

牛磺酸对甲醛及苯系物混合暴露所致幼年大鼠学习记忆功能损伤的保护作用

高婷, 高永超, 杨朝, 邓辉, 刘志永, 郭旺旺, 高俊宏

兵器工业卫生研究所毒理技术研究中心, 陕西 西安 710065



DOI 10.11836/JEOM22428

摘要:

[背景] 甲醛及苯系物作为常见的环境污染物, 其神经毒性引起了人们的广泛关注。

[目的] 探讨牛磺酸对甲醛及苯系物混合暴露所致幼年大鼠认知功能损伤的改善作用。

[方法] 将 24 只 4 周龄的 SD 大鼠随机分为 4 组, 每组 6 只, 分别为对照组(洁净空气)、模型组($5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 甲醛+ $5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 苯+ $10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 甲苯+ $10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 二甲苯)、低剂量牛磺酸干预组($5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 牛磺酸+甲醛及苯系物混合物)和高剂量牛磺酸干预组($10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 牛磺酸+甲醛及苯系物混合物), 经气溶胶口鼻式吸入暴露 28 d。暴露染毒结束后, 通过 Morris 水迷宫实验测定动物的学习记忆功能。行为测试结束后, 将大鼠麻醉处死, 取脑组织用于组织病理学及分子生物学检测。采用 Tunel 检测海马 CA1 区神经细胞凋亡率, 采用 Western blotting 检测海马组织中凋亡相关蛋白半胱天冬酶 3(caspase 3)、bax、bcl-2 的表达量。

[结果] 吸入染毒期间各组大鼠的生长发育均未受到显著影响。Morris 水迷宫实验期间, 在训练的第 3 天—第 5 日均发现牛磺酸干预组大鼠的逃避潜伏期与对照组无差异($P>0.05$), 而模型组大鼠的逃避潜伏期明显高于对照组($P<0.05$); 高剂量牛磺酸干预组大鼠穿越平台次数、目标象限停留时间均与对照组无差异($P>0.05$), 而模型组、低剂量牛磺酸干预组大鼠穿越平台次数、目标象限停留时间均明显低于对照组($P<0.05$)。对照组、模型组、低剂量和高剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率分别为 5.11%、18.87%、9.39%、4.63%, 模型组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率高于对照组、低剂量和高剂量牛磺酸干预组($P<0.05$)。低剂量和高剂量牛磺酸干预组大鼠海马中 caspase 3、bax、bcl-2 蛋白表达量与对照组相比均无差异($P>0.05$); 而模型组大鼠海马中 caspase 3、bax 蛋白表达量均高于对照组、低剂量和高剂量牛磺酸干预组($P<0.05$), bcl-2 蛋白表达量低于对照组($P<0.05$)。

[结论] 甲醛及苯系物混合暴露会损害幼年大鼠的学习记忆能力, 并增加海马 CA1 区神经细胞的凋亡; 而牛磺酸可改善受损情况。

关键词: 甲醛; 苯系物; 牛磺酸; 挥发性有机物; 学习记忆功能; 凋亡; 神经保护作用

Protective effects of taurine on learning and memory impairment after exposure to formaldehyde and benzene analogues in young rats GAO Ting, GAO Yongchao, YANG Zhao, DENG Hui, LIU Zhiyong, GUO Wangwang, GAO Junhong (Toxicology Research Center, Institute for Hygiene of Ordnance Industry, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract:

[Background] Formaldehyde and benzene homologues are common environmental pollutants, and their neurotoxicity has aroused widespread concern.

[Objective] To investigate the effect of taurine on cognitive impairment after exposure to formaldehyde and benzene analogues in young rats.

[Methods] Twenty four-week old SD rats were randomly divided into four groups, with six rats in each group: control group (clean air), model group ($5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ formaldehyde + $5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ benzene + $10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ toluene + $10\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ xylene), low-dose taurine intervention group ($5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ taurine + mixture of formaldehyde and benzene analogues), and high-dose taurine intervention group ($10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ taurine + formaldehyde and mixture of benzene analogues), and the exposure was administered by oral and nasal aerosol inhalation for 28 d. At the end of exposure, the learning and memory ability of rats in each group was measured by Morris water maze test. After the behavioral

基金项目

陕西省自然科学基金青年项目(2021JQ-934)

作者简介

高婷(1995—), 女, 硕士, 工程师;

E-mail: 577953918@qq.com

通信作者

高俊宏, E-mail: gaoxing2285@126.com

作者中包含编委会成员 无

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2022-10-29

录用日期 2023-02-09

文章编号 2095-9982(2023)05-0589-06

中图分类号 R114

文献标志码 A

►引用

高婷, 高永超, 杨朝, 等. 牛磺酸对甲醛及苯系物混合暴露所致幼年大鼠学习记忆功能损伤的保护作用 [J]. 环境与职业医学, 2023, 40(5): 589-594.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22428

Funding

This study was funded.

Correspondence to

GAO Junhong, E-mail: gaoxing2285@126.com

Editorial Board Members' authorship No

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2022-10-29

Accepted 2023-02-09

► To cite

GAO Ting, GAO Yongchao, YANG Zhao, et al. Protective effects of taurine on learning and memory impairment after exposure to formaldehyde and benzene analogues in young rats[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(5): 589-594.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22428

test, the rats were anesthetized and neutralized, and the brain tissue was harvested for histopathological and molecular biological tests. The apoptosis rate of neurons in hippocampal CA1 area was detected by Tunel assay, and the expression levels of apoptosis-related proteins such as caspase 3, bax, and bcl-2 in hippocampal tissue were detected by Western blotting.

[Results] The growth and development of rats in each group were good during inhalation. During the Morris water maze experiment, the escape latencies of rats in the taurine intervention groups were not different from that in the control group ($P > 0.05$) from day 3 to day 5 of training, while the escape latency of rats in the model group was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$). The number of crossing platform and the target quadrant residence time in the high-dose taurine intervention group were not different from those in the control group ($P > 0.05$), while the two variables in the model group and low-dose taurine intervention group were significantly lower than those in the control group ($P < 0.05$). The apoptotic rates of neurons in the hippocampal CA1 area of rats in the control group, model group, and low-dose and high-dose taurine intervention groups were 5.11%, 18.87%, 9.39%, and 4.63%, respectively. The apoptotic rate in the model group was higher than those in the control group and low-dose and high-dose taurine intervention groups ($P < 0.05$). The expression levels of caspase 3, bax, and bcl-2 in the hippocampus of rats in the low-dose and high-dose taurine intervention groups showed no difference compared with the control group ($P > 0.05$). The expression levels of caspase 3 and bax in the model group were higher than those in the control group and low-dose or high-dose taurine intervention groups ($P < 0.05$), and the expression levels of bcl-2 was lower ($P < 0.05$).

[Conclusion] The mixed exposure to formaldehyde and benzene analogues can damage the learning and memory ability of young rats, and increase the apoptosis of neurons in hippocampal CA1 region. Taurine can reverse the damage induced by formaldehyde and benzene analogues.

Keywords: formaldehyde; benzene homologues; taurine; volatile organic compounds; learning and memory ability; apoptosis; neuroprotection

甲醛及苯系物是常见的室内污染物^[1], 长期接触可诱发头痛、失眠、焦虑、认知缺陷、记忆力和注意力困难等神经毒性症状, 其神经毒性已成为重要的公共卫生问题。目前认为, 机体在长期低剂量接触甲醛及苯系物后, 会出现记忆能力降低、反应速度减慢、感觉异常等认知能力下降的表现^[2], 这种智力和认知能力损伤在儿童及青少年中尤为突出^[3]。如何改善甲醛及苯系物引起的神经毒性和认知功能损伤亟待解决。在药物防治方面, 神经兴奋药物与激素类药物如安非他命、地塞米松等对认知功能损伤具有一定保护作用, 但其副作用较大, 无法作为常规预防药物^[4]。探索如何通过膳食途径有效减轻甲醛及苯系物对脑组织的损伤, 对于改善儿童智力和认知能力具有重要意义。

牛磺酸在动物细胞内分布广泛且具有丰富的生物功能^[5], 可以通过调节特定蛋白质参与神经系统的再生^[6], 改善胎儿大脑发育^[7]。本研究旨在评估牛磺酸在甲醛及苯系物混合暴露所致幼年大鼠学习记忆功能受损中的神经保护作用, 并探索与牛磺酸改善行为障碍有关的潜在分子机制。

1 对象与方法

1.1 实验动物

24 只健康雄性 SD 大鼠, SPF 级, 4 周龄, 购自斯贝福(北京)生物技术有限公司, 生产许可证: SCXK(京)2019-0010。动物饲养于屏障系统内(实验动物使用许

可证号: SYXK(陕)2021-008), 12 h 明/暗交替。动物自由摄食、饮水。所有动物检疫合格后开始实验。该实验经本单位实验动物管理和使用委员会批准, 批准号: IACUC202104。

1.2 动物造模

将 24 只动物随机分为 4 组, 每组 6 只, 分别为对照组、模型组、低剂量牛磺酸干预组($5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 牛磺酸+甲醛及苯系物混合物)和高剂量牛磺酸干预组($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 牛磺酸+甲醛及苯系物混合物)。染毒装置为 TSE 吸入染毒系统(德国 TSE), 动物均使用动式吸入染毒暴露 4 周, 每周 5 d, 每天 4 h, 对照组动物口鼻式吸入洁净空气, 模型组、低剂量牛磺酸干预组和高剂量牛磺酸干预组动物口鼻式吸入混合液体气溶胶($5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 甲醛+ $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 苯+ $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 甲苯+ $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 二甲苯), 实验持续 28 d。低、高剂量牛磺酸干预组动物饮水中分别给予 5、 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 牛磺酸(食品级, 江苏鑫瑞), 从造模开始给予直至造模结束(牛磺酸剂量设置参考 Wu 等^[8]的设计)。对照组与模型组正常饮水。

1.3 Morris 水迷宫实验

吸入染毒结束后, 对所有动物进行 Morris 水迷宫测试。实验方法参考研究^[9], 实验周期为 7 d。实验期间动物均放在行为学测试室喂养, 使其适应实验环境。第 1 天, 将动物自任意象限放入水池中游泳 2 min。定位导航实验: 共 5 d(第 2 天—第 6 天), 每天固定时间进行训练, 记录动物爬上站台的时间(逃避潜伏期);

空间探索实验: 第 7 天, 撤去平台, 将动物从第 II 象限放入水池, 记录动物在 120 s 内在目标象限(第 IV 象限)的停留时间和穿越平台位置的次数。

1.4 脑组织 TUNEL 检测

Morris 水迷宫实验结束后, 将大鼠麻醉处死, 解剖分离脑组织用于组织病理学及分子生物学检测。脑组织 TUNEL 检测按照 TUNEL 检测试剂盒(武汉赛维尔)的说明书步骤进行。将石蜡固定好的脑组织脱水、浸蜡、包埋、切片、脱蜡, 经蛋白酶 K 通透, 过氧化氢(H_2O_2)灭活组织内源的过氧化氢酶后, 室温平衡 10 min, 末端脱氧核苷酸转移酶(TdT)标记反应, 37 °C 孵育 1 h, 霉亲和素标记的辣根过氧化物酶(SA-HRP) 37 °C 孵育 30 min, 二氨基联苯胺(DAB)显色, 苏木素染核, 无水乙醇和二甲苯透明样品, 中性树胶封片, 光学显微镜镜下观察。每个样品随机数 4 个视野, 按照公式计算凋亡率。凋亡率=[凋亡细胞数/(凋亡细胞数+正常细胞数)] $\times$ 100%。

1.5 海马组织凋亡相关蛋白表达检测

分离大鼠海马组织, 并准确称取 20 mg, 加入含蛋白酶抑制剂的裂解液 200 μ L 进行组织破碎。4 °C, 12 000 r $\cdot$ min⁻¹(离心半径为 8.27 cm)离心 15 min, 取上清液, 用二喹啉甲酸(BCA)试剂盒进行蛋白定量。按照 1:4 充分混合样品和 5 $\times$ 上样缓冲液, 100 °C 水浴煮沸 5 min。使用 15%十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)分离蛋白酶半胱天冬酶 3 蛋白(caspase 3; 美国 CST, 货号#9662)、促凋亡蛋白 Bax(美国 CST, 货号#2772)、抑凋亡蛋白 bcl-2(英国 Abcam, 货号 ab194583)、内参蛋白 β -tubulin(英国 Abcam, 货号 ab118207), 电转移至 0.22 μ m 聚偏二氟乙烯(PVDF)膜上, 放入 5%脱脂牛奶中室温封闭 2 h, 一抗(抗体稀释比例均为 1:2000)4 °C 过夜孵育。次日 Tris-HCl+Tween 缓冲盐溶液(TBST)洗膜, SA-HRP 标记的二抗(二抗稀释比例为 1:4 000)室温孵育 1 h, TBST 洗膜后用增强型化学发光剂(ECL)显影。用蛋白凝胶成像系统拍照后, 进行灰度分析。

1.6 统计分析

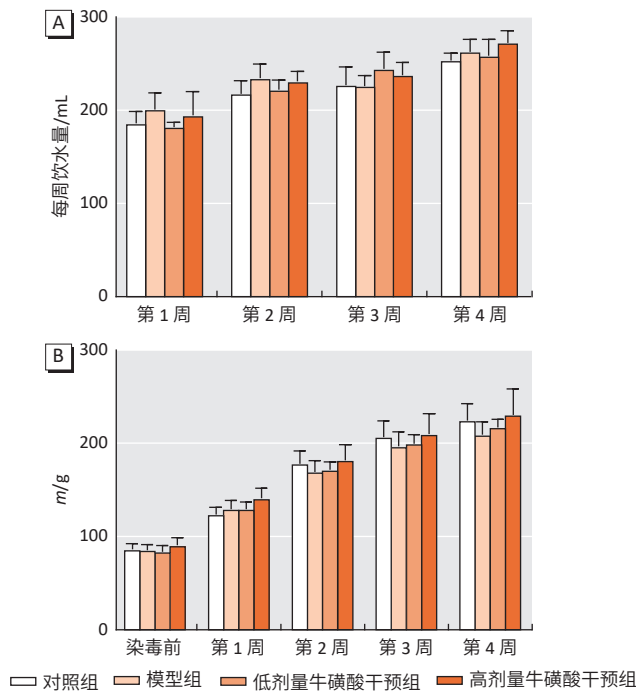
经检验, 所有数据均服从正态分布, 且方差齐。水迷宫实验数据采用重复测量的方差分析进行检验, 其余数据采用单因素方差分析, 两两比较采用最小显著差异(least significant difference, LSD)分析, 检验水准 α =0.05。

2 结果

2.1 实验期间动物生长发育情况

实验期间各组动物的活动和饮食正常, 无异常表

现。图 1 结果显示: 各组大鼠每周体重及饮水量差异均无统计学意义($P>0.05$)。实验期间各组动物每天牛磺酸摄入量见表 1。



[注] A 为实验期间各组大鼠每周饮水量; B 为实验期间各组大鼠体重。

图 1 甲醛及苯系物混合暴露实验期间各组大鼠生长发育情况 (n=6)

Figure 1 Growth and development of rats in each group during the mixed exposure experiment of formaldehyde and benzene analogues (n=6)

表 1 甲醛及苯系物混合暴露实验期间各组动物每天牛磺酸摄入量 ($\bar{x} \pm s$, n=6)

Table 1 Daily taurine intake of rats in each group during the mixed exposure experiment of formaldehyde and benzene analogues ($\bar{x} \pm s$, n=6)

单位: g $\cdot$ kg ⁻¹				
组别	第1周	第2周	第3周	第4周
低剂量牛磺酸干预组	0.97 $\pm$ 0.06	0.92 $\pm$ 0.06	0.87 $\pm$ 0.06	0.85 $\pm$ 0.07
高剂量牛磺酸干预组	1.76 $\pm$ 0.05	1.73 $\pm$ 0.08	1.63 $\pm$ 0.18	1.71 $\pm$ 0.21

2.2 学习记忆功能变化

Morris 水迷宫实验中逃避潜伏期数据结果显示: 随训练时间延长, 各组大鼠的逃避潜伏期有下降趋势(见表 2)。测试第 1 天, 各组大鼠的逃避潜伏期无明显差异($P>0.05$); 第 2 天, 高剂量牛磺酸干预组大鼠的逃避潜伏期明显低于对照组和模型组($P<0.05$); 第 3 天, 模型组大鼠的逃避潜伏期明显高于对照组($P<0.05$), 其余 3 组间无明显差异($P>0.05$); 第 4 天,

模型组大鼠的逃避潜伏期明显高于对照组、低剂量牛磺酸干预组、高剂量牛磺酸干预组($P<0.05$), 其余 3 组间无明显差异($P>0.05$); 第 5 天, 模型组大鼠的逃避潜伏期明显高于对照组($P<0.05$), 其余 3 组间无明显差异($P>0.05$)。模型组、低剂量牛磺酸干预组大鼠

穿越平台位置次数、在目标象限停留的时间均明显低于对照组($P<0.05$), 高剂量牛磺酸干预组和对照组大鼠穿越平台次数和目标象限停留时间之间均无明显差异($P>0.05$)。

表 2 甲醛及苯系物混合暴露后各组实验动物 Morris 水迷宫实验结果 ($\bar{x} \pm s$, $n=6$)

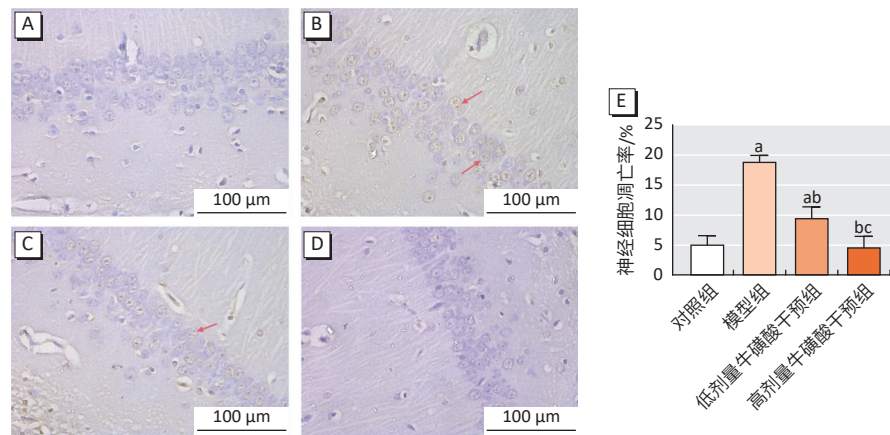
组别	逃避潜伏期/s					穿越平台次数/次	目标象限停留时间/s
	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天		
对照组	54.01±10.81	38.70±11.11	16.21±6.88	13.34±4.04	12.57±5.69	5.33±0.52	34.22±7.43
模型组	57.25±12.35	48.05±13.29	33.80±6.63 ^a	41.04±18.65 ^a	27.38±12.09 ^a	3.33±1.37 ^a	32.06±6.43 ^a
低剂量牛磺酸干预组	56.47±6.46	36.75±9.75	24.80±16.53	20.08±9.77 ^b	20.77±12.01	3.67±0.52 ^a	29.27±5.43 ^a
高剂量牛磺酸干预组	55.16±11.99	25.72±7.04 ^{ab}	21.94±8.95	12.86±3.59 ^b	18.39±4.65	4.67±0.52	32.51±3.23

[注] a: 与对照组比较, $P<0.05$; b: 与模型组比较, $P<0.05$ 。

2.3 海马神经元凋亡情况

Tunel 染色显示: 对照组和高剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区细胞核大多呈蓝色, 为凋亡阴性细胞; 模型组、低剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区细胞核大多呈棕黄色, 为凋亡阳性细胞(图 2A—D)。统计分析结果发现(图 2E), 对照组、模型组、低剂量和高剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率分

别为 5.11%、18.87%、9.39%、4.63%。模型组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率高于对照组、低剂量和高剂量牛磺酸干预组($P<0.05$), 低剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率高于对照组但低于模型组($P<0.05$), 高剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率低于模型组、低剂量牛磺酸干预组($P<0.05$)。



[注] A、B、C、D 分别为对照组、模型组、低剂量牛磺酸干预组、高剂量牛磺酸干预组大鼠海马 CA1 区 Tunel 染色结果图, 红色箭头指示凋亡阳性细胞; E 为各组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡率。a: 与对照组比较, $P<0.05$; b: 与模型组比较, $P<0.05$; c: 与低剂量牛磺酸干预组比较, $P<0.05$ 。

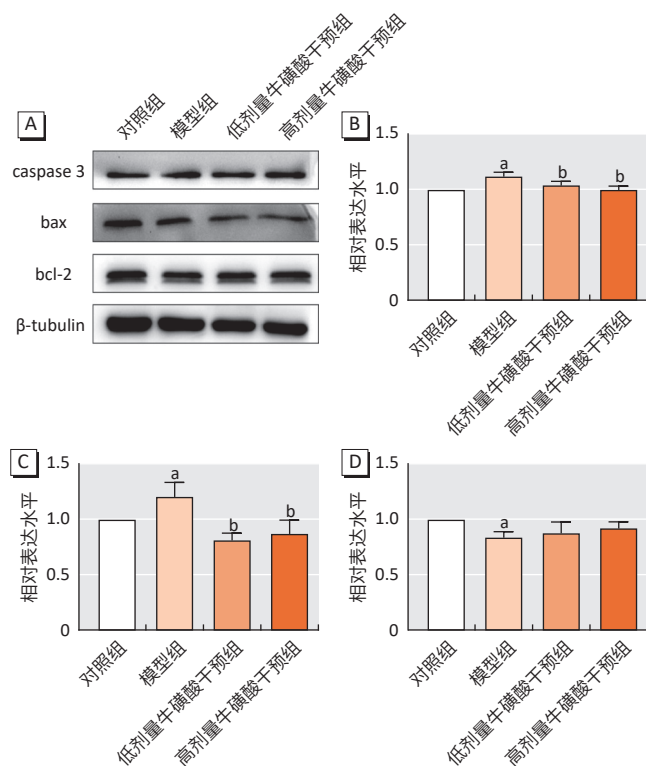
图 2 甲醛及苯系物混合暴露后各组大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡情况 ($n=6$)

Figure 2 Apoptosis of neurons in hippocampal CA1 area of rats in each group after mixed exposure to formaldehyde and benzene analogues ($n=6$)

2.4 海马组织中凋亡相关蛋白表达变化

与对照组相比, 低剂量和高剂量牛磺酸干预组大鼠海马中 caspase 3、bax、bcl-2 蛋白表达量均无统计学差异($P>0.05$), 模型组大鼠海马中 caspase 3、bax

蛋白表达量均升高($P<0.05$), bcl-2 蛋白表达降低($P<0.05$); 且低剂量和高剂量牛磺酸干预组大鼠海马中 caspase 3、bax 蛋白表达量均低于模型组($P<0.05$)。见图 3。



[注] A 为凋亡相关蛋白电泳图; B、C、D 分别为 caspase 3、bax、bcl-2 的灰度统计结果。a: 与对照组比较, $P < 0.05$; b: 与模型组比较, $P < 0.05$ 。

图3 甲醛及苯系物混合暴露后大鼠海马组织中 caspase 3、bax、bcl-2 的蛋白表达量 ($n=6$)

Figure 3 Protein expression levels of caspase 3, bax, and bcl-2 in rat hippocampus after mixed exposure to formaldehyde and benzene analogues ($n=6$)

3 讨论

甲醛、苯、甲苯、二甲苯是室内污染物的主要成分,属于挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs),其中甲醛是最严重的污染物^[10]。现代人群尤其是儿童多数时间都是在室内度过的^[1],儿童由于毒性动力学、吸收、代谢和排泄方面的差异以及代谢酶系统不成熟等因素,对环境污染物的脆弱性不同于成人^[11]。已有研究表明,高剂量甲醛急性吸入暴露可诱发昆明小鼠的认知缺陷,对海马区域造成损伤,导致学习记忆障碍^[12]。甲苯也是一种众所周知的神经毒素^[13],对青少年影响尤为严重。本实验以幼年大鼠为研究对象,采用甲醛及苯系物混合进行为期 28 d 的动态吸入染毒,研究其对幼年大鼠学习记忆功能的影响并探究牛磺酸的神经保护作用。

Wang 等^[14]发现急性或长期吸入多种 VOCs 后小鼠的逃避潜伏期增加,目标象限停留时间减少。本实验中,甲醛及苯系物混合暴露组大鼠的逃避潜伏期增加,穿越平台的次数、目标象限停留的时间显著减少,

说明甲醛及苯系物混合暴露会损害大鼠的学习记忆功能,与前述研究结果相吻合。牛磺酸是一种广泛的细胞内 β 氨基酸,具有抗氧化和神经保护特性^[15-16]。采用高剂量牛磺酸饮水干预后,模型组大鼠的学习记忆能力与对照组无明显差异,表明高剂量牛磺酸可以改善 VOCs 导致的神经毒性。

海马 CA1 区是学习和记忆活动的重要部位^[17],Yu 等^[18]研究发现,大鼠海马神经元凋亡会导致学习和记忆缺陷。本实验检测了海马 CA1 区神经细胞凋亡情况及海马组织中凋亡相关蛋白 caspase 3、bax、bcl-2 蛋白的表达水平,发现牛磺酸干预可减弱甲醛及苯系物混合暴露引起的海马 CA1 区神经细胞凋亡,抑制 caspase 3 和 Bax 的表达。以上结果表明,牛磺酸可抑制甲醛及苯系物混合暴露引起的海马神经细胞凋亡,发挥神经保护作用。

综上,本研究结果表明,甲醛及苯系物混合暴露会使幼年大鼠海马 CA1 区神经细胞凋亡增加,损害幼年大鼠的学习记忆功能,而牛磺酸可改善受损情况。推测牛磺酸可作为神经保护剂,改善儿童智力和认知功能。

参考文献

- [1] BRANCO PT B S, NUNES RA O, ALVIM-FERRAZ MC M, et al. Children's exposure to indoor air in urban nurseries - Part II: gaseous pollutants' assessment[J]. *Environ Res*, 2015, 142: 662-670.
- [2] WANG F, LI C, LIU W, et al. Oxidative damage and genotoxic effect in mice caused by sub-chronic exposure to low-dose volatile organic compounds[J]. *Inhal Toxicol*, 2013, 25(5): 235-242.
- [3] NAKAOKA H, HISADA A, MATSUZAWA D, et al. Associations between pre-natal exposure to volatile organic compounds and neurodevelopment in 12-month-old children: the Japan Environment and Children's Study (JECS) [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 794: 148643.
- [4] MAITI P, SINGH SB, MUTHURAJU S, et al. Hypobaric hypoxia damages the hippocampal pyramidal neurons in the rat brain[J]. *Brain Res*, 2007, 1175: 1-9.
- [5] MURAKAMI S. Role of taurine in the pathogenesis of obesity[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2015, 59(7): 1353-1363.
- [6] LIMA L, CUBILLOS S. Taurine might be acting as a trophic factor in the retina by modulating phosphorylation of cellular proteins[J]. *J Neurosci Res*, 1998, 53(3): 377-384.
- [7] LIU J, WANG HW, LIU F, et al. Antenatal taurine improves neuronal regeneration in fetal rats with intrauterine growth restriction by inhibiting the Rho-ROCK signal pathway[J]. *Metab Brain Dis*, 2015, 30(1): 67-73.
- [8] WU P, SHI X, LUO M, et al. Taurine inhibits neuron apoptosis in hippocampus of diabetic rats and high glucose exposed HT-22 cells via the NGF-Akt/Bad pathway[J]. *Amino Acids*, 2020, 52(1): 87-102.
- [9] SONG J, YUAN C, LI W, et al. APP palmitoylation is involved in the increase in $A\beta_{1-42}$ induced by aluminum[J]. *Brain Res*, 2022, 1774: 147709.
- [10] YE W, ZHANG X, GAO J, et al. Indoor air pollutants, ventilation rate deter-

- minants and potential control strategies in Chinese dwellings: a literature review[J]. *Sci Total Environ*, 2017, 586: 696-729.
- [11] ANNAVARAPU R N, KATHI S. Cognitive disorders in children associated with urban vehicular emissions[J]. *Environ Pollut*, 2016, 208: 74-78.
- [12] LI F, QIN Y, GONG S, et al. Learning and memory impairment of mice caused by gaseous formaldehyde[J]. *Environ Res*, 2020, 184: 109318.
- [13] DEMIR M, CICEK M, ESER N, et al. Effects of acute toluene toxicity on different regions of rabbit brain[J]. *Anal Cell Pathol*, 2017, 2017: 2805370.
- [14] WANG F, LI C, LIU W, et al. Potential mechanisms of neurobehavioral disturbances in mice caused by sub-chronic exposure to low-dose VOCs[J]. *Inhal Toxicol*, 2014, 26(4): 250-258.
- [15] FRANCESCON F, MÜLLER T E, BERTONCELLO K T, et al. Neuroprotective role of taurine on MK-801-induced memory impairment and hyperlocomotion in zebrafish[J]. *Neurochem Int*, 2020, 135: 104710.
- [16] ROSSATO R C, GRANATO A E C, PINTO J C, et al. Evaluation of taurine's neuroprotective effects on sh-sy5y cells under oxidative stress[J]. *bioRxiv*, 2021.
- [17] WHITE A M, MATTHEWS D B, BEST P J. Ethanol, memory, and hippocampal function: a review of recent findings[J]. *Hippocampus*, 2000, 10(1): 88-93.
- [18] YU Y, FENG L, LI J, et al. The alteration of autophagy and apoptosis in the hippocampus of rats with natural aging-dependent cognitive deficits[J]. *Behav Brain Res*, 2017, 334: 155-162.
- (英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)

· 告知栏 ·

《环境与职业医学》审稿政策和同行评议过程

审稿政策

①提交给《环境与职业医学》的稿件首先由科学编辑评估,并根据以下标准确定是否适合同行评审:主题是否在《环境与职业医学》涵盖范围内;研究的原创性;研究结果在该领域取得实质性突破的程度;稿件文字重复率低于 10%;

②符合《环境与职业医学》标准的论文将分配给 2~3 位专业同行审理;

③通过同行评审并修改的稿件将由常务编委会委员终审,责任编辑根据终审意见决定稿件处理方式。经修改完善后的稿件进入待发稿编辑处理阶段,排版后按序刊出。

同行评议过程

通过科学编辑评估的稿件将进入同行评议过程。由稿件责任编辑选择审稿人,审稿人有可能从编委会委员中选出,也可能来自相关领域专家,或来自投稿者推荐。所有论文均以“单盲”方式经过严格的同行评审。根据审稿人对稿件的意见及编辑评估,予以修改、复审或退稿。同行评议通过并经过修改后的稿件将由常务编委会终审,责任编辑根据终审意见决定稿件处理方式(修后录用、退稿)。

《环境与职业医学》编辑部

2023 年 5 月 25 日