

# NaCl 处理对空心莲子草营养器官解剖结构的影响

刘爱荣, 王桂芹, 章小华

(安徽科技学院 生命科学学院, 安徽 凤阳 233100)

**摘要:** 利用光学显微技术, 对不同浓度 NaCl 处理后的空心莲子草的营养器官进行形态解剖学研究。结果表明: 不同浓度的 NaCl 处理下生长的空心莲子草解剖结构与对照相比发生了显著变化, 这些变化表现为: 随着盐浓度的逐渐增加, 叶片面积变小而厚度增加; 茎的横向生长受抑制; 角质膜进一步增厚; 营养器官的通气组织进一步发达, 根、茎、叶中的胞间隙或孔隙紧密相连, 使植物体上下贯通进行气体交换; 根中的木栓细胞层数增加。

**关键词:** 空心莲子草; 盐胁迫; 显微结构

中图分类号: Q944.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2007)05-0682-05

## Effect of NaCl stress on the anatomic structure of *Alternanthera philoxeroides* Griseb vegetative organs

LIU Ai-Rong, WANG Gui-Qin, ZHANG Xiao-Hua

(College of Life Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

**Abstract:** The morphological anatomy of vegetative organs of *Alternanthera philoxeroides* under different concentration of NaCl stress was researched by using the optics microscope technology. The result indicated that there was remarkable change in dissection structure of *A. philoxeroides* vegetative organs under NaCl stress compared with CK. These changes were manifested as follows: with the increase of NaCl concentration, the area and thickness of leaf blades decreased; the horizontal growth of stem was inhibited; the thickness of cuticle increased; the aerenchyma of vegetative organs further developed; the intercellular space (crevice) in root, stem and leaf were closely connected, which benefited the exchange of air among the different parts of a plant; and the number of cell layers of cork cambium (phellogen) in the root increased.

**Key words:** *Alternanthera philoxeroides*; salt stress; microstructure

空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*), 又名水花生, 为外来杂草, 20 世纪 50 年代上海和浙江从国外引种作为青饲料。其繁殖方式为典型的无性繁殖, 地下异常生长的肉质根能产生大量不定芽, 由不定芽产生许多植株, 适合水生和旱生, 现为极难防除的恶性杂草 (娄远来等, 2002)。目前对空心莲子草的研究主要为生物学特性 (张格成等, 1993)、分布 (谭万忠, 1994a) 和危害 (姚东瑞等, 1997) 以及生物和化学防除 (谭万忠, 1994b) 等。空心莲子草被人们视为水生或旱生植物, 关于其根、茎和叶解剖结构也有相关报道 (张彪等, 2001; 陶勇等, 2004; 娄远来等, 2004), 但作

为盐生植物以及盐渍环境下的解剖结构尚未见报道。通过对不同浓度 NaCl 处理的空心莲子草进行营养器官的比较解剖学研究, 旨在阐明该植物对盐渍环境下的结构适应特征, 为防除空心莲子草, 改良盐碱地, 开发抗盐种质资源提供解剖学资料和科学依据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 植物培养

七月中旬剪取在质地均一的土壤上生长一致的空心莲子草植株 (4 节, 苗长 12 cm) 扦插于装有干净

收稿日期: 2006-08-15 修回日期: 2007-02-29

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金 (2005KJ322z); 安徽科技学院引进人才项目 (ZRC200436) [Supported by Natural Scientific Research Foundation of Education Department of Anhui Province (2005KJ322z); Talent Introduction Program of Anhui Science and Technology University (ZRC200436)]

作者简介: 刘爱荣 (1966-), 女, 安徽怀宁人, 硕士, 副教授, 从事植物学教学工作, E-mail: arliu88@tom.com。

细砂的塑料盆中,每盆细砂量相等,每盆 5 株幼苗,共 12 盆。用 Hoagland 培养液喷灌,室外培养。幼苗生长至 3 周时进行 NaCl 处理。

### 1.2 NaCl 处理

NaCl 处理的预定浓度为 0(对照)、50 和 350 mmol/L,用完全 Hoagland 营养液配制(约含 2.00 mmol/L Na<sup>+</sup>),为避免盐冲击效应,盐浓度高于 100 mmol/L 的营养液每天递增 100 mmol/L NaCl,直至预定浓度,然后每天定时、定量用预定盐浓度的营养液浇灌一次,浇灌量为持水量的二倍,约 2/3 的溶液流出,从而将积余的盐冲洗掉,以保持 NaCl 的浓度恒定。幼苗处理 30 d 后,分别取样固定。

### 1.3 石蜡切片的制作

分别取不同浓度 NaCl 处理下空心莲子草植株相同部位的根、茎和叶,切成 3~4 mm 小段,立即投入 FAA 固定液中,至少固定 24 h,脱水,透明,浸蜡,包埋,切片(12 μm),番红-固绿双重染色,在光学显微镜观察、照相并记录观察结果(李正理,1987)。

### 1.4 数据测量

随机地在 10 个视野中测量 24~36 个数据,结果取平均数。

## 2 观察结果

### 2.1 根的横切面结构

对照处理下,根初生木质部呈三原型。根中具有正常的次生结构,最外方为木栓层,由 1~3 层细胞构成,细胞排列紧密,木栓层的平均厚度为 33.20 μm;栓内层平均宽度达 16.92 μm。次生木质部和次生韧皮部与其它双子叶植物比较数量较少,而维管射线发达。栓内层与次生结构之间为三生结构。额外形成层明显,由 1~2 层细胞构成。三生结构中具有十分发达的薄壁组织,细胞排列疏松,具有较大的胞间隙(图版 I:1),有些细胞相互融合成较大的裂隙,裂隙平均面积为 13 213.13 μm<sup>2</sup>,形成了发达的通气组织;部分薄壁细胞中含有晶体,多为花簇型。三生维管束属于外韧型,三生木质部中导管的量较少,为单管孔。

NaCl 处理下,根的结构与对照比较基本相同(图版 I:4,7)。不同的是(图版 I:4,7):由表 1 可知,木栓层厚度增加,其平均厚度显著高于对照;三生薄壁组织中,通气组织更加发达,通气组织的平均面积均极显著大于对照;三生结构中,导管的排列方

式发生变化,NaCl 50 mmol/L 处理三生维管束中含有少量的导管,为导管团,NaCl 350 mmol/L 处理三生维管束中的导管成链状;次生韧皮部变窄,其平均宽度均极显著小于对照。

### 2.2 茎的横切面结构

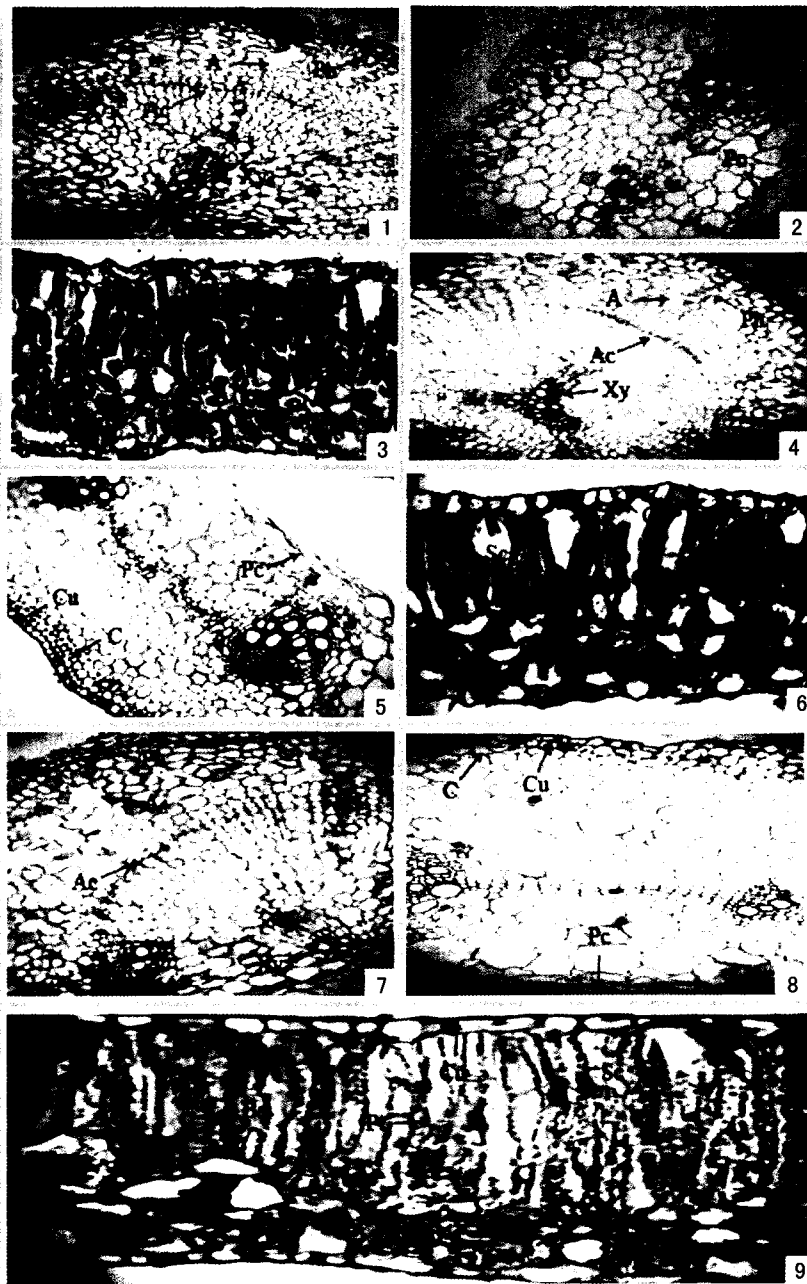
对照处理下,茎横切面近圆形。由表皮、皮层、维管柱构成。表皮细胞外壁具角质膜,平均厚度 3.00 μm。与表皮相邻的是厚角组织,由 1~2 层细胞组成,在横切面上为一个不连续的环,细胞中含有数量较多的叶绿体。皮层发达,厚度 428.60 μm,从茎表皮到髓腔的距离比值可达 50.08%。构成皮层的细胞较大,为多面体型或近圆形,排列疏松,具发达的细胞间隙;髓射线较发达,平均宽度是 53.60 μm,茎的中央是髓部,构成髓的细胞已破裂形成开阔的髓腔,平均面积为 3.70 μm<sup>2</sup>(图版 I:2)。

由表 1 可知,NaCl 处理下,茎表皮细胞外壁角质膜厚度与对照比较增加,且均显著高于对照;厚角组织也略有增强,由 1~3 或 1~4 层细胞构成(图版 I:5,8);皮层同化细胞中叶绿体的含量明显增多,NaCl 50 和 350 mmol/L 处理下平均每个细胞中分别含有 9 个和 13 个(图版 I:5,8);髓射线平均宽度变化也呈递增趋势,表现为 NaCl 350 mmol/L 处理下其宽度极显著高于对照和 NaCl 50 mmol/L 处理(图版 I:5,8);髓腔面积增加,NaCl 350 mmol/L 处理下其面积极显著高于对照和 NaCl 50 mmol/L 处理(图版 I:5,8)。

### 2.3 叶的横切面结构

对照处理下,叶片平均厚度 224.19 μm,叶横切面结构与其它双子叶植物一样,由表皮、叶肉和叶脉三部分构成,表皮细胞呈方形或长方形,排列紧密,细胞外壁具角质膜(图版 I:3),平均厚度 3.48 μm。叶肉中栅栏组织发达,平均厚度 107.7 μm,由 2~3 层细胞组成,细胞呈长方形,排列较疏松,海绵组织相对不发达,细胞呈球形或多面体型,具有较大的细胞间隙。维管束鞘由一层大型薄壁细胞构成,但薄壁细胞中存在数量极少的叶绿体,是一种介于 C<sub>3</sub> 植物与 C<sub>4</sub> 植物之间的花环结构(图版 I:3)。

由表 2 可知,NaCl 处理下,叶片厚度及表皮细胞外壁角质膜与对照比较加强,叶片的平均厚度和角质膜平均厚度均极显著大于对照。孔下室减小,NaCl 处理下平均面积均极显著小于对照,(图版 I:6,9)。栅栏组织平均厚度增加,NaCl 350 mmol/L 处理下其厚度极显著高于对照和 NaCl 50 mmol/L 处理。



**图版 I** 1. 对照处理根的横切面, 示木栓, 通气组织, 额外形成层, 木质部; 2. 对照处理茎的横切面, 示角质膜, 厚角组织, 髓腔; 3. 对照处理叶的横切面, 示角质膜, 维管束鞘, 孔下室; 4. NaCl 50 mmol/L 处理根的横切面, 示木栓, 通气组织, 额外形成层, 木质部; 5. NaCl 50 mmol/L 处理茎的横切面, 示角质膜, 厚角组织, 髓腔; 6. NaCl 50 mmol/L 处理叶的横切面, 示角质膜, 维管束鞘, 孔下室; 7. NaCl 350 mmol/L 处理根的横切面, 示木栓, 通气组织, 额外形成层, 木质部; 8. NaCl 350 mmol/L 处理茎的横切面, 示角质膜, 厚角组织, 髓腔; 9. NaCl 350 mmol/L 处理叶的横切面, 示角质膜, 维管束鞘, 孔下室, 栅栏组织。Ph. 木栓; Cu. 角质膜; Pc. 髓腔; Xy. 木质部; A. 通气组织; Bs. 维管束鞘; Pt. 栅栏组织; Ac. 额外形成层; C. 厚角组织; Sc. 孔下室。图 1, 2, 4, 5, 7, 8( $\times 100$ ); 3, 6( $\times 200$ ); 9( $\times 400$ )。

**Plate I** 1. The transection of root of CK, showing the phellem, aerenchyma, accessory cambium and xylem; 2. The transection of stem of CK, showing the cuticula, collenchyma, pith cavity; 3. The transection of leaf of CK, showing the cuticula, bundle sheath, stomatal chamber; 4. The transection of root under NaCl 50 mmol/L stress, showing the phellem, aerenchyma, accessory cambium, xylem; 5. The transection of stem under NaCl 50 mmol/L stress, showing the cuticula, collenchyma, pith cavity; 6. The transection of leaf under NaCl 50 mmol/L stress, showing the cuticula, bundle sheath, stomatal chamber; 7. The transection of root under NaCl 350 mmol/L stress, showing the phellem, aerenchyma, accessory cambium, xylem; 8. The transection of stem under NaCl 350 mmol/L stress, showing the cuticula, collenchyma, pith cavity; 9. The transection of leaf under NaCl 350 mmol/L stress, showing the cuticula, bundle sheath, stomatal chamber, palisade tissue. Ph. phellem; Cu. cuticle; Pc. pulp cavity; Xy. Xylem; A. aerenchyma; Bs. bundle sheath; Pt. palisade tissue; Ac. accessory cambium; C. collenchyma; Sc. substomatic chamber. Fig. 1, 2, 4, 5, 7, 8( $\times 100$ ); 3, 6( $\times 200$ ); 9( $\times 400$ ).

表 1 不同浓度 NaCl 处理对根和茎横切面结构的影响

Table 1 Effect of NaCl stress on the anatomic structure of transection in root and stem

NaCl 浓度 NaCl concentration (mmol/L)	木栓厚度 Phellem thickness ( $\mu\text{m}$ )	气隙面积 Ventilate tissue area ( $\mu\text{m}^2$ )	次生韧皮部宽度 Secondary phloem width ( $\mu\text{m}$ )	角质膜厚度 Cuticula thickness ( $\mu\text{m}$ )	髓射线宽 Pith ray width ( $\mu\text{m}$ )	髓腔面积 Pith cavity area ( $\text{mm}^2$ )
CK	33.20 bB	13 213.13 cC	16.92 aA	3.00 bB	53.60 bB	3.70bB
50	37.73 aAB	16 041.35 bB	12.14 bB	3.30 aAB	54.10 bB	3.71 bB
350	38.40 aA	20 885.74 aA	7.98 cC	3.58 aA	66.70 aA	4.32 aA

注: 不同字母表示差异显著, 显著水平分别为  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ 。下同。

Note: Capital letters indicate significant difference at 0.05 level, little letters indicate significant difference at 0.01 level. The same below.

表 2 不同浓度 NaCl 处理对叶横切面结构的影响

Table 2 Effect of NaCl stress on the anatomic structure of transection in leaf

NaCl 浓度 NaCl concentration (mmol/L)	叶片厚度 Leaf thickness ( $\mu\text{m}$ )	角质膜厚度 Cuticula thickness ( $\mu\text{m}$ )	孔下室面积 Stomatal chamber area ( $\mu\text{m}^2$ )	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness ( $\mu\text{m}$ )
CK	224.29bB	3.48cC	6062.84aA	107.70bB
50	231.35bB	4.08bB	5192.88bB	110.40bB
350	326.60aA	4.67aA	4644.64cC	189.50aA

### 3 讨论

#### 3.1 空心莲子草营养器官结构特点

研究表明: 空心莲子草营养器官结构特点主要表现在根中, 除正常结构外(初生结构和次生结构), 还具有三生结构, 在三生结构中三生薄壁组织异常发达, 同时三生薄壁组织中还具有发达的通气组织。贮存营养是薄壁组织的功能之一, 丰富的营养物质和发达的通气组织是空心莲子草能够抵御各种逆境的主要原因。

#### 3.2 盐渍环境下空心莲子草结构变化特点及其意义

3.2.1 根中木栓在盐诱导下进一步增宽 陆静梅等(1994)报道盐生植物根最外方的为已栓质化木栓层, 栓质化的主要成分是难溶于水的脂肪物质, 它不透气不透水, 使溶解于土壤水分中的高浓度盐分很难进入根中, 起到了过滤膜的作用, 从而避免高浓度的盐分对植物体的伤害。根最外方的木栓厚度随着盐浓度的增加而增加, 这一特征与在盐渍环境中生长的一些植物相似, 它们没有去除或减少外界环境中盐分胁迫的能力, 但它们能够在植物体内建立某种屏障、某种机制或某种机构部分阻止盐分进入植物体内(王勋陵, 1987; 赵可夫等, 1999)。空心莲子草随着盐浓度的升高, 木栓厚度增加, 有利于阻止盐分大量进入植物体内, 是其适应盐渍环境的主要结

构特点之一。

3.2.2 通气组织在盐诱导下进一步加强 盐渍条件下, 土壤中氧气匮乏, 盐生植物体内各种生命代谢活动所需要的氧气依赖于植物体内气体的闭路循环(陆静梅等, 1996; 刘家琼等, 1987), 发达的通气组织使得气体在植物体内进行闭路循环成为可能, 从而保证了植物体的正常生长和发育。实验结果表明: 随着盐浓度的升高, 根和茎的薄壁组织中通气组织面积呈现递增趋势。这一特点与空心莲子草原有的结构特点有关, 空心莲子草是水陆两生植物, 原有的通气组织已经比较发达, 在盐渍环境下又得到了进一步的加强和巩固, 因此也就大大增强了氧气的贮存和输导功能, 满足了植物体对氧气的需要。

3.2.3 茎和叶中角质膜在盐诱导下进一步增厚 厚的角质层既能减少蒸腾失水, 又能防止阳光直射引起的灼伤(李扬汉, 1984)。盐渍环境下, 空心莲子草茎表皮和叶表皮的角质膜厚度随盐浓度的增加而增加, 因此使得植物体的蒸腾作用进一步降低, 故抵御盐胁迫及防止灼烧的能力也在不断增加。

3.2.4 栅栏组织细胞层数在盐诱导下进一步增多 随着盐浓度的增加, 叶片的平均厚度呈现递增趋势, 说明叶片肉质化现象加重。从解剖结构看, 随盐浓度增加, 空心莲子草的叶变厚的主要原因是栅栏组织细胞层数增加所致, 细胞层数增多, 在一定程度上提高了单位面积的光合效率。盐渍环境中, 植物的光合作用增强是积极的生态生物学反应。此外实验结果还表明, 空心莲子草的叶脉维管束鞘介于  $C_3$  和  $C_4$  植物之间, 这一特征对于植物抗逆境胁迫究竟具有何种意义还有待进一步探讨。

### 4 结论

空心莲子草能随环境的改变而加强某些结构以应对逆境胁迫, 其结构特点表明空心莲子草属于耐

盐植物,在盐浓度较高的环境中可以正常生长,根据这一特性可以变害为利,利用开发这一恶性杂草,用于治理盐碱地。

### 参考文献:

- 李扬汉. 1984. 植物学[M]. 上海:上海科学技术出版社:122—12
- 李正理. 1987. 植物制片技术[M]. 北京:科学出版社:129—137
- 王勋陵. 1987. 植物形态结构与环境[M]. 兰州:兰州大学出版社:69—72
- 赵可夫,李法曾. 1999. 中国盐生植物[M]. 北京:科学出版社:15—17,41
- Liu JQ(刘家琼),Pu JC(蒲锦春),Liu XM(刘新民). 1987. Comparative studies on water relations and xeromorphic structures of some plant species in the middle part of the desert zone in China(我国沙漠中部地区不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报),29(6):662—673
- Lou YL(娄远来),Deng YY(邓渊钰),Shen JD(沈纪冬). 2002. Progress of study on *Alternanthera philoxeroides* Griseb in China(我国空心莲子草的研究现状)[J]. *Jiangsu Agric Sci*(江苏农业科学), (4):46—48
- Lou YL(娄远来),Wang QY(王庆亚),Deng YY(邓渊钰), et al. 2004. The developmental anatomical study on anomalous in the root and adventitious buds of *Alternanthera philoxeroides* (空心莲子草根中异常结构及不定芽的发育解剖学研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),24(2):125—127
- Lu JM(陆静梅),Li JD(李建东). 1994. The anatomical study in *Suaeda corniculata* (C. A. M.) Bunge(角碱蓬解剖学研究)[J]. *J Northeast Normal Univ(Nat Sci)*(东北师范大学学报)(自然科学版), (3):104—107
- Lu JM(陆静梅),Li JD(李建东),Zhou DW(周道玮), et al. 1996. The structure study of the saline-alkali in five salt-tolerant forage plants in the Songnen Plains(松嫩平原5种盐生牧草耐盐结构研究)[J]. *Acta Prat Sin*(草业学报),5(2):9—13
- Tan WZ(谭万忠). 1994a. The level and vertical distribution of *Alternanthera philoxeroides* in China(空心莲子草在我国的水平和垂直分布)[J]. *J Weed Sci*(杂草学报),8(2):30—33
- Tan WZ(谭万忠). 1994b. The determination of losses brought by *Alternanthera philoxeroides* to several kinds of crops(空心莲子草对几种作物的损失测定)[J]. *J Weed Sci*(杂草学报),8(1):28—31
- Tao Y(陶勇),Jiang MX(江明喜). 2004. Study on anatomical structure adaptation of stem of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb(空心莲子草茎的解剖结构对不同水湿生境的适应研究)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物研究),22(1):65—71
- Yao DR(姚东瑞),Li G(李贵),Chen J(陈杰), et al. 1997. Test report of control efficiency of Nongda on *Alternanthera philoxeroides* (农达对水花生的防效试验报告)[J]. *J Weed Sci*(杂草科学), (4):27—28
- Zhang B(张彪),Jin YG(金银根),Huai HY(淮虎银), et al. 2001. Comparison of anatomical structures of *Alternanthera philoxeroides* under two habitats(两种生境条件下空心莲子草叶片解剖结构比较)[J]. *Weed Sci*(杂草科学), (4):6—7,23
- Zhang GC(张格成),Li JX(李继祥),Chen XH(陈秀华). 1993. Primary biological character of alligatorweed(空心莲子草主要生物学特性研究)[J]. *Weed Sci*(杂草学报), (2):10—12
- Huang YJ(黄永敬),Lu MY(卢美英),Lin YP(林越平). 2006a. The effect of heavily retractive pruning on the growth and nutrient element of longan(重回缩修剪对龙眼生长及营养元素的影响)[J]. *J Guangxi Trop Agric*(广西热带农业),102(2):1—3
- Huang YJ(黄永敬),Lu MY(卢美英),He QG(何全光). 2006b. The effect of heavily retractive pruning on endogenous hormones of longan leaves(重回缩修剪对龙眼叶片内源激素的影响)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报),23(2):
- Huang DH(黄迪辉),Huang HB(黄辉白). 1992. Studies on the mechanism of citrus flower-bud formation I. Relations to endogenous hormones(柑桔成花机理的研究: I. 与内源激素的关系)[J]. *J Fruit Sci*(果树科学),9(1):13—18
- Lu MY(卢美英),Xu JZ(徐炯志),Huang YJ(黄永敬), et al. 2004. Technology of increasing N,P,K nutrition levels and flower branch rate of heavily retractive pruned longan trees(提高龙眼重回缩修剪树 N、P、K 营养水平和抽穗率的技术)[J]. *Chin J Trop Crop*(热带作物学报),9(3):16
- Lu FD(吕芳德),Xu DC(徐德聪),Pan XJ(潘晓杰). 2003. Advances in photosynthesis research on fruit trees(果树光合作用研究进展)[J]. *Hunan Fore Tech*(湖南林业科技),9(3):35
- Rakngan J Germma H, Iwahora S. 1995. Flower bud formation in Japanese pear trees under adverse conditions and effects of some growth regulators[J]. *Jpn J Trop Agr*, 39:1—6
- Wang JZ(王纪忠). 2004. Relationship between carbohydrate levels of longan leaves from basal shoots and flowering reversion during flower bud morphological differentiation(龙眼花芽形态分化期基枝叶片碳水化合物含量与成花逆转的关系)[J]. *J Fujian Agric Fore Univ*(福建农林大学学报(自然科学版)),9(3):325

(上接第 758 页 Continue from page 758)