

太白贝母鳞茎品质与根际土壤因子的相关性分析

谷文超^{1,2}, 母茂君¹, 杨敏¹, 郭冬琴², 周浓^{1,2*}

(1. 大理大学 药学与化学学院, 云南 大理 671000; 2. 重庆三峡学院 生物与食品工程学院, 三峡库区道地药材绿色种植与深加工重庆市工程实验室, 重庆 404120)

[摘要] **目的:** 探究不同产地、不同年限的太白贝母鳞茎品质与根际土壤因子之间相关关系, 为太白贝母药材的优质、安全生产提供理论依据。**方法:** 以 11 份不同产地、不同生长年限太白贝母鳞茎及根际土壤为研究对象, 采用土壤农化分析方法对根际土壤中速效氮, 速效磷, 速效钾, 有机质, pH 及 6 种土壤酶活性进行测定, 采用 HPLC 法测定鳞茎中贝母辛和 9 种核苷含量, UV 法测定总生物碱含量, 利用 SPSS 22.0 软件对测定数据进行相关性分析。**结果:** 不同产地和不同生长年限太白贝母根际土壤因子与鳞茎品质之间均具有显著性差异($P < 0.05$)。土壤因子方面, 野生品根际土壤速效氮、速效钾、有机质含量和 6 种土壤酶活性均高于栽培品, 而速效磷, pH 低于栽培品。随生长年限增加, 栽培品土壤养分指标呈现不同趋势的变化, 野生品无明显变化, 但两者的土壤酶活性大多呈现不同程度的降低。鳞茎品质方面, 太白贝母鳞茎 9 种核苷含量和生物碱含量随生长年限增加而呈现降低趋势, 栽培品变化趋势较大, 而野生品变化不大, 多数栽培品核苷及生物碱含量高于野生品。相关性分析显示, 根际土壤因子之间及土壤因子与鳞茎品质之间均具有一定的相关性。整体上说, 土壤营养状况和鳞茎品质随着年限的增加呈下降状态。**结论:** 太白贝母品质主要受到其根际土壤因子综合影响, 在太白贝母野外就地保护或人工栽培过程中, 注意根据实际情况增减土壤各养分的含量及其比例关系, 以保证其品质。

[关键词] 太白贝母; 鳞茎品质; 土壤因子; 生长年限; 野生品; 栽培品

[中图分类号] R284.2; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)07-0165-13

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20200713

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20191218.1657.009.html>

[网络出版时间] 2019-12-19 09:25

Correlation Analysis Between Bulb Quality and Rhizosphere Soil Factors of *Fritillaria taibaiensis*

GU Wen-chao^{1,2}, MU Mao-jun¹, YANG Min¹, GUO Dong-qin², ZHOU Nong^{1,2*}

(1. School of Pharmacy and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China;
2. School of Biological and Food Engineering, Chongqing Engineering Laboratory for Green Cultivation and Deep Processing of Three Gorges Reservoir Area's Medicinal Herbs, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404120, China)

[Abstract] **Objective:** To explore the correlation between bulb quality and rhizosphere soil factors of *Fritillaria taibaiensis* of different origins and years, in order to provide theoretical basis for the high quality and safe production of *F. taibaiensis*. **Method:** Totally 11 samples of bulb and rhizospheric soil of *F. taibaiensis* of different origins and years were taken as the research objects. Available N, available P, available K, organic matter, pH and six soil enzyme activities in rhizosphere soils were determined by soil agrochemical analysis method. Peimisine and nine nucleosides in *F. taibaiensis* bulbs were determined by HPLC, and total alkaloid content was determined by UV. SPSS 22.0 software was used to analyze the correlation of the measured data. **Result:** There were

[收稿日期] 20191008(004)

[基金项目] 重庆市科技计划项目(cstc2013jcyjA10120);教育部“春晖计划”合作科研项目(Z2015150)

[第一作者] 谷文超,在读硕士,从事药用植物栽培与质量控制研究,E-mail:1776114687@qq.com

[通信作者] *周浓,教授,硕士生导师,从事药用植物栽培与质量控制研究,Tel:023-58576130,E-mail:erhaizn@126.com

significant differences in rhizosphere soil factors and bulb quality between *F. taibaiensis* of different origins and years ($P < 0.05$). In terms of soil factors, the contents of available N, available K, organic matter and six soil enzyme activities in rhizosphere soil of wild varieties were higher than those of cultivated varieties, while the contents of available P and pH were lower than those of cultivated varieties. With the increase of growth years, the soil nutrient index of cultivated varieties showed different change trends, while that of wild varieties did not change significantly. However, most of the soil enzymes in both groups decreased in varying degrees. In terms of bulb quality, the contents of nine nucleosides and alkaloids in *F. taibaiensis* bulbs decreased with the increase of growth years, with larger change trends of cultivated varieties, while that of wild varieties was not significant. The contents of nucleosides and alkaloids in most cultivated varieties were higher than those in wild varieties. The correlation analysis showed certain correlations between soil factors in rhizosphere as well as soil factors and bulb quality. In general, soil nutrient status and bulb quality decreased with the increase of years. **Conclusion:** The quality of *F. taibaiensis* is mainly affected by its rhizosphere soil factors. In the process of field conservation and artificial cultivation, attention shall be paid to increase or decrease of the content of soil nutrients and their proportional relationship according to actual situations, so as to ensure the quality of *F. taibaiensis*.

[**Key words**] *Fritillaria taibaiensis*; bulb quality; soil factors; growth years; wild variety; cultivated variety

太白贝母 (*Fritillaria taipaiensis*) 为百合科贝母属 (*Fritillaria*) 多年生草本植物, 其入药部位为干燥鳞茎, 2015 年版《中国药典》(一部) 中记载其可用于肺热燥咳, 干咳少痰, 阴虚劳嗽等症^[1]。太白贝母在湖北、重庆、宁夏、甘肃等地区药用历史悠久, 多被当做川贝母入药^[2]。在重庆地区, 野生太白贝母主要分布在巫溪、巫山、城口、奉节等地, 资源稀少^[3]。近年来, 随着医药市场的需求量逐渐大, 野生太白贝母被过度采挖, 濒临灭绝。为了满足市场需求, 许多地区开展了人工栽培太白贝母, 但太白贝母对气候条件和土壤条件都有特殊的要求^[4], 如果栽培技术不成熟, 会使其品质良莠不齐。

土壤肥沃是影响植物生长发育中最关键的因素, 植株随生长年限的增加, 出现生长发育不良情况, 导致其品质和产量均大幅度下降。而土壤酸碱度、营养元素和土壤酶活性又是影响土壤肥力的重要因素。土壤酸碱度变化会使其他营养元素含量失衡。有机质是土壤肥力的基础, 氮、磷、钾为植物生长发育必须的三大营养元素^[5]。土壤酶活性常作为表征土壤肥力的指标, 影响土壤生态系统的物质循环和能量流动^[6]。早期研究表明, 太白贝母人工栽培中合理施用氮磷钾等能获得高产, 并能提高药材品质^[7-8]。对于太白贝母, 3 年后根际土壤养分和营养元素会出现迅速下降的趋势, 同时随着生长年限的增加, 根际土壤的酶活性会呈现不同程度的改变^[9-10]。王怀玉等^[11] 研究表明太白贝母鳞茎中贝母辛和总生物碱的含量随着生长年限的增加先增加

后降低。叶琪琪等^[12] 对伊贝母有效成分含量与土壤因子进行了研究, 发现土壤中速效钾、全氮、有机质、速效氮及总盐对伊贝母中有效成分的合成和积累起到了关键性作用。目前, 针对太白贝母鳞茎品质与土壤因子的综合性对比研究未见报道。因此, 本研究以重庆市巫溪县 11 份不同产地、不同生长年限的栽培和野生太白贝母为对象, 对太白贝母种植土壤的多个因子及鳞茎中的核苷和生物碱进行分析, 系统考察不同产地及不同年限的太白贝母鳞茎品质与根际土壤因子之间相关关系, 旨在揭示其种植土壤和药材相互作用规律, 为太白贝母药材的优质、安全生产提供理论依据。

1 材料

LC-20A 型高效液相色谱仪, UV-2450 型紫外-可见分光光度计 (日本岛津集团); Aglient 1260 型高效液相色谱仪 (美国 Aglient 公司), 1260 Infinity 型蒸发光散射检测器; FP640 型火焰光度计 (上海悦丰仪器仪表有限公司); TDZ5-WS 型多管架自动平衡离心机 (湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司); XP204 型 1/1 万电子天平 (梅特勒-托利多上海有限公司); SB-5200DTN 型超声波清洗机 (宁波新芝生物科技股份有限公司, 功率 300 W, 频率 40 kHz); BS-2F 型振荡培养箱 (江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司); pHB-10 型 pH 计 (杭州奥利龙仪器有限公司)。

尿嘧啶、鸟嘌呤、尿苷、腺嘌呤、胸苷和腺苷对照品 (中国食品药品检定研究院, 批号分别为 100469-

200401, 140631-201205, 110887-200202, 886-200001, 101215-201401, 110879-200202, 纯度均 > 98%); 胞苷, 鸟苷, 2'-脱氧腺苷对照品(购自南京都莱生物技术有限公司, 批号分别为 PHA0053, PHA0064, PHA0071, 纯度经 HPLC 峰面积归一化法计算均 > 98%); 贝母辛、西贝母碱对照品(成都曼思特生物科技有限公司, 批号分别为 19773-24-1, 61825-98-7, 纯度经 HPLC 峰面积归一化法计算均 > 98%)。色谱用乙腈、甲醇(色谱纯, 德国默克公司), 尿素, 柠檬酸, 氢氧化钾, 氢氧化钠, 苯酚, 次氯酸钠, 硫酸铵, 磷酸氢二钠, 磷酸二氢钾, 重蒸酚, 硼酸, 硫酸铝, 蔗糖, 二氧化硅, 3,5-二硝基水杨酸, 酒石酸钾钠, 葡萄糖, 30% 过氧化氢, 铝钾矾, 高锰酸

钾, 甲基红, 溴钾酚绿, 硫酸亚铁, 阿拉伯胶, 碳酸钾, 甘油, 甘氨酸, 碳酸氢钠, 钼酸铵, 酒石酸锶钾, 抗坏血酸, 重铬酸钾, 邻菲罗啉, 乙酸铵, 浓硫酸, 浓盐酸, 氨水, 甲苯, 三氯甲烷, 甲醇, 乙醇, 丙酮(均为分析纯), 水为娃哈哈纯净水。

太白贝母新鲜鳞茎及其根际土壤采集地信息见表 1。经三峡库区道地药材绿色种植与深加工重庆市工程实验室(重庆三峡学院)周浓教授鉴定为百合科植物太白贝母(*F. taipaiensis*)的新鲜鳞茎及其根际土壤。太白贝母野生品、栽培品新鲜鳞茎及其根际土壤均按常规方法取样与处理^[13], 保证实验结果的一致性、准确性。采用 Excel 2003 和 SPSS 22.0 统计软件对实验数据进行分析。

表 1 不同生长年限太白贝母采样点的基本情况

Table 1 Basic sampling point information of *Fritillaria taipaiensis* with different growth years

No.	生长年限	样品来源	经纬度	海拔/m	栽培方式
S1	1 年生	重庆市巫溪县兰英乡	31°23'56.11"/109°50'29.93"	2 274	栽培
S2	2 年生	重庆市巫溪县兰英乡	31°23'56.11"/109°50'29.93"	2 274	栽培
S3	3 年生	重庆市巫溪县兰英乡	31°23'56.11"/109°50'29.93"	2 274	栽培
S4	4 年生	重庆市巫溪县兰英乡	31°23'56.11"/109°50'29.93"	2 274	栽培
S5	5 年生	重庆市巫溪县兰英乡	31°23'56.11"/109°50'29.93"	2 274	栽培
S6	大贝	重庆市巫溪县兰英乡	31°25'24.32"/109°55'14.26"	2 289	野生
S7	中贝	重庆市巫溪县兰英乡	31°25'24.27"/109°55'14.19"	2 290	野生
S8	小贝	重庆市巫溪县兰英乡	31°25'24.26"/109°55'14.21"	2 289	野生
S9	大贝	重庆市巫溪县红池坝国家森林公园	31°35'26.57"/109°00'11.96"	2 507	野生
S10	中贝	重庆市巫溪县红池坝国家森林公园	31°35'25.95"/109°00'11.31"	2 499	野生
S11	小贝	重庆市巫溪县红池坝国家森林公园	31°35'25.74"/109°00'10.94"	2 478	野生

2 方法与结果

2.1 不同生长年限太白贝母根际土壤养分特征

2.1.1 速效氮含量采用碱解扩散法测定 参照鲍士坦的方法^[13]。称取风干土 2.0 g 和硫酸亚铁粉剂 1.0 g, 均匀铺在扩散皿内, 加入 2% 硼酸溶液 2.0 mL, 滴加 1 滴定氮混合指示剂, 涂上碱性胶液, 盖上毛玻璃, 转开毛玻璃的一边, 迅速加入 1 mol·L⁻¹ 氢氧化钠溶液 10.0 mL, 立即盖严。用橡皮筋固定, 放入 40 °C 恒温箱中, 24 h 后取出, 以 0.005 mol·L⁻¹ 硫酸溶液滴定, 溶液由蓝色至微红色为终点, 记下硫酸溶液用量为 V。同时做不加土样空白试验, 记录滴定空白的硫酸溶液用量为 V₀。计算公式为碱解性氮质量分数(mg·kg⁻¹) = 70 × (V - V₀)/m(m 为土壤质量; 70 为换算系数), 计算其含量。

2.1.2 速效磷含量采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色

法测定 标准曲线的绘制: 分别吸取 5.0 mg·L⁻¹ 磷标准溶液 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 mL 于 50 mL 量瓶中, 加入 0.5 mol·L⁻¹ 碳酸氢钠溶液 10.0 mL, 准确加蒸馏水至 45.0 mL, 摇匀, 加入钼锑抗试剂 5.0 mL, 摇匀, 静置 30 min, 在 880 nm 处测定吸光度, 以磷的浓度为横坐标(X), 吸光度为纵坐标(Y), 绘制标准曲线, 得回归方程为 Y = 0.672 3X + 0.006 1(r = 0.999 8)。结果表明磷标准溶液在 0 ~ 0.5 mg·L⁻¹ 呈良好的线性关系。

样品制备及测定: 主要参照鲍士坦^[13]的方法。取风干土约 5.0 g, 精密称定, 置于 200 mL 锥形瓶中, 加入 0.5 mol·L⁻¹ 碳酸氢钠溶液 100 mL, 振荡 30 min, 滤过, 取滤液 10.0 mL 于 25 mL 量瓶中, 加蒸馏水至 20 mL, 加钼锑抗试剂 5.0 mL 充分摇匀, 静置 30 min, 同时做空白溶液, 测定。记录其吸光

度,代入标准曲线计算其含量。

2.1.3 速效钾含量采用醋酸铵-原子吸收法测定
标准曲线的绘制:分别吸取 100.0 mg·L⁻¹钾标准液 0,2.5,5.0,10.0,15.0,20.0,40.0 mL 放入 100 mL 量瓶中,用 1 mol·L⁻¹乙酸铵溶液定容,即得钾标准系列溶液。分别在原子吸收光度计上进行测定,以钾的浓度为横坐标(X),检流计读数为纵坐标(Y),绘制标准曲线,得回归方程为 $Y = 1.6874X + 2.0161$ ($r = 0.9992$)。结果表明,钾质量质量浓度在 0~40.0 mg·L⁻¹呈良好的线性关系。

样品制备及测定:参照鲍士旦^[13]的方法。取风干土约 5.0 g,精密称定,于 100 mL 锥形瓶中,加入 1 mol·L⁻¹中性乙酸铵溶液 50.0 mL,振荡 30 min,滤过,滤液同钾标准系列溶液一起在原子吸收光度计上测定。记录其检流计上的读数,代入标准曲线计算其含量。

2.1.4 有机质含量采用重铬酸钾-氧化外加热法测

定 主要参照鲍士旦的方法^[13]。取风干土约 5.0 g,精密称定,于 250 mL 锥形瓶中,加入 1 mol·L⁻¹重铬酸钾溶液 5.0 mL,混匀,加入浓硫酸 10.0 mL,振荡 1 min,静置 30 min,加蒸馏水稀释至 125.0 mL,加 3 滴邻菲罗啉指示剂,用 0.5 mol·L⁻¹硫酸亚铁溶液滴定,溶液颜色由绿色变为暗绿色直至生成砖红色沉淀为终点,记录硫酸亚铁用量 V_0 。同法做空白测定,记录滴定空白的硫酸亚铁用量 V_1 。计算公式土壤有机碳 ($g \cdot kg^{-1}$) = $3.4394 \times (V_1 - V_0) / m$ (m 为土壤质量;3.4394 为换算系数),计算其含量。

2.1.5 pH 测定 pH 的测定主要参照鲍士旦的方法^[13]。称取风干土约 10.0 g,于 50 mL 烧杯中,加蒸馏水 25.0 mL,搅拌 5 min,静置 60 min 后取上清液测定,即得。

2.1.6 评价标准 根据全国第 2 次土壤普查养分分级标准^[14]进行评价,见表 2。

表 2 土壤养分含量分级标准

Table 2 Classification of soil nutrition content

项目	速效氮	速效磷	速效钾	有机质	pH 分级	pH
级别 含量	/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹	/mg·kg ⁻¹	/g·kg ⁻¹		
1 级 丰富	>150	>40	>200	>40	碱性	8.5
2 级 较丰	120~150	20~40	151~200	30~40	微碱性	7.5~8.5
3 级 中等	90~120	10~20	101~150	20~30	中性	6.5~7.5
4 级 较缺	60~90	5~10	51~100	10~20	微酸性	5.5~6.5
5 级 缺乏	30~60	3~5	30~50	6~10	酸性	4.5~5.5
6 级 极缺	<30	<3	<30	<6	强酸性	4.5

2.1.7 数据分析 11 份栽培和野生太白贝母根际土壤速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量及 pH 的差异具有统计学意义 ($P < 0.05$),见表 3。根据全国第 2 次土壤普查制定的土壤养分分级标准可知,太白贝母栽培品根际土壤速效氮质量分数为 78.2116~134.3035 mg·kg⁻¹,平均值 103.5742 mg·kg⁻¹;太白贝母野生品根际土壤速效氮质量分数为 150.1436~200.5305 mg·kg⁻¹,平均值为 175.7164 mg·kg⁻¹。S4,S5 属较缺范围(4 级),S1,S3 属中等水平(3 级),S2 数较丰富范围(2 级),野生品根际土壤均为 1 级,属于丰富范围。整体上来说,野生品根际土壤速效氮平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品根际土壤的速效磷质量分数为 38.4134~149.4663 mg·kg⁻¹,平均值为 84.6299 mg·kg⁻¹;太白贝母野生品根际土壤速效

磷含量为 11.0653~17.0887 mg·kg⁻¹,平均值为 12.7810 mg·kg⁻¹。S6~S11 属中等范围(3 级),S5 属较丰富范围(2 级),其余均为 1 级土壤,属于丰富范围。整体上来说,栽培品根际土壤速效磷平均含量高于野生品。

太白贝母栽培品根际土壤的速效钾质量分数为 168.2926~404.8537 mg·kg⁻¹,平均值为 251.6724 mg·kg⁻¹;太白贝母野生品根际土壤的速效钾质量分数为 262.6429~412.9279 mg·kg⁻¹,平均值为 317.3817 mg·kg⁻¹。S2,S4 属较丰富范围(2 级),其余均为 1 级土壤,属于丰富范围。整体上来说,野生品根际土壤速效钾平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品根际土壤的有机质质量分数为 21.3227~36.0380 g·kg⁻¹,平均值为 26.7465 g·kg⁻¹;太白贝母野生品根际土壤的有机

表 3 不同生长年限太白贝母根际土壤养分质量分数 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 3 Content of rhizospheric soil nutrition of *Fritillaria taipaiensis* with different growth years ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

No.	速效氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	pH
S1	112.000 0 \pm 0.026 5 ^f	149.466 3 \pm 0.019 9 ^a	404.853 4 \pm 0.008 0 ^a	36.038 0 \pm 0.045 9 ^e	6.43 \pm 0.028 3 ^{ef}
S2	134.303 5 \pm 0.033 1 ^{ef}	95.478 3 \pm 0.009 4 ^b	173.790 1 \pm 0.051 9 ^b	28.824 5 \pm 0.073 2 ^f	6.50 \pm 0.080 8 ^{de}
S3	113.044 0 \pm 0.020 1 ^f	96.075 7 \pm 0.023 1 ^b	209.447 0 \pm 0.042 5 ^e	26.123 9 \pm 0.072 4 ^{fg}	6.52 \pm 0.049 5 ^{de}
S4	80.311 7 \pm 0.175 7 ^g	43.715 6 \pm 0.040 0 ^c	168.292 6 \pm 0.019 2 ^b	21.423 4 \pm 0.078 3 ^{gh}	7.47 \pm 0.079 4 ^a
S5	78.211 6 \pm 0.066 5 ^g	38.413 4 \pm 0.038 9 ^d	301.979 2 \pm 0.051 9 ^d	21.322 7 \pm 0.098 3 ^h	6.85 \pm 0.035 1 ^b
S6	200.530 5 \pm 0.027 4 ^a	11.512 4 \pm 0.100 7 ^f	323.881 5 \pm 0.009 6 ^c	60.070 7 \pm 0.028 3 ^{bc}	6.25 \pm 0.035 4 ^g
S7	176.718 6 \pm 0.156 8 ^{abc}	13.320 6 \pm 0.123 0 ^{ef}	347.560 2 \pm 0.010 3 ^b	64.065 9 \pm 0.013 3 ^b	6.68 \pm 0.134 4 ^c
S8	174.290 7 \pm 0.090 6 ^{bcd}	17.088 7 \pm 0.113 1 ^e	412.927 9 \pm 0.037 0 ^a	74.355 8 \pm 0.049 1 ^a	6.61 \pm 0.070 7 ^{cd}
S9	154.355 0 \pm 0.058 4 ^{cde}	11.589 0 \pm 0.127 1 ^f	284.670 9 \pm 0.021 0 ^e	51.862 8 \pm 0.052 3 ^d	6.32 \pm 0.035 4 ^{fg}
S10	150.143 6 \pm 0.053 0 ^{de}	12.110 1 \pm 0.008 7 ^f	262.642 9 \pm 0.012 5 ^f	58.808 3 \pm 0.030 1 ^c	6.53 \pm 0.014 1 ^{cde}
S11	198.259 9 \pm 0.023 6 ^{ab}	11.065 3 \pm 0.085 5 ^f	272.606 8 \pm 0.021 2 ^{ef}	61.614 7 \pm 0.022 1 ^{bc}	6.50 \pm 0.049 5 ^{de}

注:同列不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著(表 4,5,7 同)。

质质量分数为 51.862 8 ~ 74.355 8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 61.796 4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, S2 ~ S5 属中等范围(3 级), S1 属较丰富范围(2 级)。野生品根际土壤均为 1 级, 属于丰富范围。整体上来说, 野生品根际土壤有机质平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品根际土壤的 pH 在 6.43 ~ 7.47, 平均值为 6.75; 太白贝母野生品根际土壤 pH 在 6.25 ~ 6.68, 平均值为 6.48。结果表明, 太白贝母移栽品和野生品根际土壤 pH 均呈弱酸性或中性, 符合太白贝母土壤最适 pH 生长范围(5.20 ~ 7.30), 达到了贝母属药用植物种植对土壤酸碱度的正常生长发育要求^[15], 可见土壤 pH 对太白贝母产量、品质影响不大。

总的来说, 11 份太白贝母根际土壤速效氮、速效磷含量水平普遍较高, 速效钾、有机质含量均处于较高水平。野生品根际土壤速效氮、速效钾和有机质含量高于栽培品, 而速效磷, pH 低于栽培品。同时, 太白贝母栽培品根际土壤速效氮含量, pH 随生长年限增加而呈先上升后下降的趋势, 速效磷、有机质含量随生长年限增加呈降低的趋势, 速效钾含量随生长年限增加呈先降低后上升的趋势。野生品整体上随着生长年限增加无明显变化。整体上, 兰英乡 S6 ~ S8 的太白贝母根际土壤速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量及 pH 高于红池坝 S9 ~ S11。

2.2 不同生长年限太白贝母根际土壤酶活性的测定

2.2.1 蛋白酶活性^[16] 标准曲线的绘制: 分别吸取 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 甘氨酸对照溶液 0, 40.0, 80.0,

120.0, 160.0, 200.0 μL , 置于 10 mL 刻度试管中, 加入乙酸-乙酸钠缓冲溶液 (pH 5.8) 2.0 mL, 再加入茚三酮-乙醇-抗坏血酸混合试剂 1.5 mL, 混匀, 沸水浴加热 16 min, 取出立即用自来水冷却 15 min, 加入 0.2% 碘酸钾溶液 1.0 mL, 用蒸馏水定容至 10 mL, 摇匀, 在 570 nm 波长处测定其吸光度。以氨基氮的浓度为横坐标 (X), 吸光度为纵坐标 (Y), 绘制标准曲线, 得回归方程为 $Y = 0.093 8X + 0.000 2$ ($r = 0.999 3$)。结果表明, 甘氨酸对照溶液在 0 ~ 2.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 呈良好的线性关系。

样品制备及测定: 取风干土约 5.0 g, 精密称定, 加入三羟甲基氨基甲烷-盐酸-氯化钙缓冲液 5.0 mL 和甲苯 1.0 mL, 混匀后静置 15 min, 加入 2% 酪酸钠溶液 5.0 mL, 50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下振荡培养 2 h。置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中静置 30 min, 取出, 加入 0.6 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铅溶液 1.5 mL, 5 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 5 min, 取上清液 1.5 mL, 照标准曲线制备项下方法, 自“加入乙酸-乙酸钠缓冲溶液 (pH 5.8) 2.0 mL”起, 依次测定吸光度, 采用标准曲线法计算其含量。

2.2.2 脲酶活性^[17] 标准曲线的绘制: 分别吸取 20 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 氮对照溶液 0, 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0 mL 置于 50 mL 量瓶中, 加蒸馏水至 20.0 mL, 依次加入苯酚钠溶液 4.0 mL, 次氯酸钠溶液 3.0 mL, 振摇, 静置 20 min, 用蒸馏水稀释至刻度, 在 578 nm 波长处测定吸光度, 以氮对照溶液浓度为横坐标 (X), 以吸光度为纵坐标 (Y), 绘制标准曲线, 得回归方程为 $Y = 0.014 6X + 0.003 1$ ($r = 0.999 4$)。结果表明, 氮标准液在 0 ~ 26.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

呈良好的线性关系。

样品制备及测定:取风干土约 5.0 g,精密称定,置于 50 mL 量瓶中,加入甲苯溶液 1.0 mL,放置 15 min,加入 10% 尿素溶液 10.0 mL 和柠檬酸缓冲液(pH 6.7)20.0 mL,混匀后放入 38 °C 恒温箱中培养 3 h 后,加 38 °C 热水稀释至刻度,振荡后 $5\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min。同法制得空白溶液,测定。取上清液 1.0 mL 于 10 mL 量瓶中,照标准曲线制备项下方法,自“加蒸馏水至 20.0 mL”起,依次测定吸光度,采用标准曲线法计算其含量。

2.2.3 磷酸酶活性^[17] 标准曲线的绘制:分别吸取 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 重蒸苯酚对照溶液 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 mL 置于 50 mL 量瓶中,加入缓冲液(酸性磷酸酶用乙酸盐缓冲液、碱性磷酸酶用硼酸缓冲液)5.0 mL 和氯代二溴对苯醌亚胺试剂 4 滴,显色后稀释至刻度,静置 30 min,在 660 nm 波长处测定吸光度,以显色液中酚浓度为横坐标(X),吸光度为纵坐标(Y),绘制标准曲线,得酸性磷酸酶回归方程为 $Y = 0.049\,5X + 0.005\,1$ ($r = 0.999\,9$),碱性磷酸酶回归方程为 $Y = 0.049\,2X + 0.003\,6$ ($r = 0.999\,9$)。结果表明,重蒸苯酚对照溶液在 $0 \sim 10.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 呈现良好的线性关系。

样品制备及测定:取风干土约 5.0 g,精密称定,置于 200 mL 锥形瓶中,加甲苯 2.5 mL,轻摇 15 min 后,加入 0.5% 磷酸苯二钠溶液 20.0 mL,摇匀后放入 37 °C 恒温箱中培养 24 h。培养液中加入 0.3% 硫酸铝溶液 100.0 mL, $5\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min。同法制得空白溶液,测定。取上清液 3.0 mL 于 50 mL 量瓶中,照标准曲线制备项下方法,自“加入缓冲液 5.0 mL”起,依次测定吸光度,采用标准曲线法计算其含量。

2.2.4 过氧化氢酶活性^[18] 取风干土约 2.0 g,精密称定,置于 200 mL 锥形瓶中,加入蒸馏水 40.0 mL,加入 0.3% 的 H_2O_2 溶液 5.0 mL,振荡 20 min,加入饱和铝钾矾溶液 1.0 mL,过滤于盛有 $1.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸溶液 5.0 mL 的锥形瓶中。取滤液在 240 nm 波长处测定吸光度 A_s 。同时做无土 A_0 和无基质 A_k 对照。以每 20 min 内每克土壤分解的过氧化氢的毫克数表示酶活性。计算公式过氧化氢酶活性($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) = $A_s \times T/m$ ($A_s = A_0 - A_s + A_k$, m 为土样质量, T 为单位吸光度相当于过氧化氢的毫克数),计算其含量。

2.2.5 蔗糖酶活性^[17] 标准曲线的绘制:分别吸取 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 葡萄糖对照溶液 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8,

1.0, 1.2, 1.4 mL 于具塞试管中,补加蒸馏水至 1.0 mL,加 3,5-二硝基水杨酸试剂 3.0 mL,混匀,于沸水浴反应 5 min,取出,在冰水浴中冷却至室温,转移至 100 mL 量瓶中,用蒸馏水定容至刻度,在 508 nm 波长处测定吸光度,以吸光度为纵坐标(Y),以葡萄糖质量浓度横坐标(X),绘制标准曲线,得回归方程为 $Y = 11.652\,0X + 0.069\,7$ ($r = 0.999\,1$)。结果表明,葡萄糖对照溶液在 $0 \sim 0.07\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 呈良好的线性关系。

样品制备及测定:取风干土约 2.0 g,精密称定,置于 50 mL 锥形瓶中,依次加入 8% 蔗糖溶液 15.0 mL,磷酸缓冲液(pH 5.5)5.0 mL 和甲苯溶液 0.25 mL,摇匀,放入 37 °C 恒温箱中培养 24 h,取出, $5\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min。同法制得空白溶液,测定。取上清液 1.0 mL,加 3,5-二硝基水杨酸试剂 3.0 mL。照标准曲线制备项下方法,自“于沸水浴反应 5 min”起,依次测定吸光度,采用标准曲线法计算其含量。

2.2.6 数据分析 11 份栽培和野生太白贝母根际土壤的 6 种土壤酶活性测定结果显示,部分存在显著性差异($P < 0.05$)。太白贝母栽培品根际土壤的蛋白酶活性为 $0.270\,3 \sim 0.469\,0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $0.329\,3\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品根际土壤的蛋白酶活性为 $0.308\,5 \sim 0.462\,8\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $0.402\,1\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。整体上来说,野生品根际土壤蛋白酶活性平均含量高于栽培品。见表 4。

太白贝母栽培品根际土壤的脲酶活性为 $4.389\,4 \sim 5.661\,5\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $5.085\,2\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品根际土壤的脲酶活性为 $5.434\,6 \sim 7.872\,0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $6.716\,2\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。整体上来说,野生品根际土壤脲酶活性平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品根际土壤的酸性磷酸酶活性为 $0.441\,2 \sim 0.727\,9\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $0.580\,4\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品根际土壤的酸性磷酸酶活性为 $1.796\,5 \sim 2.144\,6\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $1.954\,8\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。整体上来说,野生品根际土壤酸性磷酸酶活性平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品根际土壤的碱性磷酸酶活性为 $0.054\,8 \sim 0.128\,1\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $0.091\,1\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品根际土壤的碱性磷酸酶活性为 $0.124\,9 \sim 0.392\,0\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值为 $0.268\,3\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。整体上来说,野生品根际土壤碱性磷酸酶活性平均含量高于栽培品。

表 4 不同生长年限太白贝母根际土壤土壤酶活性 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 4 Soil enzyme activities of rhizospheric soil of *Fritillaria taipaiensis* collected from different growth years ($\bar{x} \pm s, n=3$)

No.	蛋白酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	脲酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	酸性磷酸酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	碱性磷酸酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	过氧化氢酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	蔗糖酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
S1	0.279 6 ± 0.005 3 ^d	5.406 9 ± 0.688 8 ^{de}	0.727 9 ± 0.126 6 ^e	0.128 1 ± 0.007 7 ^d	0.674 2 ± 0.021 5 ^{abc}	12.814 7 ± 0.108 5 ^e
S2	0.270 3 ± 0.011 5 ^d	5.661 5 ± 0.147 4 ^d	0.577 2 ± 0.059 0 ^{fe}	0.101 4 ± 0.004 5 ^e	0.539 0 ± 0.030 4 ^d	9.557 7 ± 0.063 4 ^{sh}
S3	0.277 1 ± 0.005 7 ^d	5.235 1 ± 0.299 4 ^{de}	0.472 9 ± 0.075 4 ^{se}	0.092 9 ± 0.094 0 ^{ef}	0.528 4 ± 0.039 2 ^d	9.238 6 ± 0.036 2 ^b
S4	0.350 4 ± 0.044 0 ^c	4.389 4 ± 0.236 8 ^f	0.441 2 ± 0.036 4 ^{se}	0.078 4 ± 0.006 1 ^f	0.677 1 ± 0.022 8 ^{abc}	21.771 6 ± 0.018 5 ^f
S5	0.469 0 ± 0.011 4 ^a	4.733 3 ± 0.324 2 ^{ef}	0.682 5 ± 0.046 5 ^{ef}	0.054 8 ± 0.004 1 ^{se}	0.668 8 ± 0.033 1 ^{bc}	28.947 5 ± 0.060 5 ^e
S6	0.308 5 ± 0.001 3 ^{cd}	5.972 0 ± 0.450 1 ^{cd}	2.144 6 ± 0.126 0 ^a	0.139 5 ± 0.014 1 ^d	0.625 2 ± 0.009 5 ^c	33.402 6 ± 0.048 8 ^d
S7	0.415 6 ± 0.026 2 ^b	5.434 6 ± 0.247 7 ^{de}	1.878 4 ± 0.037 6 ^{cd}	0.124 9 ± 0.001 8 ^d	0.715 5 ± 0.013 5 ^{ab}	41.525 3 ± 0.044 8 ^b
S8	0.462 8 ± 0.016 8 ^{ab}	6.518 1 ± 0.378 5 ^{bc}	1.968 9 ± 0.016 2 ^{bc}	0.254 7 ± 0.014 5 ^c	0.729 3 ± 0.003 6 ^a	53.005 9 ± 0.049 8 ^a
S9	0.436 2 ± 0.013 2 ^{ab}	7.247 9 ± 0.295 3 ^{ab}	1.899 0 ± 0.005 8 ^{bcd}	0.312 1 ± 0.020 4 ^b	0.710 5 ± 0.008 4 ^{ab}	29.715 6 ± 0.024 5 ^e
S10	0.343 9 ± 0.032 9 ^c	7.252 4 ± 0.325 8 ^{ab}	1.796 5 ± 0.055 9 ^d	0.392 0 ± 0.001 4 ^a	0.715 8 ± 0.008 5 ^{ab}	32.254 7 ± 0.009 8 ^{de}
S11	0.445 4 ± 0.007 9 ^{ab}	7.872 0 ± 0.045 1 ^a	2.041 4 ± 0.039 1 ^{ab}	0.386 5 ± 0.013 9 ^a	0.721 4 ± 0.016 8 ^{ab}	37.319 7 ± 0.018 9 ^c

太白贝母栽培品根际土壤的过氧化氢酶活性为 0.528 4 ~ 0.677 1 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 0.617 5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品根际土壤的过氧化氢酶活性为 0.625 2 ~ 0.729 3 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 0.702 9 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。整体上来说,野生品根际土壤过氧化氢酶活性平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品根际土壤的蔗糖酶活性为 9.238 6 ~ 28.947 5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 16.466 0 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品根际土壤的蔗糖酶活性为 29.715 6 ~ 53.005 9 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 37.870 6 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。整体上来说,野生品根际土壤蔗糖酶活性平均含量高于栽培品。

总的来说,太白贝母栽培品根际土壤蛋白酶活性随生长年限增加呈上升趋势,脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性随生长年限增加呈降低趋势,过氧化氢酶和蔗糖酶活性随生长年限增加呈先降低后上升趋势;太白贝母野生品根际土壤蛋白酶、脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性都随生长年限增加呈降低趋势,酸性磷酸酶和过氧化氢酶活性随生长年限增加变化不大。野生品根际土壤蛋白酶、脲酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性均高于栽培品。

2.3 不同生长年限太白贝母鳞茎中生物碱含量测定

2.3.1 总生物碱含量测定方法 对照品溶液的制备:取西贝母碱对照品适量,精密称定,置 100 mL 量瓶中,加三氯甲烷制成每 1 mL 含 0.2 mg 的溶液,即得。

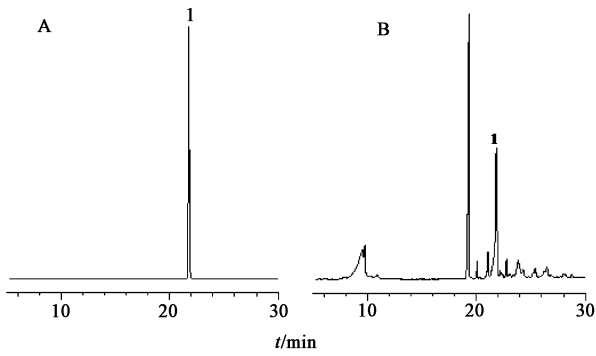
标准曲线的制备:精密量取对照品溶液 0.1,

0.2, 0.4, 0.6, 1.0 mL, 置 25 mL 具塞试管中,分别补加三氯甲烷至 10.0 mL,精密加蒸馏水 5.0 mL,再精密加 0.05% 溴甲酚绿缓冲液 2.0 mL,密塞,剧烈振荡 1 min,转移至分液漏斗中,放置 30 min。取三氯甲烷液,滤过,取续滤液,以无对照品溶液为空白,在 415 nm 的波长处测定吸光度,以吸光度为纵坐标 (Y),浓度为横坐标 (X),绘制标准曲线,得回归方程为 $Y = 15.637X + 0.0157 (r = 0.9992)$ 。结果表明,西贝母碱对照品在 2.0 ~ 20.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 呈良好的线性关系。

测定法:取样品粉末(过三号筛)约 2.0 g,精密称定,置 100 mL 具塞锥形瓶中,采用 2015 年版《中国药典》(一部)川贝母药材项下【含量测定】^[1]的方法,制备供试品溶液,即得。精密量取 3 ~ 5 mL,置 25 mL 具塞试管中,水浴上蒸干,精密加入三氯甲烷 10.0 mL 使溶解,照标准曲线的制备项下的方法,自“精密加蒸馏水 5.0 mL”起,依次测定吸光度,采用标准曲线法计算其含量。

2.3.2 贝母辛含量测定方法 采用杜伟锋等^[19]报道的方法并稍加改进进行测定。色谱条件:Durashell C₁₈ 色谱柱 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm); 流动相乙腈 (A) - 0.01% 三乙胺水溶液 (B) 梯度洗脱 (0 ~ 10 min, 30% A; 10 ~ 15 min, 30% ~ 38% A; 15 ~ 25 min, 38% ~ 60% A; 25 ~ 35 min, 60% A), 流速 1.0 mL · min⁻¹, 进样量 20 μL, 柱温 30 °C, 采用 ELSD 检测, 漂移管温度 50 °C, 载气流速 2.0 L · min⁻¹。色谱图见图 1。

对照品溶液的制备:取贝母辛对照品适量,精密称定,加甲醇溶解制成每 1 mL 含贝母辛 0.452 mg



1. 贝母辛
图 1 贝母辛对照品 (A) 及太白贝母样品 (B) HPLC 色谱
Fig. 1 HPLC of reference (A) and *Fritillaria taipaiensis* sample (B) of peimisine

的溶液, 即得。

供试品溶液的制备: 取样品粉末(过三号筛)约 2.0 g, 精密称定, 置 100 mL 具塞锥形瓶中, 加浓氨试液 4.0 mL 浸润 1 h, 精密加入三氯甲烷-甲醇(4:1)混合溶液 40.0 mL, 混匀, 置 80 °C 水浴中加热回流 2 h, 放冷, 滤过, 减压蒸馏至干, 残渣加甲醇溶解并定容到 5 mL 量瓶中, 摇匀, 即得。

标准曲线的制备: 取上述贝母辛对照品溶液适量, 逐级稀释, 在上述色谱条件下进行测定, 以对照品浓度自然对数为横坐标 (X), 以峰面积为纵坐标 (Y), 绘制标准曲线, 得回归方程为 $Y = 1.5905X + 15.8440$ ($r = 0.9993$), 结果表明贝母辛对照品在 0.452 ~ 9.040 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 呈良好的线性关系。

测定法: 分别取上述供试品溶液过 0.45 μm 微孔滤膜, 精密吸取供试品溶液 20 μL , 注入液相色谱仪, 在上述色谱条件下进行测定, 代入标准曲线计算其含量。

2.3.3 结果与分析 11 份野生和栽培太白贝母鳞茎中贝母辛和总生物碱定量分析结果显示, 部分存在显著性差异 ($P < 0.05$)。太白贝母栽培品贝母辛质量分数为 0.023 1 ~ 0.029 0 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 0.026 5 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。太白贝母野生品贝母辛质量分数为 0.018 2 ~ 0.026 2 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 0.022 1 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。整体上来说, 栽培品太白贝母鳞茎中贝母辛平均含量高于野生品。见表 5。

太白贝母栽培品总生物碱质量分数为 0.125 2% ~ 0.260 6%, 平均值为 0.188 1%。太白贝母野生品总生物碱质量分数为 0.171 4% ~ 0.205 3%, 平均值为 0.186 2%。总生物碱含量均符合 2015 年版《中国药典》(一部)川贝母药材项下【含量测定】的限量标准[含总生物碱以西贝母碱 ($\text{C}_{27}\text{H}_{43}\text{NO}_3$) 计,

表 5 不同生长年限太白贝母中生物碱的含量分析 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 5 Alkaloid content analysis of *Fritillaria taipaiensis* with different growth years ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

No.	贝母辛/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	总生物碱/%
S1	0.028 2 ± 0.003 0 ^b	0.260 6 ± 0.050 7 ^a
S2	0.025 9 ± 0.001 7 ^{ab}	0.224 3 ± 0.011 5 ^b
S3	0.023 1 ± 0.000 6 ^{bc}	0.193 0 ± 0.006 7 ^{cd}
S4	0.026 2 ± 0.001 5 ^{ab}	0.137 7 ± 0.001 8 ^e
S5	0.029 0 ± 0.000 2 ^a	0.125 2 ± 0.007 1 ^e
S6	0.022 7 ± 0.003 0 ^{bc}	0.171 4 ± 0.002 3 ^d
S7	0.026 2 ± 0.001 5 ^{ab}	0.175 8 ± 0.002 3 ^{cd}
S8	0.023 3 ± 0.002 0 ^{bc}	0.175 1 ± 0.001 0 ^{cd}
S9	0.021 5 ± 0.000 3 ^{cd}	0.205 3 ± 0.012 7 ^{bc}
S10	0.020 8 ± 0.001 0 ^{cd}	0.191 5 ± 0.005 5 ^{cd}
S11	0.018 2 ± 0.000 9 ^d	0.198 0 ± 0.003 1 ^{bcd}

不得少于 0.050%]。整体上来说, 栽培品太白贝母鳞茎中总生物碱平均含量高于野生品。

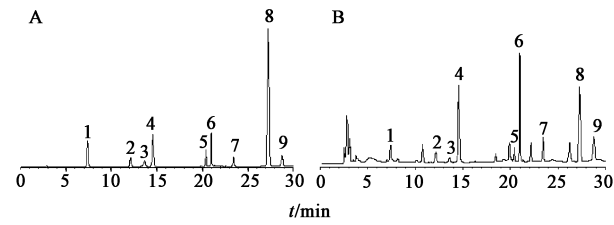
总的来说, 太白贝母栽培品贝母辛含量随生长年限增加呈先降低后上升趋势, 总生物碱含量随生长年限增加呈降低趋势。太白贝母野生品贝母辛和总生物碱含量随生长年限增加变化不大。栽培品贝母辛和总生物碱含量均高于野生品。

2.4 不同生长年限太白贝母鳞茎中核苷类含量测定

2.4.1 含量测定方法 核苷采用游静等所报道的方法并稍加改进进行测定^[20]。色谱条件为 Venusil MP C₁₈(2) 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm); 流动相甲醇(A)-水(B), 梯度洗脱(0 ~ 10 min, 1% ~ 5% A; 10 ~ 15 min, 5% ~ 15% A; 15 ~ 22 min, 15% ~ 17% A; 22 ~ 26 min, 17% ~ 20% A; 26 ~ 32 min, 20% ~ 24% A); 检测波长 260 nm; 流速 1.0 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 进样量 20 μL ; 柱温 30 °C。色谱图见图 2。

对照品溶液的制备: 取尿嘧啶、胞苷、鸟嘌呤、尿苷、腺嘌呤、鸟苷、胸苷、腺苷和 2'-脱氧腺苷对照品适量, 精密称定, 以蒸馏水溶解制成质量浓度分别为 1.275, 1.300, 1.500, 4.012 5, 1.550, 2.450, 1.625, 5.710, 1.300 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的贮备溶液, 即得。

供试品溶液的制备: 取样品粉末(过三号筛)约 1.0 g, 精密称定, 置 50 mL 具塞锥形瓶中, 加蒸馏水 10 mL, 混匀, 超声提取 60 min(功率 300 W, 频率 40 kHz), 取出, 放至室温, 4 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min, 即得。



1. 尿嘧啶; 2. 胞苷; 3. 鸟嘌呤; 4. 尿苷; 5. 腺嘌呤; 6. 鸟苷; 7. 胸苷; 8. 腺苷; 9. 2'-脱氧腺苷

图 2 核苷对照品 (A) 及太白贝母样品 (B) HPLC 色谱

Fig. 2 HPLC of reference (A) and *Fritillaria taipaiensis* sample (B) of nucleoside

标准曲线的制备:取上述对照品溶液适量,逐级稀释,按上述色谱条件进行测定,以对照品质量浓度为横坐标(X),以峰面积为纵坐标(Y),绘制标准曲线。结果表明,尿嘧啶、胞苷、鸟嘌呤、尿苷、腺嘌呤、鸟苷、胸苷、腺苷和 2'-脱氧腺苷对照品分别在一定质量浓度内与峰面积呈良好的线性关系 r 均为 0.999 9。结果见表 6。

表 6 9 种核苷线性方程、相关系数和线性范围

Table 6 Regression equations, correlation coefficient and linear ranges of nine nucleosides

核苷	回归方程	线性范围/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
尿嘧啶	$Y = 3\ 711.90X - 786.13$	5.10 ~ 102.00
胞苷	$Y = 1\ 655.60X - 209.36$	5.20 ~ 104.00
鸟嘌呤	$Y = 677.45X - 788.37$	6.00 ~ 120.00
尿苷	$Y = 2\ 506.70X - 656.46$	32.10 ~ 642.00
腺嘌呤	$Y = 5\ 837.00X - 342.42$	6.20 ~ 124.00
鸟苷	$Y = 2\ 385.40X - 215.9.00$	9.80 ~ 196.00
胸苷	$Y = 2\ 917.80X - 261.08$	6.50 ~ 130.00
腺苷	$Y = 3\ 565.10X - 235.23$	57.10 ~ 1\ 142.00
2'-脱氧腺苷	$Y = 5\ 337.60X - 267.33$	5.20 ~ 104.00

测定法:分别取上述供试品溶液的上清液过 0.45 μm 微孔滤膜,精密吸取供试品溶液 20 μL ,注入液相色谱仪,在上述色谱条件下进行测定,分别代入标准曲线计算其含量。

2.4.2 结果与分析 11 份野生和栽培太白贝母鳞茎中 9 种核苷定量分析结果显示,部分存在显著性差异 ($P < 0.05$)。太白贝母栽培品尿嘧啶质量分数为 23.160 8 ~ 52.346 8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 33.729 1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品尿嘧啶质量分数为 12.262 4 ~ 31.487 2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 21.129 9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,栽培品太白贝母尿嘧啶平均含量高于野生品。见表 7。

太白贝母栽培品胞苷质量分数为 8.658 7 ~

14.102 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 11.386 4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品胞苷质量分数为 7.037 2 ~ 46.429 0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 18.130 8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,野生品太白贝母胞苷平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品鸟嘌呤质量分数为 6.251 8 ~ 19.611 2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 12.384 6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品鸟嘌呤质量分数为 4.177 6 ~ 15.875 6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 9.905 4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,栽培品太白贝母鸟嘌呤平均含量高于野生品。

太白贝母栽培品尿苷质量分数为 132.632 8 ~ 207.936 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 164.229 3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品尿苷质量分数为 74.142 9 ~ 150.726 9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 112.553 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,栽培品太白贝母尿苷平均含量高于野生品。

太白贝母栽培品腺嘌呤质量分数为 23.597 9 ~ 42.522 4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 34.356 3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品腺嘌呤质量分数为 6.897 9 ~ 33.328 9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 22.787 2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,栽培品太白贝母腺嘌呤平均含量高于野生品。

太白贝母栽培品鸟苷质量分数为 100.934 1 ~ 258.881 9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 185.035 4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品鸟苷质量分数为 103.332 7 ~ 134.436 1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 116.062 5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,栽培品太白贝母鸟苷平均含量高于野生品。

太白贝母栽培品胸苷质量分数为 9.018 9 ~ 28.802 1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 16.129 3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品胸苷质量分数为 13.029 6 ~ 62.067 6 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 26.503 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,野生品太白贝母胸苷平均含量高于栽培品。

太白贝母栽培品腺苷质量分数为 170.858 4 ~ 245.601 7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 208.218 8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品腺苷质量分数为 131.371 7 ~ 234.562 4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 178.043 2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。整体上来说,栽培品太白贝母腺苷平均含量高于野生品。

太白贝母栽培品 2'-脱氧腺苷质量分数为 4.000 1 ~ 15.713 8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 11.002 9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。太白贝母野生品 2'-脱氧腺苷

表 7 不同生长年限太白贝母鳞茎的核苷含量 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 7 Nucleoside content analysis of <i>Fritillaria taipaiensis</i> with different growth years ($\bar{x} \pm s, n = 3$)						mg·kg ⁻¹
No.	尿嘧啶	胞苷	鸟嘌呤	尿苷	腺嘌呤	
S1	52.346 8 ± 0.008 6 ^a	12.850 4 ± 0.027 2 ^{cd}	9.166 8 ± 0.051 7 ^e	207.936 7 ± 0.080 8 ^a	40.914 3 ± 0.003 1 ^a	
S2	23.160 8 ± 0.016 3 ^{cd}	14.102 7 ± 0.047 3 ^e	6.251 8 ± 0.133 1 ^d	151.796 1 ± 0.060 9 ^c	23.597 9 ± 0.054 1 ^{de}	
S3	30.809 6 ± 0.156 6 ^b	8.658 7 ± 0.075 4 ^{ef}	15.878 6 ± 0.067 6 ^b	158.802 1 ± 0.017 3 ^{bc}	33.332 1 ± 0.084 7 ^b	
S4	29.719 3 ± 0.071 9 ^b	11.846 1 ± 0.040 2 ^{cde}	11.014 9 ± 0.193 7 ^e	169.978 7 ± 0.041 5 ^b	42.522 4 ± 0.162 3 ^a	
S5	32.609 2 ± 0.016 8 ^b	9.473 9 ± 0.073 7 ^{def}	19.611 2 ± 0.109 7 ^a	132.632 8 ± 0.034 3 ^d	31.414 6 ± 0.029 5 ^{bc}	
S6	17.134 5 ± 0.108 7 ^e	13.685 9 ± 0.077 8 ^c	10.191 7 ± 0.101 9 ^e	74.142 9 ± 0.100 7 ^g	26.311 5 ± 0.282 5 ^{cd}	
S7	19.538 1 ± 0.052 2 ^{de}	26.273 4 ± 0.068 9 ^b	15.073 4 ± 0.036 1 ^b	104.380 8 ± 0.046 7 ^f	6.897 9 ± 0.076 9 ^f	
S8	12.262 4 ± 0.008 8 ^f	46.429 0 ± 0.119 5 ^a	15.875 6 ± 0.034 8 ^b	110.588 0 ± 0.018 1 ^{ef}	19.045 8 ± 0.011 9 ^e	
S9	22.223 2 ± 0.031 2 ^{cd}	8.227 2 ± 0.018 8 ^{ef}	4.177 6 ± 0.130 6 ^d	150.726 9 ± 0.025 6 ^c	25.922 0 ± 0.029 7 ^{cde}	
S10	24.134 1 ± 0.023 6 ^e	7.132 3 ± 0.021 1 ^f	5.128 5 ± 0.038 5 ^d	114.235 5 ± 0.080 0 ^{ef}	33.328 9 ± 0.017 9 ^b	
S11	31.487 2 ± 0.026 6 ^b	7.037 2 ± 0.030 7 ^f	8.985 6 ± 0.126 6 ^e	121.247 9 ± 0.033 2 ^{de}	25.217 3 ± 0.096 5 ^{cde}	

No.	鸟苷	胸苷	腺苷	2'-脱氧腺苷	
S1	258.881 9 ± 0.053 0 ^a	28.802 1 ± 0.229 4 ^b	245.601 7 ± 0.029 2 ^a	15.713 8 ± 0.090 2 ^{cd}	
S2	164.421 3 ± 0.031 4 ^c	16.287 6 ± 0.112 5 ^c	170.858 4 ± 0.046 0 ^{fg}	14.198 8 ± 0.009 0 ^{cdef}	
S3	226.081 8 ± 0.015 3 ^b	13.396 1 ± 0.048 8 ^c	226.683 5 ± 0.041 8 ^{abc}	6.900 0 ± 0.004 6 ^{fg}	
S4	174.858 1 ± 0.040 0 ^c	13.141 9 ± 0.252 2 ^c	216.648 7 ± 0.035 4 ^{bcd}	4.000 1 ± 0.383 0 ^g	
S5	100.934 1 ± 0.042 5 ^f	9.018 9 ± 0.082 4 ^c	181.301 9 ± 0.010 7 ^{ef}	14.201 7 ± 0.067 4 ^{cdef}	
S6	108.299 9 ± 0.095 4 ^f	14.680 7 ± 0.057 6 ^c	131.371 7 ± 0.109 4 ⁱ	7.541 0 ± 0.191 8 ^{efg}	
S7	113.326 2 ± 0.035 2 ^{ef}	14.848 1 ± 0.147 1 ^c	141.049 3 ± 0.124 9 ^{hi}	10.117 2 ± 0.185 0 ^{defg}	
S8	103.332 7 ± 0.086 9 ^f	26.330 5 ± 0.003 6 ^b	152.307 8 ± 0.085 3 ^{gh}	19.349 8 ± 0.028 1 ^c	
S9	134.436 1 ± 0.056 0 ^d	62.067 6 ± 0.144 1 ^a	234.562 4 ± 0.032 6 ^{ab}	48.503 8 ± 0.163 4 ^a	
S10	109.246 5 ± 0.038 0 ^f	13.029 6 ± 0.116 1 ^c	198.070 6 ± 0.035 4 ^{de}	14.797 8 ± 0.159 6 ^{cde}	
S11	127.733 7 ± 0.011 0 ^{de}	28.065 4 ± 0.053 4 ^b	210.897 7 ± 0.029 2 ^{cd}	33.387 6 ± 0.107 0 ^b	

质量分数为 7.541 0 ~ 48.503 8 mg·kg⁻¹, 平均值为 22.282 9 mg·kg⁻¹。整体上来说, 野生品太白贝母 2'-脱氧腺苷平均含量高于栽培品。

总的来说, 太白贝母栽培品尿苷、腺嘌呤、鸟苷、胸苷、腺苷含量随生长年限增加呈降低趋势, 鸟嘌呤含量随生长年限增加呈上升趋势, 尿嘧啶和 2'-脱氧腺苷含量随生长年限增加呈先降低后上升趋势, 胞苷含量随生长年限增加呈先上升后降低趋势。太白贝母野生品尿嘧啶、胞苷、鸟嘌呤、尿苷、胸苷、腺苷和 2'-脱氧腺苷含量随生长年限增加呈降低趋势。腺嘌呤、鸟苷含量随生长年限增加变化不大。栽培品尿嘧啶、鸟嘌呤、尿苷、腺嘌呤、鸟苷、腺苷含量均高于野生品。野生品胞苷、胸苷和 2'-脱氧腺苷含量均高于栽培品。

2.5 不同生长年限太白贝母鳞茎品质与根际土壤因子的相关性分析 运用 SPSS 22.0 软件对 11 份太白贝母鳞茎品质与根际土壤因子进行相关性分

析, 结果见表 8。从表 8 可以看出, 太白贝母鳞茎核苷含量之间存在一定的相关性, 尿嘧啶含量与尿苷、鸟苷、核苷总含量具有极显著正相关 ($P < 0.01$), 尿苷含量与鸟苷、腺苷、核苷总含量具有极显著正相关 ($P < 0.01$), 胸苷含量与 2'-脱氧腺苷含量具有极显著正相关 ($P < 0.01$), 腺苷含量与核苷总含量具有极显著正相关 ($P < 0.01$), 尿嘧啶含量与腺嘌呤、腺苷含量有显著正相关 ($P < 0.05$), 腺嘌呤含量与腺苷、总核苷含量有显著正相关 ($P < 0.05$), 鸟苷含量与腺苷、总核苷含量有显著正相关 ($P < 0.05$), 尿苷含量与腺嘌呤含量有显著正相关 ($P < 0.05$)。

根际土壤养分与土壤酶活性之间也存在一定相关性, 蔗糖酶活性与有机质含量、蛋白酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶活性具有极显著正相关 ($P < 0.01$), 酸性磷酸酶活性与有机质、速效氮含量、脲酶活性具有极显著正相关 ($P < 0.01$), 过氧化氢酶活性与有机质含量、蛋白酶和酸性磷酸酶活性有显著正相关

表 8 不同生长年限太白贝母品质与根际土壤因子的相关性分析

Table 8 Correlation analysis between quality of *Fritillaria taipaiensis* and rhizosphere soil factors with different growth years

项目	贝母辛	总生物碱	尿嘧啶	胞苷	鸟嘌呤	尿苷	腺嘌呤	鸟苷	胸苷	腺苷	2'- 脱氧腺苷	核苷总量
贝母辛	-											
总生物碱	-0.131	-										
尿嘧啶	0.37	0.407	-									
胞苷	0.143	-0.104	-0.505	-								
鸟嘌呤	0.461	-0.576	-0.028	0.407	-							
尿苷	0.423	0.448	0.786 ²⁾	-0.299	-0.147	-						
腺嘌呤	0.165	0.057	0.667 ¹⁾	-0.549	-0.173	0.640 ¹⁾	-					
鸟苷	0.3	0.585	0.748 ²⁾	-0.281	-0.102	0.853 ²⁾	0.576	-				
胸苷	-0.351	0.423	-0.008	-0.022	-0.499	0.22	-0.086	0.048	-			
腺苷	-0.071	0.396	0.722 ¹⁾	-0.559	-0.326	0.819 ²⁾	0.692 ¹⁾	0.681 ¹⁾	0.428	-		
2'-脱氧腺苷	-0.501	0.307	-0.052	-0.126	-0.464	0.045	-0.183	-0.196	0.900 ²⁾	0.357	-	
核苷总量	0.196	0.549	0.794 ²⁾	-0.347	-0.217	0.951 ²⁾	0.646 ¹⁾	0.882 ¹⁾	0.372	0.909 ²⁾	0.188	-
pH	0.41	-0.624 ¹⁾	0.098	0.046	0.35	0.256	0.323	0.023	-0.406	0.09	-0.425	0.067
有机质	-0.586	0.113	-0.558	0.522	-0.161	-0.670 ¹⁾	-0.640 ¹⁾	-0.558	0.29	-0.458	0.345	-0.521
速效氮	-0.680 ¹⁾	0.216	-0.545	0.303	-0.275	-0.704 ¹⁾	-0.664 ¹⁾	-0.475	0.261	-0.487	0.339	-0.533
速效磷	0.531	0.587	0.733 ¹⁾	-0.178	0.005	0.804 ²⁾	0.489	0.902 ²⁾	-0.115	0.478	-0.296	0.749 ²⁾
速效钾	0.122	0.188	0.026	0.571	0.263	-0.192	-0.315	-0.151	0.23	-0.244	0.16	-0.103
蛋白酶	-0.167	-0.5	-0.33	0.331	0.324	-0.372	-0.423	-0.685 ¹⁾	0.297	-0.185	0.504	-0.359
脲酶	-0.863 ²⁾	0.35	-0.273	-0.036	-0.562	-0.356	-0.283	-0.371	0.548	0.066	0.733 ¹⁾	-0.159
酸性磷酸酶	-0.651 ¹⁾	0.001	-0.57	0.302	-0.232	-0.745 ²⁾	-0.596	-0.669 ¹⁾	0.364	-0.433	0.459	-0.578
碱性磷酸酶	-0.839 ²⁾	0.244	-0.219	-0.047	-0.547	-0.29	-0.147	-0.369	0.482	0.16	0.664 ¹⁾	-0.113
过氧化氢酶	-0.219	-0.175	-0.104	0.285	-0.062	-0.232	-0.199	-0.482	0.348	-0.026	0.429	-0.181
蔗糖酶	-0.343	-0.395	-0.611 ¹⁾	0.614 ¹⁾	0.216	-0.715 ¹⁾	-0.597	-0.793 ²⁾	0.128	-0.55	0.251	-0.658 ¹⁾

项目	pH	有机质	速效氮	速效磷	速效钾	蛋白酶	脲酶	酸性磷酸酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	蔗糖酶
贝母辛											
总生物碱											
尿嘧啶											
胞苷											
鸟嘌呤											
尿苷											
腺嘌呤											
鸟苷											
胸苷											
腺苷											
2'-脱氧腺苷											
核苷总量											
pH	-										
有机质	-0.467	-									
速效氮	-0.624 ¹⁾	0.895 ²⁾	-								
速效磷	-0.035	-0.622 ¹⁾	-0.54	-							
速效钾	-0.381	0.59	0.369	-0.067	-						
蛋白酶	0.164	0.413	0.202	-0.690 ¹⁾	0.356	-					
脲酶	-0.592	0.712 ¹⁾	0.723 ¹⁾	-0.473	0.183	0.317	-				
酸性磷酸酶	-0.496	0.946 ²⁾	0.899 ²⁾	-0.756 ²⁾	0.493	0.481	0.756 ²⁾	-			
碱性磷酸酶	-0.384	0.676 ¹⁾	0.589	-0.511	0.152	0.364	0.955 ²⁾	0.704 ¹⁾	-		
过氧化氢酶	0.130	0.604 ¹⁾	0.302	-0.58	0.543	0.733 ¹⁾	0.438	0.615 ¹⁾	0.579	-	
蔗糖酶	-0.033	0.824 ²⁾	0.609 ¹⁾	-0.811 ²⁾	0.562	0.779 ²⁾	0.445	0.810 ²⁾	0.481	0.769 ²⁾	-

注: ¹⁾ P < 0.05, ²⁾ P < 0.01。

($P < 0.05$), 碱性磷酸酶活性与有机质含量、酸性磷酸酶活性有显著正相关($P < 0.05$), 与脲酶活性具有极显著正相关($P < 0.01$), 速效氮含量与脲酶、蔗糖酶活性有显著正相关($P < 0.05$), 与 pH 具有显著负相关($P < 0.05$), 速效磷含量与酸性磷酸酶、蔗糖酶活性有极显著负相关($P < 0.01$), 与蛋白酶活性有显著负相关($P < 0.05$), 有机质含量与速效氮含量具有极显著正相关($P < 0.01$), 与脲酶活性具有显著正相关($P < 0.05$), 与速效磷含量具有显著负相关($P < 0.05$)。

同时, 太白贝母鳞茎品质与根际土壤因子也存在一定的相关性, 贝母辛含量与根际土壤中脲酶、碱性磷酸酶活性具有极显著负相关($P < 0.01$), 与根际土壤中速效氮含量、酸性磷酸酶活性有显著负相关($P < 0.05$), 总生物碱含量与根际土壤 pH 有显著负相关($P < 0.05$), 尿嘧啶含量与根际土壤中速效磷含量具有显著正相关($P < 0.05$), 与根际土壤中蔗糖酶活性具有显著负相关($P < 0.05$), 胞苷含量与根际土壤中蔗糖酶活性具有显著正相关($P < 0.05$), 尿苷含量与根际土壤中速效磷含量具有极显著正相关($P < 0.01$), 与根际土壤中酸性磷酸酶活性具有极显著负相关($P < 0.01$), 与根际土壤中有机质、速效氮含量、蔗糖酶活性具有显著负相关($P < 0.05$), 腺嘌呤含量与根际土壤中有机质、速效氮含量具有显著负相关($P < 0.05$), 鸟苷含量与根际土壤中蛋白酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性具有显著负相关($P < 0.05$), 与根际土壤中速效磷含量具有极显著正相关($P < 0.01$), 2'-脱氧腺苷含量与根际土壤中脲酶、碱性磷酸酶活性具有显著正相关($P < 0.05$), 总核苷含量与根际土壤中速效磷含量具有极显著正相关($P < 0.01$), 与根际土壤中蔗糖酶活性具有显著负相关($P < 0.05$)。

3 讨论

研究表明, 重庆市巫溪县兰英乡基地 1 年生的(S1)太白贝母栽培品根际土壤速效氮、速效磷、速效钾、有机质含量均处于中等及以上水平, 但随着生长年限的增加而逐渐降低, 尤其是速效磷、速效氮含量下降显著, 这与母茂君等^[9]对太白贝母连作土壤的研究结果相似, 表明太白贝母在生长发育期间对氮、磷的需求量较大, 所以在其生长过程需及时补充大量营养元素, 以确保太白贝母生长发育所需土壤养分。土壤酶活性是表示催化土壤中物质转化的能力, 是能体现土壤营养物质和肥力的一项重要指标^[21]。太白贝母根际土壤中蛋白酶活性随生长

年限呈上升趋势, 可能是人为施加外源性肥料所致; 脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性随生长年限呈下降趋势, 研究表明种植年限过长, 土壤中营养物质和能量供应等不利于微生物活动与繁殖^[10], 且土壤元素可能存在严重流失等问题, 从而导致酶活性降低; 过氧化氢酶和蔗糖酶活性先下降后上升, 可能是由于一些土壤酶具有一定的抗逆性, 随着种植年限的增长, 长期处于逆境中的生物适应性会增强, 使土壤酶的活性在新环境下逐渐恢复^[17]。太白贝母野生品根际土壤的速效氮、速效钾、有机质含量和土壤酶活性均高于栽培品, 这是由于野生母生长于针叶林、针阔叶混交林、高山灌丛等地^[22], 这些植物凋落后分解速度快, 为野生太白贝母提供了丰富的土壤养分。因此在人工栽培种植时, 可以考虑采用有机肥替代化学肥料, 以保证土壤环境的丰富度。

目前川贝母(太白贝母)的品质评价以甾体生物碱、核苷类为其有效成分^[23]。通过对不同生长年限的太白贝母鳞茎的品质进行分析可知, 核苷和总生物碱含量随生长年限的增加而降低, 贝母辛含量随生长年限先降低后上升, 由此可见连作使太白贝母品质降低。太白贝母野生品鳞茎的核苷、贝母辛和总生物碱含量都低于栽培品, 证明太白贝母的栽培品质量高, 这与杨杨^[24]研究结果一致。重庆市巫溪县红池坝国家森林公园的太白贝母核苷和总生物碱含量高于兰英乡, 贝母辛的含量低于兰英乡, 可见不产地太白贝母品质有显著差异。造成这种现象可能是两个地方土壤、气候因子等生态环境不同^[25]。

相关性分析表明, 太白贝母品质与根际土壤因子相互之间存在密切关系。根际土壤养分与土壤酶活性之间具有显著相关性, 可见各个土壤因子的相关关系对土壤肥力的影响至关重要, 可根据各土壤因子之间的促进或抑制作用, 制定最合适的施肥方案。同时太白贝母鳞茎品质与土壤因子之间也存在显著相关性, 可根据相关的程度, 提高或降低某些土壤因子作用, 使各土壤因子的指标在有效范围内, 保证鳞茎品质指标处于较高水平, 为提高太白贝母产量和质量提供重要保障。此外, 太白贝母不同活性成分的形成可能受不同生物合成途径影响, 不同的生物合成途径所需的土壤因子也就可能不同, 关于太白贝母不同活性成分与土壤因子具体的相互作用关系还需进一步研究探讨。

综上所述, 不同的根际土壤因子对太白贝母的品质指标有不同的影响, 因此, 合适的土壤环境更有利于太白贝母产量和品质的提高。总体上, 1 年生

的(S1)太白贝母栽培品各个指标优于其他组,说明了连作太白贝母会导致其质量下降,同时也说明了栽培品完全可以代替野生品满足市场原料药供应需求。同时,研究者在保护野生太白贝母资源和进行人工种植时,应避免连作,注意调节太白贝母土壤中所需各养分的含量及其比例,以保证太白贝母的品质。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会编. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:36-37.

[2] 段宝忠,陈锡林,黄林芳,等. 太白贝母资源学研究概况[J]. 中国现代中药,2010,12(4):12-14.

[3] 付绍智,陈洪源,袁定明,等. 重庆太白贝母资源调查[J]. 中国中医药信息杂志,2016,23(9):1-4.

[4] 周先建,杨玉霞,胡平,等. 太白贝母资源调查研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(17):84-85.

[5] 黄建,冯耀祖,耿庆龙,等. 不同种植年限枣棉间作土壤养分变化特征分析[J]. 新疆农业科学,2015,52(7):1316-1321.

[6] 邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.

[7] 吴宗展,吴翠色. 不同施肥方式对太白贝母生长的影响[J]. 农业工程,2016,6(6):153-154.

[8] 董天旺. 氮磷肥与微生物肥料配施对2年生太白贝母生长及品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.

[9] 母茂君,聂松莹,王骞,等. 太白贝母根际区土壤养分变化规律[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(7):189-194.

[10] 母茂君,张弟桂,张华,等. 太白贝母根际微生物分布与生物碱含量的相关性[J]. 中国中药杂志,2019,44(11):2231-2235.

[11] 王怀玉,马鹏,彭锐. 不同生长年限太白贝母中贝母辛和总生物碱的含量测定[J]. 中药材,2011,34(7):1034-1037.

[12] 叶琪琪,杜冰洁,张鹏葛,等. 新疆伊贝母有效成分含量与土壤因子相关性分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(13):41-47.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:14-24.

[14] 易海艳,马刘峰,林宁,等. 新疆叶尔羌河流域棉田土壤养分分析与评价[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):393-396.

[15] 翟琨. 湖北贝母种植基地土壤质量评价[J]. 湖北民族学院学报:自然科学版,2011,29(2):235-236.

[16] 蔡红,沈仁芳. 改良茚三酮比色法测定土壤蛋白酶活性的研究[J]. 土壤学报,2005(2):306-313.

[17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:260-360.

[18] 杨兰芳,曾巧,李海波,等. 紫外分光光度法测定土壤过氧化氢酶活性[J]. 土壤通报,2011,42(1):207-210.

[19] 杜伟锋,贾永强,张焱新,等. HPLC-ELSD法同时测定浙贝母饮片硫熏前后3种有效成分的含量[J]. 药物分析杂志,2015,35(4):675-678.

[20] 游静,张德全,潘兴娇,等. 高效液相色谱法同时测定太白贝母与暗紫贝母中9种核苷类成分的含量[J]. 食品与发酵工业,2016,42(1):174-179.

[21] 程红玉,肖占文,秦嘉海,等. 连作对玉米制种田土壤养分和土壤酶活性的影响[J]. 土壤,2013,45(4):623-627.

[22] 付绍智. 长江三峡地区野生太白贝母的生态类型与保护对策[J]. 时珍国医国药,2012,23(8):2018-2019.

[23] 张志勇,杨洁,齐泽民. 川贝母的研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(24):9-13.

[24] 杨杨. 野生和组培川贝母的总生物碱含量测定和定位研究[D]. 成都:四川大学,2007.

[25] 安露莎. 野生与栽培伊贝母质量评价研究[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2014.

[责任编辑 顾雪竹]