

## Skrobia jęczmienna i jej wykorzystanie w żywieniu bydła

Bogdan Śliwiński

*Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy,  
Dział Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa, 32-083 Balice k. Krakowa*

### Ziarno jęczmienia jako pasza energetyczna w żywieniu bydła

Uzyskanie w stadach udoskonalonego genetycznie bydła wysokiej i stabilnej wydajności produkcyjnej wymaga stosowania takich systemów żywienia, które w pełni zaspokoją jego wysokie zapotrzebowanie na składniki pokarmowe. Podstawową potrzebą pokarmową jest pokrycie zapotrzebowania na białko, energię oraz składniki mineralne. Ważna jest również obecność włókna, które wpływa na motorykę żwacza. Ograniczona pojemność przewodu pokarmowego wiąże się z tym, że zwierzęta muszą otrzymywać pasze o wysokiej koncentracji składników pokarmowych. Ważne źródło energii w żywieniu zwierząt przeżuwających stanowi skrobia ziarna zbóż. Wprowadzenie do dawki pokarmowej pasz energetycznych odbywa się kosztem pasz objętościowych.

Zmienia to wzajemne proporcje pozostałych składników pokarmowych, co przy dużym udziale ziarna zbóż może prowadzić do zakłócenia fizjologii żwacza. Ziarno jęczmienia, ze względu na sprzyjające uprawie tej rośliny warunki klimatyczno-glebowe oraz wysoką zawartość skrobi jest podstawowym surowcem do sporządzania mieszanek treściwych dla bydła wysoko produkcyjnego.

### Charakterystyka jęczmienia

W latach 2010–2015 powierzchnia zasiewów jęczmienia w Polsce stanowiła około 10% powierzchni uprawnej; średni roczny zbiór sięgał 3,6 mln t przy plonie około 31,4 q/ha (Mały Rocznik Statystyczny Polski, 2014; GUS). Jęczmień jest zbożem bardziej od innych tolerancyjnym na

opóźnienie siewu i suszę, gorzej znosi natomiast kwaśny odczyn gleby.

Ziarno jęczmienia zwyczajnego (*Hordeum vulgare* L.), zarówno odmian ozimych jak i jarych, jest wykorzystywane w przemyśle browarniczym i spożywczym. Najczęściej jednak jest przeznaczane do sporządzania mieszanek treściwych bezpośrednio w gospodarstwach oraz w przemyśle paszowym. Wśród odmian ozimych przeważają uboższe w skrobię (<65% w SM) i bogatsze w białko (11,5–13,3% w SM) odmiany cztero- i sześciorzędowe w porównaniu z najczęściej spotykanym dwurzędowym jęczmieniem jarym (>65% skrobi, 9–11,8% BO w SM), wykorzystywanym w przemyśle browarniczym.

Ziarno jęczmienia w 1 kg SM zawiera około 55–74% skrobi, około 12,6% białka ogólnego, 1,2–2,4% tłuszczu i 2–20% β-glukanów, natomiast wartość pokarmowa w systemie INRA dla energii netto to 1,07 JPM (jednostek paszowych produkcji mleka) oraz 1,05 JPŻ (jednostek paszowych produkcji żywca) oraz dla białka – 37 BTJP (białko paszowe nieulegające rozkładowi w żwaczu), 86 BTJN (białko mikroorganizmów syntetyzowane w żwaczu z dostępnego azotu) i 103 BTJE (białko mikroorganizmów syntetyzowane w żwaczu przy wykorzystaniu dostępnej energii) (Brzóska i in., 2015).

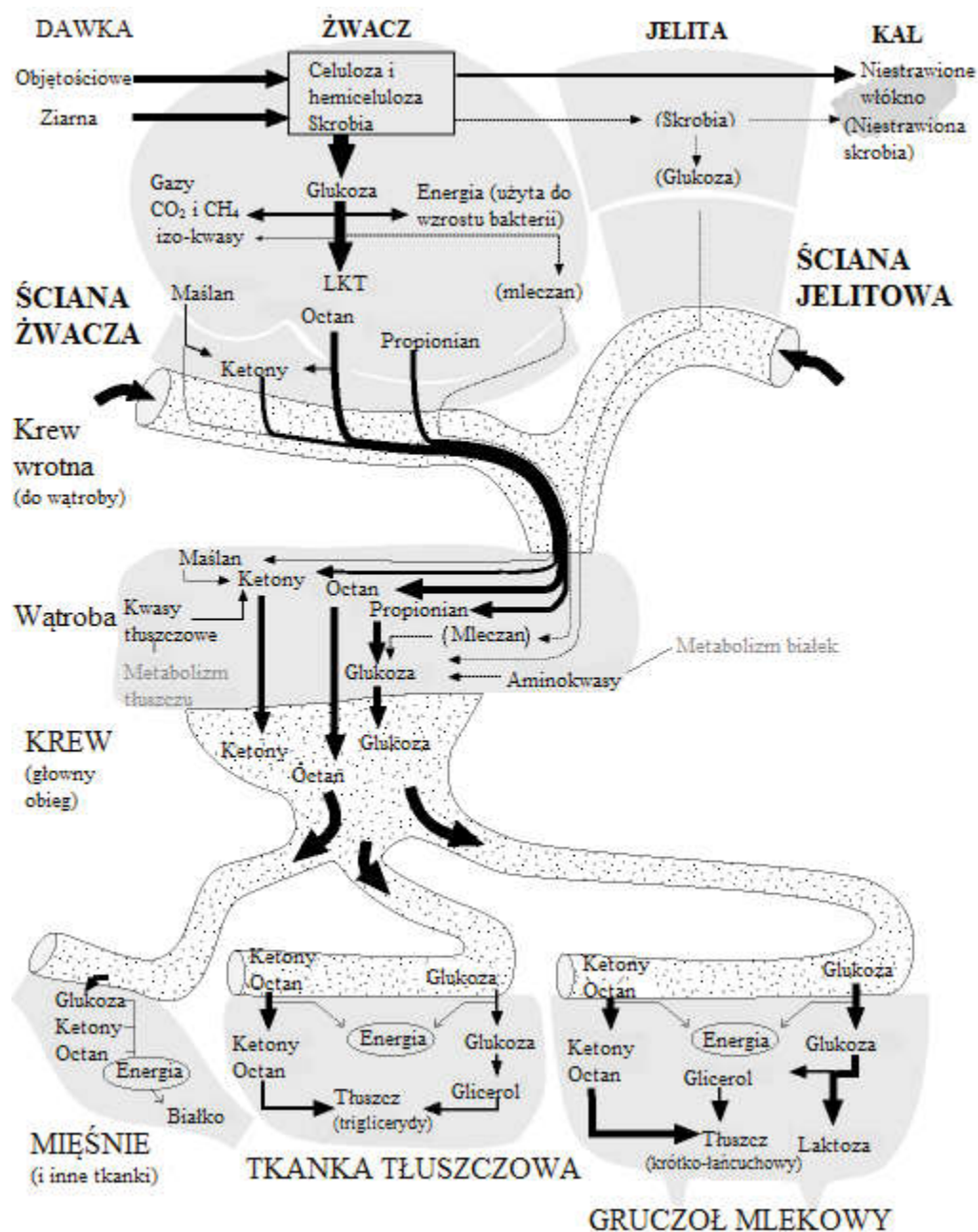
### Trawienie skrobi

Skrobia podlega przemianom w procesach trawiennych, zarówno w żwaczu jak i w dalszych odcinkach przewodu pokarmowego (rys. 1). Dla całego przewodu pokarmowego współczynnik strawności skrobi wynosi 93±6%, a strawność w samym żwaczu stanowi 73±13% skrobi trawio-

nej w całym przewodzie pokarmowym (Owens i in., 1986; Mills i in., 1999).

Z punktu widzenia oceny przydatności ziarna jęczmienia w żywieniu bydła wysoki

udział skrobi jest zaletą, ale jej szybki rozkład w żwaczu stanowi wadę i jest czynnikiem ograniczającym jego wykorzystanie w żywieniu tych zwierząt.



Rys. 1. Schemat metabolizmu węglowodanów u przeżuwaczy  
 Fig. 1. Schematic drawing of carbohydrate metabolism in ruminants

Originalne źródło grafiki: <https://image.slidesharecdn.com/carbohydratemetabolism-140224030746-phpapp02/95/carbohydrate-metabolism-animal-nutrition-6-638.jpg?cb=1393211316>

### Trawienie skrobi w żwaczu

Pobrana przez zwierzęta przeżuwać-  
ce skrobia jęczmienna szybko ulega fermentacji  
w żwaczu. Jak pokazują badania Herrera-Saldaña  
i in. (1990), efektywny rozkład w żwaczu (ERŻ,  
uwzględniający 6% pasaż treści ze żwacza/  
godzinę) skrobi ziarna jęczmienia jest niższy  
niż owsa czy pszenicy, ale wyższy niż kukurydzy.  
Sauvant i in. (1994) oraz Cerneau i Michalet-Doreau  
(1991) także uzyskali zbliżone wartości. Ryś  
i in. (1997) zaobserwowali, że odmiany jare  
jęczmienia miały ERŻ skrobi o 7 punktów  
procentowych wyższy od odmian ozimych.  
Skrobia w żwaczu jest rozkładana przez  
mikroorganizmy do szybko resorbowanej i  
metabolizowanej glukozy, lotnych kwasów  
tłuszczowych (LKT, czyli kwasy: octowy,  
propionowy i masłowy oraz walerianowy,  
izowalerianowy i izo-masłowy), kwasu  
mlekowego oraz metanu, dwutlenku węgla  
i wodoru (typowe fizjologiczne produkty  
przemian żwaczowych). Uwalniana energia  
przy prawidłowej zawartości azotu jest  
wykorzystywana do syntezy białka  
mikroorganizmów żwacza, będącego  
źródłem białka pokarmowego dla  
przeżuwaczy. LKT i kwas mlekowy są  
absorbowane do krwi przez ścianę  
żwacza i uczestniczą w procesie  
glukoneogenezy w wątrobie.

O tym, jaka jest koncentracja kwasów  
organicznych w treści żwacza oraz jak  
efektywnie przez przeżuwacze jest  
wykorzystywana skrobia, decydują  
stopień i tempo jej rozkładu przez  
mikroorganizmy (Philippeau i in., 2000).  
Fermentacji dużych ilości skrobi  
towarzyszy wzrost udziału kwasu  
propionowego w sumie LKT, natomiast  
przy małych ilościach skrobi i dużych  
ilościach włókna przeważa kwas  
octowy (Kennedy i Rice, 1987; Mills  
i in., 1999).

### Trawienie skrobi w jelicie cienkim

Skrobia, która nie uległa rozkładowi  
w żwaczu, przechodzi do dalszych  
odcinków przewodu pokarmowego.  
Harmon i in. (2004) szacują, że  
skrobia docierająca do jelita  
cienkiego ulega w nim rozłożeniu  
w 35–60%. W jelicie cienkim  
podlega trawieniu do dekstryn  
oraz oligosacharydów przez enzym  
 $\alpha$ -amylazę trzustkową, a powstałe  
wielocukry są rozkładane przez  
enzymy jelitowe (oligosacharazy:  
maltazy i izomaltazy) do glukozy,  
która jest wchłaniana bez-

pośrednio do krwi (Mills i in., 1999).  
Jak podają Deckardt i in. (2013),  
szacuje się, że zdolność do  
trawienia skrobi w jelitach wynosi  
od 45 do 80% skrobi docierającej  
do dwunastnicy, co jest wynikiem  
ograniczonego wydzielania  
amylazy trzustkowej, powodowanego  
niewielką ilością skrobi docierającej  
do tego odcinka przewodu  
pokarmowego. Zdolność do  
trawienia dużych ilości skrobi  
w jelicie cienkim przeżuwaczy  
została zakwestionowana przez  
Croome i in. (1992) oraz Waldo  
(1973) ze względu na niskie  
poziomy amylazy trzustkowej  
oraz izomaltazy i maltazy  
jelitowej (Keller i in., 1958;  
Siddons, 1968; Coombe i  
Siddons, 1973; Coombe i Smith,  
1974), a także z powodu niskiej  
absorpcji glukozy (Orskov, 1986;  
Kreikemeier i in., 1990; Tanigushi  
i in., 1995). Według Svihusa i in.  
(2005), tempo jelitowego  
trawienia skrobi u przeżuwaczy  
prawdopodobnie limituje w  
większym stopniu obecność  
 $\alpha$ -amylazy niż oligosacharazy.  
Stwierdzono, że obecność  
glukozy lub hydrolizatów skrobi  
w jelicie cienkim zmniejsza  
wydzielanie  $\alpha$ -amylazy u  
bydła (Swanson i in., 2002),  
jak również aktywność enzymów  
(Kreikemeier i in., 1990).  
Istnieją dowody na to, że  
wydzielanie amylazy może być  
stymulowane przez zwiększoną  
ilość białka docierającego do  
dwunastnicy. Prawidłowa proporcja  
białka i skrobi dostarczanych do  
dwunastnicy może zwiększyć  
wychwytywanie glukozy.  
Kreikemeier i in. (1990) donoszą  
o wyższej aktywności enzymatycznej  
w przypadku diety o wysokiej  
zawartości białka z siana lucerny  
w porównaniu z dietą z pełnego  
ziarna z taką samą ilością energii,  
co Fushiki i in. (1989) tłumaczą  
tym, że obecność białka w  
jelitach uwalnia cholecystokininę  
(peptyd wrażliwy na proteolizę),  
która stymuluje trzustkę.  
Transport glukozy przez ściany  
jelit odbywa się w sposób  
aktywny.

### Trawienie skrobi w jelicie grubym

Jak podają Harmon i in. (2004),  
niestrawiona w jelicie cienkim  
skrobia, przechodząc do jelita  
grubego ulega w nim rozkładowi  
przez mikroorganizmy w 35–50%,  
a końcowymi produktami są  
LKT i kwas mlekowy.

### Wykorzystanie energii ze skrobi w zależności od miejsca jej trawienia

U przeżuwaczy otrzymujących dawki

pokarmowe ze średnim i wysokim udziałem pasz treściwych zapotrzebowanie na glukozę pokrywa w około 30% glukoza wchłonięta w jelitach, 50% pochodzi z absorpcji LKT i kwasu mlekowego ze żwacza (stanowiących substraty dla glukoneogenezy wątrobowej), a 20% z innych źródeł. Kiedy wchłanianie glukozy w jelitach zwiększa się, przeżuwacze na ogół dostosowują (zmniejszają) glukoneogenezę zgodnie z zapotrzebowaniem, które jest bezpośrednio powiązane z ilością pobranej energii strawnej. Pod względem całkowitej wydajności energii metabolicznej skrobia ziarna jęczmienia jest najlepiej wykorzystana, kiedy jest poddana fermentacji w żwaczu (Huntington, 1997). Odmienne zdania są Nocek i Tamminga (1991), którzy sugerują, że skrobia trawiona w jelitach jest wykorzystywana bardziej efektywnie niż w wyniku trawienia w żwaczu, a Janes i in. (1985) uważają, że zwierzęta przeżuwające mogą być zdolne do trawienia dużych ilości skrobi w jelicie cienkim przez dostosowanie aktywności ich enzymów.

### **Zagrożenie i przebieg kwasicy żwacza**

Jednorazowe pobranie przez krew dużej ilości skrobi jęczmiennej powoduje nagłe pojawienie się w żwaczu dużej ilości łatwo fermentujących węglowodanów. Konsekwencją tego jest gwałtowna i nadmierna fermentacja, w wyniku której zostaje wyprodukowana duża ilość lotnych kwasów tłuszczowych oraz kwasu mlekowego. Powstałe kwasy, po przełamaniu pojemności buforowej płynu żwaczowego, przyczyniają się do zakwaszenia środowiska żwacza, a tym samym zakłócają jego równowagę mikrobiologiczną. Optymalne dla fibrolitycznych, czyli rozkładających włókno mikroorganizmów pH treści żwacza to 6,2–6,8, które można uzyskać dzięki odpowiedniemu składowi dawki pokarmowej oraz zubożającemu działaniu śliny, której pH u krowy wynosi 8–8,5 (Maekawa i in., 2002). Pasza zawierająca optymalną ilość włókna (zwłaszcza fizycznie efektywnego) wpływa stymulująco na motorykę żwacza, odruchy odbijania, przeżuwanie oraz wydzielanie śliny, której krowa może wyprodukować 140 l na dobę. Spadek wartości pH w żwaczu pobudza mikroorganizmy amylolityczne, czyli rozkładające skrobię, do proliferacji i sprawia, że konkurują skutecznie z bakteriami

celulolitycznymi, które do prawidłowego rozwoju potrzebują wyższego pH (Mould i Orskov, 1983; Mould i in., 1983). W sytuacji, gdy poziom pH treści żwacza utrzymuje się przez większość doby na poziomie 5,5, mamy do czynienia z tzw. kwasicą sublikniczną, której działanie ogranicza się przede wszystkim do żwacza. Objawia się ona zmniejszeniem apetytu, prowadzącym do obniżenia wydajności mlecznej i zawartości tłuszczu w mleku, problemami z raciami (ochwat bydła), widocznymi niestety dopiero po 2–3 miesiącach (Vermunt, 2000). Z kolei, gdy pH treści żwacza utrzymuje się przez cały czas na poziomie <5,0 – mamy do czynienia z kwasicą kliniczną, której konsekwencją jest kwasica metaboliczna, obejmująca cały organizm zwierzęcia. Odczyn pH żwacza poniżej 5,2 sprawia, że bakterie celulo-lityczne i pierwotniaki zostają wyeliminowane z jego środowiska. Przy pH poniżej 4,7 rozwijają się bakterie kwasu mlekowego, produkujące coraz większe ilości tego kwasu.

Nadmiar kwasu mlekowego, przewyższający zdolności buforowe żwacza, prowadzi w końcu do unieruchomienia jego motoryki oraz do zamarcia mikroflory, a więc do ustania fermentacji. Uszkodzeniu ulega śluzówka żwacza oraz jelit, co stanowi łatwą drogę do wnikięcia patogenów. Część kwasu mlekowego jest wchłaniana ze żwacza do krwi, przy czym im więcej się go gromadzi, tym większa jest możliwość jego wchłaniania do krwi. Nadmiar kwasu mlekowego we krwi powoduje stan kwasicy metabolicznej. Zmniejsza się stężenie anionów wodorowęglanowych – tzw. dwuwęglanów oraz anionów wapnia. W efekcie zmniejsza się pH krwi oraz pogarsza bilans elektrolitów i równowaga kwasowo-zasadowa, przez co krew nie może odprowadzać dwutlenku węgla z komórek. Wysokie ciśnienie osmotyczne masy pokarmowej oraz biegunki powodują utratę wody z krwi oraz zwiększoną produkcję erytrocytów przez śledzionę, czego obrazem jest wzrost hematokrytu.

W uogólnieniu można powiedzieć, że kwasica żwaczowa to nadmierna kwasowość płynu żwacza, będąca wynikiem nadmiernej produkcji lotnych kwasów tłuszczowych i kwasu mlekowego, przy braku możliwości ich efektywnego wchłaniania przez błonę śluzową żwacza oraz niedostatecznego wydzielania śliny.

### Jak zapobiegać kwasicy

Zapobieganie kwasicy wymaga przestrzegania odpowiednich zasad żywieniowych, czyli żywienia krów paszami o dużej pojemności buforowej, jak np. sianokiszonka z lucerny. Należy kontrolować udział węglowodanów niestrukturalnych w dawce pokarmowej przez stosowanie właściwych systemów bilansowania. Zadawana pasza nie powinna być nadmiernie rozdrobniona, lecz podana w cząsteczkach o odpowiedniej wielkości, by dostarczyć włókna fizycznie efektywnego. Decyduje ono o właściwej strukturze treści pokarmowej w żwaczu oraz o tempie i ilości wydzielanej śliny. Należy też często kontrolować

spożycie paszy, zwłaszcza gdy w dawce znajduje się dużo pasz treściwych oraz stosować substancje buforujące lub alkalizujące pH płynu żwacza. TMR lub PMR należy przygotowywać w taki sposób, aby uniemożliwić zwierzętom wybieranie poszczególnych komponentów paszowych.

Z uwagi na to, że jęczmień jest zarówno cenną, jak i niebezpieczną paszą w żywieniu przeżuwaczy, istnieje konieczność przynajmniej częściowej ochrony skrobi jęczmiennej przed jej szybkim rozkładem żwaczowym. Pozwoli to na zwiększenie udziału ziarna jęczmienia w dawce pokarmowej dla bydła bez ryzyka wystąpienia niepożądanych zaburzeń fermentacji żwaczowej.

### Literatura

- Brzóska F., Śliwiński B., Furgał-Dierżuk I. (2015). Tabele składu chemicznego i wartości pokarmowej pasz krajowych; ISBN 978-83-7607-262-3.
- Cerneau P., Michalet-Doreau B. (1991). *In situ* starch degradation of different feeds in the rumen. *Reprod. Nutr. Develop.*, EDP Sciences, 31 (1): 65–72.
- Coombe N.B., Siddons R.C. (1973). Carbohydrases of the bovine small intestine. *Br. J. Nutr.*, 30: 269–279.
- Coombe N.B., Smith R.H. (1974). Digestion and absorption of starch, maltose and lactose by the preruminant calf. *Br. J. Nutr.*, 31: 227–235.
- Croome W.J.Jr., Bull L.S., Taylor I.L. (1992). Regulation of pancreatic exocrine secretion in ruminants: A review. *J. Nutr.*, 122: 191–202.
- Deckardt K., Khol-Parisini A., Zebeli Q. (2013). Peculiarities of enhancing resistant starch in ruminants using chemical methods: Opportunities and challenges. *Nutrients*, 5 (6): 1970–1988.
- Fushiki T., Kajiura H., Fukuoka S., Kido K., Semba T., Iwai K. (1989). Evidence for an intraluminal mediator in rat pancreatic enzyme secretion: Reconstitution of the pancreatic response with dietary protein, trypsin and the monitor peptide. *J. Nutr.*, 119: 622–630.
- Harmon D.L., Yamka R.M., Elam N.A. (2004). Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 84: 309–318.
- Herrera-Saldaña R.E., Gómez-Alarcón R., Torabi M., Huber J.T. (1990). Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *J. Dairy Sci.*, 73: 142–148.
- Huntington G.B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.*, 75: 852–867.
- Janes A.N., Weeks T.E.C., Armstrong D.G. (1985). Carbohydrase activity in the pancreatic tissue and small intestine mucosa of sheep fed dried-grass or ground maize-based diets. *J. Agric. Sci. (Camb.)*, 104: 435–443.
- Keller P.J., Cohen E., Neurath H. (1958). The proteins of bovine pancreatic juice. *J. Biol. Chem.*, 233: 344–349.
- Kennedy S., Rice D.A. (1987). Renal lesions in cattle fed sodium hydroxide-treated barley. *Vet. Pathol.*, 24: 265–271.
- Kreikemeier K.K., Harmon D.L., Peters J.P., Gross K.L., Armendariz C.K., Krehbiel C.R. (1990). Influence of dietary forage and feed intake on carbohydrase activities and small intestinal morphology of calves. *J. Anim. Sci.*, 68: 2916–2929.
- Maekawa M., Beauchemin K.A., Christensen D.A. (2002). Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 85: 1165–1175.
- Mały Rocznik Statystyczny Polski (2014). ISSN 1640-3640; www.stat.gov.pl
- Mills J.A.N., France J., Dijkstra J. (1999). A review of starch digestion in the lactating dairy cow and proposal for a mechanistic model: 1. Dietary starch characterisation and ruminal starch digestion. *J. Anim. Feed Sci.* 8 (3): 219–340.
- Mould F.L., Orskov R.E. (1983). Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis *in sacco* dry

- matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10: 1–14.
- Mould F.L., Orskov R.E., Mann S.O. (1983). Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion of various roughages. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 10: 15–30.
- Nocek J.E., Tamminga S. (1991). Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3598–3629.
- Orskov E.R. (1986). Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.*, 63: 1624–1633.
- Owens F.N., Zinn R.A., Kim Y.K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.*, 63: 1634–1648.
- Philippeau C., Landry J., Michalet-Doreau B. (2000). Influence of the protein distribution of maize endosperm on ruminal starch degradability. *J. Sci. Food Agric.*, 80: 404–408.
- Ryś R., Pisulewski P., Strzetelski J., Antoniewicz A., Chomyszyn M., Stasiniewicz T., Kowalski M., Żebrowska T. (1997). Normy żywienia bydła, owiec i kóz. Wartość pokarmowa pasz dla przeżuwaczy. IZ, Kraków.
- Sauvant D., Chapoutot P., Archimède H. (1994). La digestion des amidons par les ruminants et ses conséquences. *INRA Prod. Anim.*, 7: 115–124.
- Siddons R.C. (1968). Carbohydrase activities in the bovine digestive tract. *Biochem. J.*, 108: 839–844.
- Svihus B., Uhlen A.K., Harstad O.M. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 122 (3–4): 303–320.
- Swanson K.C., Richards C.J., Harmon D.L. (2002). Influence of abomasal infusion of glucose or partially hydrolyzed starch on pancreatic exocrine secretion in beef steers. *J. Anim. Sci.*, 80: 1112–1116.
- Tanigushi K., Huntington G.B., Glenn B.P. (1995). Net nutrient flux by visceral tissues of beef steers given abomasal and ruminal infusions of casein and starch. *J. Anim. Sci.*, 73: 236–249.
- Vermunt J.J. (2000). Risk factors of laminitis – an overview. *Proc. III Int. Conf. on Bovine Lameness*, Parma, Italy, pp. 34–45.
- Waldo D.R. (1973). Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.*, 37: 1062–1074.

## BARLEY STARCH AND ITS USE IN CATTLE NUTRITION

### Summary

Barley grain (*Hordeum vulgare* L.), the main feed grain grown in Poland, is used for the preparation of feed concentrates. The high starch content in grain makes it a very good source of energy in the nutrition of farm animals. In ruminants barley starch is digested both in the rumen and in the gut. In the rumen it is rapidly degraded, causing increased concentration of volatile fatty acids (VFA) and lactic acid. VFA produced in the rumen are used as a source of energy for synthesis of microbial protein; they are absorbed into the blood and provide a source of energy for ruminants. Since barley starch decomposes in the rumen in 70%, only little amount of undegraded starch is reaching the duodenum. In the small intestine, rumen undegraded starch is decomposed to glucose, thereby increasing the amount of glucose delivered to the liver, which is more efficiently utilized by the ruminant's body than glucose derived from gluconeogenesis using VFA. By feeding a small amount of barley grains rapid degradation of the starch is advantageous, because the resulting fermentation products are the source of easily assimilable energy. In contrast, the feeding of larger quantities of barley grains may disturb fermentation in the rumen of cattle and lead to excessive production of volatile fatty acids and lactic acid, causing excessive acidity of the rumen fluid; the fact that the other acids cannot be effectively absorbed through the wall of the rumen, can cause acidosis.

The theme of the presented article is barley grain as energy feed for cattle.

**Key words:** barley starch, cattle, feeding