

氮肥后移对玉米冠层内物质分配及氮素利用的影响

张丽丽^{1,2}, 齐华², 樊叶¹, 杨海龙¹, 付俊¹,
许淑娟³, 景希强¹, 王璞⁴

(1. 丹东农业科学院, 辽宁 凤城 118109; 2. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110866;

3. 赤峰市翁牛特旗农牧业局, 内蒙古 乌丹 024599; 4. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘要: 研究不同施氮量、不同施肥时期对玉米产量与氮素利用的影响, 对玉米干物质生产、氮素积累与分配进行分析。结果表明, 施氮量为 180 kg/hm² 时, 产量表现为基施处理最高, 较拔节期、大喇叭口期施肥处理分别提高 1.17%、7.69%; 施氮量为 75 kg/hm² 时, 拔节期施肥处理产量最高, 较基施、大喇叭口期施肥处理分别提高 10.31%、4.61%。大喇叭口期施肥处理的干物质积累与氮素积累量少, 氮肥利用效率低, 说明氮肥后移需考虑植株前期对氮素的需要。拔节期施肥处理产量与基施处理产量和氮素积累量相当或提高, 植株干物质积累增加, 冠层内茎叶干物质比例协调, 生育后期穗下层茎叶干物重下降缓慢, 氮素利用效率高。施氮量为 75 kg/hm², 氮肥适当后移可提高氮肥利用率。

关键词: 玉米; 施氮时期; 干物质积累

中图分类号: S513.062; S482.8

文献标识码: A

Effects of Postponing N Application on Dry Matter Accumulation and Nitrogen Utilization in Maize Canopy

ZHANG Li-li^{1,2}, QI Hua², FAN Ye¹, YANG Hai-long¹, FU Jun¹,
XU Shu-juan³, JING Xi-qiang¹, WANG Pu⁴

(1. Dandong Academy of Agricultural Sciences, Fengcheng 118109;

2. Agronomy College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866;

3. Agriculture Bureau of Ongniud Bannar, Wudan 024599;

4. Agronomy and Biotechnology of China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate the effects of postponing N application on nitrogen absorption, use efficiency of nitrogen fertilizer and grain yield in maize. The results showed that, N180A achieved the most yield, with 1.17% and 7.69% higher compared with N180B and N180; while N75B was 10.31% and 4.61% higher in yield compared with N75A and N75C. Applying nitrogen at 12-leaf stage had decreased the dry matter accumulation, CGR at critical stage and nitrogen accumulation, thus leading to a low grain yield and use efficiency of nitrogen fertilizer. The grain yield of postponing N application at the 8-leaf stage was similar with that or higher than that of applying nitrogen as base fertilizer. Postponing N application at the 8-leaf stage improved the nitrogen efficiency, slowed down the decrease of dry matter of stalk and leaf below the ear layer. Therefore, based on summer maize N uptake at different growth stages, postponing N application especially when N applying amount 75 kg/ha was a feasible N management practice.

Key words: Maize; Nitrogen apply stage; Dry matter accumulation

收稿日期: 2016-06-18

基金项目: 粮食丰产增效科技创新(2016YFD0300304)、国家玉米产业技术体系(CARS-02-35)

作者简介: 张丽丽(1983-), 女, 内蒙古人, 博士, 主要从事玉米高产栽培与资源高效利用研究。E-mail: zhanglili4892@163.com

王璞为本文通讯作者。E-mail: wangpu@cau.edu.cn

玉米产量取决于玉米群体通过光合作用生产物质的多少及光合产物向子粒中运输分配比例^[1]。高产的基本途径是增加群体干物质产量,使之尽可能多地分配到子粒部分^[2]。氮素是玉米生长发育的必需元素,夏玉米对氮肥敏感且耐肥性强,施氮能够增加玉米干物质积累并且提高产量。目前,生产上盲目追求高产而过渡施用氮肥的现象较普遍,玉米氮肥利用率只有26.11%,远低于国际水平,与20世纪80年代相比呈下降趋势^[3]。过量施用氮肥影响玉米品质、降低氮肥利用率,严重引起土壤酸化、硝态氮淋洗、水体富营养化、温室气体排放等环境污染问题^[4,5]。

华北地区一些地区轻基肥重大喇叭口肥现象严重,氮素挥发、淋溶损失多,易造成后期供肥不足。合理施用氮肥对提高夏玉米产量和氮肥利用率、减轻环境压力具有重要意义^[6-8]。基于玉米养分需求规律,氮肥适当后移可减少氮肥用量同时提高氮肥利用效率^[9-12]。本文研究施肥量和不同施肥时期对夏玉米干物质积累、氮素吸收积累、产量及氮肥效率的影响,明确夏玉米植株氮素吸收积累特性及氮肥后移在夏玉米上的效应,为合理施用氮肥提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验设计

供试品种为郑单958,在中国农业大学上庄试验站进行,试验地位于北京市海淀区。试验地0~20 cm土层含全氮0.968 1 mg/g,有效磷11.4 mg/g,速效钾25.05 mg/g,有机质28.85 mg/g;21~40 cm土层含全氮0.623 4 mg/g,有效磷3.62 mg/g,速效钾215.7 mg/g,有机质25.25 mg/g。供试氮肥为尿素(含N46%),施氮量分别为75、180 kg/km²;施氮时期分别为基施(N75A、N180A)、拔节期(N75B、N180B)、大喇叭口期(N75C、N180C)。密度为82 500株/hm²,行距60 cm。6月9日等行距穴播种,10月9日收获。磷肥(P₂O₅)、钾肥(K₂O)基施,用量分别为150、120 kg/km²。试验采取随机区组设计,6个处理,3次重复,小区面积为48 m²(表1)。

1.2 测定项目与方法

干物质积累:分别在8叶展(拔节期)、12叶展(大喇叭口期)、吐丝期、灌浆中期(吐丝后25 d)和成熟期取样,每小区取3株。将叶、茎鞘、苞叶、穗轴、子粒5部分分别装袋,于105℃下杀青30 min,后在80℃下烘干至恒重。

植株及子粒全N含量:分别在8叶展、12叶展、

吐丝期、灌浆中期(吐丝后25 d)和成熟期取样,烘干、粉碎待测,采用半微量凯氏定氮法测定。

产量:每个小区收获玉米4行(每行4 m),称取所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取15穗,测定出籽率和含水率,计算实际产量(按14%折算含水率)。

作物生长速率(CGR)=(W₂-W₁)/A(t₂-t₁),W₂和W₁分别表示时间t₂和t₁时单位土地面积的干物重;A表示土地面积。

植株氮素累积量=植株各器官含碳或氮量与干物重的乘积;

植株阶段性氮素累积量=后一时期植株地上部氮素累积量-前一时期地上部氮素累积量;

氮素吸收效率(NUPE)=植株地上部总氮量/施氮量;

氮素利用效率(NUTE)=子粒产量/植株地上部总氮量。

1.3 数据处理与分析

采用Excel 2010与Origin Pro 9.0进行处理数据,采用SAS 9.0进行数据分析。

表1 不同处理的施氮量及施氮时间

Table 1 Nitrogen supply rate and fertilize time of different treatments kg/km²

| 施氮量 Nitrogen rate | 处理 Treatment | 基肥 Base fertilizer | 拔节期 Jointing stage | 大喇叭口期 Trumpeting stage |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| N180 | N180A | 180 | 0 | 0 |
| | N180B | 0 | 180 | 0 |
| | N180C | 0 | 0 | 180 |
| N75 | N75A | 75 | 0 | 0 |
| | N75B | 0 | 75 | 0 |
| | N75C | 0 | 0 | 75 |

2 结果与分析

2.1 施氮时期对玉米产量及产量构成的影响

从表2可以看出,穗数表现为N180A>N180B>N180C, N75B>N75C>N75A;穗粒数表现为N75C>N180A>N75B>N180B>N180C>N75A;千粒重表现为N180B>N180C>N180A>N75B>N75A>N75C;实际产量表现为N180A>N180B>N180C, N75B>N75A>N75C;空秆率各处理表现差异不显著。在施氮量为180 kg/km²条件下,氮肥基施与8叶展施用能够降低空秆率,增加穗粒数,提高产量;12叶展一次性施氮处理,千粒重较氮肥基施有所提高,但穗粒数降低,

空秆率提高,从而使产量下降。施氮量为 75 kg/km² 条件下,产量为8叶展一次性施氮较高,N75A 处理穗粒数较其他处理略有提高,但千粒重和空秆率明显降低,从而导致产量降低;N75B 处理穗粒数和千粒重均大于N75C 处理,且空秆率较低,产量显著高于N75C 处理。收获指数表现为N75B>N180A>N180B= N75A>N75C>N180C。在施氮量为 180 kg/

km² 条件下,氮肥一次性基施处理植株的生物量较高且向子粒中分配比例较大,施肥过晚则影响干物质的增长及向子粒中的运转;在施氮量为 75 kg/km² 条件下,氮肥一次性基施植株后期氮素供应不足,影响干物质的增长及向子粒中的分配,氮肥在 12 叶展一次性施肥干物质较 N75B 处理下降较少,子粒产量较低,从而收获指数较低。

表2 施氮时期对玉米产量及产量构成的影响

Table 2 Yield characters of maize under different nitrogen fertilizer application time

| 处理 Treatment | 株数 ($\times 10^4$ 株/hm ²) Plant number | 穗数 ($\times 10^4$ 穗/hm ²) Ear number | 穗粒数(粒) Grain number per ear | 千粒重(g) 1 000-grain weight | 实际产量 (kg/hm ²) Actual yield | 空秆率(%) Bareplant percentage | 收获指数 Harvest index |
|-----------------|---|---|-----------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------|
| N180A | 8.16 a | 7.92 a | 477 a | 328.0 ab | 11 848 a | 5.60 a | 0.58 a |
| N180B | 8.06 a | 7.45 a | 468 ab | 338.0 a | 11 710 a | 7.46 a | 0.57 a |
| N180C | 8.05 a | 7.31 a | 451 c | 337.4 a | 11 002 ab | 9.19 a | 0.55 b |
| N75A | 8.10 a | 7.50 a | 462 bc | 320.1 bc | 10 375 b | 7.39 a | 0.57 b |
| N75B | 8.18 a | 7.78 a | 476 a | 320.3 bc | 11 445 ab | 6.21 a | 0.59 a |
| N75C | 8.15 a | 7.55 a | 479 a | 309.4 c | 10 941 ab | 7.43 a | 0.56 b |

2.2 施氮时期对玉米干物质积累动态的影响

由图1可以看出,12叶展之前各处理差别较小,吐丝期单位面积干物重表现为N180A>N75B>N75A>N180B>N75C>N180C。足够大的干物质积累量是植株获得高产的前提条件,施氮量为 180 kg/km² 时,氮肥一次性基施植株干物质积累量明显大于8叶展和12叶展一次性施肥处理,对于产量的增加

具有很大促进作用;施氮量为 75 kg/km² 时,氮肥一次性基施,由于施氮量较低易造成后期氮素供应不足,吐丝期后干物质增加缓慢,后期生产源不足。两种施氮量下,氮肥在 12 叶展一次性施入的处理干物质积累均低于其他时期施肥的处理,施肥过晚不利于植株干物质生产。

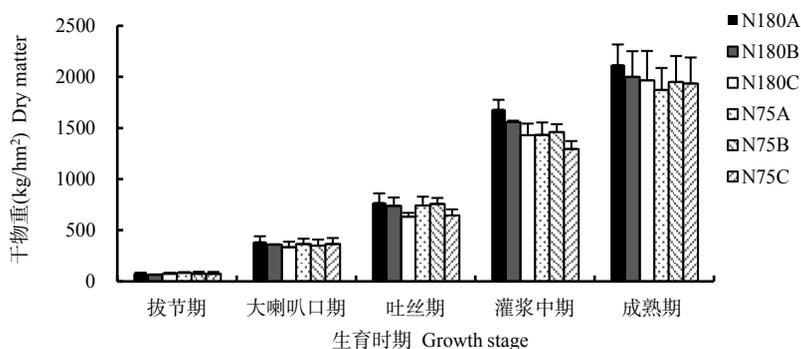


图1 施氮时期对玉米不同时期单位面积干物质积累动态的影响

Fig.1 Dry matter of maize under different nitrogen application time

2.3 施氮时期对玉米不同层次茎叶干物质积累动态的影响

吐丝期和灌浆中期的茎叶干物质总量相差较小,至成熟期明显降低。不同处理间表现为N75A>N180B>N75B>N75C>N180A>N180C,穗下层茎秆和叶片重量成熟期较吐丝期明显减少,穗上层茎叶重

量略有减少,穗位层叶片干重几乎不变,穗位层茎秆干重有所增加。施氮时期对穗下层茎叶干物重积累影响较大,N180A 处理在成熟期穗下层茎叶干重大于其他处理,N75B 处理穗下层茎叶干物重明显高于其他处理(图2)。

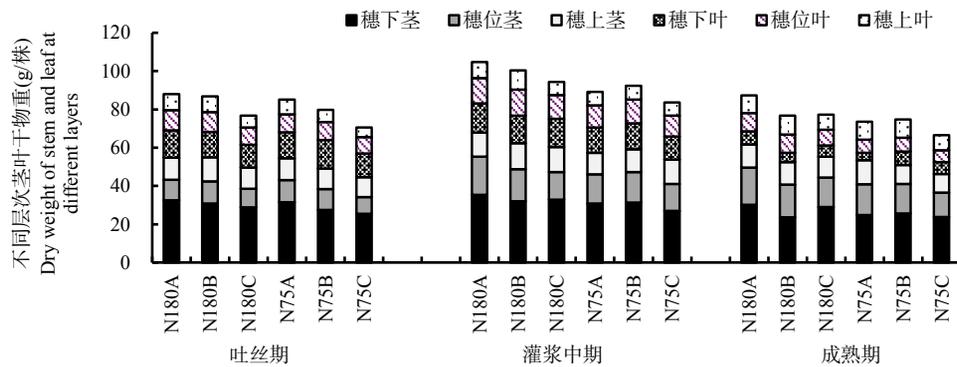


图2 施氮时期对玉米穗下层、穗位层和穗上层茎叶干物重的影响

Fig.2 Dry matter of the under ear layer, ear layer and above ear layer of maize cultivars under different nitrogen application time

2.4 施氮时期对玉米生长速率的影响

由图3可以看出,在整个生育期内玉米生长速率(CGR)先增后减,12叶展至吐丝期生长速率最快,之后开始下降。出苗至8叶展各处理间相差不明显,8~12叶展表现为N180A>N180B>N75A>N75B>N180C>N75C,12叶展至吐丝期和吐丝期至灌浆中期表现为N180A>N75B>N75A>N180B>N75C>N180C,灌浆中期至成熟期表现为N75C>N180C>

N75B>N180A>N180B>N75A。施氮量为180 kg/km²时,8叶展至灌浆中期表现为施氮时期越早,作物生长速率越大,灌浆中期至成熟期表现却相反。施氮量为75 kg/km²时,8至12叶展表现为施氮时期越早玉米生长速率大;12叶展至灌浆中期则表现为8叶展施肥处理的生长速率较大;灌浆中期至成熟期则表现为施氮时期越晚玉米生长速率越大。

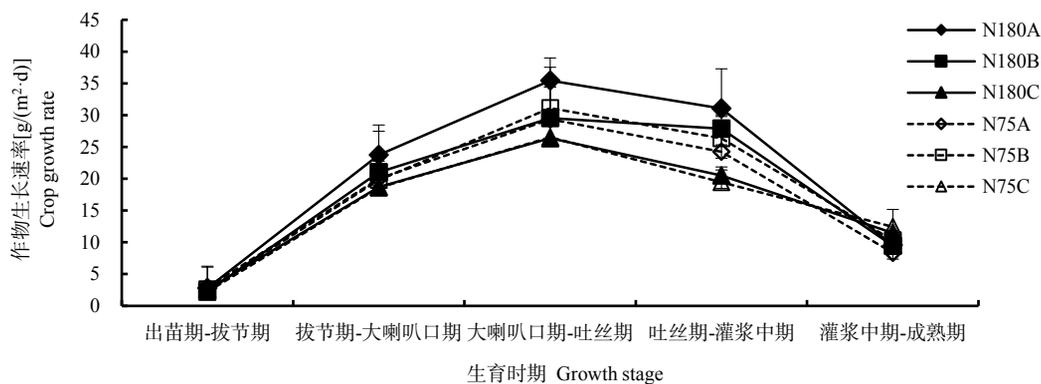


图3 施氮时期对玉米生长速率变化的影响

Fig.3 CGR of maize under different nitrogen application time

2.5 施氮时期对玉米氮素积累动态的影响

从图4可以看出,12叶展之前各处理氮素积累量相差不大,吐丝期表现为N180A>N180B>N180C, N75A>N75B>N75C。比较同一施氮时期不同施氮量处理,N180A>N75A, N180B>N75B, N180C>N75C,即N180处理大于N75处理,且施肥越早差异越明显,说明施肥过晚影响植株对氮素的吸收易造成氮肥的浪费。

2.6 施氮时期对玉米氮素吸收利用的影响

从表3可以看出,地上部总氮表现为N180A>N75B>N75A>N180B>N180C>N75C,同一施氮时期

不同施氮量比较,地上部总氮为N180处理较高。氮素吸收效率表现为N75B>N75A>N75C>N180A>N180B>N180C。氮素利用率均表现为12叶展施肥处理最高,施氮量为75 kg/km²大于N180处理。可见,从氮肥效率角度,施氮量为180 kg/km²时,一次性基施氮肥利用效率高;施氮量为75 kg/km²时,在8叶展一次性施氮有利于提高氮素利用效率,减少氮素的损失。同一施氮时期N75处理氮效率明显高于N180处理,产量较N180处理低。施氮量为180 kg/km²的处理植株总氮量、子粒含氮量及氮收获指数均表现为N180A>N180B>N180C,施氮量为

75 kg/km²处理植株总氮量、子粒含氮量及氮收获指数均表现为N75B>N75A>N75C。两种施氮量下均为12叶展氮肥一次性施入的处理氮收获指数最低,

说明施肥过晚不利于植株氮素的吸收,且向子粒中分配的氮素较少。

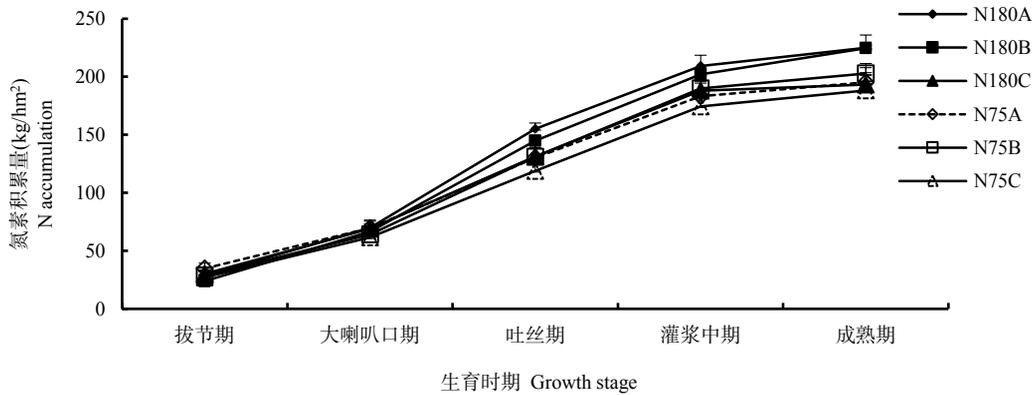


图4 施氮时期对玉米氮素积累的影响

Fig.4 Effects of nitrogen fertilizer supply stage on N accumulation in maize

表3 施氮时期对玉米氮效率的影响

Table 3 Nitrogen efficiency of maize under different nitrogen fertilizer application time

| 处理 Treatment | 地上部总氮(kg/hm ²) Total N | 氮素吸收效率(kg/kg) NUPE | 氮素利用效率(kg/kg) NUTE | 氮收获指数 N harvest index |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| N180A | 225.0 a | 1.25 b | 52.71 a | 0.71 a |
| N180B | 224.6 a | 1.25 b | 52.16 a | 0.67 cd |
| N180C | 192.9 b | 1.07 b | 57.28 a | 0.66 d |
| N75A | 195.2 b | 2.60 a | 53.27 a | 0.68 bc |
| N75B | 202.8 b | 2.70 a | 56.42 a | 0.69 b |
| N75C | 188.2 b | 2.51 a | 58.32 a | 0.67 c |

3 结论与讨论

干物质积累是子粒产量形成的物质基础,获得高产的基本途径是尽量增加干物质产量,并使之尽可能多地分配到子粒中。20世纪50~90年代,相关研究表明,玉米产量的提高伴随着干物质积累量的不断增加^[13]。同一施氮量下,施肥时期不同其干物质积累与分配不同。玉米生育前期地上部生长缓慢,对同化产物的需求较少,叶片同化产物输出较少;进入拔节期以后,茎叶生长不断加快,雄雌穗相继分化发育,对同化产物的需求不断增加,叶片同化产物不断输出;抽丝后随叶片的充分展开,叶面积达最大值,其作物生长速率处于较高时期;灌浆中期后,随同化产物的大量形成和生育进程的推进,叶片逐渐衰老且同化产物向子粒大量供应,玉米生长速率和茎叶干物重均降低。从不同层次来看,底层茎叶干物质下降较多,一方面与植株正常代谢有关,另一方面和氮肥的不合理运筹有关。本研究表明,施

氮量为180 kg/hm²时,氮肥一次性基施处理地上部干物质积累量大,玉米生长速率前期快后期下降缓慢,收获指数高,茎叶干重吐丝期较大,且下部茎叶干重下降较慢,保证了后期光合生产。施氮量为75 kg/hm²时,8叶展一次性施肥处理地上部干物质积累量大,作物生长速率前期较快后期下降缓慢,下部叶片保绿性好,后期光合性能高。

不同施肥时期对植株体内氮素积累及向子粒中的分配有较大影响^[14,15],与12叶展施肥处理相比,其他处理植株氮素积累量大且氮收获指数较大,氮素吸收率高。适当氮肥后移(8叶展施肥)在产量不降低的情况下,提高氮素吸收效率,是较为理想的氮素施用方式。

参考文献:

- [1] 佟屏亚. 我国玉米高产栽培技术的成就和研究进展[J]. 耕作与栽培, 1995(5): 1-5.
Tong P Y. Achievements and research progress of maize high-yield-cultivation techniques in China[J]. Cultivation and Cultivation,

- 1995(5): 1-5. (in Chinese)
- [2] 陈国平. 玉米的干物质积累与分配[J]. 玉米科学, 1994, 2(1): 48-53.
Chen G P. Dry matter accumulation and distribution of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 1994, 2(1): 48-53. (in Chinese)
- [3] 张福锁, 王激清, 张卫锋, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924. (in Chinese)
- [4] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783-795.
Ju X T, Gu B J. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(4): 783-795. (in Chinese)
- [5] 杨宪龙, 路永莉, 同延安, 等. 长期施氮和秸秆还田对小麦-玉米轮作体系土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 65-73.
Yang X L, Lu Y L, Tong Y A, et al. Effects of long-term N application and straw returning on N budget under wheat-maize rotation system[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1): 65-73. (in Chinese)
- [6] Judith N, Adrien N D, Martin H C, Marc R L. Variations in corn yield and nitrogen uptake in relation to soil attributes and nitrogen availability indices[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2009, 73: 317-327.
- [7] Presterl T, Groh S, Landbeck M, et al. Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under conditions of low and high nitrogen input[J]. Plant Breed, 2002, 121: 480-486.
- [8] Mosisa W, Marianne B, Gunda S, et al. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids[J]. Crop Science, 2007, 47: 519-528.
- [9] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 339-347.
Wang Y L, Li C H, Tan J F, et al. Effect of postponing N application on yield, nitrogen absorption and utilization in super-high-yield summer maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(2): 339-347. (in Chinese)
- [10] 赵士诚, 裴雪霞, 何 萍, 等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 492-497.
Zhao S C, Pei X X, He P, et al. Effects of reducing and postponing nitrogen application on soil N supply, plant N uptake and utilization of summer maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 492-497. (in Chinese)
- [11] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及一次性施肥效果研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3151-3158.
Wang Y L, Li C H, Tan J F, et al. Studies on plant nitrogen accumulation characteristics and the effect of single application of base fertilizer on super-high-yield summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(15): 3151-3158. (in Chinese)
- [12] 王激清, 马文奇, 江荣风, 等. 我国水稻、小麦、玉米基肥和追肥用量及比例分析[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 329-333.
Wang J Q, Ma W Q, Jiang R F, et al. Analysis about amount and ratio of basal fertilizer and topdressing fertilizer on rice, wheat, maize in China[J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(2): 329-333. (in Chinese)
- [13] Irena Rajcan, Matthijs Tollenaar. Source : sink ratio and leaf senescence in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling[J]. Field Crops Research, 1999, 60: 245-253.
- [14] 刘 艳, 安景文, 华利民, 等. 氮肥不同施用时期对春玉米早衰的影响[J]. 土壤通报, 2011(4): 902-905.
Liu Y, An J W, Hua L M. Effects of n different fertilization time on early senescence of spring maize[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011(4): 902-905. (in Chinese)
- [15] 夏来坤, 陶洪斌, 许学彬, 等. 不同施氮时期对夏玉米干物质积累及氮肥利用的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 138-140, 144.
Xia L K, Tao H B, Xu X B, et al. Effects of nitrogen application time on dry matter accumulation and nitrogen use efficiency of summer maize[J]. Journal of Maize Sciences 2009, 17(5): 138-140, 144. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)