

## 矮化大豆突变体的 GA<sub>3</sub> 调控

张 达,王军虹,王豫颖,苍 晶,郝再彬

(东北农业大学生命科学学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:**矮化是一种优良的农艺性状,因其可改善种植密度,提高光能利用率,近些年引起广泛重视。用 NaN<sub>3</sub>处理大豆品种“东农 42”获得了矮化突变体“东泽 11 号”,以“东农 42”为野生型和该突变体为材料,从外源激素处理和内源激素含量测定两方面探讨了 GA<sub>3</sub>对矮化突变体的调控,期望为大豆矮化机理的揭示提供依据。结果表明:外源喷施 GA<sub>3</sub>可明显促进突变体茎伸长,且随着处理时间的延长,GA<sub>3</sub>对突变体的节间伸长影响愈来愈明显;不同浓度相比,0.60 mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>促长作用最显著。外源 GA<sub>3</sub>对突变体幼茎切段的促长作用最显著的浓度为 2.9 × 10<sup>-4</sup> mmol·L<sup>-1</sup>,表明突变体内源 GA<sub>3</sub>含量低,且 12 h 处理最显著。ELISA 检测植物体内 GA<sub>3</sub>含量显示,植物体内 GA<sub>3</sub>含量不同生育期都表现出突变体小于野生型,表明突变体节间缩短可能与其体内 GA<sub>3</sub>含量低有关。

**关键词:**大豆;矮化突变体;GA<sub>3</sub>;ELISA

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)03-0456-05

## GA<sub>3</sub> Regulation in the Dwarfing Mutant Soybean

ZHANG Da, WANG Jun-hong, WANG Yu-ying, CANG Jing, HAO Zai-bin

(Life Science College of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Dwarf, an excellent agronomic character, was thought to play important roles in improving the growing density and enhancing the photosynthesis efficiency. The dwarf mutant Dongze 11 was obtained from Dongnong 42 induced by chemical NaN<sub>3</sub>. Through the exogenous GA<sub>3</sub> application and endogenesis GA<sub>3</sub> content measurement, Dongze 11 and Dongnong 42 were used as research materials to study into how GA<sub>3</sub> phytohormone worked in the dwarf mutant. The results indicated that the exogenous GA<sub>3</sub> could apparently promote the stem elongation of the dwarf mutant, and this effect became more significant with treating time accumulated. Among different concentrations of GA<sub>3</sub>, 0.6 mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> performed especially well. The application of 2.9 × 10<sup>-4</sup> mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> had obvious effect on elongation of young stem in vivo, implying that the endogenesis GA<sub>3</sub> content in mutant was very low, and in this assay, the treatment of 12 hours was most effective. Endogenesis GA<sub>3</sub> contents during different growth stage was determined by ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay), and results showed that the mutant had lower GA<sub>3</sub> level than the wild plant, suggesting the shortened stem in mutant should related with the lower GA<sub>3</sub> content.

**Key words:** Soybean; Dwarf mutant; GA<sub>3</sub>; ELISA

矮化是一种重要的农艺性状,因其可改善种植密度、提高产量近些年引起广泛重视。早在 1939 年 Wiggams 提出了“方型”栽培理论,1967 年美国学者 Cooper 博士开始了“大豆的最高产量”的研究,1973 年发表了以矮化品种窄行密植为核心的大豆半矮化密植栽培模式(Solid Seeded Semi-dwarf System),即“SSS”系统,提出通过种植生育期适宜、增产潜力

高、抗病抗倒伏的半矮化或矮化大豆品种,增加密度、缩小行距、增大株距的窄行密植栽培方法。该技术的关键一是 40~60cm 高的矮化品种的应用<sup>[1]</sup>。

植物矮化总体上是由于茎不能正常伸长引起的,研究表明,许多植物矮化突变与 GA 和 BR 有关,少数植物矮化突变与 IAA 有关,有一些植物矮化突变是某些同源异形盒成员基因的不正常表达

收稿日期:2008-01-21

基金项目:国家高技术研究发展计划“863 计划”资助项目(2003AA207060-5);黑龙江省科技攻关资助项目(PC05S107);东北农业大学科学研究基金资助。

作者简介:张达(1977-),女,讲师,博士,主要从事植物生理生化研究。Tel:0451-55190002;E-mail:zhangda77\_@163.com。

通讯作者:郝再彬,教授,博士。Tel:0451-55190002;E-mail:haozaibin610@126.com。

所致<sup>[2]</sup>。

植物激素矮化突变体可分为两类:缺陷型和不敏感型。激素缺陷型矮化突变体是活性激素的生物合成途径被抑制或阻断,使得植物体内源活性激素缺乏,矮化表型的突变体外施相应的活性激素后可恢复野生型表型。激素不敏感型矮化突变体,其内源活性激素水平变化不大,甚至比野生型的还高,可能是激素的信号吸收或传递出现障碍。这种矮化表型的突变体在外施相应的活性激素后不能恢复野生型表型。植物激素矮化突变体有时很难归类,因为GA、BR、IAA这三种激素间可能存在某些相互作用,如豌豆矮化突变体lkb,既可归为GA不敏感型,又可归为IAA缺陷型<sup>[3]</sup>。

以矮化大豆突变体M<sub>8</sub>和其野生型为材料,突变体由NaN<sub>3</sub>处理东农42获得<sup>[4]</sup>,从外源激素处理和内源激素含量测定两方面探讨了矮化大豆突变体的GA<sub>3</sub>调控,期望为大豆矮化机理的研究、实现大豆的矮化密植提高产量提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

野生型大豆东农42及其矮化突变体东泽11。

### 1.2 外源GA<sub>3</sub>处理试验

将种子播种于土盆中,当植株长出第一对真叶约8cm时,进行幼茎切段和外源喷施试验。

#### 1.2.1 外源GA<sub>3</sub>对大豆幼茎切段伸长作用的影响

取第一对真叶下1cm幼茎切段置于小培养皿中,配制GA<sub>3</sub>浓度梯度 $2.9 \times 10^{-4}$ 、 $2.9 \times 10^{-5}$ 、 $2.9 \times 10^{-6}$ 、 $2.9 \times 10^{-7}$ 、 $2.9 \times 10^{-8}$ 、 $2.9 \times 10^{-9}$ 、 $2.9 \times 10^{-10}$  mmol·L<sup>-1</sup>,以双蒸水做对照,对大豆幼茎切段进行处理,调查处理6h、12h、24h后幼茎切段的伸长效果,以螺旋测微尺测定,处理与对照的差值为处理伸长的效果。每材料每处理3次重复。

1.2.2 外源GA<sub>3</sub>喷施对大豆株高的影响 当植株长出第一对真叶约8cm时,对整株进行外源激素喷施。设置0、0.15、0.3、0.6、1.2 mmol·L<sup>-1</sup> 5个GA<sub>3</sub>浓度梯度,在早9~10点前或下午4~5点后喷施(避开雨天和风天),每次50 mL,共喷施3次,间隔1h。每材料每处理重复3次,每盆8~10株。喷施后1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、15 d分别进行株高测定。

### 1.3 大豆内源GA<sub>3</sub>含量测定

2006年5月将种子播种于实验地,待生长到分

枝期起,分始花期、盛花期、结荚期、鼓粒期进行阶段性取材(取材时,取顶芽下第一片三出复叶,混匀后取样)。材料用液氮处理15 min, -70℃保存,待测。GA<sub>3</sub>激素测定采用ELISA(酶联免疫)试剂盒方法,试剂盒购自中国农业大学,每样品重复3次。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源GA<sub>3</sub>处理对大豆幼茎切段及株高伸长作用的影响

#### 2.1.1 外源GA<sub>3</sub>对大豆幼茎切段伸长作用的影响

表1所示外源GA<sub>3</sub>对大豆幼茎切段的影响。从表中可见外源GA<sub>3</sub>对突变体和野生型均具有促长作用,不同浓度相比, $2.9 \times 10^{-4}$  mmol·L<sup>-1</sup>浓度GA<sub>3</sub>对突变体促长作用最显著,不同处理时间相比,处理12h作用最显著。促进节间伸长是GA<sub>3</sub>主要的生理作用之一,但激素的作用大多表现出低浓度促进生长,高浓度抑制生长。当浓度为 $2.9 \times 10^{-4}$  mmol·L<sup>-1</sup>时GA<sub>3</sub>对突变体的促长效果显著于对野生型的促长效果,浓度小于 $2.9 \times 10^{-4}$  mmol·L<sup>-1</sup>时GA<sub>3</sub>对突变体的促长效果弱于对野生型的促长效果,暗示

表1 GA<sub>3</sub>对突变体和野生型幼茎切段的影响

Table 1 Effect of GA<sub>3</sub> on young stem section of wild type and mutant soybean

处理时间 Treatment time/h	处理浓度 Concentrations /mmol·L <sup>-1</sup>	幼茎切段长度 Length of young stem section/cm	
		野生型 Wild type	突变体 Mutant
6	$2.9 \times 10^{-4}$	0.039	0.097
	$2.9 \times 10^{-5}$	0.035	0.031
	$2.9 \times 10^{-6}$	0.025	0.021
	$2.9 \times 10^{-7}$	0.046	0.015
	$2.9 \times 10^{-8}$	0.009	0.021
	$2.9 \times 10^{-9}$	0.005	0.023
	$2.9 \times 10^{-10}$	0.033	0.001
	$2.9 \times 10^{-4}$	0.036	0.114
	$2.9 \times 10^{-5}$	0.063	0.031
	$2.9 \times 10^{-6}$	0.052	0.041
12	$2.9 \times 10^{-7}$	0.045	0.012
	$2.9 \times 10^{-8}$	0.017	-0.007
	$2.9 \times 10^{-9}$	0.001	0.002
	$2.9 \times 10^{-10}$	0.033	-0.017
	$2.9 \times 10^{-4}$	-0.017	0.103
	$2.9 \times 10^{-5}$	-0.003	0.041
	$2.9 \times 10^{-6}$	-0.020	0.027
	$2.9 \times 10^{-7}$	0.026	0.042
24	$2.9 \times 10^{-8}$	0.065	0.035
	$2.9 \times 10^{-9}$	0.012	0.028
	$2.9 \times 10^{-10}$	0.013	0.001

突变体内源 GA<sub>3</sub> 含量低,外源施加高浓度 GA<sub>3</sub> 时可部分恢复其生理作用;而野生型内源 GA<sub>3</sub> 含量高,外源施加高浓度的 GA<sub>3</sub>, 促长效果弱,处理 24 h 时甚至表现出抑制伸长生长。

2.1.2 外源 GA<sub>3</sub> 喷施对大豆株高的影响 外源 GA<sub>3</sub> 喷施对突变体和野生型大豆茎伸长的影响见表

2。从中可见,随着处理时间的延长,GA<sub>3</sub> 对突变体和野生型的节间伸长影响愈来愈明显。不同浓度相比,0.6 mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> 对突变体的促长作用最显著,0.3 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的促长作用大于 1.2 mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> 的促长作用。外源 GA<sub>3</sub> 能够促进突变体的茎伸长,暗示此突变体可能是 GA<sub>3</sub> 合成缺陷型。

表 2 GA<sub>3</sub> 对突变体和野生型株高的影响

Table 2 Effect of GA<sub>3</sub> on plant height in mutant and wild type soybean

处理天数 Treatment time/d	GA <sub>3</sub> 浓度 GA <sub>3</sub> concentration/ mmol·L <sup>-1</sup>	株高 Plant height/cm		处理天数 Treatment time/d	GA <sub>3</sub> 浓度 GA <sub>3</sub> concentration/ mmol·L <sup>-1</sup>	株高 Plant height/cm	
		野生型 Wild type	突变体 Mutant			野生型 Wild type	突变体 Mutant
1	0	11.888 ± 0.633	13.267 ± 0.418	7	0	24.888 ± 1.353	21.400 ± 1.314
	0.15	12.225 ± 0.861	14.113 ± 0.951		0.15	38.129 ± 2.342	38.150 ± 2.314
	0.30	12.600 ± 0.366	12.975 ± 0.767		0.30	43.338 ± 2.356	42.200 ± 1.624
	0.60	13.388 ± 0.666	12.550 ± 0.396		0.60	45.867 ± 0.882	43.071 ± 0.867
	1.20	13.388 ± 0.992	11.850 ± 0.828		1.20	45.100 ± 1.238	35.629 ± 2.211
2	0	15.088 ± 0.645	15.167 ± 0.450	8	0	25.314 ± 1.148	21.583 ± 1.341
	0.15	16.350 ± 1.047	17.600 ± 0.983		0.15	40.014 ± 2.261	42.217 ± 2.953
	0.30	16.413 ± 0.464	16.813 ± 0.978		0.30	47.663 ± 2.656	45.017 ± 2.035
	0.60	17.500 ± 0.826	16.163 ± 0.655		0.60	52.050 ± 1.636	47.757 ± 1.119
	1.20	17.050 ± 0.983	14.800 ± 0.975		1.20	51.738 ± 2.609	39.571 ± 2.127
3	0	18.463 ± 0.863	17.529 ± 0.624	9	0	25.650 ± 1.986	22.617 ± 1.396
	0.15	21.088 ± 1.352	21.000 ± 1.594		0.15	43.538 ± 3.183	44.825 ± 2.987
	0.30	21.613 ± 0.683	20.788 ± 1.560		0.30	52.613 ± 3.640	49.213 ± 3.613
	0.60	21.938 ± 0.842	20.075 ± 0.417		0.60	60.117 ± 4.621	53.229 ± 1.134
	1.20	21.063 ± 1.115	17.850 ± 1.575		1.20	45.029 ± 1.897	45.029 ± 1.897
4	0	20.175 ± 1.069	19.100 ± 1.291	10	0	27.238 ± 1.887	23.200 ± 1.523
	0.15	25.900 ± 1.053	25.175 ± 2.491		0.15	46.557 ± 2.675	47.383 ± 3.897
	0.30	26.075 ± 0.698	25.575 ± 1.830		0.30	56.757 ± 2.165	51.938 ± 4.173
	0.60	27.400 ± 0.875	25.113 ± 0.925		0.60	62.467 ± 3.226	57.171 ± 1.961
	1.20	26.238 ± 0.852	22.538 ± 2.558		1.20	63.513 ± 3.222	49.643 ± 2.749
5	0	22.300 ± 1.412	19.614 ± 1.258	15	0	31.525 ± 1.622	26.467 ± 1.703
	0.15	31.213 ± 1.82	28.688 ± 3.471		0.15	49.463 ± 3.566	50.100 ± 6.189
	0.30	31.963 ± 0.793	30.888 ± 2.544		0.30	61.829 ± 3.048	55.343 ± 2.287
	0.60	32.871 ± 1.409	30.525 ± 0.835		0.60	70.850 ± 4.911	64.043 ± 2.287
	1.20	32.138 ± 1.540	26.138 ± 2.889		1.20	74.075 ± 3.205	57.500 ± 3.717
6	0	23.425 ± 1.9100	19.886 ± 1.576				
	0.15	34.013 ± 1.807	33.788 ± 4.635				
	0.30	38.488 ± 1.576	36.400 ± 2.688				
	0.60	40.267 ± 0.829	37.813 ± 0.966				
	1.20	39.713 ± 1.574	30.313 ± 3.437				

## 2.2 大豆内源 GA<sub>3</sub> 含量的比较

从图 1 可见,野生型不同生育期 GA<sub>3</sub> 含量表现出先增加后减小再增加的趋势,突变体的 GA<sub>3</sub> 含量变化不显著。突变体的 GA<sub>3</sub> 含量远小于野生型,表明突变体节间缩短可能与其体内 GA<sub>3</sub> 含量合成缺陷有关。

## 3 讨论

矮化总体上表现出茎的伸长生长受到抑制。当植株由高秆变矮秆,或由矮秆突变成高秆时,研究者往往通过测试其茎秆或叶片内的激素含量来探索茎突变的机理,这种经典的研究方法经常是有效的。

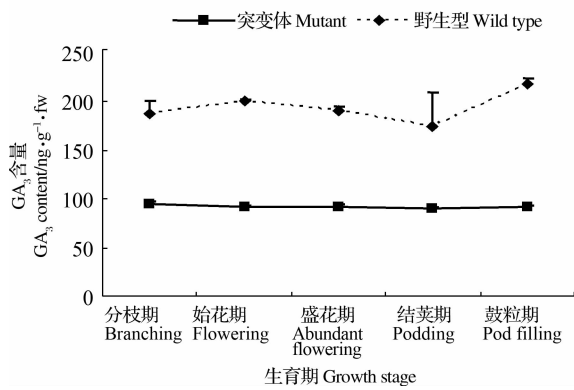


图1 不同生育期突变体和野生型 GA<sub>3</sub>含量的变化  
Fig. 1 Change of GA<sub>3</sub> content in mutant and wild type during different growing periods

小麦<sup>[5]</sup>、水稻<sup>[6]</sup>的研究揭示,植株矮化主要是 GA 缺乏,或者是 GA 信号转导过程中出现障碍所致。对水稻、玉米、豌豆及拟南芥等多种植物 GA 合成阻遏型(反应敏感型)矮化突变体的研究,证实 GA<sub>1</sub> 为茎秆伸长生长的主控因子,GA<sub>3</sub> 因与 GA<sub>1</sub> 的结构极其类似或可转化为 GA<sub>1</sub>,因而也可显著促进一些植物节间的伸长生长<sup>[7]</sup>。用 ELISA 测定内源 GA<sub>3</sub> 发现:植物体内 GA<sub>3</sub> 含量不同生育期都表现出突变体小于野生型,表明突变体节间缩短可能与其体内 GA<sub>3</sub> 含量低有关,可能是 GA 合成缺陷引起矮化。矮化大豆突变体的 GA<sub>3</sub> 含量低于野生型,这与对矮生油菜<sup>[8]</sup>、水稻<sup>[8-9]</sup>、杉木<sup>[10]</sup>、烟草<sup>[11]</sup> 的结果相一致。研究油菜 (*Brassica rapa*) 茎部 GA (GA<sub>1</sub> 与 GA<sub>3</sub> 的平均含量) 与节间伸长的关系发现,矮化品系只有正常品系的 36%,但过长品系茎部 GA 含量是正常品系的 3 倍,表明这种矮化与茎部 GA 含量低有关。Murakami 等报道了水稻矮化型品种的内源 GA 类物质低于高秆品种,认为是矮化品种内源 GA 类物质的生物合成受阻所致<sup>[8]</sup>。汤日圣等<sup>[9]</sup> 研究矮源水稻发现矮秆品种的 GA 类物质只有高秆品种的 70%~80%。黄华宏等<sup>[10]</sup> 发现矮生型杉木叶片中未检测到 GA<sub>3</sub>,结合 IAA 含量仅为正常个体的 1/40~1/10,而 ABA、ZT 和 ZR 的含量在突变体与野生型个体间差异不大,初步认为该突变株可能是由于 GA 合成缺陷引起。杨铁钊等<sup>[11]</sup> 研究发现烟草矮秆基因型的茎尖内源 GA<sub>3</sub> 含量始终低于中、高秆基因型。研究推断该矮化大豆突变体与 GA<sub>3</sub> 代谢异常有关,但也有报道显示<sup>[12]</sup> 含 *sd<sub>5</sub>* 矮化基因的水稻内源 GA 类物质的含量并不低。所以该矮化大豆突变体是否完全因 GA 代谢差异所致,是否存在其他激素的交

互作用,尚需进一步研究。

激素缺陷型矮化突变体是活性激素的生物合成途径被抑制或阻断,使得植物体内源活性激素缺乏,当外施相应的活性激素后可恢复野生型表型。杨铁钊等<sup>[11]</sup> 发现外源 GA<sub>3</sub> 和 IAA 均能促进矮秆烟草茎的伸长,且 GA<sub>3</sub> 作用大于 IAA,推测 IAA 对 GA<sub>3</sub> 来说其调节作用可能是辅助性的。谷福林<sup>[13]</sup> 指出绝大多数矮秆水稻植株体内源 GA 含量极少,当用外源 GA<sub>3</sub> 重复处理,这些矮秆植株将生长成为正常株高的植株。徐建龙和宋平<sup>[14-15]</sup> 也发现, Tanginbozu (*d35*) 内源 GA 含量少,当从秧苗开始用外源 GA<sub>3</sub> 每 7 d 处理 1 次后,其植株的大小与正常植株相同。研究发现,外源喷施 GA<sub>3</sub> 可明显促进突变体茎伸长,且随着处理时间的延长,GA<sub>3</sub> 对突变体的节间伸长影响愈来愈明显,结合该矮化突变体内源 GA<sub>3</sub> 含量显著低于野生型,推断该矮化突变体可能是为 GA 合成缺陷型突变体。外源激素促进茎伸长的机制,在水稻中表明与外源 GA 激活水稻体内的 GA 受体蛋白,促使其细胞再次发生分裂、使细胞拉长,从而使水稻的茎秆继续生长、突破叶鞘对其限制<sup>[16-17]</sup> 有关。用不同浓度外源 GA<sub>3</sub> 喷施处理,发现 0.60 mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> 促长作用最显著,这与虞慧芳<sup>[18]</sup> 在研究 GA<sub>3</sub> 诱导无蔓南瓜蔓伸长时发现,在 0.15~1.20 mmol·L<sup>-1</sup> 的 GA<sub>3</sub> 浓度范围内,无蔓南瓜的蔓随着 GA<sub>3</sub> 浓度的升高而伸长;浓度越高,蔓伸长越明显相一致。研究发现 GA<sub>3</sub> 对突变体幼茎切段的促长作用最显著的浓度为 2.9 × 10<sup>-4</sup> mmol·L<sup>-1</sup>,暗示突变体内源 GA<sub>3</sub> 含量低,外源施加高浓度 GA<sub>3</sub> 时可部分恢复其生理作用,这与陈金桂<sup>[19]</sup> 用 0.1 μmol·L<sup>-1</sup> 左右的 GA 可显著促进谷子中胚轴的伸长结果相似。

#### 4 结论

外源喷施 GA<sub>3</sub> 可明显促进突变体茎伸长,且随着处理时间的延长,GA<sub>3</sub> 对突变体的节间伸长影响愈来愈明显,不同浓度相比下,0.60 mmol·L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> 促长作用最显著。GA<sub>3</sub> 对突变体幼茎切段的促长作用最显著的浓度为 2.9 × 10<sup>-4</sup> mmol·L<sup>-1</sup>,暗示突变体内源 GA<sub>3</sub> 含量低,且 12 h 处理最显著。其它激素的作用效果不如 GA<sub>3</sub> 明显(相关数据未给出),说明此突变体可能是 GA 合成缺陷型。

ELISA 检测植物体内激素含量显示:植物体内 GA<sub>3</sub> 含量不同生育期都表现出突变体小于野生型,

表明突变体节间缩短可能与其体内 GA<sub>3</sub> 含量低有关。

### 参考文献

- [1] 刘忠堂. 大豆窄行密植高产栽培技术的研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(2): 117-122. (Liu Z T. Study on technology for high yield of solid-seeded soybean [J]. Soybean Science, 2002, 21(2): 117-122.)
- [2] 虞慧芳, 曹家树, 王永勤. 植物矮化突变体的激素调控[J]. 生命科学, 2002, 14(2): 85-88. (Yu H F, Cao J S, Wang Y Q. Hormones regulation in plant dwarfing mutants [J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2002, 14(2): 85-88.)
- [3] Yang T, Davies P J, Reid J B. Genetic dissection of the relative roles of auxin and gibberellin in the regulation of stem elongation in intact light-grown peas [J]. Plant Physiology, 1996, 110(3): 1029-1034.
- [4] 郝再彬, 吴东岚. 矮秆大豆突变体的获得[J]. 核农学报, 2004, 18(3): 204-206. (Hao Z B, Wu D L. Obtaining of soybean dwarf mutant [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2004, 18(3): 204-206.)
- [5] Börner A, Plaschke J, Korzun V, et al. The relationships between the dwarfing genes of wheat and rye [J]. Euphytica, 1996, 89(1): 69-75.
- [6] Itoh H, Ueguchi-Tanaka M, Sentoku N, et al. Cloning and functional analysis of two gibberellin 3 $\beta$ -hydroxylase genes that are differently expressed during the growth of rice [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2001, 98(15): 8909-8914.
- [7] 陈金桂, 张玉宗, 周燮. 赤霉素反应敏感型和不敏感型谷子矮秆突变体的鉴定[J]. 华北农学报, 1998, 12(1): 46-52. (Chen J G, Zhang Y Z, Zhou X. Characterization of gibberellin responding and non responding dwarf mutants in Foxtail Millet [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1998, 12(1): 46-52.)
- [8] 李宗霆, 周燮. 植物激素及其免疫检测技术[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 158-206. (Li Z T, Zhou X. Plant hormones and their immunological detection techniques [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1996: 158-206.)
- [9] 汤日圣, 张远海, 张金渝, 等. 矮秆基因对水稻性状控制的机理探讨[J]. 中国农业科学, 1991, 24(2): 51-56. (Tang R S, Zhang Y H, Zhang J Y, et al. The mechanism of dwarf-gene regulation on rice characters [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1991, 24(2): 51-56.)
- [10] 黄华宏, 童再康, 朱玉球, 等. 矮化杉木蛋白质组的差异凝胶电泳分析[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(3): 265-269. (Huang H H, Tong Z K, Zhu Y Q, et al. Proteome study of dwarf mutant in *Cunninghamia lanceolata* by 2D-DIGE [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2006, 23(3): 265-269.)
- [11] 杨铁钊, 杨欣玲, 殷全玉, 等. 烟草株高变异体的茎尖内源激素含量变化及其对外源激素的响应[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(4): 643-647. (Yang T Z, Yang X L, Yin Q Y, et al. Changes in endogenous hormone contents in shoot-tip of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes with different plant height and response to the exogenous hormones [J]. Plant Physiology Communications, 2006, 42(4): 643-647.)
- [12] 徐建龙, 张金渝. 半矮秆水稻内源 GA 与 IAA 和 ABA 的含量[J]. 浙江大学学报, 1992, 18(3): 49-52. (Xu J L, Zhang J Y. Contents of endogenous GA, IAA and ABA in semidwarf rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of Zhejiang University, 1992, 18(3): 49-52.)
- [13] 谷福林, 翟虎渠, 万建民, 等. 水稻矮秆性状研究及矮源育种利用[J]. 江苏农业学报, 2003, 19(1): 48-54. (Gu F L, Zhai H Q, Wan J M, et al. Study on inheritance of dwarf character and its utilization in rice (*Oryza sativa* L.) breeding [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2003, 19(1): 48-54.)
- [14] 徐建龙, 申宗坦, 林贻滋. 水稻品种对赤霉酸反应的遗传[J]. 浙江农业学报, 1989, 1(2): 91-93. (Xu J L, Shen Z T, Lin Y Z. Genetic analysis on response of rice varieties to gibberellic acid [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1989, 1(2): 91-93.)
- [15] 宋平, 曹显祖, 吴永宏, 等. 水稻矮秆基因对 GA<sub>3</sub> 敏感性的酶学基础. 江苏农学院学报[J]. 1994, 15(4): 10-13. (Song P, Cao X Z, Wu Y H, et al. Enzymology-eases for different sensitivity to GA<sub>3</sub> of semidwarf genes in rice [J]. Journal of Jiangsu Agricultural College, 1994, 15(4): 10-13.)
- [16] 何祖华, 申宗坦. 水稻长节间基因对 GA<sub>3</sub> 敏感性和不育系改良[J]. 作物学报, 1994, 20(2): 161-167. (He Z H, Shen Z T. Sensitivity of elongated internode gene to GA<sub>3</sub> and improvement of MS line in rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 1994, 20(2): 161-167.)
- [17] 莫肖蓉, 董海涛, 吴玉良, 等. 受 GA<sub>3</sub> 诱导的一个水稻伸长相关基因的初步鉴定[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(1): 1-5. (Mo X R, Dong H T, Wu Y L, et al. Isolation and cloning of a candidate elongation related gene in rice induced by GA<sub>3</sub> [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2000, 14(1): 1-5.)
- [18] 虞慧芳. 赤霉素诱导无蔓南瓜蔓伸长生理和分子生物学机制的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 26-27. (Yu H F. Studies on the physiological and molecular mechanism of vine-elongation induced by GA in cucurbita moschata [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005: 26-27.)
- [19] 陈金桂, 张玉宗, 周燮. 赤霉素和脱落酸对谷子黄化幼苗中胚轴伸长生长的调节[J]. 南京农业大学学报, 1997, 20(1): 13-17. (Chen J G, Zhang Y Z, Zhou X. Regulation of foxtail millet mesocotyl growth by gibberellins and abscisic acid in etiolated seedlings [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1997, 20(1): 13-17.)