

· 中药农业 ·

不同产地百合药材化学成分与气候因子的相关性研究[△]

谢景^{1,2}, 唐雪阳^{1,2}, 郝婧^{1,2}, 钟灿¹, 刘浩¹, 黄建华^{1*}, 张水寒¹, 唐正平^{1,3}

1. 湖南省中医药研究院 中药研究所, 湖南 长沙 410013;
2. 湖南中医药大学 药学院, 湖南 长沙 410208;
3. 湖南春光九汇现代中药有限公司, 湖南 浏阳 410331

[摘要] 目的: 研究百合药材化学成分含量与产地气候因子的相关性, 为卷丹和百合产区划提供参考依据。方法: 通过主成分分析、相关分析等方法研究百合产地气候因子特征及主要化学成分与气候因子间的相关性。结果: 百合和卷丹产地气候因子存在一定差异, 百合受不同产地环境影响较大; 卷丹、百合总多糖含量与最高气温、平均气温、平均最低气温、平均最高气温均呈现正相关, 与年平均降水量、平均相对湿度呈负相关; 卷丹浸出物含量与最高气温、平均气温、平均最低气温、平均最高气温呈现负相关, 而百合浸出物呈正相关; 卷丹、百合王百合苷含量与降水量及相关因子具有一定相关性。结论: 温度、水分是百合药材品质形成的关键生态气候因子, 高温气候环境有利于百合总多糖的积累。

[关键词] 卷丹; 百合; 气候因子; 化学成分; 相关性分析

[中图分类号] S567 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2020)12-2053-06

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20200305002

Correlation Analysis between Climate Factors and Main Components of *Lilium* with Different Areas

XIE Jing^{1,2}, TANG Xue-yang^{1,2}, HAO Jing^{1,2}, ZHONG Can¹, LIU Hao¹, HUANG Jian-hua^{1*},
ZHANG Shui-han¹, TANG Zheng-ping^{1,3}

1. Institute of Chinese Materia Medica, Hunan Academy of Chinese Medicine, Changsha 410013, China;
2. Colleges of Medicine, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China;
3. Hunan Chunguang Jiuhui Modern Chinese Traditional Medicine Co., Ltd., Changsha 410331, China

[Abstract] **Objective:** To analyze the correlations between main components and climate factors of two species of *Lilium*, and provide guidance for their growing areas division. **Methods:** Principal component analysis (PCA) and correlation analysis (CA) were utilized to analyze the features of climate factors and find the correlations between main chemical components of two species of *Lilium* with their corresponding climatic factors. **Results:** There were some differences in climatic factors between two species, *L. brownii* F. E. Brown var. *viridulum* Baker was more impressionable to the climatic factors of growing areas. Polysaccharide contents in both species had positive correlations with maximum temperature, average temperature, average minimum temperature, and average maximum temperature, which have negative correlations with annual average precipitation and average relative humidity. The water extraction contents in *L. lancifolium* Thunb. samples had negative correlations with maximum temperature, average temperature, average minimum temperature, and average maximum temperature, while the water extraction in *L. brownii* F. E. Brown var. *viridulum* Baker had positive correlations with these factors. Phenolic glycerin glycosides contents in both species had correlations with amount of precipitation and its relevant factors. **Conclusion:** Temperature and rainfall factors are important to the quality of *Lilium*, And high temperature climate is

[△] [基金项目] 国家中药标准化项目(ZYBZH-Y-HUN-21); 中医药公共卫生服务补助专项(财社〔2017〕66号); 中央本级重大增减支项目(2060302)

* [通信作者] 黄建华, 助理研究员, 研究方向: 药用植物资源综合开发利用、中药质量标准; Tel: (0731)88881651, E-mail: huangjianhua1985@163.com

beneficial to the accumulation of polysaccharide in *Lilium*.

[**Keywords**] *Lilium lancifolium* Thunb.; *Lilium brownii* F. E. Brown var. *viridulum* Baker; climate factors; chemical component; correlation analysis

百合始载于《神农本草经》，具有养阴润肺、清心安神功效，是湖南省重要的食用、药用中药材，同时也是国家卫生部审批通过的第一批药食两用资源。我国百合种类约47种，18个变种，占世界百合总数50%以上，其分布横跨亚热带、暖温带、温带等气候型，范围极广。《中华人民共和国药典》2020年版规定，百合药材为卷丹 *Lilium lancifolium* Thunb.、百合 *L. brownii* F. E. Brown var. *viridulum* Baker 或细叶百合 *L. pumilum* DC. 的干燥肉质鳞片，其中卷丹、百合是百合药材种植的主要品种^[1]。百合药材种植范围较广，不同产地药材品质差异较大^[2-5]，特定的生态气候环境是百合药材形成的重要外在因素，与百合药材品质的形成密切相关。以往人们对百合药材研究大多集中于含量测定、药效研究等方面，对百合药材的气候环境特征及其与主要化学含量的相关性较少。本研究以百合药材为对象，采用聚类分析、主成分分析、相关性计算等统计方法，开展不同产地百合药材浸出物、总多糖、王百合苷含量与气候生态因子的相关性研究，为百合药材合理规划布局、引种栽培及资源可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 仪器 岛津 LC-20AT 型高效液相色谱仪，包括 SPD-M20A 型二极管阵列检测器、SIL-20A 型自动进样器、柱温箱；KQ5200DE 型数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；AL204 型电子天平 [梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司]。

1.1.2 试药 王百合苷 C（纯度：99.9%，批号：P20D10F106515）、王百合苷 E（纯度：99.2%，批号：P08J11F107953）、王百合苷 B（纯度：99.6%，批号：P28S10F99182）均购自上海源叶生物科技有限公司；乙腈、甲醇为色谱纯（德国 Merck 公司）；纯净水（华润怡宝饮料有限公司）；其余试剂均为分析纯。

1.1.3 样品 从湖南、江西、贵州等省收集百合药材样品共 25 份，经湖南省中医药研究院中药研究所

刘浩助理研究员鉴定，15 批样品为卷丹 *Lilium lancifolium* Thunb.、10 批为百合 *L. brownii* F. E. Brown var. *viridulum* Baker。采用手持全球定位系统（GPS）获取采样点的海拔、经度、纬度信息（见表 1）。

表 1 百合药材样品信息

样品编号	采集地	基原	海拔/m	经纬度
1	安徽大别山	卷丹	96	E 116°14'29.51", N 31°23'2.84"
2	安徽霍山	卷丹	503	E 116°0'14.92", N 31°3'27.9"
3	贵州遵义	卷丹	973	E 107°6'27.98", N 27°28'31.36"
4	湖北恩施	卷丹	1132	E 109°27'16.7", N 30°22'42.07"
5	湖南古丈	卷丹	364	E 109°55'19.31", N 28°37'2.42"
6	湖南衡阳	卷丹	126	E 112°31'0.87", N 26°48'48.32"
7	湖南吉首	卷丹	431	E 109°38'39.26", N 28°17'52.91"
8	湖南吉首	卷丹	598	E 109°28'7.03", N 29°24'12.55"
9	湖南龙山	卷丹	671	E 109°35'53.41", N 29°34'23.63"
10	湖南龙山	卷丹	533	E 109°28'23.25", N 29°24'18.10"
11	湖南龙山	卷丹	905	E 109°30'1.7", N 29°20'24.88"
12	湖南龙山	卷丹	513	E 109°29'51.66", N 29°33'27.53"
13	湖南龙山	卷丹	647	E 109°35'45.15", N 29°34'19.2"
14	陕西安康	卷丹	512	E 109°21'19.36", N 32°48'39.63"
15	浙江平阳	卷丹	95	E 120°15'47.03", N 27°38'45.37"
16	湖南隆回	百合	288	E 111°6'1.60", N 27°4'14.26"
17	湖南邵东	百合	266	E 111°50'29.65", N 27°18'58.55"
18	湖南邵东	百合	283	E 111°54'5.64", N 27°19'29.36"
19	湖南隆回	百合	490	E 110°56'16.68", N 27°34'29.09"
20	湖南隆回	百合	353	E 111°3'9.18", N 27°14'6.34"
21	江西泰和	百合	67	E 114°57'50.80", N 26°45'24.48"
22	陕西固城	百合	540	E 107°22'38.75", N 33°7'11.26"
23	陕西旬阳	百合	512	E 109°21'19.36", N 32°48'39.63"
24	云南大理	百合	1930	E 100°21'38.85", N 25°45'5.98"
25	云南文山	百合	1549	E 104°14'29.86", N 23°43'42.19"

1.2 方法

1.2.1 采样点气候因子收集 从中国气象科学数据共享服务网中查询采样点近 5 年（2014—2018 年）气候因子数据，包括年平均温度（℃）、最高气温（℃）、平均最低气温（℃）、平均最高气温（℃）、年平均降水量（mm）、降水量 ≥ 0.1 mm 日数（d）、最大日降水量（mm）、平均水气压（hPa）、平均相对湿

度(%)、日照时数(h)。

1.2.2 化学成分测定 浸出物含量测定按照《中华人民共和国药典》2020年版水溶性浸出物测定法(通则2201)项的冷浸法测定。总多糖含量采用照硫酸-蒽酮法测定,具体方法见参考文献[6]。采用HPLC测定王百合苷(王百合苷B、王百合苷C、王百合苷E三者总和)含量,采用Eclipse Plus C₁₈色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),流动相为乙腈(A)-0.3%磷酸水(B),梯度洗脱(0~2 min, 5%~13% A; 2~17 min, 13%~15% A; 17~37 min, 15%~20% A; 37~42 min, 20%~100% A; 42~47 min, 100%~5% A);流速:1 mL·min⁻¹,检测波长:250 nm,柱温:30 ℃,进样量:10 μL。方法学考察结果显示精密度、重复性、稳定性良好。

1.2.3 数据处理与分析方法

1.2.3.1 气候因子、化学成分间相关性分析方法 采用主成分分析方法提取气候因子和化学成分的公因子,并以四次方最大值法(Quartimax)旋转后得到因子载荷量及方差贡献率。以公因子的得分图比较产地、样本间的关系,以因子载荷量评价各因素间相关性。因子载荷量的值越大,说明该因子与公因子的相关性越强,即该因子对公因子的贡献也越大。

1.2.3.2 百合化学成分与气候因子相关性分析 采用相关分析、主成分分析等统计方法,开展25个产地不同品种百合浸出物、总多糖、王百合苷含量与产地气候因子的相关分析,分析百合、卷丹品质评价指标与生态因子之间的相关性,找出关键的气候因子,解析气候因子对百合药材品质的影响。

2 结果与分析

2.1 百合化学成分含量测定结果和主成分分析

卷丹、百合样品的浸出物、总多糖、王百合苷含量测定结果见表2~3,卷丹、百合不同产地间浸出物、总多糖、王百合苷含量差异较大。卷丹浸出物、总多糖、王百合苷质量分数平均值分别为22.47%、25.76%、0.202%,RSD分别为45.21%、8.61%、46.98%;百合浸出物、总多糖、王百合苷质量分数平均值分别为25.86%、29.04%、0.131%,RSD分别为37.34%、13.82%、87.07%。百合浸出物、总多糖含量高于卷丹,而王百合苷含量低于卷丹。

表2 15批卷丹药材浸出物、总多糖、王百合苷质量分数/%

样品编号	浸出物	总多糖	王百合苷
1	18.71	27.84	0.328
2	49.56	23.88	0.036
3	44.69	24.47	0.074
4	18.48	26.28	0.239
5	15.11	27.84	0.211
6	22.58	28.02	0.286
7	18.74	23.86	0.280
8	18.59	23.98	0.014
9	18.49	22.32	0.214
10	19.38	22.78	—
11	18.61	26.54	0.258
12	18.54	27.52	0.259
13	17.56	28.41	0.229
14	19.70	28.63	0.190
15	18.35	23.98	0.212

注:—代表未检出;下同。

表3 10批百合药材浸出物、总多糖、王百合苷质量分数/%

样品编号	浸出物	总多糖	王百合苷
16	18.93	28.63	0.166
17	18.41	21.39	—
18	22.94	30.86	0.014
19	42.77	32.05	0.274
20	42.20	26.89	—
21	31.80	33.39	0.271
22	21.59	27.74	0.019
23	23.30	32.37	0.141
24	17.25	32.84	0.030
25	19.39	24.22	—

对25份百合药材样品浸出物、总多糖及王百合苷3个化学成分进行主成分分析(见图1)。横轴PC₁和纵轴PC₂2个主成分贡献率累计为82.17%,表明2个主成分能够充分体现出百合样品化学成分基本特征和主要信息。由图1可知,10批百合样品较为分散,说明不同产地间百合药材品质差异相对较大,百合药材品质受产地因素影响相对较大;15批卷丹样品更为聚集,说明不同产地间卷丹药材品质差异相对较小,卷丹药材品质受产地因素影响相对较小。

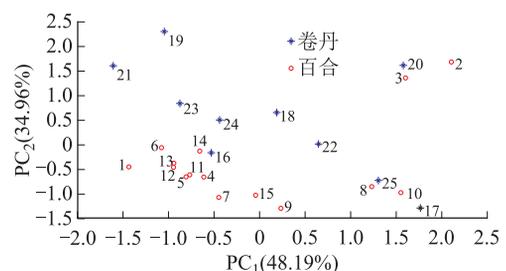


图1 不同产地百合药材化学成分主成分分析

2.2 产地气候生态环境因子分析与主成分分析

构建百合采样地气候特征因子,包括 X1:最高气温(℃)、X2:年平均降水量(mm)、X3:年平均温度(℃)、X4:平均水气压(hPa)、X5:平均相对湿度(%)、X6:平均最低气温(℃)、X7:平均最高气温(℃)、X8:降水量 ≥ 0.1 mm日数(d)、X9:日照时数(h)、X10:最大日降水量(mm)。将温度、水分、光照3类气候特征因子数据输入SPSS 16.0软件,运用Person相关分析方法,分析百合药材各产地气候因子的相关性(见表4)。可知,降水量与平均水气压、平均相对湿度、降水量 ≥ 0.1 mm日数、最大日降水量呈极显著正相关($P < 0.01$),平均气温与平均水气压、平均最低气温、平均最高气温呈极显著正相关($P < 0.01$),日照时数与平均水气压、

平均相对湿度、降水量 ≥ 0.1 mm日数呈显著负相关($P < 0.05$)。

主成分分析法通过从气候特征中提取公因子,根据特征根的大小和每个因子对方差解释的大小来决定主因子的个数,通常前3个主成分就能够体现所有特征的信息。从表5中可知,前3个主成分的累积方差贡献率达到91.99%,几乎包含了原有气候因子的特征信息。进而,利用主成分分析的得分进行作图来体现各因子间的相似性,见图2。从图中可见,百合、卷丹产地气候因子主成分分析结果存在较大差异,百合和卷丹产地气候因子各自聚为一类,而卷丹更为紧凑,百合则相对分散,说明百合受不同产地环境影响较大,产地气候环境要求更高。

表4 产地气候生态环境因子相关性

指标	最高气温	年平均降水量	平均气温	平均水气压	平均相对湿度	平均最低气温	平均最高气温	降水量 ≥ 0.1 mm日数	日照时数	日最大降水量
最高气温	1									
年平均降水量	0.225	1								
平均气温	0.208	0.289	1							
平均水气压	0.403	0.608**	0.860**	1						
平均相对湿度	0.162	0.681**	0.248	0.651**	1					
平均最低气温	0.303	0.353	0.963**	0.911**	0.388	1				
平均最高气温	0.698	0.007	0.777**	0.474	-0.075	0.599*	1			
降水量 ≥ 0.1 mm日数	0.028	0.737**	0.442	0.702**	0.783**	0.575*	-0.039	1		
日照时数	0.462	-0.412	0.210	-0.490*	-0.569*	-0.446	0.410	-0.660**	1	
最大日降水量	0.291	0.800**	-0.140	0.235	0.517*	-0.097	-0.207	0.280	-0.210	1

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; 下同。

表5 主成分分析方差总解释

成分	总方差解释								
	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差贡献率	累积方差贡献率/%	总计	方差贡献率	累积方差贡献率/%	总计	方差贡献率	累积方差贡献率/%
1	3.816	38.163	38.163	3.816	38.163	38.163	3.782	37.818	37.818
2	3.215	32.149	70.312	3.215	32.149	70.312	3.208	32.078	69.895
3	2.168	21.679	91.991	2.168	21.679	91.991	2.210	22.095	91.991
4	0.351	3.511	95.502						
5	0.298	2.980	98.482						
6	0.133	1.326	99.808						
7	0.013	0.133	99.942						
8	0.005	0.053	99.994						
9	0.001	0.006	100.000						
10	2.352×10^{-11}	2.352×10^{-10}	100.000						

注:提取方法为主成分分析法。

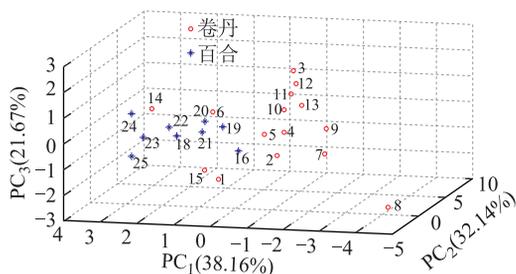


图2 百合气候因子主成分分析

经方差最大旋转后的因子载荷系数矩阵见表6。因子载荷系数的值越大,说明该因子与公因子的相关性越强,该因子在公因子的贡献也就越大。

表6 各气候因子的载荷分析结果

指标	主成分1	主成分2	主成分3
最高气温	0.963		
年平均降水量			0.856
平均气温	0.974		
平均水气压	0.785		
平均相对湿度		0.680	
平均最低气温	0.888		
平均最高气温	0.894		
降水量≥0.1 mm 日数		0.842	
最大日降水量			0.952
日照时数		-0.869	

注:提取方法为主成分分析法;旋转方法为凯撒正态化最大方差法;旋转在3次迭代后已收敛。

第一公因子中,因子载荷量较大的变量分别是主要与温度及相关的因子,包括最高气温、平均温度、平均水气压、平均最低气温、平均最高气温,可见气候因子中温度因素是这些因素的主要因素,称第一公因子为“温度因子”。

第二、三公因子中,因子载荷较大的变量是与水分及相关的因子,包括年平均降水量、平均相对湿度、降水量≥0.1 mm 日数、最大日降水量。因此,称第二和第三公因子为“降水因子”。

2.3 百合药材化学成分与气候因子相关性分析

对气候因子与卷丹浸出物、多糖含量、王百合苷含量的总和进行相关性分析。从表7中可见,卷丹浸出物、多糖含量与温度气候因子最相关。卷丹多糖含量与最高气温、平均气温、平均最低气温、平均最高气温呈现正相关, r 分别为 0.458 7、0.464 3、0.391 3、0.539 4;与年平均降水量、平均相对湿度、降水量≥0.1 mm 日数、最大日降水量呈负相关,其中与平均相对湿度达显著负相关。卷丹浸出物含量与最高气温、平均气温、平均最低气温、平均最高气温呈现负相关, r 为 0.309 6、0.549 9、0.546 9、0.577 2,说明气候环境温度越高反而不利于卷丹浸出物含量积累。王百合苷含量与各气候因子整体呈现正相关,与降水量相关性较大。

对气候因子与百合浸出物、多糖含量、王百合苷含量进行相关性分析。从表8中可见,百合各成分指标与气候因子的相关性与卷丹类似,但是相关性更显著。百合总多糖含量与最高气温、平均气温、平均最低气温、平均最高气温呈正相关, r 分别为 0.635 6、0.503 2、0.485 2、0.926 9;与年平均降水量、平均相对湿度呈负相关,与卷丹结果一致。浸出物含量与最高气温、平均气温、平均最低气温、平均最高气温呈正相关,与卷丹结果相反, r 分别为 0.666 1、0.964 0、0.998 0、0.610 5。百合王百合苷含量与各气候因子整体呈现正相关,结果与卷丹一致。

表7 卷丹浸出物、总多糖、王百合苷与气候因子相关性

指标	最高气温	年平均降水量	平均气温	平均水气压	平均相对湿度	平均最低气温	平均最高气温	降水量≥0.1 mm 日数	日照时数	日最大降水量
浸出物	-0.309 6	-0.226 8	-0.549 9	-0.389 3	0.246 2	-0.546 9	-0.577 2	0.131 9	0.049 3	-0.170 7
总多糖	0.458 7	-0.262 5	0.464 2	0.096 6	-0.670 0*	0.391 3	0.539 4	-0.364 5	0.090 2	-0.162 9
王百合苷	0.280 0	0.476 9	0.191 6	0.171 0	-0.070 7	0.156 0	-0.088 0	0.313 0	0.134 3	0.510 0

表8 百合浸出物、总多糖、王百合苷与气候因子相关性

指标	最高气温	年平均降水量	平均气温	平均水气压	平均相对湿度	平均最低气温	平均最高气温	降水量≥0.1 mm 日数	日照时数	日最大降水量
浸出物	0.666 1	0.159 0	0.964 0*	0.988 0*	0.695 1	0.998 0**	0.610 5	0.174 5	-0.361 1	0.106 7
总多糖	0.635 6	-0.143 7	0.503 2	0.153 8	-0.273 9	0.485 2	0.926 9	0.191 0	0.365 9	0.183 1
王百合苷	0.194 7	0.791 9	0.963 0*	0.890 2	0.446 9	0.133 3	0.174 6	0.750 0	-0.551 0	0.676 8

3 讨论

不同产地百合和卷丹药材浸出物、总多糖、王百合苷含量存在较大差异。研究表明,百合浸出物、总多糖含量高于卷丹,王百合苷含量低于卷丹。历代文献描述百合“味甘美可食,粉性足,味道甘甜”品质较佳^[7],与本研究结果一致。传统认为,卷丹“根味颇苦”,与百合相异,文献报道这种“苦味”可能与皂苷类成分有关^[8]。

产地气候环境对卷丹和百合的浸出物、总多糖、王百合苷含量影响均存在显著差异。温度因子如最高气温、平均温度、平均水气压、平均最低气温、平均最高气温影响较大,与百合总多糖含量呈正相关。有文献报道,在一定温度范围内,百合类植物除可溶性蛋白含量外其他生理生化指标(包括水溶性糖类)随处理温度的升高而逐渐上升,但温度过高对植物正常生长发育不利^[9]。百合活性成分以糖类等初级代谢产物为主,高温气候可能通过提高植物生理生化指标而促进糖类成分积累,提高药材品质。

水分因子如年平均降水量、平均相对湿度、降水量 ≥ 0.1 mm日数、最大日降水量影响次之,总多糖含量与年平均降水量、平均相对湿度呈负相关。有诸多文献报道,百合植株适宜在轻度干旱胁迫条件下生长,但严重干旱不利于植株生长^[10-11]。雨水较多的气候环境容易引发病害,影响植物正常生长发育造成药材品质下降,这可能是降水量及相关因子是影响百合品质形成的原因所在。

本研究揭示了影响百合药材浸出物、总多糖、王百合苷含量积累的主要生态因子是温度和水分,高温气候有利于优质药材的形成。传统认为,湖南邵阳地区所产百合片形狭长、两端渐尖、色白肉厚,冠以“龙牙百合”之名,是历代认为品质最佳的百合道地药材。湖南龙山地区所产卷丹又称“龙山百合”,色雪白而略带苦味,是湖南省百合药材种植的主流品种^[12],也颇负盛名。湖南地区6—8月夏季高温,有利于百合药材多糖类成分积累,而湖南隆

回、龙山地区海拔相对较高,土壤沙性且病虫害防治技术成熟,对“龙牙百合”“龙山百合”品牌的形成提供了外部生态环境。在百合种植生产过程中,除要科学考察适宜的种植生态环境外,还要有合理科学的种植及产地加工技术,才能确保生产出地道优质药材。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:137.
- [2] 刘湘丹,陈勋,刘畅宇,等. 不同来源百合药材的质量评价及分析[J]. 湖南中医药大学学报,2019,39(4):480-484.
- [3] 张黄琴,严辉,钱大玮,等. 不同产地百合药材中8种活性成分的分析与评价[J]. 中国中药杂志,2017,42(2):311-318.
- [4] 刘畅宇,周日宝,陈勋,等. 百合药材质量标准研究进展[J]. 中医药导报,2018,24(16):117-120,123.
- [5] 张黄琴,严辉,钱大玮,等. 不同产地百合药材中无机元素的分析与评价[J]. 中国现代中药,2016,18(8):960-966.
- [6] 王法琴,陆兔林,毛春芹,等. 3种比色法测定五味子中多糖[J]. 中成药,2015,37(4):814-818.
- [7] 王昌华,舒抒,银福军,等. 药用百合正源考证研究[J]. 中国中药杂志,2018,43(8):1732-1736.
- [8] 张维西,朱峰,胡瑞,等. 百合总皂苷的现代研究进展[J]. 河北北方学院学报(自然科学版),2017,33(6):42-43,46.
- [9] 蒋瑶,陈文波,黄江中,等. 高温胁迫对野生湖北百合生理指标的影响[J]. 西北林学院学报,2019,34(1):62-68.
- [10] 胡小京,刘玉彩,裴芸,等. 水分胁迫对野百合幼苗生理特性的影响[J]. 河南农业科学,2020,49(1):111-117.
- [11] 贾文杰,王祥宁,马璐琳,等. 干旱胁迫对东方百合根叶生理功能及花粉育性的影响[J]. 西北植物学报,2017,37(11):2194-2203.
- [12] 王心中,吴志科,吕昆坤,等. 龙山百合种植气候适宜性分析[J]. 安徽农业科学,2014,42(21):7126-7127,7163.

(收稿日期:2020-03-05 编辑:戴玮)