

# 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’开花性状及叶片中叶绿素和营养元素含量的影响

齐豫川<sup>1</sup>, 潘远智<sup>1,①</sup>, 杨亚男<sup>1</sup>, 鲜小林<sup>2a,2b</sup>, 陈睿<sup>2a,2b</sup>, 刘柿良<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学风景园林学院, 四川 成都 611130;

2. 四川省农业科学院: a. 园艺研究所, b. 农业部西南地区园艺作物学与种质重点实验室, 四川 成都 610066)

**摘要:** 以桂花品种‘金玉台阁’(*Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’)盆栽苗为供试材料,采用“3414”肥料效应试验设计方案,研究了不同单株施用量  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  (0.0、1.0、2.0 和 3.0 g)、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (0.0、1.5、3.0 和 4.5 g) 和  $\text{KCl}$  (0.0、0.5、1.0、1.5 g) 对秋冬生长期(2014年10月至2015年2月)‘金玉台阁’开花性状及叶片中叶绿素和营养元素的影响进行了比较和分析,并筛选出适宜的氮、磷、钾肥施用量。结果表明:与 CK[ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量均为 0.0 g]组相比,各氮、磷、钾肥配施处理组‘金玉台阁’的单株产花量、花瓣相对含水量、花径以及叶片中叶绿素、全氮、全磷和全钾的含量总体上显著升高。 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量对‘金玉台阁’单株产花量、叶片中叶绿素含量和全氮含量的影响最大, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量对这 3 个指标的影响次之; $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量对‘金玉台阁’叶片中全磷含量的影响最大; $\text{KCl}$  单株施用量对‘金玉台阁’花瓣相对含水量、花径及叶片中全钾含量的影响最大。在秋冬生长期叶片中叶绿素含量呈先降低后升高的趋势,均在 12 月份降至最低值。通过建立‘金玉台阁’单株产花量( $y$ )与  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量(分别为  $x_N$ 、 $x_P$  和  $x_K$ )间的肥料效应模型,得到的三元二次肥料效应模型为  $y = 1.2027 + 0.7561x_N + 0.2632x_P + 0.4590x_K - 0.2761x_N^2 - 0.1201x_P^2 - 0.5007x_K^2 + 0.1901x_Nx_P - 0.0960x_Nx_K + 0.1185x_Px_K$ 。以单株产花量为目标,‘金玉台阁’的  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的最佳单株施用量分别为 2.58、3.56 和 0.86 g。

**关键词:** 桂花品种‘金玉台阁’; 氮、磷、钾肥配施; “3414”肥料效应试验设计方案; 单株产花量; 营养元素; 肥料效应模型

中图分类号: Q945; S506.2; S685.13 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)02-0035-11

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.02.05

**Effects of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers on flowering traits and contents of chlorophyll and nutrient elements in leaves of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’** QI Yuchuan<sup>1</sup>, PAN Yuanzhi<sup>1,①</sup>, YANG Ya’nan<sup>1</sup>, XIAN Xiaolin<sup>2a,2b</sup>, CHEN Rui<sup>2a,2b</sup>, LIU Shiliang<sup>1</sup> (1. College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Sichuan Academy of Agricultural Sciences; a. Horticulture Institute, b. Genetic Improvement of Horticultural Crops in Southwest Region of Ministry of Agriculture, Chengdu 610066, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(2): 35-45

**Abstract:** Taking pot seedlings of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’ as experimental materials, the effects of different applying amounts per plant of fertilizers including  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  (0.0, 1.0, 2.0 and 3.0 g),  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (0.0, 1.5, 3.0 and 4.5 g) and  $\text{KCl}$  (0.0, 0.5, 1.0 and 1.5 g) on flowering traits and contents of chlorophyll and nutrient elements in leaves of ‘Jinyu Taige’ during the autumn and winter growth period (October 2014 to February 2015) were compared and analyzed by 3414 fertilizer effect test design scheme, and the appropriate applying amounts of nitrogen, phosphorus and potassium

收稿日期: 2016-06-14

基金项目: 国家林业局林业行业标准制修订项目计划(2014-LY-176)

作者简介: 齐豫川(1990—),女,四川眉山人,硕士研究生,主要从事园林植物栽培与利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: seplyls@163.com

fertilizers were screened out. The results show that compared with CK [applying amounts per plant of 0.0 g of  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  and KCl] group, flower yield per plant, relative water content in petals, flower diameter and contents of chlorophyll, total nitrogen, total phosphorus and total potassium in leaves of ‘Jinyu Taige’ in all treatment groups of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers generally increase significantly. The effect of applying amount per plant of  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  on flower yield per plant and contents of chlorophyll and total nitrogen in leaves of ‘Jinyu Taige’ is the largest, and that of  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  on these three indexes follows. The effect of applying amount per plant of  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  on total phosphorus content in leaves of ‘Jinyu Taige’ is the largest. The effect of applying amount per plant of KCl on relative water content in petals, flower diameter and total potassium content in leaves of ‘Jinyu Taige’ is the largest. The chlorophyll content in leaves first decreases and then increases during the autumn and winter growth period, and decreases to the lowest value in December. By establishing the fertilizer effect model between flower yield per plant ( $y$ ) of ‘Jinyu Taige’ and applying amounts per plant of  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  and KCl ( $x_N$ ,  $x_P$  and  $x_K$ , respectively), the ternary quadratic fertilizer effect model is  $y = 1.2027 + 0.7561x_N + 0.2632x_P + 0.4590x_K - 0.2761x_N^2 - 0.1201x_P^2 - 0.5007x_K^2 + 0.1901x_Nx_P - 0.0960x_Nx_K + 0.1185x_Px_K$ . To obtain higher flower yield per plant, the optimal applying amounts per plant of  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  and KCl for ‘Jinyu Taige’ are 2.58, 3.56 and 0.86 g, respectively.

**Key words:** *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’; combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers; 3414 fertilizer effect test design scheme; flower yield per plant; nutrient element; fertilizer effect model

肥料是影响花卉生长的重要因子之一。合理施肥不仅是实现植株增产的重要措施,也是调控生物产量及组分动态转化的重要手段<sup>[1]</sup>。了解施肥对作物吸收养分的影响有助于采取有效措施调控作物的生长和发育,提高作物产量<sup>[2]</sup>。适宜的施肥量及配比对园林植物有积极影响。研究表明,适宜的氮、磷、钾肥配施对小苍兰(*Freesia hybrida* Klatt)<sup>[3]</sup>及观赏向日葵(*Helianthus annuus* Linn.)<sup>[4]</sup>的生长和发育均有促进作用,其中,磷肥能显著提高小苍兰的总花朵数,提高植株观赏性,而氮肥对观赏向日葵光合特性的影响最大。

桂花(*Osmanthus fragrans* Lour.)为中国十大名花之一,自古以来深受人们喜爱。陈洪国<sup>[5-6]</sup>认为,氮、磷、钾肥配施的5年生‘银桂’(*O. fragrans* ‘Albus’)幼树的树高和树径增幅最大,光合色素含量升高,而且在氮、磷、钾肥单株施肥量分别为0.25、1.50、0.25 kg时,12年生‘丹桂’(*O. fragrans* ‘Aurantiacus’)单株全年花量和叶片中叶绿素含量最高,光合作用增强。颜晓艺等<sup>[7]</sup>综合考虑施肥成本和生长指标,认为N和 $\text{P}_2\text{O}_5$ 的单株施用量分别为20和4 g时较适宜‘浦城丹桂’(*O. fragrans* ‘Pucheng Dangui’)幼苗的生长。然而,受品种和生长年份等因素的影响,植物适宜的氮、磷、钾肥施用量也不同,因此,针对不同品种制定科学的施肥方案十分必要。

桂花品种‘金玉台阁’(‘Jinyu Taige’)是四川省农业科学院园艺研究所在桂花资源收集过程中,在四川地区发现的一个品种,属于四季桂品种群(*O. fragrans* ‘Asiaticus’ Group),具有较独特的观赏性状,经过培育、扩繁,后代性状稳定,目前在四川地区广泛栽种<sup>[8]</sup>。‘金玉台阁’具有较强的耐寒性且冬季花期长,是年宵花市场的重要部分,在园林绿化及城市建设中有较高的利用和观赏价值。然而,由于在实际生产中缺乏理论指导,施肥较为随意,严重制约其生产,因此,精准施肥尤其是筛选有利于‘金玉台阁’生长的氮、磷、钾肥的施肥方案,已成为其产业化栽培中亟需解决的问题。

“3414”肥料效应试验设计方案为国家农业部推荐的测土配方施肥方案,该方案采用回归最优设计,具有处理少、效率高的优点<sup>[9]</sup>。该方案广泛应用于国内肥料效应田间试验,可获得植株最佳施肥量。张文君等<sup>[10]</sup>和蒋志平等<sup>[11]</sup>通过“3414”肥料效应试验设计方案分别探讨了不同氮、磷、钾配比对盆栽矮牵牛(*Petunia hybrida* Vilm.)和金盏菊(*Calendula officinalis* Linn.)生长的影响,并建立了施肥效应函数模型,确定了最佳施肥量,其中适宜矮牵牛生长的氮、磷、钾肥单株施用量分别为0.61、0.26、0.34 g,盆栽金盏菊的氮、磷、钾肥最佳单株施用量分别为0.4、0.2、0.3 g。表明“3414”肥料效应试验设计方案可以

应用于盆栽植物<sup>[12]</sup>。

本研究采用“3414”肥料效应试验设计方案,通过设置不同的施肥量及氮、磷、钾配比,研究了秋冬生长期(2014年10月至2015年2月)‘金玉台阁’的开花性状、叶片中叶绿素和营养元素含量及配方施肥条件下肥料效应模型的建立,以期对秋冬生长期四季桂品种群的栽培管理提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验地概况

实验地位于四川省农业科学院园艺研究所大栅内,地理坐标为东经104°12′48″、北纬30°46′42″,海拔480 m,年平均气温16.2℃,年平均空气相对湿度81.5%,无霜期271 d,年平均日照率为32%,属热带湿润季风气候。实验土壤为微酸性砂质壤土,碱解氮、速效磷和速效钾的含量分别为125.65、15.21和54.62 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 材料

供试材料为四川省农业科学院园艺研究所2010年扦插成活的、长势较为一致的‘金玉台阁’盆栽苗。植株平均株高约70 cm,平均地径1.58 cm,无纺布盆(直径约45 cm、高约30 cm)每盆装土20 kg,实验使用的氮肥为含质量分数46% N的尿素[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>,江苏晋煤恒盛化工股份有限公司],磷肥为含质量分数52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的磷酸二氢铵(NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>,云南云天化国际化工有限公司),钾肥为含质量分数57% K<sub>2</sub>O的氯化钾(KCl,以色列化工集团)。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计及施肥方法 采用“3414”肥料效应试验设计方案<sup>[13]</sup>,3因子分别为CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量。各因子分别设4个水平,“0”水平为不施肥,“1”水平为低肥,“2”水平为中肥,“3”水平为高肥,其中,“1”水平=“2”水平×0.5,“3”水平=“2”水平×1.5,即CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>单株施用量分别为0.0、1.0、2.0和3.0 g, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>单株施用量分别为0.0、1.5、3.0和4.5 g, KCl单株施用量分别为0.0、0.5、1.0和1.5 g。共14个处理,每个处理10盆,每盆种植1株四季桂,每盆视为1次重复。

于2014年秋季花完全凋落后,将供试盆栽苗移至大栅敞开空地,按照随机区组法进行摆放,盆间横

向间隔80 cm、纵向间隔90 cm。施肥采用水肥浇施,按照实验设计施用量将氮、磷、钾肥完全溶于一定量的清水中,定容至800 mL,分别于当年10月中旬和12月中旬分2次缓慢浇入盆内,底部有托盘,若有渗出,将渗出溶液再次缓慢浇入盆内,直至完全吸收,对照组浇灌等量清水。

1.3.2 材料采集及处理 于第1次施肥后第15、第65和第115天采集样品,每个处理随机选取5株进行采样,选取长势一致的当年生健康枝条从顶端向下的第2至第4轮成熟叶片共15枚。样品装袋后放入冰盒中带回实验室,用去离子水洗净,擦干。部分样品液氮速冻1 min后置于超低温(-80℃)冰箱中保存,用于测定叶片中叶绿素含量;其余样品置于烘箱中于120℃杀青15 min,然后于60℃烘干至恒质量<sup>[14]3-4</sup>,粉碎后过60目筛(孔径0.25 mm),用于测定叶片中营养元素含量。

采集植株中上部向阳面第1次开花处于盛花初期的花朵,测量花径。用于花径测量和花瓣相对含水量测量的花朵均为混合采样。因四季桂具有多次开花及花期长<sup>[15]</sup>的特性,因此,自1月中旬进入初花期后每隔3 d采摘完全开放的鲜花,直至2月上旬花谢期,每次采集后的鲜花放入冰盒迅速带回实验室,去除花间杂质后称取鲜质量,累计计算单株产花量。共采集10株,结果取平均值。

1.3.3 测定指标及方法 采用烘干称重法<sup>[14]105-109</sup>测定花瓣相对含水量。各处理取样后,用擦拭纸将花朵间的杂质清理干净,只留取花瓣,并采用分析天平(精度0.001 g)称取鲜质量( $m_f$ )。将样品浸入水中3 h,使其吸水充分饱和,擦净表面水分称取饱和质量( $m_s$ ),然后置于80℃下烘干2 h,称取其干质量( $m_d$ )。花瓣相对含水量按照公式“花瓣相对含水量=( $m_f - m_d$ )/( $m_s - m_d$ )×100%”进行计算。每个指标重复测定3次,结果取平均值。

参照杨康民等<sup>[16]</sup>的方法,于盛花初期,随机抽取同一处理单花30个,用游标卡尺(精度0.1 mm)测量自然花冠直径,测定过程中不人为地将花压平测量或者测量尚未盛开的花朵。每朵花重复测定3次,结果取平均值。

叶片中叶绿素含量测定先采用体积分数80%的丙酮溶液提取,再采用比色法<sup>[14]134-137</sup>测定。重复测定3次,结果取平均值。

用万分之一电子天平(常熟双杰测试仪器厂)准

确称取叶片干样 0.20 g, 经浓硫酸-双氧水联合消煮后, 采用凯氏定氮法<sup>[17]42-49</sup>测定叶片中全氮含量, 采用钼锑抗比色法<sup>[17]76-79</sup>测定叶片中全磷含量, 采用火焰光度计法<sup>[17]101-103</sup>测定叶片中全钾含量。每个指标重复测定 3 次, 结果取平均值。

#### 1.4 数据处理和分析

采用 EXCEL 2003 和 SPSS 18.0 统计分析软件进行数据统计分析。采用单因素方差分析法 (one-way ANOVA) 进行方差分析; 采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较; 采用极差分析法进行极差分析; 采用回归分析法对单株产花量与氮、磷、钾肥单株施用量之间的关系进行分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’单株产花量、花瓣相对含水量和花径的影响

氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’单株产花量、花瓣相对含水量和花径的影响见表 1。由表 1 可以看出:  $N_2P_2K_2$  [ $CO(NH_2)_2$ 、 $NH_4H_2PO_4$  和  $KCl$  的单株施用量分别为 2.0、3.0 和 1.0 g] 处理组‘金玉台阁’的单株产花量最高, 为  $CK$  [ $N_0P_0K_0$ 、 $CO(NH_2)_2$ 、 $NH_4H_2PO_4$  和  $KCl$  的单株施用量均为 0.0 g] 组的 2.36 倍。  $N_2P_2K_1$  [ $CO(NH_2)_2$ 、 $NH_4H_2PO_4$  和  $KCl$  的

表 1 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’单株产花量、花瓣相对含水量和花径的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effects of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers on flower yield per plant, relative water content in petals and flower diameter of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’ ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理组 Treatment group	单株施用量/g Applying amount per plant			单株产花量/g Flower yield per plant	花瓣相对含水量/% Relative water content in petals	花径/mm Flower diameter
	$CO(NH_2)_2$	$NH_4H_2PO_4$	$KCl$			
$N_0P_0K_0$ (CK)	0.0	0.0	0.0	1.20±0.02a	73.82±0.08a	3.74±0.02a
$N_0P_2K_2$	0.0	3.0	1.0	1.23±0.05a	75.13±0.10b	3.82±0.01ab
$N_1P_2K_2$	1.0	3.0	1.0	2.24±0.01c	81.19±0.09d	4.34±0.04f
$N_2P_0K_2$	2.0	0.0	1.0	1.57±0.02bc	79.08±0.06c	4.18±0.08ef
$N_2P_1K_2$	2.0	1.5	1.0	2.35±0.06d	82.56±0.20f	4.52±0.02g
$N_2P_2K_2$	2.0	3.0	1.0	2.83±0.05g	85.59±0.07gh	4.02±0.02cd
$N_2P_3K_2$	2.0	4.5	1.0	2.53±0.02e	85.83±0.03h	4.70±0.06h
$N_2P_2K_0$	2.0	3.0	0.0	2.46±0.01e	81.87±0.07e	4.23±0.03ef
$N_2P_2K_1$	2.0	3.0	0.5	2.72±0.02f	88.12±0.84j	4.20±0.06ef
$N_2P_2K_3$	2.0	3.0	1.5	2.53±0.04e	87.29±0.08i	5.12±0.08i
$N_3P_2K_2$	3.0	3.0	1.0	2.69±0.01f	79.38±0.03c	4.65±0.20h
$N_1P_1K_2$	1.0	1.5	1.0	2.23±0.03c	85.32±0.02g	3.92±0.10bc
$N_1P_2K_1$	1.0	3.0	0.5	2.25±0.05c	75.49±0.05b	4.13±0.08de
$N_2P_1K_1$	2.0	1.5	0.5	2.50±0.01e	81.56±0.01de	4.72±0.02h
$K_{N_0}$				1.22	74.48	3.78
$K_{N_1}$				2.24	80.67	4.13
$K_{N_2}$				2.44	83.99	4.46
$K_{N_3}$				2.69	79.38	4.65
$R$				1.47	9.51	0.87
$K_{P_0}$				1.39	76.45	3.96
$K_{P_1}$				2.36	83.14	4.39
$K_{P_2}$				2.32	82.99	4.29
$K_{P_3}$				2.53	85.83	4.70
$R$				1.14	9.38	0.74
$K_{K_0}$				1.83	77.35	3.99
$K_{K_1}$				2.49	81.72	4.35
$K_{K_2}$				2.21	81.76	4.27
$K_{K_3}$				2.53	87.29	5.12
$R$				0.70	9.94	1.13

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatment groups ( $P < 0.05$ ).

单株施用量分别为 2.0、3.0 和 0.5 g]处理组的花瓣相对含水量最高,较 CK 组升高了 19.4%。 $N_2P_2K_3$  [ $CO(NH_2)_2$ 、 $NH_4H_2PO_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 2.0、3.0 和 1.5 g]处理组的花径最大,较 CK 组增加了 36.9%。

在  $NH_4H_2PO_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 3.0 和 1.0 g 条件下, $CO(NH_2)_2$  单株施用量 1.0、2.0 和 3.0 g 时‘金玉台阁’的单株产花量较  $CO(NH_2)_2$  单株施用量 0.0 g 时分别升高了 82.1%、130.1% 和 118.7%,差异达到显著水平,表明合理施氮能提高‘金玉台阁’的单株产花量;在  $CO(NH_2)_2$  和 KCl 的单株施用量分别为 2.0 和 1.0 g 条件下, $NH_4H_2PO_4$  单株施用量 1.5、3.0 和 4.5 g 时的单株产花量较  $NH_4H_2PO_4$  单株施用量 0.0 g 时分别升高了 49.7%、80.3% 和 61.1%,差异达到显著水平;在  $CO(NH_2)_2$  和  $NH_4H_2PO_4$  的单株施用量分别为 2.0 和 3.0 g 条件下,随着 KCl 单株施用量的提高,单株产花量呈先升高后降低的趋势,KCl 单株施用量 1.0 g 时的单株产花量最高。

极差分析结果显示: $CO(NH_2)_2$  单株施用量对‘金玉台阁’单株产花量的影响最大;KCl 单株施用量对花瓣相对含水量和花径的影响最大,对单株产花量的影响最小; $NH_4H_2PO_4$  单株施用量对花瓣相对含水

量和花径的影响最小。

## 2.2 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量的影响

氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量的影响见表 2。由表 2 可以看出:与 CK [ $N_0P_0K_0$ 、 $CO(NH_2)_2$ 、 $NH_4H_2PO_4$  和 KCl 的单株施用量均为 0.0 g]组相比,氮、磷、钾肥配施均可不同程度增加不同时间‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量。10 月份(2014 年 10 月)至次年 2 月份(2015 年 2 月),各氮、磷、钾肥配施处理组中‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量均呈先降低后升高的趋势,在 12 月份(2014 年 12 月)叶片中叶绿素含量降至最低值,且显著低于 10 月份和次年 2 月份。

10 月份、12 月份和次年 2 月份, $N_2P_2K_2$  [ $CO(NH_2)_2$ 、 $NH_4H_2PO_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 2.0、3.0 和 1.0 g]处理组‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量均最高,分别较 CK 组升高了 16.9%、32.8% 和 26.1%。

10 月份、12 月份和次年 2 月份,在  $NH_4H_2PO_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 3.0 和 1.0 g 条件下,随着  $CO(NH_2)_2$  单株施用量的提高,‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量均呈先升高后降低的趋势, $CO(NH_2)_2$  单株施用量 2.0 g 时叶片中叶绿素含量均最高, $CO(NH_2)_2$  单株施用量 0.0 g 时叶片中叶绿素含量均

表 2 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量的影响( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers on chlorophyll content in leaves of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’ ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理组 Treatment group	单株施用量/g Applying amount per plant			不同时间(YYYY-MM)叶片中叶绿素含量/ $mg \cdot g^{-1}$ Chlorophyll content in leaves at different times (YYYY-MM)		
	$CO(NH_2)_2$	$NH_4H_2PO_4$	KCl	2014-10	2014-12	2015-02
$N_0P_0K_0$ (CK)	0.0	0.0	0.0	1.95±0.04aC	1.22±0.06aA	1.76±0.02aB
$N_0P_2K_2$	0.0	3.0	1.0	2.03±0.01bcC	1.26±0.02bA	1.89±0.02bB
$N_1P_2K_2$	1.0	3.0	1.0	2.13±0.04fgC	1.35±0.01cA	1.96±0.02bcB
$N_2P_0K_2$	2.0	0.0	1.0	2.07±0.02cdB	1.42±0.02dA	2.03±0.08cdB
$N_2P_1K_2$	2.0	1.5	1.0	2.16±0.01gB	1.52±0.03fA	2.06±0.04cdC
$N_2P_2K_2$	2.0	3.0	1.0	2.28±0.02hB	1.62±0.02gA	2.22±0.07eB
$N_2P_3K_2$	2.0	4.5	1.0	2.17±0.04gC	1.50±0.02gA	2.05±0.01cdB
$N_2P_2K_0$	2.0	3.0	0.0	2.12±0.01efgC	1.40±0.02cdA	2.06±0.03cdB
$N_2P_2K_1$	2.0	3.0	0.5	2.10±0.01defC	1.44±0.02deA	2.02±0.15cdB
$N_2P_2K_3$	2.0	3.0	1.5	2.02±0.03bC	1.46±0.02deA	1.97±0.01bcB
$N_3P_2K_2$	3.0	3.0	1.0	2.17±0.01gB	1.58±0.03cdA	2.11±0.07dB
$N_1P_1K_2$	1.0	1.5	1.0	2.12±0.02efgA	1.35±0.02cA	1.99±0.03cB
$N_1P_2K_1$	1.0	3.0	0.5	2.07±0.01cdeC	1.43±0.01deA	1.95±0.03bcB
$N_2P_1K_1$	2.0	1.5	0.5	2.18±0.08gC	1.44±0.05deA	2.03±0.02cdB
R	0.27	0.17	0.13			

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理组间差异显著( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatment groups ( $P < 0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同时间间差异显著( $P < 0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different dates ( $P < 0.05$ ).

最低,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量过高(3.0 g)时叶片中叶绿素含量降低;在  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和 KCl 的单株施用量分别为 2.0 和 1.0 g 条件下,随着  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量提高,叶片中叶绿素含量也均呈先升高后降低的趋势, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量 3.0 g 时叶片中叶绿素含量均最高, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量 0.0 g 时叶片中叶绿素含量均最低, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量过高(4.5 g)时叶片中叶绿素含量降低。在  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  的单株施用量分别为 2.0 和 3.0 g 条件下,KCl 单株施用量 1.0 g 时叶片中叶绿素含量均显著高于 KCl 单株施用量 0.0、0.5 和 1.5 g 时。

极差分析结果显示: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量对‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量的影响最大, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量的影响次之,KCl 单株施用量的影响最小。

方差分析结果显示:不同  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量水平对‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量均有显著影响,不同  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和 KCl 单株施用量水平对叶片中叶绿素含量均无显著影响。

### 2.3 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中营养元素含量的影响

氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中

全氮、全磷和全钾含量的影响分别见表 3、表 4 和表 5。

2.3.1 对叶片中全氮含量的影响 由表 3 可以看出:10 月份(2014 年 10 月)至次年 2 月份(2015 年 2 月),除  $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$  [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 2.0、3.0 和 0.5 g]处理组外,其他氮、磷、钾肥配施处理组‘金玉台阁’叶片中全氮含量均呈先降低后升高的趋势,且 10 月份叶片中全氮含量最高,次年 2 月份次之,12 月份(2014 年 12 月)最低。各氮、磷、钾肥配施处理组不同时间间的叶片中全氮含量存在显著差异。

10 月份,  $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$  和  $\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$  [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 3.0、3.0 和 1.0 g]处理组‘金玉台阁’叶片中全氮含量( $19.97 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )最高;12 月份,  $\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$  [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 2.0、1.5 和 1.0 g]处理组叶片中全氮含量( $19.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )最高;次年 2 月份,  $\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$  处理组叶片中全氮含量( $19.88 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )最高。

10 月份、12 月份和次年 2 月份,在  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和 KCl 的单株施用量分别为 3.0 和 1.0 g 条件下,随着  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量的提高,‘金玉台阁’叶片中全

表 3 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中全氮含量的影响( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Effect of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers on total nitrogen content in leaves of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’ ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理组 Treatment group	单株施用量/g Applying amount per plant			不同时间(YYYY-MM)叶片中全氮含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Total nitrogen content in leaves at different times (YYYY-MM)		
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	KCl	2014-10	2014-12	2015-02
$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ (CK)	0.0	0.0	0.0	19.44±0.09aC	18.63±0.02aA	18.85±0.01aB
$\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$	0.0	3.0	1.0	19.56±0.02bC	18.70±0.02bA	18.95±0.03bB
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$	1.0	3.0	1.0	19.63±0.03cC	18.92±0.01dA	19.06±0.02eB
$\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$	2.0	0.0	1.0	19.68±0.03cC	18.87±0.01cA	19.22±0.03eB
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$	2.0	1.5	1.0	19.69±0.04cC	19.13±0.01hA	19.33±0.01gB
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$	2.0	3.0	1.0	19.96±0.02eC	19.11±0.04hA	19.34±0.04gB
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$	2.0	4.5	1.0	19.91±0.03eC	19.03±0.02gA	19.26±0.01fB
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$	2.0	3.0	0.0	19.77±0.02dB	18.91±0.03dA	19.32±0.01gB
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$	2.0	3.0	0.5	19.97±0.02eC	19.11±0.03hB	19.07±0.01dA
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$	2.0	3.0	1.5	19.65±0.02cC	18.95±0.03dA	19.27±0.01fB
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$	3.0	3.0	1.0	19.97±0.01eC	19.12±0.03hA	19.88±0.04hB
$\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$	1.0	1.5	1.0	19.83±0.02dC	19.03±0.01gA	19.19±0.01eB
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_1$	1.0	3.0	0.5	19.67±0.01cC	18.97±0.02eFA	19.32±0.02gB
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$	2.0	1.5	0.5	19.75±0.02dC	19.00±0.03fGA	18.98±0.01cB
R	0.64	0.31	0.22			

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatment groups ( $P < 0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同时间间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different times ( $P < 0.05$ ).

氮含量均呈逐渐升高的趋势;在  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量分别为 2.0 和 1.0 g 条件下,随  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量的提高,叶片中全氮含量总体上逐渐升高,当  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量超过 3.0 g 后叶片中全氮含量降低;在  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  的单株施用量分别为 2.0 和 3.0 g 条件下,在 10 月份和 12 月份, $\text{KCl}$  单株施用量 0.5 和 1.0 g 时叶片中全氮含量较高,而在次年 2 月份, $\text{KCl}$  单株施用量 1.0 g 时叶片中全氮含量最高。

极差分析结果显示: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量对‘金玉台阁’叶片中全氮含量的影响最大, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量的影响次之, $\text{KCl}$  单株施用量的影响最小。

2.3.2 对叶片中全磷含量的影响 由表 4 可以看出:10 月份至次年 2 月份,各氮、磷、钾肥配施处理组‘金玉台阁’叶片中全磷含量总体上呈显著下降的趋势。次年 2 月份, $\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$  [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量分别为 2.0、0.0 和 1.0 g] 处理组叶片中全磷含量降幅最大,下降了 48.8%。

10 月份、12 月份和次年 2 月份,  $\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$  [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量分别为 2.0、4.5 和 1.0 g] 处理组‘金玉台阁’叶片中全磷含量均最高,分别较  $\text{CK}$  [ $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ ,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量均为 0.0 g] 组升高了 47.8%、63.4% 和 57.1%。

10 月份、12 月份和次年 2 月份,在  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量分别为 2.0 和 1.0 g 条件下,随着  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量的提高,‘金玉台阁’叶片中全磷含量均呈逐渐升高的趋势;在  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量分别为 3.0 和 1.0 g 条件下, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量为 2.0 g 时,叶片中全磷含量总体上达到最大值,再增施氮肥降低叶片中全磷含量;在  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  的单株施用量分别为 2.0 和 3.0 g 条件下, $\text{KCl}$  单株施用量为 0.5 g 时,叶片中全磷含量较高。

极差分析结果显示: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  单株施用量对‘金玉台阁’叶片中全磷含量的影响最大, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单株施用量的影响次之, $\text{KCl}$  单株施用量的影响最小。

2.3.3 对叶片中全钾含量的影响 由表 5 可以看出:10 月份至次年 2 月份,各氮、磷、钾肥配施处理组‘金玉台阁’叶片中全钾含量的变化趋势存在差异。次年 2 月份叶片中全钾含量总体上低于 10 月份,其中, $\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$  与  $\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$  [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  的单株施用量分别为 1.0、1.5 和 1.0 g] 处理组的下降幅度较大,分别下降了 18.6% 和 19.9%。

表 4 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’叶片中全磷含量的影响 ( $\bar{X} \pm \text{SD}$ )<sup>1)</sup>

Table 4 Effect of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers on total phosphorus content in leaves of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’ ( $\bar{X} \pm \text{SD}$ )<sup>1)</sup>

处理组 Treatment group	单株施用量/g Applying amount per plant			不同时间(YYYY-MM)叶片中全磷含量/mg·g <sup>-1</sup> Total phosphorus content in leaves at different times (YYYY-MM)		
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$\text{KCl}$	2014-10	2014-12	2015-02
$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ (CK)	0.0	0.0	0.0	1.38±0.11aC	0.82±0.02aB	0.77±0.01aA
$\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$	0.0	3.0	1.0	1.63±0.03dC	1.04±0.02dB	0.95±0.01cA
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$	1.0	3.0	1.0	1.74±0.01fC	1.14±0.02eB	1.03±0.02dA
$\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$	2.0	0.0	1.0	1.70±0.01eC	0.97±0.02cB	0.87±0.02bA
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$	2.0	1.5	1.0	1.73±0.02efB	1.06±0.02cdB	0.93±0.01bA
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$	2.0	3.0	1.0	1.90±0.01hC	1.13±0.03eB	1.07±0.02eA
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$	2.0	4.5	1.0	2.04±0.02iC	1.34±0.02hB	1.21±0.03fA
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$	2.0	3.0	0.0	1.73±0.02efB	1.20±0.02fgA	1.18±0.01fA
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$	2.0	3.0	0.5	1.82±0.02gC	1.22±0.01gB	1.19±0.01fA
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$	2.0	3.0	1.5	1.59±0.02cB	1.18±0.01fA	1.17±0.03fA
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$	3.0	3.0	1.0	1.55±0.02bB	0.96±0.02bA	0.94±0.02cA
$\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$	1.0	1.5	1.0	1.75±0.01fC	1.19±0.02fgB	1.08±0.01eA
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_1$	1.0	3.0	0.5	1.74±0.03fC	1.07±0.02dB	0.98±0.01cA
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$	2.0	1.5	0.5	1.60±0.01cdB	0.98±0.01bA	0.97±0.02cA
R	0.22	0.45	0.13			

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatment groups ( $P < 0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同时间间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different times ( $P < 0.05$ ).

表 5 氮、磷、钾肥配施对桂花品种‘金玉台阁’不同生长时期叶片中全钾含量的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 5 Effect of combined application of nitrogen, phosphorous and potassium fertilizers on total potassium content in leaves of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’ ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理组 Treatment group	单株施用量/g Applying amount per plant			不同时间(YYYY-MM)叶片中全钾含量/mg·g <sup>-1</sup> Total potassium content in leaves at different times (YYYY-MM)		
	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	KCl	2014-10	2014-12	2015-02
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (CK)	0.0	0.0	0.0	1.93±0.02aB	1.77±0.01aA	1.59±0.17aA
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.0	3.0	1.0	2.30±0.02cC	2.15±0.03bB	1.95±0.10bA
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1.0	3.0	1.0	3.50±0.02jA	3.57±0.02hA	3.42±0.13eA
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	2.0	0.0	1.0	3.33±0.02iA	3.37±0.03fgA	3.24±0.12eA
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	2.0	1.5	1.0	3.53±0.02jA	3.59±0.02hA	3.49±0.10eA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.0	3.0	1.0	3.55±0.04jA	3.53±0.02hA	3.43±0.19eA
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	2.0	4.5	1.0	2.78±0.03gC	2.36±0.02dA	2.62±0.12cdB
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	2.0	3.0	0.0	2.60±0.02eB	2.24±0.02cA	2.55±0.06cdB
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	2.0	3.0	0.5	2.73±0.03fC	2.55±0.03dB	2.34±0.14cA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	2.0	3.0	1.5	4.40±0.02kB	4.51±0.02iB	3.80±0.10fA
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	3.0	3.0	1.0	2.53±0.02dB	2.72±0.02cC	2.06±0.06bA
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	1.0	1.5	1.0	2.97±0.02hC	2.83±0.03eB	2.38±0.16cA
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	1.0	3.0	0.5	3.34±0.04iC	3.24±0.04gB	2.82±0.19dA
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2.0	1.5	0.5	2.24±0.04bA	3.33±0.02fC	2.72±0.14dB
R	1.18	0.51	2.12			

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatment groups ( $P < 0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同时间间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different times ( $P < 0.05$ ).

10 月份、12 月份和次年 2 月份, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub> [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量分别为 2.0、3.0 和 1.5 g] 处理组‘金玉台阁’叶片中全钾含量均最高, 分别为 CK 组的 2.28、2.55 和 2.40 倍。

10 月份、12 月份和次年 2 月份, 在 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和 KCl 的单株施用量分别为 2.0 和 1.0 g 条件下, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 单株施用量为 0.0、1.5 和 3.0 g 时‘金玉台阁’叶片中全钾含量显著高于 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 单株施用量为 4.5 g 时; 在 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量分别为 3.0 和 1.0 g 条件下, CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 单株施用量为 1.0 和 2.0 g 时叶片中全钾含量较高; 在 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 的单株施用量分别为 2.0 和 3.0 g 条件下, 随着 KCl 单株施用量的提高, 叶片中全钾含量总体上呈逐渐升高的趋势, KCl 单株施用量 1.5 g 时达到最高。

极差分析结果显示: KCl 单株施用量对‘金玉台阁’叶片中全钾含量的影响最大, CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 单株施用量的影响次之, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 单株施用量的影响最小。

#### 2.4 桂花品种‘金玉台阁’氮、磷、钾肥单株施用量的肥料效应模型分析

将桂花品种‘金玉台阁’单株产花量设为  $y$ ,

CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量设为  $x$ , 分别拟合三元、二元和一元肥料效应模型(表 6), 通过检验筛选出 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 单株最佳施用量。

除拟合三元二次肥料效应模型外, 根据“3414”肥料效应试验设计方案的特点, 分别固定 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量中 1 个因子为“2”水平 [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量分别为 2.0、3.0 和 1.0 g], 以 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量、CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 的单株施用量、CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和 KCl 的单株施用量为因变量分别拟合二元二次肥料效应模型。分别固定 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量其中 2 个因子为“2”水平, 对其余 1 个因子进行单因素分析, 可得 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量分别与单株产花量的一元二次肥料效应模型。

结果表明: 固定 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 为“2”水平 [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 单株施用量为 2.0 g], 以 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 和 KCl 的单株施用量为因变量建立的二元二次肥料效应模型所得的钾肥最佳单株施用量过低, 与实际不符, 故不使用此模型。而三元二次肥料效应模型拟合结果与一元二次肥料效应模型拟合结果较为接近, 可

表6 桂花品种‘金玉台阁’单株产花量(y)与CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl单株施用量(分别为x<sub>N</sub>、x<sub>P</sub>和x<sub>K</sub>)的肥料效应模型  
 Table 6 Fertilizer effect model of flower yield per plant (y) with applying amounts per plant of CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> and KCl (x<sub>N</sub>, x<sub>P</sub> and x<sub>K</sub>, respectively) of *Osmanthus fragrans* ‘Jinyu Taige’

因子 Factor	肥料效应方程 Fertilizer effect equation	F 值 F value	R <sup>2</sup> 值 <sup>1)</sup> R <sup>2</sup> value <sup>1)</sup>	单株最佳施用量/g Optimum applying amount per plant		
				CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	KCl
三因子 Three-factor	$y = 1.2027 + 0.7561x_N + 0.2632x_P + 0.4590x_K - 0.2761x_N^2 - 0.1201x_P^2 - 0.5007x_K^2 + 0.1901x_Nx_P - 0.0960x_Nx_K + 0.1185x_Px_K$	125.18	0.996**	2.58	3.56	0.86
二因子 Two-factor	$y = 1.2507 + 0.6920x_N + 0.3452x_P - 0.2715x_N^2 - 0.1180x_P^2 + 0.2044x_Nx_P$	69.44	0.994**	2.71	3.81	
	$y = 0.9076 + 1.3361x_N + 0.8340x_K - 0.2818x_N^2 - 0.5237x_K^2 + 0.0041x_Nx_K$	125.65	0.997**	2.36		0.79
	$y = 1.6786 + 0.6168x_P + 0.3603x_K - 0.1191x_P^2 - 0.4917x_K^2 + 0.1425x_Px_K$	34.49	0.989**		3.46	0.18
一因子 One-factor	$y = 1.2180 + 1.3430x_N - 0.2830x_N^2$	125.00	0.998*	2.36		
	$y = 1.5490 + 0.7530x_P - 0.1180x_P^2$	37.16	0.990**		3.18	
	$y = 2.4500 + 0.8700x_K - 0.5400x_K^2$	12.35	0.924**			0.81

<sup>1)</sup> \* : 表示在 0.05 水平上显著相关 Indicating the significant correlation at 0.05 level; \*\* : 表示在 0.01 水平上显著相关 Indicating the significant correlation at 0.01 level.

作为推荐的最佳单株施用量,即‘金玉台阁’的CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的最佳单株施用量分别为2.58、3.56和0.86g。

### 3 讨论和结论

叶绿素含量高低能反映植物叶片光合作用能力的强弱<sup>[18]</sup>。增施氮、磷、钾肥能够显著提高叶片中叶绿素含量,但肥料施用量过高时叶绿素含量下降<sup>[19-20]</sup>。本研究中,各氮、磷、钾肥配施处理组桂花品种‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量均显著高于CK[N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>,CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量均为0.0g]组,说明施肥能促进‘金玉台阁’叶片中叶绿素的合成和积累。氮是组成植物体叶绿素的重要矿质元素之一<sup>[21]</sup>,施氮量对叶绿素含量有较大影响<sup>[22]</sup>。上官周平<sup>[23]</sup>认为,氮素对光合作用的影响直接与叶绿素含量有关,施氮后叶绿素含量增加。本研究中,CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>单株施用量是影响‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量的主要因子,10月份(2014年10月)、12月份(2014年12月)和次年2月份(2015年2月),在NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量分别为3.0和1.0g条件下,随着CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>单株施用量(0.0~2.0g)的提高,‘金玉台阁’叶片中叶绿素含量总体上显著升高;且当CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量中2个因子固定在“2”水平,而剩余1个因子在“3”水平时,即N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量分别为2.0、4.5和1.0g]、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub>[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用

量分别为2.0、3.0和1.5g]和N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量分别为3.0、3.0和1.0g]处理组叶片中叶绿素含量均低于N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量分别为2.0、3.0和1.0g]处理组,推测原因为过高施肥量使植株体内矿质元素比例失衡,导致代谢紊乱影响其叶绿素含量,进而引起的养分富集降低了叶绿素含量<sup>[24]</sup>。光合作用是影响植物产量的主要因子<sup>[25]</sup>。邱佳妹等<sup>[26]</sup>研究认为,光合作用的强弱直接影响植株产量。在本研究中,通过施用适量的氮肥使‘金玉台阁’叶片中保持较高的叶绿素含量,延长高光合持续期,从而达到较高的单株产花量。而施氮不足时,如N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量分别为0.0、3.0和1.0g]处理组叶片中叶绿素含量在整个秋冬生长期(10月份至次年2月份)均较低,并且基部老叶变黄,植株有早衰现象,光合面积减小,最终造成花量减少。N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理组的单株产花量显著低于N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理组,推测过量施氮使植株受到逆境胁迫<sup>[27]</sup>,不利于功能叶的叶绿素形成,光合能力下降,最终导致单株产花量降低。

氮、磷、钾是植物生长发育的主要营养元素,其吸收和转化直接影响植物的生长发育。研究表明:氮、磷、钾肥配施不仅能提高植物氮素回收率和改善地上部氮素营养,且通过促进氮素的吸收、积累及运转,从而提高其利用率,还有利于植物对磷素的吸收<sup>[28-29]</sup>。本研究中,10月份、12月份和次年2月份,在CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>和KCl的单株施用量分别为2.0和1.0g条件下,随着NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>单株施用量(0.0~3.0g)的

提高,‘金玉台阁’叶片中全氮含量总体上呈升高的趋势,推测增施磷素主要通过提高氮代谢过程中NR(硝酸还原酶)和GS(谷氨酰胺合成酶)2个关键酶的活性,促进氨基酸的积累和转化,并进一步合成蛋白质,从而促进氮代谢<sup>[30]</sup>。10月份、12月份和次年2月份,在CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>和KCl的单株施用量分别为2.0和1.0 g条件下,高磷肥处理(NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>单株施用量4.5 g)时‘金玉台阁’叶片中全钾含量均最低,说明施用过高的磷肥抑制了‘金玉台阁’对钾的吸收。这与朱峤等<sup>[31]</sup>的研究结果存在差异,推测这种差异可能与植株的生长发育特性及氮、磷、钾之间的协同作用有关。本研究中,各氮、磷、钾肥配施处理组‘金玉台阁’的单株产花量总体上显著高于CK组,推测原因为施用氮、磷、钾肥对其光合作用、呼吸作用及物质合成等许多生理过程有促进作用<sup>[32]</sup>。在秋冬生长期,‘金玉台阁’的发育及开花过程中消耗了较多的氮、磷、钾营养<sup>[33]</sup>,秋冬生长期末期(2015年2月)‘金玉台阁’叶片氮、磷、钾含量总体上低于秋冬生长期初期(2014年10月)。

根系吸收的矿质营养通过蒸腾液流经木质部运输到树体各组织器官<sup>[34]</sup>,而且植物生长发育阶段不同,对营养元素种类、数量和比例的要求不同<sup>[35]</sup>。本研究结果显示:‘金玉台阁’叶片中全氮含量在10月份较高,其中N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量分别为2.0、3.0和0.5 g]和N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理组叶片中全氮含量(19.97 mg·g<sup>-1</sup>)最高,该时期是‘金玉台阁’吸收氮素营养的重要时期。在10月份和12月份N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>处理组叶片中全磷含量均最高,分别为2.04和1.34 mg·g<sup>-1</sup>;N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub>处理组叶片中全钾含量均最高,分别为4.40和4.51 mg·g<sup>-1</sup>,因此,要达到‘金玉台阁’秋冬生长期初期产花量丰产的目的,除了要重视在生育期内氮、磷、钾肥的均衡施用,建议在营养生长期适量增施氮肥以促进叶片光合产物向营养生长中心分配<sup>[6]</sup>,但氮肥过量则易造成植株过剩的营养生长<sup>[35]</sup>,不利于花芽分化和植株过冬。同时,在开花前适量增施磷肥和钾肥有利于养分向生殖生长中心分配。综合考虑单株产花量、花瓣相对含水量以及叶片中叶绿素、全氮、全磷和全钾的含量,筛选出适宜‘金玉台阁’生长及提高产花量的施肥处理组为N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理组。

王圣瑞等<sup>[13]</sup>的研究结果认为,多元二次肥料效应模型拟合的成功率不高,采用一元肥料效应模型可

作为三元肥料效应模型的补充和优化。为了充分利用实验数据,本研究除了拟合三元肥料效应模型外还拟合一元和二元肥料效应模型作为补充。对所拟合的三元二次肥料效应模型进行显著性检验,*F*值检验极显著,单株产花量与CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的单株施用量之间在0.01水平上呈显著回归关系。三元二次肥料效应模型拟合成功的条件为二次项前系数为负值,一次项前系数为正值,即为典型施肥模型,且*F*值检验显著<sup>[9]</sup>。本研究拟合的模型为典型肥效模型,可使用该模型描述‘金玉台阁’单株产花量与CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl单株施用量间的回归关系。在本实验条件下,‘金玉台阁’的CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的最佳单株施用量分别为2.58、3.56和0.86 g。

本研究中仅探讨了氮、磷、钾肥配施对‘金玉台阁’单株产花量、花瓣相对含水量、花径、叶片中叶绿素含量和营养元素含量的影响及单株产花量与CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和KCl的最佳单株施用量肥料效应模型的建立,‘金玉台阁’作为在四川地区广泛栽种的四季桂品种群中的一个品种,在今后的研究中,尚需深入分析四季桂品种群中其他品种的需肥特点及各营养元素对其生理生化特性、产花量和观赏品质的影响机制,以期更有效地提高施肥条件下四季桂品种群的营养利用率。

#### 参考文献:

- [1] ZHAO R F, CHEN X P, ZHANG F S, et al. Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in north China[J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98: 938-945.
- [2] 李文娟, 何萍, 金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(4): 799-807.
- [3] 刘玉艳, 伍敏华, 于凤鸣, 等. 不同氮磷钾配比追肥对盆栽小苍兰生长发育的影响[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(3): 91-94.
- [4] 曾琳, 王更亮, 王广东. 氮磷钾营养水平对观赏向日葵生长发育及光合特性的影响[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(6): 1180-1185.
- [5] 陈洪国. 不同施肥处理对银桂幼树生长及生理特性的影响[J]. *北方园艺*, 2009(3): 193-195.
- [6] 陈洪国. 氮磷钾肥处理对桂花生长、花量及光合作用的影响[J]. *园艺学报*, 2009, 36(6): 843-848.
- [7] 颜晓艺, 林凤莲, 吴承祯, 等. 不同施肥处理对桂花品种‘浦城丹桂’幼苗生长和生理的影响及施肥成本分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2016, 25(3): 52-61.
- [8] 秦帆, 鲜小林, 万斌, 等. 金玉台阁四季桂品种特征特性及

- 优质高效栽培技术[J]. 四川农业科技, 2012(9): 32-33.
- [9] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 197-203.
- [10] 张文君, 鲁剑巍, 蒋志平, 等. 盆栽矮牵牛氮、磷、钾肥效应及推荐用量研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1147-1153.
- [11] 蒋志平, 鲁剑巍, 李文西, 等. 盆栽金盏菊氮磷钾肥料配方的研究[J]. 园艺学报, 2007, 35(2): 269-276.
- [12] 宿庆连, 黄明翅, 陈剑华, 等. 丹尼斯凤梨“3414”施肥效应试验[J]. 广东农业科学, 2013(3): 48-50.
- [13] 王圣瑞, 陈新平, 高祥照, 等. “3414”肥料试验模型拟合的探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 409-413.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] 臧德奎, 向其柏. 中国桂花品种分类研究[J]. 中国园林, 2004, 20(11): 40-49.
- [16] 杨康民, 夏瑞妹, 戚五妹. 上海地区桂花品种开花性状的分析研究[J]. 园艺学报, 1989, 16(2): 146-152.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 李铮铮, 伍 钧, 唐 亚, 等. 铅、锌及其交互作用对鱼腥草(*Houttuynia cordata*)叶绿素含量及抗氧化酶系统的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5441-5446.
- [19] SHANGGUAN Z, SHAO M, DYCKMANS J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat [J]. Journal of Plant Physiology, 2000, 156: 46-51.
- [20] 汪 灿, 王诗雪, 李 曼, 等. 播种量和施肥水平对春播甜荞光合特性及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 1021-1029.
- [21] 杨 亮, 赵宏伟, 宋谨同, 等. 氮肥用量对芸豆叶绿素含量和子粒营养品质影响的研究[J]. 作物杂志, 2013(1): 81-87.
- [22] 张 强, 李自超, 傅秀林, 等. 不同株穗型水稻超高产品种叶绿素含量变化规律及籽粒灌浆动态研究[J]. 作物学报, 2005, 31(9): 1198-1206.
- [23] 上官周平. 氮素营养对旱作小麦光合特性的调控[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(2): 105-110.
- [24] 余凯凯, 宋喜娥, 高 虹, 等. 不同施肥水平下多效唑对马铃薯光合及叶绿素荧光参数的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(1): 154-163.
- [25] 王 帅, 杨劲峰, 韩晓日, 等. 不同施肥处理对旱作春玉米光合特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(6): 23-27.
- [26] 邱佳妹, 王康才, 朱光明, 等. 不同施肥配比对麦冬幼苗光合特性及干物质分配的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(2): 61-66, 111.
- [27] 徐 澜, 高志强, 安 伟, 等. 冬麦春播条件下旗叶光合特性、叶绿素荧光参数变化及其与产量的关系[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 133-142.
- [28] 闵 炬, 施卫明, 王俊儒. 不同施氮水平对大棚蔬菜氮磷钾养分吸收及土壤养分含量的影响[J]. 土壤, 2008, 40(2): 226-231.
- [29] 陈凤真. 氮磷钾用量及配比对黄瓜矿质元素吸收和产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(6): 174-180.
- [30] 孙慧敏. 施肥量和施磷方式对小麦品质、产量和氮素利用的影响[D]. 泰安: 山东农业大学农学院, 2004: 274-284.
- [31] 朱 峤, 潘远智, 赵 莉. 氮、磷、钾、钙对香水百合生长及叶片养分含量的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 274-284.
- [32] BUCHANAN B B, GRUISSSEN W, JONES R L. Biochemistry and Molecular Biology of Plants[M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Ltd., 2015: 260-310, 568-628.
- [33] 冀爱青, 朱 超, 彭功波, 等. 不同早实核桃品种叶片矿质元素含量变化及其与产量的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1234-1240.
- [34] 马建军, 张立彬. 野生欧李生长期矿质营养元素含量的变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 165-168.
- [35] 陈波浪, 盛建东, 李建贵, 等. 红枣树氮、磷、钾吸收与累积年周期变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 445-450.

(责任编辑: 张明霞)