

4 大棉种对 DPC 化控效应的差异分析

徐雅丽, 王冀川*, 韩秀峰, 高山 (塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要 [目的]研究缩节胺(DPC)对棉属4大栽培种的化控效应。[方法]用不同剂量缩节胺(0、21、42、63 g/hm²)对不同棉花栽培种海島棉(*Gossypium barbadense* L.)新海32号、非洲棉(*G. herbadense* L.)草棉、亚洲棉(*G. arboreum* L.)中棉和陆地棉(*G. hirsutum* L.)新陆中48进行喷施,观察化控效果,分析其对DPC化控的敏感性。[结果]喷施DPC对4大棉种均有显著的化控效果,表现为双向调节,二倍体棉种调节效应主要体现在植株横向抑制方面,四倍体棉种的调控效果表现较为复杂,与品种特性有关。[结论]4大棉种对DPC化控的敏感度不同,非洲棉反应最敏感,陆地棉敏感度最弱。

关键词 棉花栽培种; DPC; 化控效应

中图分类号 S562 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)26-10586-04

Variance Analysis about the Chemical Control Effects of DPC on Four Cotton Cultivated Species

XU Ya-li et al (College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract [Objective] The aim was to study chemical control effects of mepiquat(DPC) on different cotton cultivated genus. [Method] Different DPC doses (0, 21, 42, 63 g/hm²) were sprayed on four cotton cultivated species(*G. barbadense* L. Xinhai No. 32, *G. herbadense* L. Caomian, *G. arboreum* L. Zhongmian, *G. hirsutum* L. Xinluzhong 48), and their sensitivity to DPC was analyzed. [Result] Spraying DPC on four cotton genus showed a significant effect of two-way adjustment, for diploid cotton plants, the moderating effect was mainly on lateral inhibition while for tetraploid cotton plants, the regulatory effect was more complex, which was related with species characteristics. [Conclusion] Sensitivity of four cotton genus to chemical control was different, African cotton was the most sensitive while the upland cotton was the weakest.

Key words Four cotton cultivated species; Mepiquat(DPC); Chemical control effects

化学调控是棉花生产的关键措施之一,棉花化控的技术要求很高,不同时期、不同浓度化控对棉花产量和形态性状可以产生不同的影响,不同棉花品种对化控的敏感性也是有差别的。缩节胺(DPC)化学控制技术是近年来我国棉花丰产栽培技术中一项不可缺少的增产措施。DPC是一种生长延缓剂,田间喷施DPC,可以通过影响棉株体内源激素系统,控制地上部纵横生长,缩小棉株营养体,增强根系活力,延缓叶片衰老,协调营养生长和生殖生长,改善棉花的冠层结构,促进产量器官的发育和结铃。目前,关于棉花DPC化控效应的研究较多,但主要集中在陆地棉^[1]和海島棉^[2]生产方面,随着棉花育种技术的不断改进与生物技术的运用,实现种间杂交以选育高产、抗逆、优质的种质材料,扩大棉花育种基因种质库,是当前棉花育种亟待解决的问题之一。棉属4大栽培种具有完全不同的基因背景与抗逆性状,是很好的育种备选材料,当导入不同棉种基因的生产品种用于生产中时,首先面临的是田间群体质量栽培的株型定向培育,及生产上普遍运用的化学调控技术,由于不同棉种基因型对化控药剂的敏感性不同^[3],必然导致栽培学上的执行困难。为此,笔者选用棉花4大栽培种(*Gossypium* Cultivated species)作为试验材料,研究DPC的化控效果,比较其对DPC的敏感程度,旨在为分子育种及材料的选择和运用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

基金项目 塔里木大学校长基金重点项目(TDZKZD09001);兵团工业科技攻关计划项目(2009CG31);塔里木大学校长基金项目(TDZKSS1004)。

作者简介 徐雅丽(1967-),女,新疆阿拉尔人,高级实验师,从事作物遗传与生理研究,E-mail: xylzky@163.com。*通讯作者,副教授,硕士生导师,从事作物生理与信息技术研究,E-mail: wjcwzy@126.com。

收稿日期 2013-08-04

行。选用遗传背景完全不同的4大棉花栽培种作为试验材料分别为海島棉(*G. barbadense* L.)新海32号、非洲棉(*G. herbadense* L.)草棉、亚洲棉(*G. arboreum* L.)中棉和陆地棉(*G. hirsutum* L.)新陆中48。4月20日播种,为了充分了解各棉种棉株的生长特性,采用覆膜较稀种植,配置为(30+60+30+60)cm×12.5cm,理论密度为17.78万株/hm²,并且推迟打顶时间,安排在7月27日进行。DPC选用96%甲哌鎊粉剂(湖北枣阳天燕化工有限公司生产)。

1.2 试验设计 对每个棉种采用4个化控水平:①不化控(D₀):喷清水作为对照;②低剂量化控(D₁):喷施DPC 21 g/hm²;③中等剂量化控(D_m):喷施DPC 42 g/hm²;④高等剂量化控(D_h):喷施DPC 63 g/hm²。标准液按450 kg/hm²配置;每组试验共4个处理,每处理重复3次,共12个小区,每区4行2m长,随机区组排列。于棉田见花期(6月22日)进行化控(全期此后不再进行化控),并每隔7d定点观察形态指标,包括株高、分枝数、叶片数、果节数、蕾铃数等,于9月1日观测株式图指标并测产,收获期各处理选择有代表性植株10株,按单株分别摘取棉株不同部位果枝上的全部吐絮棉铃,供室内考种用,以实收籽棉产量计产。

1.3 田间管理 试验田按大田常规管理,1~2叶期定苗,生育期间沟灌4水,并于头水前沟施二胺150 kg/hm²,二水前沟施尿素150 kg/hm²。

1.4 数据统计学分析 敏感度分析采用以下公式计算:化控作用系数(%)^[4]=(对照值-处理值)/对照值×100%。

隶属函数值 $U(x_j)$:用模糊数学隶属函数值的方法计算,公式为:

$$U(x_j) = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中, $U(x_j)$ 表示指标 j 的隶属函数值; x_j 表示指标 j 的测定

值; x_{\max} 、 x_{\min} 分别为指标 j 的最大值和最小值。

各棉种的综合抗 DPC 能力:

$$D = \sum_{j=1}^n [U(x_j) \times |r_j| / \sum_{j=1}^n |r_j|], j=1, 2, 3, \dots, n$$

式中, D 为用综合指标评价所得的各材料耐 DPC 度量值; r_j 为各材料第 j 个指标 DPC 浓度与化控作用系数的相关系数; 如果 r_j 为负值, 则以 $1 - U(x_j)$ 代替式中的 $U(x_j)$; n 为指标的个数; $|r_j| / \sum_{j=1}^n |r_j|$ 为指标权重, 表示第 j 个指标在所有指标中的重要程度。

2 结果与分析

2.1 DPC 化控对 4 大棉种生长性状的影响

DPC 为氮杂环己基氯化物, 是一种使用很广的生长延缓剂, 它通过植株叶片和根部吸收, 传导至全株, 可降低植株体内赤霉素的活性, 从而抑制细胞伸长, 顶芽长势减弱, 控制植株纵横生长, 使植株节间缩短, 株型紧凑, 叶色深厚, 叶面积减少, 并增强叶绿素的合成, 可防止植株旺长, 推迟封行等^[5]。DPC 能提高细胞膜的稳定性, 增加植株抗逆性^[6]。在棉花上使用, 可有效地防止棉花疯长, 控制株型, 减少落铃, 促进成熟, 使棉花增产, 能促进根系发育, 叶色发绿、变厚, 防止徒长, 抗倒伏, 提高成铃率, 增加霜前花, 并使棉花品级提高, 同时使株型紧凑, 赘芽大大减少, 节省整枝用工^[7]。

从表 1 可以看出, DPC 化控对各大棉种具有明显的调控作用, 且随 DPC 剂量增加, 这种调控作用越来越明显, 主要表现为株高降低, 主茎节数减少, 果台数减少, 总果节长度减小, 9 月上旬主茎及植株总的绿叶数减少, 说明 DPC 对棉属

栽培种均具有明显的延缓和控制生长的作用, 其对株型的塑造体现在纵(株高)、横(果枝)向调节, 使棉株株型变小、茎枝紧凑, 同时抑制叶片的分化与生长。从 DPC 对各部位(器官)抑制程度上看, 各棉种间略有不同, 二倍体棉种(亚洲棉和非洲棉)主要体现在总果节长度、单株总绿叶数(植株多数绿叶着生在果节上)、单株果台数和株高的抑制效果最明显, 即对植株的横向抑制较大, 如亚洲棉和非洲棉 DPC 处理的总果节长较对照分别减少了 22.5% ~ 80.1%、41.4% ~ 55.3%, 总绿叶数减少了 69.8% 和 53.6%, 株高减少了 47.3% 和 32.8%。从主茎节数的减少程度上看, 二倍体棉种株高的降低主要是由于主茎节数的减少引起的; 对于四倍体棉种而言, DPC 对陆地棉主要影响果台数(减少了 32.2% ~ 38.9%)、总果节长(减少了 30.5% ~ 34.2%)和株高(降低了 9.6% ~ 29.2%), 而对海岛棉主要影响株高(降低了 30.6% ~ 55.6%)和果台数(减少了 18.1% ~ 22.9%)。由于四倍体棉种目前广泛种植, 经过长期的遗传改良和选育, 形成了丰富的生长类型, 因而 DPC 对其影响部位较复杂, 如试验中选用的陆地棉为新陆中 48(陆陆杂交棉), 其长势强、株型高大, DPC 对其控制效果则体现在纵、横双向调节, 而试验选用的海岛棉为新海 32 号, 为零式果枝, DPC 喷施主要表现为显著控制株高和果台数方面。值得关注的是, 亚洲棉和陆地棉在低剂量 DPC 化调时单株总绿叶数增加, 这可能与这两个棉种的叶分化强度有关。

表 1 DPC 化控对不同棉种生长性状的影响

棉种	处理	株高//cm	茎粗//cm	主茎节数	主茎绿叶数	总绿叶数	果枝台数	总果节长度//cm
亚洲棉	D ₀	89.0	0.9	14.0	13.0	44.3	10.0	59.5
	D ₁	81.0	0.8	12.9	14.5	57.4	9.2	56.8
	D _m	73.0	0.7	11.8	14.2	49.3	8.3	48.6
	D _h	60.5	0.7	10.1	12.0	26.1	7.2	33.0
	平均	75.89	0.72	12.19	13.42	42.79	8.68	49.46
	CV//%	16.06	4.68	13.75	8.58	26.90	13.80	24.08
	非洲棉	D ₀	83.4	1.1	14.8	17.1	55.1	10.1
D ₁		78.5	1.0	14.7	18.8	50.5	10.1	70.8
D _m		75.4	1.0	13.4	18.1	36.9	9.1	59.2
D _h		62.8	1.1	11.1	15.1	35.9	7.2	53.9
平均		75.04	1.06	13.49	17.28	44.59	9.15	66.87
CV//%		11.72	3.61	12.87	9.21	21.71	14.92	19.79
陆地棉		D ₀	90.2	1.7	15.4	16.4	38.9	9.4
	D ₁	86.8	1.6	14.3	15.6	56.3	7.8	73.9
	D _m	81.8	1.6	13.4	14.8	54.6	6.9	66.4
	D _h	69.8	1.6	12.8	14.0	33.9	6.8	66.2
	平均	82.14	1.63	13.97	15.23	45.94	7.74	73.86
	CV//%	10.88	1.45	8.24	6.84	24.42	15.71	14.42
	海岛棉	D ₀	101.7	1.6	19.5	16.7	23.1	15.5
D ₁		81.9	1.5	18.4	15.2	22.8	13.9	0
D _m		76.7	1.5	17.5	14.4	22.4	13.0	0
D _h		65.4	1.5	16.6	14.2	22.1	12.6	0
平均		81.40	1.54	18.00	15.14	22.45	13.76	0
CV//%		18.67	3.73	6.77	7.60	1.97	9.39	0

2.2 DPC 化控对 4 大棉种生殖性状的影响 从表 2 可以看出,DPC 喷施同样影响各棉种的生殖性状,主要表现在果节数、结铃性状和早熟性状等方面。一般趋势是随 DPC 剂量加大,单株果节数、蕾铃总数、单株铃数均减少。各棉种不同性状对 DPC 的反应不同,亚洲棉喷施 DPC 后单株铃数下降最大,较对照降低了 128%,其次为总果节数,减少了 71%。同时,随 DPC 剂量加大,亚洲棉的吐絮率下降;非洲棉受影响较大的是蕾铃总数,较对照减少了 52%,其次是吐絮率,大剂量的 DPC 利于尽早吐絮,加快早熟;陆地棉蕾铃总数和吐絮率

受 DPC 影响较大,与非洲棉不同的是随 DPC 剂量加大,其吐絮率下降;海岛棉蕾铃总数和单株铃数受影响较大,分别比对照下降了 69% 和 63%。从最终单株籽棉产量上看,亚洲棉减产最大,达到 53%,海岛棉次之,达到 33%,陆地棉和非洲棉减产 17% 和 14%。这说明,DPC 影响棉种的生殖性状表现种间复杂性,非洲棉和陆地棉在较低剂量 DPC 喷施的条件下甚至有利于株型调控,单株产量有所增加,但高剂量 DPC 处理均对棉种产量有较大减产影响,表明大剂量 DPC 喷施的弊端,这也为 DPC 运用提供普遍的理论依据。

表 2 DPC 化控对不同棉种生殖性状的影响

棉种	处理	总果节数	蕾铃总数	结铃率//%	单株铃数	单铃重//g	吐絮率//%	单株产量//g
亚洲棉	D ₀	18.6c	12.0b	78.7b	15.2d	2.0a	46.1c	29.7d
	D ₁	18.4c	9.9a	74.2ab	11.4c	2.0a	38.2b	22.9c
	D _m	15.8b	8.9a	69.8a	9.0b	2.0a	34.1a	18.2b
	D _h	10.9a	8.9a	65.3a	6.7a	2.1a	33.9a	13.9a
	平均	15.90	9.93	72.00	10.57	2.01	38.06	21.17
	CV//%	22.64	14.40	8.01	34.40	2.72	14.96	31.99
非洲棉	D ₀	17.4ab	12.4b	62.5b	10.3ab	1.5ab	30.8b	15.2ab
	D ₁	17.6b	9.5a	64.5c	11.0c	1.6b	21.1a	17.2b
	D _m	17.7b	8.1a	60.3bb	10.7bc	1.6b	23.8a	17.6b
	D _h	15.2a	8.1a	49.8a	9.3a	1.4a	38.7a	13.1a
	平均	16.97	9.55	59.25	10.33	1.52	28.59	15.78
	CV//%	6.91	21.09	10.99	7.07	6.46	27.53	13.15
陆地棉	D ₀	18.3c	13.0c	39.9a	7.7b	5.5a	2.5c	42.9b
	D ₁	17.2bc	11.2bc	44.1b	7.9b	5.6a	2.2bc	44.9c
	D _m	16.1ab	10.0ab	46.1bc	7.4ab	5.6a	1.9a	42.4b
	D _h	14.9a	9.5a	46.0c	6.2a	5.6a	1.6a	35.4a
	平均	16.65	10.92	44.04	7.32	5.58	2.05	41.40
	CV//%	8.80	13.92	6.60	10.92	0.66	19.02	9.94
海岛棉	D ₀	21.0b	14.3c	46.6b	10.1c	2.7a	0a	28.0c
	D ₁	21.5b	10.5b	40.0a	8.5b	2.8b	0a	23.2b
	D _m	19.7ab	9.9ab	37.8a	8.0b	2.5a	0a	20.0ab
	D _h	17.9a	8.5a	40.0a	6.2a	3.0c	0a	18.6a
	平均	20.03	10.78	41.10	8.22	2.77	0	22.43
	CV//%	7.87	22.95	9.32	19.53	7.43	0	18.49

注:同一品种下同列数据后无相同小写字母表示在 0.05 水平上有差异($P < 0.01$)。

表 3 各大棉种对 DPC 化控敏感性比较

棉种	生长性状		生殖性状		综合性状	
	D 值	排名	D 值	排名	D 值	排名
亚洲棉	0.305	2	0.270	4	0.143	3
非洲棉	0.323	1	0.320	1	0.161	1
陆地棉	0.264	4	0.285	3	0.137	4
海岛棉	0.286	3	0.311	2	0.149	2

2.3 不同棉种对 DPC 化控敏感度的综合评价 从表 3 可以看出,4 大棉种对 DPC 化控具有不同的敏感性。从生长性状上看,DPC 敏感性大小为非洲棉 > 亚洲棉 > 海岛棉 > 陆地棉,从生殖性状上看,DPC 敏感性大小为非洲棉 > 海岛棉 > 陆地棉 > 亚洲棉,从综合性状来看,DPC 敏感性大小为非洲棉 > 海岛棉 > 亚洲棉 > 陆地棉。这说明,非洲棉对 DPC 最敏感,喷施 DPC 对其无论是营养生长还是生殖生长均有较大的影响;亚洲棉茎、枝、叶的生长对 DPC 敏感,而对生殖性状影响较小,说明化控有利于调控其冠层结构,利于优化蕾铃生长量,是生产上可利用的基因类型;DPC 化控对海岛棉的营养器官和生殖器官均具有较大影响,其综合 DPC 敏感程度仅次于非洲棉,说明生产中应尽量少使用 DPC 化控,以避免对

器官形成与产量结构造成的负面影响;相比之下,陆地棉对 DPC 化控较不敏感,生产上利用 DPC 化调可以达到控制株型、优化养分分配、提高产量的作用,但化控过重,不利于生殖器官的生长,于产量形成不利。

3 结论与讨论

DPC 对棉属栽培种的调控表现是多方面的,由于棉属 4 大棉种生长形态、生殖性能与生态逆境适应性有着显著区别,其对 DPC 的喷施反应与敏感度也存在明显不同,通过研究,得到以下结论。

(1) DPC 化控对各大棉种具有明显的调控作用,且其调控效果随 DPC 剂量增加具有累加性,调控表现为株型的双向调节,使棉株株型变小、茎枝紧凑。

(2) DPC 调控的种间差异表现为生长性状与生殖性状的差异。二倍体棉种(亚洲棉和非洲棉)主要体现在植株横向抑制方面(总果节长度、单株总绿叶数、单株果台数和株高的抑制效果明显),对于四倍体棉种而言,由于其为目前广泛种植的品种类型,经过长期的遗传改良和选育,形成了丰富的生长类型,故对 DPC 反应较复杂,但总体上,DPC 主要影响陆地棉的果台数、总果节长和株高,而对海岛棉主要影响株高

和果台数。DPC 化控对棉种生殖性状的影响是多方面的,具有种间复杂性,这也与棉属生殖特性的复杂性有关(无限生长特性、果枝类型复杂、生殖生长期长等)。

(3)4 大棉种对 DPC 化控具有不同的敏感性。非洲棉反应最敏感;亚洲棉的反应主要表现在茎、枝、叶的生长;海岛棉体现在综合效果上,化控对其具有较大影响;陆地棉的反应最弱,此为生产实际中可以利用 DPC 化控提供理论依据。

参考文献

- [1] 周运刚,王俊刚,马天文,等.不同 DPC(缩节胺)处理对棉花生理生化特性的影响[J].新疆农业科学,2010,47(6):1142-1146.
[2] 张巨松,徐骞,马雪梅.化学调控对海岛棉株型和产量的影响[J].新疆

农业大学学报,2003,26(4):13-15.

- [3] GENCSOYLU I. Effect of plant growth regulators on agronomic characteristics, lint quality, pests, and predators in cotton[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2009, 28: 147-153.
[4] WANG X J, LI R S, LI S J, et al. Studies on salinity-resistant selection of cucumber during germination[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science), 2000, 31(1): 71-73.
[5] 刘燕,原保忠,张献龙,等.缩节胺调控棉花生长依据概述[J].中国棉花,2012,39(1):9-11.
[6] 张巨松,陈冰,周仰强,等.DPC 对棉花群体发育调控效应的研究[J].新疆农业大学学报,1999,22(1):19-23.
[7] 陈冠文.新疆棉田缩节胺的施用技术与药害防治[J].新疆农业科技,2012(7):42-43.

(上接第 10576 页)

孔的开张,气孔阻力首先随光强增大而减小,这样空气中的 CO₂ 更易于扩散进入植物气孔,使得光合作用增大,在较适宜的气温、湿度范围内气温和湿度对气孔阻力的影响较小,但是湿度很低或很高均不利于气孔开张,使得光合作用减弱。

由表 2 可知,气候生态因子中对剑豆净光合速率日变化的直接效应最大的是光合有效辐射,通径系数为 1.117,胞间 CO₂ 浓度、气温与净光合速率日变化的直接效应呈负相关。光合有效辐射通过胞间 CO₂ 浓度对剑豆净光合速率的间接作用较大,其间接通径系数为 0.648。

表 1 光合速率与主要气候生态因子的相关系数

项目	相关系数	Sig.
<i>Cd</i>	0.545*	0.014
<i>Ci</i>	-0.333	0.131
<i>Ca</i>	-0.303	0.170
<i>PAR</i>	0.606**	0.006
<i>Ta</i>	0.121	0.583
<i>Tr</i>	0.364	0.100
<i>RH</i>	-0.061	0.784

表 2 光合速率与主要气候生态因子的通径系数

气候因子	通径系数	间接通径系数		
		<i>Ci</i>	<i>PAR</i>	<i>Ta</i>
<i>Ci</i>	-0.736	-	-0.983	1.181
<i>PAR</i>	1.117	0.648	-	-0.973
<i>Ta</i>	-1.275	0.682	0.852	-

3 讨论

光补偿点、光饱和点和表观量子效率是指示植物光响应的重要标志。光补偿点越低,对弱光的适应能力越强;饱和点越高,利用强光的能力越强;表观量子效率则反映叶片对光能的吸收效率^[7]。该研究表明,剑豆的光补偿点远远高于一般阴生植物的光饱和点^[8-10],说明剑豆利用强光能力强,其表观量子效率为 0.051,也进一步表明剑豆较强的光利用能力,符合热带亚热带植物对强光需求的生长特性^[11]。

光合作用日变化是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段。在晴朗的天气,植物光合作用日变化一般为双峰型曲线^[12-13],但存在单峰型曲线和三峰型曲线的情况。

单峰型曲线一般出现在阴天,这类植物在中午的光合速率最高^[14],而光合作用日变化出现三峰型曲线的植物一般为热带亚热带植物,高温对其光合作用的影响较小,具有较大的光合作用潜力^[11]。该研究中的剑豆光合作用日变化曲线是一个典型的双峰型曲线,峰值分别出现在 10:00 和 14:00,13:00 出现“光合午休”现象。原因可能是高温使得剑豆叶片气孔关闭,直接导致胞间 CO₂ 浓度降低,光合速率因底物不足而受到限制。

植物光合速率受各种环境因素的影响^[13-15]。研究中,光合有效辐射对剑豆净光合速率日变化的直接效应最大,且与其相关性最显著。但是,剑豆光合有效辐射和净光合速率的日变化曲线表明,当光合有效辐射最强时,剑豆净光合速率不在最高点,间接地证明剑豆的光合速率受环境因素的综合影响。

参考文献

- [1] SMARTT J. Grain Legumes: Evolution and Genetic Resources [M]. Britain: Cambridge, 1990: 301-309.
[2] SRIDHAR K, SEENA S. Nutrition and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia*-A comparative study [J]. Food Chemistry, 2006, 99: 267-288.
[3] SMARTT J. Evolution of grain legumes II. Old and new world pulses of lesser economic importance [J]. Experimental Agriculture, 1985, 21: 1-18.
[4] BELMARL R, NAVA-MONTERO R, SANDOVAL-CASTRO C, et al. Jack bean (*Canavalia ensiformis* L. DC.) in poultry diets: Antinutritional factors and detoxification studies-a review [J]. World Poultry, 1999, 55: 37-59.
[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,1990:164.
[6] 潘瑞炽.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2001:94-95.
[7] 孟陈,徐明策,李俊祥,等.栲树冠层光合生理特性的空间异质性[J].应用生态学报,2007,18(9):1932-1936.
[8] 张利阳,温国胜,王圣杰,等.毛竹光响应模型适用性分析[J].浙江农林大学学报,2011,28(2):187-193.
[9] 郭运雪,蒋文伟,戴锋,等.3 种金鸡菊的光合特性比较[J].浙江农林大学学报,2012,29(5):755-761.
[10] 张晓琳,臧德奎,丁旭升,等.早银桂光合作用日变化的研究[J].山东林业科技,2010,40(3):30-32.
[11] 刘娟,梁军生,王健敏,等.思茅松干季光合生理日动态及光响应特征分析[J].林业科学研究,2009,22(5):677-682.
[12] 李建栋,刘岩,高春雨,等.苦碟子光合作用日变化及其与环境因子关系的研究[J].人参研究,2008(2):12-15.
[13] 甘肖梅,杨红兰,李军伟,等.互花米草成熟期光合作用日变化特征研究[J].安徽农业科学,2010,38(1):143-145,149.
[14] 王锐,刘露,沈建锋,等.温室与露地条件下西瓜光合作用的日变化比较[J].甘肃农业大学学报,2010,45(4):80-84.
[15] 张玉洁.香椿幼树光合作用及其影响因子研究[J].林业科学研究,2002,15(4):432-436.