

## 氮、磷、钾配施对黄花菜产量及 2 种蒽醌类活性成分含量的影响

高嘉宁<sup>1,2</sup>, 张丹<sup>1\*</sup>, 吴毅<sup>1</sup>, 曹龙武<sup>3</sup>, 戴巡<sup>3</sup><sup>1</sup>中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049; <sup>3</sup>四川省甘孜藏族自治州海螺沟景区管理局, 泸定 626100

**摘要:**为探究黄花菜栽培种植时氮(N)、磷(P)、钾(K)肥的最佳施肥量,给黄花菜科学合理施肥提供依据。本试验以海螺沟本地黄花菜品种为研究对象,运用“3414”肥效试验方案,分别以 N 13.5 kg/667 m<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 40 kg/667 m<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 15 kg/667 m<sup>2</sup> 为常规施肥水平,通过大田试验,研究氮磷钾配施对黄花菜主要农艺性状、产量和 2 种蒽醌类活性成分含量的影响。结果表明,合理的氮磷钾配施不仅能促进单株黄花菜生长发育的协调,而且能够显著提高其鲜花中的大黄酸和大黄酚含量;施用氮磷钾肥对黄花菜产量的增产效果明显,处理 6(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)的产量最高,为 1 727.73 kg/667 m<sup>2</sup>,比不施肥处理增产 457.90 kg/667 m<sup>2</sup>,增产率达 36.06%;施用氮、磷、钾肥对黄花菜产量影响的大小顺序为氮>磷>钾,氮肥增产效果最显著,磷肥次之,钾肥最差。一元二次肥效方程推荐的氮、磷、钾施肥量与本实验设计的最适施肥量相似,可以用于黄花菜实际生产施肥指导。综合考虑,在海螺沟地区推荐的氮、磷、钾肥最佳施用量分别为 13.69 kg/667 m<sup>2</sup>、31.53 kg/667 m<sup>2</sup> 和 26.40 kg/667 m<sup>2</sup>,获得的产量为 1 678.98~1 763.31 kg/667 m<sup>2</sup>。

**关键词:**黄花菜;“3414”肥料试验;产量;蒽醌类成分;最佳施肥量

中图分类号:S567.2

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019)9-1624-08

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.9.021

## Effects of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield and two anthraquinones of *Hemerocallis citrina* Baroni

GAO Jia-ning<sup>1,2</sup>, ZHANG Dan<sup>1\*</sup>, WU Yi<sup>1</sup>, CAO Long-wu<sup>3</sup>, DAI Xun<sup>3</sup><sup>1</sup>Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;<sup>3</sup>Bureau of Hailuoguo Scenic Area, Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture, Luding 626100, China

**Abstract:** The study is aimed to provide the experimental basis for optimum fertilizer on field production, the effect of different ratios of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) on growth, yield, rhein and chrysophanol compounds of *Hemerocallis citrina* were discussed. *H. citrina* was used as the research object, the “3414” fertilizer test was conducted with regular fertilization of NPK (N 13.5 kg/667 m<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 40 kg/667 m<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 15 kg/667 m<sup>2</sup>). The results show that the suitable level of nitrogen, phosphorus and potassium could not only promote plant growing coordination, but also improve the accumulation of rhein and chrysophanol contents. Fertilizer application could significantly increase the yield of *H. citrina*, and it was 457.90 kg/667 m<sup>2</sup> and 36.06% was the highest increasing yield in treatment of N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>. The contribution efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer application was N > P > K. The best fertilizer recommended by the single factor fertilizer effect equation was N 13.69 kg/667 m<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 31.53 kg/667 m<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 26.40 kg/667 m<sup>2</sup>, which could result in *H. citrina* yield of 1 678.98-1 763.31 kg/667 m<sup>2</sup>.

**Key words:** *Hemerocallis citrina*; “3414” fertilizer test; yield; anthraquinones; optimum fertilization

黄花菜 (*Hemerocallis citrina* Baroni) 为百合科 (Liliaceae) 萱草属 (*Hemerocallis*) 多年生草本植物,

具有极佳的食用、药用和观赏价值。其药用部分为未开放或初开花蕾的干制品,又名金针菜,富含维生素、胡萝卜素、蛋白质、糖类和氨基酸等多种人体必需营养成分,在健脑、镇静安神、利尿、消肿、护肝、抗衰老和抗抑郁等方面疗效突出,常与香菇、冬笋、木

收稿日期:2019-01-21 接受日期:2019-06-10

基金项目:四川省甘孜州科技扶贫(产业类)项目(2017NFP0084)

\* 通信作者 Tel:86-28-85230076; E-mail: daniezhang@imde.ac.cn

耳被认为是蔬菜中的四大珍品<sup>[1,2]</sup>。蒽醌类为黄花菜中主要的活性物质, Cichewicz 等和 Dhananjeyan 等<sup>[3,4]</sup>研究认为, 黄花菜中的大黄酸和大黄酚等物质具有极强的抑制癌细胞生长、抗氧化和杀虫作用。

黄花菜在全国各地均有种植, 主要以陕西、甘肃、四川、江苏和湖南为著名的道地产区, 其新鲜花蕾经过蒸、晒加工后, 作为商品远销国内外, 是我国重要的经济作物。近年来, 随着黄花菜及其系列产品的深度开发和市场对黄花菜需求的不断扩大, 黄花菜种植产业快速发展, 而提高黄花菜产量, 确保黄花菜优质、高产和安全种植成为新时期产业发展的热点问题。黄花菜种植业是海螺沟主推的特色农业, 科学、有效的施肥技术是提高该地区黄花菜产量与品质的重要措施。刘金郎<sup>[5]</sup>通过盆栽砂培和田间氮、磷、钾肥单因素试验研究黄花菜最佳施肥量及最佳施肥时期, 结果发现, 黄花菜最佳施肥时期为三月下旬, 施氮、磷、钾总量以 40 kg/667 m<sup>2</sup> 为宜。尹新彦等<sup>[6]</sup>研究了不同种类和浓度的植物生长调节剂对黄花菜开花性状和产量的影响。王盼忠<sup>[7]</sup>研究施用钾肥对黄花菜生长发育和产量的影响发现, 追施钾肥能明显提高黄花菜产量, 增强植株的抗逆性和抗病性, 对提高鲜花品质具有积极作用。为了评价施氮、磷、钾肥对海螺沟本土黄花菜生长、产量及品质的影响, 本研究采用“3414”肥料效应试验, 分别分析氮磷钾配施对黄花菜主要农艺性状、产量和2种蒽醌类有效成分的影响, 以期得到在海螺沟山地土壤栽培种植黄花菜的最佳施肥配比和最佳施肥量, 为人工推广驯化和栽培施肥管理提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2018年2~8月在海螺沟国家自然保护区燕子沟镇花卉种植基地内进行。试验地处于我国东部亚热带暖湿季风气候和西部青藏高原气候的过渡带上, 夏季炎热多雨, 冬季干燥少雨。海拔1642 m, 年均温12.7℃, 年降水量1050.3 mm, 年均蒸发量418.4 mm, >10℃有效积温为992.3~1304.8℃, 年平均相对湿度达90%以上<sup>[8]</sup>。2018年2月采集试验地0~20 cm耕作层土壤作理化性质测定, pH值为6.84, 有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量分别为49.04 g/kg、145.16 mg/kg、5.27 mg/kg和119.50 mg/kg。

### 1.2 供试材料

试验品种为海螺沟当地野生黄花菜 (*Heremocalis citrina* Baroni)。2018年3月20日, 采集长势较为一致的野生黄花菜移栽至花卉基地内。供试肥料氮肥为尿素(含N 46%)、磷肥为过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 16%)、钾肥为硫酸钾(K<sub>2</sub>O, 51%)。

### 1.3 试验设计

本试验采用“3414”肥效因子试验方案, 设计氮、磷、钾3个因素, 每个因素4个水平, 共14个施肥处理<sup>[9]</sup>。根据当地经验施肥量, 确定2水平的施肥量为施氮13.5 kg/667 m<sup>2</sup>, 施磷40 kg/667 m<sup>2</sup>, 施钾15 kg/667 m<sup>2</sup>。试验小区面积15 m<sup>2</sup>(5 m×3 m), 种植株行距20 cm×20 cm。各处理设置3个重复, 共42个小区, 随机区组排列, 各小区用垄隔开。施肥时将氮、磷、钾肥用作基肥, 全部一次性施入, 并且按照小区面积换算成小区实际施肥量, 各处理施肥水平及施肥量见表1。

表1 “3414”试验设计和施肥量

Table 1 The “3414” test design of nitrogen, phosphorus and potassium application

试验编号 No.	处理 Treatment	施肥量 Amount of application (kg/667 m <sup>2</sup> )		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0	0	0
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	40.5	15.3
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	6.75	40.5	15.3
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	13.5	0	15.3
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	13.5	20.25	15.3
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	13.5	40.5	15.3
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	13.5	60.75	15.3
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	13.5	40.5	0

续表 1 (Continued Tab. 1)

试验编号 No.	处理 Treatment	施肥量 Amount of application (kg/ 667 m <sup>2</sup> )		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	13.5	40.5	7.65
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	13.5	40.5	22.95
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	20.25	40.5	15.3
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	6.75	20.25	15.3
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	6.75	40.5	7.65
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	13.5	20.25	7.65

## 1.4 主要测定指标

### 1.4.1 黄花菜产量指标测定

在黄花菜初花期、盛花期和末花期分 3 次对各处理产量进行测定,以降低试验误差。根据黄花菜的开花时间和开花特性,初花期时(6 月 10 日)进行产量的第一次测定,具体做法是:采收各小区内盛开的所有新鲜黄花菜花蕾,称重,计算各处理的平均产量,并换算成亩产量。同样,盛花期(6 月 25 日)和末花期(7 月 10 日)重复上述操作。

### 1.4.2 黄花菜主要农艺性状指标的测定

在每个小区内随机标记黄花菜 20 株,测定株高、花葶高、出葶数、单葶花蕾数、单花直径、单蕾鲜花重、叶长、叶宽和叶片数等农艺指标。其中,出葶数、单葶花蕾数和叶片数用肉眼直接观测记录,株高、花葶高、单花直径、叶长和叶宽用钢卷尺测量,单蕾鲜花重用电子天平进行测量。叶长、叶宽、单花直径和单蕾鲜花重重复测量 3 次,所有农艺指标测量在盛花期时完成。

### 1.4.3 黄花菜 2 种蒽醌类化合物含量的测定

高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法在测定黄花菜、掌叶大黄和夏黄等多种药材的蒽醌类活性成分含量方面取得了较好的成效,是一种快速、简便且准确的分析检测方法<sup>[10-12]</sup>。本文采用 HPLC 法分析测定黄花菜中的大黄酸和大黄酚 2 种蒽醌类活性成分的含量。对照品大黄酸和大黄酚均购自成都戴维赛特有限公司,批号分别为 110757-200206 和 110796-201118。色谱柱为 Symmetry C<sub>18</sub> (150 mm × 4.6 mm, 5 μm),检测波长为 430 nm,柱温为室温,流动相:0.1% 磷酸水溶液-甲醇 = 20: 80,体积流量 1.0 mL/min,进样量 10 μL。

## 1.5 数据分析

本研究采用 Excel 2010 软件进行数据前处理,

采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析,并采用 Duncan's 进行多重比较分析,采用 Origin 2017 软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮、磷、钾配施对黄花菜产量的影响

不同氮、磷、钾配施处理对应的黄花菜产量结果见表 2。由表 2 可以看出,各施肥处理组黄花菜产量均显著高于不施肥处理 ( $P < 0.05$ ),说明施肥对黄花菜增产效果显著。其中以处理 6 (N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) 产量最高,为 1 727.73 kg/ 667 m<sup>2</sup>,较不施肥处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 增产 457.90 kg/ 667 m<sup>2</sup>,增产率 36.06%。其次是处理 11 (N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>),产量为 1 705.56 kg/ 667 m<sup>2</sup>,增产 435.73 kg/ 667 m<sup>2</sup>,增产率 34.31%。当施肥量处于中等水平时,缺氮、磷、钾处理 (N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>) 的产量最低,分别为 1 363.50 kg/ 667 m<sup>2</sup>、1 376.40 kg/ 667 m<sup>2</sup> 和 1 390.05 kg/ 667 m<sup>2</sup>,平均产量为 1 373.65 kg/ 667 m<sup>2</sup>,与不施肥处理相比平均增产 106.82 kg/ 667 m<sup>2</sup>。而全素施肥 (处理 3、5、6、7、9、10、11、12、13 和 14) 平均产量为 1 564.15 kg/ 667 m<sup>2</sup>,与不施肥处理相比平均增产 294.32 kg/ 667 m<sup>2</sup>,表明氮、磷、钾配施对黄花菜增产有明显影响。施氮 (处理 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)、磷 (处理 N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>)、钾肥 (处理 N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>) 的平均增产分别为 323.20 kg/ 667 m<sup>2</sup>、289.45 kg/ 667 m<sup>2</sup> 和 257.68 kg/ 667 m<sup>2</sup>。由此可以看出,氮、磷、钾肥对黄花菜产量影响的大小顺序为氮 > 磷 > 钾,氮肥的增产效果最明显,磷肥次之,钾肥最差。另外,氮、磷、钾肥的增产贡献率分别为 21.08%、20.33% 和 19.54%,但各值间均无显著差异 ( $P > 0.05$ ),说明施氮、磷、钾肥对黄花菜增产均具有重要的影响,在实际生产中需要配合施用。

表2 氮、磷、钾配施对黄花菜产量的影响 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )Table 2 Effect of combined fertilizers application on yield of *Hemerocallis citrina* Baroni ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

试验编号 No.	处理 Treatment	产量 Yield (kg/ 667 m <sup>2</sup> )	增产量 Increasing yield (kg/ 667 m <sup>2</sup> )	增产率 Rate of increasing yield (%)
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	1 269.83 ± 30.07 <sup>e</sup>	0.00	0.00
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1 363.50 ± 138.63 <sup>d</sup>	93.67	7.38
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1 575.33 ± 26.00 <sup>bc</sup>	305.50	24.06
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	1 376.40 ± 17.67 <sup>d</sup>	106.57	8.39
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	1 565.33 ± 61.59 <sup>bc</sup>	295.50	23.27
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1 727.73 ± 53.93 <sup>a</sup>	457.90	36.06
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	1 567.66 ± 76.21 <sup>bc</sup>	297.83	23.45
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	1 390.05 ± 18.56 <sup>d</sup>	120.22	9.47
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	1 450.91 ± 42.28 <sup>bc</sup>	181.08	14.26
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	1 541.35 ± 27.15 <sup>bc</sup>	271.52	21.38
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1 705.56 ± 20.42 <sup>b</sup>	435.73	34.31
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	1 491.00 ± 27.12 <sup>c</sup>	221.17	17.42
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	1 499.86 ± 42.09 <sup>c</sup>	230.03	18.12
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	1 516.77 ± 54.68 <sup>bc</sup>	246.94	19.45

注:同列不同小写字母表示  $P < 0.05$  显著差异。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between  $P < 0.05$ .

表2的分析结果还表明,当固定氮、磷、钾中任意两种施肥量时,增产量随施肥水平的提高呈先增加后降低的趋势,过量施肥反而会降低黄花菜产量。如施磷肥(处理 N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>) 20.25 kg/667 m<sup>2</sup> 时,比不施肥(处理 N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>) 增产 188.93 kg/667 m<sup>2</sup>,施磷肥(处理 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) 40.50 kg/667 m<sup>2</sup> 时,增产达到最高水平,为 351.33 kg/667 m<sup>2</sup>。而当施肥量(处理 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>) 为 60.75 kg/667 m<sup>2</sup> 时,增产量反而显著降低,为 191.26 kg/667 m<sup>2</sup>。

## 2.2 氮、磷、钾配施对黄花菜主要农艺性状的影响

不同施肥量对黄花菜主要农艺性状的影响见表

表3 氮、磷、钾配施对黄花菜主要农艺指标的影响 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )Table 3 Effects of combined fertilizers application on main agronomic indicators of *Hemerocallis citrina* Baroni ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

试验编号 No.	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	花葶高 Scape height (cm)	出薹数 Bolting number	单薹花蕾数 Single scape bud number	单花直径 Flower diameter (cm)	单蕾鲜样重 Fresh flower weight (g)	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)	叶片数 Blade number
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	38.5 ± 4.3 <sup>b</sup>	66.0 ± 5.6 <sup>e</sup>	2.3 ± 0.6 <sup>cd</sup>	9.0 ± 0.8 <sup>a</sup>	10.5 ± 0.9 <sup>a</sup>	5.3 ± 0.5 <sup>c</sup>	45.8 ± 2.1 <sup>c</sup>	2.0 ± 0.0 <sup>bcd</sup>	7.7 ± 0.6 <sup>g</sup>
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	44.0 ± 2.1 <sup>ab</sup>	75.4 ± 4.2 <sup>cd</sup>	2.7 ± 0.6 <sup>bcd</sup>	10.0 ± 1.0 <sup>cde</sup>	12.3 ± 0.7 <sup>bc</sup>	6.1 ± 1.6 <sup>bc</sup>	48.3 ± 1.3 <sup>cde</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>bcd</sup>	8.0 ± 0.0 <sup>fg</sup>
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	46.2 ± 0.7 <sup>a</sup>	78.8 ± 1.5 <sup>bc</sup>	3.0 ± 0.0 <sup>abc</sup>	10.7 ± 0.6 <sup>bc</sup>	13.8 ± 1.6 <sup>ab</sup>	6.4 ± 0.9 <sup>abc</sup>	52.2 ± 2.9 <sup>bc</sup>	2.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	10.3 ± 0.6 <sup>cd</sup>
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	45.8 ± 6.8 <sup>a</sup>	77.5 ± 8.6 <sup>cd</sup>	3.3 ± 0.6 <sup>ab</sup>	8.0 ± 2.0 <sup>g</sup>	13.8 ± 0.8 <sup>ab</sup>	6.3 ± 0.3 <sup>bc</sup>	51.5 ± 1.2 <sup>bcd</sup>	2.1 ± 0.3 <sup>abcd</sup>	10.3 ± 0.6 <sup>cd</sup>
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	45.5 ± 3.8 <sup>a</sup>	86.7 ± 9.4 <sup>a</sup>	2.7 ± 0.6 <sup>bcd</sup>	10.3 ± 0.6 <sup>bcd</sup>	12.9 ± 2.4 <sup>bc</sup>	6.7 ± 0.9 <sup>abc</sup>	55.0 ± 5.3 <sup>ab</sup>	1.9 ± 0.1 <sup>bcde</sup>	12.0 ± 0.0 <sup>b</sup>
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	48.5 ± 2.0 <sup>a</sup>	89.3 ± 1.3 <sup>a</sup>	3.7 ± 0.6 <sup>a</sup>	12.7 ± 0.6 <sup>a</sup>	15.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	6.8 ± 0.7 <sup>ab</sup>	59.5 ± 1.1 <sup>a</sup>	2.5 ± 0.0 <sup>ab</sup>	13.3 ± 1.2 <sup>a</sup>

3。由表3可知,不施肥处理的黄花菜株高、花葶高、出薹数、单薹花蕾数、单花直径、单蕾鲜样重、叶长、叶宽和叶片数表型均不理想。分别观察氮肥(处理 2、3、6、11)、磷肥(处理 4、5、6、7)和钾肥(处理 8、9、6、10)对黄花菜各农艺性状的影响,发现随氮、磷施肥量增加,各性状指标呈先增加后减小的趋势,氮肥对株高和单蕾鲜样重的影响最大,对花葶高、出薹数、单薹花蕾数、单花直径、叶长、叶宽和叶片数无明显影响,磷肥对株高、花葶高和叶长的影响较大,而对出薹数、单薹花蕾数、单花直径、单蕾鲜样重、叶宽和叶片数的影响不大;随施钾量增加,各指标的变化

续表 3 (Continued Tab. 3)

试验编号 No.	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	花葶高 Scape height (cm)	出薹数 Bolting number	单葶花蕾数 Single scape bud number	单花直径 Flower diameter (cm)	单蕾鲜样重 Fresh flower weight (g)	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)	叶片数 Blade number
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	45.7 ± 3.1 <sup>a</sup>	88.5 ± 1.0 <sup>a</sup>	3.0 ± 0.0 <sup>abc</sup>	8.3 ± 0.6 <sup>fg</sup>	13.5 ± 0.3 <sup>b</sup>	7.8 ± 0.4 <sup>a</sup>	58.0 ± 1.3 <sup>a</sup>	2.3 ± 0.2 <sup>abc</sup>	12.0 ± 0.0 <sup>b</sup>
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	43.6 ± 0.4 <sup>ab</sup>	86.0 ± 5.0 <sup>ab</sup>	2.3 ± 0.6 <sup>cd</sup>	8.3 ± 0.6 <sup>fg</sup>	13.8 ± 0.3 <sup>ab</sup>	6.4 ± 0.7 <sup>abc</sup>	57.2 ± 2.4 <sup>a</sup>	2.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	9.7 ± 0.6 <sup>de</sup>
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	44.5 ± 2.2 <sup>ab</sup>	87.5 ± 1.8 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.6 <sup>ab</sup>	10.3 ± 1.6 <sup>bcd</sup>	13.8 ± 2.0 <sup>ab</sup>	6.3 ± 0.6 <sup>bc</sup>	55.9 ± 3.5 <sup>ab</sup>	1.8 ± 0.3 <sup>cde</sup>	11.3 ± 0.6 <sup>bc</sup>
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	44.8 ± 2.3 <sup>a</sup>	79.2 ± 5.3 <sup>bc</sup>	3.0 ± 0.0 <sup>abc</sup>	10.7 ± 0.6 <sup>bc</sup>	14.0 ± 1.1 <sup>ab</sup>	6.4 ± 0.6 <sup>abc</sup>	58.2 ± 3.5 <sup>a</sup>	1.6 ± 0.2 <sup>de</sup>	9.0 ± 1.0 <sup>ef</sup>
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	47.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	79.5 ± 6.9 <sup>bc</sup>	2.7 ± 0.6 <sup>bcd</sup>	11.3 ± 1.6 <sup>b</sup>	13.5 ± 0.9 <sup>ab</sup>	7.0 ± 0.4 <sup>ab</sup>	57.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>bcd</sup>	11.3 ± 0.6 <sup>bc</sup>
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	42.8 ± 5.7 <sup>ab</sup>	66.8 ± 1.6 <sup>e</sup>	2.0 ± 0.0 <sup>d</sup>	10.0 ± 0.0 <sup>cde</sup>	12.5 ± 2.3 <sup>bc</sup>	5.5 ± 1.1 <sup>bc</sup>	46.7 ± 1.5 <sup>de</sup>	1.9 ± 0.8 <sup>bcde</sup>	8.3 ± 0.6 <sup>fg</sup>
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	43.6 ± 0.5 <sup>ab</sup>	70.6 ± 1.7 <sup>de</sup>	2.0 ± 0.0 <sup>d</sup>	8.3 ± 0.6 <sup>fg</sup>	11.8 ± 1.7 <sup>bc</sup>	6.0 ± 0.1 <sup>bc</sup>	46.5 ± 0.9 <sup>de</sup>	1.4 ± 0.2 <sup>e</sup>	7.7 ± 1.2 <sup>g</sup>
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	44.0 ± 1.5 <sup>ab</sup>	78.8 ± 1.1 <sup>bc</sup>	2.7 ± 0.6 <sup>bcd</sup>	9.3 ± 0.6 <sup>def</sup>	12.8 ± 0.8 <sup>bc</sup>	5.9 ± 0.3 <sup>bc</sup>	48.2 ± 4.7 <sup>cde</sup>	1.9 ± 0.4 <sup>cde</sup>	7.7 ± 0.6 <sup>g</sup>

注:同列不同小写字母表示  $P < 0.05$  显著差异。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between  $P < 0.05$ .

趋势存在一定差异性。综合发现,施氮、磷、钾肥对黄花菜株高、叶长、叶宽、出薹数和单蕾鲜样重影响不大,对花葶高、单葶花蕾数、单花直径和叶片数的影响明显。同时,过量施肥会抑制黄花菜植株个体生长发育,导致其在株高、叶片和花型等性状表现上的不协调性,其中以处理 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 和处理 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 的性状表现最优。

### 2.3 氮、磷、钾配施对黄花菜 2 种蒽醌类化合物含量的影响

不同施肥处理的黄花菜大黄酸平均含量及标准差见图 1。由图 1 可知,各处理的大黄酸含量均不同程度地高于不施肥处理,不同处理间大黄酸含量呈显著性差异 ( $P < 0.05$ )。其中以处理 6 (N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) 的含量最高,为 40.36 mg/kg,较不施肥处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 提高 107.15%。其次是处理 7 (N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>) 和处理 11 (N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>),含量分别为 36.52 mg/kg 和 33.10 mg/kg,较处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 分别提高 87.43% 和 69.87%。处理 3 (N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) 的含量最低,为 20.53 mg/kg,较处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 仅提高了 5.35%。缺氮、磷、钾(处理 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>) 时,大黄酸含量均较低,分别为 21.98、22.20、20.68 mg/kg,较不施肥处理 N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 分别提高 12.82%、13.97% 和 6.14%,表明氮、磷、钾 3 素中任何一种元素缺失对大黄酸含量的形成和累积都有较大影响。当施肥量处于中等水平时,大黄酸含量随施氮量(处理 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)、施磷量(处理 N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>) 和施钾量(处理 N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>) 增加呈先增大后减小的趋势,说明高水平的氮、磷、钾肥施用量反而导

致大黄酸含量的下降。

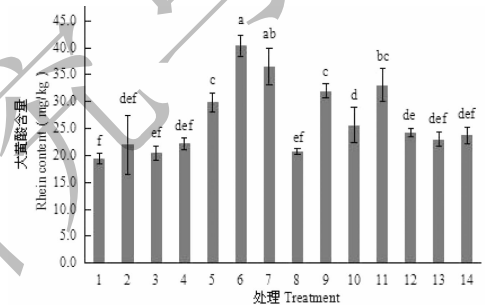


图 1 氮、磷、钾配施对黄花菜鲜花大黄酸含量的影响

Fig. 1 Effect of combined fertilizers application on content of rhein of *Hemerocallis citrina* Baroni

注:误差线代表标准差。Note: error bar indicates standard deviation.

不同施肥处理黄花菜大黄酚的平均含量及标准差见图 2。由图 2 可知,各施肥处理大黄酚含量较不施肥处理均显著增高 ( $P < 0.05$ ),各处理间的黄花菜大黄酚含量亦呈显著差异性 ( $P < 0.05$ )。其中以处理 7 (N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>) 的含量最高,为 13.94 mg/kg,较不施肥处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 提高 96.42%。其次是处理 11 (N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) 和处理 5 (N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>),含量分别为 12.97 和 12.52 mg/kg,较处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 分别提高 82.72% 和 76.38%。处理 2 (N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>) 的含量最低,为 8.834 mg/kg,较处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 仅提高了 24.44%。缺氮、磷、钾(处理 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>) 时,大黄酚含量分别为 8.83、11.21、10.68 mg/kg,较处理 1 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>) 分别提高了 24.44%、57.84% 和 50.44%,表明氮、磷、钾肥任何一种元素缺失也会大黄酚含量产生影响。当施肥量处于中等

水平时,大黄酚含量随施氮量(处理  $N_0P_2K_2$ 、 $N_1P_2K_2$ 、 $N_2P_2K_2$ 、 $N_3P_2K_2$ )和施钾量(处理  $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_1K_2$ 、 $N_2P_2K_2$ 、 $N_2P_3K_2$ )增加呈先增大后减小的趋势,可见氮和钾肥施用量过高反而抑制了的大黄酚的合成。

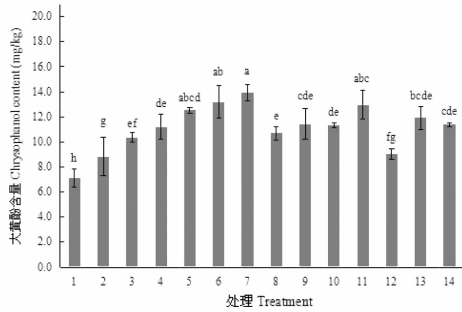


图2 氮、磷、钾配施对黄花菜鲜花大黄酚含量的影响  
Fig. 2 Effects of combined fertilizers application on content of chrysophanol of *Hemerocallis citrina* Baroni

而随施磷量(处理  $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_1K_2$ 、 $N_2P_2K_2$ 、 $N_2P_3K_2$ )增加,大黄酚含量呈增加趋势,说明在一定范围内,增加磷肥有利于黄花菜鲜花中大黄酚含量的形成与累积。

2.4 肥料效应拟合及最佳施肥量分析

2.4.1 单种肥料效应模型及最佳施肥量分析

根据上述试验结果,对氮、磷、钾肥施用量与产量的关系分别做回归,拟合一元二次方程(表4)。由该方程计算得黄花菜最高产量的氮、磷、钾肥施用量分别为 16.92、39.10、34.02 kg/667 m<sup>2</sup>,对应的产量分别为 1 725.45、1 685.33、1 774.76 kg/667 m<sup>2</sup>。同时,参考当年氮、磷、钾肥及黄花菜的市场价格,结合边际效益等于边际成本,计算求得最佳氮、磷、钾肥施用量分别为 13.69、31.53、26.40 kg/667 m<sup>2</sup>,对应的产量分别为 1 722.49、1 678.98、1 763.31 kg/667 m<sup>2</sup>。

表4 一元肥料效应模型拟合及施肥量和产量结果

Table 4 Single-factor fertilizer effect equation and corresponding yield and fertilization amount

肥效因子 Fertilizer factor	肥料效应方程 Fertilizer effect equation	最大施肥量 Maximum fertilization (kg/667 m <sup>2</sup> )			最大产量 Maximum yield (kg/667 m <sup>2</sup> )	最佳施肥量 Optimum fertilization (kg/667 m <sup>2</sup> )			最佳产量 Optimum yield (kg/667 m <sup>2</sup> )	显著性 Significance		
		N	P	K		N	P	K		F	P	
N	$y = 1\,357.7 + 43.46N - 1.284N^2$	16.92	-	-	1 725.45	13.69	-	-	1 722.49	0.992	62.714	0.011
P	$y = 1\,361.6 + 16.561P - 0.2128P^2$	-	39.10	-	1 685.33	-	31.53	-	1 678.98	0.929	6.571	0.026
K	$y = 1\,364.3 + 24.132K - 0.3547K^2$	-	-	34.20	1 774.76	-	-	26.40	1 763.31	0.852	2.887	0.048

注:Y表示在不同肥效条件下的黄花菜产量,N、P、K分别代表氮肥、磷肥和钾肥。

Note: Y indicates the yield of *H. citrina* in different fertilizer application, N, P, K indicate nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer.

表5 二元肥料效应模型拟合及施肥量和产量结果

Table 5 Two-factor fertilizer effect equation and corresponding yield and fertilization amount

肥效因子 Fertilizer factor	肥料效应方程 Fertilizer effect equation	最大施肥量 Maximum fertilization (kg/667 m <sup>2</sup> )			最大产量 Maximum yield (kg/667 m <sup>2</sup> )	最佳施肥量 Optimum fertilization (kg/667 m <sup>2</sup> )			最佳产量 Optimum yield (kg/667 m <sup>2</sup> )	显著性 Significance		
		N	P	K		N	P	K		F	P	
NP	$Y = 1\,260.17 + 18.52N + 10.32P + 0.37NP - 0.81N^2 - 0.19P^2$	22.67	49.23	-	1 724.25	18.94	43.00	-	1 419.83	0.964	16.250	0.022
NK	$Y = 1\,268.28 + 14.24N + 25.10K + 0.89NK - 0.60N^2 - 1.18K^2$	27.43	-	20.98	1 726.83	21.14	-	18.64	1 709.73	0.866	3.830	0.149
PK	$Y = 1\,267.66 + 8.04P + 22.85K + 0.25PK - 0.14P^2 - 1.02K^2$	-	43.48	16.54	1 631.26	-	40.32	14.09	1 625.72	0.840	3.137	0.188

注:Y表示在不同肥效条件下的黄花菜产量,N、P、K分别代表氮肥、磷肥和钾肥,NP、NK、PK分别代表氮磷、氮钾、磷钾配合施用量。

Note: Y indicates the yield of *H. citrina* in different fertilizer application, N, P, K indicate nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer, respectively. NP, NK, PK indicate nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium, phosphorus and potassium, respectively.

2.4.2 二因子肥料效应模型及最佳施肥量分析

试验处理1~7、11和12为氮、磷肥配施,处理1~3、6、8~11和13为氮、钾肥配施,处理1、4~10

和14为磷、钾肥配施。根据各处理施肥量与黄花菜产量的试验数据,分别拟合氮磷、氮钾和磷钾施用量与产量的二元二次方程,求解各肥料效应函数方程

的最大施肥量、最佳施肥量及对应的产量(表5)。结果表明,当施氮、磷肥分别为22.67、49.23 kg/667 m<sup>2</sup>,对应的最高产量为1 724.25 kg/667 m<sup>2</sup>;当施氮、钾肥分别为27.43、20.98 kg/667 m<sup>2</sup>,产量为1 726.83 kg/667 m<sup>2</sup>;当施磷、钾肥分别为43.48、16.54 kg/667 m<sup>2</sup>,产量为1 631.26 kg/667 m<sup>2</sup>。采用边际效益等于边际成本原则,计算最佳产量和对应的最佳施肥量。结果表明,当施氮、磷肥分别为18.94、43.00 kg/667 m<sup>2</sup>,最佳产量为1 419.83 kg/667 m<sup>2</sup>;当施氮、钾肥分别为21.14、18.64 kg/667 m<sup>2</sup>,产量为1 709.73 kg/667 m<sup>2</sup>;当施磷、钾肥分别为40.32、14.09 kg/667 m<sup>2</sup>,产量为1 625.72 kg/667 m<sup>2</sup>。

#### 2.4.3 三因子肥料效应模型及最佳施肥量分析

将14个试验处理的氮、磷、钾施肥量与产量数据进行回归分析,拟合得到黄花菜产量与氮、磷、钾养分施用量的三元二次肥料效应方程: $Y = 1\ 268.474 + 2.173N + 7.081P + 15.403K + 0.234NP + 0.982NK + 0.183PK - 0.540N^2 - 0.160P^2 - 1.134K^2$  ( $R^2 = 0.879, F = 3.221, P = 0.036$ )。对氮、磷、钾肥效因子分别求导,令其为零得到如下方程组:

$$2.173 + 1.080N + 0.234P + 0.982K = 0$$

$$7.081 + 0.234N - 0.320P + 0.183K = 0$$

$$15.403 + 0.982N + 0.183P - 2.268K = 0$$

求解方程组得:施氮、磷、钾肥分别为10.75、27.83、13.63 kg/667 m<sup>2</sup>时,产量最高,为1 832.99 kg/667 m<sup>2</sup>。当边际效益等于边际成本时,最佳施氮、磷、钾肥分别为7.31、15.03、8.99 kg/667 m<sup>2</sup>,对应的最佳产量为1 368.55 kg/667 m<sup>2</sup>。

### 3 讨论与结论

合理施肥是提高农作物产量与品质的重要措施,科学的氮、磷、钾配施技术既能促进植物生长发育,提高作物产量,又能改善其内在品质<sup>[13]</sup>。本试验研究表明,氮、磷、钾配施有利于黄花菜冠幅和花型的协调发育,经过施肥处理的各农艺指标均优于不施肥处理。其中,花葶高、单葶花蕾数、单花直径和叶片数对施肥响应明显,以处理6的表型性状最优。参照美国萱草协会(AHS)对萱草属株型、冠幅、花期和花部特征的分类标准,海螺沟萱草植株比例协调,属半常绿、中期开花的大花萱草,花呈黄色或橘黄色,花眼橙红色,双层花瓣,观赏价值很高,认为一定程度上可以代替草坪,在美化山区环境和水土保持工程中发挥重要作用<sup>[14,15]</sup>。

“3414”肥效试验的研究结果表明,合理的氮、磷、钾配施能显著提高黄花菜产量,氮、磷、钾肥对产量影响的大小顺序为氮>磷>钾,说明氮肥增产效果最明显,磷肥次之,钾肥最差。这可能是因为氮是构成叶绿素、蛋白质、氨基酸和酶等生理代谢物质的重要元素,当氮素充足时,植物体合成的蛋白质较多,细胞分裂和增长加快,植物叶面积增大,光合速率加快,从而提高了开花率和花朵中干物质的累积<sup>[16-17]</sup>。但过量施肥不仅会导致黄花菜增产降低,也不利于其内在品质成分的形成。大黄酸和大黄酚具有抗衰老、抗氧化、免疫调节、止咳、利尿、降血压等多种药理作用,对于治疗糖尿病、肾病和神经退行性疾病疗效突出<sup>[18-21]</sup>。处理6和7(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>)大黄酸和大黄酚总含量最高,分别为53.543、50.461 mg/kg。

肥料效应模型拟合的结果发现,3种方程模型求得的最大产量和最佳产量及对应的施肥量均存在一定差异性。若只考虑最佳产量与施肥量,经三元二次肥效方程计算得到的最佳氮、磷、钾肥施用量分别为7.31、15.03、8.99 kg/667 m<sup>2</sup>,产量为1 368.55 kg/667 m<sup>2</sup>,与最优配施处理6(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)相比,施肥量减少的同时也伴随着产量明显降低,增产效果不显著,初步认为模型拟合不成功。孙义祥和薛启等人利用该方程对冬小麦和藜香产量和施肥量的研究结果也发现拟合结果与实际生产相差较大,拟合成功率仅为9%<sup>[9,22]</sup>。二元肥效模型拟合的最佳产量及对应的施肥量与处理6较接近,但显著性P值大于0.05,认为无法解释足够多的变异来源。一元二次肥效方程拟合的最佳产量与对应的施肥量与处理6最相近,虽然一元二次肥效模型作为单因素施肥处理,但实际上隐含了养分元素间的交互作用,该方程拟合的显著性P值小于0.05,模型稳定可靠,因此认为可以用于黄花菜实际生产施肥指导。综合考虑,海螺沟地区获得黄花菜最大产量推荐的氮、磷、钾肥施用量分别为16.92、39.10、34.20 kg/667 m<sup>2</sup>,产量可达1 685.33~1 774.76 kg/667 m<sup>2</sup>;获得最佳产量推荐的氮、磷、钾肥施用量分别为13.69、31.53、26.40 kg/667 m<sup>2</sup>,产量可达1 678.98~1 763.31 kg/667 m<sup>2</sup>。

#### 参考文献

- Guo LQ, Yang Y, Zhang B, et al. Chemical constituents and pharmacological research progress of *Hemerocallis fulva* roots

- and flowers [J]. CJTCMP (中华中医药杂志), 2013, 31 (1):74-76.
- 2 Fen XL, Li CY, Li S, et al. Identification, HPLC fingerprinting and multi-component determination of *Hemerocallis citrina* [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2018, 30:444-450.
  - 3 Cichewicz, Robert H, Zhang YJ, et al. Inhibition of human tumor cell proliferation by novel anthraquinones from daylilies [J]. Lief Sci, 2004, 74: 1797-1799.
  - 4 Dhananjeyan MR, Milev YP, Kron MA, et al. Synthesis and activity of substituted anthraquinones against a human filarial parasite, *Brugia malayi* [J]. J Med Chem, 2005, 13 (4) :48-55.
  - 5 Liu JL. Fertilization formula for the cultivation of lily flower [J]. Chin J Soil Sci (土壤通报), 2007, 38:531-534.
  - 6 Yin XY, Gao CL, Chu BY, et al. Effects of growth regulators treatment on *Hemerocallis citrina* Baroni. flowering [J]. J Anhui Agric Sci (安徽农业科学), 2014, 42:2550-2551.
  - 7 Wang PZ, Xu HY. Effect of potassium fertilizer on the growth and development of *Hemerocallis citrina* [J]. Vegetables (蔬菜杂志), 2007, 7:42-43.
  - 8 Yang ZJ, Bing HJ, Zhou J, et al. Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo glacier foreland of Gongga Mountain [J]. Acta Pedol Sin (土壤学报), 2015, 52:507-515.
  - 9 Xue Q, Wang KC, Sui L, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and yield of *Agastache rugosa* [J]. Chin Med Mat (中药材), 2018, 41:784-789.
  - 10 Shang HH, Xiao RY, Wang M, et al. Determination of aloe-emodin, rhein, honokiol, emodin, magnolol, chrysophanol, and physcion in Xiahuang Granule by RP-HPLC [J]. Drugs & Clinic (现代药物与临床), 2018, 33:2178-2182.
  - 11 Feng SX, Wang Z, Hao R, et al. Simultaneous determination of ten anthraquinones in *Rheum palmatum* L. from different habitats by HPLC [J]. Chin J Pharm Anal (药物分析杂志), 2017, 37:783-788.
  - 12 Feng XL, Li CY, Luo XP, et al. Determination of four components from *Hemerocallis citrina* Baroni. of different regions by HPLC [J]. CJTCMP (中华中医药杂志), 2018, 33:1124-1127.
  - 13 Huang CY, Xu JM. Soil science (土壤学) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999.
  - 14 Zhang L, Wei Y. Screening and application of new varieties of *Hemerocallis* [J]. J Beijing Garden (北京园林), 2012, 28 (102) :39-42.
  - 15 Du E, Zhang ZG, Ma L. Studies on the classification of *Hemerocallis hybridus* cultivars [J]. J Northwest Sci-Tech Univ Agric and For; Nat Sci Ed (西北农林科技大学学报: 自科版), 2005, 33 (10) :85-88.
  - 16 Wang Q, Xu CY. Affects of nitrogen and phosphorus on plant leaf photosynthesis and carbon partitioning [J]. Shandong For Sci Tech (山东林业科技), 2005, 5:59-62.
  - 17 Li P. Effects of light intensity on plant photosynthesis [J]. Chin J Flow Hortic (中国花卉园艺), 2011, 12:50.
  - 18 Liu YF, Liu HZ, Liu SY, et al. Study on chemical constituents and pharmacological effects of *Hemerocallis* [J]. Heilongjiang Anim Husb and Veter (黑龙江畜牧兽医), 2016, 12:154-155.
  - 19 Chen CM, Zhang MM, Hu LM. Effect of rhein on expression of PPAR $\gamma$  and TGF- $\beta_1$  in renal cortex of obese diabetic rats [J]. Chin Med Mat (中药材), 2015, 38:810-812.
  - 20 Mao XY, Li QQ, Zhou HH, et al. Effects of chrysophanol on BDNF and Inos together with oxidative stress in rats with diabetes-associated cognitive decline [J]. Chin Pharm Bull (中国药理学通报), 2015, 31:1211-1215.
  - 21 Zhang J, Yan CL, Hou Y, et al. Influences of chrysophanol on immune function of lead poisoning mice [J]. Chin Pharm Bull (中国药理学通报), 2014, 30:696-700.
  - 22 Sun YX, Guo YS, Yu S, et al. Application of "3414" test to establish the index system of soil fertilization formula for winter wheat [J]. Plant Nutr Fert Sci (植物营养与肥料学报), 2009, 15:197-203.