

# 增效氮肥对玉米生长发育及产量的影响

石湜心<sup>1,2</sup>, 石晓雨<sup>2</sup>, 张平<sup>1</sup>, 李晓宇<sup>2</sup>, 张晓岩<sup>2</sup>, 崔帅<sup>2</sup>, 高强<sup>2</sup>, 李杰<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

**摘要:**为了调控肥料养分在土壤中的转化、减少养分损失,本研究在吉林省梨树县进行了两年的玉米田间定位试验,系统研究了添加腐殖酸、海藻酸、氨基酸和调理剂的增效氮肥的施用效果,从中筛选出最优的施用类型,以期为玉米生产的减肥增效提供可行途径。综合两年定位试验结果显示,增效氮肥显著提高了玉米产量和肥料利用率。与追施尿素相比,追施增效氮肥 I、II、III、IV 型处理玉米产量分别增加了 7.17%、5.43%、5.52% 和 3.41%;氮肥利用率分别提高了 12.72%、2.68%、2.71% 和 5.42%,农学效率提高了 5.24、4.29、4.41、1.82 kg/kg。其中追施增效氮肥 I 型的玉米增产率、氮肥利用率和农学效率提高幅度最大,效果最佳,是最适合该地区玉米施用的氮肥类型。

**关键词:**增效氮肥;肥料增效剂;玉米;肥料利用率

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)02-0006-05

## Studies on the Effect of Synergistic Nitrogen Fertilizers Application on Maize in Black Soil

SHI Haoxin<sup>1,2</sup>, SHI Xiaoyu<sup>2</sup>, ZHANG Ping<sup>1</sup>, LI Xiaoyu<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoyan<sup>2</sup>, CUI Shuai<sup>2</sup>, GAO Qiang<sup>2</sup>, LI Jie<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016; 2. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** In order to regulate the conversion of fertilizer nutrients in the soil and reduce nutrient losses, this study conducted a two-year corn field location trial in Lishu County, Jilin Province, to systematically study the application effects of efficiency N fertilizers with humic acid, alginate, amino acids and conditioners, and to screen out the optimal application formulations, with a view to providing a feasible way to reduce weight and increase efficiency in corn production. The results of the comprehensive two-year positioning test showed that the efficiency nitrogen fertilizer significantly improved the corn yield and fertilizer utilization. Compared with common urea treatment, maize yield increased by 7.17%, 5.43%, 5.52% and 3.41% with N fertilizer synergist I, II, III and IV, respectively. N fertilizer utilization increased by 12.72%, 2.68%, 2.71% and 5.42%, respectively, and agronomical efficiency increased by 5.24, 4.29, 4.41, 1.82 kg/kg, respectively. The maize yield increase, nitrogen fertilizer utilization rate and agronomic efficiency increased the most and had the best effect with the retroactive application of efficiency-enhancing nitrogen fertilizer type I, which is the most suitable type of nitrogen fertilizer for maize cultivation in this region.

**Key words:** Nitrogen fertilizer; Fertilizer synergist; Maize; Fertilizer utilization rate

化肥的施用在我国农业发展和粮食安全上发挥了重要的作用,科学施用化肥可以培肥土壤,提高作物产量,提高肥料利用率<sup>[1]</sup>。但是过量施

肥不仅造成资源的浪费,而且还会带来土地酸化、河流湖泊富营养化等环境问题<sup>[2]</sup>。近年来,国家提出了多项减肥增效的举措和战略规划,对农业施肥提出了新的要求<sup>[3]</sup>。玉米是我国重要的粮食作物,玉米种植面积占全国粮食总种植面积的 35.9%,产量占全国粮食总产量的 42.1%。东北地区作为我国重要的玉米生产基地,以全国 30% 的玉米种植面积,生产了全国 33.7% 的玉米<sup>[4]</sup>。东北地区玉米产量逐年增加,这不仅是依赖于得天独厚的自然因素,肥料的施用也起到了重要的作用<sup>[5]</sup>。研究发现,20 世纪 80 年代以来随着施肥量

收稿日期: 2024-01-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1500105、2022YFD170060106); 辽宁省优秀青年科学计划项目(2022-YQ-05); 沈阳市中青年科技创新人才支持计划项目(RC220330)

作者简介: 石湜心(1987-),男,助理研究员,硕士,主要从事植物营养与肥料研究。

通讯作者: 李杰,女,博士,研究员, E-mail: jieli@iae.ac.cn

的不断增加东北地区土壤氮磷损失量随之增大<sup>[6]</sup>。化肥过量施用已成为东北地区玉米生产的重要制约因素,迫切需要开发具有高效缓释能力的新型肥料,以保持该地区农业的可持续发展。

本研究以吉林省梨树县春玉米为研究对象,采用田间定位试验,系统研究了添加肥料增效剂的新型肥料对玉米产量、氮肥利用率和农学效率的影响,提出相应的增效肥料配方,以期为环境友好型肥料的研制和推广提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验于2022年4月至2023年10月在中国农业大学梨树试验站进行(43°16'N, 124°26'E),该区属于温带半湿润大陆性季风气候,全年降水主要集中在6~8月,年平均气温为6.9℃,年平均降水量为614 mm,年平均日照时数为2 706 h。2022年玉米生育期内降水量471.2 mm,为干旱年,生育期积温3 190℃·d。2023年玉米生育期降水量542.0 mm,为平水年,生育期积温3 172℃·d。试验地前茬为春玉米,地块长期进行浅耕,春玉米主要种植模式为连作。供试土壤类型为薄层黑土,土壤基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性质

地点	pH值	有机质 /g·kg <sup>-1</sup>	碱解氮 /mg·kg <sup>-1</sup>	速效磷 /mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾 /mg·kg <sup>-1</sup>
泉眼沟	5.04	17.8	107.4	48.0	114.0

### 1.2 供试肥料

增效氮肥(N含量28%)包括增效氮肥I型、增效氮肥II型、增效氮肥III型、增效氮肥IV型,是由氮肥添加不同肥料增效剂组成。增效剂的主要成分为腐殖酸、黄腐酸、氨基酸、海藻酸和调理剂。常规底肥为鲁西化工集团生产的复合肥(N-P-K:15-15-15)。磷肥为重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量46%),钾肥为氯化钾(K<sub>2</sub>O含量60%)。

### 1.3 试验设计

两年的田间定位试验共设6个处理,3次重复,小区随机排列(见表2)。玉米品种为良玉99,种植密度为6.5万株/hm<sup>2</sup>,小区为8垄区,面积40 m<sup>2</sup>。采用破垄机破垄后人工撒肥,合垄后人工播种。种、肥侧向间隔7 cm。田间管理按照当地常规进行。施肥量:N 180 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>,详见表2。

表2 各处理养分投入量 kg/hm<sup>2</sup>

处理	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	基施	追施	基施	基施
不施氮肥	-	-	90	90
常规底肥+追施尿素	75	105	90	90
常规底肥+追施增效氮肥I型	75	105	90	90
常规底肥+追施增效氮肥II型	75	105	90	90
常规底肥+追施增效氮肥III型	75	105	90	90
常规底肥+追施增效氮肥IV型	75	105	90	90

### 1.4 测定项目及方法

#### 1.4.1 植株性状指标及干物质含量的测定

分别在拔节期、灌浆期对5株植株进行植株性状调查,包括株高、茎粗、SPAD值。

对长势均匀的5株植株用卷尺测量株高,拔节期测量从地面到所有叶片自然伸展时最高处的距离;在灌浆期测量地面到雄穗最高点的距离。

茎粗是对玉米茎基部直径最小处进行测量。在各时期对固定的5株用游标卡尺进行测量。

SPAD值用CCM-200手持叶绿素仪测定20株植株,每株取3片叶,每片叶选3个点,取平均值。拔节期测定最上面完全展开叶片,灌浆期测定穗位叶片。

干物质质量在收获期测定,每个小区取3株长势均匀的植株,称取鲜重,分别把秸秆和籽粒粉碎,取200 g鲜样,105℃杀青30 min,后于75℃下烘干至恒重,测定秸秆和籽粒的干重。

#### 1.4.2 玉米植株氮素累积吸收量及氮肥利用率的计算

收获期采集玉米秸秆和籽粒,分别粉碎烘干过筛后,采用浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>法消煮,利用凯氏定氮仪测定秸秆和籽粒中全氮含量。

氮肥利用率=[(施氮玉米植株氮素累积吸收量-不施氮肥区植株氮素累积吸收量)/不施氮玉米植株氮素累积吸收量]×100%

农学效率=(施肥处理玉米籽粒产量-不施氮肥处理玉米籽粒产量)/施氮量

偏生产力=施肥处理玉米籽粒产量/施氮量

#### 1.4.3 收获测产及考种

玉米收获时将试验小区两侧边行各2垄及小区两端各1.0 m去掉,其余部分作为收获区。记录测产面积内穗数、穗总鲜重,按平均单穗重取有代表性10穗(平均单穗重应接近收获区的平均单穗重),称取鲜重带回实验室,考种后烘干测干

重,计算含水量,从而折算测产区产量,最后得出公顷产量(含水率14%)。产量构成因素指标包括穗行数、穗长、穗粒数、秃尖率等指标。

### 1.5 数据统计分析

采用单因素方差分析增效氮肥对玉米生长发育及产量的影响。采用Duncan's方法测出最小显著差异。数据分析采用SPSS 26.0、Excel 2010和Sigmaplot 12.0进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同增效氮肥对玉米生长发育的影响

两年定位试验结果显示(表3),各处理株高范围在75.3~244.0 cm,茎粗范围在13.5~25.6 mm,SPAD值在44.8~63.0。在两个生育时期,施肥处理株高、茎粗和SPAS值均显著高于不施氮肥处理( $P<0.05$ )。其中,2023年的田间试验结果显示,常

表3 不同施肥处理玉米主要生育期的生长状况

年份	处理	株高/cm		茎粗/mm		SPAD值	
		拔节期	抽雄期(穗位高)	拔节期	抽雄期	拔节期	抽雄期
2022	不施氮肥	75.8c	104.7e	21.3c	22.8d	52.4c	54.6d
	常规底肥+追肥尿素	81.8a	123.1b	24.0a	24.5b	55.2b	58.9ab
	常规底肥+追施增效氮肥I型	81.4b	123.8b	24.1a	25.3a	55.4b	60.8a
	常规底肥+追施增效氮肥II型	81.8a	128.6a	24.1a	25.6a	55.7a	58.6ab
	常规底肥+追施增效氮肥III型	81.4b	122.3c	23.9ab	25.2a	55.8a	59.6a
	常规底肥+追施增效氮肥IV型	81.4b	115.1d	23.6b	23.6c	55.7a	57c
2023	不施氮肥	75.3b	203.0b	13.55c	16.5c	44.8b	47.5c
	常规底肥+追施尿素	97.7a	234.3a	18.3a	20.1b	53.6a	62.7ab
	常规底肥+追施增效氮肥I型	96.1a	244.0a	16.4ab	21.6a	54.9a	63.0a
	常规底肥+追施增效氮肥II型	92.5a	237.3a	15.9ab	20.6b	53.5a	61.1ab
	常规底肥+追施增效氮肥III型	97.1a	235.7a	15.7ab	21.2a	53.7a	61.8ab
	常规底肥+追施增效氮肥IV型	96.9a	237.0a	17.5a	19.1bc	53.3a	60.6ab

注:小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ ),下同

规底肥+追施增效氮肥I型处理的SPAS值和抽雄期的株高、茎粗高于其他处理。

### 2.2 不同增效氮肥对玉米产量及产量性状的影响

由表4可知,施肥处理的产量显著高于不施氮肥处理。其中,常规底肥+追施增效氮肥I型的产量最高,两年增产率分别达到6.00%和8.33%。在产量构成上,施肥处理增加了玉米穗长。其中,常规底肥+追施增效氮肥I型的穗长和穗粒数高于其他处理,但差异不显著( $P>0.05$ )。在百粒重上,各施肥处理之间无显著差异。2023年施氮

肥处理产量较2022年均有明显提高,但不施氮肥处理产量大幅度降低。与常规底肥+追肥尿素相比,施用增效氮肥I、II、III、IV型两年平均产量分别提高754、587、587、350 kg/hm<sup>2</sup>,两年平均增产率分别为7.17%、5.43%、5.52%、3.41%,可见,增效氮肥I型增产效果最优。

### 2.3 不同增效氮肥对农学效率和偏生产力的影响

由表5可知,各个施用增效氮肥的处理氮肥农学效率和偏生产力均显著高于常规底肥+追施尿素处理。其中,常规底肥+追施增效氮肥I型处

表4 不同施肥处理玉米的产量性状

年份	处理	穗长/cm	穗粒数/粒	百粒重/g	产量/kg·hm <sup>-2</sup>	增产率/%
2022	不施氮肥	14.8b	539ab	30.2a	8149d	—
	常规底肥+追肥尿素	15.7a	540ab	32.2a	9422bc	—
	常规底肥+追施增效氮肥I型	16.5a	596a	31.4a	9987a	6.00
	常规底肥+追施增效氮肥II型	16.5a	539ab	32.6a	9824ab	4.05
	常规底肥+追施增效氮肥III型	16.2ab	552ab	30.0a	9801ab	4.02
	常规底肥+追施增效氮肥IV型	15.5ab	510b	31.69a	9792ab	3.93
2023	不施氮肥	13.2c	449.1b	25.6b	6847c	—
	常规底肥+追施尿素	15.6a	553a	29.3a	11317b	—
	常规底肥+追施增效氮肥I型	15.7a	573a	29.4a	12260a	8.33
	常规底肥+追施增效氮肥II型	15.5a	565a	28.8a	12089ab	6.81
	常规底肥+追施增效氮肥III型	15ab	564a	29a	12112ab	7.02
	常规底肥+追施增效氮肥IV型	15.1ab	553a	29.1a	11646ab	2.88

表5 添加增效剂的氮肥农学效率和偏生产力

处理	农学效率		氮肥偏生产力	
	/kg·kg <sup>-1</sup>		/kg·kg <sup>-1</sup>	
	2022	2023	2022	2023
常规底肥+追施尿素	7.07c	22.82c	52.34c	62.87c
常规底肥+追施增效氮肥I型	10.21a	28.06a	55.48a	68.11a
常规底肥+追施增效氮肥II型	9.31b	27.11b	54.58b	67.16b
常规底肥+追施增效氮肥III型	9.18b	27.23b	54.45b	67.29b
常规底肥+追施增效氮肥IV型	9.13b	24.64c	54.40b	64.70c

理的农学效率和偏生产力显著高于其他处理。

#### 2.4 不同增效氮肥对玉米氮素累积吸收量和氮肥利用率的影响

由表6可知,施肥处理的玉米氮素累积吸收量均高于不施氮处理。各施肥处理中,常规底肥+追施增效氮肥I型处理显著高于其他处理,其他各处理无显著性差异。与常规底肥+追施尿素处理相比,常规底肥+追施增效氮肥I型处理两年间玉米氮素累积吸收量分别提高了12.25 kg/hm<sup>2</sup>和31.08 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥利用率分别提高5.0、48.3个百分点。

表6 玉米氮素累积吸收量和氮肥利用率

处理	玉米氮素累积吸收量/kg·hm <sup>-2</sup>		氮肥利用率/%	
	2022年	2023年	2022年	2023年
	不施氮肥	159.00d	138.33d	—
常规底肥+追施尿素	221.32b	200.31c	33.68b	26.33c
常规底肥+追施增效氮肥I型	233.57a	231.39a	35.38a	39.05a
常规底肥+追施增效氮肥II型	221.66b	207.58b	33.24b	29.01b
常规底肥+追施增效氮肥III型	221.24b	211.03b	33.02b	29.04b
常规底肥+追施增效氮肥IV型	216.80b	215.01b	32.11b	31.75b

### 3 讨论与结论

通过两年试验研究发现,增效氮肥起到了提

高作物农艺性状、增产、提高氮肥利用率的作用。与常规施肥+追施尿素处理相比,追施增效氮肥各处理增产效果显著,这可能与肥料增效剂中添

加了腐殖酸、氨基酸、海藻酸等物质有关。已有研究表明,腐殖酸能够显著提高玉米养分吸收和干物质积累量,从而提高玉米穗粒数、千粒重,影响玉米产量的形成<sup>[7]</sup>。海藻酸能够刺激作物根系发育、提高作物光能转化率,有利于作物产量的提高<sup>[8]</sup>。氨基酸能够增强细胞活性,加速玉米对养分的吸收速率,提高玉米产量<sup>[9]</sup>。与常规施肥+追施尿素相比,追施增效氮肥各处理氮肥利用率明显提高,提高了农学效率,这可能是因为腐殖酸可提高过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活性,有利于增强土壤酶(脲酶和磷酸酶)的活性<sup>[10]</sup>。腐植酸与尿素结合后,形成的化学键具有较高的化学稳定性和热稳定性,减缓了肥料中氮素的释放,延长了氮肥肥效,氮素供应更加符合玉米生长及需氮规律,能够显著提高氮肥利用率、降低氮素损失率<sup>[11-12]</sup>。研究表明,海藻酸氮肥可以显著提高氮肥的表观利用率和农学效率。黄腐酸与氮肥配施能显著提高玉米氮素积累量,提高玉米氮肥利用率<sup>[13]</sup>。

增效氮肥能够提高玉米的产量和肥料利用率。两年定位试验表明,与常规施肥相比,2022年追施增效氮肥I、II、III、IV型玉米产量分别增加了6%、4.05%、4.02%和3.93%;2023年追施增效氮肥I、II、III、IV型玉米产量分别增加了8.33%、6.81%、7.02%和2.88%。综合两年结果追施增效氮肥I、II、III、IV型玉米产量分别增加了7.17%、5.43%、5.52%和3.41%。连续两年施用增效氮肥I、II、III、IV型氮肥利用率比追常规施肥+追施尿素处理分别提高了12.72、2.68、2.71、5.42个百分点,农学效率分别提高了5.24、4.29、4.41、1.82 kg/kg。其中增效氮肥I型的增产率、农学效率和氮肥利用

率提升幅度最大,效果最佳。总之,添加增效氮肥I型的肥料是适宜玉米生产的肥料剂型,起到了增加作物产量和提高肥料利用率的作用。本研究结果为玉米生产中增效肥料合理施用及化肥减肥增效提供了相应的技术途径。

#### 参考文献:

- [1] 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(5):915-924.
- [2] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [3] 张卫峰,李增源,李婷玉,等.化肥零增长呼吁肥料产业链革新[J].蔬菜,2018(5):1-9.
- [4] 中华人民共和国农业部.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2013:235-245.
- [5] 高强,冯国忠,王志刚.东北地区春玉米施肥现状调查[J].中国农学通报,2010,26(14):239-241.
- [6] 王媛,马继力,吕川,等.吉林省辽河流域农业面源污染特征及趋势研究[J].东北农业科学,2012,37(3):61-64.
- [7] 张水勤,袁亮,李伟,等.腐植酸尿素对玉米产量及肥料氮去向的影响[J].腐植酸,2019(2):47.
- [8] 周勇明,商照聪,宝德俊,等.海藻酸尿素对夏玉米产量和氮肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2014(3):23-26.
- [9] 曾艳,周柳强,黄金生,等.肥料增效剂对玉米干物质积累及氮养分吸收的影响[J].南方农业学报,2014(10):101-105.
- [10] 梁宗存,成绍鑫,武丽萍.煤中腐植酸与尿素相互作用机理的研究[J].燃料化学学报,1999,27(2):176-181.
- [11] 袁瑞江,姚银娟,王丽乔,等.生物腐植酸(黄腐酸)及其在农业中的应用[J].河北农业科学,2009,13(7):36-38.
- [12] 裴瑞杰,王俊忠,冀建华,等.腐殖酸肥料与氮肥配施对土壤理化性质的影响[J].江苏农业科学,2018,46(19):331-334.
- [13] 王海标,张博,陶静静,等.海藻酸复混肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J].农学学报,2017,7(10):25-29.

(责任编辑:范杰英)