

高山杜鹃 ‘Boursault’ 幼苗对容器栽培的生长响应

乔文艳^{1,2}, 崔洪霞¹, 刘家迅³, 姜闯道¹, 石雷^{1,*}

(¹中国科学院植物研究所, 北京 100093; ²中国科学院研究生院, 北京 100039; ³云南省农业科学院园艺作物研究所, 昆明 650213)

摘要: 盆栽杜鹃幼苗的生长直接关系到成苗后品种特征的充分表达, 其中容器大小的选择是杜鹃幼苗盆栽的基础环节。试验采用 C1 (140 mL, 6.5 cm × 6.5 cm), C2 (350 mL, 10 cm × 10 cm), C3 (850 mL, 13 cm × 12 cm), C4 (1 400 mL, 15 cm × 13 cm) 和 C5 (2 850 mL, 18 cm × 16 cm) 5 种规格的黑色塑料盆, 对常绿高山杜鹃 (*Rhododendron catawbiense* ‘Boursault’) 1 年生幼苗实施容器生长响应试验。结果显示幼苗的生长对容器容积的变化具有敏感的响应: (1) 容器容积的梯度变化对幼苗光合同化产物积累、株高和叶片数的动态增长都产生了显著影响, 在 140 ~ 1 400 mL (C1 ~ C4) 的容积范围内, 幼苗的生理及形态响应与容器容积成正相关变化, 以 C4 (1 400 mL) 处理生长最为强壮; (2) 容器容积的适当增大使在遮荫环境中生长的幼苗降低了光补偿点, 能够在低光强下启动光合作用以增加同化产物的合成; (3) 容器容积的适当增大提升了幼苗结构和功能器官的构建速度; (4) 容器容积的梯度增大使幼苗地上一地下器官的生物量增加, 但对改变生物量分配比例作用甚小。

关键词: 杜鹃; 容器; 生物量; 光合作用

中图分类号: S 685.21

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 06-0977-07

Growth Responses of *Rhododendron catawbiense* ‘Boursault’ to Size-elevated Containers

QIAO Wen-yan^{1,2}, CUI Hong-xia¹, LIU Jia-xun³, JIANG Chuang-dao¹, and SHI Lei^{1,*}

(¹Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ²Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³Institute of Horticulture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650213, China)

Abstract: The expression of ornamental characteristics of mature pot-cultivated *Rhododendron* depends on the vigorous growth of plantlet and the selection on container size is a basic aspect in commercial cultivation. The elevated container sizes including C1 (140 mL, 6.5 cm × 6.5 cm), C2 (350 mL, 10 cm × 10 cm), C3 (850 mL, 13 cm × 12 cm), C4 (1 400 mL, 15 cm × 13 cm) and C5 (2 850 mL, 18 cm × 16 cm) were used in our experiment. The results showed that (1) Responses to the container volume gradients were sensitively induced in biomass, growth dynamics of plant height and leaf numbers.

收稿日期: 2010-01-13; **修回日期:** 2010-05-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD26B0101); 科技部农业科技成果转化项目 (2008GB24910475); 昆明市科技计划项目 (08N060104)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: shilei67@263.net)

致谢: 感谢中国科学院昆明植物研究所胡虹研究员提供光合气体交换测定仪器。

Positive relations between physiological and morphological traits and the container sizes were presented across 140–1 400 mL (C1–C4) and the outstanding growth occurred in C4 (1 400 mL); (2) Light compensation point of photosynthesis was decreased in larger containers to accumulate more photoassimilates in partly shading condition; (3) Construction efficiency of structural and functional organs were promoted by elevated container size from 140 mL to 1 400 mL (C1–C4); (4) Coordinative increase in biomass happened on overground and underground organs at individual level when cultivated in size-elevated containers and the allocation fraction did not be affected by the container sizes.

Key words : *Rhododendron* ; container ; biomass ; photosynthesis

全世界有杜鹃属 (*Rhododendron* L.) 植物 900 余种, 其中 90% 的种类分布于亚洲、欧洲和北美洲。中国原产杜鹃 542 种 (胡琳贞和方明渊, 1994; 方瑞征, 1999), 占世界野生杜鹃资源的 54%。广泛的地理分布和复杂的亲缘关系构成了杜鹃属植物多样的环境适应性和物种习性, 使得盆栽杜鹃对栽培技术的选择性较强。作为木本植物, 杜鹃品种幼苗的生长直接关系到成苗后品种特征能否充分表达, 其中容器大小的选择是杜鹃幼苗盆栽的基础环节, 影响着幼苗生物量的建成, 决定了成苗过程中的因子调控能否获得预期效果。盆栽花卉的根系生长主要受容器的限制 (沈隽, 1993)。在相同的水分条件下, 容器大小决定了植株的水分供给量, 直接影响根系的体积、数量、结构及生理功能, 进而影响植株的生长发育 (许玉妹 等, 1991)。过小的容器空间限制根系的生长, 而过大的容器或造成根系的“生长冗余” (盛承发, 1990), 因地下结构构建消耗过多能量 (李话和张大勇, 1999) 而影响地上生长。幼苗栽培容器选择的相关文献并不多见。作者针对高山杜鹃 *R. catawbiense* ‘Boursault’ 开展盆栽容器容积筛选试验, 旨在获得低龄幼苗最佳生长的同时优化资源匹配, 为建立品种针对性的规模化高效栽培技术体系提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

组培繁殖的高山杜鹃 *R. catawbiense* ‘Boursault’ 幼苗经盆栽种植一年。选取生长一致 (平均株高 2.5 cm, 冠径 8 cm) 的一年生盆栽苗为试验材料。以常用的黑色软塑料盆 (北京市华宇园艺用品有限公司) 为供试容器。以云南丽江的纯天然草炭为栽培基质, 用 EC 计 (S/N 58338, Nieuw Koop, Holland) 测得基质电导率为 $0.58 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 用 pH 计 (HI 8424, Hanna Instruments, Italy) 测得 pH 值为 4.73。

1.2 试验方法

试验于 2007 年 10—12 月在云南省昆明跑马山昆明金科艺花卉公司 ($102^{\circ}44'E$, $25^{\circ}3'N$) 进行。为排除气候因素的影响, 试验在高 4 m 的塑料大棚内实施。采用遮荫率为 75% 的黑色遮荫网搭设成 $1.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高) 的遮荫棚。将供试苗木分别移栽至 5 种规格的黑色塑料盆中 (表 1), 移栽后浇水使基质含水量至 50% (体积比), 并称盆质量 (W_1)。以后每 2 d 补水 1 次, 浇水前称盆质量 (W_2), 补水量由 W_1 与 W_2 的差值获得, 以保证各种规格容器的基质体积含水量相同。

试验采用单因素随机区组设计, 每种规格容器取 8 盆, 每盆植 1 株, 共 8 个重复。试验期间 5 次统计株高、叶片数; 在试验结束时收获全株, 洗净, 用吸水纸吸去多余的水分, 测全株叶面积;

将根、茎和叶分离后，在 105℃ 下杀青 30 min，85℃ 烘 48 h 至恒定质量，测得生物量。计算根质量比 = 根生物质量（干质量）/ 植株总生物量（干质量）。

光合气体交换采用便携式光合气体交换测定系统（LI-6400 USA）测定。于 2007 年 11 月 10 日至 25 日期间，选择晴朗天气，于上午 9:30—11:30 在室温为 20℃、CO₂ 浓度为 380 μmol·mol⁻¹、空气相对湿度为 30%、6400-02B 人工光源条件下测定植株叶片的光响应曲线。每处理随机选 3 株，于植株中部选取叶片 3 片，共 9 个重复。

水当量（单位生物量对应的水消耗量）以试验期间各容器内总补水量与试验末期相应植株生物量的比值计算。

表 1 容器的容积设计

Table 1 Size-elevated container for one-year old plantlets

容器 Container	口径/cm Diameter	深度/cm Depth	容积/mL Volume
C1	6.5	6.5	140
C2	10.0	10.0	350
C3	13.0	12.0	850
C4	15.0	13.0	1 400
C5	18.0	16.0	2 850

1.3 数据分析

数据采用 SPSS13.0 进行 ANOVA 分析，用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 叶片光合气体交换、植株生物量分配和水分补给的差异

高山杜鹃 ‘Boursault’ 的光合气体交换特征对容器容积变化响应敏感。在 400 μmol·m⁻²·s⁻¹ 的环境光强下，容器容积的差异引发了净光合速率（ P_n ）的显著变化。容积从 140 mL 增至 1 400 mL（C1~C4），叶片净光合速率也逐渐增加至最高，而容器容积增至 2 850 mL（C5）时出现了显著降低（表 2）。气孔导度（ G_s ）和叶片蒸腾速率（ T_r ）与 P_n 的变化趋势相同。种植在较大容器（C3、C4 和 C5）中的植株叶片的光补偿点（LCP）不到最小容器 140 mL（C1）中植株的一半（表 2）。

表 2 高山杜鹃 ‘Boursault’ 的光合气体交换、水分补充对容器梯度的响应

Table 2 The responses of gas exchange, water supply to size-elevated containers for *R. catawbiense* ‘Boursault’

容器 Container	P_n / (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	T_r / (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	G_s / (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光补偿点/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Light compensation point	总补水量/ mL Quantity of water supply	水当量/ (mL·g ⁻¹) Water equivalent
C1	3.20 ± 0.24A	0.64 ± 0.10A	60 ± 9A	40	680	777
C2	4.20 ± 0.24AB	1.16 ± 0.10AB	90 ± 9AB	27	1 775	1 350
C3	4.87 ± 0.24B	1.50 ± 0.07BC	120 ± 6BC	17	2 855	1 679
C4	6.23 ± 0.34C	1.81 ± 0.08C	150 ± 10C	8	4 400	2 112
C5	5.80 ± 0.24BC	1.62 ± 0.09BC	130 ± 13BC	12	7 020	3 954

注：气体交换结果为在光辐射 400 μmol·m⁻²·s⁻¹ 条件下的测量值；结果表示为平均值 ± SD，差异显著性水平 $P < 0.05$ 。

Note: Gas exchange was measured at PAR 400 μmol·m⁻²·s⁻¹. Results are presented by mean ± SD, the different letters indicate significant difference at 0.05 level.

试验末期各处理植株生物量及其器官间分配都产生了明显的差异。在一定容积范围 (C1 ~ C4) 内, 生长空间的增大有助于植株生物量的增加 (表 3, 图 1), 以 1 400 mL (C4) 处理中根、茎、叶的生物量建成状况为最佳, 并且叶面积同样居于高位 (表 2), 整体居于突出的强势状态。根生物量分配比例亦随容积增大而增加。以根长和根粗为代表的根形态变化趋势相同 (表 3, 图 1, A)。最大容器 2 850 mL (C5) 并未带来最大的生物量积累。

在试验期间由于容器容积的不同, 为保证容器间基质水分状况的一致 (50%) 而形成的资源供给量的差异是显著的。试验期间最大容器 2 850 mL (C5) 的补水量与 C3 和 C4 补水量的总和持平 (表 2), C5 中植株的水当量同比高于 C3 与 C4 的总和。

表 3 高山杜鹃 ‘Boursault’ 的生物量及其分配对容器梯度的响应
Table 3 The responses of biomass and allocation to size-elevated containers for *R. catawbiense* ‘Boursault’

容器 Container	总生物量/g Total biomass	茎生物量/g Stem biomass	根生物量/g Root biomass	根生物量分配/% Root biomass participation	单株叶面积/cm ² Leaf area/plant	根长/cm Root length
C1	0.8752 ± 0.086A	0.1083 ± 0.006A	0.3484 ± 0.034A	39.81 ± 0.2A	62.65 ± 2.43A	9.30 ± 0.62A
C2	1.3149 ± 0.070B	0.1465 ± 0.009B	0.5328 ± 0.025B	40.52 ± 0.3A	73.54 ± 3.23AB	13.13 ± 0.55B
C3	1.7003 ± 0.046C	0.1780 ± 0.005C	0.7063 ± 0.024C	41.54 ± 0.3B	79.10 ± 2.56B	15.30 ± 0.36C
C4	2.0832 ± 0.076D	0.2312 ± 0.010D	0.8826 ± 0.054D	42.37 ± 0.2C	105.32 ± 3.65C	18.20 ± 0.75D
C5	1.7756 ± 0.048CD	0.1873 ± 0.006CD	0.7459 ± 0.035CD	42.01 ± 0.3BC	83.50 ± 3.54BC	15.43 ± 0.40C

注: 结果表示为平均值 ± SD, 差异显著性水平 $P < 0.05$ 。
Note: Results are presented by mean ± SD, the different letters indicate significant difference at 0.05 level.



图 1 梯度容器处理中植株地上和地下形态差异
Fig. 1 Morphological differences of plantlets cultivated in size-elevated containers in roots and shoots

2.2 生长动态响应

株高和叶片数量的动态增加对容积梯度的响应差异随着处理时间的延长而越发显著。在 140 ~ 1 400 mL (C1 ~ C4) 容积递增的处理中, 株高和叶片数也在相应增加, 以 1 400 mL (C4) 为最高且冠形最为丰满, C4 的动态生长优势一直保持到试验结束 (图 2)。但在最大容器 2 850 mL (C5) 中, 表现生长则衰退到 850 mL (C3) 的水平。株高的响应差异在处理 15 d 时开始出现, 30 d 时已有较为明显的表达 (图 2, B), 而叶片数量差异的最初表达在 30 d, 明显差异则在 45 d 时出现 (图 2, A)。

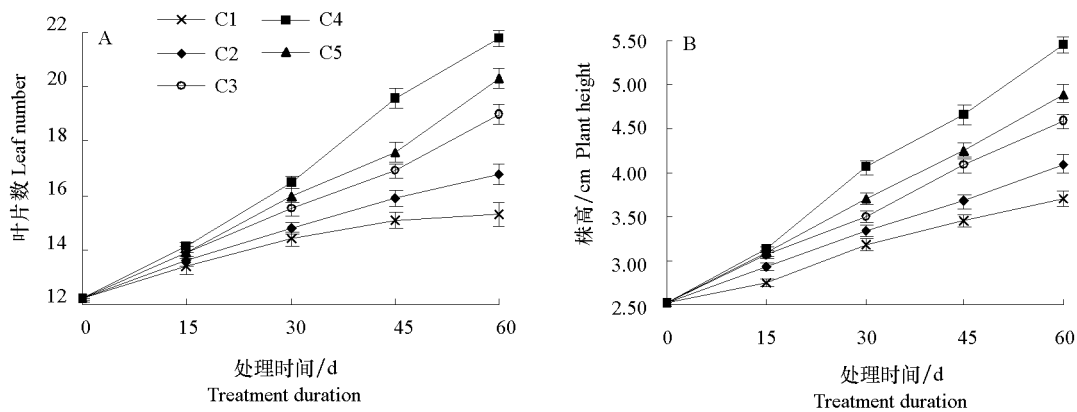


图2 叶片数和株高动态生长对容器梯度的响应

每次测定重复8个单株叶片, 差异显著性水平 $P < 0.05$ 。

Fig. 2 Responses of growth dynamics of leaf numbers and plant height of plantlets to size-elevated containers

Error bars represent mean \pm SD ($n = 8$). The significant difference level at $P < 0.05$.

3 讨论

当试验中所有容器处理的栽培基质水肥条件一致时, 可以认为栽培容积差异主要带来根系生长空间和容器内资源总量的不同。相对于品种根系正常生长应匹配的空间来讲, 试验提供的根系可利用空间经历了从亏缺 (C1) 适中 (C4) 到过剩 (C5) 的过程, 诱导了杜鹃品种幼苗从生理到表型、从叶片到个体的差异性变化。

3.1 光合气体交换响应特征

当植株根系生长受到空间限制时, 对叶片光合同化作用的影响程度会因物种而不同 (Mataa & Tominaga, 1998; Whiley et al., 1999)。作为生长差异的形成基础, *R. catawbiense* ‘Boursault’ 杜鹃幼苗的光合气体交换特征对容器容积变化的响应十分敏感, 表现为在 140 ~ 1 400 mL (C1 ~ C4) 的容积梯度范围内, 净同化速率 (P_n) 随容器的增大而显著增加。试验中期的光合作用数据表明, 当植株的根系空间因容积的增大而更为宽松时, 根系生长的迫切性使杜鹃幼苗通过叶片光合同化能力的提升和光合产物的更多积累, 加强叶片功能器官的构建, 同时实现根系同化产物分配量的改善, 从而使根系增大, 以便在更大的空间范围内吸收基质营养, 最终实现地上的旺盛生长。这种情况在 C4 的处理中越发突显 (表 2)。气孔是控制叶片 CO_2 进出和水分平衡的通道, 对光合作用具有重要影响 (Beadle et al., 1993; 姜闯道 等, 2004)。处理梯度上气孔导度的增加有效地改善了 CO_2 供给, 提高了光合同化酶促反应的底物浓度, 为光合同化作用的提升提供了必要条件。

然而, 容器空间的过度增加 (C5) 在一定程度上能够显著抑制根系的生长, 继而引发了地上生长的限制 (表 3, 图 1)。当然, 栽培容器的容积变化带来的基质养分持有量的差异可能对植株生长产生影响。在没有进行外源养分补充的条件下, 这种影响的大小首先决定于基质养分的持有量与植物需求量之间的差值。本试验采用纯天然草炭基质, 其有机质的持有量对于 1 年生盆栽幼苗来说是充足的。并且, C1 ~ C3 试验末期的叶片状态表明在试验期间未曾出现可见的养分缺乏 (图 1, B), 可见容器梯度间养分持有量的差异对植株的影响较小。

C5 中植株的叶片蒸腾速率小于 C4 而与 C3 相当, 表明相对于 C4 和 C3 来讲, C5 中大量的水分散失可能并非由于植株蒸腾所致, 而土壤蒸发可能成为主导因素。作为生长的重要环境因子, 空间

过大意味着其中水资源总量相对于幼苗需求处于过剩状态。浇水后土壤与空气间形成了较大的水汽压差（空气相对湿度为 30%），初期幼苗根系体量相对较小（试验初期根长约 3 cm），对土壤水分吸收和保持的空间范围有限，基质浅层中过剩的水分主要通过较大的基质表面蒸发而散失，使补水间期内根际基质水分相对于 C4 等较小的容器来讲处于短暂的亏缺状态，并可能从试验初期即在一定程度上影响了幼苗生长。对 C5 植株生长限制的理解也可以从中期 C5 植株的叶片净同化速率（ P_n ）和蒸腾作用（ T_r ）并未比 C4 增强，以及一直以来的地上部动态生长逊于 C4 的结果中得到支持。

随着 C1 ~ C4 容器容积的递增植株生物量的积累呈增加趋势。为了在遮荫的环境中获得更多的同化产物积累，植株叶片的光补偿点呈现相应的下调趋势，从而降低了其光合作用启动时的最低光需求，为实现遮蔽环境中的旺盛生长创造条件。

3.2 生长动态响应特征

容器容积的梯度差异引起了株高和叶片动态生长的差异。在容积从 140 ~ 1 400 mL 递增时，株高和叶幕的构建也越发理想，直至 1 400 mL（C4）最为茁壮和丰满。但在 2 850 mL（C5）的最大容器中，表观生长则衰退到 850 mL（C3）的水平。地上茎或枝条的结构性生长（如植株的增高或分枝的增加）是功能性叶片生长（叶片数量的增加或叶面积的增大）的先决条件，而地上资源的获取须通过结构和功能的整合才能实现（Marks & Lechowicz, 2006）。该品种杜鹃的植株增高响应差异在盆栽 30 d 时开始明显地表现，而功能叶片数量的差异表达则在 45 d 时才明显。在盆栽条件下结构性生长比功能性生长提前 15 d。在 60 d 的试验期间，适度的栽培空间（1 400 mL，C4）能够使幼苗获得最大程度和最高速度的结构性器官（茎）和功能性器官（叶片）构建。

3.3 生物量分配和资源利用响应特征

根系限制可以显著减少桃（Boland et al., 2000）和苹果（Atkinson et al., 1997）的地上和地下部生长。本试验中杜鹃‘Boursault’幼苗经过 60 d 梯度容积栽培后，处理间的植株生物量形成及生物量的器官分配都产生了类似的结果。在一定容积范围内，生长空间的增大有助于幼苗生物量的蓄积。在 1 400 mL（C4）的处理中根、茎、叶的生物量建成状况同比仍为最佳，整体居于突出的强势生长状态。以根长和根粗为代表的根形态变化情形相同，仍旧以 C4 容器为最佳。植物在外界环境改变或受到干扰的情况下可能改变自身生物量分配方式（Genard et al., 1998；孙书存和陈灵芝，2000），变化程度可能因环境因素的不同而产生差异。试验可见，虽然用 C4 栽培的幼苗其根系获得了最高的同化物分配比例，但处理间的根系比例整体变化幅度仅在 0.40 ~ 0.42 之间。表明栽培容器的增大会同时提高品种杜鹃幼苗地上和地下器官的生物量积累，而对地上—地下器官生物量的分配比例不会产生明显影响。苗期容器选择的重要性在于获得最佳的幼苗总体生物量积累，为后期进行水、肥调控，实现冠层的旺盛生长奠定良好的物质基础。

资源投入直接关系栽培生产成本，是规模化栽培中必须考虑的因素。试验期间由于容器容积的差异，为保证容器间基质含水量的一致（50%）而提供的水分供给量显著不同。从试验末期生物量获得所对应的全程水资源匹配情况来看，对于 C5 来说，为了保持适宜的基质湿度而配给的水资源量约为 C4 的 2 倍，而生物量的产出则显著低于 C4，与 C3 持平。由此计算得到的单位生物量的水资源匹配量大于 C3 和 C4 的总和。权衡生物量和产出资源投入，杜鹃‘Boursault’品种低龄苗栽培容器以 1 400 mL（C4）为最佳。

References

Atkinson C J, Webster A D, Vaughan S. 1997. Effects of root restriction on the physiology of apple tree growth. *Acta Horticulturae*, 451: 587–595.

- Beadle C L , Ludlow M M , Honeysett J T. 1993. Water relations // Hall D O , Scurlock J M O , Bolhar-Nordenkamp H R , Leegood R C , Long S P. Photosynthesis and production in a changing environment. London : Chapman and Hall : 113 – 127.
- Boland A M , Jerie P H , Mitchell P D. 2000. Long-term effects of restricted root volume and regulated deficit irrigation on peach : I. Growth and mineral nutrition. *Journal of the American Society for Horticultural Science* , 125 (1) : 135 – 142.
- Fang Rui-zheng. 1999. *Flora of China*. Vol.1. Beijing : Science Press. (in Chinese)
- 方瑞征. 1999. 中国植物志. 第一卷. 北京 : 科学出版社.
- Genard M , Pages L , Kervella J. 1998. A carbon balance model of peach tree growth and development for studying the pruning response. *Tree Physiology* , 18 (1) : 351 – 362.
- Hu Lin-zhen , Fang Ming-yuan. 1994. *Flora of China* (). Beijing : Science Press. (in Chinese)
- 胡琳贞 , 方明渊. 1994. 中国植物志 (). 北京 : 科学出版社.
- Jiang Chuang-dao , Gao Hui-yuan , Zou Qi , Jiang Gao-ming. 2004. Photosynthetic characteristics and photoprotective mechanisms during leaf development of soybean plants grown in the field. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* , 30 (4) : 428 – 434. (in Chinese)
- 姜闯道 , 高辉远 , 邹 琦 , 蒋高明. 2004 . 田间大豆叶片生长过程中的光合特性及光破坏防御机制 . *植物生理与分子生物学报* , 30 (4) : 428 – 434.
- Li Hua , Zhang Da-yong. 1999. Morphological characteristics and growth redundancy of spring wheat root system in semi-arid regions. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 10 (1) : 26 – 30. (in Chinese)
- 李 话 , 张大勇. 1999. 半干旱地区春小麦根系形态特征与生长冗余的初步研究. *应用生态学报* , 10 (1) : 26 – 30.
- Marks C O , Lechowicz M J. 2006. A holistic tree seedling model for the investigation of functional trait diversity. *Ecological Modelling* , 193 : 141 – 181.
- Mataa M , Tominaga S. 1998. Effects of root restriction on tree development in Ponkan mandarin(*Citrus reticulata* Blanco). *Journal of the American Society for Horticultural Science* , 123 (4) : 651 – 655.
- 沈 隼. 1993. 中国农业百科全书. 果树卷. 北京 : 农业出版社 : 1 – 3 , 250.
- Sheng Cheng-fa. 1990. Growth tediousness as an explanation of over-compensation of crops for insect feeding. *Journal of Applied Ecology* , 1 (1) : 26 – 30. (in Chinese)
- 盛承发. 1990. 生长的冗余——作物对于虫害的超越补偿作用的一种解释. *应用生态学报* , 1 (1) : 26 – 30.
- Sun Shu-cun , Chen Ling-zhi. 2000. A preliminary study on the ecological responses of seedlings to drought and simulated defoliation in *Quercus liaotungensis*. *Acta Ecologica Sinica* , 20 (5) : 893 – 897. (in Chinese)
- 孙书存 , 陈灵芝. 2000. 辽东栎幼苗对干旱和去叶的生态反应的初步研究. *生态学报* , 20 (5) : 893 – 897.
- Whiley A W , Searle C , Schaffce B , Wolstenholme B N. 1999. Cool orchard temperature or growing trees in containers can inhibit leaf gas exchange of avocado and mango. *Journal of the American Society for Horticultural Science* , 124 (1) : 46 – 51.
- Xu Yu-mei , Wen Jia-si , Lin Jin-he. 1991. The role of root pruning and restriction on the growth and development of fruit trees. *Journal of the Chinese Society for Horticulture Science* , 37 (2) : 72 – 79. (in Chinese)
- 许玉妹 , 温佳思 , 林金和. 1991. 断根与限制根群在果树生长与发育所扮演的角色. *中国园艺* , 37 (2) : 72 – 79.