

文章编号: 1005-0906(2014)06-0108-06

# 控释氮肥对春玉米干物质积累、 氮素吸收及产量的影响

尹彩侠<sup>1</sup>, 刘宏伟<sup>2</sup>, 孔丽丽<sup>1</sup>, 王朋峰<sup>3</sup>, 吕 岩<sup>4</sup>, 侯云鹏<sup>1</sup>,  
李 前<sup>1</sup>, 秦裕波<sup>1</sup>, 王信丰<sup>3</sup>, 谢佳贵<sup>1</sup>, 谭国波<sup>1</sup>

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部东北植物营养与农业环境重点实验室, 长春 130033;

2. 吉林省农业科学院玉米研究所, 吉林 公主岭 136100; 3. 金正大生态工程集团股份有限公司, 山东 临沭 276700;

4. 吉林省土壤肥料总站, 长春 130012)

**摘 要:** 通过田间试验, 研究控释氮肥和普通氮肥对春玉米干物质积累与分配和氮素吸收与分配及玉米产量的影响。结果表明, 施氮增加了玉米的干物质积累速率、氮素吸收速率及玉米产量。施用控释氮肥较普通氮肥提高玉米的干物质积累量及玉米植株的氮素吸收量, 促进氮素向子粒的转移, 子粒氮素所占比重达 68.63%; 控释氮肥较普通氮肥提高氮肥表观利用率 5.21 个百分点。

**关键词:** 春玉米; 控释氮肥; 干物质积累; 氮素吸收

**中图分类号:** S513.062

**文献标识码:** A

## Effect of Controlled-release Nitrogen Fertilizer on Dry Matter Accumulation, Nitrogen Absorption and Yield of Spring Maize

YIN Cai-xia<sup>1</sup>, LIU Hong-wei<sup>2</sup>, KONG Li-li<sup>1</sup>, WANG Peng-feng<sup>3</sup>, LÜ Yan<sup>4</sup>, HOU Yun-peng<sup>1</sup>,  
LI Qian<sup>1</sup>, QIN Yu-bo<sup>1</sup>, WANG Xin-feng<sup>2</sup>, XIE Jia-gui<sup>1</sup>, TAN Guo-bo<sup>1</sup>

(1. Agricultural Resources and Environment Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences,  
Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region,  
Ministry of Agriculture, Changchun 130033;

2. Maize Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100;

3. Kingenta Ecological Engineering Group Co., Ltd, Linshu 276700;

4. Soil and Fertilizer Station of Jilin Province, Changchun 130012, China)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the effects of controlled-release nitrogen fertilizers (CRNFs) and common nitrogen fertilizers (CNFs) on dry matter accumulation and distribution, nitrogen absorption and distribution, maize yield. The results showed that dry matter accumulation rate, nitrogen uptake rate and maize yield were increased under applying nitrogen fertilizers, respectively. The amounts of dry matter accumulation and nitrogen absorption were increased under applying CRNFs compared with CNFs. And applying CRNFs could promote nitrogen translocation to grain, the proportion of nitrogen accumulation in grain by 68.63%. Nitrogen apparent use efficiency with applying CRNFs was increased by 5.21 percentage points than that with CNFs.

**Key words:** Maize; Controlled-release nitrogen fertilizer; Dry matter accumulation; Nitrogen absorption

收稿日期: 2014-03-04

基金项目: 农业部公益性行业项目“主要粮食作物一次性施肥技术与示范”(201303103)、国家玉米产业体系 (CARS-02)、国家缓控释肥工程技术研究、国家科技支撑计划“吉林春玉米粳稻大面积均衡增产技术集成研究与示范”(2012BAD04B02)

作者简介: 尹彩侠(1978-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事植物营养研究。Tel: 0431-87063181

刘宏伟同为本文第一作者。E-mail: hongwei79@126.com

谢佳贵、谭国波为本文通讯作者。

玉米在我国粮食生产中占有重要地位。东北春玉米区是我国最大的玉米产区,对全国粮食生产具有举足轻重的作用<sup>[1~3]</sup>。氮素是玉米生长发育的必需营养元素,氮肥是玉米氮素的主要来源<sup>[4]</sup>,施用氮肥可以增加玉米子粒蛋白质含量,提高生物量 and 经济产量。近年来氮肥的过量施用不仅造成了经济效益低下、氮肥利用率显著下降,而且给生态环境带来了污染<sup>[5~7]</sup>。因此,选择适宜的氮肥和恰当的施用方法,是协调氮素供应与作物吸收、减少氮素损失、提高氮肥利用率的重要途径。控释氮肥是一种能够控制氮素养分释放、使氮素供应强度与作物生理需求达到动态平衡的控释肥料<sup>[8,9]</sup>。研究表明,施用控释氮肥可以显著增加玉米产量,提高氮肥利用率<sup>[10]</sup>。

本试验通过控释氮肥与普通氮肥对比试验,分析控释氮肥与普通氮肥对玉米的干物质积累与分配、氮素吸收与分配及产量的影响,为控释氮肥在东北春玉米上的合理施用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验设在吉林省公主岭市刘房子镇中等肥力黑土上进行。试验地全氮含量 0.13%,速效氮含量 128.73 mg/kg,速效磷含量 69.50 mg/kg,速效钾含量 122.50 mg/kg,有机质含量 22.60 g/kg,pH 值为 5.25,田间持水量为 26.13%。整个生育期日照数为 1 285 h,积温为 3 154.8℃·d,降水为 642.9 mm。

### 1.2 供试材料

供试玉米品种为先玉 335,种植密度为 6.0 万株/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 试验设计与方法

试验设不施氮肥(CK)、普通氮肥(PU,底施+追施)和控释氮肥(PCU,一次性底施)3个处理。PU和

PCU处理施氮量为 180 kg/hm<sup>2</sup>,各处理磷、钾肥用量一致(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 75 kg/hm<sup>2</sup>)。试验设 3 次重复,随机排列,小区面积 50 m<sup>2</sup>。

试验所用氮肥为金正大树脂包膜尿素(含 N 43%)和普通尿素(含 N 46%),磷肥为重过磷酸钙(含 N 18%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%),钾肥为氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)。作底肥的控释尿素和普通尿素及所有磷钾肥于播种前打垅时一次性深施,作追肥的普通尿素于拔节中期施入。

### 1.4 样品采集

试验于春播施肥前取 0~20 cm 土样,测定全氮、速效氮、速效磷、速效钾、pH 值、有机质、田间持水量;玉米植株样品分别在 3 叶 1 心期、6 叶期、拔节期、大喇叭口期、抽雄开花期、乳熟期和成熟期采取,并将所取植株按不同营养器官在 105℃恒温下杀青 20 min,在 80℃恒温下烘干至恒重,粉碎,测定养分含量。

### 1.5 数据处理与统计分析

采用 Microsoft Excel 进行数据处理,采用 SAS 9.0 软件进行统计分析。

氮肥表观利用率=(施氮区玉米吸氮量-不施氮区玉米吸氮量)/施氮量×100%;

氮肥农学效率=(施氮处理子粒产量-不施氮处理子粒产量)/施氮量;

氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量;

氮素利用效率=玉米子粒干重/成熟时玉米地上部植株养分总量。

## 2 结果与分析

### 2.1 控释氮肥和普通氮肥对玉米植株干物质积累的影响

#### 2.1.1 控释氮肥和普通氮肥对玉米植株干物质积累速率的影响

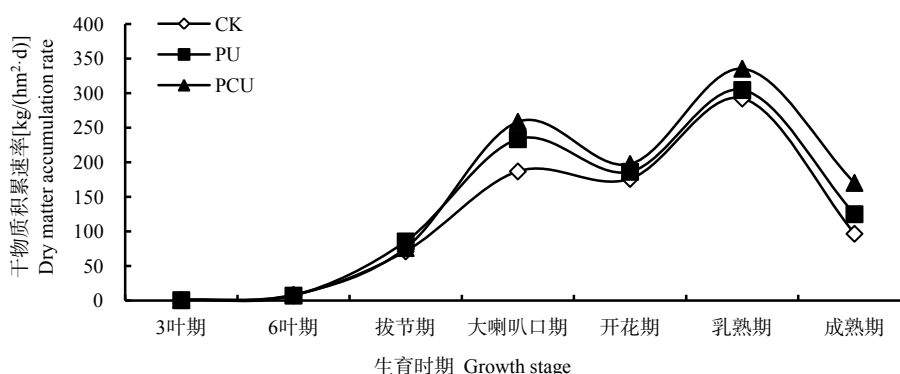


图1 不同处理地上部干物质积累速率变化

Fig.1 Change of accumulation rate of above-ground dry matter under different treatments

干物质积累速率是作物的光合作用量积累强度。由图1可以看出,施用氮肥增加了玉米干物质积累速率,施用控释氮肥处理的干物质积累速率大于施用普通氮肥处理。乳熟期是玉米干物质积累速率的高峰期,PCU处理的平均积累速率最高,为 $335.27 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ ;其次是PU处理。从大喇叭口期至成熟期,PCU处理的干物质积累速率始终高于其他处理,说明施用控释氮肥与施用普通氮肥处理均能增加玉米干物质积累量,从而提高玉米子粒产量。

2.1.2 控释氮肥和普通氮肥对玉米植株干物质分配的影响

随着玉米生育时间的推移,玉米各器官的干物质逐渐增加,苗期至拔节期玉米以叶的生长为主,从大喇叭口期开始营养器官所占比例逐渐降低,生殖器官所占比例增大。由图2可见,苗期至拔节期各

处理间地上部干物质积累量无显著差异;大喇叭口期各处理玉米茎、叶分别占地上部干物质总量的 $48.15\% \sim 50.53\%$ 和 $49.47\% \sim 51.85\%$ ;开花期玉米进入生殖生长与营养生长并进阶段,玉米营养器官中叶所占干物质比重有所下降,茎、叶分别占地上部干物质总量的 $60.59\% \sim 61.81\%$ 和 $38.19\% \sim 39.41\%$ ;乳熟期随着玉米子粒的形成,生殖器官所占干物质比重迅速增加,子粒占干物质总量的 $33.52\% \sim 34.48\%$ 。PCU处理的子粒干物质积累量相对高于PU处理,差异不显著,说明在乳熟期PCU处理转移到子粒的营养较多;成熟期子粒的干物质分配比例明显高于茎、叶,达 $54.38\% \sim 56.39\%$ ,各处理间无明显差异。PCU处理地上部总的干物质积累量高于CK和PU处理。

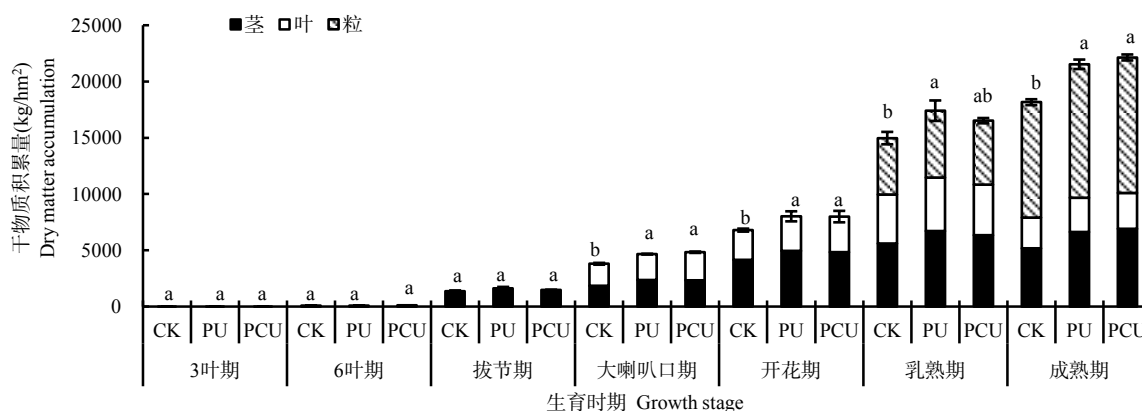


图2 不同处理地上部干物质积累及分配

Fig.2 Accumulation and distribution of above-ground dry matter under different treatments

## 2.2 控释氮肥和普通氮肥对玉米植株氮素累积的影响

### 2.2.1 控释氮肥和普通氮肥对玉米植株氮素吸收速率的影响

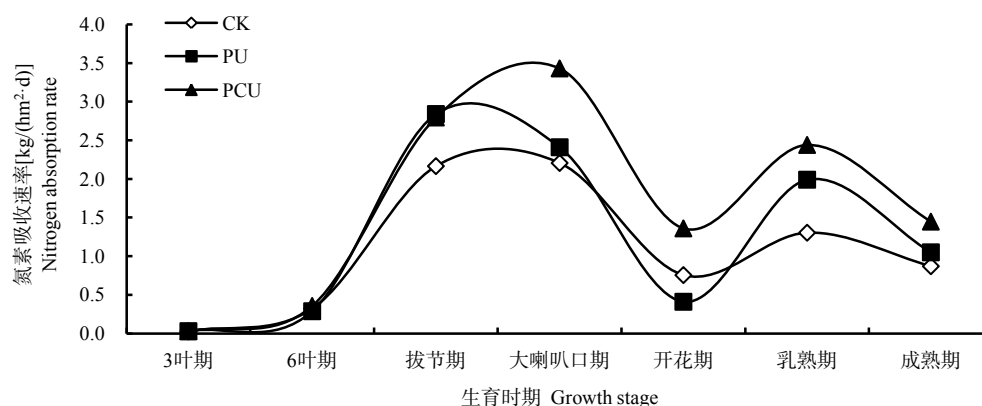


图3 不同处理地上部氮素吸收速率变化

Fig.3 Change of nitrogen accumulation rate of above-ground parts under different treatments

由图3可以看出,大喇叭口期是玉米氮素吸收速率的高峰期,以PCU处理最高,平均氮素吸收速

率为 $3.43 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ ;其次是PU处理,平均速率为 $2.41 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ 。从大喇叭口期至成熟期,玉米氮素

吸收速率呈“下降—升高—再下降”的趋势,PU处理的变幅较大,PCU处理的变幅较缓,且在大喇叭口期至成熟期其氮素吸收速率最高,说明控释氮肥具有延缓氮释放的效果,从大喇叭口期至成熟期能持续不断地为玉米提供充足的养分,使玉米不会出现后期脱肥现象。

2.2.2 控释氮肥和普通氮肥对玉米植株氮素分配的影响

养分的吸收、同化与转运直接影响作物的生长和发育,从而影响产量。从氮素在玉米生育期的分配可以看出(图4),玉米苗期氮素全部分配到叶中,各处理间地上部氮素累积量无明显差异;拔节期除CK处理的地上部氮素累积量显著小于其他处理外,各施氮处理间差异不大;大喇叭口期PU处理地上部氮素累积总量高于其他处理,其他施氮处理间差异

不显著。各处理叶的氮素累积量显著高于茎,茎、叶分别占总吸氮量的26.31%~33.83%和66.17%~73.69%;开花期玉米进入营养生长与生殖生长并进时期,茎的氮素含量占总吸氮量的比重略有下降,叶的氮素吸收量所占比重有所增加,施氮处理地上部的氮素累积量显著高于不施氮处理,且PCU处理叶的氮素累积量高于其他处理;灌浆乳熟期是玉米生殖生长的旺盛阶段,营养器官吸氮量所占比重迅速下降,生殖器官吸氮量所占比重大幅上升,各处理子粒中的氮素累积量分别占总吸氮量的42.69%~47.09%。乳熟期PU处理的氮素累积量显著高于PCU处理,而分配到子粒的氮素小于PCU处理;成熟期各处理子粒氮素累积量所占比重进一步上升到65.21%~68.63%,远大于其他器官,PCU处理氮素累积总量高于PU处理,差异不显著。

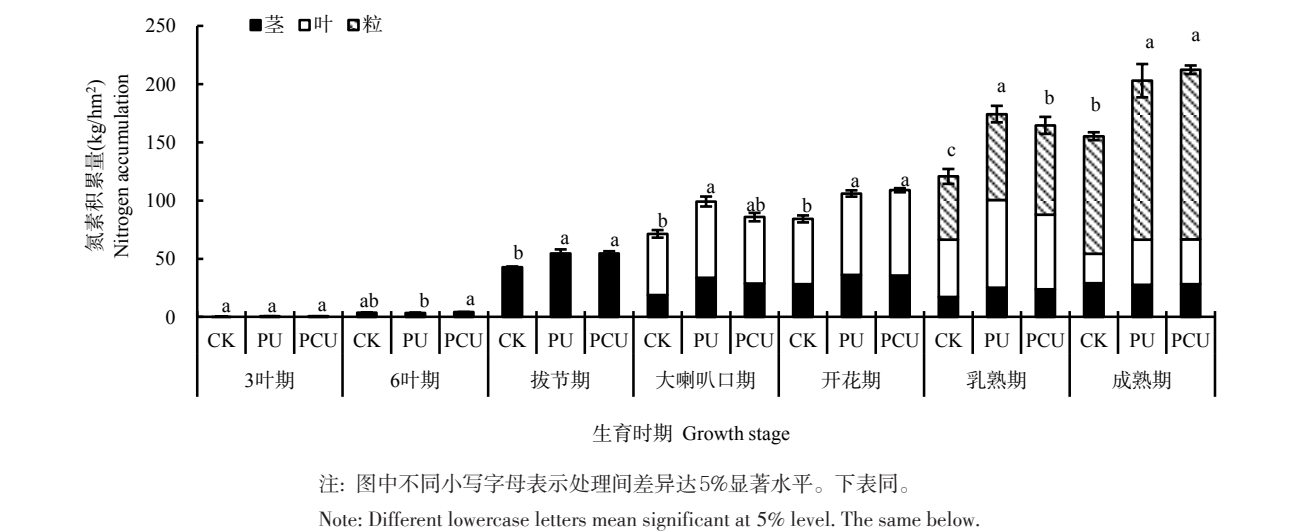


图4 不同处理地上部氮素累积及分配  
Fig.4 Nitrogen accumulation and distribution of above-ground parts under different treatments

2.3 控释氮肥和普通氮肥对玉米产量的影响

2.3.1 不同处理作物生长感观指标及产量的比较

由表1可见,氮肥的施用明显增加玉米的产量、百粒重及穗粒数。施氮各处理的产量显著高于不施氮处理,但施氮各处理间差异不显著;PCU处理的百

粒重高于其他处理,PU处理的穗粒数最高,但与PCU处理间差异不显著;PU和PCU处理的增产率分别为25.62%和27.12%。施用控释氮肥处理的玉米综合性状好于施用普通氮肥处理。

| 表1 不同处理产量及产量构成因素                                              |            |                   |                  |                 |
|---------------------------------------------------------------|------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Table 1 Yield and yield components under different treatments |            |                   |                  |                 |
| 处 理                                                           | 产量(kg/hm²) | 百粒重(g)            | 穗粒数(粒)           | 增产率(%)          |
| Treatment                                                     | Yield      | 100-kernel weight | Grains per spike | Increasing rate |
| CK                                                            | 8 883 b    | 33.8 b            | 553 b            |                 |
| PU                                                            | 11 159 a   | 34.5 ab           | 585 a            | 25.62           |
| PCU                                                           | 11 292 a   | 36.1 a            | 578 ab           | 27.12           |

2.3.2 不同处理氮素养分利用率的比较

对各处理吸氮量、氮素利用率、氮肥表观利用率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力进行分析表明(表2),施用控释氮肥较普通氮肥可提高玉米的吸氮量、氮素利用率、氮肥表观利用率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力,PCU处理的氮素利用效率和氮肥表

观利用率较PU处理分别提高了2.63%和5.21个百分点,说明控释氮肥通过缓慢释放养分减少了氮素的淋失,提高了肥料利用率,且控释氮肥一次性施入较普通氮肥分两次施用,在产量差异不大的条件下,减少了人工投入成本。

表2 不同处理相关参数分析  
Table 2 Analysis of the relevant factor under different treatments

| 处 理<br>Treatment | 产量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Yield | 吸氮量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>N uptake | 氮素利用效率<br>NUE | 农学效率(kg/kg)<br>AE | 氮肥表观利用率(%)<br>NAUE | 氮肥偏生产力(kg/kg)<br>PFP |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| CK               | 8 883 b                          | 155.26 b                             |               |                   |                    |                      |
| PU               | 11 159 a                         | 202.97 a                             | 55.23         | 12.64             | 26.51              | 62.00                |
| PCU              | 11 292 a                         | 212.36 a                             | 56.68         | 13.38             | 31.72              | 62.74                |

3 结论与讨论

干物质是作物光合作用的产物,其积累和分配与经济产量密切相关,也是揭示高产机理的重要方面<sup>[11~13]</sup>。控释氮肥能提高玉米的干物质平均积累速率,有效地促进玉米生育前期生物量的积累及生育后期干物质从营养体向子粒的转移,从而获得较高的子粒产量。

相关研究表明,植株在生育后期所吸收的氮素被分配到子粒中的比例很高,因而对产量高低起决定性作用。施用控释氮肥玉米植株的氮素累积量和氮素平均累积速率高于普通氮肥,分配到子粒中的氮素也高于普通氮肥,且控释氮肥较普通氮肥有效提高了氮肥表观利用率。

参考文献:

[1] 王晓鸣,晋齐鸣,石洁,等.玉米病害发生现状与推广品种抗性对未来病害发展的影响[J].植物病理学报,2006,36(1):1-11.  
Wang X M, Jin Q M, Shi J, et al. The status of maize diseases and the possible effect of variety resistance on disease occurrence in the future[J]. Acta Phytopathologica Sinic, 2006, 36(1): 1-11. (in Chinese)

[2] 王晓慧,曹玉军,魏雯雯,等.我国北方37个高产春玉米品种干物质生产及氮素利用特性[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1):60-68.  
Wang X H, Cao Y J, Wei W W, et al. Characteristics of dry matter production and nitrogen use efficiency of 37 spring maize hybrids with high-yielding potential in north of China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(1): 60-68. (in Chinese)

[3] 李文娟,何萍,高强,等.不同氮效率玉米干物质形成及氮素营养特性差异研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):51-57.  
Li W J, He P, Gao Q, et al. Dry matter formation and nitrogen uptake in two maize cultivars differing in nitrogen use efficiency[J].

Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(1): 51-57. (in Chinese)

[4] 王进军,柯福来,白鸥,等.不同施氮方式对玉米干物质积累及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2008,39(4):392-395.  
Wang J J, Ke F L, Bai O, et al. Effect of dry weight accumulation and yields of maize under different nitrogen application[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2008, 39(4): 392-395. (in Chinese)

[5] 谢佳贵,韩晓日,王立春,等.不同施氮模式对春玉米产量、养分吸收及氮肥利用率的影响[J].玉米科学,2013,21(2):135-138.  
Xie J G, Han X R, Wang L C, et al. Effect of different nitrogen application modes on maize yield, nutrition uptake and utilization efficiency[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(2): 135-138. (in Chinese)

[6] 易镇邪,王璞,刘明,等.不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表观盈亏[J].水土保持学报,2006,20(1):63-67.  
Yi Z X, Wang P, Liu M, et al. Water and nitrogen utilization and apparent budget of soil nitrogen under different types of nitrogen fertilizer and different application rates in summer maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(1): 63-67. (in Chinese)

[7] 郭敏,韩鹏飞.农业面源污染的成因及控制对策[J].河南农业科学,2009,13(4):93-96.  
Guo M, Han P F. Causes and control countermeasures of agricultural non-point source pollution[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009,13(4): 93-96. (in Chinese)

[8] 李青军,张炎,胡伟,等.氮素运筹对玉米干物质积累、氮素吸收分配及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):755-760.  
Li Q J, Zhang Y, Hu W, et al. Effects of nitrogen management on maize dry matter accumulation, nitrogen uptake and distribution and maize yield[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(3): 755-760. (in Chinese)

[9] 胡伟,张炎,胡国智,等.控释氮肥对棉花植株N素吸收、土壤硝态氮累积及产量的影响[J].棉花学报,2011,23(3):253-258.

- Hu W, Zhang Y, Hu G Z, et al. Effects of controlled release of N fertilizer on plant tissue N absorption and accumulation of soil nitrate nitrogen and yield of cotton[J]. *Cotton Science*, 2011, 23(3): 253–258. (in Chinese)
- [10] 侯云鹏,孔丽丽,秦裕波,等. 吉林省中部黑土区玉米氮肥效应研究[J]. *玉米科学*, 2012, 20(3): 130–133, 138.
- Hou Y P, Kong L L, Qin Y B, et al. Nitrogen fertilizer effect on black soil of the central region in Jilin province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(3): 130–133, 138. (in Chinese)
- [11] 王宏庭,赵萍萍,郭军玲,等. 不同施氮运筹对夏玉米产量、净收益及氮肥利用率的影响[J]. *山西农业科学*, 2008, 36(11): 30–33, 47.
- Wang H T, Zhao P P, Guo J L, et al. Effect of nitrogen fertilization distribution on summer maize yield, net return and nitrogen use efficiency[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(11): 30–33, 47. (in Chinese)
- [12] 张吉旺,王空军,胡昌浩,等. 施氮时期对夏玉米饲用营养价值的影响[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(11): 1337–1342.
- Zhang J W, Wang K J, Hu C H, et al. Effects of different nitrogen application stages on forage nutritive value of summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1337–1342. (in Chinese)
- [13] 王鹤龄,王润元,牛俊义,等. 黄土高原地膜春小麦地上干物质累积与转运规律[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 28–32.
- Wang H L, Wang R Y, Niu J Y, et al. Dry matter accumulation and allocation in spring wheat mulched with plastic film in Loess[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 28–32. (in Chinese)
- (责任编辑:姜媛媛)

(上接第 107 页)

- Lu D L, Yan F B, Lu W P. Genotypic difference of physicochemical properties of fresh waxy maize grain[J]. *J. Nucl. Agric. Sci.*, 2012, 26(1): 95–101. (in Chinese)
- [15] 陆大雷,郭换粉,董 策,等. 拔节期追氮对鲜食糯玉米粉糊化和热力学特性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(1): 48–54.
- Lu D L, Guo H F, Dong C, et al. Effects of nitrogen topdressing at jointing stage on pasting and thermal properties of fresh waxy maize flour[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2011, 17(1): 48–54. (in Chinese)
- [16] 陆大雷,孙旭利,王 鑫,等. 基肥配比和拔节期追氮对鲜食糯玉米子粒物性的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(3): 557–562.
- Lu D L, Sun X L, Wang X, et al. Effects of basic fertilizer and nitrogen topdressing treatments at jointing stage on grain textural characteristics of fresh waxy maize[J]. *Acta Agron. Sin.*, 2013, 39(3): 557–562. (in Chinese)
- [17] Liu K, Ma B L, Luan Li, et al. Nitrogen, phosphorus, and Potassium nutrient effects on grain filling and yield of high-yielding summer corn[J]. *J. Plant Nutr.*, 2011, 34(10): 1516–1531.
- [18] 陈莹晶,赵宏伟. 钾素用量对垦粘 1 号子粒灌浆规律及产量的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2009, 40(9): 6–9.
- Chen Y J, Zhao H W. Effect of potassium dosage on grains filling characteristics and the yield of Kennian No.1[J]. *J. Northeast Agr Univ*, 2009, 40(9): 6–9. (in Chinese)
- [19] Xu L J, Xie J K, Kong X L, et al. Analysis of genotypic and environmental effects on rice starch 2. Thermal and retrogradation properties[J]. *J. Agr. Food Chem.*, 2004, 52(19): 6017–6022.
- [20] 唐启义. DPS 数据处理系统—试验设计,统计分析和数据挖掘[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [21] 刘玉花,宋江峰,李大婧,等. 即食玉米加工用品种筛选的主成分分析法[J]. *食品科学*, 2010, 31(9): 71–73.
- Liu Y H, Song J F, Li D Q. Principal component analysis during variety screening for instant corn[J]. *Food Sci.*, 2010, 31(9): 71–73. (in Chinese)
- (责任编辑:高 阳)