochu – od 9,3 do 11,4% s.m. (w grochu o zawartości amylozy od 30,1 do 34,2%) oraz od 18,0 do 19,6% s.m. (w grochu o zawartości amylozy od 62,5 do 70,6%) (THEMEIER i IN. 2005). GOŃI i IN. (1996) podają zawartość RS w mące grochowej wynoszącą 10,7% s.m.

Najmniejszą zawartością RS charakteryzowała się skrobia pszenna (< 2% s.m.). Znaczenie może tu mieć struktura krystaliczna ziaren skrobiowych. Skrobia pszenna wykazuje strukturę typu A, która w porównaniu z pozostałymi formami – B i C – jest najmniej zwarta, zatem jej oporność na działanie enzymów jest słabsza. W literaturze można odnaleźć wyniki dla skrobi pszennej gorsze od uzyskanych w niniejszej pracy, tj. 0,2-0,3% s.m. (THEMEIER i IN. 2005).

Po ogrzewaniu zaobserwowano istotny statystycznie wzrost ilości skrobi odpornej w każdym rodzaju badanych skrobi. Najmniejszą zawartość RS oznaczono ponownie w skrobi pszennej: 6,59% s.m., a największą – w wyizolowanej skrobi grochowej (10,11% s.m.). Ilość RS zawarta w mące grochowej jest istotnie mniejsza niż w skrobi po wyizolowaniu, co może mieć związek z obecnością dużej ilości białka w mące, gdyż, jak wiadomo z literatury, białko powoduje spadek zawartości RS w produkcie poddanym obróbce termicznej (ESCARPA i IN. 1997). Zbliżony do mąki grochowej wynik w zmielonych nasionach grochu poddanych gotowaniu otrzymali ROSIN i IN. (2002): 4,62% s.m. oraz HOOVER i ZHOU (2003): 3,44% s.m.

W porównaniu z preparatami natywnymi znacznie spadła zawartość RS w skrobi ziemniaczanej (z 20,32% do 8,39% s.m.). Ziarna skrobiowe uległy w warunkach modyfikacji skleikowaniu, zatem zmalał procentowy udział skrobi odpornej typu II. Wynik ten jest większy od podawanego w literaturze, tj. poniżej 1% s.m. w gotowanych i gorących ziemniakach i od 1 do 2,5% w ziemniakach ugotowanych i ostudzonych (GOŃI i IN. 1996). Badane w niniejszej pracy produkty były po zagotowaniu poddawane długotrwałemu procesowi suszenia (40°C przez 24 h) w celu uzyskania preparatu o jak najmniejszej zawartości wody. Duża zawartość RS otrzymana we wszystkich ogrzewanych produktach może być skutkiem retrogradacji skrobi, która nastąpiła w trakcie suszenia. Potwierdzeniem mogą być większe niż w przytoczonych badaniach wartości ilości RS uzyskane w analizach ziemniaków przez ROSIN i IN. (2002) 3,38%; również stosowali oni suszenie po obróbce termicznej. Jednak są to większe wartości niż uzyskane w tej pracy i mogą wynikać z różnic w materiale badawczym; w przytoczonych badaniach badano całe ziemniaki, a w niniejszej pracy – skrobię wyizolowaną, a – jak wykazano – izolacja ma znaczny wpływ na ilość RS.

Oznaczenie skrobi odpornej wykonano również w produktach przechowywanych po zagotowaniu w warunkach zamrażalniczych (-21°C przez 24 h). Jedynie w przypadku skrobi ziemniaczanej zaobserwowany wzrost zawartości RS nie był istotny statystycznie w porównaniu z próbkami gotowanymi, natomiast w pozostałych obserwowano wzrost ten był istotny. Jeden z rodzajów skrobi odpornej stanowią zretrogradowane polimery skrobiowe (RS III). Jest to frakcja składająca się głównie ze zretrogradowanej amylozy (EERLINGEN i DELCOUR 1995). Amylopektyna również ulega retrogradacji i wchodzi w skład RS III, jednak jej oporność jest mniejsza i całkowicie tracona po



podgrzaniu do 100°. Zgodnie z obserwacjami GARCÍA-ALONSO i IN. (1999), aby zintensyfikować proces retrogradacji, skleikowane próbki przed zamrożeniem pozostawiono do wystygnięcia w temperaturze pokojowej.

Podobnie jak w przypadku preparatów gotowanych największą zawartością skrobi odpornej charakteryzowała się skrobia wyizolowana z mąki grochowej (12,58% s.m.), a najmniejszą – skrobia pszenna oraz mąka grochowa, między którymi różnice nie były istotne statystycznie.

W literaturze można odnaleźć dane potwierdzające wzrost ilości RS oznaczanej w produktach gotowanych i przechowywanych w temperaturach zamrażalniczych (-21°C) bądź chłodniczych (4°C) w stosunku do RS oznaczonej w produktach świeżo gotowanych. Takie rezultaty otrzymały MUIR i O'DEA (1992), badając RS zawartą w ziemniakach i bananach. Również HOOVER i ZHOU (2003) podają większą zawartość RS w fasoli gotowanej i przechowywanej (4,79% s.m.) w stosunku do fasoli świeżo ugotowanej (3,9% s.m.). Podobnie ROSIN i IN. (2002) oznaczyli większe zawartości RS w ziemniakach i grochu przechowywanych (odpowiednio 7,35% i 5,71% s.m.) niż w świeżo ugotowanych (3,38% i 4,62% s.m.).

## Wnioski

1. Po wyizolowaniu skrobi z mąki grochu stwierdzono pogorszenie jej strawności *in vitro*, jak również zwiększenie zawartości skrobi odpornej. Zastosowanie obróbki termicznej, tj. ogrzewania wodnych zawiesin skrobi, jak również zamrożenie otrzymanych kleików nie zmieniły tej zależności.

2. Strawność skrobi w mące grochu zarówno natywnej, jak i poddanej procesom była większa niż skrobi pszennej i ziemniaczanej, natomiast po wyizolowaniu i po poddaniu procesom jej strawność była na podobnym poziomie jak skrobi ziemniaczanej.

3. Zawartość skrobi odpornej w wyizolowanej skrobi grochu poddanej obróbce termicznej była większa niż w skrobi pszennej i ziemniaczanej.

## Literatura

- BULÉON A., COLONNA P., PLANCHOT V., BALL S., 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* 23: 85-112.
- CHAVAN U.D., SHAHIDI F., HOOVER R., PERERA C., 1999. Characterization of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) starch. *Food Chem.* 65: 61-70.
- CHUNG H.-J., LIU Q., HOOVER R., WARKENTIN T.D., VANDENBERG B., 2008. *In vitro* starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. *Food Chem.* 111: 316-321.
- EERLINGEN R.C., DELCOUR J.A., 1995. Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *J. Cereal Sci.* 22: 129-138.
- ENGLYST H.N., HUDSON G.J., 1996. The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chem.* 57: 15-21.
- 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.

- ESCARPA A., GONZÁLEZ M.C., MORALES M.D., SAURA-CALIXTO F., 1997. An approach to the influence of nutrients and other food constituents on resistant starch formation. *Food Chem.* 60, 4: 527-532.
- FANNON J.E., HAUBER R.J., BEMILLER J.N., 1992. Surface pores of starch granules. *Cereal Chem.* 69, 3: 284-288.
- GALIŃSKI G., GAWĘCKI J., REMISZEWSKI M., 2000. Strawność skrobi natywnych i modyfikowanych. *Żywn. Nauka Techn. Jakość* 3, 24: 58-68.
- GAMBUŚ H., GUMUL D., 2004. Charakterystyka żeli sporządzonych ze skrobi wyodrębnionej z niedojrzałych zbóż. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 3, 1: 33-43.
- GARCÍA-ALONSO A., JIMÉNEZ-ESCRIG A., MARTÍN-CARRÓN N., BRAVO L., SAURA-CALIXTO F., 1999. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem.* 66: 181-187.
- GOŃI I., BRAVO L., LARRAURI J.A., SAURA-CALIXTO F., 1997. Resistant starch in potatoes deep-fried in olive oil. *Food Chem.* 59: 269-272.
- GOŃI I., GARCÍA-DIZ L., MAÑAS E., SAURA-CALIXTO F., 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem.* 56: 445-449.
- HOOVER R., RATNAYAKE W.S., 2002. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chem.* 78: 489-498.
- HOOVER R., SOSULSKI F.W., 1985. Studies on the functional characteristics and digestibility of starches from *Phaseolus vulgaris* biotypes. *Starch* 37: 181-191.
- HOOVER R., SOSULSKI F.W., 1991. Composition, structure, functionality and chemical modification of legume starches: a review. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69: 79-92.
- HOOVER R., ZHOU Y., 2003. *In vitro* and *in vivo* hydrolysis of legume starches by  $\alpha$ -amylase and resistant starch formation in legumes – a review. *Carbohydr. Polym.* 54: 401-417.
- JENKINS D.J., KENDALL C.W., AUGUSTIN L.S., FRANCESCHI S., HAMIDI M., MARCHIE A., JENKINS A.L., AXELSON M., 2002. Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 76: 266-273.
- LEHMAN U., ROBIN F., 2007. Slowly digestible starch – its structure and health implications: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 18: 346-355.
- MARCONI E., RUGGERI S., CAPPELLONI M., LEONARDI D., CAENOVALE E., 2000. Physical, nutritional, and microstructural characteristics of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) following microwave cooking. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5986-5994.
- MORAD M.M., LEUNG H.K., HSU D.L., FINNEY P.L., 1980. Effect of germination on physicochemical and bread-baking properties of yellow pea, lentil and Faba bean flours and starches. *Cereal Chem.* 57, 6: 390-396.
- MORRISON W.R., LAIGNELET B., 1983. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *J. Cereal Sci.* 1: 9-20.
- MUIR J.G., O'DEA K., 1992. Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion *in vitro*. *Am. J. Clin. Nutr.* 56, 1: 123-127.
- OSARIO-DIAZ P., BELLO-PEREZ L.A., AGAMA-ACEVEDO E., VARGAS-TORRES A., TOVAR J., PADERES-LOPEZ O., 2002. *In vitro* starch digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 78: 333-337.
- RATNAYAKE W.S., HOOVER R., SHAHIDI F., PERERA C., JANE J., 2001. Composition, molecular structure and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chem.* 74: 789-202.
- REHMAN Z., SALARIYA A.M., ZAFAR S.I., 2001. Effect of processing on available carbohydrate content and starch digestibility of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 73: 351-355.
- ROSIN P.M., LAJOLO F.M., MENEZES E.W., 2002. Measurement and characterization of dietary starches. *J. Food Comp. Anal.* 15: 367-377.
- SAJILATA M.G., SINGHAL R.S., KULKARNI P.R., 2006. Resistant starch – a review. *Comp. Rev. Food Sci. Food Safety* 5: 1-17.

Piecyk M., Godlewska M., 2009. Wpływ izolacji i obróbki termicznej na strawność skrobi grochu. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 4, #131.

- SANDHU K.S., LIM S.-T., 2008. Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. *Carbohydr. Polym.* 71: 245-252.
- THEMEIER H., HOLLMANN J., NEESE U., LINDHAUER M.G., 2005. Structural and morphological factors influencing the quantification of resistant starch II in starches of different botanical origin. *Carbohydr. Polym.* 61: 72-79.
- TOVAR J., MELITO C., 1996. Steam-cooking and dry heating produce resistant starch in legumes. *J. Agric. Food Chem.* 44, 9: 2642-2645.
- WRONKOWSKA M., JUŚKIEWICZ J., SORAL-ŚMIETANA M., 2002. Nutritional and physiological effects of native and physically-modified starches of different origin on rats. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 52: 62-67.
- XUE Q., NEWMAN R.K., NEWMAN C.W., 1996. Effects of heat treatment of barley starches on *in vitro* digestibility and glucose responses in rats. *Cereal Chem.* 73, 5: 588-592.
- ZHOU Y., HOOVER R., LIU Q., 2004. Relationship between  $\alpha$ -amylase degradation and the structure and physicochemical properties of legume starches. *Carbohydr. Polym.* 57: 299-231.

#### THE EFFECT OF ISOLATION AND THERMAL TREATMENT ON THE DIGESTIBILITY OF THE PEA STARCH

**Summary.** The aim of the study was the examination of *in vitro* digestibility of the starch contained in native pea flour and after its isolation and thermal treatment, as well as the comparison of the results obtained with digestibility of other crystallinity types starches. Digestibility of pea flour starch was the highest (58.7%) comparing to other samples, whereas after isolation its value was diminished (44.0%) to the level similar to wheat and potato starches. After heating digestibility was considerably improved to the value 91.2%, similarly to the case of wheat starch, while isolated starch had digestibility close to the one from potato. After freezing digestibility was diminished in all samples. Simultaneously a rise of resistant starch content was observed from 10.11% to 12.58% in pea starch and from 4.53% to 7.02% in pea flour.

**Key words:** *in vitro* starch digestibility, resistant starch, cooking, cooking and freezing

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

Małgorzata Piecyk, Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Oceny Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, Poland, e-mail: malgorzata\_piecyk@sggw.pl

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print:*  
7.10.2009

*Do cytowania – For citation:*

Piecyk M., Godlewska M., 2009. Wpływ izolacji i obróbki termicznej na strawność skrobi grochu. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 4, #131.