

矮秆棉品种陆矮 1 号株高对外源激素的响应研究

刘爱玉¹, 陈金湘^{1*}, 李瑞莲¹, 易九红^{1,2}, 冯正锐¹

(1. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2. 湖南省农业科学研究院作物研究所, 长沙 410128)

摘要: 通过蕾期和花铃期喷施不同浓度的激素, 研究了陆地棉矮秆品种陆矮 1 号对外源激素的敏感性。结果表明: 陆矮 1 号较对照品种对外源激素反应更为敏感, 各种浓度的 GA₃ 均能显著和极显著地促进陆矮 1 号的株高增长, 以 100 mg·L⁻¹ 和 150 mg·L⁻¹ 浓度处理效果最为显著, 对陆矮 1 号株高的促进率分别达到 100.70% 和 59.15%, 对 TM-1 的株高促进率分别为 27.51% 和 27.88%; ABA 显著抑制陆矮 1 号株高增长, 浓度越高抑制作用越强, 40 mg·L⁻¹ 时促进率为 -31.03%; 低浓度 (20 mg·L⁻¹) 的 IAA 处理能极显著地促进陆矮 1 号株高的增长, 高浓度处理则表现抑制作用; 高浓度 KT 处理显著抑制陆矮 1 号株高增长, 低浓度处理有促进作用但不显著; 4 种激素混合喷施对陆矮 1 号株高的促进作用表现出拮抗效应, 促进率远低于 GA₃ 单独喷施。

关键词: 陆地棉; 陆矮 1 号; 株高; 外源激素; 敏感性

中图分类号: S562.01 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2010)03-0248-06

Response of Plant Height to the Exogenous Hormones of Dwarf Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Lu-ai No.1

LIU Ai-yu¹, CHEN Jin-xiang^{1*}, LI Rui-lian¹, YI Jiu-hong^{1,2}, FENG Zheng-rui¹

(1. Agronomy college, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Crop research institute, Hunan Agriculture Scientific Academy, Changsha 410128, China)

Abstract: The study was undertaken to assess the sensitivity of plant height of Dwarf cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Lu-ai No.1 to ectohormone through spraying different concentrations of hormones at the budding stage and flower-boll stage. The results showed that: Lu-ai No.1 was more sensitive to the exogenous hormones than the CK, various concentrations of GA₃ can promote plant height of Lu-ai No.1 significantly, especially under 100 mg·L⁻¹ and 150 mg·L⁻¹ concentration, the promoting rate of 100.70% and 59.15% for Lu-ai No.1, while 27.51% and 27.88% for TM-1 (CK), respectively. ABA significantly inhibited the plant height of Lu-ai No.1, the higher concentration, the stronger inhibition, the promotion rate was -31.03% under 40 mg·L⁻¹. Lower concentration (20 mg·L⁻¹) of the IAA treatment can significantly promote the plant height of dwarf Lu-ai No.1 and reverse under higher concentrations; higher concentration of KT treatment significantly inhibited the plant height of Lu-ai No.1, but lower concentrations indistinctively promoted. Mixed spraying with four kinds of hormones showed up antagonistic effect on promoting plant height of Lu-ai No.1, with much lower promoting rate than that of GA₃ treatment alone.

Key words: Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.); Lu-ai No.1; plant height; ectohormones; sensibility

植物矮化多与激素有关, 有激素缺陷型和敏感型两种。一般激素缺陷型矮化植物体内源激素较低, 外施相应的活性激素后可恢复野生型表型; 激素不敏感型矮化植株内源活性激素水平变化不大, 甚至比野生型的还高, 外施相应的活性激素后不能恢复野生型表型^[1-2]。关于棉花矮秆性

状与激素关系的研究较少。陈旭升^[3]报道极度矮化的陆地棉突变体 C119-2 出苗后, 株高基本不再增长, 经 GA₃ 处理后植株出现明显增高现象。

湖南农业大学棉花研究所利用从国外引进的种质资源, 选育出结铃性好, 纤维品质优, 抗病性强的矮秆品种陆矮 1 号, 在长沙地区种植苗期

收稿日期: 2009-11-18 **作者简介:** 刘爱玉 (1965-), 女, 教授, 博士, lay8155@163.com; * 通讯作者

基金项目: 湖南省自然科学基金 (06JJ2051, 08JJ3079); 湖南农业大学稳定人才基金 (09WD19)

与正常高秆品种无差异,现蕾后株高差异逐渐明显,主茎节数略少,中上部节间短,最终株高仅为对照高秆品种的 60% 左右^[4-5]。棉株增高的主要时期(6月15日-7月30日)主茎顶芽 GA₃、IAA 含量均极显著低于对照品种,ABA 含量极显著高于对照品种^[6]。本试验以正常株高品种陆地棉遗传标准系 TM-1 为对照,于蕾期和初花期分别进行不同浓度激素的单因素试验和多因素试验,研究了陆矮 1 号株高对外源激素的反应,以期明确陆矮 1 号对外源激素的敏感性。

1 材料和方法

陆地棉矮秆品种陆矮 1 号,由湖南农业大学棉花研究所提供;陆地棉遗传标准系 TM-1,由中国农业科学院棉花研究所种质资源库提供,本研究所保存。激素购自北京鼎国生物公司长沙公司。

试验于 2007 年在湖南农业大学校内科研基地进行,漂浮育苗移栽^[7]。于盛蕾期(6月25日)、初花期(7月15日)对陆矮 1 号及 TM-1 棉株喷施不同浓度的激素:GA-1、GA-2、GA-3、GA-4(浓度分

别为 50、100、150、200 mg·L⁻¹);IAA-1、IAA-2、IAA-3、IAA-4(浓度分别为 20、40、60、80 mg·L⁻¹);KT-1、KT-2、KT-3、KT-4(浓度分别为 20、40、60、80 mg·L⁻¹);ABA-1、ABA-2、ABA-3、ABA-4(浓度分别为 10、20、30、40 mg·L⁻¹),以喷施清水为对照(CK),每处理喷施 15 株,3 次重复,以植株全部喷湿为度。处理前(6月24日)和处理效果基本结束时(8月2日)分别测量株高,计算株高增加量及激素对株高的促进率。计算方法如下:

株高增加量 (cm) = 处理后 (8月2日) 株高 - 处理前 (6月24日) 株高;

株高日增长量 (cm·d⁻¹) = 株高增加量 (cm) / 天数 (39);

激素促进率 (%) = (处理株高日增长量 - 对照株高日增长量) / 对照株高日增长量 × 100%。

采用 4 因素 5 水平二次回归旋转组合设计,研究生长素、赤霉素、细胞分裂素和脱落酸互作对陆矮 1 号棉株主茎生长的影响。试验因子水平见表 1,共 36 个处理,每处理喷 15 株。喷施时间要求及计算方法同上。

应用 DPS 软件进行统计分析。

表 1 不同激素处理浓度因子编码表

激素	-2	-1	0	1	2
赤霉素 (C1)	0	50	100	150	200
生长素 (C2)	0	20	40	60	80
激动素 (C3)	0	20	40	60	80
脱落酸 (C4)	0	10	20	30	40

2 结果与分析

2.1 陆矮 1 号与对照品种 TM-1 株高对外源赤霉素的响应

由表 2 可见,各种浓度 GA 都能极显著地促进陆矮 1 号株高的增长 (P < 0.01),也能显著促进

TM-1 株高的增长 (P < 0.05),但以 100 mg·L⁻¹ 和 150 mg·L⁻¹ 浓度处理效果尤为显著,对陆矮 1 号的促进作用更大,对陆矮 1 号株高的促进率分别达到 100.70% 和 59.15%,对 TM-1 的株高促进率分别为 27.51% 和 27.88%。

GA 喷施处理使陆矮 1 号的株高显著增高,6

表 2 GA₃ 处理对陆矮 1 号和 TM-1 株高的影响效果

处理	陆矮 1 号				TM-1			
	株高 /cm		日增量	促进率	株高 /cm		日增量	促进率
	06-24	08-02	/(cm·d ⁻¹)	/%	06-24	08-02	/(cm·d ⁻¹)	/%
GA-1	26.77	65.40BCc	0.99Dd	29.37Dd	30.03	129.17BCb	2.54ABb	13.28Bb
GA-2	26.50	86.40Aa	1.54Aa	100.70Aa	27.27	138.83ABa	2.86Aa	27.51Aa
GA-3	25.30	72.83Bb	1.22Bb	59.15Bb	28.20	140.10Aa	2.87Aa	27.88Aa
GA-4	28.83	72.10Bbc	1.11Cc	44.88Cc	31.13	125.73CDbc	2.43Bb	8.11Bb
CK	27.30	57.17Cd	0.77Ee	—	31.40	118.90Dc	2.24Cc	—

注:数据后不同大、小字母分别表示该列数据差异分别达极显著水平、显著水平;下同。

月24日-8月2日,以 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度处理的陆矮1号株高分别增长了 59.90 cm 和 47.53 cm ,达到 86.40 cm 和 72.83 cm ,主茎日增长量分别达 $1.54\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $1.22\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$;而对照同期只增加 29.6 cm ,株高仅为 57.17 cm ,主茎日增长量仅为 $0.77\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。尽管喷施GA后陆矮1号的株高仍未达到对照品种TM-1植株的高度,这可能与喷施激素次数较少有关,但GA促进株高增长的效果即促进率却远高于对照,说明矮秆品种陆矮1号对GA更为敏感。

2.2 陆矮1号与对照品种TM-1株高对外源脱落酸的响应

脱落酸(ABA)对株高生长有显著的抑制作用,陆矮1号主茎顶芽ABA含量极显著高于TM-1^[6]。喷施ABA对陆矮1号株高增长的抑制率(即负的促进率)四种浓度处理变化在 9.82% ~ 31.03% 之间(表3)。随ABA浓度增加,抑制作用增强。其中,ABA-1处理($10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)主茎日增长量减少达显著水平($P<0.05$),其它浓度处理影响效果达极显著水平($P<0.01$)。而对照高秆品种TM-1对低浓度的ABA反应不敏感,但 $30,40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的ABA对TM-1的促进率分别为 -7.00% 、 -26.41% ,株高差异分别达到显著($P<$

0.05)和极显著水平($P<0.01$)。

2.3 陆矮1号株高对外源生长素和激动素的响应

生长素(IAA)是顶端优势形成的重要调控物质。由表4可见,低浓度($20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的IAA处理能极显著促进陆矮1号株高的增长,促进率为 12.18% ($P<0.01$),其余处理均无显著促进作用,高浓度($60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的IAA处理则抑制陆矮1号株高的生长,促进率分别为 -3.92% 和 -5.26% ,但主茎日增长量与对照均未达显著水平。棉株顶芽激素测定结果表明,从现蕾到结铃盛期,陆矮1号的顶芽IAA含量显著低于TM-1^[6],但外源IAA处理并未显著促进棉株增高,低浓度处理促进率达极显著水平,可能与处理前的基础株高有关,如果以最终株高差异作为对激素敏感性的判断指标,则促进效果未达显著水平。IAA对TM-1的株高促进率变化在 -1.41% ~ 5.81% 之间,主茎日增长量均未达显著水平。

陆矮1号和TM-1株高对外源激动素(KT)的响应基本一致,即低浓度促进株高增加,高浓度抑制株高增加。除KT-4($80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)对陆矮1号的抑制效果达显著水平(促进率为 -8.35% , $P<0.05$)外,其余均未达显著水平。

表3 ABA处理对陆矮1号和TM-1株高的影响效果

Table 3 Effects of ABA treatments on the plant height of Lu-ai No.1 and TM-1

处理	陆矮1号				TM-1			
	株高/cm		日增量 /($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$)	促进率/%	株高/cm		日增量 /($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$)	促进率/%
	06-24	08-02			06-24	08-02		
ABA-1	26.33	53.27ABb	0.69ABb	-9.82a	29.43	115.47Aab	2.21Aa	-1.67Aa
ABA-2	26.53	49.67Bbc	0.59BCbc	-22.51ab	33.10	115.87Aab	2.12Aa	-5.42Aa
ABA-3	27.00	49.43Bbc	0.58BCc	-24.88ab	29.17	110.53ABb	2.09Aa	-7.00Aa
ABA-4	28.40	49.00Bc	0.53Cc	-31.03b	35.23	99.63Bc	1.65Bb	-26.41Bb
CK	27.30	57.17Aa	0.77Aa	—	31.40	118.90Aa	2.24Aa	—

表4 IAA和KT处理对陆矮1号及TM-1株高的影响效果

Table 4 Effects of IAA and KT treatments on the plant height of Lu-ai No.1 and TM-1

处理	陆矮1号				TM-1			
	株高/cm		日增量 /($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$)	促进率/%	株高/cm		日增量 /($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$)	促进率/%
	06-24	08-02			06-24	08-02		
IAA-1	24.53	58.03	0.86Aa	12.18**	32.97	125.53a	2.37	5.81
IAA-2	27.00	57.90	0.79ABb	3.46	29.93	121.40ab	2.35	4.52
IAA-3	27.10	55.80	0.74BCbcd	-3.92	29.77	120.97ab	2.34	4.24
IAA-4	26.60	54.90	0.73BCcd	-5.26	31.90	119.80ab	2.25	0.47
KT-1	27.30	57.83	0.78Bbc	2.24	32.07	121.20ab	2.29	1.88
KT-2	26.20	54.87	0.74BCbcd	-4.02	34.50	122.67ab	2.26	0.76
KT-3	26.00	54.27	0.72BCcd	-5.35	36.87	123.23ab	2.21	-1.29
KT-4	27.13	54.50	0.70Cd	-8.35*	32.03	118.30b	2.21	-1.41
CK	27.30	57.17	0.77Bbc	—	31.40	118.90ab	2.24	—

注:*,**分别表示差异显著、极显著水平。

2.4 外源激素互作对陆矮 1 号株高的影响

4 种激素混合使用对陆矮 1 号株高生长的促进效果较单独使用 GA 低,处理后最高株为 64.2 cm,最矮株为 52.9 cm。促进率回归方程为 $Y = 17.33 + 4.30X_1 - 0.226X_2 - 0.075X_3 - 2.642X_4 - 3.529X_1^2 - 0.087X_2^2 - 1.355X_3^2 - 1.627X_4^2 - 0.068X_1X_2 - 0.113X_1X_3 + 0.204X_1X_4 - 0.476X_2X_3 + 0.023X_2X_4 - 0.023X_3X_4$, 回归系数的方差分析见表 5,失拟 $F1=2.278$,未达显

著水平,回归 $F2=3.947$,达显著水平($P < 0.01$),说明模型有效。赤霉素(GA, x_1)的一次项、二次项系数均达到极显著水平,脱落酸(ABA, x_4)的一次项系数达显著水平,其它各项系数均未达显著水平。说明赤霉素对陆矮 1 号株高影响最大,其次为脱落酸,这与单因素试验结果一致。但单因素试验中低浓度的 IAA 对陆矮 1 号的株高增长有显著促进作用,在几种激素同时喷施时则表现不出来。

表 5 四因素五水平旋转回归试验结果方差分析表

Table 5 Variance analysis on experimental data from 4 factors-5 levels- rotary regression trial

变异来源	平方和	自由度	均方	比值 F	显著水平 P
X_1	444.284	1	444.284	21.164	0.000
X_2	1.231	1	1.231	0.059	0.811
X_3	0.137	1	0.137	0.007	0.936
X_4	167.512	1	167.512	7.980	0.010
X_1^2	398.486	1	398.486	18.983	0.000
X_2^2	0.241	1	0.241	0.011	0.916
X_3^2	58.746	1	58.746	2.799	0.109
X_4^2	84.673	1	84.673	4.034	0.058
X_1X_2	0.074	1	0.074	0.004	0.953
X_1X_3	0.205	1	0.205	0.010	0.922
X_1X_4	0.665	1	0.665	0.032	0.860
X_2X_3	3.618	1	3.618	0.172	0.682
X_2X_4	0.008	1	0.008	0.0004	0.984
X_3X_4	0.008	1	0.008	0.0004	0.984
回归	1159.887	14	82.849	$F2=3.947$	0.006
剩余	440.832	21	20.992		
失拟	297.261	10	29.726	$F1=2.278$	0.054
误差	143.571	11	13.052		
总和	1600.719	35			

在 $\alpha=0.05$ 显著水平剔除不显著项后,得到简化后的回归方程: $Y = 17.33 + 4.30X_1 - 2.64X_4 - 3.53X_1^2$ 。该方程表现了四种激素同时使用的情况下,各种激素对陆矮 1 号株高的影响趋势,即 IAA(x_2)、KT(x_3)的作用不显著,脱落酸抑制、赤霉素促进株高增长。方程寻优当 GA 取 0.6、其它各项均取 -2 时,得到最大促进率为 23.9%,远低于本试验所使用的任何一种 GA 浓度对陆矮 1 号的促进率。说明几种激素同时施用效果不如 GA 单独使用。激素之间存在相互抵消的负作用,尤其是脱落酸对赤霉素促进伸长的效果有较强的拮抗作用。这与宋平等对籼稻半矮秆品种 GA_3 、ABA 敏感性的研究结果相似^[8]。

3 小结与讨论

3.1 关于矮秆品种株高对外源激素敏感性的评

价指标

评价外源激素对作物株高的影响,大多以处理株高与对照株高的差异来衡量^[9-14]。何祖华等^[10]对芽长 1 cm 的水稻进行 GA_3 处理,以株高增长的百分率 [(处理株高 - 对照株高)/对照株高 × 100%] 为指标分析水稻苗期株高基因对 GA_3 敏感性的差异,基础株高对处理效果的影响极小,可忽略不计。陆矮 1 号在现蕾前株高与对照高秆品种无显著差异。本试验处理时已有一定的基础株高,激素不会对处理前已有的株高产生影响,若仍按株高增长的百分率来计算外源激素处理的效果,必然增大了分母,从而降低了处理效果值,不能真实反映激素的效果。何钟佩等^[15]研究表明,叶面喷施抑制赤霉素(GAs)生物合成的植物生长延缓剂缩节胺(DPC)后,对棉花已出现的节间的有效控制范围为 2~3 个,其中控制强度最大的

是 N-1~N+1 节间。可见,外源激素只对处理时正在发生或伸长的几个节间产生影响,若以全株高度来判断,就会使激素影响的效果值偏低。因此,本研究以激素对株高增长的促进率为指标来判断矮秆品种对激素的敏感性,并与对照品种比较,着眼于处理期间株高增长的差异,避免了处理前的基础株高对试验结果的影响。

3.2 陆矮 1 号对外源激素的反应敏感性

激素缺陷型矮化植物内源激素含量较低,外施相应的活性激素后可恢复野生型表型,而激素不敏感型矮化植株内源活性激素水平与正常高秆品种差异不大,甚至比高秆品种含量更高,外施相应的活性激素后不能恢复高秆表型^[1-2,14]。绝大多数矮秆水稻植株体内源赤霉素类物质含量少,对外源赤霉素敏感,当用 GA₃ 重复处理,这些矮秆植株将生长成为正常株高的植株^[1-2,13,16]。我国推广的小麦主要矮秆品种及矮秆资源,均以 GA 不敏感型居多,且不同的生态区域有差异,黄淮海麦区的矮秆品种中,以 GA 不敏感型为主,而华北北部冬麦区则以 GA 敏感型为主^[7]。矮化植株在其生育期的不同阶段对激素的反应也有差异^[9,18],如水稻株高基因对 GA₃ 的敏感性有几种类型,有全生育期敏感型、苗期和分蘖期敏感型、全生育期钝感型^[18]。

陆矮 1 号对外源赤霉素的反应敏感性显著强于高秆品种 TM-1。在 100 mg·L⁻¹ 浓度时,外源赤霉素对陆矮 1 号株高的促进率达到 100.70%,而对 TM-1 的株高促进率最多只有 27.88%,因此推断陆矮 1 号为 GA₃ 敏感型。ABA 显著抑制陆矮 1 号及 TM-1 株高的增长,尤其是较高浓度(40 mg·L⁻¹) ABA,抑制率(负向促进率)达到极显著水平。陆矮 1 号较 TM-1 更敏感,这与一般认为的 ABA 抑制植株生长的观点及在其它作物上的研究结果一致^[8,12-13,19]。IAA 和 KT 对陆矮 1 号和高秆对照的株高的增长表现为低浓度促进,高浓度抑制,但陆矮 1 号的反应更敏感。

尽管以激素对株高增长的促进率判断陆矮 1 号对 GA₃ 反应敏感,但最终株高仍未达到对照品种的正常株高,这可能与处理次数较少有关。从苗期开始一直用激素处理是否能使陆矮 1 号长到对照 TM-1 的高度还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 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 Fu-lin, Zhai Hu-qu, Wan Jian-min, et al. Study on inheritance of dwarf character and its utilization in rice (*Oryza sativa* L.) breeding[J]. Jiangsu J of Agr Sci, 2003, 19(1):48-54.
- [2] 于永红,斯华敏.水稻矮化相关基因的研究进展[J].植物遗传资源学报 2005,6(3):344-347
YU Yong-hong, Si Hua-min. Research progress on the dwarf-related gene in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(3):344-347.
- [3] 陈旭升.棉花矮秆突变体[J].中国棉花,2004,31(1):26.
CHEN Xu-sheng. Dwarf plant mutant from upland cotton[J]. China Cotton, 2004, 31(1): 26.
- [4] 冯秀敏,刘爱玉,陈金湘,等.棉花矮秆品系的形态学及其解剖结构比较[J].棉花学报,2008,20(3):207-211.
FENG Xiu-min, Liu Ai-yu, Chen Jin-xiang, et al. Studies on morphometrics and cytological features of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) dwarfing Strains[J]. Cotton Science, 2008,20(3):207-211.
- [5] 刘爱玉,易九红,陈金湘,等.矮秆陆地棉品种陆矮 1 号的生长发育特性研究[J].植物遗传资源学报,2008,9(4):536-539.
LIU Ai-yu, Yi Jiu-hong, Chen Jin-xiang, et al. Study on the growth and development characteristics of dwarf upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Lu-ai No.1[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9(4):536-539.
- [6] 刘爱玉,陈金湘,李瑞莲,等.矮秆陆地棉陆矮 1 号主茎顶芽几种激素含量研究[J].棉花学报,2009,21(3):248-251.
LIU Ai-yu, Chen Jin-xiang, Li Rui-lian, et al. Endogenous hormone contents in apical buds of short-stalked cotton Lu-ai NO.1 [J]. Cotton Science, 2009, 21(3):248-251.
- [7] 陈金湘,刘海荷,熊格生,等.棉花水浮育苗技术[J].中国棉花,2006,33(1):24-25.
CHEN Jin-xiang, Liu Hai-he, Xiong Ge-sheng, et al. Floating nursing technology of cotton[J]. China Cotton, 2006, 33(1):24-25.
- [8] 宋平,曹显祖,滕俊磊,等.籼稻半矮秆品种对 GA₃、ABA 的敏感性及其与过氧化物酶的关系[J].江苏农学院学报,1998,19(1):17-21.
SONG Ping, Cao Xian-zu, Teng Jun-lei, et al. Sensitivity of semi-dwarf genes to GA₃, ABA and their relationship with peroxidase in indica rice[J]. Journal of Jiangsu Agricultural College, 1998, 19(1):17-21.
- [9] 程灿,吴跃进,刘斌美,等.水稻显性半矮秆基因对株高表达的影响及其对 GA₃ 的敏感性[J].中国水稻科学,2006,20(1):25-30.

- CHENG Can, Wu Yue-jin, Liu Bin-mei, et al. Expression of plant height and sensitivity to GA₃ of dominant semi dwarfing gene in rice[J]. China Rice Sci, 2006, 20(1): 25-30.
- [10] 何祖华, ETOH K, 石春海, 等. 水稻株高基因对 GA₃ 敏感性及其与酶的关系[J]. 中国水稻科学, 1993, 7(3): 143-147.
- HE Zu-hua, ETOH K, SHI Chun-hai, et al. Sensitivity of plant height genes to GA₃ and their relationship with enzymes in rice [J]. Chinese J Rice Sci, 1993, 7(3) 143-147.
- [11] DAYKIN A, Scott I M, Francis D, et al. Effects of gibberellin on the cellular dynamics of dwarf pea internode development [J]. Planta, 1997, 203: 526-535.
- [12] 杨铁钊, 杨欣玲, 殷全玉, 等. 烟草株高变异体的茎尖中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 Tie-zhao, Yang Xin-ling, Yin Quan-yu, 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.
- [13] 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, 76.
- YU Hui-fang, Cao Jia-shu, Wang Yong-qin. Hormones regulation in plant dwarfing mutants[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2002, 14(2): 85-88, 76.
- [14] ZANEWICH K P, Rood S B, Southworth C E, et al. Dwarf mutants of *Brassica*: responses to applied gibberellins and gibberellin content[J]. Plant Growth Regul, 1991, 10(1): 121-127.
- [15] 何钟佩, 李丕明. 中国棉花化控栽培工程的建立和发展[J]. 植物学通报, 1995(专辑): 83-87.
- HE Zhong-pei, Li Pi-ming. Establishment and development of chemical regulation engineering of cotton in China[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1995(special edition): 83-87.
- [16] MONNA Li, Kitazawa N, Yoshino R, et al. Positional cloning of rice semidwarfing gene, sd-1: rice "green revolution gene" encodes a mutant enzyme involved in gibberellin synthesis [J]. DNA Res, 2002, 9(1): 11-17.
- [17] 贾继增, 丁寿康, 李月华, 等. 中国小麦的主要矮秆基因及矮源的研究[J]. 中国农业科学, 1992, 25(1): 1-5.
- JIA Ji-zeng, Ding Shou-kang, Li Yue-hua, et al. Studies of main dwarf genes and dwarf resources on chinese wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1992, 25(1): 1-5.
- [18] 何祖华, 李德葆. 不同生育期水稻株高基因对 GA₃ 的敏感性及其对内源激素含量的调节[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 170-174.
- HE Zu-hua, Li De-bao. Relations of plant height genes to the sensitivity of GA₃ and to the regulation of endogenous hormones in different rice growth stages[J]. Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 170-174.
- [19] 王 冰, 李家洋, 王永红. 生长素调控植物株型形成的研究进展[J]. 植物学通报, 2006, 23(5): 443-458.
- WANG Bing, Li Jia-yang, Wang Yong-hong. Advances in understanding the roles of auxin involved in modulating plant architecture[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2006, 23(5): 443-458.
-