

土培和水培吊兰根系结构的观察

孔 妤^{1, 2}, 王 忠^{1, 2*}, 顾蕴洁², 熊 飞², 陈 娟³, 张春良²

(¹江苏省作物遗传生理重点实验室, 农业部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏扬州 225009;

²扬州大学生物科学与技术学院, 江苏扬州 225009; ³湖北黄冈师范学院生命科学与工程学院, 湖北黄冈 438000)

摘 要: 采用树脂切片法, 用光学显微镜和电子显微镜观察了土培和水培吊兰 (*Chlorophytum comosum*) 的根系结构。结果表明: (1) 在形态上, 水培吊兰根系生长速度慢, 直径较小, 侧根数较少, 根毛退化; (2) 在显微结构上, 水培吊兰根冠部位几乎无含晶细胞, 淀粉体较少, 根的成熟区域皮层细胞、含晶细胞较少, 内皮层较厚, 髓部占中柱面积较小; (3) 在超微结构上, 土培吊兰根内可见较多的粗糙型内质网、线粒体、胞饮处等, 而水培吊兰根中质体会转变为叶绿体; (4) 吊兰根中皮层部位存在体积较大的含晶细胞, 其发育过程具有一定的规律。

关键词: 吊兰; 根; 土培; 水培; 超微结构

中图分类号: S 682.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 04-0533-06

Observations on the Structure of *Chlorophytum comosum* Roots Under Soil and Water Culture

KONG Yu^{1, 2}, WANG Zhong^{1, 2*}, GU Yun-jie², XIONG Fei², CHEN Juan³, and ZHANG Chun-liang²

(¹Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu, Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River of Ministry of Agriculture, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; ²College of Biosciences and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; ³College of Life Science and Engineering, Huanggang Normal University of Hubei Province, Huanggang, Hubei 438000, China)

Abstract: The roots of *Chlorophytum comosum* under water culture were studied by optical and electron microscopy. This paper examined the structure of *Chlorophytum comosum* roots by the means of resin sections. The results are as follows: (1) *Chlorophytum comosum* roots under water culture grew slowly, which were smaller in diameter in morphology. Lateral roots were fewer in number and root hair degenerated; (2) In microstructure, the root cap of the *Chlorophytum comosum* roots under water culture hardly had crystal cells, and the number of amyloplast was fewer. Cortical cells and crystal cells in mature region were fewer than those under soil culture. Thickness of cell in endodermis was thicker, and the area of the pith was less in the stele; (3) In the ultrastructure, there were a few organelles, such as rough endoplasmic reticulum (RER), mitochondria and endocytosis pits. In addition, plastids would turn out to be chloroplast in roots under water culture; (4) There were a few crystal cells of great volume in the cortex, and their development followed certain laws.

Key words: *Chlorophytum comosum*; root; soil culture; water culture; ultrastructure

吊兰 (*Chlorophytum comosum*) 易于繁殖和盆栽, 其根系具有耐淹能力, 喜湿润环境, 无需经过水生诱导 (陈永华 等, 2007) 即可形成适应厌氧环境的水生根, 水培前景好。

原红娟 (2007) 曾对水培与土培条件下吊兰根系结构进行初步比较, 指出水培吊兰的根系具有

收稿日期: 2008 - 10 - 16; 修回日期: 2009 - 03 - 17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30270795); 湖北省教育厅自然科学中青年基金项目 (Q200727003)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: wangzhong@yzu.edu.cn)

一系列适应水生环境的结构,但其形态发育特征及超微结构未见报道。作者以金心吊兰 (*Chlorophytum comosum* 'Midio-pictum') 为材料,通过根系超微结构观察,揭示土培和水培介质中吊兰根系的解剖学特性以及根内含晶细胞的发育规律,为不同生境下园艺花卉的培植提供理论依据。

1 材料与方法

试验于 2008 年 3 月在扬州大学植物学光照培养室进行。将金心吊兰分株后选择长势一致且良好的幼嫩植株进行土培和静止水培栽植。水培前先用自来水冲洗根系,剪除烂根、烂叶后再移入培养瓶中。前期勤换水,根茎结合部保持在水面上方。待长出新根后将植株转入 1/4 浓度的观叶植物营养液中,配方为 KNO_3 $0.542 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ $0.096 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, MgSO_4 $0.135 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, KH_2PO_4 $0.135 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, H_2SO_4 $0.073 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $0.014 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, MnSO_4 $0.002 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, H_3BO_3 $0.0017 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, ZnSO_4 $0.0008 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, CuSO_4 $0.0008 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 调 pH 值为 5.5 ~ 6.5 (宋丽华等, 2003), 每隔两周更换新液 1 次。培养室温度 25 ~ 28 $^{\circ}\text{C}$, 光照强度 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。土培和水培植株生长在同一培养室内,光照、温度条件一致,生长 2 个月后取样。

选取长度相近的根,由根尖至根基每 10 mm 连续切取根段,分别固定于盛有戊二醛 ($0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 二甲基砷酸钠缓冲液配制, pH 7.2) 的青霉素小瓶内。4 $^{\circ}\text{C}$ 过夜。经乙醇梯度脱水、环氧丙烷置换、Spurr 树脂渗透包埋。在 LEICA ULTRACUTR 型切片机上进行半薄切片,厚度为 1 μm 。用 0.1% 甲苯胺蓝 - O (TBO) 染色后用光镜观察根发育过程。在此基础上进一步制作 60 ~ 80 nm 超薄切片,醋酸双氧铀、柠檬酸铅双重染色,用 Tecnai2 透射电镜观察吊兰根皮层细胞和含晶细胞的超微结构。

2 结果与分析

2.1 土培和水培吊兰根系形态和显微结构的比较

土培吊兰根系肉质肥大,但根尖和根基处较细,侧根数多,根表面粗糙 (图 1, A)。水培吊兰根系由气生根发育而来,培养 5 ~ 7 d 后茎基部开始形成次生不定根 (图 1, B)。水培吊兰根系生长速度较慢,生长 45 d 后根长约 10 cm,直径较小,侧根数少 (表 1) 但长势好,根毛退化,表面光滑莹白,质地柔软,根基及周围的侧根呈绿色。

表 1 土培与水培对吊兰根系形态和结构的影响

Table 1 Effects of soil and water culture on the morphology and structure of *Chlorophytum comosum* roots

处理 Treatment	根直径 /mm Diameter of root	侧根数 Number of lateral root	皮层细胞层数 Layer number of cortical cell	含晶细胞数 Number of crystal cell	中柱直径 /mm Diameter of stele	内皮层细胞壁厚 / μm Thickness of cell in endodermis
土培 Soil culture	1.8 ~ 6.0	20	19 ~ 20	47 ~ 50	0.50 ~ 0.63	0.25
水培 Water culture	0.4 ~ 1.8	14	10 ~ 12	10 ~ 12	0.20 ~ 0.41	0.50

土培和水培吊兰生长 2 个月后根的显微结构大致相似。土培吊兰根冠部含有较多的含晶细胞和淀粉体 (图 2, A); 距离根尖 20 mm 处根皮层细胞排列致密,层数多,体积小 (图 2, B); 90 mm 处含晶细胞退化迟,维管束辐射状排列,一般为 12 ~ 13 个,木质部多元型,髓部发达,内皮层细胞壁薄 (图 2, C)。水培吊兰根冠部位几乎不存在含晶细胞,淀粉体较少 (图 2, D); 根皮层细胞层数少,细胞间隙比土培条件下大;中皮层部位存在少量含晶细胞但体积较大,维管束多为 10 个,木质部退化,髓部虽然清晰可见,但占据根切面和中柱面积比例小 (图 2, E); 在发育后期,内皮层细胞径向壁和上、下壁局部增厚并栓质化,呈五面加厚,形成典型的凯氏带结构 (图 2, F)。



图1 土培 (A) 和水培 (B) 条件下吊兰根形态的比较

Fig. 1 Comparison of morphology in *Chlorophytum comosum* roots under soil culture (A) and water culture (B)

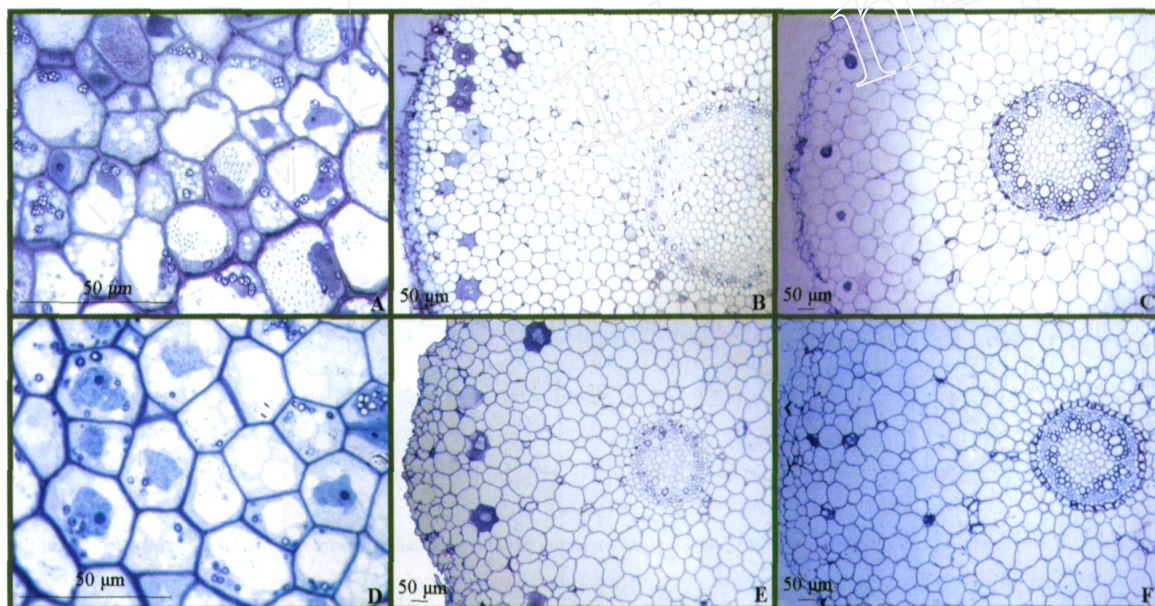


图2 土培和水培条件下吊兰根显微结构的比较

A ~ C: 土培; D ~ F: 水培。A、D. 根冠细胞; B、E. 距离根尖 20 mm 处横切面; C、F. 距离根尖 90 mm 处横切面。

Fig. 2 Comparison of the microstructure in *Chlorophytum comosum* roots under soil and water culture

A ~ C: *Chlorophytum comosum* roots under soil culture; D ~ F: *Chlorophytum comosum* roots under water culture;

A, D: The root cap cells; B, E: Transverse section at 20 mm behind the root apex of *Chlorophytum comosum* roots;

C, F: Transverse section at 90 mm behind the root apex of *Chlorophytum comosum* roots.

2.2 土培和水培吊兰根皮层细胞超微结构的比较

在根系生长发育过程中土培和水培吊兰根皮层细胞的超微结构有较显著的差异。在土培条件下, 根的幼嫩部位的皮层细胞中可见较多数量的粗糙型内质网分布在细胞核和细胞壁周围, 细胞内还存在较多的线粒体、圆球体和一些质体 (图 3, A、B), 这些在水培吊兰的根中不多见 (图 3, D)。随着根细胞的成熟和衰老, 残存的细胞质和未解体的细胞器累积于细胞壁附近, 相邻细胞间有丰富的胞间连丝 (图 3, C、E)。另外, 土培吊兰根细胞的质膜上可见多处胞饮处, 与胞饮作用相关, 推测很可能是土培根系吸收水分或矿质元素的一种方式 (图 3, C)。

与土培根系相比, 水培根系在较成熟部位质体会转化为叶绿体, 发现有少量叶绿体和质体存在于细胞壁附近 (图 3, F、G), 此时叶绿体基质片层丰富, 片层内含有脂质小球与淀粉粒, 这表明水培吊兰根系具有一定的光合能力。

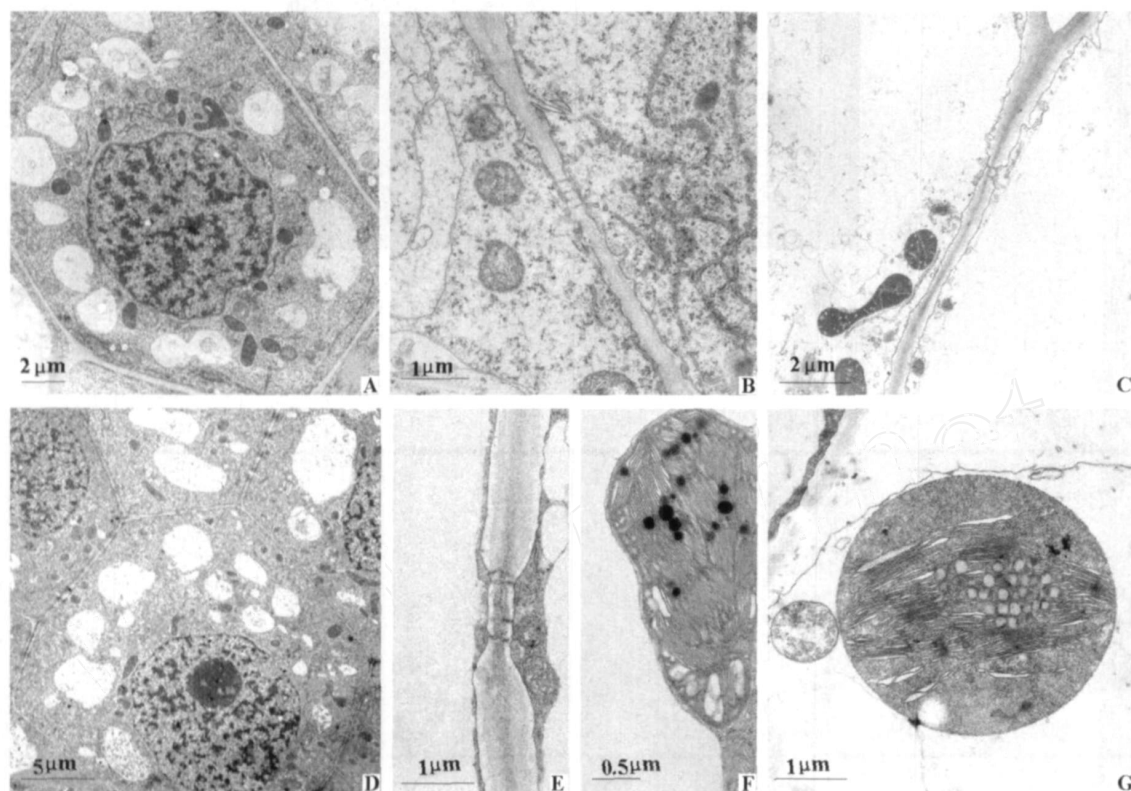


图 3 水培和土培吊兰根皮层细胞超微结构的比较 (电镜)

A, B. 土培吊兰距离根尖 5 mm 处根皮层细胞, 示线粒体、粗糙型内质网、圆球体等;

C. 土培吊兰距离根尖 20 mm 处根皮层细胞, 示线粒体和胞饮处; D. 水培吊兰距离根尖 3 mm 处根皮层细胞;

E, F, G 水培吊兰距离根尖 20 mm 处根皮层细胞, 示胞间连丝、叶绿体和质体。

Fig 3 Comparison of the ultrastructure in *Chlorophytum comosum* roots under soil and water culture by electron microscopy

A, B. Cortical cells at 5 mm behind the root apex of the *Chlorophytum comosum* roots under soil culture, showed the mitochondria, rough endoplasmic reticulum (RER), spherosome and so on; C. Cortical cells at 20 mm behind the root apex of the *Chlorophytum comosum* roots under soil culture, showed the mitochondria and endocytosis pits D. Cortical cells at 5 mm behind the root apex of the *Chlorophytum comosum* roots under water culture E, F, G Cortical cells at 20 mm behind the root apex of the *Chlorophytum comosum* roots under water culture, showed the plasmodesma, chloroplast and plastids

2.3 吊兰根内含晶细胞的发育过程

根的中皮层部位有少数内含结晶的较大细胞, 称为含晶细胞 (洪健 等, 2001)。草酸钙结晶物最初在中央大液泡中形成, 此时根细胞处于生长旺盛时期, 细胞核大, 细胞质浓密 (图 4, A), 原生质分布于细胞壁周围狭窄的区域。距离根尖 10 mm 处晶体占据细胞内较大空间 (图 4, B); 距离根尖 15 mm 处晶体外围被液泡包裹 (图 4, C), 液泡膜类似一层隔离物, 有人将其整体称为晶体腔, 在供给晶体发育空间上发挥作用 (Nakata et al, 2003; 严巧娣和苏培玺, 2006)。在距离根尖 30 mm 处晶体腔破裂瓦解 (图 4, D)。土培根中含晶细胞的退化较缓慢, 即使在距离根尖 90 mm 处仍存在 (图 2, C)。

超微结构研究的结果表明, 根皮层细胞内所含的晶体最初呈方格网状结构 (图 4, E), 并逐渐消散成条状 (图 4, F), 细胞中富含小泡、内质网和特化质体等细胞器。含晶细胞不断分化成熟, 细胞

核变形，细胞质退化，内含物逐渐以小泡的形式移至液泡中。在土培根中还可见到一些斜方形、菱形和长方形晶体物质（图 4，G）。含晶细胞最终同其它皮层细胞一样，液泡膜破裂，草酸钙晶体完全溶于细胞液（图 4，H）。

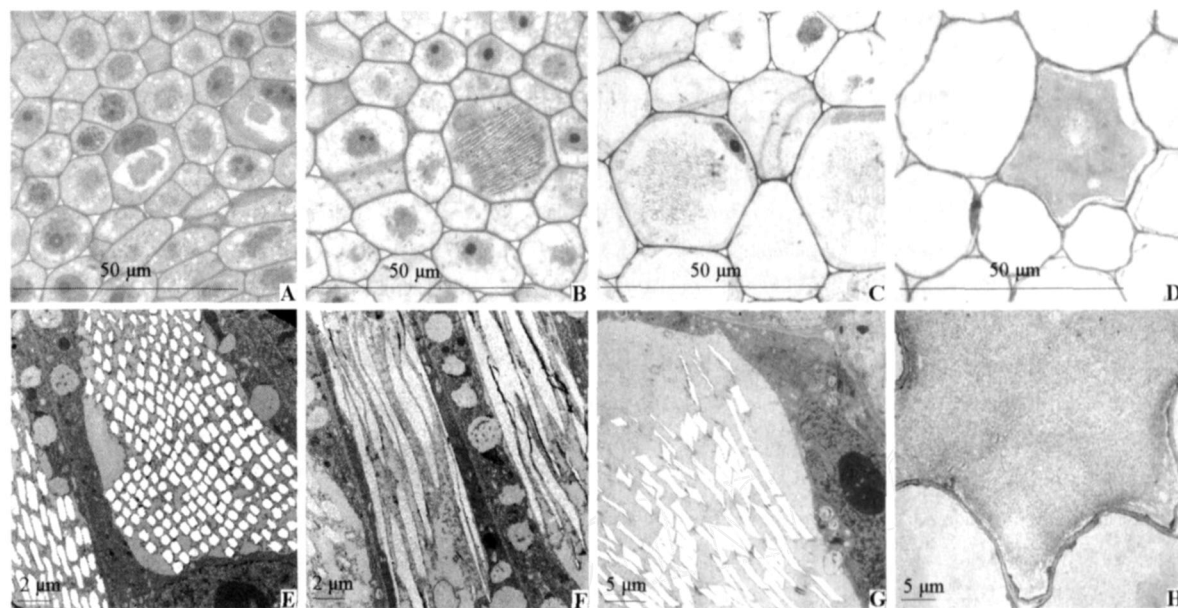


图 4 吊兰根内含晶细胞的发育过程

A、B. 距离根尖 0~10 mm 处的含晶细胞；C. 距离根尖 15 mm 处的含晶细胞；
D. 距离根尖 30 mm 处的含晶细胞；E~H 分别对应 A~D 显微图中含晶细胞的超微结构。

Fig 4 Development of crystal cells in *Chlorophytum comosum* roots

A, B. Microstructure of crystal cells at 10 mm long behind the root apex; C. Microstructure of crystal cells at 15 mm long behind the root apex; D. Microstructure of crystal cells at 30 mm long behind the root apex;
E - H. Electron micrographs of ultrastructure were the amplification of the micrographs A, B, C and D.

3 讨论

3.1 吊兰根系适应水生环境的特点

细胞的生长显著受细胞水分状态的影响，土培根因常受到大气的水分胁迫，其根呈肉质，膨大，表面粗糙，皮层细胞小，中柱大。而水培吊兰由于水分供应充足，则适应水中生长特性，根部长出了许多新根，根系较长，根径显著变小，皮层细胞层数变少，细胞间隙增大，老根逐渐脱落，新根代替老根进行养分和水分的吸收。在自然光照下吊兰水生根系的皮层细胞能形成叶绿体进行光合放氧，为根系提供一定的能量和物质。许多学者认为，生活在水环境中的植物根皮层内一般会形成发达的通气组织（Arunika et al, 2001; 樊明寿和张福锁, 2002）。然而我们发现同金琥（*Echinocactus gnusonii*）、鸡冠花（*Celosia cristata* L.）和凤凰草〔*Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc〕（罗健等, 2007; 汪强等, 2008），根内都形成较发达的通气组织相比，水培吊兰根系并非具有理想中的通气组织结构，其细胞间隙相对较小且无规则。

3.2 吊兰根系皮层含晶细胞的功能

含晶细胞以一种特殊的形态在特定的空间位置形成，普遍存在于旱生、沙生、盐生植物的叶和轴内（马骥等, 1997; Nakata, 2003; 苏培玺等, 2005），目前这方面的研究较少。本研究发现，土培吊兰根皮层内存在的含晶细胞数较水培多，这说明含晶细胞能通过提高渗透势从而增强根系吸收水分的能力。吊兰是有效的绿色“空气净化器”，其叶片能够有效吸收和消除甲醛、苯等室内污染物

(Comej et al, 1999), 含晶细胞很可能具有降低有害物质浓度的功能 (陈峥 等, 2007), 通过形成草酸钙或其它结晶物的方式减轻有害物质对植物的毒害 (严巧娣和苏培玺, 2006)。含晶细胞是否具有其他重要的生理学意义, 还有待于进一步探讨。

References

- Arunka H G, Deborah M P, Michael B J, Chris R H, Davis E E. 2001. Characterisation of programmed cell death during aerenchyma formation induced by ethylene or hypoxia in roots of maize (*Zea mays* L.). *Planta*, 212: 205 - 214.
- Comej J J, Munoz F G, Ma C Y, Stewart A J. 1999. Studies on the decontamination of air by plants *Ecotoxicology*, 8: 311 - 320.
- Chen Yong-hua, Wu Xiao-fu, Hu Ri-li, Jiang Li-juan, Chen Ming-li, Lei Dian, Liao Juan. 2007. Mechanism and application of flower plants in hydroponic culture. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 35 (32): 10291 - 10293. (in Chinese)
- 陈永华, 吴晓芙, 胡日利, 蒋丽鹃, 陈明利, 雷 电, 廖 娟. 2007. 花卉水培的机理与应用. *安徽农业科学*, 35 (32): 10291 - 10293.
- Chen Zheng, Geng Hua-chun, Wang Sha-sha, Ding Ming-li, Chen Xin-jian, Chen Jun-ying. 2007. Formation, degeneration and functions of oxalate in plant. *Molecular Plant Breeding*, 5 (6): 105 - 110. (in Chinese)
- 陈 峥, 耿华春, 王沙沙, 丁明丽, 陈新建, 陈军营. 2007. 植物体内草酸 (盐) 的形成、降解及其作用. *分子植物育种*, 5 (6): 105 - 110.
- Fan Ming-shou, Zhang Fu-suo. 2002. Aerenchyma formation in plant and its physiological and ecological significance. *Plant Physiology Communications*, 38, 615 - 618. (in Chinese)
- 樊明寿, 张福锁. 2002. 植物通气组织的形成过程和生理生态学意义. *植物生理学通讯*, 38, 615 - 618.
- Hong Jian, Gao Qi-kang, Chen Ji-shuang. 2001. SEM and EDX analyses of crystals in plant cells. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 20 (4): 517 - 518. (in Chinese)
- 洪 健, 高其康, 陈集双. 2001. 植物细胞结晶体的 SEM 观察和 EDX 分析. *电子显微学报*, 20 (4): 517 - 518.
- Luo Jian, Wang Ying, Lin Dong-jiao, Wang Man-li, Ou Zhi-chan, Liu Shi-zhe. 2007. Studies on rapid culture techniques and root adaptability of *Echinocactus gnusonii* in hydroponics. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (3): 711 - 716. (in Chinese)
- 罗 健, 王 英, 林东教, 王蔓丽, 欧志婵, 刘士哲. 2007. 金琥快速水培技术及其根系适应性的研究. *园艺学报*, 34 (3): 711 - 716.
- Ma Ji, Wang Xun-ling, Wang Yan-chun. 1997. An anatomical study on xeromorphic structures of *Peganum* in Northwest China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 17 (4): 478 - 482. (in Chinese)
- 马 骥, 王勋陵, 王燕春. 1997. 骆驼蓬属营养器官的旱生结构. *西北植物学报*, 17 (4): 478 - 482.
- Nakata P A, Kostman T A, Franceschi V R. 2003. Calreticulin is enriched in the crystal idioblasts of *Pistia stratiotes*. *Plant Physiology Biochem*, 41: 425 - 430.
- Nakata P A. 2003. Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. *Plant Sci*, 164: 901 - 909.
- Song Li-hua, Cao Bing, Qin Juan. 2003. Test on water culture propagation of foliage plants. *Northern Horticulture*, (3): 62 - 64. (in Chinese)
- 宋丽华, 曹 兵, 秦 娟. 2003. 几种观叶植物的水培繁殖试验. *北方园艺*, (3): 62 - 64.
- Su Pei-xi, An Li-zhe, Ma Rui-jun, Liu Xin-min. 2005. Kranz anatomy and C_4 photosynthetic characteristics of two desert plants, *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum*. *Journal of Plant Ecology*, 29 (1): 1 - 7. (in Chinese)
- 苏培玺, 安黎哲, 马瑞君, 刘新民. 2005. 荒漠植物梭梭和沙拐枣的花环结构及 C_4 光合特征. *植物生态学报*, 29 (1): 1 - 7.
- Wang Qiang, Su Ju, Sun He-jin, Duan Zeng-qiang, Tan Jin-fang, Han Yan-lai, Wang Hui-rong. 2008. Preliminary study on waterlog-induced root of hydroponics flower. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24 (1): 60 - 63. (in Chinese)
- 汪 强, 苏 菊, 孙合金, 段增强, 谭金芳, 韩燕来, 王慧荣. 2008. 水培花卉水生根系诱导研究初报. *中国农学通报*, 24 (1): 60 - 63.
- Yan Qiao-di, Su Pei-xi. Crystal idioblasts in plants: A review of their structure and functions. *Plant Physiology Communications*, 42 (4): 761 - 766. (in Chinese)
- 严巧娣, 苏培玺. 2006. 植物含晶细胞的结构与功能. *植物生理学通讯*, 42 (4): 761 - 766.
- Yuan Hong-juan. 2007. Comparative study on the structure of *Chlorophytum comosum* roots under water and soil culture. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 13 (1): 64. (in Chinese)
- 原红娟. 2007. 吊兰水培与土培根系结构比较研究. *安徽农学通报*, 13 (1): 64.