

玉米肽的生物学功能及产品开发的研究进展

丛万锁¹, 王晓杰²

(1. 齐齐哈尔大学 研究生部, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 齐齐哈尔大学 食品与生物工程学院, 黑龙江省 玉米深加工理论与技术重点实验室, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:玉米肽是玉米蛋白经蛋白酶水解或微生物发酵后获得的一类低相对分子质量产物。与玉米蛋白相比,玉米肽的水溶性显著增加,且具有多重生物学活性。对玉米肽促进酒精代谢、护肝、抗疲劳、促进脂肪代谢、抗氧化和抑制血管紧张素转换酶活性等生物学功能以及相应的产品开发等进行综述,以期为玉米肽的广泛开发与应用奠定基础。

关键词:玉米肽;护肝;抗疲劳;酒精代谢;抗氧化;抑制血管紧张素转换酶活性;产品开发

中图分类号:Q51;Q591

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2021)05-0082-07

Progress in biological function and product development of corn peptide

CONG Wansuo¹, WANG Xiaojie²

(1. Graduate Faculty of Qiqihar University, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China; 2. Heilongjiang Key Laboratory of Corn Deep Processing Theory and Technology, College of Food and Biological Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China)

Abstract: Corn peptide is a low relative molecular weight product obtained by protease hydrolysis or microbial fermentation of corn protein. Compared with corn protein, the solubility of corn peptides is significantly increased, and it has multiple biological activities. The biological functions of corn peptides such as promoting the metabolism of alcohol, hepatoprotective activity, anti-fatigue, promoting the metabolism of fat, antioxidation and inhibiting angiotensin I converting enzyme activity and the development of corresponding products were introduced, so as to provide a theoretical reference for the extensive development and application of corn peptide.

Key words: corn peptide; hepatoprotection; anti-fatigue; metabolism of alcohol; antioxidation; inhibiting angiotensin I converting enzyme activity; product development

玉米蛋白粉是玉米湿磨法加工淀粉过程中产生的副产物之一,富含玉米醇溶蛋白(65%~68%)和谷蛋白(22%~33%)^[1]。玉米醇溶蛋白含有大量的非极性氨基酸(约占玉米醇溶蛋白总氨基酸的50%,包括Leu、Pro、Ala等),是一种不溶于水,溶于乙醇溶液、丙酮溶液和pH大于等于11.5碱性溶液的疏水性蛋白质^[2-3]。玉米谷蛋白是由约20多种相对分子质量在11~127 kDa的不同蛋白质亚基通

过二硫键等紧密结合而形成的巨大、复杂的大分子蛋白质,不溶于水和乙醇溶液,仅溶于稀酸、稀碱溶液^[4]。玉米蛋白这种独特的溶解性,严重限制了其在食品工业中的应用。

玉米肽是一种以玉米蛋白为原料,经蛋白酶水解或微生物发酵后获得的低相对分子质量产物的统称。与水不溶性的玉米蛋白相比,玉米肽在水相中的溶解性显著增加,而且具有多重生物学活性,包括促进酒精代谢、护肝、抗疲劳、降糖、抑制血管紧张素转换酶活性、抗氧化、抗炎、抗癌等^[5-7]。玉米肽通常由2~20个氨基酸组成,相对分子质量在300~1 000 Da之间,玉米肽具有易于消化吸收的特性,在食品、医药、保健食品等领域显现出良好的应用前景。玉米肽已被国家食品药品监督管理局认证为首

收稿日期:2020-07-12;修回日期:2020-07-31

基金项目:黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(粮头食尾)(LTSW201739)

作者简介:丛万锁(1980),男,工程师,硕士,主要从事玉米肽的生物信息学方面的研究工作(E-mail) congwansuo@126.com。

批列入新资源食品清单的肽产品。因此,玉米肽及其产品的研发有望有效提高玉米蛋白的市场价值。

基于动物实验和人体实验的生物学功效^[8-9],国内外市场上已经有商品化的玉米肽产品,一类是基于促进酒精代谢和护肝功效生产的醒酒护肝类饮品和片剂,一类是基于营养组成和功效互补的原则,将玉米肽与其他生物活性物质复配生产的运动食品、抗疲劳食品、降血压食品和减肥食品等^[10]。

本文对玉米肽的促进酒精代谢、护肝、抗疲劳、促进脂肪代谢、抗氧化和抑制血管紧张素转换酶活性等生物学功能以及相应产品的开发等进行综述,以期对玉米肽的广泛开发利用奠定理论基础。

1 玉米肽的生物学功能

1.1 促进酒精代谢和护肝活性

肝脏是酒精代谢的主要器官,90%的酒精摄入量由肝脏代谢。因此,长期大量饮酒或酗酒容易引起肝脏损伤性疾病,最终可能会发展成肝癌,严重影响人体健康^[11]。因此,开发成本低、多靶点、高效的预防和治疗酒精性肝病的新方法至关重要。

玉米肽具有很高的促进酒精代谢和拮抗酒精性肝损伤的能力。Yamaguchi等^[8,12-14]在玉米肽促进酒精代谢活性方面进行了较为深入的研究,通过碱性蛋白酶水解玉米蛋白制得玉米肽,将玉米肽分别应用于原发性高血压大鼠(SHR-SP)和肥胖病人,发现两者血液中的乙醇及其氧化产物乙醛的含量明显降低,说明玉米肽可以通过激活乙醇脱氢酶(ADH)活力而促进酒精代谢,进而拮抗酒精对肝脏的损伤。Li^[15]、Yu^[16]等分别采用酶法对玉米肽激活ADH的活性进行了研究,发现玉米肽具有激活ADH的活性,且该活性是因玉米肽与ADH激活剂具有类似的功能团酰胺键。在体外化学法的基础上,She等^[17]利用酒精诱导的人肝肿瘤细胞HepG2损伤模型研究了玉米肽的护肝活性,结果表明,20 mg/mL的玉米肽可以保护HepG2细胞免受乙醇代谢诱导的氧化性损伤;同时,玉米肽Tyr-Phe-Cys-Leu-Thr对HepG2细胞酒精性损伤具有保护作用^[18]。Zhang等^[19]采用Wister大鼠模型研究玉米肽对早期酒精性肝损伤的保护作用,结果表明,剂量为900 mg/kg的玉米寡肽可以防止血清氨基转移酶升高,并减轻酒精引起的肝组织损伤。

玉米肽的护肝机制主要包含4条途径^[16,20-25]:
①通过消除超氧自由基和羟自由基减少乙醇氧化过程中的氧化应激,并避免进一步激活核因子- κ B(NF- κ B)、应激活化蛋白激酶(SAPK)和P53等信号通路;
②激活肝脏ADH和乙醛脱氢酶活力,降低

血液中酒精浓度;
③调节NADH/NAD⁺比值,减缓酒精的吸收速率,以防止血清酒精水平的急剧升高;
④通过降低肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、细胞色素C、Fas、FasL和Caspase-3的表达水平,以及增加Bcl-2/Bax比值来抑制肝细胞凋亡。

Wu等^[9]通过随机、双盲、对照研究评估玉米肽对长期饮酒男性的肝脏保护作用,结果发现,玉米肽补充剂对长期饮酒男性的脂质分布、氧化应激和酒精性肝损伤具有有益作用。

为了进一步提高玉米肽的护肝活性,可以对玉米肽进行生物改性。Guo等^[26]用具有抗氧化和护肝活性的硒制备硒强化玉米肽(SeCPs),结果发现,200 mg/kg SeCPs对刀豆球蛋白A(Con A)诱导的肝损伤具有明显的保护作用,其机制与SeCPs的抗氧化能力和降低脂质过氧化作用有关。Wang等^[27]采用转谷氨酰胺酶作为催化剂,将D-氨基葡萄糖共价结合到玉米肽分子上制备玉米糖肽,评估玉米糖肽对大鼠酒精性肝损伤的拮抗作用,结果发现,250 mg/kg玉米糖肽通过加速酒精代谢、逆转肝氧化还原状态、减轻脂多糖介导的炎症反应而对乙醇诱导的大鼠慢性肝损伤具有明显的改善作用,且糖基化修饰有效降低了玉米肽的使用剂量,是一种具有开发潜力的酒精代谢促进剂和肝保护剂。

1.2 抗疲劳活性

昌友权^[28]、郑鸿雁^[29]、李晶^[30]利用小鼠的疲劳模型研究了玉米肽的抗疲劳效果,发现在运动前给予玉米肽时,实验小鼠的力竭游泳时间和转棒时间显著延长,肝糖原和肌糖原的消耗减少,血乳酸和血尿素氮的产生与沉积减少,肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)活力及谷胱甘肽(GSH)含量增加,机体清除自由基的能力增强。说明玉米肽的摄入改善了小鼠的运动耐力,确保小鼠在激烈运动状态下机体仍处于有氧运动模式,降低激烈运动后机体的疲劳程度,具有显著的抗疲劳效果。

玉米肽发挥抗疲劳作用的机理主要包括4个方面:

(1)提高疲劳机体的糖原含量。机体进行长时间、过量的运动时会大量消耗体内糖原物质,使机体产生疲劳感。玉米肽的摄入能够提高疲劳机体的肌糖原含量和肝糖原含量,通过提高机体的运动耐力而延缓机体的疲劳^[31]。

(2)消除疲劳物质的蓄积。玉米肽通过增强机体的有氧代谢能力及糖原含量,抑制运动性疲劳造成的血乳酸、血尿素氮等疲劳物质的堆积,缓解机体疲劳。

(3)清除自由基。氧自由基被认为与机体运动能力降低、肌肉疲劳、肌肉损伤等有密切联系。玉米肽具有很强的抗氧化活性,能够清除氧自由基,消除运动过程中产生的氧化活性物质而消除机体疲劳,提高运动能力^[28-30]。

(4)玉米肽富含可修复骨骼肌损伤的支链氨基酸。体外实验证实,运动后补充支链氨基酸 Leu、Ile、Val 和必需氨基酸 Phe 等可有效地修复骨骼肌的损伤^[32-33],使标志肌肉损伤的血清乳酸脱氢酶活力显著降低,从而缓解运动疲劳。

目前,对玉米肽抗疲劳活性的研究,主要针对小鼠运动性疲劳的缓解及功能性评价方面,未见结合人体实际、量效与构效关系方面的研究,其抗疲劳的分子机理也尚未进行深入的研究。因此,为了促进玉米肽抗疲劳产品的开发,需要对玉米肽的抗疲劳功效进行深入研究。

1.3 促进脂肪代谢活性

当成年女性和男性的脂肪组织比例分别超过30%或25%时就被视为肥胖。研究表明,肥胖与至少20种疾病有关,如心血管疾病、糖尿病、肿瘤、胆囊炎、呼吸功能障碍、肾脏疾病和内分泌失调等。

研究^[34]表明,膳食蛋白质比膳食脂肪和糖更能促进能量代谢。因此,只要能够确保足够的蛋白质摄入量,饮食中的剩余营养成分如糖等就可以减少到最低程度,以达到科学减肥的目的。

玉米肽富含 Glu、Leu、Ala 和 Pro^[35]。Glu 和 Pro 碳骨架的氧化代谢导致 α -酮戊二酸增加;同时,Leu 和 Ala 碳骨架的氧化代谢导致乙酰辅酶 A 增多^[8,36-37]。因此,三羧酸循环增强,线粒体呼吸链反应增强,NADH 从 NAD⁺ 的再生速度加快,通过调节 NADH/NAD⁺ 比值,加快脂肪酸 β 氧化,进而减少脂肪在细胞内的堆积;玉米肽还可以激活交感神经系统和褐色脂肪组织,阻止脂肪吸收,减少皮下脂肪积累。目前,主要采用非酒精性脂肪肝模型和肥胖模型研究玉米肽的促进脂肪代谢活性。魏康^[38]研究了玉米肽对非酒精性脂肪肝大鼠肝的保护作用,结果发现,玉米肽的摄入减少了肝脏切片中脂滴空泡数量与大小,减弱了脂肪变性程度,说明玉米肽能够有效抑制脂质的积累,缓解肝脏脂肪变性。王顺利^[39]采取玉米肽和有氧运动相结合的干预方案研究玉米肽对高脂饮食诱导的肥胖大鼠体脂、瘦体重和骨骼肌蛋白质代谢的影响,结果表明,玉米肽结合有氧运动可以有效减少肥胖大鼠的脂肪量,增加其瘦体重,并有效改善肥胖大鼠的炎症状态。田向

阳等^[40]研究了有氧运动结合玉米肽对超重、肥胖女大学生脂肪代谢的影响,发现4周有氧运动结合玉米肽干预对超重、肥胖女大学生的体质指数与体脂率均有改善作用,这可能与玉米肽提高脂肪酶活性从而改善脂代谢有关。因此,摄入玉米肽是保证了氮平衡的减肥,也说明玉米肽是适合肥胖人群的减肥食品和用于减肥治疗的营养食品补充剂^[41-42]。

1.4 抗氧化活性

近年来的研究^[43]发现,过量的自由基会引发线粒体脂质过氧化损伤反应,引起膜的功能和结构改变,使得膜上的酶功能异常,通透性改变,损伤蛋白质和 DNA,进而加速衰老及引发一系列的慢性疾病。玉米肽因具有抗氧化能力,可用于清除过量的自由基而受到广泛关注^[44]。因此,近年来开展了大量关于玉米抗氧化活性肽方面的研究,主要包括玉米抗氧化活性肽的分离纯化、抗氧化活性(包括体外化学法、细胞模型和动物实验)以及吸收机制的研究。在玉米肽抗氧化活性研究方面,Wang 等^[45-46]利用 H₂O₂ 建立人肝肿瘤细胞 HepG2 的氧化性损伤模型,利用该模型研究了玉米肽在细胞水平上的抗氧化活性,结果表明,在 H₂O₂ 诱导的氧化应激条件下,玉米肽可以通过提高细胞内抗氧化酶 SOD、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽还原酶(GR)的活性以及细胞内总 GSH 含量而对氧化性损伤的 HepG2 细胞产生积极作用。Liu^[1]、Jiang^[47]等分别用 ICR 小鼠模型和 D-半乳糖诱导的大鼠衰老模型研究了玉米肽的体内抗氧化活性,结果发现,玉米肽能够提高 SOD 和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性,降低脂质过氧化的主要产物丙二醛(MDA)浓度,说明玉米肽在动物体内也具有抗氧化活性。Hu 等^[48]用中性蛋白酶水解玉米蛋白制备蛋白质水解产物(CPH-N),评估了 CPH-N 在散装油、猪肉末、宠物食品和猪饲料中的抗氧化活性,结果发现,CPH-N 对玉米油和鱼油中的脂质氧化具有预防作用,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ CPH-N 可以有效防止绞肉脂质氧化,含 2% CPH-N 的猪饲料脂质氧化水平显著降低。说明 CPH-N 可以用作食品、宠物食品和饲料中的天然抗氧化剂。

玉米肽对自由基或活性氧的清除作用主要与3个方面有关:①特殊的氨基酸组成。例如,一些疏水性氨基酸如 Val、Leu、Pro、Ala 等,可以增加玉米肽在脂质或脂溶性体系中的溶解性,从而提高其抗氧化活性^[4,49-51]。②特殊的氨基酸序列或肽构象。例如,C 端含有 Trp 或 Tyr 残基的三肽具有较强的自由基清除活性,玉米肽 CSQAPLA 序列中 APLA 在其

抗氧化活性中起关键作用^[4,50]。③肽的相对分子质量大小。玉米抗氧化活性肽的相对分子质量主要集中在1 000 Da以下,一般不超过3 000 Da^[4,49-51]。

1.5 抑制血管紧张素转换酶活性

从天然食物中分离的一类对血管紧张素转换酶(ACE)有抑制作用的多肽,称为ACE抑制肽(也称抗高血压肽),是最常见的生物活性肽种类之一,具有高效、安全、易吸收、无副作用和分布广泛等优点,已被用作ACE抑制药物的天然且更健康的替代品^[52]。ACE抑制肽对ACE的抑制活性与多肽的氨基酸组成、结构以及相对分子质量密切相关。ACE抑制肽一般由2~12个氨基酸残基组成,当C端氨基酸为芳香族氨基酸和Pro,N端为疏水性氨基酸或碱性氨基酸时对ACE的亲和力较强,抑制活性较高^[53]。另外,通常认为ACE抑制肽的相对分子质量主要集中在1 500 Da以下^[54]。

玉米蛋白含有大量的Leu、Ala、Ile和Pro等疏水性氨基酸,这种独特的氨基酸组成使得玉米蛋白成为开发ACE抑制肽的宝贵资源。研究^[55]表明,从 γ -玉米醇溶蛋白的酶解产物中分离得到氨基酸序列为Leu-Pro-Pro的ACE抑制肽,其抑制ACE活性的IC₅₀值为0.15 μ mol/L,效果与卡托普利相当。Suh等^[56]从玉米蛋白粉中分离出N末端氨基酸序列为Pro-Ser-Gly-Gln-Tyr-Tyr的玉米降

血压肽,该肽抑制ACE活性的IC₅₀值为0.1 mmol/L,在大鼠超重30 mg/kg时,该肽可拮抗大鼠对血管紧张素的加压反应。Yang等^[57]从玉米蛋白粉分离出的二肽Ala-Tyr在口服2 h后可使血压降低1.3 kPa(9.5 mmHg),其降血压效果是玉米寡肽的27倍以上。此外,Huang等^[58]研究发现,相对分子质量小于3 000 Da的玉米肽表现出较好的降血压活性,可以使血压降低4.59 kPa(34.45 mmHg)。王晓杰等^[59]在小试实验基础上,对100 kg玉米蛋白粉酶解制备ACE抑制肽进行了中试生产,发现采用Flavourzyme和Protamex分步水解100 kg玉米蛋白粉时,肽粉得率为27%,ACE抑制率为(56.70 \pm 0.86)% (质量浓度1 mg/mL)。

另外,玉米肽的ACE抑制活性仅对高血压患者发挥降压作用,而不会降低健康人的血压,从而避免了血压过度降低。除了在体外实验中测定的ACE抑制活性外,原发性高血压大鼠实验和人体临床实验也证明了玉米肽的降血压效果^[57-58,60]。因此,玉米肽在预防高血压方面受到越来越多的关注。

2 玉米肽产品的开发现状

2.1 玉米肽醒酒护肝产品

基于动物实验和人体实验的结果,玉米肽具有显著的促进酒精代谢和护肝活性,世界各国开发了许多玉米肽醒酒护肝产品,其中一些已经商品化,如表1所示。

表1 已商品化的玉米肽醒酒护肝产品

公司	产品	产品形式	主要功效
完美(中国)有限公司	语泰片	片剂	护肝,抗酒精
A&Z制药有限公司	UFIT Peptide Liver Support	片剂	护肝,抗酒精
吉林天景食品有限公司	保甘玉米肽花丝饮料	饮料	抗酒精,调节亚健康
齐齐哈尔易翔食品有限公司	解酒乐	片剂	解酒护肝,抗氧化,缓解疲劳
江苏红颜醉酒业有限公司	都市蓝调	饮料	醒酒,轻松入睡
河南佳禾康生物食品科技有限公司	姜葛玉米蛋白肽	冲剂	醒酒
深圳市港彩实业发展有限公司	酣乐玉米肽糖片	片剂	解酒醒酒,护肝养肝
广州苏打生物科技有限公司	酣乐牡蛎多肽饮	饮料	解酒
江苏不倒翁生物科技有限公司	江大不倒翁多肽饮料	饮料	解酒,护肝
广东中食营科生物科技有限公司	颜如玉肝泰	饮料	解酒,护肝
石家庄爱肽生物科技有限公司	邮喜熊猫玉米蛋白肽	固体饮料	醒酒护肝,调节血压,调节免疫力,抗疲劳
湖南炎帝生物工程有限公司	久泰片	片剂	加速酒精代谢,促进肝脏脂肪代谢和抗氧化
德州健之源生物科技有限公司	喝9吧	片剂	醒酒,护肝,解酒
北京恒生药业有限公司	玉米低聚肽葛根压片糖果	压片糖果	醒酒,护肝
时代生物科技(深圳)有限公司	Nanotide玉米肽	饮料	醒酒,护肝,降血压
北京世纪劲得保健品有限公司	唯亿康姜黄玉米肽	压片糖果	解酒,护肝,抗氧化,促进代谢

目前,市场上常见的玉米肽醒酒护肝产品以口服液和片剂等剂型为主。由于玉米肽即使在低pH条件下也具有较好的溶解性,因此玉米肽的护肝产品适合制成酸性饮料。但由于饮酒时饱腹的特殊

性,做成片剂可以节省空间,便于携带,且借助包衣后不宜氧化变质,同样深受消费者的喜爱。由于玉米肽具有吸湿性和黏稠性,在压片过程中需要重点解决高浓度玉米肽的黏冲问题。

另外,肝病患者还可能患有肠道消化方面的疾病,无法吸收膳食中的糖、脂肪、蛋白质和其他大分子营养物质,因此蛋白质摄入过多可能会导致肝病患者的氮平衡失调。玉米肽相对分子质量小,可以被机体快速吸收,并且不会增加胃肠道、肝脏和肾脏的负担。因此,玉米肽既可以改善肝病患者的肝损伤状态,在一定程度上还可以纠正肝病患者的负氮平衡,适合作为肝病患者的蛋白质补充剂。

2.2 玉米肽抗疲劳产品

基于玉米肽的抗疲劳活性,一些以玉米肽为原料生产的抗疲劳产品已经商品化。例如:由于玉米肽中支链氨基酸的含量很高,Gains 果冻形式的耐力补充剂在日本市场很受欢迎;还有玉米肽糙米麦芽片、玉米肽咖啡、人参蛋白肽等产品。

2.3 玉米肽减肥产品

目前,没有含有玉米肽且商品化的减肥食品,但有适用于减肥治疗时的营养补充剂产品,如:益生元玉米低聚肽复合固体饮料,具有促进体内物质代谢、调节肠道菌群的功效;玉米肽糙米麦芽片,每百克含 42.70 g 碳水化合物、46 g 蛋白质,每百克热量为 1 564.67 kJ,是一种高碳水化合物、高蛋白的食品;日本烟草公司利用玉米肽开发低热量早餐饮料等。

2.4 玉米肽抗氧化活性产品

虽然在实验室水平上已经证实玉米肽具有优异的抗氧化活性,是一种潜在的天然抗氧化剂,但目前为止,单独涉及玉米肽抗氧化活性的产品还没有商品化。但部分商品化的醒酒护肝食品以及抗疲劳食品,均利用到玉米肽的抗氧化活性。

2.5 玉米肽抑制血管紧张素转换酶活性产品

目前为止,已经商品化的玉米肽类降血压产品仅有日本昭和产业公司生产的缩氨酸。

3 结束语

玉米肽具有易吸收、食用安全、多重生物学功能等特点,在食品、医药、保健食品等领域显现出良好的应用前景。特别是随着生活水平的提高,人们越来越注重天然制品,玉米肽的市场需求量正在不断扩大。为了规范玉米肽的生产,完善玉米肽生产和使用的法规和标准,2014 年我国工业和信息化部发布了玉米寡肽粉的行业标准(QB/T 4707—2014),这促进了玉米肽产业的发展。但是,在玉米肽产品开发过程中仍有些问题需要进一步解决,如:目前玉米肽产品的开发主要集中在醒酒护肝方面,其他领域相对薄弱;在特殊医学配方产品的研发方面,玉米肽的苦味严重影响了产品的适口性,从而影响了消费者对产品的接受度;在玉米肽制备过程中,主要采

用商用酶制剂作为催化剂,商用酶制剂价格高,酶制剂成本占活性肽原辅料成本的 60% ~ 75%。因此,在今后的研究中,要重点解决玉米肽的适口性及商用酶制剂成本高等问题,并拓宽玉米肽在食品领域的应用范围。

参考文献:

- [1] LIU X L, ZHENG X Q, SONG Z L, et al. Preparation of enzymatic pretreated corn gluten meal hydrolysate and in vivo evaluation of its antioxidant activity [J]. *J Funct Foods*, 2015, 18: 1147 - 1157.
- [2] GIOIA L D, CUQ B, GUILBERT S. Effect of hydrophilic plasticizers on thermomechanical properties of corn gluten meal [J]. *Cereal Chem*, 1998, 75(4): 514 - 519.
- [3] TRAN P H L, DUAN W, LEE B J, et al. The use of zein in the controlled release of poorly water - soluble drugs [J]. *Int J Pharmac*, 2019, 566: 557 - 564.
- [4] WANG X J, ZHENG X Q, KOPPARAPU N K, et al. Purification and evaluation of a novel antioxidant peptide from corn protein hydrolysate [J]. *Process Biochem*, 2014, 49(9): 1562 - 1569.
- [5] LIANG Q, CHALAMAIAH M, REN X, et al. Identification of new anti - inflammatory peptides from zein hydrolysate after simulated gastrointestinal digestion and transport in Caco - 2 cells [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(5): 1114 - 1120.
- [6] LI J T, ZHANG J L, HE H, et al. Apoptosis in human hepatoma HepG2 cells induced by corn peptides and its anti - tumor efficacy in H22 tumor bearing mice [J]. *Food Chem Toxicol*, 2013, 51: 297 - 305.
- [7] SUN S L, ZHANG G W, MU H Y, et al. The mixture of corn and wheat peptide prevent diabetes in NOD mice [J]. *J Funct Foods*, 2019, 56: 163 - 170.
- [8] YAMAGUCHI M, TAKADA M, NOZAKI O, et al. Preparation of corn peptide from corn gluten meal and its administration effect on alcohol metabolism in stroke - prone spontaneously hypertensive rats [J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 1996, 42: 219 - 231.
- [9] WU Y H, PAN X C, ZHANG S X, et al. Protective effect of corn peptides against alcoholic liver injury in men with chronic alcohol consumption: a randomized double - blind placebo - controlled study [J]. *Lipids Health Dis*, 2014, 13(1): 2 - 9.
- [10] 胡宇航, 戴军, 陈尚, 等. 玉米降血糖活性肽制备分离及其氨基酸序列分析 [J]. *食品与机械*, 2017, 33(6): 147 - 152.
- [11] LU C, XU W, ZHANG F, et al. Ligustrazine prevents alcohol - induced liver injury by attenuating hepatic steatosis and oxidative stress [J]. *Int Immunopharmacol*,

- 2015, 29(2): 613–621.
- [12] YAMAGUCHI M, NISHIKIORI F, ITO M, et al. The Effects of corn peptide ingestion on facilitating alcohol metabolism in healthy men [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 1997, 61(9): 1474–1481.
- [13] YAMAGUCHI M, NISHIKIORI F, NOZAKI O, et al. Effect of long-term ‘corn peptide’ ingestion on alcohol metabolism in stroke-prone spontaneously hypertensive rats with alcohol loading [J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 1996, 42(6): 567–580.
- [14] YAMAGUCHI M, NOZAKI O, ITO M, et al. Effect of corn peptide administration on plasma amino acid concentration and alcohol metabolism in stroke-prone spontaneously hypertensive rats[J]. *J Clin Biochem Nutr*, 1997, 22(2): 77–89.
- [15] LI H M, WEN L K, LI S J, et al. In vitro and in vivo effects and safety assessment of corn peptides on alcohol dehydrogenase activities[J]. *Chem Res Chin Univ*, 2011(5): 820–826.
- [16] YU G C, LI J T, HE H, et al. Ultrafiltration preparation of potent bioactive corn peptide as alcohol metabolism stimulator in vivo and study on its mechanism of action [J]. *J Food Biochem*, 2013, 37: 161–167.
- [17] SHE X X, WANG F, MA J, et al. In vitro antioxidant and protective effects of corn peptides on ethanol-induced damage in HepG2 cells [J]. *Food Agric Immunol*, 2016, 27(1): 99–110.
- [18] 于亚莉, 宋雪梅, 关玉, 等. 玉米肽 Tyr-Phe-Cys-Leu-Thr 对酒精性 HepG2 细胞的保护作用[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(5): 43–52.
- [19] ZHANG F, ZHANG J L, LI Y. Corn oligopeptides protect against early alcoholic liver injury in rats[J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(6): 2149–2154.
- [20] 隋玉杰. 玉米肽的制备条件及其醒酒护肝机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [21] GUO H, SUN J, HE H, et al. Antihepatotoxic effect of corn peptides against bacillus Calmette-Guerin/lipopolysaccharide-induced liver injury in mice [J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47(10): 2431–2435.
- [22] YU G C, LÜ J, HE H, et al. Hepatoprotective effects of corn peptides against carbon tetrachloride-induced liver injury in mice[J]. *J Food Biochem*, 2012, 36: 458–464.
- [23] LÜ J, NIE Z K, ZHANG J L, et al. Corn peptides protect against thioacetamide-induced hepatic fibrosis in rats [J]. *J Med Food*, 2013, 16: 912–919.
- [24] MA Z L, ZHANG W J, YU G C, et al. The primary structure identification of a corn peptide facilitating alcohol metabolism by HPLC-MS/MS[J]. *Peptides*, 2012, 37(1): 138–143.
- [25] MA Z L, HOU T, SHI W, et al. Inhibition of hepatocyte apoptosis: an important mechanism of corn peptides attenuating liver injury induced by ethanol[J]. *Int J Mol Sci*, 2015, 16(9): 22062–22080.
- [26] GUO D J, ZHANG Y, ZHAO J J, et al. Selenium-biofortified corn peptides: attenuating concanavalin A-induced liver injury and structure characterization[J]. *J Trace Elem Med Biol*, 2019, 51: 57–64.
- [27] WANG X J, LIU X L, ZHENG X Q, et al. Preparation of corn glycopeptides and evaluation of their antagonistic effects on alcohol-induced liver injury in rats[J/OL]. *J Funct Foods*, 2020, 66: 103776 [2020-07-02]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103776>.
- [28] 昌友权. 玉米肽抗疲劳作用的实验研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(9): 173–178.
- [29] 郑鸿雁. 玉米肽抗疲劳作用的实验研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(1): 33–36.
- [30] 李晶. 玉米肽抗疲劳作用的实验研究[J]. *食品与机械*, 2004(1): 11–12, 27.
- [31] 王培鑫, 陈悦宇, 王睿, 等. 抗疲劳肽的研究进展[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2019, 48(3): 273–284.
- [32] MATSUMOTO K, MIZUNO M, MIZUNO T, et al. Branched-chain amino acids and arginine supplementation attenuates skeletal muscle proteolysis induced by moderate exercise in young individuals [J]. *Int J Sports Med*, 2007, 28(6): 531–538.
- [33] ETHERIDGE T, PHILP A, WATT P W. A single protein meal increases recovery of muscle function following an acute eccentric exercise bout [J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2008, 33(3): 483–488.
- [34] LI G M, LIU W Y, WANG Y Q, et al. Functions and applications of bioactive peptides from corn gluten meal [J]. *Adv Food Nutr Res*, 2019, 87: 1–41.
- [35] POMES A F. *Zein* [M]. New York: John Wiley and Sons, 1971.
- [36] THIEDEN H I D, GRUNNET N, DAMGAARD S E, et al. Effect of fructose and glyceraldehyde on ethanol metabolism in human liver and in rat liver [J]. *Eur J Biochem*, 1972, 30: 250–261.
- [37] ZHAO R J, HUO C Y, QIAN Y, et al. Ultra-high-pressure processing improves proteolysis and release of bioactive peptides with activation activities on alcohol metabolic enzymes in vitro from mushroom foot protein [J]. *Food Chem*, 2017, 231: 25–32.
- [38] 魏康. 玉米肽对非酒精性脂肪肝损伤保护作用的研究[D]. 江苏镇江: 江苏大学, 2019.
- [39] 王顺利. 玉米肽结合有氧运动对肥胖大鼠骨骼肌蛋白质代谢的影响及可能机制[D]. 上海: 上海体育学

- 院, 2014.
- [40] 田向阳, 潘天帅, 史仍飞. 有氧运动结合玉米肽对超重、肥胖女大学生脂肪代谢的影响[J]. 贵阳医学院学报, 2015, 40(9): 975–977.
- [41] LU L, LIU G, WANG X H, et al. Effects of supplement of corn peptides combined with aerobic exercise on lipolysis key enzymes: adipose triglyceride lipase and lipoprotein lipase of obese rats[J]. Chin J Appl Physiol, 2016, 32: 326–331.
- [42] SUN P, TIAN X Y, SHI R F. Effects of dietary corn peptide and exercise on hepatic ATGL and TNF- α in obese rats[J]. Chin J Physiol, 2017, 33: 117–120.
- [43] MOSKOVITZ J, YIM K A, CHOKE P B. Free radicals and disease[J]. Arch Biochem Biophys, 2002, 397: 354–359.
- [44] ZHENG X Q, LI L T, LIU X L, et al. Production of hydrolysate with antioxidative activity by enzymatic hydrolysis of extruded corn gluten[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2006, 73: 763–770.
- [45] WANG L Y, DING L, YU Z P, et al. Intracellular ROS scavenging and antioxidant enzyme regulating capacities of corn gluten meal-derived antioxidant peptides in HepG2 cells[J]. Food Res Int, 2016, 90: 33–41.
- [46] WANG L Y, DING L, XUE C M, et al. Corn gluten hydrolysate regulates the expressions of antioxidant defense and ROS metabolism relevant genes in H₂O₂-induced HepG2 cells[J]. J Funct Foods, 2018, 42: 362–370.
- [47] JIANG X, CUI Z Q, WANG L H, et al. Production of bioactive peptides from corn gluten meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis* MTCC5480 and evaluation of its antioxidant capacity in vivo [J/OL]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 131: 109767 [2020-07-02]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109767>.
- [48] HU R J, DUNMIRE K M, TRUELOCK C N, et al. Antioxidant performances of corn gluten meal and DDGS protein hydrolysates in food, pet food, and feed systems [J/OL]. J Agric Food Res, 2020, 2: 100030 [2020-07-02]. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100030>.
- [49] JIN D X, LIU X L, ZHENG X Q, et al. Preparation of antioxidative corn protein hydrolysates, purification and evaluation of three novel corn antioxidant peptides [J]. Food Chem, 2016, 204: 427–436.
- [50] ZHUANG H, TANG N, YUAN Y. Purification and identification of antioxidant peptides from corn gluten meal [J]. J Funct Foods, 2013, 5(4): 1810–1820.
- [51] JIANG Y, ZHANG M D, LIN S Y, et al. Contribution of specific amino acid and secondary structure to the antioxidant property of corn gluten proteins[J]. Food Res Int, 2018, 105: 836–844.
- [52] LIU C, FANG L, MIN W, et al. Exploration of the molecular interactions between angiotensin-I-converting enzyme (ACE) and the inhibitory peptides derived from hazelnut (*Corylus heterophylla* Fisch.) [J]. Food Chem, 2018, 245: 471–480.
- [53] CUSHMAN D W, CHENG H S. Spectrophotometric assay and properties of the angiotensin-converting enzyme of rabbit lung [J]. Biochem Pharmacol, 1971, 20(7): 1637–1648.
- [54] 张丰香. 酶法制备草鱼鱼鳞明胶及ACE抑制肽的研究[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2009.
- [55] 赵金兰. 用玉米渣生产降血压活性肽[J]. 食品与机械, 1998(5): 7–8.
- [56] SUH H J, WHANG J H, LEE H. A peptide from corn gluten hydrolysate that is inhibitory toward angiotensin I converting enzyme[J]. Biotechnol Lett, 1999, 21: 1055–1058.
- [57] YANG Y, TAO G, LIU P, et al. Peptide with angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity from hydrolyzed corn gluten meal [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55: 7891–7895.
- [58] HUANG W, SUN J, HE H, et al. Antihypertensive effect of corn peptides, produced by a continuous production in enzymatic membrane reactor, in spontaneously hypertensive rats[J]. Food Chem, 2011, 128: 968–973.
- [59] 王晓杰, 丛万锁, 刘晓兰, 等. 玉米ACE抑制肽的制备工艺及中试生产[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(7): 158–164.
- [60] KIM J M, WHANG J H, SUH H J. Enhancement of angiotensin I converting enzyme inhibitory activity and improvement of the emulsifying and foaming properties of corn gluten hydrolysate using ultrafiltration membranes [J]. Eur Food Res Technol, 2004, 218: 133–138.