

李 源, 张 炎, 哈丽哈什·依巴提, 等. 新型尿素对膜下滴灌棉花产量及氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(1): 85-90.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.01.012

新型尿素对膜下滴灌棉花产量及氮肥利用率的影响

李 源, 张 炎, 哈丽哈什·依巴提, 李青军
(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要: 比较膜下滴灌条件下不同新型尿素在棉花上的肥效及其氮肥利用率的差异, 以选择合适的尿素类型, 提高氮肥利用率和效益。在 2016~2017 年连续 2 年的田间试验中, 共设置了 7 个处理: 不施氮肥 (CK)、常规尿素 (Urea)、聚能网尿素 (P-Urea)、腐殖酸尿素 (H-Urea)、含锌尿素 (Zn-Urea)、控失尿素 (LC-Urea) 和常规尿素加锌 (Urea+Zn)。各处理的氮磷钾用量相同, 除了控失尿素全部基施外, 其他类型尿素 30% 作基肥, 70% 后期随水滴施, 磷钾肥全部基施。在棉花成熟期测定其生物量、产量和氮肥利用率。研究结果表明, 与普通尿素相比, 不同新型尿素处理后棉花产量和地上部干物质质量显著增加, 控失尿素增产效果最为明显; 不同新型尿素显著增加棉花的氮素吸收量; 与普通尿素相比, 不同新型尿素氮肥利用率提高 1.29~8.29 个百分点, 控失尿素氮肥利用率最高。施用新型尿素增加棉花效益, 其中控失尿素处理的效益最高。因此, 新型尿素中的控失尿素是提高新疆滴灌棉田氮肥利用率和增加棉花效益的最有效途径。

关键词: 棉花; 新型尿素; 氮肥利用效率; 产量

中图分类号: S562; S147.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)01-0085-06

Effects of new-type urea on yield and nitrogen use efficiency of drip irrigated cotton under plastic film mulching

LI Yuan, ZHANG Yan, HALIHASHI · Yibat, LI Qing-jun

(Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: To select suitable urea and improve the nitrogen nitrogen use efficiency and economic benefits, the differences of fertilizer efficiency and utilization rate of new urea for drip irrigated cotton under plastic film mulching were compared. Two-year field trials were conducted with seven treatments including no nitrogen, fertilizer (CK), common urea (Urea), polyaspartic acid urea (P-Urea), humic acid urea (H-Urea), zinc urea (Zn-Urea), loss- controlled urea (LC-Urea), common urea add Zn (Urea+ Zn). The amount of N, P, K in each treatment was the same. Loss-controlled urea was used for the base fertilizer, and thirty percent of other types of urea were applied as base fertilizer, and the remaining seventy percent were applied with drip irrigation. All P, K fertilizers were applied as base fertilizer before transplanting. The biomass, yield and nitrogen use efficiency of cotton were measured at maturity stage. The results showed that compared with the common urea, new type urea significantly increased the dry matter and yield of cotton. and the effect of loss- controlled urea was the most obvious. Application of the new type urea also increased nitrogen uptake in cotton. Compared with the common urea, the nitrogen use efficiency of new type urea increased by 1.29~8.29 percentage point, and the nitrogen use efficiency of loss-controlled urea was the highest. Application of new type urea

收稿日期: 2018-10-25

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0201900); 农业部植物营养与肥料学科群开放基金项目 (APF2015035)

作者简介: 李 源 (1987-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物营养与施肥研究。(E-mail) liyuan586287@126.com

通讯作者: 李青军, (E-mail) gyqc@163.com

improved economic benefit of cotton, and the cotton treated with loss- controlled urea had the highest economic benefit. Therefore, the loss controlled urea is the most effective way to improve the nitrogen use efficiency and increase the benefit in the drip irrigation cotton field in Xinjiang.

Key words: cotton; new-type urea; nitrogen use efficiency; yield

提高氮肥利用率是国家“十三五”节肥减药目标中的核心问题^[1]。中国传统氮肥如尿素等,其利用率较低,仅为30%~35%,造成氮素的大量流失,对环境构成严重威胁^[2-3]。目前,常用的氮肥在价格和环境保护方面存在一定问题^[4]。为此,开发适合农作物生长发育的新型尿素显得尤为重要。近年来,相继出现了控失尿素、腐植酸尿素等新型尿素产品,并在水稻、棉花、玉米、小麦等作物上应用^[5-11],这些新型尿素产品在促进作物吸收、增产和提高肥料利用率方面取得了较好效果。控失尿素利用其固有的吸附性能,将氮固定在作物根系周围,提高肥料利用率,在旱地农业下优势显著^[12-13]。腐植酸尿素在土壤理化性质的改良和促进作物生长方面效果显著^[14-16];聚能网尿素含生物活性高分子物质,在肥料溶解过程中形成一个网状结构,捕获土壤中的营养元素^[17]。含锌尿素中微量元素锌对作物增产具有显著效果^[18],在玉米和小麦等农作物上具有很好的应用前景。

新疆是中国最大的优质棉产地,新疆气候干旱,在棉花的生产种植过程中,以施用普通尿素为主,大量氮素随水流失,对经济和环境造成严重影响。目前在水稻、玉米和小麦等作物上都有新型尿素应用的研究报道,而新型尿素在新疆干旱地区滴灌棉田中应用的相关研究报道较少。本试验以不施氮肥为对照,研究控失尿素、聚能网尿素、腐植酸尿素、含锌尿素、常规尿素加锌等6种新型尿素对棉花产量、养分积累、养分利用率及经济效益的影响,为新型尿素在棉花上的推广应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验于2016-2017年在新疆昌吉市佳弘农场进行,地理坐标为东经82°17'30",北纬44°10'59",试验区属典型的温带大陆性干旱气候,年降雨量280 mm,年均无霜期170 d,年均 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温3300 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,试验区土壤为灰漠土。在2016年播种前0~20 cm土壤pH值为8.1,速效氮含量为31.40 mg/kg,速效磷含量为11.60 mg/kg,速效钾含量为206.00 mg/kg,有效锌含量为0.84 mg/kg。

棉花供试品种为新陆早57号,种植模式为膜下滴灌,地膜上种植6行棉花,采用宽窄行配置,窄行10 cm,宽行66 cm,无地膜覆盖的交接行行距为66

cm,株距10 cm。4月26日播种,5月3日出苗。播种后滴灌出苗水(第1水),全生育期灌溉10次,总灌水量260 m^3 。棉花苗期叶片喷洒缩节胺3次,第2次灌溉和第3次灌溉前分别喷洒缩节胺1次,棉花打顶后5 d喷洒缩节胺1次。

1.2 试验设计

在相同磷肥用量(P_2O_5 120 kg/hm^2)与相同钾肥用量(K_2O 75 kg/hm^2)的基础上,试验设7个处理。处理1:不施氮(CK);处理2:施用常规尿素(Urea);处理3:施用等氮量聚能网尿素(P-Urea);处理4:施用等氮量腐植酸尿素(H-Urea);处理5:施用等氮量控失尿素(LC-Urea);处理6:施用等氮量含锌尿素(Zn-Urea);处理7:施用等氮量常规尿素加锌(简称Urea+Zn),施锌量与Zn-Urea处理相同。各处理重复3次,小区面积54 m^2 。

除CK处理外,其他处理施氮量都为225 kg/hm^2 ,其中控失尿素作为底肥基施,其他施氮处理的尿素30%作基肥,70%用于追肥,分4次在棉花蕾期(15%)、花期(25%)、花铃期(20%)、盛铃期(10%)随水滴施。氮肥用河南心连心化肥有限公司提供的普通尿素(含氮量46.4%)、聚能网尿素(含氮量46.3%)、腐植酸尿素(含氮量46.0%)、含锌尿素(含氮量43.2%,一水硫酸锌2%)、控失尿素(含氮量43.2%),磷肥选用三料磷肥(含 P_2O_5 46%)、钾肥选用氯化钾(含 K_2O 60%),硫酸锌为实验室用化学试剂,磷肥、钾肥、锌肥在翻地前全部基施。各处理使用水表计量灌水量,每次灌水量相同。

1.3 测定方法

1.3.1 干物质与养分测定 在棉花成熟期(2016年9月23日和2017年9月20日)采集地上部的植株样品,按茎、叶、棉壳、纤维、棉籽不同器官分离开,在105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀青30 min,然后75 $^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干至恒质量称质量,记录干物质质量。将烘干的样品粉碎并消煮,分析不同部位氮吸收量。

1.3.2 产量测定 2016年9月24日和2017年9月22日分别在各试验小区调查4.8 m^2 和9.6 m^2 样方面积内的棉花株数、铃数,并在小区内采100朵棉花测单铃质量,计算产量。

养分积累量(kg/hm^2)=株数(株,1 hm^2) \times 单株干物质质量(kg) \times 养分含量(%)

养分利用率=(施氮区养分吸收量-无氮区吸收量)/施氮量 $\times 100\%$

氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮区棉花产量-无氮区棉花产量)/施氮量

1.4 数据处理

图表利用 Microsoft Excel 2003 制作,试验数据采用 SPSS18.0 统计软件进行方差分析和多重比较(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同类型尿素对棉花产量和产量构成的影响

由表 1 可知,在 2016 年、2017 年中,施用不同类型尿素各处理比 CK 处理分别增产 22.65%~35.36%、31.26%~44.34%,并与 CK 处理间呈显著差异。与 Urea 处理相比,P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea 处理的棉花产量都显著增加,2016 年、2017

年增产率分别为 3.78%~10.36%、4.24%~9.97%,其中 LC-Urea 处理增产效果最好,但四者间没有显著差异。Zn-Urea 处理棉花产量显著大于 Urea+Zn 处理,而 Urea+Zn 处理较 Urea 增产,两者在 2016 年差异不显著,在 2017 年差异显著。

施氮显著提高了单铃质量,在 2016 年、2017 年各处理中,CK 处理单铃质量最小,显著小于其他施用不同类型尿素处理,而 P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea、Urea+Zn 处理的单铃质量都显著大于 Urea 处理。在 2016 中,H-Urea 处理的单铃质量最大,但与 LC-Urea 处理没有显著差异,两者与其他处理有显著差异;2017 中,LC-Urea 处理的单铃质量最大,但与 H-Urea、P-Urea、Zn-Urea 处理无显著差异;不同类型尿素处理间棉花的株数、单株铃数无显著差异。

表 1 不同类型尿素处理的棉花产量构成

Table 1 Composition of cotton yield under different urea treatments

年份	处理	株数 (株, 1 hm ²)	单株铃数 (个)	单铃质量 (g)	产量 (kg/hm ²)	比 CK 增产 (%)	比 Urea 增产 (%)
2016	CK	115 278a	6.07a	4.81e	3 365d		
	Urea	117 361a	6.21a	5.67d	4 127c	22.65	
	P-Urea	120 833a	6.00a	6.11bc	4 422ab	31.41	7.14
	H-Urea	115 972a	6.12a	6.33a	4 491a	33.47	8.82
	LC-Urea	120 139a	6.08a	6.24ab	4 555a	35.36	10.36
	Zn-Urea	119 444a	6.19a	6.04c	4 458a	32.49	8.02
	Urea+Zn	118 750a	6.08a	5.93c	4 283bc	27.29	3.78
2017	CK	177 778a	4.84b	4.77c	4 107d		
	Urea	178 125a	5.64a	5.37b	5 391c	31.26	
	P-Urea	178 125a	5.70a	5.70a	5 784ab	40.83	7.30
	H-Urea	181 944a	5.65a	5.66a	5 811ab	41.50	7.80
	LC-Urea	179 167a	5.79a	5.71a	5 928a	44.34	9.97
	Zn-Urea	176 389a	5.76a	5.67a	5 761ab	40.27	6.86
	Urea+Zn	182 292a	5.68a	5.43b	5 619b	36.82	4.24

CK:不施氮;Urea:施用常规尿素;P-Urea:施用等氮量聚能网尿素;H-Urea:施用等氮量腐殖酸尿素;LC-Urea:施用等氮量控失尿素;Zn-Urea:施用等氮量含锌尿素;Urea+Zn:施用等氮量常规尿素加锌。不同字母表示同一年份不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$)。

2.2 不同类型尿素对棉花干物质累积与分配的影响

由表 2 可以看出,在叶干物质质量上,2016 年、2017 年各新型尿素处理显著高于 CK 和 Urea 处理,但 P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea 处理间没有显著差异。其中,2016 年 P-Urea 处理的叶干物质质量最大,2017 年 H-Urea 处理的叶干物质质量最大,Zn-Urea 处理的叶干物质质量显著大于 Urea+Zn 处理;茎干物质质量上,2016 年、2017 年施不同类型尿素处理显著高于 CK 处理。2016 年中,P-Urea 处理的茎质量最大,显著高于 Urea 处理,但与其他处理没

有达到显著差异。2017 年中,H-Urea 处理的茎质量最大,但与 LC-Urea、P-Urea 处理之间无显著差异。在壳、纤维和棉籽干物质质量上,2016 年、2017 年施不同类型尿素处理均显著高于 CK 处理。在 2016 年中,P-Urea 处理的壳、纤维和棉籽干物质质量最大,而在 2017 年中,H-Urea 处理最大,但施不同类型尿素处理间都没有达到显著差异;总干物质质量上,2016 年、2017 年中各新型尿素处理与普通尿素处理相比差异显著,地上部干物质质量增加 2.60%~11.02%。在 2016 年中,P-Urea 处理总干物质质量

最大,而在 2017 年中,H-Urea 处理总干物质质量最大。

表 2 不同类型尿素处理的棉花干物质分配

Table 2 Dry matter distribution of cotton treated with different types of urea

年份	处理	叶 (kg/hm ²)	茎 (kg/hm ²)	壳 (kg/hm ²)	纤维 (kg/hm ²)	棉籽 (kg/hm ²)	总计 (kg/hm ²)	比 Urea 增产 (%)
2016	CK	1 326d	1 945c	1 853b	1 604b	3 298b	10 026b	
	Urea	1 624c	2 241b	2 223a	1 857a	3 852a	11 797a	
	P-Urea	1 909a	2 463a	2 357a	2 036a	4 151a	12 916a	9.49
	H-Urea	1 843ab	2 392ab	2 272a	1 958a	3 990a	12 456a	5.59
	LC-Urea	1 901a	2 437ab	2 375a	1 996a	4 053a	12 762a	8.18
	Zn-Urea	1 813ab	2 364ab	2 317a	1 983a	4 077a	12 553a	6.41
	Urea+Zn	1 697bc	2 313ab	2 229a	1 917a	3 965a	12 121a	2.75
2017	CK	1 598c	1 660d	1 518d	1 583c	2 187c	8 546e	
	Urea	2 019b	2 059c	2 035c	2 285b	3 014b	11 412d	
	P-Urea	2 367a	2 286ab	2 152abc	2 464a	3 148a	12 416abc	8.80
	H-Urea	2 456a	2 411a	2 266a	2 499a	3 196a	12 826a	12.39
	LC-Urea	2 396a	2 345a	2 180ab	2 495a	3 173a	12 589ab	10.31
	Zn-Urea	2 324a	2 173bc	2 089bc	2 397a	3 097ab	12 082bc	5.87
	Urea+Zn	2 133b	2 200b	2 067bc	2 409a	3 155a	11 965c	4.85

CK、Urea、P-Urea、H-Urea、LC-Urea、Zn-Urea、Urea+Zn 处理见表 1。不同字母表示同一年份不同处理间差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

2.3 不同类型尿素对棉花养分吸收与分配的影响

由表 3 可知,使用新型尿素可以显著提高棉花的氮素吸收量。在棉花叶和茎的氮吸收量上,2016 年、2017 年施不同类型尿素处理显著高于 CK 处理。其中,P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea 处理间没有显著差异。在 2016 年中,Zn-Urea 处理的棉花叶、茎氮素吸收量最大,2017 年 H-Urea 处理的叶氮素吸

收量最大,LC-Urea 处理的茎氮素吸收量最大;在棉花的壳、纤维、棉籽的氮吸收量上,2016 年、2017 年各新型尿素处理显著高于 CK 处理;在棉花的总氮吸收量上,2016 年、2017 年各新型尿素处理显著高于 CK 和 Urea 处理。其中,LC-Urea 处理的棉花总氮吸收量最大,但与 P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea 处理间没有显著差异。

表 3 不同类型尿素处理的棉花氮素吸收量

Table 3 Nitrogen uptake of cotton treated with different types of urea

年份	处理	叶 (kg/hm ²)	茎 (kg/hm ²)	壳 (kg/hm ²)	纤维 (kg/hm ²)	棉籽 (kg/hm ²)	总计 (kg/hm ²)
2016	CK	15.00d	15.97d	11.90c	4.16d	76.31b	123.34e
	Urea	25.76c	32.35c	19.31b	5.71c	138.19a	221.31d
	P-Urea	28.54ab	35.94ab	20.94ab	7.15a	139.11a	231.69bc
	H-Urea	30.11a	37.62a	21.99a	6.94ab	139.01a	235.67ab
	LC-Urea	29.64a	37.00ab	22.50a	6.54b	141.62a	237.30a
	Zn-Urea	30.23a	38.28a	21.01ab	6.74ab	138.32a	234.58ab
	Urea+Zn	26.38bc	34.80b	20.24ab	6.63ab	140.19a	228.23c
2017	CK	15.34c	15.44d	19.77d	4.19e	42.54b	97.29e
	Urea	30.90b	32.36c	31.95c	7.08d	92.26a	194.55d
	P-Urea	33.87ab	36.07b	34.58ab	9.05a	95.62a	209.19ab
	H-Urea	35.80a	36.43b	35.79a	8.64ab	94.56a	211.22ab
	LC-Urea	35.35a	39.68a	35.23ab	8.15abc	94.79a	213.20a
	Zn-Urea	35.59a	34.95bc	33.07bc	7.86bcd	92.44a	203.90ab
	Urea+Zn	30.97b	32.64c	33.44abc	7.64cd	92.77a	197.46c

CK、Urea、P-Urea、H-Urea、LC-Urea、Zn-Urea、Urea+Zn 处理见表 1。不同字母表示同一年份不同处理间差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

2.4 棉花氮肥利用效率

由表4可看出,在2016年和2017年中,P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea、Urea+Zn处理的氮肥农学效率分别介于4.08~5.29 kg/kg、6.72~8.09 kg/kg,都大于Urea处理的3.39 kg/kg、5.71 kg/kg,其中LC-Urea处理最大,其次是H-Urea处理,而Zn-Urea处理也大于Urea+Zn处理。P-Urea、H-Urea、Zn-Urea、LC-Urea处理比Urea处理提高了棉花的氮肥利用率,其中LC-Urea处理氮肥利用率最高,在2016年、2017年比Urea处理分别增加了7.11个百分点、8.30个百分点,而Zn-Urea处理的氮肥利用率比Urea+Zn处理的高。

2.5 不同类型氮肥对肥料效益的影响

肥料成本等于肥料用量乘以肥料价格,由于各处理磷、钾肥相同,因此肥料成本的差异是由氮肥类型造成的。由表5可以看出,肥料成本大小为:Urea+Zn>LC-Urea>H-Urea>Zn-Urea>P-Urea>Urea。2016~2017年试验结果表明,施氮处理的平均效益都大于CK处理,表现为LC-Urea>H-Urea>P-Urea>Zn-Urea>Urea+Zn>Urea,施用LC-Urea效益最高。

表5 2015、2016年1 hm²棉花肥料效益分析

Table 5 The fertilizer benefit of cotton in 2015 and 2016

处理	产值(元)			肥料成本(元)			纯收益(元)		
	2016年	2017年	均值	2016年	2017年	均值	2016年	2017年	均值
CK	25 236	30 801	28 019	1 086	1 086	1 086	24 150	29 715	26 933
Urea	30 953	40 429	35 691	1 813	1 813	1 813	29 140	38 616	33 878
P-Urea	33 164	43 379	38 271	1 862	1 862	1 862	31 302	41 517	36 410
H-Urea	33 682	43 584	38 633	1 942	1 942	1 942	31 740	41 642	36 691
LC-Urea	34 159	44 459	39 309	2 024	2 024	2 024	32 135	42 435	37 285
Zn-Urea	33 436	43 204	38 320	1 919	1 919	1 919	31 517	41 285	36 401
Urea+Zn	32 123	42 142	37 132	2 126	2 126	2 126	29 997	40 016	35 007

CK、Urea、P-Urea、H-Urea、LC-Urea、Zn-Urea、Urea+Zn处理见表1。效益仅为棉花产值减去肥料成本。

3 讨论

综上所述,在2016年和2017年2年的试验中,在棉花产量、氮素吸收量、氮肥利用效率方面,控失尿素、腐植酸尿素、聚能网尿素、含锌尿素、常规尿素加锌的增产效果均好于常规尿素,且差异显著;控失尿素、腐植酸尿素、聚能网尿素、含锌尿素4个处理之间差异不显著,但4个新型尿素与常规尿素加锌处理差异显著,其中控失尿素增产效果最为明显,其次为腐植酸尿素。

表4 不同类型尿素处理的氮肥利用效率

Table 4 Nitrogen use efficiency under different urea treatments

年份	处理	氮肥农学效率(kg/kg)	氮肥利用率(%)
2016	Urea	3.39	43.54
	P-Urea	4.70	48.15
	H-Urea	5.00	49.92
	LC-Urea	5.29	50.65
	Zn-Urea	4.86	49.44
	Urea+Zn	4.08	46.62
2017	Urea	5.71	43.22
	P-Urea	7.45	49.73
	H-Urea	7.57	50.63
	LC-Urea	8.09	51.52
	Zn-Urea	7.35	47.38
	Urea+Zn	6.72	44.52

CK、Urea、P-Urea、H-Urea、LC-Urea、Zn-Urea、Urea+Zn处理见表1。

从提高棉花产量和肥料利用率上来看,控失尿素、腐植酸尿素具有一定的优势。已有研究表明,控失尿素可以通过提高棉花单株结铃数或单铃质量来实现增产,其氮素释放能够与作物养分吸收同步^[19]。同时,控失尿素一次施用可以明显降低氮挥发量^[20],而使养分更多地供给作物吸收利用。部分学者认为氮肥一次基施并不是较理想的施肥方式,不能满足作物整个生育期的需肥要求,而且还会增加氮损失^[21],这与本研究结果有所不同,主要与区域降雨和土壤水分含量有较大关系。新疆地区干

旱少雨,滴灌的灌溉方式并不会使作为基肥的控失尿素大量随降雨流失,而在南方地区由于降水较多,需要分期施用控失尿素,减少氮素随水流失。腐植酸尿素能够使土壤中保持充足的硝态氮含量^[22],但效果不如控失尿素。而聚能网尿素在棉花上的固氮缓释和增效方面不如控失尿素和腐植酸尿素,但在玉米上的应用效果较好^[23]。含锌尿素处理的棉花产量和肥料利用率显著高于常规尿素处理,这是由于棉田土壤中锌元素处于亏缺状态,仅为0.84 mg/kg,施用的含锌尿素补充了土壤中的锌元素,对棉花的长势和产量有较好的促进效果^[24];而含锌尿素处理的棉花产量和肥料利用率显著高于常规尿素加锌处理,可能是因为锌元素在2种肥料中的赋存状态和施用方法等因素影响到锌的有效性和棉花对锌的吸收利用差异。

从不同新型肥料的效益来看,控失尿素>腐植酸尿素>聚能网尿素>含锌尿素>常规尿素加锌>常规尿素。因此,选择控失尿素是提高棉花产量、氮肥利用率和经济效益的最佳途径。

参考文献:

- [1] 张玉娥,杨习文,王勇,等.耕作模式与氮肥运筹对土壤主要理化性状及作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(1):186-193.
- [2] 哈丽哈什依巴提,张炎,李青军,等.不同施氮量对棉花产量、养分吸收分配及利用的影响[J].新疆农业科学,2017,54(8):1422-1428.
- [3] 杨长琴,张国伟,刘瑞显,等.氮肥运筹对麦后直播棉光合性能、生物量、氮素累积及产量的影响[J].江苏农业学报,2017,33(5):1028-1035.
- [4] 花明明,衡丽,胡大鹏,等.氮肥对小麦后直播棉生长发育及氮素累积的影响[J].江苏农业科学,2015,43(12):73-76.
- [5] 刘红江,郭智,郑建初,等.不同类型缓控释肥对水稻产量形成和稻田氮素流失的影响[J].江苏农业学报,2018,34(4):783-789.
- [6] 窦海涛,石洪亮,李春艳,等.非充分灌溉下氮肥对棉花蕾铃消减及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(2):86-92.
- [7] 朱德进,宁运旺,王会方,等.江苏单季粳稻对新型氮肥减量减次施用的适宜性分析[J].江苏农业科学,2018,46(16):46-50.
- [8] 李鹏程,董合林,刘爱忠,等.施氮量对棉花功能叶片生理特性、氮素利用效率及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,23(1):81-91.
- [9] 石敦杰,杨兰,荣湘民,等.控释氮肥和氮磷减量对水稻产量及田面水氮磷流失的影响[J].江苏农业科学,2018,46(11):44-47.
- [10] 周丽平,杨俐苹,白由路,等.不同氮肥缓释化处理对夏玉米田间氨挥发和氮素利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(6):1449-1457.
- [11] 李子双,谭德水,李洪杰,等.不同控释肥对冬小麦产量及氮素利用的影响[J].山东农业科学,2017,49(8):73-77.
- [12] 孙旭东,孙洪,董树亭,等.包膜尿素施用时期对夏玉米产量和氮素积累特性的影响[J].中国农业科学,2017,50(11):2179-2188.
- [13] 张艳菲,王晨阳,李世莹,等.控失尿素养分释放特性研究[J].磷肥与复肥,2017,32(3):11-12.
- [14] 薛欣欣,吴小平,张永发,等.控失尿素对稻田氨挥发、氮素转运及利用效率的影响[J].应用生态学报,2018,29(1):133-140.
- [15] 许俊香,邹国元,孙钦平,等.腐植酸尿素对土壤氨挥发和玉米生长的影响[J].土壤通报,2013,44(4):934-939.
- [16] 张运红,孙克刚,杜君,等.不同增效氮肥品种及用量对玉米幼苗生长、光合特性及养分吸收的影响[J].磷肥与复肥,2017,32(4):32-35.
- [17] 刘艳丽,丁方军,谷端银,等.不同活化处理腐植酸-尿素对褐土小麦-玉米产量及有机碳氮矿化的影响[J].土壤,2015,47(1):42-48.
- [18] 邵峰,冯梦喜,卢维宏,等.聚能网尿素在玉米上的应用效果研究[J].化肥工业,2015,42(1):73-76.
- [19] 韩金玲,李雁鸣,马春英,等.施锌对小麦开花后氮、磷、钾、锌积累和运转的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):313-320.
- [20] 马腾飞,李青军,张炎,等.控失尿素施用量及不同配比对棉花产量与氮肥利用的影响[J].新疆农业科学,2018,55(5):813-820.
- [21] 胡嵩堂,周立祥.植物营养学[M].北京:中国农业大学出版社,2003:13-27.
- [22] 夏文建,周卫,梁国庆,等.优化施氮下稻-麦轮作体系氮肥氨挥发损失研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):6-13.
- [23] 刘增兵,赵秉强,林治安.腐植酸尿素氨挥发特性及影响因素研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):208-213.
- [24] 金辉,韩伟宏,马慧敏,等.中低产田新型氮肥田间肥效研究[J].山西农业科学,2017,45(9):1499-1502.

(责任编辑:陈海霞)