

郑璇, 中国明, 高林, 等. 不同产区皱皮木瓜总黄酮含量与土壤主要化学指标的关系[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(17): 202–205.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.054

# 不同产区皱皮木瓜总黄酮含量与土壤主要化学指标的关系

郑璇<sup>1,2</sup>, 中国明<sup>1</sup>, 高林<sup>1</sup>, 张鹏<sup>1</sup>, 李琦瑶<sup>1,2</sup>, 李盼盼<sup>1,2</sup>, 刘新民<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081)

**摘要:**为探究不同产区土壤主要化学指标与皱皮木瓜总黄酮含量的关系, 采用氯化铝比色法测定安徽宣城、重庆綦江、湖北长阳、浙江淳安、云南临沧 5 个产区的皱皮木瓜果实总黄酮含量以及各产区土壤有机质、全氮、速效钾、速效磷的含量, 并采用 SAS 9.2 进行数据分析。结果表明, 云南临沧和安徽宣城产区的皱皮木瓜总黄酮含量明显高于其他 3 个产区; 皱皮木瓜中总黄酮含量与土壤中的有机质和速效钾含量呈显著正相关( $P < 0.01$ ), 与全氮含量呈显著负相关( $P < 0.01$ ), 与速效磷含量呈显著正相关( $P < 0.05$ ); 逐步回归分析结果表明, 速效钾和有机质含量可以作为评价皱皮木瓜中总黄酮含量的参考指标。说明适当增加土壤有机质、速效钾、速效磷含量, 降低全氮含量有助于提高木瓜的总黄酮含量。研究结果对于皱皮木瓜的种植具有一定的指导作用。

**关键词:**皱皮木瓜; 总黄酮; 土壤化学指标; 相关分析; 逐步回归分析

**中图分类号:** S151.9<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0202-03

植物体内次生代谢产物多与植物的抗逆性、抗病性相关, 其合成和积累受环境因子影响。传统中医认为, 环境因子间的差异对中药材道地性的形成起重要作用。在众多环境因子中, 土壤占较大比重<sup>[1]</sup>。因此, 探究土壤主要化学指标对植物次生代谢产物合成和积累的影响对药材质量评价具有重要意义。

皱皮木瓜是蔷薇科植物贴梗海棠 [*Chaenomeles speciosa* (Sweet) Nakai] 的干燥近成熟果实, 因其果实晒干后外表皮皱缩而得名。皱皮木瓜是一种重要的药食同源植物, 具有保肝、抗肿瘤以及抗炎镇痛等功效<sup>[2]</sup>, 在我国主要分布于安徽、湖北、云南、重庆、四川、浙江、贵州等地。木瓜中黄酮类物质对皱皮木瓜药理活性有重要的作用。近年来, 对黄酮类物质的研究开始成为热点。黄酮类化合物可作为电子供体发挥抗氧化作用, 从而有效降低肿瘤、心脑血管疾病等慢性病的发生<sup>[3]</sup>。目前, 对皱皮木瓜的研究主要集中在不同产区<sup>[4]</sup>、不同采收期<sup>[5-6]</sup>木瓜药材所含的化学成分以及对其活性成分的分离提取<sup>[7]</sup>, 木瓜总黄酮与土壤化学指标的相关研究还未见报道。本试验结合生产实际, 通过对不同产地皱皮木瓜总黄酮含量与土壤 pH 值、有机质含量、全氮含量、速效钾含量、速效磷含量进行相关分析, 探究影响皱皮木瓜质量的土壤因素, 揭示土壤在道地药材形成中的作用和不同产区皱皮木瓜差异形成的原因, 为木瓜品质评价和生产提供理论指导和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

槲皮素对照品, 纯度 95%, Adamas 公司; 福林-西奥卡特 (Folin-Ciocalteu) 试剂, Sigma 公司; 甲醇、乙醇, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 亚硝酸钠 ( $\text{NaNO}_2$ ), 国药集团化学试剂有限公司; 三氯化铝 ( $\text{AlCl}_3$ ), 阿拉丁公司。

SBL-30DT 型超声波恒温清洗机, 浙江宁波新芝生物科技股份有限公司; Multiskan Fc 型酶标仪, 赛默飞世尔 (上海) 有限公司; BSA124S-C 型电子天平, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; FP6410 型火焰光度计, 上海精科分析仪器厂; 循环水式多用真空泵, 河南郑州长城科工贸有限公司。

### 1.2 试验材料

供试皱皮木瓜样品分别来自中国道地产区: 安徽宣城、重庆綦江、湖北长阳、浙江淳安、云南临沧, 采样于各产区木瓜采摘期进行 (2017 年 7—9 月)。在各产区的果园内随机选取生态条件基本一致的同龄实生皱皮木瓜植株各 5 株, 每个植株选取大小一致且成熟度相近的果实各 3 枚, 将采集的木瓜样品对半剖开, 并在日光下暴晒 10 d, 粉碎、过筛 (粒径 0.25 mm), 干燥保存。采集相应点的土样, 将土壤样品置于干燥、通风、洁净的室内阴干, 剔除杂质, 捡去动植物残体, 将土壤研细, 过筛 (粒径 2 mm), 干燥保存。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 木瓜样品总黄酮的提取和含量测定

1.3.1.1 提取方法 参考王晓丽的方法<sup>[8]</sup>并稍作改动。称取木瓜样品 0.1 g 于 20 mL 具塞玻璃管中, 精确称定, 加入 90% 乙醇 10 mL, 混匀, 于 60 ℃ 下超声 (功率为 360 W) 50 min; 过滤, 残渣根据以上方法再次提取 1 次, 合并 2 次滤液, 摇匀即得样品提取液。

1.3.1.2 槲皮素标准曲线的绘制 以槲皮素为标准品配制

收稿日期: 2017-12-13

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程 (编号: ASTIP TRIC05)。

作者简介: 郑璇 (1993—), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事农产品质量与食品安全研究。E-mail: zhengxuan1201@163.com。

通信作者: 中国明, 硕士, 研究员, 主要从事农产品质量与食品安全研究。E-mail: ycsggm@163.com。

标准溶液,选取槲皮素对照品溶液含量分别为 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mg/mL。用酶标仪于 510 nm 测量吸光度。以槲皮素含量( $C$ )为横坐标,吸光度( $D$ )为纵坐标绘制标准曲线,其回归方程为  $D=0.495C+0.0357$  ( $r^2=0.999$ )。槲皮素对照品溶液在 0.1~1.2 mg/mL 范围内呈线性关系(图 1)。

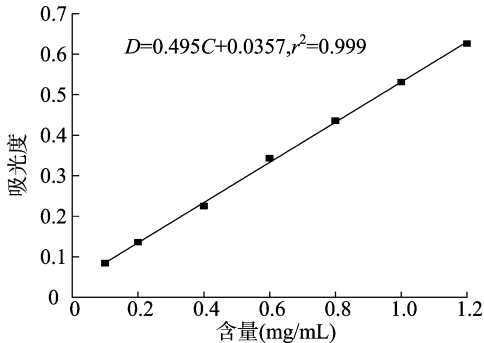


图1 槲皮素标准曲线

1.3.1.3 总黄酮含量测定 吸取 10  $\mu$ L 50 mg/mL 亚硝酸钠( $\text{NaNO}_2$ )溶液于 96 孔板中,加入 50  $\mu$ L 待测液,充分混匀后于室温下反应 5 min,加入 10  $\mu$ L 100 mg/mL 的氯化铝( $\text{AlCl}_3$ )溶液,充分混匀,室温反应 1 min,最后加入 100  $\mu$ L 0.5 mol/L 氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )溶液,用酶标仪于 510 nm 处测定吸光度。通过标准方程得出样品中的总黄酮含量。

1.3.2 土壤主要化学指标的测定 土壤主要化学指标的测定方法参照常规土壤化学分析方法进行测定<sup>[9]</sup>。土壤 pH 值在 5:1 水土比的土壤悬浊液中用酸度计测定;全氮含量采用凯氏定氮法测定;速效钾含量采用醋酸铵-火焰光度计法测定;速效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ )浸提-钼锑抗比色法测定。

#### 1.4 数据处理

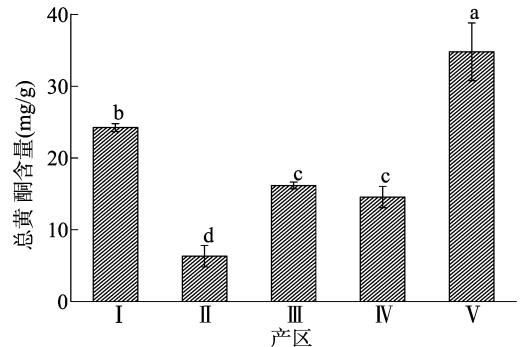
试验数据采用 Statistical Analysis System 9.2 进行相关性分析和逐步回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同产区木瓜总黄酮含量测定

本试验表明,在所选的 5 个产区中,各产区木瓜的总黄酮含量差异较大(图 2),其中云南临沧的木瓜总黄酮含量最高,为  $(34.79 \pm 0.20)$  mg/g,这与王有为等的研究结果<sup>[10]</sup>类似;重庆綦江的木瓜总黄酮含量最低,为  $(6.32 \pm 0.60)$  mg/g。这表明木瓜黄酮含量的积累与产区相关。木瓜总黄酮含量的

差异显示不同产区的木瓜质量可能有所不同。俞佳比较了 7 个产区(四川、湖北、安徽、云南、贵州、浙江、广元)皱皮木瓜的总黄酮含量,其中四川、浙江、广元这 3 个地区木瓜总黄酮含量较高<sup>[11]</sup>。不同的试验方法、采样时期、采样地点等因素都会造成木瓜总黄酮含量的差异。因此,不同产区木瓜总黄酮含量并不是一成不变的,药材的道地性可能受多种因素共同影响。



I—安徽宣城; II—重庆綦江; III—湖北长阳; IV—浙江淳安; V—云南临沧。不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

图2 不同产区皱皮木瓜总黄酮含量

### 2.2 不同产区土壤主要化学指标测定

木瓜不同产区土壤的 pH 值、有机质含量、全氮含量、速效钾含量、速效磷含量均存在一定差异(表 1)。皱皮木瓜种植地区土壤呈中性或弱酸性,各样地土壤有机质含量最高为最低的 5.85 倍,全氮含量最高为最低的为 4.84 倍,速效钾含量最高为最低的为 30.91 倍,速效磷含量最高为最低的为 15 倍。土壤氮、磷、钾的含量与植物的生长密切相关,重庆、浙江、湖北全氮含量较高,安徽、云南速效钾含量较高,安徽地区速效磷含量较高。不同产区土壤之间的差异,说明皱皮木瓜适应力强,适于人工集约化栽培。

在各种环境因子中,土壤对药材质量的影响起到了不可忽视的作用<sup>[12]</sup>,植物体内次生代谢物的产生和运输直接或间接受到土壤因子的影响。在不同产区,即使栽培措施和气候条件相同,土壤环境的不同也会造成植物体内代谢产物不同。一些植物次生代谢产物会受到土壤 pH 值的影响<sup>[13]</sup>,有机质含量是衡量土壤肥力的重要指标,土壤中的速效钾<sup>[14]</sup>、全氮、速效磷等含量均会影响植物中总黄酮的含量。孔璐等均选用了本试验选取的几种指标作为评价黄酮和木瓜质量的影响因子<sup>[15-16]</sup>,因此本试验选取的化学指标可较好地评价皱皮木瓜的质量。

表 1 不同产区土壤主要化学指标

产区	pH 值	有机质含量(%)	全氮含量(%)	速效钾含量(mg/g)	速效磷含量(mg/g)
安徽宣城	$5.42 \pm 0.44$ b	$4.46 \pm 0.13$ b	$0.59 \pm 0.04$ c	$0.240 \pm 0.014$ 0b	$0.004 \pm 0.001$ 40b
重庆綦江	$6.75 \pm 0.54$ a	$1.37 \pm 0.06$ e	$1.21 \pm 0.09$ b	$0.011 \pm 0.002$ 2d	$0.001 \pm 0.000$ 0b
湖北长阳	$6.83 \pm 0.92$ a	$3.00 \pm 0.15$ c	$0.98 \pm 0.01$ b	$0.150 \pm 0.034$ 0c	$0.003 \pm 0.001$ 40b
浙江淳安	$7.24 \pm 0.20$ a	$2.33 \pm 0.26$ d	$1.03 \pm 0.15$ b	$0.120 \pm 0.016$ 0c	$0.002 \pm 0.000$ 82b
云南临沧	$5.32 \pm 0.01$ b	$8.01 \pm 0.16$ a	$0.25 \pm 0.21$ a	$0.340 \pm 0.047$ 0a	$0.015 \pm 0.004$ 50a

注:同列数据后不同字母表示不同产区之间差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.3 总黄酮含量与土壤主要化学指标的相关性分析

通过分析总黄酮含量与土壤各因子之间的相关性可以揭示各指标间的联系。本试验选取具有代表性的 5 种土壤化学指标(pH 值、有机质含量、全氮含量、速效钾含量和速效磷含

量),它们可较好地反映土壤肥力的状况。由表 2 可知,总黄酮含量与土壤有机质含量、速效钾含量呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),与全氮含量呈极显著负相关关系,与速效磷的含量呈显著正相关关系( $P<0.05$ )。因此,皱皮木瓜总黄酮

表 2 总黄酮含量与 5 个土壤化学指标的相关系数

指标	相关系数				
	pH 值	有机质含量	全氮含量	速效钾含量	速效磷含量
有机质含量	-0.83				
全氮含量	0.89 *	-0.98 **			
速效钾含量	-0.82	0.96 **	-0.98 **		
速效磷含量	-0.73	0.97 **	-0.90 *	0.87	
总黄酮含量	-0.83	0.98 **	-0.99 **	1.00 **	0.90 *

注: \*、\*\* 代表相关显著( $P<0.05$ )、极显著( $P<0.01$ )。

含量受土壤中多个因子的共同影响。

药用植物所接受到的光照、温度、水分和土壤等因素会对植物的长产生重要的影响。土壤因子影响植物的次生代谢物的合成和积累,进而影响药材品质。不同植物对土壤 pH 值的响应不同。在某些植物中,土壤 pH 值与活性成分含量无明显相关性<sup>[17]</sup>;本试验结果中,土壤 pH 值对木瓜总黄酮含量无显著影响。土壤中有有机质可以促进土壤微生物生长,进而活化土壤养分,土壤中有有机质含量的提高有利于总黄酮的代谢积累;本试验中,土壤中的全氮含量与总黄酮含量呈极显著的负相关关系,说明土壤中全氮含量越多,越不利于皱皮木瓜总黄酮的合成和积累,这与“碳素/营养平衡假说”中的观点<sup>[18]</sup>一致,即环境中的碳/氮(C/N)比可以调节植物体内次生代谢产物合成和积累,一些以氮为基础的次生代谢产物与植物体内的碳氮比呈负相关关系,一些以碳、氢、氧为基础的与碳氮比呈正相关关系<sup>[19]</sup>。植物中的一些营养元素主要来源于土壤,因此土壤对植物氮素的供应量也会影响植物体内的次生代谢物质的积累。大量研究表明,土壤中氮含量低时更有利于次生代谢产物的合成和积累<sup>[20]</sup>。本试验中,土壤中的速效钾和速效磷含量与木瓜中总黄酮含量呈正相关。栽培过程中合理施肥,在一定范围内增加土壤中钾和磷的含量,可以在一定程度上提高木瓜的抗逆性和对外界环境的适应能力<sup>[21]</sup>,同时增加木瓜中总黄酮的含量。

2.4 回归模型的建立

为建立总黄酮含量与其他各土壤化学指标关系的数学模型,本试验以总黄酮含量(TF)为因变量、以各土壤化学指标为自变量进行逐步回归分析,得到方程:

$$TF = 3.984 + 1.177OM + 62.223AK (P < 0.01)。$$
 (1)  
式中:OM 为有机质含量,AK 为速效钾含量,复相关系数  $R = 0.999\ 4$ ,  $F = 1\ 668.51$ 。

由公式(1)可知,在 5 个土壤化学指标中有 2 个指标对皱皮木瓜总黄酮含量有显著影响,分别是有机质含量和速效钾含量,复相关系数较高,表明了土壤化学指标对木瓜黄酮含量的影响,说明以上 2 个指标可较好地解释总黄酮的含量。

将土壤化学指标与总黄酮含量通过逐步回归分析得到了 2 个显著影响皱皮木瓜总黄酮含量的单项指标,同时得到总黄酮含量评价数学模型,可预测不同产区皱皮木瓜总黄酮含量的差异,这对皱皮木瓜品质评价有一定科学性和预见性。

皱皮木瓜是我国传统的药食同源植物,药用历史悠久,而且作为一种功能食品具有很大的发展潜力,它营养、药用价值丰富,现已开发出木瓜酒、木瓜果脯<sup>[22]</sup>等广受消费者喜爱的食品。皱皮木瓜种植适应性强,适合在多数地区种植<sup>[23]</sup>,然

而目前对皱皮木瓜质量的影响因子缺乏深入研究<sup>[24]</sup>,从而不能对木瓜的科学管理提供技术支持,这在一定程度上限制了木瓜产业的发展。

本试验结果表明,木瓜总黄酮含量与土壤中的有机质、全氮、速效钾含量密切相关。除 pH 值和全氮含量外,其他 3 个化学指标均与总黄酮含量呈正相关。这与吴丹等对鱼腥草的研究结果<sup>[25]</sup>类似。覃容贵等对宽叶缙草总黄酮含量与根际土壤理化性质进行相关分析发现,总黄酮含量与有机质、速效钾和速效磷含量呈负相关<sup>[26]</sup>,与全氮含量呈正相关,这可能与植物的种类有关,也可能是因为一定条件下对药材生长发育有利的土壤条件对于次生代谢产物的积累反而不利<sup>[27]</sup>。

笔者通过木瓜总黄酮含量与土壤主要化学指标相关性分析,结合实际生产对木瓜品质的提高提出建议:皱皮木瓜的生长适合偏酸性或中性的土壤,在栽培过程中合理施肥,适当地多施磷肥、钾肥,培肥地力,控制土壤中氮肥的用量,疏松土壤,增加土壤酶活性和微生物比例,对于木瓜品质有较好改善。

3 结论

采用紫外分光光度法测定 5 个产区皱皮木瓜的总黄酮含量,其中云南临沧产区木瓜总黄酮含量最高,其次为安徽宣城、湖北长阳、浙江淳安,重庆綦江最低。通过相关分析可以看出,木瓜总黄酮含量与有机质、速效钾含量呈极显著正相关,与速效磷含量呈显著正相关,与全氮含量呈极显著负相关。有机质、速效钾含量可作为评价木瓜总黄酮含量的参考指标。不同产地间皱皮木瓜总黄酮含量的差异是产地间生境土壤和其他生态因子的不同以及遗传变异共同作用的结果,植物体内代谢物质的合成及积累也与植物自身发生的生理生化变化有关,对总黄酮含量的影响是多因素综合作用的结果,本试验测定了不同产区总黄酮含量与土壤条件的差异,探明了土壤的 5 种化学指标对木瓜总黄酮含量影响,为以后更深入研究影响木瓜质量的相关因子提供了借鉴和基础。

参考文献:

[1]朱 艳,崔秀明,施莉屏. 中药材道地性的研究进展[J]. 现代中药研究与实践,2006,20(2):58-61.  
[2]Zhang S Y,Han L Y,Zhang H,et al. *Chaenomeles speciosa*:a review of chemistry and pharmacology[J]. Biomedical Reports,2014,2(1):12-18.  
[3]李富华,刘 冬,明 建. 苦荞麸皮黄酮抗氧化及抗肿瘤活性[J]. 食品科学,2014,35(7):58-63.  
[4]刘世尧. 不同产区皱皮木瓜有机酸组成及主要活性成分分离纯化研究[D]. 重庆:西南大学,2012.  
[5]齐 红,王 云,郭庆梅,等. 不同采收期皱皮木瓜质量动态分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(2):19-22.  
[6]李 娜,姜洪芳,金敬宏,等. 不同采收期的宣木瓜总黄酮含量分析[J]. 食品研究与开发,2011,32(2):112-114.  
[7]魏旖琪,姚 雷. 皱皮木瓜中总黄酮分离纯化工艺[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2014,32(6):71-77.  
[8]王晓丽. 光皮木瓜黄酮类物质的提取及抗氧化性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014:5-16.  
[9]鲁如坤,史陶钧. 农业化学手册[M]. 北京:科学出版社,1982:32.

刘琳. 利用虎杖药渣生成桦褐孔菌多糖的研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(17): 205–208.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.055

# 利用虎杖药渣生成桦褐孔菌多糖的研究

刘琳

(青岛农业大学生命科学院山东省应用真菌重点实验室, 山东青岛 266109)

**摘要:**采用单因素和正交试验对桦褐孔菌发酵虎杖药渣生成多糖的发酵培养基进行优化。单因素试验结果表明, 最适麸皮添加量为 10 g/L, 最适虎杖药渣添加量为 15 g/L, 最适氮源为蛋白胨, 其添加量为 5 g/L。正交试验获得的最优培养基为虎杖药渣 15 g/L、麸皮 1.0 g/L、蛋白胨 5 g/L、MgSO<sub>4</sub> 1.5 g/L、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 3 g/L。此条件下, 获得多糖(7.65 ± 0.21) g/L、白藜芦醇(1.62 ± 0.14) mg/g, 桦褐孔菌菌丝体生物量为(11.79 ± 0.35) g/L。该方法为虎杖药渣废弃物的综合利用提供了新思路。

**关键词:**桦褐孔菌; 虎杖药渣; 多糖; 发酵培养基

**中图分类号:**S182; R284.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)17-0205-04

白藜芦醇是一种重要的植物抗毒素, 具有抗癌、抗病毒等多种功效, 在美国、日本等国家被列为保健品, 在我国白藜芦醇被制成胶囊, 用于调节血脂和抗癌治疗<sup>[1-4]</sup>。目前, 国际市场上对白藜芦醇的需求量与日俱增。白藜芦醇的主要生产方法是从植物虎杖(*Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc)中提取, 在生产过程中产生大量药渣, 仅 2010 年, 我国虎杖药渣总量就达 2.6 万 t<sup>[5]</sup>。部分白藜芦醇残留在药渣中, 造成资源浪费。田凤等报道, 水提虎杖药渣中残留的白藜芦醇含量达到

原药材总量的 47%<sup>[5]</sup>。更为重要的是, 这些药渣大多作为废弃物集中堆放、掩埋, 或晒干后焚烧处理, 造成严重的环境污染<sup>[6]</sup>, 而有关虎杖药渣综合利用的研究却鲜有报道。朱杰等利用虎杖药渣栽培杏鲍菇, 杏鲍菇中白藜芦醇含量仅为 4.91 μg/g, 产品附加值较低<sup>[7]</sup>。

桦褐孔菌[*Inonotus obliquus* (Fr.) Pilat] 是一种非常珍贵的药用真菌, 早在 16 世纪, 欧洲国家已将其应用于治疗癌症、结核病、糖尿病等疑难杂症<sup>[8-9]</sup>。多糖是桦褐孔菌的重要活性成分, 具有抗炎、抗肿瘤、降血糖等多种生理活性<sup>[10-11]</sup>。然而, 野生桦褐孔菌资源十分稀少, 价格昂贵, 远不能满足市场需求。液体深层发酵是桦褐孔菌多糖的主要来源途径, 同时桦褐孔菌菌丝体含有丰富的人体必需氨基酸, 具有较高的营养价值<sup>[12]</sup>。近年来, 对于桦褐孔菌多糖的研究主要集中在药

收稿日期: 2017-03-15

基金项目: 山东省高等学校科技计划(编号: J16LE04); 山东省“泰山学者”建设工程项目(编号: 6631114314)。

作者简介: 刘琳(1979—), 女, 吉林白山人, 博士, 讲师, 主要从事微生物转化与分离研究。E-mail: liulin@qau.edu.cn。

[10] 王有为, 何敬胜, 范建伟, 等. 木瓜道地起源与道地产区形成研究[C]//药用植物化学与中药有效成分分析研讨会论文集(上). 深圳: 中华中医药学会, 2008: 5.

[11] 俞佳. 不同道地产区木瓜指标成分分析及川木瓜总黄酮提取纯化工艺研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2007.

[12] 杨新杰, 许苗苗, 宋蓓, 等. 土壤因子对珠子参药材质量的影响研究[J]. 中药材, 2014, 37(9): 1513–1517.

[13] 闫恩荣, 王希华, 陈小勇. 浙江天童地区常绿阔叶林退化对土壤养分库和碳库的影响[J]. 生态学报, 2007(4): 1646–1655.

[14] 刘晓侠, 刘吉利, 吴娜, 等. 不同地域枸杞主要次生代谢物含量与初生代谢物含量的关系研究[J]. 北方园艺, 2015(23): 163–169.

[15] 孔璐, 黎云祥, 权秋梅, 等. 不同群落类型柔毛淫羊藿总黄酮和淫羊藿苷含量及其与土壤因子的关系[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2517–2522.

[16] 罗敏, 谭秋生, 罗川, 等. 皱皮木瓜质量与土壤理化性质的相关性研究[J]. 中药材, 2017, 40(1): 26–28.

[17] 辛博. 产地气候、土壤因子及生长年限对黄芩药材质量的影响研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2015.

[18] Bryant J P, Chapin F S, Klein D R. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory[J]. OIKOS, 1983,

40(3): 357–368.

[19] 苏文华, 张光飞, 周鸿, 等. 短葶飞蓬黄酮及咖啡酸酯的含量与土壤氮供应量的关系[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 885–892.

[20] 杜玮伟, 姚小洪, 黄宏文. 环境胁迫对雷公藤中雷公藤红素含量的影响[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 180–185.

[21] 侯力峰. 不同土壤因子与黄顶菊乙醇提取物相关性研究[D]. 保定: 河北大学, 2014.

[22] 卜晓英, 张敏, 李文芳, 等. 木瓜系列产品加工技术[J]. 食品工业科技, 2003(4): 45–48.

[23] 董丽菊. 不同品种木瓜光合特性及品质评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.

[24] 谢海伟, 张斌, 杨贤松, 等. 宣木瓜有效成分的研究进展[J]. 中药材, 2012, 35(1): 157–161.

[25] 吴丹, 罗世琼, 杨占南, 等. 土壤养分及微生物特征对鱼腥草多酚和总黄酮的影响及相关性分析[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(8): 1444–1452.

[26] 覃容贵, 钱志瑶, 周镁, 等. 宽叶缬草土壤理化性质对其总黄酮含量的影响[J]. 中药材, 2016, 39(8): 1696–1698.

[27] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的