

谷氨酰胺对运动能力影响的研究进展

史岩峰*

(陕西工业职业技术学院, 咸阳 712000)

摘 要: 谷氨酰胺是人或哺乳动物体内含量最丰富的一种游离的条件必需氨基酸, 是机体内众多代谢活动的能量来源, 对机体各器官功能的正常发挥起着重要的作用。但是在应激状态下, 谷氨酰胺的供求平衡会被打破。谷氨酰胺因其独特且复杂的生理特性成为营养学、生理学、生物化学、运动医学等多领域的研究热点。随着国际竞技体育的蓬勃发展, 功能性运动补充剂不断被开发, 在此期间谷氨酰胺在运动能力提升方面的巨大潜力被发掘, 经过研究发现谷氨酰胺能够有效提高机体运动能力并延缓疲劳。本文对过度运动与谷氨酰胺之间的关系及谷氨酰胺的生理功效进行综述, 并对谷氨酰胺未来的研究方向进行展望。

关键词: 谷氨酰胺; 运动能力; 生理功效

Effect of glutamine on exercise ability

SHI Yan-Feng*

(Shaanxi Polytechnic of Industry, Xianyang, 712000, China)

ABSTRACT: Glutamine is one of the most abundant free conditionally essential amino acids in human or mammalian body. It is the energy source of many metabolic activities in the body and plays an important role in the normal function of various organs. But under stress, the balance of supply and demand for glutamine will be broken. Glutamine has become a research hotspot in nutrition, physiology, biochemistry, sports medicine and other fields due to its unique and complex physiological properties. With the vigorous development of international competitive sports, functional sports supplements have been continuously developed. During this period, the great potential of glutamine in improving sports ability has been explored. After research, glutamine can effectively improve the body's sports ability and delay fatigue. This paper reviewed the relationship between excessive exercise and glutamine and the physiological effects of glutamine, and prospected the future research directions of glutamine.

KEY WORDS: glutamine; exercise ability; physiological effect

0 引 言

随着竞技体育意识的不断增强, 国际竞技体育愈发被重视, 各国间竞争愈发激烈。为了在比赛中取得更好的成绩, 运动员的训练量甚至已经临近生理极限, 然而过度运动往往容易适得其反, 引起机体过度疲劳, 从而引发免疫水平降低、氧化损伤增强、骨骼肌分解、酸中毒等机体代谢不良现象, 可能导致一系列的生理疾病, 危及运动员

身体健康。因而采用科学有效的方法来提高运动成绩十分必要, 很多领域的科研工作者纷纷投身于这一课题, 各种类型的运动营养补充剂不断问世, 近 20 多年来不断有专家学者对谷氨酰胺(glutamine, Gln)提出各种设想并进行验证^[1]。Gln 是人体内含量最丰富的一种游离的条件必需氨基酸, 占人体所含游离氨基酸总量的 60%以上, 在生理机能正常的情况下, 谷氨酸和 NH_3 在谷氨酰胺合成酶的催化作用下可以自行合成 Gln^[1]。肝脏和骨骼肌是体内 Gln 合

*通信作者: 史岩峰, 讲师, 主要研究方向为体育营养。E-mail: zhousklpoqw@outlook.com

*Corresponding author: SHI Yan-Feng, Lecturer, Shanxi Polytechnic of Industry, Xianyang 712000, China. E-mail: zhousklpoqw@outlook.com

成和代谢的主要场所,能够释放到血液中,是人体血液中 Gln 的主要来源。

当机体进行长时间剧烈运动时,机体自身合成的 Gln 不足以满足需求,会造成组织器官功能失调,甚至造成生理或病理性损伤,外源性补充 Gln 能够很大程度上减轻这种损害,使各细胞、组织和器官的生理功能向更好的方向发展^[2-3]。本文通过论述过度运动与 Gln 的关系及 Gln 的生理功效,表明科学摄入外源性 Gln,能够提高运动员的身体素质和运动能力,有效延缓疲劳并促进恢复,为 Gln 类运动营养品的进一步发展提供参考。

1 过度运动与 Gln

研究表明^[4]适度的运动可以升高血液中 Gln 的浓度,促进淋巴细胞和巨噬细胞的分化增殖。刘正冬等^[5]通过小鼠游泳实验证明,中强度运动组小鼠血浆和骨骼肌中 Gln 的浓度与对照组持平,甚至趋于升高,体现出积极的代偿反应,说明适度运动是一种良性刺激。过度训练则恰恰相反,常常会引起一系列的生理和病理性变化,如人体免疫能力的降低、细胞凋亡进程的加速、肠粘膜结构和功能完整性的破坏,这些变化与过量运动后人体内 Gln 浓度降低密切相关。Gln 具有维持机体免疫功能的作用,能够促进免疫细胞的分化和增殖,但是当血浆中 Gln 浓度低于 600 $\mu\text{mol/L}$,免疫细胞内 RNA 的合成会降低,白细胞介素-2、免疫球蛋白的合成会减少,巨噬细胞的吞噬能力下降。但是免疫细胞无法自行合成 Gln, Gln 主要在骨骼肌和肝脏中合成,当机体对 Gln 的需求量增加,血浆中 Gln 浓度持续降低时,免疫功能降低^[6-8]。淋巴细胞、巨噬细胞、中性粒细胞在免疫反应中起到非常重要的作用, Gln 可以作为代谢的重要供能底物,其利用率等于或大于葡萄糖。当 Gln 供应不足时,会给细胞因子的复制带来障碍,免疫功能受到抑制,补充外源性 Gln 可以改善免疫抑制^[9-11]。SMITH 等^[12]通过对奥运会前后的一部分运动员的研究发现,过度训练和经历慢性疲劳的运动员体内可能出现“Gln 的负债状态”,其原因可能是过量运动后机体对 Gln 需求量的增加使得机体自身合成的 Gln 不足以满足需求。金其贯等^[13]通过大鼠大负荷游泳实验发现,与对照组相比,实验组大鼠血清中 Gln 含量显著降低,说明大负荷运动会使血清中 Gln 含量显著降低。可能是机体细胞对 Gln 需求量的增加、Gln 合成所需底物缺乏、Gln 合成酶活性降低、Gln 转运系统受到抑制等原因所导致。刘铁民等^[14]通过给过度训练大鼠灌喂 Gln 溶液的实验发现,过度训练实验组血浆和各组织内 Gln 浓度明显高于过度训练对照组,与安静对照组无明显差异,表明补充外源性 Gln 能有效维持过度训练时机体 Gln 的代谢平衡。袁艳等^[15]研究发现,补充 Gln 可以升高 $\text{CD}_4^+/\text{CD}_3^+$ 的比值,同时抑制性 T 淋巴细胞亚群减少,说明外源性补充 Gln 可以减少过度训练对机体免疫平

衡的影响,减轻运动免疫抑制的程度,有益于维持机体的免疫平衡。Gln 的优势还在于它在免疫细胞内并不会完全氧化,部分 Gln 会转变成乳酸和天冬氨酸,而葡萄糖几乎全部转化成乳酸^[16]。

静息状态下免疫细胞对 Gln 的利用率很高,当微生物入侵时也可以迅速进行免疫应答,此时免疫细胞对 Gln 的需求量必然持续增加,合成嘌呤或嘧啶核苷酸,从而快速增殖免疫细胞,才能满足免疫反应的需求。机体免疫功能的维持在很大程度上依赖于血浆中 Gln 的浓度^[17-19]。正常成年人血浆中 Gln 的浓度是 0.6 mmol/L,而刺激淋巴细胞增殖的 50%最大速率的 Gln 浓度约 0.02 mmol/L。当 Gln 浓度为 0.2 mmol/L 时,淋巴细胞的增殖已经达到 91%最大速率。因而正常情况下人体内淋巴细胞的增殖已经趋近于最大速率,过度训练导致的机体血浆中 Gln 水平的降低必然会影响到淋巴细胞的增殖从而影响到机体的免疫功能,因而给运动员外源性补充 Gln 显得十分重要^[20-21]。站旗^[22]研究发现大鼠进行大强度跑台训练后免疫功能显著下降,补充 Gln 之后可以明显改善过度训练导致的大鼠免疫抑制,增强大鼠免疫能力。

2 Gln 的生理功效

2.1 促进运动技能形成

谷氨酸作为主要中枢兴奋性神经递质,可以介导一系列高级神经活动,其中包括对学习记忆活动的调节作用。由于谷氨酸不能通过血脑屏障,所以中枢内的谷氨酸来源于脑内三羧酸循环,由 Gln 脱氨或者 α -酮戊二酸转氨基生成。Gln 作为脑内谷氨酸代谢的前体物质,可自由通过血脑屏障进出大脑,通过谷氨酸神经递质系统对脑功能进行调节^[23]。景洪江等^[24]通过给大鼠补充 Gln 溶液的实验表明,补充 Gln 可以提高脑内高海马 N-甲基-D-天冬氨酸受体数目和一氧化氮合酶的活性,提升学习记忆能力,促进运动技能的形成。因而补充 Gln 可以更好地满足大脑对谷氨酸的需求,提高中枢神经系统和学习记忆的能力,从而提高机体的运动能力。

2.2 保护骨骼肌

Gln 是蛋白质合成的编码氨基酸,肌肉中 Gln 的大量消耗与骨骼肌的分解代谢有很大的关系, Gln 是一种高效的抗分解代谢剂,当肌肉中 Gln 浓度在较高的水平时,其他的氨基酸并不能进入到 Gln 合成的环节中,促进蛋白质的合成。此外, Gln 还有助于体内氨基酸平衡的形成,有益于蛋白质的合成^[25]。因此运动时补充 Gln 对于保护骨骼肌具有重要意义,同时能有效预防过度训练带来的骨骼肌损害。另外,过度训练造成肌肉损伤后,补充 Gln 可以促进肌纤维的修复和再生,增加肌纤维横截面积,延长运动时间,产生保护骨骼肌的功效^[26]。

2.3 抗氧化作用

机体进行有氧代谢的过程中会产生自由基, 适量的自由基对免疫细胞有良性的刺激作用, 但当机体内自由基过量时, 将严重危害人体健康。当机体内各种代谢正常进行时, 机体内的氧化系统和抗氧化系统可以互相平衡, 从而维持机体的正常生物代谢^[27-29]。过量运动会打破氧化系统和抗氧化系统之间形成的平衡, 引起自由基和活性氧的大量积累, 造成机体氧化损伤, 影响运动能力的发挥^[30-32]。通常情况下, Gln 可以通过一系列的途径来抵抗氧化效应, 从而避免氧化损伤。但当过量运动、机体创伤等引起的应激反应会造成血浆中 Gln 水平大幅度降低, 抗氧化能力剧烈下降, 因而此时内源性 Gln 无法满足抗氧化需求, 外源性补充 Gln 显然十分必要^[33-35]。

Gln 可以作为机体重要的抗氧化剂谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 的前体物质, Gln 可以促进谷胱甘肽合成从而避免肝类组织受到自由基损伤, 当机体进行高强度运动时, 机体内源性 Gln 不足以合成充足的 GSH 来对抗机体内产生的氧化效应, 补充外源性 Gln 可以很大程度降低高强度运动后体内的脂质过氧化水平^[36-38]。乔玉成^[39]通过大鼠游泳力竭实验表明, 补充外源性 Gln 可以提高大鼠机体腓肠肌和心肌组织中 GSH 水平, 提高抗氧化能力, 减轻脂质过氧化反应。杨野全等^[40]通过给小鼠灌喂 Gln 溶液的实验证明, 补充 Gln 可以明显提高血清超氧化物歧化酶的活性, 从而提高抗氧化能力。

2.4 调节机体内酸碱平衡

Gln 在机体内具有抗酸的作用, Gln 被骨骼肌、肝脏等器官释放出来在肾脏被还原产生 NH_3 与机体代谢产生的酸反应后与阴离子一起排出体外, 起到调节机体内环境酸碱平衡的作用^[41-43]。严翊等^[20]通过给进行间歇运动的广东田径队短跑队员外源性补充 Gln 的实验发现, 实验组血乳酸含量远低于对照组, 乳酸脱氢酶活性高于对照组, 推测外源性补充 Gln 可以有效减缓体内酸中毒现象。此外, 还有研究表明 Gln 可以显著增加胰脏重量、DNA 重量及蛋白质含量, 促使胰腺泡增生, 有利于胰脏的健康生长, 而胰腺分泌的胰液为碱性溶液, 能够有效中和胃酸, 给肠道内代谢提供适宜的 pH 环境^[44-45]。

2.5 维持肠道平衡

Gln 是肠道黏膜细胞的重要能源物质, 有益于黏膜的生长、修复和完整性的维持, 保护肠道屏障功能^[46-47]。有研究发现, Gln 可以通过热休克蛋白的表达, 使肠道黏膜细胞免受乙醇的伤害^[48]。RAY 等^[49]通过研究发现, Gln 能刺激鸟氨酸脱羧酶的活性, 促进肠道黏膜的生长。另外, 适量添加 Gln 有利于改善肠道微生物生态群, 促进肠道菌群平衡, 同时有效抑制细菌的发生。KARATEPE 等^[50]发现, Gln 能够有效防止或抑制梗阻性黄疸引起的细菌移位和氧化损伤。

3 Gln 在运动营养品中的应用

Gln 因其优越而独特的生理性能被广泛应用于运动营养食品中, 被很多运动训练及健身爱好人群接受。国外的运动营养补充剂发展较国内更为迅速, 匈牙利品牌 Scitec Nutrition 谷氨酰胺 2017 年被授予年度占先欧洲品牌, 在保证高品质的同时, 兼顾了口味的多样性, 被国内外许多运动人群所追捧。加拿大品牌 Biox 推出的谷氨酰胺粉在北美市场上占有一定的份额, 近几年打开了中国市场, 被越来越多的体育运动者和健身人群所认可。近年来国内一些品牌也开始推出谷氨酰胺运动营养补充剂, 但多数反响平平, 小众品牌凯美威推出的谷氨酰胺粉被很多运动健身人士推崇, 市场反响较好。因而我国 Gln 运动营养品可以借鉴国外 Gln 保健品研发的丰富经验, 再加以自主创新, 促进 Gln 运动营养补充剂的应用及发展。

4 展 望

许多理论研究和应用实践证明, 外源性补充 Gln 对运动后机体组织器官的正常运行起着积极的作用。但关于补充 Gln 的安全性问题却很少有报道。很多人能够了解机体处于某种应激状态时需要补充 Gln, 但是往往无法确定其合理剂量, 也无法确定什么样的群体适合使用, 此外, 运动强度和时间的差异性也造成机体对 Gln 需求量的差异, 大剂量补充 Gln 会对机体器官组织造成的怎样的损害等一系列问题亟待解决, 因而需要引起更多的科研工作者的重视, 为其未来在实际中的应用提供更多切实可行的依据。

参考文献

- [1] PETRY ER, CRUZAT VF, HECK TG, *et al.* L - glutamine supplementations enhance liver glutamine - glutathione axis and heat shock factor-1 expression in endurance- exercise trained rats [J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2015, 25(2): 188-197.
- [2] 毕胜, 刘宏鸣. 谷氨酰胺在肿瘤细胞中的代谢及意义[J]. *海南医学院学报*, 2009, 15(10): 1340-1342.
BI S, LIU HM. Metabolism and significance of glutamine in tumor cells [J]. *J Hainan Med Coll*, 2009, 15(10): 1340-1342.
- [3] 刘艳丽, 李春雷, 牟瑜瑜. 谷氨酰胺在临床疾病中的应用[J]. *中国医疗前沿*, 2010, 5(7): 18-20.
LIU YL, LI CL, MOU YY. Application of glutamine in clinical diseases [J]. *China Med Front*, 2010, 5(7): 18-20.
- [4] 郑晨, 周越, 张宇纯, 等. 补充谷氨酰胺对高温高湿环境下力竭运动机体免疫功能的影响[Z]. 2014.
ZHENG C, ZHOU Y, ZHANG YC, *et al.* Effect of glutamine supplementation on immune function of exhausted exercise under high temperature and humidity [Z]. 2014.
- [5] 刘正冬, 李可基, 冯建英. 补充谷氨酰胺对运动小鼠谷氨酰胺代谢的影响[J]. *营养学报*, 2002, 24(1): 1-4.
LIU ZD, LI KJ, FENG JY. Effects of glutamine supplementation on glutamine metabolism in exercise mice [J]. *Acta Nutr Sin*, 2002, 24(1):

- 1-4.
- [6] 李宁, 赖万强. 谷氨酰胺对免疫功能的影响[J]. 医学综述, 2010, 16(6): 823-826.
- LI N, LAI WQ. Effect of glutamine on immune function [J]. Med Rev, 2010, 16(6): 823-826.
- [7] 许友卿, 李伟峰, 丁兆坤. 谷氨酰胺对水生动物免疫的影响及机理[J]. 动物营养学报, 2012, 24(3): 406-410.
- XU YQ, LI WF, DING ZK. Effect and mechanism of glutamine on immunity of aquatic animals [J]. Acta Zoologica Sin, 2012, 24(3): 406-410.
- [8] MANDELL SP, GIBRAN NS. Early enteral nutrition for burn injury [J]. Adv Wound Care, 2014, 3(1): 64-70.
- [9] JEURISSEN A, BOSSUYT X, CEUPPENS JL, *et al.* The effects of physical exercise on the immune system [J]. Nederl Tijdschrift Voor Geneesk, 2003, 147(28): 1347-1351.
- [10] ROGERO MM, TIRAPEGUI J, MARCO ARV, *et al.* Dietary glutamine supplementation increases the activity of peritoneal macrophages and hemopoiesis in early-weaned mice inoculated with *Mycobacterium bovis* bacillus Calmette-Guérin [J]. J Nutr, 2008, 138(7): 1343-1348.
- [11] 郑晨, 周越, 张宇纯, 等. 补充谷氨酰胺对高温高湿环境下力竭运动机体免疫功能的影响[J]. 中国科技论文在线, 2014. <http://www.paper.edu.cn>
- ZHENG C, ZHOU Y, ZHANG YC, *et al.* The effect of glutamine supplementation on the immune function of exhausted exercise body under high temperature and high humidity environment [J]. Sci Technol Magaz Online, 2014. <http://www.paper.edu.cn>
- [12] SMITH DJ, NORRIS SR. Changes in glutamine and glutamate concentrations for tracking training tolerance [J]. Med Sci Sports Exerc, 2000, 32(3): 684-689.
- [13] 金其贯, 吴凤起. 运动性免疫抑制的机制研究[J]. 西安体育学院学报, 2004, 21(5): 48-52.
- JIN QG, WU FQ. Mechanism of exercise-induced immunosuppression [J]. J Xi'an Inst Phys Edu, 2004, 21(5): 48-52.
- [14] 刘铁民, 赵平甫, 吴衍忠, 等. 过度训练对大鼠各组织谷氨酰胺代谢的影响及谷氨酰胺干预的研究[J]. 广州体育学院学报, 2004, 24(5): 33-34.
- LIU TM, ZHAO PF, WU YZ, *et al.* Effects of overtraining on glutamine metabolism in various tissues of rats and glutamine intervention [J]. J Guangzhou Inst Phys Edu, 2004, 24(5): 33-34.
- [15] 袁艳, 吴纪饶. 补充谷氨酰胺对运动员免疫系统功能的影响[J]. 体育科学, 2004, (7): 31-33.
- YUAN Y, WU JR. Effects of glutamine supplementation on immune system function of athletes [J]. Sports Sci, 2004, (7): 31-33.
- [16] 李丛艳, 郭志强, 杨奉珠. 谷氨酰胺对动物免疫功能的影响及调节机制[J]. 中国饲料, 2011, (15): 14-18.
- LI CY, GUO ZQ, YANG FZ. Effect of glutamine on animal immune function and its regulatory mechanism [J]. China Feed, 2011, (15): 14-18.
- [17] 张海军. 免疫细胞中谷氨酰胺的代谢及来源[J]. 饲料广角, 2004, (8): 14-17.
- ZHANG HJ. Metabolism and source of glutamine in immune cells [J]. Feed Wide Angle, 2004, (8): 14-17.
- [18] 杨俊涛. 谷氨酰胺与免疫细胞[J]. 国外医学, 1997, 18(1): 3.
- YANG JT. Glutamine and immune cells [J]. Foreign Med, 1997, 18(1): 3.
- [19] 牟彬, 周小秋, 林燕. 谷氨酰胺对免疫细胞的影响研究进展[J]. 动物营养学报, 2007, 19(S1): 487-491.
- MU B, ZHOU XQ, LIN Y. Research progress of the effect of glutamine on immune cells [J]. J Anim Nutr, 2007, 19(S1): 487-491.
- [20] 严翊. 间歇性运动中血液 LA、LDH 等指标的动态变化及补充谷氨酰胺的影响[D]. 北京: 北京体育大学, 2001.
- YAN Y. Dynamic changes of blood La and LDH during intermittent exercise and effects of glutamine supplementation [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2001.
- [21] 李晓云. 谷氨酰胺的临床应用[J]. 内科, 2011, 6(2): 165-167.
- LI XY. Clinical application of glutamine [J]. Int Med, 2011, 6(2): 165-167.
- [22] 战旗. 谷氨酰胺对大强度跑台训练大鼠免疫功能影响的实验研究[J]. 南京体育学报, 2011, 10(3): 32-34.
- ZHAN Q. Experimental study on the effect of glutamine on the immune function of rats with high intensity treadmill training [J]. Nanjing J Phys Educ, 2011, 10(3): 32-34.
- [23] 樊丽霞. 谷氨酰胺对运动机体的作用[J]. 运动医疗站, 2008, (4): 52-53.
- Fan LX. Effect of glutamine on sports body [J]. Sports Med Stat, 2008, (4): 52-53.
- [24] 景洪江, 程义勇, 李树田. 谷氨酸和谷氨酰胺对大鼠学习记忆的影响[J]. 卫生研究, 2000, 29(1): 40-42.
- Jing HJ, Cheng YY, Li ST. Effects of glutamate and glutamine on learning and memory in rats [J]. Health Res, 2000, 29(1): 40-42.
- [25] 李稚, 田野. 离心运动及补充谷氨酰胺影响大鼠腓肠肌总蛋白和胰岛素样生长因子含量的变化[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(30): 6001-6005.
- LI Z, TIAN Y. Effects of eccentric exercise and glutamine supplementation on the content of total protein and insulin-like growth factor in gastrocnemius muscle of rats [J]. Tissue Eng Res Clin Rehabil, 2007, 11(30): 6001-6005.
- [26] 高春刚, 田野. 补充谷氨酰胺对运动大鼠骨骼肌 desmin 表达的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24(1): 34-38.
- GAO CG, TIAN Y. Effect of glutamine supplementation on desmin expression in skeletal muscle of exercise rats [J]. Chin J Sports Med, 2005, 24(1): 34-38.
- [27] 王书平. 谷氨酰胺生理功能与应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10375-10377.
- WANG SP. The research progress of glutamine physiological function and application [J]. Anhui Agric Sci, 2009, 37(22): 10375-10377.
- [28] 钱帅伟, 丁树哲. 补充谷氨酰胺对运动机体的生理功效研究[J]. 四川体育科学, 2011, (1): 26-31.
- QIAN SW, DING SZ. Study on physiological effect of glutamine supplementation on sports body [J]. Sichuan Sports Sci, 2011, (1): 26-31.
- [29] 赵小刚, 杜静, 唐志高, 等. 谷氨酰胺在动物营养上的应用研究进展[J]. 家畜生态学报, 2009, 30(4): 85-87.
- ZHAO XG, DU J, TANG ZG, *et al.* Application of glutamine in animal nutrition [J]. Acta Zoolog Sin, 2009, 30(4): 85-87.
- [30] SERRA JA, DOMINGUEZ RO, MARSCHOFF ER, *et al.* Systemic oxidative stress associated with the neurological diseases of aging [J]. Neurochem Res, 2009, 34(12): 2122-2132.
- [31] REDDELL L, COTTON BA. Antioxidants and micronutrient supplementation in trauma patients [J]. Curr Opin Clin Nutr Metab Care,

- 2012, 15(2): 181–187.
- [32] KAMINSKI KA, BONDA TA, KORECKI J, *et al.* Oxidative stress and neutrophil activation—the two keystones of ischemia/reperfusion injury[J]. *Int J Cardiol*, 2002, 86(1): 41–59.
- [33] JIANG J, ZHENG T, ZHOU XQ, *et al.* Influence of glutamine and vitamin E on growth and antioxidant capacity of fish enterocytes [J]. *Aquacult Nutr*, 2010, 15(4): 409–414.
- [34] SOGUEL L, RENÉ LC, RUFFIEUX C, *et al.* Monitoring the clinical introduction of a glutamine and antioxidant solution in critically ill trauma and burn patients [J]. *Nutrition*, 2008, 24(11-12): 1123–1132.
- [35] 张小兵. 谷氨酰胺缓解动物应激的机理及应用研究[J]. *饲料研究*, 2020, 504(5): 161–164.
- ZHANG XB. Mechanism and application of glutamine in relieving animal stress [J]. *Feed Res*, 2020, 504(5): 161–164.
- [36] 王秋菊, 许丽, 范明哲. 谷氨酸和谷氨酰胺转运系统的研究进展[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(6): 901–907.
- WANG QJ, XU L, FAN MZ. Research progress of glutamate and glutamine transport system [J]. *Acta Zool Sin*, 2011, 23(6): 901–907.
- [37] 吴江, 蔡威. 谷氨酰胺对肝保护作用研究进展[J]. *肠外与肠内营养*, 2004, 11(2): 108–111.
- WU J, CAI W. Research progress of glutamine on liver protection [J]. *Parent Enter Nutr*, 2004, 11(2): 108–111.
- [38] 徐勋宏. 谷氨酰胺在全身炎症反应综合征中的应用[J]. *中华现代临床医学杂志*, 2008, 6(1): 23–24.
- XU XH. Application of glutamine in systemic inflammatory response syndrome [J]. *Chin J Mod Clin Med*, 2008, 6(1): 23–24.
- [39] 乔玉成. 谷氨酰胺对力竭性游泳大鼠心肌组织 MDA, GSH 含量的影响[J]. *西安体育学院学报*, 2001, 18(1): 39–40.
- QIAO YC. Effect of glutamine on the content of MDA and GSH in myocardial tissue of exhausted swimming rats [J]. *J Xi'an Instit Phys Educ*, 2001, 18(1): 39–40.
- [40] 杨野全, 赵丽君, 张桂英, 等. 谷氨酰胺对小鼠耐缺氧和抗氧化能力的影响[J]. *老林中医药*, 2012, 32(8): 827–831.
- YANG YT, ZHAO LJ, ZHANG GY, *et al.* Effect of glutamine on hypoxia tolerance and antioxidant capacity of mice [J]. *Laolin Tradit Chin Med*, 2012, 32(8): 827–831.
- [41] 杨海军. L-谷氨酰胺的生理特性及应用[J]. *中国食物与营养*, 2004, (8): 50–52.
- YANG HJ. Physiological characteristics and application of L-glutamine [J]. *Chin Food Nutr*, 2004, (8): 50–52.
- [42] 黄杰, 刘京, 汪艳, 等. 谷氨酰胺对机体代谢的作用及影响[C]. 中国畜牧兽医学兽医外科学分会第十届会员代表大会暨第 24 次学术研讨会. 2019.
- HUANG J, LIU J, WANG Y, *et al.* Effects of glutamine on metabolism [C]. The 10th Congress of veterinary surgery branch of Chinese society of animal husbandry and veterinary medicine and the 24th Symposium, 2019.
- [43] 冯伟权. 某些氨基酸的代谢特点和运动营养—运动生物化学动态之二[J]. *北京体育大学学报*, 2000, 23(3): 353–356.
- FENG WQ. Metabolic characteristics of some amino acids and sports nutrition—dynamics of sports biochemistry [J]. *J Beijing Sport Univ*, 2000, 23(3): 353–356.
- [44] 蒋小丰, 方热军. 谷氨酰胺的营养生理功能研究进展[J]. *中国饲料*, 2009, (11): 31–36.
- JIANG XF, FANG RJ. research progress on nutritional and physiological functions of glutamine [J]. *China Feed*, 2009, (11): 31–36
- [45] 李振. 谷氨酰胺的作用及应用[J]. *动物保健*, 2006, (8): 30–32, 40.
- LI Z. Effect and application of glutamine [J]. *Anim Health*, 2006, (8): 30–32, 40.
- [46] XU XD, SUN YS, SHAO QS, *et al.* Effect of early enteral nutrition supplemented with glutamine on postoperative intestinal mucosal barrier function in patients with gastric carcinoma [J]. *Chin J Gastrointest Surge*, 2011, 14(6): 436–439.
- [47] 张柏林, 杨乾, 刘宁, 等. 饲料添加 L-谷氨酰胺对脂多糖刺激肉鸡血浆生化指标, 免疫性能, 肠道炎症因子表达及黏膜免疫的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(6): 2611–2623.
- ZHANG BL, YANG Q, LIU N, *et al.* Effects of dietary L-glutamine on plasma biochemical indexes, immune performance, expression of intestinal inflammatory factors and mucosal immunity of broilers stimulated by lipopolysaccharide [J]. *Acta Zoolog Sin*, 2020, 32(6): 2611–2623.
- [48] SUN J, WANG H, HU H. Glutamine for chemotherapy induced diarrhea: a meta-analysis [J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2012, 21(3): 380–385.
- [49] RAY RM, JOHNSON LR. Regulation of intestinal mucosal growth by amino acids [J]. *Amino Acids*, 2014, 46(3): 565–573.
- [50] KARATEPE O, ACET E, BATTAL M, *et al.* Effects of glutamine and curcumin on bacterial translocation in jaundiced rats [J]. *World J Gastroenterol*, 2010, 16(34): 4313–4320.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

史岩峰, 讲师, 主要研究方向为体育营养。

E-mail: zhousklpoqw@outlook.com