

杜锦,曹高燧,赵飞,等. 氮、磷、钾肥配施对春玉米中单509产量的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):61-64.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.015

# 氮、磷、钾肥配施对春玉米中单509产量的影响

杜锦,曹高燧,赵飞,苏东伟,向春阳

(天津农学院农学与资源环境学院,天津300384)

**摘要:**研究玉米产量在不同氮、磷、钾肥配施下的表现,探讨玉米高产节肥的适宜氮、磷、钾肥施用量,对提高玉米产量有重要的意义。选用春玉米中单509为试验材料,氮、磷、钾肥各设置5个施用水平,采用3因素5水平二次回归正交旋转组合设计试验,测定玉米产量。结果表明,不施钾肥条件下,当施用的纯氮量为123.00 kg/hm<sup>2</sup>、纯磷量为87.00 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高;不施磷肥条件下,当施用的纯氮量为128.00 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾量为82.50 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高;不施氮肥条件下,当施用的纯磷量为73.00 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾量为69.50 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高。施纯氮量为114.65 kg/hm<sup>2</sup>、施纯磷量为73.03 kg/hm<sup>2</sup>、施纯钾量为60.95 kg/hm<sup>2</sup>时,产量最高,为10363.13 kg/hm<sup>2</sup>。其中,氮肥施用量对中单509产量影响最大,其次是钾肥施用量。说明氮、磷、钾肥对玉米产量的影响存在互作效应,增施适量的氮、磷、钾肥有利于玉米产量的提高。

**关键词:**玉米;氮肥;磷肥;钾肥;产量

**中图分类号:** S513.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0061-03

玉米作为我国的主要粮饲作物,在国民经济发展中占有重要的地位。氮素是影响玉米产量形成的重要元素之一<sup>[1-2]</sup>,施用适量的氮肥能得到较高的玉米产量<sup>[3]</sup>;虽然施氮肥能显著提高玉米籽粒的产量<sup>[4]</sup>,但施氮量必须适量,研究表明,玉米籽粒产量与氮肥施用量呈单峰曲线方程的关系,在一定范围内,随着氮肥施用量的增加,玉米产量逐渐增加,当氮肥增加到一定量时,玉米产量开始呈下降趋势<sup>[5-6]</sup>。磷素也是影响玉米产量的重要元素之一,施用磷肥对玉米产量的提高具有明显的促进效果<sup>[7]</sup>。在施氮的基础上,配施磷、钾肥,对玉米产量的提高具有明显的促进效果,玉米产量随着磷肥施用量的增加而提高,且达到显著差异水平<sup>[8]</sup>。随着磷肥施用量的增加,玉米的百粒质量增加,从而提高玉米籽粒产量<sup>[9]</sup>。目前关于施用磷肥提高玉米产量的研究已有很多报道<sup>[10-11]</sup>。施钾量对玉米的产量也有很大的影响<sup>[12]</sup>。施用钾肥可促进玉米对养分的吸收,提高玉米的籽粒产量,但过量施用钾肥会明显降低经济效益<sup>[13-15]</sup>。氮磷钾配施对玉米产量有较大的影响<sup>[1]</sup>,目前在这方面的研究较少,主要是由于不同玉米品种对氮、磷、钾肥的响应不同,而关于天津主推玉米品种中单509氮、磷、钾肥的配施研究尚未见报道。因此,本研究以中单509为材料,探讨不同氮、磷、钾肥配施处理对玉米产量的影响,为天津地区春玉米中单509氮、磷、钾肥的合理施用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为春玉米中单509,施用肥料为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(含K<sub>2</sub>O 60%)。试验地点在天津市静海县良种场,供试土壤为潮土,0~20 cm土层的基本化学性质为:有机质含量31.32 g/kg,碱解氮含量174.00 mg/kg,全磷含量1.17 g/kg,有效磷含量5.47 mg/kg,有效钾含量19.73 mg/kg,pH值为8.2。

### 1.2 试验方法

采用3因素5水平的二次回归正交旋转组合设计试验,共设23个处理,3次重复,小区采用完全随机排列,水平编码值和施肥量见表1。氮肥以基肥(50%,开沟施入)和大喇叭口期追肥(50%,穴施)的形式分2次施入,磷肥和钾肥均以基肥方式一次开沟施入,穴施深度和沟施深度均为10 cm左右。每个小区种10行,行长6 m,行距55 cm,株距28 cm。2015年5月4日进行播种,田间管理同一般生产。

表1 施肥量及水平编码值

水平 编码值	x <sub>1</sub> :纯氮(N) 施用量(kg/hm <sup>2</sup> )	x <sub>2</sub> :纯磷(P) 施用量(kg/hm <sup>2</sup> )	x <sub>3</sub> :纯钾(K) 施用量(kg/hm <sup>2</sup> )
-1.682	45.00	15.00	22.50
-1	81.49	39.33	40.75
0	135.00	75.00	67.50
1	188.51	110.67	94.25
1.682	225.00	135.00	112.50

### 1.3 测定项目与方法

在成熟期每个小区取中间3行测定玉米产量,然后推算产量。

### 1.4 数据处理与分析

采用Excel 2010软件分析数据,SAS 8.1软件进行回归分析并建构模型、制作响应面图。

收稿日期:2016-06-05

基金项目:天津市高等学校创新团队计划(编号:TD12-5017);“十二五”农村领域国家科技计划(编号:2013BAD05B08)。

作者简介:杜锦(1984—),男,山西阳泉人,硕士,实验师,主要从事玉米遗传育种和种子科学研究。E-mail:401558171@qq.com。

通信作者:向春阳,博士,教授,硕士生导师,主要从事玉米遗传育种和种子科学相关研究。E-mail:xxceyy2000@sohu.com。

## 2 结果与分析

### 2.1 中单 509 产量回归模型的分析

小区平均产量( $y$ )见表 2,通过分析,得到施用的纯氮量、纯磷量和纯钾量与产量的回归分析模型,具体如下:

$$y = 3\ 306.500 + 27.156x_1 + 109.363x_2 + 59.137x_3 - 0.199x_1^2 - 0.733x_2^2 - 0.464x_3^2 + 0.153x_1x_2 + 0.144x_1x_3 - 0.389x_2x_3。$$

对方程进行显著性检验可得,总的回归复相关系数  $R = 0.848$ ,  $F$  值为 3.70,  $P$  值为  $0.0165 < 0.05$ , 达到显著水平; 确定系数为  $R^2 = 0.7191$ , 可以利用此方程进一步分析施肥量与产量的相关性。根据回归模型得出, 施用纯氮量为  $114.65 \text{ kg/hm}^2$ 、纯磷量为  $73.03 \text{ kg/hm}^2$ 、纯钾量为  $60.95 \text{ kg/hm}^2$  时, 产量达到最大, 为  $10\ 363.13 \text{ kg/hm}^2$ 。

表 2 试验处理方案及产量

处理	$x_1$	$x_2$	$x_3$	产量 ( $\text{kg/hm}^2$ )
1	1	1	1	8 166.90
2	1	1	-1	8 621.19
3	1	-1	1	8 891.90
4	1	-1	-1	7 813.71
5	-1	1	1	8 314.89
6	-1	1	-1	9 545.91
7	-1	-1	1	10 157.56
8	-1	-1	-1	9 951.53
9	1.682	0	0	7 923.12
10	-1.682	0	0	7 614.64
11	0	1.682	0	6 485.12
12	0	-1.682	0	7 000.38
13	0	0	1.682	7 130.66
14	0	0	-1.682	9 754.67
15	0	0	0	10 210.95
16	0	0	0	10 280.33
17	0	0	0	9 974.65
18	0	0	0	10 105.57
19	0	0	0	10 646.33
20	0	0	0	10 222.99
21	0	0	0	10 253.54
22	0	0	0	9 906.33
23	0	0	0	10 412.17

### 2.2 单因素对中单 509 产量的效应分析

如将回归模型的任意 2 个变量设为 0 水平, 即可得 3 个变量中 1 个变量的回归子模型。各单因素的回归方程如下:

氮素:  $y_1 = 3\ 306.500 + 27.156x_1 - 0.199x_1^2$ ; 磷素:  $y_2 = 3\ 306.500 + 109.363x_2 - 0.733x_2^2$ ; 钾素:  $y_3 = 3\ 306.500 + 59.137x_3 - 0.464x_3^2$ , 分别将  $\pm 1.682$ 、 $\pm 1$ 、0 共 5 个水平代入子模型回归方程, 可得到单因素影响中单 509 产量 ( $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ) 的效应曲线 (图 1)。

由图 1 可以看出, 氮肥、磷肥和钾肥施用量与产量的关系相似, 都表现出二次曲线的变化关系。纯氮施用量在  $45.00 \sim 68.23 \text{ kg/hm}^2$  时, 中单 509 的产量随着施氮量的增加而增加, 纯氮量在  $68.23 \sim 225.00 \text{ kg/hm}^2$  时, 中单 509 的产量随着氮肥施用量的增加而减少, 即纯氮量为  $68.23 \text{ kg/hm}^2$

时, 中单 509 的产量达到最大。同样, 纯磷量在  $74.60 \text{ kg/hm}^2$  和纯钾量在  $63.73 \text{ kg/hm}^2$  时, 中单 509 的产量达到最大, 磷肥和钾肥对产量的影响规律与氮肥相似。

通过图 1 和子模型的分析可知, 当氮肥、磷肥、钾肥施用量低时, 中单 509 的增产效应明显, 达到最大值后, 继续增加施肥量, 则会导致中单 509 产量的下降。

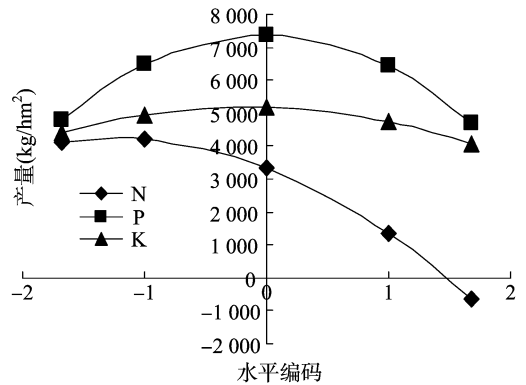


图 1 氮、磷、钾肥施用量对中单 509 产量的效应

### 2.3 双因素对中单 509 产量的交互效应

2.3.1 氮、磷肥对中单 509 产量的交互 钾肥固定在 0 水平时, 可得氮、磷肥施用量对中单 509 产量影响的子模型 (式 1)。根据方程可得氮肥和磷肥对中单 509 产量的交互效应值。

$$y_{(1,2)} = 3\ 306.500 + 27.156x_1 + 109.363x_2 - 0.199x_1^2 - 0.733x_2^2 + 0.153x_1x_2。 \quad (1)$$

将 2 个因素的水平编码值  $\pm 1.682$ 、 $\pm 1$ 、0 代入以上子模型, 可得到氮、磷肥施用量对中单 509 产量影响的交互效应响应面图。

从图 2 可以看出, 施用的纯氮量在  $45.00 \sim 225.00 \text{ kg/hm}^2$ 、纯磷量在  $15.00 \sim 135.00 \text{ kg/hm}^2$  范围内时, 中单 509 的产量随着氮素、磷素施用量的增加呈先升高后降低的变化趋势。当施用的纯氮量为  $123.00 \text{ kg/hm}^2$ 、纯磷量为  $87.00 \text{ kg/hm}^2$  时, 产量达到最大, 为  $7327.19 \text{ kg/hm}^2$ 。

2.3.2 氮、钾肥对中单 509 产量的交互 磷肥固定在 0 水平时, 可得氮、钾肥施用量对中单 509 产量影响的子模型 (式 2)。

$$y_{(1,3)} = 3\ 306.500 + 27.156x_1 + 59.137x_3 - 0.199x_1^2 - 0.464x_3^2 + 0.144x_1x_3。 \quad (2)$$

将 2 个因素的水平编码值  $\pm 1.682$ 、 $\pm 1$ 、0 代入以上子模型, 可得到氮、钾肥施用量对中单 509 产量影响的交互效应响应面图。

从氮肥和钾肥施用量对中单 509 产量影响的交互效应响应面图 (图 3) 可以得出, 施用的纯氮量在  $45.00 \sim 225.00 \text{ kg/hm}^2$ 、纯钾量在  $22.50 \sim 112.50 \text{ kg/hm}^2$  范围内时, 中单 509 的产量随着氮肥、钾肥施用量的增加呈先升高后降低的变化趋势。当施用的纯氮量为  $128.00 \text{ kg/hm}^2$ 、纯钾量为  $82.50 \text{ kg/hm}^2$  时, 产量达到最大, 为  $6\ 944.19 \text{ kg/hm}^2$ 。

2.3.3 磷、钾肥对中单 509 产量的交互 氮肥固定在 0 水平时, 可得磷、钾肥施用量对中单 509 产量影响的子模型 (式 3)。

$$y_{(2,3)} = 3\ 306.500 + 109.363x_2 + 59.137x_3 - 0.733x_2^2 -$$

$$0.464x_3^2 - 0.389x_2x_3 \quad (3)$$

将2个因素的水平编码值 $\pm 1.682$ 、 $\pm 1.0$ 代入以上子模型,可得到磷、钾肥施用量对中单509产量影响的交互效应响应面图。

从磷肥和钾肥对中单509产量的交互效应响应面图(图

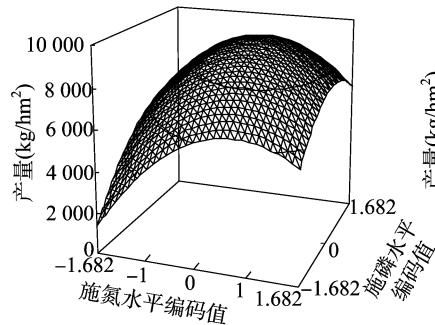


图2 氮肥与磷肥施用水平对中单509产量影响的交互效应

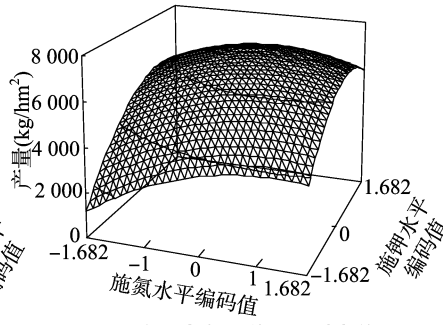


图3 氮肥与钾肥施用量对中单509产量影响的交互效应

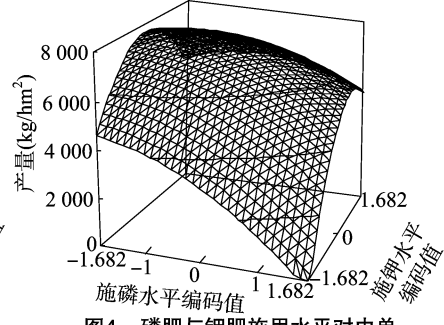


图4 磷肥与钾肥施用水平对中单509产量影响的交互效应

### 3 讨论与结论

氮素是作物体内蛋白质的重要组成成分,也是作物的必需营养元素,随着施氮量的增加,玉米产量和百粒质量都呈先升高后下降的变化趋势,且呈单峰曲线变化<sup>[16]</sup>。磷素也是作物的必需营养元素,随着施磷量的增加,玉米产量也有增加的趋势<sup>[17-19]</sup>。随着施钾量的增加,玉米产量也呈先升高后降低的变化趋势,且呈单峰曲线变化,增施一定量的钾肥后,玉米产量剧增,继续增施钾肥会导致产量降低<sup>[20]</sup>,这些结果和本试验结果一致。本试验结果表明,在单一氮、磷、钾肥的施用下,玉米产量均是在一定范围内随着施肥量的增加而增加,超过此范围后继续增加施肥量,玉米产量反而降低。

在施用氮素、磷素的条件下,配施钾素,有利于增加玉米产量<sup>[21]</sup>。氮、磷、钾肥配施较单施某一种肥料增产效果好<sup>[22]</sup>,氮、磷、钾营养平衡施用能显著增加玉米产量<sup>[23]</sup>,这些结果也与本试验结果一致。本试验对不同氮、磷、钾肥配施比例对玉米产量的影响进行单、双因素分析,结果表明,单因素施肥对玉米产量的影响表现为氮肥>钾肥>磷肥;双因素施肥对玉米产量的影响表现为氮磷肥>磷钾肥>氮钾肥,说明氮肥对玉米产量的影响最大,同施3种肥料中的任意2种均可相互促进玉米对肥料的吸收,进而提高产量。本研究通过二次回归正交旋转组合设计试验,并进行模拟、寻优,得出回归方程。回归方程的拟合性很好,通过方程得到了氮、磷、钾配施提高中单509产量的优良方案,当施用的纯氮量为114.65 kg/hm<sup>2</sup>、纯磷量为73.03 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾量为60.95 kg/hm<sup>2</sup>时,春玉米中单509的产量达到最高值,为10363.13 kg/hm<sup>2</sup>,可作为实际应用的良好方案。

为增加玉米产量,盲目加大氮肥、磷肥和钾肥的投入是不科学的,生产中一定要结合土壤和品种类型合理地配施氮、磷、钾肥,这样不仅能减少肥料的浪费、降低农民的种地成本,而且能减轻肥料对环境造成的污染。

#### 参考文献:

[1] 祝云芳,王天宇,罗德强,等. 氮肥不同施用时期及施用方式对玉米杂交种遵205产量的影响[J]. 种子,2008,27(9):91-93.

4)可以得出,当施用的纯磷量在15.00~135.00 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾量在22.50~112.50 kg/hm<sup>2</sup>范围内时,中单509的产量随着磷素、钾素施用量的增加呈先升高后降低的变化趋势。当施用的纯磷量为73.00 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾量为69.50 kg/hm<sup>2</sup>时,产量达到最大,为7934.24 kg/hm<sup>2</sup>。

[2] 房琴,高影,王红光,等. 密度和施氮量对超高产夏玉米干物质积累和产量形成的影响[J]. 华北农学报,2015,30(增刊1):133-138.

[3] 葛均筑,李淑姬,钟新月,等. 施氮量与地膜覆盖对长江中游春玉米产量性能及氮肥利用效率的影响[J]. 作物学报,2014,40(6):1081-1092.

[4] 景立权,赵福成,王德成,等. 不同施氮水平对超高产夏玉米氮磷钾积累与分配的影响[J]. 作物学报,2013,39(8):1478-1490.

[5] Gozubenli H, Ulger A C, Sener O. The effect of different nitrogen dose on grain yield and yield-related characters of some maize genotypes grown as second-crop[J]. J. Agric. Fae. Cu, 2001, 16:39-48.

[6] Tsai C Y, Dweikat I, Huber D M, et al. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays*) grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1992, 58(1):1-8.

[7] 朴秀吉,于小东,李长梅,等. 磷肥不同施用方法对郑单958产量及养分吸收的影响[J]. 玉米科学,2008,16(6):144-145.

[8] 武际,郭熙盛,王文军,等. 磷钾肥配合施用对玉米产量及养分吸收的影响[J]. 玉米科学,2006,14(3):147-150.

[9] 赵海军. 磷素营养对不同类型玉米产量和品质的影响及其生理基础[D]. 泰安:山东农业大学,2003:102-108.

[10] 赵靓,侯振安,李水仙,等. 磷肥用量对土壤速效磷及玉米产量和养分吸收的影响[J]. 玉米科学,2014,22(2):123-128.

[11] Shang Q Y, Ling N, Feng X M, et al. Soil fertility and its significance to crop productivity and sustainability in typical agroecosystem: a summary of long-term fertilizer experiments in China[J]. Plant and Soil, 2014, 381(1/2):13-23.

[12] 唐谷,张鹏,张洪龙,等. 杂交玉米新品种顺单6号在中高海拔地区超高产栽培技术研究——I. 密度与氮、磷、钾对产量及主要经济性性状影响初探[J]. 种子,2009,28(5):119-122.

[13] 谢佳贵,侯云鹏,尹彩侠,等. 施钾和秸秆还田对春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5):1110-1118.

[14] 侯云鹏,杨建,孔丽丽,等. 施钾对春玉米产量、养分吸收及分配的影响[J]. 玉米科学,2015,23(4):124-131.

[15] 陈林,朱青,陈正刚,等. 氮磷钾配施对杂交玉米新品种郑单21产量的影响[J]. 种子,2009,28(8):85-87.

[16] 申丽霞,王璞,张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及

徐洪伟,杜丰平,张鑫,等. 玉米毛状根再生植株氮高效利用生理机制初探[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):64-66.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.016

# 玉米毛状根再生植株氮高效利用生理机制初探

徐洪伟,杜丰平,张鑫,史宏伟,周晓馥

(吉林师范大学/吉林省植物资源科学与绿色生产重点实验室,吉林四平 136000)

**摘要:**以玉米毛状根再生植株为材料,探究玉米毛状根再生植株氮高效利用生理机制。采用水培试验设计,对六叶期植株根系形态学指标、叶片氮含量、SPAD值及光合作用特性进行测定。结果表明,毛状根再生植株根系形态指标、固氮能力、SPAD值以及光合作用参数明显高于对照组。毛状根再生植株的根系发达,促进了生长环境中氮营养元素吸收,提高了植株的氮利用效率,进而提高了植株光合能力。本试验为玉米氮高效利用生理机制研究提供了理论基础。

**关键词:**玉米;毛状根再生植株;氮肥固定效率;高效利用;光合特性;生理机制

**中图分类号:**S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)22-0064-03

良好的根系形态有利于提高玉米对水分以及营养的吸收与积累。氮是作物必需的大量营养元素之一,不仅是蛋白质合成的主要成分,还是叶绿素、植物激素等的重要组成成分<sup>[1]</sup>。玉米叶片的生长与氮的吸收之间有着显著的关系,氮能够影响玉米叶片的生长及光合作用能力,缺氮能够抑制植物的生长速率和作物质量<sup>[2-3]</sup>。因此,高效的氮吸收对作物的生长有着重要的影响<sup>[4]</sup>。光合作用直接受叶片氮含量的影响,叶片光合作用速率是判断和分析作物生长以及营养状况的重要指标<sup>[5]</sup>。前人研究发现,RuBPCase酶是植物光合作用的关键酶,Makino等在对玉米和水稻氮高效利用的研究中发现植株叶片氮含量与RuBPCase酶有着重要关系<sup>[6]</sup>。

毛状根再生植株是通过发根农杆菌介导的基因对植物体进行遗传转化后获得的,毛状根再生植株在形态学上表现根系发达,侧根增多<sup>[7]</sup>。徐洪伟等发现在水分胁迫下,毛状根再生植株的根系形态指标较对照组显著提高<sup>[8]</sup>。徐洪伟等

通过研究玉米毛状根再生植株在水分胁迫下的生理指标发现,玉米毛状根再生植株的光合速率、蒸腾速率、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度、气孔导度均高于对照组<sup>[9]</sup>。

本研究采用笔者所在实验室具有自主知识产权的玉米毛状根再生植株为材料,以吉单35自交系为对照,对玉米毛状根再生植株六叶期叶片氮元素含量、SPAD值、净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $E$ )、气孔导度( $G_s$ )、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ )、水分利用效率(WUE)、水蒸气压力亏缺(VPD)、根系形态学指标(植株总根长、总投影面积、总表面积、平均根系直径、总体积、根尖数、分支数、交叉数)进行测定,为提高玉米氮肥固定效率、研究玉米氮高效机制提供了理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 植物材料 毛状根再生植株:笔者所在实验室具有自主知识产权的玉米毛状根再生植株(发根农杆菌介导的吉单35转化株)<sup>[7]</sup>。对照组:吉单35自交系,吉林省农业科学院惠赠。

1.1.2 培养液组成 Hoagland营养液组成: K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.75 mmol/L, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.25 mmol/L, MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.65 mmol/L, EDTA - Na - Fe 0.1 mmol/L, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 1.0 × 10<sup>-2</sup> mmol/L, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 1.0 × 10<sup>-3</sup> mmol/L, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 1.0 × 10<sup>-3</sup> mmol/L, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 1.0 × 10<sup>-4</sup> mmol/L, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O 5.0 × 10<sup>-6</sup> mmol/L。

子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):314-319.

[17] 张立花,张辉,黄玉芳,等. 施磷对玉米吸磷量、产量和土壤磷含量的影响及其相关性[J]. 中国生态农业学报,2013,21(7):801-809.

[18] Liu K, Ma B L, Luan L M, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium nutrient effects on grain filling and yield of high-yielding summer corn[J]. Journal of Plant Nutrition, 2011, 34(10):1516-1531.

[19] Amhakhian S O, Osemwota I O. Effects of different levels of Phosphorus on the performance of maize (*Zea mays* L.) in Anyigba, Northcentral, Kogi State, Nigeria [J]. International Journal of

Agriculture and Rural Development, 2012, 15(2):1049-1058.

[20] 常莹,闫伟平,孙宁,等. 不同钾肥施用量对玉米抗倒性能及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(5):47-52.

[21] 杨玉玲,刘文兆,王俊,等. 配施钾肥、有机肥对旱地春玉米光合生理特性和产量的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(3):116-121.

[22] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等. 长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(5):711-716.

[23] 黄绍文,孙桂芳,金继运,等. 氮、磷和钾营养对优质玉米子粒产量和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):225-230.

收稿日期:2016-04-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:31070224);吉林省重点科技计划(编号:20120206)。

作者简介:徐洪伟(1964—),男,吉林四平人,博士,教授,从事植物基因工程研究。Tel:(0434)3290576;E-mail:jlspxhw@126.com。

通信作者:周晓馥,博士,教授,从事植物基因工程研究。Tel:(0434)3296645;E-mail:zhouxiaofu@jlnu.edu.cn。