



不同尿素对夏玉米产量、氮肥利用率及土壤硝态氮累积的影响

孙克刚¹ 张 琨² 杜 君¹ 刘高远¹ 和爱玲¹ 吕敬薇³ 岳艳军⁴

1 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所 / 河南省农业资源与环境重点实验室 郑州 450002

2 河南农业大学生命科学学院 郑州 450002

3 固始县农业农村局农业经济发展中心 固始 465200

4 河南心连心化学工业集团股份有限公司 新乡 453731

摘 要: 为通过田间小区试验,研究了黄腐酸尿素、腐植酸尿素、控失尿素 3 种功能性尿素及普通 BB 肥、农民习惯施肥对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮累积的影响。结果表明,相比农民习惯施肥和普通 BB 肥,黄腐酸尿素、腐植酸尿素、控失尿素均能提高夏玉米产量和氮肥利用率,除腐植酸尿素与普通 BB 肥的产量无显著差异外,其他处理间的相应指标均表现出显著差异;较农民习惯施肥增产率分别为 3.27%、1.86%、2.19%,氮肥利用率分别提高 11.87、10.01、4.01 个百分点;较普通 BB 肥增产率分别为 2.16%、0.77%、1.10%,氮肥利用率分别提高 5.87、9.09、3.09 个百分点。相比农民习惯施肥和普通 BB 肥,黄腐酸尿素、腐植酸尿素、控失尿素均能降低 0 ~ 100 cm 土层硝态氮含量,黄腐酸尿素降低效果最突出,可有效减少氮素淋溶风险,兼具改善土壤环境、增产与环保多重效益。

关键词: 黄腐酸尿素; 夏玉米; 产量; 氮肥利用率; 土壤硝态氮含量

中图分类号: TQ314.1, S513

文章编号: 1671-9212(2025)06-0065-05

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.006

Effects of Different Urea Fertilizers on the Yield, Nitrogen Use Efficiency of Summer Maize and Soil Nitrate Nitrogen Content

Sun Kegang¹, Zhang Kun², Du Jun¹, Liu Gaoyuan¹, He Ailing¹, Lv Jingwei³, Yue yanjun⁴

1 Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences/

Henan Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Zhengzhou, 450002

2 College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002

3 Agricultural Economic Development Center of Gushi County Agricultural and Rural Affairs Bureau, Gushi, 465200

4 Henan Xinlianxin Chemical Industry Group Co. Ltd., Xinxiang, 453731

Abstract: The effects of three functional urea types, namely fulvic acid urea, humic acid urea and loss-controlled urea, as well as common BB fertilizer and conventional farmer fertilization, on the yield, nitrogen use efficiency and soil nitrate nitrogen accumulation of summer maize were studied based on

[基金项目] 河南省财政预算项目“氮肥增值提效及高效施用技术研究与应用”(项目编号 092102110523); 河南科技厅攻关项目“夏玉米简化高产施肥技术研究”(项目编号 152102110142); 华北平原简化施肥技术集成与试验示范基地建设(项目编号 2015BAD23B02-08)。

[收稿日期] 2025-04-29

[作者简介] 孙克刚, 男, 1965 年, 研究员 / 硕士生导师, 主要从事植物营养与施肥和精准农业养分管理与施肥方向的研究, E-mail: nkyzhj@126.com。

field plot experiments. The results showed that, compared to the conventional farmer fertilization and common BB fertilizer, fulvic acid urea, humic acid urea and loss-controlled urea increased summer maize yield and nitrogen use efficiency. Except for the yield of humic acid urea and common BB fertilizer showing no significant difference, the corresponding indicators among other treatments all showed significant differences. Specifically, compared to conventional farmer fertilization, the yield increase rates were 3.27%, 1.86% and 2.19%, respectively, while nitrogen use efficiency improved by 11.87, 10.01 and 4.01 percentage points, respectively. Compared to the common BB fertilizer, the yield increase rates were 2.16%, 0.77% and 1.10%, respectively, while nitrogen use efficiency improved by 5.87, 9.09 and 3.09 percentage points, respectively. Additionally, compared to the conventional farmer fertilization and common BB fertilizer, the fulvic acid urea, humic acid urea and loss-controlled urea could all reduce the nitrate nitrogen content in the 0 ~ 100 cm soil layer. The reduction effect of fulvic acid urea was the most prominent, which could effectively reduce the risk of nitrogen leaching and had multiple benefits such as improving the soil environment, increasing production and environmental protection.

Key words: fulvic acid urea; summer maize; production; nitrogen use efficiency; soil nitrate nitrogen content

氮肥利用率低一直是制约我国农业可持续发展的关键问题^[1, 2]。氮肥利用率的提高可以通过作物品种的筛选、土壤改良、平衡施肥技术等来实现^[3]。近年来,关于传统氮肥增效研究较多。黄腐酸作为腐植酸类物质中分子量最小、活性最高的组分,具有良好的水溶性和生物活性,可通过促进作物根系发育、增强酶活性等途径调控氮素吸收利用^[4, 5]。已有研究表明,黄腐酸与尿素配施,对甜玉米氮肥偏生产力及氮素农学利用率分别提高 22.07% ~ 70.1% 和 4.51% ~ 162.41%^[6]。然而,关于黄腐酸尿素与其他功能性尿素在夏玉米上的系统对比研究尚较缺乏,其对土壤硝态氮累积的影响差异也不明确。因此,本研究对比黄腐酸尿素、腐植酸尿素、控失尿素及普通 BB 肥和农民习惯施肥对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响,旨在筛选适宜河南地区的高效氮肥品种,为夏玉米绿色高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在河南省新乡市延津县进行。试验地土壤类型为潮土,其基本理化性状为 pH 6.5、有机质

12.8 g/kg、全氮 0.151 g/kg、碱解氮 84.3 mg/kg、有效磷 16.3 mg/kg、速效钾 83.9 mg/kg,有效硫 12.8 mg/kg。

1.2 供试材料

供试作物:夏玉米,品种为“郑单 958”,种植密度 82500 株/hm²。

供试肥料:黄腐酸尿素(N≥45%, FA 2.0%)、腐植酸尿素(N≥45%, HA 2.0%)、控失尿素(N≥45%)、普通尿素(N, 46%)、普通 BB 肥(30-8-10)、颗粒磷酸二铵(18-46-0)、颗粒氯化钾(K₂O≥60%)、过磷酸钙(P₂O₅≥16%)。其中,黄腐酸尿素、腐植酸尿素、控失尿素由河南心连心化学工业集团股份有限公司生产提供,其他肥料均在当地农化市场购买。

1.3 试验设计

试验共设 6 个处理,每个处理 3 次重复,共 18 个小区,每小区面积 30 m²,随机区组排列,小区之间均设置保护行和走道。各处理氮、磷、钾养分投入依据当地土壤肥力以及夏玉米需肥规律确定,具体施肥处理如下。处理 1 (CK): 不施氮肥,过磷酸钙 375 kg/hm²,氯化钾 125 kg/hm²; 处理 2: 农民常规施肥,普通尿素 535.9 kg/hm²,颗粒磷酸二铵 130.4 kg/hm² 和颗粒氯化钾 125 kg/hm²; 处理 3:



普通 BB 肥, 基施 750 kg/hm²; 处理 4: 控失尿素, 基施 500 kg/hm², 过磷酸钙 375 kg/hm², 氯化钾 125 kg/hm²; 处理 5: 腐植酸尿素, 基施 500 kg/hm², 过磷酸钙 375 kg/hm², 氯化钾 125 kg/hm²; 处理 6: 黄腐酸尿素, 基施 500 kg/hm², 过磷酸钙 375 kg/hm², 氯化钾 125 kg/hm²。各处理肥料施用量详见表 1。

表 1 不同处理肥料施用量
Tab.1 Fertilizer application number of different treatments kg/hm²

处理	基施氮肥 (N)	基施磷肥 (P ₂ O ₅)	基施钾肥 (K ₂ O)
处理 1	0	60	75
处理 2	270	60	75
处理 3	225	60	75
处理 4	225	60	75
处理 5	225	60	75
处理 6	225	60	75

种植方式及田间管理措施均采用当地大田的常规方法。所有小区统一播种, 统一病虫害防治, 确保同一作业当日完成。

1.4 测试项目与方法

产量测定: 夏玉米收获时每小区进行单打单收, 以小区实测, 按含水量 14% 计产。

氮肥利用率测定: 夏玉米收获时, 每个小区取玉米 3 株, 风干并烘干至恒重, 送化验室。采用硫酸-双氧水消煮法^[7]分别测定籽粒和秸秆氮含量。吸氮量 = 籽粒干物质质量 × 籽粒氮含量 (或植株秸秆干物质质量 × 秸秆氮含量); 地上部吸氮量 = 植株秸秆吸氮量 + 籽粒吸氮量; 氮肥利用率 (%) = (施氮处理地上部吸氮量 - 不施氮处理地上部吸氮量) × 100 / 施氮量。

土壤硝态氮含量测定: 夏玉米收获后, 每个小区取 0 ~ 100 cm 深度土壤, 分 5 层取样: 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm, 测定土壤硝态氮含量。样品风干后采用氯化钙溶液浸提, 流动分析仪测定不同深度土壤硝态氮含量。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2010 软件和 SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析。采用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对夏玉米产量构成因子的影响

由表 2 可知, 不同施肥处理对夏玉米产量构成因子的影响不同。从夏玉米穗数来看, 各处理之间无显著差异; 从穗粒数来看, 施氮肥处理与不施氮 (处理 1) 相比显著增加, 施氮肥处理间无显著差异; 其中, 以施用黄腐酸尿素 (处理 6) 最多; 穗粒数增幅 76.7 ~ 88.4 粒 / 穗, 增长率 22.46% ~ 25.88%, 以施用腐植酸尿素 (处理 5) 最多。从百粒重来看, 不同处理依次为: 处理 6 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1; 处理 1 与各施氮肥处理差异均显著; 处理 3、处理 4、处理 5 之间差异不显著, 但与处理 2、处理 6 差异均达显著水平; 以处理 6 百粒重最高, 为 30.23 g, 较处理 1 ~ 处理 5 分别增加 21.02%、13.73%、7.12%、6.63%、4.28%。综合来看, 各施肥处理主要通过影响百粒重这一产量构成因子来影响夏玉米产量, 其中以黄腐酸尿素促进效果最好。

表 2 不同施肥处理对夏玉米产量构成因子的影响
Tab.2 Effects of different fertilization treatments on yield components of summer maize

处理	穗数 (个 / hm ²)	穗粒数 (粒 / 穗)	百粒重 (g)
处理 1	82499.0a	341.5b	24.98d
处理 2	82515.0a	418.2a	26.58c
处理 3	82513.0a	428.4a	28.22b
处理 4	82516.0a	428.7a	28.35b
处理 5	82516.0a	429.9a	28.99b
处理 6	82518.0a	428.8a	30.23a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.2 不同施肥处理对夏玉米产量影响

由表 3 可知, 不同施肥处理对夏玉米产量影

响不同, 表现为: 处理 6 > 处理 4 > 处理 5 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1; 处理 1 与各施氮肥处理差异显著, 处理 2 与处理 3 ~ 处理 6 差异显著, 处理 3 与处理 4、处理 6 差异显著, 处理 3、处理 5 间差异不显著, 处理 4、处理 5 间差异不显著, 但与处理 6 差异均达显著水平; 以处理 6 产量最高, 为 10434.3 kg/hm²; 以处理 1 产量最低, 为

7742.1 kg/hm²。处理 6 较处理 1 ~ 处理 5 增产率分别为 34.77%、3.27%、2.16%、1.05%、1.39%。处理 4、处理 5 分别较处理 2 提高 2.19%、1.86%, 较处理 3 产量提高 1.10%、0.77%。综合来看, 相比农民常规施肥和普通 BB 肥, 控失尿素、腐植酸尿素和黄腐酸尿素均能提高玉米产量, 以黄腐酸尿素效果最显著, 说明黄腐酸尿素的增产潜力最大。

表 3 不同施肥处理对夏玉米产量的影响

Tab.3 Effects of different fertilization treatments on yield of summer maize

处理	产量 (kg/hm ²)	较处理 1 增产		较处理 2 增产	
		kg/hm ²	%	kg/hm ²	%
处理 1	7742.1e	—	—	—	—
处理 2	10104.1d	2362.0	30.51	—	—
处理 3	10213.3c	2471.2	31.92	109.2	1.08
处理 4	10325.6b	2583.5	33.37	221.5	2.19
处理 5	10291.6bc	2549.5	32.93	187.5	1.86
处理 6	10434.3a	2692.2	34.77	330.2	3.27

2.3 不同施肥处理对夏玉米氮肥利用率的影响

由表 4 可知, 不同施氮肥处理对夏玉米氮肥利用率的影响不同, 表现为: 处理 6 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 3 > 处理 2, 且各处理之间差异显著。处理 6 氮肥利用率为 35.91%, 分别比其他施氮肥处理提高 11.87、5.87、2.78 和 1.86 个百分点; 处理 5 氮肥利用率为 34.05%, 分别比处理 2 ~ 处理

4 提高 10.01、4.01、0.92 个百分点; 处理 4 氮肥利用率为 33.13%, 分别比处理 2、处理 3 提高 9.09、3.09 个百分点。综合来看, 相比农民常规施肥和普通 BB 肥, 控失尿素、腐植酸尿素和黄腐酸尿素均有利于提高氮肥利用率, 以黄腐酸尿素最为显著, 这与其改善根系生长、增强氮代谢酶活性的作用机制有关。

表 4 不同施肥处理对氮肥利用率的影响

Tab.4 Effects of different fertilization treatments on nitrogen use efficiency

处理	籽粒		秸秆		地上部吸氮总量 (kg/hm ²)	氮肥利用率 (%)
	干物质量 (kg/hm ²)	氮含量 (%)	干物质量 (kg/hm ²)	氮含量 (%)		
处理 1	6658.2	1.03	7487.2	0.32	92.54	—
处理 2	8689.5	1.24	9742.3	0.51	157.44	24.04e
处理 3	8783.4	1.23	9827.4	0.53	160.12	30.04d
处理 4	8880.0	1.26	9855.6	0.56	167.08	33.13c
处理 5	8850.8	1.26	10112.6	0.57	169.16	34.05b
处理 6	8973.5	1.26	10213.5	0.59	173.33	35.91a

2.4 不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响

由图 1 可知, 不同施肥处理对土壤硝态氮含

量的影响不同。同一处理, 硝态氮含量主要集中在 0 ~ 100 cm 中。与处理 1 相比, 施氮肥处理对



夏玉米收获后 0 ~ 100 cm 土层硝态氮含量均有不同程度提高；且施氮肥处理不同土层硝态氮含量均随土层加深而降低。同一土层，不同施氮肥处理硝态氮含量依次为处理 2 > 处理 3 > 处理 4 > 处理 5 > 处理 6，且以处理 6 降低土壤硝态氮累积

效果最为显著。综合来看，相比农民常规施肥和普通 BB 肥，控失尿素、腐植酸尿素和黄腐酸尿素均能够减少土壤 0 ~ 100 cm 深度硝态氮含量，其中黄腐酸尿素的控释保肥及减控残留效果最为突出，可显著降低氮素淋溶风险。

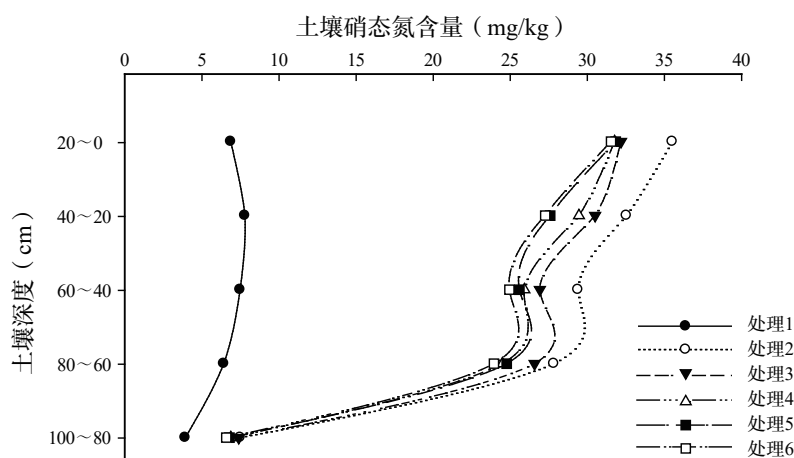


图 1 不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on nitrate nitrogen content of soil

3 结论

(1) 施氮肥处理均显著增加了夏玉米穗数、穗粒重和百粒重，显著提高了夏玉米产量。分析产量构成因子与产量的关系，施氮肥处理主要通过增加夏玉米的百粒重来增加产量。不同施氮肥处理相比，控失尿素、腐植酸尿素、黄腐酸尿素相比农民常规施肥和普通 BB 肥效果更佳，以黄腐酸尿素表现最佳。

(2) 不同施氮处理对夏玉米氮肥利用率影响不同，相比农民常规施肥和普通 BB 肥，控失尿素、腐植酸尿素、黄腐酸尿素均能提高夏玉米氮肥利用率，以黄腐酸尿素表现最佳。

(3) 相比不施氮肥处理，施氮处理均会导致土壤硝态氮的累积，虽然累积程度不同，但硝态氮在土壤剖面的分布特征表现为一致规律，即随土层深度 0 ~ 100 cm 增加呈显著递减趋势。相比农民常规施肥和普通 BB 肥，控失尿素、腐植酸尿素、黄腐酸尿素均不同程度地降低了土壤硝态氮含量，以黄腐酸尿素效果最为显著。

参考文献

- [1] 朱兆良, David N, 孙波. 中国农业面源污染控制对策 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [2] 任翠莲, 马银丽, 董嫻嫻, 等. 控释尿素对夏玉米产量、氮肥利用效率及土壤硝态氮的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2012, 35 (2): 12 ~ 17.
- [3] 夏循峰, 胡宏. 我国肥料的使用现状及新型肥料的发展 [J]. 化工技术与开发, 2011, 40 (11): 45 ~ 48, 4.
- [4] 东强, 朱定英, 周新, 等. 缓释尿素配施黄腐酸对黑青稞干物质积累、分配及转运的影响 [J]. 中国农学通报, 2023, 39 (11): 57 ~ 63.
- [5] 李泽丽, 刘之广, 张民, 等. 控释尿素配施黄腐酸对小麦产量及土壤养分供应的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (4): 959 ~ 968.
- [6] 李萌. 控释尿素与黄腐酸配施对甜玉米产量、品质和氮效率的影响 [D]. 河北科技师范学院硕士学位论文, 2024.
- [7] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.