



食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS

《食品工业科技》网络首发论文

题目：玉米肽对慢性酒精中毒小鼠免疫功能的影响
作者：林巍，高健，王晓杰，刘晓兰，任健
网络首发日期：2019-08-08
引用格式：林巍，高健，王晓杰，刘晓兰，任健. 玉米肽对慢性酒精中毒小鼠免疫功能的影响. 食品工业科技.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.ts.20190807.1429.020.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

玉米肽对慢性酒精中毒小鼠免疫功能的影响

林巍，高健，王晓杰，刘晓兰，任健

(齐齐哈尔大学食品与生物工程学院，黑龙江齐齐哈尔 161006)

摘要：为研究玉米肽对慢性酒精中毒小鼠免疫功能的影响，以昆明小鼠为实验动物，设玉米肽高中低剂量组、正常对照组和酒精模型组，连续饲喂 5 个月，然后测定实验小鼠免疫器官指数和血清细胞因子水平，以及血清和肝脏组织中氧化应激相关指标，并取脾脏和胸腺制作 HE 病理学组织切片，观察组织病变程度，评价其免疫功能。结果显示玉米肽可改善慢性酒精中毒小鼠的脾脏和胸腺的损伤状况，其改善效果与剂量呈正相关，玉米肽还可显著提高小鼠血清 TNF- α 、IL-6、IFN- γ 、SOD 水平，降低血清及肝脏 MDA 含量 ($p<0.05$)。长期酒精饲喂可导致小鼠免疫功能降低，玉米肽能够通过调节细胞因子水平，以及改善机体氧化应激状态增强机体免疫功能。

关键词：玉米肽；酒精；免疫；小鼠实验

Effect of Corn Peptide on Immune Function of Chronic Alcoholism in Mice

LIN Wei, GAO Jian, WANG Xiao-jie, LIU Xiao-lan, REN Jian

(College of Food and Bioengineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)

Abstract: Objective to study the effect of corn peptide on immune function of chronic alcoholism in mice. Kunming mice were divided into five group: three dosage groups of corn peptide, normal control group and alcohol model group. After being fed for 5 months, the mice were killed to measure the immune organ index, serum cytokine levels, and indicators related to oxidative stress in serum and liver tissues. The spleen and thymus were obtained to observe the pathological changes by HE pathological sections. The results showed that corn peptide could alleviate the damage of spleen and thymus in chronic alcoholism mice with a dose response relationship; corn peptide could significantly increase the levels of TNF- α , IL-6, IFN- γ and SOD in serum, decrease the levels of MDA in serum and liver ($p<0.05$). Long-term alcohol feeding can lead to immune function damage in mice, however, corn peptides can enhance body immunity by regulating cytokine levels and improving oxidative stress state.

Key words: corn peptide; alcohol; immune; animal experiment

中国是酒业生产和消费大国。长期饮酒可导致全身多系统多器官损伤，除了最常见的肝脏和神经系统损伤，酒精的免疫毒性也越来越受到人们的关注。慢性酒精中毒对机体免疫系统有抑制作用，一方面，酒精可直接抑制脾脏和胸腺 T 淋巴细胞的生成量及其功能，降低免疫相关细胞因子的表达^[1]；另一方面，酒精可引起肝损伤，使得患者普遍出现体液免疫和细胞免疫异常，造成机体免疫力低下^[2]。此外长期过量饮酒还会导致蛋白质、能量及维生素摄入不足而产生营养不良，出现营养性免疫抑制^[3]。因此研究开发拮抗酒精免疫毒性的天然、无毒、营养的保健食品是目前医学和食品科学领域共同关注的热点。

玉米肽是玉米蛋白的酶解产物，具有醒酒、保肝、抗疲劳、抗氧化等多种活性。近年来研究发现玉米肽还具有潜在的免疫调节作用。马子淇等^[4-5]以玉米黄粉为原料，制备并纯

基金项目：黑龙江省青年科学基金(QC2018028)；黑龙江省教育厅基本业务专项粮头食尾(LTSW201717)；黑龙江省教育厅科研创新团队项目(135309113)

作者简介：林巍(1982-)，女，博士，讲师，研究方向：食品营养与毒理，E-mail: 0qiu@163.com。

化出免疫活性肽,发现其具有促进小鼠脾淋巴细胞增殖的能力且有剂量依赖性。吴晓萌发现玉米黄浆多肽能显著增加正常小鼠免疫器官指数、足跖肿胀程度、血清抗体水平及碳廓清能力^[6]。此外张智等^[7]将玉米肽与益生菌进行复合,发现该复合益生菌-玉米肽具有增强细胞免疫功能作用,并且能促进免疫球蛋白 A 的产生。玉米肽作为天然的保健食品,可减少药物治疗的副作用,保证消费者健康,必然受到消费者的欢迎。本文以具有自主知识产权的玉米肽为研究对象,探讨其对慢性酒精中毒小鼠免疫功能的影响,这为进一步研究玉米源免疫活性肽的免疫增强作用及其机制提供新的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

清洁级昆明小鼠(18±2g) 60只 辽宁长生生物技术有限公司[质量合格证号 211002300019054,实验动物生产许可证为 SCXK(辽)2015-0001];玉米肽粉 齐齐哈尔易翔食品有限公司[蛋白含量 49.5%,肽分子量<1kD,其余为淀粉];小鼠干扰素 γ 酶联免疫试剂盒、小鼠肿瘤坏死因子 α 酶联免疫试剂盒、小鼠白介素 6 酶联免疫试剂盒 T-114 分析天平 上海江莱生物科技有限公司;GSH、MDA 和 SOD 试剂盒 南京建成生物生物技术有限公司;其它试剂均为常规试剂。

T-114 分析天平 美国丹佛仪器;EnSpire 全波长多功能酶标仪 美国珀金埃尔默公司;CF15RXII 型高速离心机 日本日立公司。

1.2 试验方法

1.2.1 动物饲养与分组

昆明小鼠 60 只,雌雄各半,适应性喂养 7 d 后,随机分为 5 组,每组 12 只,分别为正常对照组、慢性酒精中毒模型组、玉米肽高、中、低剂量组。

加肽鼠粮的制作:按肽的蛋白含量(g)和基础鼠粮重量(g)的比例 1:500、3:500 和 5:500 制备加肽鼠粮,分别为低、中、高玉米肽剂量组。

模型建立:自由饮用含酒精水建立小鼠慢性酒精中毒模型,水中酒精体积分数由 6%、9%、12%,各饲喂 5 天后调整到 20%,以 20%的酒精浓度维持饲养 5 个月,正常对照组小鼠饮用不含酒精的水;正常对照组和酒精模型组饲喂正常鼠粮,玉米肽组饲喂加肽鼠粮,自由摄食。

1.2.2 脾脏指数/胸腺指数

试验结束后,禁食、不禁水 12 h,称重后处死小鼠,剥离脾脏和胸腺并称量,计算脾脏/体重和胸腺/体重比值(mg/g)。

1.2.3 病理组织学

试验结束后,小鼠脾脏和胸腺组织制成 HE 染色切片并做病理学观察。

1.2.4 血清中细胞因子测定

试验结束后,禁食、不禁水 12 h,称重后眼球取血,室温静置,析出血清后,于 4℃ 1000×g 离心 15 min,收集血清,按照各试剂盒说明书测定血清中 IL-6、TNF- α 、IFN- γ 含量。

1.2.5 血清及肝脏中 GSH、MDA 含量及 SOD 活性测定

试验结束后,禁食、不禁水 12 h,称重后眼球取血,解剖取肝脏组织,使用生理盐水制备质量分数为 10%组织研磨液,4℃ 1000×g 离心 15 min,收集上清液,按照各试剂盒说明书测定 GSH、MDA 含量及 SOD 活性。

1.3 数据处理

应用 SPSS19.0 软件,对数据进行单因素方差分析,差异显著者再进行 LSD 检验。各组数据结果以平均值±S.D 表示,不同小写字母角标表示各组数值比较差异显著(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 玉米肽对慢性酒精中毒小鼠免疫器官脏器指数的影响

由表 1 可知, 与正常对照组相比, 酒精模型组和玉米肽高中低三个剂量组的小鼠体重均显著降低, 表明长期慢性的酒精处理, 可引起小鼠体重减轻; 酒精模型组小鼠脾脏系数显著高于对照组 ($p<0.05$), 表明酒精处理后, 小鼠脾脏出现肿大, 但是胸腺的脏器指数尚未出现显著变化。玉米肽各剂量组对酒精引起的小鼠体重降低并未表现出显著的改善作用, 但玉米肽中剂量组降低了小鼠脾脏系数, 缓解了脾脏损伤, 对酒后脾脏有一定保护作用。

表 1 玉米肽对慢性酒精中毒小鼠体重、脾脏指数和胸腺指数的影响 ($x\pm s$)

Table 1 Effect of corn peptide on body weight, spleen and thymus index of chronic alcoholism mice ($x\pm s$)

组别	n	脾脏指数/mg.g ⁻¹	胸腺指数/mg.g ⁻¹	终体重/g
正常对照组	11	2.4±0.6 ^a	2.2±0.9 ^a	52.77±1.11 ^a
酒精模型组	12	2.9±0.7 ^b	2.0±0.5 ^a	44.99±1.24 ^b
低剂量组	12	2.5±0.6 ^{ab}	2.2±1.0 ^a	46.59±1.26 ^b
中剂量组	12	2.2±0.5 ^a	2.3±1.0 ^a	44.70±1.12 ^b
高剂量组	12	2.5±0.4 ^{ab}	2.2±0.9 ^a	44.78±1.14 ^b

注: 不同小写字母表示同列数据间差异显著, $P<0.05$ 。

2.2 玉米肽对慢性酒精中毒小鼠脾脏和胸腺病理组织学的影响

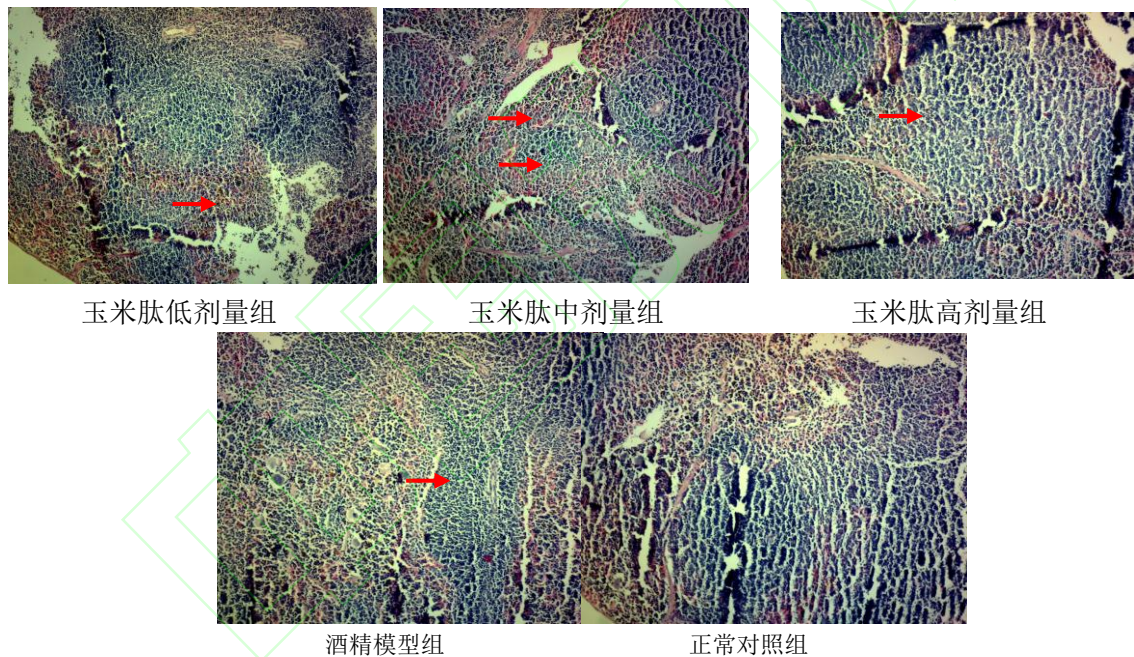


图 1 小鼠脾脏病理学观察结果 ($\times 100$)

Fig.1 Spleen structure pathology observations of experimental mice ($\times 100$)

脾脏是机体重要的外周免疫器官, 拥有全身循环 T 淋巴细胞的 25%, 是免疫细胞增殖和接受抗原刺激产生相应免疫应答的场所。动物实验表明, 长期过量饮酒对脾脏的生长发育具有显著的抑制作用, 可引起脾细胞脂质过氧化, 细胞膜通透性增强, 膜表面受体受损, 进而影响机体的各项免疫功能^[8]。

本研究表明, 与正常对照组相比, 酒精模型组脾脏白髓比例增大, 白髓内细胞数量增多; 而与酒精模型组比较, 玉米肽低剂量组脾脏红髓比例增多, 可见较多含铁血黄素, 白髓内细胞数量略减少, 并可见细胞核溶解; 玉米肽中剂量组中红髓比例明显增多, 白髓内细胞数量减少, 并可见细胞核溶解; 玉米肽高剂量组脾脏中白髓比例较中剂量组增多, 但仍可见细胞溶解。结果表明玉米肽各剂量组脾脏白髓面积及细胞数量均不同程度恢复, 小鼠脾脏病理切片见图 1。

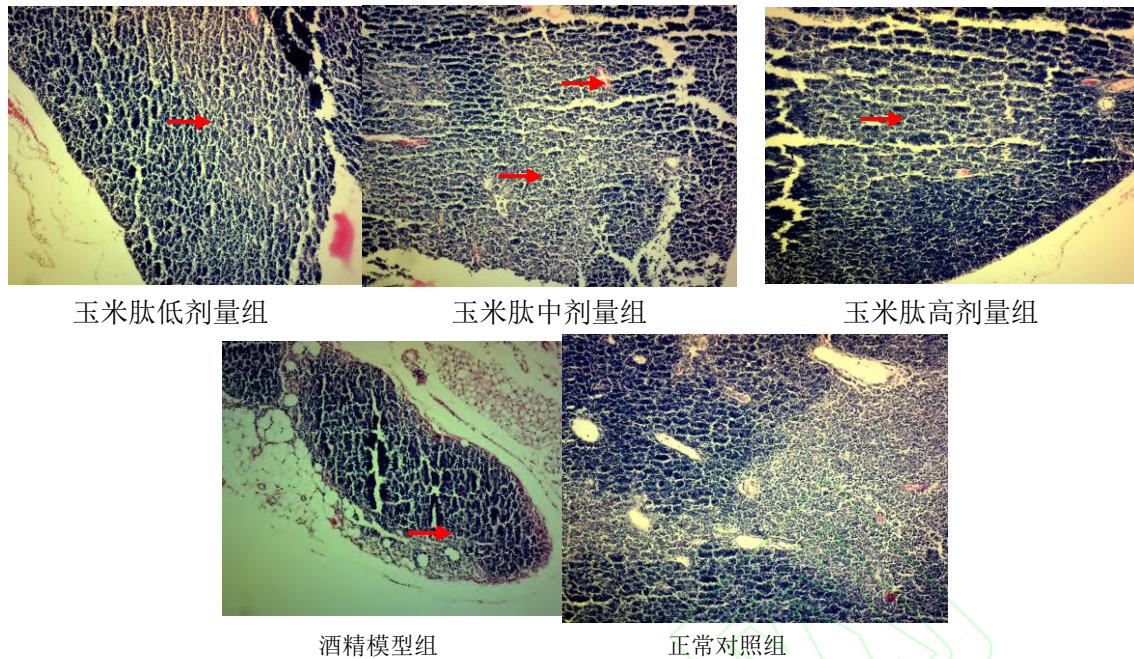


图 2 小鼠胸腺病理组织学观察结果 ($\times 100$)

Fig.2 Thymus structure pathology observations of experimental mice ($\times 100$)

胸腺对机体 T 细胞分化、成熟起到重要作用，酒精可降低胸腺中淋巴细胞生成量及释放率^[8]。由图 2 可见，酒精模型组小鼠胸腺已观察不到胸腺小叶，且皮质、髓质不明显；与正常对照组相比，玉米肽低剂量组的胸腺小叶及髓质也不明显。中剂量组可见血管充血，胸腺小叶内细胞之间距离变大。高剂量组仍可见血管充血，但胸腺小叶内细胞增多。玉米肽各剂量组胸腺病变均有不同程度恢复，但恢复较轻，仅比模型组略佳。

2.3 玉米肽对慢性酒精中毒小鼠血清细胞因子的影响

由表 2 可知，与正常对照组相比，慢性酒精中毒导致小鼠血清中细胞因子 TNF- α 、IFN- γ 和 IL-6 含量显著降低 ($p < 0.05$)，这与报道相一致^[9-10]。与酒精模型组相比，玉米肽中、高剂量组小鼠血清中 TNF- α 含量显著提高 ($p < 0.05$)；玉米肽高中低三个剂量组小鼠血清中 IFN- γ 含量都有显著提高 ($p < 0.05$)；并且高剂量玉米肽还显著提高了小鼠血清中 IL-6 的含量 ($p < 0.05$)。这些结果表明玉米肽可以显著改善酒精模型组小鼠血清中细胞因子 TNF- α 、IFN- γ 和 IL-6 水平 ($p < 0.05$)。

表 2 玉米肽对慢性酒精中毒小鼠血清细胞因子的影响

Table 2 Effect of corn peptide on serum cytokine of chronic alcoholism mice

组别	TNF- α (pg/mL)	IFN- γ (pg/mL)	IL-6 (pg/mL)
正常对照组	567.94 \pm 68.76 ^a	632.25 \pm 90.03 ^a	115.27 \pm 5.72 ^a
酒精模型组	340.39 \pm 67.06 ^c	412.48 \pm 70.14 ^c	64.56 \pm 11.88 ^c
低剂量组	393.91 \pm 59.29 ^c	477.86 \pm 80.25 ^b	66.16 \pm 10.98 ^c
中剂量组	473.77 \pm 76.01 ^b	482.63 \pm 67.91 ^b	72.47 \pm 10.82 ^{bc}
高剂量组	505.56 \pm 78.31 ^{ab}	594.65 \pm 70.24 ^a	80.60 \pm 8.64 ^b

注：不同小写字母表示相同列数据间差异显著， $P < 0.05$ 。

2.4 血清及肝脏组织中 GSH、MDA 含量及 SOD 活性

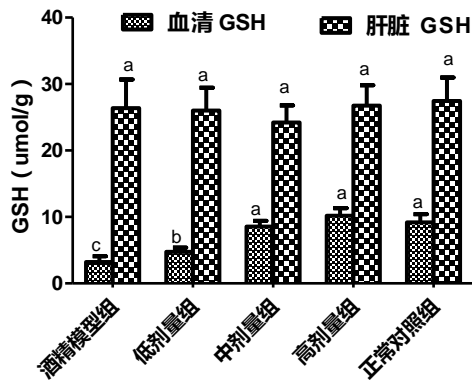


图3 小鼠血清及肝脏中 GSH 浓度

Fig.3 The levels of GSH in in mice plasma and liver

注：小写字母表示差异显著， $P < 0.05$ ；图4~图5同。

酒精代谢产生大量 ROS，可消耗机体内的抗氧化物质，GSH 是体内重要的抗氧化物质之一。由图3可知，酒精显著降低了小鼠肝脏中抗氧化剂 GSH 的含量，但是对血清中 GSH 的含量没有显著影响。与酒精模型组相比，低、中、高剂量组玉米肽皆可显著降低酒精对肝脏中 GSH 的消耗 ($p < 0.05$)，并且具有剂量依赖性，随着玉米肽含量的增加，肝脏中 GSH 含量也随之升高，恢复到正常水平。

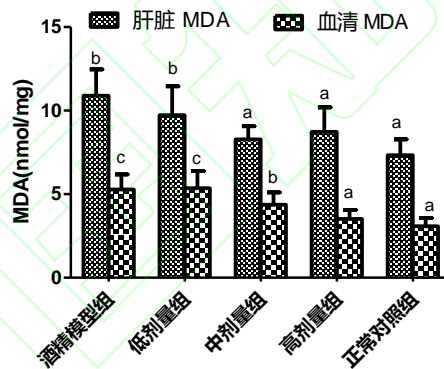


图4 小鼠血清及肝脏中 MDA 水平

Fig.4 The levels of MDA in mice plasma and liver

由图4可见，与正常对照组相比，酒精可显著增加小鼠肝脏及血清中 MDA 含量 ($p < 0.05$)，MDA 是脂质过氧化反应的产物，会引起蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合，且具有细胞毒性。与酒精模型组相比，中、高玉米肽剂量组的小鼠血清和肝脏中 MDA 含量显著降低 ($p < 0.05$)；其中玉米肽高剂量组小鼠血清和肝脏中 MDA 水平与正常对照组相比没有显著差异。这表明玉米肽可降低乙醇及其代谢产物引起的小鼠肝脏及血清中 MDA 水平的升高，保护免疫组织及细胞免受其毒性作用。

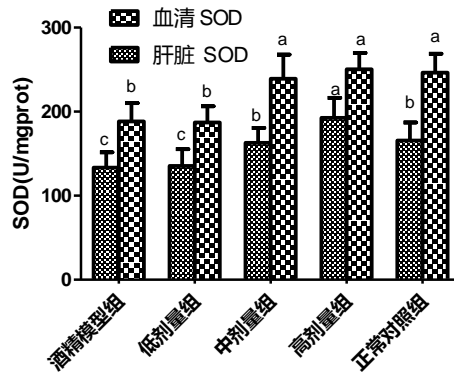


图5 小鼠血清及肝脏中 SOD 活性

Fig.5 The activity of SOD in mice plasma and live

由图5可知,与正常对照组相比,酒精可显著降低小鼠血清及肝脏中 SOD 活性($p < 0.05$)。与酒精模型组相比,中、高玉米肽剂量组小鼠血清及肝脏中 SOD 活性显著升高 ($p < 0.05$)。其中玉米肽高剂量组小鼠血清和肝脏中 SOD 活性与正常对照组相比没有显著差异。这表明玉米肽可恢复酒精中毒小鼠血清及肝脏中 SOD 活性。玉米肽本身就是一种抗氧化活性较强的活性寡肽,研究表明玉米肽可提高正常小鼠血清和肝脏中 SOD 活性,同时还可提高肝脏中 GSH-PX 活性^[11]。

3 讨论

T 细胞是机体细胞免疫的中心,可分泌多种细胞因子进而调节机体的免疫反应。其中细胞因子 TNF- α 具有强化中性粒细胞的吞噬能力,还可以增加过氧化物阴离子产生,刺激细胞脱颗粒和分泌髓过氧化物酶、抗感染。IFN- γ 可通过激活单核吞噬细胞杀灭微生物及肿瘤细胞,激活中性粒细胞和 NK 细胞,强化 NK 细胞对肿瘤细胞的杀伤活性,促进巨噬细胞的吞噬功能;IL-6 是一种多效性细胞因子,在多种细胞功能调节方面具有重要的作用,包括细胞分化、免疫防御、增殖等;若 IL-6 水平降低,则会引起免疫系统中某个或多个节点发生故障,从而导致机体免疫力下降^[12]。长期酗酒可抑制 T 淋巴细胞的功能,使 T 淋巴细胞对有丝分裂和抗原的增殖反应下降,细胞因子 IFN- γ 的合成和 NK 细胞活性也会降低,并且单核细胞所产生的细胞因子 TNF- α 、IL-1 和 IL-6 也会下降^[9];此外酒精引起营养不良,蛋白质的缺乏也可降低机体免疫力,因为免疫防御依赖于细胞复制和具有生物活性的蛋白质的产生,如抗体、细胞因子等^[13]。玉米肽具有促进乙醇代谢的醒酒作用,可明显降低原发性高血压大鼠血液中乙醇及其氧化产物乙醛浓度的作用,同样的结果在健康人也得到了印证^[14-15]。在本研究中,与酒精模型组相比,高剂量玉米肽可以显著改善慢性酒精中毒导致小鼠血清中细胞因子 TNF- α 、IFN- γ 和 IL-6 含量显著降低 ($p < 0.05$);一方面可能是因为玉米肽能够加快酒精代谢速度,从而降低酒精对机体的直接损害作用,另一方面可能是因为玉米肽可通过为机体补充大量的氨基酸减轻机体蛋白质缺乏状态,提高细胞因子的表达和活性,改善 T 淋巴细胞的功能,从而提高机体的免疫力。

酒精进入机体后,在乙醇脱氢酶和微粒体乙醇氧化酶作用下,转变为乙醛,并通过 CYP2E1 产生了多种活性氧,如乙氧基自由基、超氧自由基、过氧化氢、羟自由基等,导致机体氧化应激水平升高,损伤包括免疫细胞在内的各组织细胞;同时还可损害机体内保护性抗氧化剂,如降低机体中谷胱甘肽含量^[16];乙醛还可以与其他蛋白质结合形成加合物,如丙二醛和丙二醛乙醛加合物^[1],进而导致机体免疫机能的下降。玉米肽的体内抗氧化活性已通过试验证实。马瑞等^[17]发现玉米蛋白水解物可以通过直接降低细胞内 ROS 含量来保护细胞;Liu 等^[11]证明玉米蛋白水解物可提高小鼠血清中 SOD 活性,这些研究表明玉米蛋白水解物在细胞及动物体内具有明显的抗氧化作用。本研究发现,玉米肽可降低酒精对肝脏中 GSH 的

消耗,并具有剂量依赖性;同时中、高剂量组玉米肽还可恢复酒精中毒小鼠血清及肝脏中SOD活性。所以玉米肽可能是通过减轻酒精及其代谢物引起的氧化应激,减少活性氧对机体细胞的损伤,改善慢性酒精中毒小鼠的脾脏和胸腺的损伤状况;此外玉米肽可降低乙醇及其代谢产物引起的小鼠肝脏及血清中MDA水平的升高,保护免疫组织及细胞免受MDA的毒性作用,从而辅助增强机体的免疫功能。

综上所述,长期过量酒精摄入会导致小鼠免疫器官损伤,降低机体免疫功能;玉米肽可显著提高小鼠血清因子水平,改善机体氧化应激状态,缓解慢性酒精中毒小鼠的脾脏和胸腺的损伤状况,在一定程度上可以提高机体的免疫功能,具有保健功能。

参考文献:

- [1] Tasha B, Christa H, Kathleen G, et al. Opposing Effects of Alcohol on the Immune System[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2016, 65: 242-251.
- [2] 张倩倩, 靳洪涛, 王爱平. 酒精的免疫毒性研究进展[J]. *中国药理学与毒理学杂志*, 2013, 27(3): 501.
- [3] Manari A P, Preedy V R, Peters T J. Nutritional intake of hazardous drinkers and dependent alcoholics in the UK[J]. *Addict Biol*, 2003, 8(2):201-210.
- [4] 马子淇, 柏韵, 郭雪松. 玉米黄粉免疫活性肽的制备工艺[J]. *饲料研究*, 2016, 18: 50-56.
- [5] 马子淇, 郝斯佳, 郭雪松. 玉米黄粉免疫活性肽水解用酶的筛选[J]. *饲料研究*, 2016, 10: 52-55.
- [6] 吴晓萌. 玉米黄浆功能性评价及其肽的免疫活性研究[D]. 辽宁: 辽宁医学院, 2014: 31-33.
- [7] 张智, 林秀芳, 马建章, 等. 玉米肽对双歧杆菌免疫力作用的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(3):9-13.
- [8] 杨郑州. 长期饮酒对小鼠性腺及免疫器官的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 59-67.
- [9] Szabo G, Catalano D, White B, et al. Acute alcohol consumption inhibits accessory cell function of monocytes and dendritic cells[J]. *Alcohol Clin Exp Res*, 2004, 28(5):824-828.
- [10] 王仁云, 花月, 史忠阳. 酒精与机体免疫[J]. *现代应用药学*, 1994, 11(6):45-46.
- [11] 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]. *Journal of functional foods*, 2015, 18:1147-1157.
- [12] 沈赤, 毛健, 陈永泉, 等. 黄酒多糖对免疫缺陷小鼠血清免疫相关因子的影响[J]. *食品科学*, 2015, 06(5): 158-162.
- [13] Zempleni J, Daniel H. 分子营养学[M]. 北京:科学出版社, 2008: 365-366.
- [14] 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 (Tokyo)*, 1996, 42(3): 219-231.
- [15] Yamaguchi M, Nishikiori F, Ito M, Furukawa Y. Effect of corn peptide on alcohol metabolism and plasma free amino acid concentrations in healthy men[J]. *Eur J Clin Nutr*, 1996, 50(10): 682-688.
- [16] Kaphalia L, Calhoun W J. Alcoholic lung injury:metabolic,biochemical and immunological aspects[J]. *Toxicology letters*, 2013, 2:171-179.
- [17] 马瑞, 刘晓兰, 刘祥, 等. 玉米蛋白水解物对 Caco-2 细胞的抗氧化作用研究[J]. *食品工业*, 2019, 40(4):180-183.