

## 宁夏细叶百合鳞茎活性物质含量与生态因子的相关性

王奕丹<sup>1</sup>, 靳磊<sup>1</sup>, 崔亮<sup>2</sup>, 全卓<sup>2</sup>, 王娟<sup>2</sup>, 唐燕<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>宁夏大学农学院 银川 750021

<sup>2</sup>宁夏众森生态环境(集团)有限公司 银川 750021)

**摘要** 为探究细叶百合鳞茎活性物质含量与生态因子之间的关系,以宁夏地区自然分布的 8 个采样地的细叶百合为试验材料,采用福林-肖卡法、硫酸-苯酚法、香草醛-冰醋酸显色法、溴甲酚绿显色法、TOC 仪法、全自动凯氏定氮法、钒钼黄比色法、紫外分光光度比色法测定细叶百合鳞茎中 4 种活性物质(总酚、多糖、皂苷、生物碱)含量及土壤中总有机碳、全氮和全磷的含量。采用冗余分析方法分析细叶百合鳞茎活性物质含量与 16 个生态因子(经度、纬度、海拔、年均温度、年平均最低温、年平均最高温、水蒸汽压、年均降雨量、风速、太阳总辐射、土壤总有机碳、全磷、全氮、土壤碳氮比、碳磷比和氮磷比)的相关性。结果表明:宁夏细叶百合鳞茎中总酚、多糖、皂苷和生物碱平均含量分别为 2.11, 19.95, 1.44, 12.57 mg/g。RDA 分析表明,环境变量对 4 种活性物质总解释量为 61.6%,宁夏细叶百合鳞茎中皂苷含量随水蒸汽压、年均降雨量的增加而增加,随纬度、太阳总辐射的增加而降低;多糖和生物碱含量随气候因子变化无显著变化规律。土壤中全氮含量增加能明显提高细叶百合鳞茎中皂苷和多糖含量;细叶百合鳞茎多酚类物质含量随土壤碳磷比的增加而增加,生物碱含量随土壤全磷含量的增加而减少。

**关键词** 细叶百合; 鳞茎活性物质; 生态因子

**文章编号** 1009-7848(2022)04-0368-07 **DOI**: 10.16429/j.1009-7848.2022.04.036

细叶百合(*L. pumilum* DC), 又称山丹百合, 为百合科百合属多年生草本植物, 生于山坡草地或林缘处, 在我国拥有丰富的野生资源, 主要分布在宁夏、甘肃、青海、陕西等地<sup>[1-2]</sup>。其鳞茎中不仅含有丰富的淀粉、蛋白质、脂肪和膳食纤维, 亦富含多糖、皂苷、生物碱及多酚类物质等活性成分, 具有良好的食用和药用价值<sup>[3-6]</sup>。

国内外对百合活性物质的研究主要涉及兰州百合(*L. davidii* var.)、卷丹百合(*L. lancifolium*)和龙牙百合(*L. brownii* var.)、岷江百合(*L. regale*)、渥丹(*L. concolor*)等种类<sup>[7-10]</sup>, 研究重点主要集中在活性物质的含量或不同种类百合之间含量的差异评价上, 而针对百合活性物质与生态因子的关系尚未见研究报道。目前仅有雷卢恒等<sup>[11]</sup>研究表明, 15 个不同卷丹居群鳞茎多酚物质含量与海拔、年均气温、光照等因素存在显著正相关或负相关作用。本研究以宁夏野生细叶百合鳞茎为材

料, 测定 8 个生长区域细叶百合鳞茎中的活性物质含量, 以及生长区域的土壤养分含量。收集该分布区的气象资料, 比较分析不同分布区细叶百合鳞茎中活性物质含量的差异, 筛选宁夏野生细叶百合优质种质资源, 阐明细叶百合鳞茎中活性物质含量与生态因子的关系, 以及影响宁夏细叶百合活性成分积累的主要生态因子, 为细叶百合的优质栽培提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 样地设置

根据细叶百合在宁夏地区的自然分布情况设置样地, 选取 8 个自然分布区作为样地, 主要设在南部六盘山地区(泾源县、西吉县)、中部干旱带的罗山地区(红寺堡区)和北部的贺兰山地区(镇北堡县), 地理位置为纬度 35~39°N, 经度 105~107°E, 海拔 1 426~2 434 m。

#### 1.2 样品的采集与处理

于 2017 年 7-8 月, 细叶百合成熟期采集百合鳞茎和土壤样品。在每个样地采集 5~8 个野生细叶百合鳞茎, 真空冷冻干燥处理 24 h, 粉碎过 100 目筛, 密封保存备用; 在每个样地沿着东、南、西、

收稿日期: 2021-04-20

基金项目: 教育部春晖计划科研项目(2017); 西部一流建设学科(园艺学)(NXYLXK2017B03)

作者简介: 王奕丹(1999—), 女, 硕士生

通信作者: 唐燕 E-mail: 19738182@qq.com

北、中5个方位(水平距离相距5 m以上),采集5份0~40 cm土壤样品,然后充分混合,做3个重复。自然风干,除去土壤样品中的树根和石块,研磨过20目筛,置于棕色瓶中保存。

### 1.3 样品的测定

1.3.1 仪器与设备 UV-4803型紫外可见分光光度计,上海尤尼柯仪器有限公司;5424型艾本德台式高速离心机,南京贝登电子商务有限公司;KQ-500DE型数控超声清洗器,昆山市超声仪器有限公司;SENCO-R旋转蒸发仪,上海申生生化仪器厂;HHS-21-8型电热恒温水浴锅,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;Rapid CS Cube型碳硫分析仪,北京嘉德元素科技有限公司;BUCHI-K360型全自动凯氏定氮仪法,上海沃珑仪器有限公司。

1.3.2 细叶百合鳞茎提取液制备 称取一定量的百合鳞茎干粉,采用超声波进行提取,以无水甲醇为提取溶剂,在料液比1:15(g/mL),超声功率60 Hz,pH 5,温度50℃条件下,超声提取40 min,连续提取2次,将提取液在10 000 r/min条件下离心5 min,合并上清液,45℃旋转蒸发至干,用提取溶

剂定容至30 mL。置于-20℃冰箱保存,用于活性物质含量的测定。

1.3.3 细叶百合鳞茎中活性物含量的测定 多糖含量的测定采用硫酸-苯酚法<sup>[12]</sup>,结果以每克百合鳞茎干粉中含有的葡萄糖质量(mg)表示;总酚含量的测定采用福林-肖卡法<sup>[13]</sup>,结果以每克干粉中含有的没食子酸质量(mg)表示;皂苷含量的测定采用香草醛—冰醋酸显色法<sup>[14]</sup>,结果以每克百合干粉中含有的薯蓣皂苷质量(mg)表示;生物碱含量的测定采用溴甲酚绿显色法<sup>[15]</sup>,结果以每克百合干粉中含有的秋水仙碱质量(mg)表示。

1.3.4 土壤样品分析测定 土壤总有机碳含量的测定采用TOC仪法;土壤全氮含量的测定采用全自动凯氏定氮仪法;土壤全磷含量的测定采用紫外分光光度比色法<sup>[16-18]</sup>。

### 1.4 气象数据的获取

根据每个采样点的地理坐标,利用中国气象科学网站,收集了1987—2017年30年的气象资料,主要包括年均温度、年平均最低温、年平均最高温、水蒸气压、年均降雨量、风速和太阳总辐射(见表1)。

表1 不同取样地气象数据

Table 1 Meteorological data from different sampling sites

采样地	纬度/°	经度/°	海拔/m	年均降雨/mm	年均温度/°C	年均最高温/°C	年均最低温/°C	太阳总辐射/ kJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	水蒸气 压/kPa	风速/ m·s <sup>-1</sup>
1	38.61	105.94	1 426	225	8.98	18.80	-6.90	197 703	6.40	33.00
2	38.61	105.93	1 510	230	8.55	18.47	-7.03	197 250	6.27	33.50
3	37.28	106.27	2 070	317	7.34	16.80	-6.63	189 903	7.70	32.50
4	37.28	106.28	2 434	334	6.13	15.67	-7.30	188 755	7.32	34.40
5	37.27	106.28	2 313	332	6.74	16.23	-6.93	188 600	7.50	33.40
6	36.11	105.75	2 119	407	5.69	14.10	-6.43	180 550	8.76	28.60
7	35.33	106.41	2 053	561	7.09	15.13	-5.07	174 590	9.99	27.20
8	35.33	106.41	2 061	561	7.09	15.13	-5.07	174 590	9.99	27.20

注:编号1~8表示不同采样地,按顺序依次为:镇北堡县滚钟口大寺沟、镇北堡县滚钟口娘娘庙、红寺堡区罗山绿化台沟、红寺堡区罗山石窟洞沟、红寺堡区罗山乱柴沟、西吉县火石寨、泾源县新民乡南庄村、泾源县新民乡西贤村,下同。

### 1.5 数据处理

所有试验均重复3次,结果以“平均值±标准差”表示,数据处理用Excel 2019软件,运用Canoco 5.0软件中的冗余分析(Redundancy analysis,RDA)方法,分析细叶百合鳞茎活性物质含量与生态因子之间的相互关系,显著度水平设为0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 细叶百合鳞茎活性物质含量特征

细叶百合鳞茎中活性物质含量在不同地区间存在显著差异。如表2所示,不同采集地细叶百合鳞茎多酚类物质含量变化范围为1.77~2.64 mg/g,其中泾源县新民乡南庄村细叶百合鳞茎中多酚类物质含量最高,是含量最低的西吉县火石寨细叶

百合的1.49倍;泾源县新民乡南庄村的细叶百合鳞茎中多糖含量显著高于其它地区,达到26.81 mg/g,西吉县火石寨次之,红寺堡区罗山绿化台沟最低,仅为14.77 mg/g;皂苷含量在不同采集地百

合鳞茎中含量较少,变化范围为1.24~1.86 mg/g;红寺堡区罗山乱柴沟采集的细叶百合鳞茎中生物碱含量最高,达到15.74 mg/g,是其它采集地细叶百合的1.22~1.36倍。

表2 不同采集地细叶百合鳞茎活性物质含量

Table 2 Active substances contents in *L. pumilum* bulbs from different collection sites

采样地	总酚/mg·g <sup>-1</sup>	多糖/mg·g <sup>-1</sup>	皂苷/mg·g <sup>-1</sup>	生物碱/mg·g <sup>-1</sup>
1	1.93 ± 0.09 <sup>de</sup>	19.45 ± 1.69 <sup>cd</sup>	1.24 ± 0.08 <sup>c</sup>	12.89 ± 0.49 <sup>b</sup>
2	2.34 ± 0.24 <sup>b</sup>	16.52 ± 0.66 <sup>e</sup>	1.25 ± 0.11 <sup>bc</sup>	11.53 ± 0.47 <sup>e</sup>
3	2.06 ± 0.07 <sup>cd</sup>	14.77 ± 0.60 <sup>f</sup>	1.38 ± 0.06 <sup>bc</sup>	11.66 ± 0.47 <sup>e</sup>
4	1.87 ± 0.07 <sup>e</sup>	20.20 ± 0.86 <sup>cd</sup>	1.28 ± 0.05 <sup>bc</sup>	11.59 ± 0.65 <sup>e</sup>
5	2.14 ± 0.08 <sup>c</sup>	20.41 ± 0.81 <sup>c</sup>	1.35 ± 0.14 <sup>bc</sup>	15.74 ± 0.81 <sup>a</sup>
6	1.77 ± 0.11 <sup>e</sup>	22.44 ± 1.03 <sup>b</sup>	1.71 ± 0.20 <sup>a</sup>	12.65 ± 0.52 <sup>b</sup>
7	2.64 ± 0.09 <sup>a</sup>	26.81 ± 1.06 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.15 <sup>a</sup>	12.82 ± 0.71 <sup>b</sup>
8	2.12 ± 0.07 <sup>c</sup>	19.04 ± 0.82 <sup>d</sup>	1.41 ± 0.10 <sup>b</sup>	11.71 ± 0.45 <sup>e</sup>

注:同列不同小写字母 a~f 表示地区间活性物质含量差异显著(P<0.05)。

各采集地活性物质含量数据变异系数均小于15%(见表3),在宁夏自然分布的细叶百合鳞茎活性物质中多糖含量最高,生物碱次之,皂苷含量最

低,其平均含量从高到底依次为:多糖(19.95±0.94)mg/g,生物碱(12.57±0.57)mg/g,总酚(2.11±0.10)mg/g,皂苷(1.44±0.11)mg/g。

表3 宁夏细叶百合鳞茎活性物质含量特征

Table 3 Characteristics of active substances in bulb of Ningxia *L. pumilum*

统计量	总酚/mg·g <sup>-1</sup>	多糖/mg·g <sup>-1</sup>	皂苷/mg·g <sup>-1</sup>	生物碱/mg·g <sup>-1</sup>
算术平均值	2.11	19.95	1.44	12.57
几何平均值	2.09	19.67	1.42	12.51
标准差	0.10	0.94	0.11	0.57
变异系数/%	4.74	4.71	7.66	4.53
样本量	8	8	8	8

## 2.2 不同采集地土壤C、N、P含量特征

如表4所示,不同采集地土壤中总有机碳含量变化范围为23.72~53.36 mg/g,其中泾源县新民乡南庄村细叶百合鳞茎的总有机碳含量最高,达到53.36 mg/g,其次为泾源县西贤村细叶百合鳞茎,西吉县火石寨细叶百合鳞茎总有机碳含量最低;土壤全氮含量变化范围为0.44~2.34 mg/g,其中西吉县火石寨土壤全氮含量最高,达到2.34 mg/g,是其它采集地土壤含量的1.13~5.32倍;土壤全磷含量变化范围为0.17~0.33 mg/g,在各采集地土壤中含量均较低。

## 2.3 细叶百合鳞茎活性物质含量与生态环境因子的关系

不同种群细叶百合鳞茎活性物质含量与生态

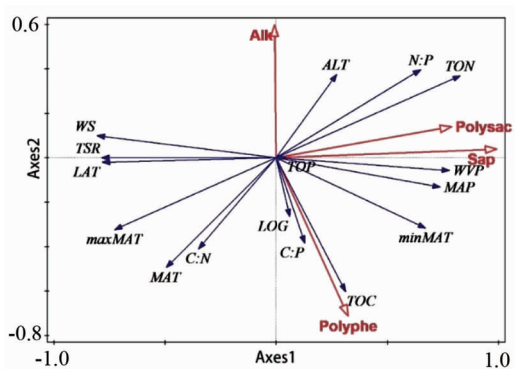
因子RDA排序结果显示,生态因子对活性物质的总解释变量占61.6%(调整后的解释差异为10.5%)。图中箭头之间的角度代表了响应变量和解释变量间的相关性,箭头越长,生态因子对百合鳞茎活性物质含量的解释量越大。如图1所示,皂苷含量与水蒸气压、年均降雨量呈显著正相关关系,而与纬度、太阳总辐射呈显著负相关关系;多酚类物质含量与经度呈显著正相关关系;多糖含量与纬度、太阳总辐射呈显著负相关关系;生物碱含量与年均降雨量、年平均气温呈不显著负相关关系;多酚类物质含量与土壤总有机碳含量、土壤碳磷比呈极显著正相关关系,多糖、皂苷含量与土壤全氮含量呈极显著正相关关系,而与土壤氮磷比呈显著正相关关系,生物碱与土壤全磷含量呈

表 4 不同采集地土壤碳、氮、磷特征

Table 4 Soil C, N, P contents in different collection sites

采样地	总有机碳/mg·g <sup>-1</sup>	全氮/mg·g <sup>-1</sup>	全磷/mg·g <sup>-1</sup>	土壤碳氮比 (C:N)	土壤碳磷比 (C:P)	土壤氮磷比 (N:P)
1	32.03 ± 1.24 <sup>d</sup>	0.71 ± 0.04 <sup>e</sup>	0.31 ± 0.02 <sup>b</sup>	45.25 ± 3.98 <sup>e</sup>	104.47 ± 5.05 <sup>e</sup>	2.33 ± 0.25 <sup>cd</sup>
2	31.10 ± 0.56 <sup>d</sup>	0.71 ± 0.04 <sup>e</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>e</sup>	44.05 ± 3.18 <sup>e</sup>	124.31 ± 6.00 <sup>d</sup>	2.84 ± 0.30 <sup>bc</sup>
3	41.09 ± 1.18 <sup>c</sup>	0.60 ± 0.03 <sup>f</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>b</sup>	68.29 ± 5.57 <sup>b</sup>	137.96 ± 6.90 <sup>e</sup>	2.04 ± 0.25 <sup>d</sup>
4	41.65 ± 0.19 <sup>c</sup>	0.95 ± 0.05 <sup>d</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>c</sup>	44.08 ± 2.58 <sup>e</sup>	146.30 ± 8.34 <sup>e</sup>	3.34 ± 0.37 <sup>b</sup>
5	31.56 ± 1.09 <sup>d</sup>	1.29 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.17 ± 0.02 <sup>f</sup>	24.59 ± 1.98 <sup>d</sup>	182.34 ± 14.02 <sup>b</sup>	7.51 ± 0.15 <sup>a</sup>
6	23.72 ± 0.11 <sup>e</sup>	2.34 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>a</sup>	10.14 ± 0.58 <sup>e</sup>	72.29 ± 3.74 <sup>f</sup>	7.17 ± 0.75 <sup>a</sup>
7	53.36 ± 0.91 <sup>a</sup>	2.08 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>d</sup>	25.66 ± 1.26 <sup>d</sup>	200.28 ± 10.59 <sup>a</sup>	7.84 ± 0.77 <sup>a</sup>
8	48.47 ± 0.37 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>g</sup>	0.27 ± 0.02 <sup>cd</sup>	109.69 ± 7.00 <sup>a</sup>	177.18 ± 9.64 <sup>b</sup>	1.63 ± 0.18 <sup>d</sup>

注:同列不同小写字母 a~g 表示地区间土壤碳、氮、磷含量差异显著 (P<0.05)。



注:图中实心箭头为生态因子,空心箭头为活性物质含量。ALT 为海拔, LAT 为纬度, LOG 为经度, MAP 为年均降雨量, MAT 为年均温度, maxMAT 为年最高气温, minMAT 为年最低气温, WS 为风速, WVP 为水蒸气压, TSR 为太阳总辐射, TOC 为土壤总有机碳, TON 为土壤全氮, TOP 为土壤全磷, C:N 为土壤碳氮比, C:P 为土壤碳磷比, N:P 为土壤氮磷比, Polyph 为多酚类物质, Polysac 为多糖, Sap 为皂苷, Alk 为生物碱。

图 1 不同种群细叶百合鳞茎活性物质含量与生态因子 RDA 排序图

Fig.1 RDA of active substance content in *L. pumilum* bulbs and environment variables in different populations

显著负相关性。

### 3 讨论

宁夏 8 个自然分布区生态因子对细叶百合鳞茎活性物质含量的影响存在显著差异, 其中宁夏六盘山地区细叶百合鳞茎活性物质含量均较高, 细叶百合的主要活性成分有多糖、甾体皂苷、酚类

化合物、黄酮类化合物和生物碱等, 具有免疫调节、降血糖、抗肿瘤、抗真菌以及抗氧化等功能, 是影响其药用价值的重要物质<sup>[19-21]</sup>, 因此, 六盘山地区百合种质资源潜在的保健功能具有更高的开发和利用价值。

生态因素与植物体内化学物质形成和变化密切相关, 对药用植物中有效成分的形成和积累起重要作用, 光照、温度、水分等间接影响植物的生长及植物体内物质的含量<sup>[22-24]</sup>。本研究中 RDA 分析表明, 多糖含量与纬度呈显著负相关, 随着纬度的升高, 太阳辐射减少, 使得温度降低, 不利于多糖的富集, 可能是因为多糖是一种能量物质, 为抵御寒冷而被消耗, 因此积累量少; 多酚类物质含量在宁夏不同采集地差异较大, 这可能与当地所处的环境条件有关, 除了总酚含量与经度间呈极显著正相关外, 其余相关性均未达到显著水平, 这表明经度是影响细叶百合鳞茎多酚类物质含量的主导地理分布因子, 在一定范围内, 经度升高有利于细叶百合总酚含量的积累; 皂苷含量与水蒸气压、年均降雨量呈显著正相关关系, 在水分充足的环境条件下利于皂苷的积累, 这与郭杰等<sup>[25]</sup>研究结果一致; 而生物碱对气候因子的响应不明显。

土壤是植物生长的基础, 与植物时刻进行着频繁的物质交换, 因此土壤是影响植物体内化学成分的重要因素, 其理化性质对药用植物的产量和质量有显著影响, 土壤中的 C、N、P 对细叶百合的生长发育有一定的影响, 其中 N、P 是极其重要的限制因子<sup>[26-28]</sup>。本研究通过 RDA 分析发现, 多酚



类物质含量与土壤总有机碳含量、土壤的碳磷比呈显著正相关,说明土壤的碳磷比可能是影响细叶百合鳞茎多酚类物质含量的主要土壤因子,土壤的碳磷比越大,越容易促进多酚类物质的生成;鳞茎中生物碱含量与土壤全磷含量呈显著负相关,说明细叶百合鳞茎中生物碱积累主要受P元素限制,施肥时适当减少P肥的施加,有利于细叶百合鳞茎中生物碱的合成;皂苷和多糖含量与土壤全氮含量呈显著正相关,说明增加土壤中全氮的含量能够在不同程度上促进细叶百合鳞茎中活性物质的积累,这与王静等<sup>[29]</sup>在氮磷钾对桔梗次生代谢产物影响的研究结果相似。本研究结果可以用于指导百合土壤养分,合理开发和利用野生百合资源,为宁夏地区开展食用百合特色产业,更新传统食用百合种植结构,促进宁夏乃至我国百合产业的发展有着重要意义。

#### 4 结论

宁夏8个自然分布区细叶百合鳞茎活性物质含量存在显著差异,其中六盘山地区细叶百合鳞茎中活性物质含量整体优于其它两区,可作为优质百合资源开发利用;通过RDA分析探明了经度、年均降雨量、土壤全氮是其活性成分积累的主要生态因子。

#### 参 考 文 献

- [1] 靳磊,刘师源,张萍. 细叶百合鳞茎多酚类物质组成及其抗氧化活性[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(20): 5103-5107.  
JIN L, LIU S Y, ZHANG P. Polyphenolic composition and antioxidant activities in bulbs of *Lilium pumilum* DC[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(20): 5103-5107.
- [2] 靳磊,刘师源,张萍,等. 罗山细叶百合资源的初步调查[J]. 农业科学研究, 2015, 36(3): 90-93.  
JIN L, LIU S Y, ZHANG P, et al. Preliminary investigation of *Lilium pumilum* DC. in Luoshan Mountain[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2015, 36(3): 90-93.
- [3] 赵秀玲. 百合的营养成分与保健作用[J]. 中国野生植物资源, 2010, 29(1): 44-46.  
ZHAO X L. The nutritive ingredients of lily and the function of health[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2010, 29(1): 44-46.
- [4] 杨柳慧,尹航,黄沁梅,等. 细叶百合 *LpWRKY20* 基因对非生物胁迫的响应及抗旱性分析[J]. 草业学报, 2020, 29(1): 193-202.  
YANG L H, YIN H, HUANG Q M, et al. An analysis of the response of the *LpWRKY20* gene to abiotic stress and its role in drought resistance[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(1): 193-202.
- [5] MIMAKI Y, SASHIDA Y. Steroidal saponins and alkaloids from the bulbs of *Lilium brownie* var. *colchesteri*[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 1990, 38(11): 3055-3059.
- [6] YOU X J, XIE C Y, LIU K L, et al. Isolation of non-starch polysaccharides from bulb of tiger lily (*Lilium lancifolium* Thunb.) with fermentation of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(1): 35-40.
- [7] 胡悦,杜运鹏,田翠杰,等. 百合属植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 323-332.  
HU Y, DU Y P, TIAN C J, et al. A review of chemical components and their bioactivities from the genus *Lilium*[J]. Food Science, 2018, 39(15): 323-332.
- [8] WANG T T, HUANG H H, ZHANG Y, et al. Role of effective composition on antioxidant, anti-inflammatory, sedative-hypnotic capacities of 6 common edible *Lilium* varieties[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(4): H857-H868.
- [9] HUANG J H, ZHOU R R, HE D, et al. Rapid identification of *Lilium* species and polysaccharide contents based on near infrared spectroscopy and weighted partial least square method[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 154(1): 182-187.
- [10] SIM W S, CHOI S I, JUNG T D, et al. Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Lilium lancifolium* bulbs extract[J]. Journal of Food Biochemistry, 2020, 44(5): e13176.
- [11] 雷卢恒,张延龙,牛立新,等. 15个卷丹居群鳞茎活性成分及其抗氧化能力[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 122-129.  
LEI L H, ZHANG Y L, NIU L X, et al. Antioxidant capacity and active components of *Lilium lancifolium* Thunb. bulbs from 15 populations[J]. Food

- Science, 2015, 36(14): 122-129.
- [12] 杨林莎, 李玉贤, 李明丽, 等. 苯酚-硫酸比色法测定百合多糖的含量[J]. 中国中医药信息杂志, 2004(8): 704-705.
- YANG L S, LI Y X, LI M L, et al. Determination for the content of polysaccharides in the *Lilium Brownii* by phenol-vitriolic colorimetry [J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2004(8): 704-705.
- [13] LIU K, XIAO X, WANG J L, et al. Polyphenolic composition and antioxidant, antiproliferative, and antimicrobial activities of mushroom *Inonotus sanghuang*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82(1): 154-161.
- [14] ZHANG X X, SHI Q Q, JI D, et al. Determination of the phenolic content, profile, and antioxidant activity of seeds from nine tree peony (*Paeonia section Moutan* DC.) species native to China[J]. Food Research International, 2017, 97: 141-148.
- [15] 雷卢恒. 卷丹百合不同居群鳞茎提取物的抗氧化及肺癌细胞抑制特性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.
- LEI L H. Antioxidant capacity and lung cancer cell rejection characteristic of *Lilium lancifolium* bulbs from different populations [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2015.
- [16] SOONG J L, SARA M J, COTRUFO M F, et al. Soil microbial CNP and respiration responses to organic matter and nutrient additions: Evidence from a tropical soil incubation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2018, 122: 141-149.
- [17] 饶丽仙. 宁夏典型草原区退耕草地优势植物及土壤C、N、P生态化学计量学特征研究[D]. 宁夏: 宁夏大学, 2017.
- RAO L X. Research of the dominant plants and soil C, N, P ecologic stoichiometry characteristics on the grassland from cultivated land in a typical steppe in Ningxia[D]. Ningxia: Ningxia University, 2017.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 270-272.
- BAO S D. Soil agrochemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 270-272.
- [19] 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.
- LIU C Y, ZHOU R B, CHEN X, et al. Research progress on quality standards of Baihe (*Lilii Bulbus*) [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2018, 24(16): 117-120, 123.
- [20] 靳磊, 刘师源, 张萍. 秦巴山区野生百合体外抗氧化特性的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 137-142.
- JIN L, LIU S Y, ZHANG P. Antioxidant property of wild *Lilium* species from Qin-ba mountain [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(22): 137-142.
- [21] 萨日那, 耿丽晶, 周围, 等. 百合科植物中有效成分及其功效的研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(2): 51-55.
- SA R N, GENG L J, ZHOU W, et al. Review of the active ingredients and their effects in Liliaceae plants[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(2): 51-55.
- [22] 彭密军, 彭胜, 王翔, 等. 杜仲叶中多酚类化合物含量与主要生态因子的相关性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(5): 823-831.
- PENG M J, PENG S, WANG X, et al. Correlation between the content of polyphenols in *Eucommia ulmoides* leaves and the main ecological factors [J]. Natural Product Research and Development, 2018, 30(5): 823-831.
- [23] 李小伟, 张宏涛, 张泽婧. 西藏沙棘叶片黄酮含量与生态因子的相关性[J]. 生态环境学报, 2018, 27(2): 239-245.
- LI X W, ZHANG H T, ZHANG Z J, et al. The relation between contents of flavonoids in leaves of *Hippophae tibetana* Schlecht. and ecological factors [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(2): 239-245.
- [24] 陶曙红, 吴凤镔. 生态环境对药用植物有效成分的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2003(2): 174-177.
- TAO S H, WU F E. Effect of ecological environment on active constituents of medicinal plants [J]. Natural Product Research and Development, 2003(2): 174-177.
- [25] 郭杰, 张琴, 孙成忠, 等. 人参药材中人参皂苷的空间变异性及影响因子[J]. 植物生态学报, 2017, 41(9): 995-1002.
- GUO J, ZHANG Q, SUN C Z, et al. Spatial variations of ginsenosides in *Panax ginseng* and their impact factors[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(9): 995-1002.

- [26] 李玲, 李森, 邓东周, 等. 岷江上游中国沙棘土壤碳氮磷对海拔的响应及其计量特征[J]. 西南农业学报, 2019, 32(5): 1098–1103.
- LI L, LI S, DENG D Z, et al. Effect of elevation on soil nutrient content and stoichiometric characteristics under *Hippophae rhamnoides* L. shrubs in Upper Min River[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(5): 1098–1103.
- [27] 宁志英, 李玉霖, 杨红玲, 等. 沙化草地土壤碳氮磷化学计量特征及其对植被生产力和多样性的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3537–3546.
- NING Z Y, LI Y L, YANG H L, et al. Stoichiometry and effects of carbon, nitrogen, and phosphorus in soil of desertified grasslands on community productivity and species diversity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(10): 3537–3546.
- [28] 彭英丽. 磷钾营养对黄檗幼苗生长主要生物碱含量的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- PENG Y L. Influence of phosphorus and potassium nutrition on growth and alkaloid content of *Phellodendron amurense* seedlings[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2015.
- [29] 王静, 王涓玲, 徐福利, 等. 氮磷钾对桔梗生长及次生代谢产物的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(4): 586–591.
- WANG J, WANG W L, XU F L, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the growth and secondary metabolites of *Platycodon grandiflorum* [J]. Pratacultural Science, 2012, 29(4): 586–591.

### Correlation between the Contents of Active Substances in Bulbs of *Lilium pumilum* and Ecological Factors in Ningxia

Wang Yidan<sup>1</sup>, Jin Lei<sup>1</sup>, Cui Liang<sup>2</sup>, Quan Zhuo<sup>2</sup>, Wang Juan<sup>2</sup>, Tang Yan<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021

<sup>2</sup>Ningxia Zhongsen Ecological Environment Co. Ltd, Yinchuan 750021

**Abstract** To investigate the active substance content of the *L. pumilum* DC bulbs and its relationship with ecological factors, *L. pumilum* from 8 sampling sites were used as experimental materials. The contents of total phenol, polysaccharide, saponin and alkaloid in *L. pumilum* bulbs and the contents of total organic carbon (C), total nitrogen (N) and total phosphorus (P) in soil were determined by using the methods of Folin–Shoka colorimetry, Sulfuric acid–phenol method, Vanillin colorimetry, Bromocresol green colorimetry, TOC analyzer, automatic kjeldahl nitrogen determination apparatus, vanadium molybdate yellow colorimetry and ultraviolet spectrophotometry. And using Redundancy Analysis (RDA) method to analyze the active substance contents and 16 ecological factors, including annual average temperature, annual average minimum temperature, annual average maximum temperature, water vapor pressure, average annual rainfall, wind speed, total solar radiation, total organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, soil carbon to nitrogen ratio, soil carbon to phosphorus ratio, soil nitrogen to phosphorus ratio. The results showed that: the average contents of total phenol, polysaccharide, saponin and alkaloid in the bulbs of *L. pumilum* were 2.11, 19.95, 1.44, 12.57 mg/g, respectively. And the RDA analysis showed that the total explanation amount of the four active substances by environmental variables was 61.6%. The content of saponin in the bulbs of *L. pumilum* varies with WVP and MAP, and decrease with the increase of latitude and total solar radiation, which indicates that sufficient water in a certain range was conducive to the accumulation of saponins. The total phenolic content varies with the increase of longitude, indicating that the higher longitude is helpful to the enrichment of polyphenols in *L. pumilum* bulbs, and alkaloid does not change significantly with climate factors. The increase of total nitrogen content in soil can significantly improve the content of saponin and polysaccharide in *L. pumilum* bulbs, indicating that the soil with high nitrogen content is conducive to the accumulation of active substances in *L. pumilum* bulbs in Ningxia. The content of polyphenols increased with the increase of soil C:P, and the content of alkaloid decreased with the increase of soil total phosphorus, indicating that high carbon and low phosphorus soil was conducive to the synthesis and accumulation of active substances in *L. pumilum*. The results of this study can provide a theoretical basis for the rational utilization and high-quality cultivation of Ningxia *L. pumilum*.

**Keywords** *L. pumilum* DC; bulb active substances; ecological factor