

文章编号 :1003-8701(2011)05-0036-05

# 氮对玉米产量形成的影响及在生产中的应用

刘春光<sup>1</sup>, 杨洪亮<sup>2</sup>, 赵丽影<sup>3</sup>, 邱菊<sup>2</sup>,  
李文<sup>4</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 罗丙海<sup>5</sup>, 岳玉兰<sup>1\*</sup>

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 大安市农业技术推广中心, 吉林 大安 131300;  
3. 公主岭市农业机械化技术推广总站, 吉林 公主岭 136100;  
4. 敦化市官地镇农业技术推广站, 吉林 敦化 133722; 5. 公主岭市防汛抗旱指挥部, 吉林 公主岭 136100)

**摘要:** 通过氮对玉米产量形成的影响, 阐述了氮肥施用量和施用时期对玉米的重要性, 为玉米持续高产提供理论参考与技术支持。

**关键词:** 玉米; 氮; 产量

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

## Impact of Nitrogen on Yield Formation of Maize and Its Usage in Production

LIU Chu-guang<sup>1</sup>, YANG Hong-liang<sup>2</sup>, ZHAO Li-ying<sup>3</sup>, QIU Ju<sup>2</sup>,  
LI Wen<sup>4</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, LUO Bing-hai<sup>5</sup>, YUE Yu-lan<sup>1\*</sup>

(1. Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Changchun 130033; 2. Agricultural Technology Extension and Service Center of Da'an City, Da'an 131300; 3. Agricultural Mechanization Technology Extension Station of Gongzhuling, Gongzhuling 136100; 4. Agricultural Technology Extension Station of Guandi Town in Dunhua, Dunhua 133722; 5. Flood and Drought Prevention Office of Gongzhuling City, Gongzhuling 136100, China)

**Abstract:** Effects of nitrogen on yield formation of maize was reviewed in the paper. The importance of nitrogen application quantity and application stage on maize was described. It can provide theoretical reference and technological support for improving maize yield.

**Keywords:** Maize; Nitrogen; Yield

科学合理的施肥是高产、优质、高效发展玉米生产的重要方面, 随着我国化肥施用量的不断增加, 环境污染问题的出现, 在满足农产品产量要求的同时, 既要保证产品质量的提高, 又要满足环境友好、节约能源、保持经济可持续发展的要求。但是, 为了提高玉米单产, 玉米的施氮量仍将增加, 使得增施氮肥所导致的成本增加、效率下降和环境污染等问题将更加突出, 因此, 合理施用氮肥、提高氮肥效率是玉米生产中迫切需要解决的问题。合理施用氮肥主要包括两个方面, 一是适宜的

氮肥投入量, 二是氮肥在玉米生长不同时期的合理分配, 二者影响着玉米产量的最终形成。

为此, 研究氮肥施用对玉米超高产中的作用, 具有重要的科学价值和实践意义。本文对氮肥对玉米产量形成的影响研究进行综述, 以期对玉米持续高产提供理论参考与技术支持。

### 1 玉米高产潜力

单位面积的玉米平均产量在 20 世纪的最后 50 年中获得了巨大的增长, 从 30 年代美国开始使用杂交种到 20 世纪末 70 年间, 美国玉米单产从 1 300 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 8 400 kg/hm<sup>2</sup>, 提高了 546%, 在我国, 玉米单产从 1 000 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 5 200 kg/hm<sup>2</sup>, 则提高了 420%。据 Duvick<sup>[1]</sup>报道,

收稿日期: 2011-03-25

作者简介: 刘春光(1974-) 女, 助理研究员, 主要从事玉米栽培研究。

通讯作者: 岳玉兰, 女, 副研究员, E-mail: ylyhlg@163.com

美国玉米自上世纪 30 年代以来,其产量增长的 40%~45% 归于农田管理、肥料和栽培技术的提高,50%~60% 归于玉米杂种优势的利用。在我国玉米单产增长的诸因素中,遗传改良的贡献率是 35%~40%。近 20 年来,美国玉米品种改良在不降低或略增单株生产力的情况下大大改善了其耐密性,玉米产量的突破主要靠密度的增加。1985 年 Herman Warsaw 创单产 23 220 kg/hm<sup>2</sup> 纪录时实际收获密度为 88 950 株/hm<sup>2</sup>,而 Francis Childs 在 2002 年创 27 351 kg/hm<sup>2</sup> 纪录时的收获密度达 108 900 株/hm<sup>2</sup>。李登海 2005 年创造的世界夏玉米纪录为 19 349 kg/hm<sup>2</sup>,收获密度高达 98 610 株/hm<sup>2</sup>。我国雨养条件下春玉米高产纪录也是在 85 000 株/hm<sup>2</sup> 的种植密度下取得的。但在我国,玉米高产的高密度是以采用单株生产力相对较低的中穗型品种为代价的,与美国的 108 900 株/hm<sup>2</sup> 相比,说明还有较大潜力可控。

目前玉米产量进一步提高的技术主要是通过株型改造增加叶面积指数(LAI)、改善光合作用、提高经济系数和延长生长期等几方面。Nichporovich 认为,每种作物都存在最佳的叶面积指数;Duncan<sup>[2]</sup>根据田间试验观察和计算机模拟结果,提出玉米叶面积指数保持在 4.0-4.7 时,子粒产量最高;董树亭等<sup>[3]</sup>则认为,在推广紧凑型玉米以后,最适叶面积指数出现了新的突破,迅速提高到 5~6,个别高产玉米达到 7 以上。

作物产量潜力的增长是在长期的育种过程中,有利基因的逐步积累和不利基因逐步剔除的结果。生物技术的手段将有望提高玉米育种的进度和力度,对于由少数基因控制的质量性状是非常有效的,但基因较多时,对其效果的估计就不精确。没有对决定玉米产量潜力的生理特性的深入理解,试图通过分子生物学途径寻找“产量基因”的努力是不会成功的。因此,进一步深入探究与产量形成相关的生理生态特性对实现玉米产量的较大突破是必不可少的。

## 2 氮肥在玉米生产中的作用

上世纪 50 年代以前,我国农业生产长期以来主要靠有机肥来维持作物产量。自 20 世纪 20 年代开始使用化学氮肥以来,作物产量获得大幅度提高。施用氮肥成了人们最为关注的农业增产措施。20 世纪 90 年代以后,中国氮肥用量急剧增加,90 年代中期跃居世界首位,2000 年纯氮超过  $2.4 \times 10^7$  t,约占全世界总用量的 30%。

由于玉米兼具增产潜力大和耐肥性强双重点,我国玉米生产中氮肥施用十分严重。在集约化农业区,大田作物氮肥年施用量已达到 450~600 kg/hm<sup>2</sup>。赵久然等<sup>[4]</sup>对北京地区 100 块夏玉米田的调查表明,平均施氮量为 256 kg/hm<sup>2</sup>。我国玉米最大的集中产区—黄淮海平原夏播玉米区,氮肥常年用量超过 500 kg/hm<sup>2</sup>。随着施氮量增加,经济效益和氮肥利用率降低。研究表明,1958~1962 年我国平均施氮量为 45~60 kg/hm<sup>2</sup> 时,玉米氮肥利用率为 63%;1981~1983 年当平均施氮量增至 120 kg/hm<sup>2</sup> 时,玉米氮肥利用率降为 33%。近年来,玉米产量并不随施氮量增加而相应增加,氮肥生产效率明显下降。

长期大量施用氮肥在促进作物增产的同时,使得土壤矿物质态 N 含量增加。这些大量存在于有效根深土层的土壤矿物态氮在一定程度上补充了土壤氮库,进而影响土壤肥力、作物营养及产量。张爱君等<sup>[5]</sup>研究发现,土壤基础肥力越高,后效作用越大,对玉米产量的贡献也越高。但在高肥力地块,若仅靠土壤供氮,作物产量潜力又受到限制,且不持续。另一方面,肥料氮损失严重、有效率低,且污染环境。巨晓棠<sup>[6]</sup>对冬小麦-夏玉米轮作体系研究表明,与冬小麦生长季相比,夏玉米生长季氮肥在作物-土壤体系中的回收率显著降低而损失率增高。

不同施氮时期影响玉米产量。曹承富等<sup>[7]</sup>在淮北地区中上等土壤肥力条件下比较了苗肥、穗肥和粒肥不同氮肥配比对夏玉米产量的作用,认为各施肥时期对夏玉米产量的贡献为,苗肥 > 穗肥 > 粒肥,以苗肥 + 穗肥 + 粒肥夏玉米产量最高,适宜的比例为 4:4:2。谢皓等<sup>[8]</sup>研究认为在北京地区中等肥力条件下,夏玉米的关键施肥时期依次为播种期 > 拔节期 > 孕穗期,在种肥、拔节肥比较多时候,穗肥可免施,种肥和拔节肥的比例为 1:1 或 2:3。艾应伟等<sup>[9]</sup>报道,在种肥 15%、追肥 85% 的氮肥分配方式下,拔节肥和大喇叭口期二次追肥比拔节期一次追肥效果好。耿玉翠等<sup>[10]</sup>对玉米的氮肥适宜追施期进行研究发现,增产效果依次是大喇叭口期一次施肥产量接近,认为大喇叭口期是玉米最适宜的追肥期。孙月轩等<sup>[11]</sup>认为,夏玉米采取施足基种肥、重攻穗肥、补施粒肥的氮肥运筹方式(3:6:1),玉米早发、光合势强、干物质积累多、增产效果好。邱荣生等<sup>[12]</sup>也认为,基肥、穗肥、粒肥运筹以前轻中重后补和均衡施肥后补的方式,有利于壮苗早发,使植株各叶尤其是倒 7~9 叶更好地

生长,促进壮秆减少空秆,增加粒叶比而高产。

前人对氮肥在各生育时期施用比例结果不一,这是因为氮肥施用时期与地利条件、总施氮量和产量水平等因素密切相关。王忠孝<sup>[13]</sup>在总结前人研究基础上认为,在高产田,地力基础好,追肥数量多,宜采用轻追苗肥、重追穗肥和补追粒肥的追肥法,苗肥用量约占追氮量的30%、穗肥约占50%、粒肥约占20%;中产田,地力基础较好,追肥数量多,宜采取施足苗肥和重追穗肥的二次追肥法,苗肥约占40%、穗肥约占60%;低产田,地力基础差,追肥数量少,采用重追苗肥、轻追穗肥效果好,苗肥约占60%、穗肥约占40%,两次追肥的产量高于一次追肥。

测土配方施肥是目前广泛使用的科学施肥技术,在我国已经开展了20多年。该技术做到了施肥的定性定量化,整体施肥结构更加合理,避免了盲目施肥造成的某些矿质元素过量而造成的土壤、大气、水的污染,可以提高肥料利用率,有效减少化肥的挥发与流失,提高作物产量,具有显著的经济效益、社会效益和生态效益。目前氮肥在玉米生产上应用时,通常都先进行测土,有效地减少了氮肥施用量。

### 3 氮素供应对玉米产量形成的影响

不同的氮肥用量和施用时期影响了植株碳氮代谢水平,而碳氮代谢水平会进一步影响植株生育进程和物质生产力,进而影响产量形成。氮素缺乏会显著影响穗粒数。在一定的施肥范围内,穗粒数会随着氮肥用量的增加而增加,但当氮肥施用过量时,增施氮肥对穗粒数作用不大,即氮肥用量和穗粒数之间存在线性加平台关系<sup>[14]</sup>。前人研究表明,从吐丝前2周至吐丝后2~3周是穗粒数最容易受环境条件影响的时期,此期植株生长速率与穗粒数高度相关,因为子粒早期的发育转移依赖于当时的光合产物供应水平。Uhart和Andrade<sup>[15]</sup>认为,氮素缺乏对穗粒数的影响主要体现在降低受精率,增加子粒败育,对子粒潜在数目影响不大。但也有人认为,氮素缺乏对小穗小花分化有影响<sup>[16]</sup>。Lemcoff和Loomis<sup>[17]</sup>发现,吐丝前增加供氮水平可提高果穗顶部花丝细胞分裂速率,促进顶部花丝抽出。Below<sup>[18]</sup>报道,三叶期增施氮肥可提高子粒在线性灌浆期的充实率,减少子粒败育,氮素缺乏则使开花后整株氮素积累较少,引起子粒败育。

玉米植株体内氮的利用受子粒库大小(穗粒数和百粒重)影响较大。Anderson等<sup>[19]</sup>认为,多穗

型玉米可以更有效地把积累氮用于子粒生产,并将更多的植株氮和干物质分配到子粒生产。Anderson等<sup>[20]</sup>利用4个多穗玉米、4个半多穗玉米杂交种在4个氮水平下的研究表明,多穗玉米在所有氮水平下都显示了高的氮利用效率,但随氮水平增加、氮利用效率下降幅度较大。刘敏超等<sup>[21]</sup>对6个施氮量的研究表明,氮肥利用率随着施氮量增加而递减。Rozas等<sup>[22]</sup>在免耕表施尿素下,推迟氮素施用时间比使用尿酶抑制剂更能提高玉米子粒产量和氮肥利用率。玉米在不同生长发育阶段对氮的吸收不同,一生中体内的氮含量不断变化。刘景辉等<sup>[23]</sup>认为,玉米从出苗到拔节期吸收氮素绝对量少,吸收速度慢。拔节到小喇叭口期,玉米吸收氮量迅速增加,吸收速度加快,各营养器官全氮含量的变化动态是与个体生长中心的转移相一致的,提高供氮水平,玉米相对吸收氮的能力相应提高。进入大喇叭口期之后到散粉期,玉米由营养生长转向生殖生长,需氮量剧增。散粉后,玉米吸收氮素的速度开始下降。Arnon<sup>[24]</sup>认为,抽雄前10d至抽雄后25~30d是玉米吸收氮素最多的时期,吸氮量占总氮量的70%~75%。张颖<sup>[25]</sup>认为玉米植株整个生育期叶片的氮素积累随生育进程而增加。张石宝等<sup>[26]</sup>对冬玉米的研究认为植株地上部花丝期和收获期的氮总积累量与施氮量之间呈极显著的线性关系。随施氮量的增加,后期积累的氮占总累积的氮量的比例增加。刘克礼<sup>[27]</sup>对春玉米需氮规律的研究认为,春玉米生育期间氮素的分配中心是随着生长中心转移而发生变化,在散粉之前,氮素在叶片中分配量最多,占全株的50%以上,其次分配在茎秆中;随着生育进程的推进,生长中心转移,散粉以后,玉米进入生殖生长阶段,氮素的分配中心转向穗部;在灌浆期,雌穗中氮素的分配量占全株总氮量的40%左右。孙宝启<sup>[28]</sup>认为,玉米对氮素吸收的高峰期分别在大喇叭口期和灌浆期,施氮量与茎秆干物质积累量及产量呈抛物线型相关。含氮化合物可以在叶片间、叶茎间、叶片茎鞘子粒间,根与茎间进行转移。植株氮素主要以氨基酸形式向子粒转移。这种氮化化合物的种类和数量随生育时期而有所变化,生育初期多,生育盛期少,成熟期再次增多。作物子粒中的氮至少有50%甚至75%以上来自营养器官的转运,作物营养器官中的氮主要以蛋白质形态存在。

Muchow<sup>[29]</sup>研究发现,在缺氮条件下,叶面积较大和叶中含氮量较高与玉米的高产有很大关系,产

量与灌浆期的持续时间有很大关系。何萍等<sup>[30]</sup>认为, 氮素转运量及其对子粒的贡献受施氮量影响十分显著, 供氮不足可能导致营养体氮素外运过多而引起叶片提前衰老。氮代谢的状况会影响子粒产量的高低, 尤其在不利的环境条件下, 氮代谢影响子粒产量比碳代谢更明显。供氮不足可能导致营养体氮素外运过多而引起叶片提前衰老, 而过量施用氮素则由于营养体代谢过旺, 导致运往子粒的氮素减少。增加施氮量能够提高氮素同化关键酶硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的活性, 降低蛋白水解酶的活性。

目前对玉米营养器官氮再分配的结果尚未统一。一部分学者报道贮存氮再分配首先从茎秆开始<sup>[31]</sup>, 一部分学者报道首先从叶片开始<sup>[32]</sup>。据 Ta 和 Weiland<sup>[31]</sup>研究, 玉米花期营养器官贮存氮的 60%~85%要向穗部再分配, 其中茎秆、叶片分别向穗部再分配 45%, 根系吸收仅占 10%。茎秆氮的再分配早于叶片, 茎秆对氮的贮存和再分配对子粒结实至关重要。但 Below 等<sup>[33]</sup>报道茎秆不是主要的氮素再分配源, 氮缺乏条件下植株通常会将有限的氮素积累在叶片中。子粒中的氮素来源主要有两个途径: 一是土壤即时供氮, 二是营养器官贮存氮的再分配。当土壤即时供氮水平降低时, 营养器官贮存氮的再分配便成为主要供氮源。但作物营养器官贮存氮的再分配能力是有限的, 叶片中氮素的过度转移会影响光合作用, 使同化物向穗部供应量减少而导致子粒败育。如果贮存氮的再分配首先从茎秆开始, 那么低氮胁迫对光合作用的影响尚不十分严重; 但如果首先从叶片开始则会对光合作用造成直接的严重伤害。

供氮时期不同对子粒作用不同, 灌浆期供氮可加快子粒灌浆速率, 但作用较轻。作物早期吸收的氮大部分会转化为结构性物质, 只有少部分成为贮存再分配源。作物营养生长阶段吸收的氮越晚, 越有可能被再分配给子粒。

20 世纪 80 年代以来, 我国农业工作者根据玉米拔节期 - 吐丝期需肥量大的特点及当时玉米产量水平较低、施氮量较少的情况, 提出了拔节期“一炮轰”的追肥方法。卢树昌等<sup>[34]</sup>研究表明, 氮肥全施玉米的氮利用率为 31.39%,  $N_{分0.7}$  和  $N_{分0.5}$  两种分时的利用率分别为 41.39%和 52.63%, 而且分施的穗粒数和百粒重比全施增加。付应春等<sup>[35]</sup>提出了玉米施肥应掌握“前轻后重”的原则, 酌施种肥, 早施和重施拔节肥。范贻山<sup>[36]</sup>研究认为, 7 500 kg/hm<sup>2</sup> 产量水平下, 玉米应轻施拔节肥、重施大口肥, 并

于吐丝期补施粒肥。而石小燕<sup>[37]</sup>则认为, 施足穗肥是玉米获得高产的关键。国外尤其是西欧的许多国家, 从 20 世纪 80 年代以来全面推广应用土壤无机氮测试推荐施用氮肥, 按照土壤供氮水平和作物氮素需求分阶段进行氮肥推荐, 属典型“少量多次”, 实现了氮肥用量的定量化。

Subedi 和 Ma<sup>[38]</sup>认为玉米生育后期的氮素限制供应导致了产量和氮素吸收的显著下降, 从 8 叶期到灌浆后 3 周的充足的氮素供应有利于产量的提高。Oscar 等<sup>[39]</sup>通过对当代玉米新品种垂直冠层叶片衰老的研究认为, 当代杂交种顶部叶片衰老先于中部叶片是新品种的标志, 子粒灌浆到一半时顶部叶片率先衰老对于改善中部叶片的养分供应和光合效率是产量提高的生理基础。尹崇仁<sup>[40]</sup>认为, 氮素代谢和碳素代谢协调是玉米丰产的基础和保证。缺氮影响植物体内碳水化合物的代谢和分配, 根部获得更多的代谢物质, 生长受到促进, 相反地上部的生长则受到抑制。

赵洪祥等<sup>[41]</sup>对氮肥不同比例分期施用下的玉米叶片和根系中的硝酸还原酶活性的变化进行了研究, 认为氮肥没有分期施用的处理, 在生育后期发生早衰, 而氮肥分期施用的处理, 生育后期叶片和根系中的硝酸还原酶活性含量均较高, 保障了碳氮代谢的高效进行。Lemcoff 和 Loomis<sup>[42]</sup>发现, 吐丝前增加供氮水平可提高果穗顶部花丝细胞分裂速率, 促进顶部花丝抽出。Below<sup>[18]</sup>报道三叶期增施氮肥可提高子粒在线性灌浆期的充实率, 减少子粒败育, 氮素缺乏则使开花后整株氮素积累较少, 引起子粒败育。Rozas 等<sup>[43]</sup>在免耕表施尿素下, 推迟氮素施用时间比使用尿酶抑制剂更能提高玉米子粒产量和氮肥利用率。

#### 参考文献:

- [1] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize[J]. *Advances in Agronomy*, 2005, 86: 83-145.
- [2] Duncan W G, Hesketh J D. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rate, and leaf numbers of maize grown at eight temperature[J]. *Crop Science*, 1968(8): 670-676.
- [3] 董树亨. 玉米生态生理与产量品质形成 (第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 41-43.
- [4] 赵久然, 郭强, 郭景伦, 等. 北京郊区粮田化肥投入与产量现状的调查研究[J]. *北京农业科学*, 1997, 15(2): 36-38.
- [5] 张爱君, 张明普, 张洪源. 土壤基础肥力对夏玉米养分吸收和产量的影响[J]. *玉米科学*, 1999, 7(2): 71-74.
- [6] 巨晓棠. 冬小麦/夏玉米轮作体系中土壤肥料氮的转化与去向[D]. 中国农业大学, 2000: 42-52.
- [7] 曹承富, 汪芝寿, 孔令聪. 氮肥运筹对夏玉米产量及子粒灌

- 浆的影响[J]. 安徽农业科学, 1993, 21(3): 236-240.
- [8] 谢皓, 贾振华, 李华, 等. 夏玉米合理施用氮肥的研究[J]. 北京农业科学, 1995, 13(2): 23-27.
- [9] 艾应伟, 毛达如, 王兴仁, 等. 冬小麦-夏玉米轮作周期中N、P、K、Zn化肥合理施用的研究[J]. 土壤通报, 1998, 29(2): 73-75.
- [10] 耿玉翠, 范树仁. 玉米氮肥适宜追施期研究[J]. 山西农业科学, 1999, 27(1): 21-23.
- [11] 孙月轩, 姜先梅, 张作木, 等. 氮肥运筹比例对夏玉米群体质量及产量的影响[J]. 耕作与栽培, 1994(3): 29-31.
- [12] 邱荣生, 朱国权, 沈海根, 等. 氮肥运筹对“二旱一水”玉米群体质量及产量的影响[J]. 玉米科学, 1996, 4(2): 53-57.
- [13] 王忠孝. 玉米矿质营养与合理施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 62-66.
- [14] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize: Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set[J]. Crop Science, 1995, 35(5): 1376-1383.
- [15] Uhart S A, Andrade F H. Nitrogen deficiency in maize: Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield[J]. Crop Science, 1995, 35(5): 1384-1389.
- [16] Jacobs B C, Pearson C J. Potential yield of maize determined rates of growth and development of ears [J]. Field Crop Res, 1991(27): 271-298.
- [17] Lemcoff J H, Loomis R S. Nitrogen and density influences on silk emergence, endosperm development, and grain yield in maize (*Zea mays* L.)[J]. Field Crops Research, 1994(38): 63-72.
- [18] Below F E. Growth and productivity of maize under nitrogen stress. In: Edmeades G O, Banziger M, Michelson H R, Penavaidivia C B, eds. Developing drought and low N tolerant maize [J]. Proceeding of a symposium. CIMMYT. 1996(3): 235-240.
- [19] Anderson E I. Corn root growth and distribution as influenced by tillage and nitrogen fertilization [J]. Agronomy Journal, 1987(79): 544-549.
- [20] Anderson E I, Kamprath E J, Moll R H. Prolificacy and N fertilizer effects on yield and N utilization in maize[J]. Crop Science, 1985(25): 598-605.
- [21] 刘敏超, 曾长立, 王兴仁, 等. 氮肥施用对冬小麦利用率及土壤剖面硝态氮含量动态分布的影响 [J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5): 309-312.
- [22] Rozas H S, Echeverria H E, Studdert G A. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time[J]. Agronomy Journal, 1999, 91(6): 950-955.
- [23] 刘景辉, 刘克礼. 春玉米需氮规律的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15(3): 12-18.
- [24] Arnon. Mineral nutrition of maize [J]. Crop Science, 1974: 356-361.
- [25] 张颖. 北方春玉米不同生育期干物质积累与氮磷钾含量的变化[J]. 玉米科学, 1996, 4(1): 63-65, 70.
- [26] 张石宝, 李树云, 尹树华, 等. 冬玉米对氮肥的吸收利用和需求[J]. 广西植物, 2002, 22(3): 273-276.
- [27] 刘克礼, 盛晋华. 春玉米叶片叶绿素含量与光合速率的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1998, 19(2): 48-51.
- [28] 孙宝启. 硝酸还原酶与氮素利用的关系及其在作物育种中的应用[J]. 北京农业大学学报, 1993, 19(3): 29-33.
- [29] Muchow R C. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment, grain yield and nitrogen accumulation [J]. Field Crop Research, 1998(18): 31-43.
- [30] 何萍, 金继运. 氮钾互作对春玉米养分吸收动态及模式的影响[J]. 玉米科学, 1999, 7(3): 68-72.
- [31] Ta C T., Weiland R T. Nitrogen partitioning in maize during ear developing[J]. Crop Science, 1992(32): 443-451.
- [32] Swank J C, Below F E, Lambert R J. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize [J]. Plant Physiology, 1982(70): 1185-1190.
- [33] Below F E. Growth and productivity of maize under nitrogen stress. In: Edmeades G O, Banziger M, Michelson H R, Penavaidivia C B, eds. Developing drought and low N tolerant maize [J]. Proceeding of a symposium., CIMMYT, 1996: 235-240.
- [34] 卢树昌, 臧凤燕, 刘慧芬, 等. 不同施氮方式对夏玉米生长性状及氮肥利用率的影响[J]. 天津农学院学报, 2002, 9(1): 18-21.
- [35] 付迎春, 陈国平. 夏玉米需肥规律的研究[J]. 作物学报, 1982, 8(1): 1-8.
- [36] 范贻山. 高产夏玉米需肥规律的研究[J]. 山东农业科学, 1983(3): 1-5.
- [37] 石小燕. 玉米不同时期氮素分配对产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2000(3): 24-27.
- [38] Subedi K D, Ma B L. Nitrogen uptake and partitioning in stay-green and leafy maize hybrids [J]. Crop Science, 2005(45): 740-747.
- [39] Oscar R. V, Matthijs T. Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids[J]. Crop Science, 2004(44): 827-834.
- [40] 尹崇仁. 作物营养学 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 33-36.
- [41] 赵洪祥, 徐克章, 杨光宇, 等. 吉林省82年来育成大豆品种的产量和叶片部分生理特性变化及其相互关系[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1259-1265.
- [42] Lemcoff J H, Loomis R S. Nitrogen and density influences on silk emergence, endosperm development, and grain yield in maize (*Zea mays* L.)[J]. Field Crops Research, 1994(38): 63-72.
- [43] Rozas H S, Echeverria H E, Studdert G A. 1999. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time [J]. Agronomy Journal, 1999, 91(6): 950-955.