

# 植物乳杆菌 Z3 对有机磷导致慢性中毒小鼠的解毒作用

姚敦跳<sup>1</sup>, 赵悦<sup>2</sup>, 刘仁杰<sup>1\*</sup>

(1. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130118)

(2. 内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司, 内蒙古呼和浩特 011500)

**摘要:** 该研究建立了慢性有机磷中毒小鼠模型, 灌胃植物乳杆菌 30 d 后, 测定小鼠脑和血胆碱酯酶 (ChE) 活性、脑组织活性氧 (ROS) 含量、肝脏和血清总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 活性、丙二醛 (MDA) 含量, 并进行肝、脑组织病理学检查, 评估植物乳杆菌对慢性有机磷中毒小鼠的解毒效果。结果表明, 与模型对照组相比, 灌胃植物乳杆菌使慢性有机磷中毒小鼠的 ChE、T-SOD 活性升高, 在血的 ChE, 高剂量组 ChE 活性较模型组提高了 36.13%, 脑组织高剂量组 ChE 较模型组提高了 81.13%, 血清 T-SOD 高剂量组较模型组提高了 56.93%, 脑组织的 T-SOD 高剂量组较模型组提高了 65.14%; MDA 和 ROS 的含量下降, 血清的 MDA 高剂量组比模型组低 28.91%, 肝组织的 T-SOD 高剂量组比模型组低 16.46%, 脑组织的 ROS 模型组 ROS 比高剂量组高 15.92%。在灌胃后, 肝细胞损伤程度明显减轻; 脑神经细胞、神经元和胶质细胞形态恢复正常, 细胞排列较整齐。由此得出, 灌胃植物乳杆菌可部分修复慢性有机磷农药中毒引起的机体损伤, 具有一定的解毒作用。

**关键词:** 植物乳杆菌; 有机磷慢性中毒; 解毒

文章编号: 1673-9078(2021)11-79-84

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.11.0362

## Detoxification Effects of *Lactobacillus plantarum* Z3 on Chronic Organophosphorus-Poisoned Mice

YAO Duntiao<sup>1</sup>, ZHAO Yue<sup>2</sup>, LIU Renjie<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

(2. Inner Mongolia Mengniu Dairy (Group) Co. Ltd., Hohhot 011500, China)

**Abstract:** A mouse model of chronic organophosphorus poisoning was first established. Subsequently, after 30 days of oral administration of *Lactobacillus plantarum* fermentation broth, the cholinesterase (ChE) activity in the brain and blood, the reactive oxygen species (ROS) content in brain tissue, the total superoxide dismutase (T-SOD) activity in liver and serum, and the malondialdehyde (MDA) content in liver and brain were determined. Histopathological examination of the liver and brain tissue was carried out to evaluate the detoxification and protective effects of *Lactobacillus plantarum* against chronic organophosphorus poisoning in mice. Results showed that in *L. plantarum* Z3-treated mice, the ChE activity in the mouse blood and brain increased by 36.13% and 81.13%, respectively, and the T-SOD activity in the serum and liver increased by 56.93% and 65.14%, respectively, when compared with the model control group. On the contrary, lower MDA and ROS contents were observed in the treatment groups. The contents of MDA and ROS in the serum and the contents of T-SOD in the liver and brain were respectively decreased by 28.91%, 16.46%, and 15.92% compared to those observed in the model group. After the treatment, the damage to liver cells was significantly alleviated, the morphology of brain nerve cells, neurons, and glial cells returned to normal, and the cells attained an orderly arrangement again. It is concluded that *Lactobacillus plantarum* can partially repair the

引文格式:

姚敦跳,赵悦,刘仁杰.植物乳杆菌 Z3 对有机磷导致慢性中毒小鼠的解毒作用[J].现代食品科技,2021,37(11):79-84

YAO Duntiao, ZHAO Yue, LIU Renjie. Detoxification effects of *Lactobacillus plantarum* Z3 on chronic organophosphorus-poisoned mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 79-84

收稿日期: 2021-04-01

基金项目: 吉林农业大学 2018 年省级大学生创新创业训练计划项目 (2018078)

作者简介: 姚敦跳 (1995-), 男, 硕士研究生在读, 研究方向: 危害分析与健康防护, E-mail: 271844007@qq.com

通讯作者: 刘仁杰 (1974-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 生物技术、食品安全检测与控制, E-mail: 348299492@qq.com

body damage caused by chronic organophosphorus poisoning from pesticides, and a certain degree of detoxification is confirmed.

**Key words:** *Lactobacillus plantarum*; chronic organophosphorus poisoning; detoxification

有机磷农药 (OPPs) 是一种经济、高效的杀虫剂, 应用广泛, 不仅给农业生产提供了有力的保障, 同时也给人类的生存环境造成污染<sup>[1]</sup>。对非目标物质也具有一定的毒性, 且作用持久。随着社会经济的发展, 农药的使用量越来越多, 在日常生活中, 农药污染已经进入土壤、大气、水体, 甚至食物链, 导致农残在人体蓄积产生慢性中毒, 如: 头痛、头晕、乏力、食欲不振、恶心、气短、胸闷等症状。残留的有机磷农药通过食物链进入人体, 磷原子同体内胆碱酯酶 (ChE) 共价结合形成磷酸化酶而失活, 阻断神经递质乙酰胆碱的水解, 导致乙酰胆碱堆积, 造成突触过渡兴奋, 抑制神经冲动传导, 引发一系列综合症, 如神经、生殖及免疫的毒性<sup>[2]</sup>。在慢性的染毒情况下, 多种有机磷均可引起动物 ChE 活性受到抑制, 从而出现中毒的状况, 中枢神经系统、肝、肾和血液里均有中毒性的症状, 造成不同的损伤<sup>[3]</sup>。有机磷农药对人类的生产和生活起着重要的作用, 但随之也带来了一系列问题。有机磷农残对人体的健康和引起的安全问题值得人们去关注。

自然界中存在着极其丰富的微生物资源, 在降解农药中起到重要作用。通过发酵来降解残留的有机磷农药, 已经取得了较好的效果<sup>[4]</sup>。Islam 等<sup>[5]</sup>研究表明, 泡菜中分离出来的短乳杆菌可有效降解毒死蜱。Bo 等<sup>[6]</sup>研究表明, 酸奶加工过程中, 有机磷农药含量随着发酵时间的延长逐渐降低。综上, 本研究将利用乳酸菌对慢性有机磷农药中毒小鼠进行干预, 并检测一系列指标, 分析小鼠肝和脑的细胞受损情况, 初步探索乳酸菌对慢性有机磷中毒小鼠的解毒功效, 以期为人体的农残慢性中毒的解毒提供理论支持和借鉴方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 动物饲养与道德声明

健康成年雄性昆明小鼠 50 只, 体重 25~30 g, 由长春市实验动物中心提供, 许可证号: SCXK(辽)2020-0001。小鼠按常规饲养并适应环境一周, 温度为 20~25 °C, 湿度为 25%~35%。

### 1.2 试剂

氧化乐果标准品, 购自北京勤诚亦信科技发展有限公司; 丙二醛 (MDA)、总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、胆碱酯酶 (ChE)、活性氧 (ROS) 和蛋白质定量检测

试剂盒, 购自南京建城生物工程研究所。

### 1.3 植物乳杆菌 Z3 菌悬液的制备

从东北自然发酵酸菜中分离、筛选植物乳杆菌, 经驯化后命名为植物乳杆菌 Z3。脱脂乳粉培养基培养 24 h, 生理盐水洗涤 3 次, 制备菌悬液 ( $\sim 1 \times 10^{10}$  cfu/mL)。

### 1.4 慢性有机磷中毒模型的建立

经过预实验摸索有机磷慢性小鼠中毒的模型, 随机选择 8 只小鼠作为空白对照组, 另 42 只小鼠每天皮下注射氧化乐果溶液 (3 mg/kg), 连续 4 周, 构建慢性有机磷中毒模型, 空白对照组同时给予等量生理盐水。试剂盒的方法测定小鼠脑和全血组织的胆碱酯酶 (ChE) 活性、脑组织活性氧 (ROS) 含量、肝脏和血清的总超氧化物歧化酶 (T-SOD) 活性、丙二醛 (MDA) 含量, 以确定小鼠有机磷慢性中毒建模成功。

### 1.5 灌胃方法

建模成功后, 选取 32 只小鼠分为模型组 8 只、植物乳杆菌 Z3 低剂量组 ( $\sim 1 \times 10^8$  cfu/mL)、中剂量组 ( $\sim 1 \times 10^9$  cfu/mL) 和高剂量组 ( $\sim 1 \times 10^{10}$  cfu/mL) 各 8 只。每天上午 9:00, 低、中、高剂量组小鼠灌胃植物乳杆菌 Z3, 剂量为 10 mL/kg。模型组与空白对照组灌胃等量生理盐水持续灌胃 4 周。

### 1.6 生化指标的测定

灌胃结束后, 禁食 12 h, 眼眶取血, 处死, 取小鼠肝脏和脑, 冲洗表面残留血液。取 0.1 mL 血, 加 0.4 mL 双蒸水, 测 ChE 活性。另取血 3000 r/min 离心 20 min, 测血清 MDA 和 T-SOD 值。取脑和肝各 0.3 g, 加生理盐水制成匀浆, 2500 r/min 离心 10 min, 取上清液, 测 ChE、T-SOD 活性、ROS 和 MDA 含量, 采用试剂盒方法, 按说明操作。

### 1.7 组织病理学观察

取部分肝、脑组织 4% 多聚甲醛溶液室温固定 24 h, 石蜡包埋, 切 5  $\mu$ m 切片苏木精-伊红染色, 400 倍光学显微镜下观察各切片的病理变化。

### 1.8 统计学方法

数据均以平均值  $\pm$  标准误差 (SEM) 表示, 使用

单向 ANOVA, 然后进行 LSD *t* 检验来比较组间的差异,  $p < 0.05$  表示显著。使用 SPSS 17.0 进行数据分析。使用 GraphPad Prism 制作统计图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 Z3 对小鼠 ChE 活性的影响

通过植物乳杆菌 Z3 对模型组和对照组的干预, 检测对小鼠血和脑组织 ChE 活性的影响, 结果如图 1 所示。

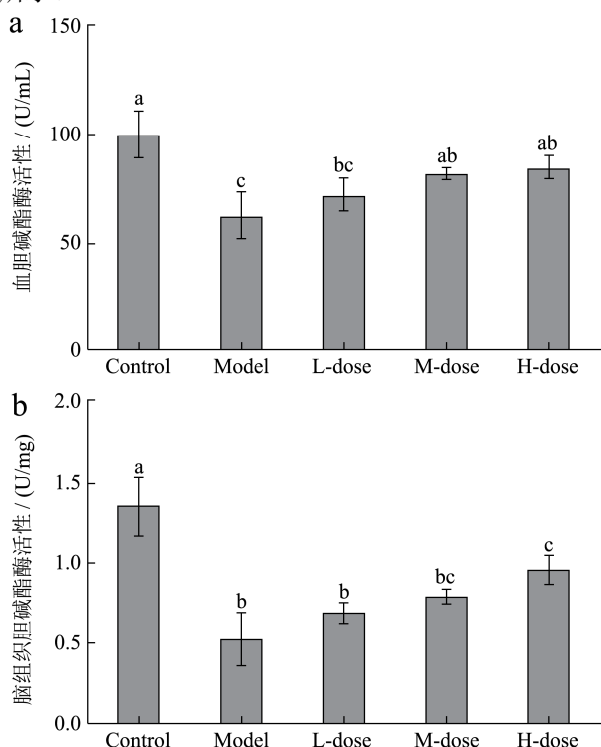


图1 植物乳杆菌 Z3 对慢性有机磷中毒小鼠全血和脑组织 ChE 活性的影响

Fig.1 Effect of *Lactobacillus plantarum* Z3 on ChE activity in blood and brain tissue of mice with chronic organophosphorus poisoning

注: 图 1a 全血 ChE 活性结果, 图 1b 脑组织 ChE 活性结果。数据表示为平均值±标准误差 (n=3),  $p < 0.05$  表示显著, 下同。

检测血和脑 ChE 结果表明: 全血的空白组 ChE 活性为 99.86 U/mL, 模型组 ChE 活性为 62.20 U/mL, 模型组 ChE (62.20 U/mL) 活性显著低于空白对照组。与模型组相比, 植物乳杆菌中、高剂量组 ChE 活性显著升高 (图 1a), 中剂量组 ChE 活性提高了 31.30%, 高剂量组 ChE 活性提高了 36.13%。空白对照组 ChE (99.86 U/mL) 活性显著高于模型组, 表明造模成功。高剂量组 ChE (0.96 U/mg) 活性显著高于模型组 ChE (0.53 U/mg), 高剂量组 ChE 较模型组提高了

81.13%, 表明高剂量植物乳杆菌组能有效改善脑组织 ChE 活性, 但未使中毒小鼠 ChE (0.53 U/mg) 水平完全恢复 (图 1b)。可见, 植物乳杆菌能提高有机磷慢性中毒小鼠血和脑的 ChE 活性, 在一定范围内, 剂量越大, 效果越明显。其作用的机制可能由乳酸菌内含有的有机磷降解酶系协同作用, 分解小鼠体内的有机磷农残, 从而使老化的 ChE 被重新激活<sup>[7]</sup>。

### 2.2 Z3 对脂质过氧化损伤的影响

通过对模型小鼠灌胃植物乳杆菌 Z3, 对小鼠的脂质过氧化损伤影响, 结果如图 2 所示。

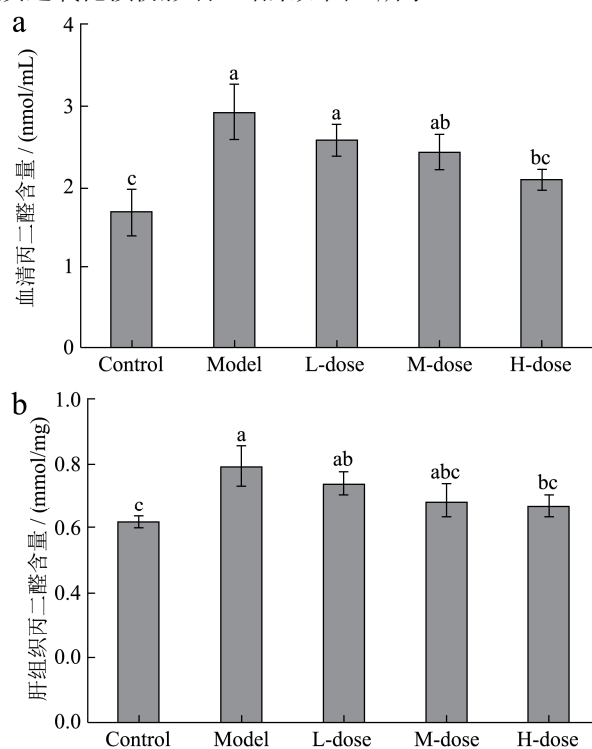


图2 植物乳杆菌 Z3 对慢性有机磷中毒小鼠血清和肝组织 MDA 含量的影响

Fig.2 Effect of *Lactobacillus plantarum* Z3 on MDA content in serum and liver tissue of mice with chronic organophosphorus poisoning

注: 图 2a 血清 MDA 检测结果, 图 2b 肝组织 MDA 检测结果。

试验结果表明: 对照组小鼠血清 MDA (1.68 nmol/mL) 含量显著低于模型组 MDA (2.94 nmol/mL), 高剂量组 MDA (2.09 nmol/mL) 含量显著低于模型组, 对照组血清 MDA 比模型组低 42.85%, 高剂量组 MDA 比模型组低 28.91%, 表明高剂量 Z3 干预可降低小鼠血清 MDA 含量, 效果显著 (图 2a)。模型小鼠肝组织中 MDA 含量与空白对照组相比差异明显。在肝组织中, 氧化乐果使慢性中毒小鼠体内 MDA 含量增加, 氧化损伤严重。与模型组相比, 高剂量组 MDA (0.66

nmol/mL) 含量明显低于模型组, 说明 Z3 的中、高剂量组均能显著降低氧乐果致慢性中毒小鼠的 MDA (0.79 nmol/mL) 含量, 中剂量组 MDA 比模型组低 13.92%, 高剂量组 MDA 比模型组低 16.46%, 但高剂量组作用更显著 (图 2a)。由此, Z3 可有效改善氧乐果致慢性中毒小鼠体内的氧化应激反应, 降低自由基对小鼠组织器官的氧化损伤, 与周先容等的报道相一致<sup>[8]</sup>。但其如何降低氧化应激损伤的作用机理有待于进一步研究。

### 2.3 Z3 对血清及肝组织 T-SOD 值的影响

通过植物乳杆菌 Z3 对模型组和对照组的干预, 对血清中 T-SOD 值的影响, 结果如图 3 所示。

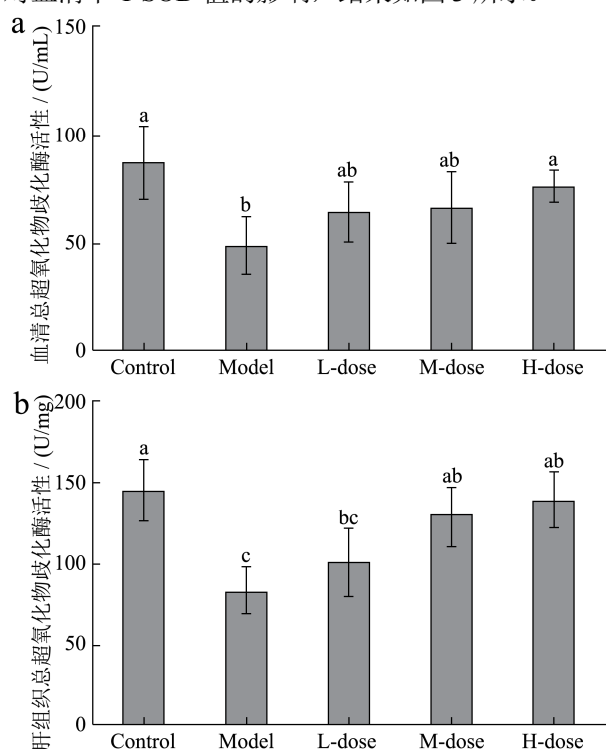


图3 植物乳杆菌 Z3 对慢性有机磷中毒小鼠血清和肝组织 T-SOD 值的影响

Fig.3 Effect of *Lactobacillus plantarum* Z3 on T-SOD activity in serum and liver tissue of mice with chronic organophosphorus poisoning

注: 图 3a 血清 T-SOD, 图 3b 肝 T-SOD。

结果表明: 模型组的 T-SOD (48.39 U/mL) 活性明显低于空白对照组 T-SOD (87.82 U/mL), 高剂量组 T-SOD (75.94 U/mL) 活性显著高于模型组, 高剂量组 T-SOD 活性比模型组高 56.93%, 说明植物乳杆菌 Z3 高剂量组对提高血清中 T-SOD 水平有良好的效果 (图 3a)。模型组的 T-SOD (83.08 U/mg) 活性与空白组 T-SOD (145.27 U/mg) 相比有明显差异, 慢性有机磷中毒小鼠肝损伤较为严重。中、高剂量组 T-SOD

活性明显高于模型组, 中剂量组 T-SOD 活性比模型组高 56.04%, 高剂量组 T-SOD 活性比模型组高 65.14%。可见, 中、高剂量组对慢性有机磷中毒小鼠肝组织 T-SOD 活性有明显的改善作用 (图 3b)。SOD 可清除氧自由基, 保护细胞免受损伤, 对体内抗氧化能力和氧化稳态有重要影响。乳酸菌具有抗脂质过氧化、清除羟自由基和超氧阴离子的作用。这种特性可能是影响中毒小鼠灌胃前后 SOD 变化的关键因素。灌胃植物乳杆菌可显著提高 T-SOD 的活性, 其可能的机制是通过上调抗氧化基因、氧化还原酶类基因和端粒酶逆转录基因的转录表达, 进而通过生物调节、粘附功能、代谢过程等降低机体的炎症水平, 从而减少氧化损伤引起的细胞凋亡<sup>[9]</sup>。

### 2.4 Z3 对脑组织 ROS 含量的影响

通过植物乳杆菌 Z3 对模型组和对照组的干预, 对脑组织 ROS 含量的影响, 结果如图 4 所示。

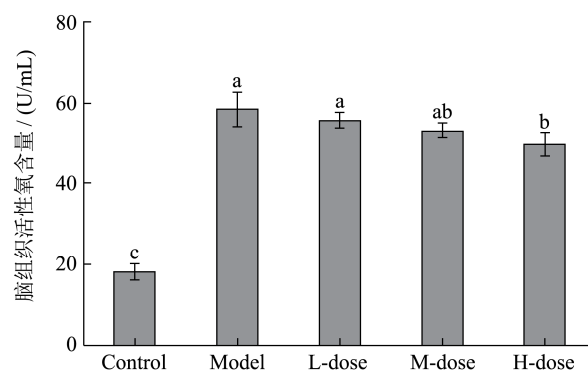


图4 植物乳杆菌 Z3 对慢性有机磷中毒小鼠脑组织 ROS 含量的影响

Fig.4 Effect of *Lactobacillus plantarum* Z3 on ROS content in brain tissue of mice with chronic organophosphorus poisoning

试验结果表明: 在脑组织中, 模型组 ROS (58.67 U/mL) 的含量明显高于对照组 ROS (18.00 U/mL); Z3 各剂量组的 ROS 含量均下降, 而高剂量组 ROS (49.33 U/mL) 与模型组 ROS (58.67 U/mL) 差异明显, 模型组 ROS 比高剂量组高 15.92%。低剂量组与高剂量组也有明显的差异。由此可见, Z3 中、高剂量组降低 ROS 含量效果明显 (图 4)。长期低剂量摄入有机磷农药会加速器官衰竭, 缩短机体寿命, 通过抑制线粒体 ATP 合成, 导致脑组织核 DNA 单链断裂, 增加 ROS 含量, 破坏细胞的稳态, 导致细胞程序性死亡。氧化应激中 ROS 的过量积累会引起脂质过氧化, 增加细胞膜透性, 导致关键酶失活, 对机体损伤严重。据报道乳酸菌可以有效减少 ROS 的积累, 通过调节抗氧化酶的产生, 显著降低细胞的氧化应激<sup>[10,11]</sup>。与本研究结果相一致。

## 2.5 Z3 对小鼠肝脑组织细胞的影响

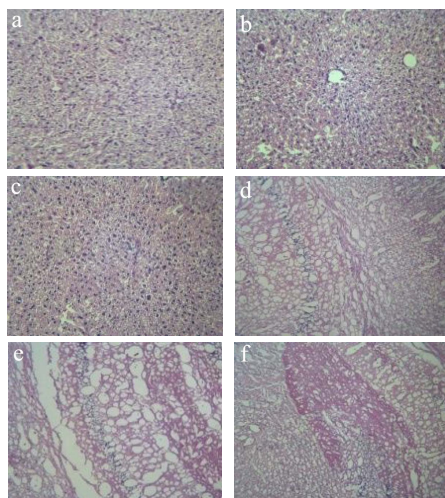


图5 肝脏和脑组织学切片

**Fig.5 Representative histological images of liver and brain slices (stained with hematoxylin and eosin)**

注: a~c: 肝脏; d~f: 脑; a, d: 空白对照; b, e: 模型组; c, f: 植物乳杆菌 Z3 灌胃组。

通过灌胃植物乳杆菌 Z3, 对小鼠肝脏和脑组织切片镜检, 400 倍光学显微镜下观察各切片的病理变化, 结果如图 5 所示。

由图 5 可见, 健康小鼠肝脏切片细胞结构良好, 中心静脉完整, 肝小叶结构清晰, 肝细胞结构正常, 染色均匀; 模型组肝脏部分坏死, 肝小叶结构不同程度受损, 肝中央静脉扩张, 部分肝细胞脂肪变性, 肝窦内有大量坏死细胞碎片, 细胞核较厚, Z3 剂量组肝细胞损伤程度明显小于模型组, 肝细胞轻度增大, 少量肝小叶结构受损 (图 5a~c)。脑组织切片镜检显示, 空白对照组神经细胞排列整齐, 细胞核形态正常, 组织结构完整, 组织致密, 核仁清晰, 细胞周围无水肿; 模型组脑神经细胞核增大, 神经元和胶质细胞固缩, 细胞排列紊乱; Z3 组脑神经细胞排列整齐, 细胞形态正常 (图 5d~f)。有机磷农药进入人体后主要在肝脏转化, 在肝脏中分布浓度最高, 在代谢过程中产生大量氧自由基, 对肝脏细胞造成损害的同时, 随着血液循环损伤脑组织<sup>[12]</sup>。机体通过酶系统和非酶促的抗氧化系统来应对氧化应激损伤。本研究中通过植物乳杆菌 Z3 的摄入, 有助于保护和修复机体脏器的损伤, 与李常坤等的研究结果相符<sup>[13]</sup>。

## 2.6 讨论

在有机磷慢性中毒小鼠的大脑中, 乙酰胆碱能受体数量减少, 胆碱能递质亲和力降低, 机体对 ChE 有耐受性, 使胆碱能神经持续兴奋, 影响中枢和外周神

经系统 ChE 的抑制作用<sup>[14]</sup>。乙酰胆碱 (ACh) 在胆碱能突触上积聚, 胆碱能受体被过度刺激, 出现震颤、肌肉抽搐等有机磷中毒症状<sup>[15]</sup>。脑组织中的 ChE 失活, 导致神经递质 ACh 积聚, 出现代谢紊乱、神经系统反应迟钝等一系列症状。有机磷农药通过食物链进入人体, 不断的蓄积后对机体造成慢性损伤: 破坏免疫系统; 抑制人体 ChE 的活性; 慢性有机磷中毒的临床表现为隐匿性和非特异性, 使人们在日常生活中缺乏必要的重视和防护。植物乳杆菌能激活衰老和失活的 ChE, 起到一定得解毒效应, 减少神经递质 ACh 的积累, 一定程度上恢复 ChE 的活性, 修复机体损伤。MDA 含量间接反映了自由基对机体损伤的程度, MDA 会引起大分子物质的交联聚合, 产生细胞毒性。MDA 含量越高, 生物膜破坏越严重<sup>[6]</sup>。本研究中植物乳杆菌 Z3 高剂量组 MDA 含量与模型组有显著差异, 说明植物乳杆菌可改善肝组织氧化应激损伤, 减轻有机磷中毒对机体的影响。综上所述, 植物乳杆菌 Z3 对有机磷慢性中毒小鼠有一定的解毒作用: 能显著改善氧果糖中毒所致的肝和脑组织损伤, 恢复部分 ChE 活性。这一结果与微生物体外降解有机磷农药的报道相一致。

## 3 结论

目前, 人们的生活已经离不开被有机磷农残污染的食品、蔬菜、水果, 甚至水源, 这些农药残留通过食物链进入人体, 并随着农药的使用而蓄积, 从而导致农残慢性中毒。本论文通过灌胃植物乳杆菌 Z3, 发现对慢性有机磷中毒小鼠具有一定的解毒作用, 研究结果对人体内农药残留的分解、排出具有借鉴意义, 为修复农残导致的机体损伤提供理论支持。

## 参考文献

- [1] 刘仁杰,赵悦,王玉华,等.有机磷农药残留现状及去除方法的研究进展[J].食品工业,2019,40(9):299-302  
LIU Renjie, ZHAO Yue, WANG Yuhua, et al. Research progress of organophosphorus pesticide residues and removal methods [J]. Food Industry, 2019, 40(9): 299-302
- [2] Butler-Dawson J, Galvin K, Thorne P S, et al. Organophosphorus pesticide exposure and neurobehavioral performance in Latino children living in an orchard community [J]. Neurotoxicology, 2016, 53: 165-172
- [3] 李常坤.对三种有机磷农药具有降解活性 *Lactobacillus plantarum* 的筛选及其缓解大鼠甲拌磷中毒研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019  
LI Changkun. Screening of *Lactobacillus plantarum* having

- three different organophosphorus pesticide-degrading activities and its effect of detoxifying phorate poisoning in rats [D]. Huhehot: Inner Mongolia Agricultural College, 2019
- [4] 王政. 发酵食品中有机磷农药的微生物降解研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2017
- WANG Zheng. Microbial degradation of organophosphorus pesticides in fermented food [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2017
- [5] Islam S M A, Math R K, Cho K M, et al. Organophosphorus hydrolase (OpdB) of *Lactobacillus brevis* WCP902 from kimchi is able to degrade organophosphorus pesticides [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(9): 5380-5386
- [6] Bo L Y, Zhang Y H, Zhao X H. Degradation kinetics of seven organophosphorus pesticides in milk during yoghurt processing [J]. J Serb Chem Soc, 2011, 76(3): 353-362
- [7] 伍宁丰, 梁果义, 范云六, 等. 有机磷农药降解酶及其基因工程研究进展[J]. 生物技术通报, 2003, 4(5): 9-12
- WU Ningfeng, LIANG Guoyi, FAN Yunliu, et al. Research progress of organophosphorus pesticide degrading enzymes and their genetic engineering [J]. Biotechnology Bulletin, 2003, 4(5): 9-12
- [8] 周先容, 谭仟, 母健菲, 等. 泡菜源乳酸菌的分离筛选及其对小鼠氧化应激水平的改善作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 17-25
- ZHOU Xianrong, TAN Qian, MU Jianfei, et al. Isolation and screening of lactic acid bacteria from pickle and its improvement on oxidative stress level in mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 17-25
- [9] 蔚晓敏. 长寿老人源植物乳杆菌改善小鼠衰老的益生性评价及其机制探究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020
- WEI Xiaomin. Probiotic evaluation and mechanism of *Lactobacillus plantarum* from long-lived old people on aging mice [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020
- [10] 马昊楠. 农药残留与人体健康-警惕有机磷农药危害[J]. 首都医药, 2014, 21(21): 24-25
- MA Haonan. Pesticide residues and human health: be alert to the harm of organophosphorus pesticide [J]. Capital Medicine, 2014, 21(21): 24-25
- [11] 杨勇. 高压氧对急性有机磷中毒大鼠脑保护作用的实验研究[D]. 遵义: 遵义医学院, 2014
- YANG Yong. Experimental study on the brain protective effect of hyperbaric oxygen on rats with acute organophosphorus poisoning [D]. Zunyi: Zunyi Medical College, 2014
- [12] Bouhafis L, Moudilou E N, Exbrayat J M, et al. Protective effects of *Lactobacillus plantarum* BJ0021 on liver and kidney oxidative stress and induced by endosulfan in pregnant rats [J]. Renal Failure, 2015, 37(8): 1370-1378
- [13] Feng Z, Sun X, Yang J, et al. Metabonomics analysis of urine and plasma from rats given long-term and low-dose dimethoate by ultra-performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Chemico-Biological Interactions, 2012, 199(3): 143-153
- [14] Cho K M, Math R K, Islam S M A, et al. Biodegradation of chlorpyrifos by lactic acid bacteria during kimchi fermentation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(5): 1882-1889
- [15] Chen Y, Li C, Song P, et al. Hepatic and renal tissue damage in Balb/c mice exposed to diisodecyl phthalate: the role of oxidative stress pathways [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 132: 110600

---

(上接第 316 页)

- [34] 静玮, 苏子鹏, 刘义军, 等. HS-SPME/GC-MS 测定澳洲坚果焙烤香气成分[J]. 食品工业, 2016, 37(9): 241-245
- JING Wei, SU Zipeng, LIU Yijun, et al. Determination of aroma compounds in roasted macadamia nuts by HS-SPME/GC-MS [J]. The Food Industry, 2016, 37(9): 241-245