

Zastosowanie betainy w żywieniu świń

EWA SZRAMKO, KRZYSZTOF LIPIŃSKI, JAN TYWOŃCZUK

Katedra Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa Wydziału Bioinżynierii Zwierząt UWM, ul. Oczapowskiego 5, 10-718 Olsztyn

Szramko E., Lipiński K., Tywończuk J.

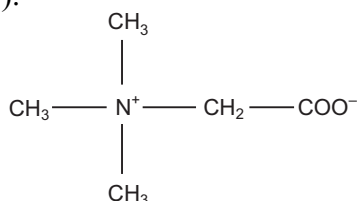
Betaine in pig nutrition

Summary

Betaine is a trimethyl derivative of the amino acid glycine. As one of major osmolytes, betaine contributes to the maintenance of water balance in cells and protects cells, proteins and enzymes against adverse environmental conditions (high temperatures, diseases). Therefore, betaine is used to alleviate negative effects of coccidiosis in poultry and diarrhea in piglets. Betaine is known to participate in methylation as a donor of methyl groups. Methyl groups are indispensable for numerous metabolic processes, including the methylation of nucleic acids, and the synthesis of creatine, carnitine and choline. Betaine is involved in methionine and choline metabolism. Dietary betaine supplementation improves the production results of pigs and their carcass quality traits. It has also been documented that betaine can partly replace methionine or choline in diets for pigs. Betaine is also believed to increase the amount of energy available to the organism.

Keywords: betaine, functions, production results, pigs

Betaina jest związkiem syntetyzowanym w tkankach zwierząt, roślin i w mikroorganizmach. Bogatym jej źródłem są przede wszystkim buraki cukrowe oraz morskie bezkręgowce, kielki pszenicy, otręby pszenne, lucerna, rzepak i szpinak. Po raz pierwszy betaina została odkryta w soku buraków cukrowych (*Beta vulgaris*) w XIX wieku (3, 41). Betaina jest metylołą pochodną aminokwasu glicyny. Należy do amin czwartorzędowych, podobnie jak karnityna i cholina. Jest scharakteryzowana jako metyloamina z powodu 3 chemicznie reaktywnych grup metylowych, przyłączonych do atomu azotu. Jej masa cząsteczkowa wynosi 117,2 Da, do temperatury 200°C jest stabilna termicznie, a z powodu ładunku elektrycznego oraz polarnych grup funkcyjnych jest bardzo dobrze rozpuszczalna w wodzie (3).



Ryc. 1. Betaina (trójmetyloglicyna)

Jako produkt oksydacji choliny, betaina jest źródłem grup metylowych biorących udział w metabolizmie zwierząt. Drugą fizjologiczną rolą betainy jest ochrona komórek przed niepożądanymi zmianami ciśnienia osmotycznego. Betaina, uczestnicząc w wielu przemianach biochemicznych, jest ściśle powiązana z przemianami metioniny i choliny (22).

Źródło grup metylowych

Jedną z dobrze poznanych funkcji biologicznych betainy jest dostarczanie organizmowi grup metylowych. Z tego względu uważa się, że betaina może zastępować część choliny i metioniny w dawkach pokarmowych. Cholina w swojej strukturze posiada trzy grupy metylowe, jednak aby zostały one włączone do dalszych przemian, cholina musi być przetransportowana z cytoplazmy do mitochondrium i przekształcona w dwuetapowej reakcji do betainy. Cholina jest utleniana do aldehydu betainy, który jest przekształcany do betainy. Bezpośrednim dawcą grup metylowych jest więc betaina, ale dopiero po przeniesieniu do cytoplazmy (40). Niektórzy badacze uważają, że podanie betainy w dawkach pokarmowych daje możliwość bezpośredniego wykorzystania betainy przez organizm i zaoszczędzenia części energii komórkowej, zużywanej na opisane wyżej przemiany (26, 33).

Katabolizm betainy następuje poprzez szereg reakcji enzymatycznych, zachodzących głównie w mitochondriach komórek wątroby i nerek. Podstawowym celem tych przemian jest dostarczanie grup metylowych do produkcji metioniny i jej aktywnej formy S-adenozylometioniny oraz detoksykacja homocysteiny. Proces ten może odbywać się dwoma różnymi szlakami metabolicznymi, których wspólnym elementem jest homocysteina (3). Enzym metylotransferaza betaino-homocysteinowa katalizuje transport tylko jednej grupy metylowej od betainy do homocysteiny, w wyniku czego powstaje metionina. Ten szlak został nazwany

cyklem transmetylacji i opisany przez Finkelsteina i wsp. (10, 11) oraz Kidda (15). Pozostałe grupy metylowe są przekazywane do dimetyloglicyny (DMG) i monometyloglicyny (sarkozyny), które są przekształcane do homocysteiny przez zależny od witaminy B₁₂ enzym – metylotransferazę 5-metylotetrahydrofolianową, a następnie także wykorzystywane do produkcji metioniny.

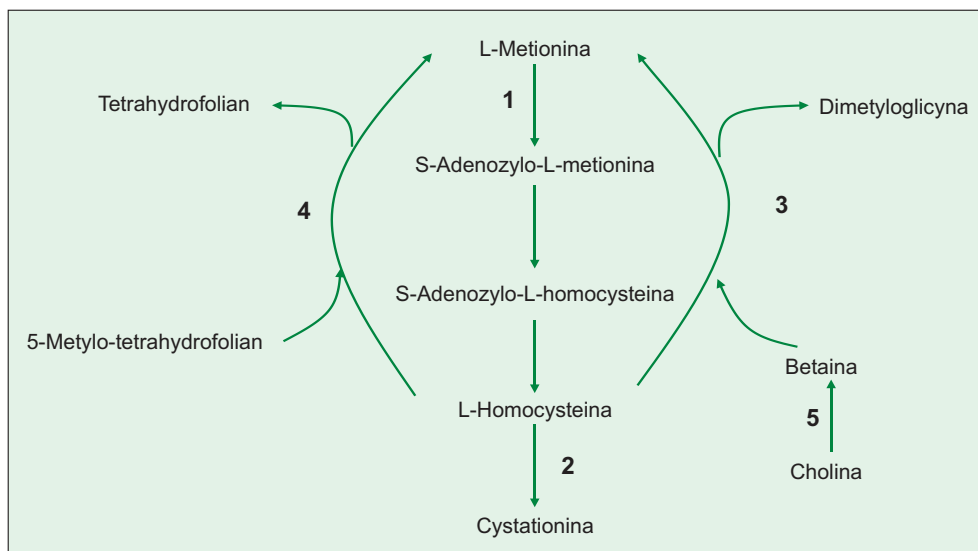
W przypadku zwierząt gospodarskich najważniejszymi źródłami grup metylowych są: cholina, metionina i betaina. Według niektórych autorów (21), wykorzystanie dodatku betainy, jako dawcy grup metylowych, pociąga za sobą oszczędne gospodarowanie metioniną, powodując większą dostępność metioniny dla jej pozostałych funkcji metabolicznych (np. produkcja białka, gdzie metioniny nie można zastąpić betainą).

Przemiany lipidów

Betaina, dostarczając grupy metylowe, jest zaangażowana również w metabolizm lipidów. Jest uważana za związek chemiczny o charakterze lipotropowym. Pośrednio stymuluje syntezę karnityny, która jest potrzebna do transportu długołańcuchowych kwasów tłuszczowych do mitochondrium, gdzie są utleniane (20). Przypuszcza się, że betaina umożliwia obniżenie poziomu tłuszczu w tuszy poprzez stymulację oksydacji kwasów tłuszczowych i poprzez, wspomnianą wcześniej, rolę w syntezie karnityny. Możliwe jest także, że wpływ betainy na przemiany lipidów jest spowodowany innym mechanizmem niż oksydacja kwasów tłuszczowych (36). Betaina może obniżać zapotrzebowanie na grupy metylowe z choliny, zwiększając tym samym dyspozycyjność choliny dla metabolizmu lipidów. Betaina, zwiększając efektywność choliny w produkcji fosfolipidów, jest włączona w ich metabolizm. Zagadnienie to jest jednak wciąż przedmiotem badań i dyskusji (16, 17, 38).

Regulacja osmotyczna

Podstawową rolą betainy, potwierdzoną w badaniach naukowych, jest jej udział w zachowaniu prawidłowej równowagi osmotycznej. Betaina, jako organiczny związek osmotyczny, poprawia regulację gospodarki wodnej w organizmie, co z kolei wpływa stabilizującą na metabolizm wielu tkanek, zwłaszcza w obrębie przewodu pokarmowego. Dzięki tym właściwościom betaina stymuluje proliferację komórek w tkankach jelita, co może powodować zwiększenie powierzchni



Ryc. 2. Powiązanie metabolizmu metioniny, choliny i betainy (22)

Objaśnienia: 1 – adenozylotransferaza L-metioninowa (EC 2.5.1.6); 2 – β-syntaza cystationinowa (EC 6.2.1.22); 3 – metylotransferaza betaino-homocysteino-wa (EC 2.1.1.5); 4 – metylotransferaza 5-metylotetrahydrofolianowa (EC 2.1.1.3); 5 – oksydaza cholinowa (EC 1.1.1.27)

wchłaniania składników pokarmowych. Efekt ten jest szczególnie widoczny, gdy zwierzęta są narażone na niekorzystne warunki środowiskowe (zmiany temperatury, transport), a także w stanach chorobowych (np. biegunki) (6, 13, 14). Betaina, oprócz swej aktywności osmotycznej, wykazuje zdolność do łagodzenia toksycznego działania mocznika, gdy jego stężenie osiąga wartości niebezpieczne dla komórki. Z tego względu betainę zalicza się do osmolitów protekcyjnych. Stwierdzono, że betaina znacznie neutralizuje inhibicję syntezy białka komórkowego oraz zwiększa namnażanie się wyizolowanych komórek poddanych wpływowi czynników o działaniu hiperosmotycznym (23, 35). Z badań wynika również, że betaina poprawia aktywność metaboliczną w warunkach, które normalnie spowodowałyby zaburzenia w prawidłowym funkcjonowaniu komórek i narządów (1, 2). Ponadto organiczne osmoregulatory, tj. betaina, zmniejszają wykorzystanie mechanizmu pompy sodowo-potasowej, której działanie pochłania więcej energii niż w przypadku organicznych osmoregulatorów. Jest to kolejna funkcja betainy, która może pozwolić na zmniejszenie zużycia energii w przemianach bytowych.

Wyniki produkcyjne

Zainteresowanie wykorzystaniem betainy w żywieniu świń znacznie wzrosło, odkąd w 1993 r. przedstawiono wyniki badań, w których u świń żywionych mieszanką z dodatkiem 0,125% betainy stwierdzono zmniejszenie grubości słoniny o 14,8% (19). W kolejnych latach przeprowadzono szereg doświadczeń dotyczących wpływu dodatku betainy na wyniki produkcyjne, zdrowotność i jakość mięsa świń, a także drobiu i bydła. Wyniki wielu z nich wykazały zróżnicowany wpływ betainy na badane parametry. Mimo że nie wszystkie potwierdzają korzystne działanie,

betainę zalicza się do związków, które poprawiają zdrowotność, wyniki produkcyjne i jakość tuszy.

W badaniach przeprowadzanych na prosiętach stwierdzono, że dodatek betainy wpływa, w różnicowanym stopniu, na poprawę wykorzystania składników pokarmowych, mniejsze zużycie paszy na kilogram przyrostu oraz zwiększenie przyrostów masy ciała (18, 27, 42). U odsadzonych prosiąt obserwowano także zmniejszenie zachorowalności oraz zmniejszenie zawartości wody w kale. W budowie i funkcjonowaniu komórek jelita stwierdzono pozytywne zmiany. Dotyczyły one, między innymi, wytrzymałości jelit i zwiększenia kosmków jelitowych w dwunastnicy (8, 25, 37).

Powyzsze informacje mogą wskazywać, że poprawa zdrowotności i wyników produkcyjnych świń, szczególnie młodych, wynika z ochrony osmotycznej. Betaina, stabilizując koncentrację elektrolitów w komórkach, zabezpiecza je przed utratą wody spowodowaną zewnętrznymi czynnikami stresowymi, co przyczynia się do poprawy funkcjonowania komórek przewodu pokarmowego, tym samym ulepszając sekrecję enzymów trawiennych. Możliwe więc, że poprzez korzystny wpływ na stan komórek jelitowych, betaina pośrednio poprawia trawienie i wchłanianie składników pokarmowych (6).

W doświadczeniach przeprowadzonych na tucznikach (od 30 do 112 kg masy ciała) stwierdzono, że u zwierząt otrzymujących betainę uległa zmniejszeniu grubość słoniny grzbietowej (2,82 cm w grupie kontrolnej i 2,75 cm w grupie doświadczalnej z betainą w dawce), a powierzchnia oka polędwicy była większa o 2,37 cm² w porównaniu z grupą kontrolną. Jednak wykazane różnice nie były statystycznie istotne (12). Tuczniaki (m.c. 20-64 kg) otrzymujące w mieszankach dodatek betainy w ilości 1000 lub 1500 mg/kg uzyskały większe średnie przyrosty dobowe masy ciała, odpowiednio, o 13,20% i 9,28% w porównaniu z grupą kontrolną. Odnotowano także poprawę zużycia paszy o 7,93% i 6,55%. Wyniki oceny rzeźnej także świadczą o korzystnym wpływie betainy na oceniane wskaźniki. Istotnej poprawie uległy takie parametry, jak: masa mięsa szynki właściwej, powierzchnia oka polędwicy oraz mięsność tuszy (39). Zastosowanie dodatku betainy w żywieniu tuczników w II okresie tuczu wpłynęło na obniżenie zawartości tłuszczu w tuszy o 8,17% ($p \leq 0,05$) i zmniejszenie grubości słoniny grzbietowej na wysokości 10. żebra o 8,84% ($p \leq 0,05$), nie odnotowano natomiast korzystnych zmian w innych parametrach wydajności poubojowej (7).

Dodatek betainy w dawce pokarmowej u tuczników wpłynął na: zwiększenie o 55 g (czyli o 7%) przyrostów masy ciała, zmniejszenie zużycia paszy, białka ogólnego i energii metabolicznej na przyrost 1 kg masy ciała. Korzystny wpływ zauważono również analizując cechy użyteczności rzeźnej. Tusze zwierząt żywionych mieszanką z dodatkiem betainy miały o 19% cień-

szą słoninę w punkcie C ($p \leq 0,01$) oraz większą o 2,8% zawartość mięsa w szynce właściwej ($p \leq 0,05$), w stosunku do grupy kontrolnej (31).

Wajda i Daszkiewicz (34) nie stwierdzili istotnego wpływu dodatku betainy na średnie dobowe przyrosty masy ciała tuczników, ale zaobserwowali, że tusze świń żywionych mieszankami z dodatkiem betainy charakteryzowały się lepszą wartością rzeźną niż tusze zwierząt, które nie otrzymywały tego dodatku. Podobnie, analizując wyniki innego eksperymentu nie odnotowano istotnego wpływu dodatku betainy w dawkach dla rosnących świń na przyrosty masy ciała, wykorzystanie paszy oraz jakość tuszy (8).

Efektywność dodatku betainy była również badana w zależności od płci. Obserwowano, że odkładanie tłuszczu u tuczników może być obniżone przez uzupełnienie dawki pokarmowej dodatkiem betainy, a w przypadku loszek efekt był mniejszy lub nie odnotowano go wcale (31). Natomiast dodatek betainy poprawił średnie przyrosty masy ciała i wykorzystanie paszy u loszek o masie 40-60 kg. Stwierdzono większe przyrosty masy ciała, o 38% i 12%, w porównaniu do grupy kontrolnej, a wykorzystanie paszy na przyrost masy ciała u loszek otrzymujących dodatek betainy poprawiło się o 25%, w porównaniu z grupą kontrolną (36).

Wpływ betainy na przemiany energetyczne

Według niektórych autorów, stosowanie betainy w żywieniu tuczników daje najlepsze efekty, gdy zostaje obniżony poziom energii w dawce pokarmowej. W doświadczeniach przeprowadzonych na Uniwersytecie Kentucky (5) badano, czy obniżenie poziomu energii w dawce pokarmowej wpływa na skuteczność dodatku betainy. Zastosowany dodatek betainy wpłynął na poprawę przyrostów masy ciała, wykorzystania paszy i obniżenie grubości słoniny u świń żywionych mieszanką niskoenergetyczną w porównaniu ze zwierzętami otrzymującymi w mieszance ilość energii zgodną z zapotrzebowaniem. W drugim eksperymencie tego doświadczenia dodatek betainy obniżył grubość słoniny w obu grupach doświadczalnych w zbliżonym stopniu (około 5,4%). Efekty innego eksperymentu tych autorów (4) tylko częściowo potwierdzają te wyniki. Żywienie świń niskoenergetyczną dawką w obecności dodatku betainy spowodowało obniżenie dziennych przyrostów masy ciała, ale poprawie uległo wykorzystanie paszy i zmniejszyła się grubość słoniny. W badaniach własnych (29, 30) wykazano, zarówno w przypadku warchlaków, jak i tuczników, że zastosowanie w mieszankach paszowych o obniżonym poziomie energii dodatku betainy wpłynęło korzystnie na strawność składników pokarmowych oraz na wykorzystanie energii metabolicznej na 1 kg przyrostu. Obserwowano także tendencję do lepszych wyników produkcyjnych.

W innych badaniach (24) określano wpływ betainy na przemiany energii u rosnących świń. W mieszank-

kach doświadczalnych zmniejszono koncentrację energii, natomiast zgodnie z zapotrzebowaniem zbilansowano aminokwasy, aby zbadać wpływ betainy nie związany z jej funkcją dawcy grup metylowych. Podczas eksperymentu betaina ograniczyła produkcję ciepła i zapotrzebowanie bytowe na energię, co w konsekwencji zwiększyło retencję energii. Ponadto, różnica w produkcji ciepła między zwierzętami z grupy doświadczalnej i kontrolnej wzrastała w czasie. Według autorów, wyniki tego badania wskazują, że dodatek betainy wpłynął na metabolizm energii dwojako: poprzez ograniczenie produkcji ciepła i poprzez zmianę stosunku odłożenia tłuszczu do białka, na korzyść białka. Jednocześnie autorzy tłumaczą mniejsze zużycie energii na potrzeby bytowe tym, iż betaina dzięki posiadanym właściwościom osmotycznym może częściowo obniżyć koszty energetyczne pompy jonowej, głównie w komórkach przewodu pokarmowego. Inna analiza parametrów charakteryzujących przemianę energetyczną nie potwierdziła wpływu betainy na rozdział energii w organizmie (32).

W celu zbadania wpływu różnych poziomów betainy (0,125%; 0,250% lub 0,500%) w mieszankach na wzrost i parametry jakości tuszy rosnących świni (36-64 kg) przeprowadzono doświadczenie w warunkach ograniczonego żywienia (69% przewidzianego przez normy ARC pobrania paszy do woli) (9). Nie stwierdzono poprawy przyrostów masy ciała i wykorzystania paszy. Natomiast w tuszach zwierząt otrzymujących betainę obniżeniu uległa całkowita zawartość tłuszczu w tuszy i grubość słoniny mierzona w punkcie P3, podczas gdy wzrosły: zawartość białka w tuszy, poziom jego odłożenia oraz efektywność odłożenia mięsa w tuszy. Stwierdzono liniowy spadek zawartości tłuszczu w tuszy wraz ze wzrostem poziomu betainy w dawce. Świnie otrzymujące dodatek 0,5% betainy miały mniejszą o 10% zawartość tłuszczu w tuszy w porównaniu z grupą kontrolną. Grubość słoniny (P3) także malała wraz ze wzrostem koncentracji betainy w dawce.

W innych badaniach, w których zastosowano obniżony poziom energii (80% lub 100% pobrania do woli) w dawkach zawierających betainę, obserwowano korzystne efekty działania betainy u zwierząt otrzymujących mieszanki z obniżonym poziomem energii, zarówno w przypadku wyników tuczu, jak i jakości tuszy (28).

Podsumowanie

Wyniki badań wskazują, że betaina jest interesującym dodatkiem paszowym o szerokim spektrum działania. Mechanizm jej oddziaływania na procesy metaboliczne nie jest dokładnie poznany, a badania dotyczące możliwości jej zastosowania w żywieniu zwierząt opierają się na znajomości roli betainy w procesach osmoregulacji i metabolizmie związanym z przemianami grup metylowych. Z dotychczasowych badań wynika, że wykorzystanie dodatku betainy w żywieniu

ni prosiat przyczynia się do poprawy zdrowotności, szczególnie w obrębie przewodu pokarmowego. Zastosowanie betainy w dawkach pokarmowych dla tuczników może wpływać na poprawę wyników produkcyjnych (przyrosty masy ciała, wykorzystanie paszy) i cech użytkowości rzeźnej (głównie poprzez zmniejszenie zawartości tłuszczu w tuszy, a co za tym idzie, zwiększenie procentowej zawartości mięsa). Niektóre badania sugerują, że dodatek betainy wpływa korzystnie na przemianę energii w organizmie oraz pozwala na jej bardziej efektywne wykorzystanie.

Piśmiennictwo

1. Ali B. H., Al-Qarawi, Mousa H. M.: Stress associated with road transportation in desert sheep and goats, and the effect of pretreatment with xylazine or sodium betaine. *Res. Vet. Sci.* 2006, 80, 343-348.
2. Balkan J., Öztezcan S., Küçük M., Cevikbas U., Kocak-Toker N., Uysal M.: The effect of betaine treatment on triglyceride levels and oxidative stress in the liver of ethanol-treated guinea pigs. *Exp. Toxic. Pathol.* 2004, 55, 505-509.
3. Craig S. A. S.: Betaine in human nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* 2004, 80, 539-549.
4. Cromwell G. L., Lindemann M. D., Randolph J. R., Laurent K. M., Parker G. R., Coffey R. D.: Effects of betaine levels in reduced energy diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 2000, 78, (Suppl. 1), 189.
5. Cromwell G. L., Lindemann M. D., Randolph J. R., Monegue H. J., Laurent K. M., Parker G. R.: Efficacy of betaine as a carcass modifier in finishing pigs fed normal and reduced energy diets. *J. Anim. Sci.* 1999, 77 (Suppl. 1), 179.
6. Eklund M., Bauer E., Wamatu J., Mosenthin R.: Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutr. Res. Rev.* 2005, 18, 31-48.
7. Feng J., Liu X., Wang Y. Z., Xu Z. R.: Effects of betaine on performance, carcass characteristics and hepatic betaine-homocysteine methyltransferase activity in finishing barrows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2006, 19, 402-405 (Abstr.).
8. Fernández-Figares I., Conde-Aguilera J. A., Nieto R., Lachica M., Aguilera J. F.: Synergistic effects of betaine and conjugated linoleic acid on the growth and carcass composition of growing Iberian pigs. *J. Anim. Sci.* 2008, 86, 102-111.
9. Fernández-Figares I., Wray-Cahen D., Steele N. C., Campbell R. G., Hall D. D., Virtanen E., Caperna T. J.: Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig. *J. Anim. Sci.* 2002, 80, 421-428.
10. Finkelstein J. D., Martin J. J.: Methionine metabolism in mammals. Adaptation to methionine excess. *J. Biol. Chem.* 1986, 261, 4, 1582-1587.
11. Finkelstein J. D., Martin J. J.: Methionine metabolism in mammals. Distribution of homocysteine between competing pathways. *J. Biol. Chem.* 1984, 259, 15, 9508-9513.
12. Hanczakowska E., Urbańczyk J., Świątkiewicz M.: The efficiency of betaine and organic compounds of chromium in fattening of pigs with ad libitum or restricted feeding. *Ann. Anim. Sci.-Rocz. Nauk. Zoot.* 1999, 26, 4, 263-274.
13. Kettunen H., Peuranen S., Tiisonen K.: Betaine aids in the osmoregulation of duodenal epithelium of broiler chicks, and affects the movement of water across the small intestinal epithelium in vitro. *Comp. Biochem. Physiol. A* 2001a, 129, 595-603.
14. Kettunen H., Peuranen S., Tiisonen K., Saarinen M.: Intestinal uptake of betaine in vitro, and the distribution of methyl groups from betaine, choline, and methionine in the body of broiler chicks. *Comp. Biochem. Physiol. A* 2001 b, 128, 269-278.
15. Kidd M. T., Ferket P. R., Garlich J. D.: Nutritional and osmoregulatory functions of betaine. *World's Poult. Sci. J.* 1997, 53, 125-139.
16. Li Z., Vance D. E.: Phosphatidylcholine and choline homeostasis. *J. Lipid Res.* 2008, 49, 1187-1194.
17. Löest C. A., Titgemeyer E. C., Drouillard J. S., Coetzer, Hunter R. D., Bindel D. J., Lambert B. D.: Supplemental betaine and peroxide-treated feather meal for finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 2002, 80, 2234-2240.
18. Matthews J. O., Southern L. L., Bidner T. D.: Estimation of the total sulfur amino acid requirement and the effect of betaine in diets deficient in total sulfur amino acids for the weanling pig. *J. Anim. Sci.* 2001, 79, 1557-1565.
19. Matthews J. O., Southern L. L., Pontif J. E., Higbie A. D., Bidner T. D.: Interactive effects of betaine, crude protein, and net energy in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 1998, 76, 2444-2455.

20. *McDevitt R. M., Mack S., Wallis I. R.*: Can betaine partially replace or enhance the effect of methionine by improving broiler growth and carcass characteristics? *Brit. Poultr. Sci.* 2000, 41, 473-480.
21. *Overland M., Rorvik K. A., Skrede A.*: Effect of trimethylamine oxide and betaine in swine diets on growth performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and sensory quality of pork. *J. Anim. Sci.* 1999, 77, 2143-2153.
22. *Saunderson C. L., MacKinlay J.*: Changes in body-weight, composition and hepatic enzyme activities in response to dietary methionine, betaine and choline levels in growing chicks. *Brit. J. Nutr.* 1990, 63, 339-349.
23. *Schäfer C., Hoffman L., Heldt K., Lornejad-Schäfer M. R., Brauers G., Gehrman T., Garrow T., Häussinger D., Mayatepek E., Schwahn B. C., Schliess F.*: Osmatic regulation of betaine homocysteine-S-methyltransferase expression in H4IIE rat hepatoma cells. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 2007, 292, G1089-G1098.
24. *Schrama J. W., Heetkamp M. J., Simmins, Gertis W. J. J.*: Dietary betaine supplementation affects energy metabolism of pigs. *J. Anim. Sci.* 2003, 81, 1202-1209.
25. *Siljander-Rasi H., Peuranen S., Tiihonen K., Virtanen E., Kettunen H., Alaviuhkola T., Simmins P. H.*: Effect of equi-molar dietary betaine and choline addition on performance, carcass quality and physiological parameters of pigs. *Anim. Sci.* 2003, 76, 55-62.
26. *Simon J.*: Choline, betaine and methionine interactions in chickens, pigs and fish (including crustaceans). *World's Poultr. Sci. J.* 1999, 55, 353-374.
27. *Slade R. D., Miller H. M., Toplis P., Partridge G. G., Simmins P. H.*: Effect of supplementary betaine and methionine on weaned pig nutrient utilization and gut development. *Proc. British Society of Animal Science* 2004, s. 13.
28. *Suster D., Leury B. J., King R. H., Mottram M., Dunshea F. R.*: Interrelationships between porcine somatotropin (pST), betaine, and energy level on body composition and tissue distribution of finisher boars. *Aust. J. Agric. Res.* 2004, 55, 983-990.
29. *Szramko E., Lipiński K., Purwin C., Tywończuk J., Antoszkiewicz Z.*: Possibility of reducing energy and amino acids levels in diets for growing pigs supplemented with betaine and feed enzymes. *Ann. Anim. Sci.* 2006, Suppl., Nr 2/1, 215-219.
30. *Szramko E., Lipiński K., Tywończuk J., Skórko-Sajko H.*: Slaughter value of growing-finishing pigs fed diets with reduced levels of energy and amino acids and supplemented with betaine and/or feed enzymes. *Anim. Sci.* 2007, 1, 138-139.
31. *Urbańczyk J., Hanczakowska E., Gawlik Z.*: Wpływ dodatku betainy na wyniki tuczu świń i ocenę poubojową tusz. XXVI – Sesja Nauk. Kom. Żyw. Zwierz., KNZ PAN, Olsztyn 1996, s. 227-228.
32. *Van Milgen J., Noblet J., Dubois S.*: Effect of betaine on energy partitioning in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2003, 81, (Suppl. 1), 141.
33. *Virtanen E.*: Betain liefert effektiv Methylgruppen. *Kraftfutter* 1992, 6, 261-262.
34. *Wajda S., Daszkiewicz T.*: Wpływ Betafinu w żywieniu tuczników na wyniki tuczu, wartość rzeźną i jakość mięsa. *Zesz. Nauk. Przegł. Hod.* 2000, 48, 303-310.
35. *Więckowski M. R., Zablocki K.*: Osmolity i regulacja w komórkach nerek. *Post. Biochem.* 1996, 42, 2, 167-177.
36. *Wray-Cahen D., Fernandez-Figares I., Virtanen E., Steele N. C., Carpena T. J.*: Betaine improves growth, but does not induce whole body or hepatic palmitate oxidation in swine (*Sus scrofa domestica*). *Comp. Biochem. Physiol. A* 2004, 137, 131-140.
37. *Xu Z. R., Yu D. Y.*: Effect of betaine on digestive function of weaned piglets. *Chin. J. Vet. Sci.* 2000, 20, 201-204.
38. *Yao Z., Vance D.*: Head group specificity in the requirement of phosphatidylcholine biosynthesis for low density lipoprotein secretion from cultured hepatocytes. *J. Biol. Chem.* 1989, 264, 11373-11380.
39. *Yu D. Y., Xu Z. R., Li W. F.*: Effects of betaine on growth performance and carcass characteristics in growing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2004, 17, 1700-1704 (Abstr.).
40. *Zeisel S. H.*: Importance of methyl donors during reproduction. *Am. J. Clin. Nutr.* 2009, 89 (suppl.), 673S-677S.
41. *Zeisel S. H., Mar M. H., Howe J. C., Holden J. M.*: Concentrations of choline-containing compounds and betaine in common foods. *J. Nutr.* 2003, 133, 1302-1307.
42. *Zou X. T., Xu Z., Wang Y.*: Effects of methylamino acids on growth performance of swine in different stages. *J. Zhejiang Agricult. Univ. (Agriculture and Life Sciences)*, 2002, 28, 551-555.

Adres autora: dr inż. Ewa Szramko, ul. Oczapowskiego 5, 10-718 Olsztyn; e-mail: ewa.szramko@uwm.edu.pl