

# 新型增效尿素对玉米产量的影响

马荣辉<sup>1</sup>, 王华云<sup>2</sup>, 姜新<sup>3</sup>, 董艳红<sup>1</sup>, 郭跃升<sup>1</sup>, 李俊林<sup>4</sup>, 丁辉<sup>5</sup>

(1. 山东省农业技术推广中心, 济南 250100; 2. 山东管理学院, 济南 250357; 3. 聊城市东昌府区农业农村局, 山东 聊城 252000;  
4. 山东省蚕业研究所, 山东 烟台 264002; 5. 巴斯夫(中国)有限公司, 上海 200137)

**摘要:** 本研究在尿素中添加一种新型的脲酶抑制剂, 制成增效尿素, 通过田间试验研究不同用量和施肥方式下增效尿素对玉米生长、产量和氮肥利用效率的影响。试验共设置 6 个处理: T1(空白对照, 不加氮肥)、T2(习惯性施肥, 普通尿素)、T3(习惯性施肥, 增效尿素)、T4(习惯性施肥, 增效尿素减施 20%)、T5(一次性土表撒施, 普通尿素)、T6(一次性土表撒施, 增效尿素减施 20%)。试验结果表明: T3 处理比 T2 处理, 玉米的穗长、穗粒数、千粒重和产量都有显著提高, 每亩纯增收提高 8%, 显著提高玉米氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力; T4 处理玉米产量减产约 4.5%, 但是氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力有提高; T5 处理普通尿素效果较差, 氮肥利用效率和经济效率较低; 然而, T6 处理比 T4 处理, 玉米产量、氮肥农业利用效率与氮肥偏生产力略有降低, 但差异不显著。增效尿素可用于一次性土表撒施。综上, 玉米施用含新型脲酶抑制剂的增效尿素能够增产、增收、省工、节肥。

**关键词:** 玉米; 增效尿素; 产量; 氮肥利用率; 经济效益

**中图分类号:** S143.1+6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2022)02-0165-06

玉米作为我国第一大粮食作物, 其产量高低会直接影响到国家粮食安全。氮素又是玉米生育过程中吸收最多的营养元素, 氮素对玉米光合作用、干物质积累、器官建成和源库关系等的影响作用显著<sup>[1]</sup>。氮肥的合理施用是当今世界作物生产中获得较高目标产量的关键措施<sup>[2]</sup>。我国已成为世界氮肥生产和消费第一大国, 预计到 2050 年我国氮肥消费量占到世界消费量的一半以上<sup>[3]</sup>, 其中农用尿素又占总尿素产量的 1/2<sup>[4]</sup>。IFA(International Fertilizer Industry Association) 数据显示, 我国单位面积农田每年氮肥施用量约是世界平均施用量的 4 倍, 氮肥利用率仅为 25% 左右, 而同期世界平均水平约为 42%<sup>[5-6]</sup>。玉米产量越来越高, 需氮量也随之增加。但是土壤氮素不能完全满足玉米生长所需, 供求之间存在着极大的不平衡, 因此必须通过施用氮肥来满足玉米生长对氮素的需求。氮肥的过量不合理施用, 不仅增加成本, 而且未被利用的氮素会流失造成资源浪费和环境污染。所以, 如何合理利用氮肥一

直是农业可持续绿色高效发展研究的重点。

尿素作为主要氮素来源, 具有易溶于水的特点, 进入土壤后会在脲酶的催化作用下水解形成  $\text{NH}_3$  或  $\text{NH}_4^+$ 。由于尿素分解较快, 短期内释放出大量的氨, 远远超过作物吸收量, 过多的氨以气体形式挥发损失, 且氨气浓度过高又会对植物幼苗产生毒害作用。如果能够减缓尿素向铵态氮转化进程, 势必有利于增加氮素在土壤中的存留时间。因此, 尿素中添加脲酶抑制剂, 施入土壤后, 土壤中的脲酶活动受到抑制, 使水解作用减缓, 从而有效延长了尿素分子在土壤中的存留时间, 那么抑制脲酶活性阻断了此过程, 所以添加脲酶抑制剂是减少氨挥发损失的有效途径<sup>[7-9]</sup>。

常见的脲酶抑制剂有邻-苯基磷酰二胺(PPD)、硫代磷酰三胺(NBPT)、儿茶酚等。研究发现, 苯基磷酰二胺(PPD) 是典型的脲酶活性竞争性抑制剂, 土壤类型、培养时间和培养温度影响该抑制剂对脲酶的动力学参数<sup>[10]</sup>。脲酶抑制剂 NBPT 能够改善玉米的农学性状, 且能提高玉米

收稿日期: 2021-12-10; 修回日期: 2022-01-13

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ006); 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2019JZZY010721); 农业部商丘农业环境科学观测实验站开放课题(FIRI2019-02-0101)

第一作者简介: 马荣辉(1983—), 男, 山东梁山人, 硕士, 研究方向为土壤肥料技术与推广。E-mail: maronghui518@163.com

通信作者简介: 李俊林(1985—), 男, 山东牟平人, 博士, 助理研究员, 研究方向为植物养分高效利用。E-mail: lijunlin517@163.com

氮肥利用率,玉米增产 3.14%~8.68%<sup>[11]</sup>。4-(4-羟基苯基)乙基儿茶酚与尿素竞争尿素酶的活性位点,对尿素酶起抑制作用,此过程可逆<sup>[12]</sup>。在夏玉米生长过程中,添加不同浓度脲酶抑制剂的尿素能增产 1.7%~20.5%,氮肥利用率和收获后土壤无机氮含量均明显提高,从而显著降低了尿素在土壤中的氮素损失<sup>[13]</sup>。通过施用脲酶抑制剂来调控氮素转化,已被认为是提高氮肥利用率、缓解氮肥污染、实现氮素在生态系统中良性循环的有效措施。

本试验选用一种新型脲酶抑制剂,有效成分是 NBPT 和 NPPT,抑制尿素氮挥发效果比 NBPT 单个脲酶抑制剂高 40%,最多能减少 90% 的氮素氮挥发,减少氮肥施用量、增加作物产量,显著提高资源利用率。其在不同的土壤质地、有机质含量、气候条件等环境因子作用下会对脲酶活性产生较大影响,为了探讨添加该种新型脲酶抑制剂制成的增效尿素在山东地区的施用效果,本研究调查了在不同用量和施肥方式下,增效尿素对玉米的增产效果,以及对提高尿素氮肥利用率的作用,为添加新型脲酶抑制剂的增效尿素在山东地区玉米生产中应用和推广提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2016 年 6 月 12 日至 10 月 22 日在山东聊城东昌府区许营镇田庙村进行。试验地耕层

土壤为潮土,有机质含量 10.12 g·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量 21.9 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量 115 mg·kg<sup>-1</sup>,全氮含量为 0.634 g·kg<sup>-1</sup>,pH 7.9。

### 1.2 供试肥料

增效尿素为普通尿素混配 0.05% 有效成分的力谋仕 2.0 的产品(46-0-0≥46%),由巴斯夫(中国)有限公司提供。普通尿素(46-0-0≥46%)购自鲁西化工集团。

### 1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,比较不同施肥模式及肥料减量条件下,普通尿素与含新型脲酶抑制剂的增效尿素对玉米产量的影响,以不施氮肥为对照,试验设 6 个处理,详细处理见表 1,每个处理重复三次。小区采用随机排列,每个小区长×宽=10 m×3 m=30 m<sup>2</sup>。每个处理的磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 99 kg·hm<sup>-2</sup>)分 2 次施入,玉米出苗前在一侧(离种子约 10 cm 处)沟施过磷酸钙 492.9 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 69 kg·hm<sup>-2</sup>),在玉米大喇叭口期施过磷酸钙 214.3 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 30 kg·hm<sup>-2</sup>)。钾肥(K<sub>2</sub>O 60 kg·hm<sup>-2</sup>) 在玉米大喇叭口期一次施入。为避免串灌串排相互影响,小区间设隔离行(用覆有地膜的土壤隔离),各小区单灌单排。供试玉米品种为农大 372,株距 0.3 m,行距 0.4 m,每个小区定植 180 株,露天栽培。当地年降雨量 666.4 mm,年平均气温 14.1℃。

表 1 不同处理施肥量及施肥方式

Tab. 1 Fertilization amount and fertilization method of different treatments

处理	施肥方式	氮肥种类	施氮量/ (N kg·hm <sup>-2</sup> )	出苗前期/ (N kg·hm <sup>-2</sup> )	大喇叭口期/ (N kg·hm <sup>-2</sup> )
T1	空白对照	—	0	0	0
T2	习惯施肥模式	普通尿素	252	27	225
T3	习惯施肥模式	增效尿素(含新型脲酶抑制剂)	252	27	225
T4	习惯施肥模式,氮肥减施 20%	增效尿素(含新型脲酶抑制剂)	201.6	21.6	180
T5	一次性土表撒施	普通尿素	252	0	252
T6	一次性土表撒施,氮肥减施 20%	增效尿素(含新型脲酶抑制剂)	201.6	0	201.6

### 1.4 测定项目与方法

#### 1.4.1 收获和测产

每小区按每隔 5 棵抽取 1 穗的原则,统计取得样穗所在玉米的株高、穗位、样穗的穗长、穗粒数、千粒重情况。产量测定,除去两侧边行,收获

中间所有穗数,并按每隔 5 棵抽取 1 穗的原则,每小区依次抽取 30 穗,称取收获的穗数鲜重,风干样穗后进行折合测产。

#### 1.4.2 计算方法

氮肥农学利用率(kg·kg<sup>-1</sup>)=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量;

氮肥偏生产力( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) = 施氮区产量 / 施氮量。

### 1.5 数据处理

采用 Sigmaplot 11 软件进行数据处理,数据分析应用 IBM SPSS Statistics 20 软件进行。

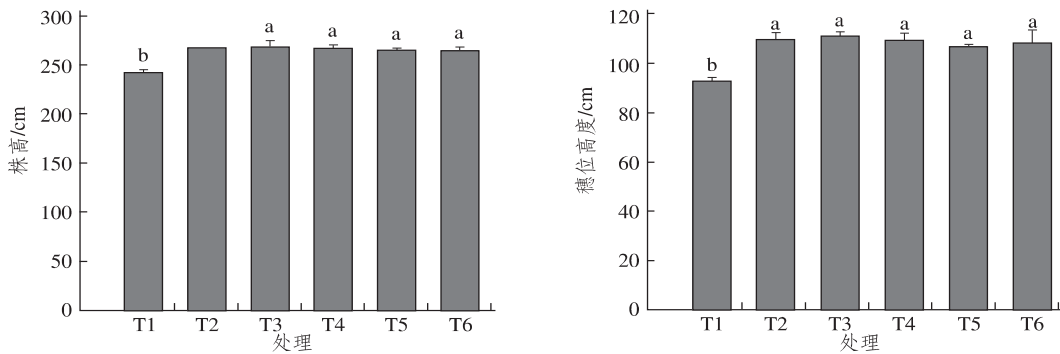
## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对株高和穗位的影响

通过玉米株高和穗位指标考察,发现各施氮肥处理相比于无氮空白对照处理(T1)均显著增加(图1)。在株高方面,各施氮肥处理间未有显著差异;在穗位方面,各施氮肥处理间也未表现出差异。虽然各施氮肥处理间的株高和穗位指标无显著差异,但是可以发现采用表施尿素方式的处理T5和T6均低于习惯施肥模式T2、T3和T4,这也说明习惯施肥模式即尿素埋入土壤的方式对于增效尿素促进玉米生长要优于表施方式。此外,在相同施肥方式下,氮素减量20%并不会对株高和穗位产生影响。

### 2.2 不同施肥对穗长和穗粒数的影响

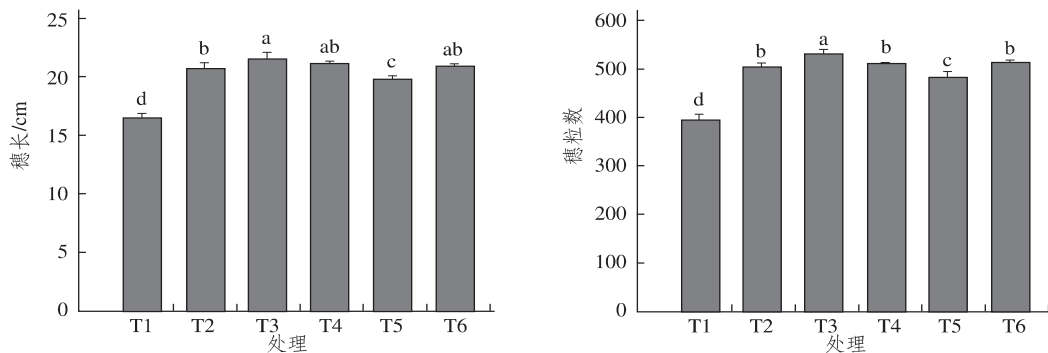
穗长和穗粒数直接关系到玉米单株籽粒的多少。通过比较不同量的增效尿素和施肥方式对穗长和穗位数的影响可知(图2),与无氮空白对照的处理(T1)相比较,所有施氮处理的穗长和穗粒数都有显著增加。在施氮量相同的条件下,习惯施肥模式增效尿素(T3)比普通尿素(T2)玉米穗长显著增加3.86%,穗粒数显著增加5.50%。表明习惯施肥模式下增效尿素有利于玉米穗长和穗粒数的生长。习惯施肥模式下,普通尿素(T2)、增效尿素减施20%(T4)和增效尿素(T3)处理对玉米穗长影响不明显;对于穗粒数指标,增效尿素处理(T3)显著高于普通尿素(T2)和增效尿素减施20%(T4)处理。一次性土表撒施模式下,在穗长和穗粒数指标方面,普通尿素(T5)处理显著低于一次土表撒施增效尿素(T6)。说明增效尿素一次土表撒施并不会对玉米穗长和穗粒数产生显著影响,且对穗粒数的增加作用也显著优于普通尿素处理。



注:不同小写字母表示处理间在5%水平上差异显著。

图1 不同施肥处理对玉米株高和穗位的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on plant height and ear position of maize



注:不同小写字母表示处理间在5%水平上差异显著。

图2 不同施肥处理对玉米穗长和穗粒数的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on ear length and kernel number of maize

### 2.3 不同施肥量对千粒重与产量的影响

由表2可知,与无氮空白处理 T1 相比,施肥处理的千粒重和产量都显著增加,增产 22.66%~34.07%。习惯施肥模式下,与普通尿素(T2)相比,增效尿素(T3)处理的玉米千粒重和产量显著增加;减施增效尿素 20%(T4)处理不影响玉米千粒重,产量降低约 4.5%,但是千粒重和产量明显高于普通尿素(T2)。普通尿素一次表土撒施(T5)相比习惯施肥模式,玉米千粒重无明显影响,而玉米产量显著降低,且达到了显著水平。增效尿素一次表土撒施(T6)相比习惯施肥模式,玉米千粒重显著降低,但玉米产量不受影响,说明增效尿素比普通尿素更适用于一次表土撒施。

表2 不同施肥量对千粒重和产量的影响

Tab.2 Effects of different fertilization rates on 1000-grain weight and yield

处理	千粒重/g	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率/%
T1	320.30 ± 2.79 d	6 525.48 ± 236.60 e	—
T2	341.77 ± 4.10 c	9 004.50 ± 200.10 c	27.53
T3	354.97 ± 1.70 a	9 893.83 ± 167.86 a	34.04
T4	353.37 ± 0.75 a	9 449.17 ± 138.85 b	30.94
T5	340.47 ± 1.55 c	8 437.55 ± 233.45 b	22.66
T6	348.13 ± 0.70 b	9 393.58 ± 183.68 b	30.53

注:不同小写字母表示处理间在 5% 水平上差异显著。

### 2.4 氮肥利用率情况分析

不同处理氮肥农学利用效率和偏生产力见表3,可见增效尿素氮肥农学利用效率最高,习惯施肥模式和一次表土撒施氮肥农学利用效率无显著差异。普通尿素,习惯性施肥模式比一次表土撒施氮肥农学利用效率显著提高,差异显著。各处理间相比,增效尿素减施 20%,氮肥偏生产力最高,习惯施肥模式和一次表土撒施差异不明显。增效尿素氮肥偏生产力显著高于普通尿素。普通尿素习惯施肥方式氮肥偏生产力高于一次表土撒施。

表3 不同处理氮肥农学利用效率和偏生产力

Tab.3 Agronomic use efficiency and partial factor productivity of nitrogen fertilizer under different treatments

处理	氮肥农学利用率/(kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥偏生产力/(kg·kg <sup>-1</sup> )
T1	—	—
T2	9.84 ± 0.79 b	35.73 ± 0.79 c
T3	13.37 ± 0.67 a	39.26 ± 0.67 b
T4	14.5 ± 0.69 a	46.87 ± 0.69 a
T5	7.59 ± 0.93 c	33.48 ± 0.93 d
T6	14.23 ± 0.91 a	46.6 ± 0.91 a

注:不同小写字母表示处理间在 5% 水平上差异显著。

### 2.5 效益情况分析

玉米施用供试肥料的效益情况,如表4。玉米施用供试肥料的处理均比无氮处理产量有所增加。其中处理 T3 习惯施肥模式,增效尿素用量 547.8 kg·hm<sup>-2</sup>的纯增收最高,投入产出比为 1:5.28。

表4 不同处理玉米经济效益

Tab.4 Economic benefits of different treatments of maize

处理	产值/(元·hm <sup>-2</sup> )	成本/(元·hm <sup>-2</sup> )	纯增收/(元·hm <sup>-2</sup> )	投入产出比
T1	11 745.87	1 629	10 116.87	1: 6.21
T2	16 208.1	2 450.25	13 757.85	1: 5.61
T3	17 808.9	2 833.5	14 975.4	1: 5.28
T4	17 008.5	2 592.6	14 415.9	1: 5.56
T5	15 187.59	2 450.25	12 737.34	1: 5.20
T6	16 908.45	2 592.6	14 315.85	1: 5.52

注:玉米按前三年玉米市场平均价格 1.8 元·kg<sup>-1</sup>;磷肥 0.72 元·kg<sup>-1</sup>,普通尿素 1.5 元·kg<sup>-1</sup>,氯化钾肥 2.2 元·kg<sup>-1</sup>,增效尿素 2.2 元·kg<sup>-1</sup>计算,每公顷每次用工成本 450 元。

## 3 讨论与结论

氮素是限制玉米产量的重要因素,增施氮肥可以显著提高玉米产量<sup>[14-16]</sup>。氮素施入量过多会造成氮素利用率降低和肥料浪费。尿素作为重要的氮素来源,只有水解为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 才能被作物吸收利用,尿素的肥效主要取决于土壤脲酶活性的强弱<sup>[17]</sup>。通过添加脲酶抑制剂,抑制土壤中脲酶活性,减缓脲酶对尿素的水解,延长尿素在土壤中保留时间,提高尿素氮利用效率,具有增产增收、省功节肥等效果<sup>[18-20]</sup>。叶会财等<sup>[21]</sup>研究发现,配施含有脲酶的尿素,水稻增产 14.8%,氮肥农学利用率提高 18.4%。但也有研究表明,脲酶抑制剂对作物产量没有影响或影响不显著<sup>[22]</sup>。本研究结果,施用含有新型脲酶抑制剂的增效尿素,玉米穗长、穗粒数、千粒重和产量以及氮肥农学利用效率明显提高。尿素添加新型脲酶抑制剂,减少尿素铵的挥发,玉米吸收氮素较多,促进玉米穗的生长,提高玉米产量。氮肥能够影响玉米穗粒数形成,适量增施氮肥可获得较高的穗粒数,获得较高产量<sup>[23]</sup>,这与本研究结果一致。施肥方式影响脲酶抑制剂的有效性<sup>[24]</sup>,本研究也发现,采用习惯施肥方式,施用增效尿素比普通尿素,玉米增产 9.9%,氮肥农学利用效率提高

35.9%;而通过一次表施,玉米产量提高11.3%,氮肥农学利用效率提高87.5%。这说明施用方式也能影响新型脲酶抑制剂的效果。另外,土壤酸碱性、水分含量、土壤质地、有机质含量、尿素施用量、气候条件等环境条件也会影响脲酶抑制剂的活性<sup>[24]</sup>。

玉米施用添加新型脲酶抑制剂的增效尿素,在习惯施肥模式下,相比普通尿素,玉米的穗长、穗粒数、千粒重和产量显著提高,纯增收高。增效尿素在减施80%的情况下,玉米产量仍高于普通尿素,新型脲酶抑制剂添加能够减少尿素的施用量。增效尿素一次性表土撒施效果比普通尿素要好,比普通尿素更适用于一次性表土撒施。山东地区玉米施用含有新型脲酶抑制剂的增效尿素可以达到增产增收、省功节肥的效果,适宜在山东玉米种植中应用推广。

#### 参考文献:

- [1] 景立权,赵福成,徐仁超,等.施氮水平对超高产夏玉米籽粒及植株形态学特征的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(1):37-47.
- [2] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [3] GOOD A G, BEATTY P H. Fertilizing nature: A tragedy of excess in the commons [J]. PLOS Biology, 2011, 9(8): e1001124.
- [4] 姜洪涛.谈如何有效提高肥料利用率[J].农业与技术,2018,38(6):32.
- [5] ZHANG X, DAVIDSON E A, MAUZERALL D L, et al. Managing nitrogen for sustainable development [J]. Nature, 2015, 528(7580): 51-59.
- [6] 李玉,王茂莹,张倩,等.包膜脲酶抑制剂增效尿素对小麦生长的影响及其机理研究[J].水土保持学报,2020,34(2):283-289.
- [7] 郑福丽,李彬,李晓云,等.脲酶抑制剂的作用机理与效应[J].吉林农业科学,2006,31(6):25-28.
- [8] 张文学,孙刚,何萍,等.脲酶抑制剂与硝化抑制剂对稻田氨挥发的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1411-1419.
- [9] 彭玉净,田玉华,尹斌.添加脲酶抑制剂NBPT对麦秆还田稻田氨挥发的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(1):19-23.
- [10] 隗英华,陈利军,武志杰,等.苯基磷酸二胺对土壤脲酶的抑制作用动力学研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(4):431-438.
- [11] 刘焱,李光华.脲酶抑制剂(NBPT)对玉米产量及农艺性状的影响[J].耕作与栽培,2016(6):48-49.
- [12] 彭知云,王旭东,冯玉婷,等.4-(4-羟基苯基)乙基儿茶酚作为尿素酶抑制剂的机理[J].吉首大学学报(自然科学版),2012,33(6):85-88.
- [13] 韩宝文,贾良良,肖焱波,等.脲酶抑制剂对夏玉米产量及氮肥利用率的影响[J].玉米科学,2011,19(4):116-120.
- [14] 魏廷邦,胡发龙,赵财,等.氮肥后移对绿洲灌区玉米干物质积累和产量构成的调控效应[J].中国农业科学,2017,50(15):2916-2927.
- [15] 宋航,周卫霞,袁刘正,等.光、氮及其互作对玉米氮素吸收利用和物质生产的影响[J].作物学报,2016,42(12):1844-1852.
- [16] 葛均筑,李淑娅,钟新月,等.施氮量与地膜覆盖对长江中游春玉米产量性能及氮肥利用效率的影响[J].作物学报,2014,40(6):1081-1092.
- [17] 田发祥,纪雄辉,官迪,等.氮肥增效剂的研究进展[J].杂交水稻,2020,35(5):7-13.
- [18] 陈仙仙,王趁义,黄兆玮,等.第四类配合物型脲酶抑制剂对油菜生长及土壤氮素转化的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):180-186.
- [19] 张文学,王萍,孙刚,等.脲酶抑制剂不同用量对土壤氮素供应的影响[J].中国土壤与肥料,2018(6):38-44+52.
- [20] 宋燕燕,赵秀娟,张淑香,等.水肥一体化配合硝化/脲酶抑制剂实现油菜减氮增效研究[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):632-640.
- [21] 叶会财,李大明,柳开楼,等.脲酶抑制剂配施比例对红壤双季稻产量的影响[J].土壤通报,2014,45(4):909-912.
- [22] LI Q Q, YANG A L, WANG Z H, et al. Effect of a new urease inhibitor on ammonia volatilization and nitrogen utilization in wheat in north and northwest China [J]. Field Crops Research, 2015, 175: 96-105.
- [23] 魏亚萍,王璞.氮肥对夏玉米穗粒数形成的影响[J].西北农业学报,2007,16(1):39-45.
- [24] 柯爱飞,王趁义,牛习,等.脲酶抑制剂的研究现状与展望[J].安徽农业科学,2009,37(23):10883-10884.

## Effects of Synergistic Urea on Yield of Maize

MA Ronghui<sup>1</sup>, WANG Huayun<sup>2</sup>, JIANG Xin<sup>3</sup>, HUANG Xincheng<sup>4</sup>, GUO Yuesheng<sup>1</sup>, LI Junlin<sup>5</sup>, DING Hui<sup>6</sup>

(1. Agricultural Technology Promotion Center of Shandong Province, Jinan 250100, China; 2. Shandong Management University, Jinan 250357, China; 3. Dongchangfu Bureau of Agricultural and Rural Affairs, Liaocheng 252000, China; 4. Shandong Institute of Sericulture, Yantai 264002, China; 5. BASF(China) Company Limited, Shanghai 200137, China)

**Abstract:** In this study, a new urease inhibitor was added into urea to make synergistic urea. Field experiments were conducted to study the effects of different application rates and fertilization methods on maize growth, yield and nitrogen use efficiency. The results showed that the ear length, grain number per spike, 1000 grain weight and yield of maize were significantly increased by applying synergistic urea than by common urea under the same nitrogen application rate, and the net income per mu was increased by 8%, which significantly improved the nitrogen use efficiency of maize. By reducing the application of synergistic urea by 20%, the number of grains per ear decreased and the yield decreased by about 4.5%. The yield of maize was slightly decreased by one-time application of synergistic urea on soil surface, but the difference was not significant, which indicated that synergistic urea was suitable for one-time topsoil application. In conclusion, the application of synergistic urea containing new urease inhibitor can increase yield, increase income, save labor and fertilizer.

**Keywords:** corn; synergistic urea; yield; nitrogen agronomy efficiency; economic benefit

(责任编辑 李维卫)

(上接第164页)

Abstract ID: 1673-8020(2022)02-0158-EA

## Numerical Study of Cross Diffusion in a Porous Square Cavity under Magnetic Field

FAN Liehao, ZHANG Mingyang

(Department of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

**Abstract:** The cross-diffusion phenomenon in a porous cavity under the effect of a magnetic field was simulated by lattice Boltzmann method. The effects of porosity  $E$ , Darcy number  $Da$ , Hartman number  $Ha$ , magnetic field angle  $\gamma$ , Soret number  $S_r$ , Dufour number  $D_f$  on average Nusselt number  $Nu_{ave}$  and average Sherwood number  $Sh_{ave}$  were discussed, and the field synergy principle was used to explain the mechanism of action of these factors. The results are as follows: the increase of porosity and Darcy number can enhance the of heat and mass transfer; the increase of Hartmann number weakens the occurrence of heat and mass transfer; when the angle between the magnetic field and the horizontal plane increased in the range of  $[-\pi, \pi]$ , the heat and mass transfer intensity is basically unchanged; single increase in the Dufour number may significantly enhance heat transfer, but may weaken the occurrence of mass transfer; single increase in the Soret number can result in heat and mass transfer enhancement at the same time.

**Keywords:** cross diffusion; heat and mass transfer; field synergy principle

(责任编辑 李秀芳)