

油茶桔饼提取物主要生物活性成分及其对镉致大鼠学习记忆损伤的影响

古军旺, 周玉莹, 金海霞, 陈三仟, 曾磊, 王小银,
郝明, 吴春眉

(赣南医学院 公共卫生与健康管理学院, 江西 赣州 341000)

摘要: 研究油茶桔饼提取物的主要生物活性成分及其对镉致氧化应激和学习记忆损伤的保护作用。采用 UPLC MS/MS 分析油茶桔饼提取物的主要生物活性成分。将 9 周龄 SD 大鼠随机分为对照组 (0.9% NaCl 溶液灌胃 + 0.9% NaCl 溶液腹腔注射)、染毒组 (0.9% NaCl 溶液灌胃 + 0.1% CdCl₂ 溶液腹腔注射)、干预组 (1% 油茶桔饼提取物溶液灌胃 + 0.1% CdCl₂ 溶液腹腔注射), 按每天灌胃, 3 d 腹腔注射停 1 d 方式连续饲养 31 d 后, 进行水迷宫试验, 评估各组大鼠的学习记忆功能, 计算脏器系数, 并检测大鼠血清、肾脏、肝脏和大脑中谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH - Px) 活性、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性和丙二醛 (MDA) 含量。结果表明: 油茶桔饼提取物主要含 15 种生物活性成分; 与对照组相比, 染毒组大鼠的肾脏和肝脏的脏器系数极显著增加 ($P < 0.001$), 血清 GSH - Px 活性极显著降低 ($P < 0.001$), 肝脏 SOD 活性显著降低 ($P < 0.05$), 大鼠寻找平台的潜伏期显著延长 ($P < 0.05$); 使用油茶桔饼提取物干预后, 这些指标均得到一定程度的恢复。因此, 油茶桔饼提取物可以在一定程度上抑制镉诱导的氧化应激和认知功能障碍。

关键词: 镉; 油茶桔饼提取物; 氧化应激; 学习记忆

中图分类号: TS229; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 7969 (2022) 03 - 0065 - 06

Main bioactive compositions of oil - tea camellia seed cake extract and its effect on cadmium induced learning - memory impairment in rats

GU Junwang, ZHOU Yuying, JIN Haixia, CHEN Sanqian, ZENG Lei,
WANG Xiaoyin, HAO Ming, WU Chunmei

(School of Public Health and Health Management, Gannan Medical University, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: The main bioactive compositions of oil - tea camellia seed cake extract and its effect on protecting organs against oxidative stress and ameliorating the learning - memory impairment induced by cadmium were explored. UPLC MS/MS was used to analyze the main bioactive compositions. Nine - week old SD rats were randomly divided into control group (0.9% NaCl administration + 0.9% NaCl intraperitoneal injection), exposure group (0.9% NaCl administration + 0.1% CdCl₂ intraperitoneal injection) and intervention group (1% oil - tea camellia seed cake extract administration + 0.1% CdCl₂ intraperitoneal injection). And the rats were fed by daily gavage and 3 d intraperitoneal injection with

1 d off for 31 d, then the Morris water maze test was used to assess the learning - memory function of the rats in the different groups, and the organ coefficients were calculated, and indicators of oxidation, including glutathione peroxidase (GSH - Px) activity, superoxide dismutase (SOD) activity and malondialdehyde (MDA) content of serum, kidney, liver and brain were

收稿日期: 2021 - 03 - 23; 修回日期: 2021 - 09 - 29

基金项目: 江西省教育厅科学技术研究项目 (GJJ201547, GJJ190814); 赣南医学院科研课题 (YB201818, ZD201907)

作者简介: 古军旺 (1989), 男, 助教, 硕士, 研究方向为公共卫生与预防医学 (E-mail) gj_one@126.com。

通信作者: 吴春眉, 讲师, 博士 (E-mail) wuchunmei@126.com。

determined. The results showed that oil – tea camellia seed cake extract contained 15 kinds of bioactive components. Compared with the control group, the organ coefficient of kidney and liver in the exposure group rats increased very significantly ($P < 0.001$), the activities of serum GSH – Px and liver SOD decreased very significantly ($P < 0.001$) and significantly ($P < 0.05$) respectively, and the latency of looking for platform was prolonged significantly ($P < 0.05$). After the intervention of oil – tea camellia seed cake extract, these indexes were restored to a certain extent. Therefore, oil – tea camellia seed cake extract could inhibit cadmium induced oxidative stress and learning – memory impairment to a certain extent.

Key words: cadmium; oil – tea camellia seed cake extract; oxidative stress; learning – memory

油茶(*Camellia oleifera* Abel.)为山茶科植物,主要分布在我国中部和南部。油茶籽榨油后的残渣被称为油茶枯饼,含有茶多酚、角鲨烯、皂苷、胡萝卜素和维生素等,具有抗炎、抗氧化、抑菌和抗肿瘤的生物学活性^[1],但其主要成分及药理作用有待进一步明确。镉(Cd)是一种有毒的环境重金属,因其分布广泛且具有高度的生物蓄积性和强大的生物毒性,受到人们的关注^[2]。镉的毒理机制尚不明确,但学者普遍认为,镉可引起与肾脏、肝脏、大脑和其他系统器官氧化应激相关的损害^[3-4],是儿童学习记忆损伤及老年人神经退行性病变的致病因子之一^[5-6]。因此,本研究拟分析油茶枯饼提取物的主要生物活性成分,初步探讨油茶枯饼提取物对镉诱导的氧化应激损伤和认知损伤的干预作用,为油茶的营养及药理研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

油茶枯饼提取物,由赣南医学院科研中心刘志平教授惠赠。9周龄 SPF 级 SD 大鼠,来自赣南医学院动物实验中心,雌雄随机,体重(200 ± 30)g。氯化镉(CdCl₂,优级纯,规格 Q/12NK 4018 – 2003)、氯化钠(优级纯),天津光复科技发展有限公司;蛋白定量试剂盒(双缩脲法,批号 20190415)、超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒(WST – 1 法,批号 20190417)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH – Px)试剂盒(批号 20190415)、丙二醛(MDA)试剂盒(TBA 法,批号 20190415),南京建成生物工程研究所。

UPLC Q – Exactive – Orbitrap MS/MS,美国 Thermo Scientific 公司;莫里斯水迷宫(MWM, EthoVision XT 14.0, Noldus Information Technology);酶标仪,美国 Epoch 公司;LabTech 紫外可见分光光度计。

1.2 试验方法

1.2.1 油茶枯饼提取物的生物活性成分分析

采用 UPLC MS/MS 分析油茶枯饼提取物的生

物活性成分。

取一定量油茶枯饼提取物,用 50% 甲醇溶解,过滤,离心(4 000 r/min, 15 min),上清样进样测定。

色谱条件: ACQUITY UPLC BEH C₁₈ 色谱柱(100 mm × 2.1 mm, 1.7 μm);流动相 A 为乙腈,流动相 B 为 0.2% 甲酸水溶液;梯度洗脱程序为 0 ~ 4 min 6% A, 4 ~ 9 min 6% ~ 11% A, 9 ~ 20 min 11% A, 20 ~ 34 min 11% ~ 20% A, 34 ~ 48 min 20% ~ 40% A, 48 ~ 50 min 40% A, 50 ~ 60 min 40% ~ 90% A, 60 ~ 63 min 90% ~ 100% A, 63 ~ 71 min 100% A;洗脱流速 0.3 mL/min;柱温 35 °C;进样量 5 μL,进样质量浓度 10 μg/mL。

质谱条件:扫描范围(*m/z*) 100 ~ 1 500;电喷雾电离(ESI)源为正或负模式;毛细管温度 320 °C;鞘气流量 45 arb;辅助气体流量 15 arb;探头温度 350 °C;正模式喷雾电压 3.2 kV,负模式喷雾电压 3.5 kV;全 MS 扫描模式分辨率 70 000,MS/MS 扫描模式分辨率 17 500。

1.2.2 试验动物饲养及分组

动物饲养环境保持清洁安静,相对湿度在 50% ~ 70%,温度(21 ± 1)°C,自然节律采光(12 h: 12 h)。采用超纯水为大鼠日常饮用水,大鼠饲料来自北京科澳协力饲料有限公司。根据文献[7 – 9]和预试验选择药物的剂量,灌胃 1% 的油茶枯饼提取物溶液,剂量为 100 mg/kg,腹腔注射 0.1% 的 CdCl₂ 溶液(剂量为 1.5 mg/kg),使用前将所有制备的溶液过滤。将大鼠适应性喂养 7 d 后随机分组,每组 12 只大鼠:对照组动物接受 0.9% NaCl 溶液灌胃和 0.9% NaCl 溶液腹腔注射;染毒组动物灌胃 0.9% NaCl 溶液并腹腔注射 0.1% CdCl₂ 溶液;干预组动物灌胃 1% 油茶枯饼提取物溶液并腹腔注射 0.1% CdCl₂ 溶液。大鼠每天给予灌胃,同时连续 3 d 接受腹腔注射,停 1 d,再连续注射 3 d,停 1 d,重复该过程,直至饲养 31 d 结束。31 d 后进行水迷宫试验,期间正常喂食不给予任何措施,之后进行各指标的测定。

1.2.3 水迷宫试验

水迷宫试验持续4 d,记录大鼠在90 s内发现并停留在平台上所需的潜伏期,如果大鼠在90 s内未能找到平台,则将其引导到平台停留20 s,并将潜伏期记录为90 s。试验过程中室温保持在(23 ± 1)℃。

1.2.4 脏器系数的计算

通过腹腔内注射10%水合氯醛,剂量0.3 mL/100 g,麻醉大鼠,解剖后称重器官组织,并计算脏器系数(脏器系数为器官质量占大鼠质量的比例)。

1.2.5 氧化指标的测定

血清的制备:通过右股动脉采集血样(1~1.5 mL),不加抗凝剂。离心后,收集上层血清并保存在-80℃,备用。组织(肾脏、肝脏和大脑)样品的制

备:将0.2 g组织和0.86%冷盐水以料液比1:9混合,研磨制备为10%溶液,离心后,收集上清液,备用。

总蛋白含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量检测按照试剂盒说明书确定。

1.2.6 统计分析

用SPSS 21.0软件对数据进行统计分析,所得数据用“平均值 ± 标准差”表示,进行单因素方差分析,组间两两比较采用LSD法,所得数据在 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 油茶枯饼提取物的主要生物活性成分

表1为油茶枯饼提取物中的主要生物活性成分及相对含量。

表1 油茶枯饼提取物的主要生物活性成分及相对含量

编号	化合物	化学式	相对分子质量	相对含量/%
1	9,9a-二氢化萘[2,3-c][1,2]噁唑-3(1H)-酮 9,9a-Dihydronaphtho[2,3-c][1,2]oxazol-3(1H)-one	$C_{11}H_9NO_2$	187.063	0.41
2	2-(β-D-吡喃葡萄糖氧基)-3-苯丙酸 2-(beta-D-Glucopyranosyloxy)-3-phenylpropanoic acid	$C_{15}H_{20}O_8$	328.116	0.01
3	酸模叶蓼-2-甲基丁酰氧查耳酮 Melafolone	$C_{22}H_{24}O_7$	400.152	0.38
4	边缘鳞盖蕨苷 Marginatoside	$C_{33}H_{40}O_{20}$	756.211	8.16
5	花旗松素 Taxifolin	$C_{15}H_{12}O_7$	304.058	4.59
6	花青素鼠李葡萄糖苷 Keracyanin	$C_{27}H_{30}O_{15}$	594.158	1.58
7	花青素-3-O-葡萄糖苷 Kuromanin	$C_{21}H_{20}O_{11}$	448.100	0.75
8	山萘苷 Kaempferitrin	$C_{27}H_{30}O_{14}$	578.163	0.33
9	(5xi,9xi,13α,14β,17α,23R)-21,23-环氧树脂-7,20(22),24-三烯-3,21-二酮 (5xi,9xi,13alpha,14beta,17alpha,23R)-21,23-Epoxytanosta-7,20(22),24-triene-3,21-dione	$C_{30}H_{42}O_3$	450.313	0.44
10	(13Z,15E,17E,22E)-3α,29-二羟基-12-异臭椿酸-13,15,17,22,24-五乙烯 Stelletin J	$C_{30}H_{44}O_3$	452.328	3.55
11	(2R,3R,6aR,6bS,14bR)-4,4,6a,6b,11,12,14b-庚二醇-1,2,3,4,4a,5,6,6a,6b,7,8,14,14a,14b-四氢-2,3-吡二醇 (2R,3R,6aR,6bS,14bR)-4,4,6a,6b,11,12,14b-Heptamethyl-1,2,3,4,4a,5,6,6a,6b,7,8,14,14a,14b-tetradecahydro-2,3-picenediol	$C_{29}H_{42}O_2$	422.318	0.29
12	(2R)-2-[(2R,3R,3aR,9bR)-2-羟基-3a,7,9b-三甲基-6-(4-甲基-3-氧戊基)-2,3,3a,4,5,9b-六氢-1H-环戊二烯-3-萘基]-6-甲基-5-亚甲基庚酸 (2R)-2-[(2R,3R,3aR,9bR)-2-Hydroxy-3a,7,9b-trimethyl-6-(4-methyl-3-oxopentyl)-2,3,3a,4,5,9b-hexahydro-1H-cyclopenta[a]naphthalen-3-yl]-6-methyl-5-methyleneheptanoic acid	$C_{31}H_{46}O_4$	482.339	0.35

续表 1

编号	化合物	化学式	相对分子质量	相对含量/%
13	(16 β ,23R) - 16,23 - 环氧树脂 - 8,24 - 二烯 - 3 - 酮 (16 β ,23R) - 16,23 - Epoxylanosta - 8,24 - dien - 3 - one	C ₃₀ H ₄₆ O ₂	438.349	0.73
14	(6aR,6bS,14R,14aR,14bS) - 14 - 羟基 - 4,4,6a,6b,11,11,14b - 庚基 - 1,4a,5,6,6a,6b,7,9,10,11,12,14,14a,14b - 四氢 - 3,8(2H,4H) - 吡啶二酮 (6aR,6bS,14R,14aR,14bS) - 14 - Hydroxy - 4,4,6a,6b,11,11,14b - heptamethyl - 1,4a,5,6,6a,6b,7,9,10,11,12,14,14a,14b - tetradecahydro - 3,8(2H,4H) - picenedione	C ₂₉ H ₄₂ O ₃	438.313	0.33
15	丁基(7 β ,15 α) - 7 - 羟基 - 15 - 甲基 - 3,11,23 - 三氧化二苯醚 - 8 - 烯 - 26 - 酸酯 Butyl(7 β ,15 α) - 7 - hydroxy - 15 - methyl - 3,11,23 - trioxolanost - 8 - en - 26 - oate	C ₃₅ H ₅₄ O ₆	570.392	0.36

由表 1 可知,油茶枯饼提取物中包含多种生物活性成分,含量较高的有 15 种,尤其富含皂苷类物质。其中含 8.16% 边缘鳞盖蕨苷 (Marginatoside)、4.59% 花旗松素 (Taxifolin)、3.55% 三萜类化合物 Stelletin J、1.58% 花青素鼠李葡萄糖苷 (Keracyanin)、0.75% 花青素 - 3 - O - 葡萄糖苷 (Kuromanin)、0.73% (16 β ,23R) - 16,23 - 环氧树脂 - 8,24 - 二烯 - 3 - 酮等。皂苷类物质具有广泛的生物活性,在动物和人体中均表现出良好的抗氧化活性^[10-11]。

2.2 大鼠体重及脏器系数的变化(见图 1、图 2)

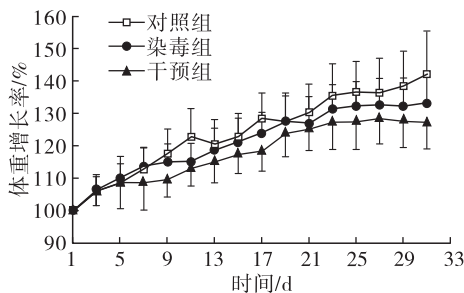
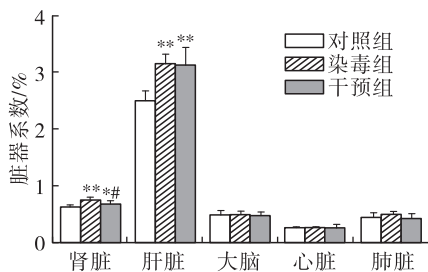


图 1 大鼠体重变化情况



注: * 表示与对照组比较 $P < 0.05$, ** 表示与对照组比较 $P < 0.001$; # 表示干预组与染毒组比较 $P < 0.05$ 。对照组 $n = 11$, 染毒组 $n = 11$, 干预组 $n = 8$ 。

图 2 大鼠脏器系数的变化

体重是大鼠生长发育的重要指标。染毒过程中大鼠活动性良好,摄食饮水正常,各组大鼠体重增长未见明显变化(见图 1)。由图 2 可知,与对照组相比,染毒组的肾脏和肝脏的脏器系数极显著增加

($P < 0.001$),而在采用油茶枯饼提取物干预后,肾脏脏器系数显示出一定的恢复效果($P < 0.05$)。研究表明,镉可对多个器官产生毒性作用,其会优先在肝脏和肾脏中蓄积,即使浓度很低也会导致肝脏和肾脏发生病理变化^[12-13]。在染毒组中,大鼠肾脏和肝脏脏器系数具有显著变化,而大鼠大脑、心脏和肺脏脏器系数与对照组、干预组相比无明显变化。说明肾脏和肝脏是镉毒性的重要靶器官,油茶枯饼提取物对镉诱导的脏器毒性有一定程度的抑制作用。

2.3 油茶枯饼提取物对镉致氧化损伤的影响

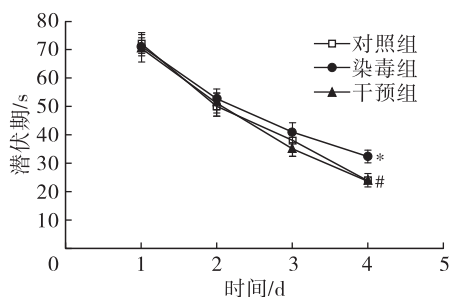
对血清、肾脏、肝脏和大脑中 GSH - Px 活性、SOD 活性、MDA 含量进行了测定,结果见表 2。由表 2 可知,与对照组相比,染毒组血清 GSH - Px 活性极显著降低($P < 0.001$),而干预组极显著恢复($P < 0.001$)。染毒组肝脏的 SOD 活性也显著降低($P < 0.05$),油茶枯饼提取物干预后肝脏的 SOD 活性显著恢复($P < 0.05$)。镉的氧化损伤毒性覆盖肾脏、肝脏、大脑和其他系统器官^[14-16]。研究表明,镉能与抗氧化酶(GSH - Px 和 SOD)中的金属产生竞争性取代作用,从而抑制这些酶的活性^[17]。同时,镉还是很强的脂质过氧化诱导剂,可以通过膜脂质的氧化应激进一步削弱体内抗氧化酶的活性^[18]。本研究结果显示镉进入血液循环后导致血清 GSH - Px 活性和肝脏 SOD 活性显著降低,这是镉诱导的氧化损伤毒性的敏感指标,镉诱导的脏器中 SOD 活性下降或许与其总蛋白含量(数据略)下降密切相关。同时也注意到,虽然 GSH - Px 活性、SOD 活性和 MDA 含量并非均在血清、肾脏、肝脏和大脑中都得到显著改变,但干预组施加油茶枯饼提取物后血清 GSH - Px 活性和肝脏 SOD 活性都得到了明显的修复,提示油茶枯饼提取物对镉诱导的氧化应激毒性或具有潜在抑制作用。

表2 油茶桔饼提取物对镉致氧化损伤的影响

组织	组别	氧化指标		
		GSH - Px 活性/(U/mg)	SOD 活性/(U/mg)	MDA 含量/(nmol/mg)
血清	对照组	764.54 ± 94.73	122.53 ± 22.52	6.54 ± 1.11
	染毒组	537.83 ± 156.48 **	124.74 ± 32.87	5.59 ± 2.45
	干预组	730.71 ± 75.51##	124.59 ± 24.41	6.44 ± 1.06
肾脏	对照组	313.64 ± 106.33	294.24 ± 70.27	2.12 ± 0.21
	染毒组	336.93 ± 71.37	309.89 ± 70.27	2.38 ± 0.54
	干预组	280.24 ± 35.70	312.35 ± 92.96	2.20 ± 0.41
肝脏	对照组	110.15 ± 28.62	94.61 ± 42.67	1.31 ± 0.56
	染毒组	90.92 ± 42.66	52.50 ± 46.11 *	1.59 ± 0.78
	干预组	95.94 ± 36.12	119.17 ± 24.90#	1.23 ± 0.54
大脑	对照组	97.52 ± 39.89	125.01 ± 44.55	2.17 ± 0.81
	染毒组	66.09 ± 47.61	114.13 ± 51.57	2.22 ± 1.39
	干预组	97.64 ± 49.78	95.77 ± 40.48	3.06 ± 1.38

注: *表示与对照组比较 $P < 0.05$, **表示与对照组比较 $P < 0.001$; #表示干预组与染毒组比较 $P < 0.05$, ##表示干预组与染毒组比较 $P < 0.001$ 。对照组 $n = 11$, 染毒组 $n = 11$, 干预组 $n = 8$ 。

2.4 油茶桔饼提取物对镉致大鼠学习记忆的影响 (见图3)



注: *表示与对照组相比较 $P < 0.05$; #表示相对于染毒组 $P < 0.05$ 。对照组 $n = 11$, 染毒组 $n = 11$, 干预组 $n = 8$ 。

图3 水迷宫测试结果

由图3可以看出,与对照组相比,在水迷宫试验4d时染毒组的潜伏期显著增加($P < 0.05$),与染毒组相比,干预组的潜伏期显著缩短($P < 0.05$)。研究表明,镉暴露会导致大鼠的认知功能障碍^[19]。本研究结果亦表明,腹腔注射0.1% CdCl₂溶液(剂量1.5 mg/kg)31d可以导致大鼠认知功能障碍,而油茶桔饼提取物干预后可以一定程度上逆转这种损害。但在此剂量下我们没有观察到镉对大鼠大脑的氧化损伤作用,可能是由于血脑屏障的存在,镉进入大脑组织的速度相对其他组织较慢,其脑功能性改变的发生可能早于大脑器官损害指标的变化。

3 结论

油茶桔饼提取物中包含多种生物活性成分,尤其富含皂苷类物质,含有8.16%边缘鳞盖蕨苷(Marginatoside)、4.59%花旗松素(Taxifolin)、3.55%三萜类化合物Stelletin J、1.58%花青素鼠李葡糖苷(Keracyanin)、0.75%花青素-3-O-葡萄

糖苷(Kuromanin)等。

油茶桔饼提取物对镉诱导的脏器毒性有一定程度的抑制作用,与对照组相比,染毒组的肾脏和肝脏的脏器系数极显著增加,而在油茶桔饼提取物干预后,肾脏脏器系数显示出一定的恢复效果。与对照组相比,染毒组血清GSH - Px活性极显著降低,而干预组极显著恢复。染毒组肝脏的SOD活性显著降低,油茶桔饼提取物干预后肝脏的SOD活性显著恢复。与对照组相比,在水迷宫试验4d时染毒组的潜伏期显著延长,与染毒组相比,干预组的潜伏期显著缩短。说明油茶桔饼提取物可以一定程度上抑制镉诱导的氧化应激和认知功能障碍,或在预防重金属神经毒性方面具有潜在的营养及药理作用。

本研究未设油茶桔饼提取物剂量的浓度梯度,且未明确其剂量毒性,这是本次研究的局限之处,有待将来研究中进一步评估。

参考文献:

- [1] XIAO X, HE L, CHEN Y, et al. Anti-inflammatory and antioxidative effects of *Camellia oleifera* Abel components [J]. *Future Med Chem*, 2017,9(17): 2069-2079.
- [2] YANG H, SHU Y. Cadmium transporters in the kidney and cadmium-induced nephrotoxicity [J]. *Int J Mol Sci*, 2015,16(1): 1484-1494.
- [3] REN L, QI K, ZHANG L, et al. Glutathione might attenuate cadmium-induced liver oxidative stress and hepatic stellate cell activation [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2019,191(2): 443-452.
- [4] ZHANG J, WANG Y, FU L, et al. Chronic cadmium exposure induced hepatic cellular stress and inflammation in aged female mice [J]. *J Appl Toxicol*, 2019,39(3):

- 498 – 509.
- [5] 马军, 斯頔, 叶广俊. 环境镉污染对儿童学习记忆的影响[J]. 中国学校卫生, 2000(6): 440 – 441.
- [6] 李慧, 金媛, 谢贵花, 等. 镉与老年性痴呆关系的研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2015(24): 7256 – 7260.
- [7] YANG Q, LI P, WEN Y, et al. Cadmium inhibits lysine acetylation and succinylation inducing testicular injury of mouse during development[J]. Toxicol Lett, 2018, 291: 112 – 120.
- [8] HE D, ZHANG P, SAI X, et al. Hypolipidemic activity of *Camellia euphlebia* flower extract in high – fat – fed mice [J]. Plant Foods Hum Nutr, 2017, 72(4): 372 – 379.
- [9] 邓元荣, 黄晓敏, 俞美如. 油茶皂苷对小鼠经口、经腹腔急性毒性试验[J]. 海峡药学, 2011, 23(1): 25 – 27.
- [10] YANG S, ZHANG W, XUAN L L, et al. Akebia saponin D inhibits the formation of atherosclerosis in ApoE(– / –) mice by attenuating oxidative stress – induced apoptosis in endothelial cells [J]. Atherosclerosis, 2019, 285: 23 – 30.
- [11] GUO N, TONG T, REN N, et al. Saponins from seeds of genus *camellia*: phytochemistry and bioactivity [J]. Phytochemistry, 2018, 149: 42 – 55.
- [12] KOYU A, GOKCIMEN A, OZGUNER F, et al. Evaluation of the effects of cadmium on rat liver[J]. Mol Cell Biochem, 2006, 284(1/2): 81 – 85.
- [13] THIJSSSEN S, MARINGWA J, FAES C, et al. Chronic exposure of mice to environmentally relevant, low doses of cadmium leads to early renal damage, not predicted by blood or urine cadmium levels[J]. Toxicology, 2007, 229(1/2): 145 – 156.
- [14] OSPOND PANT D, PHUAGKHAOPONG S, SUKNUNTHA K, et al. Cadmium induces apoptotic program imbalance and cell cycle inhibitor expression in cultured human astrocytes [J]. Environ Toxicol Pharmacol, 2019, 65: 53 – 59.
- [15] CAO Z, FANG Y, LU Y, et al. Melatonin alleviates cadmium – induced liver injury by inhibiting the TXNIP – NLRP3 inflammasome [J]. J Pineal Res, 2017, 62(3): 1 – 15.
- [16] SHAGIRTHA K, MUTHUMANI M, PRABU S M. Melatonin abrogates cadmium induced oxidative stress related neurotoxicity in rats [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2011, 15(9): 1039 – 1050.
- [17] HUANG Y H, SHIH C M, HUANG C J, et al. Effects of cadmium on structure and enzymatic activity of Cu, Zn – SOD and oxidative status in neural cells [J]. J Cell Biochem, 2006, 98(3): 577 – 589.
- [18] FANG Z, CHEN Z, WANG S, et al. Overexpression of OLE1 enhances cytoplasmic membrane stability and confers resistance to cadmium in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Appl Environ Microbiol, 2017, 83(1): 1 – 11.
- [19] 张晶莹, 白雪松. 牛磺酸对镉致小鼠空间学习记忆能力的研究[J]. 现代预防医学, 2013, 40(10): 1917 – 1919.
-
- (上接第 37 页)
- [46] 汪多仁. 蔗糖酯的开发与应用[J]. 日用化学品科学, 1997(6): 6 – 8.
- [47] 李瑞国, 张冬婷. 蔗糖酯性能与结构的关系[J]. 邢台学院学报, 2008(2): 120 – 123.
- [48] NORN V. Emulsifiers in food technology [M]. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd., 2015: 147 – 150, 271 – 289.
- [49] OHM J B, CHONG O K. Relationships of free lipids with quality factors in hard winter wheat flours [J]. Cereal Chem, 2002, 79(2): 274 – 278.
- [50] ZHAO L, ZHANG H Y, HAO T Y, et al. In vitro antibacterial activities and mechanism of sugar fatty acid esters against five food – related bacteria [J]. Food Chem, 2015, 187: 370 – 377.
- [51] 郑立夫, 叶妍悦. 蔗糖脂肪酸酯在食品加工中的应用研究[J]. 浙江化工, 2019, 50(8): 14 – 15, 27.
- [52] 孙玉泉. 蔗糖酯在精细化学品工业中的应用[J]. 天津化工, 2000(3): 27 – 28.
- [53] 孙果宋. 蔗糖酯在糖厂煮糖中的应用[J]. 化工技术与开发, 2005(1): 43 – 46, 48.
- [54] 田如芬. 蔗糖酯及其在食品工业中的应用[J]. 食品与发酵工业, 1981(4): 42 – 46.
- [55] 王素雅, 赵利, 任顺成. 糖酯在食品中的应用及其酶法合成[J]. 食品工业科技, 2002(3): 75 – 76.
- [56] 安东. 基于葡萄糖、氨基酸等小分子构建的糖基表面活性剂合成及其性能[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.
- [57] 梁敏怡. 蔗糖、葡萄糖和乳糖脂肪酸酯的合成及性质研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
- [58] SATYAWALI Y, VANBROEKHOVEN K, DEJONGHE W. Process intensification: the future for enzymatic processes [J]. Biochem Eng J, 2017, 121: 196 – 223.