

基于 Ebb & Flow 灌溉系统的不同营养液组分对 朵丽蝶兰生长和开花的影响

付艳茹¹, 安正弼², 石杜娟¹, 于璇³, 黄玉婷³, 李海燕¹, 崔永一³

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300; 2. 吉林省延边农业科学研究所, 吉林 龙井 133400; 3. 浙江农林大学 农业与食品科学学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 采用 Ebb & Flow 灌溉系统对朵丽蝶兰 *Doritaenopsis* 'Labios' 进行了栽培研究, 并通过比较 3 种不同营养液对朵丽蝶兰生物量积累及开花特性的影响, 探讨了采用潮汐灌溉系统对朵丽蝶兰进行规模化栽培的可行性。结果显示: 循环潮水式 Ebb & Flow 灌溉系统可用于朵丽蝶兰的规模化栽培。N3 营养液(硝态氮 115.5 mg·L⁻¹, 铵态氮 7.0 mg·L⁻¹; 磷 120.0 mg·L⁻¹; 钾 243.8 mg·L⁻¹; 钙 200 mg·L⁻¹; 镁 60.0 mg·L⁻¹)有助于增加朵丽蝶兰地上部分生物量的积累及花梗长度, 其中氮和钾的质量浓度为主要因素, 且硝态氮更利于朵丽蝶兰的吸收。图 1 表 5 参 22

关键词: 园艺学; 朵丽蝶兰; 营养液; Ebb & Flow 灌溉系统; 生长和开花

中图分类号: S682.31 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)02-0251-06

Growth and flowering of *Doritaenopsis* using Ebb & Flow subirrigation system with nutrient solutions

FU Yanru¹, AN Zhengbi², SHI Dujuan¹, YU Xuan³, HUANG Yuting³, LI Haiyan¹, CUI Yongyi³

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Agricultural Science Institute of Yanbian, Longjing 133400, Jilin, China; 3. School of Agriculture and Food Science, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: In this study, *Doritaenopsis* 'Labios' plants were cultivated by automatically recirculating Ebb & Flow subirrigation system. Three different nutrient solution formulations of N1 (NO₃⁻-N: 94.5 mg·L⁻¹; NH₄⁺-N: 10.5 mg·L⁻¹; P: 60.2 mg·L⁻¹; K: 243.8 mg·L⁻¹; Ca: 180.0 mg·L⁻¹; and Mg: 60.0 mg·L⁻¹), N2 (NO₃⁻-N: 94.5 mg·L⁻¹; NH₄⁺-N: 10.5 mg·L⁻¹; P: 144.0 mg·L⁻¹; K: 205.1 mg·L⁻¹; Ca: 239.6 mg·L⁻¹; and Mg: 63.3 mg·L⁻¹), and N3 (NO₃⁻-N: 115.5 mg·L⁻¹; NH₄⁺-N: 7.0 mg·L⁻¹; P: 120.0 mg·L⁻¹; K: 243.8 mg·L⁻¹; Ca: 200 mg·L⁻¹; and Mg: 60.0 mg·L⁻¹) was used to study the effects on biomass accumulation and flowering characteristics. The results showed that all the three treatments of *Doritaenopsis* 'Labios' plants could flowering. What's more, the plants were treated with N3 nutrient solution performed better than N1 and N2 treatments, indicating that N3 nutrient solution was the most favorable for the growth of *Doritaenopsis* and can improve the quality effectively. In addition, the study also showed that nitrate is more conducive for *Doritaenopsis* absorption. [Ch, 1 fig. 5 tab. 22 ref.]

Key words: horticulture; *Doritaenopsis*; nutrient solution; Ebb & Flow subirrigation system; growth and flowering

收稿日期: 2014-04-21; 修回日期: 2014-05-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771762, 31170658); 浙江省中青年学科带头人培养资助项目(2272000004); 浙江省留学回国人员科技择优资助项目(2045200000)

作者简介: 付艳茹, 从事朵丽蝶兰的栽培及分子生物学研究。E-mail: fuyanru369842@163.com。通信作者: 崔永一, 教授, 博士, 从事兰科植物品质改良、生理生化及分子生物学研究。E-mail: orchidcui@163.com

朵丽蝶兰是朵丽蝶兰属 *Doritaenopsis* 植物的统称, 是由五唇兰属(也称朵丽兰属) *Doritis* 和蝴蝶兰属 *Phalaenopsis* 杂交而成的新属, 广义上仍归属于蝴蝶兰属^[1]。其花数多, 花期长, 花形飘逸, 造型典雅, 可作切花, 也可作盆花, 在鲜花市场颇受欢迎, 市场份额已占到蝴蝶兰总数的一半左右^[2], 具有较高的观赏价值和经济价值。在蝴蝶兰施肥灌溉方面的研究发现, 到目前为止, 国内蝴蝶兰肥料主要以速溶性复合肥和传统有机肥为主, 针对不同品种甚至不同种并未有专门的肥料供选择, 且多采用叶面喷施和灌根的方式, 不仅增加了蝴蝶兰生产者和使用者的难度, 还常因施肥不当对蝴蝶兰造成根系腐烂、病虫害滋生, 甚至有种苗被烧死的现象^[3]。同时, 栽培蝴蝶兰的基质一般为树皮、水苔、椰壳、泥炭藓等^[4], 其透水性较强易造成矿质元素的流失和浪费, 甚至会对环境造成不同程度的污染^[5]。研制养分释放速率与作物吸收规律相同步的缓/控释肥已成为现代花卉农业的重点研究方向之一。蒋瑞萍等^[6]研制出了适用于大多数蝴蝶兰生长发育的花卉缓控释放肥, 实现了对蝴蝶兰的长效施肥, 但因蝴蝶兰各品种间的营养生长特性和需肥规律不同, 养分的释放速度受温度和包裹剂膜微孔的孔隙影响较大, 很难实现控释肥的释放速度与植物需求完全吻合, 且包裹剂价格偏高, 降解周期长, 还可能对基质造成二次污染^[7]。此外, 同步控水问题也有待解决。循环潮水式 Ebb & Flow 灌溉系统起源于设施栽培发达的荷兰, 是利用落差原理, 实现对容器苗底部定时同时给水与施肥的灌溉方式, 不仅操作简便, 省时省工, 安全环保, 还能节约水源, 提高水分利用率和矿质元素吸收率, 降低惨败叶和病虫害的发生^[8-10]。目前, 该系统已在多种作物上成功应用, 而采用该系统对朵丽蝶兰进行栽培目前尚未见系统研究。本试验试图采用此灌溉系统栽培朵丽蝶兰, 并通过比较 3 种不同营养液对朵丽蝶兰生物量积累和开花特性的影响, 探讨采用该系统栽培朵丽蝶兰的可行性, 为深入开展朵丽蝶兰 Ebb & Flow 灌溉系统的规模化栽培提供参考。

1 材料与方法

本研究于 2013 年 3 月-2014 年 1 月在浙江农林大学智能温室和亚热带森林培育国家重点实验室培育基地进行。

1.1 试验材料

植物材料为生长 19 个月, 鲜质量约为 80 g, 长势一致, 以水苔为栽培基质的朵丽蝶兰 *Doritaenopsis* 'Labios' 组培苗。营养液采用 3 种不同组分的营养液, 其大量元素质量浓度如表 1 所示, 微量元素采用通用成分。

表 1 3 种营养液中大量元素的质量浓度

Table 1 Concentration of large number elements in three different nutrient solutions

营养液	营养液中各大量元素质量浓度/(mg·L ⁻¹)					
	硝态氮(NO ₃ -N)	铵态氮(NH ₄ ⁺ -N)	磷(P)	钾(K)	钙(Ca)	镁(Mg)
N1	94.5	10.5	60.2	243.8	180.0	60.0
N2	94.5	10.5	144.0	205.1	239.6	63.3
N3	115.5	7.0	120.0	243.8	200.0	60.0

说明: N1 和 N3 为浙江农林大学研究的兰花营养液配方^[1]; N2 为韩国忠北大学研究的兰花营养液配方^[11]。

1.2 试验方法

1.2.1 试验方案设计 将大小均一, 长势一致的朵丽蝶兰植株移栽到 10 cm × 10 cm 的塑料透明营养杯中, 并分成 3 组, 45 株·组⁻¹, 分别置于 3 个带半圆形凹槽的栽培床上, 采用循环潮水式 Ebb & Flow 灌溉系统进行自动浇灌施肥。时间设置为 3 d 灌溉 1 次, 灌施 5 min·次⁻¹, 且每次灌施前都要测定剩余营养液的 pH 值和电导率, 并重新用硫酸和氢氧化钠调节其 pH 值, 保持 pH 5.6, 期间随时移除栽培床上的植物干枯叶或其他杂物, 保持栽培床干净整洁, 30 d 更新 1 次营养液。处理期间测定不同处理组朵丽蝶兰不同生长阶段大量元素含量及生物量的变化, 进而分析朵丽蝶兰对营养元素的需求规律。

1.2.2 样品的采集和处理 每次均于上午 9:00 采样, 并测定试验材料的各项生理和形态指标。采样时先将试验材料从基质中小心取出, 用自来水冲洗干净, 并用吸水纸将其表面水分吸干后称鲜质量; 再置于烘干箱中 100 °C 杀青 30 min 后降温至 65 °C 缓慢烘干后称干质量; 后用粉碎机将样品充分粉碎备用, 以测定其中各大量元素的含量。

1.2.3 各项指标的测定 用 pH 计(HM-20, ETOA, Japan)和电导率(EC)计(CM-20, ETOA, Japan)分别测定营养液的 pH 值和电导率；用电子天平称量样品的干质量和鲜质量；用米尺和细线测花梗的长度；用刻度尺测叶片长度和宽度后，计算新增加的叶面积。采用靛酚蓝比色法(721 型分光光度计，上海索域设备有限公司)测定全氮(N)质量浓度；钼酸铵比色法测定磷(P)质量浓度；原子吸收法(Z-6100 型原子分光光度计，Japan)测定钾(K)，钙(Ca)和镁(Mg)的质量浓度。

2 结果与分析

2.1 开花前不同营养液 pH 值和电导率的变化

选取开花前 15 d 内 6 次所测定的剩余营养液的 pH 值和电导率分别作图(图 1)并分析其变化趋势。由图 1 可知：在开花前 15 d 内，从第 3 次测定即开花前第 9 天开始，3 种不同营养液的 pH 值都呈现不同程度的下降趋势。其中营养液 N1 的 pH 值下降幅度最大，N2 其次，下降趋势同 N1，N3 最小。比较 3 种营养液的成分，分析 pH 值变化程度不同的主要原因，推测可能与根系对氮元素的 2 种离子即硝态氮(NO_3^-)和氨态氮(NH_4^+)吸收比例有关。同时，3 种营养液的电导率也从第 3 次测定开始均有不同程度的升高，其中营养液 N1 和 N3 的电导率变化程度较小，趋势较平稳，而 N2 的电导率变化程度相对较大。推测原因可能与植株根系对可溶性离子的选择性吸收程度随朵丽蝶兰营养生长旺盛和开花进程接近发生了一定的变化有关。

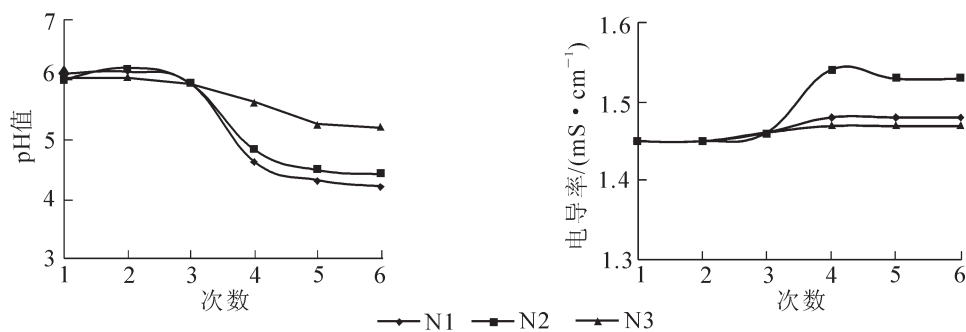


图 1 开花前不同营养液的 pH 和电导率变化

Figure 1 Changes in pH and EC among three different nutrient solutions before inflorescence emergence

2.2 不同营养液对朵丽蝶兰生物量积累的影响

2.2.1 不同营养液对朵丽蝶兰营养生长阶段生物量积累的影响 随机分别选取经处理 3 个月处于营养生长阶段的朵丽蝶兰植株，5 株·组⁻¹，测定其生物量，包括新叶数、新增加叶面积、鲜质量和干质量。由表 2 可知，在 3 种不同组分营养液的处理下，朵丽蝶兰营养生长阶段的生物量都有不同程度的变化。其中用 N3 营养液处理的植株在新增加叶面积、植株鲜质量和干质量的地上部生物量积累均明显高于用营养液 N1 和 N2 处理的材料。结合 3 种营养液的组分分析可知：营养液 N3 与 N1 和 N2 的主要区别在于其氮质量浓度较高，且主要为硝态氮。由此可推测：氮可能是影响朵丽蝶兰营养阶段生物量积累的主要因素之一，且硝态氮可能更利于其生长发育。

2.2.2 不同营养液对朵丽蝶兰生殖生长阶段生物量积累的影响 分别随机选取经处理 7 个月处于生殖生长阶段的朵丽蝶兰植株，5 株·组⁻¹，测定其生物量，主要为鲜质量和干质量。由表 3 可知：朵丽蝶兰生

表 2 不同营养液对朵丽蝶兰营养生长阶段生物量积累的影响

Table 2 Effects of different nutrient solutions on the biomass accumulation of *Doritaenopsis* 'Labios' during vegetative growth stage

营养液	新叶数	新增加叶面积/cm ²	鲜质量/g			干质量/g		
			地上部	地下部	总质量	地上部	地下部	总质量
N1	2.1 b	160.1 b	81.1 b	57.8 a	138.9 b	4.6 b	3.8 a	8.4 a
N2	2.1 b	162.3 b	83.3 b	54.2 a	137.5 b	4.5 b	3.4 a	7.9 a
N3	2.3 b	211.6 a	106.4 a	59.1 a	165.5 a	5.1 a	3.8 a	8.9 a

说明：采用邓肯氏新复极差方差分析。a 和 b 表示 0.05 水平差异显著性。

殖生长阶段的生物量在营养液 N3 的处理下其鲜质量和干质量均显著高于 N1 和 N2 处理下的材料。结合表 2 结果综合比较可知：朵丽蝶兰生殖生长阶段生物量积累较营养生长阶段均有所增加，且地上部分鲜质量增加较多。因鲜质量中水分含量相对较大，可推测 N3 营养液不仅能够满足朵丽蝶兰不同生长阶段对大量元素的需求，还可能更利于植株对水分的吸收。

表 3 不同营养液对朵丽蝶兰生殖生长阶段生物量积累的影响

Table 3 Effects of different nutrient solutions on the biomass accumulation of *Doritaenopsis* 'Labios' during reproductive growth stage

营养液	鲜质量/g			干质量/g		
	地上部	地下部	总和	地上部	地下部	总和
N1	98.5 b	52.4 b	150.9 b	5.0 a	3.9 a	8.9 a
N2	88.5 b	51.8 b	140.3 b	4.6 b	3.5 a	8.1 b
N3	115.7 a	57.9 a	173.6 a	5.3 a	3.9 a	9.2 a

说明：采用邓肯氏新复极差方差分析。a 和 b 表示 0.05 水平差异显著性。

2.3 不同处理组朵丽蝶兰营养生长阶段和生殖生长阶段叶和根中各大量元素差异

分别于营养液处理后 3 个月和 7 个月时，从每个处理组中随机挑取 5 株测定其叶和根中大量元素（表 4）。由表 4 可以看出：朵丽蝶兰无论是在营养生长阶段还是生殖生长阶段，各大量元素在叶中的质量浓度均比根中的质量浓度高，且钾的质量浓度明显高于其他各大量元素。同时，各大量元素在所有处理组中的质量浓度显示其在生殖生长阶段均高于营养生长阶段。结合图 1 结果，综合分析可知朵丽蝶兰在生殖生长阶段对各大量元素的选择性吸收程度加大，推测剩余营养液在开花前期呈现 pH 值不断下降，电导率不断上升的趋势可能与之有一定的关系。

表 4 不同处理组朵丽蝶兰叶和根中各大量元素的质量浓度

Table 4 Contents of nutritional elements between in leaves and roots of different treated *Doritaenopsis* 'Labios'

生长阶段	组织部位	营养液	大量元素的质量浓度/(g·L ⁻¹)				
			氮(N)	磷(P)	钾(K)	钙(Ca)	镁(Mg)
营养生长阶段	叶	N1	19.1	2.8	56.8	11.5	6.2
		N2	20.0	3.7	50.7	15.4	6.8
		N3	20.0	3.9	51.9	11.9	5.8
	根	N1	11.7	2.6	29.0	3.2	4.0
		N2	13.2	3.4	30.6	4.6	6.2
		N3	12.2	3.3	34.9	3.7	6.0
生殖生长阶段	叶	N1	22.0	4.0	63.5	12.3	6.9
		N2	21.1	4.4	61.7	15.4	7.1
		N3	22.8	4.1	66.5	12.9	5.8
	根	N1	10.9	3.0	32.0	4.9	5.6
		N2	14.0	4.2	32.9	5.5	9.0
		N3	14.0	3.6	36.6	4.3	8.0

2.4 不同营养液对朵丽蝶兰开花特性的影响

表 5 为朵丽蝶兰在 3 种不同营养液处理下的开花率、花梗长度和数量、单株花数与花径等开花特性。由表 5 结果可以看出，试验材料在 3 种不同组分营养液的处理下，均可正常开花，但营养液 N3 处

表 5 不同组分营养液对朵丽蝶兰开花特性的影响

Table 5 Effects of different nutrient solutions on the flowering characteristics of *Doritaenopsis* 'Labios'

营养液	开花率/%	花梗长度/cm	花梗数量	单株花数	花径/cm
N1	100	62.6 b	1.1 a	9.8 a	6.5 a
N2	100	65.7 ab	1.2 a	10.5 ab	6.3 a
N3	100	68.6 a	1.3 a	11.3 a	6.7 a

说明：采用邓肯氏新复极差方差分析。a 和 b 表示 0.05 水平差异显著性。

理的植株花梗长度均显著高于 N1 和 N2, 有助于提高朵丽蝶兰的开花品质。

3 讨论和结论

在花卉栽培中, 简易的灌溉施肥设施及合理的营养液配方对花卉大规模的生产尤为重要。本试验发现朵丽蝶兰在循环潮水式 Ebb & Flow 灌溉系统的栽培下均能正常生长开花, 无烂根烂叶病虫害发生, 且该系统操作简便, 节水省肥, 省时省工, 可满足大规模生产的需要。基于该系统, N3 营养液对朵丽蝶兰的生物量积累和开花特性均有不同程度的影响。

从朵丽蝶兰不同阶段的生物量积累及开花特性分析可知, 营养液 N3 有助于增加朵丽蝶兰的地上部分生物量积累和花梗长度。因蝴蝶兰属植物为景天酸代谢植物, 是典型的喜酸性植物, 最适宜的酸碱度为 pH 5.6^[11], 此外, 电导率为营养液中可溶性离子的浓度, 可以反映营养液中可溶性养分的总量。电导率过低则不足以维持植物正常生长, 电导率过高则抑制植物生长, 甚至造成盐害。结合剩余营养液的 pH 值和电导率综合分析可知, N3 剩余营养液的电导率和 pH 值波动最小, 较适宜朵丽蝶兰的栽培。从朵丽蝶兰不同生长阶段叶和根中大量元素的含量分析, 可知朵丽蝶兰在生殖生长阶段对各元素的需求量都较营养生长阶段有所增加, 且在整个生长阶段对大量元素的需求量为钾 > 氮 > 钙 > 镁 > 磷。由此发现: 朵丽蝶兰在整个生长阶段对钾的需求相对都较高, 这与 Li 等^[12]曾发现在蝴蝶兰培养基中添加适当浓度的高氯酸钾(KClO₃)可提高蝴蝶兰花的产量和品质的研究结果是一致的。Wang^[13]曾提出缺钾时蝴蝶兰的叶片会出现由下向上的黄变现象和紫色斑点, 甚至在抽出花梗和开花后坏死。Susilo 等^[14-16]曾对蝴蝶兰中的储存氮和外源氮在其体内不同阶段、不同组织中的吸收和分配用氮的同位素 ¹⁵N 进行了跟踪标记, 发现氮源的库存在营养阶段就已开始, 且在新叶中的存储量较大, 生殖生长阶段时, 氮源的存储量减小, 以备外源氮素缺乏时, 即将库存的氮源转移供开花使用, 且平均分配到每个花器官中。有报道^[17]蝴蝶兰在氮素水平高的基质中长势最好。磷则有助于增加干质量和提高株高, 质量浓度为 25~50 mg·L⁻¹ 时即可供蝴蝶兰正常生长^[18]。在高磷高氮的情况下, 随着钾质量浓度增大, 蝴蝶兰抽出的花茎长度变长变粗, 花数增多, 花径变大, 有助于提高花的品质^[13]。当氮质量浓度较低时, 即使高磷高钾也会使蝴蝶兰花数减少, 但持续施用过高的氮肥, 则会使抽梗时间延迟, 尤其是在施用铵态氮肥时开花更晚^[18]。当氮素用量较高(100 mg·L⁻¹)时, 硝态氮似乎优于铵态氮, 原因是铵态氮不仅会抑制根系生长, 还会影响叶片组织中氮的同化作用^[19]。而硝态氮是一种储藏形式的氮^[20], 作为植物体内的信号分子, 调控植物的生长发育^[21]。此外, 硝态氮和铵态氮吸收所需的最适酸碱度分别是 pH 4.5~6.0 和 pH 6.7~7.0^[22]。从 3 种不同营养液的组分可知, 氮质量浓度高于 100 mg·L⁻¹, 且营养液的初始 pH 5.6, 硝态氮可能更利于朵丽蝶兰的吸收和生长发育。钙和镁等元素也是植物生长发育不可缺少的重要元素, 但 Wang 等^[17]在研究肥料和基质组成对蝴蝶兰营养生长影响时提出高质量浓度的镁会严重影响植物对钙离子(Ca²⁺)的吸收。

综上所述, 循环潮水式 Ebb & Flow 灌溉系统可用于朵丽蝶兰的自动化、规模化和标准化栽培。N3 营养液对朵丽蝶兰各生长阶段地上部分生物量的积累均明显高于 N1 和 N2。其中氮钾质量浓度影响较大, 且硝态氮更利于朵丽蝶兰的吸收, 但仍需进一步优化基于该系统栽培朵丽蝶兰的生产体系。

4 参考文献

- [1] LUO Xiaoyan, ZHANG Chi, CUI Yongyi, *et al.* Isolation and characterization of a *Doritaenopsis* hybrid *GIGANTEA* gene, which possibly involved in inflorescence initiation at low temperatures [J]. *Kor J Hort Sci Technol*, 2011, **29**(2): 135 - 143.
- [2] 孙小明, 崔永一. 营养液组分对朵丽蝶兰生长开花的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, **35**(3): 25 - 30.
SUN Xiaoming, CUI Yongyi. Effects of different nutrient solution on the growth and flowering of *Doritaenopsis* 'White Castle' [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2012, **35**(3): 25 - 30.
- [3] 赵九州, 陈洁敏, 陈松笔, 等. 基质与氮磷钾比例对蝴蝶兰(*Phalaenopsis hybridum*)生长发育的影响[J]. 园艺学报, 2000, **27**(5): 383 - 394.
ZHAO Jiuzhou, CHEN Jiemin, CHEN Songbi, *et al.* Effects of media and NPK proportion on growth and flowering of *Phalaenopsis hybridum* [J]. *Acta Hort Sin*, 2000, **27**(5): 383 - 394.
- [4] BLANCHARD M G, RUNKLE E S. Container opacity and media components influence rooting of potted *Phalaenopsis*

- and *Doritaenopsis orchids* [J]. *Acta Hort*, 2008, **788**: 115 – 120.
- [5] 李海云, 王秀峰, 邢禹贤. 设施土壤盐分积累及防治措施研究进展[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, **32**(4): 535 – 538.
LI Haiyun, WANG Xiufeng, XING Yuxian. Research progress on salt accumulation in the greenhouse soil and control methods [J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci*, 2001, **32**(4): 535 – 538.
- [6] 蒋瑞萍, 李苹, 徐培智, 等. 花卉缓/控释复合肥对盆栽蝴蝶兰生长发育及其观赏性的影响[J]. 中国农学通报, 2012, **28**(19): 184 – 188.
JIANG Ruiping, Liping, XU Peizhi, *et al.* The influence of flower slow/controlled release compound fertilizer on the growth and ornamental value of potted *Phalaenopsis amabilis* [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28**(19): 184 – 188.
- [7] 段路路. 缓控释肥料养分释放机理及评价方法研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
DUAN Lulu. *Mechanism and Evaluation of Nutrient Release of Slow and Controlled-release Fertilizers* [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2009.
- [8] DUMROESE R K, PINTO J R, JACOBS D F. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery [J]. *NPJ Fall*, 2006, **7**(3): 253 – 261.
- [9] KLOCK-MOORE K A, BROSCHE T K. Use of subirrigation to reduce fertilizer runoff [J]. *Proc Fla State Hort Soc*, 2000, **113**: 149 – 151.
- [10] MORVANT J K., DOLE J M., COLE J C. Fertilizer source and irrigation system affect geranium growth and nitrogen retention [J]. *HortScience*, 2001, **36**(6): 1022 – 1026.
- [11] CUI Yongyi, PANDEY D M, HAHN E J, *et al.* Effect of drought on physiological aspects of crassulacean acid metabolism in *Doritaenopsis* [J]. *Plant Sci*, 2004, **167**(6): 1219 – 1226.
- [12] LI G S, DUAN Jun, CHEN Zhilin, *et al.* KClO₃ applications affect *Phalaenopsis* orchid flowering [J]. *Sci Hortic*, 2006, **110**(4): 362 – 365.
- [13] WANG Y T. Potassium nutrition affects *Phalaenopsis* growth and flowering [J]. *Hort Sci*, 2007, **42**(7): 1563 – 1567.
- [14] SUSILO H, PENG Yingchun, LEE S C, *et al.* The uptake and partitioning of nitrogen in *Phalaenopsis* Sogo Yukidian 'V3' as shown by ¹⁵N as a tracer [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 2013, **138**(2): 229 – 237.
- [15] SUSILO H, PENG Yingchun, ALEX Y C, *et al.* Nitrogen source determined significant for inflorescence development in *Phalaenopsis* (I) relative significance of stored and newly absorbed nitrogen [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 2014, **139**(1): 69 – 75.
- [16] SUSILO H, PENG Yingchun, ALEX Y C, *et al.* Nitrogen source determined significant for inflorescence development in *Phalaenopsis* (II) effect of reduced fertilizer level on stored nitrogen use [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 2014, **139**(1): 76 – 82.
- [17] WANG Y T, KONOW E A. Fertilizer source and medium composition affect vegetative growth and mineral nutrition of a hybrid moth orchid [J]. *J Am Soc Hort Sci*, 2002, **127**(3): 442 – 447.
- [18] WANG Y T. *Phalaenopsis* mineral nutrition [J]. *Acta Hort*, 2010, **878**: 321 – 333.
- [19] 曹翠玲. 氮素及形态对作物的生理效应[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2002.
CAO Cuiling. *Effect of Nitrogen and Nitrogenform on Physiological Characteristics and Yields of Crop* [D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2002.
- [20] GUERRERO M G, VEGA J M, LOSADA M. The assimilatory nitrate-reduction and its regulation [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1981, **32**: 369 – 402.
- [21] 罗雪华, 邹碧霞, 吴菊群, 等. 氮水平和形态对比对巴西橡胶树花药生长及氮代谢、光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, **17**(3): 693 – 701.
LUO Xuehua, ZOU Bixia, WU Juqun, *et al.* Effects of different nitrogen levels and NH₄⁺/NO₃⁻ ratios on the growth nitrogen metabolism and photosynthesis of anther-derived somatic seedlings of *Hevea brasiliensis* [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2007, **17**(3): 693 – 701.
- [22] 王宪泽, 程炳嵩, 张国珍. 氮素形态与作物生育的关系及其影响因子[J]. 山东农业大学学报, 1990, **21**(1): 93 – 98.
WANG Xianze, CHENG Bingsong, ZHANG Guozhen. Relationship between nitrogen forms and plant growth and its influence factors [J]. *J Shandong Agric Univ*, 1990, **21**(1): 93 – 98.