

引用格式:

张瑞军, 张萍, 雅蓉, 葛蓓蕾, 王云霞, 靳磊. 四川野生百合不同部位多酚与抗氧化活性的相关性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 191-196.

ZHANG R J, ZHANG P, YA R, GE B L, WANG Y X, JIN L. Correlation between polyphenols and antioxidant activity in different parts of wild *Lilium* in Sichuan[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(2): 191-196.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



四川野生百合不同部位多酚与抗氧化活性的相关性

张瑞军, 张萍, 雅蓉, 葛蓓蕾, 王云霞, 靳磊*

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 以四川省9个采集地的野生百合为材料, 测定百合鳞茎、茎秆、叶片和花的多酚、总黄酮、总黄酮醇、花色苷含量, 采用清除 DPPH 自由基能力、铜离子还原能力、金属离子螯合能力、抑制脂质过氧化物活性评价野生百合的抗氧化活性。结果表明: 野生百合鳞茎、茎秆、花和叶片中多酚平均含量分别为 3.64、5.96、11.40、13.47 mg/g, 各器官间差异显著($P<0.05$); 叶片的抗氧化活性最强, 鳞茎最弱, 器官间差异显著($P<0.05$); 多酚类物质含量与 DPPH 自由基清除力、铜离子还原能力、金属螯合能力呈极显著($P<0.01$)正相关, 相关系数达到 0.57~0.99。雅安市泸定县兴隆乡宝兴百合叶片(综合隶属值排序第 1)多酚含量和抗氧化活性最高, 鳞茎的最低。

关键词: 野生百合; 器官; 多酚; 抗氧化活性; 四川

中图分类号: S644.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)02-0191-06

Correlation between polyphenols and antioxidant activity in different parts of wild *Lilium* in Sichuan

ZHANG Ruijun, ZHANG Ping, YA Rong, GE Beilei, WANG Yunxia, JIN Lei*

(College of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: The contents of polyphenols, total flavonoids, total flavanols and anthocyanins in bulbs, stems, leaves and flowers of wild lilies collected from nine sites in Sichuan Province were determined. The antioxidant activity was evaluated by DPPH radical scavenging, copper ion reduction ability, metal ion chelating ability and inhibition of lipid peroxide activity. The results showed that the average contents of polyphenols in bulb, stem, flower and leaf of wild lily were 3.64, 5.96, 11.40 and 13.47 mg/g, respectively, and there were significant differences in the contents of polyphenols among different organs ($P<0.05$); the antioxidant activity of polyphenols in leaf was the strongest, and in bulb the lowest, and the antioxidant activity of polyphenols in different organs was significantly different ($P<0.05$). Correlation analysis between polyphenol content and antioxidant activity in different organs of lily showed that polyphenol content was significantly positively correlated with DPPH radical scavenging ability, copper ion reduction ability and metal chelating ability ($P<0.01$), and the correlation coefficient was 0.57-0.99. The results showed that the polyphenol content and antioxidant activity of leaves (ranking first in comprehensive membership value) of Baoxing lily in Xinglong Township of Luding county of Ya'an city were the highest, while the bulb (ranking last in comprehensive membership value) of Baoxing lily in Xinglong Township of Luding county of Ya'an city was the lowest.

Keywords: wild *Lilium*; organs; polyphenol; antioxidant activity; Sichuan

收稿日期: 2019-08-13

修回日期: 2020-12-01

基金项目: 教育部春晖计划项目(2017)

作者简介: 张瑞军(1993—), 男, 宁夏石嘴山人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜生理与生态研究, 1249913432@qq.com; *通信作者, 靳磊, 博士, 副教授, 主要从事园艺植物种质资源评价及利用研究, jinleinxu@163.com

百合(*Lilium* spp.)是多年生球根草木花卉。已有调查表明,四川是中国野生百合的集中分布区之一,已发现的百合超过25种和7个变种^[1-2]。百合鳞茎和花中富含生物碱、皂苷、多糖和多酚等功能型次生代谢物,具有抗氧化、抗癌症、预防心血管疾病等多种功能^[3]。

目前针对百合的研究主要集中在百合鳞茎和花的多酚类物质组分和抗氧化活性上^[4-5]。靳磊等^[6]对不同百合鳞茎中多酚类物质、11种单体酚的含量及抗氧化活性进行分析,结果显示,除对羟自由基的清除力外,各酚类物质总量与不同抗氧化指标之间呈显著正相关;闫林茂等^[7]研究了不同种类百合花瓣的酚类物质及抗氧化活性,发现不同种类百合花瓣均适合作天然抗氧化材料。笔者采集四川省雅安市和阿坝州5种野生百合的鳞茎、叶片、茎秆和花,测定百合不同器官中多酚类物质的含量,比较各器官提取物对DPPH清除自由基能力、铜离子还原能力、金属螯合能力和抑制脂质过氧化能力的差异,以期科学合理利用野生百合的抗氧化保健功能提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

2017年6—7月,在四川雅安市泸定县、宝兴县和阿坝州小金县采集9种野生百合:川百合3种(L1、L2、L3分别为雅安市泸定县兴隆乡、雅安市宝兴县硃碛乡、阿坝州小金县日尔乡川百合);宝兴百合2种(L4、L5分别为阿坝州小金县日尔乡宝兴百合、雅安市泸定县兴隆乡宝兴百合);通江百合2种(L6、L7分别为雅安市宝兴县城关镇通江百合、雅安市宝兴县盐井乡通江百合);尖被百合(L8为雅安市宝兴县夹金山尖被百合)和淡黄花百合(L9为雅安市泸定县兴隆乡淡黄花百合)各1种。

1.2 方法

将百合鳞茎、茎秆、花、叶片分别洗净,自然阴干,粉碎后过孔径0.25 mm筛。

参照文献^[8]方法,提取百合各器官多酚类物质。称取百合不同器官干粉10.0 g于三角瓶中,加入200 mL体积分数为60%的酸化甲醇(甲醇与盐酸体积比为100:0.1),在50℃超声波提取器中提取20 min,随后在4℃下离心15 min(10 000 r/min),

收集上清液;向沉淀中继续加入100 mL酸化甲醇,重复提取2次;合并上清液并减压浓缩,定容至50 mL,置于-40℃超低温冰箱中保存。

百合各器官总酚含量采用福林-肖卡试剂法^[9]测定;总类黄酮含量采用NaNO₂-AlCl₃法^[10]测定;总黄酮醇含量采用香草醛比色法^[11]测定;花色苷含量采用pH示差法^[12]测定。

参照BRAND-WILLIAMS等^[13]的方法测定百合各器官提取物DPPH自由基清除力;参照APAK等^[14]的方法测定铜离子还原能力;参照DINIS等^[15]的方法测定金属离子螯合能力;参照TSUDA等^[16]的方法测定抑制脂质过氧化物活性。

1.3 数据统计分析

采用Excel 2016处理数据,利用SPSS 20.0进行方差分析和均值比较,LSD法检验。

参考王贤等^[17]方法,以不同种类(产地)百合不同器官中总酚、总类黄酮、总黄酮醇和花色苷含量,以及DPPH自由基清除力、铜离子还原能力、金属离子螯合能力、抵制脂质过氧化物活性为指标,利用隶属函数值综合评价野生百合各器官多酚类物质的抗氧化特性。

2 结果与分析

2.1 四川野生百合不同器官中多酚类物质含量

四川野生百合不同器官多酚类含量的测定结果列于表1。野生百合鳞茎中多酚含量平均为3.64 mg/g,茎秆中的平均为5.96 mg/g,叶片中的平均为13.47 mg/g,花中的平均为11.40 mg/g,叶片多酚含量分别是鳞茎、茎秆、花的3.7倍、2.2倍、1.2倍,各器官间的差异显著。雅安市泸定县兴隆乡川百合(L1)叶片多酚类物质含量是阿坝州小金县日尔乡川百合(L3)的6倍。这表明不同地理位置和气候环境的野生百合不同器官多酚含量有差异。

野生百合鳞茎中黄酮含量平均为0.91 mg/g,茎秆中平均为1.97 mg/g,叶片中平均为7.77 mg/g,花中平均为4.31 mg/g,叶片的黄酮含量是鳞茎、茎秆、花中的8.5倍、4.3倍、1.8倍,器官间差异显著。雅安市泸定县兴隆乡川百合(L1)和宝兴百合(L5)叶片黄酮含量是鳞茎的21倍,这表明黄酮在野生百合不同器官中的含量分布极不平衡。

野生百合鳞茎中黄酮醇含量平均为0.33 mg/g,

茎秆中平均为 1.34 mg/g, 叶片中平均为 1.64 mg/g, 花中平均为 2.24 mg/g, 器官间差异显著, 花中黄酮醇含量分别是鳞茎、茎秆、叶片的 6.8 倍、1.7 倍、1.4 倍。由此推断, 百合花中苦味感较重。

野生百合鳞茎中花色苷含量平均为 2.69 mg/g,

茎秆中平均为 4.3 mg/g, 叶片中平均为 15.12 mg/g, 花中平均为 16.02 mg/g, 花中花色苷含量分别是鳞茎、茎秆、叶片中的 7.1 倍、3.7 倍、1.1 倍, 器官间差异显著。

表 1 四川野生百合各器官的多酚类含量

		Table 1 Polyphenols content in various organs of wild <i>Lilium</i> in Sichuan							
		多酚含量				黄酮含量			
材料		鳞茎	茎秆	叶片	花	鳞茎	茎秆	叶片	花
L1	(2.22±0.05)gh	(3.46±0.33)e	(23.84±0.23)a	(12.00±1.22)b	(0.65±0.04)e	(0.93±0.02)b	(13.41±0.08)a	(4.34±0.33)c	
L2	(2.80±0.10)ef	(5.95±0.22)bc	(7.19±0.05)e	(7.76±0.55)e	(0.75±0.03)de	(1.78±0.08)ab	(5.22±0.27)e	(4.10±0.02)c	
L3	(2.13±0.06)h	(5.57±0.15)cd	(3.99±0.2)1f	(10.63±0.28)c	(0.70±0.01)def	(1.66±0.05)b	(4.76±0.17)ef	(5.04±0.20)b	
L4	(6.62±0.21)a	(5.20±0.02)d	(19.15±1.91)b	(9.45±0.16)d	(1.58±0.01)a	(1.63±0.03)b	(8.81±0.45)b	(2.73±0.02)d	
L5	(3.06±0.27)e	(6.43±0.49)b	(22.55±1.98)a	(15.07±0.55)a	(0.63±0.01)f	(2.65±0.11)a	(13.42±0.57)a	(5.45±0.26)b	
L6	(2.56±0.13)fg	(5.58±0.09)cd	(10.51±0.13)d	(15.41±0.06)a	(0.62±0.01)f	(1.86±0.01)ab	(5.38±0.03)e	(5.89±0.09)a	
L7	(5.86±0.37)b	(5.89±0.02)c	(12.05±0.06)d	(7.52±0.06)e	(1.41±0.02)b	(1.80±0.01)ab	(6.98±0.03)d	(1.69±0.01)e	
L8	(3.49±0.02)d	(8.04±0.04)a	(14.33±0.06)c	(15.84±0.51)a	(1.02±0.02)d	(2.72±0.03)ab	(7.69±0.04)c	(5.35±0.03)b	
L9	(4.04±0.06)c	(7.56±0.25)a	(7.61±0.10)e	(8.93±0.07)d	(0.79±0.13)d	(2.70±0.06)a	(4.28±0.57)f	(4.17±0.36)c	

		黄酮醇含量				花色苷含量			
材料		鳞茎	茎秆	叶片	花	鳞茎	茎秆	叶片	花
L1	(0.14±0.01)d	(3.04±0.12)b	(0.83±0.09)f	(0.78±0.00)f	(1.33±0.26)g	(2.21±0.18)f	(13.49±0.65)d	(17.77±1.23)c	
L2	(0.09±0.00)ef	(0.46±0.05)ef	(1.90±0.05)d	(3.58±0.67)c	(2.68±0.09)c	(4.04±0.11)cd	(14.14±0.31)cd	(24.66±0.57)b	
L3	(0.13±0.00)de	(0.67±0.05)de	(0.58±0.37)f	(4.84±0.39)b	(1.98±0.06)ef	(6.30±0.09)ab	(16.66±0.15)ab	(26.33±0.69)a	
L4	(0.25±0.00)c	(3.42±0.34)a	(0.55±0.00)f	(0.05±0.01)g	(4.26±0.26)a	(2.63±0.12)f	(14.57±0.48)bcd	(14.17±0.73)d	
L5	(0.04±0.01)f	(0.43±0.01)ef	(2.96±0.07)b	(2.42±0.02)d	(1.63±0.06)fg	(3.53±0.15)de	(18.36±1.86)a	(12.07±0.14)e	
L6	(0.69±0.04)b	(2.22±0.19)c	(0.83±0.06)f	(1.57±0.05)e	(2.23±0.29)de	(5.73±0.73)b	(13.29±1.26)d	(8.73±0.76)f	
L7	(0.81±0.06)a	(0.27±0.02)f	(3.33±0.04)a	(0.66±0.04)f	(3.26±0.23)b	(2.86±0.20)ef	(16.17±0.57)bc	(12.18±0.52)e	
L8	(0.71±0.01)b	(0.83±0.05)d	(2.41±0.12)c	(0.75±0.02)f	(4.20±0.17)a	(4.61±0.10)c	(15.96±0.39)bc	(10.72±0.67)e	
L9	(0.14±0.01)de	(0.68±0.05)de	(1.34±0.06)e	(5.47±0.36)a	(2.64±0.14)cd	(6.75±0.56)a	(13.41±1.35)d	(17.52±0.59)c	

同列不同字母表示材料间差异显著(P<0.05)。

2.2 四川野生百合不同器官中多酚类物质的抗氧化活性

四川野生百合不同器官中多酚类物质的抗氧化活性的测定结果列于表 2。野生百合鳞茎 DPPH 自由基清除力平均为 12.88 μmol/g, 茎秆的平均为 15.60 μmol/g, 叶片的平均为 21.82 μmol/g, 花的平均为 20.14 μmol/g, 叶片 DPPH 自由基清除力分别是鳞茎、茎秆、花的 1.7 倍、1.4 倍、1.1 倍。雅安市泸定县兴隆乡川百合的叶片 DPPH 清除力表现最强, 显著高于鳞茎的。

野生百合鳞茎铜离子还原能力平均为 1.45 μmol/g, 茎秆的平均为 2.49 μmol/g, 叶片的平均为 6.18 μmol/g, 花的平均为 4.66 μmol/g, 叶片的铜离

子还原能力分别是鳞茎、茎秆、花的 4.3 倍、2.5 倍、1.3 倍, 器官间差异显著。

野生百合叶片和花的金属螯合能力显著高于鳞茎和茎秆的, 鳞茎和茎秆中金属螯合能力最大不超过 75%, 而叶片中平均为 89.69%, 花平均为 80.89%, 可以看出叶片金属螯合能力最强, 茎秆和鳞茎的较弱。

野生百合鳞茎抑制脂质过氧化能力平均为 85.47%, 茎秆的平均为 88.15%, 叶片平均为 87.29%, 花平均为 88.36%, 各器官间差异不显著。

野生百合鳞茎、茎秆、叶片和花的多酚提取物均具有一定的抗氧化能力, 强弱表现依次为叶片、花、茎秆、鳞茎, 与多酚类物质在不同器官间的分布具有一致性。

表2 四川野生百合各器官提取物的抗氧化能力

材料	DPPH 清除力/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)				铜离子还原能力/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)			
	鳞茎	茎秆	叶片	花	鳞茎	茎秆	叶片	花
L1	(12.61±0.63)de	(14.04±0.12)de	(28.33±0.03)a	(18.32±0.08)bc	(0.87±0.05)g	(1.39±0.08)e	(10.26±0.57)a	(4.10±0.04)de
L2	(12.21±0.38)de	(15.33±0.78)c	(15.20±0.71)e	(14.84±0.07)d	(1.14±0.02)e	(2.37±0.20)cd	(3.48±0.02)f	(3.39±0.01)f
L3	(10.36±0.08)f	(13.51±0.53)e	(11.98±0.13)f	(20.35±0.79)b	(0.98±0.04)f	(2.15±0.04)d	(2.43±0.08)g	(4.89±0.28)c
L4	(16.11±0.42)a	(14.54±0.08)cd	(27.59±0.52)a	(19.58±1.29)b	(2.83±0.04)a	(2.28±0.02)cd	(8.44±0.04)b	(3.66±0.03)ef
L5	(10.73±0.43)f	(18.20±0.22)a	(28.08±0.04)a	(26.11±1.64)a	(1.18±0.03)de	(3.00±0.20)b	(9.72±0.27)a	(5.75±0.12)b
L6	(11.99±0.08)e	(14.51±0.20)cd	(18.47±0.05)c	(25.48±0.52)a	(1.03±0.04)f	(2.21±0.01)cd	(4.33±0.16)e	(6.61±0.43)a
L7	(14.87±0.07)b	(15.20±0.06)c	(22.89±0.70)b	(13.96±0.23)d	(2.11±0.11)b	(2.41±0.08)c	(5.57±0.15)d	(2.76±0.05)g
L8	(13.01±0.13)d	(18.00±0.11)a	(27.79±0.05)a	(25.18±1.78)a	(1.25±0.02)d	(3.34±0.01)a	(7.70±0.56)c	(6.63±0.26)a
L9	(13.99±0.60)c	(17.03±0.78)b	(16.07±0.16)d	(17.40±0.08)c	(1.63±0.04)c	(3.25±0.06)a	(3.69±0.15)f	(4.16±0.22)d

材料	金属螯合能力/%				抑制脂质过氧化能力/%			
	鳞茎	茎秆	叶片	花	鳞茎	茎秆	叶片	花
L1	(69.19±3.65)a	(44.90±0.43)d	(95.77±1.08)a	(86.17±0.80)bc	(84.43±5.25)a	(88.56±1.08)ab	(88.62±1.69)abc	(86.50±0.68)c
L2	(68.92±2.33)a	(72.00±4.50)ab	(89.93±1.61)ab	(90.40±1.70)b	(85.82±0.24)a	(87.00±0.59)bc	(86.44±0.72)bcd	(90.08±0.59)a
L3	(71.47±2.98)a	(74.02±2.51)a	(92.55±1.34)a	(96.51±0.92)a	(87.31±0.90)a	(90.67±0.12)a	(90.67±0.38)a	(89.08±0.24)ab
L4	(68.38±3.65)a	(57.58±2.16)c	(83.50±3.84)b	(65.51±0.60)e	(89.30±0.68)a	(87.81±1.60)abc	(86.59±0.68)abcd	(88.40±1.78)abc
L5	(50.19±3.22)b	(45.56±4.94)d	(88.79±1.16)ab	(72.27±3.55)d	(76.48±0.12)b	(89.15±1.78)ab	(87.69±2.22)abcd	(88.21±1.78)abc
L6	(69.13±0.42)a	(56.65±1.11)c	(82.89±2.71)b	(85.09±5.33)bc	(85.79±1.51)a	(89.14±0.20)ab	(89.14±0.20)ab	(89.67±0.16)ab
L7	(56.31±1.97)b	(59.32±2.53)c	(84.57±3.66)b	(58.39±0.28)f	(87.37±0.59)a	(89.14±0.08)ab	(84.20±2.56)d	(87.53±0.05)bc
L8	(54.96±3.02)b	(46.85±0.62)d	(93.74±6.73)a	(90.01±4.51)b	(85.48±1.99)a	(87.00±0.33)bc	(87.40±0.24)abcd	(87.53±0.28)bc
L9	(68.99±3.08)a	(66.91±3.75)b	(95.44±1.44)a	(83.69±0.62)c	(87.28±1.65)a	(84.89±2.87)c	(84.89±3.53)cd	(88.28±1.08)abc

同列不同字母表示材料间差异显著($P<0.05$)。

2.3 野生百合多酚类物质含量与抗氧化活性的相关性

2.3.1 不同器官多酚含量和抗氧化活性的相关性

对百合不同器官多酚含量和抗氧化能力进行相关性分析,结果(表3)表明,不同器官多酚含量和DPPH清除力及铜离子还原能力均呈极显著相关($P<0.01$),鳞茎、叶片和花相关系数均在0.9以上;不同器官多酚含量和金属螯合能力及抑制脂质过氧化能力均无相关性。

表3 百合不同器官多酚含量和抗氧化能力的相关系数

Table 3 Correlation between polyphenol content and antioxidant capacity in different organs of *Lilium*

项目	相关系数			
	DPPH清除力	铜离子还原能力	金属螯合能力	抑制脂质过氧化能力
鳞茎多酚含量	0.90**	0.98**	-0.21	0.42
茎秆多酚含量	0.78**	0.97**	0.10	-0.52
叶片多酚含量	0.93**	0.99**	-0.04	0.00
花多酚含量	0.95**	0.95**	0.27	-0.12

***表示相关性极显著($P<0.01$)。

2.3.2 野生百合多酚含量和抗氧化活性的相关性

对百合整株多酚含量和抗氧化能力相关性进行分析,结果(表4)表明,除黄烷醇外,多酚、黄酮、花色苷的含量均与DPPH自由基清除力、铜离子还原能力和金属螯合能力呈正相关,且达极显著水平,其中黄酮与DPPH清除力、铜离子还原能力的相关系数分别为0.85、0.95,表明多酚、黄酮、花色苷均具有较强的抗氧化活性。

表4 百合多酚类物质含量与抗氧化活性的相关系数

Table 4 Correlation between the content of polyphenols and the antioxidant activity in wild *Lilium*

项目	相关系数			
	DPPH清除力	铜离子还原能力	金属螯合能力	抑制脂质抗氧化能力
多酚含量	0.95**	0.99**	0.57**	0.19
黄酮含量	0.85**	0.95**	0.69**	0.18
黄烷醇含量	0.27	0.29	0.32	0.22
花色苷含量	0.51**	0.61**	0.76**	0.27

***表示相关性极显著($P<0.01$)。

2.4 百合种类及器官的抗氧化活性的排序比较

利用隶属函数法分析对野生百合不同器官中多酚、黄酮、黄烷醇、花色苷含量和 DPPH 自由基清除力、铜离子还原力、金属螯合能力和抑制脂质过氧化能力,通过对野生百合同一器官多酚类物质含量和抗氧化活性隶属值求和,对 9 种(产地)野生百合不同器官多酚含量和抗氧化活性进行排序,结

果(表5)表明,雅安市泸定县兴隆乡宝兴百合(L5)叶片隶属函数值最高(6.729),说明其叶片中多酚类物质含量和抗氧化活性高于其他野生百合,抗氧化能力最高,而 L5 鳞茎隶属函数值最低,仅为 0.211,其多酚类物质含量和抗氧化活性要低于其他野生百合中多酚含量及抗氧化活性。

表 5 供试百合不同器官的各指标的隶属函数值及排序

Table 5 Membership function values and ranking of various indicators for different organs of different *Lilium* species

材料	器官	隶属函数值								综合隶属值	排序
		多酚	黄酮	黄烷醇	花色苷	DPPH 清除力	铜离子还原能力	金属螯合能力	抑制脂质过氧化能力		
L1	鳞茎	0.004	0.002	0.019	0.000	0.125	0.000	0.471	0.560	1.181	35
	茎秆	0.062	0.024	0.552	0.035	0.205	0.055	0.000	0.851	1.784	29
	叶片	1.000	0.998	0.146	0.486	1.000	1.000	0.986	0.855	6.471	2
	花	0.455	0.290	0.136	0.658	0.443	0.344	0.800	0.706	3.832	12
L2	鳞茎	0.031	0.010	0.008	0.054	0.103	0.028	0.465	0.658	1.357	32
	茎秆	0.176	0.090	0.077	0.109	0.277	0.160	0.525	0.741	2.155	25
	叶片	0.233	0.359	0.343	0.512	0.269	0.278	0.873	0.702	3.569	14
	花	0.259	0.271	0.653	0.933	0.249	0.269	0.882	0.958	4.474	11
L3	鳞茎	0.000	0.006	0.016	0.026	0.000	0.012	0.515	0.763	1.338	34
	茎秆	0.158	0.081	0.116	0.199	0.175	0.136	0.564	0.999	2.428	18
	叶片	0.086	0.323	0.098	0.613	0.090	0.166	0.923	1.000	3.299	16
	花	0.391	0.345	0.884	1.000	0.556	0.428	1.000	0.888	5.492	4
L4	鳞茎	0.207	0.074	0.038	0.117	0.320	0.208	0.455	0.904	2.323	21
	茎秆	0.141	0.079	0.623	0.052	0.233	0.149	0.246	0.798	2.321	22
	叶片	0.784	0.639	0.093	0.529	0.959	0.806	0.748	0.713	5.271	5
	花	0.337	0.164	0.001	0.514	0.513	0.297	0.399	0.840	3.065	17
L5	鳞茎	0.043	0.000	0.000	0.011	0.021	0.033	0.103	0.000	0.211	36
	茎秆	0.198	0.158	0.071	0.088	0.436	0.226	0.013	0.893	2.083	26
	叶片	0.940	1.000	0.538	0.681	0.986	0.943	0.851	0.790	6.729	1
	花	0.596	0.377	0.439	0.430	0.876	0.520	0.530	0.827	4.595	9
L6	鳞茎	0.020	0.000	0.119	0.036	0.091	0.016	0.469	0.656	1.407	31
	茎秆	0.159	0.097	0.402	0.176	0.231	0.143	0.228	0.893	2.329	20
	叶片	0.386	0.372	0.146	0.478	0.451	0.369	0.736	0.893	3.831	13
	花	0.612	0.412	0.282	0.296	0.842	0.611	0.779	0.930	4.764	6
L7	鳞茎	0.172	0.061	0.141	0.077	0.251	0.131	0.221	0.768	1.822	28
	茎秆	0.173	0.092	0.043	0.061	0.269	0.163	0.279	0.892	1.972	27
	叶片	0.457	0.497	0.606	0.594	0.697	0.500	0.769	0.544	4.664	7
	花	0.248	0.084	0.113	0.434	0.200	0.200	0.261	0.778	2.318	23
L8	鳞茎	0.063	0.031	0.124	0.115	0.148	0.041	0.195	0.634	1.351	33
	茎秆	0.272	0.164	0.146	0.131	0.425	0.262	0.038	0.741	2.179	24
	叶片	0.562	0.552	0.437	0.585	0.970	0.728	0.946	0.770	5.550	3
	花	0.631	0.369	0.131	0.376	0.825	0.614	0.874	0.779	4.599	8
L9	鳞茎	0.088	0.013	0.017	0.052	0.202	0.080	0.467	0.761	1.680	30
	茎秆	0.250	0.162	0.118	0.217	0.371	0.253	0.426	0.593	2.390	19
	叶片	0.252	0.286	0.240	0.483	0.318	0.301	0.979	0.593	3.452	15
	花	0.313	0.277	1.000	0.648	0.392	0.350	0.752	0.831	4.563	10

考察野生百合各器官,阿坝州小金县日尔乡宝兴百合(L4)鳞茎的隶属函数值最大(2.323),雅安市泸定县兴隆乡宝兴百合(L5)鳞茎的隶属函数值最小,仅为 0.211;阿坝州小金县日尔乡川百合(L3)、茎秆隶属函数值最大,为 2.428,雅安市泸定县兴

隆乡川百合(L1)茎秆隶属函数值最小(1.784);雅安市泸定县兴隆乡宝兴百合(L5)叶片隶属函数值最大,高达 6.729,是阿坝州小金县日尔乡的川百合(L3)叶片隶属函数值的 2.04 倍;阿坝州小金县日尔乡川百合(L3)花隶属函数值高达 5.492,是隶属函数值最

小的雅安市宝兴县盐井乡通江百合(L7)花的 2.37 倍。表明不同种类(产地)地理位置和环境的野生百合不同器官的隶属函数值差异较大,说明其多酚含量和抗氧化活性存在差异;从综合隶属函数值来看,野生百合不同器官多酚含量和抗氧化活性综合排序先后依次为叶片、花、茎秆、鳞茎,叶片中多酚含量和抗氧化活性最高,鳞茎的最低。

参考文献:

- [1] 焦灏琳. 几种野生百合酚类物质与抗氧化活性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014.
JIAO H L. Research on phenolic compounds and antioxidant activity of bulb extracts of *Lilium* species in China[D]. Yangling, China: Northwest Agricultural and Forestry University, 2014.
- [2] 杜运鹏. 我国百合属植物资源评价及抗病基因同源序列(RGA)的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
DU Y P. Collection and evaluation of *Lilium* spp. in China(Liliaceae) the research on resistance gene analog[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [3] 漆欣, 周白雪, 易阳, 等. 莲藕酚类物质的变化及采收后贮藏对鲜切莲藕酚类物质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(2): 25-32.
QI X, ZHOU B X, YI Y, et al. Changes of phenolic compounds in lotus root and effects of postharvest storage on phenolic compounds in fresh cut lotus root[J]. Food Technology, 2021, 46(2): 25-32.
- [4] 陈越, 赵春莉, 李凤飞, 等. 卷丹百合不同发育期鳞茎中四种活性物质含量的变化[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(1): 80-82.
CHEN Y, ZHAO C L, LI F F, et al. Changes of four active substances in bulbs of *Lilium lancifolium* at different developmental stages[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(1): 80-82.
- [5] 刘芳, 李丹丹, 廉华, 等. 细叶百合冷藏过程中鳞茎保护酶活性与休眠解除的关系[J]. 草业学报, 2015, 24(12): 180-187.
LIU F, LI D D, LIAN H, et al. Relationship between bulb protective enzyme activity and dormancy release of *Lilium pumilum* during cold storage[J]. Journal of Prataculture, 2015, 24(12): 180-187.
- [6] 靳磊, 张延龙, 牛立新, 等. 3种百合鳞茎中多酚类物质的抗氧化活性分析[J]. 西北植物学报, 2014, 34(5): 995-1001.
JIN L, ZHANG Y L, NIU L X, et al. Antioxidant activity of polyphenolic compounds in bulbs of three *Lilium* species[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(5): 995-1001.
- [7] 阎林茂, 郭宇龙, 张延龙, 等. 百合花瓣酚类物质及其抗氧化活性的分析[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 51-55.
YAN L M, GUO Y L, ZHANG Y L, et al. Phenolic contents and antioxidant activity of lily flower petals[J]. Food Science, 2013, 34(7): 51-55.
- [8] CHIOU A, KARATHANOS V T, MYLONA A, et al. Currants(*Vitis vinifera* L.) content of simple phenolics and antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2007, 102(2): 516-522.
- [9] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTÓS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178.
- [10] KIM D O, CHUN O K, KIM Y J, et al. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(22): 6509-6515.
- [11] ROCKENBACH I I, RODRIGUES E, GONZAGA L V, et al. Phenolic compounds content and antioxidant activity in pomace from selected red grapes(*Vitis vinifera* L. and *Vitis labrusca* L.) widely produced in Brazil[J]. Food Chemistry, 2011, 127(1): 174-179.
- [12] ORAK H H. Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 111(3): 235-241.
- [13] BRAND-WILLIAMS W M, CUVELIER M E, BERSET C L W T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 25-30.
- [14] APAK R A, GÜ LÜ K, ZYÜREK M, et al. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins c and e, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: cuprac method[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(26): 7970-7981.
- [15] DINIS T C P, MADEIRA V M C, ALMEIDA L M. Action of phenolic derivatives(acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers[J]. Archives of Biochemistry & Biophysics, 1994, 315(1): 161-169.
- [16] TSUDA T, WATANABE M, OHSHIMA K, et al. Antioxidative activity of the anthocyanin pigments cyanidin 3-O- beta. -D-glucoside and cyanidin[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(11): 2407-2410.
- [17] 王贤, 周涤, 王巍伟, 等. 利用隶属函数法筛选百合鳞片繁殖最佳条件[J]. 北方园艺, 2011(18): 107-109.
WANG X, ZHOU D, WANG W W, et al. Selection of optimum conditions for lily scale propagation by membership function method[J]. Northern Horticulture, 2011(18): 107-109.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维