

文章编号: 1005-0906(2012)06-0128-05

# 不同氮肥运筹对东北春玉米氮素吸收和土壤氮素平衡的影响

王 蒙<sup>1</sup>, 赵兰坡<sup>1</sup>, 王立春<sup>2</sup>, 侯云鹏<sup>2</sup>, 李 前<sup>2</sup>, 谢佳贵<sup>2</sup>

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118;

2. 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)

**摘 要:** 在吉林省榆树市粮食高产示范区, 以先玉 335 为试验材料, 通过田间试验研究不同氮肥运筹对春玉米的生长、产量及土壤氮素平衡的影响。结果表明, 适宜氮肥运筹方式能显著提高玉米产量, 施氮量 200 kg/hm<sup>2</sup>, 全部用作基肥不追肥(基追比 1:0)处理前期氮素供应过量, 导致氮素向子粒转运量减少, 过多保留在营养体中, 致使产量和氮素利用效率相对其他处理较低; 氮肥 1/5 基施, 2/5 拔节期追施, 2/5 大喇叭口期追施(基追比为 1:2:2)的处理有较高的氮肥农学利用率、氮肥利用率和氮肥偏生产力。玉米生育期田间氮肥的表观损失主要由一次性过量施肥造成, 增大拔节后追肥比例增加了收获后土壤的无机氮残留。对氮肥的调控应结合作物养分不同阶段需求及土壤养分供应, 达到玉米高产和提高氮肥利用效率, 减少氮肥损失对环境带来的危害。

**关键词:** 玉米; 氮肥运筹; 产量; 氮素吸收

**中图分类号:** S513.062

**文献标识码:** A

## Effect of the Nitrogen Application to Spring Maize Nitrogen Absorption and Soil Nitrogen Balance in Northeast of China

WANG Meng<sup>1</sup>, ZHAO Lan-po<sup>1</sup>, WANG Li-chun<sup>2</sup>, et al.

(1. College of Resources and Environment Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

2. Agricultural Resources and Environment Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region, Ministry of Agricultural P.R. China, Changchun 130033, China)

**Abstract:** The field experiments were conducted to investigate the effects of different nitrogen(N) application on spring maize growth, grain yield and the change of soil N content in Yushu, Jilin province. The results showed that the appropriate Nitrogen application can significantly increase grain yield, N 200 kg/ha at the ratio of 1 : 0 (basal N and topdressing N) treatment oversupply nitrogen at early growing season, cause to turn on the nitrogen was reduced. Excessively retained in the plant, the yield and nitrogen use efficiency is poorer than other treatments, N 200 kg/ha at the ratio of 1 : 2 : 2 treatments obtain higher nitrogen agriculture utilization, nitrogen utilization efficiency and nitrogen partial productivity. The reason of maize growth period in the field of the apparent nitrogen loss is one-time applying fertilizer excessively, while high topdressing N rates after elongation stage also increase soil N residual after the harvest. So in order to achieve high maize yield and improve nitrogen use efficiency, nitrogen fertilizer control should be combined with crop nutrient demand at different stages, soil nutrient supply, in order to reduce the harm by nitrogen fertilizer losses to the environment.

**Key words:** Maize; Nitrogen application mode; Yield; Nitrogen absorption

收稿日期: 2012-09-13

基金项目: 国家科技计划“吉林春玉米粳稻大面积均衡增产技术集成研究与示范”(2012BAD04B02)、国际植物营养研究所(IPNI)项目、“863”项目“作物健康生长水肥联合调控技术”(NC2010FB0068)、“养分高效利用转基因玉米品种培育”(2011ZX08003-005)

作者简介: 王 蒙(1987-), 男, 吉林白城人, 硕士。

赵兰坡和王立春为本文通讯作者。

中国东北地区玉米种植面积占全国的 25.8%, 其中, 吉林省玉米产量占全国的 13.0%<sup>[1]</sup>, 吉林省玉米产量对我国粮食安全至关重要。氮素是玉米需求量最大的营养元素, 合理的氮肥运筹是提高玉米产量的措施之一<sup>[2,3]</sup>。鱼欢等对玉米不同施肥量及基追比例的试验表明, 氮肥后移能更好地满足玉米生长后期的需要, 从而使产量提高<sup>[4]</sup>。过量施氮不仅造成玉米养分利用率下降, 同时增加了向地下淋溶的风险<sup>[5]</sup>。

目前, 关于氮肥用量对玉米产量影响的研究较多<sup>[6~10]</sup>。叶东靖研究表明, 玉米氮肥适宜用量为 180~240 kg/hm<sup>2</sup>。赵营等报道, 在陕西省中低肥力田块上, 施氮对夏玉米子粒有显著增产作用, 但随施氮量的增加产量变化不大, 氮肥利用率在 9.2%~22.6%之间, 随施氮量的增加而降低。王俊忠研究表明, 高产田夏玉米的推荐施氮量应控制在 300 kg/hm<sup>2</sup> 以内。这些研究大多是氮肥不同用量的产量效应和氮素吸收利用方面, 关于氮肥运筹方式对玉米产量、氮肥吸收、转运及利用的研究较少。本研究在吉林省黑土上进行氮肥运筹试验, 研究氮肥施用的农学效应、玉米对氮素的吸收及土壤氮素平衡, 为吉林省春玉米主产区氮肥合理施用、减肥增效和农田可持续利用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验于吉林省榆树市粮食高产示范区进行, 春玉米生长季内  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 3 139  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ , 无霜期 154 d, 降雨量 558 mm。供试玉米品种为先玉 335, 供试土壤为黑土, 质地中壤, 0~20 cm 土层土壤容重 1.35 g/cm<sup>3</sup>, 有机质含量 25.7 g/kg, 碱解氮 138.5 mg/kg, 速效磷 33.6 mg/kg, 速效钾 169.3 mg/kg, pH 值 5.4。

试验设 6 个处理, 分别为 N<sub>0</sub>, 不施氮; N<sub>10</sub>, 氮肥一次性基施; N<sub>11</sub>, 氮肥 1/2 基施, 1/2 拔节期追施; N<sub>14</sub>, 氮肥 1/5 基施, 4/5 拔节期追施; N<sub>122</sub>, 氮肥 1/5 基施, 2/5 拔节期追施, 2/5 大喇叭口期追施。3 次重复, 小区面积 40 m<sup>2</sup>, 6 行区。各小区氮(除不施氮处理)、磷、钾用量相同, 分别为 N 200 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>, 磷、钾肥全部作基肥。试验用氮肥为尿素(含 N 46%), 磷肥为过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%), 钾肥为氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)。于 4 月 29 日播种, 种植密度为 6.0 万株/hm<sup>2</sup>, 9 月 30 日收获。

### 1.2 样品采集与测定

播种前和收获后在每小区取 0~30、31~60、61~90 cm 土壤, 取土后立即置于 -20 $^{\circ}\text{C}$  冷冻保存。

样品解冻后称取 12 g 土样, 用 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 溶液浸提, 震荡 1 h 过滤, 用德国 Foss 型流动注射分析仪测定土壤铵态氮和硝态氮含量。

于不同生育期采取 3~5 株植株样品, 成熟期采集的植株样品分为秸秆和子粒两部分。样品于 105 $^{\circ}\text{C}$  杀青 30 min, 于 80 $^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重, 计算地上部干物质量。样品粉碎后, 采用凯氏定氮法测定全氮含量。收获时取中间 4 行计产。

### 1.3 计算方法<sup>[11~14]</sup>

氮收获指数(NHI)=子粒吸氮量/植株总吸氮量;

氮肥利用率(REN)=(施氮区地上部吸氮量-无氮区地上部吸氮量)/施氮量 $\times 100\%$ ;

氮肥偏生产力(PEPN, kg/kg)=施氮区子粒产量/施氮量;

氮肥农学利用率(AEN, kg/kg)=(施氮区子粒产量-无氮区子粒产量)/施氮量;

土壤氮素净矿化量=不施氮肥区作物吸氮量+不施氮肥区土壤残留无机氮-不施氮肥区土壤起始无机氮;

土壤氮素表观损失量=生育期施氮量+土壤起始无机氮+土壤氮素净矿化量-作物吸收氮-收获后土壤残留无机氮;

营养体转运量=抽雄期营养体养分吸收量-成熟期营养体养分吸收量;

运转率=(抽雄期营养体氮积累量-成熟期营养体氮积累量)/抽雄期营养体氮积累量 $\times 100\%$ ;

对子粒氮贡献率=(抽雄期营养体氮积累量-成熟期营养体氮积累量)/成熟期子粒氮积累量 $\times 100\%$ 。

试验数据用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS11.5 统计软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥运筹对玉米产量及氮肥利用率的影响

由表 1 看出, 各施氮处理玉米产量较不施氮处理显著增加。不同氮肥运筹处理相比, N<sub>11</sub>、N<sub>14</sub>、N<sub>122</sub> 处理的产量均显著高于 N<sub>10</sub> 处理, 其中, N<sub>122</sub> 处理产量最高, 比一次性施氮肥产量增加了 2 665 kg/hm<sup>2</sup>, 说明施氮时间和施氮量上的后移有助于玉米产量的增加。

与不施氮肥处理相比, 施氮各处理均显著提高了氮收获指数、氮肥利用率和氮肥农学利用率, 表明施用氮肥可促进植株对氮肥的吸收和利用。不同氮肥运筹处理结果表明, 随氮肥施用量和时间的后移, 氮收获指数及氮肥偏生产力有所提高, 氮肥利用率

及氮肥农学利用率显著提高。

表 1 氮肥运筹对玉米产量及氮肥利用率的影响

Table 1 The effect of N application on maize yield and nitrogen utilization rate

处理 Treatment	产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	氮收获指数 NHI	氮肥农学利用率(%) AE <sub>N</sub>	氮肥利用率(%) RE <sub>N</sub>	氮肥偏生产力(kg/kg) PFP <sub>N</sub>
N <sub>0</sub>	8 197 d	0.549 b			
N <sub>10</sub>	9 388 c	0.634 a	6.0 c	20.1 c	46.9 b
N <sub>11</sub>	10 238 b	0.625 a	10.2 b	30.2 b	51.2 a
N <sub>14</sub>	10 479 b	0.636 a	11.9 b	33.5 ab	52.8 a
N <sub>12:2</sub>	10 862 a	0.651 a	13.3 a	35.1 a	54.3 a

注:表中不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平。

Note: Different letters mean significant difference at 5% level.

## 2.2 氮肥运筹对玉米生长发育及养分吸收动态的影响

在整个生育期内不同处理地上部干物质质量积累趋势基本相同,生育前期比较缓慢,拔节期(播种后 52 d)后干物质积累快速增加,灌浆期(106 d)后增幅有所下降(图 1)。

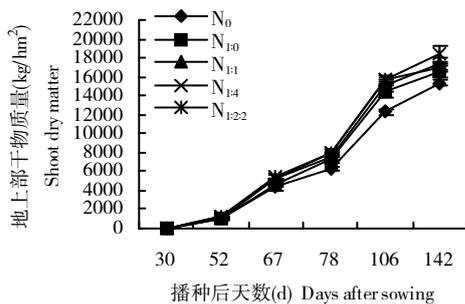


图 1 氮肥运筹对玉米生育期地上部干物质质量的影响

Fig.1 The effect of N application on maize dry matter during growing season

玉米氮素积累量随生育期的变化各处理趋势基本相同,苗期至拔节期氮素积累量较低,拔节期、大喇叭口期和抽雄至灌浆期氮素积累量进入快速增长阶段,灌浆期后又进入平稳阶段。各施氮处理氮素积累量显著高于不施氮处理。不同氮肥运筹处理间相比,N<sub>11</sub>、N<sub>14</sub>和N<sub>12:2</sub>处理显著高于N<sub>10</sub>,其中,N<sub>12:2</sub>处

理氮素积累量最高,拔节期至抽雄前期追施氮肥对玉米获得高产具有重要意义(图 2)。

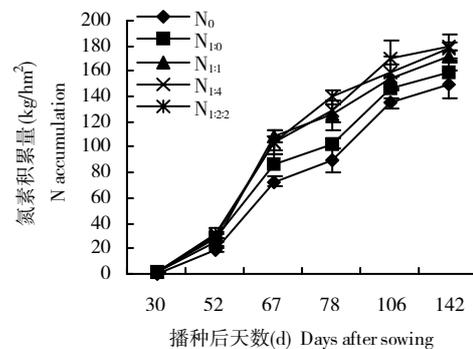


图 2 氮肥运筹对玉米生育期氮素积累量的影响

Fig.2 The effect of N application on maize nitrogen dynamic during growing season

## 2.3 氮肥运筹对营养体氮素再分配及其对子粒氮贡献率的影响

表 2 表明,不施氮处理玉米转运效率最高,对子粒贡献率也最高,说明供氮不足使营养体氮素转运增加。N<sub>10</sub>处理的转运效率和对子粒贡献率最低,说明前期供应过量氮素导致氮素向子粒转运量减少,过多保留在营养体中。N<sub>11</sub>、N<sub>14</sub>和N<sub>12:2</sub>处理对子粒贡献率保持在 52.1%~55.6%的稳定范围,说明在拔节期后追施氮素有利于氮素再分配。

表 2 氮肥运筹对营养体氮素向子粒转运量及转运效率的影响

Table 2 The effect of N application on the N translocation amount and the translocation rate of maize

营养体氮素转运 N translocation from vegetative organs	氮肥处理 N fertilizer treatment				
	N <sub>0</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>11</sub>	N <sub>14</sub>	N <sub>12:2</sub>
转运量(kg/hm <sup>2</sup> )	36.3	49.3	53.2	53.8	56.2
转运效率(%)	43.4	37.0	39.8	38.5	38.8
对子粒的贡献率(%)	59.8	50.1	52.1	53.8	55.6

## 2.4 氮肥运筹对土壤氮素平衡的影响

氮素平衡状况是田间和区域尺度上评估氮素表现损失的有效方法<sup>[15,16]</sup>。氮素的表现损失是氮素输入总量与作物吸收和土壤残留两项输出之差,即施

肥处理相对于不施肥处理氮素损失量。由于 0~90 cm 是作物根系主要的活动层次<sup>[17]</sup>,本研究仅计算 0~90 cm 土层内氮素平衡用以评估玉米对氮肥的利用状况。

表 3 氮肥运筹对土壤氮素平衡的影响

Table 3 The effect of N application on the soil N balance of maize

kg/hm<sup>2</sup>

处 理 Treatment	氮素输入 Nitrogen input			氮素输出 Nitrogen output		
	施氮量 Nitrogen rate	起始氮 Starting nitrogen	矿化氮 Mineralized N	作物吸收氮 Crops absorb nitrogen	土壤残留氮 Soil residual nitrogen	土壤表现损失氮 The soil apparent loss of nitrogen
N <sub>0</sub>	0	61	119	149	30	2
N <sub>10</sub>	200	61	119	160	59	161
N <sub>11</sub>	200	61	119	172	67	141
N <sub>14</sub>	200	61	119	178	75	127
N <sub>122</sub>	200	61	119	179	83	118

由表 3 可见,在氮素输入项中,氮肥的投入占主要地位,占氮素总投入的 52.6%,是作物主要的氮素来源。在氮素输出项中,N<sub>0</sub>、N<sub>10</sub>、N<sub>11</sub>、N<sub>14</sub> 和 N<sub>122</sub> 处理土壤氮素表现损失分别占盈余氮总量的 6.3%、73.2%、67.8%、62.9%和 58.7%,表明盈余的氮素主要以损失的形式进入环境而非保留在土壤中,从而增加了环境污染风险。氮肥运筹处理中,N<sub>122</sub> 的氮素表现损失量最小,为 118 kg/hm<sup>2</sup>;N<sub>10</sub> 的氮素表现损失量最大,达 161 kg/hm<sup>2</sup>,表明在当前条件下,氮肥后移能有效降低氮素表现损失,提高玉米植株氮肥利用率,而一次性基施氮肥给环境造成很大的潜在威胁。

## 3 结论与讨论

氮素是玉米生长最重要的营养元素之一,施用氮肥对玉米有明显的增产效果。高强等<sup>[18]</sup>研究认为,在春玉米的连作体系下,氮肥施用过量、一次性施肥均会导致土壤中无机氮高残留,使休闲期间氮素损失增加,易引起环境污染。钟旭华等<sup>[19]</sup>研究表明,控制氮肥总用量,适当减少作物生长前期氮肥的供应,增加后期氮肥用量,将氮肥后移能有效实现氮肥高效利用的目的。本研究结果表明,不同氮肥运筹处理间相比,N<sub>10</sub> 处理的子粒产量、氮肥农学利用率及氮肥利用率均最低;N<sub>122</sub> 处理比 N<sub>10</sub> 处理子粒产量、氮肥农学利用率及氮肥利用率分别提高了 1 474 kg/hm<sup>2</sup>、7.3 kg/kg 和 15.0%,达显著水平。说明增加氮肥的追施次数,将氮肥后移,对玉米增产及提高氮肥利用率有显著效果。

Hocking<sup>[20]</sup>研究认为,营养体氮的再分配对子粒

品质有重要意义。何萍等<sup>[21]</sup>研究表明,不施氮或施氮不足可能导致营养体氮素外运过多;施氮过量由于营养体氮素代谢过旺,使运往子粒的氮素减少。在氮素供应较好的条件下,营养体氮素再分配率和对子粒氮贡献率越高,越有利于经济产量的形成<sup>[22]</sup>。玉米在拔节期至大喇叭口期吸氮量最多,占 36.25%,吐丝期至子粒成熟期占 30.5%。两次追施氮肥基本满足春玉米重要生育期的氮素需求,氮肥后移有利于玉米生育期内氮素平衡,使产量大幅度提高。

在等量氮肥条件下,不同肥素运筹处理中,一次性基施处理土壤氮素表现损失量最大,达 161 kg/hm<sup>2</sup>,其他 3 个处理的土壤氮素表现损失量维持在 118~141 kg/hm<sup>2</sup> 范围内。由此可见,玉米生育期田间氮肥表现损失主要来源于基肥,中、后期增大追肥比例增加了收获后土壤的无机氮残留,这是由于玉米在生育前期对氮素吸收较少,氮素易挥发和淋洗,对环境造成一定威胁。拔节后追肥量的增加也增加了收获后土壤无机氮的残留。因此,合理的基追比例,应以达到作物养分吸收和土壤供求同步以及土壤无机氮残留没有显著积累为宜。科学施用氮肥应根据作物生长阶段需求特性和土壤供应状况确定氮肥基、追施用量。对不同地区玉米合理氮肥基、追施用量还需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业部. 中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [2] 盛耀辉, 马兴林, 侯立白, 等. 施氮方式对糯玉米鲜穗产量及子粒营养品质的影响[J]. 作物杂志, 2006(2): 35-37.

(下转第 136 页)

研究,但某些线虫如茎线虫和滑刃线虫中的某些种是其他作物、苗木上的重要病原线虫<sup>[11~12]</sup>,应该对它们的潜在危害提高警惕。

#### 参考文献:

- [1] D.C.Norton, 舒正义. 玉米线虫问题[J]. 植物医生, 1986(1): 15-18.
  - [2] 王明祖. 湖北省栽培植物线虫种类的鉴定[J]. 华中农业大学学报, 1988, 7(3): 281-289.
  - [3] 黎少梅, 冯志新, 许克林. 河南省主要农作物线虫名录[J]. 河南农业大学学报, 1985, 19(3): 257-269.
  - [4] 刘维志, 段玉玺, 赵洪海, 等. 我国北方地区玉米根寄生线虫的种类鉴定研究[J]. 玉米科学, 1996, 4(4): 65-67, 77.
  - [5] 高学彪, 程瑚瑞, 方中达. 玉米根腐线虫病的病原鉴定和致病性研究[J]. 南京农业大学学报, 1992, 15(4): 50-55.
  - [6] 张宇, 高俊明, 李红. 太谷县玉米田植物寄生线虫种类及垂直分布[J]. 山西农业科学, 2009, 37(10): 51-54, 96.
  - [7] 谢辉. 植物线虫分类学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
  - [8] 徐秀德, 刘志恒. 玉米病虫害原色图鉴[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
  - [9] 段玉玺, 陈立杰, 张万民, 等. 部分玉米自交系根际线虫群体数量与玉米早衰病相关性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(3): 189-191.
  - [10] Norton D C. Nematode parasites of corn. In Nickle W R(editor), Plant and Insect Nematodes. New York and Basel: Marcel Dekker INC. 1984, 61-94.
  - [11] 郭全新, 简恒. 危害马铃薯的茎线虫分离鉴定[J]. 植物保护, 2010, 36(3): 117-120.
  - [12] Tan J J, Ye J R, Hao D J, et al. Effects of pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, on some physio-biochemical indexes of Japanese black pine, *Pinus thunbergii*[J]. 植物病理学报, 2011, 41(1): 44-48.
- (责任编辑: 姜媛媛)
- 
- (上接第 131 页)
- [3] 张瑞富, 杨恒山, 毕文波, 等. 超高产栽培下氮肥运筹对春玉米干物质积累及转运的影响[J]. 作物杂志, 2010(1): 41-44.
  - [4] 鱼欢, 杨改河, 王之杰. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 266-273.
  - [5] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 土壤肥料, 2006(2): 30-33.
  - [6] 叶东靖, 高强, 何文天, 等. 施氮对春玉米氮素利用及农田氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 552-558.
  - [7] 戴明宏, 陶洪斌, 王利纳, 等. 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 154-157.
  - [8] 云鹏, 高翔, 陈磊, 等. 冬小麦-夏玉米轮作体系中不同施氮水平对玉米生长及其根际土壤氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 567-574.
  - [9] 范亚宁, 李世清, 李生秀. 半湿润地区农田夏玉米氮肥利用率及土壤硝态氮动态变化[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 799-806.
  - [10] 王俊忠, 黄高宝, 张超男, 等. 施氮量对不同肥力水平下夏玉米碳氮代谢及氮素利用率的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2045-2052.
  - [11] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦与夏玉米轮作体系中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1361-1368.
  - [12] 巨晓棠, 刘学军, 邹国元, 等. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493-1499.
  - [13] 郑伟, 何萍, 高强, 等. 施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 301-309.
  - [14] 张秀芝, 易琼, 朱平, 等. 氮肥运筹对水稻农学效应和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 782-788.
  - [15] Lord E I, Anthony S G, Goodlass G. Agricultural nitrogen balance and water quality in the UK[J]. Soil Use Manag., 2002, 18(4): 363-369.
  - [16] Sacco D, Bassanino M, Grignani C. Developing a regional agronomic information system for estimating nutrient balances at a larger scale[J]. Eur. J. Agron., 2003, 20(1-2): 199-210.
  - [17] 苗建国, 金继运, 仇少君, 等. 生态集约化养分管理对春玉米产量和氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 571-578.
  - [18] 高强, 蔡红光, 黄立华, 等. 吉林省干旱地区春玉米连作体系氮素平衡研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(8): 127-132.
  - [19] 钟旭华, 黄农荣, 郑海波, 等. 不同时期施氮对华南双季杂交稻产量及氮素吸收和氮肥利用率的影响[J]. 杂交水稻, 2007, 22(4): 62-66.
  - [20] Hocking P J. Dry-matter production, mineral nutrient concentrations, and nutrient distribution and re-distribution in irrigated spring wheat [J]. J. Plant Nutr., 1994, 17: 1289-130.
  - [21] 何萍, 金继运, 林葆. 氮肥用量对春玉米叶片衰老的影响及其机理研究[J]. 中国农业科学, 1998, 31(3): 1-4.
  - [22] 刘占军, 谢佳贵, 张宽, 等. 不同氮肥管理对吉林春玉米生长发育和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 38-47.
- (责任编辑: 胡娟)