

# 东北林蛙皮糖胺聚糖分析及其体外免疫活性

于 奇<sup>1</sup>, 郑 冉<sup>1</sup>, 张 怡<sup>1</sup>, 李 波<sup>1</sup>, 刘 达<sup>1</sup>, 李宜平<sup>1</sup>, 焦丽丽<sup>2\*</sup>

(1. 长春中医药大学药学院, 吉林 长春 130117; 2. 长春中医药大学吉林省人参科学研究院, 吉林 长春 130117)

**摘要:** **目的** 研究东北林蛙皮糖胺聚糖基础结构, 并验证其体外免疫活性。 **方法** 采用水提醇沉法提取多糖, Sepharose™ CL-6B 凝胶柱分离纯化, 对所得多糖进行分子量、单糖组成、红外光谱以及体外免疫活性考察。 **结果** 粗多糖 DGP、纯化后多糖 DGPA 由甘露糖、葡萄糖醛酸、葡萄糖、氨基半乳糖、半乳糖构成, 摩尔比分别为 0.30 : 2.05 : 0.17 : 1 : 0.23、0.41 : 2.67 : 0.16 : 1 : 0.25, 后者分子量为 141 kDa。纯化后, DGPA 为糖胺聚糖。DGP、DGPA 均可促进小鼠 T、B 淋巴细胞增殖, 并能促进小鼠巨噬细胞吞噬功能及分泌 NO、TNF-α 能力。 **结论** 纯化后, 东北林蛙皮多糖 DGPA 为糖胺聚糖, 具有免疫调节活性, 在同一质量浓度下比粗多糖 DGP 显示出更强的免疫激活作用。

**关键词:** 东北林蛙皮; 糖胺聚糖; 体外免疫活性

**中图分类号:** R284.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2022)11-3728-05

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1528.2022.11.060

东北林蛙 *Rana dybowskii* Guenther 为蛙科林蛙属两栖动物, 俗称“哈士蟆”<sup>[1]</sup>, 广泛分布于黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古等地区, 主产于长白山区域, 是我国著名的药食两用药材<sup>[2]</sup>。东北蛙皮中具有一定的糖胺聚糖, 在抗氧化<sup>[3]</sup>、抗凝血<sup>[4]</sup>、抗肿瘤<sup>[5]</sup>及免疫调节<sup>[6]</sup>方面呈现出较强的生物活性。近年来, 许多国内外学者对林蛙皮多糖的研究主要集中在提取、分离纯化及抗氧化<sup>[7-9]</sup>活性等方面, 但对其结构特征仍不清楚。基于此, 本研究以东北林蛙皮为原料, 采用水提醇沉法分离纯化得到林蛙皮多糖 DGP 和 DGPA, 初步分析两者基础结构, 并对其体外免疫活性进行研究, 以期为进一步研究该成分结构及构效关系奠定基础。

## 1 材料

**1.1 试剂、药物与动物** 东北林蛙皮采自吉林省舒兰市上营森林经营局桃园林场 (东经 127°25'36.18", 北纬 44°09'41.7", 海拔 338 m), 经长春中医药大学李宜平教授鉴定为东北林蛙 *Rana dybowskii* Guenther 的干燥皮肤。8~10 周龄 ICR 雄性小鼠, 体质量 (20.0±2.0) g, 购自长春市亿斯实验动物技术有限责任公司, 实验动物生产许可证号 SCXK (辽) 2020-0001, 在相对湿度 40%~60%, 温度 22~25 ℃ 的无菌动物房中适应性喂养 1 周。研究获长春中医药大学伦理委员会批准, 实验操作严格执行国际动物实验方针。Sephacose™ CL-6B 凝胶柱购自美国 GE Healthcare 公司。标准分子量葡聚糖、单糖对照品购自上海源叶生物科技有

限公司; 考马斯亮蓝试剂盒购自南京建成生物工程研究所; 1640 培养基购自美国 Gibco 公司; 新生牛血清购自浙江天杭生物科技股份有限公司; 脂多糖 (LPS)、半刀豆蛋白 (ConA)、青霉素、链霉素、二甲基亚砷、MTT 均购自美国 Sigma 公司。无水乙醇、氢氧化钠、三氟乙酸、三氯甲烷、正丁醇、氨基磺酸、盐酸、苯酚、硫酸等试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。

**1.2 仪器** Model 680 型酶标仪购自美国 Bio-Rad 公司; 真空干燥箱购自上海精宏实验设备有限公司; 恒温磁力搅拌器购自杭州仪表电机有限公司; 离心机购自美国 Sigma 公司; 循环水式真空泵购自郑州长城科工贸有限公司; 二氧化碳培养箱购自日本 Sanyo 公司; UV-8000 型紫外分光光度计购自上海元析仪器有限公司; 傅里叶红外光谱仪购自美国 Thermo Fisher Scientific 公司。

## 2 方法

**2.1 多糖制备** 林蛙皮经水提<sup>[10]</sup>、醇沉后得粗多糖 DGP, 采用 Sevage 法<sup>[7]</sup>脱蛋白后进一步用 Sepharose CL-6B 琼脂糖凝胶柱层析, 得纯化后多糖 DGPA。

**2.2 多糖理化性质分析** 采用考马斯亮蓝法、间羟基联苯法对 DGP、DGPA 总蛋白及糖醛酸水平进行检测。

**2.3 多糖分子量测定** 参考文献 [6] 报道, 色谱条件为 TSKgel G3000 PWXL 色谱柱 (7.8 mm×30.0 cm, 5 μm); 流动相超纯水; 体积流量 0.5 mL/min; 柱温 40 ℃; 进样量 20 μL。采用视差折射检测器, 用流动相配制不同分子

收稿日期: 2021-05-15

基金项目: 吉林省科技发展项目 (20170309005YY)

作者简介: 于 奇 (1995—), 女, 硕士生, 从事中药制剂新技术与新药开发研究。Tel: 15754481918, E-mail: 532014745@qq.com

\* 通信作者: 焦丽丽 (1982—), 女, 研究员, 博士生导师, 从事糖生物化学研究。E-mail: jianganj@ hotmail.com

网络出版日期: 2021-12-22

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1368.R.20211222.1123.002.html>

量对照品溶液，多糖配制为 10 mg/mL 溶液，0.22 μm 微孔滤膜过滤。

2.4 多糖傅里叶变换红外光谱分析 2~3 mg 多糖与适量 KBr 混合研细后压片，在 4 000~500 cm<sup>-1</sup> 波数范围内进行红外光谱扫描。

2.5 单糖组成分析 多糖经三氟乙酸 (TFA) 水解后进行 PMP 衍生。参考文献 [11] 报道，色谱条件为 C<sub>18</sub> Thermo hyperil ODS-2 色谱柱 (4.6 mm×25 cm, 5 μm)；流动相 17% 乙腈-83% PBS；体积流量 1 mL/min；柱温 25 ℃；进样量 20 μL；检测波长 245 nm。

2.6 体外免疫活性检测

2.6.1 多糖对小鼠淋巴细胞增殖转化的影响 小鼠脱颈处死，无菌条件下解剖并取出脾脏，研磨制成脾细胞悬液，1 500 r/min 离心 5 min，弃上清，Tris-NH<sub>4</sub>Cl 低渗液裂解红细胞，离心，D-Hanks 缓冲液洗涤，培养液将细胞密度稀释至 1×10<sup>6</sup>/mL，制成单细胞悬液<sup>[12]</sup>，加入细胞培养板中，每孔 100 μL，随机分为空白组、ConA 组 (5 μg/mL ConA)、LPS 组 (10 μg/mL LPS)、DGP 组 (50、100、200、400 μg/mL 多糖溶液)、DGPA 组 (50、100、200、400 μg/mL 糖胺聚糖溶液)、阳性对照组 (5 μg/mL ConA 或 10 μg/mL LPS)，培养液补至 200 μL，混匀，重复 3 孔，在 5% CO<sub>2</sub>、37 ℃ 条件下培养 44 h 后，每孔加入 20 μL MTT (5 mg/mL)，继续培养 4 h，弃上清，加入 150 μL 二甲亚砜，于 570 nm 波长处测定吸光度。

2.6.2 多糖对腹腔巨噬细胞的影响 小鼠腹腔注射 6% 可溶性淀粉 2 mL，3 d 后处死，10 mL D-Hanks 缓冲液清洗腹腔，收集液体，4 ℃ 离心后弃上清，1640 完全培养基重悬细胞，调整细胞密度为 2×10<sup>6</sup>/mL，取 100 μL 接种至 96 孔板，在 5% CO<sub>2</sub>、37 ℃ 下预孵 3 h，PBS 清洗 2~3 次，除去贴壁细胞，制得纯化巨噬细胞。

2.6.2.1 多糖对腹腔巨噬细胞吞噬功能的影响 将纯化后的巨噬细胞加到待测糖样 (200 μL/孔) 中，继续培养 24 h 后吸弃上清，每孔加入 100 μL 0.075% 中性红溶液继续培养 1 h，pH 7.4 PBS 洗去剩余中性红后，加入 100 μL 细胞裂解液，24 h 后采用酶标仪于 550 nm 波长处检测吸光度。

2.6.2.2 多糖对腹腔巨噬细胞 NO 水平的影响 配制 6 个不同浓度的 NaNO<sub>2</sub> 溶液，分别加到 96 孔板中，加入等体积 Griess 试剂，10 min 后于 540 nm 波长处检测吸光度，绘制标准曲线。细胞以 2×10<sup>6</sup>/mL 密度接种至 24 孔板，加入多糖培养 24 h，吸取细胞培养液上清 100 μL 加到另一培养板中，加入等体积 Griess 试剂，10 min 后在 540 nm 波长处测定吸光度，根据标准曲线计算 NO 水平。

2.6.2.3 TNF-α 水平检测 腹腔巨噬细胞与多糖一起培养，取上清液，采用 ELISA 试剂盒检测细胞上清 TNF-α 水平。

2.7 统计学分析 通过 SPSS 23.0 软件进行处理，结果以 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示，组间比较采用单因素方差分析，两两比较采用 *t* 检验。*P*<0.05 表示差异具有统计学意义。

### 3 结果

3.1 糖胺聚糖柱层析纯化 图 1 显示，DGP 过 Sepharose<sup>TM</sup> CL-6B 柱后得到单一、对称的洗脱峰，收集相应多糖洗脱液，即为糖胺聚糖 DGPA。

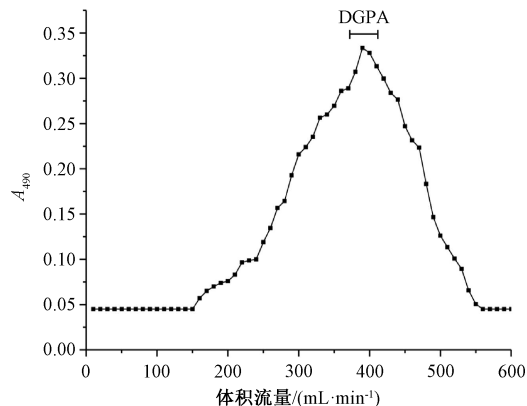
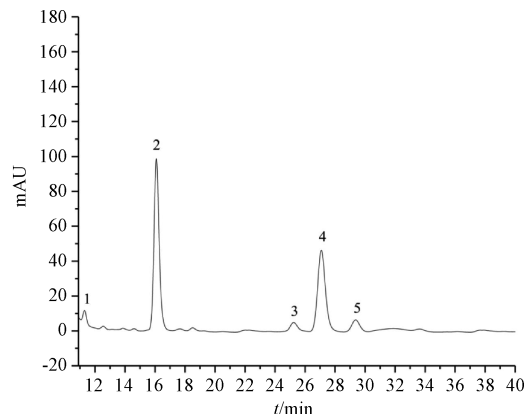


图 1 糖胺聚糖 DGPA Sepharose<sup>TM</sup> CL-6B 柱层析

3.2 多糖理化性质 DGP、DGPA 总蛋白质量分数分别为 19.93%、6.24%。采用间羟基联苯法，以 *D*-半乳糖醛酸含量为横坐标 (*X*)，吸光度为纵坐标 (*A*) 进行回归，得方程为  $A = 0.010\,7X + 0.059\,2$  ( $R^2 = 0.998\,3$ )，DGP、DGPA 糖醛酸质量分数分别为 14.5%、18.6%。DGPA 经高效凝胶渗透色谱法分析，以保留时间为横坐标 (*X*)，标准分子量为纵坐标 (*Y*) 进行回归，得方程为  $Y = -0.354\,1X + 9.392\,7$  ( $R^2 = 0.996\,7$ )，测得 DGPA 分子量为 141 kDa。

3.3 单糖组成 图 2~3 显示，DGP、DGPA 单糖组成相同，均由甘露糖、葡萄糖醛酸、葡萄糖、氨基半乳糖、半乳糖组成，前者摩尔比为 0.30 : 2.05 : 0.17 : 1 : 0.23，以葡萄糖醛酸、氨基半乳糖为主，表达为 81.3%；后者摩尔比为 0.41 : 2.67 : 0.16 : 1 : 0.25，以糖醛酸为主，表达为 59.4%。



1. 甘露糖 2. 葡萄糖醛酸 3. 葡萄糖 4. 氨基半乳糖 5. 半乳糖

图 2 DGP 单糖 HPLC 色谱图

3.4 多糖红外光谱分析 图 4 显示，3 370.38 cm<sup>-1</sup> 左右的吸收峰为糖类-OH 的特征吸收峰，2 936.27 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰为 C-H 键强伸缩振动，1 653.10、1 544.57 cm<sup>-1</sup> 左右的吸收峰说明有乙酰氨基 (-NH<sub>2</sub>COCH<sub>3</sub>) 存在，1 408.12 cm<sup>-1</sup> 处

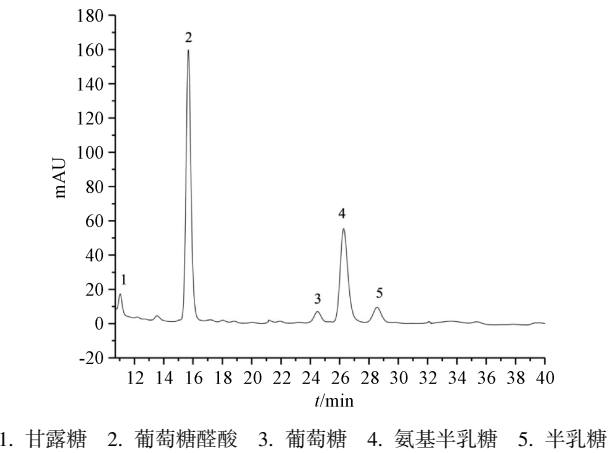


图 3 DGPA 单糖 HPLC 色谱图

的吸收峰为 $-\text{COO}^-$ 的特征吸收峰。综上所述， $-\text{OH}$ 、 $-\text{C-H}$ 链、 $-\text{NH}_2\text{COCH}_3$ 、 $-\text{COO}$ 是糖的特征基团，故 DGPA 为糖胺聚糖。

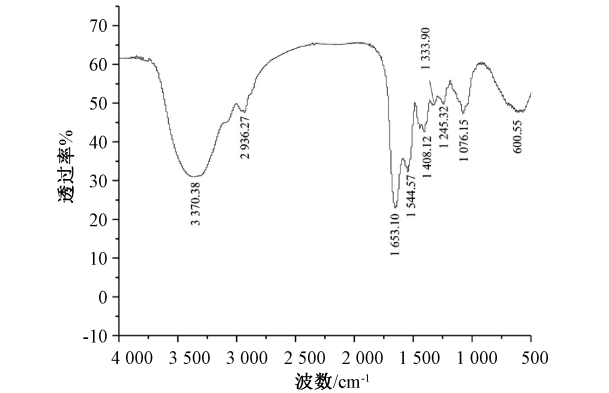
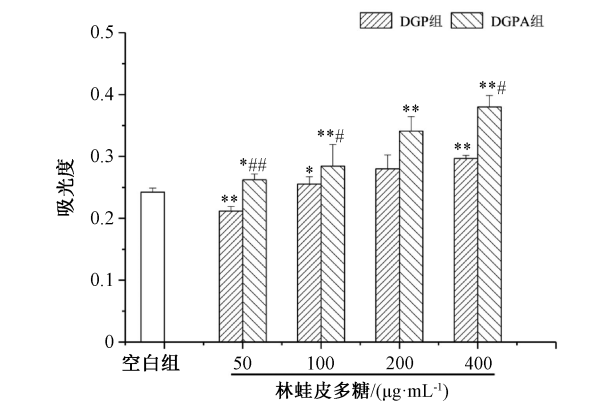


图 4 DGPA 红外光谱图

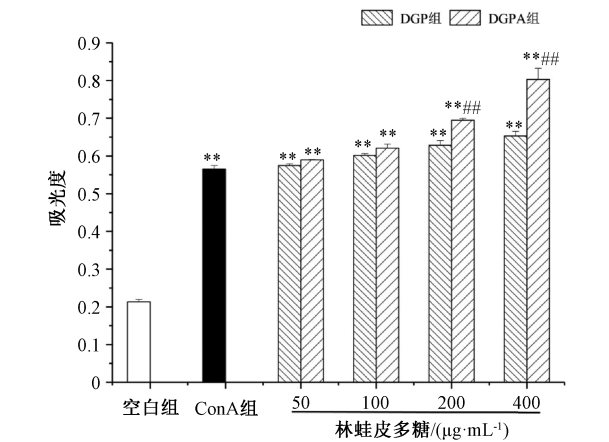
3.5 多糖对小鼠脾淋巴细胞增殖的影响 图 5 显示，与空白组比较，DGP 组、DGPA 组小鼠淋巴细胞增殖能力增强 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )，并均呈剂量依赖性；与 DGP 组比较，DGPA 组小鼠淋巴细胞增殖能力增强 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。图 6~7 显示，在 50~400  $\mu\text{g/mL}$  质量浓度范围内，DGP 组、DGPA 组协同 ConA 作用小鼠脾淋巴细胞时，细胞增殖能力高于 ConA 组 ( $P<0.01$ )，表明两者均能促进诱导 ConA 诱导的 T 淋巴细胞增殖，并呈剂量依赖性，在 400  $\mu\text{g/mL}$  时作用最强，为空白组的 3~4 倍；在 50~100  $\mu\text{g/mL}$  质量浓度范围内，DGP 组、DGPA 组协同 LPS 作用于小鼠脾淋巴细胞时，细胞增殖能力低于 LPS 组 ( $P<0.05$ )，表明两者均能抑制 LPS 诱导 B 淋巴细胞增殖；在 200~400  $\mu\text{g/mL}$  质量浓度范围内，细胞增殖能力高于 LPS 组 ( $P<0.01$ )，表明两者促进 LPS 诱导 B 淋巴细胞增殖，并且在相同质量浓度下 DGPA 组作用更优。

3.6 多糖对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能的影响 巨噬细胞的主要功能是吞噬病原体等异物<sup>[13]</sup>。图 8 显示，与空白组比较，DGPA 组小鼠巨噬细胞吞噬功能增强 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )，并呈剂量依赖性；当质量浓度为 400  $\mu\text{g/mL}$  时，DGP 组、DGPA 组均能增强小鼠巨噬细胞吞噬功能，效果



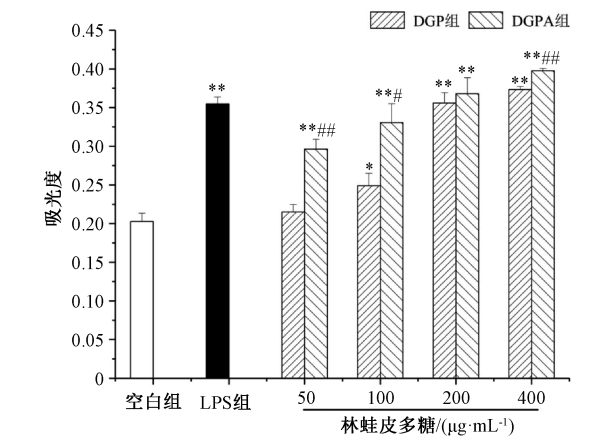
注：与空白组比较，\*  $P<0.05$ ，\*\*  $P<0.01$ ；与 DGP 组比较，#  $P<0.05$ ，##  $P<0.01$ 。

图 5 多糖对小鼠脾淋巴细胞增殖的影响 ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=10$ )



注：与空白组比较，\*\*  $P<0.01$ ；与 DGP 组比较，##  $P<0.01$ 。

图 6 多糖对 ConA 诱导小鼠脾淋巴细胞增殖的影响 ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=10$ )

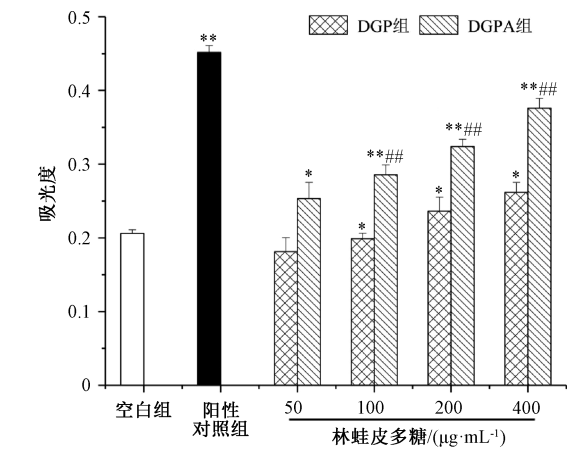


注：与空白组比较，\*  $P<0.05$ ，\*\*  $P<0.01$ ；与 DGP 组比较，#  $P<0.05$ ，##  $P<0.01$ 。

图 7 多糖对 LPS 诱导小鼠脾淋巴细胞增殖的影响 ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=10$ )

分别为空白组的 1.25、2 倍。

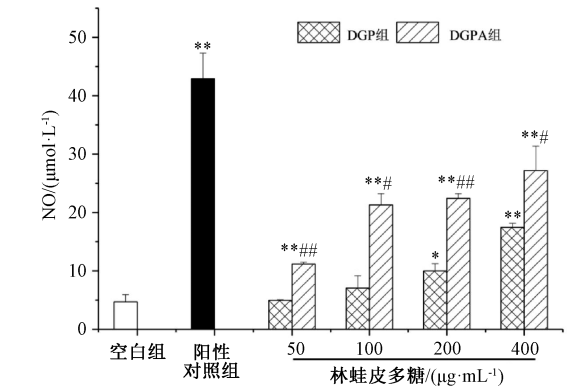
3.7 多糖对小鼠腹腔巨噬细胞 NO 水平的影响 图 9 显示，与空白组比较，DGPA 组小鼠巨噬细胞 NO 水平升高



注：与空白组比较，\*  $P<0.05$ ，\*\*  $P<0.01$ ；与 DGP 组比较，##  $P<0.01$ 。

**图 8 多糖对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能的影响**  
( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=10$ )

( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )，并呈剂量依赖性；当质量浓度为 400  $\mu\text{g/mL}$  时，DGP 组、DGPA 组均能增强小鼠巨噬细胞产生 NO 的能力，效果分别为空白组的 3、5 倍。



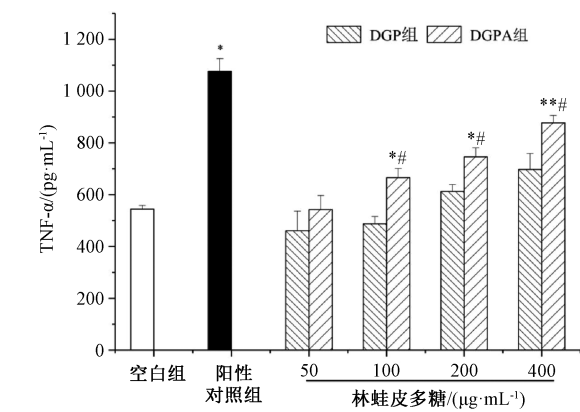
注：与空白组比较，\*  $P<0.05$ ，\*\*  $P<0.01$ ；与 DGP 组比较，#  $P<0.05$ ，##  $P<0.01$ 。

**图 9 多糖对小鼠腹腔巨噬细胞 NO 水平的影响**  
( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=10$ )

**3.8 多糖对小鼠巨噬细胞 TNF- $\alpha$  水平的影响** 图 10 显示，在 100~400  $\mu\text{g/mL}$  质量浓度范围内，DGPA 组能增强小鼠巨噬细胞分泌细胞因子 TNF- $\alpha$  能力 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )，并呈剂量依赖性；当质量浓度大于 100  $\mu\text{g/mL}$  时，DGPA 组增强小鼠巨噬细胞分泌 TNF- $\alpha$  的能力大于 DGP 组 ( $P<0.05$ )。

4 讨论

通过对分子量、单糖组成、特殊基团的研究，确定了 DGPA 为糖胺聚糖类化合物。已有研究表明，糖胺聚糖类化合物等具有显著的免疫调节作用，其功能与结构密切相关<sup>[14]</sup>，杨洁<sup>[15]</sup>发现仿刺参糖胺聚糖能促进 DC 细胞的增殖和细胞因子 IL-12、TNF- $\alpha$  的分泌。多种糖胺聚糖，例如仿刺参糖胺聚糖<sup>[12]</sup>、菲律宾蛤仔糖胺聚糖<sup>[16]</sup>、珠贝母糖胺聚糖<sup>[17]</sup>、近江牡蛎糖胺聚糖<sup>[14]</sup>等均被证明具有显著的有



注：与空白组比较，\*  $P<0.05$ ，\*\*  $P<0.01$ ；与 DGP 组比较，#  $P<0.05$ 。

**图 10 多糖对小鼠腹腔巨噬细胞 TNF- $\alpha$  水平的影响**  
( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=10$ )

免疫活性。本研究发现，林蛙皮糖胺聚糖具有显著的免疫调节作用，且纯化后的林蛙皮多糖 DGPA 对淋巴细胞和巨噬细胞的激活作用明显优于粗多糖 DGP，而这 2 种多糖的单糖组成存在一定差异，尤其是纯化后多糖 DGPA 的氨基半乳糖和葡萄糖醛酸的相对水平高于粗多糖 DGP，而单糖组成是影响多糖活性的重要因素。因此，林蛙皮多糖 DGPA 组与 DGP 组的免疫活性差异可能与其单糖组成的差异有关，具体影响机制有待进一步研究。

参考文献：

[ 1 ] 费 梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 中国动物志 (下卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1010-1018.

[ 2 ] 《中国药用动物志》协作组. 中国药用动物志 (第一册) [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1982: 174-176.

[ 3 ] 刘雨博, 栾君笑, 佟长青, 等. 虾夷扇贝裙边糖胺聚糖的提取及其体外抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2017 (11): 10-14.

[ 4 ] 孔 艳, 棚日翔, 戴梓茹, 等. 近江牡蛎糖胺聚糖降血糖及抗凝血活性研究[J]. 食品科技, 2019, 44(10): 289-293.

[ 5 ] 刘春雨, 吴 栋, 曹广超, 等. 动物药中糖胺聚糖研究进展[J]. 当代化工, 2019, 48(5): 1079-1082.

[ 6 ] 杨大俏, 王锦旭, 李来好, 等. 近江牡蛎多糖的结构鉴定及免疫调节能力分析[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 38-46.

[ 7 ] 赵小旭. 东北林蛙皮多糖的提取、纯化、结构分析及抗氧化活性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.

[ 8 ] Wang Z Y, Zhao Y Y, Su T T, et al. Characterization and antioxidant activity in vitro and in vivo of polysaccharide purified from *Rana chensinensis* skin [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 126: 17-22.

[ 9 ] Wang Z Y, Zhao Y Y, Su T T. Extraction and antioxidant activity of polysaccharides from *Rana chensinensis* skin [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 115: 25-31.

[10] 王珊珊, 王 莹, 徐鸿飞, 等. 东北林蛙皮多糖提取的研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2015, 36(5): 20-21; 26.

[11] 李祯鑫, 黄 真, 程汝滨, 等. 松茸水提物提取工艺优化及



其单糖组成分析[J]. 中成药, 2021, 43(4): 1008-1011.

[12] 尹 艺, 王远红, 胡敬峰, 等. 仿刺参糖氨聚糖的特异性免疫调节作用的研究[J]. 中国海洋药物, 2015, 34(1): 53-58.

[13] 职爱民, 余 曼, 乔苗苗, 等. 免疫技术在动物源性食品快速检测中的研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(5): 60-66.

[14] 胡雪琼, 吴红棉, 范秀萍, 等. 近江牡蛎糖胺聚糖的免疫

调节活性研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 16-24.

[15] 杨 洁. 仿刺参 *Apostichopus japonicus* 糖胺聚糖的制备、结构分析和活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.

[16] 范秀萍, 王瑞芳, 吴红棉, 等. 菲律宾蛤仔糖胺聚糖 RG-1 的结构特征及免疫活性研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 186-190.

[17] 张 磊. 合浦珠母贝糖胺聚糖免疫调节活性机理及其制品开发[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.

# 基于 MaxEnt 和 GIS 技术的落新妇适宜性分布研究

卻丹华<sup>1</sup>, 戴纯辉<sup>2</sup>  
(1. 杭州市临安区中医院, 浙江 杭州 311300; 2. 杭州市上城区紫阳街道春江花月社区卫生服务站, 浙江 杭州 310008)

**摘要:** **目的** 通过对落新妇适宜分布的研究, 为落新妇的野生抚育、种植区划和规范化种植推广提供参考。**方法** 通过最大熵模型 (MaxEnt) 和地理信息系统 (GIS) 技术, 对影响落新妇生长的主要生态因子和适宜生境特征进行分析、探讨, 研究落新妇在全国适宜生长区域的划分。**结果** 最大熵模型具有良好的预测效果, AUC 值为 0.984。影响落新妇生长的主要因素为降水、气温和海拔。最适宜的月降雨量为 50~200 mm, 温度条件为-15~35 ℃。海拔 3 000 米以下的山谷、溪边、灌木和林缘草地较适合落新妇的生长。落新妇的潜在分布主要集中在中国东部、中部和东北部的部分地区, 陕西、湖南、贵州、四川、浙江、山西和辽宁等是主要的适生区。**结论** 本研究建立的模型分析结果与实际调查相符, 可为落新妇种植面积的规划提供参考。在人工栽培中, 应考虑气温和土壤湿度等因素, 并注意遮阴和排涝。  
**关键词:** 落新妇; 生态因子; 最大熵模型; 地理信息系统; 适宜性  
**中图分类号:** R284.1      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1001-1528(2022)11-3732-04  
**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1528.2022.11.061

落新妇 *Astilbe chinensis* (Maxim.) Franch. Et. Sav. 是虎耳草科落新妇属植物<sup>[1-3]</sup>。落新妇具有活血散瘀、解毒止痛功效, 用于跌打损伤、风湿关节等疼痛症状的镇痛治疗<sup>[4-6]</sup>。落新妇具有抗肿瘤、抗炎、镇痛、抑菌等作用<sup>[7-8]</sup>。落新妇的野生资源有限, 在日益增长的市场需求下, 人工栽培成了落新妇药材的主要来源<sup>[9]</sup>。目前关于其全国地理分布格局的研究报告罕见。因此, 了解落新妇资源的总体情况, 准确掌握落新妇生长的生态影响因素及生长适宜性分布区域, 对促进人工栽培落新妇具有重要意义。目前, 在物种的潜在分布、物种保护和资源储量估算研究方面, 应用最广泛的为最大熵模型 (MaxEnt) 和地理信息系统技术 (GIS) 的联合技术<sup>[10-12]</sup>。在实地调查和文献检索的基础上, 运用 MaxEnt 模型和地理信息系统技术, 分析、探讨落新妇生长的生态因子和起源特征, 对落新妇在全国的生长适宜性分布区域进行预测及区划, 为落新妇的野生抚育、种植区划和规范化栽培推广提供参考。

**1 材料**  
MaxEnt 3.4.4 生态位模型软件; ArcGIS 10.8 软件 (美

国 ESRI 公司)。从第四次中药资源普查实地调查、文献资料、中国植物图像库 (<http://ppbc.iplant.cn/>) 和国家植物标本资源库 (<http://www.cvh.ac.cn/>) 中收集落新妇相关信息共 1 320 份, 采用具有精确经纬度、明确地址和详细采集坐标的标本信息, 筛选整理获得 331 份标本信息用于落新妇适宜性分布研究<sup>[13]</sup>。  
根据已知的适合落新妇生长的环境条件, 选择 7 个生态因子进行研究, 包括生物气候、温度、降水、地形、土壤、土地利用类型和植被覆盖度。19 个生物气候因子、12 个月平均温度因子和 12 个月降水因子均来自世界气候数据库 (<http://www.worldclim.org/>)<sup>[14]</sup>。地形包括海拔、坡度和坡向, 是从数字高程模型中提取的, 数据来自美国地质调查局。土壤、土地利用类型和植被覆盖数据分别取自世界土壤数据库 (<http://webarchive.iiasa.ac.at/>) 和世界地图数据库 (<https://globalmaps.github.io/>)。  
**2 方法**  
**2.1 模型构建与运算** 将采集的 331 个落新妇样品的地理信息和生态因子信息输入 MaxEnt, 并根据需要设置参