

壳寡糖糖基化修饰玉米肽的抗疲劳效应

王晓杰,姜宇航,曲悦,刘晓兰

(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:通过负重游泳实验及与疲劳相关生化指标的检测,研究壳寡糖糖基化修饰玉米肽(玉米糖肽)的抗疲劳效应。结果表明:与500 mg/kg玉米肽组相比,玉米糖肽具有更显著的延缓疲劳的效果;与模型组相比,500 mg/kg玉米糖肽剂量组小鼠的负重游泳时间延长92.59%,血清乳酸、血清尿素氮、肝丙二醛含量以及血清乳酸脱氢酶活力分别降低15.67%、13.27%、41.99%和25.53%,肌糖原、肝糖原、谷胱甘肽含量和超氧化物歧化酶活力分别增加54.41%、398.90%、182.76%和94.39%。玉米糖肽可作为天然的抗疲劳功能性食品,市场潜力巨大。

关键词:玉米肽;壳寡糖;玉米糖肽;抗疲劳;血尿素氮;负重游泳时间

中图分类号:TS201.4;TS201.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2021)08-0039-06

Anti-fatigue effect of corn peptide glycosylated by chitosan

WANG Xiaojie, JIANG Yuhang, QU Yue, LIU Xiaolan

(Heilongjiang Key Laboratory of Corn Deep Processing Theory and Technology, College of Food and Biological Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China)

Abstract: The anti-fatigue effects of corn peptide glycosylated by chitosan (corn glycopeptide) were evaluated through the weight-loaded swimming test and the detection of biochemical indexes related to fatigue. The results showed that compared with the 500 mg/kg corn peptide group, the corn glycopeptide had more significant effect of delaying fatigue. Compared with the model group, the corn glycopeptide group at 500 mg/kg dose increased the weight loading swimming time by 92.59%, the contents of blood serum lactate, blood serum urea nitrogen, and liver malondialdehyde were reduced by 15.67%, 13.27%, 41.99% and 25.53%, respectively, and the contents of muscle glycogen, liver glycogen and glutathione and activity of superoxide dismutase increased by 54.41%, 398.90%, 182.76% and 94.39%, respectively. Corn glycopeptide has great market potential as a natural anti-fatigue food.

Key words: corn peptide; chitosan; corn glycopeptide; anti-fatigue; blood urea nitrogen; weight-loaded swimming time

运动性疲劳是指生理过程不能持续其功能在特定水平和(或)不能维持预定的运动强度,是一种普遍存在的生理现象^[1]。适度的运动性疲劳对于增

强体质、获得训练效果以及提高运动成绩具有促进作用。但是,过度的运动性疲劳会引起机体的骨骼肌损伤,甚至会诱发内分泌失调、免疫力下降等疾病^[2]。因此,随着全民健身热潮的来袭,开发天然且具有抗疲劳效应的食品具有重要意义^[3]。

玉米肽是以玉米蛋白为底物,经蛋白酶水解或微生物发酵后得到的一类小分子多肽产物。玉米肽不仅具有溶解性好、容易吸收和食用安全等特点,而且玉米蛋白富含疏水性氨基酸的特点还赋予玉米肽多重健康功能,如抑制血管紧张素转换酶活性^[4]、抗氧化^[5]、护肝^[6]、降血糖^[7]、抗疲劳^[8]等,使其在食品、医药、保健食品等领域显现出良好的应用前

收稿日期:2020-09-02;修回日期:2021-04-27

基金项目:“十三五”国家重点研发计划重点专项子课题(2017YFD0400200);黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2020C111);黑龙江省省属高等学校基本科研业务费青年创新人才科研项目(135309345);大学生创新创业训练计划项目(202010232274)

作者简介:王晓杰(1980),女,教授,硕士,研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程(E-mail) wangxiaojie80@163.com。

景。玉米肽可以通过提高疲劳机体的糖原含量、消除疲劳物质的蓄积以及运动过程中产生的氧化活性物质而消除机体疲劳,进而提高运动耐力^[9-11]。目前,国内外市场上已经有商品化的玉米肽抗疲劳产品,如:Gains 果冻形式的耐力补充剂在日本市场很受欢迎^[12];完美(中国)公司开发的“语泰片”,由玉米肽、糙米和麦芽组成,适用于易疲劳者,可以缓解体力疲劳。

玉米糖肽是在转谷氨酰胺酶催化下,氨基糖与玉米肽共价结合的产物。由于氨基糖的共价结合使玉米肽的功能性质得到显著提高,如抗氧化活性等^[13]。因此,推测玉米糖肽也具有较强的抗疲劳活性。但是,目前鲜有研究关注玉米糖肽的抗疲劳活性。

本实验以转谷氨酰胺酶为催化剂,壳寡糖为酰基受体,通过酶法糖基化反应修饰玉米肽制备玉米糖肽。以玉米肽为阳性对照,通过负重游泳实验及与疲劳相关生化指标的检测,研究玉米糖肽的抗疲劳效应,为玉米糖肽抗疲劳食品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

壳寡糖(脱乙酰度 90%,平均相对分子质量 1 500 Da),山东博智汇力生物科技有限公司;转谷氨酰胺酶(酶活力 1 000 U/g),泰兴市一鸣生物制品有限公司;玉米醇溶蛋白, Sigma 公司;碱性蛋白酶 Alcalase(酶活力 6.28×10^5 U/mL),丹麦诺维信公司;乳酸脱氢酶试剂盒、乳酸试剂盒、肝/肌糖原试剂盒、尿素氮试剂盒、总超氧化物歧化酶试剂盒、还原型谷胱甘肽试剂盒、丙二醛试剂盒,南京建成生物工程研究所;其他试剂均为分析纯。

ICR 小鼠、标准颗粒鼠粮,长春市亿斯实验动物技术有限责任公司。

1.1.2 仪器与设备

DF-I 集热式磁力加热搅拌器;TU1901 紫外可见分光光度计;IKA T25 高剪切分散乳化机,德国 IKA 集团;pB-10 pH 计;TSE991 超低温冰箱,美国 Thermo 公司;TDL-5-A 离心机。

1.2 实验方法

1.2.1 玉米肽的制备

称取 40 g 玉米醇溶蛋白用蒸馏水配成底物质量分数 5% 的悬浮液,加入转子后将烧杯放入 60 °C 水浴磁力搅拌器中央,调 pH 至 8.5,然后加入 1.2 g 碱性蛋白酶 Alcalase,开始酶解反应,酶解过程中通

过不断滴加 1 mol/L NaOH 使 pH 维持在 8.5,酶解 2.5 h 后取出立即放入沸水浴中灭酶 10 min,获得玉米肽溶液。

1.2.2 玉米糖肽的制备

参照文献[14]制备玉米糖肽。向 1.2.1 中制备的玉米肽溶液中添加 4.026 g 壳寡糖,保证反应体系中蛋白质酰基供体与壳寡糖酰基受体的摩尔比为 1:3。搅拌使壳寡糖溶解,用 2 mol/L NaOH 调溶液 pH 至 7.7,再加入 2.4 g 转谷氨酰胺酶,封膜放入 37 °C 恒温水浴振荡器中,开始糖基化反应。反应 8 h 后,于 85 °C 水浴中灭酶 5 min。冷却至室温后,于 4 000 r/min 离心 15 min,取上清液放入超低温冰箱中,冷冻干燥 48 h,获得玉米糖肽。

1.2.3 动物分组与灌胃剂量

选择 6~8 周龄、18~22 g 的雌性昆明小鼠 80 只,饲养于阴凉通风、相对湿度 50%~60%、室温(25±2)°C 的实验动物清洁室内,饲养期间小鼠自由进食和饮水。适应性喂养 7 d 后,进行游泳筛选实验,将不会游泳或游泳姿势不协调的小鼠剔除。将符合条件的小鼠随机分为两组:第一组为负重游泳组,组内分为模型组,玉米糖肽低剂量(125 mg/kg,简称糖肽-125)组、中剂量(250 mg/kg,简称糖肽-250)组、高剂量(500 mg/kg,简称糖肽-500)组和阳性对照组(500 mg/kg 玉米肽),每组 6 只小鼠;第二组为疲劳相关生化指标检测组,组内分为正常组、模型组、糖肽-125 组、糖肽-250 组、糖肽-500 组和阳性对照组(500 mg/kg 玉米肽),每组 6 只小鼠。对照组和玉米糖肽组每天灌胃相应剂量的玉米肽和玉米糖肽,正常组和模型组给予生理盐水,实验周期为 28 d,每天对各组小鼠进行称重。

1.2.4 负重游泳实验

末次灌胃玉米糖肽和玉米肽 30 min 后,给小鼠负体重 10% 的铅块,将小鼠放于水深 40 cm、水温 25 °C 的游泳箱中,记录自游泳开始至头部全部沉入水中 8 s 不能浮出水面的时间,作为小鼠负重游泳时间。

1.2.5 疲劳相关生化指标的测定

末次灌胃玉米糖肽和玉米肽 30 min 后,将除正常组外的小鼠放于水深 40 cm、水温 25 °C 的游泳箱中游泳 30 min,休息 60 min 后取血和肝脏。从血液中分离出血清,肝脏用冰预冷的生理盐水制成 10% 的肝匀浆液,用于血清乳酸、血清尿素氮、肝糖原、肌糖原、肝丙二醛、肝谷胱甘肽含量以及血清乳酸脱氢酶活性和肝超氧化物歧化酶活性的测定,测定方法参照试剂盒说明书。

1.2.6 数据分析

应用 SPSS 19.0 统计软件进行数据处理,所有数据均以“平均值 ± 标准差”表示,多样本均数间比较采用 One-way ANOVA 检验,各组间多重比较采用 LSD 法, $P < 0.05$ 认为具有显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 玉米糖肽对小鼠体重的影响

实验周期 28 d,每天称量各组小鼠的体重,结果如图 1 所示。

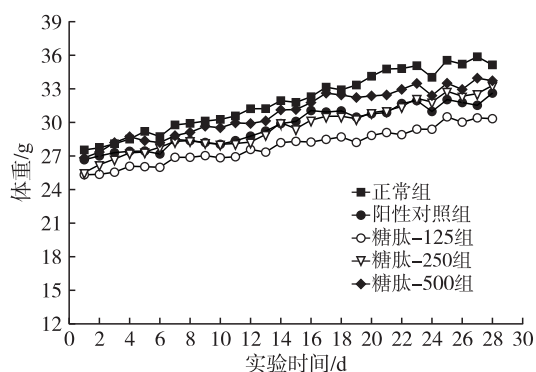


图 1 玉米糖肽对小鼠体重的影响

由图 1 可以看出,在实验 28 d 内,正常组和 4 个实验组的小鼠均稳定生长,阳性对照组、糖肽 - 125 组、糖肽 - 250 组和糖肽 - 500 组的体重增加量分别为 (5.96 ± 1.94) g、 (6.17 ± 0.74) g、 (7.78 ± 1.49) g 和 (6.89 ± 1.74) g,与正常组 ((7.59 ± 0.93) g) 相比差异不显著 ($P > 0.05$)。由于体重被认为是健康的指标^[15],实验组和正常组的体重增长趋势相似,表明在实验剂量下,玉米肽和玉米糖肽安全无毒,对小鼠的健康没有产生不利影响。

2.2 玉米糖肽对小鼠负重游泳时间的影响

运动耐力的下降是疲劳最直接的表现,负重游泳时间是反映运动耐力的重要指标^[16],因此可以通过负重游泳时间反映玉米糖肽的抗疲劳效果。玉米糖肽对小鼠负重游泳时间的影响如表 1 所示。

表 1 玉米糖肽对小鼠负重游泳时间的影响 ($n = 6$)

组别	负重游泳时间/s
模型组	43.20 ± 19.02
阳性对照组	47.00 ± 14.10
糖肽 - 125 组	70.60 ± 20.31
糖肽 - 250 组	$77.60 \pm 33.11^*$
糖肽 - 500 组	$83.20 \pm 13.61^{**}$

注: * 表示与模型组相比差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示与模型组相比差异极显著 ($P < 0.01$)。

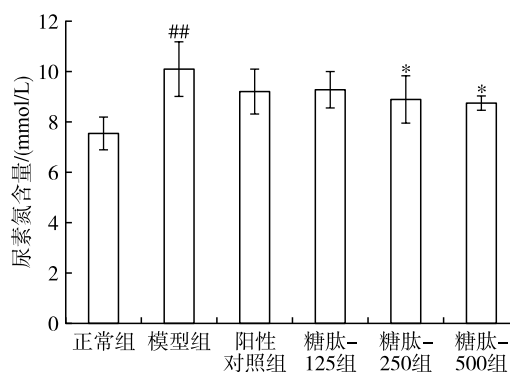
由表 1 可以看出,与模型组相比,玉米糖肽低、中、高剂量组小鼠的负重游泳时间均延长,尤其是玉米糖肽中、高剂量组,小鼠的负重游泳时间显著延

长,分别是模型组的 1.80 倍和 1.93 倍。阳性对照组小鼠的负重游泳时间与模型组相比差异不显著,说明在运动前摄入玉米糖肽能增强小鼠的运动耐力,且效果强于玉米肽,可能是玉米糖肽分子中的氨基酸残基和壳寡糖均能够参与糖代谢的调节,提高了小鼠的运动耐力。

2.3 玉米糖肽对疲劳相关生化指标的影响

2.3.1 玉米糖肽对小鼠血清尿素氮含量的影响

血清尿素氮含量可以反映机体内肌肉蛋白质的分解代谢状况以及肌肉细胞大强度训练后的损伤状况^[17]。玉米糖肽对小鼠血清尿素氮含量的影响如图 2 所示。



注:##代表与正常组相比差异极显著 ($P < 0.01$); * 代表与模型组相比差异显著 ($P < 0.05$); ** 代表与模型组相比差异极显著 ($P < 0.01$); ^ 代表与正常组相比差异不显著 ($P > 0.05$)。下同

图 2 玉米糖肽对小鼠血清尿素氮含量的影响

由图 2 可以看出,与正常组相比,模型组小鼠的血清尿素氮含量极显著增加,增加了 33.77%,说明在持续游泳 30 min 后,小鼠体内糖与脂肪供能不足,蛋白质参与提供能量,小鼠出现运动性疲劳。与模型组相比,阳性对照组和糖肽 - 125 组小鼠的血清尿素氮含量均降低,但差异不显著 ($P > 0.05$),而糖肽 - 250 组和糖肽 - 500 组小鼠的血清尿素氮含量显著降低 ($P < 0.05$),分别降低 11.88% 和 13.27%,说明在长时间剧烈运动前,摄入玉米糖肽 (250、500 mg/kg) 可以显著降低小鼠肌肉蛋白质的分解代谢状况,且效果优于玉米肽。分析可能的原因是玉米糖肽中含有大量的功能性短肽的同时还含有壳寡糖,肽和壳寡糖可以参与糖代谢的调节,减少肌肉蛋白质的消耗,从而减少尿素的产生,达到抗疲劳的效果。

2.3.2 玉米糖肽对小鼠血清乳酸含量的影响

剧烈运动后,血清乳酸含量是反映机体疲劳程度的一个敏感指标^[18]。玉米糖肽对小鼠血清乳酸

含量的影响如图3所示。

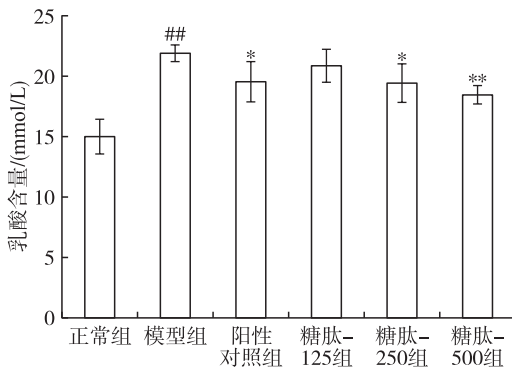


图3 玉米糖肽对小鼠血清乳酸含量的影响

由图3可以看出,与正常组相比,模型组小鼠的血清乳酸含量极显著增加,增加了45.64%,说明剧烈运动导致大量的乳酸堆积,小鼠的运动状态受到影响,出现疲劳状态。与模型组相比,阳性对照组小鼠的血清乳酸含量降低10.78%,糖肽-125组、糖肽-250组和糖肽-500组小鼠的血清乳酸含量分别降低4.75%、11.28%和15.67%,说明玉米糖肽对缓解运动性疲劳有一定的作用。原因是玉米糖肽的摄入提高了小鼠糖原的储备,小鼠体内的有氧代谢能力增强,从而减少乳酸的形成,增加了机体运动负荷的适应能力,达到有效缓解疲劳的目的。

2.3.3 玉米糖肽对小鼠血清乳酸脱氢酶活力的影响

乳酸脱氢酶活力被称为肌肉活动的准确指标,血清中其水平升高表明已经发生肌肉损伤^[19]。玉米糖肽对小鼠血清乳酸脱氢酶活力的影响如图4所示。

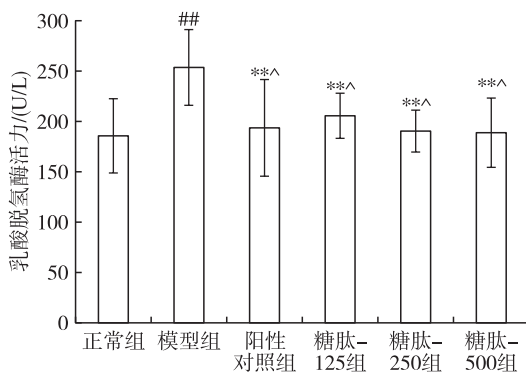


图4 玉米糖肽对小鼠血清乳酸脱氢酶活力的影响

由图4可以看出,与正常组相比,模型组小鼠的血清乳酸脱氢酶活力极显著升高,说明剧烈运动使小鼠肌细胞膜的通透性增加,肌肉酶逸出,导致乳酸脱氢酶在血清中的浓度升高。与模型组相比,4个实验组均能使小鼠的血清乳酸脱氢酶活力极显著降低,并恢复至正常水平,可能与玉米肽和

玉米糖肽富含支链氨基酸的特点有关。人体体外实验已经证实,运动后补充支链氨基酸(包括亮氨酸,异亮氨酸和缬氨酸)和苯丙氨酸等必需氨基酸可以缓解运动导致的骨骼肌蛋白质水解,促进肌肉蛋白质的合成代谢,进而积极有效地修复骨骼肌的损伤^[15-16]。玉米糖肽和玉米肽的氨基酸组成相似,均含有较多的支链氨基酸和苯丙氨酸^[8],因此玉米肽和玉米糖肽的摄入一方面可以补充运动过程导致缺乏的某些氨基酸,另一方面通过补充支链氨基酸促进骨骼肌蛋白质的合成,修复骨骼肌的损伤,延缓疲劳的发生。

2.3.4 玉米糖肽对小鼠肌糖原和肝糖原含量的影响

运动耐力取决于能量的存储,肝糖原和肌糖原为机体内糖原储备的2种形式,是糖代谢的重要能源物质,也是评价运动性疲劳恢复的一个参数。玉米糖肽对小鼠肌糖原含量及肝糖原含量的影响如图5所示。

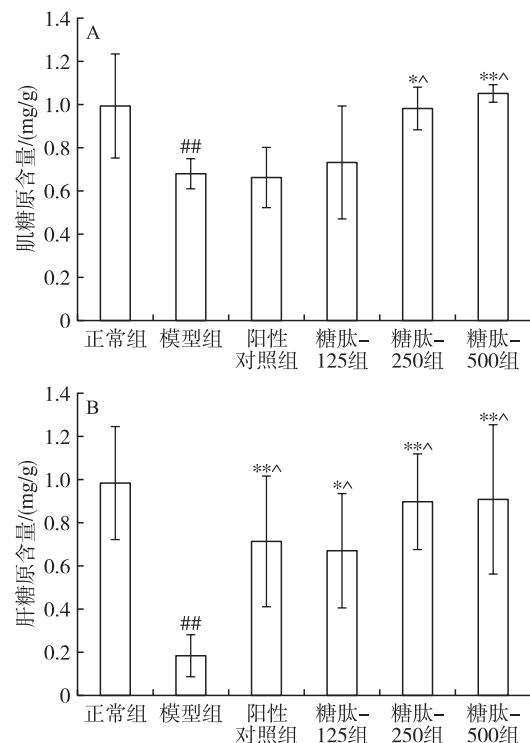


图5 玉米糖肽对小鼠肌糖原含量和肝糖原含量的影响

从图5A可以看出,与正常组相比,模型组小鼠的肌糖原含量极显著降低,降低了31.31%,说明剧烈运动导致肌糖原被分解供能。与模型组相比,阳性对照组不能促进肌糖原的恢复,而随着玉米糖肽剂量的增加,肌糖原含量也逐渐增加,糖肽-250组、糖肽-500组小鼠的肌糖原含量分别增加44.12%和54.41%,说明玉米糖肽能促进运动后肌糖原的恢复,且效果优于玉米肽。

从图5B可以看出,与正常组相比,模型组小鼠的肝糖原含量极显著降低,降低了81.56%,说明剧烈运动中肌糖原消耗的同时肝糖原也会被分解为葡萄糖来维持机体血糖水平,以满足运动需求。与模型组相比,4个实验组小鼠的肝糖原含量均恢复到正常水平,其中阳性对照组的肝糖原含量是模型组的3.91倍,而玉米糖肽低、中、高剂量组的肝糖原含量分别是模型组的3.67、4.92、4.99倍。

糖原是机体运动的主要贮能物质,糖原的过量消耗是机体运动能力减弱的主要原因,摄入玉米糖肽后肌/肝糖原含量显著增加,可能是玉米糖肽参与了糖代谢的调节,尤其是与玉米糖肽共价结合的壳寡糖,其分解代谢能够直接补充血糖含量,从而减少糖原的消耗或者促进糖原的恢复,提高小鼠的运动耐力。

2.3.5 玉米糖肽对小鼠肝超氧化物歧化酶活力的影响(见图6)

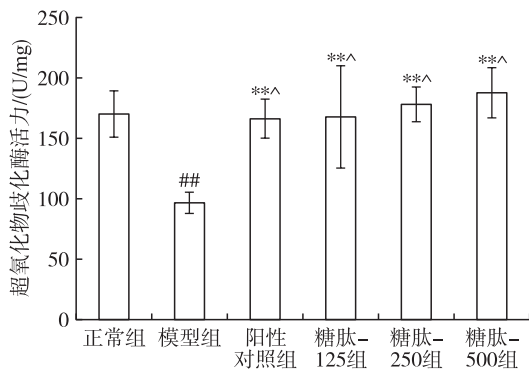


图6 玉米糖肽对小鼠肝超氧化物歧化酶活力的影响

从图6可知,与正常组相比,模型组小鼠的肝超氧化物歧化酶活力极显著降低,降低了43.22%,说明经过剧烈运动后小鼠的抗氧化能力降低,氧化反应增强,超氧自由基对机体产生损害的同时机体的运动能力受到影响,这与钱平等^[20]报道一致。

与模型组相比,阳性对照组和玉米糖肽组小鼠的肝超氧化物歧化酶活力均极显著增加至正常水平,其中糖肽-125组、糖肽-250组、糖肽-500组小鼠的肝超氧化物歧化酶活力分别增加74.04%、84.13%、94.39%,并且糖肽-500组小鼠的酶活力相对于阳性对照组高22.38%。玉米糖肽比玉米肽更能缓解运动疲劳给机体带来的氧化性损伤,可能是因为糖基化修饰使玉米肽具有更强的抗氧化能力^[13],加速体内超氧自由基的清除,拮抗了骨骼肌在强烈收缩过程中不断生成的活性氧簇对超氧化物歧化酶的损耗,提升了小鼠的运动表现。

2.3.6 玉米糖肽对小鼠肝谷胱甘肽含量的影响(见图7)

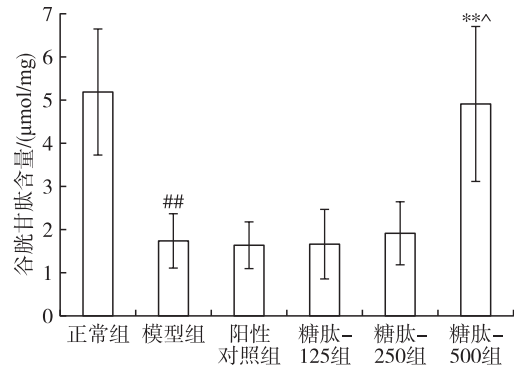


图7 玉米糖肽对小鼠肝谷胱甘肽含量的影响

从图7可知,与正常组相比,模型组小鼠的谷胱甘肽含量降低了65.3%,说明小鼠剧烈运动后产生了大量的氧自由基,导致机体产生过氧化反应。与模型组相比,随着玉米糖肽浓度的增加,谷胱甘肽含量逐渐增加,尤其是糖肽-500组,谷胱甘肽含量恢复到正常水平。说明摄入高剂量玉米糖肽具有显著的抗氧化效果,可能的原因是玉米糖肽通过提高谷胱甘肽与氧化型谷胱甘肽之间转化的能力,进而增加了谷胱甘肽的含量。Wang等^[13]在研究玉米糖肽拮抗酒精性氧化应激时得出相同的结论。

2.3.7 玉米糖肽对小鼠肝丙二醛含量的影响

大量的人体和动物实验证明:力竭性运动可使机体内产生大量自由基,脂质过氧化程度增强,导致运动性疲劳的产生甚至诱发疾病。丙二醛是脂质过氧化的代谢产物,其含量可反映脂质过氧化的程度^[21]。玉米糖肽对小鼠肝丙二醛含量的影响如图8所示。

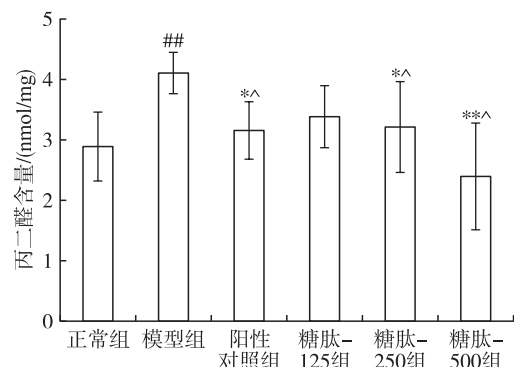


图8 玉米糖肽对小鼠肝丙二醛含量的影响

由图8可知,与正常组相比,模型组小鼠的肝丙二醛含量增加了42.56%,说明小鼠剧烈运动后产生了大量的自由基,导致脂质过氧化作用增强,生物膜的正常结构与机能遭到破坏,释放出肝丙二醛。与模型组相比,阳性对照组小鼠小鼠的肝丙二醛含

量降低了 23.54%，而糖肽 - 125 组、糖肽 - 250 组和糖肽 - 500 组小鼠的肝丙二醛含量分别减少 17.72%、21.84% 和 41.99%。说明玉米肽和玉米糖肽均能够对抗运动所致的自由基损伤，减少丙二醛的产生，从而具有抗疲劳的作用。

3 结论

本文研究了壳寡糖酶法糖基化修饰玉米肽的抗疲劳效应，发现剂量为 250 mg/kg 的玉米糖肽就能够显著延长实验小鼠的力竭游泳时间，减少实验小鼠剧烈运动时肝糖原和肌糖原的消耗以及乳酸的产生与沉积，改善实验小鼠体内蛋白质的分解代谢及有效清除血清尿素氮，提高实验小鼠肝脏中超氧化物歧化酶活力，增强机体清除自由基的能力，改善小鼠的运动耐力，确保小鼠在剧烈运动状态下机体处于有氧运动模式，从而降低剧烈运动后机体的疲劳程度，具有显著的抗疲劳效果。目前，在国内外的市场上鲜有关于玉米糖肽的研究与开发利用，因此玉米糖肽作为一种天然的抗疲劳功能性食品，市场潜力巨大。

参考文献:

- [1] 陈慧, 马璇, 曹丽行, 等. 运动疲劳机制及食源性抗疲劳活性成分研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 247 - 258.
- [2] 吴良文, 陈宁. 运动性疲劳的机制与大豆多肽对其调控的研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 302 - 308.
- [3] CHI A P, LI H, KANG C Z, et al. Anti - fatigue activity of a novel polysaccharide conjugates from Ziyang green tea [J]. Int J Biol Macromol, 2015, 80: 566 - 572.
- [4] GUO Y T, WANG K, WU B G, et al. Production of ACE inhibitory peptides from corn germ meal by an enzymatic membrane reactor with a novel gradient diafiltration feeding working - mode and in vivo evaluation of antihypertensive effect[J/OL]. J Funct Foods, 2020, 64:103584[2020 - 09 - 02]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103584>.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [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] MUN J M, OK H M, KWON O. Corn gluten hydrolysate and capsaicin have complimentary actions on body weight reduction and lipid - related genes in diet - induced obese rats[J]. Nutr Res, 2014, 34(5): 458 - 465.
- [9] 昌友权. 玉米肽抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品科学, 2004(9): 173 - 178.
- [10] 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.
- [11] 李晶. 玉米肽抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品机械, 2004, 20(1): 11 - 13.
- [12] LI G M, LIU W Y, WANG Y Q, et al. Chapter one: functions and applications of bioactive peptides from corn gluten meal[J/OL]. Adv Food Nutr Res, 2019, 87:1 - 41 [2020 - 09 - 02]. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.07.001>.
- [13] 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 - 09 - 02]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.10776>.
- [14] 王晓杰, 刘晓兰, 丛万锁, 等. 壳寡糖酶法糖基化修饰对玉米醇溶蛋白功能性质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 13 - 20.
- [15] SARAVANAN R, VISWANATHAN P, PUGALENDI K V. Protective effect of ursolic acid on ethanol - mediated experimental liver damage in rats [J]. Life Sci, 2006, 78: 713 - 718.
- [16] HUANG W C, CHIU W C, CHUANG H L, et al. Effect of curcumin supplementation on physiological fatigue and physical performance in mice [J]. Nutrients, 2015, 7(2): 905 - 921.
- [17] WANG J, SUN C, ZHENG Y, et al. The effective mechanism of the polysaccharides from *Panax ginseng* on chronic fatigue syndrome[J]. Arch Pharm Res, 2014, 37(4): 530 - 538.
- [18] DING J F, LI Y Y, XU J J, et al. Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti - fatigue and antioxidation[J]. Food Hydrocolloid, 2011, 25: 1350 - 1353.
- [19] ZHANG X Y, JING S, LIN H J, et al. Anti - fatigue effect of anwulignan via the NRF2 and PGC - 1 α signaling pathway in mice [J]. Food Funct, 2019, 10(12): 7755 - 7766.
- [20] 钱平, 邵剑钢, 刘晋, 等. 小麦低聚肽抗疲劳活性研究[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(12): 64 - 68.
- [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: 2431 - 2435.