

不同遮光处理对红叶石楠叶色表现的影响

崔晓静,肖建忠,关楠,兰海波,李丽

(河北农业大学 园林与旅游学院,河北 保定 071000)

【摘要】 【目的】探讨不同光照条件对红叶石楠叶色变化的影响,为红叶石楠的广泛引种栽培及在不同园林环境中的应用提供科学依据。【方法】以 2 年生红叶石楠扦插苗为试材,采用盆栽试验,设置透光率分别为 100%(全光照),80%,50%和 25%,研究 4 种遮光处理条件下红叶石楠叶片中光合色素、花色素苷和可溶性糖含量及苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的变化。【结果】红叶石楠叶片中光合色素含量随透光率减小而增加,25%透光率下光合色素含量极显著高于其他透光率($P<0.01$);全光照下红叶石楠叶片中花色素苷含量、PAL 活性均显著高于其他透光率($P<0.05$),二者均随透光率减小而降低;25%透光率下红叶石楠叶片中可溶性糖含量极显著低于其他遮光处理($P<0.01$),且随透光率增加而升高。【结论】遮光条件下红叶石楠叶片中光合色素含量增加,叶色较浅或全绿;全光照条件下最有利于叶片中可溶性糖和花色素苷的积累及 PAL 活性的提高,叶色保持红艳。

【关键词】 红叶石楠;光照条件;透光率;叶色变化

【中图分类号】 S687.9 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)10-0153-05

Effect of different shading treatments on the leaf color
expression of *Photinia fraseri* Dress

CUI Xiao-jing, XIAO Jian-zhong, GUAN Nan, LAN Hai-bo, LI Li

(College of Gardens and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: 【Objective】 The leaf color changes of *Photinia fraseri* Dress under different light circumstances were discussed in this experiment. 【Method】 With the method of potting, 2-year-old cutting plants were used as material to study the contents of photosynthetic pigment, anthocyanin, soluble sugar and activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in *Photinia fraseri* Dress leaves under four shading treatments (100%, 80%, 50% and 25% transmission rate). 【Result】 The contents of photosynthetic pigment increased gradually with the lowering of the transmission rate, under 25% transmission rate it was extremely remarkably higher than other transmission rates ($P<0.01$); The contents of the anthocyanin and the PAL activity under full light were significant higher than that of other transmission rates ($P<0.05$), and they all degreased with the drop of the transmission rate; The soluble sugar content under 25% transmission rate was extremely remarkably lower than other that at transmission rates ($P<0.01$), Its contents rose as transmission rate increased. 【Conclusion】 The contents of photosynthetic pigment increased under shading treatments, the leaf color expressed light-colored or green. The full light was in favor of the accumulation of the soluble sugar, anthocyanin and the promotion of the PAL activity, and the leaves remained fresh red.

Key words: *Photinia fraseri* Dress; light circumstances; transmission rate; change of leaf color

* [收稿日期] 2007-10-15
[基金项目] 河北省农开办农业综合开发土地治理科技项目(冀财发[2005]14号)
[作者简介] 崔晓静(1982—),女,河北邯郸人,在读硕士,主要从事园林植物栽培研究。
[通讯作者] 肖建忠(1963—),男,河北保定人,教授,主要从事园林植物研究。

红叶石楠(*Photinia fraseri* Dress)是蔷薇科石楠属杂交种的统称,为常绿小乔木,因其新稍和嫩叶红艳而得名^[1]。红叶石楠耐瘠薄、耐盐碱、耐干旱、耐修剪、生长快、易成型,因其独特的叶色近年来在园林绿化中备受重视,应用越来越广泛。目前,有关红叶石楠的生态生理学特性、组织培养等方面已有一些研究^[2-3],但是有关环境因子(如光照等)对其叶片中色素形成及叶片呈色的影响尚未见报道。因此,本试验通过改变光照环境,探讨不同光照条件对红叶石楠叶片色素含量、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性及可溶性糖含量的影响,了解红叶石楠在不同光照条件下的叶色变化规律,以期为红叶石楠的广泛引种栽培,以及在不同园林环境中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

选择生长健壮,长势一致的 2 年生红叶石楠扦插苗,栽植于直径 30 cm、高 28 cm 的花盆中,盆土为富含腐殖质的培养土。

1.2 处理方法

试验于 2007-05-06~07-06 在河北农业大学苗圃进行。选用市售透光率为 50% 的黑色遮光网进行不同遮光处理,分别设定透光率为 100% (全光照)、80% (采用抽去遮光线的黑网遮光)、50% (一层黑网遮光)和 25% (双层黑网遮光)4 个处理。每处理重复 3 次,3 盆为 1 个重复,共 36 盆。每隔 10 d 随机采集各处理植株上部生长正常的新叶 8~10 片,进行各项生理指标测定。试验期晴好天气下,中午 12:00 4 种处理的光照强度经测定分别为 1 700~1 760 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 1 450~1 470 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 850~900 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 430~450 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 红叶石楠叶片中光合色素的提取与测定^[4-5]

称取新鲜叶片 0.10 g,剪碎,置于胶卷盒中,用体积分数 80% 丙酮和无水乙醇的等体积混合液定容至 10 mL,放置 24 h,取上清液,用 756 型紫外可见分光光度计测定 440,645 和 663 nm 处的吸光度值(OD)。按下列公式计算叶片中各光合色素含量:

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= 0.1 \times (9.78\text{OD}_{663} - 0.99\text{OD}_{645}); \\ \text{Cb} &= 0.1 \times (21.43\text{OD}_{645} - 4.65\text{OD}_{663}); \\ \text{Ca} + \text{b} &= 0.1 \times (5.13\text{OD}_{663} + 20.44\text{OD}_{645}); \\ \text{Car} &= 0.1 \times (4.7\text{OD}_{440} - 0.27\text{Ca} + \text{b}). \end{aligned}$$

式中:Ca 为叶绿素 a 含量(mg/g),Cb 为叶绿素 b 含

量(mg/g),Ca+b 为叶绿素总量(mg/g),Car 为类胡萝卜素含量(mg/g)。

1.3.2 红叶石楠叶片中花色素苷的提取与测定^[6]

称取 0.10 g 新鲜叶片,剪碎,置于试管中,加入 10 mL 体积分数 0.10% 的盐酸甲醇溶液,32 $^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中提取 4 h,取上清液,用 756 型紫外可见分光光度计测定 535 nm 处的吸光度值(OD)。以每克鲜重在 10 mL 提取液中,吸光度 OD_{535} 为 0.1 时的花色素苷浓度为 1 个色素单位,则花色素苷相对含量 = $\text{OD}_{535}/0.1$ (色素单位),1 个色素单位 = $0.01 \text{OD}_{535}/(\text{g} \cdot \text{mL})$ 。

1.3.3 红叶石楠叶片中 PAL 活性的测定^[7] 称取新鲜叶片 0.10 g,加 5 mL 预冷的硼酸缓冲液(0.10 mol/L, pH8.8;含 5 mmol/L 巯基乙醇,0.50 g PVP),冰浴中研磨匀浆,转入离心管中,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 、10 000 r/min 冷冻离心 30 min,取上清液测定 PAL 活性。PAL 活性测定方法为:吸取 1 mL 0.02 mol/L 的 L-苯丙氨酸和 2 mL 0.10 mol/L 的硼酸缓冲液(pH8.8,对照液中不加底物,直接加 3 mL 硼酸缓冲液)混匀,置 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中保温 3 min 后,立即加入 0.1 mL PAL 酶液,摇匀,恒温下反应 30 min,在冰浴中终止反应,用 756 型紫外可见分光光度计测定波长 290 nm 处的 OD 值。以每 mL 酶液、每小时光密度值增加 0.01 为 1 个酶活性单位($\text{U} = 0.01 \text{OD}_{290}/(\text{g} \cdot \text{h})$)。

1.3.4 红叶石楠叶片中可溶性糖的提取与测定^[6]

采用蒽酮比色法。

以上指标均为遮光处理 30 d 时测定,重复 3 次,取平均值。

1.4 数据处理与统计方法

采用 SPSS 统计分析软件对处理间各指标值进行新复极差检验法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同遮光处理对红叶石楠叶片中光合色素含量的影响

由表 1 可以看出,不同遮光率下红叶石楠叶片中光合色素含量差异明显,且随透光率减小而增加。25% 透光率下红叶石楠叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量和类胡萝卜素含量均极显著高于其他透光率,这是红叶石楠为了进行正常的光合作用适应弱光环境的结果。与全光照相比,50% 透光率下红叶石楠叶片中叶绿素 a 含量增加不显著,而叶绿素 b 含量显著增加;遮光条件下叶绿素 a/b 值显著降

低。由此可见,遮荫对红叶石楠叶片中叶绿素 b 含量的影响大于叶绿素 a,即遮荫条件下叶绿素总量

的提高,主要是以叶绿素 b 的提高为主。

表 1 不同遮光处理对红叶石楠叶片中光合色素含量的影响

Table 1 Effects of different shading treatments on photosynthetic pigment content in *Photinia fraseri* Dress leaves

透光率/% Transmission rate	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素总量 Chl a+b	类胡萝卜素 Car	叶绿素 a/b Chl a/b
100	0.41±0.03 Bb	0.15±0.01 Bc	0.56±0.04 Bc	0.33±0.02 Bb	2.64±0.07 Aa
80	0.44±0.01 Bb	0.190±0.004 Bbc	0.63±0.02 Bbc	0.35±0.01 Bb	2.34±0.02 Ab
50	0.51±0.02 Bb	0.201±0.01 Bb	0.72±0.01 Bb	0.39±0.001 Bb	2.46±0.21 Ab
25	0.73±0.06 Aa	0.29±0.02 Aa	1.02±0.08 Aa	0.50±0.03 Aa	2.53±0.01 Ab

注:采用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较,同列数据后标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note:Data are multiple compared by Duncan's significant test,different big letters behind the same row of data indicated extremely remarkably($P<0.01$), or the different little letters indicated significance($P<0.05$). The same as below.

2.2 不同遮光处理对红叶石楠叶片中花色素苷含量及 PAL 活性的影响

由表 2 可以看出,不同遮光处理下红叶石楠叶片中花色素苷含量及 PAL 活性差异显著或极显著。全光照下红叶石楠叶片中花色素苷含量及 PAL 活性均显著高于其他透光率,二者均随透光率减小而降低。与全光照相比,透光率为 80%,50%,25%时,红叶石楠叶片中花色素苷含量分别降低了 39.95%,50.98%和 57.77%,PAL 活性分别降低了

18.18%,34.55%和 51.52%。由此可见,全光照有利于花色素苷的合成,光是 PAL 的活化因子,充足的光照可以提高 PAL 活性,从而促进花色素苷的大量积累。

由表 2 还可知,透光率为 80%时,红叶石楠叶片中花色素苷含量与透光率为 50%和 25%间差异显著;但 80%透光率下红叶石楠叶片中 PAL 活性与 50%透光率差异不显著,可见遮光处理对 PAL 活性与花色素苷含量的影响不完全一致。

表 2 不同遮光处理对红叶石楠叶片中花色素苷含量、PAL 活性及可溶性糖含量的影响

Table 2 Effects of different shading treatments on anthocyanin content,PAL activity and soluble sugars in *Photinia fraseri* Dress leaves

透光率/% Transmission rate	花色素苷含量/色素单位 Anthocyanin content	PAL 活性/U PAL activity	可溶性糖含量/($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$) Soluble sugar
100	25.03±1.69 Aa	330.00±27.54 Aa	2.31±0.15 Aa
80	15.73±0.03 Bb	270.00±13.58 ABb	2.01±0.08 Aab
50	12.27±0.69 BCc	216.00±10.50 BCbc	1.79±0.07 Ab
25	10.57±0.52 Cc	159.67±12.72 Cc	0.67±0.13 Bc

2.3 不同遮光处理对红叶石楠叶片中可溶性糖含量的影响

由表 2 可以看出,随着透光率的增加,红叶石楠叶片中可溶性糖含量逐渐升高,与花色素苷含量及 PAL 活性的变化趋势基本相同。全光照下红叶石楠叶片中可溶性糖含量最高,达 2.31 $\mu\text{g}/\text{mg}$,25%透光率下叶片中可溶性糖含量极显著低于其他遮光处理,仅为 0.67 $\mu\text{g}/\text{mg}$,下降幅度为 71.00%。这是由于弱光条件下,叶片的光合作用受到影响,导致碳水化合物合成减少。由表 2 还可以看出,全光照与 80%透光率、80%透光率与 50%透光率下红叶石楠叶片中可溶性糖含量无显著差异。可见,透光率高的处理光合作用受到的影响较小,因此其碳水化合物的积累较透光率低的处理多。

3 结论与讨论

光照对彩叶植物的影响十分重要,提供合理的光照条件是彩叶植物正常生长和提高观赏价值的重要前提。本研究结果表明,不同光照条件下红叶石楠叶片中色素含量变化呈现一定的规律性。随着光照的减弱,红叶石楠叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量及类胡萝卜素含量均逐渐增加,主要是以叶绿素 b 的提高为主,这与陈国菊等^[8]在小鸟花上的研究结果相似。叶绿素 b 主要作为天线色素,是 chl a/b 蛋白复合体的组成成分,弱光下叶绿素 b 的提高有利于提高捕光能力^[9],从而缓解低光强下叶片对光能吸收的减弱,满足植株对光能的需要。类胡萝卜素是光合辅助色素,其含量也随着光照的减

弱而增加,这有利于类胡萝卜分子对可见光的吸收,从而把光能传递给叶绿素以提高光合速率,在光合作用过程中能起到光吸收和光保护的作用^[10]。红叶石楠叶片中花色素苷含量变化与叶绿素相反,随着光照的减弱逐渐降低。全光照下红叶石楠叶片中花色素苷含量最高,叶色红艳;25%透光率下,叶片花色素苷含量最低,叶绿素含量占优势,叶片呈绿色,这与于晓南^[11]对美人梅及张焱等^[12]对血红鸡爪槭的研究结果相似。光敏色素是花色素苷合成的受体之一,在全光照条件下,光敏色素可以接受更多的光照,活化与花色素苷合成有关的酶,从而有利于叶片中花色素苷的积累^[13]。

花青苷的生物合成是通过苯丙酸类代谢途径完成的,PAL 是植物苯丙酸类代谢途径中的第一个酶,对木质素、类黄酮物质(如花色素苷)的合成起调节作用^[14]。国内外已有学者研究发现,花色素苷的含量与 PAL 活性呈正相关^[15-16],Constabel 等^[17]则认为两者之间无正相关性。本研究结果表明,在不同光照条件下,红叶石楠叶片中 PAL 活性的变化趋势与花色素苷含量的变化趋势相同,随着光照的增加而升高,二者存在一定的相关性,但遮荫处理对二者影响并不完全一致。说明光照可以促进花色素苷的积累,与 PAL 活性的提高有一定关系,但 PAL 并不是花色素苷合成惟一的键酶,还可能与其他酶的调控及温度、湿度等环境因子的影响有关。

碳水化合物是植物生长和花色素苷形成的物质基础,其中可溶性糖作为渗透调节因子调节植物细胞的渗透势,从而促进花色素苷的合成,也可作为能源物质为花色素苷的合成提供碳骨架,作为代谢过程中的前体物质,促进花色素苷的代谢^[18]。在不同光照条件下,红叶石楠叶片中可溶性糖含量的变化趋势与花色素苷含量较相似,即随着光照的加强而升高,表明可溶性糖对花色素苷的形成有一定促进作用,使叶色鲜艳,这与赵宗方等^[19]、张跃建等^[20]对二者之间关系的研究一致。而低光照下,由于光合作用能力减弱,物质代谢能力差,体内碳水化合物积累减少,可溶性糖含量降低,不利于叶片中花色素苷的积累,叶片表现为绿色。

综合上述研究结果认为,全光照最有利于红叶石楠叶片中可溶性糖和花色素苷的积累及 PAL 活性的提高,使叶色得到充分表达;在光照不足条件下,红叶石楠的叶色较浅或全绿。因此,在园林绿化中,可根据景观设计需要进行合理的植物配置,使其观赏效果得以充分发挥。

[参考文献]

- [1] 潘晓东. 红叶石楠的栽培技术及其园林应用前景[J]. 绿色中国, 2004, 20(4): 61.
Pan X D. The cultivation technology and the application prospects in garden of *Photinia fraseri* Dress [J]. Green China, 2004, 20(4): 61. (in Chinese)
- [2] 申亚梅, 童再康, 张 露. 干旱胁迫对红叶石楠等 3 个观赏品种生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(3): 397-402.
Shen Y M, Tong Z K, Zhang L. Effect of drought stress on physiological characteristics in three ornamental plants of *Photinia* spp [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(3): 397-402. (in Chinese)
- [3] 曹 晶. 不同水份逆境对红叶石楠幼苗光合作用及相关生理特性的影响研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
Cao J. Effects of different water stress on the photosynthesis and related physiological characteristics of *Photinia fraseri* Dress seedlings [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- [4] (苏)波钦诺克 X H. 植物生物化学分析方法 [M]. 荆家海, 丁锤荣, 译. 北京: 科学出版社, 1981: 229-263.
Beiqinnoke X H. Method of plant biochemistry analysis [M]. Jing J H, Ding C R. Beijing: Science Press, 1981: 229-263. (in Chinese)
- [5] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 51-54.
Zhu G L, Zhong H W, Zhang A Q. Plant physiological experiment [M]. Beijing: Beijing University Press, 1990: 51-54. (in Chinese)
- [6] 华东师大生物系. 植物生物学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1985: 145-147.
Biological Department of East China Normal University. Plant biological experiment instruction [M]. Beijing: Higher Education Press, 1985: 145-147. (in Chinese)
- [7] 王敬文, 薛应龙. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究 [J]. 植物生理与分子生物学报, 1981, 7(4): 373-380.
Wang J W, Xue Y L. Study on plant phenylalanine ammonia-lyase [J]. Acta Photophysiological Sinica, 1981, 7(4): 373-380. (in Chinese)
- [8] 陈国菊, 吴候颖, 陈日远, 等. 遮荫与露地栽培对小鸟花生长及细胞组织结构的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2000, 21(1): 93-94.
Chen G J, Wu S Y, Chen R Y, et al. Study on growth and cell structure of *Heliconia psittacorum* under shaded exposed conditions [J]. Journal of South China Agricultural University, 2000, 21(1): 93-94. (in Chinese)
- [9] Reinbothe S, Reinbothe C. Regulation of chlorophyll biosynthesis in angiosperms [J]. Plant Physiology, 1996, 111: 12-17.
- [10] Demming-Adams B, Adams III W W. Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species [J]. Planta, 1996, 198: 460-470.

[11] 于晓南. 美人梅叶色表达的研究 [D]. 北京:北京林业大学, 2003.
Yu X N. Study on the leaf color expression of *Prunus*×*Blir-
iana* ‘Meirenmei’ [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003. (in Chinese)

[12] 张 焱,卓丽环. 遮荫处理对‘血红鸡爪槭’叶片色素及碳水化
合物含量的影响 [J]. 上海农业学报, 2006, 22(3): 21-24.
Zhang Y, Zhuo L H. Effects of shading treatments on pigment
and carbohydrate contents in *Acer palmatum* ‘Bloodgood’
leavea [J]. Acta Agricultural Shanghai, 2006, 22(3): 21-24.
(in Chinese)

[13] 王少敏. 套袋短枝红富士果实内含物及果皮色素的变化 [J].
果树科学, 2000, 17(1): 76-77.
Wang S M. Study on the changes of contents of fruit inclut-
ions and pericarp pigment of bagged red Fuji spur apple culti-
var [J]. Journal of Fruit Sicenc, 2000, 17(1): 76-77. (in Chi-
nese)

[14] 何奕昆,奚 惕. 凤仙花中花色素苷累积与苯丙氨酸转氨酶
的关系 [J]. 植物生理学通讯, 1989, 16(3): 35-38.
He Y K, Xi T. Relationship between accumulation of anthocy-
anin and phenylaJanine ammonia-lyase in *Impatiens balsami-
na* [J]. Plant Physiology Communacations, 1989, 16(3): 35-
38. (in Chinese)

[15] 唐前瑞,陈德富,陈友云. 红檵木叶色变化的生理生化研究
[J]. 林业科学, 2006, 42(2): 111-115.
Tang Q R, Chen D F, Chen Y Y. Changes of physiology and
biochemistry during leafcolor transformation in *Loropetalum*
chinense var. *rubrum* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(2):
111-115. (in Chinese)

[16] Wellman E, Hrazdina G, Grisebach H. Inducaion of anthocya-
nin formation and of enzymes related to its biosynthesis by
UV light in cell cultures of *Haplapappus gracilis* [J]. Phy-
tochemistry, 1976, 15(6): 913.

[17] Constabel F, Durest F. The correlation of phenylamine am-
moniaband cinnamic acid 4_hydroxylase activity changes in *Je-
rusalem artichoke* tuber tissues [J]. Planta, 1971, 96: 306.

[18] 郭衍银,徐 坤. 矿质营养与植物病害机理研究进展 [J]. 甘
肃农业大学学报, 2003, 38(4): 385-393.
Guo Y Y, Xu K. Progressing on mineral nutrients and mecha-
nism of plant disease [J]. Journal of Gansu Agricultural Uni-
versity, 2003, 38(4): 385-393. (in Chinese)

[19] 赵宗方,宋亭华,高红胜. 巨峰葡萄色素发育的若干规律 [J].
扬州大学学报:农业与生命科学版, 1989, 10(4): 17-21.
Zhao Z F, Song T H, Gao H S. Some rules of oenin develop-
ment of Jufeng grape fruits [J]. Journal of Yangzhou Univer-
sity: Agricultural and Life Sciences Edition, 1989, 10(4): 17-
21. (in Chinese)

[20] 张跃进,缪松林. 杨梅有色品种果实在转色过程中色素与主要
内含物的变化 [J]. 浙江农业学报, 1991, 3(4): 198-201.
Zhang Y J, Miao S L. Alteration of pigment and the major in-
ner materials in fruits of Colored-Bayberry(*Myrica rubra*) va-
rieties during transcoloring stage [J]. Acta Agricultural Zhe-
jiangensis, 1991, 3(4): 198-201. (in Chinese)

(上接第 152 页)

[20] 王树起,韩丽梅,杨振明. 丙二酸和邻苯二甲酸对大豆生长发
育的化感效应 [J]. 吉林农业科学, 2001, 25(5): 15-19.
Wang S Q, Han L M, Yang Z M. Allelopathy of 1, 2-
Benzennedicarboxylic Acid and Malonic Acid on soybean
growth [J]. Jilin Agricultural Sciences, 2001, 25(5): 15-19.
(in Chinese)

[21] Einhellig F A, Souza I F. Phytotoxic of sorgoleone found in
grain sorghum root exudates [J]. J Chen Ecol, 1992, 18: 1-11.

[22] Bertin C, Yang X H, Weston L A. The role of root exudates
and allelochemicals in the rhizosphere [J]. Plant and Soil,
2003, 256(1): 67-83.

[23] Pramanik M H R, Nagal M, Asao M, et al. Effect of tempera-
ture and photoperiod on phytotoxic root exudates of cucumber
(*Cucumis sativus* L.) in hydroponics culture [J]. Journal of
Chemical Ecology, 2000, 26(8): 1953-1967.

[24] 杨万勤,王开运. 土壤酶研究动态与展望 [J]. 应用与环境生
物学报, 2002, 6(5): 564-570.
Yang W Q, Wang K Y. Advances on soil enzymology [J]. Chi-
nese Journal of Applied and Environmental Biology, 2002, 6
(5): 564-570.