

Study on Development and Fertilization Effect of Special Fertilizer of Water-Retaining Type Solow-Release Corn

Pingsheng Wang¹, Liqun Cai², Xia Yang¹, Hong Han¹, Qingyan Huang¹, Jun Wu², Fang Zhang¹, Haiou Bai¹

¹Academy of Agricultural Sciences of Gansu Linxia Prefecture, Linxia Gansu

²Resources and Environment Faculty of Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu

Email: lxwps8861@sina.com

Received: May 11th, 2018; accepted: May 23rd, 2018; published: May 31st, 2018

Abstract

Objective: For exploring the product development of the fertilizer with the properties of water retention's and nutrients' slow release for maize, and investigating the agronomic characters, fertilizer efficiency and economic benefit under different slow release fertilizer addition levels, what's more, supplying the scientific and reasonable theoretical basis for maize cultivation. **Method:** The study was carried out to determine product formula of the slow release fertilizer by the roller granulator, and production formula included the following materials: organic fertilizer parcel inorganic fertilizer, slow release agent and water-retaining agent. Nitrogen literacy is divided into indicators with 25°C aqueous dissolution rate method determination of nitrogen accumulated release rate. Nutrient content was determined by the standard of nitrogen, phosphorus and potassium in fertilizers. The experiment was laid out in a maize (cv. Jinkai8) field. The field experiment was consisted of different fertilization practices; experimental work included the following treatments: CK (0 kg slow release fertilizer·hm⁻²), ZF1 (900 kg slow release fertilizer·hm⁻²), ZF2 (1200 kg slow release fertilizer·hm⁻²), ZF3 (1500 kg slow release fertilizer·hm⁻²), OPT (N 270 kg·hm⁻² + P₂O₅ 120 kg·hm⁻² + K₂O 45 kg·hm⁻²). This study was aimed to determine the effects of different fertilization practices on the agronomic characters, fertilizer efficiency and economic benefit, and the effect of different slow release fertilizer size classes on maize fertilization. **Result:** The fertilizer with the properties of water retention's and nutrients' slow release was produced and conformed to relevant standards. The grain yield under larger size particle fertilizer addition was 10.3% higher than that of smaller size particle fertilizer addition. The fertilizer application amount for maize in this region was obtained, the range is 900.0~1355.0 kg·hm⁻², and 1355.0 kg slow release fertilizer·hm⁻² addition exhibited the highest grain yield. The grain yield of maize, nitrogen use efficiency, agronomic efficiency, fertilizer partial productivity and fertilization were increased by -0.7%, 3.8%, 1.5 kg·kg⁻¹, 8.4 kg·kg⁻¹ and 85.7 RMB·hm⁻² under

900 kg slow release fertilizer·hm⁻² addition, respectively. Conclusion: The special fertilizer with the properties of water retention's and nutrients' slow release for maize was obtained, and the appropriate size class was 4~6 mm. In consideration of the yield, growth, nutrient utilization efficiency, fertilization benefits, etc., the fertilizer application level of 900.0 kg·hm⁻² was the optimal level in this region which can provide reasonable fertilization for maize, prevent and control regional agricultural non-point source pollution and simplify the cultivation procedure.

Keywords

Maize, Water-Retention Type Slow-Release Fertilizer, Development of Special Fertilizer, Fertilization Effect

保水型缓释玉米专用肥料研制及施肥效应研究

王平生¹, 蔡立群², 杨霞¹, 韩宏¹, 黄青岩¹, 吴军², 张芳¹, 白海鸿¹

¹甘肃临夏州农业科学院, 甘肃 临夏

²甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州

Email: lxwps8861@sina.com

收稿日期: 2018年5月11日; 录用日期: 2018年5月23日; 发布日期: 2018年5月31日

摘要

目的: 设计春玉米保水型缓释玉米专用肥料研发, 研究不同缓释肥用量水平下玉米的综合农艺性状、施肥料效率和经济效益, 为玉米生产提供科学合理的施肥依据。方法: 研讨确定保水型缓释玉米专用肥料的工艺配方, 有机肥包裹无机肥、添加缓释剂和保水剂等材料, 对辊造粒机制造缓释肥料; 以氮素养分为指标, 用25℃水溶液溶出率法测定氮素累计释放率; 用肥料氮、磷、钾养分测定标准检测养分含量。采用田间小区试验, 以玉米新品种“金凯8号”为材料, 设5个处理, 分别为: 缓释专用肥0 kg/hm² (对照, CK)、缓释专用肥900 kg/hm² (ZF1)、缓释专用肥1200 kg/hm² (ZF2)和缓释专用肥1500 kg/hm² (ZF3)、不施肥(CK)、最佳施肥参数组合(OPT)即(N 270 kg/hm² + P₂O₅ 120 kg/hm² + K₂O 45 kg/hm²), 研究缓释肥不同施肥处理对玉米产量及其构成因素、肥料利用效率及经济效益的影响; 研究不同粒径缓释肥料对玉米施肥效应的影响。结果: 研发出了保水型缓释玉米专用肥料, 经肥料缓释性和养分测定符合相关标准; 缓释肥大粒径颗粒肥料相对于小粒径增产10.3%。总结提出了该区合理的施肥量范围为900.0~1355.0 kg/hm², 最高产量施肥量为1355.0 kg/hm², 与OPT处理的氮素和总养分分别减量11.7%和19.0%, 即缓释肥用量900.0 kg/hm²时, 玉米产量、氮素农学利用率、农学效率、肥料偏生产力及施肥效益, 分别提高了-0.7%、3.8%、1.5kg/kg、8.4 kg/kg和85.7元/hm²。结论: 研发出保水型缓释玉米专用肥料, 选择出适宜的肥料粒径为4~6 mm; 综合产量、生长、养分利用效率和施肥效益等方面考虑, 缓释肥用量900.0 kg/hm²是该地区玉米合理施肥、区域农业面源污染防控和简化栽培的最佳经济用量。

关键词

玉米, 保水型缓释肥, 专用肥研制, 施肥效应



1. 引言

我国是世界玉米生产大国, 占世界总面积的 17.2% [1]。随着人口的增长、生活水平的提高及耕地面积的减少, 玉米在我国粮食安全中的地位变得更加重要。现代农业以化肥为肥料主体, 尤其是发达国家 [2], 施肥已经成为我国农业生产不可或缺的技术措施之一, 对作物生产的贡献率超过一半 [3]。我国肥料利用率一直比较低, 如氮肥当季作物的利用率 30%~35%, 比发达国家低近 20 个百分点 [4] [5], 磷肥为 10%~25%, 钾肥为 50% 左右 [6], 施肥不科学, 施肥方法不当, 造成肥料利用率低, 同时土壤质量呈下降趋势, 产生面源污染和地下水污染 [7]。虽然在提高化肥利用率方面取得了一些成果, 但从施肥量增长幅度与粮食增产率相关性分析, 肥料利用率仍然偏低, 如何提高肥料利用率, 实现根层养分供应与高产作物需求在数量上匹配、时间上同步、空间上一致, 同时提高作物产量和养分利用效率, 协调作物高产与环境保护是农业资源与环境科学工作者的奋斗目标 [8] [9]。改革开放以来, 随着我国人民生活质量的提高, 传统提高肥料利用率的实用技术, 因农户种植规范较小, 田间作业劳动量大, 工序繁杂, 加之农村劳动力大量转移, 技术落实率逐年下降, 种植效益逐年下降, 是造成肥料利用率不高的主要原因。因此, 发展高浓度、专用、长效、复混肥是国际化肥研究与应用的主要趋势, 也是我国肥料发展的必然趋势 [10] [11]。

缓释肥料可以避免土壤中肥料养分集中过量释放, 协调土壤养分供应与植物养分吸收之间的矛盾, 从而提高养分利用率和减少对环境的危害, 成为肥料发展的新方向。目前, 国内的控/缓释肥料多以脲甲醛、异丁叉二脲 (IBDU) 以及其他尿素一醛类化合物和磷酸铵镁等为控释材料, 研发出各类缓释专用肥料, 并取得显著的社会经济生态效益 [5] [6] [7] [12], 而保水型缓释玉米专用肥料研制及施肥效应研究, 多集中在理论上研发阶段, 田间试验研究鲜有报道。临夏川塬灌区是甘肃省重要的春玉米生产适宜区域和主产区, 调查发现: 目前该区农民在春玉米习惯施肥仍以磷酸二铵配施尿素为主, 部分农民用通用型复合肥和复混肥料, 极少数人用玉米专用肥, 且农肥施肥量逐年降低, 化肥的施用量逐年增加, 但产量增幅不明显。临夏玉米种植区虽属川塬灌区, 但因灌溉水量有限, 玉米生长期阶段发生水分胁迫现象, 年季间产量变幅较大。因此针对临夏川塬灌区进行春玉米缓释专用肥的开发和研究有很重要的现实意义。本研究采用牲畜粪便高温发酵生产有机肥, 应用“有机肥包裹无机肥”原理, 按农艺优化配方, 将有机肥、优质化肥、农用保水剂与包膜材料, 按其比例、粒径、交联等调控技术手段, 转化为工艺配方, 生产出了保水型缓释玉米专用肥料并施肥效应试验, 研究不同施肥量对春玉米产量、养分利用效率和肥料效益的影响, 为西北高原川塬灌区农业生产中春玉米专用肥的开发和施肥的改进提供科学支撑。

2. 试验材料与方法

2.1. 供试材料

保水型缓释玉米专用肥料研制原料选用有机肥 (有机质 46.8%、N 2.2%、 P_2O_5 1.9%、 K_2O 1.7%)、尿素 (N 46%)、磷酸一铵 (N 11%, P_2O_5 45%)、硫酸钾 (K_2O 50%), 黏合剂为膨润土, 包衣剂为海藻酸钠, 添加了农用保水剂和交联试剂, 并添加少量的硫酸锌。

田间试验供试肥料品种为磷酸二铵 (N 18%, P_2O_5 46%), 尿素 (N 46%), 硫酸钾 (K_2O 50%), 研制的保水型缓释玉米专用肥料 (N 26.5%, P_2O_5 8.8%, K_2O 4.1%, 有机质 15.6%)。玉米品种为金凯 8 号, 甘肃金源种业股份有限公司选育, 并通过省级审定的玉米新品种, 属晚熟品种, 适宜于甘肃省河西及中东部地

区推广种植。

2.2. 试验设计

试验于 2016 年在临夏州农科院试验现代农业试验站内进行, 试验地地势平坦, 自流灌溉, 海拔 2035 米, 年均降雨量 450 mm, 年平均气温 7 ℃, 全年无霜期 155 d。土壤类型为塬地黄麻土, 质地中壤, 地力中等水平, 耕层(0~20 cm)养分含量分别有机质 16.3 g·kg⁻¹, 全氮 1.08 g·kg⁻¹, 碱解氮 72.0 mg·kg⁻¹, 全磷 0.73 g·kg⁻¹, 速效磷 33.7 mg·kg⁻¹, 全钾 1.01 g·kg⁻¹, 速效钾 89.0 mg·kg⁻¹, pH 8.2。

保水型缓释玉米专用肥料研制基地位于甘肃省临夏县河西乡的甘肃田野有机生态肥料科技开发有限公司内进行, 公司拥有研制缓释肥料的成套机械设备及生产原料。

主试验为施肥效应试验: 设 5 个处理, 分别为: ①不施肥(CK); ②配方施肥(OPT); ③缓释专用肥 900 kg/hm² (ZF1)、④缓释专用肥 1200 kg/hm² (ZF2)、⑤缓释专用肥 1500 kg/hm² (ZF3), 试验小区面积为 37.4 m², 每个处理设 3 次重复, 共 15 个小区, 采用随机区组排列设计。OPT 处理按当地玉米平衡施肥最佳参数设置[13] (N 270 kg/hm² + P₂O₅ 120 kg/hm² + K₂O 45 kg/hm²)。氮肥 40%玉米拔节追施, 磷、钾肥全部用作基肥; 缓释肥料全部用作基肥一次性施完。

副试验为不同粒径施肥效应试验: 在专用肥料原材料、配方、工艺流程、等相同的条件下, 设肥料粒径为 4~6 mm (ZFD)和 2~4 mm (ZFX) 2 个处理, 采用对比排列设计, 每个处理设 3 次重复, 小区面积为 22 m², 共 6 个小区, 施肥量 1200 kg/hm², 专用肥料作基肥一次性施完。

主副试验均于 4 月 16 日采用全膜双垄沟播技术覆膜, 每垄覆膜的幅宽 110 cm, 其中大垄幅宽 70 cm, 垄高 10 cm, 小垄幅 40 cm, 垄高 15 cm; 4 月 18 日人工穴播点种, 株距 27.5 cm, 保苗 66,000 株/hm², 10 月 2~9 日成熟, 10 月 10 日收获, 其余栽培管理同当地大田生产。

2.3. 样品采集与分析

玉米生长指标测定: 株高 自地表至雄穗顶端的高度, 以 cm 表示; 茎粗测量地上第三节间中部茎的直径, 以 cm 表示; 穗长 由穗基部至穗顶(包括秃尖)的平均长度, 以 cm 表示; 穗粗 测量已测穗长的果穗中部直径, 以 cm 表示; 百粒质量(g): 100 粒种子的质量, 重复测定 3 次。

植株全氮、磷、钾测定: 玉米成熟期, 每个小区取代表性植株 3 株, 按不同器官(茎鞘、叶片、籽粒和穗轴)分开, 于 105℃杀青 30 min, 80℃烘干至恒重后测定干物重, 磨碎样品用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 全氮用开氏定氮蒸馏法, 磷用钒钼黄比色法, 钾用火焰光度法[14]。

肥料氮、磷、钾养分测定: 用 GB/T 17767.1-2008 标准测定总氮含量; GB/T 8573-2010 标准测定有效磷含量; GB/T 17767.1-2008 标准测定总钾含量。

专用肥料缓释性测定: 用缓释肥料(GB/T 23348-2009)标准测定, 其核心指标上是缓释肥料在温度 25℃浸泡 24 h 初期释放率小于 15%, 28 d 累计养分释放率小于 80%, 在标明的养分释放期内累积释放率大于 80%日期。

氮肥农学利用率(%) = (施氮区作物产量 - 不施氮区作物产量) ÷ 氮肥用量 × 100;

氮肥农学效率(kg/kg) = (施肥区经济产量 - 对照区经济产量) ÷ 氮肥用量;

肥料偏生产力(kg/kg) = 施肥区作物经济产量 ÷ 施肥量;

肥料贡献率(%) = (施肥区经济产量 - 对照区经济产量) ÷ 施肥区经济产量 × 100;

施肥效益(元/hm²) = (施肥区产量 - 对照区产量) × 玉米籽价格 - 肥料用量 × 肥料价格[15]。

2.4. 数据分析

应用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS19.0 统计软件进行统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 保水型缓释玉米专用肥的研制

根据玉米生长发育和养分吸收积累规律的基础上,综合考虑临夏地区区域特点、土壤肥力和多年的施肥效应而研制。

第 1 步:确定肥料工艺配方。先确定肥料的农艺配方,集成总结近年来临夏地区或相近区域玉米施肥效应取得的科技成果,以产量、肥料利用率、施肥效益为约束条件,通过综合对比研究,组织讨论,并咨询国内知名专家,确定玉米缓释专用肥料的农艺配方;再确定工艺配方,根据选用农艺配方,结合国家生产缓释肥料相关标准和本公司已有的机械设备,优化和控制生产工艺参数,最大限度的降低生产成本,制定玉米缓释肥料工艺配方(N 26.0%, P₂O₅ 8.0%, K₂O 4.0%)。

第 2 步:生产粉状有机肥料。利用牲畜粪便(牛羊粪)、作物秸秆、油菜籽饼粉等有机物原料,按一定比例配置物料,并添加生物发酵菌剂,采用全封闭槽式高温堆沤发酵技术,生成出符合标准(NY 525-2012)的粉状有机肥料。

第 3 步:生产玉米缓释专用肥料内核颗粒。将有机肥、尿素、磷酸一铵、硫酸钾和膨润土等物料,按生产缓释肥料的工艺配方比例,进行渗混和搅拌,使物料充分均匀,用对辊式造粒机生产颗粒肥料,经筛分生成出符合标准(GB 18877-2009 II 型)的玉米复混专用肥料。

第 4 步:缓释专用肥料内核包膜。内核颗粒用 2%海藻酸钠溶液喷雾包膜,用量按质量比例的 4%。每生产 1000 kg 肥料用 0.8 kg 海藻酸钠(SA)粉末兑水 40 kg。定量称取海藻酸钠(SA)粉末,加入定量温水(30℃~40℃)中,搅拌 0.5~1 h 直至海藻酸钠全部溶解,用喷雾机边喷溶液边进行交联反应。

第 5 步:交联反应:再加入 2%海藻酸钠溶液的同时,逐滴喷入 5%硼砂水溶液对肥料内核进行交联,用量质量比例的 3%;并用搅拌机进行转动搅拌,搅拌时间 3 小时,交联后形成肥料的内层包膜。

第 6 步:缓释专用肥料外层包膜。在内核包膜肥料颗粒上,添加农用保水剂包膜剂(<110 目),用量质量比例的 1.5%。将内核包膜肥料颗粒和农用保水剂包膜剂同时输送到肥料搅拌机内,搅拌时间 30 分钟,让粉状树脂包水剂包裹肥料内层包膜上,形成肥料外层包膜的成品缓释肥料产品。

第 7 步:产品晾晒与筛分包装。将有外层包膜的缓释专用肥料进行晾晒 1~2 h 后,用筛分机进行分级,生成出 2 种肥料粒径(4~6 mm)和(2~4 mm)的产品。

第 8 步:缓释专用肥料养分与缓释性检测。用专用肥粒径 4~6 mm 颗粒进行检测,养分结果为(N 26.5%, P₂O₅ 8.8%, K₂O 4.1%, 有机质 15.6%),符合(GB 18877-2009II 型)标准要求;缓释性测定用 25℃水溶液溶出率法,以氮素养分为指标,在 3 d 内的释放率为 8.54%, 75d 累积养分释放率 70.98%, 120d 累积养分释放率 83.81%,符合缓释肥料(GB/T 23348-2009)标准要求。

3.2. 保水型缓释肥料对玉米生长发育的影响

3.2.1. 不同施肥处理对玉米农艺性状的影响

从表 1 可知,施肥不同施肥处理的植株高度在玉米生长期均高于不施肥(CK)处理,特别是拔节期和成熟期更加明显;OPT 处理苗期低于缓释肥的各处理,但拔节期相反,成熟期差异不明显,说明拔节期追施氮肥对玉米生长有明显的促进作用。植株的茎粗以 OPT 处理的植株直径为最大,为 3.2 cm,缓释肥各处理次之,CK 处理为最低。不同施肥处理的植株生物鲜重极显著于 CK 处理;其鲜重顺序为 ZF2 > OPT > ZF1 > ZF3,差异不显著。说明施肥处理能显著促进玉米健壮生长,适量施用缓释肥料更能改善玉米生长条件,进行光合作用而形成产量。

3.2.2. 不同施肥处理对玉米经济性状的影响

施肥处理单穗的穗粗和穗长均比高于对照处理；施肥处理之间，以 OPT 处理为最高，分别为 5.9 cm 和 22.5 cm，但差异不显著，说明拔节期追施氮肥有利于穗棒的形成和单穗结粒率。施肥处理的穗粒数、百粒重和单株生产力明显高于对照处理，施肥处理之间变幅不大。缓释肥处理之间，随着施用量的增加玉米的穗粒数、百粒重和单株生产力随之增加，当施肥量从 ZF2 处理增加至 ZF3 处理水平时，其有增幅不大(表 2)。说明施肥能促进玉米经济性状的形成，而适量施用缓释肥料，能明显提高玉米的百粒重和商品率。

3.3. 不同缓释处理对玉米产量和施肥效益的影响

从表 3 可知，各施肥处理的产量明显高于不施肥 CK 处理，其增产率 30.6%~34.5%之间，产量差异达显著水平，说明施肥对产量影响较大。施肥处理之间产量无明显差异，随着缓释肥用量的增加呈直线正增长型模型，其效应方程为： $y = 0.817x + 15713$ ， $R^2 = 0.991$ ， $p < 5\%$ ，当施肥量在 ZF2 处理水平时，产量略高于 OPT 处理。施肥效益是评价施肥效果的重要参数。各缓释肥处理与 OPT 相比较，ZF1 处理施肥效益最高，为 4606.6 元/hm²，较 OPT 处理增收 87.6 元/hm²。说明适量施用缓释肥料是提高施肥效益的关键，过量施用只提高经济产量，而不能带来高效益。

Table 1. Effects of different fertilization treatments on agronomic traits of maize

表 1. 不同施肥处理对玉米农艺性状的影响

处理 Treatment	株高 Plant height(cm)			茎粗(cm) Stems thick	生物鲜(t/ha) Biological fresh
	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing period	成熟期 Mature period		
CK	39.1 a	241.7 a	309.4 a	2.9 a	67.39 B
OPT	39.2 a	260.0 a	335.8 a	3.2 a	83.94 A
ZF1	42.9 a	243.5 a	333.9 a	3.1 a	83.11 A
ZF2	40.2 a	246.2 a	338.3 a	3.1 a	84.37 A
ZF3	41.6 a	263.3 a	336.6 a	3.1 a	81.69 A

注：不同处理同一指标同列数字后不同大小写之母分别标示差异显著($p < 1\%$ ， $p < 5\%$)，下同。

Table 2. Effects of different fertilization treatments on economic traits of maize

表 2. 不同施肥处理对玉米经济性状的影响

处理 Treatment	穗形状 Spike shape (cm)			穗粒数(粒/穗) Grains per spike (grain/spike)	百粒重 (g) 100 grain weight	单株生产力 (g) Productivity per plant
	穗粗 Spike diameter	穗长 Length of spike	秃顶长度 Bald length			
CK	5.6 a	21.0 a	2.1 a	523.8 b	34.8 b	219.0 b
OPT	5.9 a	22.5 a	1.7 a	671.7 a	39.2 a	262.7 a
ZF1	5.7 a	21.4 a	2.0 a	664.6 a	38.7 a	256.8 a
ZF2	5.8 a	21.8 a	1.9 a	668.2 a	39.5 a	264.4 a
ZF3	5.7 a	21.9 a	2.0 a	712.5 a	39.5 a	268.0 a

Table 3. Effects of different fertilization treatments on yield and fertilization benefits**表 3.** 不同施肥处理对产量及施肥效益的影响

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield	较 CK 增产(%) More than CK yield	肥料投入(元/hm ²) Fertilizer inputs (RMB/hm ²)	施肥效益(元/hm ²) Fertilization benefits (RMB/hm ²)
CK	12,602.6 b		0.0	
OPT	16,577.6 a	31.5	2634.1	4520.9
ZF1	16,461.8 a	30.6	2340.0	4606.6
ZF2	16,666.8 a	32.2	3120.0	4195.6
ZF3	16,952.0 a	34.5	3900.0	3928.9

注: 农资单价, 玉米 1.8 元/kg; 尿素 2 元/kg; 磷二铵 4.5 元/kg; 氯化钾: 4.0 元/kg; 缓释肥: 2.6 元/kg。

3.4. 不同缓释肥料对养分利用效益分析

氮素农学利用率和氮素农学效率, 从不同的侧面反应单位施氮量下作物经济产量的增加情况, 是农业生产中最关心的经济指标, 也是描述作物对氮素的利用效率指标。表 4 结果表明, 缓释肥处理的氮素农学利用率随着用量的增加呈直线负增长模型, 效应方程 $y = -0.022x + 61.2$, $R^2 = 0.972$, $p < 5\%$; 当 ZF1 处理为最高, 较 OPT 处理提高了 3.8 个百分点, 而 ZF2 和 ZF3 处理降低 4.9 和 9.7 个百分点; 氮素农学效率变化趋势与农学利用率相同, 说明适量施用缓释肥料有提高氮素利用效率的潜力。肥料偏生产力是土壤肥力与肥料效应的综合指标, 是指土壤本身的养分和投入肥料养分的综合效率。结果表明, 缓释肥料 ZF1 处理的偏生产力 46.5 kg/kg 为最高, 较 OPT 处理提高了 22.0%, 而其余处理降低了 7.3%~24.7%; 不同施肥处理的总养分肥料贡献率变幅不大, 在 23.4%~25.7%之间, 说明施肥对产量影响较大, 因此增加对土壤的培肥可减少玉米种植中对外源肥料的需求。

3.5. 缓释肥料不同粒径对玉米施肥效应的影响

缓释肥料不同粒径对玉米农艺性状影响不大, 大粒径肥料植株的高度相对提高了 4.5 cm, 对茎粗无影响。对经济性状有一定的影响, 大粒径肥料的玉米穗棒粗和穗行数相对于小粒径肥料略有降低, 但穗行粒数、每穗粒数和百粒重均有提高, 进而提高了产量, 相对增产 10.30%, 但产量差异不显著(见表 5)。

4. 结果与讨论

缓释肥(Slow release fertilizers, SRFs)又称长效肥, 通过在普通肥料表面包裹一层特殊的材质, 达到降低养分释放速率的效果, 使得养分能够满足农作物在生长期的需求[16]。缓释控释肥既可以减少化肥的使用量, 又可以提高其利用率, 因此受到世界学者的广泛研究和关注[17]。我国在缓释肥料研究取得了显著的进展, 张木[18]等研发出 60 天释放期缓释尿素可实现早稻和晚稻的一次性基施, 产量显著高于传统施肥; 陈序根[19]等自制的脲酶硝化双抑制剂缓释肥, 显著提高了番茄果实干物质量和 NPK 养分利用率; 兰州大学柳明珠等[20]将尿素、磷酸二氢钾和焦磷酸铜钾包埋于交联的海藻酸钠中, 以此作为肥料内核, 保水剂海藻酸钠-g-聚丙烯酸作为肥料颗粒包膜材料, 制备了一种具有保水功能的多元缓释肥料。缓释肥料因肥料养分配式、选用原料种类及品种、包膜材料等不同, 其缓释效果及施肥效应各异, 就包膜材料而言, 从无机和有机两大方面可分为无机包膜材料、有机高分子包膜材料和生物降解包膜材料, 不同的包膜材料对肥料缓释效果、土壤环境残留、生产成本等问题影响较大。本文应用有机肥包裹无机肥的基础上, 选用生物降解性较强的海藻酸钠作为包膜材料, 通过物理交联将肥料中的营养转为水凝胶, 再添加农用保水剂, 通过水肥耦合有望实现保水保肥的目标[21]。针对该肥料进行缓释测定时发现, 氮素养分

Table 4. Effects of different fertilization treatments on nutrient use efficiency**表 4.** 不同施肥处理对养分利用效率的影响

处理 Treatment	氮素农学利用率(%) Nitrogen use efficiency (%)	氮素农学效(kg/kg) Nitrogen fertilizer efficiency (kg/kg)	肥料偏生产(kg/kg) Fertilizer production (kg/kg)	肥料贡献率(%) Fertilizer contribution rate (%)
OPT	37.8	14.7	38.1	24.0
ZF1	41.6	16.2	46.5	23.4
ZF2	32.9	12.8	35.3	24.4
ZF3	28.1	10.9	28.7	25.7

Table 5. Effects of different sizes of fertilizers on maize fertilization**表 5.** 不同粒径肥料对玉米施肥效应的影响

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎粗(cm) Stems thick	穗粗(cm) Spike diameter	穗行数 (行/穗) Number of rows of ear (Line/ear)	行粒数 (粒/行) Row grain number (grain/row)	穗粒数 (粒/穗) Grains per spike (grain/spike)	百粒重 (g) 100 grain weight	产量 (kg/hm ²) Yield
ZFD	341.2	2.7	5.2	17.3	39.4	680.3	38.4	17197.1 a
ZFX	336.7	2.7	5.3	17.5	37.4	655.2	37.1	15591.0 a

累计释放率对应玉米生长拔节期(45 d)、抽雄期(90 d)、灌浆期(120 d)和收获期(180 d)时分别为 54.18%、76.95%、83.83%和 91.51%，说明玉米生长前期(拔节期以前)释放较快，中、后期释放较慢，未能达到按比例分配作物不同生长时期所需营养的用量[22]，肥料的缓/控性及工艺流程尚需进一步优化研究。

张勇等[23]开展了不同包膜形式的缓控释肥与普通复合肥对夏玉米生长指标及产量指标的影响研究表明，缓控释肥较普通复合肥对夏玉米生长效果更好，全降解缓释肥(26-8-8)复合肥料增产效果最明显，较普通复合肥处理产量提高了 14.18%。已有研究表明，缓释肥能显著改善作物的生长环境，促进苗期作物健壮生长发育，能满足玉米整个生育时期的养分要求，缓释肥料较等养分量的常规施肥增产 5.1%~19.6%，提高化肥当季利用率 3.5%~19.1%，还可以提高玉米子粒品质和施肥效益，但对玉米产量构成因素的影响间无显著性差异[24] [25] [26]。本研究结果与已有报道基本相同，只是缓释肥料在玉米前期反应较为明显；缓释肥料用量的增产幅度和肥料利用率与当地最佳施肥组合 OPT 处理相比较，略有降低，符合施肥效应规律。

玉米产量的高低与肥料施用量有关密切的相关，合理确定缓释肥料用量，控制养分释放，协调养分供给和作物养分需求之间的关系，是减少肥料损失以提高肥料利用率关键。已有文献报道表明，无机肥施用量与肥料利用效率呈直线负增长模型，与产量呈抛物线模型，通过效应方程确定最高产量施肥量和经济施肥量。本研究结果表明，缓释肥料用量与利用效率呈直线负增长模型，与产量呈直线正增长模型，此结果与赵欢等[25]一致；确定最佳缓释肥用量应以施肥量为自变量，产量与氮肥农学利用效率为双纵坐标，作散点图与趋势线，确定双直线交汇处，也是环境阈值点，即同时要满足高产、优质、经济、环境友好等多方面的要求，交汇处目标产量为 16,820 kg/hm²，效应方程计算出，缓释肥最大用量为 1355.0 kg/hm²，此时氮素利用效率为 31.4%；经济施肥量为 900.0 kg/hm²。

缓释肥料不同颗粒的粒径，在相同施肥量的条件下，对玉米生长发育影响不明显，只是小颗粒肥料植株略有降低，可能前期养分释放较快，后期养分供应不足有关，大颗粒较小颗粒肥料增产 10.3%，本研究只设了缓释肥料粒径为 4~6 mm (ZFD)和 2~4 mm (ZFX) 2 个处理，最佳缓释肥料的粒径尚需再次研究。

综上所述, 研发生产出了保水型缓释玉米专用肥料, 经测试达到相关标准, 在西北高海拔灌区玉米覆膜栽培条件下, 总结提出了保水型缓释肥合理的施肥量范围为 900.0~1355.0 kg/hm², 随着施肥量的增加产量随之增加, 而肥料利用效率和施肥效益随之下降; 缓释肥用量 900.0 kg/hm² 即与当地最佳施肥组合(OPT)的氮素和总养分量分别减量 11.7%和 19.0%时, 玉米产量、氮素农学利用率、农学效率、肥料偏生产力及施肥效益, 分别提高了-0.7%、3.8%、1.5 kg/kg、8.4 kg/kg 和 85.7 元/hm²; 缓释肥用量 900.0 kg/hm² 时为西北灌区玉米简化栽培最佳用量。

基金项目

甘肃省临夏州科技局(2015-N-5-013)资助。

参考文献

- [1] 安江勇, 葛皓, 肖厚军, 等. 施用缓释肥对玉米产量及其性状和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2148-2153.
- [2] 宇万太, 赵鑫, 张璐, 马强. 长期施肥对作物产理的贡献[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2040-2044.
- [3] 王旭, 李贞宇, 马文奇, 等. 中国主要生态区小麦施肥增产效应分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2469-2476.
- [4] 陈雅君, 闰庆伟, 张璐, 等. 氮素与植物生长相关研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(4): 144-148.
- [5] 陈雪娇, 杨丹丹, 李贵桐, 等. 不同温度生物质炭复混肥对小白菜和樱桃萝卜产量及硝酸盐的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(34): 30-34.
- [6] 张培苹. 施用缓释肥料对夏玉米产量的影响试验[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(16): 30-31, 56.
- [7] 汪家铭. 新型肥料研制开发与应用进展[J]. 氮肥技术, 2013, 34(3): 44-46.
- [8] 王火焰, 周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 216-225.
- [9] 张富锁, 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, 45(5): 915-924.
- [10] 丁志. 缓释长效剂的研制及其应用[J]. 干旱区研究, 2000, 17(1): 67-70.
- [11] 董智, 邓林军, 董俊, 等. 辽西地区应用缓释肥料对玉米产量及生产效益的影响[J]. 辽宁农业科学, 2017(2): 13-16.
- [12] 杜衍红, 蒋恩臣, 王明峰, 等. 炭基缓释肥对玉米生长的影响研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 72-76.
- [13] 王平生, 马忠民, 韩宏, 等. 施氮量对北方梯田旱地玉米产量、氮素利用及土壤硝态氮含量的影响[J]. 土壤与作物, 2016, 5(3): 150-158.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-265.
- [15] 李文彪, 郑海春, 郜翻身, 等. 内蒙古河套灌区春小麦推荐施肥指标体系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1327-1334.
- [16] 景旭东, 林海琳, 阎杰. 新型缓释/控释肥包膜材料的研究与展望[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(2): 139-141, 242.
- [17] Novotny, V. and Olem, H. (1993) Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [18] 张木, 唐拴虎, 张发宝, 等. 60 天释放期缓释尿素可实现早稻和晚稻的一次性基施[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 119-127.
- [19] 陈序根, 徐卫红, 王崇力, 等. 脲酶硝化双抑制剂缓释肥提高番茄产量及 NPK 养分吸收[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 168-176.
- [20] 柳明株, 倪博立. 环境友好型多功能缓控释肥料的制备及性能研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [21] 姜安龙, 易晶晶, 余晓青, 等. 海藻酸钠水凝胶对尿素的缓释效果研究[J]. 现代化工, 2015, 35(7): 86-88.
- [22] 王炳贤, 索东让, 孙宁科. 河西走廊春玉米需肥规律研究[J]. 农业科技与信息, 土壤肥料, 2013(17): 34-37.
- [23] 张勇, 吕新春, 黄祥川, 等. 不同包膜缓释肥料对夏玉米生长和产量影响的研究分析[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(2): 50-52.
- [24] 郭跃升, 马荣辉, 高瑞杰, 等. 高效缓释肥在鲁中夏玉米上的应用效果试验示范[J]. 山东农业科学, 2015, 47(7):

78-80, 90.

- [25] 赵欢, 唐兵, 张萌, 等. 缓释肥减量施用对覆膜栽培玉米产量与养分吸收及利用率的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(12): 2877-2882.
- [26] 王宜伦, 卢艳丽, 刘举, 等. 专用缓释肥对玉米产量及养分吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015, 10(1): 29-32.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org