DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.03.008
文献引用：饶宁，靳磊，马红义，等．不同钾离子浓度对兰州百合鳞茎中次生代谢物积累的影响[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2025，46（3）：53-58. RAO N，JIN L，MA H Y，et al. Effect of different potassium ion concentrations on the accumulation of secondary metabolites in *Lilium davidli* var. *unicolor* bulbs[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2025，46（3）：53-58.

不同钾离子浓度对兰州百合鳞茎中次生代谢物积累的影响*

饶　宁[1]，靳　磊[2]，马红义[2,3]，苏　慧[2,3**]

（1. 宁夏哈巴湖国家级自然保护区管理局，宁夏 吴忠　751500；2. 宁夏大学林业与草业学院，宁夏 银川　750021；3. 宁夏大学葡萄酒与园艺学院，宁夏 银川　750021）

摘要：为探究施钾对兰州百合（*Lilium davidii* var. *unicolor*）鳞茎活性物质积累的影响，本文温室盆栽兰州百合鳞茎，通过固定氮和磷肥的用量，以不同用量的钾肥培育百合幼苗，采用福林酚法、氯化铝比色法、香草醛比色法和硫酸-苯酚法测定施加不同质量浓度K^+时，兰州百合不同生长时期鳞茎中总酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖的含量变化，实验分为空白组、实验1~3组，对应K^+质量浓度为0、447.6、671.4和895.2 mg/L。结果表明：从整体趋势看，鳞茎中活性物质的含量总体呈波浪形变化。与空白组相比，实验3组兰州百合鳞茎中总酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖的含量显著提高了16%、35%、219%和69%（t=0.017、0.032、0.035和92.111，P<0.05）；隶属函数分析结果表明实验3组处理后兰州百合生长效果最佳。该结论可为兰州百合合理施肥和优质栽培提供理论依据。

关键词：兰州百合；鳞茎；钾肥；活性物质
中图分类号：S682.29；Q493　　**文献标志码**：A

Effect of different potassium ion concentrations on the accumulation of secondary metabolites in *Lilium davidli* var. *unicolor* bulbs*

RAO Ning[1]，JIN Lei[2]，MA Hongyi[2,3]，SU Hui[2,3**]

（1. Ningxia Haba Lake National Nature Reserve Administration Bureau，Wuzhong Ningxia 751500；2. School of Forestry and Prataculture，Ningxia University，Yinchuan Ningxia 750021；3. School of Enology and Horticulture，Ningxia University，Yinchuan Ningxia　750021）

Abstract：To investigate the effect of potassium application on the accumulation of active substances in lily of Lanzhou（*Lilium davidii* var.*unicolor*）bulbs，in this paper，potted lily of Lanzhou bulbs was grown in greenhouses，by fixing the amount of nitrogen and phosphorus fertilizers and growing lily seedlings with different amounts of potassium fertilizers，the content changes of total phenols，total flavonoids，total flavanols and polysaccharides in the bulb of Lanzhou lily at different growth periods

收稿日期：2023-03-27
*宁夏回族自治区重点研发项目（2021BBF02025）
**通信作者：m18152591753@163.com

when applied different mass concentration of K^+ were determined by the forinol, aluminium chloride colorimetric, vanillin colorimetric and sulphuric acid-phenol methods. The test groups included blank group and test groups 1 to 3, corresponding to K^+ mass concentrations of 0, 447.6, 671.4 and 895.2 mg/L. The results showed that: the overall trend showed an overall wavy variation in the active substance content of the bulbs. Compared with the blank group, the total phenolic, total flavonoid, total flavanol and polysaccharide contents in the Lanzhou lily bulbs of the test 3 groups were significantly increased by 16%, 35%, 219% and 69% (t=0.017, 0.032, 0.035, 92.111, P<0.05). The results of the affiliation function analysis showed that the best results were obtained after the treatment of the three test groups. The findings can provide a theoretical basis for rational fertilization and quality cultivation of lily in Lanzhou.

Keywords: *Lilium davidli* var. *unicolor*; bulbs; potash fertilizer; active substances

CLC: S682.29; Q493 **DC**: A

0 引 言

兰州百合(*Lilium davidii* var. *unicolor*)是川百合的一个大变种,属于多年生鳞茎草本植物,是我国特有的"药食同源"甜百合,是甘肃省极具地方特色的有名蔬菜,被誉为"蔬菜人参"[1]。兰州百合既富含矿物质元素钙和蔗糖等营养物质,有清心宁神、润肺止咳之功效,可用于清肺热、治疗阴虚久咳和失眠多梦等疾病[2-4];又富含总酚、总黄烷醇、总黄酮和多糖等活性物质,这些营养物质和活性物质决定了百合具有良好的药用价值、食用品质和开发价值[5-6]。

作为药食兼用的兰州百合,近年来随着栽培面积的扩张、种性退化和品质下降,导致其活性成分积累受限,影响了食用和药用特性[7-8],所以,改善兰州百合药食品质的重要途径是提高其活性物质含量。钾是影响植物产量和果实品质的重要营养元素,人们对钾在植物生长、代谢功能、抗逆性和高效农业中重要性的认识不断提高,目前与钾相关的研究也在不断地发展[9]。Andrei和Alexei[10]分析了施钾对苹果(*Malus domestica Borkh.*)的影响,结果表明均衡施钾不仅有利于树木的生长发育,也有利于果实产量的大小和品质,同时,在生长季节,苹果植物对钾的需求随着物候阶段的进展而变化;Xi等[11]通过文献查阅获得了518份茶叶(*Camellia sinensis L.*)不施钾肥与施钾肥生产力的比较,表明钾肥施用量和土壤速效钾含量对茶叶产量和综合品质有显著正向影响,提高了茶叶产量及品质;林玉红[12]分析了钾肥用量对1~3年生兰州百合生长、养分吸收累积及品质方面的影响,表明施钾肥后兰州百合产量均比上一年有大幅提高,但钾肥量不同时年增产幅度不同,以2年生兰州百合年产增长幅度最大,同时适当施钾肥不仅能提高百合产量,还能改善其品质;王云霞等[13]探明了钾素与渥丹百合生长发育及鳞茎活性成分积累的关系,表明施钾也可以促进渥丹百合(*Lilium concolor*)活性物质的积累,渥丹百合不同时期活性物质的积累量随施钾量的增加而增加。目前对百合的大部分研究主要集中于生产、药用价值及养分吸收规律等方面[14-15],但关于施钾对兰州百合植株生长过程中各器官活性物质的积累规律研究还鲜有报道。因此,本研究以兰州百合鳞茎为对象,在整个生育期对施钾肥后鳞茎中总酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖含量进行测定,以及为了克服单一指标评价结果的片面性,综合评价不同质量浓度K^+处理后兰州百合鳞茎活性物质的变化,探究其鳞茎中活性物质的积累规律,为兰州百合的施肥管理和品质提升提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验区概况

实验地位于宁夏大学文萃校区大学生农科实践培训基地。地处宁夏大学文萃校区北门对面,基地占地面积约826 km^2。温室内平均温度24 ℃,每天自然光照时间>10 h。夏季,当温度>30 ℃时,将使用风扇、通风窗、遮阳和地下水喷雾等措施来降温;冬季,最低夜间温度>5 ℃,相对空气湿度约为65.0%~75.0%。

1.2 试剂和材料

Hoagland营养液、氮肥、磷肥、基质、91.7%芦丁对照品、91.5%没食子酸对照品、5.0%$NaNO_2$溶液、5.0%苯酚溶液、分析纯NaOH固体、分析纯CH_3OH、

10.0%香草醛乙醇溶液、98.0%齐墩果酸对照品、10.0%$AlCl_3$溶液、98.0%无水葡萄糖对照品、分析纯蒽酮乙酸乙酯、分析纯98.0%浓硫酸、98.0%无水蔗糖对照品等均购自赛乐欣(宁夏)生物技术有限公司;蒽酮试剂盒均购自北京索莱宝科技有限公司。实验用水均为去离子水。

供试材料为购自兰州市桐顺源农业发展有限公司兰州百合种球,其周径12~13 cm。

1.3　仪器

采用上海尤尼柯仪器有限公司生产的UV-4803型号紫外-可见分光光度计测量样品最大吸光度;采用南通三思机电科技有限公司的HHS-8型水浴锅溶解样品;采用上海一恒科学仪器有限公司生产的DHG-9620A型电热鼓风干燥箱烘干样品;采用深圳福洋科技集团有限公司生产的F-060SD型超声波清洗机提取兰州百合鳞茎提取液,超声功率为100 Hz;采用湖南湘鑫仪器仪表有限公司的TGL-20M/TGL-20MC型离心机分离液体溶液;采用南通三思机电科技有限公司的MB-2000H750型可移动苗床放置塑料花盆;采用杭州华日电冰箱有限公司的BL-200SM200L型冰箱储存样品;采用上海尤尼柯仪器有限公司生产的JA2003N型天平称量样品。

1.4　分组

选用20 cm×20 cm的塑料花盆,每盆钵内装3 kg基质,栽种1个种球,深度约10 cm,并做好标记,在可移动苗床上摆放整齐,3~5 d浇水1次。百合幼苗期(高约20 cm)浇灌营养液,每盆浇灌2次,共计400 mL。采用单因素完全随机区组实验,在Hoagland营养液的基础上,固定N和P元素用量,以不同质量浓度的钾肥培育百合幼苗,分为空白组、实验1~3组,对应分别浇灌不含K^+营养液、标准Hoagland营养液、1.5倍Hoagland营养液以及2.0倍Hoagland营养液,即K^+质量浓度对应为0、447.6、671.4和895.2 mg/L。每盆除钾肥营养液不同外,浇水和光照等日常管理措施一致。每组重复3次,每次重复20盆,共计240盆。

1.5　兰州百合提取液的制备

每隔15 d取不同组的兰州百合鳞茎,用蒸馏水洗净后,在烘箱中50 ℃烘干后打磨机粉碎,过筛后备用,连续测量135 d。称取100 mg粉碎后的兰州百合鳞茎放到15 mL离心管中,加入10.0 mL甲醇,封口后,50 ℃超声提取30 min,取出后低温离心,离心温度为4 ℃、离心速度为12 000 r/min、离心半径为8 cm、离心10 min,取上清液,避光低温保存,用于活性物质的测定[16]。

1.6　活性物质含量测定

采用福林-肖卡法测量总酚[17],结果表示为每克干粉中含有的没食子酸质量(mg/g);采用$NaNO_2$-$AlCl_3$法测量总黄酮[18],结果表示为每克干粉中含有的芦丁质量(mg/g);用香草醛比色法测量总黄烷醇[19],结果表示为每克干粉中存在的儿茶素(mg/g);采用硫酸-苯酚法测量多糖[20],结果表示为每克干粉中含有的葡萄糖质量(mg/g)。

1.7　综合评价

为了克服单一指标评价结果的片面性,通过隶属函数综合评价不同质量浓度K^+处理后兰州百合鳞茎活性物质的含量变化,用来综合反映结果的准确性。隶属函数计算公式为

$$R(i)=(w_i-w_{i,\min})/(w_{i,\max}-w_{i,\min}),$$

式中:$R(i)$为第i个活性物质的测定值,其值越大,表明兰州百合鳞茎中活性物质的整体含量越高;w_i为第i个活性物质的测定值,i=1、2、3和4,分别对应总多酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖的含量,单位为mg/g;$w_{i,\max}$和$w_{i,\min}$分别为对第i个活性物质测定含量的最大和最小值,单位为mg/g。

1.8　数据分析

数据以$\bar{x}\pm s$表示。采用数据处理系统(data processing system,DPS)软件处理数据,统计分析采用SPSS 20.0,利用单因素方差分析(ANOVA)和多重比较(Duncan)分析差异显著性。P<0.05表示差异有显著性。

2　实验结果

2.1　总酚含量

不同质量浓度K^+处理后兰州百合鳞茎中总酚含量的变化如表1所示。兰州百合鳞茎提取物总酚含量变化范围为(0.092±0.001)~(1.168±0.023)mg/g。从整体趋势看,鳞茎中总酚含量总体变化呈先升高、然后降低、再升高、再迅速降低。空白组、实验1~3组分别在第60、60、75和120天时总酚含量达到最高,对应为(1.168±0.023)、(1.103±0.090)、(1.040±0.058)和(1.007±0.022)mg/g。与空白组相比,实验2组兰州百合鳞茎中总酚含量在第135天时降低了14%(t=−0.015,P<0.05),实验3组兰州百合鳞茎中总酚含量同期提高了16%(t=0.017,P<0.05)。

2.2 总黄酮含量

不同质量浓度K^+处理后兰州百合鳞茎中总黄酮含量的变化如表1所示。兰州百合鳞茎提取物总黄酮含量整体变化范围为(0.008±0.006)~(0.194±0.015)mg/g。从整体趋势看,鳞茎中总黄酮含量总体呈波浪形变化。空白组、实验1~3组分别90、60、90和135 d时总黄酮含量达到最高,对应为(0.194±0.015)、(0.138±0.031)、(0.174±0.028)和(0.143±0.014)mg/g。与空白组相比,第135天时,实验3组兰州百合鳞茎中总黄酮含量显著提高了35%(t=0.032,P<0.05)。

2.3 总黄烷醇含量

不同质量浓度K^+处理后兰州百合鳞茎中总黄烷醇含量的变化如表2所示。兰州百合鳞茎提取物总黄烷醇含量整体变化范围为(0.007±0.006)~(0.123±0.015)mg/g。从整体趋势看,鳞茎中总黄烷醇含量总体呈波浪形变化。空白组、实验1~3组分别第75、15、15和45天时总黄烷醇含量最高,对应为(0.048±0.013)、(0.123±0.015)、(0.106±0.020)和(0.063±0.018)mg/g。与空白组相比,第135天时,实验3组兰州百合鳞茎中总黄烷醇含量显著提高了219%(t=0.035,P<0.05)。

2.4 多糖含量

不同质量浓度K^+处理对兰州百合鳞茎中多糖含量的变化如表2所示。兰州百合鳞茎提取物多糖含量整体变化范围为(97.872±2.805)~(813.389±60.802)mg/g。从整体趋势看,鳞茎中总多糖含量总体呈波浪形变化。空白组、实验1~3组分别在第45、30、45和45天时多糖含量最高,对应为(813.389±60.802)、(650.476±40.244)、(742.944±42.044)和(684.462±63.491)mg/g。与空白组相比,第135天时,实验2和3组兰州百合鳞茎中多糖含量分别显著提高了39%和69%(t=52.383、92.111,P<0.05)。

2.5 综合评价

不同组兰州百合鳞茎中活性物质的隶属函数值结果列于表3。空白组、实验1~3组的隶属函数值分别为0.164、0.194、0.275和1.000,其中实验3组综合隶属函数值最高;按照隶属函数值从大到小排序为实验3组、实验2组、实验1组和空白组,可知实验3组兰州百合鳞茎中活性物质综合含量最高。

表1 不同组兰州百合鳞茎中总酚和总黄酮的含量变化趋势 单位:mg/g

时间/d	总酚				总黄酮			
	空白组	实验1组	实验2组	实验3组	空白组	实验1组	实验2组	实验3组
15	0.677±0.017	0.627±0.012	0.719±0.064	0.733±0.060	0.025±0.013	0.024±0.009	0.017±0.006	0.021±0.015
30	0.773±0.054	0.832±0.031	0.996±0.133	0.799±0.005	0.025±0.006	0.037±0.001	0.008±0.006	0.019±0.013
45	0.913±0.004	1.092±0.161	0.936±0.037	0.888±0.010	0.025±0.004	0.091±0.026	0.058±0.015	0.043±0.013
60	1.168±0.023	1.103±0.090	0.904±0.029	0.976±0.020	0.081±0.007	0.138±0.031	0.079±0.008	0.053±0.012
75	1.003±0.059	0.906±0.042	1.040±0.058	0.985±0.045	0.143±0.017	0.122±0.028	0.154±0.020	0.095±0.002
90	1.132±0.051	0.972±0.019	1.000±0.066	0.938±0.015	0.194±0.015	0.110±0.009	0.174±0.028	0.142±0.009
105	1.025±0.042	0.864±00.021	0.812±0.040	0.950±0.011	0.124±0.007	0.087±0.015	0.122±0.009	0.105±0.011
120	1.132±0.014	0.955±0.008	0.986±0.018	1.007±0.022	0.177±0.011	0.060±0.011	0.099±0.004	0.111±0.006
135	0.107±0.004	0.108±0.004	0.092±0.001[a]	0.124±0.004[a]	0.106±0.010	0.114±0.006	0.099±0.009	0.143±0.014[b]

注:与空白组相比,[a]t=−0.015、0.017,P<0.05;[b]t=0.032,P<0.05。

表2 不同组兰州百合鳞茎中总黄烷醇和多糖的含量变化趋势 单位:mg/g

时间/d	总黄烷醇				多糖			
	空白组	实验1组	实验2组	实验3组	空白组	实验1组	实验2组	实验3组
15	0.038±0.006	0.123±0.015	0.106±0.020	0.044±0.006	443.085±28.294	498.551±79.045	488.599±35.971	654.271±48.495
30	0.020±0.004	0.037±0.002	0.033±0.011	0.012±0.002	678.273±131.567	650.476±40.244	715.268±64.784	532.320±62.316
45	0.031±0.006	0.065±0.010	0.080±0.020	0.063±0.018	813.389±60.802	577.811±6.053	742.944±42.044	684.462±63.491
60	0.011±0.005	0.007±0.006	0.009±0.006	0.033±0.013	503.169±13.982	330.551±30.218	363.646±20.669	399.865±19.338
75	0.048±0.013	0.039±0.006	0.042±0.002	0.050±0.009	192.183±13.463	148.746±10.949	214.919±15.277	230.619±58.460
90	0.020±0.004	0.051±0.019	0.040±0.013	0.023±0.004	131.316±8.051	300.701±6.940	144.810±3.577	179.861±26.868
105	0.020±0.006	0.025±0.006	0.023±0.009	0.022±0.006	219.672±7.806	222.191±2.675	228.375±14.483	180.660±11.082
120	0.027±0.008	0.018±0.006	0.011±0.004	0.011±0.004	97.872±2.805	190.436±11.864	234.458±28.983	201.418±6.889
135	0.016±0.002	0.027±0.007	0.029±0.009	0.051±0.012[a]	133.810±14.762	132.347±12.822	186.193±18.378[b]	225.922±14.942[b]

注:与空白组相比,[a]t=0.035,P<0.05;[b]t=52.383、92.111,P<0.05。

表3　不同组兰州百合鳞茎中活性物质综合评价

组名	总酚	总黄酮	总黄烷醇	多糖	隶属函数值	评价排序
空白组	0.460	0.181	0.000	0.016	0.164	4
实验1组	0.465	0.000	0.313	0.000	0.194	3
实验2组	0.000	0.148	0.375	0.575	0.275	2
实验3组	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1

3　讨　论

兰州百合因其含有总酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖等活性成分,其药用价值不可低估,具有显著的抗肿瘤[21]、抗氧化[22]和降血糖[23]等作用,被广泛应用于食品、保健等领域。营养物质会影响药用植物成分含量,营养元素不仅影响药用植物初生代谢产物的合成,而且在生物活性成分的合成与积累中发挥着重要作用,而药食兼用的百合鳞茎中主要活性成分,是决定其药用价值的关键物质[24]。植物正常生长发育的关键是必须要有丰富的营养,通过氮、磷、钾3种养分的平衡施用,能够促进植物生长,在一定程度上促进兰州百合生长发育,还可以增加活性物质的积累在兰州百合的鳞茎中[25]。研究施K^+后不同采样时期兰州百合鳞茎中活性物质(总酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖)的积累规律,可为兰州百合活性物质积累提供一定的基础数据。研究结果表明,从整体趋势看,鳞茎中总酚、总黄酮、总黄烷醇和多糖含量总体呈波浪形变化。与空白组相比,施钾可以促进兰州百合鳞茎中活性物质的含量,即在收获期:实验3组总酚含量最多,为(0.124±0.004)mg/g,是空白组处理总酚含量的1.2倍;总黄酮含量为(0.143±0.014)mg/g,是空白组总黄酮含量的1.3倍;总黄烷醇含量为(0.051±0.012)mg/g,是空白组总黄烷醇含量的3.2倍;多糖含量为(225.922±14.942)mg/g,是空白组多糖含量的1.7倍。这说明多酚类物质的积累需要适量的施肥,施肥过多或过少都不利于兰州百合酚类物质的积累,这与川泽泻(*Alisma plantago-aquatica* Linn.)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)等药用植物的需肥规律一致[26-27]。同时,在第135天(收获期),随着兰州百合鳞茎的成熟,总酚含量突降,这与梨(*Pyrus* spp.)、苹果(*Malus* × *domestica* Borkh.)等其他品种中的研究结果一致[28-29],可能是由于随着百合鳞茎的成熟,稀释效应明显增强,口感变甜,酚类物质含量在稀释作用下迅速降低[30]。

多酚类化合物(主要为总酚、黄酮和黄烷醇等)存在于植物的各个器官中,种类繁多、结构庞大,具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤等[31]多种生理活性。Wang等[32]表明类多酚类物质是百合鳞茎中的主要成分,并且百合的药理作用也与其密切相关[33]。本研究表明整个生育期施钾处理均可提高兰州百合鳞茎多酚类物质含量的积累,并以实验3组(895.2 mg/L)处理效果最佳。因此,百合鳞茎样品中的多酚类物质含量在某种程度上揭示了兰州百合鳞茎可以作为一种天然的抗氧化剂来源。兰州百合活性物质分布于整个植株中,施钾后生育前期的活性物质含量高于生育后期,这与施肥对卷丹百合生长发育的研究结果相似[34],施肥前期各器官中总酚、总黄酮、多糖和皂甙积累最多,施肥后期活性物质的含量开始下降,但鳞茎作为主要食用器官,考虑其种植效益,在收获期中,将不同组兰州百合鳞茎中活性物质的隶属函数进行分析,实验3组处理活性物质含量最高。

4　结束语

本研究利用不同质量浓度的钾离子对兰州百合鳞茎中次生代谢物积累的影响,证明适度施肥有利于兰州百合酚类物质的积累,能增加兰州百合鳞茎中活性物质的含量,研究结果可为兰州百合的施肥管理和品质提高提供理论依据,但与影响百合鳞茎活性物质的钾肥调控相关的基因还未得到研究,因此,今后可以进行进一步的测定,如转录组学研究等,为科学施肥提供依据。

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] ZHOU Z L, FENG Z C, FU C Y, et al. Steroidal and phenolic glycosides from the bulbs of lilium pumilum DC and their potential Na^+/K^+ ATPase inhibitory activity [J]. Molecules, 2012, 17(9): 10494-10502.

[3] 李伟绮,林玉红,孙建好,等.兰州百合优势种植区百合经济效益调查[J].北方园艺,2012(4):188-190.

[4] 李红娟,牛立新,李章念,等.两种食用百合鳞茎营养成分和活性物质分析及抑菌性[J].营养学报,2007(2):204-205.

[5] 胡敏敏,蔡宝昌,张志杰,等.百合多糖的药效研究[J].中药新药与临床药理,2007,18(2):101-102.

[6] LI W M, WANG Y J, WEI H L, et al. Structural characterization of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var.

unicolor) polysaccharides and determination of their associated antioxidant activity[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(15): 5603-5616.
[7] 雷美艳,杨利平,杨天建.卷丹多倍体新品种'渝百合1号'的培育[J].分子植物育种,2020,18(14):4714-4724.
[8] 李琦.钾肥与有机肥配施对食用百合土壤酶活性、土壤养分及产量的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
[9] MAREK S, ALES S, EDITA T. Potassium in root growth and development[J]. Plants,2019,8(10):435.
[10] ANDREI K, ALEXEI S. Essential role of potassium in apple and its implications for management of orchard fertilization[J]. Plants,2021,10(12):2624.
[11] XI S, CHU H Y, ZHOU Z J, et al. Effect of potassium fertilizer on tea yield and quality: a meta-analysis [J].European Journal of Agronomy,2023,144:126767.
[12] 林玉红.钾肥施用量对兰州百合生长、养分吸收及品质的影响[J].草业学报,2012,21(1):141-148.
[13] 王云霞,张萍,葛蓓蕾,等.渥丹百合农艺性状及活性成分对钾元素的响应[J].草业学报,2021,30(6):205-213.
[14] 余信,何美云,路登宇,等.食用百合高效生态栽培技术[J].农业技术与装备,2020(3):145-146.
[15] 林玉红.兰州食用百合生长发育及氮磷钾素养分吸收累积与分配规律研究[J].甘肃农业科技,2019(12):8-18.
[16] 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.
[17] CHEN F, HUANG G L. Antioxidant activity of polysaccharides from different sources of ginseng[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019,125(3):906-908.
[18] XU Y, FAN M T, RAN J J, et al. Variation in phenolic compounds and antioxidant activity in apple seeds of seven cultivars[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2016,23(3):379-388.
[19] GHOLIZADEH-MOGHADAM N, HOSSEINI B, ALIREZALU A. Classification of barberry genotypes by multivariate analysis of biochemical constituents and HPLC profiles[J]. Phytochemical Analysis, 2019, 30(4):385-394.
[20] SARKER U, OHA S. Augmentation of leaf color parameters, pigments, vitamins, phenolic acids, flavonoids and antioxidant activity in selected Amaranthus tricolor undersalinity stress[J]. Scientific Reports,2018,8(1):324-349.
[21] 侯进,朱永香,李宇,等.百合多糖与二甲双胍联用对人类肝癌细胞HepG2株抑制作用[J].辽宁中医药大学学报,2017,19(6):30-32.
[22] 袁泽玥,张典,崔迎春.百合多糖的药理作用研究进展[J].科学技术创新,2020(15):25-26.
[23] GUO Q W, CHEN Z Q, SANTHANAM R K, et al. Hypoglycemic effects of polysaccharides from corn silk (Maydis stigma) and their beneficial roles via regulating the PI3K/Akt signaling pathway in L6 skeletal muscle myotubes [J]. International Journal of Biological Macromolecules,2019(121):981-988.
[24] 宋庆燕.氮磷钾配施对黄芪产量和质量的影响[D].北京:北京中医药大学,2017.
[25] 王思媛.氮磷钾对菘蓝生长、产量和质量的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2021.
[26] 窦明明,雷飞益,石峰,等.配方施肥对川泽泻主要药效成分含量的影响[J].核农学报,2018,32(12):2462-2470.
[27] 金燕清.氮磷钾配施对甘草产量和质量的影响[D].北京:北京中医药大学,2016.
[28] 仵菲.梨果实发育过程中酚类物质、抗氧化能力及其相关酶活性的研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2022.
[29] 卫世乾.不同成熟度苹果中多酚类物质的含量研究[J].许昌学院学报,2019,38(2):99-102.
[30] 赵继荣.苹果种质资源果实多酚性状评价与QTL定位[J].中国农业文摘-农业工程,2016,28(5):61.
[31] 孙泽晨.几种四川野生观赏百合鳞茎酚类物质与抗氧化活性研究[D].都江堰:四川农业大学,2018.
[32] WANG P, LI J, ATTIA F A, et al. A critical review on chemical constituents and pharmacological effects of lilium[J]. Food Science and Human Wellness, 2019, 8(4):330-336.
[33] GAO J, ZHANG T, JIN Z, et al. Structural characterisation, physicochemical properties and antioxidant activity of polysaccharide from *Lilium lancifolium* Thunb[J]. Food Chemistry, 2015, 169: 430-438.
[34] 王云霞.施肥对卷丹百合生长发育、养分吸收及活性成分的影响[D].银川:宁夏大学,2021.

(责任编辑:王 媛)