

文章编号: 1005-0906(2014)01-0121-06

不同施氮量对夏玉米产量和氮素利用的影响

高肖贤, 张华芳, 马文奇, 魏 静

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

摘 要: 以玉米品种郑单 958 为材料, 通过两年田间试验研究不同施氮量对夏玉米产量和氮素利用的影响。结果表明, 随施氮量增加夏玉米产量先增加后降低, 符合一元二次肥料效应方程; 合理施氮量显著提高子粒产量; 收获指数和氮收获指数随施氮量增加而降低, 施氮量为 189 kg/hm² 和 178 kg/hm² 收获指数和氮素收获指数较高; 过量施氮会降低氮肥利用率和氮肥偏生产力, 平均较施氮量为 189 kg/hm² 和 178 kg/hm² 降低 29 ~ 55 个百分点和 32 ~ 64 kg/kg; 农学效率和生理利用率随施氮量先增加后降低, 施氮量为 200 kg/hm² 左右时最高。当施氮量超过 200 kg/hm² 时, 成熟期表层土壤硝态氮含量和氮肥表观损失率均随施氮量的增加而增加。夏玉米氮肥推荐用量应控制在 200 kg/hm² 以内。

关键词: 夏玉米; 施氮量; 产量; 氮素利用效率; 土壤硝态氮

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effects of Nitrogen Application Rates on Yield and Nitrogen Utilization of Summer Maize

GAO Xiao-xian, ZHANG Hua-fang, MA Wen-qi, WEI Jing

(College of Resource and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: Two years field plot experiment was conducted to study the effects of different N application rates on the yield and nitrogen utilization efficiency of summer maize (Zhengdan958). The results indicated that the yield increased at first and then decreased with the increase of N application rates, and the relationship of yield to N application rates corresponded to quadratic equation. Reasonable N application rate increased grain yield significantly. With the increase of N application rate harvest index (HI) and N harvest index (NHI) decreased. The highest HI and NHI was obtained at N application of 189 kg/ha (N189) and 178 kg/ha (N178). Excessive N application rate reduced N recovery efficiency (NRE) and N partial fertilizer productivity (NPFP) by 29% - 55% and 32 - 64 kg/kg compared with N189 and N178, respectively. Agronomic efficiency (AE) and physiological efficiency (PE) increased at first then decreased with the increase N application rate, and the highest AE and PE were appeared at N application rate of 200 kg/ha. Surface soil NO₃⁻-N content at mature stage and N apparent losses ratio increased with the increase of nitrogen application when N rates were over 200 kg/ha. Comprehensive consideration, the recommendation of N application rate for summer maize should be controlled in less than 200 kg/ha.

Key words: Summer maize; N application rate; Yield; Nitrogen use efficiency; Soil nitrate-nitrogen

氮是夏玉米必需的营养元素, 也是最重要的产量限制因子^[1,2]。由于玉米兼具增产潜力大和耐肥性

强的特点, 玉米生产中氮肥超量施用十分普遍, 导致氮肥利用率低。河北省夏玉米田平均施氮量在 280 kg/hm² 左右, 大大超出了合理用量^[3]。有研究表明, 当前我国玉米农田氮素利用率平均为 26.1%^[4], 华北平原小麦玉米轮作体系夏玉米农户传统施肥条件下的氮肥利用率仅为 10%^[5]。长期过量施用氮肥又会造成土壤氮素的大量盈余, 降低氮肥的增产效率, 给环境带来重大压力^[6-8]。Anonym 于 2003 年在 Nature 杂志上发表文章指出, 如果不重视过量施肥

收稿日期: 2013-01-07

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201103003)

作者简介: 高肖贤(1988-), 女, 河北邢台人, 硕士, 主要从事土壤生

态及养分管理研究。E-mail: ga0375311749@163.com

魏 静为本文通讯作者。E-mail: weijing_199@163.com

带来的环境威胁,将造成灾难性的后果^[9]。因此,如何进行科学合理的氮肥管理成为近年来养分资源管理研究的热点。

氮肥的合理施用即根据区域作物、土壤和气候特点解决施用量、施用时期及不同时期的分配比例等问题,核心在于施肥量的控制。金继运等^[10]研究结果表明,高淀粉玉米和普通玉米在施氮量 195 kg/hm² 时可获得最高产量;赵营等^[11]综合考虑产量、氮肥利用率、养分运转及环境污染等因素,推荐陕西省扶风县施氮量为 125 kg/hm²;王俊忠等^[12]在河南省温县研究认为,夏玉米高产田推荐施氮量应控制在 300 kg/hm² 以内;黄绍敏等^[13]认为,郑州中等肥力土壤夏玉米合理的施氮量为 225 kg/hm²;王宜伦等^[14]认为,河南省夏玉米超高产田的适宜施氮量为 255~300 kg/hm²。由此可见,氮肥合理施肥量具有区域特点,与当地土壤、气候、栽培等因素有关。本研究以河北省山前平原区夏玉米为对象,通过两年田间试验,分析不同施氮量对产量、干物质积累和氮素吸收利用的影响,确定该地区夏玉米科学合理的氮肥用量,为提高氮肥利用率和减少农业环境污染提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2009 年 6 月至 2010 年 9 月在河北省定州市大瓦房村进行,前茬作物均为小麦。土壤为潮土,有机质含量 16 g/kg,全氮含量 0.92 g/kg,速效磷含量 12 mg/kg,速效钾含量 96 mg/kg。供试玉米品种为郑单 958。小麦秸秆全部还田,2009 年 6 月 17 日播种,10 月 2 日收获,全生育期 107 d;2010 年 6 月 24 日播种,10 月 3 日收获,全生育期 101 d。

1.2 试验设计

试验共设 5 个处理(表 1),随机区组排列,4 次重复。小区面积 30.8 m²,种植密度为 8.25 万株/hm²。氮肥分别在出苗后、大喇叭口期和吐丝期以 3:5:2 比例开沟施用。P₂O₅、K₂O、Zn 肥全部基施。根据 2009 年试验产量及土壤硝态氮累积量对 2010 年试验方案进行调整,将施氮量下调。

1.3 测定项目与方法

2009 年于 3 叶期、大喇叭口期和成熟期,2010 年于苗期、拔节期、大喇叭口期、灌浆期、成熟期选取生长一致的植株 3 株(苗期 10 株)进行取样,按器官分为叶(叶片+叶鞘)、茎、雄穗、苞叶、子粒 5 个部位,将分好的各器官装入纸袋,放入烘箱中,105℃杀青 30 min,于 70℃下烘至恒重、称重。样品粉碎后,

采用 H₂O₂-H₂SO₄ 消煮,凯氏定氮法测定全氮。

分别于夏玉米播种前和收获后以 30 cm 为间隔,采集 0~90 cm 土壤样品,每小区随机取两点,同层的土壤混合为一个土样。将新鲜土样过 1 cm 筛,用 1 mol/L 的 KCl 溶液震荡浸提,流动分析仪测定硝态氮含量。

成熟期每小区选取 15 m² 进行测产,在测定株数之后将穗剪下,风干、脱粒、称重;同时进行考种,测定穗粒数和千粒重。

表 1 夏玉米氮肥试验方案

Table 1 Treatments of summer maize experiments

年 份 Year	处 理 Treatment	肥料投入量(kg/hm ²) Rate of fertilizer application			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄
2009	N0	0	90	180	15
	N189	189	90	180	15
	N270	270	90	180	15
	N351	351	90	180	15
	N451	451	90	180	15
2010	N0	0	120	120	15
	N102	102	120	120	15
	N178	178	120	120	15
	N255	255	120	120	15
	N331	331	120	120	15

1.4 数据分析

养分吸收和化肥养分效率的计算公式^[15,16]如下:

氮素积累量 = 干物质重 × 植株地上部氮含量;
收获指数(HI) = 子粒产量 / 成熟期植株积累量;氮素收获指数(NHI) = 子粒氮积累量 / 植株氮素积累量;
氮肥利用率(NRE) = (施氮区氮积累量 - 无氮区氮积累量) / 肥料投入量 × 100%;氮肥偏生产力(NPFP) = 子粒产量 / 肥料投入量;农学效率(AE) = (施氮区子粒产量 - 无氮区子粒产量) / 肥料投入量;氮肥生理利用率(PE) = (施氮区子粒产量 - 无氮区子粒产量) / (施氮区氮素积累量 - 无氮区氮素积累量);氮肥表观残留率 = (施氮区残留量 - 不施氮区残留量) / 施氮量 × 100%;氮肥表观损失率 = 100% - 氮肥利用率 - 氮肥的表观残留率。

数据采用 Excel 2003 和 SPSS Statistics 17.0 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量对产量及产量构成因素的影响

由表 2 可知,2009 年 N189、N270、N351、N451

处理分别比 N0 处理增产 17.2%、13.6%、12.3%、1.0%,除 N451 处理增产效果不显著外,其他处理均增产显著,以 N189 处理产量最高;2010 年 N102、N178、N255、N331 处理比 N0 处理分别增产 7.2%、18.4%、12.9%、6.4%,N178 和 N225 处理达显著水平。从两年产量结果看,过量施氮会造成减产,2009 年 N451 处理比 N189 处理产量降低 13.9%;2010 年 N331 处理比 N178 处理产量降低 10.1%。两年施肥量与产量的关系可以拟合为一元二次肥料效应方程:

$$y = -0.025 3x^2 + 11.526x + 8 207.8 \quad (R^2 = 0.962 4^{**}, t = 8.763 > t_{(0.01,3)} = 5.841, 2009);$$

$$y = -0.039 5x^2 + 15.354x + 9 251.6 \quad (R^2 = 0.840 3^*, t = 3.973 > t_{(0.05,3)} = 3.182, 2010);$$

方程中, y 为产量, x 为施氮量,单位均为 kg/hm^2 。由方程可以计算出,2009 年和 2010 年夏玉米最高产量施氮量分别为 $200 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 和 $194 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。本研究区最高产量的施氮量应在 $190 \sim 200 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 之间。

表 2 不同施氮量对产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effects of different N rates on yield and yield components of summer maize

年 份 Year	处 理 Treatment	产量(kg/hm^2) Yield	穗数(万株 $/\text{hm}^2$) Ear number	穗粒数(粒) Grains per ear	千粒重(g) 1 000-grain weight
2009	N0	8 186.7 b	6.4 a	426 b	319.3 a
	N189	9 628.0 a	6.4 a	474 a	325.2 a
	N270	9 282.5 a	6.5 a	478 a	330.3 a
	N351	9 201.2 a	6.7 a	462 ab	328.1 a
	N451	8 265.9 b	6.0 a	455 ab	330.8 a
2010	N0	9 358.2 c	8.7 a	410 b	240.9 c
	N102	10 035.0 bc	8.4 a	448 ab	241.9 bc
	N178	11 075.8 a	8.6 a	471 a	249.8 ab
	N255	105 64.7 ab	8.6 a	477 a	250.6 a
	N331	9 961.6 bc	8.6 a	491 a	247.8 abc

注:同一列数据不同小写字母代表差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters in the same line indicated significant at 5% level.

从产量构成看,2009 年合理施氮比不施氮增产的原因是显著增加了穗粒数;2010 年则是同时增加

了穗粒数和千粒重。

2.2 不同施氮量对成熟期干物质和氮素分配的影响

表 3 不同施氮量对成熟期干物质和氮素分配的影响

Table 3 The comparison of dry matter and nitrogen distribution at mature stage

年 份 Year	处 理 Treatment	干物质 Dry matter			氮素 N		
		秸秆(kg/hm^2)	子粒(kg/hm^2)	收获指数	秸秆(kg/hm^2)	子粒(kg/hm^2)	氮素收获指数
		Straw	Grain	HI	Straw	Grain	NHI
2009	N0	6 396.5	8 186.7	0.56	48.5	76.0	0.61
	N189	7 450.8	9 628.0	0.56	81.8	132.5	0.62
	N270	7 807.2	9 282.5	0.54	93.4	136.1	0.59
	N351	8 385.8	9 201.2	0.52	99.8	134.4	0.57
	N451	7 319.9	8 265.9	0.53	94.4	127.0	0.57
2010	N0	7 930.9	9 358.2	0.54	54.2	86.7	0.62
	N102	8 237.9	10 035.0	0.55	66.2	107.0	0.62
	N178	8 649.6	11 075.8	0.56	68.7	111.0	0.62
	N255	9 697.2	10 564.7	0.52	78.5	115.1	0.60
	N331	9 258.4	9 961.6	0.52	77.7	113.5	0.59

由表 3 可知,与不施氮处理相比,施氮提高了植株成熟期秸秆和子粒的干物质和氮素积累,秸秆

和子粒干物质积累增加率分别为 4%~31% 和 1%~18%; 秸秆和子粒氮素积累增加率分别为 22%~

106%和 17%~79%。不同施氮量对夏玉米收获指数有一定的影响,两年夏玉米收获指数和氮素收获指数均随施氮量的增加先增加后降低。2009 年各处理收获指数为 0.53~0.56,氮素收获指数为 0.57~0.62,以 N189 处理最高,N451 处理最低;2010 年收

获指数为 0.52~0.56,氮素收获指数为 0.59~0.62,以 N178 处理最高,N331 处理最低。说明合理施氮可以提高夏玉米收获指数和氮素收获指数,过量施用氮肥则降低收获指数和氮素收获指数。

2.3 不同施氮量对氮素利用效率的影响

表 4 不同施氮量对氮素利用效率影响

Table 4 Effects of different N rates on nitrogen use efficiencies of summer maize

年 份 Year	处 理 Treatment	氮肥利用率(%) NRE	氮肥偏生产力(kg/kg) NPFP	农学效率(kg/kg) AE	生理利用率(kg/kg) PE
2009	N189	47.5	50.8	7.5	15.7
	N270	38.9	34.4	4.1	10.6
	N351	31.3	26.2	2.9	9.2
	N451	21.5	18.3	0.2	0.8
2010	N102	26.7	98.4	6.6	24.8
	N178	20.1	62.2	9.6	48.1
	N255	19.5	41.4	4.7	24.3
	N331	14.3	30.1	1.8	12.8

由表 4 可以看出,不同施氮量处理氮肥利用率 2009 年为 21.5%~47.5%,2010 年为 14.3%~26.7%,氮肥偏生产力 2009 年和 2010 年分别为 18.3~50.8 kg/kg 和 30.1~98.4 kg/kg,均随施氮量的增加而降低。2009 年氮肥农学效率随施氮量增加而降低,施氮量 451 kg/hm² 时农学效率最低;2010 年氮肥农学效率随施氮量增加先上升后下降,施氮量为 178 kg/hm² 时最大。氮肥生理利用率和农学效率变化趋势一致。可见,施氮量越大氮肥利用效率越低;农学效率在合理施氮量下最高。从提高氮肥利用效率方面考虑,施氮量应控制在 200 kg/hm² 以内。

2.4 不同施氮量对夏玉米播前、收后土壤硝态氮的影响

由图 1 可知,各处理成熟期土壤硝态氮含量随施氮量增加依次上升;从土壤硝态氮积累量变化的

时空分布来看,随土层的不断加深,硝态氮含量呈下降趋势,各施氮处理的硝态氮累积主要在 0~40 cm 剖面范围。由于植株吸收利用,不施氮处理的硝态氮含量明显低于播前含量。2009 年 N189 处理在 0~30 cm 土壤硝态氮含量为 46.1 kg/hm²,其他施氮处理土壤硝态氮含量依次为 57.9、69.4、98.2 kg/hm²;2010 年 N102 和 N178 处理在 0~30 cm 土壤硝态氮含量分别为 21.0、24.0 kg/hm²,N255 和 N331 处理土壤硝态氮含量为 29.5 kg/hm² 和 57.6 kg/hm²。表明低氮水平的处理可明显降低土壤氮素含量;高氮水平会使土壤中硝态氮大量残留,对土壤环境有潜在的威胁。因此,在满足夏玉米产量和氮肥利用效率的前提下,考虑施氮量对环境的影响,夏玉米生育期内适宜的施氮量不超过 200 kg/hm²。

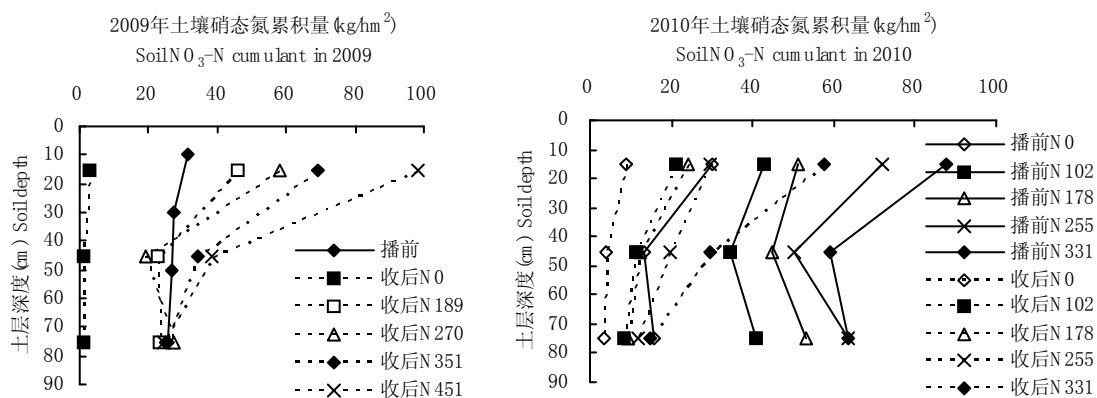


图 1 不同施氮量对夏玉米播前、收后土壤硝态氮变化的影响

Fig.1 Effects of different N rates on the content of nitrate-nitrogen before sowing and after harvest of summer maize

根据土壤中硝态氮残留量可以计算 2009 年和 2010 年不同施氮量处理的氮肥表观残留率和表观损失率(表 5)。2009 年各施氮量处理氮肥表观利用率和残留率均随施氮量的增加而降低,表观损失率

增加,当施氮量为 451 kg/hm² 时氮肥表观损失率最大,可达到 44.0%;2010 年氮肥表观利用率随施氮量增加而降低,施氮量为 255 kg/hm² 时残留率较施氮量为 178 kg/hm² 时下降 7.7%,而氮肥损失率最大。

表 5 夏玉米生育期的氮肥表观去向

Table 5 The fate of nitrogen fertilizer in summer maize growth period

%

年 份 Year	处 理 Treatment	氮肥表观利用率 Apparent fertilizer recovery	氮肥表观残留率 Apparent residual rate	氮肥表观损失率 Apparent losses rate
2009	N189	47.5	46.0	6.5
	N270	38.9	36.8	24.4
	N351	31.3	35.2	33.5
	N451	21.5	34.5	44.0
2010	N102	26.7	17.7	55.6
	N178	20.1	24.3	55.6
	N255	19.5	16.6	63.9
	N331	14.3	26.0	59.8

3 结论与讨论

在农田生产条件下,作物生长发育受水、肥、气、热及栽培管理措施等因素的影响,在栽培管理措施相对一致的情况下,肥料投入对于作物增产起着不可替代的基础性作用^[17-19]。本试验研究结果表明,不同施氮量对夏玉米产量影响显著,两者间的关系曲线呈抛物线形。与游福欣等^[20]研究的直线型不一致,可能因为其氮肥施用量范围(0~192 kg/hm²)偏低。本研究结果表明,在河北省山前平原区中等肥力土壤上施氮量为 190~200 kg/hm² 时可获得最高产量。

收获指数是作物经济产量与地上部总生物量的比值,因不同生态区的气候、土壤、品种及栽培技术不同,作物的收获指数有一定差异。张银锁等^[21]研究发现,在极度缺肥条件下收获指数会大幅度降低。申丽霞等^[22]研究结果表明,在低密度(52 500 株/hm²)时收获指数随施氮量增加而降低,施氮量为 120 kg/hm² 时最大;当密度达 67 500~82 500 株/hm² 时以施氮量为 240 kg/hm² 时收获指数最大。本研究结果表明,施氮量在 200 kg/hm² 时收获指数最大,施氮量过低和过高都会降低收获指数。氮素收获指数表现出和作物收获指数一致的结果。河北省当前大田条件下收获指数为 0.43~0.51^[23],而本研究收获指数均大于 0.5,可能与本研究试验小区偏小有关,与前人小区试验结果^[24,25]较为相似。

氮肥的当季利用率是决定氮肥增产效果的主要因素,提高氮肥当季利用率的潜力主要在于减少其施入农田后的损失^[26]。本研究结果表明,氮肥利用率

和氮肥偏生产力随施氮量增加而降低,与侯云鹏等研究结果一致,而孙占祥等^[27]研究发现,施氮量在中等水平时(200 kg/hm²)可获得最高的氮肥利用率、氮收获系数和氮农学效率,与本研究结果部分一致。氮肥农学效率和生理利用效率表现出同产量一致的趋势。巨晓棠^[28]等通过对北京郊区冬小麦-夏玉米轮作体系中氮肥去向研究结果表明,随氮肥施用量的增加作物氮肥的损失率也在增加,夏玉米氮肥的损失率高达 51.1%。本研究在氮肥用量超过 200 kg/hm² 时,氮肥表观损失率会随施氮量增加而显著增加,与巨晓棠等研究一致。2010 年各施氮量处理氮肥损失率均在 50% 以上,最高可达 63.9%,显著高于 2009 年,可能与 2010 年夏玉米播种前土壤硝态氮较高和当年降雨较多有关。综合研究结果,考虑产量、氮肥利用率、土壤硝态氮残留量和氮肥表观损失率等因素,夏玉米氮肥推荐用量应控制在 200 kg/hm² 以内。

参考文献:

- [1] Ferguson R B, Hergert G W, Schepers J S, et al. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2002, 66: 544-553.
- [2] Samonte S O P B, Wilson L T, Medley J C, et al. Nitrogen utilization efficiency: Relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice[J]. Agron. J., 2006, 98: 168-176.
- [3] 张玲敏,马文奇,刘克彤,等. 河北省小麦玉米施肥现状的评价[J]. 中国农业科技导报,2003(增刊):115-120.
Zhang L M, Ma W Q, Liu K T, et al. Evaluation of wheat and maize fertilizing situation in Hebei province[J]. Journal Agricultural Science and Technology, 2003(S1): 115-120. (in Chinese)
- [4] 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.

- 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)
- [5] 赵荣芳. 冬小麦-夏玉米轮作中水氮资源的优化管理及可持续性评价[D]. 北京: 中国农业大学博士论文, 2006.
- [6] 王西娜, 王朝辉, 李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(1): 197-204.
- Wang X N, Wang Z H, Li S X. The effect of fertilizer rate on summer maize yield and soil water-nitrogen dynamics [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 197-204. (in Chinese)
- [7] 李晓欣, 张菲菲, 马洪斌, 等. 华北平原地区农田硝态盐淋失研究进展[J]. *华北农学报*, 2011, 26(增刊): 131-139.
- Li X X, Zhang F F, Ma H B, et al. Nitrate leaching in north China plain: a review[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S2): 131-139. (in Chinese)
- [8] 赵萍萍, 王宏庭, 郭军玲, 等. 氮肥用量对夏玉米产量、收益、农学效率及氮肥利用率的影响[J]. *山西农业科学*, 2010, 38(11): 43-46, 80.
- Zhao P P, Wang H T, Guo J L, et al. Influence to the rate of nitrogen fertilizer application on summer maize yield, net return, agronomic efficiency and nitrogen use recovery[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2010, 38(11): 43-46, 80. (in Chinese)
- [9] Anonym. Fertilized to death[J]. *Nature*, 2003, 425: 894-895.
- [10] 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.
- Jin J Y, He P, Liu H L, et al. Comparison of nitrogen absorption, yield and quality between high-starch and common corn as affected by nitrogen application[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(6): 568-573. (in Chinese)
- [11] 赵 营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5): 622-627.
- Zhao Y, Tong Y A, Zhao H B. Effects of different N rates on nutrients accumulation, transformation and yield of summer maize [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(5): 622-627. (in Chinese)
- [12] 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.
- Wang J Z, Huang G B, Zhang C N, et al. Influence of nitrogen fertilizer rate on carbon-nitrogen metabolism and nitrogen use efficiency of summer maize under high and medium yield levels[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 2045-2052. (in Chinese)
- [13] 黄绍敏, 宝德俊, 皇甫湘荣, 等. 小麦-玉米轮作制度下潮土硝态氮的分布及合理施氮肥研究[J]. *土壤与环境*, 1999, 8(4): 271-273.
- Huang S M, Bao D J, Huang P X R, et al. Study on distribution of nitrate-N in chao soil and reasonable application of N fertilizer under the crop rotation system of winter wheat and corn[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(4): 271-273. (in Chinese)
- [14] 王宜伦. 超高产夏玉米氮肥运筹效应及其生理基础研究[D]. 郑州: 河南农业大学博士论文, 2010.
- [15] 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.
- Ju X T, Liu X J, ZOU G Y, et al. Evaluation of nitrogen loss way in winter wheat and summer maize rotation system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(12): 1493-1499. (in Chinese)
- [16] 丁民伟, 杜 雄, 刘梦星, 等. 氮素运筹对夏玉米产量形成与氮素利用效果的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(5): 1100-1107.
- Ding M W, Du X, Liu M X, et al. Effects of nitrogen management modes on yield formation and nitrogen utilization efficiency of summer maize[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5): 1100-1107. (in Chinese)
- [17] 吕 鹏, 张吉旺, 刘 伟, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(4): 852-860.
- Lü P, Zhang J W, Liu W, et al. Effects of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of summer maize under super-high yield conditions [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(4): 852-860. (in Chinese)
- [18] 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.
- 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. (in Chinese)
- [19] 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)
- [20] 游福欣, 王向阳, 王宗杰, 等. 夏玉米最佳施氮量研究[J]. *安徽农业科学*, 2005, 33(5): 765-766.
- You F X, Wang X Y, Wang Z J, et al. Preliminary study on application amount of nitrogen in summer corn[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2005, 33(5): 765-766. (in Chinese)
- [21] 张银锁, 宇振荣, Driessen P M. 环境条件和栽培管理对夏玉米干物质积累、分配及转移的试验研究[J]. *作物学报*, 2002, 28(1): 104-109.
- Zhang Y S, Yu Z R, Driessen P M. Experimental study of assimilate production, partitioning and translocation among plant organs in summer maize under various environmental and management conditions[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 104-109. (in Chinese)
- [22] 申丽霞, 王 璞, 孙西欢. 不同种植密度下施氮对夏玉米物质生产及穗粒形成的影响[J]. *山西农业科学*, 2008, 36(1): 41-44.
- Shen L X, Wang P, Sun L H. Effect of nitrogen application to dry matter productivity and kernel setting in summer maize in different plant populations [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(1): 41-44. (in Chinese)
- [23] 谢光辉, 韩东倩, 王晓玉, 等. 中国禾谷类大田作物收获系数和秸秆指数[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(1): 1-8.
- Xie G H, Han D Q, Wang X Y, et al. Harvest index and residue factor of cereal crops in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(1): 1-8. (in Chinese)

料效益。控释尿素与普通尿素混合搭配一次性基施,可以替代传统的追肥模式,降低劳动强度,节约人工成本。

参考文献:

- [1] 中国土壤学会. 面向农业与环境的土壤科学[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 樊小林,廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(3):219-223.
Fan X L, Liao Z W. Increasing fertilizer use efficiency by means of controlled release fertilizer(CRF) production according to theory and techniques of balanced fertilization[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(3): 219-223. (in Chinese)
- [3] 黑龙江省统计局, 国家统计局黑龙江调查队. 黑龙江统计年鉴[M]. 中国统计出版社,2011.
- [4] 郭庆法,王庆成,汪黎明,等. 中国玉米栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2004.
- [5] 董树亭,等. 作物优质高产高效栽培[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [6] 傅应春,陈国平. 夏玉米需肥规律的研究[J]. 作物学报,1982(1):1-8.
Fu Y C, Chen G P. Studies on fertilizer requirement and dry matter accumulation in summer corn[J]. Acta Agronomica Sinica, 1982(1): 1-8. (in Chinese)
- [7] 陈 光,李立中,张 平,等. 包膜尿素对玉米吸氮及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报,1996,18(4):61-65.
Chen Guang, et al. Effect of costed urea on corn absorbing nitrogen and yield[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1996, 18(4): 61-65.

(in Chinese)

- [8] 谢培才,马冬梅,张兴德,等. 包膜缓释肥的养分释放及其增产效应[J]. 土壤肥料,2005(1):24-28.
Xie P C, Ma D M, Zhang X D, et al. The nutrient release rate and increase production of film-coated and release fertilizer[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2005(1): 24-28. (in Chinese)
- [9] 李东坡,梁成华,武志杰,等. 缓 / 控释氮素肥料玉米苗期养分释放特点[J]. 水土保持学报,2006,20(3):166-169.
Li D P, Liang C H, Wu Z J, et al. Characteristics of releasing nutrition for slow/controlled nitrogen fertilizers at maize seedling stage[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(3): 166-169. (in Chinese)
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [11] Ove Emteryd. Chemical and physical analysis of inorganic nutrients in plant, soil, water and air[M]. Stencil No.10. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 1989.
- [12] 彭显龙,刘元英,罗盛国,等. 实地氮肥管理对寒地水稻干物质积累和产量的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(11):2286-2293.
Peng X L, Liu Y Y, Luo S G, et al. Effects of the site-specific nitrogen management on yield and dry matter accumulation of rice in cold areas of northeastern China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(11): 2286-2293. (in Chinese)
- [13] 巨晓棠,张福锁. 氮肥利用率的要义及其提高的技术措施[J]. 科技导报(北京),2003(4):51-54.
Ju X T, Zhang F S. Correct understanding of nitrogen recovery rate[J]. Science & Technology Review, 2003(4): 51-54. (in Chinese)

(责任编辑:李万良)

(上接第 126 页)

- [24] 申丽霞,王 璞. 不同氮肥运筹方式对夏玉米产量和氮素利用的影响[J]. 山西农业科学,2009,37(2):36-39.
Shen L X, Wang P. Effect of Nitrogen supply ways to yield and nitrogen utilization in summer maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(2): 36-39. (in Chinese)
- [25] 王聪玲,龚 宇,王 璞. 不同类型夏玉米主要性状及产量的分析[J]. 玉米科学,2008,16(2):39-43.
Wang C L, Gong Y, Wang P. The analysis of main characteristic and yield of different types of summer corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(2): 39-43. (in Chinese)
- [26] 巨晓棠,张福锁. 氮肥利用率的要义及其提高的技术措施[J]. 科技导报(北京),2003(4):51-54.
Ju X T, Zhang F S. Corrent understanding of nitrogen recovery rate[J].

Science & Technology Review, 2003(4): 51-54. (in Chinese)

- [27] 孙占祥,邹晓锦,张 鑫,等. 施氮量对玉米产量和氮素利用率及土壤硝态氮累积的影响[J]. 玉米科学,2011,19(5):119-123.
Sun Z X, Zhou X J, Zhang X, et al. Effects of maize yield and N application on Nutilization and content of soil nitrate[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(5): 119-123. (in Chinese)
- [28] 巨晓棠,潘家荣,刘学军,等. 北京郊区冬小麦 / 夏玉米轮作体系中氮肥去向研究[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(3):264-270.
Ju X T, Pan J R, Liu X J, et al. Study on the fate of nitrogen fertilizer in winter wheat/summer maize rotation system in Beijing suburban[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 264-270. (in Chinese)

(责任编辑:胡 娟)