

文章编号: 1003-8701(2015)05-0006-04

种植密度与施氮水平对春玉米产量形成影响研究

郭金瑞, 任 军, 闫孝贡, 刘建钊, 边秀芝, 刘兆国*

(吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘 要:通过研究不同种植密度和不同施氮水平对春玉米产量及物质生产的影响, 结果表明: 在中高密度下, 产量的实现主要是通过收获穗数实现的, 穗粒数是影响产量的主要因素; 氮素不足及过量可使败育发生, 秃尖增大; 适量施氮 (220 kg/hm^2), 可促进子粒发育, 增加穗粒数, 提高产量。

关键词: 密度; 氮肥; 产量

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Studies on Effect of Plant Density and Nitrogen Levels on Yield Formation of Spring Corn

GUO Jin-rui, REN Jun, YAN Xiao-gong, LIU Jian-zhao, BIAN Xiu-zhi, LIU Zhao-guo*

(Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Effect of different planting density and nitrogen application on spring corn yield and biomass production was studied in the paper. Results indicated that under the middle-high density, the output realized mainly through the harvest ear of number, and grain number per ear was key factor affected the yield. Nitrogen insufficient and excessive caused the abortion occurrence and bald-tip ears increased. Seed development was promoted and the number of grains per ear increased at moderate nitrogen of 220 kg/hm^2 , so the yield increased.

Key words: Planting density; Nitrogen; Yield

玉米是吉林省主要粮食作物, 播种面积占吉林省耕地面积的 75% 左右。在耕地面积有限且粮食需用量增加的前提下, 提高玉米的单位产量是保证粮食安全生产的主要措施。通过改进栽培技术措施, 创建集成性技术模式在玉米增产中发挥重要作用^[1]。近年来国内外均有玉米超高产记录产生: 美国 Francis Childs 的玉米超高产试验在产量达到 $27\,351 \text{ kg/hm}^2$ 的收获密度为 10.9 万株/hm^2 ^[2], 李登海 2005 年创造夏玉米高产记录时的种植密度 10.2 万株/hm^2 , 2012 年吉林省农业科学院创造了 $17\,531 \text{ kg/hm}^2$ 的春玉米高产新记录, 其种植密度为 9.0 万株/hm^2 。

氮素是影响作物产量的最重要养分限制因子, 近年来粗放的施肥方式如“一炮轰”施肥和表

施追肥等不科学的施肥方法, 是造成过量施肥和氮肥利用率低的主要原因。我国氮肥平均利用率不足 30%, 低于 33% 的世界平均水平^[2]。研究表明, 种植密度的增加可促进水稻和小麦群体的总氮素积累量, 提高水稻的氮素利用效率^[3-4], 但春玉米的密度与氮肥的互作效应却鲜有报道。

诸多研究认为, 单位面积穗数、穗粒数及粒重是影响玉米产量的关键三因素^[5-6], 栽培技术措施与外部生态环境条件均对单位面积玉米穗数、穗粒数和粒重起作用, 进而影响玉米的产量。密度和肥料是高产栽培技术的主要人为控制因子^[7-8]。适当增加种植密度及合理的施肥极大地提高和优化了氮肥的利用率^[9-12], 本试验旨在通过对不同密度与不同施氮量对不同类型玉米品种产量及其构成因素的影响进行研究, 找出适宜本地区玉米高产栽培的优化农艺措施, 为玉米的高产高效生产提供参考依据。

1 材料与方 法

本定位试验始于 2009 年, 试验地点在公主岭市吉林省农业科学院试验地内, 土壤肥力为碱解

收稿日期: 2015-04-26

基金项目: 吉林省科技支撑重大项目(20106025、2012602); 公益性行业科研专项(201203030-04-04、201303126-4)

作者简介: 郭金瑞(1975-), 男, 副研究员, 博士, 从事高产土壤构建及春玉米栽培研究。

通讯作者: 刘兆国, 男, 副研究员, E-mail: liuzhaoguo1965@163.com

氮 143 mg/kg,有效磷 37.4 mg/kg,速效钾 126 mg/kg,有机质 26 mg/kg,pH 值 6.6。供试品种为先玉 335,密度与氮肥水平正交设计。密度设 M1(45 000 株/hm²)、M2(67 500 株/hm²)、M3(90 000 株/hm²),在施用有效磷和有效钾 82.5 kg/hm²基础上,N 肥设 N1(0 kg/hm²)、N2(112.5 kg/hm²)、N3(225 kg/hm²)、N4(337.5 kg/hm²)4 个梯度处理。氮肥基追比为 1:3,拔节期追施氮肥。试验设 10 行区,行距 60 cm,小区面积 66 m²。5 月 4 日播种,9 月 25 日收获。试验结果采用 Office 2007 和 SPSS 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 密度与氮肥对春玉米产量与产量构成因素的影响

由表 1 可知,在 M1 处理下,产量表现为 N3>N4>N2>N1,在 M2 处理下,产量表现为 N4>N3>N2>N1,在 M3 处理下,N2>N3>N4>N1;3 个密度处理中,无氮处理与各施氮处理产量差异均呈极显著相关性,施氮处理间产量差异不显著。各处理间 M2 种植条件下 N4、N3、N2 处理的产量处在较高水平,高于其他密度处理,与各无氮处理差异达到了极显著水平,但三者间差异不显著。由此可见,考虑到土壤氮素矿化和大气氮素沉降因素,在本试验条件下,施氮量 120 kg/hm²,种植密度 65 000 株/hm²可使作物维持在较高的生产水平,做到高产与高效相结合。

从产量构成因素对产量的影响分析可知,密度间穗粒数与穗粒重差异显著,M1 与 M3 的穗粒

表 1 密度与施肥对产量及产量构成因子分析

处理	百粒重(g)	穗粒数	穗粒重(g)	产量(kg/hm ²)	产量 5% 差异	产量 1% 差异
M1N1	103.8	457.42	166.9	8276.2	d	DE
M1N2	123.2	586.07	200.6	11 149.7	ab	ABC
M1N3	126.1	585.27	239.6	11 536.7	a	AB
M1N4	124.6	610.13	238.3	11 220.5	ab	ABC
M2N1	100.8	367.13	130.1	7661.7	d	E
M2N2	122.6	419.87	157.5	11 547.8	a	AB
M2N3	131.4	435.07	171.1	11 806.1	a	A
M2N4	126.2	430.40	169.8	11 869.7	a	A
M3N1	96.0	282.10	70.8	5761.7	e	F
M3N2	122.6	345.20	130.7	11 174.0	ab	ABC
M3N3	123.3	344.90	122.6	9977.7	bc	ABC
M3N4	122.7	336.80	127.3	9557.9	c	ABC

数与穗粒重差异极显著,二者均呈 M1>M2>M3 趋势。3 个密度下施氮处理穗粒数与穗粒重高于无氮处理;百粒重在密度间 M2>M1>M3,但三者差异不显著;施氮对百粒重影响显著,各施氮处理均高于无氮处理,二者差异显著,施肥处理间差异不显著。因此百粒重在产量构成中是比较稳定的因子;施氮可有效提高玉米的穗粒数,增加百粒重。氮肥对穗粒数和穗粒重的影响在 M1 条件下呈正向相关关系,在 M2、M3 密度下,N4 处理穗粒数和穗粒重均低于 N2 与 N3,可见过量施氮影响穗部顶端发育,抑制作物的生殖生长。

由图 1 可知,在 4 个氮肥梯度下,无氮处理产量为 M1>M2>M3,密度与产量呈负相关关系;而施氮处理条件下 M2 始终保持了较高的产量水平,这与百粒重的趋势相吻合。因此,产量形成三要素中,适当提高种植密度,增加收获穗数,稳定穗粒数和百粒重是增产的重要手段。而过高的密度

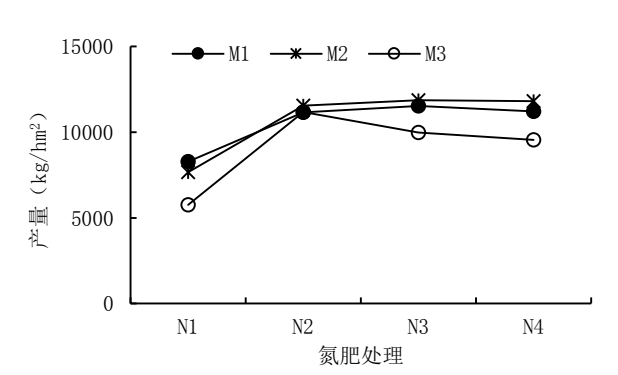


图 1 密度与氮肥水平对产量影响

造成了穗粒数下降,密度不足导致收获穗数降低,是造成 M1 和 M3 产量不高的重要原因。因此从产量因素看,吉林省中部地区的种植密度应界定在 6.0 万~7.0 万株/hm²较为适宜。而在此密度基础上,施氮量 112.5 kg/hm²和 337.5 kg/hm²的差异并不显著,考虑到农田氮流失较大等因素,吉林

省中部地区根据不同地力条件调整施氮,在肥力较高的地块施氮 120 kg/hm^2 ,肥力较低的地块施氮 200 kg/hm^2 可获得较好的经济与生态效益。

2.2 密度与氮肥对春玉米穗部形态影响分析

由图2、图3可知,密度对穗粗、穗长及穗粒数影响较大,随着密度的增加,穗粗直径下降,穗长变短,行粒数显著减少;秃尖长度与穗行数各密度差异不显著。

施用氮肥能明显提高穗粗、穗长和行粒数,有

效减少秃尖长度,秃尖长度 M2、M3 条件下高施氮处理高于中、低氮施肥处理,穗粗直径 M2、M3 条件下高氮处理低于中氮处理,穗长两者间差异不显著,行粒数 M3 条件下高氮处理低于中氮处理。由此可见,适宜的施氮量可促进穗轴生长和顶部子粒发育,提高穗部养分运转,减少子粒败育,从而使秃尖缩短,进而增加穗粒数,增加产量;而施氮不足或过量可使败育粒数增加,影响产量。

2.3 密度与施氮水平对春玉米干物质积累影响

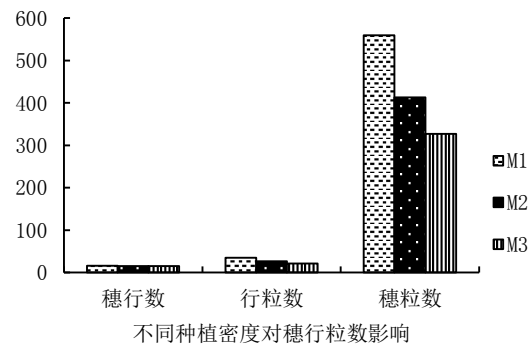
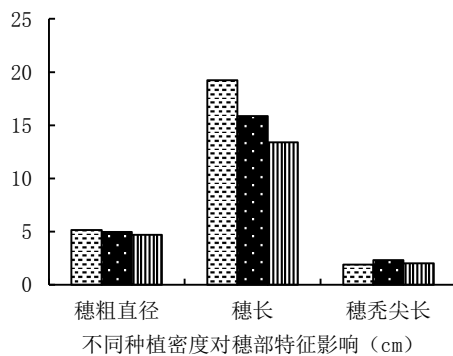


图2 种植密度对玉米穗部形态及穗粒数影响

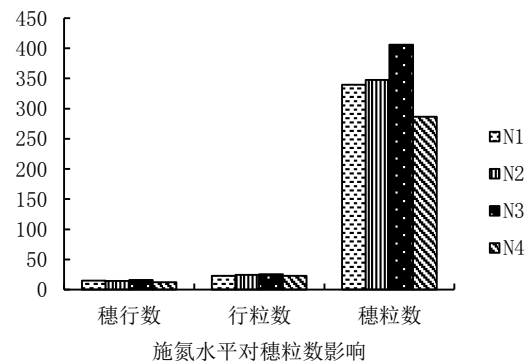
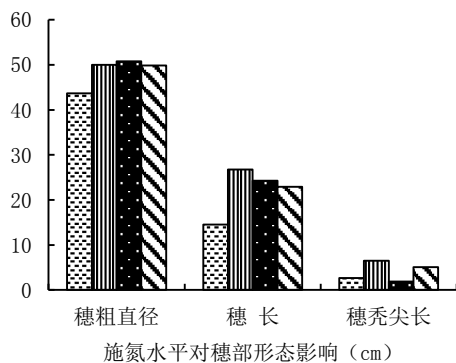


图3 施氮水平对玉米穗部形态及穗粒数影响

分析

由图4可以看出,干物质积累在抽雄期前与密度呈正相关关系,进入生殖生长阶段后,M2干物质形成整体速度快于M1与M3,可见适宜的密度更有利于干物质的积累和形成;密度影响各器官物质建成,由图5可知,在成熟期茎、叶、鞘干物质积累量与密度呈正相关性,3个密度条件下苞叶的物质积累量差异不明显,子粒的干物质积累M2最高,M3次之,M1最低。3个密度中玉米茎、叶干物质积累量随密度增加而增加,但子粒干物质积累量M2大于M3与M1。可见,种植密度是影响干物质形成和积累的重要因素,随着密度的增加,群体的光合面积、光合势、地上部干物质积累

和冠层光截获量均呈现出上升的趋势。但随密度的过度升高,玉米产量潜力的发挥程度因有效光合强度下降而呈下降趋势。

氮肥是干物质形成的主要元素。由图6可以看出,在整个生育期内,无氮处理干物质积累量始终处在较低水平。拔节期施氮各处理干物质积累无明显差异,N2处理干物质积累量最高,积累量为 5130 kg/hm^2 ,N3略高于N4;进入抽雄期后至成熟期,N3干物质积累量始终高于N2和N4,抽雄期N3比N2高6.0%,比N4高4.1%;成熟期N3比N2高11.4%,比N4高5.2%,可见N3施肥处理更有利于干物质的建成。

由图7可知,在4个氮肥处理条件下,成熟期

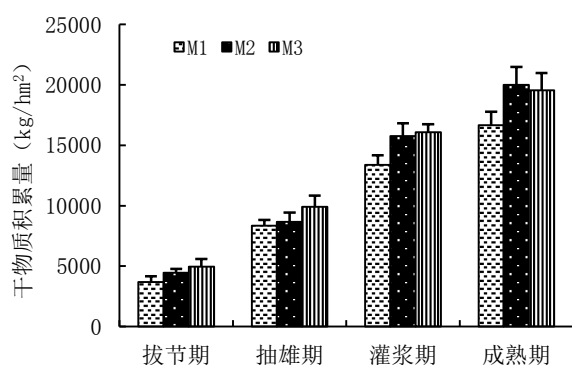


图4 种植密度对干物质积累影响

茎与叶片建成后物质积累量 $N_4 > N_3 > N_2 > N_1$, 二者均随施氮水平的提高而增加; 苞叶干物质积累量 N_4 最高, N_2 、 N_3 二者间无差异, N_1 最低; 子粒干物质积累量 $N_3 > N_2 > N_4 > N_1$, 施氮各处理与无氮处理间差异显著, 但施氮处理间差异不显著。可见, 氮肥用量是调节玉米源、库物质积累的重要手段: 施氮量不足, 营养生长体受限降低了作物

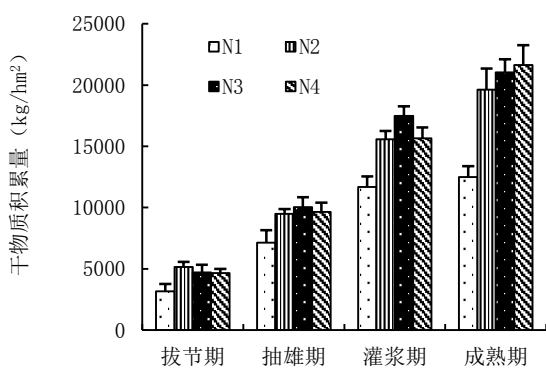


图6 施氮水平对干物质积累影响

本研究表明, 适宜的种植密度是获得高产的有效途径, 增加种植密度显著提高了玉米产量。但密度增加降低了单株的生产能力, 其穗粒数下降, 玉米产量随密度的增加而增加, 但当密度达到 90 000 株/hm² 后产量明显下降。本试验条件下, 处理 M2 始终保持了较高的产量水平, 说明适宜的密度是高产稳产的关键因素, 密度过低收获穗数不足, 密度过高穗粒数不足是影响产量的重要原因。因此, 密植高产的重点在于稳定单位面积的收获穗数, 提高单株的穗粒数和百粒重。

研究表明施氮可有效提高玉米产量, 本研究条件下, 施氮量在 225 kg/hm² 产量最高。适宜的施氮量可以保证干物质形成和积累, 减小秃尖败育, 促进果穗顶端发育, 提高子粒灌浆强度和延长灌浆时间, 增加产量。而不施氮肥或过量施氮

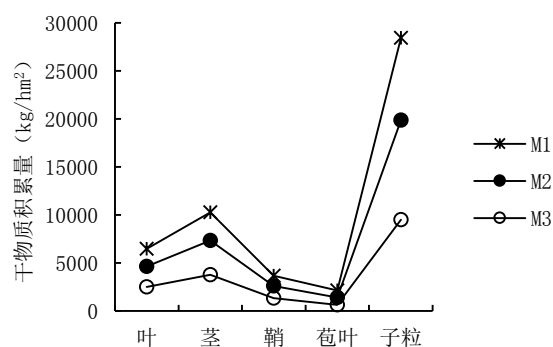


图5 成熟期密度对各器官干物质分配影响

光合产物形成, 在生育后期生殖生长能力受限; 过量施氮 (超过 225 kg/hm²), 促进了生育前期营养体的无效生长, 在进入生殖生长期后, 养分由营养生长体向子粒转运量不足, 或限制了物质的运转而造成子粒的干物质积累降低。

3 结论

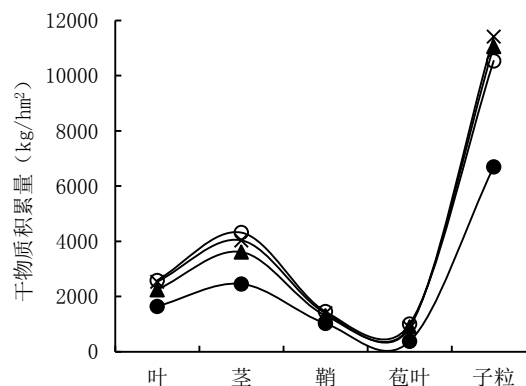


图7 成熟期施氮水平对各器官干物质分配影响

(超过 225 kg/hm²) 都使败育粒数增加, 子粒物质形成受限, 影响产量。

吉林省平均种植密度低和氮肥施用不合理是影响高产高效的重要因子, 但高密度和高氮施肥均是限制春玉米高产的主要因素。本研究表明, 吉林省玉米高产高效生产适宜种植密度在 60 000 ~ 70 000 株/hm², 考虑基础地力差异, 施氮水平 120 ~ 200 kg/hm² 即可实现玉米生产的高产高效。

参考文献:

- [1] 佟屏亚, 程延年. 玉米密度与产量因素关系的研究[J]. 北京农业科学, 1995, 13(1): 23-25.
- [2] 孙世贤. 2002 年美国玉米高产竞赛简况[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 102. (下转第 20 页)
- [3] 曹倩, 贺明荣, 代兴龙, 等. 密度、氮肥互作对小麦产量 (上接第 9 页)

- [2] 钱锦霞,郭建平.东北地区春玉米生长发育和产量对温度变化的响应[J].中国农业气象,2013,34(3):312-316.
- [3] 冶明珠,郭建平,袁彬,等.气候变化背景下东北地区热量资源及玉米温度适宜度[J].应用生态学报,2012,23(10):2786-2794.
- [4] 梁怀宇.西辽河平原光、热、水资源的变化及其对玉米生产潜力的影响[D].通辽:内蒙古民族大学,2010.
- [5] 宁大可,谢立勇,杨振中,等.温度升高对玉米种子萌发的影响[J].玉米科学,2013,21(2):102-105,111.
- [6] 王春春,黄山,邓艾兴,等.东北雨养农区气候变暖趋势与春玉米产量变化的关系分析[J].玉米科学,2010,18(6):64-68.
- [7] 袁彬.气候变化下东北春玉米气候生产潜力及农业气候资源利用率[D].北京:中国气象科学研究院,2012.
- [8] 宗英飞,杨学强,纪瑞鹏,等.播种期温度变化对玉米出苗速率的影响[J].中国农学通报,2013,29(9):70-74.
- [9] 禄兴丽,Sikander Khan Tanveer,廖允成,等.不同耕作措施下夏玉米生长季农田CO₂排放速率及其与土壤温度的关系[J].西北农业学报,2013,22(6):53-59.
- [10] 王永力,杨德光,李玲.黑龙江省第一积温带玉米各生育时期环境温度变化分析[J].东北农业大学学报,2013,44(7):69-73.
- [11] 郝楠,王延波,李月明.温度对玉米种子萌发特性的影响[J].玉米科学,2013,21(4):59-63.
- [12] 梁建生,张建华,曹显祖.根系环境温度变化对根系吸水和叶片蒸腾的影响[J].植物学报,1998,40(12):1152-1158.
- [13] 陈传晓,董志强,高娇,等.不同积温对春玉米灌浆期叶片光合性能的影响[J].应用生态学报,2013,24(6):1593-1600.
- [14] 张建平,赵艳霞,王春乙,等.不同时段低温冷害对玉米灌浆和产量的影响模拟[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(9):115-127.
- [15] 陈笑莹,宋凤斌,朱先灿,等.高温胁迫下丛枝菌根真菌对玉米光合特性的影响[J].华北农学报,2013,28(2):108-113.
- [16] 陶汉之,李展,孟彩萍,等.对生玉米叶面积分布、蒸腾速率和水分利用率的研究[J].作物学报,2000,26(1):65-70.
- [17] Xu Z Z, Zhou G S, Han G X, et al. Photosynthetic potential and its association with lipid peroxidation in response to high temperature at different leaf ages in Maize[J]. J Plant Growth Regul, 2011(30): 41-50.
- [18] Yalçın C, Ayşe C, Ufuk D, et al. Physiological response of maize (*Zea mays* L.) to high temperature stress[J]. Australian Journal of Crop Science, 2011, 5(8): 966-972.
- [19] 刘亚,丁俊强,苏巴钱德,等.基于远红外热成像的叶温变化与玉米苗期耐旱性的研究[J].中国农业科学,2009,42(6):2192-2201.
- [20] 白彩云,李少昆,柏军华,等.我国东北地区不同生态条件下玉米品种积温需求及利用特征[J].应用生态学报,2011,22(9):2337-2342.
- [21] 米娜,张玉书,陈鹏狮,等.玉米农田蒸散过程及其对气候变化响应的模拟研究[J].生态学报,2010,30(3):698-709.
- [22] Li X, Ding Z S, Li L L, et al. Heterosis of maize photosynthetic performance[J]. Translated from Chinese Journal of Applied Ecology, 2007,18(5): 1049-1054.
- [23] 董树亭,高荣岐,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997,23(3):318-325.
- [24] Frak E, Le R X, Millard P, et al. Spatial distribution of leaf nitrogen and photosynthetic capacity within the foliage of individual trees: disentangling the effects of local light quality, leaf irradiance, and transpiration[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(378): 2207-2216.
- [25] Yu G R, Tatsuaki K, Zhuang J, et al. A coupled model of photosynthesis-transpiration based on the stomatal behavior for maize (*Zea mays* L.) grown in the field[J]. Plant and Soil, 2003(249): 401-416.
- [26] 王秀玲,赵明,王启现,等.玉米不同基因型气孔特征和叶温差的研究[J].华北农学报,2004,19(1):71-74.

(责任编辑:范杰英)



- 及氮素利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):815-822.
- [4] 周江明,赵琳,董越勇,等.氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):274-281.
- [5] 张福锁,王激清,张卫峰,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.
- [6] 关义新,林葆,凌碧莹.光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响[J].作物学报,2000,26(6):806-812.
- [7] 李建奇,黄高保,牛俊义.氮肥对不同玉米品种产量和品质的影响研究[J].耕作与栽培,2004(2):22-24.
- [8] 李志勇,王璞.不同施肥条件下夏玉米的干物质积累、产量及氮肥利用效率[J].华北农学报,2003,18(4):91-94.
- [9] 马兴林,关义新,逢焕成,等.种植密度对3个玉米杂交种产量及品质的影响[J].玉米科学,2005,13(3):84-86.
- [10] 姜艳超,王庆祥.不同品种、密度、肥料对甜糯玉米产量的影响研究[J].杂粮作物,2004,24(4):218-220.
- [11] 易镇邪,王璞,张红芳,等.氮肥类型与施用量对夏玉米产量与品质性状的影响[J].玉米科学,2006,14(2):130-133.
- [12] 金继运,何萍,刘海龙,等.氮肥用量对高淀粉玉米和普通玉米吸氮特性及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):568-573.

(责任编辑:范杰英)