

GA₃、6-BA 对金钗石斛生长发育及生物碱含量的影响

陈仕江, 张明, 金仕勇, 刘从军, 丑敏霞

(重庆市中药研究院, 重庆 400065)

摘要 在金钗石斛(*Dendrobium nobile* Lindl.) 高分蘖期前用 GA₃ 和 6-BA 进行浸根处理, 分析 GA₃ 和 6-BA 对金钗石斛生长发育及生物碱含量的影响。结果表明: GA₃、6-BA 处理使金钗石斛 SOD、POD 活性升高, 可溶性蛋白质和可溶性糖含量增加; 用 0.5~1.0 mg·L⁻¹ GA₃ 和 10 mg·L⁻¹ 6-BA 处理可使金钗石斛的总生物碱含量分别增加 6.7%~10.1% 和 3.4%; 石斛碱的含量不受 GA₃ 和 6-BA 的影响。0.5~1.0 mg·L⁻¹ GA₃ 和 10~50 mg·L⁻¹ 6-BA 处理可使金钗石斛生物产量分别增加 13.3%~30.7% 和 17.3%~40.0%, 有效分蘖率提高 63.2%~68.9% 和 63.1%~82.1%, GA₃ 可显著促进茎的延长生长。内源 IAA 含量在 5~8 月份较高, 其中以 6 月份含量最高(4.84 μg·g⁻¹), 1 月份最低(2.97 μg·g⁻¹); 内源 ABA 含量在 1 月份达最高(0.61 μg·g⁻¹)。用含有 1.0 mg·L⁻¹ GA₃ 和 50 mg·L⁻¹ 6-BA 的激素营养液处理可以显著提高金钗石斛生物产量(比 CK 增产 38%), 而且总生物碱含量也增加 5.6%。

关键词: 金钗石斛; GA₃; 6-BA; 生长发育; 生物碱

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2004)03-0007-05

Influence of exogenous GA₃ and 6-BA on the growth and alkaloid content in *Dendrobium nobile* CHEN Shi-jiang, ZHANG Ming, JIN Shi-yong, LIU Cong-jun, CHOU Min-xia (The Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400065, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2004, 13(3): 7-11

Abstract: In order to research the influence of GA₃ and 6-BA on the growth of *Dendrobium nobile* Lindl., the roots were soaked in different concentrations of GA₃ and 6-BA before the peak tillering stage. The results showed that treatments with GA₃ and 6-BA could increase the activities of SOD and POD as well as the contents of soluble protein and soluble sugar. Treatments with 0.5-1.0 mg·L⁻¹ GA₃ and 10 mg·L⁻¹ 6-BA could increase the contents of total alkaloid by 6.7% - 10.1% and 3.4% respectively. Dendrobine content was not susceptible to GA₃ or 6-BA. Results of output analysis showed that treatments with 0.5-1.0 mg·L⁻¹ GA₃ and 10-50 mg·L⁻¹ 6-BA could increase the biological output by 13.3% - 30.7% and 17.3% - 40.0% respectively, the effective tillering rate by 63.2% - 68.9% and 63.1% - 82.1% respectively and GA₃ could markedly enhance the lengthening growth of the stem. The content of endohormone IAA was generally high during May to August and reached the climax in June (4.84 μg·g⁻¹), the bottom in January (2.97 μg·g⁻¹); endohormone ABA reached the climax in January (0.61 μg·g⁻¹). The nutrient solution with 1.0 mg·L⁻¹ GA₃ and 50 mg·L⁻¹ 6-BA obviously increased biological output of *D. nobile* (increased by 38% compared with CK) and the total alkaloid content was increased by 5.6%.

Key words: *Dendrobium nobile* Lindl.; GA₃; 6-BA; growth; alkaloid

金钗石斛(*Dendrobium nobile* Lindl.) 具有重要药用价值^[1]和园艺观赏性, 在中药市场和花卉市场供不应求。金钗石斛自身的生长条件要求严格, 繁殖系数低, 引种驯化困难, 加上人为无限制的大量采收, 野生资源濒于灭绝。采用组织培养的方法, 虽然能获得组培苗^[2], 但其入土栽培成活率极低, 对金钗石斛发育的生理生化机制还缺乏系统深入的研究。通过实验, 已筛选出对金钗石斛生长发育有良好作用效果的植物激素 GA₃ 和 6-BA^[3], 在此基础上, 本文

进一步分析了这 2 类激素对金钗石斛发育过程中生理生化过程、生物量和药用化学成分的影响, 这对深入研究金钗石斛发育的生理生化机制, 建立新型的金钗石斛野生驯化高产模式具有重要意义。

收稿日期: 2003-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(397709037)

作者简介: 陈仕江(1967-), 男, 四川隆昌人, 研究生, 副研究员, 主要从事中药资源的保护与再生及综合利用研究。

1 材料和方法

1.1 材料及处理

1.1.1 浸根处理 金钗石斛苗采自重庆市中药研究院标本园。选取长势基本一致的植株,每30个分枝茎为1小区,按照田间试验设计原理于3月21日(高分蘖期前10d)浸根2 h。 GA_3 设0.1、0.5、1.0和5.0 $mg \cdot L^{-1}$ 4组处理;6-BA设2、10、50和100 $mg \cdot L^{-1}$ 4组处理,清水浸根作对照。重复3次,以锯木屑作栽培基质。

1.1.2 浇根处理 3月22日选取长势基本一致的植株,以500 g锯木屑作栽培基质,定植于木箱中,分别于金钗石斛高生长期的6月5日、6月12日和6月18日连续3次用含有不同浓度 GA_3 和6-BA的激素营养液作浇根处理,处理1含0.5 $mg \cdot L^{-1}$ GA_3 和10 $mg \cdot L^{-1}$ 6-BA;处理2含0.5 $mg \cdot L^{-1}$ GA_3 和50 $mg \cdot L^{-1}$ 6-BA;处理3含1.0 $mg \cdot L^{-1}$ GA_3 和10 $mg \cdot L^{-1}$ 6-BA;处理4含1.0 $mg \cdot L^{-1}$ GA_3 和50 $mg \cdot L^{-1}$ 6-BA;对照不添加任何激素。每小区浇处理液1 L,重复2次。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 生长及生理指标测定 浸根处理后,分别于3月28日、4月4日、4月11日、4月18日和4月25日采样测定下列指标。

增产率与增高率测定:收获后测定鲜重与株高,与收获前的测定值相比较;分蘖率与株芽数测定:收获后统计有效分蘖数与株芽数,分蘖数为有效分蘖数/隐芽数,隐芽数于处理前统计。

可溶性糖含量采用硫酸蒽酮比色法测定^[4];可溶性蛋白质含量根据Lowry^[5]法测定;SOD及POD活性按朱广廉^[6]、白宝璋^[4]方法进行测定;总生物碱含量测定参照王宪楷^[1]、金蓉鸾^[7]、丁亚平^[8]等方法;生物碱薄层层析依照章育中^[9]方法进行。

1.2.2 内源激素含量测定 内源激素高效液相色谱检测参照文献^[10]和^[11]的方法进行;参照沈镇德^[11]等方法制作标准曲线。精密称取 GA_3 、IAA、ABA各1 mg,定容至10 mL,配制成0.1 $mg \cdot mL^{-1}$ 标样溶液。分别取IAA标准液200、400、600、800和1 000 μL ,ABA和 GA_3 标准液各50、75、100、200和400 μL ,定容至1 mL,分别取10 μL 进样测定。

精密称取叶片4份,其中3份分别加入 GA_3 、ABA和IAA标准液,另1份作对照,按上述方法提取和测定,计算其回收率。HPLC检测:流动相为 $V(\text{甲醇}):V(\text{水}):V(2\% \text{乙酸})=30:63:7$ 。检测条件为:进样10 μL ,流速1 $mL \cdot min^{-1}$,检测波长252 nm。

1.3 数据分析

采用SPSS和EXCEL等软件进行数据分析。

2 结果和分析

2.1 外源激素对金钗石斛生长代谢的影响

2.1.1 对酶活性的影响 GA_3 和6-BA浸根处理对金钗石斛叶片SOD和POD活性的影响见表1。

从表1可以看出, GA_3 对SOD活性影响呈规律性变化,随 GA_3 处理浓度升高,SOD活性也相应增加; GA_3 对POD活性影响也有类似规律。6-BA对SOD和POD活性影响则有所不同,4种浓度处理前期(3月28日)SOD和POD活性与CK相比均无差异;后期SOD和POD活性因处理浓度的升高而增加。表明 GA_3 和6-BA处理均能使SOD和POD活性升高,但 GA_3 和6-BA对2种酶的影响又稍有差别。 GA_3 处理后SOD活性高峰出现在4月11日;而6-BA处理后SOD活性高峰出现在4月18日;POD的活性高峰则几乎同步出现。

2.1.2 对可溶性糖含量的影响 可溶性糖是金钗石斛有效化学成分之一,具有增强免疫活性等功能^[12]。 GA_3 和6-BA处理对金钗石斛叶片可溶性糖含量的影响见表2。结果表明:随时间变化,各浓度 GA_3 处理组的可溶性糖含量的变化趋势与CK相似,即在4月4日,可溶性糖含量达到最高,随着时间的推移,可溶性糖含量下降;而在4月4日,0.1 $mg \cdot L^{-1}$ GA_3 处理组的可溶性糖含量达14.7 $mg \cdot g^{-1}$,与CK(15 $mg \cdot g^{-1}$)相比有所下降;而0.5、1.0和5.0 $mg \cdot L^{-1}$ GA_3 处理后,含量分别达到17.2、16.8和18.9 $mg \cdot g^{-1}$,均显著高于对照。6-BA处理后,可溶性糖含量的变化趋势与CK相似,都是在4月4日达最大值,然后下降,其中10和50 $mg \cdot L^{-1}$ 6-BA处理组含量增加最显著,分别为17.4和17.2 $mg \cdot g^{-1}$ 。当6-BA处理浓度大于10 $mg \cdot L^{-1}$ 时,随浓度升高,可溶性糖含量有下降的趋势,这一点与 GA_3 处理组不同。

表1 不同浓度GA₃和6-BA处理对金钗石斛SOD和POD活性的影响Table 1 Effects of different concentration of GA₃ and 6-BA on activities of SOD and POD in *Dendrobium nobile* Lindl.

处理 Treatment	浓度/mg·L ⁻¹ Concentration	不同取样时期 SOD 活性/U·g ⁻¹ ·h ⁻¹ SOD activity in different sampling time					不同取样时期 POD 活性/U·g ⁻¹ ·min ⁻¹ POD activity in different sampling time				
		03-28	04-04	04-11	04-18	04-25	03-28	04-04	04-11	04-18	04-25
GA ₃	0.1	780	1 110	1 360	1 010	990	310	460	380	358	320
	0.5	770	1 360	1 490	1 420	1 060	340	470	395	358	325
	1.0	940	1 360	1 550	1 210	1 060	341	475	425	356	320
	5.0	750	1 700	1 750	1 690	1 600	380	510	475	385	319
	CK	750	1 030	1 100	1 020	950	290	340	350	299	252
6-BA	2	760	890	1 090	1 320	1 180	306	428	371	362	311
	10	750	990	1 190	1 500	1 280	314	443	382	371	312
	50	780	1 120	1 150	1 590	1 250	314	471	462	413	354
	100	790	1 000	1 240	1 650	1 280	315	474	464	442	425
	CK	810	1 180	1 210	1 120	930	312	339	260	317	254

表2 不同浓度GA₃和6-BA处理对金钗石斛可溶性糖和可溶性蛋白质含量的影响Table 2 Effects of different concentration of GA₃ and 6-BA on contents of soluble sugar and soluble protein in *Dendrobium nobile* Lindl.

处理 Treatment	浓度/mg·L ⁻¹ Concentration	不同取样时期可溶性糖含量/mg·g ⁻¹ Content of soluble sugar in different sampling time					不同取样时期可溶性蛋白质含量/mg·g ⁻¹ Content of soluble protein in different sampling time				
		03-28	04-04	04-11	04-18	04-25	03-28	04-04	04-11	04-18	04-25
GA ₃	0.1	10.10	14.70	14.00	12.00	13.55	6.40	6.30	7.10	7.25	6.45
	0.5	10.20	17.20	15.40	14.80	13.70	6.75	6.85	7.50	8.86	7.15
	1.0	10.10	16.80	15.80	14.80	12.20	6.90	7.40	8.15	8.20	6.10
	5.0	10.40	18.90	18.00	13.90	13.55	7.00	8.20	8.25	8.35	7.35
	CK	10.00	15.00	14.00	13.92	13.52	6.60	6.70	6.90	7.01	6.45
6-BA	2	9.20	15.30	14.80	12.50	11.80	6.60	6.70	7.10	7.40	6.70
	10	9.10	17.40	15.30	13.75	12.00	6.90	7.10	7.40	7.60	6.80
	50	9.15	17.20	13.90	13.80	10.80	7.00	7.30	7.40	8.10	7.70
	100	9.14	17.00	12.30	12.10	12.00	7.10	7.20	8.20	8.30	6.85
	CK	9.12	15.00	13.90	13.80	12.00	6.60	6.70	7.05	6.60	6.50

2.1.3 对可溶性蛋白质含量的影响 GA₃和6-BA处理对金钗石斛叶片可溶性蛋白质含量的影响见表2。可以看出:同一浓度GA₃处理组可溶性蛋白质含量随时间的延长出现先升后降的变化趋势;各处理组的可溶性蛋白质含量均在4月18日达最高,其中0.5 mg·g⁻¹处理组达8.86 mg·g⁻¹,远高于其他浓度处理和CK(仅为7.01 mg·g⁻¹)。6-BA各处理组之间变化趋势相同,即随着处理浓度的升高,同一时间内可溶性蛋白质含量也升高;各处理组可溶性蛋白质含量均在4月18日达最高,其中50和100 mg·L⁻¹处理组明显高于CK。

2.1.4 对总生物碱含量的影响 不同浓度GA₃和6-BA处理对金钗石斛总生物碱含量的影响见表3。0.1、0.5和1.0 mg·L⁻¹GA₃处理组的总生物碱含量均显著高于对照,5 mg·L⁻¹GA₃处理组与对照无显著差异,说明低浓度GA₃可以提高金钗石斛总生物碱

含量。用6-BA处理后,除10 mg·L⁻¹处理组外,其他浓度处理组的总生物碱含量与对照均无差异。

表3 不同浓度GA₃和6-BA处理对金钗石斛总生物碱含量的影响(n=3)¹⁾Table 3 Effects of different concentration GA₃ and 6-BA on content of total alkaloid of in *Dendrobium nobile* Lindl. (n=3)¹⁾

GA ₃ 浓度/mg·L ⁻¹ Conc. of GA ₃	总生物 碱含量/% Content of total alkaloid	6-BA 浓度/mg·L ⁻¹ Conc. of 6-BA	总生物 碱含量/% Content of total alkaloid
0.1	0.421 5*	2	0.379 2
0.5	0.413 8*	10	0.401 0*
1.0	0.426 7*	50	0.382 0
5.0	0.384 4	100	0.385 6
0	0.388 2	0	0.388 2

1) *: P<0.05

2.1.5 对石斛碱含量的影响 通过薄层层析共分离出3种物质,比移值(R_f)分别为0.44、0.63和

0.84,通过与石斛碱标准品相对照可知 $R_f = 0.44$ 即为石斛碱。用 GA_3 和 6-BA 处理后,经 TLC 法分离出的石斛碱含量通过观察法粗略定量,发现与对照无差别,这说明 GA_3 和 6-BA 处理对石斛碱含量无影响。

2.1.6 对产量的影响 11月份金钗石斛进入休眠期后即可采收金钗石斛进行产量分析,结果见表4。

表4 不同浓度 GA_3 和 6-BA 处理对金钗石斛产量的影响 ($n=3$)¹⁾
Table 4 Effects of different concentration of GA_3 and 6-BA on yield of *Dendrobium nobile* Lindl. ($n=3$)

处理 Treatment	浓度/ $mg \cdot L^{-1}$ Concentration	增产率 Growing rate	增高率 Height rate	株芽数 Bulbil number	分蘖率 Tillering rate
GA_3	0.1	1.70	1.16	18.3	0.427
	0.5	1.81	1.10	12.7	0.632*
	1.0	1.98	1.21	9.7	0.689*
	5.0	1.72	1.31	15.0	0.401
6-BA	2	1.76	0.99	9.0	0.427
	10	2.05	1.04	4.0	0.821**
	50	9.88	1.02	6.0	0.613*
	100	1.70	1.01	9.0	0.444
CK	0	1.75	1.04	4.0	0.421

¹⁾ *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$

从表中可以看出:不同浓度 6-BA 处理均不同程度促进了金钗石斛的生长,表现出增产效应,其中以 10 和 $50 mg \cdot L^{-1}$ 处理组增产效应最显著,同时,有效分蘖率也显著增加。0.5 和 $1.0 mg \cdot L^{-1}$ GA_3 处理对金钗石斛也有增产效应,且有效分蘖率也显著提高,但不及 6-BA 处理显著。

2种激素对株高的影响存在显著差异,不同浓度 GA_3 处理均促进植株的增高生长,而 6-BA 处理的促进作用不明显。2种激素处理均促进珠芽发生,但以 GA_3 的作用显著,其株芽数远高于对照。

纵向比较珠芽生长与有效分蘖率之间的统计结果会发现:同一浓度处理,珠芽发生多时,有效分蘖率就低,反之,有效分蘖率则高,二者存在很高的负相关性($r = -0.935$)。

2.2 金钗石斛内源激素含量的变化

4-5月份是金钗石斛高分蘖期,6-8月份是高生长期,此后进入缓慢生长期和休眠期^[13]。而内源 IAA 含量以 6月份最高($4.84 \mu g \cdot g^{-1}$),1月份最低,仅为 $3.97 \mu g \cdot g^{-1}$ (见图1);而 ABA 在 5、6月份未能检出,而在 12、1和 2月份中含量很高,分别达到 0.58 、 0.61 和 $0.54 \mu g \cdot g^{-1}$ (图2)。用 HPLC 方法体系未能检出 GA_3 ,可能与 GA_3 含量及稳定性有关。

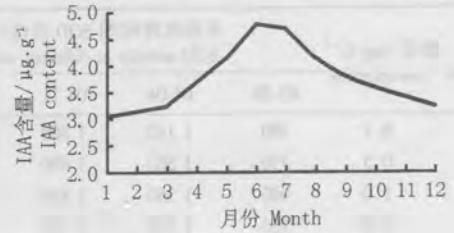


图1 金钗石斛内源 IAA 含量动态变化曲线
Fig. 1 Dynamic changes of content of endohormone IAA in *Dendrobium nobile* Lindl.

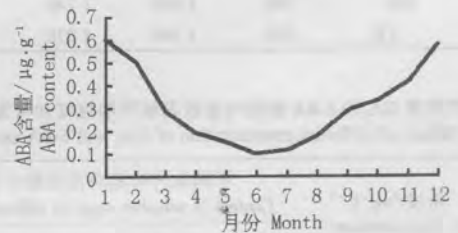


图2 金钗石斛内源 ABA 含量动态变化曲线
Fig. 2 Dynamic changes of content of endohormone ABA in *Dendrobium nobile* Lindl.

2.3 含不同浓度激素的营养液对金钗石斛生长的影响

金钗石斛生长的关键时期包括 4月份的高分蘖期和 6-8月份的高生长期。根据浸根处理的实验结果,选用 GA_3 和 6-BA 配制成 4种不同浓度的激素营养液在金钗石斛高生长期进行处理,结果见表5。含不同浓度 GA_3 和 6-BA 的营养液对金钗石斛均有增产效应,其中含 $1.0 mg \cdot L^{-1}$ GA_3 和 $50 mg \cdot L^{-1}$ 6-BA 的营养液处理比对照增重 141 g,增产 38%;t 测验表明总生物碱含量的差异也达到了显著水平,而其他处理中,总生物碱含量与 CK 差异不显著。

表5 含不同浓度 GA_3 和 6-BA 的营养液对金钗石斛产量和总生物碱含量的影响 ($n=3$)¹⁾
Table 5 Effects of nutrient solution with different concentration of GA_3 and 6-BA on yield and content of total alkaloid in *Dendrobium nobile* Lindl. ($n=3$)¹⁾

激素浓度/ $mg \cdot L^{-1}$ Phytohormone concentration		增重/g Increasing weight	总生物碱含量/% Content of total alkaloid
GA_3	6-BA		
0.5	10	463	0.392
0.5	50	488	0.397
1.0	10	474	0.401
1.0	50	511	0.414*
0.0	0	370	0.392

¹⁾ *: $P < 0.05$

3 讨 论

有研究表明,用GA₃和6-BA处理不同的农作物,均能使SOD、POD活性高于对照^[14,15],推测这可能是植物自身的一种保护性反应。用GA₃处理植物虽能促进植物自身生长,但对植物来说是一种环境的改变,而SOD、POD为植物保护性酶,其活性的升高可以抵制因环境因素的改变而造成的影响。

此外,比较金钗石斛SOD、POD活性出现的高峰期还可发现,SOD活性高峰比POD推迟。无论是GA₃、6-BA处理,还是对照,POD活性高峰均出现在4月4日,而GA₃处理的SOD活性高峰出现在4月11日,6-BA处理则出现在4月18日。王春台^[16]用GA₃和BR处理离体植物叶片,发现CAT与SOD活性变化明显滞后于POD,这与本实验结果相似。

GA₃和6-BA是2种不同类型的植物生长促进型调节物质,它们的生理作用各不相同,因此表现出的生理效应也不相同。6-BA的作用效应是长时间的,它不及GA₃的作用效应迅速^[17],这一点在植物离体叶激素处理实验中表现得尤为明显^[16]。此外,在不同激素作用机理研究模式系统的选择上表现出的差异也说明了这一点^[18]。GA₃的模式研究系统选择禾谷类作物种子的糊粉层,这是基于GA₃处理种子后几小时甚至几分钟就可以检测到酶的变化,如高等电点(pI) α -淀粉酶活性剧烈升高等;相反,6-BA处理植物材料后数小时,甚至2~3d后才能检测到酶等分子的变化,这也正是6-BA作用机理研究过程上模式系统难于选择的原因之一。近年来,有人倾向于选择气孔作6-BA机理研究的模式系统^[18]。本实验研究中出现的GA₃处理的SOD活性高峰先于6-BA处理出现,推测与6-BA的作用效应滞后于GA₃有关。

4月份为石斛属植物的分蘖期^[13],在此段时期内,植株完成分蘖需消耗大量的营养,也包括能量的供给。本研究中可溶性糖含量在高分蘖期前期(4月4日)大量积累,推测可能是为金钗石斛进入高分蘖状态提供充足的能源。

经GA₃和6-BA处理后,金钗石斛可溶性蛋白质含量升高,表明GA₃和6-BA处理后植株核酸代谢旺盛,在不同水平上表现出相应的效应,即GA₃和6-BA

直接或间接诱导相关基因表达,表现在翻译水平上则呈蛋白质的大量合成,形态水平上植物生长受促进而长高或生物产量增加等。

生物碱为金钗石斛次生代谢产物,它是中药材中众多有效化学成分之一,其药理作用甚为广泛。GA₃和6-BA处理使金钗石斛总生物碱积累增加,在某种程度上提高了其药用价值。

参考文献:

- [1] 王宪楷,赵同芳.石斛属植物的化学成分与中药石斛[J].药学通报,1986,21(11):666-669.
- [2] 曾宋君,程式君.石斛的试管苗快速繁殖[J].中药材,1996,19(10):490-491.
- [3] 夏鸿西,朱利泉,张明,等.植物生长调节剂对石斛生长的影响[J].园艺学报,1999,26(4):275-276.
- [4] 白宝璋,汤学军.植物生理学测试技术[M].北京:中国科学技术出版社,1994.
- [5] Lowry D H. Protein measurement with folin phenol reagent[J]. Journal of Biological Chemistry, 1951,193:267-275.
- [6] 朱广廉.植物生理学实验[M].北京:北京大学出版社,1990.
- [7] 金蓉鸾,孙继军,张远名.11种石斛的总生物碱的测定[J].南京药学院学报,1981(1):9-13.
- [8] 丁亚平,杨道麒,吴庆生,等.安徽霍山三种石斛总生物碱的测定及其分布规律研究[J].安徽农业大学学报,1994,21(4):503-506.
- [9] 章育中.薄层层析法和薄层扫描法[M].北京:中国医学科学技术出版社,1990.
- [10] 陈雪梅,王沙生.HPLC法定量分析植物组织中ABA,IAA和NAA[J].植物生理学通讯,1992,28(5):368-371.
- [11] 沈镇德,蒋浩波.赤霉素的气相色谱和高效液相色谱分析技术[J].植物生理学通讯,1992,28(4):290-293.
- [12] 蔡体育,刘庆伦,李端.石斛多糖对T细胞巨噬细胞活性的影响[J].中华肿瘤杂志,1989,10(2):66-67.
- [13] 中国医学科学院药用植物资源研究所.中国药用植物栽培学[M].北京:农业出版社,1991.1012-1069.
- [14] 董龙英,颜季琼.6-BA、甘露醇对黄瓜子叶细胞扩大生长和细胞壁酶活性的影响[J].植物生理学通讯,1992,28(1):47-50.
- [15] 史国安,郭香凤,张益民,等.GA₃和乙烯利对杏果实采后活性氧代谢的影响[J].园艺学报,1997,24(11):87-88.
- [16] 王春台,刘学群,徐同.GA₃和BR对离体苧麻叶片中过氧化氢酶和过氧化物酶的影响及其与超氧化物歧化酶的关系[J].植物生理学通讯,1996,32(6):413-416.
- [17] 许智宏,刘春明.植物发育的分子机理[M].北京:科学出版社,1998.
- [18] 余叔文,汤章成.植物生理学与分子生物学[M].北京:科学技术出版社,1998.