

# 不同荷花品种出泥部分与根状茎 生长性状和部分生理指标的比较及相关性分析

王彦杰<sup>①</sup>, 刘佳鹤<sup>①</sup>, 金奇江, 郭源, 杜嘉, 徐迎春<sup>②</sup>

(南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

**摘要:** 在盆栽条件下, 对不同荷花 (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 品种 [藕莲品种‘大紫红’ (‘Dazihong’)、花莲品种‘中国红·上海’ (‘Zhongguohongshanghai’) 和花藕兼用莲品种‘逸仙莲’ (‘Yixianlian’)] 出泥部分 (叶和花) 和泥下部分 (根状茎) 的生长性状和部分生理指标进行了比较研究, 并对 3 个荷花品种出泥部分与根状茎间的生长性状和部分生理指标进行了相关性分析。结果表明: ‘大紫红’ 在整个生长发育期不开花; ‘中国红·上海’ 开花时间相对较早 (6 月上旬), 花重瓣且色泽鲜艳; ‘逸仙莲’ 开花时间相对较晚 (7 月上中旬), 花单瓣呈白色。3 个荷花品种中, ‘大紫红’ 立叶数最少, 立叶面积最大, 根状茎膨大明显, 根状茎中可溶性糖和可溶性蛋白质含量最高; ‘中国红·上海’ 立叶数最多, 立叶中叶绿素含量最高, 根状茎节间长度最长, 但根状茎膨大不明显; ‘逸仙莲’ 立叶数居中, 叶柄最长, 根状茎膨大明显, 根状茎中可溶性蛋白质、可溶性糖、淀粉和维生素 C 含量介于其他 2 个荷花品种之间。相关性分析结果表明: 荷花立叶面积与根状茎节间长度呈显著负相关, 而与根状茎中可溶性糖、可溶性蛋白质及维生素 C 含量呈极显著或显著正相关; 叶柄长度与根状茎直径和根状茎节间质量呈显著正相关; 立叶中叶绿素含量与根状茎节间长度和根状茎中淀粉含量呈显著正相关, 而与根状茎中可溶性糖含量呈显著负相关。研究结果显示: 根据供试 3 个荷花品种的立叶面积、叶柄长度、立叶中叶绿素含量可间接判断根状茎的生长发育及营养品质状况, 并可进一步应用于快速选育花藕兼用莲品种。

**关键词:** 荷花; 出泥部分; 根状茎; 生长性状; 生理指标; 相关性分析

中图分类号: Q945.3; S645.1; S682.32 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)03-0044-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.03.06

**Comparisons on growth characters and some physiological indexes of above-silt part and rhizome of different cultivars of *Nelumbo nucifera* and correlation analysis** WANG Yanjie<sup>①</sup>, LIU Jiahe<sup>①</sup>, JIN Qijiang, GUO Yuan, DU Jia, XU Yingchun<sup>②</sup> (College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(3): 44-50

**Abstract:** Under pot culture condition, growth characters and some physiological indexes of above-silt part (leaf and flower) and under-silt part (rhizome) of different cultivars (rhizome lotus cultivar ‘Dazihong’, flower lotus cultivar ‘Zhongguohongshanghai’ and dual purpose of flower and rhizome lotus cultivar ‘Yixianlian’) of *Nelumbo nucifera* Gaertn. were compared and researched, and correlation analysis on growth characters and some physiological indexes of above-silt part and rhizome of three cultivars of *N. nucifera* were conducted. The results show that ‘Dazihong’ does not flower throughout the growth and development period. ‘Zhongguohongshanghai’ has a relatively early flowering time (the first ten days of June), with double flower and bright color. ‘Yixianlian’ has a relatively late flowering time (the first and middle ten days of July), with single flower and white color. Among three cultivars of *N.*

收稿日期: 2016-11-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31400600); 江苏省农业科技自主创新资金项目 [CX(16)1024; CX(15)1030]; 南京农业大学 SRT 计划项目 (1414A24)

作者简介: 王彦杰 (1986—), 女, 湖南张家界人, 博士, 讲师, 主要从事荷花栽培生理与分子生物学方面的研究。

刘佳鹤 (1993—), 女, 河北保定人, 硕士研究生, 主要从事园艺作物栽培生理方面的研究。

<sup>①</sup> 共同第一作者

<sup>②</sup> 通信作者 E-mail: xyc@njau.edu.cn

nucifera, number of standing leaves of 'Dazihong' is the least, standing leaf area is the biggest, rhizome expands obviously, and contents of soluble sugar and soluble protein in rhizome are the highest; number of standing leaves of 'Zhongguohongshanghai' is the most, chlorophyll content in standing leaf is the highest, internode length of rhizome is the longest, but rhizome does not expand obviously; number of standing leaves of 'Yixianlian' is in middle, petiole length is the longest, rhizome expands obviously, and contents of soluble protein, soluble sugar, starch and vitamin C in rhizome are between those of other two cultivars of *N. nucifera*. The correlation analysis result shows that correlation of standing leaf area of *N. nucifera* with internode length of rhizome is significantly negative, while that with contents of soluble sugar, soluble protein and vitamin C in rhizome is obviously significantly or significantly positive; correlation of petiole length with diameter and internode mass of rhizome is significantly positive; correlation of chlorophyll content in standing leaf with internode length of rhizome and starch content in rhizome is significantly positive, while that with soluble sugar content in rhizome is significantly negative. It is suggested that growth, development and nutritional quality of rhizome can be indirectly judged by standing leaf area, petiole length and chlorophyll content in standing leaf of three cultivars tested of *N. nucifera*, which can be further applied to rapid selection of dual purpose of flower and rhizome lotus cultivar.

**Key words:** *Nelumbo nucifera* Gaertn.; above-silt part; rhizome; growth character; physiological index; correlation analysis

荷花(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)又名莲花、芙蓉,隶属于莲科(Nelumbonaceae)莲属(*Nelumbo* Adans.),为多年生宿根挺水花卉。荷花在国内分布广泛,是中国传统十大名花之一,其栽培历史悠久,文化内涵丰富,观赏价值和经济价值均较高,深受人们喜爱<sup>[1-3]</sup>。基于不同目的以及长期的人工选择,生产上存在花莲(观赏型)、藕莲(收获莲藕型)和籽莲(收获莲子型)等不同的品种类群<sup>[4]</sup>。目前,赏食兼用型的荷花品种较少,主要由于观赏性状和经济性状相互矛盾,其中,花莲品种以观花为主,但藕小、风味差,且部分花莲品种因雌蕊和雄蕊瓣化很少结实,甚至不结实;藕莲品种以产藕为主,通常开花少或不开花;籽莲品种则以产莲子为主,藕产量极低,花虽多但观赏价值不如花莲品种<sup>[4-5]</sup>。这些矛盾主要归因于荷花的营养生长和生殖生长相互依赖、相互制约,花器官分化、根状茎膨大和籽粒充实间相互争夺养分等。传统的荷花品种无法满足人们对观赏和食用兼得的需求,因此,进一步培育赏食兼用型新品种(尤其是花藕兼用莲)为当前荷花育种的重要目标之一<sup>[4]</sup>。

荷花植株出泥部分与泥下部分的生长发育息息相关。种藕萌芽后,抽生根状茎,根状茎有节,环节发生须根,每个节上抽生1片叶片,依生长顺序分别为钱叶、浮叶和立叶;一般长出3~4片立叶后开始抽生花枝,之后每长出1片立叶,其侧伴生1朵花,直至在下降阶梯状叶群中出现最大1片立叶(后盾叶),标志着根状茎最前端开始膨大结藕<sup>[1]</sup>。结藕前,植株

体内的同化产物主要分配给茎和叶,用于开“源”,同时开花也消耗一部分同化产物;结藕后,同化产物的分配中心发生转移,同化产物主要分配到藕中,满足“库”的需求<sup>[6]</sup>。

目前,国内外对荷花的生长特性<sup>[5-6]</sup>、莲藕膨大过程中的生理生化变化<sup>[6-8]</sup>与分子调控机制<sup>[9-12]</sup>以及相关影响因子<sup>[13-15]</sup>等已有较多研究,但对不同开花结藕习性荷花品种出泥部分与泥下部分的生长发育动态及二者性状间的相关关系尚不清楚;加之评价结藕性状需耗费大量人力挖掘根状茎,不利于花藕兼用莲品种的快速选育。

鉴于此,本研究以3种开花结藕习性不同的荷花品种(花莲、藕莲和花藕兼用莲)为研究对象,通过观测各品种出泥部分和根状茎的生长性状及部分生理指标的变化情况,分析出泥部分与根状茎生长性状和部分生理指标间的相关性,以期找到能够反映根状茎发育状况的叶片形态或生理指标,为快速选育花藕兼用莲品种提供必要的科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试材料为江苏省优质藕莲品种‘大紫红’(‘Dazihong’)、花莲品种‘中国红·上海’(‘Zhongguohongshanghai’)和花藕兼用莲品种‘逸仙莲’(‘Yixianlian’)。以种藕进行盆栽,栽植用塑料盆

高 36.5 cm、口径 53.5 cm、底径 30.0 cm。栽植基质为肥力一致且富含腐殖质的池塘淤泥,未加底肥,装土至塑料缸高度的 2/3 处。

于 2014 年 4 月选取各品种长势基本一致的种藕分别进行上盆栽植,每盆栽植 1 支种藕,每个品种栽植 7 盆,采用单株小区实验,每盆视为 1 个重复,共 7 个重复。栽植完毕后,将塑料盆排列在地势平坦、背风向阳处,每隔 1~2 d 浇水 1 次,保证栽植初期水深约 5 cm,待长出立叶后,水深增至 10~12 cm。

## 1.2 方法

栽植后每天定时观察 3 个荷花品种的生长动态,分别记录其钱叶展叶期、立叶出水期和始花期,并定期观察和记录具有生命力的立叶数(不含已枯萎立叶),每个品种观察 7 盆。

于 2014 年 9 月中旬根状茎膨大中后期(部分立叶边缘开始局部枯萎,且根状茎有多节膨大)进行取样,每个品种随机选取 3 盆,对出泥部分和根状茎的生长性状和部分生理指标进行观测。

观测所有具有生命力立叶的叶柄长度及立叶面积,用卷尺(精度 0.1 cm)测量叶柄长度(叶柄与根状茎连接处至叶脐的距离);参照柏军华等<sup>[16]</sup>的方法测量立叶面积。同时,观测根状茎的膨大状况,用游标卡尺(精度 0.01 cm)测量根状茎顶端前 5 节的节间长度和节间中部直径,用电子天平(精度 0.01 g)称量相应根状茎的节间质量,结果取平均值,分别为根状茎节间长度、根状茎直径和根状茎节间质量。

测定具有生命力立叶以及根状茎的生理指标。其中,采用乙醇提取并采用紫外分光光度法<sup>[17]36-39</sup>测定立叶中叶绿素含量;采用考马斯亮蓝法<sup>[17]68-72</sup>测定

立叶和根状茎中可溶性蛋白质含量;采用蒽酮比色法<sup>[17]53-56</sup>测定立叶和根状茎中可溶性糖含量;采用高氯酸水解并采用蒽酮比色法<sup>[17]53-56</sup>测定根状茎中淀粉含量;采用郑京平<sup>[18]</sup>的方法测定根状茎中维生素 C( $V_c$ )含量。各指标均重复测定 3 次。

## 1.3 数据处理

采用 EXCEL 2003 和 SPSS 16.0 统计分析软件进行数据处理和分析。采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)对实验数据进行方差分析,并对出泥部分与根状茎各性状进行 Pearson 相关性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同荷花品种出泥部分生长性状和部分生理指标的比较

2.1.1 出泥部分生长性状观察结果 观察结果显示:藕莲品种‘大紫红’于 4 月上中旬长出钱叶,5 月中下旬长出立叶,整个生长发育过程中无开花现象。花莲品种‘中国红·上海’于 4 月中旬长出钱叶,5 月中旬长出立叶,6 月上旬即有花蕾初开,花朵盛开时为紫红色,重瓣,花形饱满,色泽鲜艳,具有很高的观赏价值。花藕兼用莲品种‘逸仙莲’于 4 月中旬至 5 月中下旬出现钱叶,5 月中下旬至 6 月上旬长出立叶,7 月上中旬花蕾初开,明显晚于‘中国红·上海’,花朵盛开时为白色,瓣尖粉红色,单瓣,花枝高于叶片,具有较高的观赏价值。

生长发育期不同荷花品种立叶数的动态变化见表 1。由表 1 可以看出:整个生长发育期‘中国红·上海’的立叶数均高于‘大紫红’和‘逸仙莲’,其

表 1 生长发育期不同荷花品种立叶数的动态变化( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Dynamic changes in number of standing leaves of different cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. during growth and development period ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	不同日期(MM-DD)的立叶数 Number of standing leaves on different dates (MM-DD)					
	06-14	06-21	07-02	07-12	07-19	07-26
大紫红 Dazihong	4.8±0.3b	4.4±0.6b	4.6±0.6b	5.9±0.8b	4.8±0.8c	5.7±0.8b
中国红·上海 Zhongguohongshanghai	9.3±1.7a	9.8±1.8a	15.2±1.8a	11.5±1.8a	13.5±2.5a	13.4±2.3a
逸仙莲 Yixianlian	4.4±1.0b	6.0±0.9b	12.0±1.5a	11.0±1.4a	9.0±0.9b	9.1±0.8b

品种 Cultivar	不同日期(MM-DD)的立叶数 Number of standing leaves on different dates (MM-DD)					
	08-02	08-09	08-16	08-28	09-05	09-13
大紫红 Dazihong	5.9±1.2b	5.7±1.3b	6.5±1.6b	6.4±1.3b	5.3±1.5b	4.7±1.4b
中国红·上海 Zhongguohongshanghai	13.6±1.9a	13.9±1.5a	14.6±1.0a	14.4±1.0a	13.0±0.7a	11.4±1.1a
逸仙莲 Yixianlian	10.7±1.3a	11.3±0.8a	12.1±1.0a	12.9±0.9a	11.4±0.9a	10.4±0.8a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different lowercases in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

中,生长初期‘中国红·上海’的立叶数显著高于‘大紫红’和‘逸仙莲’,之后维持较多的立叶数,9月中旬部分立叶出现枯萎现象,立叶数开始减少。在整个生长发育期,‘大紫红’的立叶数总体上显著少于‘中国红·上海’和‘逸仙莲’,可能与该品种无开花现象有关;生长初期‘逸仙莲’的立叶数较少,7月上旬,即花蕾初开前期立叶数明显增加。

根状茎膨大中后期不同荷花品种立叶面积及叶柄长度的比较结果见表 2。由表 2 可以看出:根状茎膨大中后期‘大紫红’的立叶面积(1 241.52 cm<sup>2</sup>)显著高于‘中国红·上海’和‘逸仙莲’,而‘中国红·上海’与‘逸仙莲’间无显著差异。3 个荷花品种间的叶柄长度存在显著差异。其中,‘逸仙莲’的叶柄最长,叶柄长度达 83.8 cm;其次为‘大紫红’,叶柄长度为 59.8 cm;‘中国红·上海’的叶柄最短,叶柄长度仅 46.3 cm。

2.1.2 立叶中部分生理指标的比较 根状茎膨大中后期不同荷花品种立叶中部分生理指标的比较结果

表 3 根状茎膨大中后期不同荷花品种立叶中部分生理指标的比较 ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Comparison on some physiological indexes of standing leaf of different cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. at middle-later stage of rhizome expending period ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	立叶中部分生理指标 Some physiological indexes of standing leaf		
	叶绿素含量/mg·g <sup>-1</sup> Chlorophyll content	可溶性蛋白质含量/mg·g <sup>-1</sup> Soluble protein content	可溶性糖含量/mg·g <sup>-1</sup> Soluble sugar content
大紫红 Dazihong	1.78±0.27b	3.50±1.22a	2.93±0.22a
中国红·上海 Zhongguohongshanghai	3.75±0.80a	3.37±0.38a	3.15±0.41a
逸仙莲 Yixianlian	3.37±0.41ab	5.87±1.01a	2.29±0.26a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different lowercases in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

2.2 不同荷花品种根状茎生长性状和部分生理指标的比较

2.2.1 根状茎生长性状的比较 根状茎膨大中后期不同荷花品种根状茎生长性状的比较结果见表 4。由表 4 可以看出:根状茎膨大中后期藕莲品种‘大紫红’和花藕兼用莲品种‘逸仙莲’的根状茎直径和根

表 2 根状茎膨大中后期不同荷花品种立叶面积及叶柄长度的比较 ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Comparison on standing leaf area and petiole length of different cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. at middle-later stage of rhizome expending period ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	立叶面积/cm <sup>2</sup> Standing leaf area	叶柄长度/cm Petiole length
大紫红 Dazihong	1 241.52±109.44a	59.8±2.9b
中国红·上海 Zhongguohongshanghai	656.94±66.55b	46.3±3.6c
逸仙莲 Yixianlian	829.36±51.93b	83.8±2.8a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different lowercases in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

见表 3。由表 3 可以看出:根状茎膨大中后期花莲‘中国红·上海’立叶中叶绿素含量(3.75 mg·g<sup>-1</sup>)显著高于藕莲品种‘大紫红’,而花藕兼用莲品种‘逸仙莲’立叶中叶绿素含量介于这 2 个荷花品种之间。此外,不同荷花品种间立叶中可溶性蛋白质和可溶性糖的含量均差异不显著。

状茎节间质量显著高于花莲品种‘中国红·上海’,但‘大紫红’和‘逸仙莲’间的差异不显著。‘中国红·上海’的根状茎节间长度显著大于‘大紫红’,而‘逸仙莲’的根状茎节间长度介于这 2 个荷花品种之间,但与这 2 个荷花品种间的差异不显著。

2.2.2 根状茎中部分生理指标的比较 根状茎膨大

表 4 根状茎膨大中后期不同荷花品种根状茎生长性状的比较 ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 4 Comparison on growth characters of rhizome of different cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. at middle-later stage of rhizome expending period ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	根状茎的生长性状 Growth characters of rhizome		
	直径/cm Diameter	节间长度/cm Internode length	节间质量/g Internode mass
大紫红 Dazihong	4.08±0.20a	12.43±1.02b	134.39±16.42a
中国红·上海 Zhongguohongshanghai	2.51±0.14b	18.17±1.58a	38.58±3.61b
逸仙莲 Yixianlian	4.10±0.05a	14.40±1.07ab	140.12±1.19a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different lowercases in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

中后期不同荷花品种根状茎中部分生理指标的比较结果见表 5。由表 5 可以看出:3 个荷花品种中,藕莲品种‘大紫红’根状茎中可溶性蛋白质和可溶性糖含量均最高,花藕兼用莲品种‘逸仙莲’次之,花莲品种‘中国红·上海’最低,且 3 个荷花品种间差异显著;

‘中国红·上海’根状茎中淀粉含量最高,显著高于‘大紫红’,而‘逸仙莲’根状茎中淀粉含量介于这 2 个荷花品种之间,但与这 2 个荷花品种间的差异不显著;3 个荷花品种根状茎中维生素 C 含量间的差异不显著。

表 5 根状茎膨大中后期不同荷花品种根状茎中部分生理指标的比较 ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 5 Comparison on some physiological indexes of rhizome of different cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. at middle-later stage of rhizome expanding period ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	根状茎中部分生理指标 Some physiological indexes of rhizome			
	可溶性蛋白质含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Soluble protein content	可溶性糖含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Soluble sugar content	淀粉含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Starch content	维生素 C 含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Vitamin C content
大紫红 Dazihong	5.40±0.14a	116.80±3.90a	68.63±11.57b	284.58±10.91a
中国红·上海 Zhongguohongshanghai	2.22±0.27c	80.71±0.82c	118.02±10.08a	202.68±29.44a
逸仙莲 Yixianlian	4.75±0.08b	99.09±1.27b	94.13±5.45ab	203.35±27.33a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different lowercases in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

### 2.3 荷花出泥部分与根状茎间生长性状和部分生理指标的相关性分析

荷花出泥部分与根状茎间生长性状和部分生理指标的相关性分析结果见表 6。由表 6 可以看出:荷花立叶面积与根状茎节间长度在 0.05 水平上呈显著负相关,与根状茎中可溶性糖含量在 0.01 水平上呈

显著正相关,与根状茎中可溶性蛋白质和维生素 C 含量在 0.05 水平上呈显著正相关;叶柄长度与根状茎直径和根状茎节间质量在 0.05 水平上呈显著正相关;立叶中叶绿素含量与根状茎节间长度和根状茎中淀粉含量在 0.05 水平上呈显著正相关;而与根状茎中可溶性糖含量在 0.05 水平上呈显著负相关;立叶中可溶性蛋白质和可溶性糖含量与根状茎各生长性状和生理指标的相关性均不显著。

表 6 荷花出泥部分与根状茎间生长性状和部分生理指标的相关性分析<sup>1)</sup>

Table 6 Correlation analysis on growth characters and some physiological indexes of above-silt part and rhizome of *Nelumbo nucifera* Gaertn.<sup>1)</sup>

指标 Index	各指标间的相关系数 Correlation coefficient among different indexes				
	$A_{SL}$	$l_P$	$CC_{SL}$	$SPC_{SL}$	$SSC_{SL}$
$d_R$	0.648	0.737*	-0.373	0.200	-0.398
$l_{IR}$	-0.711*	-0.282	0.758*	-0.191	0.147
$m_{IR}$	0.607	0.726*	-0.422	0.229	-0.515
$SPC_R$	0.757*	0.579	-0.649	0.256	-0.302
$SSC_R$	0.918**	0.326	-0.738*	0.174	-0.135
$SC_R$	-0.551	-0.336	0.699*	-0.007	0.029
$VCC_R$	0.697*	0.021	-0.461	-0.329	0.195

<sup>1)</sup>  $A_{SL}$ : 立叶面积 Standing leaf area;  $l_P$ : 叶柄长度 Petiole length;  $CC_{SL}$ : 立叶中叶绿素含量 Chlorophyll content in standing leaf;  $SPC_{SL}$ : 立叶中可溶性蛋白质含量 Soluble protein content in standing leaf;  $SSC_{SL}$ : 立叶中可溶性糖含量 Soluble sugar content in standing leaf;  $d_R$ : 根状茎直径 Rhizome diameter;  $l_{IR}$ : 根状茎节间长度 Internode length of rhizome;  $m_{IR}$ : 根状茎节间质量 Internode mass of rhizome;  $SPC_R$ : 根状茎中可溶性蛋白质含量 Soluble protein content in rhizome;  $SSC_R$ : 根状茎中可溶性糖含量 Soluble sugar content in rhizome;  $SC_R$ : 根状茎中淀粉含量 Starch content in rhizome;  $VCC_R$ : 根状茎中维生素 C 含量 Vitamin C content in rhizome. \* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著 \* and \*\* indicate the significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

## 3 讨论和结论

荷花叶片生长属于营养生长,开花属于生殖生长,地下部根状茎膨大属于贮藏生长,三者之间相互联系、相互制约。营养生长是生殖生长和贮藏生长的基础和前提;同时,由于开花结实,一部分同化产物及无机营养被输送到生殖器官中,从而使营养器官生长受到一定程度的抑制<sup>[19-20]</sup>。本研究 3 个供试荷花品种中,藕莲品种‘大紫红’在整个生长发育期不开花,而根状茎膨大明显,且在根状茎膨大中后期,其立叶面积最大,根状茎中可溶性蛋白质和可溶性糖含量显著高于花莲品种‘中国红·上海’和花藕兼用莲品种‘逸仙莲’。由于可溶性糖含量是决定莲藕风味品质的重要因子之一<sup>[9]</sup>,因此,‘大紫红’根状茎中较多的糖分积累说明该品种藕的风味品质优于其他 2 个荷花品种,这与实际品尝中‘大紫红’藕相对脆嫩爽口的结果一致。‘中国红·上海’在生长发育过程中立叶数最多,立叶中叶绿素含量最高,说明该品种通过

光合作用固定有机物的能力相对最强;‘中国红·上海’开花相对较早,花重瓣且观赏价值高,但根状茎膨大不明显,根状茎中淀粉含量最高,说明‘中国红·上海’根状茎中的贮藏物质较多,而根状茎中可溶性糖含量最低;‘逸仙莲’在生长发育过程中有开花现象,但始花期稍晚,花单瓣,根状茎膨大明显,各类营养物质含量均介于其他2个荷花品种之间。一般认为,藕产量高、品质优的荷花通常开花少或不开花,且藕含糖量愈高,淀粉含量愈低;而花重瓣性愈强,藕产量及品质也愈低<sup>[5,9]</sup>,本研究结果与之一致。

叶片是植物进行光合作用、制造和积累同化产物的主要器官,其形态结构在很大程度上决定了植物获取养分的能力<sup>[21-23]</sup>。3个荷花品种出泥部分与根状茎生长性状间的相关性分析结果显示:立叶面积与根状茎节间长度呈显著负相关,且叶柄长度与根状茎直径和根状茎节间质量呈显著正相关,推测原因为荷花立叶面积越大,光合作用面积越大,而叶柄越长,叶片间互相遮挡越少,植株更易接受更多的光照,从而产生大量同化产物运输到根状茎中用于其膨大增粗。荷花立叶面积和叶柄长度可以作为评价根状茎形态变化的直观性状指标。另外,3个荷花品种立叶面积与根状茎中可溶性糖含量呈极显著正相关,说明根状茎中可溶性糖含量的积累与叶片生长可能具有同时性。荷花出现后盾叶标识根状茎顶端3~7节开始膨大成藕,生长中心相应发生转移,光合产物主要是蔗糖开始大量转移至膨大的根状茎,分解为葡萄糖和果糖<sup>[6,24]</sup>,据此推测,叶片面积越大,光合产物越多,根状茎中可溶性糖含量也越高。立叶面积与根状茎中可溶性蛋白质及维生素C含量呈显著正相关,与前人<sup>[21,25-26]</sup>的研究结果相似。叶绿素是位于叶绿体内的光合色素,叶片中的叶绿素含量直接影响植物的光合速率,进而影响植物的产量及品质<sup>[27-28]</sup>。本研究中,3个荷花品种立叶中叶绿素含量与根状茎节间长度和根状茎中淀粉含量呈显著正相关,而与根状茎中可溶性糖含量呈显著负相关,推测可能由于在根状茎膨大中后期,荷花部分立叶开始出现局部枯萎,立叶中叶绿素含量逐渐降解,前期立叶制造的大量同化产物已经运输到根状茎,用于根状茎的膨大增粗;同时,可溶性糖含量大量增加,为后期转化为淀粉等能量物质的贮藏做准备。这与丁元树等<sup>[23]</sup>利用放射性 $P^{32}$ 研究甘薯(*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill)叶片养料运输与块根膨大关系的结果类似。

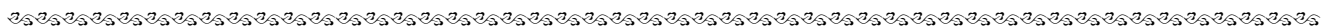
综上所述,藕莲品种‘大紫红’、花莲品种‘中国红·上海’和花藕兼用莲品种‘逸仙莲’这3种开花结藕习性不同的荷花品种可通过叶柄长度、立叶面积和立叶中叶绿素含量来间接判断根状茎的生长发育及营养品质状况。虽然本研究涉及的荷花品种有限,研究结果并不能应用于所有荷花品种,但仍然有一定的参考价值,可为后续开展其他荷花品种的相关研究及分子调控机制的探索提供参考。本研究结果也在一定程度上避免了耗费大量人力挖掘根状茎来评价荷花的结藕性状,为快速选育花藕兼用莲品种提供了一定的科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 王其超,张行言.中国荷花品种图志[M].北京:中国林业出版社,2005:2-25.
- [2] 田代科,张大生.莲叶何田田:世界荷花研究进展[J].生命世界,2014(6):40-45.
- [3] 田红丽,周世良.莲科系统学和遗传多样性研究现状[J].云南植物研究,2006,28(4):341-348.
- [4] 张行言.中国荷花新品种图志I[M].北京:中国林业出版社,2011:20-28.
- [5] 张行言,王其超.荷花品种的形态特征及生物学特性的初步观察[J].园艺学报,1966,5(2):89-100.
- [6] 屈小江,赵有为.无花类型藕莲品种产量形成与需肥特性的初步研究[J].园艺学报,1991,18(4):335-339.
- [7] 李良俊,张晓冬,潘恩超,等.莲藕膨大过程中淀粉合成相关酶的活性变化及其与淀粉积累的关系[J].中国农业科学,2006,39(11):2307-2312.
- [8] 李良俊,潘恩超,许超,等.莲藕膨大过程中内源激素、水杨酸和多胺含量的变化[J].园艺学报,2006,33(5):1106-1108.
- [9] 程立宝,李淑艳,李岩,等.莲藕根状茎膨大过程中淀粉合成相关基因的表达[J].中国农业科学,2012,45(16):3330-3336.
- [10] 程立宝,齐晓花,高学双,等.莲藕根状茎膨大相关基因的挖掘与表达分析[J].园艺学报,2012,39(3):501-508.
- [11] CHENG L, LI S, YIN J, et al. Genome-wide analysis of differentially expressed genes relevant to rhizome formation in lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaertn)[J]. PLoS One, 2013, 8: e67116.
- [12] YANG M, ZHU L, PAN C, et al. Transcriptomic analysis of the regulation of rhizome formation in temperate and tropical lotus (*Nelumbo nucifera*)[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 13059.
- [13] 李峰,彭静,柯卫东,等.植物生长调节剂对藕莲植株生长及根状茎膨大的影响[J].湖北农业科学,2009,48(2):354-356.
- [14] 赵庆雷,王喻,朱其松,等.莲藕根状茎膨大机理及其影响因素的研究进展[J].山东农业科学,2013,45(5):138-141.
- [15] 李欣,江君,徐君,等.经低温锻炼后荷花不同品种对低温胁迫的生理响应差异分析[J].植物资源与环境学报,

- 2015, 24(4): 76-82.
- [16] 柏军华, 王克如, 初振东, 等. 叶面积测定方法的比较研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2005, 23(2): 216-218.
- [17] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [18] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定: 紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. 光谱实验室, 2006, 23(4): 731-735.
- [19] 李彦连, 张爱民. 植物营养生长与生殖生长辩证关系解析[J]. 中国园艺文摘, 2012(2): 36-37.
- [20] 许智宏. 植物发育与生殖的研究: 进展和展望[J]. 植物学报, 1999, 41(9): 909-920.
- [21] 日本农山渔村文化协会. 蔬菜生物生理学基础[M]. 北京农业大学, 译. 北京: 农业出版社, 1985: 478-522.
- [22] 苏培玺, 张立新, 杜明武, 等. 胡杨不同叶形光合特性、水分利用效率及其对加富 CO<sub>2</sub> 的响应[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 34-40.
- [23] 丁元树, 曾广文. 甘薯地上部生长状况与叶片养料的运输[J]. 植物学报, 1965, 13(1): 73-81.
- [24] 许超. 莲藕膨大过程中生理生化变化的研究[D]. 扬州: 扬州大学园艺系, 2002: 12-16.
- [25] 王庆成, 牛玉贞, 王忠孝, 等. 源-库比改变对玉米群体光合和其它性状的影响[J]. 华北农学报, 1997, 12(1): 1-6.
- [26] 薛林宝. 甜椒植株摘叶处理对落花落果的影响[J]. 园艺学报, 2000, 27(6): 458-459.
- [27] 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.
- [28] 王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 629-636.

(责任编辑: 张明霞)



## 《林产化学与工业》2018 年征订启事

《林产化学与工业》(1981 年创刊), 由中国林业科学研究院林产化学工业研究所、中国林学会林产化学化工分会共同主办, 为全国林产化工行业的学术类期刊。报道范围是可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用, 研究领域为生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等, 主要包括松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主要的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。

本刊现被美国《化学文摘》(CA 核心)、荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)、美国“乌利希国际期刊指南”、英国《英联邦农业和生物科学文摘》(CAB Abstracts)、英国《全球健康》、英国《皇家化学学会系列文摘》(RSC)、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ) 等国外数据库收录; 被“中国科学引文数据库(CSCD)”

核心库、“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、“RCCSE 中国核心学术期刊(A)”、“中国农业核心期刊”、“中国期刊全文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“中文科技期刊数据库”、“中国核心期刊(遴选)数据库”、《中国学术期刊文摘》等国内 10 多种大型刊库收录。

本刊为双月刊, 国际标准连续出版物号 ISSN 0253-2417, 国内统一连续出版物号 CN 32-1149/S, 逢双月月末出版, 大 16 开。国内每期定价 15.00 元, 全年定价 90.00 元; 国外每期定价 15.00 美元, 全年定价 90.00 美元。国内外公开发行, 国内邮发代号 28-59; 国外发行代号 Q5941。地址: 江苏省南京市锁金五村 16 号 林化所内(邮编 210042); 电话: (025) 85482493; 传真: (025) 85482493; E-mail: cifp@vip.163.com; 网址: <http://www.cifp.ac.cn>。