



郝玉波,李梁,于洋,等.增施秸秆有机肥及减施化肥对玉米产量形成和肥料偏生产力的影响[J].黑龙江农业科学,2021(7):15-18.

# 增施秸秆有机肥及减施化肥对玉米产量形成和肥料偏生产力的影响

郝玉波<sup>1</sup>,李 梁<sup>1</sup>,于 洋<sup>1</sup>,钱春荣<sup>1</sup>,宫秀杰<sup>1</sup>,姜宇博<sup>1</sup>,吕国依<sup>1</sup>,谢连杰<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150028; 2. 山东省招远市农业技术推广中心,山东 烟台 265400)

**摘要:**为提高黑土区玉米田肥料利用率并提升地力,本研究采用常规施肥(缓释肥,29-10-13,600 kg·hm<sup>-2</sup>)为对照(CK),设置4个不同秸秆有机肥+减施化肥处理,分析玉米植株农艺性状、叶片 SPAD 值、产量构成及肥料偏生产力,评价玉米田增施秸秆有机肥和减施化肥对玉米生长发育和产量形成的影响。结果表明:与常规施肥相比,秸秆有机肥+减肥 20% 处理(T2)玉米产量增加 10.6%,秸秆有机肥+减肥 30% 和 50% 处理(T3、T4)均未降低玉米产量;3 个秸秆有机肥+减肥处理(T2、T3、T4)提高了叶片 SPAD 值,株高和产量构成要素较 CK 无显著差异;相比于常规施肥,秸秆有机肥+叶面肥处理(T1)叶片黄化,叶片 SPAD 值降低,穗长和行粒数减少,显著减产 46.9%。3 个秸秆有机肥+减肥处理(T2、T3、T4)氮肥偏生产力分别较对照提高 38.4%、41.6% 和 100.5%。在本试验条件下,不使用化肥仅依靠秸秆有机肥和叶面肥,无法满足玉米需肥水平而严重减产,同时减化肥 20%~50% 配施秸秆有机肥可实现玉米减肥不减产且能提高肥料偏生产力。

**关键词:**玉米;秸秆有机肥;肥料偏生产力

玉米是我国第一大粮食作物,在保障粮食安全中具有重要的战略地位。玉米是需肥量较大的作物,随着产量水平不断提高,施肥量也迅速增加<sup>[1-2]</sup>。控制化肥施用并提高肥效已成为当前玉米生产面临的重要挑战。因此,亟需一种既可以保障玉米产量稳定,又可减少化肥施用量、促进农业可持续发展的施肥措施。

黑龙江省是全国最大玉米商品粮生产基地,玉米秸秆综合利用已经成为制约玉米产业发展的瓶颈问题,秸秆肥料化是解决玉米田秸秆焚烧问题和实现黑土地保护的重要途径。秸秆作为农业生产的重要副产物和有机肥源,富含多种营养成分,可以改良土壤、培肥地力和实现黑土区农业可持续发展。据统计 1 t 玉米秸秆含有有机碳为 427.55 kg,全氮 4.25 kg,全磷 2.06 kg 和全钾 12.2 kg<sup>[3]</sup>。目前,秸秆还田试验中多为作物秸秆单独还田,由于玉米秸秆中碳氮比过高,单独还田

时微生物的分解作用减慢,而且要消耗土壤中的有效态氮素,易与作物发生争氮现象<sup>[4]</sup>,且还存在病虫害和保苗率低等问题。而秸秆经过腐熟后还田,是玉米秸秆肥料化的有益补充。有研究表明,连续 5 年施用 15 t·hm<sup>-2</sup> 玉米秸秆有机肥,作物增产 19.1%,且土壤化学性质和物理性质都有明显提高,随着秸秆有机肥施用量的增加,其对土壤的培肥作用越发明显<sup>[5]</sup>。李玮等<sup>[6]</sup>研究发现有机肥能显著降低砂姜黑土容重,提升土壤有机质含量,而且有机肥配施无机肥改良效果最佳。在东北中部黑土区,有机无机配施是提升地力、保障玉米高产稳产的有效途径<sup>[7]</sup>。可以看出,关于有机肥、有机肥与化肥配施对作物影响的研究已有大量报道,但在减施化肥的基础上配施有机肥方面的相关研究较少。因此,本研究针对黑龙江省玉米生产中普遍存在过度依赖化肥和轻视有机肥的现象,研究减施化肥配施秸秆有机肥与叶面肥对玉米生长发育、产量及土壤肥力的影响,从而为玉米生产中减肥增效提供理论依据和合理的施肥方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2020 年在黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡国家现代农业科技示范展示基地进

收稿日期:2021-04-03

**基金项目:**黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX12-01,HNK2019CX1302);国家重点研发计划(2017YFD0201803);黑龙江省农业科学院高效、绿色现代农业示范项目(TYG-2019-09);国家自然科学基金青年资助项目(31501252)。

**第一作者:**郝玉波(1982—),男,博士,助理研究员,从事玉米抗逆高产栽培研究。E-mail:yubohao2005@163.com。

**通信作者:**钱春荣(1973—),女,博士,研究员,从事作物耕作栽培研究。E-mail:qcr3906@163.com。

行(45°85′N,126°84′E)。试验土壤为黑钙土,有机质含量 32.5 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量 1.45 g·kg<sup>-1</sup>,全磷含量 0.53 g·kg<sup>-1</sup>,全钾含量 0.87 g·kg,碱解氮 126.3 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 29.5 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 220.9 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤 pH6.36。

1.2 材料

供试玉米品种为京农科 728。供试肥料为缓释肥(29-10-13,安徽茂施新型肥料有限公司);秸秆有机肥和叶面肥由黑龙江省农世大农业科技有限公司提供,秸秆有机肥利用玉米秸秆在腐熟剂作用下发酵而成,叶面肥养分组成为氨基酸 ≥100 g·L<sup>-1</sup>,Mn+Zn+B≥20 g·L<sup>-1</sup>。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用大区对比设计,共设置 5 个处理详见表 1。

玉米种植密度 67 500 株·hm<sup>-2</sup>,采用垄作种植方式。5 月 1 日播种,10 月 10 日人工收获。期间按照当地习惯进行田间管理。小区 8 行区,行距 65 cm,行长 30 m,小区面积 156 m<sup>2</sup>。

表 1 各试验处理施肥方案

处理	施肥方案	缓释肥/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	秸秆有机肥/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	常规施肥,一次性施用缓释肥	600	0
T1	基肥施用秸秆有机肥+V3 和 V6 时期两次喷施叶面肥	0	7500
T2	基肥施用秸秆有机肥+减肥 20%	480	3750
T3	基肥施用秸秆有机肥+减肥 30%	420	3750
T4	基肥施用秸秆有机肥+减肥 50%	300	3750

1.3.2 调查项目及方法 在玉米乳熟期测定株高、穗位高和叶片 SPAD 值,成熟期进行考种和测产。利用叶绿素计测定叶片 SPAD 值,穗高系数=穗位高/株高,肥料偏生产力(Partial Factor Productivity,PFP,kg·kg<sup>-1</sup>)=作物经济产量/施肥量。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2003 绘制相关图表,并用 DPS 7.05 对所有数据进行统计,利用最小显著极差法(LSD)进行方差检验。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米叶片 SPAD 的影响

由图 1 可知,T1 处理下,玉米穗位叶 SPAD 值较 CK 显著降低 31%,可见仅施用秸秆有机肥 7 500 kg·hm<sup>-2</sup>和喷施 2 次叶面肥,土壤供肥能力不足,叶片黄化,玉米叶片生长发育受到抑制,不利于玉米光合产物形成。T2、T3 和 T4 处理下,

玉米穗位叶 SPAD 值较 CK 分别显著增加 22%、9.2%和 19.5%,说明增施秸秆有机肥配和减施化肥 20%~50%可以提高玉米叶片的 SPAD 值,有利于提高玉米光合能力。

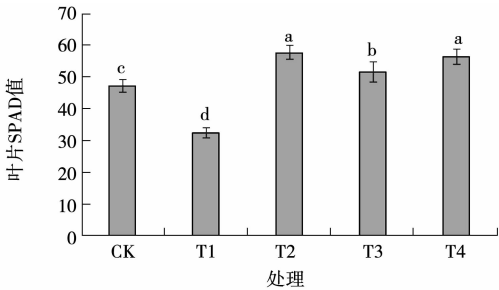


图 1 不同施肥条件下玉米叶片 SPAD 值变化

注:不同小写字母代表差异显著(P<0.05),下同。

2.2 不同施肥处理对玉米株高和穗位高的影响

由表 2 可知,秸秆有机肥+叶面肥 T1 处理株高、穗位高显著低于其他处理,较 CK 降低 8.7%和 10.7%,而 T2、T3、T4 处理的株高、穗位高和穗高系数较 CK 处理无显著差异,可见减施化肥 20%~50%配合增施秸秆有机肥玉米植株生长发育正常,对株高和穗位高无不良影响。

表 2 不同肥料处理下玉米株高和穗位高的变化

处理	株高/cm	穗位高/cm	穗高系数
CK	304.0±7.0 a	125.4±5.7 a	0.41±0.03 a
T1	277.6±5.3 b	112.0±4.4 b	0.40±0.02 a
T2	300.4±7.4 a	133.6±9.8 a	0.44±0.03 a
T3	301.4±5.0 a	125.4±1.4 a	0.42±0.01 a
T4	306.4±8.1 a	124.2±8.4 a	0.41±0.02 a

注:同列不同小写字母代表处理间差异显著(P<0.05),下同。

2.3 不同施肥处理对玉米籽粒产量的影响

由图 2 可知,T1 处理下,玉米产量为5 586 kg·hm<sup>-2</sup>,较 CK 显著减产 46.9%,说明在只施用秸秆有机肥 7 500 kg·hm<sup>-2</sup>与喷施 2 次叶面肥,无法满足玉米籽粒灌浆需要,玉米产量明显降低。T2 处理下,玉米产量为 11 632 kg·hm<sup>-2</sup>,较 CK 增产 10.6%,说明施用秸秆有机肥 3 750 kg·hm<sup>-2</sup>与减少施用化肥量 20%,有利于玉米产量的形成。T3、T4 两个处理下,玉米产量分别为10 413和 10 534 kg·hm<sup>-2</sup>,较 CK(10 518 kg·hm<sup>-2</sup>)无显著差异,说明施用秸秆有机肥 3 750 kg·hm<sup>-2</sup>与减少施用化肥量 30%和 50%,土壤供肥水平基本能够满足玉米产量形成的需要。由于玉米是需肥量大的作物,在本试验肥力条件下,如果仅施用秸秆肥和喷施叶面肥,土壤供肥能力远远不能满足玉米生长发育需要而

严重减产,而在施用秸秆有机肥 3 750 kg·hm<sup>-2</sup> 条件下,化肥减施量控制在 50% 以内,基本能保证玉米产量稳定。

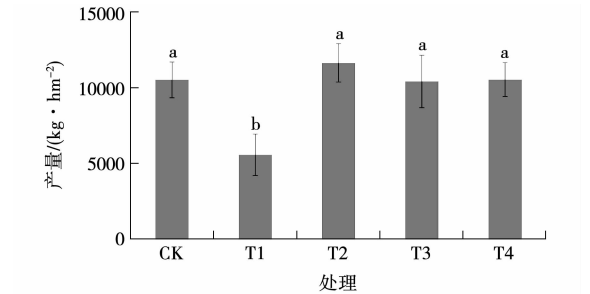


图 2 不同施肥条件下玉米籽粒产量变化

表 3 不同肥料处理下玉米产量构成的变化

处理	穗粗/cm	穗长/cm	秃尖长/cm	穗行数	行粒数
CK	5.20±0.16 a	18.10±2.13 ab	2.34±1.23 ab	14.53±1.71 a	33.87±7.04 a
T1	5.10±0.25 a	15.60±2.19 b	3.60±1.38 a	14.20±0.88 a	23.59±9.59 b
T2	5.30±0.09 a	20.00±1.14 a	1.27±0.43 b	13.80±1.44 a	37.80±2.39 a
T3	5.40±0.16 a	19.60±0.61 a	1.06±0.30 b	14.00±0.73 a	37.93±2.14 a
T4	5.27±0.19 a	18.77±1.08 a	1.32±1.19 b	14.53±1.15 a	36.07±3.55 a

2.5 不同施肥处理对肥料偏生产力的影响

由表 4 可知,CK 处理的氮肥偏生产力为 60.4 kg·kg<sup>-1</sup>,T2、T3、T4 分别达到 83.6、85.5 和 121.1 kg·kg<sup>-1</sup>,分别比 CK 显著提高的 38.4%、41.6%和 100.5%。各处理肥料偏生产力与氮肥偏生产力变化趋势一致,分别比 CK 显著提高的 38.3%、41.5%、100.3%。

表 4 不同肥料处理下玉米肥料偏生产力的变化

处理	施氮量/kg	施肥纯量/kg	氮肥偏生产力/(kg·kg <sup>-1</sup> )	肥料偏生产力/(kg·kg <sup>-1</sup> )
CK	174.0	312.0	60.4±6.8 c	33.7±3.8 c
T2	139.2	249.6	83.6±12.4 b	46.6±6.9 b
T3	121.8	218.4	85.5±9.1 b	47.7±5.1 b
T4	87.0	156.0	121.1±15.6 a	67.5±8.7 a

3 讨论与结论

增施有机肥是农业生产中保持土壤生产力,减少化肥施用的有效措施。在东北中部黑土区,连续 10 年有机培肥可显著提升土壤有机碳、全氮含量,降低化肥贡献率,实现玉米产量与单施化肥处理无显著差异<sup>[7]</sup>。本试验中,施用秸秆有机肥 7 500 kg·hm<sup>-2</sup> + 喷施叶面肥处理,玉米植株发育不良,株高和穗位高显著降低,叶片黄化,穗长和行粒数减少,显著减产 46.9%,说明在现有地力条件下,仅依靠秸秆有机肥无法满足玉米需肥要

2.4 不同施肥处理对玉米产量构成因素的影响

由表 3 可知,T1 处理下,玉米果穗行粒数较 CK 显著降低 30.4%,而穗长、穗粗、秃尖长、穗行数较 CK 无显著差异,可见 T1 处理下玉米减产的主要原因是玉米果穗发育不良,穗长减少造成的行粒数降低最终导致减产。T2、T3、T4 处理下,玉米穗粗、穗长、秃尖长、穗行数、行粒数较 CK 在统计学上均无显著差异,但从平均值上看,T2 处理下穗粗、穗长和行粒数均较 CK 有所增加,秃尖长减少,这可能是该处理下玉米增产的原因。

求,需要长期培肥才能实现产量稳定。诸多研究表明有机无机肥结合较单一施用秸秆肥或化肥能更有效地提升土壤肥力,提高作物产量<sup>[6,8-9]</sup>。罗定棋等<sup>[10]</sup>用秸秆有机肥替代 50%烟草专用复合肥,烤烟产量和品质均提高,以 2 250 kg·hm<sup>-2</sup> 烟草秸秆有机肥替代 50%复合肥综合表现最好。本试验中,与常规施肥相比,3 个秸秆有机肥 + 减肥 20%~50%提高了叶片 SPAD 值,植株高度和产量构成要素较 CK 无显著差异,其中秸秆有机肥 + 减肥 20%处理玉米产量增加 10.6%,秸秆有机肥 + 减肥 30%和 50%处理均未显著降低玉米产量。

评价一种施肥方式时不仅需要考虑对作物生长发育和产量效应,还需要考虑肥料利用率和经济生态效益等效应。肥料偏生产力是反映土壤基础养分水平和肥料施用量综合效应的重要指标,施用肥料可有效提高作物产量,但施用量过高则不利于产量和偏生产力的增加<sup>[11]</sup>。本试验中,3 个秸秆有机肥 + 减肥处理(T2、T3、T4)的氮肥偏生产力分别较对照提高 38.4%、41.6%和 100.5%,其肥料偏生产力分别达到 46.6、47.7 和 67.5 kg·kg<sup>-1</sup>,均较 CK 显著增加,说明适当减少化肥使用量配以秸秆有机肥可以明显提高化学肥料中氮、磷、钾利用效率。这与罗定棋等<sup>[10]</sup>、何浩等<sup>[12]</sup>研究结果一致。

总之,不使用化肥仅依靠秸秆有机肥、叶面肥,无法满足玉米需肥水平而严重减产,同时减肥20%~50%配施秸秆有机肥均可实现玉米减肥不减产并提高肥料偏生产力。目前,玉米生产中以化肥为主的施肥方式将长期存在,有机肥或叶面肥的施用主要在畜牧业发达地区或规模经营主体存在。随着玉米秸秆禁烧政策的深入实施和秸秆综合利用水平持续提高,以秸秆还田和秸秆有机肥为重要组成要素的秸秆肥料化必将成为秸秆综合利用的重中之重。本试验为玉米长期连作后一年期的秸秆有机肥试验,研究结果及其肥料后续效应还有待于进一步验证。

#### 参考文献:

[1] 李少昆,王崇桃.玉米高产潜力途径[M].北京:科学出版社,2010.

[2] 张福锁,米国华,刘建安.玉米氮效率遗传改良及其应用[J].农业生物技术学报,1997,5(2):122-127.

[3] 匡恩俊,迟凤琴,宿庆瑞,等.不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究[J].玉米科学,2012,20(2):99-101,106.

[4] 柳敏,张璐,字万太,等.有机物料中有机碳和有机氮的分解

进程及分解残留率[J].应用生态学报,2007,18(11):2503-2506.

[5] 宿庆瑞.玉米秸秆肥对土壤肥力及作物产量的影响[J].黑龙江农业科学,1986(3):30-33.

[6] 李玮,孔令聪,张存岭,等.长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析[J].土壤学报,2015,52(4):943-949.

[7] 张秀芝,高洪军,彭畅,等.长期有机培肥黑土有机碳、全氮及玉米产量稳定性的变化特征[J].植物营养与肥料学报,2019,25(9):1473-1481.

[8] 邢素丽,韩博文.华北平原小麦-玉米两熟作物区土壤培肥途径研究[J].土壤通报,2007,38(5):1013-1015.

[9] 赵占辉,张丛志,蔡太义,等.不同稳定性有机物料对砂姜黑土理化性质及玉米产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(10):1228-1235.

[10] 罗定棋,顾勇,高勇,等.一种能够替代烟草专用复合肥50%的秸秆有机肥应用研究[J].安徽农业科学,2018,46(31):130-132.

[11] 姜佰文,谢晓伟,王春宏,等.应用腐殖酸减肥对玉米产量及氮效率的影响[J].东北农业大学学报,2018,49(3):21-29.

[12] 何浩,张宇彤,危常州,等.不同有机替代减肥方式对玉米生长及土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2019,33(5):281-287.

## Effects of Increasing Straw Organic Fertilizer and Decreasing Chemical Fertilizer on Maize Yield Formation and Fertilizer Partial Factor Productivity in Black Soil Area

HAO Yu-bo<sup>1</sup>, LI Liang<sup>1</sup>, YU Yang<sup>1</sup>, QIAN Chun-rong<sup>1</sup>, GONG Xiu-jie<sup>1</sup>, JIANG Yu-bo<sup>1</sup>, LYU Guo-yi<sup>1</sup>, XIE Lian-jie<sup>2</sup>

(1. Institute of Crop Farming and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China; 2. Shandong Zhaoyuan Agricultural Technology Extension Center, Yantai 265400, China)

**Abstract:** In order to improve fertilizer utilization rate and soil fertility in black soil area, the field experiment was set as follows. Conventional fertilizer application (slow-release fertilizer, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 29:10:13, 600 kg·hm<sup>-2</sup>) was used as control(CK), and four treatments with increasing straw organic fertilizer and decreasing chemical fertilizer(T1, T2, T3 and T4) were set to analyze the agronomic traits of plants, leaf SPAD value, yield and fertilizer partial factor productivity, and to evaluate the effects of increasing straw organic fertilizer and decreasing chemical fertilizer on plant growth and yield formation of maize. Compared with CK, maize yield increased by 10.6% after straw organic fertilizer+20% chemical fertilizer reduction(T2), while maize yield did not reduce after straw organic fertilizer+30% and 50% chemical fertilizer reduction(T3 and T4). The SPAD value of leaves increased after T2, T3 and T4 treatments, and the plant height and yield components remained the same. Compared with CK, after straw organic fertilizer+foliar fertilizer treatment(T1), maize leaf became etiolating, meanwhile SPAD value, ear length and row number of grains decreased, so as to yield reduced by 46.9% significantly. The nitrogen partial factor productivity of T2, T3 and T4 treatments increased by 38.4%, 41.6% and 100.5% respectively. Under the condition of this experiment, without the use of chemical fertilizer, only relying on straw organic fertilizer and foliar fertilizer could not meet the fertilizer required level of maize, which resulted in serious yield reduction. Chemical fertilizer reduced by 20%-50% combined with increasing straw organic fertilizer could achieve stable yield and improve fertilizer partial factor productivity.

**Keywords:** maize; straw organic fertilizer; fertilizer partial factor productivity