

doi: 10.11751/ISSN.1002-1280.2022.06.08

桃金娘果多糖的制备及其免疫增强作用研究

卢光强¹, 刘伟², 曾雪颜², 赵武², 姜源明², 银慧慧²

(1. 广西隆安县动物疫病预防控制中心, 南宁 532799; 2. 广西壮族自治区兽医研究所, 广西兽医生物技术重点实验室, 南宁 530001)

[收稿日期] 2021-12-01 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1280 (2022) 06-0050-06 [中图分类号] S859.79

[摘要] 制备桃金娘果多糖并对其单糖组成进行分析, 探讨桃金娘果多糖对健康小鼠免疫功能的影响。采用水浴提取法制备桃金娘果多糖, 衍生化高效液相色谱法分析单糖成分。选用健康昆明小鼠 80 只, 随机分为空白组、黄芪多糖组(腹腔注射 200 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{BW}$)、桃金娘果多糖低、中、高(分别腹腔注射 50、100、200 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{BW}$) 共 5 组。空白组每只小鼠腹腔注射等体积的生理盐水, 1 次/d, 连续 7 d。试验结束后, 分别测定小鼠脏器指数(胸腺、脾脏)、血清中 IL-1 β 、IL-2、IL-6、IFN- γ 、LZM、POD 等免疫指标的含量。结果显示, 桃金娘果多糖含量为 65.83%, 主要由甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖组成。桃金娘果多糖会降低小鼠的胸腺指数, 但能显著增强小鼠的脾脏指数; 桃金娘果多糖可提高了 IL-1 β 、IL-2、IL-6、IFN- γ 血清细胞因子的水平、POD 活性和 LZM 含量。桃金娘果多糖对提高正常小鼠的脾脏指数及免疫调节功能具有较好效果, 但浓度过高会引起小鼠胸腺萎缩, 此研究结果为桃金娘的进一步开发和利用提供参考依据。

[关键词] 桃金娘果多糖; 免疫调节; 细胞因子

The Preparation of *Rhodomyrtus tomentosa* Fruit Polysaccharide and Its Immunoenhancing Effect

LU Guang-qiang¹, LIU Wei², ZENG Xue-yan², ZHAO Wu², JIANG Yuan-ming², YIN Hui-hui²

(1. Guangxi Longan Center for Animal Disease Control and Prevention, Nanning 530001, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Veterinary Biotechnology, Guangxi Veterinary Research Institute, Nanning 530001, China)

Abstract: To investigate the effect of polysaccharide immune function of healthy mice, *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide was prepared and its monosaccharide composition was analyzed. The polysaccharide was prepared by water bath extraction, and the monosaccharide composition was analyzed by derivatization high performance liquid chromatography. 80 Kunming mice were randomly divided into normal group, astragalus polysaccharide group, intraperitoneal injection of 200 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{BW}$ and *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide low, medium and high dose group, intraperitoneal injection of 50 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{BW}$, 100 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{BW}$ and 200 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{BW}$, respectively. The mice in normal group were treated with normal saline of equal volume. This injection was

基金项目: 广西科技重大专项(桂科 AA17204057); 广西基本科研业务费专项资助项目(桂科专项 19-5)

作者简介: 卢光强, 从事动物疫病研究。E-mail: lugg0771@163.com

administered once a day for 7 days. Then thymus index, spleen index, the content of IL-1 β , IL-2, IL-6, IFN- γ , LZM and POD in serum were determined. The results showed that the polysaccharide content in *Rhodomyrtus tomentosa* fruit was 65.83%, which was mainly composed of mannose, rhamnose, galacturonic acid, glucose, galactose, xylose and arabinose. The thymus index of mice was reduced by *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide, and the spleen index was enhanced significantly. The levels of IL-1 β , IL-2, IL-6 and IFN- γ in serum and the activity of LZM and POD were also increased by the polysaccharide. *Rhodomyrtus tomentosa* polysaccharide can actively promote the spleen index and immune regulation function of normal mice, but too high concentration can cause thymus atrophy in mice. The results can provide a reference for *Rhodomyrtus tomentosa*'s further development and utilization.

Key words: *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide; immunomodulatory; cytokines

植物多糖已被证实具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、免疫调节和抗糖尿病活性等生物活性,在生命科学和医药科学中都得到广泛的应用^[1-2]。目前,抗生素的不规范使用以及抗生素残留和抗药性问题日趋严重,一些抗生素能够通过动物性食品转移到人体中,对人类的健康造成了严重威胁。植物多糖与抗生素作用性质相同,并且具有高效、低毒、无残留等优点。已有研究发现,在肉仔鸡饲料中添加一定量的黄芪多糖,能够改善三黄肉鸡的生长性和其肠道微生物菌群系统^[3-4];在饲料中添加复合益生菌和黄芪多糖能够提高生长育肥猪的免疫功能^[5];茯苓多糖和白术多糖能显著提高仔猪生长性能^[6-7];马尾藻多糖可以促进猪和鸡脾脏淋巴细胞增殖^[8-9]。这些研究显示,植物多糖作为一种绿色新型畜禽用饲料添加剂得到了广泛关注。桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk. 为桃金娘科桃金娘属常绿多花小灌木,是我国南方地区民间传统习用中草药,自然分布在热带及亚热带,我国主要生长在南部各省^[10]。据《全国中草药汇编》记载,桃金娘性味甘、涩、平,全株可供药用,具有活血通络、收敛止泻、补虚止血功效。当前对桃金娘的化学成分及生物活性有了比较深入的研究^[11-12],但对桃金娘多糖的作用机制研究较少。本研究通过制备桃金娘果多糖,初步探究桃金娘果多糖在小鼠体内的免疫调节作用,为加大桃金娘的药用开发力度,用于促进动物生长和提高动物免疫力提供参

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂 桃金娘果(产地:广西玉林,经广西兽医研究所兽药新技术开发中心鉴定为桃金娘果实,干燥后打粉,过四号筛)。小鼠白细胞介素 1 β (IL-1 β)、白细胞介素 2(IL-2)、白细胞介素 6(IL-6)、 γ 干扰素(IFN- γ)、过氧化物酶(POD)试剂盒购自北京索莱宝科技有限公司;溶菌酶(LZM)试剂盒购自上海联酶生物科技有限公司;生理盐水购自江西御医堂实业有限公司;其余试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器 Nicolet iS5 傅里叶变换红外光谱仪(赛默飞世尔科技公司);1260 型液相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司);Cary 50 紫外分光光度计(美国瓦里安公司);分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司);TECAN model Infinite M200 酶标仪(瑞士帝肯公司),恒温水浴锅(江苏金怡仪器科技有限公司);RE-2000A 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂)。

1.3 动物和饲料 SPF 级昆明小鼠 80 只,雌雄各半,体重(20 \pm 2)g,由长沙市天勤生物技术有限公司提供。实验期间动物房温度 18~22 $^{\circ}$ C,湿度 50%~60%,小鼠自由摄食及饮水,适应性饲养 4 d 后进行实验。SPF 饲料由长沙市天勤生物技术有限公司提供。

1.4 方 法

1.4.1 桃金娘果多糖的制备 采用水浴提取法,料液比 1:10,提取温度 80 $^{\circ}$ C,提取时间 90 min,过

滤后旋转蒸发仪浓缩,再按 10:1 的比例加入 5% 的 101 果汁澄清剂,搅拌混匀室温放置 12 h 后离心,上清液用 95% 乙醇醇沉,离心,沉淀挥干试剂,水复溶,用 10 ku 半透膜流动纯化水透析 12 h,95% 乙醇醇沉,干燥得桃金娘果多糖。

1.4.2 桃金娘果多糖的含量测定 准确称取桃金娘果多糖样品 3 份,溶解后采用苯酚-硫酸法^[13]测定其吸光度,从回归方程中求出桃金娘果多糖含量。多糖含量按照下式计算:

$$\text{多糖含量}\% = \frac{c \times V \times D \times 0.9}{m \times (1 - a\%) \times 1000} \times 100$$

式中, m - 多糖质量(mg); c - 多糖溶液中糖质量浓度($\mu\text{g}/\text{mL}$); V - 供试液的体积(mL); D - 多糖稀释倍数; $a\%$ - 桃金娘果粉末水分含量;0.9 - 葡萄糖对多糖的校正系数。

1.4.3 单糖组分分析 参照文献方法^[14],分别取 1 mL 多糖溶液(4 mg/mL)于水解瓶中,加入 1 mL 4 mol/L 的三氟乙酸溶液,在 110 °C 下孵育 3 h,冷却至室温后氮气吹干,然后加入 1 mL 纯水溶解得到水解样品。在 0.5 mL 水解样品中加入 0.3 mol/L 的 NaOH 溶液和 0.5 mol/L 的 1 - 苯基 - 3 - 甲基 - 5 - 吡啶啉酮(PMP)甲醇溶液各 0.5 mL,在 70 °C 下避光孵育 100 min,冷却至室温后加入 0.5 mL 0.3 mol/L HCL 溶液,混匀得到衍生化样品。衍生化样品用氯仿萃取除去 PMP,水相离心后取上清液进行测定。单糖混合对照品溶液同上进行衍生化。

色谱条件:ZORBAX SB - C18 色谱柱(5 μm , 4.6 mm \times 250 mm);流动相为乙腈 - 磷酸盐缓冲液(pH 6.7) = 17:83(体积比);检测波长 254 nm;流速为 1.0 mL/min。

1.4.4 实验动物分组及给药 将 80 只昆明种小鼠随机平均分成空白组、黄芪多糖组、桃金娘果多糖低、中、高剂量组共 5 组。黄芪多糖组每只小鼠按 200 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{BW})$ 剂量腹腔注射黄芪多糖混悬液,桃金娘果多糖低、中、高剂量组分别按 50、100、200 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{BW})$ 剂量腹腔注射桃金娘果多糖混悬液,空白组每只小鼠腹腔注射等体积的生理盐水 0.02

mL/(g · BW),1 次/d,连续给药 7 d。

1.4.5 小鼠脏器指数测定 于末次给药后禁食不禁水 12 h,对所有小鼠进行称重。眼球采血,分离血清,置于 -20 °C 冰箱保存待用;颈椎脱臼处死小鼠,取其胸腺、脾脏洗净、吸干后称量,按下式公式计算免疫器官指数。

$$\text{胸腺系数} = \frac{\text{胸腺质量}}{\text{小鼠体重}} \times 100\%$$

$$\text{脾脏系数} = \frac{\text{脾脏质量}}{\text{小鼠体重}} \times 100\%$$

1.4.6 小鼠血清细胞因子含量测定 于末次给药后禁食不禁水 12 h,对所有小鼠进行称重。眼球采血,分离血清,根据试剂盒说明书检测血清中白细胞介素 1 β (IL - 1 β)、白细胞介素 - 2(IL - 2)、白细胞介素 - 6(IL - 6)、(γ 干扰素) IFN - γ 、溶菌酶(LZM)、过氧化物酶(POD)指标的含量。

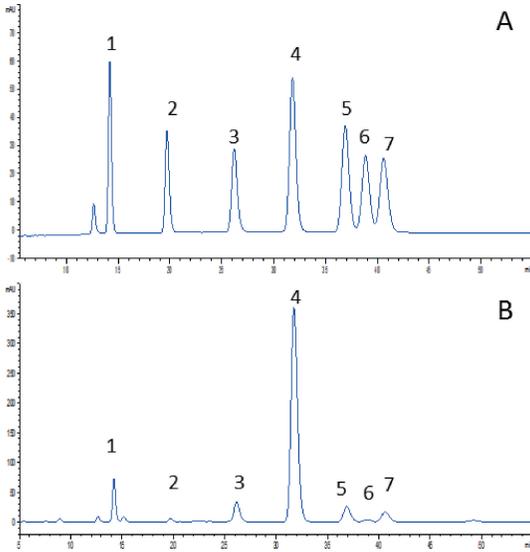
1.4.7 数据处理 试验数据均以 $\pm s$ 表示,用 SPSS17.0 软件对结果进行统计分析和邓肯氏多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 桃金娘果多糖含量测定及组分分析 按照 1.4.2 项测定不同浓度葡萄糖标准溶液的吸光度,得到吸光度值 y 对浓度 c 的回归方程为: $y = 0.0722x + 0.0132$ ($R^2 = 0.9992$),葡萄糖标准溶液在 0 ~ 80.57 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 浓度范围内呈良好的线性关系。按照 1.4.1 项提取得到的桃金娘果多糖含量为 65.83 \pm 1.40%。

随后对桃金娘果多糖进行组分分析,表明桃金娘果多糖至少由甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖组成(图 1),其物质的量比为 0.08:0.01:0.08:1.00:0.08:0.01:0.06。

2.2 桃金娘果多糖对小鼠免疫器官指数的影响 桃金娘果多糖对健康小鼠脾脏、胸腺指数的影响见表 1,桃金娘果多糖中、高剂量组的胸腺指数与空白组比较明显下降,差异显著($P < 0.05$),桃金娘果多糖中、低剂量组和黄芪多糖组与空白组比较胸腺指数有所降低但无显著差异($P > 0.05$)。与空白组比较,黄芪多糖组以及桃金娘低、中、高剂量组的



A - 混合单糖对照品; B - 多糖水解单糖样品

1、甘露糖;2、鼠李糖;3、半乳糖醛酸;4、葡萄糖;
5、半乳糖;6、木糖;7、阿拉伯糖。

A - Mixed monosaccharide reference substance;

B - Polysaccharide hydrolysis monosaccharide sample

1. mannose; 2. rhamnose; 3. galacturonic acid; 4. Glucose;
5. Galactose; 6. xylose; 7. arabinose

图 1 桃金娘果多糖中各单糖液相色谱图

Fig 1 Liquid chromatography diagram of monosaccharides in *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide

表 1 桃金娘果多糖对健康小鼠免疫器官指数的影响 ($\bar{x} \pm SD, n = 8$)

Tab 1 Effect of *Rhodomyrtus tomentosa* polysaccharide on immune organ index of healthy mice ($\bar{x} \pm SD, n = 8$)

组别 Groups	胸腺指数 Thymus Index/%	脾脏指数 Spleen index/%
空白组 Blank group	0.4059 ± 0.0582 ^a	0.3624 ± 0.0838 ^b
黄芪多糖组 Astragalus polysaccharide group	0.3466 ± 0.1155 ^a	0.4997 ± 0.1359 ^a
桃金娘果多糖低剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide low dose group	0.3507 ± 0.1037 ^a	0.5507 ± 0.1066 ^a
桃金娘果多糖中剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide medium dose group	0.3308 ± 0.0232 ^a	0.5863 ± 0.1183 ^a
桃金娘果多糖高剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide high dose group	0.1970 ± 0.0654 ^b	0.5603 ± 0.1640 ^a

表 2 桃金娘果多糖对健康小鼠细胞因子水平的影响 (pg/mL) ($\bar{x} \pm SD, n = 6$)

Tab 2 Effect of *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide on cytokine levels in healthy mice ($\bar{x} \pm SD, n = 6$)

组别 Groups	INF- γ	IL-2	IL-1 β	IL-6
空白组 Blank group	3.44 ± 0.41 ^b	2.32 ± 0.38 ^b	88.10 ± 14.27 ^b	19.50 ± 1.06 ^c
黄芪多糖组 Astragalus polysaccharide group	4.44 ± 1.35 ^{ab}	2.82 ± 0.41 ^b	100.4 ± 20.79 ^{ab}	35.37 ± 4.25 ^b
桃金娘果多糖低剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide low dose group	4.55 ± 0.92 ^{ab}	3.64 ± 0.88 ^{ab}	94.26 ± 22.75 ^b	26.59 ± 4.63 ^{bc}
桃金娘果多糖中剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide medium dose group	5.26 ± 0.62 ^a	4.13 ± 0.32 ^a	119.1 ± 15.49 ^a	38.84 ± 3.90 ^{ab}
桃金娘果多糖高剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide high dose group	5.23 ± 0.79 ^a	3.85 ± 0.42 ^a	129.1 ± 14.44 ^a	45.88 ± 8.22 ^a

脾脏指数显著性增高 ($P < 0.05$)。

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 肩标相同字母或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$) (下同)。

2.3 桃金娘果多糖对小鼠血清细胞因子的影响

由表 2 看出, 与空白组比较, 桃金娘果多糖中、高剂量组显著提高了 IL-1 β 、IL-2、IL-6、IFN- γ 血清细胞因子的水平 ($P < 0.05$); 桃金娘果多糖低剂量组的 IL-2、IL-1 β 、IL-6、IFN- γ 细胞因子与空白组比较无显著差异 ($P > 0.05$); 黄芪多糖组则显著提高了 IL-6 血清细胞因子含量, 差异显著 P 值 < 0.05 。

2.4 桃金娘果多糖对小鼠溶菌酶和过氧化物酶的活性影响

桃金娘果多糖对小鼠溶菌酶和过氧化物酶的活性影响见表 3。由表 3 可知, 与空白组比较, 黄芪多糖组和桃金娘果多糖低、中剂量组均可显著增加小鼠的 POD 活性 ($P < 0.05$), 桃金娘果多糖低、中、高剂量组小鼠的 LZM 含量得到了显著提高 ($P < 0.05$), 黄芪多糖组与空白组比较 LZM 含量显示无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 3 桃金娘果多糖对健康小鼠 POD 和 LZM 活性的影响 ($\bar{x} \pm SD, n=6$)Table 3 Effect of *Rhodomyrtus tomentosa* fruit polysaccharide on the activity and content in healthy mice ($\bar{x} \pm SD, n=6$)

组别 Groups	POD 活性 POD activity (U/mL)	LZM 含量 LZM content (ng/mL)
空白组 Blank group	322.0 ± 37.10 ^b	489.0 ± 76.50 ^b
黄芪多糖组 Astragalus polysaccharide group	563.5 ± 50.84 ^a	596.1 ± 27.60 ^{ab}
桃金娘果多糖低剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide low dose group	519.4 ± 27.72 ^a	642.9 ± 26.33 ^a
桃金娘果多糖中剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide medium dose group	548.8 ± 166.3 ^a	679.4 ± 93.3 ^a
桃金娘果多糖高剂量组 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> fruit polysaccharide high dose group	411.6 ± 97.02 ^{ab}	658.8 ± 59.81 ^a

3 讨论与小结

桃金娘是一种食药同源的野生药用植物资源,富含多糖、黄酮类、酚类等多种生物活性成分。本研究提取得到的桃金娘果多糖含量为 65.83%,主要由甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖组成。作为重要的免疫器官,胸腺和脾脏重量的变化能够直接反映药物对机体免疫应答的强弱。研究显示^[15-16],多糖对小鼠的胸腺和脾脏具有一定的修复作用。本试验的研究结果表明,桃金娘果多糖显著提高小鼠的脾脏指数,但桃金娘果多糖高剂量显著降低了小鼠的胸腺指数,提示桃金娘果多糖对小鼠的免疫器官有一定的影响,浓度越高,影响越大。促炎细胞因子 IL-1 β 主要参与细胞增殖、分化和凋亡等多种细胞活动以及免疫性炎症反应等。IL-2 细胞因子又称 T 细胞生长因子,具有 B 细胞增殖、活化 T 细胞、NK 细胞功能等生物功能作用。IFN- γ 是机体免疫反应的主要调节剂,是激活免疫细胞的关键信号分子。IL-6 具有 B 细胞分化生物功能,参与 T 细胞的早期激活。有研究显示^[17-18],青蒿多糖和山药多糖能够调节机体的 IL-2、IL-1 β 、IL-6、IFN- γ 水平,促进细胞因子的分泌等。本试验结果显示,桃金娘果多糖中、高剂量组显著提高了 IL-1 β 、IL-2、IL-6、IFN- γ 血清细胞因子的水平,提示桃金娘果多糖可通过调节细胞因子水平而对机体的免疫功能进行调节。

过氧化物酶 POD 能够将氧化还原反应中产生的细胞毒性物质过氧化氢水解,并达到保护细胞的作用。溶菌酶 LZM 能够发挥催化作用破坏某些细

菌细胞壁,从而保护机体不受细菌的感染。有研究显示^[19-20],黄芪多糖和山豆根多糖对 POD 和 LZM 具有调节作用。本研究结果显示,桃金娘果多糖低、中剂量组均可显著增加小鼠的 POD 活性,桃金娘果多糖低、中、高剂量组小鼠的 LZM 含量得到了显著提高。

桃金娘果多糖具有改善小鼠免疫功能的作用。在本试验条件下,桃金娘果多糖能够显著提高健康小鼠的脾脏指数、细胞因子 IL-6、IL-1 β 、IFN- γ 、IL-2、POD 和 LZM 的含量,但浓度过高会引起小鼠胸腺萎缩。这一研究结果为桃金娘在饲料添加剂、动物保健及药用资源的深度开发和应用等方面提供一定的参考依据。

参考文献:

- [1] Liu Y, Sun Y, Huang G. Preparation and antioxidant activities of important traditional plant polysaccharides [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111:780-786.
- [2] Fiorito S, Epifano F, Prezioso F, et al. Selenylated plant polysaccharides: A survey of their chemical and pharmacological properties[J]. Phytochemistry, 2018, 153:1-10.
- [3] 刘昭,陈立功,武现军,等.生地提取物对接种 H9 亚型禽流感疫苗雏鸡非特异性免疫功能的影响[J]. 动物医学进展, 2016, 37(8):36-40.
- [4] Liu Z, Chen L G, Wu X J, et al. Effect of Radix Rehmanniae Extract on Nonspecific Immunity of Chicks Inoculated with H9 Subtype Influenza Vaccine[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2016, 37(8):36-40.
- [4] 吴秋玉,郑远鹏,林志谦,等.黄芪多糖作为饲料添加剂及免疫增强剂在畜牧生产中的应用[J]. 中国饲料, 2018, (2):30-33.

- Wu Q Y, Zheng Y P, Lin Z Q, *et al.* The application of Astragalus polysaccharides as feed additive and immunopotentiator in animal production[J]. *China Feed*, 2018, (2):30-33.
- [5] 张阳, 吕慧源, 徐盛玉, 等. 复合益生菌与黄芪多糖对生长育肥猪免疫和抗氧化功能的影响[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(6):3185-3197.
- Zhang Y, Lv H Y, Xu S Y, *et al.* Effects of Compound Probiotics and Astragalus Polysaccharide on Immunity and Antioxidant Function of Growing - Finishing Pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(6):3185-3197.
- [6] 龚泽修, 张星, 谢凯, 等. 茯苓多糖对母猪繁殖性能、仔猪生长性能及血清免疫指标、抗氧化指标的影响[J]. *饲料研究*, 2020, (6):27-30.
- Gong Z X, Zhang X, Xie K, *et al.* Effect of pachyman on sow reproductive performance, piglet growth performance, serum immune indexes and antioxidant indexes [J]. *Feed Research*, 2020, (6):27-30.
- [7] 柴艳, 李琦华, 贾俊静, 等. 白术多糖对断奶仔猪生产性能及肠道组织形态的影响[J]. *中国饲料*, 2020, (15):49-54.
- Chai Y, Li Q H, Jia J J, *et al.* Effect of PAM on production performance and intestinal morphology in piglet [J]. *China Feed*, 2020, (15):49-54.
- [8] 游金明, 郭晓波, 王自蕊, 等. 海藻多糖的免疫调节作用及其在畜禽生产中的应用[J]. *饲料工业*, 2017, 38(20):1-5.
- You J M, Guo X B, Wang Z R, *et al.* Immunomodulatory regulate of seaweed polysaccharides and its application in animal production [J]. *Feed Industry*,
- [9] Guo Q, Shao Q, Xu W, *et al.* Immunomodulatory and Anti - IBDV Activities of the Polysaccharide AEX from *Coccomyxa gloeobotrydiformis* [J]. *Marine Drugs*, 2017, 15(2):36.
- [10] Salni, Marisa H, Repi L A. Antioxidant Activities Bioactive Compound of ethyl acetate extracts from rose myrtle Leaves (*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.) [J]. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2020, 857:012002.
- [11] 周学明, 刘洪新, 陈寿, 等. 桃金娘叶的化学成分研究[J]. *中草药*, 2016, 47(15):103-108.
- Zhou X M, Liu H X, Chen S, *et al.* Chemical constituents from leaves of *Rhodomyrtus tomentosa* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2016, 47(15):103-108.
- [12] 罗爽妍, 王超, 段翰英, 等. 野生桃金娘主要抗氧化成分及其抗氧化能力[J]. *食品科学*, 2015, 36(17):77-82.
- Luo S Y, Wang C, Duan H Y, *et al.* Main Antioxidant Components and Antioxidant Activity of Wild Hill Gooseberry Fruits (*Rhodomyrtus tomentosa*) from Southern China [J]. *Food Science*, 2015, 36(17):77-82.
- [13] 孙晓玲. 人参茎叶多糖提取工艺的研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(6):95-98.
- SUN X L. Study on Extraction Process of Polysaccharides from Ginseng Stems and Leaves [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6):95-98.
- [14] Long H, Gu X, Zhu Z, *et al.* Effects of bottom sediment on the accumulation of nutrients in the edible green seaweed *Caulerpa lentillifera* (sea grapes) [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2020, 32(1):1-12.
- [15] 朱亚男, 徐崧阳, 丁慧敏, 等. 白玉菇多糖对免疫抑制型小鼠的免疫调节作用[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(7):295-300.
- Zhu Y N, Xu S Y, Ding H M, *et al.* Immunomodulatory Effects of White Hypsizyugus marmoreus Polysaccharides on Immunosuppressive Mice [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(7):295-300.
- [16] Li W, Hu X, Wang S, *et al.* Characterization and anti - tumor bioactivity of astragalus polysaccharides by immunomodulation [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 145:985-997.
- [17] 帅学宏, 陈吉轩, 施君, 等. 青蒿多糖对小鼠血清中 IL-1 β , IL-2, IL-6, IFN- γ 水平的影响[J]. *西南大学学报:自然科学版*, 2017, 39(7):11-16.
- Shuai X H, Chen J X, Shi J, *et al.* Effect of Herba Artemisiae Annuae Polysaccharides on IL-1 β , IL-2, IL-6 and IFN- γ Levels in the Serum of Mice [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science)*, 2017, 39(7):11-16.
- [18] Hao L X, Zhao X H. Immune activities of the water - soluble yam (*Dioscorea oppositifolia* Thunb) polysaccharides as affected by thermal, acidic and enzymatic treatments [J]. *CyTA - Journal of Food*, 2016, 14(2):266-270.
- [19] 刘金海, 陈恒, 罗小丽, 等. 半滑舌鲷鱼血液免疫因子对黄芪多糖的免疫应答[J]. *饲料研究*, 2020, 43(9):40-45.
- Liu J H, Chen H, Luo X L, *et al.* Immune response of blood immune factor to Astragalus polysaccharide in *Cynoglossus semilaevis* Gunther [J]. *Feed Research*, 2020, 43(9):40-45.
- [20] Shuai X H, Hu T J, Liu H L, *et al.* Immunomodulatory effect of a Sophora subprostrate polysaccharide in mice [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2010, 46(1):79-84.