

## L-KARNITINO FIZINĖS, BIOCHEMINĖS IR METABOLIZMO SAVYBĖS BEI ĮTAKA GYVULIŲ PRODUKTYVUMUI IR REPRODUKCIJAI. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

Antanas Sederevičius, Heinz Jeroch, Renata Urbaitytė ir Laimonas Danyla

*Virškinimo fiziologijos ir patologijos mokslinis centras, Lietuvos Veterinarijos akademija, Tilžės g. 18, LT-3002 Kaunas; tel. (370 7) 363 692; faksas (370 7) 362 417; el. p.: antanas@lva.lt.*

**Santrauka.** Pastaraisiais metais labai išaugo susidomėjimas natūraliu į vitamino panašiu junginiu – L-karnitinu. Tai aminorūgščių junginys, natūraliai randamas aukštesniųjų gyvūnų ląstelėse, kai kuriuose mikroorganizmuose ir augaluose. L-karnitinas yra svarbus tiek žmonių, tiek gyvūnų, o ypač naujagimių mitybos komponentas. Pagrindinė jo metabolizmo funkcija yra ilgų grandinių riebalų rūgščių oksidacijos stimuliavimas mitochondrijose. L-karnitinas iš citozolio beta-oksidacijai per vidinę mitochondrijos membraną perneša aktyvuotas riebalų rūgštis, todėl jo trūkumas trikdo riebalų rūgščių oksidaciją. L-karnitinas taip pat sujungia acetilo grupes, palaiko detoksikuojančią membranų funkciją, dalyvauja kaip kofaktoriai vidutinio ilgumo riebalų rūgščių, piruvato bei ketoninių kūnų energetiniame metabolizme, aktyvina imunokompetentinę sistemą ir spermatogenezę. Tyrinėjant L-karnitino poveikį gyvūnams buvo atlikti įvairūs bandymai su sportiniais žirgais, pieninėmis karvėmis, broileriais, vištomis dedeklėmis, žindomais ir atjunkomais paršeliais, penimais paršais, kuiliais bei paršavedėmis. Nustatyta, kad stresas, fizinis krūvis, ilgalaikė įtampa, daug riebalų turintys pašarai sąlygoja racionus papildyti L-karnitinu, nes endogeninė biosintezė nepajėgi patenkinti organizmo poreikių. Vertinant L-karnitino chemines ir metaboliškas savybes, jo biosintezę, absorbciją, katabolizmą, ekskreciją bei įtaką įvairių gyvulių rūšims, išnagrinėta keliasdešimt užsienio šalių literatūros šaltinių ir pateikta jų analizė bei apibendrinimas.

**Raktažodžiai:** L-karnitinas, riebalų rūgščių oksidacija, metabolizmo funkcija, poveikis fiziologinėms funkcijoms.

## L-CARNITINE CHEMISTRY, METABOLICAL AND CLINICAL FUNCTIONS, DEFICIENCIES. ITS EFFECTS ON ANIMALS PRODUCTIVITY AND REPRODUCTION. A LITERATURE REVIEW

**Summary.** In the last few years vitamin-like compound L-carnitine has been drawn to an interest. L-carnitine is amino acids derivative, it occurs virtually in cells of higher animals, some microorganisms and plants. L-carnitine has since become firmly established essential nutrient for both human and animal. L-carnitine plays a key role in energy provision in the cells. As co-factor L-carnitine catalyses the transport of activated fatty acids through the mitochondrial membrane into beta-oxidation. Thus in the case of L-carnitine deficiency the oxidation of fatty acids is disordered. Besides, L-carnitine acts as buffer substance for intermediate storage or transport of activated short-chain fatty acids in and out of cells organelles and cytosol, co-factor in generation of energy from medium-chain fatty acids, pyruvate and ketone bodies, protector and modulator of cell membranes, regulator in gluconeogenesis and ketogenesis. L-carnitine supplementation to the various animals' species was studied. The trials with racing horses, dairy cows, broilers, laying hens, suckling, weaning and fattening piglets, sows and boars were carried out. Concerning the trials endogenous biosynthesis, together with the uptake of L-carnitine from feed is sufficient to cover normal requirements. However neonates, animals in conditions of stress, higher performance and sustained exertion or those which are feeded with diets low in carnitine and rich in fat the additional provision of L-carnitine is required. To view L-carnitine chemistry, biological function, biosynthesis, absorption, transport, catabolism and its influence on various animals' species parameters, over forty foreign literature sources have been studied and passed in review.

**Keywords:** L-carnitine, fatty acids oxidation, metabolic function, effects on animals' physiological parameters.

**Istorija.** L-karnitinas atrastas 1905 metais kaip raumeninio audinio sudėtinė dalis (pavadinimas kilęs iš lotyniško žodžio *caro*, kilmininko linksnis – *carnis* – mėsa, kūnas). Beveik dviem dešimtmečiais vėliau 1927 m., išsiaiškinta jo cheminė struktūra. Biologinė šio substrato esmė buvo atrasta tik 1948 m., kai mokslininkai Freankel ir Friedman tyrinėdami B grupės vitaminų poveikį mėsos kirmėlių lervoms atrado, jog, pridėjus į augimo terpę kepenų ekstrakto, lervų augimas suintensyvėja. Autoriai pavadino aktyvųjį kepenų komponentą vitaminu B<sub>T</sub> (T iš lotyniško mėsos kirmėlių pavadinimo, B nurodo, jog priskiriamas, autorių nuomone, B vitaminų klasei) (Zubriggen, 2000). 1952 m.

mokslininkas Carter atrado, jog aktyvusis kepenų komponentas yra tapatus L-karnitinui. Paaiškėjo, kad mėsos kirmėlėms (*Tenebrio molitor*) bei jų lervoms L-karnitinas yra gyvybiškai svarbi maisto medžiaga. 1962 m. Kaneko ir Yoskida atrado L- ir D- karnitino molekules stereoizomerines formas. Natūraliai organizme pasigaminanti L-karnitino forma buvo pripažinta "fiziologiniu karnitinu". Metabolinė L-karnitino funkcija ir jo vaidmuo riebalų rūgščių oksidacijoje buvo išaiškinta 1950 m. Nuo šių metų pradėti ir iki šiol tęsiami intensyvūs tyrimai siekiant išsamesnės L-karnitino cheminių, metabolizmo funkcijų ir jo vaidmens organizmo biosistemoje analizės. Randami nauji teigiami

L-karnitino poveikiai organizmui, kurie atveria plačias karnitino panaudojimo galimybes tiek medicinos, tiek veterinarijos srityje (Baumgartner, 1997a; LONZA, 1996).

L-karnitinas yra aminorūgščių junginys, cheminis pavadinimas beta - hidroksi - gamma - trimetil - amino butiratas. L-karnitino molekulinė masė yra 161,2, dėl to jis galėtų būti priskiriamas B vitaminų klasei. Karnitinas dėl savo asimetrinės struktūros prie antrojo anglies atomo yra optiškai aktyvus ir gali būti L- ir D- stereoizomerinių formų. L- stereoizomerinė karnitino forma (fiziologinis karnitinas), natūraliai susidaro anaerobų, augalų ir gyvūnų audiniuose. D- stereoizomerinės formos biosintezė natūraliai biologinėje terpėje nevyksta, D-karnitinas yra sintetinamas. Tyrimais įrodyta, jog D-karnitino poveikis organizmui žalingas. Jis slopina L-karnitino sintezę iš gamma-butirotetaino (tiesioginio karnitino pirmtako) kepenyse ir inkstuose bei inaktyvuoja fermentą karnitino aciltranslokazę, atsakingą už riebalų rūgščių transportą per vidinę mitochondrijos membraną. Dėl šių priežasčių randasi energijos trūkumas, gyvuliai skursta, mažėja jų priesvoris (Fritz, 1955; Borum et al., 1983; Mier, 1987).

**L-karnitino biosintezė.** L-karnitinas gaunamas su gyvūninės kilmės pašarais arba sintetuojamas kepenyse iš aminorūgščių lizino ir metionino (1 lentelė). Gyvūnai gali reguliuoti endogeninę L-karnitino sintezę. Tačiau stresas, aukštas gyvulio produktyvumas, ne visai išsivysčiusi naujagimių biosintezė, racionas, kuriame mažai karnitino, bet daug riebalų, reikalauja papildomo L-karnitino kiekio. Sintetuojant L-karnitiną metilo grupė gaunama iš metionino, o karboninės jungtys ir azotas iš aminorūgšties lizino. Su hidroksilinimo, disociacijos ir oksidacijos reakcijų pagalba gaunamas gamma-butirotetaino junginys, tiesioginis L-karnitino pirmtakas (deoksikarnitinas). Gamma-butirotetainas sintetuojamas daugelyje audinių, tačiau jo virtimas L-karnitinu tiesiogiai priklauso nuo fermento gamma-butirotetaino hidrolazės. Kepenys išskiria didžiausią gamma-butirotetaino hidrolazės kiekį, todėl deoksikarnitiną, susintetintą kituose audiniuose, transportuoja į jas hidroksilinti. Nustatyta, jog mažesnio aktyvumo gamma-butirotetaino hidrolazė randama žmonių, kačių, žiurkėnų, triušių ir *Maccacus rhexus* beždžionių inkstuose bei galvos smegenyse. Vadinas, ne tik kepenyse, bet ir inkstuose bei galvos smegenyse gali vykti ribota L-karnitino biosintezė. Kiekviena gyvūnų rūšis sintetuoja skirtingą L-karnitino kiekį, nes jų organai išskiria nevienodą gamma-butirotetaino hidrolazės kiekį. L-karnitino biosintezėi taip pat reikalingas vitaminas B<sub>6</sub>, askorbo bei nikotino rūgštys, niacinas, foliatai ir divalentė geležis. L-karnitino biosintezė susilpnėja arba užblokuojama, jei organizmui trūksta vitamino B<sub>12</sub>, nes jis reikalingas metionino sintezei (Baumgartner, 1997a; Maher, 2001).

**L-karnitino metabolinės funkcijos.** L-karnitinas dalyvauja daugelyje metabolizmo procesų, vykstančių žmogaus ir gyvūno organizme. Svarbiausios funkcijos yra riebalų rūgščių pernešimas per vidinę mitochondrijos membraną, kofermento A (koA) kiekio stabilizavimas, ląstelių membranų statyba, apsauga ir aprūpinimas ATF bei imunokompetentinės sistemos, spermatogenezės ir

spermatozoidų aktyvavimas (Baumgartner, 1997 a; Baumgartner et al., 1999; LONZA, 1996).

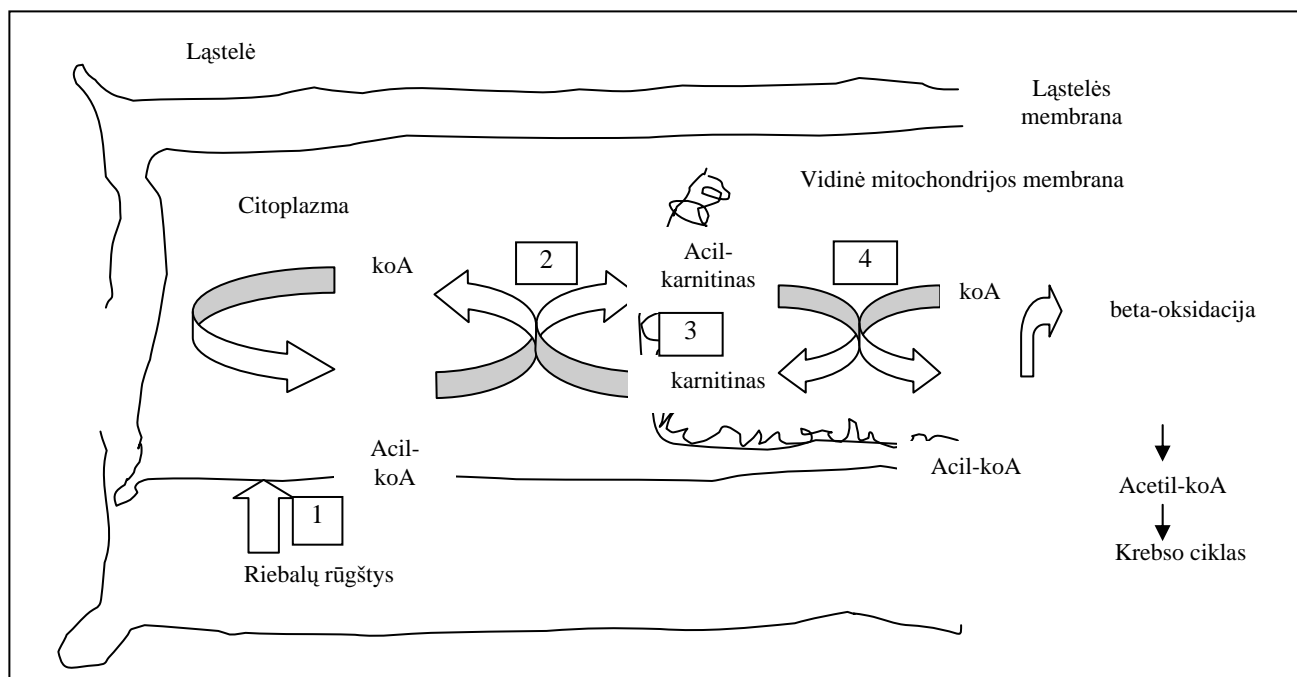
1 lentelė. **L-karnitino kiekis augaliniuose ir gyvūniniuose produktuose (Baumgartner, 1997; Leibovitz, 1993)**

Pašarai	Kiekis, mg/kg
Javai:	
Miežiai	7
Kukurūzai	5
Avižos	5
Kvietrugiai	5
Kviečiai	5
Miežinės sėlenos	15
Kvietinės sėlenos	15
Žirniai	10
Perdirbimo produktai:	
Linų išsp./rup.	15
Rapsų išsp./rup.	5
Saulėgr. išsp./rup.	5
Melasa	10
Pieno produktai:	
Karvės pienas	20
Pieno milteliai	140
Nugriebtas pienas	15
Išrūgos	15
Išrūgų milteliai	450
Žuvies miltai	80-160
Plunksnų miltai	120
Mėsos-kaulų milt.	100

Riebalų rūgščių oksidacija yra ciklinis procesas, per kurį nuo acil-koA pamažu atskykla dvianglis fragmentas acetil-koA. Pagrindinis būdas išlaisvinti riebalų rūgštys sukauptą energiją yra beta-oksidacija ir su ja susijusio acetil-koA oksidacija Krebso cikle. Riebalų rūgščių oksidacija vyksta mitochondrijose, kurių matricoje lokalizuoti riebalų rūgščių fermentai. Vidinė mitochondrijų membrana nelaidi riebalų rūgštims, todėl iš citoplazmos į mitochondrijų vidų jos turi būti perneštos. L-karnitinas, judėdamas per mitochondrijos membraną perneša ilgąsias riebalų rūgštis acilkarnitino pavidalu pirmyn ir atgal, pakeičia koA mitochondrijos išorėje į mitochondrijos matricą. Pirmiausia ilgosios riebalų rūgštys yra aktyvuojamos citozolyje ir paverčiamos acilkarnitino esteriais su įvairaus ilgio grandinės rūgštimis. Vidinė mitochondrijos membrana nelaidi junginiams su koA, tad acilo liekanos perkeliama nuo koA prie karnitino. Susidarę mitochondrinės membranos išorėje acilkarnitino esteriai įvairių fermentų pagalba (acil-koA sintetazės, karnitino palmitoiltransferazės I, karnitino palmitoiltransferazės II, karnitino translokazės) pernešami į mitochondrijos matricą, kur skyla į sudėtinę dalis prijungdami riebalų rūgšties likutį prie koA ir sudarydami atitinkamą acil-koA (1 pav.). Acil-koA perduodamas beta-oksidacijai, kurios metu tampa acetil-

koA (sutrumpėja dviem anglies atomais) (Praškevičius ir kt., 1987). Acilkarnitinių transportavimas per vidinę mitochondrijos membraną vyksta pagal mainų principą santykiu 1:1. Perėjus vienai karnitino esterio molekulei iš citozolio į mitochondriją, tuoj pat kita laisva L-karnitino

molekulė juda priešinga kryptimi – iš mitochondrijos matricos į citozolį. Šis pernešimo mechanizmas priklauso nuo termodinaminės ląstelės pusiausvyros ir karnitino esterių koncentracijos (Bieber, 1998; Bremer, 1983).



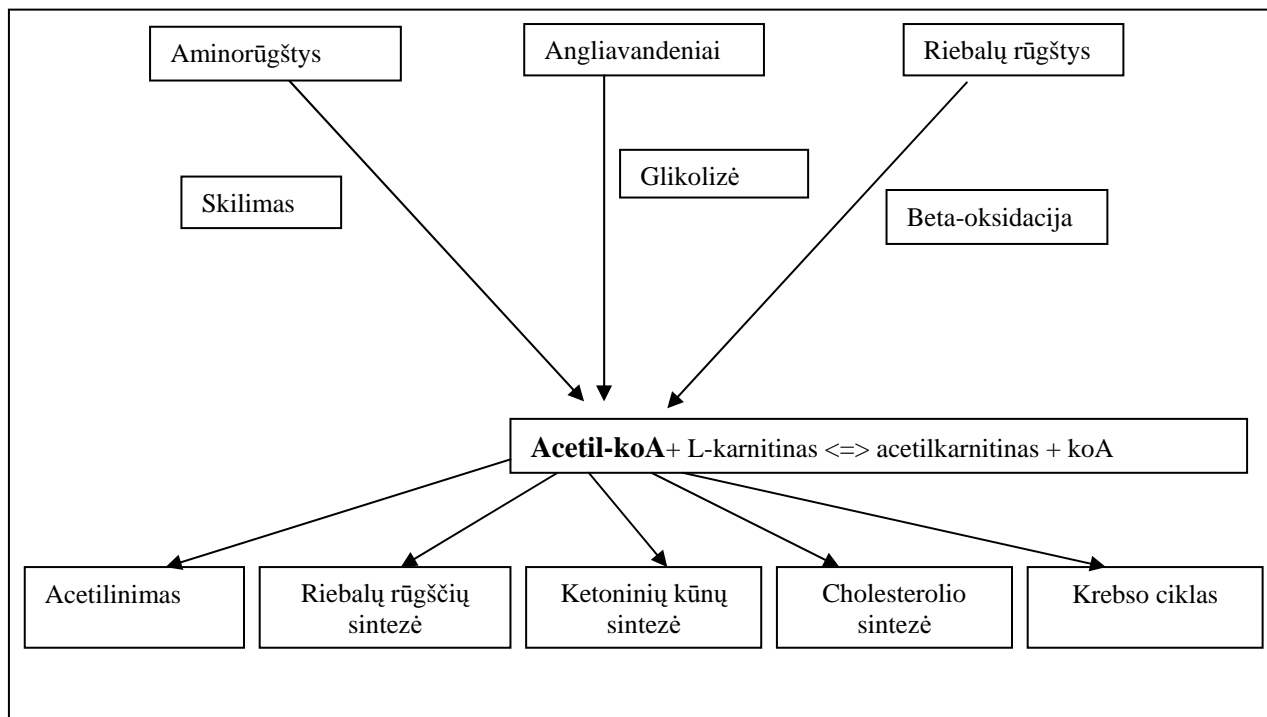
- 1 – acil-koA-sintetazė,
- 2 – karnitino-palmitoil-transferazė I (KPT I)
- 3 – karnitino-translokazė
- 4 – karnitino-palmitoil-transferazė II (KPT II).

1 pav. L-karnitino įtaka pernešant ilgų grandinių riebalų rūgštis per mitochondrijų membraną beta-oksidacijai (Baumgartner, 1997a)

Ne mažiau svarbi yra L-karnitino buferinė savybė, t.y. acetilo grupių detoksikavimas ir trumpųjų grandinių riebalų rūgščių pernešimas iš ląstelių organelių arba į jas (2 pav.). Susidaręs acetil-koA riebalų rūgščių beta oksidacijoje, taip pat skylant angliavandeniams ir aminorūgštims, kaupiasi ląstelėse ir sukelia citotoksinį efektą, ypač gyvuliui sergant ketoze, cukriniu diabetu, badaujant ar intensyviai judant. L-karnitinas sujungia acetilo grupes, jų perteklius pernešamas į inkstus ir pašalinamas su šlapimu. Tokiu būdu išlaisvinamas koA ir stabilizuojamas santykis tarp laisvo koA ir acetil-koA. Tinkamas laisvo koA ir acetil-koA santykis sudaro optimalias sąlygas metabolizmui bei palaiko netiesioginį ATF transportavimą iš mitochondrijų. Priešingu atveju kaupdamasis mitochondrijose acetil-koA stabdo fermento adenino nukleotido translokazės funkciją, kuri atsakinga už ATF molekulių pernešimą iš mitochondrijų į pačias ląsteles (Baumgartner, 1997a; Leibovitz, 1993).

Tyrimais nustatyta, jog L-karnitinas tiesiogiai ir netiesiogiai dalyvauja daugelyje biocheminių procesų, vykstančių organizme. Jis reguliuoja ląstelių membranų sintezę, aktyvuoja imunokompetentinės sistemos specifines (T, B limfocitus) ir nespecifines ląsteles (makrofagus, neutrofilus) bei nervines ląsteles apsaugo

nuo toksinio amoniako poveikio. Tyrinėjant L-karnitino poveikį šunims nustatyta, kad dėl L-karnitino trūkumo sumažėja albuminų koncentracija kraujo plazmoje. Dėl šios priežasties osmotinis slėgis kraujagyslėse mažėja, o audiniuose pradeda kauptis skystis, vystosi edema. Reikia paminėti, jog atrastas teigiamas L-karnitino poveikis žmogaus bei gyvulių širdies raumeniui. L-karnitinas, esantis kraujo plazmoje, sąlygoja geresnį eritrocitų aprūpinimą deguonimi ir apsaugo individus nuo vadinamojo staigios mirties sindromo (Baumgartner, 1999). Veisimo laikotarpiu L-karnitinas yra svarbus spermatogenezei ir spermų judrumui palaikyti. Įrodyta, kad nevaisingumo problemos tiesiogiai koreliuoja su L-karnitino kiekiu, esančiu priedėlyje ir pačiuose spermatozoiduose. Spermatozoidų judrumas priklauso nuo acetil-karnitino kiekio, kuris yra pirminis energijos šaltinis tuoj pat po sukergimo (Casillas, 1979; Harmeyer, 1999). Po apvaisinimo L-karnitinas sąlygoja geresnę intrauterinę mitybą ir turi teigiamos įtakos vaisiaus plaučių formavimuisi. Vaikungų patelių, gavusių L-karnitino priedą, naujagimiai priešlaikinio gimdymo metu yra daug atsparesni žalingiems aplinkos veiksniams (Lohninger, 1996).



2 pav. L-karnitino metabolizmo funkcijos (Baumgartner, 1997a)

**L-karnitino absorbcija, transportas ir ekskrecija.**

Didžiausias L-karnitino kiekis randamas širdies ir skeleto skersaruožiuose raumenyse, o mažiausias – ekstraceliulariniuose skysčiuose ir kraujyje. Jo kiekis ląstelėse yra nuo 10 iki 100 kartų didesnis negu tarpląstelinėje medžiagoje. L-karnitinas absorbuojamas plonojo žarnyno ląstelių aktyviuoju pernešimo mechanizmu, dažniausiai jų proksimalinėje dalyje. Plonajame žarnyne absorbuojama apie 50-80 % L-karnitino (arkliai 10-15 %). Apie 50 % L-karnitino yra acetilinama, tokiu būdu palaikomas laisvo ir acetilinto karnitino kiekis kraujyje (Foster ir kt., 1989; Zeyner ir kt., 1999). Absorbavus kraujo srovė L-karnitiną transportuoja į įvairius organus ir audinius. Daugelis tyrimų parodė, jog L-karnitino koncentracija kraujo plazmoje ir raumeniniame audinyje ženkliai padidėja su pašaru gavus jo priedą. Nustatyta, kad įvairių ląstelių sistemų (širdies, raumenų, kepenų, inkstų, sėklidžių, smegenų) bendras L-karnitino pasisavinamumas priklauso nuo jo kiekio audiniuose. Įdomu tai, jog dauguma ląstelių pasisavina tiek D-, tiek L-karnitiną, tačiau inkstai selektyviai reabsorbuoja L-karnitiną ir acetilkarnitiną kitų acilkarnitinių sąskaita. L-karnitino reabsorbcija priklauso ir nuo gyvūno rūšies: mėsėdžių inkstai silpniau reabsorbuoja nei žolėdžių (Bremer, 1983). Tik labai mažas kiekis laisvo karnitino ir acilkarnitino nepatenka į metabolizmą. Jie pašalinami per inkstus su šlapimu (kartu pašalinamos ir acetilo liekanos).

**L-karnitino įtaka įvairių gyvūnų fiziologinėms savybėms.** Vokietijoje, JAV ir kitose šalyse atlikti tyrimai parodė, jog L-karnitinas teigiamai veikia gyvūnų produkcinės ir reprodukcinės funkcijas. Junginys, dalyvaudamas riebalų rūgščių oksidacijoje, aprūpina organizmą papildoma energija, kuri ypač reikalinga

naujagimiams. Nustatyta, kad naujagimių L-karnitino biosintezė išsivysto tik pirmomis gyvenimo savaitėmis, todėl junginio kiekis naujagimių kraujo plazmoje siekia tik 20 – 30 % suaugusiųjų kraujo plazmos L-karnitino kiekio. Gliukozė yra pagrindinis vaisiaus energijos šaltinis. Po gimimo didžiausia energijos dalis gaunama oksiduojantis riebalų rūgštims. Naujagimio medžiagų apykaitos sistemoje vyksta fundamentalūs pokyčiai, nes jaunikliui reikia išlaikyti aukštą kūno temperatūrą. Šiems metabolizmo pokyčiams reikalingas didesnis L-karnitino kiekis, todėl patelių piene pirmosiomis savaitėmis po jauniklių atsivedimo jo yra 10 - 40 kartų daugiau nei kraujo plazmoje (priklausomai nuo gyvūno rūšies). L-karnitino koncentracija naujagimių kraujo plazmoje taip pat priklauso nuo įvairių audinių fermentų, kurių biosintezė suaktyvėja pirmomis naujagimio gyvenimo savaitėmis. Pridėjus L-karnitino į patelių racionus, jo kiekis padidėja ir piene. Tokiu būdu gerinamas naujagimių augimas ir mažinamas jų gaištamumas (Baumgartner, 1997a; LONZA, 1998; Baumgartner, 1999). Įvairių patelių piene randamas L-karnitino kiekis nurodytas 2 lentelėje.

2 lentelė. L-karnitino kiekis piene (LONZA, 1996; Penn et al., 1987; Kerner, 1984; Snowswell et al., 1975)

Gyvulio rūšis	mg/l
Karvė	6-50
Ožka	15-20
Kumelė	10-50
Avis	130-320
Paršavedė	25-60

Bandymais įrodyta, kad didžiausią įtaką L-karnitinas turėjo paršeliams žindukliams ir atjunkomiems paršeliams, kai paršavedėms paršingumo ir laktacijos laikotarpiu buvo duodamas jo priedas. L-karnitino priedas padidino atvestų gyvybingų paršelių skaičių, svorį, paros priesvorius, pagerino paršavedės pieno riebalų pasisavinamumą bei naujagimių atsparumą ligoms. Tyrimais nustatyta koreliacija tarp atvestų paršelių svorio ir jų augimo bei brendimo greičio, kai paršavedės aprūpinamos tinkamu L-karnitino kiekiu paršingumo periodu. L-karnitino priedas padidina insulino ir insulininio augimo faktoriaus (IAF-I) išsiskyrimą į paršavedės kraujo plazmą. Tiek insulinas, tiek IAF-I turi įtakos gliukozės metabolizmui ir vaisiaus raumeninių skaidulų formavimuisi. Dėl šių priežasčių vaisius gimdoje vystosi intensyviau, naujagimiai gimsta raumeningesni, greičiau pasiekia skerdimo svorį (Musser et al., 1999). Įdomu tai, jog, vienų mokslininkų teigimu, L-karnitinas turi teigiamos įtakos paršelio formavimuisi ir vystymuisi duodant L-karnitino priedą tik paršingumo laikotarpiu (Musser, 1999b), o kitų – L-karnitinas sąlygoja paršelio fiziologinę būklę ir pašarų pasisavinamumą šeriant paršavedes ne tik paršingumo, bet ir laktacijos laikotarpiu (Harmeyer, 1993). Atjunkyti paršeliai netenka L-karnitino šaltinio, gaunamo su kiaulės pienu, patiria stresą, nes pasikeičia aplinka ir šerimas. Tyrimais įrodyta, jog kasdien duodant 25–50 mg/kg L-karnitino padidėja paršelių priesvoris, nes stimuliuojama riebalų rūgščių oksidacija, taupiau eikvojami organizmo baltymai (sulaikoma didesnioji dalis azoto), paršeliai atsparnesni stresui ir mažiau serga širdies ligomis. Nustatyta, kad anksti atjunkomiems paršeliams (30 d.) L-karnitino kiekis pašaruose turi būti didesnis nei įprastai atjunkomiems, kad būtų kompensuojamas kiaulės pieno netekimas. Penimi paršai, gaunantys reikiamą L-karnitino kiekį, veiksmingai naudoja pašarų energiją, žaliuosius proteinus bei aminorūgštis. Nustatyta, kad L-karnitino priedas pagerina penimų paršų skerdenos kokybę (daugiau raumeninio audinio, mažiau riebalų), mažina aminorūgščių disimiliaciją, nes didesnioji energijos dalis gaunama oksiduojant riebalų rūgštis. Be to, L-karnitinas padeda raumenims išlaikyti glikogeno rezervus, sumažina pieno rūgšties kaupimąsi raumenyse, geriau aprūpina juos ATF, o transportuojant į skerdyklą apsaugo nuo streso ir staigių širdies veiklos sutrikimų (Baumgartner, 1997c,k; Musser, 1999a.; Owen et al., 1996).

Suaugusiems gyvūnams L-karnitinas ne mažiau svarbus nei jaunikliams. Norint pagerinti veislines paršavedžių ir kuilių savybes, t.y. kuo ilgiau išlaikyti aukšto lygio vaisingumą, spermą apvaisinimo galią bei reprodukcinį laikotarpį, taip pat reikalingas papildomas L-karnitino kiekis. Paršavedėms per paskutinius paršingumo mėnesius ir laktacijos laikotarpį padidėja L-karnitino poreikis, nes didžiausią energijos dalį jos gauna oksiduojantis riebalų rūgštims. Laktacijos metu paršavedė didelį L-karnitino kiekį išskiria su pienu - per 4 laktacijos savaites apie 300 litrus pieno su 30 mg/l L-karnitino. Paršingumo laikotarpiu paršavedė turėtų vidutiniškai priaugti 35 kg svorio (vaisiaus svoris ir pačios paršavedės atsargų gausėjimas), o laktacijos laikotarpiu netekti ne

daugiau kaip 15 kg kūno svorio (Fremaut, 1993). Norint, kad paršavedė nuo apsiparšavimo iki laktacijos pabaigos prarastų kuo mažiau svorio, rekomenduojama paršingumo ir laktacijos periodu praturtinti racionus atitinkamu L-karnitino kiekiu. Taip pasiekiamas dvejetainis poveikis: nuo apsiparšavimo iki laktacijos pabaigos paršavedė netenka mažiau svorio, o paršeliai žindukliai su kiaulės pienu gauna didesnę karnitino kiekį. Kitu atveju L-karnitino priedą rekomenduojama tiesiogiai dėti į paršelių prestarterinį pašarą. Paršelių noriai ėdamas, turintis didelę energinę vertę prestarterinis pašaras apsaugo paršavedę nuo pervargimo ir išsekimo, ypač 3–4-tą laktacijos savaitę. Paršavedės mažiau sunaudoja savo organizmo atsargų, nes paršeliai suvartoja mažiau pieno (Harmeyer, 1995; Harmeyer et al., 1997). Tyrimais įrodyta: kuo mažiau paršavedė netenka svorio ir išsaugo daugiau organizmo riebalų per laktaciją, tuo trumpesnis laikas nuo paršelių atjunkymo iki rujos ir didesnis ovuliuotų kiaušialąsčių skaičius (Jacobs et al., 1998).

Atrajotojai, skirtingai nei vienkameriniai gyvūnai, didžiausią energijos dalį gauna oksiduodami ne angliavandenius, bet mikroorganizmais skaidydami ilgąsias ir trumpąsias riebalų rūgštis (acto, sviesto, propiono). Tačiau galvijams badaujant, sergant kepenų ligomis, šeriant juos rūgščiais, daug baltymų ir mažai angliavandenių turinčiais pašarais, susidaro didelis kiekis ketoninių kūnų (acetono, acetylacto rūgšties, betaoksisviesto rūgštis). Jie nespėja oksiduotis raumenyse bei kituose organuose, todėl kaupiasi ir sukelia acidozę, o acetylacto rūgštis, acetonas bei izopropanolis veikdami toksiškai sutrikdo CNS veiklą. Bandymais įrodyta, kad L-karnitinas, vienu metu stimuliuodamas ketoninių kūnų oksidaciją kepenyse ir raumenyse, sumažina jų koncentraciją kraujo plazmoje ir apsaugo veršingas bei laktuojančias pateles nuo ketoninių kūnų susidarymo. Galvijams esant ramybės būsenoje, L-karnitino biosintezė visiškai patenkina organizmo poreikius. Tačiau intensyvaus eksploatavimo metu (aukšto produktyvumo karvėms, buliams kergimo sezonu), sutrikus prieskrandžių fermentacinei veiklai, esant blogoms laikymo sąlygoms, gali rasti L-karnitino trūkumas. Tinkamas L-karnitino kiekis atrajotojams reikalingas normaliems metaboliniams procesams palaikyti. Jis ne tik apsaugo galvijus nuo ketozės, bet ir didina propionato susidarymą prieskrandžiuose, gerina pieno riebalų formavimąsi ir gliukoneogenezę (Baumgartner, 1997d).

Sportinių gyvūnų (žirgų, medžioklinių šunų, balandžių) skersaruožuose ir širdies raumenyse randamas didelis L-karnitino kiekis, nes stresas varžybų ir fizinis krūvis treniruočių metu reikalauja papildomos energijos. Ilgų treniruočių metu riebalų rūgštys yra pagrindinis energijos šaltinis. L-karnitinas trumpų ir greitų pratimų metu dalyvauja angliavandenių, o ilgų – riebalų oksidacijos reakcijose, taip didindamas sportinių gyvūnų ištvėrmę ir atsparumą nuovargiui. Intensyvaus darbo metu raumenyse pasigaminusi pieno rūgštis sukelia spazmus. L-karnitinas sumažina pieno rūgšties gamybą raumenyse ir kraujyje (didesnioji energijos dalis gaunama skaidant riebalus), apsaugo raumeninio audinio ląsteles ir jų membranas nuo degeneracijos. Jis palaiko normalų širdies

darbą, apsaugo miokardą nuo pertempimo ir ligų bei padeda organizmui greičiau atsistatyti po įtemptų fizinių pratimų (Neu, 1995; Baumgartner, 1997c,i,h,g).

Kaip jau minėta, L-karnitinas yra svarbus apvaisinimo veiksnys. Patinai (kuiliai, eržilai, buliai, šunys ir kt.) per kergimo sezoną patiria metabolizmo stresą. Šiuo periodu organizmo energijos atsargos naudojamos intensyviau, todėl nusilpsta gyvulių imuninės sistemos veikla, jie tampa imlesni infekcijoms. Mokslininkai įrodė, jog L-karnitinas turi įtakos ne tik bendrai patino organizmo fiziologinei būsenai kergimo metu, bet ir jo reprodukcinėi sistemai. Kaip teigia, N. Thielman (1996) ir K. Herfen (1997), tyrinėję karnitino įtaką kuilių lytinei sistemai, L-karnitinas aktyvina spermatogenezę, didina spermos tūrį, kokybę bei spermatozoidų skaičių. Spermatozoidų judrumas ir germinatyviniame audinyje vykstantys dalijimosi procesai tiesiogiai priklauso nuo L-karnitino ir acetilkarnitino kiekio spermos ląstelėse ir sėklidžių priedėlyje (Provimi, 1997; Jeulin, 1994). Atliekant bandymus su 8 eržilais, kurių spermatozoidų judrumas buvo nepatenkinamas, 5-iems iš jų su pašaru 6 mėnesius iš eilės du kartus per dieną buvo duodama 6 g L-karnitino. Spermatozoidų judrumas pagerėjo lyginant su eržilais negavusiais L-karnitino priedo (Brooks, 1980; Herfen et al., 1997).

Veislinio pulko vištos ir dedeklės, kurių racionai praturtinti L-karnitinu, geriau pasisavina lesalus, deda daugiau ir didesnės masės kiaušinių. Trynio riebalai pirmąsias gyvenimo savaites yra pagrindinis paukščių maisto šaltinis. Nustatyta, jog veislinio pulko vištas aprūpinant tinkamu L-karnitino kiekiu kiaušinių dėjimo laikotarpiu, viščiukai inkubacijos metu veiksmingiau panaudoja trynio riebalus energijai gauti. Broileriams ir kalakutams pirmomis augimo savaitėmis reikia daug energijos, todėl L-karnitino priedu šeriami broileriai ir kalakutai greičiau pasiekia reikiamą svorį, yra atsparesni stresams. Be to, kalakutus lesinant itin daug riebalų turinčiais lesalais, L-karnitinas apsaugo kepenis nuo riebumo (Baumgartner, 1997 e).

Įdomu tai, jog atlikus eksperimentus su žuvimis (karpiais, upėtakiais) taip pat buvo nustatyta teigiama L-karnitino įtaka. Įdėjus 1 g L-karnitino į kilogramą pašaro be stimuliuojančio poveikio riebalų rūgščių oksidacijai, padidėjo žuvų priesvoris, pagerėjo azoto retencija ir sumažėjo jų gaištamumas (Baumgartner, 1997l).

**Išvados.** Daugeliu atveju endogeninė L-karnitino sintezė nepajėgi patenkinti organizmo poreikių, nes gyvulininkystės tempas reikalauja maksimalaus rezultato tiek produkcijos, tiek reprodukcijos srityje. Prieš sudarant gyvuliams racionus, labai svarbu atkreipti dėmesį į gyvulio amžių, fiziologinę būklę, metų laiką ir eksploatavimo intensyvumą. Gyvulių, kuriems reikia daug L-karnitino, tam tikrą racionų dalį turėtų sudaryti gyvūniniai pašarai, išskyrus jų riebalus, nes šie visai neturi L-karnitino. Tačiau, kaip rodo įvairūs tyrimai, veiksmingų rezultatų sulaukiama, pridėjus gyvūnams į pašarus atitinkamą kiekį sintetinio L-karnitino. Šiuo metu sintetinis L-karnitino priedas gaminamas komerciniais pavadinimais „Carniking“, „Carnifeed“ („Lonza“ Šveicarija), „LC-Tabs-Versuch“ („Lohmann Animal

Health“, Vokietija). Sintetinis L-karnitino priedas gerai tirpsta vandenyje, yra atsparus aukštai temperatūrai ir lengvai naudojamas. Be to, į kai kurių jų sudėtį įeina papildomos mineralinės (Ca, Mg) ir maistinės medžiagos (dekstozė, laktozė), turinčios teigiamą poveikį individui.

Išanalizavus keliasdešimt literatūros šaltinių galima teigti, kad L-karnitinas turi teigiamą poveikį gyvulių reprodukciniams ir fiziologiniams funkcijoms.

1. L-karnitinas, aminorūgščių junginys, natūraliai aptinkamas aukštesniųjų gyvūnų ląstelėse, kai kuriuose mikroorganizmuose ir augaluose. L-karnitino pagrindinė metabolizmo funkcija yra ilgos grandinės riebalų rūgščių iš citozolio pernešimas per mitochondrijos membraną beta-oksidacijai, todėl pagerėja pašaro pasisavinamumas ir veiksmingiau yra panaudojama riebalų rūgštyse sukaupta energija. L-karnitinas, kaip kofaktorius dalyvaudamas įvairiose biocheminėse reakcijose, padidina priesvorį, stimuliuoja spermatogenezę, apsaugo kepenų, širdies ir skeleto skersaruožių raumenų ląsteles.

2. L-karnitinas sintezuojamas kepenyse iš aminorūgščių lizino ir metionino bei gaunamas su gyvūninės kilmės arba labai mažais kiekiais - augaliniais pašarais. Kai kuriais atvejais (nėštumo, laktacijos, ligos, kergimo sezono, streso) endogeninė L-karnitino biosintezė nepajėgi patenkinti organizmo poreikių. Išeitis - papildyti racionus įvairiais vitaminais, mineralinėmis ir fermentinėmis medžiagomis. L-karnitinas yra vienas iš rekomenduotinų šėrimo racionų priedų.

3. L-karnitino trūkumas esti įgimtas arba įgytas. Įgimtas L-karnitino trūkumas yra paveldimas susirgimas esant pažeidimams karnitino biosintezės, metabolizmo ar pernešimo sistemose. Įgyto L-karnitino trūkumo priežastys - nepakankamas L-karnitino kiekis pašaruose, susilpnėjusi jo biosintezė ar išskirtinis organizmo poreikis (stresas, nėštumas, laktacija). L-karnitino trūkumas apibūdinamas pernelyg dideliu riebalų kaupimusi raumenyse (*lipidosis*), susilpnėjusiu raumenų tonusu ir organizmo rezistentiškumu.

4. Naujagimių L-karnitino biosintezė išsivysto tik pirmomis gyvenimo savaitėmis. Gliukozė yra pagrindinis vaisiaus energijos šaltinis. Po gimimo vyksta fundamentalūs pokyčiai naujagimių medžiagų apykaitoje – didžiausia energijos dalis gaunama oksiduojantis riebalų rūgštims. Šiems metabolizmo pokyčiams reikia daugiau L-karnitino, todėl patelių piene pirmosiomis savaitėmis po atsivedimo jo yra 10 - 40 kartų daugiau nei kraujo plazmoje.

5. L-karnitinas - svarbus apvaisinimo veiksnys, sąlygojantis greitą spermatozoidų judėjimą patelės lytiniais takais po sukergimo. Spermatozoidų judrumas ir germinatyviniame audinyje vykstantys dalijimosi procesai tiesiogiai priklauso nuo L-karnitino ir acetilkarnitino kiekio sėklidžių prielipe ir pačiuose spermatozoiduose.

6. Atrajotojai didžiausią energijos dalį gauna oksiduodami ne angliavandenius, bet su mikroorganizmų pagalba skaidydami trumpų ir ilgų grandinių riebalų rūgštis (acto, sviesto, propiono). Galvijams badaujant, sergant kepenų ligomis, šeriant juos rūgščiais, baltymingais, mažai angliavandenių turinčiais pašarais, susidaro daug ketoninių kūnų. L-karnitinas, vienu metu

stimuliuodamas ketoninių kūnų oksidaciją kepenyse ir raumenyse, sumažina jų koncentraciją kraujo plazmoje ir apsaugo veršingas ir laktuojančias patelas nuo jų susidarymo.

7. Paršavedės, šeriamos L-karnitino priedu paršingumo ir laktacijos laikotarpiu, praranda mažiau svorio, pagerėja jų reprodukcinės savybės. Nustatyta, kad paršavedės gavusios, L-karnitino priedą paršingumo laikotarpiu, atsiveda daugiau ir didesnio svorio gyvybingų, mažiau silpnų, negyvų ir mažesnių nei 800 g paršelių. Paršeliai su pienu gauna daugiau L-karnitino, todėl geriau pasisavina pašarus, greičiau auga ir yra atsparesni stresui. L-karnitino priedas pagerina penimų paršų skerdenos kokybę – daugiau raumeninio, mažiau riebalinio audinio.

8. L-karnitinas trumpų ir greitų distancijų metu dalyvauja angliavandenių, o ilgų – riebalų oksidacijos reakcijose. Sportiniams gyvūnams ir paukščiams (žirgams, medžiokliniams šunims, balandžiams) jis sumažina pieno rūgšties gamybą raumenyse ir kraujyje, nes didesnioji energijos dalis gaunama skaidant riebalus, bei apsaugo raumeninio audinio ląsteles ir jų membranas nuo degeneracijos.

Veislinės vištos ir dedeklės, kurių racionai praturtinti L-karnitinu, geriau pasisavina pašarus, deda daugiau ir didesnės masės kiaušinių, broileriai greičiau pasiekia reikiamą svorį, tampa atsparesni stresams, o kalakutai apsaugomi nuo kepenų ligų ir lipidozės.

#### Literatūra

- Baumgartner M., Alonso E. Recommended L-carnitine dosages for animals. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1998. 9. P. 2-7.
- Baumgartner M., Blum R. Carnitine-chemistry, biological function and deficiencies. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997a. P. 2-8.
- Baumgartner M., Blum R. L-versus D- or D,L - Carnitine occurrence – metabolism – biosynthesis – animal feeding studies – regulations – references. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997b. P. 2-7.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in swine nutrition – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997c. P. 2-6.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine for ruminants – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997d. P. 2-4.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in poultry nutrition – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997e. P. 2-3.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in horse nutrition – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997f. P. 2-3.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in dog nutrition – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997g. P. 2.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in cat nutrition – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997h. P. 2-3.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in pigeon nutrition – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997i. P. 2.
- Baumgartner M., Blum R. Typical L-carnitine contents in feedstuffs. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997j. P. 2.
- Baumgartner M., Blum R. More lean meat thanks to L-carnitine. International Pig Topics, 1997k. 12 (4). P. 19-22.
- Baumgartner M., Blum R. L-carnitine in aquaculture – requirements and effects of an adequate supply. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1997l. P. 2.
- Baumgartner M., Jacobs St. L-carnitine: importance for pig breeding. Lohmann information, 1999. 22. P. 15.
- Baumgartner M., Owen K.Q. L-carnitine and swine nutrition. More lean tissue and less fat deposition. Ann. Nutr. Metab., 2000. 44. P. 75-96.
- L. Bieber L. Carnitine. Ann. Rev. Biochem, 1988. 57. P. 261-83.
- Borum P.R., Fisher K.D. Health effects of dietary carnitine. Bethesda, Life Science Research Office, Federation of American Societies for Experimental Biology, 1983.
- Bremer J. Carnitine-metabolism and functions. Physiol. Rev., 1983. 63. P. 1420-1480.
- Brooks D.E. Carnitine in male reproductive tract and its relation to the metabolism of the epididymis and spermatozoa. Carnitine biosynthesis, metabolism and functions. Academic Press, New York, 1980. P. 219-235.
- Casillas E.R., Chaipayungpan S. The distribution of carnitine and acetyl-carnitine in the rabbit epididymis and the carnitine content of rabbit spermatozoa during maturation. Journal of reproduction Reproduction and Fertility, 1979. 56. P. 439-444.
- Eder K., Ramanau A., Kluge H. Effect of L-carnitine supplementation on performance parameters in gilts and sows. J. Anim. Physiol. and Anim.Nutr., 2001. 85. P. 73-80.
- Foster C. V.L., Harris R.C. Survey of plasma free carnitine levels in 74 Thoroughbred horses at stud and in training. Equine Vet, 1989. 21. P. 139-141.
- Fremaut D.J. L-carnitine in modern swine nutrition. Lecture Feed Additives Symposium Oct. Visp/Zermatt, 1993. P. 12-14.
- Fritz I. The effects of muscle extracts on the oxidation of palmitic acid by liver slices and homogenates. Acta Physiol. Scand., 1955. 34. P. 367-385.
- Harmeyer J., Zeyner A. Metabolic functions of L-carnitine and its effects as feed additive in horses. A review. Arch. Anim. Nutr., 1999. 52. P. 115-138.
- Herfen K., Harmeyer J., Bostedt H., Baumgartner M. The impact of carnitine on sperm quality in stallions (Abstract). Reprod. Domest. Anim. Physiol. Pathol. Biotechnol., 1997. 32. P. 77.
- Jacobs S, Baumgartner M. Sows and their offspring perform better when sow diets are supplemented with Carniking. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1998. P. 2-3.
- Jeulin C., Dacheux J.L., Soufir J.C. Uptake and release of free L-carnitine by boar epididymal spermatozoa in vitro and subsequent acetylation rate. J Report Fert, 1994. 100. P. 263-271.
- Krahenbuhl S. L-carnitine and Vegetarianism. Ann. Nutr. Metab. 2000. 44. P. 75-96.
- Lohninger A., Seim H., Loster H. Role of carnitine in pregnancy and effects of maternal carnitine administration on fetal rat lung and surfactant content. Carnitine – Pathochemical Basics and Clinical Applications, Ponte Press Bochum, 1996. P. 157-166.
- Leibovitz B.E. L-carnitine. LONZA Publication, 1993.
- Mier P.J. D-Carnitin, Harmlos? Gitzelmann R., Baerlocher K., Steinmann B. (eds.) Carnitin in Medizin, Stuttgart, Schattauer, 1987. P. 101-104.
- Musser R.E. L-carnitine influences the number of pigs born alive per litter. Swine Update, 1999b. 21 (1). P. 1-3.
- Musser R.E., Goodband R.D., Tokach M.D., Owen K.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., 1999. 77. P. 3289-3295.
- Musser RE. Additional L-carnitine in the gestating sow diet improves carcass characteristics of the offspring. Swine Day (Kansas State University), 1999a. P. 37-40.
- H. Neu. L-carnitine – chemistry, function and clinical importance in canine cardiac disease. Kleintierpraxis, 1995. 40. P. 197-220.
- Owen K.Q, Maxwell C.V., Nelssen J.L., Goodband R.D., Tokach M.D., Tremblay G.C., Koo S.I., Blum S.A. Effect of dietary L-carnitine on growth performance and carcass characteristics and metabolism of swine. Swine Day Report, 1996. P. 1-9.
- Praškevičius A., Lukoševičius L., Astrauskas V. Klinikinė biochemija. Vilnius: Mokslas, 1987. P. 309.
- Rehfeldt C.H., Fiedler I., Weikard R., Kanitz E., Ender K. It is possible to increase skeletal muscle fibre in utero. Biosci. Rep., 1993. 13. P. 213-219.
- Thielman N. Vruchtbaarheid bij en L-carnitine. Diss Industriële Hogeschool CTL, Ghent, 1995.
- Zeyner A., Harmeyer J. Metabolic functions of L-carnitine and its effects as feed additive in horses. A review. Arch. Anim. Nutr., 1999. 52. P. 115-138.
- Zurbriggen E. L-carnitine: historical review. Ann. Nutr. Metab. 2000. 44. P. 75-96.
- LONZA. L-carnitine in animal nutrition. LONZA Ltd, Basel, Switzerland, 1996. P. 2-8.

