

弱光对长春花 (*Catharanthus roseus*) 幼苗中 可溶性糖、生物碱及激素含量的影响

唐中华, 郭晓瑞, 于景华, 杨 蕾, 孙艳斐, 祖元刚*

(东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要 阐述了低光照强度和正常光照条件下长春花 (*Catharanthus roseus*) 幼苗叶片中可溶性糖、生物碱及内源激素等几种生理活性物质含量的动态变化, 以揭示弱光胁迫对长春花生理代谢的影响及上述生理代谢对植物适应弱光环境的生态学意义。结果显示, 弱光培养提高了长春花在自身支撑结构的投入, 如叶柄长和节间长都显著增加, 同时抑制了有性生殖。在弱光培养的第 1 周, 长春花叶片中果糖 (fructose, Fru)、葡萄糖 (glucose, Glc) 和蔗糖 (sucrose, Suc) 的含量分别由处理前的 (0.62 ± 0.01) , (1.86 ± 0.12) , (0.24 ± 0.01) mg/g FW 下降为 (0.38 ± 0.02) , (0.60 ± 0.03) , (0.17 ± 0.02) mg/g FW, 均显著低于对照 ($P < 0.01$)。表明碳同化水平下降。长春花叶片中文朵灵 (vindoline, VIN) 和长春质碱 (catharanthine, CAT) 含量在弱光条件下呈显著增加趋势, 处理结束时是对照的 3 倍左右, 而它们的耦合产物长春碱 (vinblastine, VLB) 合成和积累受到抑制, 其含量在第 3 周时仅为对照的 50%。弱光条件处理前 2 周促进了长春花叶片中脱落酸 (abscisic acid, ABA)、赤霉素 (gibberelline, GA3) 和吲哚乙酸 (indole-3-acetic acid, IAA) 含量水平的积累。这些结果表明, 在弱光条件下长春花幼苗的上述生理代谢都发生着显著的变化, 可能在植物适应弱光胁迫过程中发挥着积极的调控作用。

关键词 长春花; 弱光; 可溶性糖; 生物碱和激素

文章编号: 1000-0933 (2007) 11-4419-06 中图分类号: Q142 Q948.1 文献标识码: A

Effects of low light intensity on changes of soluble sugars, alkaloids and phytohormones in *Catharanthus roseus* seedlings

TANG Zhong-Hua, GUO Xiao-Rui, YU Jing-Hua, YANG Lei, SUN Yan-Fei, ZU Yuan-Gang*

Key Laboratory of Forest Plant Ecology, the Ministry of Education of China, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4419 ~ 4424.

Abstract : The variations of soluble sugars, alkaloids and phytohormones contents in leaves of *Catharanthus roseus* seedling subjected to low light intensity (LL) and normal light (NL) condition were investigated in this paper. The purpose was to elucidate the effects of LL on soluble sugars, alkaloids and phytohormones of *C. roseus* and the possible roles of these physiological metabolisms played during acclimation to LL. Leafstalk and node length were significantly increased upon LL exposure, while the lower energy percent were allocated to sexual reproduction. In the first week, the concentrations of fructose (Fru), glucose (Glc) and sucrose (Suc) significantly decreased under LL from (0.62 ± 0.01) , (1.86 ± 0.12) , (0.24 ± 0.01) mg/g FW to (0.38 ± 0.02) , (0.60 ± 0.03) , (0.17 ± 0.02) mg/g FW, respectively. This may be related to decreased level of assimilation of leaves under LL. The accumulation of vindoline (VIN) and catharanthine

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (30770338)

收稿日期 2006-08-14; 修订日期 2007-11-01

作者简介 唐中华 (1977 ~) 男, 江苏丹阳人, 博士, 主要从事植物生理生态学研究. E-mail: secmdary@vip.163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zygorl@vip.hl.cn

Foundation item The project was financially Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30770338)

Received date 2006-08-14; **Accepted date** 2007-11-01

Biography TANG Zhong-Hua, Dr., major in plant physiological ecology. E-mail: secmdary@vip.163.com

(CAT) contents in leaves elevated after LL exposure up to threefold compared to control at the end of treatment. At the same time, however, the content of the anticancer compound vinblastine (VLB) generated by its precursors VIN and CAT decreased to 50% of the control. In the first two weeks, the contents of abscisic acid (ABA), gibberelline (GA3) and indole-3-acetic acid (IAA) in *C. roseus* leaves were enhanced. This result may be related to the rapid increasing of plant nodes and leafstalk length. In conclusion, these results indicate that the acclimations of plants to LL were positively regulated by physiological metabolisms. This may have important implications for the production of the anticancer drug VLB in plantations and greenhouses at an industrial scale.

Key Words : *Catharanthus roseus* ; low light ; soluble sugars ; alkaloids and phytohormones

光照强度长时间显著低于植物光饱和点将产生弱光胁迫,影响植物的形态建成和生理生化过程^[1,2],同时这些变化也对植物适应光照条件变化发挥着重要的功能。在形态建成和发育方面,光合有效辐射减少将使植物比叶面积、比茎长、叶柄长和株高都显著增加^[3],这些弱光引起的形态重塑对植物适应弱光环境具有重要的意义,如提高叶片的面积和节间的长度可能是帮助植物获取更多的光照强度^[1,2]。弱光还使植物投入到有性繁殖方面的能量比例降低,导致植物花芽形成数目减少、开花时间推迟、座果率下降等现象^[4,5]。

在生理上,弱光影响植物最直接的表现是光合作用降低^[1~4],同时植物激素、抗氧化剂及次生代谢等生理代谢进程也受到明显影响。在不同郁闭度的林分内,红松、红皮云杉、长白落叶松的顶叶内源激素存在显著差异,可能调控了针叶树在不同遮阴程度下的形态适应过程^[6]。通过研究少花桂在不同遮阴情况下叶片中次生代谢产物积累的影响,发现一定程度的弱光胁迫能促进桂花油的积累^[7]。低光照条件下秋海棠的叶片中氧化胁迫减弱,同时抗氧化剂的积累水平也显著下降^[8]。将生长在光量子密度 (PPFD) 为 $90 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 环境下的植物转移到 PPFD 为 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的极端遮阴条件下其体内的可溶性糖含量显著下降^[9]。这些生理代谢过程的变化在植物适应弱光胁迫过程中可能发挥着重要的调控功能^[2],需要进一步的研究。

长春花 (*Catharanthus roseus*) 体内含有的长春碱类化合物是重要的抗癌原料药,在亚热带和温带广泛栽培。关于长春花的研究目前主要集中在长春花生物碱代谢的分子调控和组织培养等方面,而对其环境调控的生理生态学方面研究较缺乏^[10]。本研究主要从生理代谢层次上研究了弱光条件对长春花幼苗叶片中可溶性糖、生物碱及内源植物激素等重要生理代谢物质的含量动态变化的综合影响,以揭示弱光条件下长春花生理代谢的动态特点及其对植物适应弱光胁迫的生态学意义,同时也为长春花的人工栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

长春花种子萌发后形成的幼苗置于人工气候箱 (CONVIRON, Canada) 中进行对照培养。根据长春花幼苗光合作用的特点,设置对照 PPFD 为 $(500 \pm 10) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光照时间 6:00 ~ 18:00,培养条件为温度 28℃,湿度 60% 左右。待长春花幼苗出现 6 对叶片时开始进行弱光胁迫实验,从对照培养箱选取长势相近的 30 株幼苗转入另外一个同样气候箱中,PPFD 设为 $(50 \pm 5) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,显著低于长春花光饱和点,其它培养条件不变,同时另有 30 株幼苗保留在对照培养箱中进行对照培养。对不同条件下幼苗每隔 1 周在 8:00 定时取样,进行形态学和生理学参数测定,重复次数分别为 5 次。

1.2 实验方法

1.2.1 长春花幼苗形态学分析

选取叶柄长度和节间长作为形态测量指标,取产蕾数、开花数、花盘直径作为有性生殖指标,对不同光照条件的长春花幼苗进行形态学测定。

1.2.2 长春花叶片中可溶性糖、激素、生物碱含量测定方法

长春花幼苗叶片中果糖 (fructose, Fru) 葡萄糖 (glucose, Glc) 和蔗糖 (sucrose, Suc) 等 3 种可溶性糖含量测定方法参照 Maria 等^[9]。称取液氮研磨的长春花样品用 80% 乙醇提取,以果糖、葡萄糖和蔗糖标准品

(Sigma , USA)为对照进行高效液相 (HPLC)检测。HPLC 色谱条件中流动相为乙腈: 水 = 75:25 ;流速为 1.5 mL/min ;色谱柱为 YMC-Pack Polyamine II (250 ×4.6mmI. D.) ;检测器为蒸发光散射检测器 (Waters , USA)。

长春花叶片中脱落酸 (abscisic acid , ABA)、赤霉素 (gibberelline , GA3)和吲哚乙酸 (indole-3-acetic acid , IAA)等 3 种激素含量采用 HPLC 测定^[11]。取 0.5g 左右材料 ,用 80% 甲醇 (内含 1mmol/L BHT)提取。提取液过 C18 预处理小柱 (Waters , USA)后置于真空干燥器进行干燥 ,运用 HPLC 法分别测定 ABA、GA3 和 IAA 等 3 种激素含量。

长春花幼苗叶片中文朵灵 (vindoline , VIN)、长春质碱 (catharanthine , CAT)和长春碱 (vinblastine , VLB)含量采用 HPLC 方法测定^[12]。长春花叶片干燥研磨后用甲醇提取 ,以 3 种生物碱标准品 (Sigma , USA)为对照进行 HPLC 检测。色谱柱为 Diamonsil TMC18 ODS (Φ4.6mm × 250mm) ;流动相为②水: 二乙胺 = 990:10 (磷酸调 pH = 7.3) ;②甲醇 ,二者混合的比例为①: ② = 64:36 ;流速 :1.5mL/min ;检测波长为 220 nm。

1.2.3 数据处理

上述所有数据均采用 SPSS 15.0 软件进行处理与统计分析。

2 结果

2.1 弱光培养对长春花幼苗营养和有性生殖水平的影响

对照正常光照条件 ,弱光条件下培养的长春花幼苗在营养生长和有性繁殖等性状方面呈现显著的变化 ($P < 0.05$)。弱光条件下培养的长春花幼苗叶柄长和节间长分别为 $1.222\text{cm} \pm 0.025\text{ cm}$ 和 $4.166\text{cm} \pm 0.075\text{ cm}$,均显著高于正常光照条件下的长春花幼苗 ($P < 0.05$)。测定表征有性繁殖水平的产蕾数、花数和花盘直径的变化发现 ,弱光条件下长春花有性生殖明显受到抑制 ,不但产蕾数和开花数显著减少 ($P < 0.05$) ,而且花盘直径也仅为对照条件下的一半 ,这说明弱光明显减少了植物在有性生殖方面的投入。

表 1 不同光照条件下长春花性状对比
Table 1 Morphological characteristics of *Catharanthus roseus* seedlings under different light conditions

性状 Morphological characteristics	不同光照条件 Different light conditions	
	弱光 LL	对照 NL
叶柄长 (cm) Leafstalk length	$1.222 \pm 0.025\text{ a}$	$0.872 \pm 0.055\text{ b}$
节间长 (cm) Internode length	$4.166 \pm 0.075\text{ a}$	$3.310 \pm 0.130\text{ b}$
产蕾数 (个) Bud quantity	$1.200 \pm 0.836\text{ b}$	$4.150 \pm 1.224\text{ a}$
花数 (个) Flower quantity	$0.600 \pm 0.547\text{ b}$	$5.600 \pm 1.140\text{ a}$
花盘直径 (cm) Discus diameter	$2.972 \pm 0.061\text{ b}$	$4.510 \pm 0.096\text{ a}$

相同字母间表示差异不显著 ($P < 0.05$) The values sharing the same letter are not significant ($P < 0.05$)

2.2 弱光培养对长春花叶片中 3 种可溶性糖含量动态的影响

正常光照条件下 ,长春花幼苗叶片中果糖和葡萄糖含量第 2 周以后呈现显著下降 ,而蔗糖含量是逐渐上升。经弱光处理的长春花幼苗叶片中果糖、葡萄糖及蔗糖的含量水平动态变化相似 ,均是先降后升。处理 1 周后上述 3 种可溶性糖的含量水平显著下降 ,果糖、葡萄糖及蔗糖含量分别由处理前的 (0.62 ± 0.01) , (1.86 ± 0.12) , (0.24 ± 0.01) mg/g FW 下降为 (0.38 ± 0.02) , (0.60 ± 0.03) , (0.17 ± 0.02) mg/g FW ,显著低于对照 ($P < 0.01$) ,其中以葡萄糖含量下降幅度最大。可以看出 ,在处理的前期 ,弱光条件下长春花幼苗叶片中可溶性糖含量显著低于正常光照条件下 ,而处理后期弱光条件下的长春花幼苗叶片可溶性糖含量逐渐回复 ,与正常光照条件下差异不显著。

2.3 弱光培养对长春花叶片中 3 种生物碱含量动态的影响

实验选取的 VIN 和 CAT 是重要抗癌活性成分 VLB 生物化成的直接前体化合物 ,它们的含量水平是长春花栽培的重要指标。观测期间对照长春花植株叶片中 VIN 和 CAT 的含量呈逐渐下降 ,而它们的偶合衍生物 VLB 含量增加 3 倍左右。经弱光条件处理后 ,长春花幼苗叶片中 VIN 和 CAT 含量水平在观测期间均显著提高 ($P < 0.01$) ,分别由处理前的 (3.65 ± 0.08)和 (2.00 ± 0.15) mg/gDW 上升到第 3 周时的 (7.89 ± 0.03)和

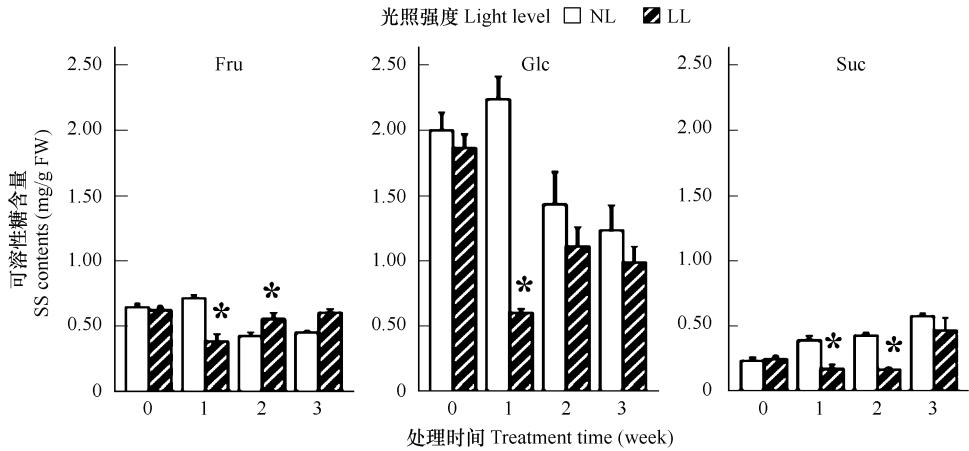


图1 弱光及对照条件下长春花叶片中可溶性糖含量变化

Fig. 1 Changes of soluble sugar (SS) contents in *Catharanthus roseus* leaves affected by control and low light

数据为平均值 ± 标准误差 (n = 5),带“*”标注表示差异显著 (P < 0.01) Values shown are mean ± standard error of five replicates , significantly difference (P < 0.01) are marked with symbol ‘*’

(5.69 ± 0.04)mg/gDW,而 VLB 含量虽然也在增加,但增加仅 1 倍左右。这些结果说明,弱光条件促进了长春花叶片中 VIN 和 CAT 两种生物碱的积累,而抑制了 VLB 含量的增加。

表2 弱光及对照条件下长春花幼苗叶片中文朵灵、长春质碱和长春碱含量变化

Table 2 Changes of VIN, CAT and VLB contents of *Catharanthus roseus* leaves under control and low light

生物碱 Alkaloids	处理时间 (周) Treatment Time (week)	生物碱含量 Contents of alkaloids	
		弱光 LL	对照 NL
文朵灵 VIN mg g ⁻¹ DW	0	3.65 ± 0.08a	3.64 ± 0.19a
	1	5.28 ± 0.05a	2.97 ± 0.07b
	2	5.41 ± 0.08a	2.45 ± 0.17b
	3	7.89 ± 0.03a	2.78 ± 0.16b
长春质碱 CAT mg g ⁻¹ DW	0	2.00 ± 0.15a	2.30 ± 0.28a
	1	3.50 ± 0.11a	1.40 ± 0.04b
	2	3.17 ± 0.09a	1.56 ± 0.16b
	3	5.69 ± 0.04a	1.92 ± 0.25b
长春碱 VLB μg g ⁻¹ DW	0	17.60 ± 0.85a	16.87 ± 0.59a
	1	15.99 ± 0.21b	40.52 ± 1.04a
	2	10.80 ± 0.57b	44.24 ± 0.37a
	3	35.21 ± 0.65b	66.66 ± 0.93a

相同字母间表示差异不显著 (P < 0.01) The values sharing the same letter are not significant (P < 0.01)

2.4 弱光培养对长春花叶片中 3 种激素含量动态的影响

正常光照条件下,随着长春花幼苗的生长,其叶片中 IAA 和 GA3 含量呈显著下降趋势,而 ABA 含量呈上升趋势。弱光培养在整个观察期均促进了 ABA 含量的进一步积累,比对照提高了 1 倍左右。GA3 和 IAA 的含量在弱光条件下也呈下降趋势,但在培养的前 2 周内比对照增加了 3 倍多。从不同激素含量的比值来看,GA3/ABA 和 IAA/ABA 在不同光照条件下均呈显著下降趋势,但在培养第 2 周时,弱光条件高于对照。这些结果表明,弱光条件处理前 2 周促进了长春花叶片中 ABA、GA3 和 IAA 含量水平的积累,在处理的第 3 周 GA3 和 IAA 含量下降至对照水平,而 ABA 含量保持较高水平。

3 讨论与结论

光照条件是植物在整个生活史过程中时空异质性最大的环境因子,对植物的生长发育和生理代谢都具有

重要影响^[1]。相对强光而言,有关弱光对植物影响的报道主要集中在形态可塑性方面,而对于植物在弱光条件下的生理代谢特点研究较少^[2-5]。因此本文主要从生理层次上研究和探讨弱光条件对长春花生长的影响,以揭示弱光条件下长春花适应弱光条件的生理基础。

植物叶片中可溶性糖,特别是蔗糖和葡萄糖的含量多少表征植物固定能量的水平^[9,14,15]。弱光处理期间长春花叶片中蔗糖和葡萄糖含量显著降低,表明弱光减少了长春花能量的固定,分配到有性生殖方面的能量减少,这可能是弱光条件显著降低花蕾数和成花数及花盘直径减小的生理基础之一。此外,葡萄糖和蔗糖作为光合作用的主要产物,可能也在长春花适应弱光胁迫过程中发挥着重要的信号作用,调控光合、开花等相关基因的表达^[2]。

长春花含有的 VIN, CAT 和 VLB 是具有药用价值的 3 种重要生物碱,它们的合成与积累主要取决于植物 C/N 的比值,低水平的 C/N 比值能促进生物碱等高含氮化合物的积累^[10,16]。本实验中,弱光条件降低了长春花叶片中 C 的固定总量,导致了较低的 C/N 比,可能是长春花叶片中 VIN 和 CAT 积累较高的原因。而它们的耦合产物 VLB 的含量在弱光条件下却呈现显著下降的特点,其原因可能是 VLB 在长春花中的生物合成主要与叶片中氧化胁迫程度有关^[17],弱光条件下氧化胁迫程度较低^[8],导致 VLB 积累较少。

植物激素在植物适应环境胁迫过程中发挥着重要的作用。本实验中,弱光处理前期长春花叶片中 GA3 和 IAA 含量均显著高于对照水平,可能对其节间伸长和叶片面积增大起到了积极的促进作用^[18],处理后长期长春花进入有性生殖阶段,GA3 和 IAA 含量水平回复到对照水平。整个处理期间长春花叶片 ABA 含量均显著高于对照水平,可能与长春花适应弱光胁迫维持膨压,促进营养生长向生殖生长的转变有关^[3]。

可以看出,长春花在适应弱光条件过程中,不仅在形态上表现出较强的可塑性,而且在初生代谢和次生代谢方面也呈现出显著的变化,特别是在一定的弱光条件下促进了长春花的药用活性成分生物碱的含量大量增加,长春花培育的目的产物的增加对大规模的生产实践起到指导作用。

References :

[1] Callahan H S, Pigliucci M. Shade-induced plasticity and its ecological significance in wild populations of *Arabidopsis thaliana*. *Ecology*, 2002, 83 : 1965 — 980.

[2] Zhan J C, Huang W D, Wang L J. Research of weak light stress physiology in plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 2003, 20 : 43 — 50.

[3] Steinger T, Roy B A, Stanton M L. Evolution in stressful environments II : adaptive value and costs of plasticity in response to low light in *Sinapis arvensis*. *J. Evol. Biol.*, 2003, 16 : 313 — 323.

[4] He W M, Zhong Z C. Morphological and growth responses of the climbing plant, *Gynostemma pentaphyllum* seedlings to varying light intensity. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 : 375 — 378.

[5] Schneider S, Ziegler C, Melzer A. Growth towards light as an adaptation to high light conditions in *Chara* branches. *New Phytologist*, 2006, 172 : 83 — 91.

[6] Zhou Y B, Jiang P, Wang Q L. Morphological plasticity of shade-tolerance of three conifers in Changbai Mountain and regulation of hormone. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10 : 525 — 528.

[7] Wu N B, Tan F, Xiao W J, *et al.* Effects of light intensity on morphologic and physiological indexes and safrol content of *Cinnamomum pauciflorum*

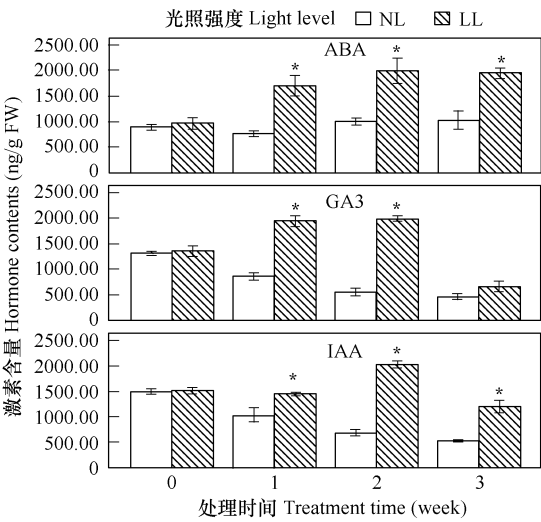


图2 弱光及对照条件下长春花幼苗叶片中3种激素含量变化
Fig. 2 Changes of three kinds of hormone contents in *Catharanthus roseus* leaves affected by control and low light
数据为平均值 ± 标准误差 (n = 5),带“*”标注表示差异显著 (P < 0.01) Values shown are mean ± standard error of five replicates, significantly difference (P < 0.01) are marked with symbol ‘*’

seedlings. *Acta Ecologica Sinica* ,2005 ,25 :1159 — 1164.

[8] Burritt D J , Mackenzie S. Antioxidant metabolism during acclimation of *Begonia* × *erythrophylla* to high light levels. *Annals of Botany* ,2003 ,91 :783 — 794.

[9] Correia M J , Osorio M L , Osorio J , *et al.* Influence of transient shade periods on the effects of drought on photosynthesis , carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sunflower leaves. *Environmental and Experimental Botany* ,2006 ,58 :75 — 84.

[10] St-Pierre B , Vazquez-Flota F A , De-Luca. Multicellular compartmentation of *Catharanthus roseus* alkaloid biosynthesis predicts intercellular translocation of a pathway intermediate. *The Plant Cell* ,1999 ,11 :887 — 900.

[11] Zhao X J , Tang Z H , Guo X R , *et al.* Determination of three endogenous hormones in *Catharanthus roseus* (L.) g. don using solid-phase extraction and high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Chromatography* ,2006 ,24 :534 — 534.

[12] Luo M , Fu Y J , Zu Y G *et al.* Rapid Determination of 4 vinca alkaloids by reversed phase high performance liquid chromatograohy. *Chinese Journal of Analytical Chemistry* ,2005 ,33 :87 — 89.

[13] Zhan J C , Huang W D , Wang Z L , *et al.* Morphological and growth response of young grape plants to low light environment. *Chinese Agricultural Science Bulletin* ,2002 ,18 :1 — 2.

[14] Pan Q M , Han X G , Bai Y F , *et al.* Advances in physiology and ecology studies on stored non-structure carbohydrates in plants. *Chinese Bulletin of Botany* ,2002 ,19 :30 — 38.

[15] Tang Z H , Yang L , Liang S N , *et al.* Effects of different water conditions on life cycle form s and physiological metabolism s of *Catharanthus roseus*. *Acta Ecologica Sinica* ,2007 ,27 :2742 — 2747.

[16] Flore J A , Layne D R. Photoassimilate production and distribution in cherry. *Hort Sci* ,1999 ,34 :1015 — 1019.

[17] Tang Z H , Jiao Y , Zhang X K , *et al.* Effect of high temperature on life cycle forms and physiological metabolisms of *Catharanthus roseus*. *Acta Ecologica Sinica* ,2006 ,26 :3642 — 3646.

[18] Marjolein C H C , Joris J B , Robert A M , *et al.* The roles of ethylene , auxin , abscisic acid and gibberellin in the hyponastic growth of submerged *Rumex palustris* petioles. *Plant Physiol* ,2004 ,136 :2948 — 2960.

参考文献：

[2] 战吉成,黄卫东,王利军. 植物弱光逆境生理研究综述. *植物学通报* ,2003 ,20 :43 ~50.

[4] 何维明,钟章成. 攀援植物绞股蓝幼苗对光照强度的形态和生长反应. *植物生态学报* ,2000 ,24 :375 ~378.

[6] 周永斌,姜萍,王庆礼. 长白山不同针叶树耐阴性的形态适应及内源激素调控. *应用生态学报* ,1999 ,10 :525 ~528.

[7] 吴能表,谈锋,肖文娟,等. 光强因子对少花桂幼苗形态和生理指标及精油含量的影响. *生态学报* ,2005 ,25 :1159 ~1164.

[1] 赵晓菊,唐中华,郭晓瑞,等. 固相萃取富集-高效液相色谱法测定长春花中的 3 种内源激素. *色谱* ,2006 ,24 :534 ~534.

[12] 罗猛,付玉杰,祖元刚,等. 反相高效液相色谱法快速测定长春花中 4 种生物碱. *分析化学* ,2005 ,33 :87 ~89.

[13] 战吉成,黄卫东,王志龙,等. 葡萄幼苗对弱光环境的形态和生长反应. *中国农学通报* ,2002 ,18 :1 ~2.

[14] 潘庆民,韩兴国,白永飞,等. 植物非结构性碳水化合物的生理生态学研究进展. *植物学通报* ,2002 ,19 :30 ~38.

[15] 唐中华,杨蕾,梁胜楠,等. 土壤不同水分条件对长春花 (*Catharanthus roseus*)生活史型的影响. *生态学报* ,2007 ,27 :2742 ~2747.

[17] 唐中华,焦琰,张学科,等. 高温对长春花生活史型形成和生理代谢的影响. *生态学报* ,2006 ,26 :3642 ~3646.