

鲁中地区玉米缓控释肥试验效果研究

刘玉婷¹, 宋淑玲^{1*}, 王 荣², 高燕春¹, 郑文魁³

¹淄博市数字农业农村发展中心, 山东 淄博

²淄博市淄川区龙泉镇人民政府, 山东 淄博

³山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安

收稿日期: 2022年7月10日; 录用日期: 2022年8月10日; 发布日期: 2022年8月18日

摘 要

目的: 为提高玉米的科学施肥水平, 探索出最适合鲁中地区玉米生产的缓控释肥条件。方法: 以玉米为试材, 设置CK空白对照、T1常规施肥、T2配方施肥、T3树脂包膜缓控释肥和T4脲甲醛缓控释肥5个处理, 并对供试玉米的生物学性状、产量及经济效益进行分析。结果: 试验结果表明: 在试验地块条件下, 与常规施肥和配方施肥相比较, 缓控释肥处理的玉米生物学性状表现为根条数增加, 叶片功能期延长, 植株长势旺盛, 果实籽粒饱满无秃尖, 抗逆能力强; 对提高玉米的产量、经济效益和肥料利用率都有显著的作用效果, 并且脲甲醛缓控释肥各类作用效果指标要好于树脂包膜缓控释肥, 具有最多的穗粒数为570.73粒, 最大千粒重为317.75 g, 最高产量为10218.70 kg/hm², 最大产值为27590.49元/hm²和产投比为5.36, 最大肥料偏生产力为42.52。结论: 在鲁中地区玉米种植试验地块下建议采用脲甲醛缓控释肥可以有效提高玉米的产量, 同时获得最大经济和生态效益, 建议施肥配比(折纯)为全年施用氮肥156.30 kg/hm², 磷肥30.00 kg/hm², 钾肥54.00 kg/hm², 在此施肥模式下可以实现鲁中地区玉米一次性施肥节肥增效, 有利于鲁中地区玉米生产的健康、绿色、可持续发展。

关键词

玉米, 缓控释肥, 产量, 产值, 产投比

Study on the Effect of Slow/Controlled Release Fertilizer Experiment for Maize in Central Shandong Area

Yuting Liu¹, Shuling Song^{1*}, Rong Wang², Yanchun Gao¹, Wenkui Zheng³

¹Zibo Municipal Digital Agriculture and Rural Development Center, Zibo Shandong

²People's Government of Longquan Town, Zichuan District, Zibo Shandong

³College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

*通讯作者。

文章引用: 刘玉婷, 宋淑玲, 王荣, 高燕春, 郑文魁. 鲁中地区玉米缓控释肥试验效果研究[J]. 农业科学, 2022, 12(8): 722-730. DOI: 10.12677/hjas.2022.128103

Abstract

Objectives: This study aimed to improve the scientific fertilization level of maize and to explore the most suitable slow/controlled release fertilizer conditions for maize production in central Shandong. **Methods:** The maize was treated using five methods of fertilizer application: blank control (CK), conventional fertilization (T1), formula fertilization (T2), resin-coated slow/controlled release fertilizer (T3) and urea formaldehyde slow/controlled release fertilizer (T4). The indexes of biological characters, yield and economic benefits of maize were analyzed after the experiment. **Result:** Under the conditions of the experimental sites, compared with conventional fertilization and formula fertilization, the biological characters of maize treated with slow-release fertilizer were as follows: the number of roots increased, the leaf functional period was prolonged, the plant was vigorously growing, the fruit grains were plump without bald tips, and the stress resistance was strong. It had a significant effect on improving corn yield, economic benefits and fertilizer utilization, and the various effect indicators of urea formaldehyde slow/controlled release fertilizer were better than those of resin coated slow and controlled release fertilizer. The maximum number of grains per ear was 570.73, the maximum thousand-grain weight was 317.75 g, the maximum yield was 10218.70 kg/hm², the maximum output value was 27590.49 yuan/hm², the output-to-input ratio was 5.36, and the maximum fertilizer partial productivity was 42.52. **Conclusion:** It is recommended to use urea formaldehyde slow/release fertilizer under the maize planting test plot in central Shandong, which can effectively increase the yield of maize, and at the same time obtain the maximum economic and ecological benefits. The recommended fertilization ratio (in pure form) is the annual application of nitrogen fertilizer 156.30 kg/hm², phosphate fertilizer 30.00 kg/hm², potassium fertilizer 54.00 kg/hm². Under this fertilization mode, one-time fertilization of maize in central Shandong can be achieved, saving fertilizer and increasing efficiency, which is beneficial to the healthy, green and sustainable development of maize production in central Shandong.

Keywords

Maize, Slow/Controlled Release Fertilizer, Yield, Output Value, Production-to-Input Ratio

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

玉米集食用、药用、饲用和工业用等用途于一体,是我国三大粮食作物中种植面积最大、总产量最多的粮食作物[1],由于其产量高,需肥量大,施肥已成为调控玉米产量的主要手段[2]。山东省作为黄淮海区域小麦-玉米轮作的典型代表,是我国玉米种植生产大省。2021年,山东省淄博市玉米播种面积为171.16万亩,总产量75.86万吨,平均每公顷产量6647.72 kg,鲁中地区种植区域主要分布在高青、桓台、临淄、淄川等地,北部平原区玉米施肥方式分为基施和追施,基肥品种主要有复合肥、缓控释肥、磷酸二铵,追肥主要有尿素和碳酸氢铵;而南部山区大多采取“一炮轰”的施肥方式。为保证玉米的高产,玉米生育后期需追施肥料,但追肥极为不便,费时费工费力,加上玉米生长期高温多雨,所施肥料淋失严重,造成了成本投入的增加、肥料资源的浪费和生态环境的压力[3]。而缓控释肥具有肥效期长且稳定

释放, 少次甚至 1 次施用就能满足作物在整个生育期对养分需求的特点, 可以很好地解决上述问题[4]。我国对缓控释肥的研究发展时间在世界范围内相对较晚, 于 20 世纪 70 年代初期开始研究“应用以碳铵和磷酸铵镁制成的包膜粒状碳铵缓释肥” [5], 目前我国的研究主要集中在肥料的包膜材料上, 主要通过改变包膜材料的化学组分实现养分的缓慢释放[4]。大量研究表明, 与施用普通尿素相比, 应用缓控释肥可减少 10%~30%的施氮量, 同时达到稳产或高产的作用效果[6] [7]。李敏等研究表明, 缓释氮肥或缓释氮肥与尿素掺混可增产 2.8%~33.0%, 氮肥利用率可增加 9.61%~27.61% [8]。王宜伦等研究表明, 玉米专用缓释肥和普通氮肥 2 次施用相比, 产量和氮肥利用率分别提高 4.88%和 2.95% [9]。杨岩、宋梓璇等研究表明, 黄淮海夏玉米和东北春玉米生产中采用减少 20%氮用量的一次性施树脂包膜尿素缓释肥料施肥方式, 与传统施肥处理相比, 氮肥偏生产力明显提高 33.85%和 17.47% [10] [11]。因此, 通过玉米缓控释肥能对玉米生长用肥起到很好的调节作用。在玉米苗期肥效缓慢释放, 生长旺盛期迅速释放, 满足玉米各个生长时期对养分的不同需求, 延长肥效释放时间并防控有效营养元素的流失[12] [13], 从而更好地保证玉米种植生产的产量的稳定, 减少施肥次数和施肥成本, 并产生良好的经济效益和生态效益。

本试验研究目的在于通过玉米缓控释肥与常规施肥、配方施肥相比较, 研究其对玉米生物学性状、产量及经济效益的作用效果, 探索出适合鲁中地区玉米生产的缓控释肥方式, 提高玉米的产量、肥料利用率和经济效益, 减少生态环境压力, 以期为玉米缓控释肥的合理生产应用提供科学试验依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验地概况

本次试验地块位于在山东省淄博市桓台县果里镇鲁中农作物研究所基地。试验地块壤质砂姜黑土, 地势平坦, 水浇条件好, 肥力较高, 种植模式为冬小麦 - 夏玉米轮作[14]。每年 10 月上旬到次年 6 月中旬为冬小麦的生育期, 6 月中旬到 9 月下旬[15]为夏玉米的生育期。该地块土壤养分各项化验指标见表 1。

Table 1. Soil nutrient content of test plot

表 1. 试验地块土壤养分含量

有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH
23.7	1.487	16	185	7.9

2.2. 供试材料

供试材料为玉米, 品种为郑单 958, 露地栽培。供试肥料为普通复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 15:15:15), 配方肥(N:P₂O₅:K₂O = 18:12:10), 脲甲醛缓控释肥(N:P₂O₅:K₂O = 26:5:9)均为农大肥业生产; 树脂包膜缓控释肥(N:P₂O₅:K₂O = 26:5:9)为山东舜天化工集团有限公司生产。

2.3. 试验设计

试验共设 5 个处理, 3 次重复, 小区面积 67.5 m², 包括 1 个空白对照, 4 个全生育期施肥总养分折纯量统一为 240.30 kg/hm² 的施肥处理。其中, 对照处理 CK 为空白对照; T1 为常规施肥处理, 施用普通复合肥(15-15-15) 534 kg/hm²; T2 为配方施肥处理, 施用配方肥(18-12-10) 600.75 kg/hm²; T3 为缓控释肥处理, 施用树脂包膜缓控释肥(26-5-9) 600.75 kg/hm²; T4 为缓控释肥处理, 施用脲甲醛缓控释肥(26-5-9) 600.75 kg/hm²; 2021 年 6 月 21 日试验地施肥, 6 月 22 日播种, 9 月 17 日进行田间测产, 10 月 8 日收获取样, 室内考种。其他浇水、病虫害防治等管理措施按照当地农户习惯生产方式管理, 试验采用随机区组设计, 各处理施肥方案见表 2。

Table 2. Calculation of slow/controlled release fertilizer test plan**表 2.** 缓控释肥试验方案计算表

编号	处理	化肥折纯用量(kg/hm ²)				小区施肥用量(kg)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总养分	
CK	不施肥	0	0	0	0	0
T1	常规施肥	80.10	80.10	80.10	240.30	3.60
T2	配方施肥	108.15	72.15	60.00	240.30	4.05
T3	树脂包膜缓控释肥	156.30	30.00	54.00	240.30	4.05
T4	脲甲醛缓控释肥	156.30	30.00	54.00	240.30	4.05

2.4. 样品采集与测定

试验开展前,采集 0~20 cm 耕层土壤,按照实验室常规方法测定土壤的有机质、全氮、有效磷、速效钾和 pH [16]。每个小区选取有代表性的玉米植株 10 株,在玉米出苗后及喇叭口期对其生物学性状进行观察,在玉米收获期进行玉米产量构成因素田间测量,各小区收获取样,室内考种计产。

2.5. 数据处理

采用 WPS 统计数据, dps 数据处理软件和 3414 田间试验设计与数据分析管理系统软件进行统计分析,采用最小显著极差法(LSR-SSR)进行差异性显著分析。

LSR-SSR 即将一组 k 个平均数由大到小排列后,根据所比较的两个处理平均数的差数与最小显著极差比较,如果其绝对值 $\geq LSR_{\alpha}$,即为在 α 水平上差异显著;反之,则在 α 水平上差异不显著。其公示原理为 $LSR_{\alpha} = SE \times SSR_{\alpha,P}$, $SE = \sqrt{SS_E/n}$ 。其中, LSR_{α} 为最小显著极差; SE 为标准差; $SSR_{\alpha,P}$ 为极差的平均数个数的分布概率,可以查 SSR 表; $2 \leq P \leq k$, P 为秩次距, k 为处理数。

3. 结果与分析

3.1. 玉米缓控释肥对生物学性状的影响

在玉米出苗后及喇叭口期进行生物学性状观察,根据田间观察记载,CK(空白对照)表现为植株生长矮小,根系瘦弱,叶片发黄[14],中后期长势较弱,果实有秃尖和缺粒现象。T1(常规施肥)、T2(配方施肥)、T3(树脂包膜缓控释肥)和 T4(脲甲醛缓控释肥)与 CK 相比植株生长健壮,根系发达,叶片浓绿,果实的籽粒比较饱满。尤其以 T3(树脂包膜缓控释肥)和 T4(脲甲醛缓控释肥)拔节期后新根条数增加较快,叶片的衰老速度减缓,功能期延长[17],中后期长势旺盛,果实籽粒更加饱满,无秃尖现象,抗逆性能增强。

3.2. 玉米缓控释肥对产量构成因素及产量的影响

3.2.1. 玉米缓控释肥对穗粒数和千粒重的影响

由田间测产数据图 1 可以看出, T1~T4 施肥处理的穗粒数与 CK 相比具有显著差异,并且 T3~T4 缓控释肥处理与配方施肥和常规施肥处理相比也表现为差异极显著, T4 脲甲醛缓控释肥处理的穗粒数最多,平均为 570.73 粒,其次为 T3 树脂包膜缓控释肥处理,平均为 563.33 粒。说明缓控释肥均能够提高穗粒数,且脲甲醛缓控释肥对玉米穗粒数的影响要大于树脂包膜缓控释肥。

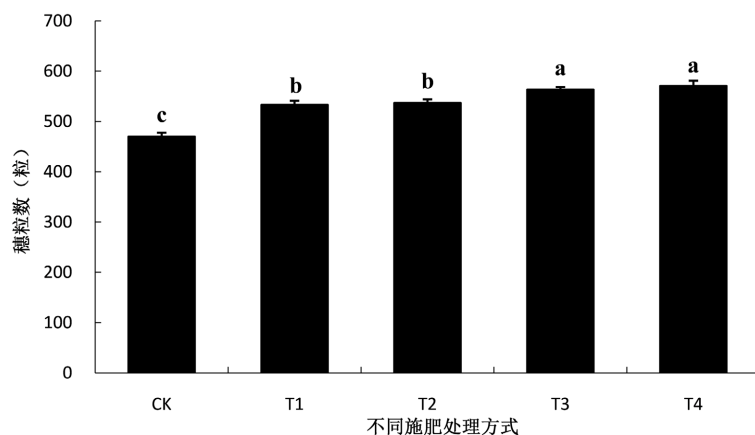


Figure 1. The effect of slow/controlled release fertilizer on the number of maize ears
图 1. 缓控释肥对玉米穗粒数影响

由室内考种结果图 2 可以看出, T1~T4 施肥处理的千粒重与 CK 相比具有显著差异, 由大到小依次为 T4 > T3 > T2 > T1 > CK, 分别为 317.75 g、315.11 g、304.09 g、297.92 g 和 266.60 g。T3~T4 缓控释肥处理均与 T1 常规施肥处理间差异极显著, 且 T4 脲甲醛缓控释肥处理与 T2 配方施肥处理也表现为极显著差异。由此可以看出, 缓控释肥对玉米的千粒重有影响, 且脲甲醛缓控释肥对玉米千粒重的影响要大于树脂包膜缓控释肥。

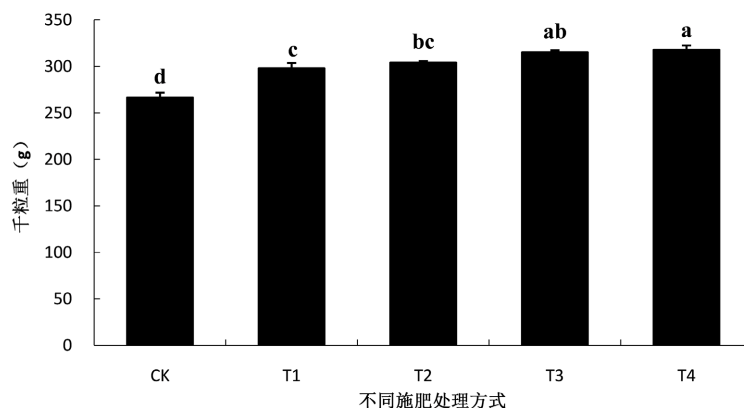


Figure 2. The effect of slow/controlled release fertilizer on thousand kernel weight of maize
图 2. 缓控释肥对玉米千粒重影响

3.2.2. 玉米缓控释肥对产量的影响

通过表 3 室内考种结果可以看出, 玉米的产量由大到小均依次为 T4 > T3 > T2 > T1 > CK, 表 4 用最小显著极差法(LSR-SSR)进行方差分析可以看出各处理间 F 值为 30.983, 大于 $F_{0.05}$ 值 3.838, 差异极显著水平。其中, 与空白对照相比较, 产量最高的为 T4 脲甲醛缓控释肥处理, 平均产量可达 10218.70 kg/hm², 增产率可达 44.74%, 其次为 T3 树脂包膜缓控释肥处理, 平均产量可达 9999.30 kg/hm², 增产率可达 41.63%。

与常规施肥 T1 相比, 树脂包膜缓控释肥 T3 和脲甲醛缓控释肥 T4 分别增产 1059.35 kg/hm² 和 1278.75 kg/hm², 增产率可达 11.85% 和 14.30%, 差异极显著。与配方施肥 T2 相比, 树脂包膜缓控释肥 T3 和脲甲醛缓控释肥 T4 也表现为增产, 分别增产 801.05 kg/hm² 和 1020.45 kg/hm², 增产率可达 8.71% 和 11.09%, 差异极显著。

Table 3. The effect of slow/controlled release fertilizer on maize yield
表 3. 缓控释肥对玉米产量影响

处理	每公顷产量(kg/hm ²)				增产量 (kg/hm ²)	增产率 (%)
	小区 I	小区 II	小区 III	平均值		
CK	6926.85	7497.60	6755.40	7059.95c	-	-
T1	8738.25	9121.35	8960.25	8939.95b	1880.00	26.63
T2	8889.15	9373.65	9331.95	9198.25b	2138.30	30.29
T3	10285.20	9951.00	9761.70	9999.30a	2939.35	41.63
T4	10119.00	9721.35	10815.75	10218.70a	3158.75	44.74

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著(p < 0.05)。

Table 4. Analysis of variance table for the effect of slow/controlled release fertilizer on maize yield
表 4. 缓控释肥对玉米产量影响方差分析表

变异因素	自由度	平方和	方差	F 值	F _{0.05}	F _{0.01}
处理间	4	18767691.249	4691922.812	30.983	3.838	7.006
重复间	2	63005.988	31502.994	0.208	4.459	8.649
误差	8	1211473.722	151434.215	-	-	-
总数	14	20042170.959	-	-	-	-

注：对试验数据进行方差分析，求得处理间 F 值为 30.983 > F_{0.05} = 3.838，差异极显著。

综上所述，在总养分相同条件下，施用玉米配方肥和缓控释肥比常规施肥具有更好的增产作用效果，且缓控释肥提高产量的效果更佳，而缓控释肥中脲甲醛缓控释肥比树脂包膜缓控释肥增产作用效果更好。

3.3. 玉米缓控释肥经济效益分析

由表 5 不同处理投入产出效益分析可知，玉米一次性施肥对人工、种子、农机田间作业等投入费用影响较小，因此，在设定其他投入相同的前提下，仅计算化肥的成本投入进行分析比较。其中，玉米复合肥按照 2645 元/t，玉米配方肥按照 2350 元/t，树脂包膜缓控释肥按照 2730 元/t，脲甲醛缓控释肥按照 2650 元/t 计算，收益主要按照玉米平均价格 2.7 元/kg 计算。与 CK 相比，T1~T4 各施肥处理均能够提高产值，获得良好的经济效益，并且 T1~T4 产值和产投比由高到低均依次为 T4 > T3 > T2 > T1 > CK。且经济效益最高的脲甲醛缓控释肥 T4 产值为 27590.49 元/hm²，产投比为 5.36，较 T3 树脂包膜缓控释肥产值和产投比分别提高 592.38 元/hm² 和 0.52，其原因在于脲甲醛缓控释肥处理的产量高，因此产值高；同时脲甲醛缓控释肥的收益增加值又较树脂包膜缓控释肥大，而成本增加值较树脂包膜缓控释肥小，因此具有最高的产投比。通过计算各施肥处理的偏生产力可知其由高到低同样为 T4 > T3 > T2 > T1 > CK，说明在相同的土壤地力水平条件下缓控释肥的施肥作用效果更好，肥料利用率更高，并且脲甲醛缓控释肥大于树脂包膜缓控释肥。

因此，综合考虑缓控释肥对玉米的产量和经济效益影响，在该试验基地采用脲甲醛缓控释肥对于有效减少化肥用量，提高肥料利用率，增加玉米产量，提高玉米生产经济效益具有最佳作用效果。

Table 5. The economic benefit of slow/controlled release fertilizer on maize
表 5. 缓控释肥对玉米产生的经济效益影响

处理	产量 (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²)	肥料成本 (元/hm ²)	成本增加值 (元/hm ²)	收益增加值 (元/hm ²)	产投比	化肥 偏生产力
CK	7059.95	19061.87	0	-	-	-	-
T1	8939.95	24137.87	1409.76	1409.76	5076.00	3.60	37.20
T2	9198.25	24835.28	1411.76	1411.76	5773.41	4.09	38.28
T3	9999.30	26998.11	1640.05	1640.05	7936.24	4.84	41.61
T4	10218.70	27590.49	1591.99	1591.99	8528.63	5.36	42.52

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)；成本增加值 = 施肥处理肥料成本 - 对照处理肥料成本；收益增加值 = 施肥处理产值 - 对照处理产值；产投比 = 收益增加值 ÷ 成本增加值。化肥的偏生产力 = 单位面积的玉米产量/单位面积施用化肥的纯养分量。

4. 讨论

4.1. 缓控释肥对玉米生产增产节肥具有良好的作用效果

美国作物营养检查官协会(AAPFCO)对缓释和控释肥料的定义为：所含养分形式在施肥后能延缓被作物吸收与利用的肥料；所含养分比速效肥有更长肥效的肥料[18]。在玉米播种时采用缓控释肥，与传统化肥相比，一方面可以增加玉米的穗粒数和千粒重，这可能与缓控释肥能够在玉米的不同生长期持续提供养分有关，玉米的穗粒数和千粒重同时又是决定玉米产量的关键因素；另一方面采用缓控释肥也可以提高肥料的利用率[4]，起到节肥和保肥的作用。有研究表明，玉米专用缓释肥 1 次施肥与普通氮肥 2 次施用相比，产量和氮肥利用率分别提高了 4.88% 和 2.95% [4] [19]，在收获相同产量的情况下，施用缓释氮肥比尿素能够节省 30% 的施氮量[4]。

4.2. 降低肥料成本成为未来缓控释肥研究的发展方向

大多数农作物的生长后期需要进行追肥，施肥难度大，人力物力消耗成本高，缓控释肥 1 次性基施即可满足作物的全生育期需肥要求，可以简化玉米生产栽培环节、大幅降低劳动力成本，尤其像玉米这类生育期较短的作物[4]，缓控释肥可保证玉米的稳产高产，甚至可节省一半以上的成本[19]。而缓控释肥的生产成本高于普通复合肥，其主要来源于缓控释材料的成本，未来通过降低肥料的生产成本[20]，利用更加合适又低廉的缓控释材料，改良生产工艺、流程与技术，提高肥料的利用率是缓控释肥生产研究的重要发展方向，对于加大其在主要农作物上的推广和应用，在生产上和经济上提供了可行性。

4.3. 玉米缓控释肥具有良好的发展前景

我国对缓控释肥的研究起步较晚，开始于 20 世纪 70 年代[5] [21]，但其发展较迅速，并取得了较好的研究成果。玉米缓控释肥具有肥效时长、利用率高、环境友好、方便快捷等特点，玉米生长季节多雨，需肥量大，土壤养分的供应难以满足其生长发育的需要[22]，而玉米缓控释肥释放有效养分的时间与玉米不同生育阶段对养分的需求基本一致，可以实现一次性施肥即可满足玉米整个生长期的需肥需要。因此，根据生产实际，密切结合玉米的高产、高效、经济和生态效益，开展玉米缓控释肥的应用研究，具有重要的理论研究和生产实践价值。缓控释肥在未来也将有更大的发展研究空间，能够逐渐成为肥料市场发展的方向，具有更加良好的发展前景[5]。

5. 结论

通过本试验研究,有效地印证了玉米缓控释肥在玉米生产中的积极作用效果,在前人研究结论的基础上进一步对缓控释肥在玉米生产中增加产量,降低生产成本,提高经济效益和肥料利用率等方面进行了更深刻论证,并从产量构成因素方面进行了合理性分析。与前人相比创新采用了两种类型缓控释肥在产量构成因素、玉米产量、经济效益等方面进行了对比试验,通过对比发现采用脲甲醛缓控释肥比树脂包膜缓控释肥在鲁中地区具有更好的作用效果,并总结出符合鲁中地区生产实际的最佳施肥配方。综上所述,在淄博市桓台县鲁中农作物研究所试验地块条件下,采用缓控释肥比复合肥和配方肥增产作用效果明显,同时起到节本增效,提高肥料利用率[23],减少生态环境污染的作用。并且采用脲甲醛缓控释肥可以有效提高玉米的产量,获得最大经济和生态效益。该区域玉米种植生产脲甲醛缓控释肥建议施肥配比(折纯)为全年施用氮肥 156.30 kg/hm²,磷肥 30.00 kg/hm²,钾肥 54.00 kg/hm²。在此施肥模式下可以获得最高的玉米产量和经济效益,实现一次性施肥节肥增效,有利于鲁中地区玉米生产的健康、绿色、可持续发展。

基金项目

农业农村部农业资源及生态保护补助资金——耕地保护与质量提升项目(农计财发[2021]8号),淄博市现代农业产业技术体系玉米创新团队。

参考文献

- [1] 王宜伦, 自由路, 王磊, 等. 基于养分专家系统的小麦-玉米推荐施肥效应研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(22): 4483-4492.
- [2] 王宜伦, 李潮海, 王瑾, 等. 缓/控释肥在玉米生产中的应用与展望[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 254-257.
- [3] 高鹏, 张睿. 玉米缓控释肥的产量效应研究[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(2): 15-16+20.
- [4] 马泉, 王亚华, 王梦尧, 等. 缓控释肥的发展应用与评价体系研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 24-29.
- [5] 李宗新, 王庆成, 齐世军, 等. 控释肥对玉米高产的应用效应研究进展[J]. 华北农学报, 2007(S1): 127-130.
- [6] Zheng, W.K., Zhang, M., Liu, Z.G., et al. (2016) Combining Controlled-Release Urea and Normal Urea to Improve the Nitrogen Use Efficiency and Yield under Wheat-Maize Double Cropping System. *Field Crops Research*, **197**, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.004>
- [7] Geng, J.B., Sun, Y.B., Zhan, G.M., et al. (2015) Long-Term Effects of Controlled Release Urea Application on Crop Yields and Soil Fertility under Rice-Oilseed Rape Rotation System. *Field Crops Research*, **184**, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.003>
- [8] 李敏, 叶舒娅, 刘枫, 等. 施用缓释氮肥对夏玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(16): 8895-8896, 8936.
- [9] 王宜伦, 卢艳丽, 刘举, 等. 专用缓释肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(1): 29-32.
- [10] 杨岩, 谭德水, 江丽华, 等. 黄淮海夏玉米一次性施肥技术效应研究[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3909-3919.
- [11] 宋梓璇, 李虎, 李建政, 等. 控释肥对东北春玉米产量和土壤氮挥发的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(10): 2342-2349.
- [12] 朱金英, 张书良, 李升东, 等. 不同控释肥在夏玉米种植中的应用效应[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(21): 35-37+41.
- [13] 邱现奎. 粉煤灰包膜缓释肥的制备及其对作物生长的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [14] 邱化义, 张兆坤, 刘加廷, 等. 涡阳县玉米化肥减量效果试验[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(8): 92-93.
- [15] 秦雪超, 潘君廷, 郭树芳, 等. 化肥减量替代对华北平原小麦-玉米轮作产量及氮流失影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(7): 1558-1567.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 128-132.

- [17] 李娜. 水稻氮效率基因型差异及其对不同水氮管理措施响应[D]: [博士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [18] 王恩飞, 崔智多, 何璐, 等. 我国缓/控释肥研究现状和发展趋势[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12762-12764+12767.
- [19] 司东霞, 崔振岭, 陈新平, 等. 不同控释氮肥对夏玉米同化物积累及氮平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1745-1751.
- [20] 高鹏. 缓控释肥对夏玉米产量及其农艺性状的效应[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [21] 吴雪梅. 聚合物结构对尿素缓释性能的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [22] 王庆成, 李宗新, 刘开昌, 等. 玉米专用缓/控释肥的研究现状及展望[C]//中国作物学会栽培专业委员会换届暨学术研讨会论文集. 2007: 608-612.
- [23] 吕思琪. 缓释肥料氮效率与粳稻养分同步吸收研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.