

新鲜和干制龙眼果肉多糖免疫调节活性的分析

冯潮^{1,2}, 温亚州^{1,2}, 杨宇哲^{1,2}, 甘庭圣^{1,2}, 杨瑞丽^{3,4}, 李武^{*1,2}

(1. 海南大学 食品科学与工程学院, 海南海口 570228; 2. 海南省营养与功能食品重点实验室, 海南海口 570228; 3. 华南农业大学 食品学院, 广东广州 510642; 4. 广东省食品质量安全重点实验室, 广东广州 510642)

摘要: 为比较新鲜和干制龙眼果肉多糖(LPX3、LPG2)免疫调节活性的差异, 采用小鼠肠系膜淋巴结细胞和巨噬细胞模型, 分析了多糖对细胞增殖和巨噬细胞吞噬以及 NO、IL-6 和 TNF- α 分泌的影响。结果显示, LPX3 和 LPG2 在一定剂量范围内均能显著促进小鼠肠系膜淋巴结细胞和巨噬细胞增殖, 促进巨噬细胞吞噬和 NO 分泌 ($P < 0.05$)。在 400 $\mu\text{g/mL}$ 时, LPX3 和 LPG2 诱导巨噬细胞 IL-6 的分泌量分别为空白对照组的 27.31 倍和 31.54 倍, TNF- α 的分泌量分别为空白对照组的 17.67 倍和 18.42 倍。LPG2 表现出比 LPX3 更强地促进肠系膜淋巴结细胞和巨噬细胞增殖, 激活巨噬细胞的作用。

关键词: 龙眼果肉; 多糖; 免疫调节

中图分类号: TS 201.4 文章编号: 1673-1689(2021)06-0052-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.06.007

Analysis of Immunomodulatory Activity of Polysaccharides from Fresh and Dried Longan Pulp

FENG Chao^{1,2}, WEN Yazhou^{1,2}, YANG Yuzhe^{1,2}, GAN Tingsheng^{1,2}, YANG Ruili^{3,4}, LI Wu^{*1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Key Laboratory of Food Nutrition and Functional Food of Hainan Province, Haikou 570228, China; 3. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 4. Guangdong Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, Guangzhou 510642, China)

Abstract: This study aimed to investigate the difference of immunomodulatory activity between polysaccharides from fresh (LPX3) and dried longan pulp (LPG2). The effects of LPX3 and LPG2 on the proliferation of mouse mesenteric lymph node cells and macrophages, phagocytosis and NO, IL-6 and TNF- α secretion of macrophages were analyzed. The results showed that LPX3 and LPG2 significantly promoted the proliferation of mouse mesenteric lymph node cells and macrophages, and promoted the macrophage phagocytosis and NO secretion ($P < 0.05$). When treated with 400 $\mu\text{g/mL}$ LPX3 or LPG2, the secretion levels of IL-6 were increased to 27.31 times and 31.54 times of the control, respectively, while TNF- α contents were increased to 17.67 times and 18.42 times of the control, respectively. At the same concentration, LPG2 exhibited a stronger effect on promoting the proliferation of mesenteric lymph node cells and macrophages and activating macrophages.

Keywords: longan pulp, polysaccharide, immunomodulatory

收稿日期: 2020-04-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960481, 31360380); 广东省自然科学基金项目(2017A030313162)。

* 通信作者: 李武(1976—), 男, 博士, 副教授, 博士研究生导师, 主要从事食品生物技术研究。E-mail: leewuu@163.com

多糖是由 10 个以上的单糖单元以糖苷键连接组成的大分子,其广泛参与细胞的黏附、免疫、增殖和分化^[1]。近年来,天然来源的多糖因其具有的生物学活性,在药理学和生物化学领域引起了广泛关注^[2-3]。目前,已有香菇多糖、灵芝多糖、黄芪多糖等几种天然来源的多糖被应用于临床或临床前研究^[4-5]。研究发现,黄芪多糖具有激活巨噬细胞、调节 T/B 细胞和机体免疫的功能^[1,5]。桑葚多糖可增加 NK 细胞活性,促进 T/B 淋巴细胞增殖,增强机体特异性和非特异性免疫^[6]。灵芝多糖可促进树突状细胞的成熟,在癌症免疫治疗过程中诱导 T 细胞增殖^[7]。同时,多糖具有补益心脾、缓解神经疼痛和消除肿胀等功效^[8-9]。

龙眼是一种亚热带特色水果,除我国外,在南亚地区、美国和澳大利亚也有种植^[10]。目前我国龙眼种植面积和产量均居世界首位^[11]。干制龙眼(桂圆)是我国药典收录的一味中药,具有补益心脾、缓解神经疼痛和消除肿胀的功效^[12]。现代药理学研究表明,多糖是龙眼肉生物活性的主要物质基础之一^[13],报道显示龙眼多糖具有抗肿瘤^[14]、抗氧化^[15]和免疫调节等生物活性^[16]。

由于龙眼产期集中,除鲜食外,其主要的加工方式为干制。文献显示,干燥过程可能会对多糖的结构和生物活性产生显著影响^[17]。韩苗苗等对龙眼干燥过程中其总多糖的活性变化进行了分析,发现热风干燥 12~60 h,其总多糖对 DPPH、羟自由基清除能力和总抗氧化能力显著提高;干燥 12~24 h 时,总多糖抑制 SGC7901 和 HepG2 肿瘤细胞的能力显著增强。但是由于没有分析单一多糖组分的活性变化,作者推测多糖的生物活性差异可能与美拉德反应关联的多糖-蛋白质相互作用有关^[18]。基于以上研究背景,作者采用小鼠肠系膜淋巴结细胞和巨噬细胞模型,分析了分离纯化获得的新鲜和干制龙眼果肉多糖的免疫调节活性,旨在为龙眼的精深加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

龙眼(品种“储良”):购自广州市天平架水果市场,65℃鼓风干燥去皮、去核后的鲜龙眼至水分含量为 11.4%,备用。小鼠巨噬细胞(RAW264.7):中山大学中山医学院提供;昆明小鼠(SPF 级):购自海南

省药物研究所;RPMI-1640 培养基、FBS(胎牛血清)和 DMEM 培养基:购自赛默飞世尔科技(中国)有限公司;中性红、MTT(噻唑蓝)、LPS(脂多糖):购自西格玛奥德里奇公司;D301-R 大孔吸附树脂:购自南开大学树脂公司;小鼠 TNF- α 试剂盒、IL-6 试剂盒:购自美国 R&D 公司;DEAE-FF 阴离子交换树脂:购自美国通用公司。Alpha LD Plus 型真空冷冻干燥机:德国 MARTIN CHRIST 公司产品;1200 高效液相色谱仪(HPLC):安捷伦科技(中国)有限公司产品;SW-CJ-IF 型超净工作台:苏州净化设备有限公司产品;SpectraMax 190 型全自动酶标仪:美谷分子仪器(上海)有限公司产品;311 型二氧化碳培养箱:赛默飞世尔科技(中国)有限公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 鲜龙眼和干龙眼多糖的制备 鲜龙眼多糖(LPX3)制备:新鲜龙眼去皮、去核,打浆,料液体积比为 1:15,80℃水浴搅拌 2 h,200 目纱布过滤。果渣复提 2 次。将合并的滤液浓缩至总糖质量分数为 2%~4%。体积分数 80%乙醇溶液醇沉 24 h,离心,少量蒸馏水复溶沉淀。加入 D301-R 大孔树脂,在 pH 5.0、温度 48℃、料液体积比 61:100、时间 2 h 条件下脱色素和除蛋白质。100 目纱布过滤,浓缩后透析 48 h,浓缩得粗龙眼多糖^[19]。将阴离子交换树脂装入 1.6 cm \times 30.0 cm 的层析柱中,蒸馏水冲洗干净后用 pH 9.0 的 Tris-HCl 缓冲液平衡,上样,流量为 0.5 mL/min。洗脱程序为:0.0 mol/L NaCl 洗脱 30 min,0.03 mol/L NaCl 洗脱 120 min,0.05 mol/L NaCl 洗脱 60 min。检测洗脱峰,将 0.05 mol/L NaCl 洗脱得到的组分浓缩,透析 48 h,浓缩得到粗龙眼多糖。得到的粗龙眼多糖采用安捷伦 1200 HPLC/TSKgel-G4000PWXL 串联 TSKgel-G3000PWXL 纯化,以示差检测器检测并收集相应均一组分,浓缩,冷冻干燥后得到 LPX3。

干龙眼多糖(LPG2)制备:体积分数 80%的乙醇溶液浸泡干龙眼肉 48 h,阴干后打浆,80℃水浴浸提 2 h,料液体积比 1:15,200 目纱布过滤。果渣复提 2 次。提取纯化过程同上所述。

1.2.2 小鼠肠系膜淋巴结细胞的制备 小鼠推颈处死,移至超净台内,取肠系膜淋巴结,剪碎过 200 目不锈钢筛网,PBS 冲洗 2 次,收集细胞。常温 1 000 r/min 离心 5 min 收集细胞,用适量 RPMI-1640 完全培养基调整细胞浓度。37℃、体积分数

5% CO₂ 培养备用。

1.2.3 肠系膜淋巴结细胞增殖能力的测定 肠系膜淋巴结细胞增殖能力的测定参照文献[20], 简述如下: 细胞浓度调整至 5×10⁶ 个/mL, 接种至96孔板。样品组用不同质量浓度 (6.25、25、200 μg/mL) 的 LPX3 和 LPG2 孵育细胞。以等量 RPMI-1640 完全培养基为空白对照组, 并设置 6 个平行。培养 72 h 后加入 MTT 溶液 (5.0 mg/mL) 20 μL, 37 °C 孵育 4 h。加入三联液 100 μL, 37 °C 再次孵育 4 h。酶标仪测定 490 nm 处吸光度。计算公式如下:

$$I(\%)=A_1/A_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中: I 为细胞增殖分数, %; A_1 为不同质量浓度 LPX3 和 LPG2 组肠系膜淋巴结细胞加入 MTT 和三联液处理后在 490 nm 处吸光度; A_2 为空白对照组肠系膜淋巴结细胞加入 MTT 和三联液处理后在 490 nm 处吸光度。

1.2.4 巨噬细胞增殖能力的测定 巨噬细胞增殖能力的测定参照文献[21]方法执行, 简述如下: 调整细胞浓度至 2×10⁵ 个/mL, 接种至 96 孔板培养 2.0 h, 吸去培养基。加入 100 μL DMEM 完全培养基, 37 °C、体积分数 5% CO₂ 培养 12 h 后吸去培养基。样品组加入不同质量浓度 (100、200、400 μg/mL) LPX3 和 LPG2。空白对照组加入等量的 DMEM 完全培养基, 每组 6 个平行。培养 24 h 后加入 MTT 溶液 (5.0 mg/mL) 20 μL, 37 °C 继续孵育 4.0 h。吸去培养基, 加入 DMSO 150 μL。酶标仪振荡 10 min 后, 测定 490 nm 处吸光度。计算公式如下:

$$I(\%)=A_3/A_4 \times 100\% \quad (2)$$

式中: I 为细胞增殖分数, %; A_3 为不同质量浓度 LPX3 和 LPG2 组巨噬细胞加入 MTT 和三联液处理后在 490 nm 处吸光度; A_4 为空白对照组巨噬细胞加入 MTT 和三联液处理后在 490 nm 处吸光度。

1.2.5 巨噬细胞吞噬能力的测定 巨噬细胞吞噬能力的测定参照文献[22], 简述如下: 调整细胞浓度至 2×10⁵ 个/mL, 接种至 96 孔板培养 2.0 h 后, 吸去培养基。加入 100 μL DMEM 完全培养基, 37 °C、体积分数 5% CO₂ 培养 12 h 后吸去培养基。样品组加入不同质量浓度 (50、200、400 μg/mL) 的 LPX3 和 LPG2。空白对照组加入等量的 DMEM 完全培养基, 阳性对照组加入等量 LPS (5 μg/mL), 每组 6 个平行。37 °C 孵育 24 h, PBS 清洗 2 次后加入 100 μL 的质量分数 0.1% 中性红溶液。37 °C 孵育 1 h 后用 PBS

洗掉未吞噬的中性红。加入 200 μL 细胞裂解液 (乙醇和冰乙酸体积比为 1:1), 4 °C 静置过夜, 酶标仪测定 540 nm 处吸光度。计算公式如下:

$$S(\%)=A_5/A_6 \times 100\% \quad (3)$$

式中: S 为吞噬分数, %; A_5 组为不同质量浓度 LPX3 和 LPG2 组巨噬细胞加入中性红溶液处理后在 540 nm 处吸光度; A_6 为对照组巨噬细胞加入中性红溶液处理后在 540 nm 处吸光度。

1.2.6 巨噬细胞 NO、IL-6 和 TNF-α 分泌量的测定 巨噬细胞 NO、IL-6 和 TNF-α 分泌量的测定参照文献[23-24], 简述如下: 调整细胞浓度至 2×10⁵ 个/mL, 接种 2.0 h 后, 吸去培养基。加入 100 μL DMEM 完全培养基, 37 °C、体积分数 5% CO₂ 培养 12 h, 吸去培养基。样品组加入 200 μL 相应质量浓度的 LPX3 和 LPG2。空白对照组加入等量的 DMEM 培养基, 阳性对照组加入等量 LPS (5 μg/mL), 每组 6 个平行。37 °C 培养 24 h 后, 培养液 5 000 r/min 离心 5 min, 上清液中 IL-6 和 TNF-α 的质量浓度用 ELISA 试剂盒检测。NO 测定组每孔加入 50 μL 的 NO 荧光探针。37 °C 孵育 30.0 min 后 PBS 清洗 3 次。荧光显微镜下观察并测定荧光强度, 根据标准曲线计算 NO 分泌量。

1.3 数据统计分析

实验结果均表示为平均数±标准差。组间显著性分析采用 SPSS 22.0 软件, 单因素分析法 (ANOVA), Duncan 检验, 置信度为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 LPX3 和 LPG2 的纯化

从新鲜和干制龙眼果肉中分离纯化得到 LPX3 和 LPG2 两种多糖。LPX3 和 LPG2 的串联凝胶柱色谱图如图 1 所示。结果显示, LPX3 和 LPG2 均呈现单一对称的色谱峰且相对分子质量分布较窄, 出峰时间分别为 19.45 min 和 26.50 min, 表明 LPX3 和 LPG2 具有较好的均一性。

2.2 LPX3 和 LPG2 对肠系膜淋巴结细胞增殖的影响

由图 2 可知, 与空白对照组相比, 随着 LPX3 和 LPG2 质量浓度的增加 (6.25~200 μg/mL), 肠系膜淋巴结细胞的增殖分数显著增加 ($P < 0.05$)。当 LPX3 和 LPG2 质量浓度为 200 μg/mL 时, 肠系膜淋巴结细胞的增殖分数分别为 235.45% 和 227.60%, 两者

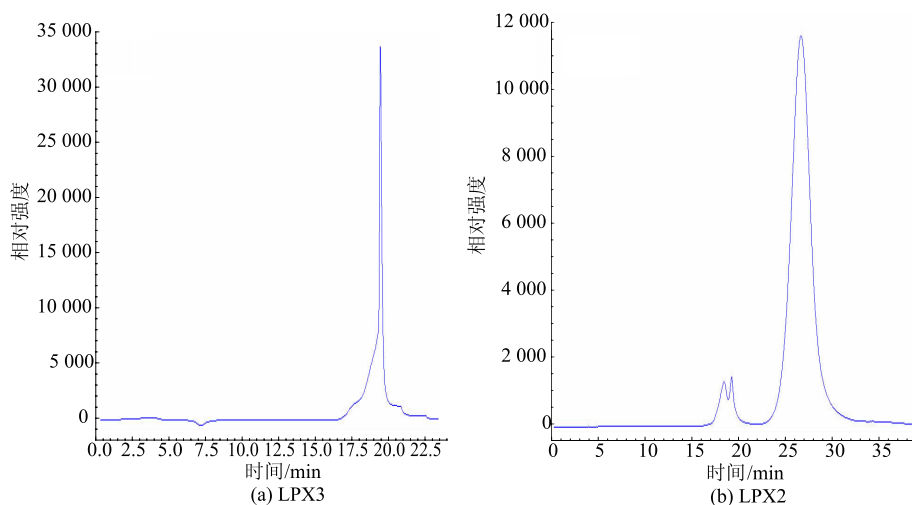
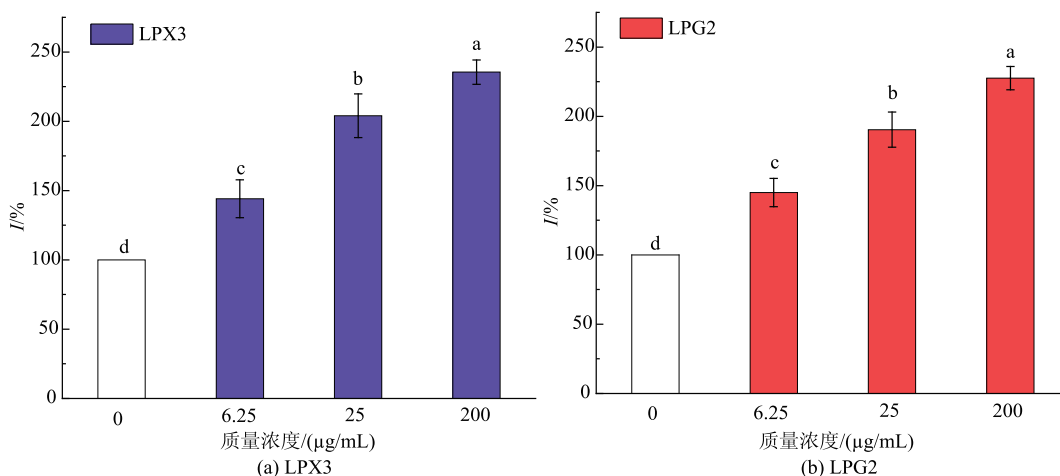


图 1 LPX3 和 LPG2 的凝胶柱色谱图

Fig. 1 The gel column chromatogram of LPX3 and LPG2



不同小写字母表示显著性差异($P < 0.05$)。

图 2 LPX3 和 LPG2 对肠系膜淋巴结细胞增殖的影响

Fig. 2 Effects of LPX3 and LPG2 on the proliferation of mesenteric lymph node cells

间无显著差异($P > 0.05$)。表明 LPX3 和 LPG2 均对小鼠肠系膜淋巴结细胞无毒性作用,且能促进其增殖。

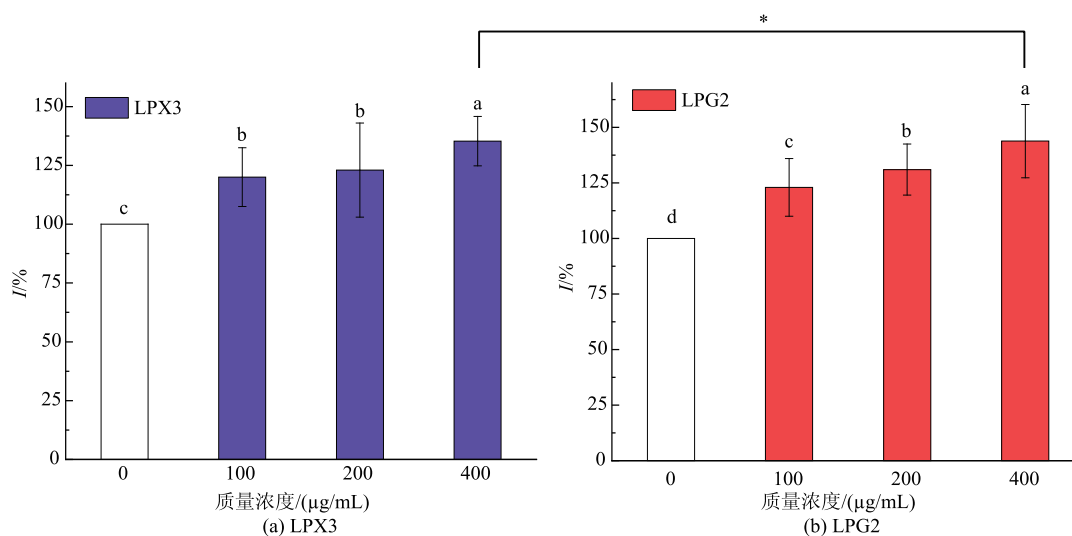
2.3 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞增殖的影响

由图 3 可知,与空白对照组相比,随着 LPX3 和 LPG2 质量浓度的增加(100~400 $\mu\text{g/mL}$),巨噬细胞的增殖分数显著增加($P < 0.05$)。当质量浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 和 200 $\mu\text{g/mL}$ 时,LPX3 和 LPG2 之间对巨噬细胞增殖的促进能力无显著差异($P > 0.05$)。当 LPX3 和 LPG2 质量浓度为 400 $\mu\text{g/mL}$ 时,巨噬细胞增殖分数分别为 135.90 %和 143.70 %,两者间存在显著差异($P < 0.05$)。结果表明,新鲜和干制龙眼多糖均对巨噬细胞无毒性作用,且具有促进其增殖的作用;在 400 $\mu\text{g/mL}$ 时,LPG2 促进巨噬细胞增殖的能

力更强。

2.4 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞吞噬能力的影响

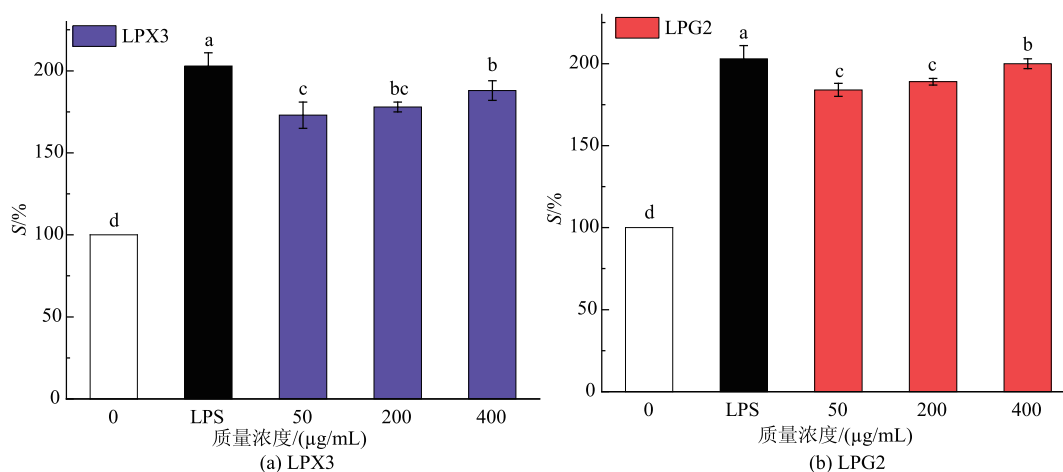
如图 4 所示,与空白对照组相比,LPX3 和 LPG2 随着质量浓度的增加(50~400 $\mu\text{g/mL}$),巨噬细胞的吞噬分数显著增加 ($P < 0.05$)。在 LPX3 和 LPG2 质量浓度为 400 $\mu\text{g/mL}$ 时,吞噬分数分别为 192.03%和 198.28%,两者间无显著差异($P > 0.05$)。结果表明,LPX3 和 LPG2 均能有效促进巨噬细胞吞噬抗原。巨噬细胞的活化在机体免疫应答过程中扮演着重要角色,吞噬能力的增强是其活化的标志之一。巨噬细胞通过吞噬清除受损细胞或外来抗原,诱导细胞分泌 IL-1 β 、TNF- α 等细胞因子调节机体免疫^[25-26]。有报道显示龙眼多糖组分和硫酸化修饰



不同小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$); "*"表示 LPX3 和 LPG2 两组间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 3 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞增殖的影响

Fig. 3 Effects of LPX3 and LPG2 on the proliferation of macrophage



LPS 为添加 5 μg/mL LPS 的阳性对照组;不同小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$)。

图 4 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞吞噬能力的影响

Fig. 4 Effects of LPX3 and LPG2 on macrophages phagocytosis

的龙眼多糖组分能显著增强巨噬细胞的吞噬能力^[16,27]。

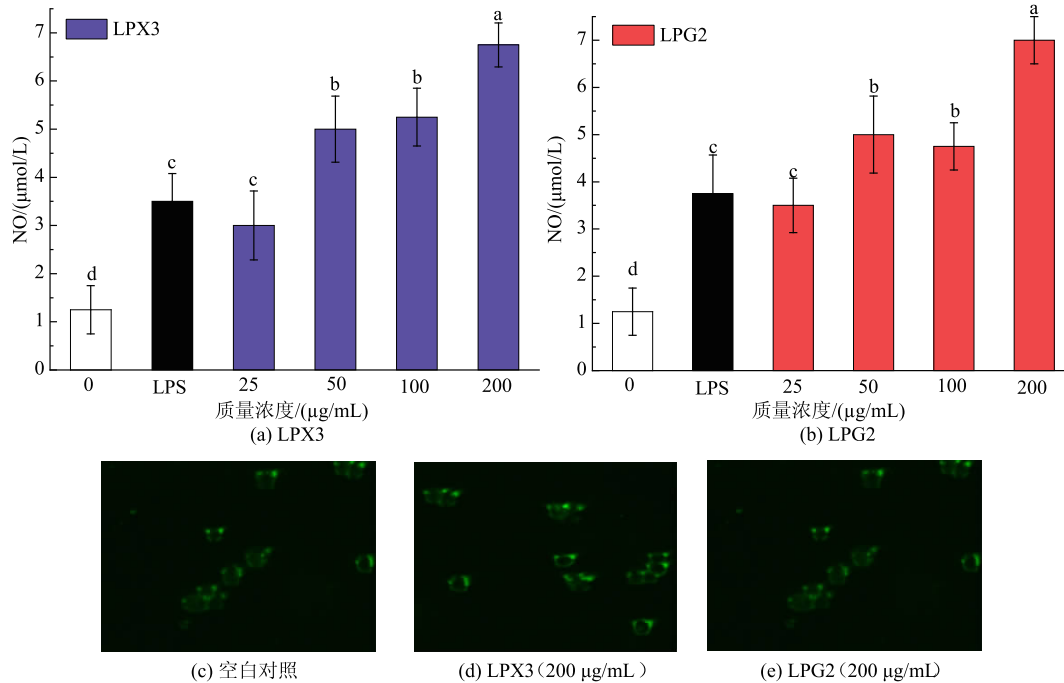
2.5 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞分泌 NO 的影响

NO 作为一种重要的细胞信号分子,广泛参与细胞和机体的免疫调节^[28-29]。如图 5 所示,与空白对照组相比,NO 分泌量随着 LPX3 质量浓度的增加而显著增加 ($P < 0.05$)。LPG2 在 25~200 μg/mL 范围内,能显著促进 NO 分泌 ($P < 0.05$)。当 LPX3 和 LPG2 的质量浓度均为 200 μg/mL 时,NO 分泌量分别为空白对照组的 5.4 倍和 5.6 倍,两者间无显著差异 ($P > 0.05$)。结果表明,25~200 μg/mL 的 LPX3 和 LPG2

引起了细胞促炎信号分子 NO 分泌量的显著改变,可能诱导了巨噬细胞相关信号通路的激活。同时,研究显示^[30]炎症因子的过度释放会诱导机体的炎症因子风暴,对机体造成损伤,LPX3 和 LPG2 促进巨噬细胞分泌 NO 的活性有待进一步研究。

2.6 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞分泌细胞因子的影响

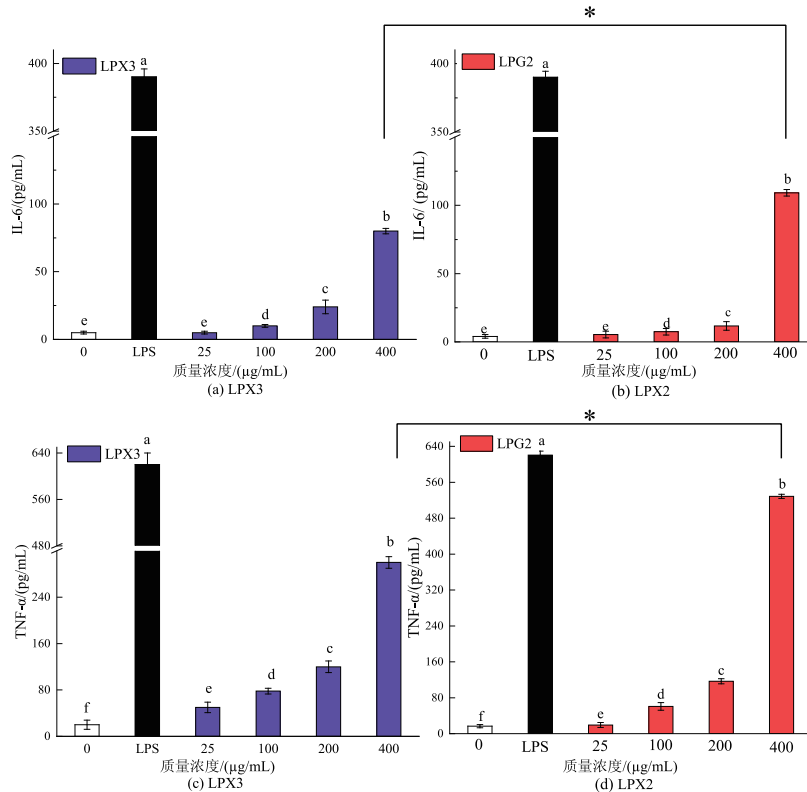
如图 6 所示,与空白对照组相比,LPX3 和 LPG2 (25~400 μg/mL) 可诱导巨噬细胞分泌 IL-6 和 TNF-α, 并呈现出一定剂量关系。当质量浓度为



LPS 为添加 5 $\mu\text{g/mL}$ LPS 的阳性对照组;不同小写字母表示显著性差异 ($P<0.05$)。

图 5 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞分泌 NO 的影响

Fig. 5 Effects of LPX3 and LPG2 on NO secretion by macrophages



LPS 为添加 5 $\mu\text{g/mL}$ LPS 的阳性对照组;不同小写字母表示显著性差异 ($P<0.05$);“*”表示 LPX3 和 LPX2 两组间有显著性差异 ($P<0.05$)。

图 6 LPX3 和 LPG2 对巨噬细胞分泌 IL-6、TNF- α 的影响

Fig. 6 Effects of LPX3 and LPG2 on the secretion of IL-6 and TNF- α by macrophages

400 $\mu\text{g/mL}$ 时, TNF- α 的分泌量分别为空白对照组的 17.67 倍(296.20 pg/mL)和 31.54 倍(528.65 pg/mL), 两者具有显著性差异($P<0.05$); IL-6 的分泌量分别为空白对照组的 18.42 倍(73.69 pg/mL)和 27.31 倍(109.22 pg/mL), 两者具有显著性差异($P<0.05$)。结果表明, LPX3 和 LPG2 均能显著促进巨噬细胞分泌 TNF- α 和 IL-6。当质量浓度为 400 $\mu\text{g/mL}$ 时, LPG2 促进巨噬细胞分泌 IL-6 和 TNF- α 的能力更强。IL-6 和 TNF- α 在宿主防御病原体和急性应激中起着关键作用^[31]。巨噬细胞 IL-6 和 TNF- α 分泌量的增加可能与细胞的激活和防御有一定关系。

参考文献:

- [1] XIE J H, JIN M L, MORRIS G A, et al. Advances on bioactive polysaccharides from medicinal plants[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2016, 56(Suppl 1): 60-84.
- [2] FERREIRA S S, PASSOS C P, MADUREIRA P, et al. Structure-function relationships of immunostimulatory polysaccharides: a review[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2015, 132: 378-396.
- [3] MARTINS V M R, SIMOES J, FERREIRA I, et al. *In vitro* macrophage nitric oxide production by *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk. inflorescence polysaccharides[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2017, 157: 176-184.
- [4] BISEN P S, BAGHEL R K, SANODIYA B S, et al. *Lentinus edodes*: a macrofungus with pharmacological activities[J]. **Current Medicinal Chemistry**, 2010, 17(22): 2419-2430.
- [5] YU Y, SHEN M, SONG Q, et al. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: a review[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2018, 183: 91-101.
- [6] HE X, FANG J, RUAN Y, et al. Structures, bioactivities and future prospective of polysaccharides from *Morus alba* (white mulberry): a review[J]. **Food Chemistry**, 2018, 245: 899-910.
- [7] ZHANG S, PANG G, CHEN C, et al. Effective cancer immunotherapy by *Ganoderma lucidum* polysaccharide-gold nanocomposites through dendritic cell activation and memory T cell response[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2019, 205: 192-202.
- [8] YU Y, SHEN M, SONG Q, et al. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: a review[J]. **Carbohydrate polymers**, 2018, 183: 91-101.
- [9] SUN Y C. Biological activities and potential health benefits of polysaccharides from *Poria cocos* and their derivatives [J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2014, 68: 131-134.
- [10] 郑少泉, 曾黎辉, 张积森, 等. 新中国果树科学研究 70 年—龙眼[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1414-1420.
- [11] PHAM V T, HERRERO M, HORMAZA J I. Effect of temperature on pollen germination and pollen tube growth in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) [J]. **Scientia Horticulturae**, 2015, 197: 470-475.
- [12] YANG B, JIANG Y, SHI J, et al. Extraction and pharmacological properties of bioactive compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit - a review[J]. **Food Research International**, 2011, 44(7): 1837-1842.
- [13] 陈彦林, 遆慧慧, 张名位, 等. 龙眼果肉的健康效应及主要活性物质研究进展[J]. 广东农业科学, 2014, 41(12): 40-44.
- [14] YI Y, HUANG F, ZHANG M W, et al. Solution properties and *in vitro* anti-tumor activities of polysaccharides from longan pulp [J]. **Molecules**, 2013, 18(9): 11601-11613.
- [15] JIANG G, WEN L, CHEN F, et al. Structural characteristics and antioxidant activities of polysaccharides from longan seed [J]. **Carbohydrate Polymers**, 2013, 92(1): 758-764.
- [16] JIANG J, MENG F Y, HE Z, et al. Sulfated modification of longan polysaccharide and its immunomodulatory and antitumor activity *in vitro* [J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2014, 67: 323-329.

3 结语

作者采用小鼠肠系膜淋巴结细胞和巨噬细胞模型, 比较了 LPX3 和 LPG2 诱导细胞增殖和细胞因子分泌的活性。结果表明, LPX3 和 LPG2 均能促进小鼠肠系膜淋巴结细胞增殖和激活巨噬细胞, 且具有剂量依赖性的促进巨噬细胞吞噬和诱导细胞分泌 IL-6、TNF- α 。同时, 与 LPX3 相比, LPG2 表现出更强的激活巨噬细胞的活性。

多糖的生物活性与其结构密切相关, 新鲜和干制龙眼果肉多糖的分子结构差异及其激活巨噬细胞的分子机制差异还有待进一步研究。

- [17] YUAN Q, HE Y, XIANG P Y, et al. Influences of different drying methods on the structural characteristics and multiple bioactivities of polysaccharides from okra (*Abelmoschus esculentus*) [J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020, 147: 1053-1063.
- [18] 韩苗苗, 姚娟, 易阳, 等. 龙眼果肉干燥过程中多糖的理化特征与活性变化规律[J]. *食品科学*, 2017, 38(21): 67-73.
- [19] 蓝海波, 温亚洲, 杨光美, 等. 龙眼多糖树脂脱色除蛋白工艺优化[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(8): 1558-1566.
- [20] HUANG F, ZHANG R, LIU Y, et al. Characterization and mesenteric lymph node cells-mediated immunomodulatory activity of litchi pulp polysaccharide fractions[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2016, 152: 496-503.
- [21] XU D, WANG H, ZHENG W, et al. Characterization and immunomodulatory activities of polysaccharide isolated from *Pleurotus eryngii*[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2016, 92: 30-36.
- [22] HE B L, ZHENG Q W, GUO L Q, et al. Structural characterization and immune-enhancing activity of a novel high-molecular-weight polysaccharide from *Cordyceps militaris*[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020, 145: 11-20.
- [23] YE J, WANG X, WANG K, et al. A novel polysaccharide isolated from *Flammulina velutipes*, characterization, macrophage immunomodulatory activities and its impact on gut microbiota in rats[J]. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 2020, 104(2): 735-748.
- [24] HAO H, HAN Y, YANG L, et al. Structural characterization and immunostimulatory activity of a novel polysaccharide from green alga *Caulerpa racemosa* var *peltata*[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2019, 134: 891-900.
- [25] ZHAO T, FENG Y, LI J, et al. *Schisandra* polysaccharide evokes immunomodulatory activity through TLR 4-mediated activation of macrophages[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2014, 65: 33-40.
- [26] WEI W, XIAO H T, BAO W R, et al. TLR-4 may mediate signaling pathways of *Astragalus* polysaccharide RAP induced cytokine expression of RAW264.7 cells[J]. **Journal of Ethnopharmacology**, 2016, 179: 243-252.
- [27] YI Y, WANG H, ZHANG R, et al. Characterization of polysaccharide from longan pulp as the macrophage stimulator[J]. **RSC Advances**, 2015, 5(118): 97163-97170.
- [28] LIU X, XIE J, JIA S, et al. Immunomodulatory effects of an acetylated *Cyclocarya paliurus* polysaccharide on murine macrophages RAW264.7[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2017, 98: 576-581.
- [29] ZHENG T, GU D, WANG X, et al. Purification, characterization and immunomodulatory activity of polysaccharides from *Leccinum crocipodium* (Letellier.) Watliag[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020, 148: 647-656.
- [30] YIN M, ZHANG Y, LI H. Advances in research on immunoregulation of macrophages by plant polysaccharides[J]. **Frontiers in Immunology**, 2019, 10: 145.
- [31] YAO X, HUANG J, ZHONG H, et al. Targeting interleukin-6 in inflammatory autoimmune diseases and cancers[J]. **Pharmacology and Therapeutics**, 2014, 141(2): 125-139.

科 技 信 息

欧盟批准使用活性物质山梨酸钾

据欧盟官方公报消息,2021年3月10日,欧盟委员会发布第2021/807号法规,批准使用活性物质山梨酸钾(potassium sorbate),并修订实施条例(EU) No 528/2012附件I。据了解,批准使用期限至2023年2月1日。

[信息来源]食品伙伴网. 欧盟批准使用活性物质山梨酸钾 [EB/OL]. (2021-5-21). <http://news.foodmate.net/2021/05/594032.html>