

杨桐苗期施磷效应研究

李梅, 吴江, 吴家胜, 吴家森

(浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安, 311300)

摘要: 采用盆栽试验, 装风干土 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{盆}^{-1}$, 研究了不同施磷水平对 1 年生杨桐 *Cleyera japonica* 苗木各项生长、生理指标及叶片含磷量的影响。结果表明: ①施磷(P_2O_5)量在 $0 \sim 0.500 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 范围内, 杨桐各项生长、生理指标均随施磷量的增加而增加。当施磷量超过 $0.500 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 后, 各项生长、生理指标均表现下降趋势。②杨桐苗木叶片全磷含量, 在适量的供磷范围内随施磷量的增加而增加, 含磷量最高出现在 $0.500 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$, 超过此值后, 随施磷量的增加而逐渐下降。③杨桐苗木各项生长指标与施磷量之间存在二次函数关系。综合本试验条件下各处理杨桐苗木施肥生长及生理效应可知, 杨桐苗期最佳施磷量为 $0.441 \sim 0.603 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。图 2 表 5 参 11

关键词: 森林培育学; 植物营养; 杨桐; 磷肥; 施肥

中图分类号: S725.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)02-0223-05

Phosphorus fertilization with *Cleyera japonica* seedlings

LI Mei, WU Jiang, WU Jia-sheng, WU Jia-sen

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Based on a pot experiment, the effects of phosphorus fertilization on growth and physiological indexes and phosphorus content in leaves of one-year-old *Cleyera japonica* seedlings were studied. Seven P (P_2O_5) levels were set, 0 (ck), 0.125, 0.250, 0.375, 0.500, 0.625 and $0.750 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$. Results showed that (1) with increasing levels of P from 0 to $0.500 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$, growth and physiological indexes in *C. japonica* seedlings increased, whereas with P increases over $0.500 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$, all indexes decreased. Also, (2) P in leaves increased with increasing levels of P from 0 to $0.500 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$ but decreased gradually with further P. Finally, (3) quadric relationships between growth indexes and P were noted. Based on growth and physiological indexes for one-year-old *C. japonica* seedlings, proper application of P was from 0.441 to $0.603 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$. [Ch, 2 fig, 5 tab, 11 ref.]

Key words: silviculture; plant nutrition; *Cleyera japonica*; phosphorus; fertilization

杨桐 *Cleyera japonica* 苗木生产基地和采枝园栽培区域土壤多为红壤, 缺磷普遍, 而磷是植物体内重要化合物的组成元素, 对细胞分裂、分生组织发展、光合作用和糖类的合成与运转等都有非常重要的作用。缺磷会影响植物体内的各个需能代谢过程, 特别是影响光合作用的正常进行, 也会抑制芽的分化和根系的扩展, 从而影响植株生长, 降低抗性能力和植物品质。目前, 对杨桐培育、生理和生态方面已有一些报道^[1-2], 但有关杨桐磷营养研究还是个空白。为此, 作者开展杨桐苗期施磷效应研究, 旨在探索磷素对杨桐枝用园的产量效应及适宜的施磷量, 为杨桐枝用园的合理施肥提供理论依据。

收稿日期: 2009-03-09; 修回日期: 2009-06-14

基金项目: 浙江省科学技术重点项目(2006C22078)

作者简介: 李梅, 从事森林培育研究。E-mail: xpgdd@sina.com。通信作者: 吴家胜, 教授, 博士, 从事森林培育和数量遗传等研究。E-mail: wujs@zjfc.edu.cn

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验于2007年3-10月在浙江临安横畈桂花基地的塑料大棚内进行, 为期1 a。供试苗木为1年生的杨桐实生苗, 苗木规格基本一致。平均苗高为18.0 cm, 平均地径为3.1 cm。容器为塑料容器, 规格为18 cm(径)×20 cm(高), 盆底有透水孔, 装风干土2.5 kg·盆⁻¹, 栽杨桐苗木1株·盆⁻¹。待苗木栽植后在盆下面再套1个塑料托盆, 以防止施入的肥料经浇水后淋溶流失。

供试土壤为临安牧家桥附近花岗岩上发育的砂壤土, 透气性和保水性均较好, 基础养分较低, 其理化性质见表1。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 采用完全随机区组设计, 设置7个施磷(P₂O₅)水平, 重复3次, 各重复5盆。磷肥为含五氧化二磷(P₂O₅)120.00 g·kg⁻¹的

过磷酸钙[CaSO₄Ca(H₂PO₄)₂], 2007年3月栽苗时施用, 同时配施尿素共1.64 g·盆⁻¹(含纯氮0.754 g), 氯化钾0.94 g·盆⁻¹(含氧化钾0.564 g), 配施的尿素和氯化钾先后分2次等量施入, 2007年5月4日进行第1次施肥, 6月4日进行第2次施肥。施肥方法采用环状沟施, 深度为3~4 cm。施磷量为0(P₁, ck), 0.125(P₂), 0.250(P₃), 0.375(P₄), 0.500(P₅), 0.625(P₆)和0.750(P₇)g·盆⁻¹。配施纯氮肥0.75 g·盆⁻¹; 氧化钾0.563 g·盆⁻¹。

1.2.2 数据测定与分析 ①生长指标测定。试验结束时(2007年10月), 测量供试苗木的苗高和地径。将所有试验苗木整株挖起后按叶、枝、茎、根不同器官全部采集, 带回实验室, 无离子水洗净晾干, 并分别测定其叶、茎、枝条、根的鲜质量及叶面积。于恒温干燥箱中105℃杀青30 min, 再在70℃下烘24 h, 用分析天平测定不同器官干质量, 并取其平均值作为苗木各器官生物量。②叶绿素质量分数测定。2007年7月, 采取抽样法, 各个处理的各重复抽取5~6张叶片(从上往下数第5片, 第4轮叶子)进行测定。测定方法: 将叶片剪成1 cm左右细长条, 100 mg·份⁻¹, 分别加入5 mL体积分数为80%的乙醇溶液, 煮沸2 min, 避光浸提至白色, 在阴凉处放置30 min, 定容至5 mL, 混匀, 过滤。在721型分光光度计波长652 nm处测定吸光度。按下列公式计算叶绿素质量分数: 叶绿素质量分数(mg·g⁻¹) = (D₆₅₂ × 1 000/34.5) × (提取液体积/1 000 × 样品鲜质量)。③光合速率测定。测定时间为2007年的8月3日上午7:30-9:30, 天气晴朗无云。各处理选择3株(各处理的各个重复选择1株), 选择第3轮功能叶测定其净光合速率。④植株样品分析。将烘干的叶片粉碎后过0.1 mm筛, 用分析天平精确称取0.300 g, 采用硫酸-过氧化氢(H₂SO₄-H₂O₂)消化预处理后, 用钼锑抗比色法测定叶片全磷^[3]。⑤数据分析。数据采用Excel作简单整理, 统计计算采用DPS分析软件。

2 结果与分析

2.1 不同施磷水平对苗木生长的影响

2.1.1 对苗高的影响 方差分析表明, 不同施磷处理对苗高有极显著的影响(表2)。施用五氧化二磷少于0.500 g·盆⁻¹时, 苗高随施磷量的增加而增加, 当施磷量大于0.500 g·盆⁻¹时, 苗高反而随施磷量的增加而减少。由此可知, 在一定供磷量范围内, 施磷有利于杨桐苗高的生长, 但施磷量超过一定值时, 反而会抑制苗高生长。

2.1.2 对单叶质量的影响 不同施磷处理的叶片单叶质量的测定结果见表2。从表2可看出, 磷素对杨桐植株叶片干物质累积有极显著的影响, 施磷量在P₁~P₅处

表1 盆栽供试土壤的基本理化性质

pH值	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)
6.16	65.87	4.02	112.03	24.20

说明: pH值, 水浸提法; 速效钾, 火焰光度法; 速效磷, 钼锑抗比色法; 碱解氮, 碱基扩散法; 有机质, 重铬酸钾容量法。

表2 施磷对杨桐苗高和单叶质量的影响

处理	苗高/cm	单叶质量/g
P ₁ (对照)	29.02 d	0.087 9 d
P ₂	33.17 c	0.089 5 cd
P ₃	35.12 bc	0.091 4 cd
P ₄	37.43 ab	0.125 0 ab
P ₅	39.31 a	0.136 9 a
P ₆	37.85 a	0.113 3 bc
P ₇	37.48 ab	0.101 6 cd

说明: 不同字母间表示差异显著(P<0.05)。

理范围内(0 ~ 0.500 g·盆⁻¹), 叶片单叶质量随供磷量的增加而逐渐提高, 施磷量超过此范围后, 叶片单叶质量反而有所下降, 可能原因是过量施磷肥, 破坏了土壤中养分的平衡, 结果既增加了投入成本, 还造成了生长负效应^[4]。在所有的施磷处理中, 以 P₅(0.500 g·盆⁻¹)处理的单叶质量最高, 比 P₁处理(对照)增加 55.73%, 与其他处理(除 P₄外)间差异显著。

2.1.3 对单叶面积及单株叶面积的影响 叶片是植物进行光合作用的重要器官, 叶面积的增大, 可增加苗木光合面积, 从而提高苗木有机物质的制造和积累, 促进苗木的生长。如图 1 所示, 在一定范围内, 单叶面积和单株叶面积均随施磷量的增加逐渐增加, 且变化趋势一致, 均在 P₅ 处理时取得最大值。这说明, 供磷不足或过量均不利于杨桐植株叶面积的增加。

2.1.4 对各器官生物量及总生物量的影响 干物质的积累是植物生长的最终结果, 也是评定生长好坏的最可靠指标。从表 3 可以看出, 施磷后苗木各部分生物量均有不同程度的增加。经方差分析, 施磷对杨桐苗木叶生物量有显著影响($P < 0.05$); 对根生物量和总生物量有极显著的影响($P < 0.01$), 对茎生物量和枝条生物量的影响效应则不明显($P > 0.05$)。这可能与磷在植物体中的分布和运转有关。叶生物量、根生物量和总生物量在 7 种不同施磷处理中, 均以 P₅ 处理效果最好, 分别比对照提高 70.9%, 114.07%和 98.36%。在施磷较低的时候(P₁~P₅), 叶、根生物量和总生物量均随施磷量的增加而逐渐提高, 但当磷超过一定量时, 生物量反而下降。这是因为, 当磷素不足时, 叶片含磷量低, 影响核酸、核蛋白的合成, 使细胞的形成和增殖受到抑制。磷素过多时则强烈地增强了植株的呼吸作用, 消耗大量糖分, 并引起锌、铁、镁等元素的缺乏, 对植物的生长不利, 所以适量的施磷有助于植株的生长, 这与其他林木施肥试验的结果是一致的^[5-6]。

2.1.5 施磷量与各项生长指标的关系 苗木生长指标与各种肥料施用量呈二次函数关系。可以利用杨桐苗木各项生长指标与施磷量的回归方程求得合理的施磷量。统计表明, 杨桐苗木高度、单叶质量、叶生物量和总生物量与磷肥用量间存在显著的一元二次回归关系(表 4)。根据回归方程, 求解出杨桐苗木的理论最高苗高为 38.56 cm, 相应的施磷量为 0.555 g·盆⁻¹; 最大单叶质量、最大叶生物量及总

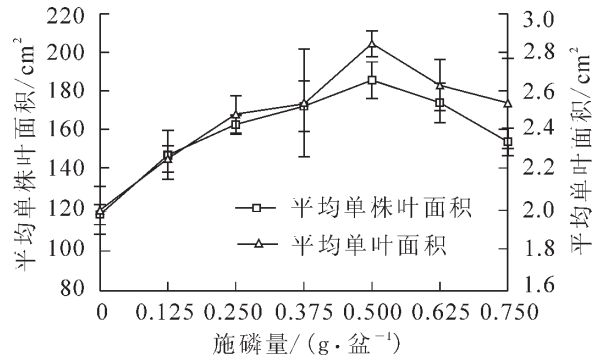


图 1 施磷量对单叶面积和单株叶面积的影响

Figure 1 Effects of P supply on single leaf area and single plant leaf area

表 3 施磷对杨桐单株各器官生物量的影响

Table 3 Effects of P supply on single plant organ biomass

处理	各组织平均生物量/(g·株 ⁻¹)				
	叶	枝	茎	根	总生物量
P ₁ (ck)	5.42 c	0.63 b	1.59 b	1.86 c	9.50 d
P ₂	6.83 ab	0.87 ab	1.75 a	2.61 ab	12.06 c
P ₃	7.41 ab	1.04 ab	1.91 ab	2.96 bc	13.32 b
P ₄	8.40 ab	1.09 a	2.11 ab	3.40 b	15.00 ab
P ₅	9.26 a	1.25 a	2.23 a	3.99 a	16.73 a
P ₆	7.63 ab	1.08 a	2.02 a	3.70 a	14.43 b
P ₇	7.00 bc	0.98 ab	1.96 a	3.42 ab	13.37 bc

表 4 施磷量与生长指标的回归关系

Table 4 The regression equations for growth indexes

项目	回归方程	决定系数	F	P
苗木高度(y ₁)与施磷量(x)	y ₁ = 29.039 0 + 34.287 x - 30.875x ²	0.980 4	22.724**	< 0.000 1
单叶质量(y ₂)与施磷量(x)	y ₂ = 0.078 9 + 0.142 4 x - 0.118x ²	0.648 9	6.812**	0.001 5
叶生物量(y ₃)与施磷量(x)	y ₃ = 5.262 6 + 14.638 x - 16.387x ²	0.887 2	6.481**	0.001 9
总生物量(y ₄)与施磷量(x)	y ₄ = 9.237 4 + 26.104 x - 27.272x ²	0.922 2	13.000**	0.000 1

说明: y₁ ~ y₅ 的单位为 “g”, x 的单位为 “g·盆⁻¹”。

生物量分别为 0.122, 8.532 和 15.48 g, 此时相应的施磷量分别为 0.603, 0.447 和 0.479 g·盆⁻¹。

2.2 不同施磷水平对苗木生理指标的影响

2.2.1 对叶片叶绿素质量分数的影响

叶绿素是植物吸收太阳光能进行光合作用的重要物质, 叶绿素的质量分数直接影响植物有机物质的积累, 进而影响植物的生长速度。方差分析表明(表 5), 不同施磷水平叶绿素质量分数有极显著差异, 且叶绿素 a, 叶绿素 b 及叶绿素总量在不同施磷水平下变化趋势基本一致。在 P₁ ~ P₅ 范围内, 叶绿素质量分数随施磷量的提高而渐提高, 叶绿素总量在 P₅ ~ P₆ 范围内, 则随施磷的增加而逐渐下降。可能是过量施磷抑制了杨桐苗木的生长, 从而降低了叶绿素的合成。P₇ 处理的叶绿素质量分数最高, 这可能是叶片生物量下降造成“浓缩效应”的结果。另外, 施磷量对杨桐苗木叶绿素 a/b 的比值差异有显著影响。可以认为, 不同施磷量对杨桐苗木的耐荫性也有影响, 施磷可提高杨桐苗木的耐荫性。

2.2.2 对叶片光合速率的影响

矿质元素直接或间接影响光合作用。试验结果(表 5)表明, 施用磷肥影响了杨桐叶片光合速率。方差分析表明, 不同施磷处理对叶片光合速率的影响极为显著, 5 种处理中, 以 P₅ 处理(施磷量为 0.500 g·盆⁻¹)的光合速率最高, 为 6.46 μmol·m⁻²·s⁻¹, 与对照相比提高了 178.45%。从表 5 中还可以发现, 施磷量在 0.500 g·盆⁻¹ 以下时, 总的趋势是叶片光合速率随施磷量的增加有不同程度的增加, 但再增加施磷量时, 光合速率则有所下降。这是因为磷元素的缺乏或过量均会引起光合作用无机磷限制^[7-11], 从而降低光合速率。根据表 6 相关数据, 经拟合求得光合速率(y)与磷肥施用量(x)的一元二次曲线, $y = -11.512x^2 + 13.649x + 1.9731$ 。根据回归方程可计算出光合速率的理论最高值为 6.02 μmol·m⁻²·s⁻¹, 这时相应施磷量为 0.593 g·盆⁻¹。

2.3 供磷量对叶片磷质量分数和单株叶片磷质量分数的影响

2.3.1 叶片内磷质量分数及其单株叶片磷质量分数

从图 2 中可以看出, 供试苗木叶片磷质量分数在 P₁ ~ P₅ 范围内, 均随着供磷水平的递增而提高。P₅ 处理(0.500 g·盆⁻¹)其叶干物质积累值最高, 因而可认为, P₅ 处理是最适供磷量。P₅ 的叶片磷质量分数也可看作是最适宜的磷质量分数。而施磷量超过 P₅(0.500 g·盆⁻¹)以后苗木叶片磷质量分数和单株叶片干质量均下降, 可能是大量施磷导致苗木组织内的养分失衡所致。

2.3.2 施磷量与单株叶片全磷质量分数间的关系

经拟合, 单株叶片全磷质量分数(y)与供磷量(x)之间存在一元二次回归关系, 方程式为 $y = -0.1717x^2 + 0.0758x + 0.0052$, 决定系数为 0.8654。从方程可求算单株叶片全磷的理论最适值为 0.01357 g, 这时相应施磷量为 0.441 g·盆⁻¹。

3 结果与讨论

本试验条件下, 施磷在 0 ~ 0.500 g·盆⁻¹ 范围内, 磷的增施对杨桐苗木高度、单叶质量、单叶面

表 5 施磷对杨桐生理指标的影响

Table 5 Effects of P supply on physiological indexes

处理	叶绿素质量分数/(mg·g ⁻¹)				平均光合速率/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量	叶绿素 a/b	
P ₁ (对照)	0.24 e	0.15 d	0.39 e	1.60 c	2.32 e
P ₂	0.27b cd	0.15 bc	0.42 de	1.80 ab	3.22 d
P ₃	0.30 d	0.16 cd	0.46 cde	1.88 ab	4.02 c
P ₄	0.37 cd	0.19 bcd	0.56 bcd	1.95 ab	5.77 b
P ₅	0.44 bc	0.22 bcd	0.66 b	2.00 a	6.46 a
P ₆	0.39 b	0.20 b	0.59 bc	1.95 ab	5.90 b
P ₇	0.52 a	0.29 a	0.81 a	1.79 b	5.57 b

说明: 叶绿素 a, 叶绿素 b, 叶绿素总量, 叶绿素 a/b 和平均光合速率的 F 值分别为 15.863^{**}, 8.653^{**}, 14.580^{**}, 5.555^{**} 和 135.491^{**}。

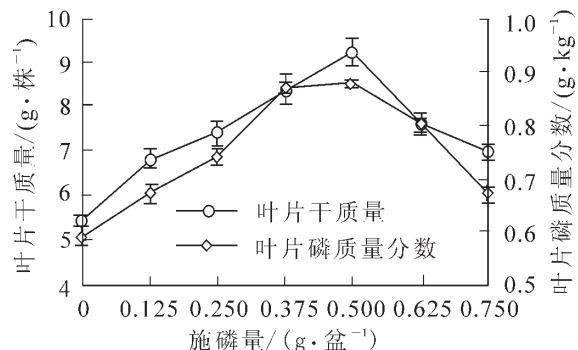


图 2 施磷量、叶片磷质量分数及叶片干质量的关系

Figure 2 Relationship between P supply, the dry weight of leaves and the P percentage composition in leaves

积、单株叶面积、各器官生物量和总生物量等均有良好的促进作用, 当施磷量超过 $0.500 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 后, 上述各项生长指标均受到抑制, 这可能与过量施磷导致杨桐植株体内养分失去平衡有关。

杨桐的叶片光合速率、叶绿素质量分数、苗木形态和生物量指标在各处理间呈相似的变化规律。合理施磷肥可以有效促进杨桐的叶片光合速率, 从而促进杨桐苗木的健壮生长, 获得最高的叶片生物量。

生长必需的大量元素之一, 其不足或过剩均可导致植物生长受阻。综合本试验条件下各处理杨桐苗木施磷肥的生长及生理效应可知, 杨桐苗期最佳施磷为 $0.441 \sim 0.603 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。本实验仅进行磷的单因素试验, 未考虑磷素与其他营养元素的交互作用, 此参考范围需在杨桐的配方施肥试验中, 进一步验证。

参考文献:

- [1] 孙伟琴, 应叶青, 钱莲芳, 等. 激素处理对杨桐扦插生根的影响[J]. 江西林业科技, 2005 (3): 15 - 16.
SUN Weiqin, YING Yeqing, QIAN Lianfang, *et al.* Effect of NAA on storiking root of *Cleyera japonica* cuttings [J]. *J Jiangxi For Sci Technol*, 2005 (3): 15 - 16.
- [2] 吴家胜, 应叶青, 黎章矩. 杨桐苗期光合特性的研究[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2004, **26** (6): 896 - 900.
WU Jiasheng, YING Yeqing, LI Zhangju. A study on photosynthetic characteristics of *Cleyera japonica* Thunb. at its seedling stage [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2004, **26** (6): 896 - 900.
- [3] 吴家森, 张立钦, 吴进才, 等. 南方红豆杉幼苗营养元素质量分数与分布[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (2): 195 - 199.
WU Jiasen, ZHANG Liqin, WU Jincai, *et al.* Macronutrients and allocations to different organs in one-to three-year-old *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (2): 195 - 199.
- [4] 董键, 尤文忠, 范俊岗, 等. 日本落叶松近熟林施肥效应[J]. 东北林业大学学报, 2002, **30** (3): 8 - 12.
DONG Jian, YOU Wenzhong, FAN Jungang, *et al.* Fertilization effect and benefit of near mature-forest plantations of *Larix kaempferi* [J]. *J Northeast For Univ*, 2002, **30** (3): 8 - 12.
- [5] 吴家胜, 曹福亮, 应叶青, 等. 银杏苗期施磷效应研究[J]. 林业科学研究, 2003, **16** (2): 171 - 176.
WU Jiasheng, CAO Fuliang, YING Yeqing, *et al.* A study on photosynthetic characteristics of *Cleyera japonica* Thunb. at its seedling stage [J]. *For Res*, 2003, **16** (2): 171 - 176.
- [6] 于海彬, 周芹, 刘娜, 等. 不同氮磷营养水平对甜菜叶片光合速率的影响[J]. 中国糖料, 2001 (3): 19 - 21.
YU Haibin, ZHOU Qin, LIU Na, *et al.* Effect on the photosynthetic rate of sugarbeet blade with different level of N, P applied [J]. *Sugar Crops China*, 2001 (3): 19 - 21.
- [7] 张往祥, 吴家胜, 曹福亮. 氮磷钾三要素对银杏光合性能的影响[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2002, **24** (6): 810 - 815.
ZHANG Wangxiang, WU Jiasheng, CAO Fuliang. Influence of different levels of N, P, K on photosynthetic character and activeness in *Ginkgo* leaves [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2002, **24** (6): 810 - 815.
- [8] HEINEKE D, STITT M, HELDT H W. Effects of inorganic phosphate on the light dependent thylakoid energization of intact chloroplasts [J]. *Plant Physiol*, 1989, **91**: 221 - 226.
- [9] FREDEEN A L, RAAB T K, RAO I M, *et al.* Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max* L. Merr [J]. *Planta*, 1990, **181**: 399 - 405.
- [10] RAO I M, TERRY N. Leaf phosphorus status, photosynthesis, and carbon partitioning in sugar beet [J]. *Plant Physiol*, 1995, **107**: 1313 - 1321.
- [11] 郭延平, 陈屏昭, 张良诚, 等. 不同供磷水平对温州蜜柑叶片光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, **8** (2): 186 - 191.
GUO Yanping, CHEN Pingzhao, ZHANG Liangcheng, *et al.* Effects of levels of phosphorus supply on photosynthesis in leaves of Wenzhou mandarin orange [J]. *J Plant Nutr Fert*, 2002, **8** (2): 186 - 191.