

# Efektywność karnityny w żywieniu świń<sup>\*)</sup>

BOŻENA BAŁASIŃSKA, GUSTAW KULASEK

Katedra Nauk Fizjologicznych Wydziału Medycyny Weterynaryjnej SGGW, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa

Bałańska B., Kulasek G.

## Effect of carnitine on swine productivity

### Summary

In 2005 one hundred years passed since the discovery of carnitine but this compound remains the subject of great interest. Carnitine (beta-hydroxy-gamma-trimethylamino butyrate), an amino acid derived from the metabolism of lysine and methionine, is present in all mammalian cells, with its highest concentration noted in cardiac and skeletal muscles as well as in the liver. In the course of the century it has been demonstrated that carnitine and its derivatives participate in many physiological processes, their basic function is the transporting and oxidation of FFA in mitochondria. In piglet's fetal development the main source of energy is a glucose and after parturition milk fatty acids. The energy requirement in new born piglets is especially high during low temperatures. Piglets do not have brown fatty tissue and therefore possess a limited capability of fatty acid beta-oxidation which initiates shivering thermogenesis. Carnitine present in sow milk in large quantities might be an important factor accelerating the development of piglets, especially during the first days of their life; therefore administering carnitine for sows during lactation is recommended. In turn, carnitine supplementation for piglets after parturition may improve body gain and their whole performance. Little attention is paid to date to the effect of carnitine on the nutritional value of meat, especially where it concerns fat and carnitine content in meat (functional food).

**Keywords:** L-carnitine, pigs

W 2005 r. minęło 100 lat od odkrycia karnityny, a mimo to nadal ten związek wzbudza znaczne zainteresowanie. Karnityna została odkryta jednocześnie przez Gulevitch i Krimberga oraz Kutschere, naukowców z dwóch różnych ośrodków badawczych (35). Po raz pierwszy została wyizolowana z wyciągu mięśni i stąd od nazwy łacińskiej mięśni (*caro, carnis*) pochodzi jej nazwa. Nieco później odkryto, że karnityna pełni rolę czynnika wzrostowego (witamino podobnego) u robaków – mączniaków (*Tenebrio molitor*). Witaminopodobne właściwości oraz pierwsza litera nazwy łacińskiej tego robaka dały podstawy do nazwania karnityny witaminą B<sub>T</sub>; symbol ten jest niekiedy jeszcze stosowany, szczególnie w celach marketingowych. Dalsze badania nad karnityną wykazały, że głodzone larwy mączniaka ginęły bez naruszenia zapasów tłuszczu, co sugerowało, że karnityna bierze udział w katabolizmie lipidów. We wczesnych latach pięćdziesiątych XX wieku zainteresowanie karnityną objęło także ssaki. Stwierdzono, że karnityna i jej pochodne biorą udział w wielu procesach fizjologicznych (18, 32). Karnityna, między innymi: umożliwia przenoszenie do wnętrza mitochondriów długołańcuchowych kwasów tłuszczowych jako pochodnych acylowych L-karnityny, co umożliwia ich utlenianie ( $\beta$ -oksydację); ułatwia utlenianie rozgałęzio-

nych  $\alpha$ -ketokwasów; umożliwia wyrzucanie z peroksisomów acylowanych reszt pozostałych po  $\beta$ -oksydacji; w komórkach ssaków utrzymuje stosunek grup sulfhydrylowych acyl-CoA/CoA we wnętrzu mitochondriów; wychwytuje potencjalnie szkodliwe metabolity pochodne acylo-CoA, które mogą zakłócać cykl kwasów trójkarboksylowych (TCA), glukoneogenezę, cykl mocznikowy i utlenianie kwasów tłuszczowych; umożliwia wewnątrzkomórkowy transport acyl-CoA pomiędzy poszczególnymi kompartmentami komórek.

W ostatnich latach badane są głównie mechanizmy działania L-karnityny oraz możliwość jej zastosowania w zapobieganiu i leczeniu wielu schorzeń u ludzi, np. chorób sercowo-naczyniowych, neurologicznych oraz chorób na tle defektów genetycznych syntezy karnityny i jej transportu (29, 30, 35). Oceniany jest również wpływ karnityny na poprawę efektów produkcyjnych u zwierząt gospodarskich (16).

Karnityna (kwas  $\beta$ -hydrokso- $\gamma$ -(trójmetyloamino) masłowy) jest aminokwasem powstającym w wyniku przemian lizyny i metioniny, występuje we wszystkich komórkach ssaków, przy czym najwyższe stężenie osiąga w mięśniu sercowym, wątrobie i mięśniach szkieletowych. W mniejszych stężeniach karnityna występuje również w niektórych roślinach. Karnityna wykazuje izomerię optyczną. U ssaków w przemianach metabolicznych uczestniczy izomer L, natomiast izomer D

<sup>\*)</sup>Opracowanie realizowane w ramach grantu zamawianego PBZ-KBN K093/306/2003/2.

w większych ilościach może mieć szkodliwe działanie. Oprócz karnityny (C) w organizmach ssaków w mniejszych stężeniach znajduje się również acetyl-L-karnityna (ALC) i propionyl-L-karnityna (PLC) (26). Źródłem karnityny dla ssaków jest endogenna synteza (np. u człowieka czy świni pokrywa ok. 75% zapotrzebowania) oraz pokarm, stąd karnityna często uważana jest za związek warunkowo niezbędny (conditionally essential). Karnityna jest syntetyzowana w organizmie z lizyny i metioniny. Natomiast głównym źródłem pokarmowym karnityny są produkty pochodzenia zwierzęcego.

W ostatnich dwóch stuleciach nastąpiła istotna zmiana w żywieniu człowieka i w jeszcze większym stopniu w żywieniu zwierząt gospodarskich, polegająca na ograniczeniu różnorodności spożywanych produktów, a co się z tym wiąże – ograniczeniu lub wyeliminowaniu spożycia wielu naturalnych biologicznie aktywnych związków, do których organizmy te przystosowały się przez kilkadziesiąt tysięcy lat (15). W chowie zwierząt produkcyjnych prowadzono przez dziesięciolecia selekcję, pozostawiając zwierzęta charakteryzujące się dużą plennością i dobrym wykorzystaniem składników paszy. Spowodowało to zubożenie diet tych zwierząt w większym stopniu niż u ludzi, którzy wyeliminowali ze swojej diety mięso (wegetarianie), a nawet jaja, nabiał i ryby (weganie). Dodatkowo pod koniec XX wieku usunięto z diety dla świń pasze pochodzenia zwierzęcego ze względu na niebezpieczeństwo BSE i innych potencjalnych chorób zakaźnych (tab. 1). A zatem, z jednej strony, w wyniku ostrej selekcji zwiększono znacznie produktywność świń (większe mioty u macior, wczesne odsadzanie prosiąt, szybsze przyrosty tuczników), z drugiej zaś strony – ograniczono różnorodność pokarmów. Żywienie macior paszą pokrywającą zapotrzebowanie na podstawowe składniki bez uwzględnienia składników biologicznie aktywnych, m.in. karnityny, doprowadza do częstych niedoborów tych składników u prosiąt we wczesnym okresie postnatalnym.

### Wchłanianie karnityny

U świń, podobnie jak u człowieka, karnityna pokarmowa wchłaniana jest w jelicie cienkim w ilości od 65% do 75%. Z jelita do krwi karnityna jest transportowana głównie w formie wolnej i pochodnej acylowej. Badano tempo wchłaniania i biodostępność różnych pochodnych karnityny (winian, fumaran i cytrynian magnezowy) u 6-8-tygodniowych prosiąt (7, 28). Najszybciej wchłaniał się winian karnityny, przy czym wskaźniki biodostępności były podobne do L-karnityny, natomiast estry karnityny (acetyl-L-karnityna i lauroyl-L-karnityna) miały ten wskaźnik nieco niższy. We krwi ssaków stosunek estrów karnityny do karnityny wolnej nie powinien przekraczać 0,4. Wyższe wartości tego współczynnika wskazują na niedobór L-karnityny. W badaniach na prosiątach wykazano, że u nowo narodzonych prosiąt wchłanianie karnityny jest bardzo sprawne, ale obniża się wraz z ich wiekiem (18). Autorzy tych ba-

Tab. 1. Zawartość karnityny w karmie przeznaczonej dla świń

Pasza	mg/kg
Mleko macior	25-60
Mączka rybna	80-160
Serwatka suszona	300-1000
Mleko odłuszczone	12-150
Mleko krowie	6-50
Śruta z pszenicy	< 10
Otręby pszenne	10-15
Śruty poekstrakcyjne i makuchy z roślin oleistych	< 10
Okopowe	< 10

dań przyjmują, że wchłanianie karnityny u osesków ułatwia wysoki stosunek glukagonu do insuliny.

### Karnityna u knurów

Pierwsza skąpa informacja o pozytywnym wpływie podawania karnityny knurom (500 mg/d) na objętość ejakulatu ukazała się w 1998 r. (1). Ostatnie wyniki nie potwierdziły jednak tych wczesnych obserwacji (14). Podawanie knurom karnityny (500 mg/d) nie zwiększyło objętości ejakulatu, liczebności plemników w ejakulacie i ich ruchliwości ani też nie poprawiło ruchliwości plemników po ich 7-dniowym przechowywaniu w azocie (14). Natomiast u mężczyzn, ogierów, tryków już dawno stwierdzono, że stężenie karnityny znajdującej się w nasieniu koreluje dodatnio z liczebnością oraz ruchliwością plemników (9).

### Karnityna u macior w czasie ciąży a liczebność miotów oraz masa nowo narodzonych prosiąt

Stężenie karnityny we krwi macior badano w 10., 60., 90. i 110. dniu ciąży. Wykazano, że stężenie karnityny wolnej i całkowitej było najniższe w 60. dniu ciąży (15,3  $\mu\text{mol/l}$ ), natomiast w 110. dniu było nieco wyż-

Tab. 2. Wpływ podawania L-karnityny na liczbę urodzonych żywych prosiąt w miocie

Ilość podawanej L-karnityny w grupach doświadczalnych	Liczba macior	Liczba prosiąt w miocie		Autorzy
		grupa kontrolna	grupa z dodatkiem karnityny	
100 mg/maciorę/d	150	10,3	10,4	6
50 mg/kg karmy	232	11,5	11,1	6
125 mg/maciorę/d	175	10,6	11,1	6
125 mg/na maciorę pierwiastkę/d	32	9,6	12,4	6
125 mg/maciorę przy drugim wyproszeniu/d	26	10,3	13,1	6
50 mg/kg karmy	47	11,7	11,6	5
100 mg/kg karmy od początku ciąży do 59. d (histerektomia)	12	10,8*	15,5*	33

Objaśnienie: \* – liczba płodów w 59. dniu ciąży

sze (29,3  $\mu\text{mol/l}$ ) niż w 10. dniu (23,7  $\mu\text{mol/l}$ ). A zatem u macior brak jest obniżenia stężenia karnityny w końcowej fazie ciąży, które z kolei występuje u naczelnych. Podawanie karnityny w diecie powoduje zwiększenie jej stężenia w osoczu prośnych macior (27). Liczba urodzonych żywych prosiąt i ich masa są ważnymi wskaźnikami produktywności macior. Dotychczas brak jest jednoznacznej odpowiedzi, czy dodatek karnityny do diety macior poprawia te wskaźniki (tab. 2). W dwóch wiodących ośrodkach zajmujących się wpływem karnityny na produktywność świń – amerykańskim (23, 24) i niemieckim (8) wykazano, że podawanie karnityny prośnym i laktującym maciorom zwiększa ich masę ciała w czasie ciąży, zwiększa masę urodzonych prosiąt i przyspiesza wzrost prosiąt do odsadzenia. Na przykład w badaniach niemieckich wykazano, że podawanie maciorom karnityny zwiększało masę prosiąt przy odsadzeniu o 3,4% w porównaniu do prosiąt od macior z grupy kontrolnej nie otrzymujących karnityny. W kolejnych badaniach opublikowanych przez ten sam zespół (27) opisano wyniki obszernego doświadczenia (ponad 200 macior), w którym badano wpływ karnityny zawartej w diecie (125 mg/szt. w czasie ciąży i 250 mg/szt. w okresie laktacji) na przyrosty prosiąt w trzech kolejnych cyklach reprodukcyjnych. W grupie otrzymującej karnitynę uzyskano większą masę nowo narodzonych prosiąt, większe przyrosty masy ciała w okresie ssania oraz większą masę miotów przy odsadzeniu, przy czym wiek macior nie wpływał na te wskaźniki (kolejny cykl reprodukcyjny). Ten sam zespół podjął również próbę wyjaśnienia przyczyny opisanych zmian. Wykazano, że stężenie podstawowych składników mleka (tłuszcz, białko, laktoza, energia brutto) nie różniło się między grupami, natomiast maciory otrzymujące karnitynę wytwarzały więcej mleka, w którym stężenie karnityny wolnej było wyższe (28). Stąd pojawiła się sugestia, że główną przyczyną uzyskanych wyników jest spożycie większej ilości mleka. W innych badaniach stwierdzono jednak, że dodatek karnityny do diety macior zwiększał nieco zawartość tłuszczu w siarce i mleku (4). W Polsce wpływ karnityny na liczebność i masę miotów badał Grela i wsp. (5), wyniki badań przedstawiono w tabeli 1. Autorzy nie stwierdzili istotnych różnic w liczebności miotów nowo narodzonych żywych prosiąt, natomiast zaobserwowali większą masę odsadzanych prosiąt (21. dzień) i mniejsze upadki prosiąt w okresie od urodzenia do odsadzenia.

Przedstawione powyżej wyniki wskazują, że dodatek karnityny dla macior może wzmacniać przyrosty prosiąt w okresie pre- i/lub postnatalnym. Mechanizm tego działania nie jest jednak w pełni jasny. Przyrosty masy ciała płodów i prosiąt oraz ich rozwój zależą niewątpliwie od dostarczonych podstawowych składników odżywczych, ale są również sterowane przez liczne czynniki działające w całym organizmie i na poziomie każdej komórki. Do lepiej poznanych czynników anabolicznych można zaliczyć: hormon wzrostu, insulinę, insulinopodobne czynniki (IGF), a ostatnio leptyny (6).

Proliferacja i różnicowanie komórek mięśniowych jest uzależniona od IGF. Uważa się, że IGF-II jest ważnym czynnikiem w czasie rozwoju płodowego (22), zaś IGF-I bierze udział w rozwoju postnatalnym (17). Leptyna jest hormonem wytwarzanym głównie przez komórki tkanki tłuszczowej i ma wpływ m.in. na pobieranie pokarmu, metabolizm energetyczny i rozród (34).

Waylan i wsp. (33) podawali prośnym maciorom po 100 mg L-karnityny/d. Po około 60 dniach ciąży maciory otrzymujące karnitynę miały wyższe stężenie L-karnityny we krwi niż maciory z grupy kontrolnej, jakkolwiek brak było różnic w stężeniu IGF-I i IGF-II. Analiza ekspresji genów związanych z proliferacją mioblastów u płodów wskazuje, że karnityna podawana maciorom w czasie ciąży może wydłużać czas proliferacji mioblastów, co charakteryzuje się większą liczbą włókien mięśniowych u nowo narodzonych prosiąt. Wykazano również, że u prosiąt pochodzących od macior otrzymujących karnitynę wzrasta przekrój poprzeczny i liczba włókien mięśniowych w *m. semitendinosus* (33). Odpowiednie zaopatrzenie w karnitynę płodów i noworodków może przyspieszać także wytwarzanie czynnika powierzchniowego w płucach noworodków i ograniczać wczesne padnięcia prosiąt (19).

### Odsadzanie

Już dawno wykazano, że synteza L-karnityny może być niewystarczająca u prosiąt tuż po odsadzeniu (13). Badania nad kinetyką transferaz odpowiedzialnych za przenoszenie acylo-L-karnityny do wnętrza mitochondriów udowodniły, że podawanie prosiętom karnityny w pokarmie w okresie odsadzania jest uzasadnione i może przyspieszyć ich wzrost i rozwój (10). W doświadczeniu na wcześnie odsadzonych prosiętach ci sami autorzy wykazali, że dodatek L-karnityny poprawia przyrosty prosiąt i wykorzystanie paszy (11). Wyniki innych badań sugerują jednak, że niskie dawki karnityny (50 lub 100 mg/kg karmy) mogą poprawiać wykorzystanie paszy i przyrosty prosiąt dopiero 2-4 tygodnie po odsadzeniu (31). Ostatnio Birkenfeld i wsp. (3) wykazali, że żywienie odsadzonych prosiąt dietą z dodatkiem karnityny nasilało przyrosty masy ciała, szczególnie u osobników o niskiej masie odsadzeniowej.

### Tucz

U tuczonych loszek otrzymujących dietę z niską zawartością lizyny stwierdzono w mięśniu najdłuższym grzbietu więcej tłuszczu, wyższe stężenie leptyny i mniej karnityny (12), co mogło być związane z obniżoną syntezą endogennej karnityny w wyniku niedoboru substratu do jej syntezy. Teoretycznie podawanie karnityny w końcowym etapie tuczu może zmniejszyć zużycie glukozy w czasie stresu ubojowego kosztem nasilenia  $\beta$ -oksydacji kwasów tłuszczowych, a to może mieć korzystny wpływ na jakość pozyskiwanego mięsa. W badaniach przeprowadzonych ostatnio przez Bertol i wsp. (2) wykazano natomiast, że podawanie L-karnityny

w końcowej fazie tuczu ma niewielki wpływ na parametry równowagi kwasowo-zasadowej po zakończeniu procedury przedubowej.

Stwierdzono także, że dodatek do diety L-karnityny nie zmienia istotnie zawartości tłuszczu w tuszach (25). Dalsze badania tego zespołu wykazały, że mniejsza zawartość tłuszczu w tuszy wynika z nasilenia utleniania długołańcuchowych kwasów tłuszczowych w mitochondriach i ograniczenia rozkładu aminokwasów, szczególnie aminokwasów o rozgałęzionym łańcuchu, co zwiększa retencję białka (26).

### Podsumowanie

Podstawowa rola karnityny polega na transporcie i utlenianiu wolnych kwasów tłuszczowych w mitochondriach. Niedobór karnityny prowadzi do zmniejszonego utleniania kwasów tłuszczowych. Powstały wówczas deficyt komórkowego ATP ma istotne znaczenie w aspekcie klinicznym dla takich tkanek, jak mięśnie szkieletowe i mięsień sercowy, w których utlenianie kwasów tłuszczowych pokrywa 60-80% ich zapotrzebowania energetycznego. W rozwoju płodowym prosiąt głównym źródłem energii jest glukoza, a po urodzeniu kwasy tłuszczowe mleka. Zapotrzebowanie na energię nowo narodzonych prosiąt jest szczególnie duże w niskiej temperaturze. Prosięta nie mają brunatnej tkanki tłuszczowej i ograniczone możliwości nasilenia  $\beta$ -oksydacji kwasów tłuszczowych, co powoduje termogenezę drzeniową. Zawarta w mleku maciory karnityna w odpowiednio dużym stężeniu może być ważnym czynnikiem przyspieszającym rozwój prosiąt, szczególnie w pierwszych dniach życia, stąd uzasadnione wydaje się podawanie karnityny maciorom w czasie laktacji. Z kolei dodatek karnityny do pasz dla prosiąt po odsadzeniu może wpływać na ich lepsze przyrosty, a tym samym zwiększyć produktywność świń. W dalszym ciągu jednak stosunkowo mało uwagi poświęca się wpływowi karnityny na walory odżywcze mięsa, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości tłuszczu oraz karnityny w mięsie (pokarm funkcjonalny).

### Piśmiennictwo

- Baumgartner M., Reuse J.: Boars react positively to L-carnitine supplements. *Int. Pig Topics* 1998, 13, 32.
- Bertol T. M., Ellis M., Hamilton D. N., Johnson E. W., Ritter M. J.: Effects of dietary supplementation with L-carnitine and fat on blood acid-base responses to handling in slaughter weight pigs. *J. Anim. Sci.* 2005, 83, 75-81.
- Birkenfeld C., Ramanau A., Kluge H., Spilke J., Eder K.: Effect of dietary L-carnitine supplementation on growth performance of piglets from control sows or sows treated with L-carnitine during pregnancy and lactation. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2005, 89, 277-283.
- Czech A., Chachaj R., Grela E. R.: Wpływ dodatku L-karnityny do mieszanek dla loch na składniki siary i mleka. *Annal. Univer. Marie Curie-Skłodowska. Sec. EE.* 2005, 23, 349-354.
- Grela E. R., Czech A., Chachaj R.: Effect of L-carnitine diets on performance and blood metabolites in sows. *J. Anim. Feed Sci.* 2005, 14, Suppl. 1, 349-352.
- Eder K.: Effects of L-carnitine supplementation in sows. *Chem. Monthly* 2005, 136, 1535-1544.
- Eder K., Felgner J., Becker K., Kluge H.: Free and total carnitine concentration in pig plasma after oral ingestion of various L-carnitine compounds. *Int. J. Vitamin. Nutr. Res.* 2005, 75, 3-9.
- Eder K., Ramanau A., Kluge H.: Effect of L-carnitine supplementation on performance parameters in gilts and sows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2001, 85, 73-80.
- Gurbuz B., Yalti S., Ficioglu C., Zehir K.: Relationship between semen quality and seminal plasma total carnitine in infertile men. *J. Obstet. Gynaecol.* 2003, 23, 653-656.
- Heo K., Lin X., Odle J., Han K.: Kinetics of carnitine palmitoyltransferase-1 are altered by dietary variables and suggest a metabolic need for supplemental carnitine in young pigs. *J. Nutr.* 2000a, 130, 2467-2470.
- Heo K., Odle J., Han I. K., Cho W., Seo S., van Heugten E., Pilkington D. H.: Dietary L-carnitine improves nitrogen utilization in growing pigs fed low-energy, fat-containing diets. *J. Nutr.* 2000b, 130, 1809-1814.
- Katsumata M., Kobayashi S., Matsumoto M., Tsuneishi E., Kaji Y.: Reduced intake of dietary lysine promotes accumulation of intramuscular fat in the Longissimus dorsi muscles of finishing gilts. *Anim. Sci. J.* 2005, 76, 237-244.
- Kerner J., Hoppel C.: Genetic disorders of carnitine metabolism and their nutritional management. *Ann. Rev. Nutr.* 1998, 18, 179-206.
- Kozink D. M., Estienne M. J., Harper A. F., Knight J. W.: Effects of dietary L-carnitine supplementation on semen characteristics in boars. *Theriogenology* 2004, 61, 1247-1258.
- Kulasek G., Wilczak J.: Roślinne bioaktywne związki – drugi złoty wiek w diecie człowieka i zwierząt. *Higiena* 2003, 1, 16-18.
- Kulasek G., Krzemiński R.: Praktyczne aspekty stosowania L-karnityny w żywieniu zwierząt produkcyjnych. *Życie Wet.* 2003, 78, 508-513.
- Lee C. Y., Bazer F. D., Etherton T. D., Simmen F. A.: Ontogeny of insulin-like growth factors (IGF-I and IGF-II) and IGF-binding proteins in porcine serum during fetal and postnatal development. *Endocrin.* 1991, 128, 2336-2344.
- Li B. U. K., Murray R. D., Hietlinger L. A., Hughes A. M., McClung H. J., O'Dorisio T. M.: Enterohepatic distribution of carnitine in developing piglets: relation to glucagon and insulin. *Pediatr. Res.* 1992, 32, 312-316.
- Lohninger A., Laschan C., Auer B., Linhart L., Salzer H.: Tierexperimentelle und klinische Untersuchungen: die Bedeutung des Carnitins für den Stoffwechsel der Schwangeren und des Feten während der Prä- und Perinatalperiode. *Wien. Klin. Wschr.* 1996, 108, 33-39.
- Lohninger A., Karlic H., Lohninger S., Tammaa A., Jinniate S., Masher H., Mascher D., Salzer H.: Carnitine in pregnancy. *Chem. Monthly* 2005, 136, 1523-1533.
- Meyer H.-P., Robins K. T.: Large scale bioprocess for production of optically pure L-carnitine. *Chem. Monthly* 2005, 136, 1269-1277.
- Moses A. C., Nisely S. P., Short P. A., Rechler M. M., White M. M., Knight A. B., Higa O. Z.: Increased levels of multiplication-stimulating activity, an insulin-like growth factor, in fetal rat serum. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1980, 77, 3649-3653.
- Musser R. E., Goodband R. D., Tokach M. D., Owen R. Q., Nelssen J. L., Blum S. A., Dritz S. S., Civis C. A.: Effects of L-carnitine fed during gestation and lactation on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 1999a, 77, 3289-3295.
- Musser R. E., Goodband R. D., Tokach M. D., Owen R. Q., Nelssen J. L., Blum S. A., Campbell R. G., Smits R., Dritz S. S., Civis C. A.: Effects of L-carnitine fed during lactation on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 1999b, 77, 3296-3303.
- Owen K. Q., Ui H., Maxeell C. V., Nelssen J. L., Goodband R. D., Tokach M. D., Trembleay G. C., Koo S. I.: Dietary L-carnitine suppress mitochondrial branched-chain keto acid dehydrogenase activity and enhances protein accretion and carcass characteristics of swine. *J. Anim. Sci.* 2001, 79, 3104-3112.
- Pace S., Longo A., Toon S., Rolan P., Evans A. M.: Pharmacokinetics of propionyl L-carnitine in humans: evidence for saturable tubular reabsorption. *Brit. J. Clin. Pharmacol.* 2000, 50, 441-448.
- Ramanau A., Kluge H., Eder K.: Effects of L-carnitine supplementation on milk production, litter gains and back-fat thickness in sows with low energy and protein intake during lactation. *Brit. J. Nutr.* 2005, 93, 717-721.
- Ramanau A., Kluge H., Spilke J., Eder K.: Supplementation of sows with L-carnitine during pregnancy and lactation improves growth of the piglets during the suckling period through increased milk production. *J. Nutr.* 2004, 134, 86-92.
- Rebouche C. J., Seim H.: Carnitine metabolism and its regulation in microorganisms and mammals. *Annu. Rev. Nutr.* 1998, 18, 39-61.
- Reda E., D'Iddio S. D., Nicolai R., Benatti P., Calvani M.: The carnitine system and body composition. *Acta Diabetol.* 2003, 40, S106-S113.
- Rincker M. J., Carter S. D., Real D. E., Nelssen J. L., Tokach M. D., Goodband R. D., Dritz S. S., Sene B. W., Fent R. W., Pettey L. A., Owen K. Q.: Effects of increasing dietary L-carnitine on growth performance of erlaning pigs. *J. Anim. Sci.* 2003, 81, 2259-2269.
- Tein I.: Carnitine transport: pathophysiology and metabolism of known molecular effects. *J. Inherit. Metab. Dis.* 2003, 26, 141-169.
- Waylan A. T., Kayser J. P., Gnad D. P., Higginst J. J., Starkey J. D., Sisso E. K., Woodworth J. C., Johnson B. J.: Effect of carnitine on fetal growth and the IGF systems in pigs. *J. Anim. Sci.* 2005, 83, 1824-1831.
- Woodworth J. C., Minton J. E., Tokach M. D., Nelssen J. L., Goodband R. D., Dritz S. S., Koo S. I., Owen K. Q.: Dietary L-carnitine increases plasma leptin concentrations of gestating sows fed one meal per day. *Domestic Anim. Endocrin.* 2004, 26, 1-9.
- Zeiner A., Harmeyer J.: Metabolic functions of L-carnitine and its effects as feed additive in horses. A review. *Arch. Anim. Nutr.* 1999, 52, 115-138.

Adres autora: dr Bożena Balasińska, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa; e-mail: balasinska@alpha.sggw.waw.pl