

## 外源赤霉素、6-苄基腺嘌呤及矿物质对水培绿豆芽生长的影响

丁俊胄<sup>1</sup>, 尹涛<sup>1</sup>, 余翔<sup>2</sup>, 赵思明<sup>1\*</sup>, 熊善柏<sup>1</sup>, 詹伟明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>华中农业大学食品科技学院, 武汉430070; <sup>2</sup>华中农业大学楚天学院, 武汉430205; <sup>3</sup>浩然生态农业开发有限公司, 湖北襄阳441000

**摘要:**以‘中绿一号’绿豆为原料用水培法制作豆芽, 研究赤霉素、6-苄基腺嘌呤和矿物质对其生长的影响, 优化绿豆芽营养液的配方。结果表明, 使用由100 mg·L<sup>-1</sup>赤霉素、5 mg·L<sup>-1</sup> 6-苄基腺嘌呤、0.810 g·L<sup>-1</sup>硝酸钾、0.950 g·L<sup>-1</sup>硝酸钙、0.500 g·L<sup>-1</sup>硫酸镁复配而成的营养液可以缩短豆芽生长周期, 且培养出的绿豆芽芽长适宜(4.25 cm±0.44 cm)、根长较短(1.15 cm±0.23 cm)、轴径较粗(2.78 cm±0.16 mm), 芽体洁白而脆嫩。

**关键词:** 绿豆芽; 赤霉素; 6-苄基腺嘌呤; 矿物质; 营养液

## Effects of Exogenous GA<sub>3</sub>, 6-BA and Mineral on Mung Bean Sprouts Growth

DING Jun-Zhou<sup>1</sup>, YIN Tao<sup>1</sup>, YU Xiang<sup>2</sup>, ZHAO Si-Ming<sup>1\*</sup>, XIONG Shan-Bai<sup>1</sup>, ZHAN Wei-Ming<sup>3</sup>

<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; <sup>2</sup>Chutian College Huazhong Agricultural University, Wuhan 430205, China; <sup>3</sup>Haoran Ecology Agricultural Development Co., Ltd., Xiangyang, Hubei 441000, China

**Abstract:** Take green bean ‘ZL1’ as the material used to grow bean sprouts, and research the effects of GA<sub>3</sub>, 6-BA and minerals on the growth of mung bean sprouts, to optimize bean sprouts nutritious liquid formula. The results indicated that the hypocotyls of bean sprouts were longer (4.25 cm±0.44 cm), the roots were shorter (1.15 cm±0.23 cm), the hypocotyls diameter were thicker (2.78 mm±0.16 mm), the bean sprouts grew faster, meanwhile, the lusters were pure white, gemma crisp and tender, which were cultivated with GA<sub>3</sub> 100 mg·L<sup>-1</sup>, 6-BA 5 mg·L<sup>-1</sup>, potassium nitrate 0.810 g·L<sup>-1</sup>, calcium nitrate 0.950 g·L<sup>-1</sup>, magnesium sulfate 0.500 g·L<sup>-1</sup>.

**Key words:** mung bean sprouts; gibberellins (GA<sub>3</sub>); 6-benzylaminopurine (6-BA); mineral; nutritious liquid

我国是生产豆芽最早的国家, 现在多采用苗盘纸床、多层立体摆放栽培模式进行无土栽培。绿豆属于豆科菜豆属, 绿豆芽深受消费者喜爱, 日本、美国每年进口大量绿豆用于绿豆芽的生产。绿豆芽的生长主要依靠种子自身的营养, 同时, 外源植物生长调节剂和矿物质会影响其生长状况。赤霉素(GA<sub>3</sub>)和6-苄基腺嘌呤(6-BA)在种子萌发和休眠中的调控作用已得到广泛认可, 使用外源GA<sub>3</sub>和6-BA在植物培植中有较多研究(陈仕江等2004; 王磊等2010)。浙江省制订省级地方标准DB33/625.1-2007《无公害豆芽生产技术规程》, 允许在豆芽制发过程中限量用GA<sub>3</sub>和6-BA。日本园试配方是广受认可的植物矿物营养液复合配方, 同时, 研究者发现用适宜浓度的碘、铬、铁、锌等矿物质溶液浸泡种子, 可提高豆芽内相应矿物质的含量(夏石头等2001; 郑艺梅等2005; 吉礼和车振明2009)。近年来, 豆芽的快速生产、外观改良

及营养强化技术成为研究的热点, 在豆芽生产中使用适宜浓度的植物生长调节剂可以起到显著效果(李建英等2010)。

本实验研究了GA<sub>3</sub>、6-BA及常用矿物盐在绿豆芽生长过程中对其生理指标的影响, 并对其作用机制进行了初步探讨, 筛选出了适于绿豆芽生长的植物生长调节剂和矿物质复配方案, 为研制新型绿豆芽营养液及其生产应用提供科学依据。

## 材料与方法

### 1 植物材料

绿豆[*Vigna radiata* (L.) Wilczek]‘中绿一号’购于湖北悦农种业有限公司。

收稿 2011-02-11 修定 2011-03-08

\* 通讯作者(E-mail: zsmjx@mail.hzau.edu.cn; Tel: 027-87288375)。

## 2 主要试剂

$\gamma$ -氨基丁酸为分析纯, 购于Sigma公司;  $GA_3$  (纯度>95%)购于上海伯奥生物科技有限公司; 6-BA (纯度>99%)购于上海源聚生物科技有限公司。天然矿泉水为得钰泉锶矿泉水, 由襄阳浩然生态农业开发有限公司提供。其余试剂均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司。

## 3 主要仪器与设备

HP250GS型智能人工气候箱为武汉瑞华仪器设备有限公司产品; 722可见光分光光度计为天津市普瑞斯仪器有限公司产品; BS-210S型分析天平为德国赛多利斯科学仪器有限公司产品; 实验pH计为美国奥立龙公司产品。

## 4 试验方法

### 4.1 绿豆芽的培养

选取100颗豆粒饱满、无霉变的绿豆种子为原料, 洗净后置于25 °C的培养环境下使用相应的营养液浸泡8 h。将浸泡后的绿豆种子平铺在纱布上, 铺料密度适中, 再用2层纱布将绿豆盖上, 置于温度25 °C的人工气候箱中培育96 h, 每隔4 h喷淋相应的营养液。

### 4.2 芽长、根长、轴径、鲜重的测定

定期观察豆芽的生长状况, 4 d后用游标卡尺进行芽长、根长、轴径的测量, 称量30根豆芽重量, 计算其单根鲜重。

### 4.3 营养液复配方案的试验设计

$GA_3$ 和6-BA的使用浓度选用单因素试验中的最优值, 分别为100 mg·L<sup>-1</sup>和5 mg·L<sup>-1</sup>; 硝酸钾、硝酸钙、硫酸镁的使用浓度参考日本园试配方, 分别为0.810 g·L<sup>-1</sup>、0.950 g·L<sup>-1</sup>、0.500 g·L<sup>-1</sup>。复配方案设计如下: 配方1, 硝酸钙、硫酸镁; 配方2, 硝酸钾; 配方3, 硝酸钾、硝酸钙、硫酸镁; 配方4,  $GA_3$ 、6-BA; 配方5,  $GA_3$ 、6-BA、硝酸钾、硝酸钙、硫酸镁; 空白对照: 去离子水; 同时, 对天然矿泉水和复配营养液的效果差异进行比较。

## 5 数据处理

应用EXCEL和SAS软件处理并分析实验数据(赵思明2005)。

## 结果与讨论

### 1 $GA_3$ 对豆芽生长的影响

$GA_3$ 对豆芽生长情况的影响见表1。由表1可

表1 不同浓度 $GA_3$ 对绿豆芽生长的影响

Table 1 Effects of different concentrations of  $GA_3$  on the growth of mung bean sprouts

$GA_3$ 浓度/mg·L <sup>-1</sup>	轴长/cm	根长/cm	轴径/mm	鲜重/g
0	5.4±0.6 <sup>d</sup>	4.3±1.1 <sup>ab</sup>	2.5±0.8 <sup>a</sup>	0.39±0.02 <sup>a</sup>
50	7.0±0.5 <sup>c</sup>	3.7±0.7 <sup>bc</sup>	2.2±0.2 <sup>b</sup>	0.40±0.11 <sup>a</sup>
100	8.6±0.7 <sup>a</sup>	4.9±1.0 <sup>a</sup>	2.1±0.1 <sup>b</sup>	0.39±0.07 <sup>a</sup>
200	7.7±0.5 <sup>b</sup>	4.3±0.9 <sup>ab</sup>	2.2±0.2 <sup>b</sup>	0.38±0.13 <sup>a</sup>
300	7.3±0.7 <sup>bc</sup>	3.3±0.6 <sup>c</sup>	2.1±0.1 <sup>b</sup>	0.36±0.19 <sup>a</sup>

表中数据为 $\bar{x}\pm s.d.$ ,  $n=3$ ; 同列不同小写字母表示0.05水平差异显著。下表同。

知, 随着 $GA_3$ 浓度的增加, 豆芽胚轴长先增加后减短, 轴径逐渐变细, 差异显著( $P<0.05$ ), 鲜重无显著差异。浓度为100 mg·L<sup>-1</sup>时, 胚轴长达最大值。

物种、浓度、处理方式等因素会影响 $GA_3$ 对种苗生长的作用效果。适宜浓度 $GA_3$ 可以促进发芽和茎叶生长, 而高浓度抑制生长(白克智1996; 陈仕江等2004)。这是由于适宜浓度 $GA_3$ 能打破种子休眠, 主要通过诱导 $\alpha$ -淀粉酶的合成来增强萌发种子的呼吸作用, 加速胚乳中的淀粉水解, 使种苗保持较高的物质和能量代谢水平, 加速细胞分裂分化而促进种子胚发育和种子发芽, 提高发芽率(山仑1997; 田如英等2010; 李建英等2010); 同时, 在植物幼苗生长过程中使用适宜浓度 $GA_3$ 处理, 可对茎叶的生长有显著促进作用(刘小金等2010)。有研究者报道, 以100 mg·L<sup>-1</sup>  $GA_3$ 对樱桃种子萌发速度的促进作用最大(尹章文和宋建伟2008)。

### 2 6-BA对豆芽生长的影响

6-BA对豆芽生长的影响见表2。由表2可知, 随着6-BA浓度的增加, 轴径逐渐增粗( $P<0.05$ ), 鲜重逐渐增加。6-BA浓度为1 mg·L<sup>-1</sup>时, 胚根最长, 轴径未明显增粗; 浓度为5 mg·L<sup>-1</sup>时, 轴径较粗, 胚轴长适宜; 浓度为10 mg·L<sup>-1</sup>时, 轴长减小, 根长达最小值。

表2 不同浓度6-BA对绿豆芽生长的影响

Table 2 Effects of different concentrations of 6-BA on the growth of mung bean sprouts

6-BA浓度/mg·L <sup>-1</sup>	轴长/cm	根长/cm	轴径/mm	鲜重/g
0	5.4±0.5 <sup>b</sup>	4.3±1.1 <sup>b</sup>	2.5±0.8 <sup>c</sup>	0.39±0.33 <sup>a</sup>
1	5.2±0.3 <sup>b</sup>	5.5±0.4 <sup>a</sup>	2.6±0.2 <sup>c</sup>	0.45±0.25 <sup>a</sup>
2	5.3±0.9 <sup>b</sup>	3.6±1.5 <sup>bc</sup>	2.6±0.1 <sup>c</sup>	0.45±0.19 <sup>a</sup>
5	6.7±0.9 <sup>a</sup>	3.2±1.2 <sup>cd</sup>	3.1±0.3 <sup>b</sup>	0.55±0.39 <sup>a</sup>
10	5.9±0.8 <sup>b</sup>	2.2±0.5 <sup>d</sup>	3.8±0.5 <sup>a</sup>	0.57±0.52 <sup>b</sup>

6-BA是一种细胞分裂素,能够抑制植物叶内叶绿素、核酸和蛋白质分解,主要作用是促进芽的形成,抑制根的生长,常被用于调节植株生长发育机制,使用效果因物种、浓度、处理时间和使用部位不同而表现出差异性(高红兵等2006;黄静静等2009)。

### 3 矿物质对绿豆芽生长的影响

Ca、Fe、Zn、Mg等矿物质对豆芽生长指标的影响见表3。结果表明使用不同的矿物质营养液培育豆芽的生长状况有显著性差异( $P<0.05$ )。使用Ca营养液的豆芽胚轴较长( $P<0.05$ );使用Mg营养液的豆芽胚轴较粗( $P<0.05$ );使用K营养液的豆芽根长较短( $P<0.05$ )。

Ca<sup>2+</sup>浓度的高低可调节植物体内生长素和脱落酸的变化(Woods等1984),在一定浓度内对芽苗生长有促进作用。Ca<sup>2+</sup>是偶联胞外刺激和胞内反应的第二信使,对植物生理有重要意义,Ca<sup>2+</sup>能提高钙调素(CaM)含量,增强种子活力(李玮和朱广廉1994)。钾对维持细胞内物质正常代谢、蛋白质

合成等生理生化功能方面发挥着重要作用,同时K<sup>+</sup>是多种酶的激活剂,还可参与诱导植物体内生长素和赤霉素的生物合成及其活力调控(张菊平等2005;郭英等2006)。外源Mg<sup>2+</sup>能维持细胞膜的稳定性,有利于豆类种子进一步生长和发育(Ma等2008)。

根据WHO/FAO的限量标准,食用鲜菜中的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量不应超过432 mg·kg<sup>-1</sup>。尽管钾能在一定程度上提高硝酸还原酶的活性,减少蔬菜体内NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的累积(秦鱼生等2003),在氮磷水平一定的基础上,增施硫酸钾或氯化钾可以使蔬菜内硝酸盐含量明显降低(殷召学等2004)。为降低绿豆芽中硝酸盐和亚硝酸盐的含量,可将硝酸钾和硝酸钙分别替换为硫酸钾和磷酸二氢钙。

### 4 营养液配方的确定

为挑选适合培育感官品质较好的豆芽,依据“结果与讨论”第3节中的结论,选出钙、镁、钾按照“材料与方法”4.3节中的方案和GA<sub>3</sub>、6-BA进行复配,指标测定结果见表4。总的说来,在该实验条件下,钙、镁、钾之间表现出的拮抗作用较小,三者之间及其与GA<sub>3</sub>和6-BA之间表现出较好的协同效应。有学者在研究其他植物品种时报道了相似结论,适量增施K、Ca、Mg肥有利于香蕉植株的生长发育(杨苞梅等2010);KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和GA<sub>3</sub>的混合液处理种子在一定程度上提高甜椒根系活力,促进幼苗生长(周广栋等2005);α-淀粉酶是一种含Ca<sup>2+</sup>的金属酶,Ca<sup>2+</sup>能活化和稳定α-淀粉酶分子,Ca<sup>2+</sup>对GA<sub>3</sub>起到的加成作用主要是因为Ca<sup>2+</sup>提高了种子胚和胚乳中淀粉酶的活性,加速胚乳贮藏物质的动员,为胚的生长提供了能量和底物(陈士林等2004)。

表3 不同矿物质对绿豆芽生长的影响

Table 3 Effects of different mineral confrontation on the growth of mung bean sprouts

矿物质	轴长/cm	轴径/mm	根长/cm	鲜重/g
Ca	7.8±0.83 <sup>a</sup>	2.2±0.20 <sup>b</sup>	6.8±0.83 <sup>b</sup>	0.51±0.11 <sup>a</sup>
Mg	6.2±0.66 <sup>cd</sup>	2.3±0.21 <sup>a</sup>	6.5±1.35 <sup>bc</sup>	0.48±0.09 <sup>a</sup>
Fe	5.9±0.81 <sup>d</sup>	2.2±0.11 <sup>bc</sup>	7.0±1.19 <sup>b</sup>	0.45±0.13 <sup>b</sup>
Mn	6.8±0.98 <sup>b</sup>	2.1±0.14 <sup>c</sup>	8.6±1.75 <sup>a</sup>	0.47±0.17 <sup>a</sup>
B	5.9±1.08 <sup>d</sup>	2.2±0.14 <sup>b</sup>	8.5±1.45 <sup>a</sup>	0.46±0.02 <sup>a</sup>
Zn	6.7±0.73 <sup>bc</sup>	2.2±0.17 <sup>bc</sup>	9.1±1.72 <sup>a</sup>	0.45±0.26 <sup>a</sup>
Cu	6.9±0.98 <sup>b</sup>	2.1±0.14 <sup>bc</sup>	9.1±1.52 <sup>a</sup>	0.48±0.23 <sup>a</sup>
Mo	6.6±0.84 <sup>bc</sup>	2.1±0.12 <sup>bc</sup>	8.9±1.53 <sup>a</sup>	0.46±0.15 <sup>a</sup>
K	6.5±1.09 <sup>bc</sup>	2.1±0.16 <sup>bc</sup>	5.9±1.30 <sup>c</sup>	0.37±0.19 <sup>a</sup>

表4 不同配方对绿豆芽生长的影响

Table 4 Effects of different formulas confrontation on the growth of mung bean sprouts

配方	pH	轴长/cm	根长/cm	轴径/mm	鲜重/g
去离子水	7.4	6.49±1.06 <sup>a</sup>	6.43±1.80 <sup>a</sup>	2.19±0.16 <sup>c</sup>	0.38±0.12 <sup>a</sup>
天然矿泉水	7.8	8.70±0.82 <sup>a</sup>	4.70±1.60 <sup>c</sup>	2.20±0.17 <sup>d</sup>	0.51±0.26 <sup>a</sup>
配方1	6.3	6.59±0.88 <sup>a</sup>	5.31±0.99 <sup>b</sup>	2.20±0.31 <sup>c</sup>	0.37±0.06 <sup>a</sup>
配方2	6.7	6.48±1.07 <sup>a</sup>	5.87±1.23 <sup>b</sup>	2.14±0.16 <sup>c</sup>	0.37±0.09 <sup>a</sup>
配方3	6.2	6.57±0.96 <sup>a</sup>	4.50±1.28 <sup>c</sup>	2.15±0.20 <sup>c</sup>	0.34±0.16 <sup>a</sup>
配方4	4.1	5.99±0.77 <sup>b</sup>	2.26±0.86 <sup>d</sup>	2.47±0.20 <sup>b</sup>	0.37±0.02 <sup>a</sup>
配方5	3.9	4.25±0.44 <sup>c</sup>	1.15±0.23 <sup>e</sup>	2.78±0.16 <sup>a</sup>	0.37±0.21 <sup>a</sup>

豆芽在车间培育一般需要7 d左右方可采收,使用配方5营养液培育绿豆芽,3~4 d即可采收,大大缩短了培育周期,且芽体水分饱满,色泽洁白,口感脆嫩,轴长适宜,轴径最粗,子叶呈淡黄色。故选择配方5为最佳营养液配方。该配方能有效避免豆芽发红的机制有待进一步研究。此外,用去离子水制作的绿豆芽,根相对较长,轴径偏细,子叶过长,芽体发红;使用天然矿泉水培育的绿豆芽芽体略显细长。

在无土栽培过程中,营养液应具备植物生长适宜的pH范围,pH可能影响到植物根系对营养物质的吸收。据报道,pH 6.0~8.0条件下,豆芽生长受pH影响不大(杨铭铎等2010)。饶毅萍等(2009)研究发现,用pH 3.0~6.5的处理液培养的黑豆芽苗菜的株高处于同一水平,且优于pH 7.0~11.0处理的芽苗菜。本试验中,尽管配方4和配方5的pH值相较其他对照组偏小,但在3.0~6.5范围之内,故结论中不将配方的pH作为影响豆芽生长状况的主因之一。

### 参考文献

- 李克智(1996). 赤霉素的生理作用及其在生产上的应用. 生物学通报, 31 (9): 20~21
- 陈士林, 卫秀英, 赵新亮(2004). 赤霉素和钙对玉米种子萌发的效应. 种子, (4): 47~49
- 陈仕江, 张明, 金仕勇, 刘从军, 丑敏霞(2004). GA<sub>3</sub>、6-BA对金钗石斛生长发育及生物碱含量的影响. 植物资源与环境学报, 13 (3): 7~11
- 高红兵, 唐晓杰, 孟庆繁(2006). 高浓度6-BA诱导酸樱桃苗的玻璃化苗内源激素含量变化. 林业科学研究, 19 (4): 488~490
- 郭英, 孙学振, 宋宪亮, 王庆材, 李玉静, 陈淑义(2006). 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响. 植物营养与肥料学报, 12 (3): 363~368
- 黄静静, 王绍华, 李刚华, 刘正辉, 丁艳锋(2009). 6-苄基腺嘌呤对水稻颖花分化影响机制的研究. 南京农业大学学报, 32 (3): 8~13
- 吉礼, 车振明(2009). 铁、锌富集营养豆芽的研制. 食品工业科技, (6): 232~233
- 李建英, 田中艳, 周长军, 杨柳, 吴耀坤, 杜志强, 张志刚(2010). 绿豆芽菜萌发条件及物质含量测定. 黑龙江农业科学, (7): 37~40
- 李玮, 朱广廉(1994). GA调控 $\alpha$ -淀粉酶基因表达的分子生物学. 植物生理学通讯, 30 (2): 147~153
- 刘小金, 徐大平, 张宁南, 谢正生, 陈浩福(2010). 赤霉素对檀香种子发芽及幼苗生长的影响. 种子, (8): 71~74
- 秦鱼生, 涂仕华, 孙锡发, 冯文强, 陈庆瑞, 廖鸣兰, 韩秀英(2003). 不同氮、钾水平对萝卜产量和硝酸盐含量的影响. 西南农业学报, 16 (增刊): 113~115
- 饶毅萍, 陈颖, 冯永安(2009). 水的pH值和总硬度对黑豆种子萌发及其芽苗菜品质的影响. 植物生理学通讯, 45 (9): 907~909
- 山仑(1997). 钙与赤霉素混合处理种子的抗旱增产作用. 植物生理学通讯, (6): 477
- 田如英, 郭颖, 王元国, 寇中贵(2010). 赤霉素浸种与湿沙层积对油茶种子发芽的影响. 种子, (8): 85~88
- 王磊, 周余华, 关雪莲, 张虎, 陈少卿(2010). GA<sub>3</sub>和6-BA对粉绿铁线莲种子发芽特性的影响. 种子, 29 (3): 44~45
- 夏石头, 彭克勤, 萧浪涛, 刘志敏(2001). 碘对黄豆芽生长及其可食部分氨基酸、Vc和纤维素含量的影响. 植物生理学通讯, 37 (6): 517~519
- 杨苞梅, 李进权, 姚丽贤, 李国良, 周昌敏, 何兆桓, 涂仕华(2010). 钾钙镁营养对香蕉生长和叶片生理特性的影响. 中国土壤与肥料, (1): 29~32
- 杨铭铎, 陈健, 张晓宇, 张巍(2010). 大豆发芽工艺条件的优化. 食品科学, 31 (20): 97~100
- 殷召学, 陈贵林, 吕桂云, 李卫欣(2004). 不同钾素水平对水培韭菜生长、品质和产量的影响. 华中农业大学学报, 35: 222~225
- 尹章文, 宋建伟(2008). 不同浓度赤霉素对樱桃种子发芽的影响. 北方园艺, (12): 52~54
- 张菊平, 张艳敏, 康业斌, 张兴志(2005). 硝酸钾处理对不同贮藏年限辣椒种子发芽的影响. 种子, 24 (4): 28~30
- 赵思明(2005). 食品科学与工程中的计算机应用. 北京: 化学工业出版社, 47~53
- 郑艺梅, 叶华, 华平(2005). 黄豆发芽过程中铬的生物富集效应的研究. 食品工业科技, 26 (6): 101~103
- 周广栋, 王秀峰, 魏珉, 姚富友(2005). 聚乙二醇、赤霉素、磷酸氢二钾和低温处理种子后的甜椒幼苗生长. 植物生理学通讯, 41 (6): 749~751
- Ma E, Fu SS, Zhang HB (2008). Effects of excessive Mg<sup>2+</sup> on the germination characteristics of crop seeds. Agric Sci Technol, 9 (2): 26~29
- Woods CM, Polito VS, Reid MS (1984). Respons to chilling stress in plant cells II. Redistribution of intracellular calcium. Protoplasma, 121: 17~24