

不同砧木对温州蜜柑光合特性的影响

胡利明 夏仁学* 周开兵 黄仁华 王明元 谭美莲

(华中农业大学园艺植物生物学教育部重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要: 以体细胞杂种红橘+枳、Troyer枳橙、Swingle枳柚和枳作砧木的‘国庆4号’温州蜜柑幼树为试材, 通过大棚盆栽研究了4种砧木对幼树光合特性的影响。结果表明: 嫁接在不同砧木上的温州蜜柑幼树的净光合速率(P_n)日变化相似, 均表现出双峰曲线, 首峰出现在10:00时, 次峰小于首峰, 出现在13:00时以后; 综合净光合速率、蒸腾速率(Tr)、水分利用效率(WUE)、羧化效率(CE)和表观光量子效率(AQY)等可以看出Troyer枳橙幼树光合性能最弱, 枳最强, 红橘+枳和Swingle枳柚介于两者之间; 可溶性蛋白、比叶重和色素含量等生理指标结果显示, 枳表现最优光合特性, 另外3种砧木差异不明显; 在设施条件下 P_n 与气孔导度(G_s)、相对湿度(RH)和 Tr 呈正相关, 与胞间 CO_2 浓度(C_i)呈负相关, 与温度(T_{air})、叶面水汽压亏缺(V_{pd})和光照强度(PAR)相关性复杂。

关键词: 砧木; 柑橘; 温州蜜柑; 光合特性

中图分类号: S 666.1 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2006) 05-0937-05

Effects of Different Rootstocks on the Photosynthesis of Satsuma Mandarin

Hu Lining, Xia Renxue*, Zhou Kaibing, Huang Renhua, Wang Mingyuan, and Tan Meilian

(Key Laboratory of Horticultural Plant Biology Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: It was conducted with ‘Guoqing 4’ Satsuma mandarin young tree whose rootstocks were Trifoliate, Sexual hybrid Troyer Citrange, Swingle Citrumb and somatic hybrid Red tangerine + Trifoliate. Studying on the effects of rootstocks on the net photosynthesis rate (P_n) through potted experiment in the greenhouse. The results showed that: The diurnal variation of P_n in young tree with different rootstocks was similar and presented bimodal curve, the first peak occurred at 10:00, the second peak occurred after 13:00 and the value was lower than the first one. With the analysis of P_n , transpiration rate (Tr), water use efficiency (WUE), apparent quantum yield (AQY) and carboxylation efficiency (CE), the results were the young tree—Troyer Citrange had a weaker photosynthesis, Trifoliate’s photosynthesis was the best, red tangerine + Trifoliate and Swingle Citrumb was between the above two; Trifoliate had a higher physiological value in soluble protein, specific leaf weight and photosynthetic pigment, the other three didn’t have remarkable difference. Under protected condition, P_n had obvious positive relationship with stomatal conductance (G_s), Tr and relative humidity (RH), P_n had obvious negative relationship with intercellular CO_2 concentration (C_i), there were complex relation between P_n and air temperature (T_{air}), photosynthesis availability radiation (PAR) and vapor pressure deficit at the leaf surface (V_{pd}).

Key words: Rootstock; *Citrus* L.; *C. reticulata* Blanco; Photosynthesis

砧木是嫁接果树的基础, 对接穗品种的生长发育及果实的产量和品质等均有重要影响。我国柑橘砧木资源丰富, 但长期以来以枳和红橘为主要砧木, 而世界许多柑橘生产国家则多以 Troyer枳橙、Swingle枳柚等有性杂种作为砧木^[1,2], 近年来, 我国已引进 Troyer枳橙和 Swingle枳柚等柑橘砧木并开始用于生产, 并且通过细胞融合方法也创造了一些新的柑橘砧木资源^[3]。但是这些柑橘砧木及其

收稿日期: 2005-11-27; 修回日期: 2006-02-20

基金项目: 国家科技部促进三峡移民开发专项资助 (2003EP090018)

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

资源是否适于我国柑橘栽培还缺乏深入研究。

砧木对柑橘光合能力也有较强的影响^[4]。作者以 1 种体细胞杂种新型资源、2 种有性杂种和枳嫁接‘国庆 4 号’温州蜜柑后,进行了大棚盆栽比较试验,从光合作用的角度评价砧木的适应性,为砧木的合理选择与利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

分别以体细胞杂种红橘+枳^[5] [*Citrus reticulata* Blanco + *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 有性杂交种 Troyer 枳橙 [*C. sinensis* Osbeck × *P. trifoliata* (L.) Raf.] Swingle 枳柚 [*C. grandis* Osbeck × *P. trifoliata* (L.) Raf.] 和枳 [*P. trifoliata* (L.) Raf.] 为砧木材料。嫁接时,体细胞杂种为 2 年生自根苗,另 3 种砧木为 1 年生实生苗。选取粗细、生长势相对一致的苗木进行嫁接。体细胞杂种由华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室提供,于 1999 年春季将试管自根苗移栽于温室营养钵中;两种有性杂交种于 2000 年春引自美国佛罗里达州,枳种子采集于华中农业大学果树种质资源圃,这 3 种砧木同时播种于营养钵,培育砧木的营养钵和营养土一致。于 2000 年 11 月在温室中对各砧木嫁接‘国庆 4 号’温州蜜柑 (*Citrus unshiu* Marc. ‘Guoqing 4’), 在 2001 年 3 月中旬选生长一致、无任何不良表现的苗木上盆定植,每盆定植 1 株。单株小区,4 次重复。2003 年换盆,试验用盆口径 42 cm、高 45 cm,陶制。盆土为营养土 草炭 蛭石 (2:1:1)。大棚盆栽幼树进行常规管理。

1.2 方法

净光合速率 (P_n) 日变化:用英国 PP Systems 公司生产的 TPS-1 便携式光合仪于 2004 年 7 月下旬 7:00~18:00 进行测定,每 1 h 测定 1 次;光合有效辐射 (PAR)、叶温 (T_l)、气温 (T_{air})、空气相对湿度 (RH)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i) 等参数由光合仪同步测定并纪录^[6]。所有测定均选取当年生无果春梢从上往下第 2~3 片完整功能叶,每株 2~3 片叶,4 次重复,取平均值。表观量子效率 (AQY):在自然条件下利用遮光处理得到不同光强的 PAR 梯度,测定 P_n 。测定时样本室 CO_2 浓度为大气浓度。气温为大气自然温度。选取 0~200 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 的 PAR 和 P_n 成对值进行直线回归,斜率即为 AQY。羧化效率 (CE):利用仪器自动调控 CO_2 浓度功能,测定 P_n ,时间为上午 9:00~10:00,PAR 为自然光照,温度为大气温度。 CO_2 浓度与 P_n 对应值做回归方程,斜率即为羧化效率。

测定叶绿素和可溶性蛋白质含量^[7]。比叶重:用 LICOR 公司生产的 LI-3000 便携式叶面积仪测定叶面积,然后将叶片杀青烘干称质量,单位叶面积的叶干样质量即为比叶重 (SLW)^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同砧木对温州蜜柑光合作用日变化的影响

图 1 表明嫁接在 4 种不同砧木上的温州蜜柑 P_n 日变化均呈现双峰曲线,首峰均出现在 10:00,为全天 P_n 的最高峰,其中枳砧最高, Troyer 枳橙最低,红橘+枳和 Swingle 枳柚介于两者之间。次峰值均小于首峰值,均出现在 13:00 及以后,枳和红橘+枳次峰出现在 13:00, Swingle 枳柚在 14:00, Troyer 枳橙在 16:00。峰值也表现为枳最高, Troyer 枳橙最低。两峰低谷最小值在 12:00~14:00,即 4 种砧木的“午休”现象均较明显,其中枳下降幅度最大,达到 $1.63 \mu mol \cdot m^{-2}$

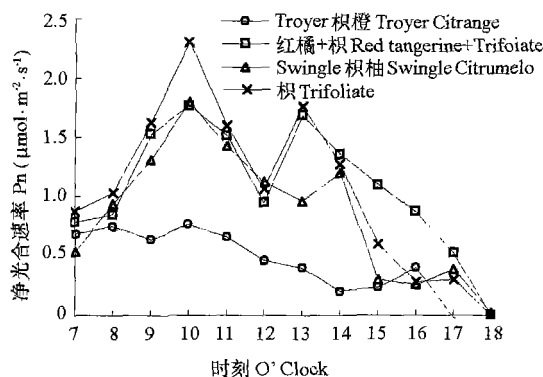


图 1 砧木对温州蜜柑叶片净光合速率 (P_n) 日变化的影响

Fig. 1 Influence of rootstocks on the diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) in leaves of *Citrus unshiu* Marc

$\cdot s^{-1}$ 。14 00以后, 红橘 +枳的 P_n 均高于其它 3种砧木, 说明“午休”后红橘 +枳光合速率下降较另外 3种砧木都慢, 而枳在 10 00前效果较好。此外, 几种砧木相比较, T_{royer} 枳橙全天表现出较低的光合速率。

2.2 不同砧木对温州蜜柑光合特性的影响

在控制环境条件下 4种砧木叶片 P_n 、 Tr 、 WUE 、 AQY 和 CE 等参数的测定结果表明 (表 1): 4种砧木在上午 10 00 P_n 表现出极显著差异, 枳最高为 $2.3 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 极显著高于另外 3种砧木; T_{royer} 枳橙最低为 $0.77 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 极显著低于另外 3种砧木; 红橘 +枳与 $Swingle$ 枳柚介于 T_{royer} 枳橙和枳之间且相互之间差异不显著。4种砧木 Tr 也存在显著性差异, 枳和红橘 +枳显著高于另外 2种砧木, 但相互之间差异不显著。分别用各砧木 P_n 除以相应蒸腾速率所得为不同砧木水分利用效率 (WUE), $Swingle$ 枳柚和枳的 WUE 显著高于另外 2种砧木; T_{royer} 枳橙的 WUE 显著低于另外 3种砧木。试验中枳总体光合性能最优, 红橘 +枳和 $Swingle$ 枳柚表现介于 T_{royer} 枳橙和枳之间, T_{royer} 枳橙表现最弱。

AQY 可反应植物吸收与转换光能色素蛋白复合体的多寡、利用弱光能力的强弱。相关测定结果表明红橘 +枳的 AQY 显著高于另外 3种砧木, 另外 3种砧木的 AQY 相对较低, 且无显著差异。

CE 是低 CO_2 浓度下, P_n 对 CO_2 浓度的变化率, 其大小反应了植物同化 CO_2 的效率。从表 1 还可以看出除, 红橘 +枳的 CE 显著高于 T_{royer} 枳橙外, 其余两两之间无显著差异。

表 1 砧木对叶片净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (Tr)、水分利用效率 (WUE)、表观量子效率 (AQY) 和羧化效率 (CE) 的影响

Table 1 Effects of rootstocks on the net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr), water use efficiency (WUE), apparent quantum yield (AQY) and carboxying efficiency (CE)

砧木 Rootstock	P_n ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Tr ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	WUE ($mmol \cdot mol^{-1}$)	AQY	CE
T_{royer} 枳橙 T_{royer} Cit	0.77C	0.54b	1.43c	0.0113b	0.0081b
红橘 +枳 R. T + Tr	1.77B	0.82a	2.16b	0.0178a	0.0171a
$Swingle$ 枳柚 $Swingle$ Citr	1.80B	0.59b	3.05a	0.0123b	0.0137ab
枳 Tr	2.30A	0.77a	2.99a	0.0111b	0.0134ab

注: 数字后跟不同字母表示差异显著, 小写字母表示 $P < 0.05$, 大写字母表示 $P < 0.01$ 。下同。

Note: Values followed by different letters show significant difference. Capital and small letters indicate significance of $P < 0.01$ or $P < 0.05$. The same below.

2.3 不同砧木对温州蜜柑光合生理指标的影响

从表 2 可看出, 4种砧木对叶片可溶性蛋白含量的影响, 除红橘 +枳显著低于另 3种砧木外, 另 3种砧木间无显著差异。4种砧木比叶重, T_{royer} 枳橙显著低于另外 3种砧木, 另 3种砧木间无显著差异。叶绿素 a 显著高于另外 3种砧木; 叶绿素 b 表现为枳显著高于另 3种砧木, 另 3种砧木没有显著差异; 从类胡萝卜素含量看, 红橘 +枳显著高于另外 3种砧木, 另外 3种砧木之间没有显著差异。总体上看, T_{royer} 枳橙叶片光合色素各指标显著低于另外 3种砧木或差异不显著, 枳则表现为光合色素各指标高于另外 3种砧木的趋势。

表 2 砧木对叶片可溶性蛋白、比叶重和光合色素的影响

Table 2 Effects of rootstock on soluble protein (SP), specific leaf weight (SLW) and photosynthetic pigment

砧木 Rootstock	可溶性蛋白质 Soluble protein ($mg \cdot g^{-1}$ FM)	比叶重 SLW ($mg \cdot cm^{-2}$)	叶绿素 Chlorophyll				类胡萝卜素 Carotenoid ($mg \cdot g^{-1}$ FM)
			a ($mg \cdot g^{-1}$ FM)	b ($mg \cdot g^{-1}$ FM)	a + b ($mg \cdot g^{-1}$ FM)	a/b	
T_{royer} 枳橙 T_{royer} Cit	2.19a	7.49b	1.75bc	0.51b	2.26b	3.42a	0.45b
红橘 +枳 R. T + Tr	1.90b	9.31a	1.83ba	0.53b	2.36ab	3.48a	0.51a
$Swingle$ 枳柚 $Swingle$ Citr	2.28a	9.84a	1.59c	0.52b	2.11b	3.07b	0.44b
枳 Tr	2.17a	10.26a	1.95a	0.59a	2.54a	3.29ab	0.49ab

2.4 光合作用与主要生理生态因子的关系

相关分析表明,不同砧木地上部分叶片的 P_n 与主要生理生态因子之间存在密切的关系(表3)。Troyer枳橙的 P_n 分别与 C_i 和 RH 极显著负相关和正相关; Swingle枳柚和枳的 P_n 与 Tr 和 G_s 分别为显著和极显著正相关,与 C_i 为极显著负相关,其中枳与 V_{pdl} 也表现显著性正相关;红橘+枳的 P_n 与 Tr 和 G_s 极显著正相关,与 C_i 显著负相关,与 V_{pdl} 显著正相关。综上所述,4种砧木幼树的 P_n 与 G_s 、 Tr 和 RH 正相关,且大部分达到显著或极显著水平;与 C_i 负相关,均达到显著或极显著水平;与 $Tair$ 、 V_{pdl} 和 PAR 的相关性复杂。

表3 净光合速率与主要生理生态因子之间的相关系数

Table 3 Relational coefficient between P_n and main physiological and ecological factors

砧木 Rootstock	PAR	Tr	G_s	C_i	RH	V_{pdl}	Tair
Troyer枳橙 Troyer Cit	-0.3311	0.0596	0.4014	-0.7960**	0.8651**	-0.0664	-0.4622
红橘+枳 R. T.+Tr	0.1599	0.7175**	0.8294**	-0.6401*	0.4212	0.7042*	0.2781
Swingle枳柚 Swingle Citr	-0.3272	0.6351*	0.8035**	-0.8048**	0.5087	0.5712	-0.0738
枳 Tr	-0.2992	0.6294*	0.8202**	-0.7768**	0.5089	0.6268*	-0.1185

注: *表示显著水平 0.05; **表示显著水平 0.01。

Note: * denote significance at 0.05; ** denote significance at 0.01.

对主要因子进行多元逐步回归,得到不同砧木的回归方程,根据各因子在方程中出现的次数和相关系数显著性检验,影响‘国庆4号’ P_n 的主要生理生态因子依次为 C_i 、 G_s 、 RH 、 Tr 、 V_{pdl} 、 $Tair$ 和 PAR 。

3 讨论

晴天条件下,4种砧木春梢 P_n 日变化都呈现双峰曲线,有明显的“午休”现象。分析 PAR 的日变化看到 PAR 在 15:00 达到全天最高,但由于试验在大棚进行,其值仅为 $427.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,远未达到柑橘饱和光强^[6]。对不同砧木与 PAR 作相关性分析,结果显示其相关性均未达显著性水平,因此温室盆栽条件下造成柑橘“午休”的直接原因应该不是光强。因为发生“午休”时大气温度和叶面温度均达全天最高(37.8 和 37.2),进一步分析 RH 、 Tr 和 V_{pdl} 日变化,大气相对湿度由早上 34.23% 下降至中午最低 26.79%, Tr 则在 13:00 上升至全天最大 ($0.983 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),导致 V_{pdl} 也表现为 13:00 最高 ($2.12 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),因此造成温室温州蜜柑“午休”的原因可能是温室温度过高导致大气相对湿度快速下降,蒸腾速率加快,从而引起叶面水气压饱和和亏缺达到全天最高,使气孔部分关闭^[9]。因此,在设施栽培条件下,光合“午休”期间,可采取拉遮阴网、叶面喷灌等措施降低树体周围小环境温度^[10],提高湿度,减轻“午休”的程度。

植物的光合作用受生理生态因子的综合影响,4种砧木光合作用的日变化与各生理生态因子的相关分析和回归分析表明,相关系数极显著或显著的某些生理生态因子与回归方程中出现的因子不太一致,这可能与不同砧木对相同环境条件敏感程度不同有关,也可能是简单相关分析本身的片面性造成的,亦可能是没有考虑因子间相互影响的间接作用所致,这些都有待进一步研究。 PAR 与 P_n 相关性未达显著性水平,与前人在自然条件下研究结果^[6,11]相反,这可能与设施条件下相对遮阴有关。

已经证实 Troyer枳橙和 Swingle枳柚在田间是优良的砧木资源^[1,2],Troyer枳橙在作温州蜜柑砧木时,树体生长比枳砧旺,更抗裂皮病和脚腐病等; Swingle枳柚用作温州蜜柑砧木的报道较少,但其为脐橙和葡萄柚的优良砧木^[1,2];枳砧以其使树体矮化、抗寒等优点成为我国广为应用的优良砧木;体细胞杂种红橘+枳在生长、成花、矿质营养和抗性酶活性等方面都表现良好^[12,13]。本试验从光合特性角度的研究结果表明,不同砧木对其幼树叶片光合能力有明显的影 响,其中红橘+枳在 P_n 日变化、比叶重和光合色素含量方面表现为略弱于或等于枳和 Swingle枳柚, AQY 和 CE 均强于 Swingle枳柚和枳;各指标表现为强于或不弱于 Troyer枳橙。因此初步分析认为,红橘+枳可能是一个有希望的

优良砧木资源, 可能是由于体细胞杂种的双亲都有一定的优点, 且可以直接用作优良的砧木, 其良好表现的原因可能是继承了双亲的某些优良性状而表现出的杂种优势, 需进一步对其进行遗传学研究。

综合分析各生理指标, 结果显示 Troyer 枳橙相比枳表现出较弱的光合性能, 这可能与枳比 Troyer 枳橙做砧木使树体矮化有关^[14, 15]。与乔化砧相比较, 矮化砧提高叶片栅栏组织与海绵组织的比值, 增加叶片厚度、叶绿素含量和比叶重, 降低叶片气孔密度, 从而提高叶片光合速率而降低呼吸速率和蒸腾速率。同时矮砧具有低的主导管数, 限制了水分和矿物质的运输, 使呼吸强度和蒸腾强度降低, 反过来增加了净光合速率, 提高了水分利用效率。

参考文献:

- 1 Roy C R, Robert F C. Rootstocks for fruit crops. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1987. 374 ~ 378
- 2 Castle W S, Tucker D P, Krezdom A H. Rootstocks for Florida Citrus. Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1989. 17 ~ 19
- 3 郭文武, 邓秀新. 原生质体融合与遗传改良. 果树科学, 1996, 13 (1): 49 ~ 55
Guo W W, Deng X X. Protoplasts fusion and genetic improvement. Journal of Fruit Science, 1996, 13 (1): 49 ~ 55 (in Chinese)
- 4 何天富. 柑橘学. 北京: 中国农业出版社, 1999. 219
He T F. Citrus. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1999. 219 (in Chinese)
- 5 Guo W W, Cheng Y J, Deng X X. Regeneration and molecular characterization of intergeneric somatic hybrids between *Citrus reticulata* and *Poncirus trifoliata*. Plant Cell Reports, 2000, 20: 829 ~ 834
- 6 易干军, 姜小文, 霍合强, 张秋明, 周碧容. 琯溪密柚光合特性的研究. 园艺学报, 2003, 30 (5): 519 ~ 524
Yi G J, Jiang X W, Huo H Q, Zhang Q M, Zhou B R. Studies on photosynthetic characteristics of Guanxinmou pomelo variety. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30 (5): 519 ~ 524 (in Chinese)
- 7 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 中国高等教育出版社, 2000. 134 ~ 137, 184 ~ 185
Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000. 134 ~ 137, 184 ~ 185 (in Chinese)
- 8 范晶, 赵惠勋, 李敏. 比叶重与光合能力的关系. 东北林业大学学报, 2003, 31 (5): 37 ~ 39
Fan J, Zhao H X, Li M. The specific leaf weight and its relationship with photosynthetic capacity. Journal of Northeast Forestry University, 2003, 31 (5): 37 ~ 39 (in Chinese)
- 9 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化. 植物生理学通讯, 1990, 26 (6): 5 ~ 10
Xu D Q. The physiological, biochemical and ecology of the phenomenon in photosynthetic “midday depression”. Plant Physiology Communications, 1990, 26 (6): 5 ~ 10 (in Chinese)
- 10 游恺哲. 灌溉对番茄枝光合作用的影响. 园艺学报, 1999, 26 (6): 400 ~ 401
You K Z. Effect of springing on photosynthesis of *Annona aquamosa*. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26 (6): 400 ~ 401 (in Chinese)
- 11 汪良驹, 姜卫兵, 高光林, 韩浩章, 邝易玲, 梁生琴. 幼年梨树品种光合作用的研究. 园艺学报, 2005, 32 (4): 571 ~ 577
Wang L J, Jiang W B, Gao G L, Han H Z, Guang Y L, Liang S Q. Studies on leaf photosynthesis of young pear trees with various cultivars. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32 (4): 571 ~ 577 (in Chinese)
- 12 周开兵, 郭文武, 夏仁学, 胡利明, 黄仁华. 两种柑橘体细胞杂种砧木利用价值和砧穗互作生化机制的探讨. 园艺学报, 2004, 31 (4): 432 ~ 437
Zhou K B, Guo W W, Xia R X, Hu L M, Huang R H. Studies on the utilization potential of two hybrid rootstocks and the biochemical mechanism of rootstock-scion interaction. Acta Horticulturae Sinica, 2004, 31 (4): 432 ~ 437 (in Chinese)
- 13 周开兵, 郭文武, 夏仁学, 王贵元, 沈婷. 柑橘体细胞杂种砧木对脐橙幼树生长及根和叶中抗氧化酶系活性的影响. 植物生理学通讯, 2004, 40 (5): 450 ~ 455
Zhou K B, Guo W W, Xia R X, Wang G Y, Shen T. Effects of somatic hybrids rootstocks on the growth of young tree and the activities of anti-oxidant enzymes in leaves and roots of Navel Orange (*Citrus sinensis*). Plant Physiology Communications, 2004, 40 (5): 450 ~ 455 (in Chinese)
- 14 赵大中, 罗先实, 鲁俊良, 吴望春, 罗方荣. 柑橘砧木矮化预选指标的解剖学研究. 果树科学, 1995, 12 (4): 219 ~ 223
Zhao D Z, Luo X S, Lu J L, Wu W C, Luo F R. Anatomical studies on pre-selected indicated for dwarfism in *Citrus* rootstocks. Journal of Fruit Science, 1995, 12 (4): 219 ~ 223 (in Chinese)
- 15 李荣富, 梁艳荣, 胡晓红, 王淑莉, 蒋亲贤, 郭喜平, 梁莉. 抗寒矮化砧对金红苹果生理特性的影响. 华北农学报, 2003, 18 (4): 69 ~ 71
Li R F, Liang Y R, Hu X H, Wang S L, Jiang Q X, Guo X P, Liang L. Effect of hardy dwarfing rootstocks on physiological characteristics in Jinhong apple. Acta Agriculturae Sinica, 2003, 18 (4): 69 ~ 71 (in Chinese)