



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

单株定量施肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响

郭娅, 刘娇, 尹焕丽, 张倩, 李岚涛, 王宜伦

引用本文:

郭娅, 刘娇, 尹焕丽, 等. 单株定量施肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 924–930.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0572>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

包膜尿素和普通尿素混施对夏玉米产量、氮肥利用率和土壤硝态氮残留的影响

曹兵, 倪小会, 陈延华, 邹国元, 王甲辰, 杨友庆, 陈立娟, 刘杰, 王学霞

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 695–701 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0428>

华北平原不同施氮量与施肥模式对作物产量与氮肥利用率的影响

蔡媛媛, 王瑞琪, 王丽丽, 刘惠芬, 杨殿林, 谭炳昌

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 503–510 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0254>

超微细活化磷肥对小白菜生长及磷利用的影响

王桂伟, 陈宝成, 王国鹏, 李晗灏, 梁海, 周华敏, 陈剑秋

农业资源与环境学报. 2019, 36(1): 9–15 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0065>

紫云英翻压条件下氮肥运筹对双季稻产量和肥料利用率的影响

王慧, 唐杉, 武际, 胡润, 韩上, 刘英, 朱勤, 李敏, 王允青, 石祖梁

农业资源与环境学报. 2018, 35(4): 327–333 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0321>

稳定氮肥用量和施用方式对水稻产量和氮肥效率的影响

李敏, 叶舒娅, 刘枫, 郭熙盛, 武际, 黄义德, 郭肖颖

农业资源与环境学报. 2015(6): 559–564 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0157>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

郭娅, 刘娇, 尹焕丽, 等. 单株定量施肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 924–930.

GUO Ya, LIU Jiao, YIN Huan-li, et al. Effects of quantitative fertilization by a single plant on the yield, nutrient absorption, and utilization of summer maize[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(6): 924–930.



开放科学 OSID

单株定量施肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响

郭娅, 刘娇, 尹焕丽, 张倩, 李岚涛, 王宜伦*

(河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002)

摘要:为探求夏玉米简化高效施肥技术,在河南省滑县和鹤壁两地采用田间试验,研究了单株定量施肥位置及施肥量对夏玉米产量、养分积累及肥料利用率的影响。结果表明,两地产量均以两侧定量施肥 7.0 g 最高,平均较两侧定量施肥 5.8 g 显著增产 8.4%,较株间定量施肥 7.0 g 增产 6.0%,较常规施肥增产 3.8%;滑县和鹤壁采用两侧定量施肥 7.0 g 磷素积累量较常规施肥分别显著提高 15.4% 和 21.6%,且保持夏玉米各生育时期较高的叶片 SPAD 值和成熟期高生物量;鹤壁两侧定量施肥 7.0 g 较常规施肥氮肥利用率显著提高 8.3 个百分点。研究表明,夏玉米苗期在两株玉米中间两边间隔 15 cm 左右各施一粒 7.0 g 粒片状肥料实现了高产、高效和简化施肥的目标。

关键词:单株定量施肥;粒片状肥料;夏玉米;产量;养分吸收利用

中图分类号:S143

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)06-0924-07

doi: 10.13254/j.jare.2019.0572

Effects of quantitative fertilization by a single plant on the yield, nutrient absorption, and utilization of summer maize

GUO Ya, LIU Jiao, YIN Huan-li, ZHANG Qian, LI Lan-tao, WANG Yi-lun*

(College of Resource and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To explore simplified and efficient fertilization technology for summer maize, a field experiment was conducted on the effects of different locations and rates of quantitative fertilizer application and conventional fertilization application on the yield, nutrient accumulation, and fertilizer utilization efficiency of summer maize in Huaxian and Hebi, Henan Province. The results revealed that the summer maize yield with 7.0 g tablet quantitative fertilization application was the highest, representing significant average increases of 8.4% compared with treatment at 5.8 g tablet, 6.0% compared with inter-plant treatment at 7.0 g tablet, and 3.8% compared with conventional fertilization. Additionally, the phosphorus accumulation when using the quantitative treatments mentioned above was significantly improved by 15.4% and 21.6% compared with conventional fertilization in Huaxian and Hebi, respectively, while maintaining higher soil plant analysis development (SPAD) during each growth period of summer maize. The 7.0 g tablet quantitative fertilization significantly increased the utilization rate of nitrogen fertilizer by 8.3 percent points compared with conventional fertilization. Specifically, two pieces of 7.0 g flaky fertilizer were applied at a distance of approximately 15 cm between two plants in the seedling stage of summer maize, which realized the goals of high yield, high efficiency, and simplified fertilization.

Keywords: quantitative fertilization per plant; flaky fertilizer; summer maize; yield; nutrient absorption and utilization

收稿日期: 2019-11-21 录用日期: 2020-01-03

作者简介: 郭娅(1994—), 女, 陕西延安人, 硕士研究生, 从事植物营养与施肥技术研究。E-mail: guoya201707@163.com

*通信作者: 王宜伦 E-mail: wangyilun1@163.com

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFD0200606); 国家科技支撑计划课题(2015BAD23B02)

Project supported: The National Key Research and Development Program of China (2018YFD0200606); The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (2015BAD23B02)

玉米作为我国第一大粮食作物,需肥量大,吸肥能力强,提供充足养分是玉米获得高产的关键。2014—2016年,我国玉米年均化肥施用总量为1 214.2万t,占种植业化肥使用量的20.1%,夏玉米氮磷钾肥料施用不平衡,且利用率较低,氮肥利用率仅为26.1%,磷肥利用率为9.7%~12.6%,钾肥利用率为28.7%~32.4%,造成肥料资源的浪费^[1-4]。随着我国工业化和城镇化的发展,耕地持续减少,农村劳动力大量转移,迫切需提高夏玉米单产水平并简化生产,因而,如何实现高产、高效和简化施肥成为植物营养与肥料学科研究的重要问题^[5]。

施肥新技术是提高肥效的重要措施^[6]。氮肥深施^[7]、分层施肥^[8]、水肥一体化^[9]及缓控释肥一次性施用^[10-13]等技术可提高氮肥利用率,降低劳动强度。缓控释肥具有肥效期长且稳定的特点^[14-15],一次施用能满足作物在整个生育期对养分的需求,可减少施肥的数量和次数^[15-17],缓控释肥一次性施肥技术一定程度上解决了作物高产和养分高效与我国农村劳动力短缺的矛盾问题^[18];但缓控释肥包膜材料产生的环境效应以及对作物品质的影响等尚不明确,且价格较高,应用并不广泛^[19]。因此,针对夏玉米需肥特性及生育特点,研制具有缓释特性的粒片状专用肥,探索适宜的单株定量施肥位置,促进夏玉米单株养分吸收利用,对于实现夏玉米高产、高效和简化施肥具有重要意义。本研究采用可满足单株玉米养分需求的粒片状肥料,研究了单株定量施肥位置及施肥量对夏玉米产量及养分吸收利用的影响,以期明确单株定量施肥技术效应,为夏玉米科学施肥提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2014年6—9月在河南省粮食主产区安阳市滑县留固镇尹新庄村(简称“滑县”,114.73°E,35.57°N)和鹤壁市淇滨区矩桥镇刘寨村(简称“鹤壁”,114.30°E,35.67°N)进行。两地都位于豫北高产区分区^[20],种植制度为小麦—玉米轮作,土壤类型为潮土,

试验地0~20 cm土壤农化性状如表1所示。

1.2 试验设计

试验共设5个处理,T1(两侧定量施肥5.8 g):苗期在两株玉米中间两边间隔15 cm左右各施一粒5.8 g含氮磷钾养分的粒片状肥料,N、P₂O₅、K₂O总施肥量分别为219、84、101 kg·hm⁻²;T2(两侧定量施肥7.0 g):苗期在两株玉米中间两边间隔15 cm左右各施一粒7.0 g含氮磷钾养分的粒片状肥料,N、P₂O₅、K₂O总施肥量分别为265、113、95 kg·hm⁻²;T3(株间定量施肥7.0 g):苗期在两株玉米中间施用2粒7.0 g粒片状肥料,总施肥量同T2;T4(常规施肥):苗期开沟施肥,总施肥量同T2,氮肥五叶期和大喇叭口期5:5施用;CK(对照):鹤壁样地不施氮肥(磷钾量同T2,施肥方式同T4),滑县样地不施肥。具体施肥方式见图1。

粒片状肥料5.8 g,每2片含N 3.24 g、P₂O₅ 1.24 g、K₂O 1.50 g;粒片状肥料7.0 g,每2片含N 4.00 g、P₂O₅ 1.72 g、K₂O 1.43 g;常规施肥所用氮肥为尿素(N 46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 16%),钾肥为氯化钾(K₂O 60%)。夏玉米磷、钾肥全部在五叶期施用。夏玉米品种为浚单29,播种密度为67 500株·hm⁻²,株距25 cm,行距60 cm。小区面积30 m²,3次重复,随机区组排列。夏玉米播种及收获时间:滑县2014年6月10日播种,9月27日收获;鹤壁2014年6月15日播种,9月29日收获;灌溉、病虫害防治及其他田间管理措施同当地农民习惯一致。

1.3 样品采集与测定方法

1.3.1 土壤样品测定

试验整地前用“S”取样法采集0~20 cm土壤,风干研磨过筛后备用。用电极法(水土质量比2.5:1)测定pH值;重铬酸钾容量法—外加热法测定有机质;碱解扩散法测定碱解氮;NaHCO₃浸提—钼蓝比色法测定有效磷;NH₄OAc浸提—火焰光度法测定速效钾。

1.3.2 植株样品测定

收获期各小区随机取3株玉米,秸秆与穗分离,在105℃下杀青15 min,温度调至65℃烘干至质量恒定,测定植株干质量。之后均匀混合粉碎,采用浓H₂SO₄—H₂O₂消煮后,用蒸馏定氮法、钒钼黄比色法和

表1 试验地土壤的农化性状

Table 1 Basic nutrient characteristics of the tested soils

地点 Site	pH	有机质 OM/(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N/(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)
滑县 Huaxian	7.88	15.13	79.81	21.07	153
鹤壁 Hebi	7.79	18.88	87.67	22.25	159

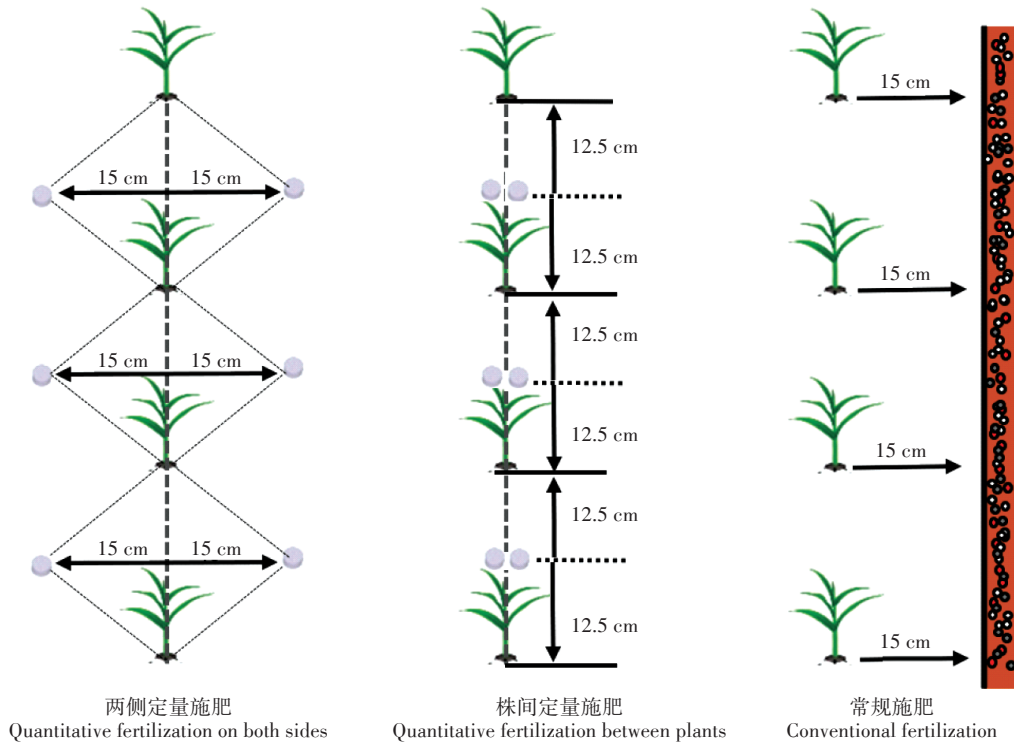


图1 玉米不同施肥方式示意图

Figure 1 Schematic diagram of different fertilization method

火焰光度计法分别测定植株全氮、全磷和全钾含量。

1.3.3 SPAD值的测定

夏玉米关键生育期采用SPAD测定仪(型号502, 日本)于上午10:00—12:00测定各小区玉米植株功能叶片(大喇叭口期为植株的最新完全展开叶,吐丝期和灌浆期为穗位叶)SPAD值,每小区测叶片同一位置20片,取平均值(该指标只在鹤壁夏玉米上进行)。

1.3.4 调查与计产

成熟期收获各小区中间两行连续30株玉米,晒干脱粒称质量后,用mini GAS plus谷物快速水分测定仪(美国)测定每个小区玉米的含水量,以含水量14%折算作为小区产量,另随机取10穗考种,调查穗粒数和千粒重。

1.4 计算统计方法

按照周宝元等^[7]和侯云鹏等^[21]描述方法计算夏玉米养分吸收和肥料利用效率:

增产率(%)=(施肥区产量-不施肥区产量)/不施肥区产量×100

养分积累量(kg·hm⁻²)=(籽粒生物量×籽粒养分浓度+秸秆生物量×秸秆养分浓度)×1000

肥料吸收利用率(RE,%)=(收获期施肥区地上部氮磷钾吸收量-收获期不施肥区地上部氮磷钾吸

收量)/氮磷钾施用量×100

肥料农学效率(AE,kg·kg⁻¹)=(施肥区作物产量-不施肥区作物产量)/氮磷钾施用量

肥料偏生产力(PFP,kg·kg⁻¹)=施肥区产量/氮磷钾施用量

氮肥利用率(REN,%)=(施氮区玉米地上部氮吸收量-对照区地上部氮吸收量)/氮施用量×100

氮肥农学效率(AEN,kg·kg⁻¹)=(施氮区玉米产量-对照区玉米产量)/氮施用量

氮肥偏生产力(PFPN,kg·kg⁻¹)=施氮区产量/氮施用量

式中:产量、吸收量、施用量的单位均为kg·hm⁻²;生物量的单位为t·hm⁻²;养分浓度的单位为%。

采用Excel 2016、SAS 8.5和Origin 8.5软件进行数据统计分析和图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同处理对夏玉米产量及其构成因子的影响

表2结果表明,两地产量结果趋势一致。与CK处理相比,施肥可显著提高夏玉米产量,滑县显著增产15.8%~25.3%,鹤壁显著增产10.3%~19.7%,其中T2产量最高。滑县T2较T1和T3显著增产8.2%和

7.4%,较T4增产3.4%;鹤壁T2较T1显著增产8.5%,较T3、T4增产4.6%和4.1%。滑县和鹤壁T2处理穗粒数较T1、T3和T4处理平均增加5.8%、2.5%和2.1%。两地T2较T3产量及构成因子均有增加趋势,T2和T4无显著差异。说明两侧定量施肥7.0 g较株间定量施肥7.0 g和常规施肥产量增加,实现了简化施肥增加产量的目的。

2.2 不同处理对夏玉米叶片SPAD值的影响

由表3可以看出,施肥能够显著提高夏玉米叶片SPAD值且随着生育期推进而升高。夏玉米大喇叭口期SPAD值各施肥处理较CK增加3.2%~5.8%,其中T2显著高于T1、T4处理,与T3差异不显著;吐丝期各施肥处理较CK增加5.6%~7.0%,其中T2显著高于T1和T3处理,与T4处理差异不显著,说明常规施肥方式在大喇叭口期追施氮肥,可及时补充夏玉米由营养生长向生殖生长对养分的需求,提高叶片叶绿素含量;灌浆期各施肥处理较CK增加10.9%~11.6%,各施肥处理间差异不显著。T2处理在各生育时期SPAD值均处于较高水平,说明T2处理即两侧定量施肥7.0 g能保持夏玉米各生育时期较高的叶片SPAD值,T4处理大喇叭口期追施氮肥有利于提高叶片叶绿素含量,促进光合作用的进行。

2.3 不同处理对夏玉米地上部生物量的影响

施肥可以提高夏玉米籽粒和秸秆生物量,进而促进地上部生物量的积累(表4)。滑县施肥处理较CK籽粒显著增加16.3%~26.9%,秸秆增加6.0%~17.9%,地上部(籽粒和秸秆)生物量显著增加14.4%~22.9%,其中T2处理籽粒、秸秆生物量均最高;鹤壁施氮处理较CK处理籽粒、秸秆及地上部总生物量显著提高10.2%~23.9%、9.7%~23.6%和10.0%~22.5%。其中T2籽粒生物量最高,较T1、T4显著增加12.4%和7.9%,与T3差异不显著;T3秸秆生物量最高,较T1显著增加12.7%,与T2、T4差异不显著。两地T2处理籽粒生物量和地上部总生物量均最高。说明T2处理即两侧定

表3 不同处理对夏玉米SPAD值的影响

Table 3 Effects of different treatments on SPAD of summer maize leaves			
处理 Treatment	大喇叭口期 Trumping stage	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling stage
CK	50.1±0.6c	55.4±0.4d	54.2±0.1b
T1	51.8±0.2b	58.8±0.1bc	60.1±0.4a
T2	52.6±0.2a	59.3±0.3a	60.3±0.7a
T3	53.0±0.2a	58.5±0.1c	60.3±1.1a
T4	51.7±0.3b	59.1±0.1ab	60.5±0.5a

表2 不同处理对夏玉米产量及其构成因子的影响

Table 2 Effects of different fertilizer treatments on yield and its components of summer maize								
处理 Treatment	滑县 Huaxian				鹤壁 Hebi			
	穗粒数 Grain number	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	增产率 Increase rate/%	穗粒数 Grain number	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	增产率 Increase rate/%
CK	569.4±12.4b	276.1±6.1b	9 143.4±399.6c	—	547.4±38.9b	273.5±4.3b	8 880.6±364.3c	—
T1	605.3±25.2ab	294.6±8.5a	10 588.2±214.6b	15.8	581.8±11.3ab	280.5±1.5ab	9 791.0±336.3b	10.3
T2	630.1±27.7a	285.4±13.7ab	11 458.0±553.8a	25.3	625.3±25.0a	296.7±10.7a	10 626.1±440.2a	19.7
T3	613.4±31.8ab	283.0±11.5ab	10 669.2±243.8b	16.7	610.9±28.6a	283.5±17.9ab	10 159.9±419.8ab	14.4
T4	622.5±63.5ab	295.8±15.7a	11 081.1±463.1ab	21.2	607.8±31.3a	279.7±9.6ab	10 212.4±98.0ab	15.0

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。
Notes: The different lowercase letters in a column indicate significant differences among treatments at P<0.05. The same below.

表4 夏玉米成熟期地上部生物量(t·hm⁻²)

Table 4 Aboveground biomass of summer maize at maturity stage(t·hm ⁻²)						
处理 Treatment	滑县 Huaxian			鹤壁 Hebi		
	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒+秸秆 Total	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒+秸秆 Total
CK	10.4±0.8b	8.4±0.2d	18.8±0.7b	8.8±0.5d	7.2±0.5c	16.0±0.6c
T1	12.6±0.6a	8.9±0.0cd	21.5±0.6a	9.7±0.2c	7.9±0.4b	17.6±0.4b
T2	13.2±1.0a	9.9±0.3a	23.1±0.9a	10.9±0.5a	8.6±0.0a	19.6±0.5a
T3	12.1±1.2a	9.5±0.4ab	21.6±1.6a	10.7±0.9ab	8.9±0.3a	19.6±1.1a
T4	12.6±1.3a	9.1±0.2bc	21.7±1.3a	10.1±0.1bc	8.3±0.2ab	18.4±0.1b

量施肥 7.0 g 能促进地上部生物量的积累。

2.4 不同处理对夏玉米氮磷钾养分积累量的影响

由表 5 可知,试验地点和处理均显著影响夏玉米氮磷钾养分积累量 ($P<0.05$),滑县较鹤壁各处理氮素积累量略高。在滑县氮磷钾养分分别较 CK 提高 21.4%~43.8%、21.6%~40.4% 和 21.1%~31.6%,其中 T2 处理氮磷素积累量均最高,且 T2 磷素积累量较 T4 处理显著提高 15.4%,钾素积累量 T3 处理最高,但与 T2 和 T4 差异不显著;鹤壁氮磷钾较 CK 处理分别提高 24.1%~48.1%、16.8%~51.3% 和 8.0%~26.2%。T2 氮磷素积累量最高,T2 处理氮素积累量较 T1 和 T4 显著增加 19.3% 和 8.7%,磷素较 T1、T3 和 T4 分别显著增

加 29.5%、10.1% 和 21.6%,T3 处理钾素积累量最高,较 T1 和 T4 显著增加 10.3% 和 16.8%,与 T2 差异不显著。说明 T2(两侧定量施肥 7.0 g)处理与 T4(常规施肥)处理相比更有利于促进地上部氮磷钾素的吸收,特别是氮素和磷素的吸收。

2.5 不同处理对夏玉米肥料利用率的影响

由表 6 可知,滑县 T1 处理肥料偏生产力显著高于其他施肥处理,施肥量相同条件下,T2 肥料农学效率和偏生产力均最高,较 T3 和 T4 分别提高 19.5%~51.8% 和 3.4%~7.4%,T3 肥料吸收利用率略高于 T2,两者差异不显著;鹤壁 T2 氮肥利用率、农学效率和偏生产力均最高,T2 较 T4 氮肥利用率显著提高 8.3 个百分点。说明 T2(两侧定量施肥 7.0 g)处理更有利于提高肥料利用率。

3 讨论

适当减少施氮量及增加后期追肥次数可实现夏玉米的高产和肥料的高效利用^[22-23]。整个玉米生育期,高温多雨,植株高大,追肥困难,而农民通常在苗期使用中小型施肥机械开沟条施,对植株造成机械损伤,大喇叭口期或灌浆期追肥后通常由于大水漫灌或降雨造成肥料资源的浪费^[23-24]。本研究采用压缩粒片状肥料,使肥料养分实现缓慢释放,既满足玉米生育前期的养分需求也不会造成后期“脱肥”,保证玉米全生育期养分供应,且无缓控释肥包膜材料的环境影响,实现单株定量精准施肥^[25]。本试验结果表明,两侧定量施肥较株间定量施肥、常规施肥(氮肥两次开沟条施)产量增加,这与王宜伦等^[25]研究结果一致,且较单株限域定量施肥增产效果好^[26],多点根际施肥,有利于夏玉米对养分的吸收利用,进而实现增产。两侧定量施肥 7.0 g 较两侧定量施肥 5.8 g 显著增产,说明高产夏玉米养分需求量大,充足的养分供应是高产的基础。

适宜的施肥位置可促进玉米对养分的吸收利用,两侧定量施肥使得每株玉米四个方向有养分供应。

表 5 不同处理对夏玉米氮磷钾养分积累量的影响($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 5 Effects of different fertilizer treatments on nutrient accumulation of summer maize($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

地点 Site	处理 Treatment	N	P	K
滑县 Huaxian	CK	201.6±15.0b	24.5±1.3c	128.9±2.2c
	T1	244.7±17.4ab	30.8±0.8ab	156.1±3.1b
	T2	289.9±19.3a	34.4±2.5a	167.9±3.9ab
	T3	289.5±25.3a	33.3±2.3ab	169.6±5.1a
	T4	254.4±24.7ab	29.8±3.7b	158.2±12.3ab
鹤壁 Hebi	CK	184.7±9.4d	31.6±1.9d	146.9±9.3d
	T1	229.3±8.6c	36.9±0.8c	168.1±13.7bc
	T2	273.5±0.7a	47.8±2.5a	185.2±4.9ab
	T3	266.0±14.1ab	43.4±2.5b	185.4±6.1a
	T4	251.6±18.3b	39.3±0.2c	158.7±2.2cd
ANOVA				
地点 Site(S)		*	***	***
处理 Treatment(T)		***	***	***
S×T		NS	NS	NS

注:同列数据后不同小写字母表示同一地点不同处理间在 0.05 水平差异显著;NS 和*、*** 分别表示试验地点、处理及其交互作用的影响不显著和在 0.05、0.001 水平上显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments at the same site ($P<0.05$); NS, * and *** represent not significant effect, significant effect at 0.05 and 0.001 probability levels, respectively.

表 6 不同处理夏玉米氮磷钾的利用率

Table 6 Effects of different treatments on N, P and K use efficiency of summer maize

处理 Treatment	滑县 Huaxian			鹤壁 Hebi		
	肥料吸收利用率 RE/%	肥料农学效率 AE/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	肥料偏生产力 PFP/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	氮肥利用率 REN/%	氮肥农学效率 AEN/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	氮肥偏生产力 PFPN/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
T1	22.52a	4.25ab	48.35a	—	—	—
T2	34.88a	5.89a	43.24b	33.51a	6.59a	40.10a
T3	34.92a	3.88b	40.26b	30.68ab	4.83a	38.34a
T4	22.21a	4.93ab	41.82b	25.26b	5.03a	38.54a

本研究结果表明,两侧定量施肥 7.0 g 较常规施肥促进了夏玉米对氮磷钾养分的吸收利用,保持各生育时期叶片具有较高叶绿素含量,有利于光合作用,促进干物质积累,氮肥利用率显著提高,实现了高产和高效生产。近根施肥、根际施肥、根区施肥均可提高肥料利用率^[27-28],根据单株玉米需肥特性,研制玉米粒片专用肥,研发配套的施肥机械,是实现夏玉米高产、高效和简化施肥的有效途径之一。

4 结论

夏玉米苗期两侧单株定量施肥 7.0 g,即两株玉米中间两边间隔 15 cm 左右各施一粒 7.0 g 粒片状肥料,每 2 片含 N 4.00 g、P₂O₅ 1.72 g、K₂O 1.43 g,较常规施肥增产 3.8%,磷素积累量显著提高 18.5%,促进了氮磷钾养分吸收利用,氮肥利用率显著提高 8.3 个百分点,初步实现了夏玉米高产、高效和简化施肥。

参考文献:

- [1] 徐洋,杨帆,张卫峰,等. 2014—2016 年我国种植业化肥施用状况及问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(1):11-21.
XU Yang, YANG Fan, ZHANG Wei-feng, et al. Status and problems of chemical fertilizer application in crop plantations of China from 2014 to 2016[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2019, 25(1):11-21.
- [2] 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, 45(5):915-924.
ZHANG Fu-suo, WANG Ji-qing, ZHANG Wei-feng, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5):915-924.
- [3] 李书田,刘晓永,何萍. 当前我国农业生产中的养分需求分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6):1416-1432.
LI Shu-tian, LIU Xiao-yong, HE Ping. Analyses on nutrient requirements in current agriculture production in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2017, 23(6):1416-1432.
- [4] 王艳语,苗俊艳. 世界及我国化肥施用水平分析[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(4):22-23.
WANG Yan-yu, MIAO Jun-yan. Analysis on fertilizer application level in world and China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2016, 31(4):22-23.
- [5] 申向东,赵曦阳,艾鹏慧,等. 传统农业施肥的不足及现代农业施肥的发展方向[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12):77-81.
SHEN Xiang-dong, ZHAO Xi-yang, AI Peng-hui, et al. Disadvantages of fertilization in traditional agriculture and development direction of fertilization in modern agriculture[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2016, 45(12):77-81.
- [6] 白由路. 植物营养与肥料研究的回顾与展望[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17):3477-3492.
BAI You-lu. Review on research in plant nutrition and fertilizers[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17):3477-3492.
- [7] 周宝元,王新兵,王志敏,等. 不同耕作方式下缓释肥对夏玉米产量及氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3):821-829.
ZHOU Bao-yuan, WANG Xin-bing, WANG Zhi-min, et al. Effect of slow-release fertilizer and tillage practice on grain yield and nitrogen efficiency of summer maize (*Z. mays* L.)[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(3):821-829.
- [8] 徐钰,刘兆辉,张建军,等. 不同氮肥管理措施对华北地区夏玉米田增产减排的效果分析[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1):9-15.
XU Yu, LIU Zhao-hui, ZHANG Jian-jun et al. Effect of different nitrogen management measures on yield and nitrous oxide emission of summer maize field in North China Plain[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018(1):9-15.
- [9] 崔吉晓,檀海斌,吴佳迪,等. 微喷灌水肥一体化对河北夏玉米生长及产量的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(3):105-110.
CUI Ji-xiao, TAN Hai-bin, WU Jia-di, et al. Effects of fertigation on maize growth and yield through micro-sprinkling irrigation in Hebei Province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2017, 25(3):105-110.
- [10] 葛均筑,展茗,赵明,等. 一次性施肥对长江中游春玉米产量及养分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5):1073-1082.
GE Jun-zhu, ZHAN Ming, ZHAO Ming, et al. Effects of single basal fertilization on yield and nutrient use efficiencies of spring maize in the middle reaches of Yangtze River[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(5):1073-1082.
- [11] 杨峰,闫秋艳,鲁晋秀,等. 氮肥运筹对夏玉米产量、氮素利用率及土壤养分残留量的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(1):171-178.
YANG Feng, YAN Qiu-yan, LU Jin-xiu, et al. Effects of nitrogen application on summer maize yield, nutrient utilization efficiency and soil available nutrient residues[J]. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 2017, 32(1):171-178.
- [12] Júnior L A Z, Costa A, Júnior R A R, et al. Nitrogen fertilization of maize with enhanced-efficiency fertilizer[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2019, 13(8):1383-1387.
- [13] Zhao B, Dong S T, Zhang J W, et al. Effects of controlled-release fertiliser on nitrogen use efficiency in summer maize[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(8):e70569.
- [14] 江丽华,谭德水,李子双,等. 黄淮海平原夏玉米一次性施肥肥料产品的筛选与产量效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20):3876-3886.
JIANG Li-hua, TAN De-shui, LI Zi-shuang, et al. Fertilizer product screening and yield response about one-off fertilization on summer maize in Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20):3876-3886.
- [15] 赵斌,董树亭,张吉旺,等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10):1760-1768.
ZHAO Bin, DONG Shu-ting, ZHANG Ji-wang, et al. Effects of controlled-release fertilizer on yield and nitrogen accumulation and distribution in summer maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(10):1760-1768.
- [16] 王宜伦,李潮海,谭金芳,等. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及

- 一次性施肥效果研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15):3151-3158.
- WANG Yi-lun, LI Chao-hai, TAN Jin-fang, et al. Studies on plant nitrogen accumulation characteristics and the effect of single application of base fertilizer on super-high-yield summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(15):3151-3158.
- [17] 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.
- YANG Yan, TAN De-shui, JIANG Li-hua, et al. The effects of one-off fertilization of summer maize in Huang-Huai-Hai region[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(20):3909-3919.
- [18] 周丽平, 杨俐苹, 白由路, 等. 不同氮肥缓释化处理对夏玉米田间氨挥发和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6):1449-1457.
- ZHOU Li-ping, YANG Li-ping, BAI You-lu, et al. Comparison of several slow-released nitrogen fertilizers in ammonia volatilization and nitrogen utilization in summer maize field[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(6):1449-1457.
- [19] 陈宏坤, 徐广飞, 高璐阳, 等. 缓控释肥包膜材料的研究进展[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(12):19-21.
- CHEN Hong-kun, XU Guang-fei, GAO Lu-yang, et al. Research advances of coated material of slowly controlled release fertilizer[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2016, 31(12):19-21.
- [20] 徐霞, 赵亚南, 黄玉芳, 等. 河南省玉米施肥效应对基础地力的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(6):991-1001.
- XU Xia, ZHAO Ya-nan, HUANG Yu-fang, et al. Response of fertilization effect of maize to inherent soil productivity in Henan Province [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2019, 25(6):991-1001.
- [21] 侯云鹏, 杨晓丹, 杨建, 等. 不同施肥模式下玉米氮、磷、钾吸收利用特性研究[J]. 玉米科学, 2017, 25(5):128-135.
- HOU Yun-peng, YANG Xiao-dan, YANG Jian, et al. Research on absorption and utilization characteristics of N, P and K under different fertilization modes[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2017, 25(5):128-135.
- [22] 徐明杰, 张琳, 汪新颖, 等. 不同管理方式对夏玉米氮素吸收、分配及去向的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1):36-45.
- XU Ming-jie, ZHANG Lin, WANG Xin-ying, et al. Effects of different management patterns on uptake, distribution and fate of nitrogen in summer maize[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(1):36-45.
- [23] Cheng Y, Zhao Jie, Liu Z X, et al. Modified fertilization management of summer maize (*Zea mays* L.) in northern China improves grain yield and efficiency of nitrogen use[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(8):1644-1657.
- [24] 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.
- JU Xiao-tang, GU Bao-jing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(4):783-795.
- [25] 王宜伦, 白由路, 谭金芳, 等. 采用粒片状肥料实现夏玉米一次施肥的可行性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4):1126-1132.
- WANG Yi-lun, BAI You-lu, TAN Jin-fang, et al. Availability study of once quantitative fertilization in summer maize using fertilizer tablets[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(4):1126-1132.
- [26] 冀保毅, 程琴, 李跃伟, 等. 单株限量定量施肥实现夏玉米一次性施肥的可行性[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(10):59-61.
- Ji Bao-yi, CHENG Qin, LI Yue-wei, et al. The feasibility of single plant limited area quantitative fertilization to realize single fertilization for summer maize[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(10):59-61.
- [27] 白由路. 国内外施肥机械的发展概况及需求分析[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3):1-4.
- BAI You-lu. Analysis of the development and the demands of fertilization machinery[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016(3):1-4.
- [28] 王火焰, 周健民. 根区施肥——提高肥料养分利用率和减少面源污染的关键和必需措施[J]. 土壤, 2013, 45(5):785-790.
- WANG Huo-yan, ZHOU Jian-min. Root-zone fertilization: A key and necessary approach to improve fertilizer use efficiency and reduce non-point source pollution from the cropland[J]. *Soils*, 2013, 45(5):785-790.