

供氮水平对一串红‘橙香公主’生长和氮磷钾吸收的影响

佟静¹, 刘克锋², 孙向阳¹, 李素艳¹, 张秀芳²

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 北京农学院 城乡发展学院, 北京 102206)

摘要: 氮是影响园林植物生长发育和观赏品质的关键元素。以典型园林植物一串红 *Salvia splendens* 栽培型‘橙香公主’‘Chengxiang Gongzhu’为试验材料, 设置 0(N₀), 5(N₁), 25(N₂), 50(N₃), 100(N₄), 150(N₅), 200(N₆), 250 mg·L⁻¹(N₇)等 8 个不同氮素水平, 研究了不同氮营养液施用量对植株生长指标和养分吸收的影响。结果表明: 在 0~250 mg·L⁻¹ 范围内随着施氮水平的增加, 株高、冠幅、地径、干物质质量和叶绿素质量分数出现先增加后减低趋势。其中株高、植株干物质质量均在 N₅ 达到最大值, 冠幅和地径、叶绿素质量分数均在 N₆ 达到最大值。叶面积和根长随着施氮水平的增加而增加, 根冠比先下降后趋于平缓。随着供氮水平的增加, ‘橙香公主’氮吸收量逐渐增加, 氮的吸收率呈先下降后上升波动趋势。随着供氮水平的增加, 根、茎、叶、花部位钾养分的吸收比磷的吸收影响更为明显, 其中对根和花中钾的吸收, 以及对叶和花中磷吸收影响最为明显。综合研究结果表明, 供氮水平为 150~200 mg·L⁻¹ 最适合‘橙香公主’的生长发育。图 6 参 4 参 22

关键词: 植物营养学; 氮营养液; 一串红‘橙香公主’; 植物生长; 养分吸收

中图分类号: Q945.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)03-0465-08

Nitrogen nutrient solutions for growth of *Salvia splendens* ‘Chengxiang Gongzhu’ with N, P and K absorption

TONG Jing¹, LIU Kefeng², SUN Xiangyang¹, LI Suyan¹, ZHANG Xiufang²

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Urban and Rural Development College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: Nitrogen is the key element for garden plant growth and ornamental quality. The research of the application of nutrient solution is an important way to prohibit the improper nitrogen application. To study the effects on the plant growth index and nutrient (P, K) absorption, a nutrient solution was applied to a typical garden plant *Salvia splendens* ‘Chengxiang Gongzhu’. Eight different N concentration levels of 0, 5, 25, 50, 100, 150, 200, and 250 mg·L⁻¹ (named N₀, N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, and N₇), respectively, were applied. Five replications were conducted for each treatment. Duncan’s new multiple range test was used for the statistical significance test, with the significance level of $P < 0.05$. Results indicated that with an increasing N level, plant height, crown diameter, ground diameter, dry weight, and chlorophyll content first significantly rose and then dropped. Plant height and plant dry weight reached a maximum with N₅, and crown breadth, ground diameter, and chlorophyll content all reached a maximum with N₆. As N increased, leaf area and root length significantly increasing, but the root-shoot ratio first dropped then began to flatten. ‘Chengxiang Gongzhu’ N uptake also increased gradually; whereas, the N absorption ratio decreased sharply from N₁ to N₂ followed by fluctuations from N₃ to N₇. In all plant organs (root, stem, leaf, and flower), the addition of N influenced the K absorption

收稿日期: 2016-05-20; 修回日期: 2016-09-07

基金项目: 北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建项目资助(BLCXY201508); 国家林业公益性行业科研专项(201504205)

作者简介: 佟静, 博士研究生, 从事植物营养和土壤生态研究。E-mail: Tongj@bjfu.edu.cn。通信作者: 孙向阳, 教授, 博士, 博士生导师, 从事植物营养、土壤生态、绿化废弃物资源化再利用等研究。E-mail: sunxy@bjfu.edu.cn

ratio more than the absorption of P. The most obvious effects of adding N were on K absorption in roots and flowers, and P absorption in flowers and leaves. Based on this study, recommended N concentration levels between 150–200 mg·L⁻¹ would be most suitable for the growth of ‘Chengxiang Gongzhu’. [Ch, 6 fig. 4 tab. 22 ref.]

Key words: plant nutrition; nitrogen nutrient solution contents; *Salvia splendens* ‘Chengxiang Gongzhu’; vegetative growth; nutrition absorption

一部分生产者不了解花卉的养分需求特性, 往往养分施用量不足、过量或比例不当, 生产中出现各种营养失调症状, 严重影响花卉产业的快速发展^[1]。营养液施用的推广是改善园林花卉栽培营养元素施用不当, 促进花卉产业健康发展的重要途径, 也是无土栽培的核心^[2-4]。营养液中各种离子的浓度和比例直接影响观赏植物不同观赏部位的生长^[5-6], 尤其是营养液中氮素的供给对花卉植物的光合作用、生理生长及观赏品质有非常重要的影响^[7-11]。氮是叶绿体最重要的组成元素, 也是植物体内氨基酸和一些关键植物激素的重要组成部分。据研究, 植物体内 75%的氮都集中于叶绿体中, 植物氮素是否适宜严重影响着植物的光合物质代谢; 而且植物体内氨基酸和蛋白质、磷脂、酶、生长素等植物激素、生物碱及多种维生素中也包含氮素; 此外, 氮对磷钾等营养元素的吸收也有一定影响^[12-19]。因此, 氮施用量是否适宜在一定程度上决定着花卉植物光合作用、营养物质供给、花卉生长发育和观赏品质。研究花卉植物不同供氮水平对植物的光合作用、不同器官的生长发育以及对磷钾等营养元素吸收的影响规律有重要意义。一串红 *Salvia splendens* 是典型的园林花卉植物, 因具有生长周期短、适应性强、花期较长、花色纯正、总状花序开花不断、观赏价值高等特性, 广泛用作花丛、花坛、组合盆栽, 也用于花境与林缘小道的镶边, 具有广阔的市场前景^[20]。本研究以典型的一串红新品种‘橙香公主’ *Salvia splendens* ‘Chengxiang Gongzhu’ 为例^[21], 利用营养液施用研究了不同供氮水平对‘橙香公主’生长、叶绿素、营养吸收的影响, 以确定一串红适宜氮用量, 使生产中的氮素管理更加精确化, 在保证一串红观赏品质的前提下, 提高氮利用效率。

1 材料和方法

1.1 试验材料和地点

供试材料为北京农学院一串红课题组选育的一串红新品种‘橙香公主’, 试验于北京农学院温室大棚中进行, 播种基质选择 V(国产草炭):V(园土)=3:1, 以珍珠岩为栽培基质。栽培容器为 135 mm × 150 mm 的双色塑料盆。试验期间大棚内温度保持在(25±3) °C以上, 平均相对湿度为 50%~70%。基本能满足‘橙香公主’正常生长。

1.2 试验设计

实验设置 8 个处理, 氮营养液形态为硝酸铵(NH₄NO₃), 母液采用改良后的霍格兰营养液配方(表 1), 采用去离子水配制母液, 自来水配制营养液。处理间各营养元素用量除了氮素不同, 其他元素总用量相同。隔 3 d 浇灌 1 次氮营养液, 营养液用量均为 150 mL·株⁻¹·次⁻¹, 试验期间共浇灌 20 次。处理之

表 1 不同氮营养液处理及母液配方

Table 1 Arrangement of different N level and Nutrient formula

氮水平	氮		大量元素			微量元素		
	化合物	质量分数/(mg·L ⁻¹)	元素	化合物	质量分数/(mg·L ⁻¹)	元素	化合物	质量分数/(mg·L ⁻¹)
N ₀	硝酸铵	0	磷	磷酸二氢钠	60	锰	硫酸锰	0.50
N ₁	硝酸铵	5	钾	硫酸钾	100	钼	钼酸钠	0.20
N ₂	硝酸铵	25	钙	氯化钙	50	硼	硼酸	0.10
N ₃	硝酸铵	50	镁	硫酸镁	25	锌	硫酸锌	0.20
N ₄	硝酸铵	100				铜	硫酸铜	0.02
N ₅	硝酸铵	150				铁	乙二胺四乙酸铁钠	2.00
N ₆	硝酸铵	200						
N ₇	硝酸铵	250						

间除实验因素外, 其他管理措施相同。

1.3 测定内容和方法

1.3.1 指标测定 选用1个月株龄‘橙香公主’, 缓苗1周开始实验研究。实验结束后, 一串红株龄为97 d, 温室实验取样测试共进行60 d。实验测定株高、冠幅、地径、叶面积、根长、叶绿素、养分等指标。株高测定用钢尺测量基质表面到植株顶部距离, 随机选定固定的5株·处理⁻¹进行测量, 计算平均值即为该处理株高; 用直尺测量植株冠幅, 十字交叉方向分别测量1次取平均值, 随机选定固定的5株·处理⁻¹进行测量, 所得平均值即为该处理冠幅值; 地径测定用游标卡尺测量植株基部的直径; 利用叶面积仪(M300)测定各个植株中部3对叶片叶面积; 用根系扫描仪测定分析各处理根长; 叶片叶绿素质量分数测定参考丙酮乙醇混合法; 采用鲍士旦^[22]土壤农化分析里面的方法测定‘橙香公主’中全效氮、磷、钾养分质量分数。

1.3.2 生物量测定 随机取5株·处理⁻¹, 从珍珠岩表面开始把每株植株用剪刀剪断, 分为地上部分和地下部分, 用自来水冲洗掉缠绕在根部的珍珠岩, 滤纸擦干根系表面水分。地上部分为茎、叶片和花3个部分。同样用自来水冲洗干净后用滤纸吸干表面水分。分别把根、茎、叶、花装入信封, 在105℃烘干箱中杀青1h, 然后在60℃下烘干至恒量, 用1/10 000电子天平分别称量根、茎、叶、花各部位, 所得平均值即为该处理根、茎、叶、花干物质质量。

1.3.3 数据分析方法 数据采用Excel和SPSS 17.0软件进行分析, Duncan法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 供氮水平对‘橙香公主’株高、冠幅、地径、叶面积和根长的影响

不同的供氮水平处理下‘橙香公主’的株高、冠幅、地径、叶面积和根长如表2所示。随着供氮水平的增加, 株高呈现先增高后降低的趋势, 在N₅处达到最大值27.700 cm, N₆与N₅, N₇之间差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。N₀株高最小, 为7.280 cm, 与N₁处理差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。冠幅随着供氮水平的增加出现先升高后下降趋势, 在N₆处达到最大值19.650 cm, 与N₅和N₇差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。N₀冠幅为最小值4.100 cm, 与N₁差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。N₁与N₀, N₂处理不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。地径也呈现先升高后减低变化趋势。在N₆处理达到最大值5.380 cm, 与N₅, N₇之间差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。N₇, N₄之间差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。N₁, N₂, N₃之间差异不显著($P>0.05$), 与其他处理差异显著($P<0.05$)。N₀处理地径值最小为2.260 cm, 与其他处理差异显著($P<0.05$)。氮处理对‘橙香公主’叶面积的影响, 一直都是增加的趋势, 在N₇处达到最大值2 804.270 mm², 与N₅, N₆之间差异不显著($P>0.05$), 与其他各处理之间差异显著($P<0.05$)。N₀到N₄差异不显著($P>0.05$), N₀为最小值261.000 mm²。

根系是植物吸收水分和养分的主要器官, 根系形态和空间分布影响着养分吸收。用根系扫描仪测定‘橙香公主’根长。不同的供氮水平对根长影响如表2所示: ‘橙香公主’根长呈现上升的趋势。N₀处

表2 不同氮营养液处理对‘橙香公主’株高、冠幅、地径、叶面积和根长的影响

Table 2 Effects of different N treatment on plant height, crown, diameter, leaf area and root length of the ‘Chengxiang Gongzhu’

处理	株高/cm	冠幅/cm	地径/cm	叶面积/mm ²	根长/cm
N ₀	7.280 ± 1.190 e	4.100 ± 1.130 e	2.260 ± 0.290 e	261.000 ± 95.730 d	5.487 ± 0.111 f
N ₁	11.440 ± 1.020 de	6.090 ± 0.600 de	2.930 ± 0.320 cd	580.900 ± 255.640 d	10.911 ± 0.643 e
N ₂	14.100 ± 3.290 d	8.060 ± 1.600 cd	3.340 ± 0.370 c	842.500 ± 167.350 cd	12.055 ± 0.661 de
N ₃	19.200 ± 4.760 c	10.050 ± 1.180 c	3.820 ± 0.290 c	1 209.330 ± 229.270 bcd	12.055 ± 0.661 de
N ₄	21.700 ± 2.910 bc	13.900 ± 1.350 b	4.610 ± 0.740 b	1 430.400 ± 339.790 bcd	14.639 ± 4.367 dcb
N ₅	27.700 ± 2.930 a	18.850 ± 1.880 a	5.310 ± 0.490 a	1 875.800 ± 344.170 abc	16.930 ± 1.108 ab
N ₆	25.500 ± 3.200 ab	19.650 ± 2.000 a	5.380 ± 0.470 a	2 105.800 ± 737.740 ab	16.060 ± 1.181 ab
N ₇	27.000 ± 4.640 a	18.900 ± 2.850 a	4.850 ± 0.330 ab	2 804.270 ± 3 184.280 a	18.178 ± 1.042 a

说明: 不同小写字母在0.05水平上差异显著。

理根长最短, 为 5.487 cm。根长在 N_7 处理时达到最长为 18.179 cm, 显著大于 N_0 处理, 与 N_5 和 N_6 处理差异不显著 ($P>0.05$)。这说明在一定范围内, 较高的氮供应有利于根长的增加, 过高的供氮量在一定程度上促进根系的伸长。

N_5 和 N_6 处理促进了‘橙香公主’株高、冠幅、地径、叶面积生长发育, 有利于形成优良的株型, 提高观赏品质, 可以为开花提供必要的营养基础。 N_7 叶面积达到最大值, 而株高、冠幅、地径指标下降, 可能是施用氮肥过量, 会导致营养生长过剩, 开花时间延长。

2.2 供氮水平对‘橙香公主’叶绿素质量分数的影响

对不同供氮水平的‘橙香公主’叶绿素质量分数进行分析, 结果如表 3 所示。叶绿素 a, 叶绿素 b 及叶绿素总量均值 N_6 处理达到最大值, 其次为 N_7 和 N_5 , 叶绿素质量分数分别为 $2.115 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $1.827 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $1.630 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在 $N_0\sim N_6$ 处理之间随着供氮水平的提高, 植株叶色由黄变绿到浓绿, 叶绿素 a, 叶绿素 b 及叶绿素总量呈上升趋势, 在 N_7 处理稍微有所下降。不同供氮水平对‘橙香公主’叶色影响显著。 N_0 处理叶色发黄, 新叶出现不同程度的黄化, N_1 和 N_2 处理也有类似现象, 叶片内叶绿素质量分数显著低于 N_6 处理, 可知氮缺乏影响了叶绿素的形成。处理间叶绿素质量分数的变化进一步反应了叶色的变化趋势。适当的氮肥有助于叶绿素质量分数的提高, 氮肥过多或过少均不利于叶绿素质量分数的增加, $N_4\sim N_6$ 处理叶色为正常绿色, N_7 处理‘橙香公主’的叶片由正常的浅绿色或黄绿色转为绿色或墨绿色(图1)。

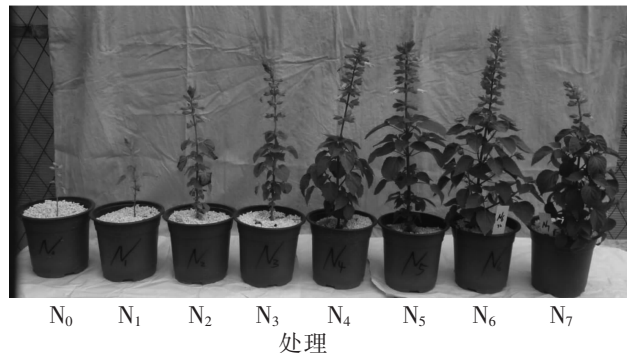


图1 实验结束后‘橙香公主’盆栽生长状况

Figure 1 Growth status of ‘Chengxiang Gongzhu’ after the experiment

表 3 不同供氮水平对‘橙香公主’叶绿素 a, 叶绿素 b 和叶绿素总量的影响

Table 3 Effects of different N treatment on the chlorophyll content of ‘Chengxiang Gongzhu’

处理	叶绿素 a/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素总量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	处理	叶绿素 a/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 b/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素总量/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
N_0	$0.297 \pm 0.120 \text{ e}$	$0.125 \pm 0.052 \text{ c}$	$0.422 \pm 0.165 \text{ e}$	N_4	$1.105 \pm 0.231 \text{ c}$	$0.325 \pm 0.086 \text{ b}$	$1.430 \pm 0.317 \text{ c}$
N_1	$0.372 \pm 0.122 \text{ e}$	$0.105 \pm 0.023 \text{ c}$	$0.477 \pm 0.144 \text{ e}$	N_5	$1.265 \pm 0.115 \text{ bc}$	$0.365 \pm 0.047 \text{ b}$	$1.630 \pm 0.161 \text{ bc}$
N_2	$0.515 \pm 0.192 \text{ de}$	$0.151 \pm 0.057 \text{ c}$	$0.666 \pm 0.248 \text{ de}$	N_6	$1.627 \pm 0.172 \text{ a}$	$0.488 \pm 0.043 \text{ a}$	$2.115 \pm 0.214 \text{ a}$
N_3	$0.707 \pm 0.167 \text{ d}$	$0.201 \pm 0.054 \text{ c}$	$0.908 \pm 0.220 \text{ d}$	N_7	$1.426 \pm 0.063 \text{ ab}$	$0.401 \pm 0.066 \text{ ab}$	$1.827 \pm 0.118 \text{ ab}$

说明: 不同小写字母在 0.05 水平上差异显著。

2.3 供氮水平对‘橙香公主’干物质质量的影响

干物质质量是衡量植物生长发育和营养状况的非常重要的参考依据。‘橙香公主’不同部位的干物质质量如图 2 所示。根、茎、叶、花的干物质质量均在 N_5 处理时达到最大值, 全株干物质质量为 5.212 g, 其次为 N_6 和 N_4 , 全株干物质质量分别为 4.251 g 和 3.661 g, N_0 处理各器官干物质质量最小, 全株干物质质量为 0.091 g, 可知供氮水平在 $0\sim 150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时植株干物质质量随供氮水平的提高呈上升趋势, 当供氮水平超过 $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 植株干物质质量呈下降趋势。

2.4 供氮水平对‘橙香公主’根冠比的影响

根冠比是反应光合产物在地下部分和地上部分分配的比例指标。供氮水平对‘橙香公主’植株根冠比的影响如图 3 所示, 随着供氮水平的提高, 根冠比呈现先下降后趋于平缓的规律, 在 N_0 处理时根冠比最大, 其次是 N_1 处理, 分别为 3.190 和 1.091。其他各处理之间根冠比均小于 1。虽然 N_0, N_1, N_2 处于低氮水平, ‘橙香公主’根冠比明显高于其他高氮水平, 这是因为植株在缺氮状态时, 光合产物运送到根系的比例增加, 引起根系的生长速度相对加快。说明在低氮胁迫下, 优先供应地下部分的根系生长发育, 扩大根系吸收养分的范围。

2.5 供氮水平对‘橙香公主’植株养分吸收量的影响

2.5.1 供氮水平对‘橙香公主’植株不同部位氮吸收的影响 由图 4 可以看出, ‘橙香公主’根氮质量分数呈现降低—升高—降低—再升高趋势, 变化规律不明显。在 N_7 水平达到最大值为 $20.171 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, N_6

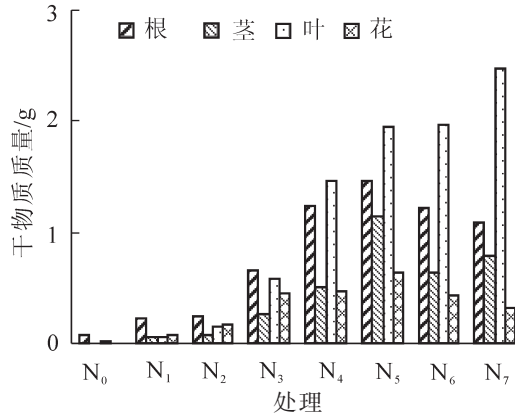


图 2 不同氮水平处理对‘橙香公主’干物质质量的影响

Figure 2 Effects of different N treatment on dry weight of the ‘Chengxiang Gongzhu’

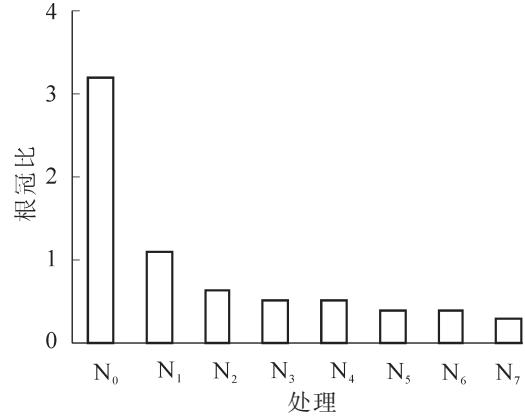


图 3 不同供氮水平处理对地下/地上部分根冠比的影响

Figure 3 Effects of different N treatment on root/shoot dry weight ratio of the ‘Chengxiang Gongzhu’

水平次之值为 18.666 g·kg⁻¹。茎、叶、花氮质量分数随着供氮水平的升高而逐渐增加，茎氮的质量分数在 N₀~N₅ 变化不明显，N₅ 之后上升趋势明显，在 N₇ 处理时达到最大值，为 19.850 g·kg⁻¹。叶内氮质量分数从 N₃ 到 N₇ 上升趋势明显，在 N₇ 达到最大值，为 40.542 g·kg⁻¹。花氮的质量分数在 N₇ 处理最高 38.868 g·kg⁻¹，N₀ 最低为 14.719 g·kg⁻¹。根、茎、叶、花氮质量分数变化趋势基本相同，均值 N₃ 处理有稍微下降，之后就开始上升。叶和花在 N₅~N₇ 之间差异不大。

2.5.2 供氮水平对‘橙香公主’植株氮吸收量的影响

计算氮营养液施用量和植物对养分的吸收量，得出不同氮梯度处理氮吸收率如表 4 所示。氮吸收率均随供氮水平的提高而降低。‘橙香公主’在 N₁ 处理时，即 5 mg·L⁻¹，氮吸收率最高为 11.950%。其他各处理氮吸收率均远小于 N₁，说明花期氮的吸收利用率低，造成了氮肥的浪费，花期应适当降低氮营养液浓度，达到盆花低施肥、高品质的生产目的。

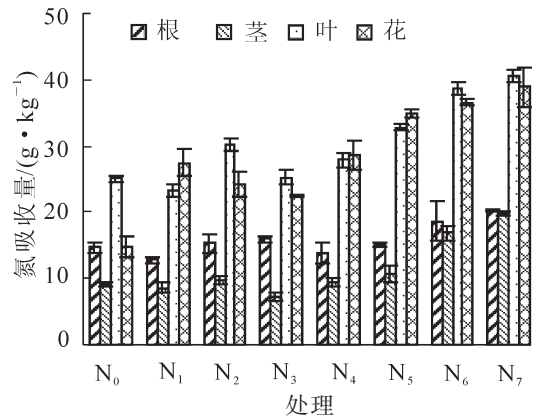


图 4 不同供氮水平处理对‘橙香公主’不同部位氮吸收量的影响

Figure 4 Effects of different N treatment on N absorption amount of the ‘Chengxiang Gongzhu’

表 4 不同供氮水平处理对‘橙香公主’植株氮吸收量的影响

Table 4 Effects of different N treatment on N absorption rate of the ‘Chengxiang Gongzhu’

处理	氮吸收量/(mg·株 ⁻¹)	氮吸收率/%	处理	氮吸收量/(mg·株 ⁻¹)	氮吸收率/%	处理	氮吸收量/(mg·株 ⁻¹)	氮吸收率/%
N ₀	1.667		N ₃	4.775	3.184	N ₆	20.946	3.491
N ₁	1.793	11.950	N ₄	11.966	3.989	N ₇	26.413	3.522
N ₂	2.261	3.015	N ₅	18.745	4.165			

2.5.3 供氮水平对‘橙香公主’不同部位磷吸收的影响

‘橙香公主’不同部位磷质量分数如图 5 所示。‘橙香公主’叶部磷质量分数变化无规律，在 N₁ 处达到最大值为 13.791 g·kg⁻¹，N₂ 处理为最小值 9.569 g·kg⁻¹。花部磷质量分数变化不明显，在 N₃ 处理达到最大值 11.670 g·kg⁻¹，N₁ 处理次之，值为 11.462 g·kg⁻¹。随着供氮水平的升高，根磷质量分数各处理间变化不大，N₀ 处理为最大值 16.222 g·kg⁻¹，N₅ 处理为最小值为 15.581 g·kg⁻¹。茎磷质量分数最低，呈现先降后升趋势，在 N₃ 处理为最小值 4.541 g·kg⁻¹，且各处理间差异不明显。

2.5.4 供氮水平对‘橙香公主’不同部位钾吸收的影响

由图 6 可知：不同供氮水平对钾吸收的影响，从 N₁ 开始‘橙香公主’植株钾质量分数以花为最高，茎最低。各处理间花的钾质量分数呈先上升后下

降趋势,可以看出缺氮处理,不利于花对钾的吸收,低氮处理有利于钾向花内转移,在 N_1 处理花钾质量分数达到最大值 $9.275\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次为 N_3 处理 $7.913\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, N_0 处理时为最小值 $1.753\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。茎的钾质量分数在 N_0 处理达到最大 $1.748\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, N_3 处理为最小值 $0.195\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,随着供氮水平的增加,茎的钾质量分数呈现先下降后平缓上升趋势,处理间无明显差异。根部钾的质量分数在 $N_0\sim N_3$ 之间变化不大, $N_3\sim N_7$ 下降趋势,在 N_3 处理达到最大值 $6.191\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,且 N_3 与 N_4 处理间变化明显。说明在一定范围低氮处理有利于根部钾的吸收。叶的钾质量分数 N_0 处理为最大 $3.999\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $N_1\sim N_7$ 区间‘橙香公主’叶的钾质量分数差异不明显,随着供氮水平的增加,对叶部钾的吸收影响不大,氮过量不利于钾在花和根部的累积。

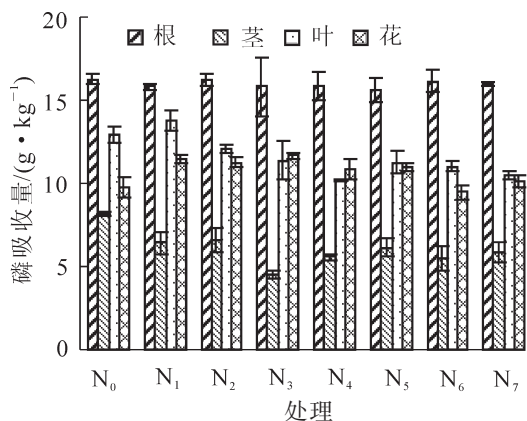


图5 不同供氮水平处理对‘橙香公主’不同部位磷吸收量的影响

Figure 5 Effects of different N treatment on the P absorption amount of the ‘Chengxiang Gongzhu’

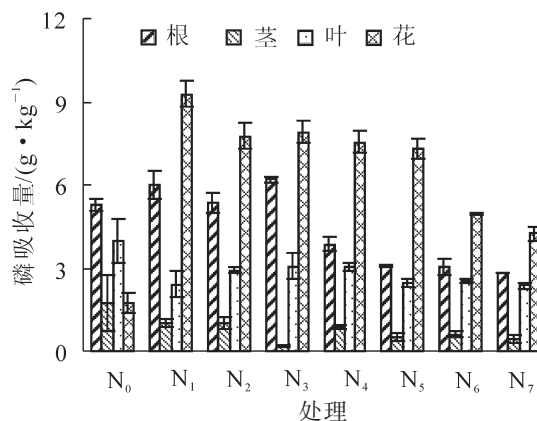


图6 不同供氮水平处理对‘橙香公主’不同部位钾吸收量的影响

Figure 6 Effects of different N treatment on the K absorption amount of the ‘Chengxiang Gongzhu’

3 结论与讨论

采用单因子随机区组实验设计,研究了不同供氮水平处理对一串红‘橙香公主’生长发育的影响。主要研究结果如下:供氮水平在 $0\sim 250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内,随着供氮水平的增加,‘橙香公主’的株高、冠幅、地径、叶绿素总量、叶绿素a和叶绿素b均呈现先增加后下降的变化趋势。植株营养生长大多在 N_5 水平达到峰值,说明 N_5 处理最有利于‘橙香公主’植株营养物质的积累。根据根冠比可以发现,‘橙香公主’地下部分与地上部分生长存在一定的关联性。

在氮质量浓度 $5\sim 250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内,‘橙香公主’各部位氮的吸收量随供氮水平的提高而升高,而氮吸收率均随供氮水平的提高而降低。‘橙香公主’在 N_1 处理时,即 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,氮吸收率最高为23.058%。其他各处理氮吸收率均远小于 N_1 。说明花期氮的吸收利用率低,高供氮水平造成了氮肥的浪费,花期应该降低供氮水平。

‘橙香公主’根、茎、叶、花中磷质量分数变化无明显规律,各处理间差异不大,茎的磷质量分数最低。从 N_1 开始‘橙香公主’植株钾质量分数为花>根>叶>茎,表明低氮添加易使钾向花转移; $N_1\sim N_3$ 氮处理水平下,植株根、茎、叶、花各器官内钾的质量分数明显高于高氮处理,表明低氮处理更有利于植株各器官钾的吸收。

本研究认为供氮水平在 $150\sim 200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内最适合‘橙香公主’的生长发育,有利于形成优良株型,提高观赏品质,筛选出了典型花卉植物施氮的最佳范围阈值。根据供氮水平下株高、冠幅、地径生长的差异,可以推知 N_7 处理时植株处于氮营养过剩状态。对不同供氮水平下叶色和叶绿素质量分数分析表明:叶绿素质量分数与叶色由黄色逐渐变绿变化相一致,说明氮参与‘橙香公主’叶绿素的形成,且‘橙香公主’叶绿素质量分数主要是受叶绿素a的影响,受叶绿素b的影响较小。本研究通过对典型花卉植物的不同供氮水平影响的系统研究,弥补了花卉植物施氮影响目前研究的不足。同时,与以往施氮影响研究不同的是,本研究不仅分析了以往常规的氮添加对植株生长、生物量、叶绿素等影响关

系^[14-16], 而且系统阐明了不同供氮处理水平对磷、钾等重要元素在根、茎、叶、花各器官内的迁移过程的影响, 对花卉植物栽培中如何合理设置氮、磷、钾配比研究也有重要借鉴意义。

4 参考文献

- [1] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 270 - 271.
- [2] 王晋, 周相助, 胡海非, 等. 硝态和铵态氮配比对水培油麦菜苗期生长及生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(3): 542 - 550.
WANG Jin, ZHOU Xiangzhu, HU Haifei, *et al.* Effect of nitrogen forms on the growth and physiological characteristics of *Lactuca sativa* L. seedlings [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2016, **36**(3): 542 - 550.
- [3] 沈家洛. 营养液管理方式和氮素形态对 NFT 栽培生菜生长和烧边发生的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 13 - 14.
SHEN Jialuo. *Effects of Nutrient Solution Management Methods and Nitrogen Forms on the Growth and Tipburn Incidence of Lettuce in Nutrient Film Technique* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013: 13 - 14.
- [4] 胡玥, 金敏凤, 王全喜. 不同无土栽培方式及其对蔬菜品质影响的研究进展[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2015, **44**(6): 672 - 680.
HU Yue, JIN Minfeng, WANG Quanxi. Effects of different cultivation patterns on nutrient and safety qualities of vegetables: a review [J]. *J Shanghai Norm Univ Nat Sci*, 2015, **44**(6): 672 - 680.
- [5] 杨旭, 邹志荣, 贺忠群, 等. 蔬菜无土栽培营养液中的氮素及其调控[J]. 西北植物学报, 2003, **23**(9): 1644 - 1649.
YANG Xu, ZOU Zhirong, HE Zhongqun, *et al.* The solution nitrogen of vegetable in nutrient solution and its regulation [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2003, **23**(9): 1644 - 1649.
- [6] 李邵, 薛绪掌, 齐飞, 等. 不同营养液浓度对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, **17**(6): 1409 - 1416.
LI Shao, XUE Xuzhang, QI Fei, *et al.* Effects of different nutrient solution contents on yield and quality of greenhouse potted cucumber [J]. *J Plant Nutr Fert*, 2011, **17**(6): 1409 - 1416.
- [7] 宋夏夏, 束胜, 郭世荣, 等. 黄瓜基质栽培营养液配方的优化[J]. 南京农业大学学报, 2015, **38**(2): 197 - 204.
SONG Xiaxia, SHU Sheng, GUO Shirong, *et al.* Optimization of nutrient solution formula applied in cucumber cultivation with substrate [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2015, **38**(2): 197 - 204.
- [8] KIFERLE C, MAGGINI R, PARDOSSI A. Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in hydroponic culture [J]. *Aust J Crop Sci*, 2013, **7**(3): 321 - 327.
- [9] McNICKLE G G, DEYHOLOS M K, CAHILL J F Jr. Ecological implications of single and mixed nitrogen nutrition in *Arabidopsis thaliana* [J]. *BMC Ecol*, 2013, **13**(1): 93 - 97.
- [10] 马庆旭, 吴良欢, 曹小闯, 等. 营养液 pH 和氮形态对小白菜生长、氮素吸收及品质的影响[J]. 水土保持学报, 2015, **29**(6): 64 - 68.
MA Qingxu, WU Lianghuan, CAO Xiaochuang, *et al.* Effects of pH and nitrogen forms of hydroponic nutrient solution on the growth, nitrogen absorption and edible quality of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) [J]. *J Soil Water Conserv*, 2015, **29**(6): 64 - 68.
- [11] 刘世亮, 化党领, 介晓磊, 等. 不同铵态氮/硝态氮配比营养液对烟草矿质营养吸收与积累的影响[J]. 土壤通报, 2010, **41**(6): 1423 - 1427.
LIU Shiliang, HUA Dangling, JIE Xiaolei, *et al.* Effect of nutrient solutions with different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios on absorption and accumulation of mineral nutrients in tobacco [J]. *Chin J Soil Sci*, 2010, **41**(6): 1423 - 1427.
- [12] 孙宏彦, 杨帆, 陶洪斌, 等. 氮素形态和营养液浓度对二色补血草生长的影响[J]. 中国农业大学学报, 2008, **13**(1): 36 - 41.
SUN Hongyan, YANG Fan, TAO Hongbin, *et al.* Effects of nitrogen forms and solution concentration on growth of *Limonium bicolor* L. [J]. *J China Agri Univ*, 2008, **13**(1): 36 - 41.
- [13] 高培军, 邱永华, 周紫球, 等. 氮素施肥对毛竹生产力与光合能力的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(5): 697 - 703.
GAO Peijun, QIU Yonghua, ZHOU Ziqiu, *et al.* Productivity and photosynthetic ability of *Phyllostachys edulis* with

- nitrogen fertilization [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(5): 697 – 703.
- [14] 张守仕, 彭福田, 齐玉吉, 等. 不同养分供应方式对盆栽桃树生长及其氮素吸收、分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, **21**(1): 156 – 163.
ZHANG Shoushi, PENG Futian, QI Yuji, *et al.* Effects of different nutrition supply on growth, nitrogen uptake and partitioning of pot cultured nectarine [J]. *J Plant Nutr Fert*, 2015, **21**(1): 156 – 163.
- [15] 刘巧真, 郭芳阳, 梁涛, 等. 幼苗期不同烤烟品种对氮营养响应的差异研究[J]. 湖北农业科学, 2015, **54**(12): 2950 – 2953.
LIU Qiaozhen, GUO Fangyang, LIANG Tao, *et al.* Study on response of different flue-cured tobacco to nitrogen nutrition at seedling stage [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, **54**(12): 2950 – 2953.
- [16] 汤明尧, 张炎, 胡伟, 等. 加工番茄氮肥用量与氮营养状况诊断研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015(4): 82 – 87.
TANG Mingyao, ZHANG Yan, HU Wei, *et al.* Research on reasonable nitrogen fertilizer input and nitrogen nutrition diagnosis of tomato [J]. *Soil Fert Sci China*, 2015(4): 82 – 87.
- [17] TAKASHIMA T, HIKOSAKA K, HIROSE T. Photosynthesis or persistence: nitrogen allocation in leaves of evergreen and deciduous *Quercus*, species [J]. *Plant Cell Environ*, 2004, **27**(8): 1047 – 1054.
- [18] IATROU M, PAPADOPOULOS A. Influence of nitrogen nutrition on nitrate levels of atrawberry leaf blades and petioles [J]. *J Plant Nutr*, 2015, **39**(8): 1131 – 1136.
- [19] MICHNIEWICZ M, ROŻEJ B, STOPIŃSKA J. The influence of nitrogen nutrition on the dynamics of growth and metabolism of endogenous growth regulators in scotch pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings [J]. *Acta Soc Bot Pol*, 2015, **45**(4): 495 – 510.
- [20] 程金水. 园林植物遗传育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 224 – 233.
- [21] 刘克锋, 洪培培, 陈洪伟, 等. 橙色一串红新品种‘橙香公主’[J]. 园艺学报, 2012, **39**(3): 607 – 608.
LIU Kefeng, HONG Peipei, CHEN Hongwei, *et al.* A new *Salvia splendens* cultivar ‘Chengxiang Gongzhu’ [J]. *Acta Horti Sin*, 2012, **39**(3): 607 – 608.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263 – 270.