

基于感官结合化学分析技术解析不同产地兰州百合的品质差异

徐丽¹, 朱田田^{1,2*}, 晋玲^{1,2*}, 黄钰芳¹, 马晓辉^{1,2}, 康舒淇¹

(1. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃兰州 730000) (2. 西北中藏药省部共建协同创新中心、甘肃省珍稀中药资源评价与保护利用工程研究中心、陇药产业创新研究院, 甘肃兰州 730000)

摘要: 为探究不同产地兰州百合间的品质差异, 对 13 个产地兰州百合样品的感官指标进行打分, 测定可溶性固形物、水分、蔗糖等化学成分的含量, 再通过 Pearson 相关性分析、主成分分析和正交-偏最小二乘法判别分析对不同产地兰州百合的感官评价及化学指标数据进行处理。结果表明, 永靖县关山乡及七里河区西果园镇样品总体喜欢度评分最高为 4.25 和 3.93; 七里河区魏岭乡兰州百合中多糖、总皂苷含量较高, 分别为 259.52 和 3.64 mg/g; 永靖县陈井镇(年家湾村)的样品中可溶性固形物、蔗糖和淀粉含量较高, 分别为 316.00、654.63 和 425.37 mg/g; 甜味、清香味和脆度与淀粉、蔗糖具有显著正相关性, 苦味和涩味与总皂苷具有显著正相关; OPLS-DA 结果可以区分不同产地兰州百合样品; 聚类分析结果表明七里河区阿干镇样品与其他产地样品品质差异较大; 临洮县南屏镇所产兰州百合综合品质得分最高为 0.903, 品质最好。由此可见, 感官结合化学分析技术为兰州百合的品质评价提供了新的视角和方法, 能够为兰州百合的种植推广和产品开发提供参考依据。

关键词: 兰州百合; 产地; 感官指标; 化学指标; 综合评价

文章编号: 1673-9078(2025)07-239-248

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.7.0627

Quality Assessment of *Lilium davidii* Var. *Willmottiae* (E. H. Wilson) Raffill from Different Places Using Sensory and Chemical Analysis

XU Li¹, ZHU Tiantian^{1,2*}, JIN Ling^{1,2*}, HUANG Yufang¹, MA Xiaohui^{1,2}, KANG Shuqi¹

(1. School of Pharmacy, Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

(2. Northwest Collaborative Innovation Center for Traditional Chinese Medicine Co-constructed by Gansu Province & MOE of PRC, Engineering Research Center for Evaluation, Protection, and Utilization of Rare Traditional Chinese Medicine Resources, Gansu Pharmaceutical Industry Innovation Research Institute, Lanzhou 730000, China)

引文格式:

徐丽, 朱田田, 晋玲, 等. 基于感官结合化学分析技术解析不同产地兰州百合的品质差异[J]. 现代食品科技, 2025, 41(7): 239-248.

XU Li, ZHU Tiantian, JIN Ling, et al. Quality assessment of *Lilium davidii* var. *Willmottiae* (E. H. Wilson) Raffill from different places using sensory and chemical analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(7): 239-248.

收稿日期: 2024-05-08

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助(CARS-21); 甘肃省科技计划项目科技重大专项(23ZDFA013-1); 甘肃省科技计划项目科技特派团专项(23CXNA0042); 中国工程院战略研究与咨询项目(GS2021ZDA06); 兰州百合综合质量评价体系及质量标准的建立(2022KCZD-6); 中药保障与创新能力提升项目(甘中医药综函(2024)14号)

作者简介: 徐丽(1999-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 中药资源保护、评价与可持续利用研究, E-mail: 2024756481@qq.com

通讯作者: 朱田田(1983-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 中药资源评价与分子生物学研究, E-mail: ztt0935@163.com; 共同通讯作者:

晋玲(1974-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 中药资源开发与质量综合评价研究, E-mail: zyxyjl@163.com

Abstract: To investigate the quality differences among *Lilium davidii* var. *willmottiae* (E. H. Wilson) Raffill from different places of origin, the sensory scores of *L. davidii* var. *willmottiae* samples sourced from 13 different places were recorded, and the contents of soluble solids, moisture, sucrose, and other chemical components were determined. Subsequently, the sensory and chemical analysis results were statistically analyzed using Pearson correlation, principal component, and orthogonal-partial least squares discriminant analyses. The results show that the overall preference scores of the samples from Guanshan Township in Yongjing County and Xiguyuan Town in Qilihe District are the highest, at 4.25 and 3.93, respectively. The polysaccharide and total saponin contents in *L. davidii* var. *willmottiae* from Weiling Township in Qilihe District are higher, at 259.52 mg/g and 3.64 mg/g, respectively. The contents of soluble solids, sucrose, and starch in the samples from Chenjing Town (Nianjiwan Village) in Yongjing County are even higher, reaching up to 316.00, 654.63, and 425.37 mg/g, respectively. Sweetness, aroma, and crispness are positively correlated with the starch and sucrose contents, while bitterness and astringency are positively correlated with the total saponin content. The OPLS-DA results can distinguish *L. davidii* var. *willmottiae* samples of different origins. The cluster analysis results indicate that the quality of the samples from Agan Town of Qilihe District is considerably different from that of the samples sourced from other places. The comprehensive quality score of *L. davidii* var. *willmottiae* grown in Nanping Town in Lintao County is the highest (0.903). Sensory evaluation combined with chemical analysis is a new approach for evaluating the quality of *L. davidii* var. *willmottiae*, and these findings can serve as a reference for promoting cultivation and product development of *L. davidii* var. *willmottiae*.

Key words: *Lilium davidii* var. *willmottiae* (E. H. Wilson) Raffill; place of origin; sensory indicators; chemical indexes; comprehensive evaluation

兰州百合 (*Lilium davidii* var. *willmottiae* (E. H. Wilson) Raffill) 是百合科百合属川百合的一个变种, 其鳞茎洁白、肉质细腻, 是我国特有的“药食两用”甜百合^[1], 甘肃省兰州市七里河区为其核心产区, 甘肃省兰州市榆中县、定西市临洮县以及临夏回族自治州永靖县等地也均有种植^[2]。2020年版《甘肃中药材标准》中兰州百合主要作食用百合, 产地亦作药用, 其中含有丰富的淀粉、蛋白质、皂苷类和酚类等成分, 具有养阴清肺、补脾益胃之功效, 为食用百合之上品^[3,4]。随着生活水平的提高, 消费者对食品的感官品质与营养品质日益重视, 感官品质在一定程度上极大的影响消费者的喜爱程度, 感官评价能直观反应食品的性状优劣^[5], 具有简便、易操作等优点, 但依据单一的评价方法评价食品优劣仍具有片面性。

多元化综合评价是将物理、化学和生物等多个学科领域结合起来的一种评价方法, 具有更加准确和全面的优势, 现已广泛应用于玉米、木瓜、茶叶等作物中^[6-8]。目前市场上兰州百合的感官品质评价标准尚不完善, 相关研究表明兰州百合感官指标与化学指标之间存在显著相关性, 如苦味和脆度分

别与总皂苷、蔗糖的含量呈显著正相关, 但关于兰州百合品质综合评价的研究鲜有报道^[9]。因此, 本研究选取兰州市七里河区、榆中县, 定西市临洮县和临夏回族自治州永靖县种植区域较广的兰州百合为材料, 分析不同产地间兰州百合在感官上存在的差异; 结合化学成分含量检测并运用化学计量学的方法, 从而筛选出综合品质更加优良的兰州百合, 旨在为兰州百合的品质提升和规范化种植提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

兰州百合样品采集于甘肃省兰州市七里河区、榆中县, 定西市临洮县和临夏回族自治州永靖县共4个产区, 每个产区兰州百合栽培方式和生长年限相同, 采用五点取样法取样, 共计13个批次。经甘肃中医药大学中药资源教研室晋玲教授鉴定为百合科植物兰州百合 *Lilium davidii* var. *willmottiae* (E. H. Wilson) Raffill。不同产地兰州百合见图1, 采样信息及样品编号见表1。

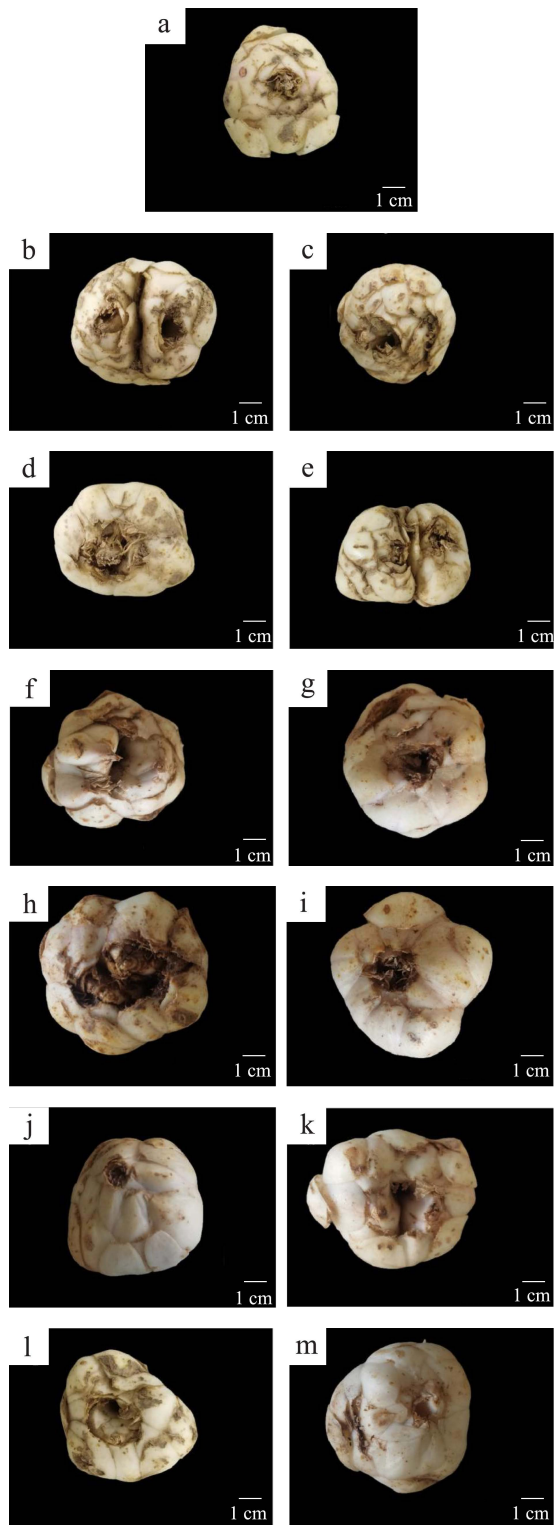


图 1 不同产地兰州百合样品图

Fig.1 Sample of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origin

注: (a)七里河区西果园镇; (b) 七里河区阿干镇; (c) 七里河区魏岭乡; (d) 榆中县上花岔乡; (e)榆中县园子岔乡; (f)榆中县哈岷乡; (g)临洮县太石镇; (h) 临洮县玉井镇; (i)临洮县南屏镇; (j)临洮县衙下集镇; (k)永靖县陈井镇 (年家湾村); (l)永靖县陈井镇 (仁和村); (m) 永靖县关山乡。

表 1 不同产地兰州百合样品信息				
Table 1 <i>L. davidii</i> var. <i>willmottiae</i> sample information of different origin				
样品 编号	地区	纬度	经度	海拔/ m
A	兰州市七里河区 西果园镇	35°94'6819"E	103°78'2097"N	1 850
B	兰州市七里河区 阿干镇	35°90'4079"E	103°84'6413"N	2 136
C	兰州市七里河区 魏岭乡	35°95'1412"E	103°83'5579"N	1 871
D	兰州市榆中县上 花岔乡	36°19'9192"E	104°39'8582"N	2 411
E	兰州市榆中县园 子岔乡	36°25'4932"E	104°43'7523"N	2 312
F	兰州市榆中县哈 岷乡	36°20'6581"E	104°32'4081"N	2 267
G	定西市临洮县太 石镇	35°66'2182"E	103°74'1943"N	2 732
H	定西市临洮县玉 井镇	35°29'0913"E	103°75'4189"N	2 061
I	定西市临洮县南 屏镇	35°21'7274"E	103°76'5152"N	2 479
J	定西市临洮县衙 下集镇	35°20'4311"E	103°87'2787"N	2 367
K	临夏回族自治州 永靖县陈井镇 (年家湾村)	36°04'8702"E	103°46'4981"N	2 331
L	临夏回族自治州 永靖县陈井镇 (仁和村)	36°05'4321"E	103°43'7088"N	1 905
M	临夏回族自治州 永靖县关山乡	36°00'2991"E	103°58'5541"N	2 412

1.2 实验方法

1.2.1 感官评价

对兰州百合样品开展感官评价, 筛选 20 位无色盲和色弱、无味觉和嗅觉减退或丧失症状、经常或偶尔生食兰州百合的评价员, 经过感官检验培训组成优选评价员小组, 进行喜欢度测试。对不同产地兰州百合进行随机编号。每轮呈递 1 种兰州百合样品。要求评价员按照先观察、再品尝的顺序对样品开展评价, 每轮评价结束后, 用清水清除口腔, 减少试验误差。对兰州百合的脆度 (5 分)、甜度 (5 分)、苦味 (5 分)、涩味 (5 分)、清香味 (5 分)、异味 (5 分)、总体喜欢度 (5 分)、色泽 (5 分) 和组织形态 (5 分) 进行评价, 将全部得分汇总求出平均值, 并根据评价结果分析优选评价员喜欢度。评价标准如表 2 所示^[10]。

表 2 不同产地兰州百合的感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of *L. davidii* var. *willmottiae* of different origins

指标	评分标准	评分
色泽	颜色洁白，有光泽，基本无斑痕	4~5
	颜色洁白，有光泽，有少量斑痕	3~4
	颜色较白，稍有光泽，较少斑痕	2~3
	颜色暗淡，无光泽，有很多斑痕	1~2
	颜色洁白，有光泽，基本无斑痕	4~5
组织形态	鳞叶肥厚饱满、基本无烂斑、伤斑、虫斑、黄锈斑	4~5
	鳞叶较肥厚饱满、有较少烂斑、伤斑、虫斑、黄锈斑	3~4
	鳞叶稍肥厚饱满、有较多烂斑、伤斑、虫斑、黄锈斑	2~3
	鳞叶扁平、有很多烂斑、伤斑、虫斑、黄锈斑	1~2
脆度	质硬，掰断有明显的断裂感	4~5
	质较硬，掰断有较明显的断裂感	3~4
	质较软，掰断没有明显断裂感	2~3
	质软，掰断没有断裂感	1~2
甜味	口感香甜	4~5
	口感较甜	3~4
	甜度适中	2~3
	微有甜味	1~2
苦味	有明显苦味	4~5
	有较明显苦味	3~4
	微有苦味	2~3
	没有苦味	1~2
涩味	有明显涩味	4~5
	有较明显涩味	3~4
	微有涩味	2~3
	没有涩味	1~2
清香味	有明显清香味	4~5
	有较明显清香味	3~4
	微有清香味	2~3
	没有清香味	1~2
异味	有明显异味	4~5
	有较明显异味	3~4
	微有异味	2~3
	没有异味	1~2
总体喜欢度	非常喜欢	4~5
	较喜欢	3~4
	一般	2~3
	不喜欢	1~2

1.2.2 化学评价

参照 2020 年版《中国药典》百合多糖的测定方法测定兰州百合中多糖的含量^[11]；按照香草醛-高氯酸显色反应法测定总皂苷的含量^[12]；参照福林-肖卡试剂法进行总多酚含量的测定^[13]；参照茚三酮比色法测定总氨基酸的含量^[14]；按照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法进行蛋白质的测定^[15]；参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行水分的测定^[16]；参照 GB 5009.8-2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》测定蔗糖的含量^[17]；淀粉含量测定按照淀粉含量检测试剂盒^[18]说明书进行操作；可溶性固形物的测定参照段艳军^[19]的方法。

1.2.3 数据处理

利用 Origin 2021 软件对测得的兰州百合中各化学成分进行含量柱状图、感官指标与化学成分相关性热图的绘制；应用 SIMCA 14.1 软件进行主成分分析、正交-偏最小二乘法判别分析和聚类分析；应用 SPSS Statistics 26 软件进行因子分析并构建兰州百合品质综合评价方程。

2 结果与分析

2.1 不同产地兰州百合的感官评价分析

2.1.1 不同产地兰州百合各感官品质喜好度分析

对不同产地兰州百合各感官指标得分绘制雷达图（图 2），结果表明其感官品质之间存在一定程度差异，七里河区西果园镇及永靖县关山乡样品甜味得分分别为 3.90 和 4.18，总体喜欢度得分为 3.93 和 4.25，较其他样品得分最高，苦味和涩味得分最低，表明其感官品质较好，与实际生活中消费者更优先选择七里河区的兰州百合这一现象相符；临洮县玉井镇样品苦味和涩味得分最高分别为 1.53 和 2.33，甜味和总体喜欢度得分最低，为 3.02 和 3.15；色泽、组织形态得分最高的样品分别为临洮县南屏镇（4.25）、衙下集镇（4.23）；榆中县上花岔乡样品最脆，评分为 4.26；七里河区西果园镇清香味最为明显；异味最小的样品为永靖县陈井镇（仁和村）。基于以上分析，兰州百合的甜味正向地主导了评价员的总体喜欢度，而苦味和涩味则对评价员的总体喜欢度产生了较大的负向影响。

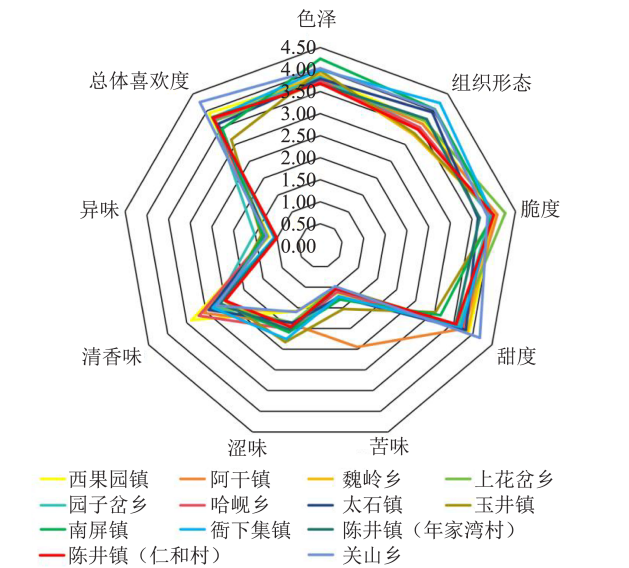


图 2 不同产地兰州百合的感官评价雷达图

Fig.2 Sensory evaluation of *L. davidii* var. *willmottiae* from different producing areas

2.1.2 兰州百合感官性状相关性分析

通过对不同产地兰州百合 9 项感官品质指标进行 Pearson 相关性分析 (图 3), 发现其脆度与苦味呈显著负相关; 甜味与涩味呈显著负相关, 与总体喜欢度呈显著正相关; 涩味与总体喜欢度呈显著负相关, 推测甜味和涩味是决定评价员进行总体喜欢度评分时的决定性因素, 甜味对总体喜欢度的影响是正向的, 苦味则会降低总体喜欢度的分值。

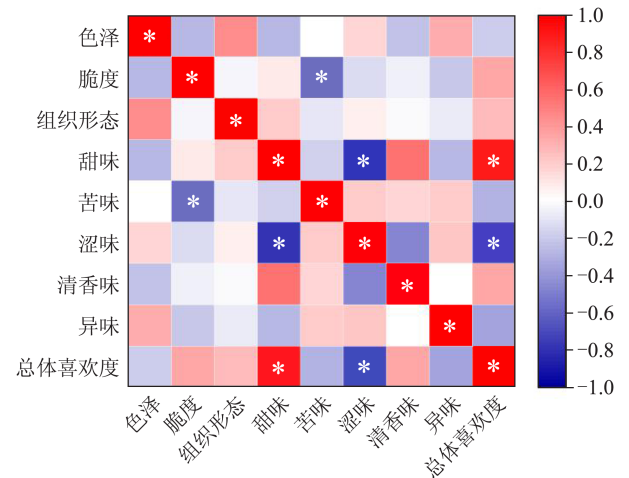


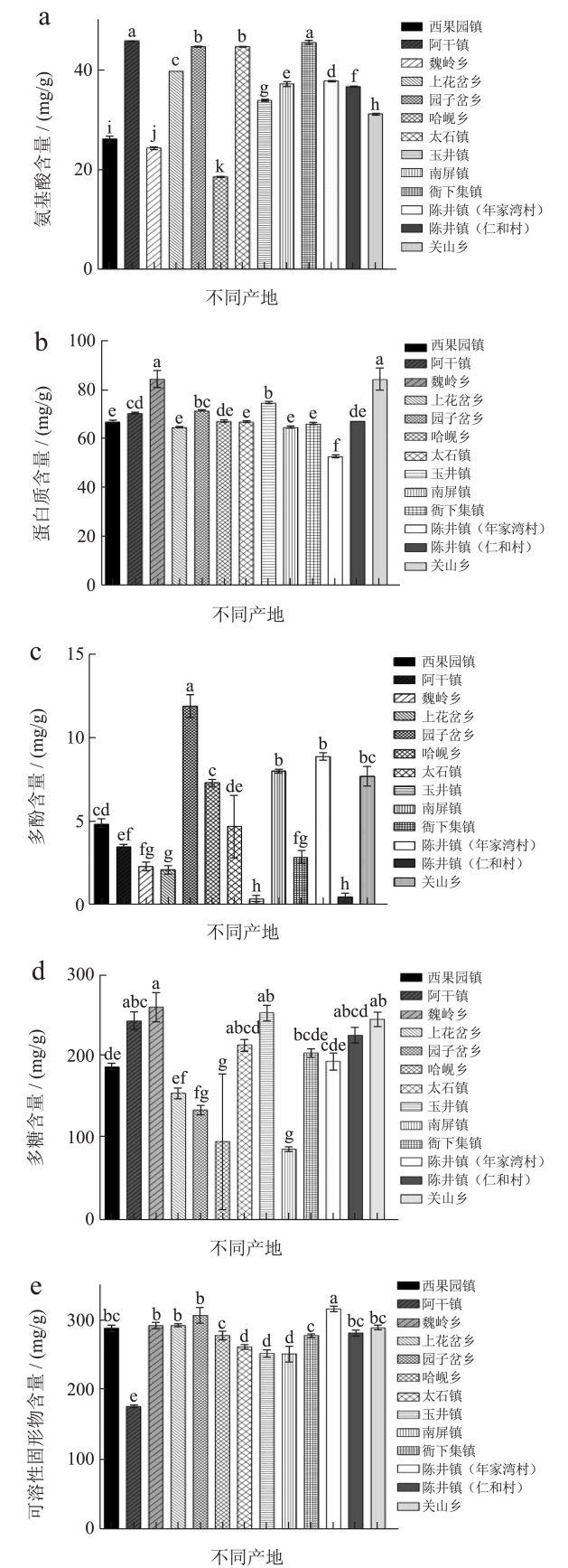
图 3 感官总评分与不同产地兰州百合各质量属性喜欢度相关性分析

Fig.3 Correlation analysis between total sensory scores and preferences for various quality attributes of *L. davidii* var. *willmottiae* of different origins

注: 红色代表正相关, 蓝色代表负相关, 颜色越深相关性越强; * $P < 0.05$ 。

2.2 不同产地兰州百合的化学成分含量分析

2.2.1 不同产地兰州百合的各化学指标含量分析



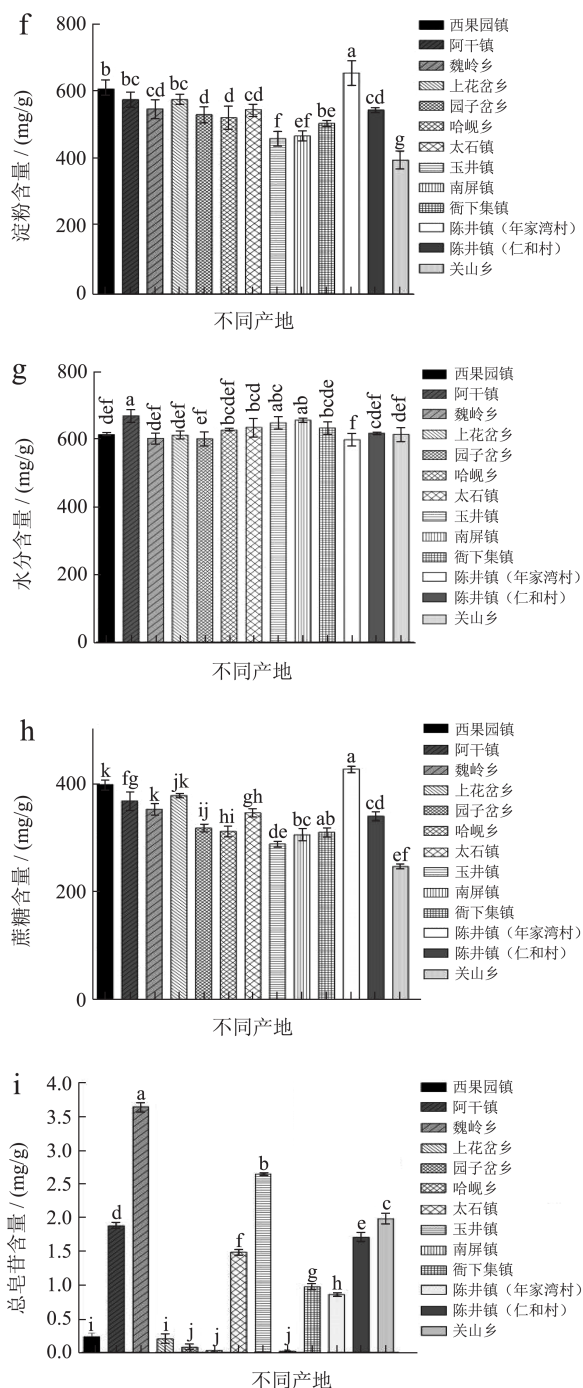


图4 不同产地兰州百合各化学指标的含量柱状图

Fig.4 Histograms of the contents of various chemical indicators of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins注: 不同字母表示 $P < 0.05$ 。

由图4可知, 氨基酸含量表现为七里河区阿干镇和临洮县衙下集镇含量最高, 分别为45.86和45.53 mg/g; 榆中县哈岷乡含量最低, 为18.58 mg/g。七里河区魏岭乡和永靖县关山乡的兰州百合蛋白质含量最高, 为84.41 mg/g和84.27 mg/g; 永靖县陈

井镇 (年家湾村) 的含量最低, 为52.69 mg/g。多酚含量最高的兰州百合产地为榆中县园子岔乡; 最低为临洮县玉井镇和永靖县陈井镇 (仁和村)。七里河区魏岭乡、临洮县玉井镇和永靖县关山乡的多糖含量最高, 分别为259.52、252.57和244.78 mg/g; 临洮县南屏镇所产兰州百合含量最低为86.22 mg/g。可溶性固形物在永靖县陈井镇 (年家湾村) 所产兰州百合中含量最高; 在七里河区阿干镇兰州百合中含量最低。淀粉和蔗糖含量表现为永靖县陈井镇 (年家湾村) 的兰州百合含量最高, 分别为654.63 mg/g和425.37 mg/g, 永靖县关山乡的兰州百合含量最低, 分别为396.64和245.69 mg/g。七里河区阿干镇的兰州百合水分含量最高, 为668.00 mg/g; 永靖县陈井镇 (年家湾村) 含量最低为579.90 mg/g。七里河区魏岭乡兰州百合总皂苷含量显著高于其他产地, 达3.64 mg/g; 榆中县哈岷乡和临洮县南屏镇含量最低为0.03和0.02 mg/g。综上, 七里河区魏岭乡兰州百合中多糖、总皂苷等药效成分含量较多, 而永靖县陈井镇 (年家湾村) 的样品中可溶性固形物、蔗糖和淀粉等营养成分较多, 本研究进一步验证了不同产地兰州百合中部分化学指标含量差异显著^[20]。

2.2.2 主成分分析

将13批样品的各化学指标含量导入SIMCA软件进行主成分分析, 以建立更加直观的模型来确定影响兰州百合质量的关键成分。结果如图5所示。

在所建立的主成分分析模型中可知, 前三个成分的总贡献率达到77.91%, 其中第一主成分贡献率为38.4%, 第二主成分贡献率为21.8%, 能够较好的代表整体数据。方差累计解释能力参数 R^2X 为0.684, 表示此模型取代了9个指标成分, 反映了样品的化学成分的参数信息; 可用于对样品进行分类; 预测能力参数 Q^2 (cum) 为0.184, 表示此模型有较好的预测能力。主成分分析得分图中, 每一个点代表一个样本, 点之间的距离代表它们之间的差异程度, 由PCA图可知, 七里河区阿干镇、榆中县上花岔乡、临洮县玉井镇、临洮县南屏镇、永靖县关山乡样品能够完全分开, 表明以上样品在所测成分上存在显著差异; 七里河区西果园镇和魏岭乡; 临洮县太石镇和衙下集镇, 榆中县哈岷乡, 永靖县陈井镇 (仁和村); 榆中县园子乡和永靖县陈井镇

(年家湾村)不能完全分开,说明这些产地所产兰州百合这些产区在化学成分含量上差异不大,该模型不能完全区分不同产地的兰州百合。

利用主成分分析法对不同产地的兰州百合样品化学指标成分进行因子提取,共提取了3个主成分(表3)。由表4所示,决定第一主成分大小的主要是总皂苷、多糖和水分含量,决定第二主成分大小的主要是可溶性固形物和蔗糖含量,决定第三主成分大小的主要是氨基酸含量。因此推测,以上6种成分是区分不同兰州百合样品的关键化学成分。

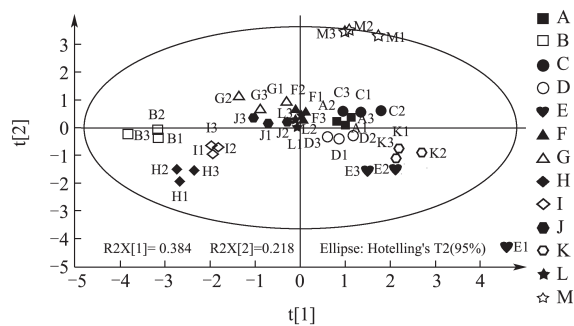


图5 不同产地兰州百合各化学指标含量测定的PCA图
Fig.5 PCA plots for the determination of the content of various chemical constituents of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins

注: A-七里河区西果园镇; B-七里河区阿干镇; C-七里河区魏岭乡; D-榆中县上花岔乡; E-榆中县园子岔乡; F-榆中县哈岷乡; G-临洮县太石镇; H-临洮县玉井镇; I-临洮县南屏镇; J-临洮县衙下集镇; K-永靖县陈井镇(年家湾村); L-永靖县陈井镇(仁和村); M-永靖县关山乡。

表3 不同产地兰州百合化学指标的特征值和方差贡献率
Table 3 Eigenvalues and variance contribution ratio of chemical composition indicators of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins

成分	初始特征值		
	总计	方差百分比	累积/%
1	3.459	38.436	38.436
2	1.964	21.826	60.263
3	1.588	17.647	77.909
4	0.666	7.401	85.310
5	0.568	6.314	91.625
6	0.343	3.815	95.440
7	0.215	2.388	97.828
8	0.148	1.644	99.472
9	0.047	0.528	100.000

表4 不同产地兰州百合化学成分的主成分载荷矩阵
Table 4 Principal component loading matrices of chemical constituents of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins

化学成分	主成分 1	主成分 2	主成分 3
氨基酸	-0.247	-0.074	-0.812
蛋白质	0.699	0.632	0.058
多酚	-0.263	-0.277	0.696
总皂苷	0.948	-0.009	-0.014
多糖	0.854	-0.153	-0.382
水分	0.904	0.057	-0.047
可溶性固形物	-0.364	0.802	-0.080
蔗糖	-0.179	-0.855	-0.088
淀粉	-0.258	0.172	0.705

2.3 不同产地兰州百合的综合评价
2.3.1 皮尔逊相关性分析

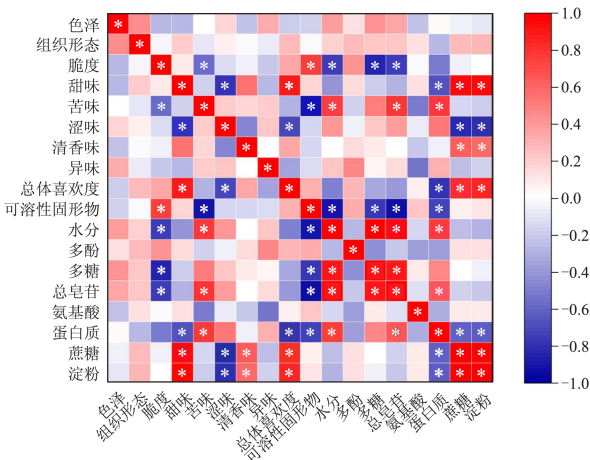


图6 不同产地兰州百合感官指标与化学成分的相关性分析热图
Fig.6 Correlation analysis between sensory indexes and chemical composition of lilies from different origins in *L. davidii* var. *willmottiae* heat map

注: 红色代表正相关, 蓝色代表负相关, 颜色越深相关性越强; **P*<0.05。

由图6可知,兰州百合的感官指标均与化学指标间具有明显的相关性,其中脆度与可溶性固形物含量呈显著正相关,与多糖、总皂苷和水分含量呈显著负相关;蔗糖、淀粉含量越多,兰州百合的甜味和清香味越明显,涩味越弱,而随着蛋白质含量的增多,甜味变淡;苦味与蛋白质、总皂苷和水分呈显著正相关,与可溶性固形物呈显著负相关。味甜、气清香、鳞叶脆的兰州百合中淀粉、蔗糖等营

养成分含量较高, 味苦、涩的兰州百合中总皂苷和氨基酸等药效成分含量较高, 这与不同规格兰州百合中的研究结果基本相符^[9], 因此, 感官评价可以作为一种简便、有效的方法对其所具有的营养价值和药效价值进行初步判断。

2.3.2 正交-偏最小二乘法判别分析

在 OPLS-DA 模型中 (图 7), R^2X 为 0.999, 表明模型对 X 变量的可解释率为 99.9%, R^2Y 值 0.989, 对 X 变量的可解释率为 98.9%; Q^2 为 0.956, 表明模型的预测能力为 95.6%, R^2Y 和 Q^2 都比较接近 1, 说明该模型效果较好。此外为了验证模型的可靠性, 采用 200 次置换检验评估该模型是否过拟合 (图 8), 结果表明该模型有效可靠。Loading 图中, 样品与测定指标的距离表示其之间的关系, 距离越近代表样品能够通过该指标与其他样品进行区分。西果园镇所产兰州百合与多酚、氨基酸和清香味距离较近; 阿干镇所产兰州百合与色泽、多糖和苦味距离较近; 魏岭乡、上花岔乡、园子岔乡、哈岷乡、陈井镇 (年家湾村) 和陈井镇 (仁和村) 所产兰州百合与多酚、氨基酸和淀粉距离较近; 太石镇和衙下集镇所产兰州百合与脆度和组织形态距离较近; 玉井镇所产兰州百合与涩味、蛋白质距离较近; 南屏镇样品与异味、脆度和色泽距离较近; 关山乡所产兰州百合与清香味、蔗糖和甜味距离较近, 表明以上样品可以通过临近的感官指标和化学指标与其他样品进行区分。

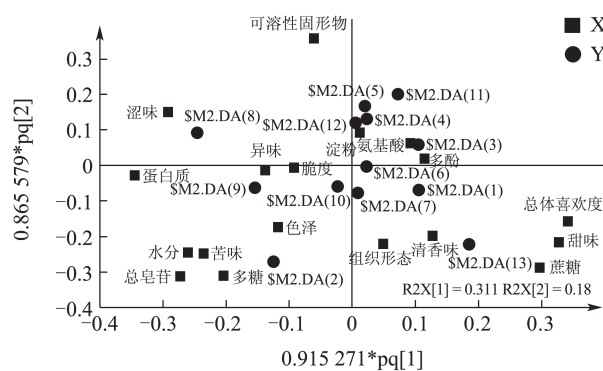


图 7 不同产地兰州百合 OPLS-DA 分析的 Loading 图

Fig.7 Loading plots of OPLS-DA analysis of *L. davidii* var. *willmottiae* of different origins

注: X- 感官指标与化学指标; Y- 不同产地的兰州百合样品; 1- 七里河区西果园镇; 2- 七里河区阿干镇; 3- 七里河区魏岭乡; 4- 榆中县上花岔乡; 5- 榆中县园子岔乡; 6- 榆中县哈岷乡; 7- 临洮县太石镇; 8- 临洮县玉井镇; 9- 临洮县南屏镇; 10- 临洮县衙下集镇; 11- 永靖县陈井镇 (年家湾村); 12- 永靖县陈井镇 (仁和村); 13- 永靖县关山乡。

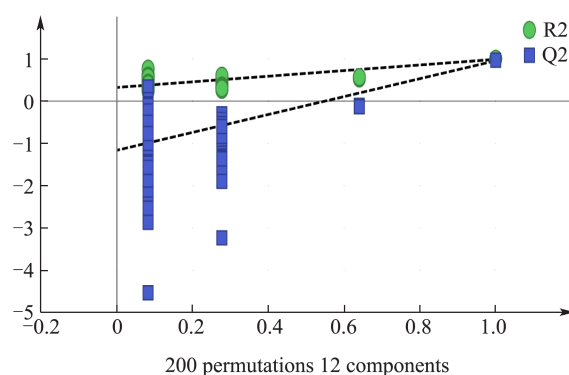


图 8 不同产地兰州百合的 200 次置换检验图

Fig.8 Plot of 200 substitution tests of *L. davidii* var. *willmottiae* of different origins

2.3.3 聚类分析

由图 9 可知, 在阈值为 1 时, 可以将 13 个产地的兰州百合分为十三类, 表明在阈值为 1 时, 13 个产地的兰州百合样品差异显著, 百合样品不能按照区、县聚到一起, 这可能是由于兰州百合生长的环境不同, 如光照、海拔、降水等所引起的^[21,22]。在阈值为 3.5 时, 可以将 13 个产地的兰州百合分为九类, 其中七里河区阿干镇为一类; 永靖县关山乡为一类; 榆中县园子岔乡为一类; 临洮县玉井镇为一类; 临洮县南屏镇为一类; 永靖县陈井镇(年家湾村)为一类; 临洮县衙下集镇为一类; 榆中县哈岷乡和临洮县太石镇为一类; 榆中县上花岔乡、永靖县陈井镇(仁和村)、七里河区魏岭乡和西果园镇为一类。在阈值为 4.5 时, 13 个产地的兰州百合分为四类, 七里河区阿干镇为一类; 永靖县关山乡为一类; 榆中县园子岔乡为一类; 临洮县玉井镇、南屏镇、衙下集镇和太石镇, 永靖县陈井镇(年家湾村)和陈井镇(仁和村), 榆中县哈岷乡和上花岔乡, 七里河区魏岭乡和西果园镇归为一类。在阈值为 5.77 时, 可以将不同产地的兰州百合样品分为两类, 其中阿干镇为一类, 剩余 12 个产地为一类。在阈值小于 5.77 时, 不论阈值为多少, 七里河区阿干镇的兰州百合都被归为单独的一类, 只有在阈值为 5.77 时, 才和其他 12 个产地的兰州百合归为一类, 由此可见, 七里河区阿干镇和其他 12 个产地的兰州百合具有较大的差异, 这与 PCA 和 OPLS-DA 分析中的结果一致。

2.3.4 综合评价方程

由表 4 可知, 特征值大于 1 的主成分有 5 个, 其中主成分 1 的特征值为 6.92, 贡献率为 38.44%; 主成分 2 的特征值为 3.93, 贡献率为 21.83%; 主成

分3的特征值为3.176,贡献率为17.65%;主成分4的特征值为1.332,贡献率为7.40%;主成分5的特征值为1.14,贡献率为6.31%,前五个主成分累计贡献率为91.63%,依据累计贡献率大于85.00%的原则,前5个主成分能代表兰州百合91.63%的信息,故认为原来的18个指标能够综合成5个主因子,作为评价兰州百合品质的主成分。

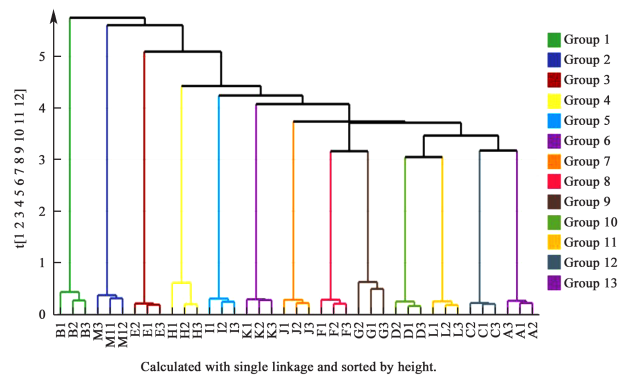


图9 不同产地兰州百合的聚类分析

Fig.9 Cluster analysis of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins

注:1-七里河区西果园镇;2-七里河区阿干镇;3-七里河区魏岭乡;4-榆中县上花岔乡;5-榆中县园子岔乡;6-榆中县哈岷乡;7-临洮县太石镇;8-临洮县玉井镇;9-临洮县南屏镇;10-临洮县衙下集镇;11-永靖县陈井镇(年家湾村);12-永靖县陈井镇(仁和村);13-永靖县关山乡。

由表5可知,F1、F2、F3、F4和F5为13份样品各组数据主成分值,以选定的五个主成分贡献率为权重构建主成分综合评价模型: $F=34.410/91.625\times F1+19.817/91.625\times F2+12.542/91.625\times F3+12.439/91.625\times F4+12.416/91.625\times F5$ 。根据该公式计算出13份兰州百合样品的综合得分(表6)。通过综合得分及排序情况可以看出,临洮县南屏镇所产兰州百合排名最靠前,其色泽、脆度得分较高,氨基酸、蛋白质、水分等成分含量较高;其次为临洮县玉井镇所产兰州百合,其苦味和涩味较其他样品明显,蛋白质、多糖、水分和总皂苷含量较高;榆中县哈岷乡所产兰州百合苦味较为明显,色泽得分较低,氨基酸、淀粉、多糖和水分含量较高;往后依次为永靖县陈井镇(仁和村)、七里河区阿干镇、临洮县太石镇和衙下集镇所产兰州百合,综合得分均为正值,表示南屏镇和玉井镇所产兰州百合的综合品质较好;七里河区西果园镇和魏岭乡、永靖县关山乡和陈井镇(年家湾村)、榆中县上花岔乡和园子岔乡所产兰州百合,综合得分均为负值,表示这六种

兰州百合在测量的多个指标中综合品质较差。

永靖县关山乡所产兰州百合甜味较强,苦涩味较弱,感官评价得分较高,可作为鲜食资源的备选,临洮县南屏镇、玉井镇、太石镇和衙下集镇,榆中县哈岷乡等新兴产区所产兰州百合质量也较优,可考虑扩大种植面积。不同产地兰州百合品质差异的成因与产地^[23]以及连作障碍有关,相关研究表明,兰州百合在8~10月总糖等物质含量变化轨迹和形成规律不同,因此其品质存在区域性差异^[24];在兰州百合的种植过程中会出现连作障碍,主要是土传病害、土壤养分失调和植物自身的自毒作用造成的^[25-27],临洮县南屏镇作为兰州百合的新兴产区,受到连作障碍的程度可能较七里河区小,由此推测,临洮县南屏镇所产兰州百合品质最好与生长环境与连作障碍有关。

表5 不同产地兰州百合的主成分特征值及贡献率

Table 5 Principal component eigenvalues and contributions of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins

	总计	方差百分比	累积/%
1	6.919	38.436	38.436
2	3.929	21.826	60.263
3	3.176	17.647	77.909
4	1.332	7.401	85.310
5	1.137	6.314	91.625

表6 不同产地兰州百合的主成分、综合得分

Table 6 Principal components and composite scores of *L. davidii* var. *willmottiae* from different origins

样品	F1	F2	F3	F4	F5	综合得分F值
1	-0.966	-0.624	-0.820	-1.593	-0.569	-0.903
2	1.822	-0.555	0.149	-1.513	-0.580	0.300
3	-1.559	-0.339	-0.306	0.043	-1.048	-0.687
4	-0.821	0.611	0.077	0.713	-0.913	-0.190
5	-0.997	0.602	1.236	-1.633	1.460	-0.097
6	0.268	0.185	-0.238	1.121	0.908	0.380
7	0.555	-0.205	-0.137	1.025	0.003	0.287
8	1.027	1.138	0.232	-0.504	-1.158	0.440
9	1.454	0.734	-0.104	0.213	1.348	0.903
10	0.225	-0.015	-0.189	0.164	-0.421	0.023
11	-1.161	0.953	-0.288	0.244	1.196	-0.077
12	-0.224	0.349	0.112	1.194	-1.004	0.033
13	-0.025	-2.835	0.274	0.525	0.780	-0.407

3 结论

本研究发现不同产地兰州百合的感官品质存在一定差异,甜味、苦味和涩味对总体喜欢度的影响最大,七里河区西果园镇及永靖县关山乡甜味和总体喜欢度评分最高。总皂苷、多糖、水分、可溶性固形物、蔗糖、氨基酸和淀粉等7种化学指标在不同产地的兰州百合中具有显著差异,其中七里河区魏岭乡兰州百合中多糖、总皂苷等药效成分含量较高,分别为259.52和3.64 mg/g;而营养成分如可溶性固形物、蔗糖和淀粉在永靖县陈井镇(年家湾村)的样品中含量较高,分别为316.00、654.63和425.37 mg/g。通过建立综合评价方程得出临洮县南屏镇所产兰州百合品质最佳,可考虑作为保健食品资源的备选。

通过建立“感官评价—化学评价—综合评价”的评价体系来进行不同产地兰州百合的品质分析,初步证实了感官指标与化学指标之间存在相关性,也证明了感官评价在实际生活中的应用价值。这不仅为兰州百合的品质评价提供了新的视角和方法,也进一步推动了食用百合产业的发展。后续可继续扩大样本量,结合智能感官技术(电子鼻和电子舌等)进行更全面的分析研究,以期为兰州百合品质评价、规范化种植提供参考。

参考文献

- [1] 李谋强,师桂英,叶树辉,等.基于ISSR分子标记数据的兰州百合核心种质构建方法研究[J].中国沙漠,2015,35(6):1573-1578.
- [2] WU Z J, XIE Z K, YANG L, et al. Identification of auto-toxins from root exudates of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. *unicolor*) [J]. Allelopathy Journal, 2015, 35(1): 35-48.
- [3] 罗耀华,王馨雨,陈晟,等.7种百合内外鳞片营养品质及抗氧化特性评价[J].食品工业科技,2021,42(24):247-255.
- [4] 吕志刚.农产品地理标志“兰州百合”产品品质鉴评与研究[J].甘肃农业,2020,1:118-119.
- [5] 朱美淋,张贞炜,余杰,等.基于质构仪TPA模式构建蛋白肠感官评分预测模型及应用[J].中国调味品,2024,49(4):44-49.
- [6] 王綦,程力,洪雁,等.鲜食糯玉米食用品质与淀粉性质的相关性研究[J].食品与生物技术学报,2023,42(12):43-52.
- [7] ZHOU ZW, BAR I, FORD R, et al. Sensory, and molecular evaluation of flavour and consumer acceptability in Australian *Papaya* (L.) varieties [J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(11): 6313.
- [8] 宋晓月,吴志锋,邱慕涛,等.不同年份武夷岩茶水仙主要滋味物质分析与感官评价[J].食品与机械,2024,40(6):170-175,191.
- [9] 徐丽,朱田田,晋玲,等.基于感官评价和化学计量学的兰州百合品质分析[J].食品工业科技,2024,45(18):219-227.
- [10] 耿浩然,纪旭阳,田泽宇,等.基于感官评价的以红枣膳食纤维为基料的代餐粉制备工艺[J].食品工业,2023,44(4):55-59.
- [11] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].一部.北京:中国医药科技出版社,2020.
- [12] 傅春燕,刘永辉,李明娟,等.百合总皂苷提取工艺及抗抑郁活性研究[J].天然产物研究与开发,2012,24(5):682-686.
- [13] 胡悦,杜运鹏,张梦,等.12种百合主要营养成分和活性成分的分析评价[J].天然产物研究与开发,2019,31(2):292-298.
- [14] 罗丹,姜敏,李柯翔,等.虫草花总黄酮、总氨基酸含量测定及其抗氧化活性研究[J].化学工程师,2020,34(9):18-21.
- [15] GB5009.5-2016,食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].
- [16] GB5009.3-2016,食品安全国家标准食品中水分的测定[S].
- [17] GB5009.8-2016,食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定[S].
- [18] LI Y Y, HE P L, WANG X W, et al. FGW1, a protein containing DUF630 and DUF632 domains, regulates grain size and filling in *Oryza sativa* L. [J]. The Crop Journal, 2023, 11: 1390-1400.
- [19] 段艳军,田春娇,朱英,等.不同取汁方法对枣果可溶性固形物含量测定的影响[J].中国南方果树,2022,51(6):218-220.
- [20] 卢堃,林玉红.兰州百合营养成分分析及产地差异研究[J].贵州农业科学,2023,51(11):55-67.
- [21] BENNIE J, HUNTLE B, WILTSHIRE A, et al. Slope, aspect and climate: spatially explicit and implicit-model of topographic microclimate in chalk grassland [J]. Ecological Modelling, 2008, 216: 47-59.
- [22] FU B P. The effects of topography and elevation on precipitation [J]. Journal of Geographical Sciences, 1992, 47(4): 302-314.
- [23] 尚永强,王显灵,吴兴波,等.不同海拔高度和秸秆覆盖量对兰州百合生长和产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2022,57(1):66-73,82.
- [24] 林玉红.甘肃不同种植区兰州食用百合总糖与粗纤维含量的变化规律[J].贵州农业科学,2019,47(11):95-98.
- [25] 黄钰芳,张恩和,张新慧,等.兰州百合不同连作年限土壤中化感物质的检测及其自毒效应的研究[J].干旱地区农业研究,2021,39(2):62-68,94.
- [26] 师桂英,孙鸿强,于彦琳,等.连作栽培对兰州百合(*Lilium davidii* var. *unicolor*)叶片PS II 光化学效率和抗氧化作用的影响[J].中国沙漠,2020,40(2):206-213.
- [27] 黄钰芳.兰州百合连作障碍中自毒作用的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2019.