

喷钙对芍药花茎品质及叶片光合特性的影响*

李成忠^{1,2} 陶俊^{1**} 孙燕² 孔芬¹ 耿庆萍¹ 杜倍¹

(¹扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009; ²扬州环境资源职业技术学院园林园艺系, 江苏扬州 225127)

摘要 以5年生芍药盆栽苗为试材, 研究了喷钙措施对芍药花茎品质、花茎机械强度及叶片光合参数的影响。结果表明, 喷钙处理(4%, w/v)显著提高了花茎的机械强度, 增幅达24.3%, 花茎中纤维素、半纤维素、木质素及果胶含量均较对照显著增加, 其中纤维素含量为456.54 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 较对照增加了28.5%, 增幅最大。喷钙处理还使芍药叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和水分利用效率(WUE)增加, 至处理28 d时, P_n 为17.07 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较对照增加29.6%, G_s 较对照提高了55%, 为0.31 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, T_r 较对照提高了20%, 达到2.61 $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$, WUE为6.54 $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 较对照增加7.6%。另外, 喷钙使芍药叶片最大净光合速率(P_{\max})达到20.71 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较对照提高24.6%, 光饱和点为902.5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较对照增加7.5%, 而光补偿点则显著降低, 为7.27 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较对照降低34.5%。

关键词 芍药; 喷钙; 花茎; 光合特性; 机械强度

中图分类号 S682.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)11-2817-06

Effects of spraying calcium on the inflorescence stem quality and leaf photosynthesis of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). LI Cheng-zhong^{1,2}, TAO Jun^{1**}, SUN Yan², KONG Fen¹, GENG Qing-ping¹, DU Bei¹ (¹College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China; ²Department of Landscape Architecture and Horticulture, Yangzhou Vocational College of Environment and Resources, Yangzhou 225127, Jiangsu, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(11): 2817–2822.

Abstract: Taking 5-year old herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) as test material, a pot experiment was conducted to study the effects of spraying calcium (4%, w/v) on the inflorescence stem quality and leaf photosynthetic characteristics of the plant. Under the spraying of calcium, the mechanical strength of the inflorescence stem increased significantly by 24.3%, and the cellulose, semicellulose, lignin, and pectin contents in the inflorescence stem all increased significantly, among which, the cellulose content reached 456.54 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and enhanced by 28.5%, as compared with the control. The leaf net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r), and water use efficiency also increased, with the P_n up to 17.07 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 28 days after calcium application and enhanced by 29.6%, and the G_s , T_r and WUE enhanced by 55%, 20%, and 7.6%, respectively, as compared with the control. In addition, spraying calcium led to an increase of the maximum net photosynthetic rate (P_{\max}) and the light saturation point, which were up to 20.71 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and 902.5 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and enhanced by 24.6% and 7.5%, respectively, but led to a significant decrease of light compensation point, which was 7.27 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and decreased by 34.5%.

Key words: herbaceous peony; spraying calcium; inflorescence stem; photosynthetic characteristics; mechanical strength.

* 江苏省科技支撑计划项目(BE2009318)和江苏省农业科技自主创新项目(CX[10]114和CX[11]1017)资助。

** 通讯作者 E-mail: taojun@yzu.edu.cn

收稿日期: 2012-04-26 接受日期: 2012-07-24

芍药(*Paeonia lactiflora* Pall.)是我国的传统名花,自19世纪引入欧美国家后,已成为婚礼等场合重要的高档切花(Kamenetsky *et al.*, 2003; 秦魁杰, 2004; Walton *et al.*, 2010)。近年来,我国已在山东、江苏等地开展了芍药切花生产,并已部分出口(郁书君等, 2006),但由于许多品种花茎机械强度不足,严重影响了切花品质(高水平, 2006; 于晓南等, 2010)。因此,提高芍药花茎机械强度是我国芍药切花生产需解决的关键技术之一。

植物细胞壁具备强度的纤丝网状结构,可为细胞、组织甚至整个植株提供机械支持作用(Cosgrove, 2005; Li *et al.*, 2009; Hirano *et al.*, 2010),研究表明,细胞壁结构尤其是其主要成分纤维素、木质素等与植物茎秆的机械强度关系密切(Zhong *et al.*, 2005; 王健等, 2006)。钙作为植物生长所需的大量元素之一,在维持细胞壁和细胞膜结构等方面具有重要的作用(Hepler, 2005; Hepler & Winship, 2010);同时,钙也是重要的信号分子,是植物生长发育的重要调节因子(Fang *et al.*, 2008; Fraeye *et al.*, 2009)。有研究者对钙改善芍药花茎品质做了一些研究,于晓南等(2010)采用不同形态的钙于芍药切花采收前进行处理,发现钙可以明显改善切花芍药株高、茎粗等品质,但有关钙对芍药花茎机械强度、花茎纤维素、木质素、果胶等细胞壁主要成分含量以及对引起各成分含量变化起重要作用的叶片光合作用的研究尚未涉及。前期试验研究表明,叶面喷施不同浓度的CaCl₂溶液对芍药生长及花茎机械强度效果不同,以4% (w/v)浓度的CaCl₂溶液喷施效果最好。本文通过研究外源喷钙对芍药花茎机械强度、细胞壁主要成分含量等的影响,分析外源喷钙对芍药叶片光合特性的影响,以期探索钙影响芍药花茎品质的生理机制,为芍药栽培及优质切花生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以芍药主栽品种‘大富贵’5年生、生长健壮植株为试材,盆栽管理,土壤为混合基质,草炭:黄沙:珍珠岩:园土=5:2:2:1。在前期试验的基础上于芍药现蕾后用4% (w/v)浓度的CaCl₂溶液喷施芍药叶片,以清水作对照,每隔1周喷施1次,连喷4次,重复3次,同时测定芍药花茎长度等形态指标的变化。对照与处理各36盆。

1.2 试验方法

1.2.1 芍药花茎机械强度的测定 花朵的承重主要取决于花茎上部的茎秆强度,因此,本试验以花朵下5 cm的茎秆为主要取材对象。参考Burk等(2001)的方法,利用植物茎秆强度测定仪(NK-2,浙江杭州)测定花朵下5 cm处的茎秆机械强度(单位:牛顿,N),同时测定花朵下5 cm处的茎粗及5 cm长度的茎秆鲜重,6枝为1组,重复3次。

1.2.2 芍药花茎细胞壁主要成分含量测定 花茎细胞壁成分的制备参照Rose等(1998)方法进行,纤维素和半纤维素含量的测定采用宁正祥(1998)的方法;果胶物质含量的测定采用韩雅珊(1992)的方法,木质素含量的测定采用Müsel等(1997)方法。重复3次。

1.2.3 光合特性测定 选取芍药中上部4~5节叶片于10:00测定光合色素含量和光合参数在芍药现蕾期至盛花期之间的动态变化。SPAD值用SPAD-502叶绿素仪(Minolta, Japan)测定,取叶基、叶中和叶尖3个部位的SPAD平均值;光合参数测定采用LI-6400型便携式光合作用系统(LI-COR, Lincoln, USA),标准叶室(2 cm×3 cm),控制参比室的CO₂浓度为400 μmol·mol⁻¹,设定红蓝光LED光源光量子通量密度(PPFD)为800 μmol·m⁻²·s⁻¹,重复6次。

1.2.4 光合-光响应曲线测定 喷钙4次后,选取芍药中上部4~5节叶片,应用LI-6400自带光响应曲线测定程序测定光合-光响应曲线,重复3次。以PPFD为横轴,P_n为纵轴绘制光合作用光响应曲线(P_n-PPFD曲线),采用非直角双曲线模型(Farquhar *et al.*, 1980),拟合出最大光合速率(P_{max}, μmol·m⁻²·s⁻¹)、光饱和点(LSP, μmol·m⁻²·s⁻¹)、光补偿点(LCP, μmol·m⁻²·s⁻¹)、表观量子效率(AQY, mol·mol⁻¹)和暗呼吸速率(R_d, μmol·m⁻²·s⁻¹)。

1.3 数据处理

应用Excel 2003和SPSS 16.0软件进行光合-光响应曲线拟合与相关参数估算分析,并用Duncan检验法对差异显著性(P<0.05)进行比较。

2 结果与分析

2.1 喷钙对芍药花茎品质指标的影响

2.1.1 喷钙对芍药花茎外在品质的影响 花茎的外在品质主要是指花茎的长度、粗度以及机械强度等。由表1可以看出,喷钙处理对芍药茎长、茎粗无

表 1 喷钙处理对芍药形态特征及花茎机械强度的影响
Table 1 Effect of spraying calcium on the morphological characteristics and inflorescence stems breaking force of herbaceous peony

处理	茎长 (cm)	茎粗 (cm)	茎鲜重 (g)	花茎机械强度 (N)
喷钙	62.50±3.73 a	0.49±0.04 a	1.00±0.05 a	30.45±0.78 a
对照	61.17±3.87 a	0.49±0.05 a	0.88±0.03 b	24.50±1.09 b

同列不同小写字母表示处理与对照间差异显著($P<0.05$)，下同。

显著影响；然而，喷钙处理后芍药花茎机械强度达30.45 N，较对照(24.50 N)显著提高了24.5%；花茎鲜重亦显著增加，较对照提高了13.6%。

2.1.2 喷钙对芍药花茎内在细胞壁成分的影响

花茎细胞壁主要化学成分为纤维素、半纤维素、木质素以及果胶等。由图1可见，喷钙处理使芍药花茎纤维素、半纤维素、木质素及果胶含量均显著增加，其中纤维素含量达456.54 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ，较对照增加了28.5%，增幅最大，半纤维素含量及木质素含量分别较对照增加11.2%和11.6%，果胶含量增幅最小，为9.0%。

2.1.3 相关性分析 对芍药花茎外在形态和细胞壁主要成分以及机械强度等各项指标进行相关性分析(表2)，结果表明，花茎机械强度与相应茎鲜重有最大相关性($r=0.804$)，而茎长和茎粗与其机械强度均呈负相关，相关系数分别为 $r=-0.147$ 和 $r=-0.103$ ，说明喷钙通过增加芍药花茎鲜重可显著提高其机械强度，从而改善芍药花茎外在品质。花茎机械强度与花茎细胞壁主要成分如纤维素、半纤维素、木质素和果胶的相关系数分别为 $r=0.271$ 、 $r=-0.033$ 、 $r=0.390$ 和 $r=0.534$ ，说明喷钙后芍药花茎细胞壁物质含量的增加尤其是果胶含量的增加是促进其花茎机械强度增强的重要因素，其次是木质素和纤维素，而半纤维素含量的提高则不利于花茎提高机械强度。

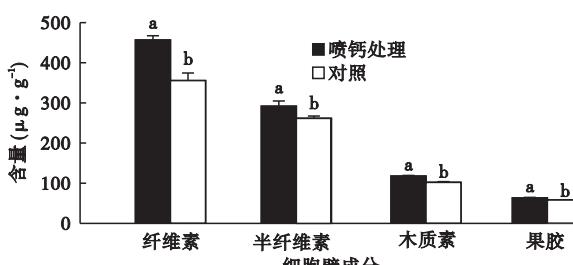


图1 喷钙处理对芍药花茎细胞壁各成分含量的影响

Fig. 1 Effect of spraying calcium on the content of cellulose, semicellulose, lignin and pectin of herbaceous peony inflorescence stems

表2 芍药花茎外在品质、细胞壁主要成分与其机械强度的相关性
Table 2 Correlation coefficients among morphological traits and cell wall components with breaking force of herbaceous peony inflorescence stems

指标	相关系数
茎长	-0.147
茎粗	-0.103
茎鲜重	0.804
纤维素	0.271
半纤维素	-0.033
木质素	0.390
果胶	0.534

2.2 喷钙对芍药叶片光合特性的影响

2.2.1 喷钙对芍药叶片光合色素含量SPAD值的影响 由图2可见，从喷钙处理7 d后，芍药叶片SPAD值即显著增加，并且一直维持至处理后28 d，较对照提高11%，说明喷钙促进了芍药叶片光合色素合成，对芍药生长有利。

2.2.2 喷钙对芍药叶片气体交换参数的影响 随着芍药叶片的生长发育，其净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)逐渐增加，而水分利用效率(WUE)则逐渐降低(图3)。喷钙则进一步提高了芍药叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 和WUE，处理后28 d，相关指标显著提高，其中 P_n 达到17.07 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，较对照提高了29.6%， G_s 较对照提高了55%，为0.31 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ， T_r 较对照提高了20%，达到2.61 $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，WUE则为6.54 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ，较对照增加37.6%。

2.2.3 喷钙对芍药叶片光响应特征参数的影响 由图4可以看出，光合有效辐射(PPFD)在0~400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时， P_n 随着PAR的增加迅速增大。在PPFD 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之后， P_n -PPFD曲线趋平缓，到1200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右出现光饱和现象。与对照相比，喷钙引起芍药叶片 P_n 在低光强范

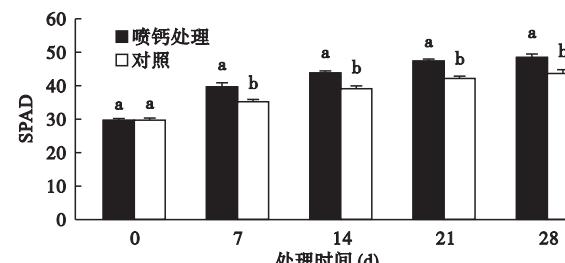


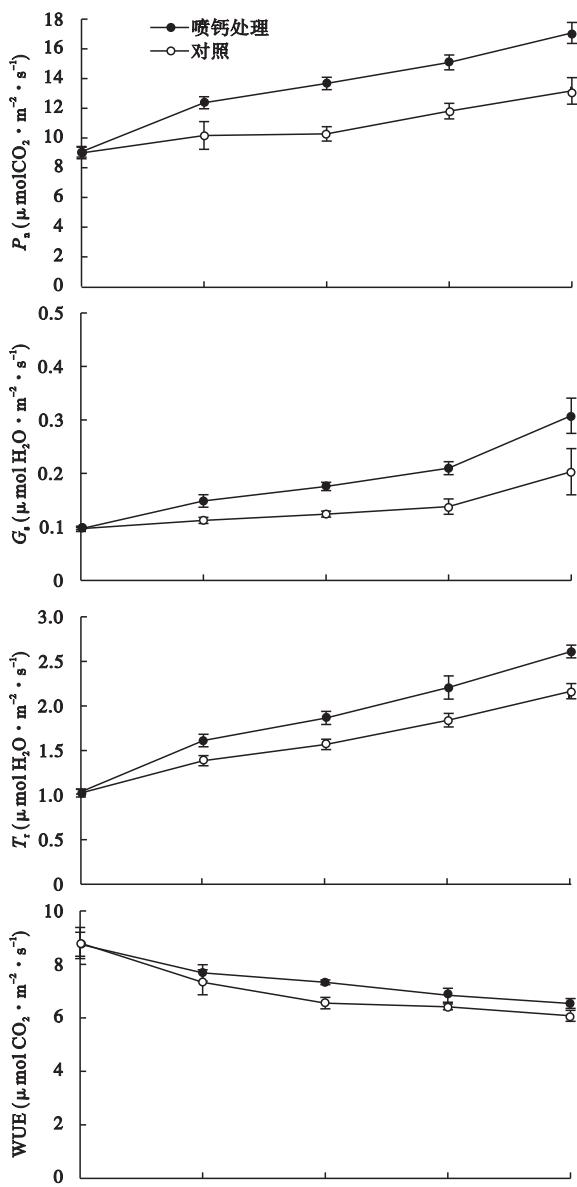
图2 喷钙处理对芍药叶片SPAD值的影响

Fig. 2 Effect of spraying calcium on SPAD of herbaceous peony leaves

表3 喷钙处理对芍药叶片光合特性的影响

Table 3 Effect of spraying calcium on the photosynthetic characteristics of herbaceous peony leaves

处理	最大净光合速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 ($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	暗呼吸速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
喷钙	20.708±0.319 a	7.27±1.03 b	902.50±6.76 a	0.062±0.012 a	0.338±0.030 a
对照	16.624±0.995 b	11.10±1.22 a	839.35±27.18 b	0.025±0.003 b	0.294±0.042 a

图3 喷钙处理对芍药叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)及水分利用效率(WUE)的影响Fig. 3 Effect of spraying calcium on the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and water use efficiency (WUE) of herbaceous peony leaves

围内大幅增加,而超过一定光强范围后,则增加幅度变小,但总体上高出对照 $1 \sim 2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

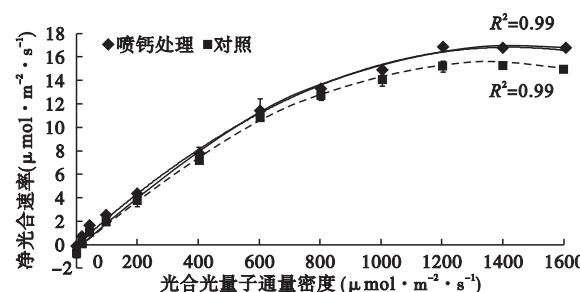


图4 喷钙处理条件下芍药叶片光合速率对光照强度的响应

Fig. 4 Response curves of the net photosynthetic rate (P_n) to photosynthetic photon flux density (PPFD) in herbaceous peony leaves after calcium sprayed

由表3可知,喷钙使芍药叶片最大净光合速率(P_{max})达到 $20.71 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照提高了24.6%,光饱和点(LSP)为 $902.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较对照增加了7.5%,光补偿点(LCP)则显著降低,为 $7.27 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,是对照的65.5%,表明喷钙使芍药对弱光产生了适应,增强了对弱光的利用率。表观量子效率(AQY)反映了叶片对光能的利用情况,喷钙显著增加了芍药叶片的表观量子效率,达到0.062,较对照提高了148%。暗呼吸速率(R_d)是植株分解光合产物的生理过程,喷钙后芍药叶片暗呼吸速率虽较对照增加,但差异并未达显著水平。

3 讨论

3.1 喷钙对芍药花茎外在品质的影响

大量研究表明,钙有利于切花茎秆机械强度提高,保持花枝硬挺,延迟花头下垂(张洁,2008;孙敏等,2009)等。本试验结果表明,喷钙对芍药花茎长度、粗度没有影响,但显著增加了花茎鲜重和机械强度,提高了花茎的品质,与已有的研究结果一致。植物机械组织细胞次生壁加厚的程度是影响其机械强度的主要因素,由于纤维素含量约占机械组织各种细胞干重的40%,并在植物节间进行沉积,次生壁纤维素显然是决定植株机械强度的因素(Delmer & Amor, 1995),Turner等(1997)研究拟南芥花茎成熟

木质部细胞塌陷突变体时发现,纤维素是保证植株机械强度的直接因素;Zhong 等(1997)研究发现,维管束间纤维含量降低的拟南芥突变体表现型为花茎弯曲。木质素是一类酚类聚合物,在次生壁中木质素以高度交联的形式存在(宋东亮等,2008),增强了植物的机械强度。本试验研究发现,喷钙显著增加了芍药花茎纤维素和木质素的含量,表明喷钙可能是通过提高细胞壁中上述物质的含量来提高花茎机械强度。果胶是细胞壁的重要组成成分,它对维持植物组织的形态、增强组织的机械强度起到很大的作用,更为重要的是,植物细胞壁中胶层中的果胶酸可与钙结合形成果胶酸钙(Zhou et al., 2009),抑制果胶酸对细胞壁其他成分的破坏。本试验中,芍药叶片喷钙后,果胶含量显著增加,且与芍药花茎机械强度有显著正相关($r=0.534$),可知果胶含量的增加为细胞壁中的钙提供了大量的结合位点,增强了细胞壁结构与细胞间的粘结作用,把细胞连接起来(Hepler, 2005; Kraemer et al., 2009)。

3.2 喷钙对芍药叶片光合特性的影响

为进一步弄清花茎鲜重及其细胞壁成分显著增加的原因,本文对芍药叶片光合特性进行了研究。SPAD 值是反映叶片的叶绿素相对含量(Demotes-Mainard et al., 2008)的重要指标。喷钙处理后,芍药叶片 SPAD 值显著增加,这说明 Ca^{2+} 有助于保护叶绿体膜,保持其结构的稳定性,维持较高的叶绿素含量(朱晓军等,2004),对叶片维持较高的 P_n 有利(钟全林等,2009)。喷钙后较高的 G_s 、 T_r 和 WUE 表明喷钙处理改善了芍药叶片 CO_2 的供应,并提高了叶片 CO_2 和水分的交换速率,最终导致 P_n 的增加。喷钙后较低的光补偿点及较高的光饱和点提高了叶片 RuBPCCase 活性和羧化效率(朱万泽等,2004; 黄红英等,2009),增强了植株对碳的同化和固定(Nicola et al., 2006),这与对牡丹(陈向明等,2001)和黄瓜(艾希珍等,2006)的研究结果一致。

综上所述,喷钙措施增强了芍药叶片的光合能力,提高了茎秆细胞壁中纤维素、木质素以及果胶等细胞壁成分的积累,从而最终导致花茎机械强度的增强。

参考文献

艾希珍, 王秀峰, 崔志峰, 等. 2006. 钙对弱光亚适温下黄瓜光合作用的影响. 中国农业科学, 39(9): 1865–1871.

- 陈向明, 郑国生, 张圣旺. 2001. 钙对保护地栽培牡丹光合特性的影响. 园艺学报, 28(6): 572–574.
- 高水平. 2006. 芍药切花采后技术研究(硕士学位论文). 北京: 北京林业大学.
- 韩雅珊. 1992. 食品化学实验指导. 北京: 北京农业大学出版社.
- 黄红英, 宋新永, 孙蓓育, 等. 2009. 两种不同生态型麻疯树夏季光合特性的比较. 生态学报, 29(6): 2861–2867.
- 宁正祥. 1998. 食品成分分析手册. 北京: 中国轻工业出版社.
- 秦魁杰. 2004. 芍药. 北京: 中国林业出版社.
- 宋东亮, 沈君辉, 李来庚. 2008. 高等植物细胞壁中纤维素的合成. 植物生理学通讯, 44(4): 791–796.
- 孙 敏, 陈伯清, 姚海燕, 等. 2009. CaCl_2 对月季切花保鲜效果的影响. 安徽农业科学, 37(2): 810–812, 848.
- 郁书君, 杨玉勇, 余树勋. 2006. 牡丹与芍药. 北京: 中国农业出版社.
- 于晓南, 陆光沛, 成仿云, 等. 2010. 采收前喷钙对切花芍药茎秆品质的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 36(5): 531–535.
- 王 健, 朱锦懋, 林青青, 等. 2006. 小麦茎秆结构和细胞壁化学成分对抗压强度的影响. 科学通报, 51(6): 679–685.
- 张 洁. 2008. Ca^{2+} 和 CaM 对非洲菊切花弯茎的影响(硕士学位论文). 福建: 福建农林大学.
- 钟全林, 程栋梁, 胡松竹, 等. 2009. 刨花楠和华东润楠叶绿素含量分异特征及与净光合速率的关系. 应用生态学报, 20(2): 271–276.
- 朱晓军, 杨劲松, 梁永超, 等. 2004. 盐胁迫下钙对水稻幼苗光合作用及相关生理特性的影响. 中国农业科学, 37(10): 1497–1503.
- 朱万泽, 王金锡, 薛建辉. 2004. 两种不同生态型麻疯树夏季光合特性的比较. 西北植物学报, 24(11): 2012–2019.
- Burk DH, Liu B, Zhong RQ, et al. 2001. A katanin-like protein regulates normal cell wall biosynthesis and cell elongation. *Plant Cell*, 13: 807–827.
- Cosgrove DJ. 2005. Growth of the plant cell wall. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 6: 850–861.
- Delmer DP, Amor Y. 1995. Cellulose biosynthesis. *Plant Cell*, 7: 987–1000.
- Demotes-Mainard S, Boumaza R, Meyer S, et al. 2008. Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents. *Scientia Horticulturae*, 115: 377–385.
- Fang Y, Al-Assaf S, Phillips G, et al. 2008. Binding behavior of calcium to polyuronates: Comparison of pectin with alginate. *Carbohydrate Polymers*, 72: 334–341.
- Farquhar GD, von Caemmerer S, Berry JA. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. *Planta*, 149: 78–90.
- Fraeye I, Doungla E, Duvetter T, et al. 2009. Influence of

- intrinsic and extrinsic factors on rheology of pectin-calcium gels. *Food Hydrocolloids*, **23**: 2069–2077.
- Hepler PK. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. *Plant Cell*, **17**: 2142–2155.
- Hepler PK, Winship LJ. 2010. Calcium at the cell wall-cytoplasm interface. *Journal of Integrative Plant Biology*, **52**: 147–160.
- Hirano K, Kotake T, Kamihara K, et al. 2010. Rice BRITTLE CULM 3 (BC3) encodes a classical dynamin OsDRP2B essential for proper secondary cell wall synthesis. *Planta*, **232**: 95–108.
- Kamenetsky R, Barzilay A, Erez A, et al. 2003. Temperature requirements for floral development of herbaceous peony cv. ‘Sarah Bernhardt’. *Scientia Horticulturae*, **97**: 309–320.
- Kraemer T, Hunsche M, Noga G. 2009. Cuticular calcium penetration is directly related to the area covered by calcium within droplet spread area. *Scientia Horticulturae*, **120**: 201–206.
- Li X, Yang Y, Yao J, et al. 2009. FLEXIBLE CULM 1 encoding a cinnamyl-alcohol dehydrogenase controls culm mechanical strength in rice. *Plant Molecular Biology*, **69**: 685–697.
- Müsel G, Schindler T, Bergfeld R, et al. 1997. Structure and distribution of lignin in primary and secondary cell walls of maize coleoptiles analyzed by chemical and immunological probes. *Planta*, **201**: 146–159.
- Nicola DA, Carmen A, Amalia VD. 2006. Temperature response of photosynthesis, excitation energy dissipation and alternative electron sinks to carbon assimilation in *Beta vulgaris* L. *Environmental and Experimental Botany*, **55**: 248–257.
- Rose JK, Hadfield KA, Labavitch JM, et al. 1998. Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit. *Plant Physiology*, **117**: 345–361.
- Turner SR, Somerville CR. 1997. Collapsed xylem phenotype of *Arabidopsis* in the secondary cell wall. *Plant Cell*, **9**: 689–701.
- Walton EF, Boldinh HL, McLaren GF, et al. 2010. The dynamics of starch and sugar utilisation in cut peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) stems during storage and vase life. *Postharvest Biology & Technology*, **58**: 142–146.
- Zhong RQ, Peña MJ, Zhou GK, et al. 2005. *Arabidopsis fragile fiber8*, which encodes a putative glucuronyltransferase, is essential for normal secondary wall synthesis. *Plant Cell*, **17**: 3390–3408.
- Zhong R, Taylor JJ, Ye ZH. 1997. Disruption of interfascicular fiber differentiation in an *Arabidopsis* mutant. *Plant Cell*, **9**: 2159–2170.
- Zhou Y, Li S, Qian Q, et al. 2009. BC10, a DUF266-containing and Golgi-located type II membrane protein, is required for cell-wall biosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). *The Plant Journal*, **57**: 446–462.

作者简介 李成忠,男,1980年生,博士研究生,讲师,主要从事观赏植物栽培及生理生态研究。E-mail: lichengzhong80@yahoo.com.cn

责任编辑 魏中青