

洗丽铨, 吴道铭, 隆曼迪, 等. 土壤养分、种植年限和种植方式对巴戟天寡糖含量的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(3): 75-85.
XIAN Lihua, WU Daoming, LONG Mandi, et al. Effects of soil nutrients, planting years and methods on oligosaccharide content of *Morinda officinalis* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(3): 75-85.

土壤养分、种植年限和种植方式对巴戟天寡糖含量的影响

洗丽铨, 吴道铭, 隆曼迪, 曾曙才
(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】分析土壤养分、种植年限、种植方式(林下和非林下)等3个重要因子对巴戟天 *Morinda officinalis* 品质核心指标寡糖含量的影响, 为我国“四大南药”之一的巴戟天种植提供理论与数据支撑。【方法】在广东省德庆县巴戟天道地产区选择18个非林下种植点, 采用随机多点采样法采集土样和不同生长年限巴戟天样品, 测定土壤养分和巴戟天肉质根寡糖含量, 分析土壤养分含量和不同生长年限与巴戟天寡糖含量的关系; 分别采集林下和非林下种植的巴戟天样品, 通过主成分分析探究林下和非林下种植方式巴戟天的品质差异。【结果】土壤pH与巴戟天蔗糖含量呈极显著的负相关关系 ($P<0.01$), 与寡糖含量呈显著正相关关系 ($P<0.05$); 土壤全磷、速效磷、速效钾与1-蔗糖三糖、耐斯糖含量呈显著正相关关系 ($P<0.05$)。3年生巴戟天的蔗糖含量显著高于其他生长年限的巴戟天, 4年生巴戟天的1-蔗糖三糖含量显著高于2年生巴戟天。林下种植巴戟天的品质优于非林下种植。【结论】提高土壤中速效磷与速效钾含量可以提高巴戟天品质, 4年生巴戟天的药材品质最佳, 林下种植有利于提高巴戟天品质。

关键词: 巴戟天; 有效成分; 寡糖含量; 品质; 林下种植; 土壤养分

中图分类号: S567.19 文献标志码: A 文章编号: 1001-411X(2021)03-0075-11

Effects of soil nutrients, planting years and methods on oligosaccharide content of *Morinda officinalis*

XIAN Lihua, WU Daoming, LONG Mandi, ZENG Shucai
(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To analyze the effects of three important factors of soil nutrients, planting years and methods (understory and no understory) on oligosaccharide content which is one of the core index of *Morinda officinalis* quality, provide the theoretical and data supports for cultivation of *M. officinalis* which is one of the “Four Southern Herbs” in China. 【Method】This study selected eighteen no understory planting sites in the genuine producing area of *M. officinalis* in Deqing County, Guangdong Province. Soil samples and *M. officinalis* samples of different growth years were collected by random multi-point sampling method. The contents of soil nutrients and oligosaccharides in *M. officinalis* flesh root were determined to analyze the relationships of soil

nutrient contents, growth years and oligosaccharides content of *M. officinalis*. In addition, samples in understory and no understory planting sites were collected to explore the quality differences of *M. officinalis* by principal component analysis. 【Result】 The pH value was highly negatively correlated with sucrose content ($P<0.01$) and positively correlated with oligosaccharide content ($P<0.05$). Total phosphorus, available phosphorus and available potassium in soil were positively correlated with the contents of 1-kestose and nystose ($P<0.05$). The sucrose content of 3-year-old *M. officinalis* was significantly higher than those of other growth years, and 1-kestose content of 4-year-old *M. officinalis* was significantly higher than that of 2-year-old *M. officinalis*. The understory *M. officinalis* showed better quality than that of no understory. 【Conclusion】 Improving the contents of available P and available K in soil can improve the quality of *M. officinalis*. The quality of 4-year-old *M. officinalis* is the best in our study. Understory planting can improve the quality of *M. officinalis*.

Key words: *Morinda officinalis*; active ingredient; oligosaccharide content; quality; understory planting; soil nutrient

巴戟天 *Morinda officinalis* 别名巴戟、三蔓草、鸡肠风，是双子叶植物纲 Dicotyledoneae、茜草目 Rubiales、茜草科 Rubiaceae 多年生攀援木质藤本植物，是我国“四大南药”之一，以肉质根入药，其主要药效成分为寡糖、多糖萜醌类、环烯醚萜类等活性物质^[1-2]，具有补肝肾、强筋骨、祛风湿、抗衰老、抗肿瘤和治疗糖尿病、精神疾病以及细菌和病毒感染等作用^[3-7]。巴戟天种植成本较高，且种植过程中存在开垦山林及乱采滥挖现象，这严重破坏了巴戟天的生长环境^[8]。虽然巴戟天是第 1 批受到《广东省岭南中药材保护条例》保护的岭南药材，但其种植面积在逐年减少。土壤养分是影响巴戟天生长的环境因素之一，肉桂 *Cinnamomum cassia* 成林速度快，林内土壤动物、微生物种类更为丰富，可有效改善林地内土壤结构，从而提高土壤的肥力，营造出适宜巴戟天生长的种植环境^[9]。

近年来，一些学者从巴戟天的药材化学成分及代谢组学^[3, 10-12]、种植条件^[13-14]、种植模式^[15-16]等方面对巴戟天的有效成分含量进行比较研究，发现合理增加肉桂林种植地的光照量，可抑制藤苗生长，从而提高巴戟天肉质根的产量和有效成分积累，有效成分含量均随种植时间的延长呈上升趋势^[16]。林下种植方式是控制种植地光照条件的重要途径之一，而且巴戟天林下种植具有较好的经济效益，解决了坡地连片种植带来的潜在山地环境破坏和水土流失问题，并且提高了巴戟天的产量和药效品质^[8, 15]。这一林下生态种植方式为区域中药材的产业化发展提供了新思路。

广东省肇庆市德庆县是巴戟天的主产区，种植巴戟天有着悠久历史，是目前我国种植面积最大、

产量最多和品质最好的巴戟天生产基地。本文研究了道地产区土壤养分和生长年限与巴戟天品质的关系，以及林下和非林下种植方式对巴戟天有效成分的影响，以期对巴戟天林下规范化种植提供基础数据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究试验地位于广东省肇庆市德庆县，调查采样点分布于 N 23°13'30"~N 23°17'37"，E 111°53'52"~E 111°55'45"，海拔 62~166 m。地处亚热带地区，热量丰富、雨热同期、夏长冬短，年平均温度 20~25 ℃，年降雨量 600~2 000 mm，土壤以红壤为主，其次是黄壤。德庆县当地农户种植的巴戟天有 2 个品种，分别是小叶品种‘黑幼籽’与大叶品种‘广宁特’，以小叶品种‘黑幼籽’最为常见。本次研究调查的品种均为‘黑幼籽’，种植密度普遍为株行距 20 cm×30 cm，农家肥与大田复合肥为巴戟天施肥最常用肥料。大田复合肥的施肥量较低，通常为 224~230 kg·hm⁻²，施肥频率为每年 2~3 次。

1.2 样品采集

于 2018 年 10 月，选取广东省德庆县高良镇以及邻近镇作为研究区域，根据该区域巴戟天种植面积和分布，选取 18 个具有代表性的非林下巴戟天种植点（表 1），调查分析土壤养分和种植年限对巴戟天寡糖含量的影响。另外，为了调查分析林下和非林下种植巴戟天的品质差异，在其中 8 个非林下巴戟天种植点的相邻林地上（相关信息见表 2），采集了林下种植点样品，巴戟天品种和种植年限以及土壤、坡度、坡向、海拔等均与对应的非林下种植点

表 1 道地产区非林下种植巴戟天采样点基本信息

Table 1 Basic information of sample plot for no understory planting of *Morinda officinalis* in genuine producing areas

采样点编号	经纬度	村或镇	生长年限
Sample plot number	Longitude and latitude	Village or town	Growth year
1	111°58'3" E, 23°18'25" N	回村 Hui Village	1
2	112°2'12" E, 23°20'49" N	莫村镇 Mocun Town	5
3	112°7'23" E, 23°20'51" N	南田村 Nantian Village	4
4	112°2'20" E, 23°20'46" N	莫村镇 Mocun Town	4
5	112°2'24" E, 23°20'47" N	莫村镇 Mocun Town	2
6	112°2'22" E, 23°20'39" N	莫村镇 Mocun Town	2
7	112°2'36" E, 23°20'44" N	莫村镇 Mocun Town	5
8	112°5'49" E, 23°20'50" N	荔枝村 Litchi Village	3
9	112°2'36" E, 23°20'53" N	莫村镇 Mocun Town	5
10	112°2'39" E, 23°20'59" N	莫村镇 Mocun Town	6
11	112°2'40" E, 23°21'0" N	莫村镇 Mocun Town	2
12	112°2'54" E, 23°21'2" N	莫村镇 Mocun Town	3
13	112°3'5" E, 23°21'23"N	莫村镇 Mocun Town	3
14	111°55'21" E, 23°15'55" N	高良镇 Gaoliang Town	5
15	111°55'45"E, 23°14'18" N	蕾浪村 Tanlang Village	5
16	111°55'11" E, 23°13'36" N	中雄村 Zhongxiong Village	4
17	111°55'31" E, 23°13'42" N	中雄村 Zhongxiong Village	4
18	111°54'54" E, 23°15'0" N	年宅村 Nianzhai Village	5

表 2 林下种植巴戟天采样点基本信息

Table 2 Basic information of sample plot for understory planting of *Morinda officinalis*

采样点编号	经纬度	村或镇	伴生植物	透光度/%	生长年限
Sample plot number	Longitude and latitude	Village or town	Associated plant	Transparency	Growth year
1	111°55'45"E, 23°17'37"N	降底村 Jiangdi Village	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> 、 马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	57.59	2
2	111°54'8"E, 23°17'34"N	大揽村 Dalan Village	火炬松 <i>Pinus taeda</i> 、 山营兰 <i>Dianella ensifolia</i>	37.91	2
3	111°53'52"E, 23°15'29"N	高良镇 Gaoliang Town	肉桂 <i>Cinnamomum cassia</i> 、 青皮竹 <i>Bambusa textilis</i>	25.34	3
4	111°55'45"E, 23°14'18"N	蕾浪村 Tanlang Village	肉桂 <i>C. cassia</i> 、 马尾松 <i>P. massoniana</i> 、 山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	35.89	5
5	111°55'31"E, 23°14'11"N	蕾浪村 Tanlang Village	肉桂 <i>C. cassia</i> 、火炬松 <i>P. taeda</i> 、 五指毛桃 <i>Ficus simplicissima</i>	36.15	5
6	111°55'11"E, 23°13'36"N	中雄村 Zhongxiong Village	杉木 <i>C. lanceolata</i> 、 乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	33.39	4
7	111°55'10"E, 23°13'30"N	中雄村 Zhongxiong Village	橄榄 <i>Canarium album</i> 、 山麻黄 <i>Psilopeganum sinense</i> 、 五指毛桃 <i>F. simplicissima</i>	79.07	4
8	111°54'54"E, 23°15'0"N	年宅村 Nianzhai Village	阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i> 、 肉桂 <i>C. cassia</i> 、荔枝 <i>Litchi chinensis</i> 、 乌毛蕨 <i>B. orientale</i>	61.38	5

一致。在选定的地点,采用随机多点(5~8个点)采样法,在根系外围采集 0~20 cm 深的土壤,将土壤混匀并用四分法采集分析样品。土壤样品自然风干后,去除植物根系、落叶及石块等杂质,研磨,分别过 1.00 和 0.25 mm 筛,保存备用。同时在采样点随机整株挖取 5 株巴戟天。巴戟天肉质根用自来水清洗 3 次、去离子水润洗 1 次后,擦干。去除肉质根的木心部分,烘干,粉碎,过 0.25 mm 筛,待用。

1.3 样品分析

1.3.1 土壤养分含量分析 土壤样品的养分含量分析按照《土壤农化分析》^[17]进行,具体为:称取 10 g 过 1 mm 筛的土壤,加入 25 mL 无二氧化碳去离子水浸提,利用 pH 计测定土壤 pH;称取 1 g 过 0.25 mm 筛的土壤,采用凯氏定氮法测定土壤全氮含量;称取 2 g 过 1 mm 筛的土壤,采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量;称取 1 g 过 0.25 mm 筛的土壤,采用高氯酸-氢氟酸消煮-钼锑抗比色法测定土壤全磷含量;称取 2 g 过 1 mm 筛的土壤,采用氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法测定速效磷含量;称取 0.25 g 过 0.25 mm 筛的土壤,采用高氯酸-氢氟酸消煮-火焰光度法测定土壤全钾含量;称取 5 g 过 1 mm 筛的土壤,采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾含量;称取 0.5 g 过 0.25 mm 筛的土壤,采用重铬酸钾氧化外加热法测定土壤有机质含量。

1.3.2 巴戟天肉质根品质成分分析 巴戟天肉质根全氮含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-奈氏试剂比色法测定;全磷含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-钼锑抗比色法测定;全钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-原子吸收法测定。肉质根寡糖含量参照李倩^[18]采用高效液相色谱-蒸发光散射法测定,通过峰面积计算样品中蔗糖、1-蔗果三糖、耐斯糖以及 1^F-果呋喃糖基耐斯糖的含量。

1.4 数据分析方法

试验数据采用 Excel 2017 和 SPSS 25.0 软件进行整理和统计分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA),用 Duncan's 多重极差检验法比较巴戟天品质指标的差异性;土壤养分与巴戟天品质指标的相关性则采用 Pearson 法进行分析;林下和非林下品质指标之间的差异性采用配对样本 *t* 检验法进行比较。

在采用主成分分析法进行综合评价时,选取反映巴戟天品质综合评估值的 *n* 个指标为 *X*₁, *X*₂, ..., *X*_{*n*}, *m* 个生长年限和种植环境的 *n* 项指标构成原始数据矩阵 *X*=[*X*_{*ij*}]_{*n*×*m*},其中,*X*_{*ij*}为第 *i* 个模式的第 *j* 项指标数据(*i*=1, 2, ..., *n*; *j*=1, 2, ..., *m*),按公式(1)对原始数据进行标准化,从而消除量纲和数

量级的影响,然后确定主成分,从总方差分析表选取累积贡献率≥85%的前 *p* 个主成分,按公式(2)在建立 *p* 个主成分和标准化变量的关系后,按公式(3)确定权重,用第 *k* 个主成分的贡献率与选取的 *p* 个主成分的总贡献率的比值确定每个主成分的权重,最后按公式(4)构造综合评价函数,根据前 *p* 个主成分及其权重构造综合评价函数^[19]。

$$X_{ij}^* = (X_{ij} - \overline{X_j})/S_j,$$
 (1)

式中,*X*_{*ij*}^{*}是 *X*_{*ij*} 的标准化数据, $\overline{X_j}$ 和 *S_j* 是第 *j* 个指标的平均值和标准差。

$$Y_k = u_{k1}X_1^* + u_{k2}X_2^* + \cdots + u_{km}X_m^*,$$
 (2)

式中,*Y_k* 是第 *k* 个主成分(*k*=1, 2, ..., *p*), *u_{k1}~u_{km}* 分别为第 *k₁~k_m* 个主成分的因子荷载, *X₁^{*}~X_m^{*}*均为标准化后的样本矩阵。

$$\omega_k = \lambda_k / \sum_{k=1}^p \lambda_k,$$
 (3)

式中, ω_k 为第 *k* 个主成分的权重, λ_k 为第 *k* 个主成分的贡献率。

$$F = \sum_{k=1}^p \omega_k Y_k,$$
 (4)

式中,*F* 为不同生长年限和种植环境的巴戟天品质综合评价得分,分值越高表明该条件下的巴戟天品质越好。

2 结果与分析

2.1 道地产区土壤养分含量

广东省德庆县是巴戟天道地产区。由表 3 可知,所收集到的土壤样品 pH 在 4.08~4.90 之间,差异较小,说明巴戟天适合种植在酸性土壤中。土壤有机质质量分数大部分在 26~46 g·kg⁻¹ 之间,11 号样品有机质质量分数达到 75.15 g·kg⁻¹。土壤全氮、全磷、全钾的含量差异较大,这可能与当地的自然环境、施肥情况密切相关。

2.2 巴戟天品质成分含量

巴戟天药材中全氮质量分数为 2.81~12.30 g·kg⁻¹,全磷质量分数为 0.12~0.71 g·kg⁻¹,全钾质量分数为 6.13~13.20 g·kg⁻¹;巴戟天药材中 4 种寡糖成分含量差异较大,蔗糖质量分数为 34.06~76.16 g·kg⁻¹,1-蔗果三糖质量分数为 9.99~59.30 g·kg⁻¹,耐斯糖质量分数为 27.93~69.41 g·kg⁻¹,符合 2015 年版《中华人民共和国药典》巴戟天干燥品耐斯糖含量不得少于 2.0% 的要求^[20];1^F-果呋喃糖基耐斯

表 3 巴戟天道地产区土壤 pH 和养分含量

Table 3 Soil pH and nutrient content in genuine producing areas of *Morinda officinalis*

样品序号 Sample number	土壤类型 Soil type	pH	w/(g·kg ⁻¹)				w/(mg·kg ⁻¹)		
			全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	有机质 Organic matter	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
1	红壤 Red soil	4.45	1.55	0.43	14.60	26.95	153.60	5.80	123.55
2	红壤 Red soil	4.25	1.91	0.62	11.18	27.72	157.52	46.26	154.32
3	红壤 Red soil	4.33	2.53	0.22	8.58	33.86	197.31	3.04	66.55
4	红壤 Red soil	4.50	2.35	0.25	9.13	43.09	188.70	4.67	68.00
5	红壤 Red soil	4.18	1.66	0.41	12.47	40.50	169.55	27.29	99.43
6	红壤 Red soil	4.10	2.00	0.20	12.89	30.25	199.93	3.62	71.67
7	红壤 Red soil	4.52	2.11	0.46	18.21	26.82	168.97	12.47	89.65
8	红壤 Red soil	4.51	2.06	0.26	10.05	37.04	202.02	11.27	131.75
9	红壤 Red soil	4.40	2.09	0.25	9.99	37.12	175.84	6.47	142.88
10	红壤 Red soil	4.25	1.40	0.21	17.32	36.23	342.07	3.45	74.70
11	红壤 Red soil	4.18	4.08	0.33	11.16	75.15	230.14	12.27	90.12
12	黄壤 Yellow soil	4.12	2.41	0.47	14.63	46.04	225.33	29.39	186.59
13	黄壤 Yellow soil	4.25	2.07	0.32	12.33	46.31	192.76	24.72	140.38
14	红壤 Red soil	4.08	1.06	0.27	6.78	37.05	162.21	14.09	90.78
15	红壤 Red soil	4.56	0.88	0.49	9.65	23.64	78.15	17.85	123.57
16	红壤 Red soil	4.66	2.70	0.66	7.17	33.68	118.69	38.14	146.22
17	红壤 Red soil	4.69	1.31	0.76	6.75	32.77	118.48	41.00	151.24
18	红壤 Red soil	4.68	1.47	0.47	4.99	28.03	136.20	32.77	136.34
平均值 Mean		4.37	1.98	0.39	10.99	36.79	178.75	18.59	115.99
最小值 Minimum		4.08	0.88	0.20	4.99	23.64	78.15	3.04	66.55
最大值 Maximum		4.69	4.08	0.76	18.21	75.15	342.07	46.26	186.59
标准误差 Standard error		0.01	0.04	0.01	0.20	0.65	3.13	0.79	1.97
变异系数/% Coefficient of variation		4.71	36.73	42.21	33.12	31.66	31.48	76.44	30.59

糖质量分数为 46.60~97.12 g·kg⁻¹(表 4)。

2.3 巴戟天品质与土壤养分含量的相关性分析

从相关性分析结果(表 5)可以看出,土壤养分含量与巴戟天营养元素含量密切相关,其中,土壤全磷、速效磷、速效钾含量与巴戟天全氮含量均表现出极显著正相关关系,土壤速效钾含量与巴戟天全磷含量之间以及土壤全钾含量与巴戟天全钾含量之间均具有极显著正相关关系。土壤养分含量与巴戟天寡糖含量密切相关,其中,土壤碱解氮含量与巴戟天蔗糖含量呈极显著正相关关系,但却与耐斯糖和 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量呈显著负相关关系。土壤全磷、速效磷、速效钾含量与巴戟天

1-蔗果三糖含量均表现出极显著正相关关系,与耐斯糖含量表现出极显著或显著正相关关系。值得注意的是,土壤 pH 与巴戟天营养元素没有显著相关关系,但与巴戟天寡糖呈显著相关关系,其中,土壤 pH 与蔗糖含量表现出极显著的负相关关系,与 1-蔗果三糖、耐斯糖以及 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量均有显著或极显著的正相关关系,说明随着土壤 pH 的增加蔗糖含量降低,而 1-蔗果三糖、耐斯糖与 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量却呈增加趋势。另外,土壤有机质含量与巴戟天品质指标之间相关关系不显著,说明土壤有机质含量对巴戟天品质影响不大。

表 4 道地产区巴戟天肉质根全氮、全磷、全钾和寡糖含量

Table 4 Total N, total P, total K and oligosaccharide contents of succulent root of <i>Morindus officinalis</i> in genuine producing areas								w/(g·kg ⁻¹)
样品序号 Sample number	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	蔗糖 Sucrose	1-蔗果三糖 1-Kestose	耐斯糖 Nystose	1 ^F -果呋喃糖基耐斯糖 1 ^F - Fructo- furanosaccharides	
1	3.97	0.26	6.47	54.35	24.62	52.62	80.44	
2	9.22	0.60	11.61	57.72	29.51	43.25	57.77	
3	7.32	0.33	9.16	50.73	12.58	27.93	46.60	
4	4.30	0.31	6.36	50.04	16.65	48.37	74.99	
5	3.97	0.23	11.82	52.18	14.44	51.72	85.78	
6	4.75	0.26	9.69	57.43	21.47	49.55	75.85	
7	5.93	0.38	13.20	46.25	10.64	29.77	47.46	
8	4.09	0.22	8.28	59.65	21.73	51.75	81.96	
9	5.96	0.56	10.80	57.72	19.69	42.22	67.56	
10	7.90	0.34	10.64	65.43	28.93	37.91	55.72	
11	6.30	0.42	8.26	51.73	18.17	42.33	69.34	
12	12.30	0.68	13.19	76.16	34.97	43.91	58.06	
13	9.84	0.71	11.65	56.42	21.83	46.15	72.50	
14	2.81	0.22	6.47	46.33	9.99	31.85	53.77	
15	8.77	0.47	6.13	34.06	40.60	62.00	95.48	
16	11.70	0.61	9.31	46.49	46.79	65.46	97.12	
17	12.33	0.54	9.05	45.33	59.30	69.41	95.10	
18	11.99	0.12	6.58	34.09	42.18	58.77	87.70	
平均值 Mean	7.41	0.40	9.37	52.34	26.34	47.50	72.40	
最小值 Minimum	2.81	0.12	6.13	34.06	9.99	27.93	46.60	
最大值 Maximum	12.33	0.71	13.20	76.16	59.30	69.41	97.12	
标准误差 Standard error	0.18	0.01	0.13	0.56	0.76	0.65	0.92	
变异系数/% Coefficient of variation	43.51	44.07	25.36	19.27	51.83	24.64	22.75	

表 5 巴戟天品质与土壤养分含量的相关性分析¹⁾

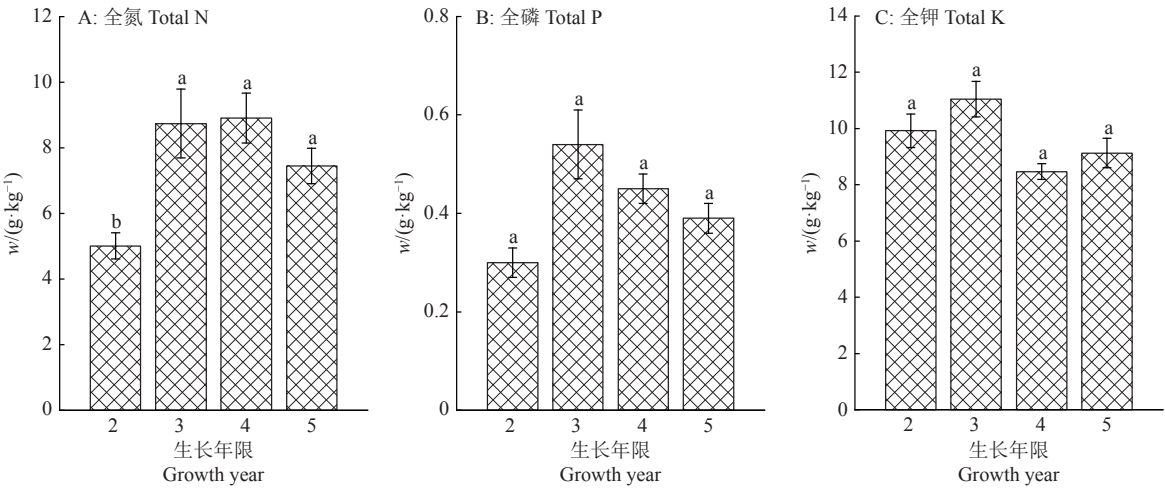
Table 5 Correlation analysis between <i>Morinda officinalis</i> quality and soil nutrient contents							
指标 Index	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	蔗糖 Sucrose	1-蔗果三糖 1-Kestose	耐斯糖 Nystose	1 ^F -果呋喃糖基耐斯糖 1 ^F - Fructofuranosaccharides
pH	0.373	-0.027	-0.349	-0.595**	0.578*	0.596**	0.570*
全氮 Total N	0.012	0.246	0.213	0.279	-0.246	-0.223	-0.193
碱解氮 Available N	-0.192	-0.079	0.345	0.712**	-0.384	-0.554*	-0.570*
全磷 Total P	0.651**	0.424	0.105	-0.303	0.749**	0.609**	0.455
速效磷 Available P	0.700**	0.455	0.241	-0.156	0.650**	0.513*	0.366
全钾 Total K	-0.228	0.111	0.593**	0.570*	-0.363	-0.431	-0.458
速效钾 Available K	0.645**	0.610**	0.254	0.178	0.614**	0.471*	0.324
有机质 Organic matter	-0.079	0.179	0.086	0.313	-0.258	-0.193	-0.131

1) “*” 和 “**” 分别表示达0.05和0.01水平的显著相关(Pearson法)
1) “*” and “**” indicate significant correlations at 0.05 and 0.01 levels, respectively (Pearson method)

2.4 不同生长年限巴戟天的品质指标含量

本次调查采集的是非林下种植环境的 18 个样地, 巴戟天的生长年限包含 1 至 6 年生。由于 1 年生和 6 年生的仅有 1 个样点, 故仅分析 2~5 年生巴

戟天肉质根的营养元素和寡糖含量。
2.4.1 不同生长年限巴戟天药材中的营养元素含量 由图 1 可见, 随着巴戟天生长年限的增长, 其药用部分肉质根对全氮、全磷、全钾吸收积累量呈



各图中, 柱子上方的不同小写字母表示生长年限间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
In each figure, different lowercase letters on the columns indicate significant differences among different growth years ($P<0.05$, Duncan's method)

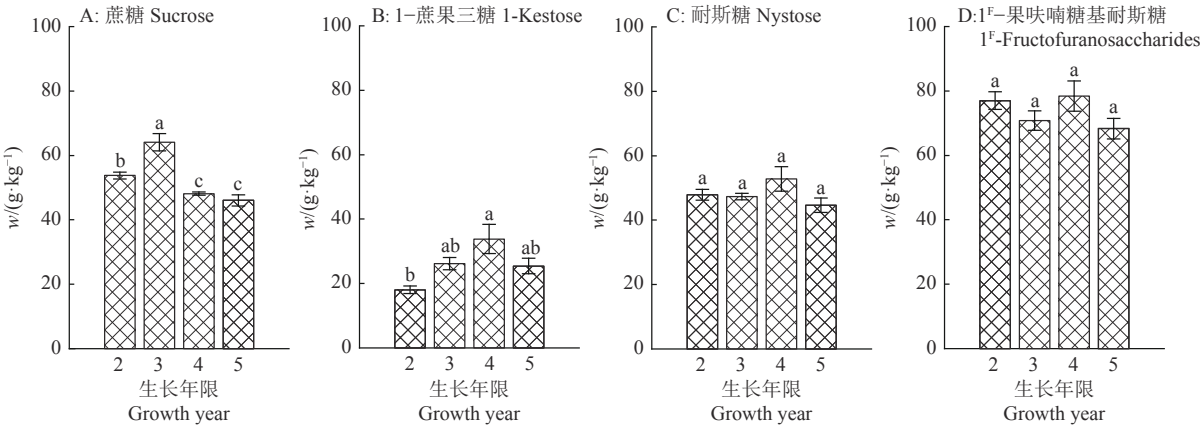
图1 不同生长年限巴戟天药材营养元素含量

Fig. 1 Nutrient element contents in *Morinda officinalis* of different growth years

现先升高后降低的趋势, 整体表现为全钾>全氮>全磷。2年生巴戟天的全氮含量显著低于其他生长年限的, 其他处理间的全氮含量没有显著性差异。全磷含量、全钾含量在不同生长年限之间无显著差异, 但均在3年生时达到最大值, 分别为0.54、11.04 g·kg⁻¹。

2.4.2 不同生长年限巴戟天药材中的寡糖含量
由图2可以看出, 巴戟天生长年限不同, 寡糖类成分含量各异。随着巴戟天生长年限的增加, 蔗糖、1-蔗果三糖含量变化均呈现出先增加后下降的趋

势。其中, 蔗糖含量为3年生巴戟天最高, 质量分数达到64.08 g·kg⁻¹, 显著高于其他生长年限的, 同时, 2年生巴戟天蔗糖含量显著高于4年生和5年生的, 而4年生与5年生巴戟天的蔗糖含量之间无显著差异。在1-蔗果三糖含量上, 4年生巴戟天显著高于2年生巴戟天 (高出76.96%), 4年生巴戟天达到32.68 g·kg⁻¹, 与3年生、5年生巴戟天没有显著差异, 2年生、3年生与5年生巴戟天之间无显著差异。不同生长年限的巴戟天在耐斯糖和1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量上没有显著差异。



各图中, 柱子上方的不同小写字母表示生长年限间差异显著 ($P<0.05$, Duncan's 法)
In each figure, different lowercase letters on the columns indicate significant differences among different growth years ($P<0.05$, Duncan's method)

图2 不同生长年限巴戟天寡糖含量

Fig. 2 Oligosaccharide contents in *Morinda officinalis* of different growth years

2.5 林下与非林下种植巴戟天品质及其主成分分析
2.5.1 林下与非林下种植巴戟天的营养元素和寡糖含量
由于生产上巴戟天收获年龄为4年生, 故本研究选择4年生的林下与非林下种植的巴戟天

进行品质分析。林下与非林下种植的巴戟天全磷含量与全钾含量差异显著 (图3), 林下种植的巴戟天全磷含量比非林下种植巴戟天高44.79%, 而全钾含量比非林下巴戟天低13.78%, 全氮含量无显著差异。

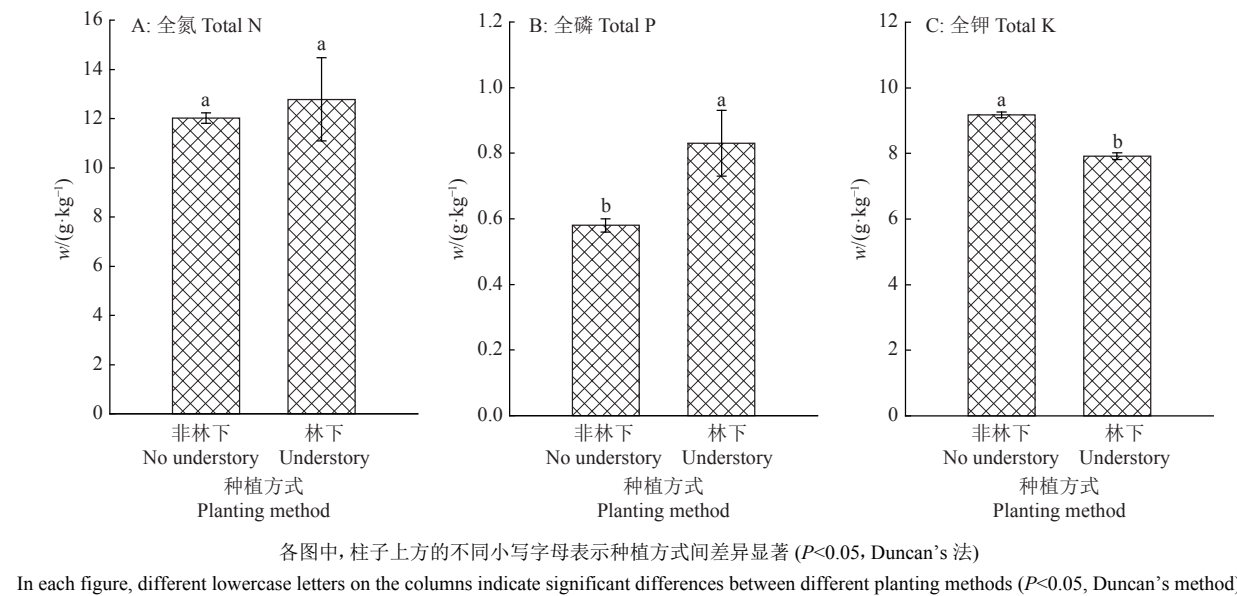


图 3 不同种植方式对 4 年生巴戟天营养成分含量的影响

Fig. 3 Effects of different planting methods on nutrient element contents of 4-year-old *Morinda officinalis*

由图 4 可以看出，林下与非林下种植的巴戟天除耐斯糖含量没有显著差异外，其他寡糖含量间均有显著差异。其中，林下种植的 4 年生巴戟天蔗糖和 1-蔗果三糖质量分数分别达到 53.14 和 60.22 g·kg⁻¹，分别高出非林下种植巴戟天 32.49% 和 18.68%。而 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量却低于非林下巴戟天 3.97%。

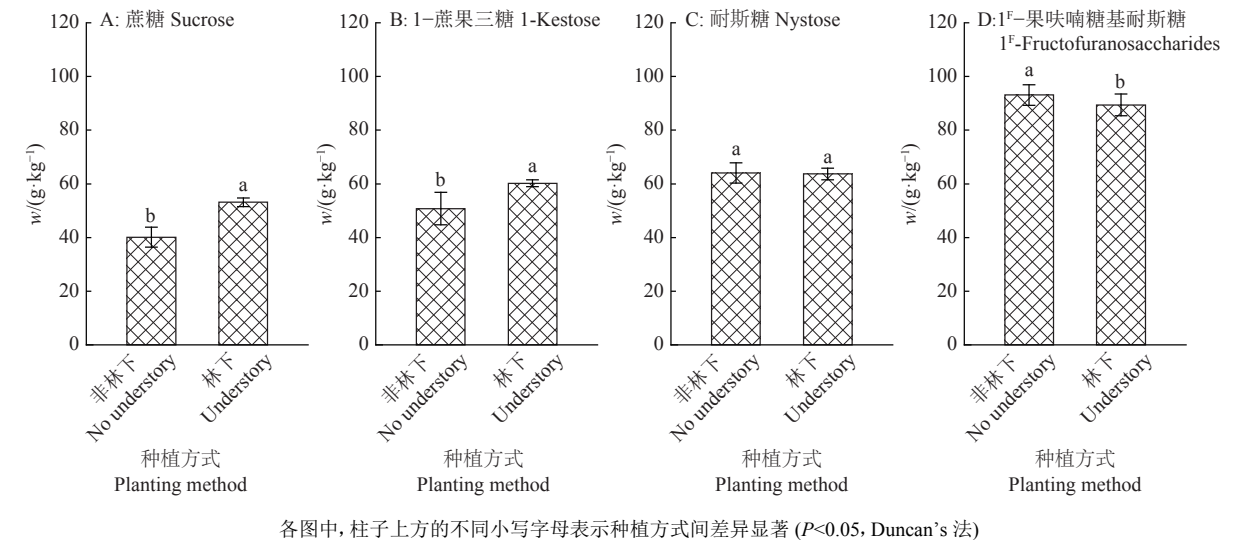


图 4 不同种植方式对 4 年生巴戟天寡糖含量的影响

Fig. 4 Effects of different planting methods on oligosaccharide content of 4-year-old *Morinda officinalis*

2.5.2 林下与非林下种植巴戟天品质的主成分分析 主成分分析是对多个变量进行统计分析的一类定量分析方法，通过分析主成分载荷值和得分可以看出不同样品之间的关系，也可以解释样品的特点、分组、相似性及差别^[21-22]。将巴戟天品质指标转化为 7 个主成分，分析结果如表 6。7 种指标可以提取出 2 种主成分，累计贡献率为 85.776%。

为了更好地解释各品质指标与成分因子之间的关系，将所提取的主成分因子进行旋转处理，使

一个变量在较少的几个因子上有较高的载荷，其载荷值的大小反映各有效成分指标在主成分中的重要程度 (表 7)。通过主成分分析可知，前 2 个主成分反映了 7 个指标的大部分综合信息，用 2 个主成分评价不同种植方式下巴戟天品质的优劣是可行的。因此，可用营养因子 (F_1)、寡糖因子 (F_2) 代替原来 7 个指标 ($X_1 \sim X_7$) 对巴戟天的品质进行分析，得到巴戟天品质前 2 个主成分的线性关系式分别为：

表 6 巴戟天品质指标的主成分初始特征值及累计贡献率

Table 6 Initial characteristic values and cumulative contribution rates of principal components of *Morinda officinalis* quality index

变量 ¹⁾ Variable	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Squared sum of extracted load		
	特征值 Eigen value	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate	特征值 Eigen value	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
X_1	3.264	46.632	46.632	3.264	46.632	46.632
X_2	2.740	39.144	85.776	2.740	39.144	85.776
X_3	0.776	11.079	96.855			
X_4	0.166	2.370	99.225			
X_5	0.043	0.609	99.834			
X_6	0.011	0.159	99.993			
X_7	0.000	0.007	100.000			

1) X_1 : 全氮; X_2 : 全磷; X_3 : 全钾; X_4 : 蔗糖; X_5 : 1-蔗糖三糖; X_6 : 耐斯糖; X_7 : 1^F-果呋喃糖基耐斯糖
1) X_1 : Total N; X_2 : Total P; X_3 : Total K; X_4 : Sucrose; X_5 : 1-Kestose; X_6 : Nystose; X_7 : 1^F- Fructofuranosaccharides

表 7 巴戟天品质指标前 2 个主成分的载荷值

Table 7 Load values of the first two principal components of *Morinda officinalis* quality index

评价指标 Evaluation index	载荷值 Loading value	
	第一主成分	第二主成分
	The first principal component	The second principal component
全氮 Total N	0.41	-0.15
全磷 Total P	0.52	0.17
全钾 Total K	-0.42	-0.11
蔗糖 Sucrose	0.36	0.45
1-蔗糖三糖 1-Kestose	0.10	0.59
耐斯糖 Nystose	-0.28	0.51
1 ^F -果呋喃糖基耐斯糖 1 ^F - Fructofuranosaccharides	-0.42	0.36

$$F_1=0.41X_1+0.52X_2-0.42X_3+0.36X_4+0.10X_5-0.28X_6-0.42X_7,$$
$$F_2= -0.15X_1+0.17X_2-0.11X_3+0.45X_4+0.59X_5+0.51X_6+0.36X_7.$$

以每个主成分对应的特征值的方差提取贡献率建立综合评价模型:

$$F=0.15X_1+0.36X_2-0.28X_3+0.40X_4+0.32X_5+0.08X_6-0.06X_7.$$

计算林下与非林下种植方式下巴戟天品质的综合评分 (表 8), 得到不同种植方式下巴戟天品质特征的优劣顺序: 7 号样地林下种植巴戟天>6 号样地林下种植巴戟天>6 号样地非林下种植巴戟天>7 号

表 8 4 年生巴戟天品质指标前 2 个主成分得分与排名

Table 8 Scores and rankings of the first two principal components in the quality index of 4-year-old *Morinda officinalis*

采样点编号 Sample plot number	种植方式 Planting method	第一主成分		第二主成分		综合得分 Synthesis score	排名 Rank
		The first principal component		The second principal component			
		得分 Score	排名 Rank	得分 Score	排名 Rank		
6	非林 No understory	-1.58	4	1.09	2	-0.36	3
	林下 Understory	-0.33	2	1.43	1	0.48	2
7	非林下 No understory	-0.87	3	-2.58	4	-1.65	4
	林下 Understory	2.78	1	0.07	3	1.54	1

样地非林下种植巴戟天。说明, 林下种植的巴戟天品质优于同条件下非林下种植的巴戟天。

3 讨论与结论

3.1 讨论

土壤理化性质是反映土壤养分的重要指标, 土壤养分是植物生长发育的主要营养来源, 同时也是创造优质高产必备的物质条件之一, 研究其对巴戟天品质的影响有非常积极的意义。本研究表明, 巴戟天品质与土壤养分关系密切, 这与刘瑾等^[23-24]的研究结果一致。药理研究显示, 巴戟天寡糖具有抗抑郁功效, 其主要发挥功能的糖分为四~七糖^[25], 如耐斯糖 (简称: 四糖)、1-果呋喃糖基耐斯糖 (简称: 五糖), 土壤碱解氮与巴戟天蔗糖含量呈极显著正相关关系, 但与耐斯糖和 1^F-果呋喃糖基耐斯糖呈显著负相关关系, 故减少土壤碱解氮的含量有利于巴戟天抗抑郁成分的积累。而土壤全磷、速效磷、速效钾对巴戟天 1-蔗糖三糖、耐斯糖均表现出显著的正相关关系, 表明提高土壤磷和钾的有效性, 有助于促进巴戟天寡糖累积。土壤的酸碱性对巴戟天品质的影响较大, 巴戟天更适合种植于弱酸性土壤中^[26], 与研究发现弱酸性的红壤或棕壤较适宜巴戟天的生长一致^[15]。土壤 pH 与巴戟天根部营养元素含量无显著相关性, 与蔗糖含量呈现出极强的负相关性, 而与另外其他 3 种寡糖之间具有正相关关系, 说明当土壤呈弱酸性时, 会降低巴戟天根部的蔗糖含量, 但会提高 1-蔗糖三糖、耐斯糖与 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量。土壤有机质是土壤肥力的重要组成部分, 能够使植株正常生长发育, 保证植物在生长过程中的养分需求^[27], 但与巴戟天品质指标没有显著相关性。

不同生长年限的林下种植巴戟天的 1-蔗糖三糖和耐斯糖含量均大于同年生的非林下巴戟天, 说明林下巴戟天从土壤中获取的养分较非林下巴戟天的多, 从而使更多的单糖转化为 1-蔗糖三糖与耐斯糖。随着巴戟天生长年限的增加, 巴戟天营养元素及寡糖含量呈现先增加后减少的变化趋势。这与玉竹 *Polygonatum odoratum*、川党参 *Codonopsis pilosula*^[28] 等药用植物有效成分积累的趋势一致, 这主要是因为巴戟天生长前期 (第 1~4 年) 通过植物光合作用不断贮存营养物质, 而进入衰老期 (第 5 年) 后营养物质的消耗量大于累积量, 导致有效成分含量下降。此外, 巴戟天药材中发挥抗痴呆、抗抑郁、保护生殖系统等功效的成分主要是低聚糖^[29-31], 而低聚糖需要由单糖在一系列酶的催化下才能逐

渐被合成, 只有经过种植年限的积累, 低聚糖含量才会升高, 且巴戟天药材种植 4 年后其有效药用成分均能满足《中华人民共和国药典》^[20] 巴戟天干燥品耐斯糖含量不得少于 2.0% 的要求, 故 4 年生巴戟天获得的药材质量最佳。

通过对不同种植方式下同年生巴戟天品质特征进行分析, 林下种植的 4 年生巴戟天全磷、蔗糖、1-蔗糖三糖含量显著高于非林下种植的, 全钾、1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量却显著低于非林下种植的, 可能是因为植物营养元素与有效成分并不是独立发挥作用, 各成分之间具有一定相关性^[32], 从而导致不同种植方式对巴戟天品质特征物质含量有不同的促进作用。树林的郁闭度较大, 为林下巴戟天提供了很好的遮荫效果, 起到降温保湿的作用^[33], 这是林下种植的巴戟天有效成分含量优于非林下种植巴戟天的原因之一。

3.2 结论

土壤养分对巴戟天肉质根养分和寡糖含量有不同的影响, 其中土壤 pH 与蔗糖含量表现出极显著的负相关性, 与 1-蔗糖三糖、耐斯糖以及 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量呈显著正相关性。土壤全磷、速效磷、速效钾含量与 1-蔗糖三糖和耐斯糖含量呈显著正相关关系, 表明在巴戟天生长过程中可以通过增加土壤速效磷与速效钾含量以提高其品质。不同生长年限的巴戟天肉质根全氮、全磷、全钾含量没有显著差异, 而 3 年生巴戟天蔗糖含量显著高于其他生长年限的巴戟天, 4 年生巴戟天的 1-蔗糖三糖含量显著高于 2 年生巴戟天。林下与非林下种植的巴戟天肉质根全氮、全磷、全钾、蔗糖、1-蔗糖三糖、耐斯糖和 1^F-果呋喃糖基耐斯糖含量无一致规律, 但主成分分析法综合评分结果显示, 林下种植巴戟天品质优于非林下种植的巴戟天。

参考文献:

[1] 陈志霞, 林励. 巴戟天的研究进展[J]. 中药材, 2001, 24(3): 209-211.
[2] 冯鸿耀, 曾令杰, 黄涵, 等. 巴戟天根、茎、叶中甲基异茜草素、水晶兰苷、多糖的分布与积累研究[J]. 华西药理学杂志, 2017, 32(2): 208-210.
[3] 冉志芳, 杨小彤, 许子欣, 等. 不同产地巴戟天中微量元素比较分析[J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(7): 2954-2958.
[4] 伍淳操, 吴文辉, 刘霞, 等. 巴戟天酒制炮制方法研究[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(1): 97-99.
[5] 赖满香, 阮志燕, 许意平. 补肾中药巴戟天药理作用研究进展[J]. 亚太传统医药, 2017, 1(13): 63-64.
[6] SINGH B, SHARMA R A. Indian *Morinda* species: A review[J]. Phytotherapy Research, 2019, 34(5): 924-1007.

[7] XU H L, LIU L L, CHEN Y X, et al. The chemical character of polysaccharides from processed *Morinda officinalis* and their effects on anti-liver damage[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 141: 410-421.

[8] 林仁昌. 永定县野生巴戟天资源短缺原因与林下种植思路[J]. *现代农业科技*, 2013(11): 218-220.

[9] 陈立金, 江海涛, 李丽娟, 等. 马尾松肉桂人工复层林土壤理化性质的研究[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(11): 45-47.

[10] WANG M Y, WANG Q L, YANG Q, et al. Comparison of anthraquinones, iridoid glycosides and triterpenoids in *Morinda officinalis* and *Morinda citrifolia* using UPLC/Q-TOF-MS and multivariate statistical analysis[J]. *Molecules*, 2020, 25(1): 160.

[11] YIP K M, XU J, ZHOU S S, et al. Characterization of chemical component variations in different growth years and tissues of *Morinda officinalis* radix by integrating metabolomics and glycomics[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(26): 7304-7314.

[12] 高新开, 叶家宏, 曹子丰. 巴戟天环烯醚萜苷类及蒽醌类成分 HPLC 指纹图谱研究[J]. *中药新药与临床药理*, 2014, 25(3): 315-318.

[13] 宫璐, 汪鹏, 谭瑞湘, 等. 南药巴戟天的全球产地区划[J]. *世界中医药*, 2017, 12(5): 986-988.

[14] 丁平, 潘超美, 徐鸿华. 不同生物有机肥料对巴戟天主要有效成分的影响[J]. *现代中药研究与实践*, 2003, 17(4): 21-22.

[15] 邵玲, 李美映, 黎学荣, 等. 肇庆巴戟天两种种植模式的植物学性状及药效成分研究[J]. *中药材*, 2019, 42(11): 2480-2485.

[16] 李美映, 邵玲, 林培华, 等. 种植模式对巴戟天生长的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(2): 163-170.

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

[18] 李倩. 巴戟天炮制过程中化学成分变化规律的研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2015.

[19] 黄钰辉, 张卫强, 甘先华, 等. 南亚热带杉木林分改造中不同树种组合模式评价[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(6): 956-964.

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

[21] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000.

[22] 王树刚, 王振林, 王平, 等. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价[J]. *生态学报*, 2011, 31(4): 1064-1072.

[23] 刘瑾, 丁平, 邵艳华, 等. 巴戟天不同产地土壤理化性质对其质量的影响[J]. *现代中药研究与实践*, 2011, 25(4): 3-5.

[24] 刘瑾. 巴戟天道地药材形成的生态因子及分子机制研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2009.

[25] 章润菁. 不同产地巴戟天资源调查及质量评价研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2016.

[26] 罗新华, 陈瑞云. 巴戟天栽培技术[J]. *福建农业*, 2010(8): 20-21.

[27] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 901-913.

[28] 吴凤云, 邱丽莎, 崔秀明, 等. 白及品质特征影响因素研究[J]. *中国医院药学杂志*, 2016, 36(21): 1838-1844.

[29] WU Z, CHEN D, LIN F, et al. Effect of bajijiasu isolated from *Morinda officinalis* F. C. how on sexual function in male mice and its antioxidant protection of human sperm[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2015, 164: 283-292.

[30] XU L, XU D, HAN Y, et al. BDNF-GSK-3 beta-beta-catenin pathway in the mPFC is involved in antidepressant-like effects of *Morinda officinalis* oligosaccharides in rats[J]. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 2017, 20(1): 83-93.

[31] 陈地灵, 张鹏, 林励, 等. 巴戟天低聚糖对 A β ₂₅₋₃₅ 致拟痴呆模型大鼠的保护作用[J]. *中国中药杂志*, 2013, 38(9): 1306-1309.

[32] 罗世琼, 林爱兰, 姚永红. 野生黄花蒿抗氧化成分与植株养分的相关性分析[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(4): 1622-1626.

[33] 王晖, 姜武, 陶正明, 等. 淳安县林下中药材复合种植模式[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(7): 1190-1191.

【责任编辑 李晓卉】