

# 不同有机替代减肥方式对玉米生长及土壤肥力的影响

何浩, 张宇彤, 危常州, 李俊华

(石河子大学农学院, 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

**摘要:** 研究不同有机替代减肥方式对玉米生长及土壤肥力的影响, 为玉米生产中减肥增效提供经济可行的施肥方案和理论依据。通过大田试验, 设置不施肥空白(CK)、常规施肥(CF)、腐植酸有机肥+氮肥减量 10%+磷钾肥(HF)、肥料增效剂+氮肥减量 10%+磷钾肥(BN)、商品有机肥+氮肥减量 10%+磷钾肥(OF)5 个处理。结果表明: 较 CF 处理, HF、BN 和 OF 处理促进了玉米的生长, 增加不同生育期的玉米株高和茎粗; 有效改善玉米穗部性状和产量构成, 玉米产量分别增加了 11.12%, 6.47%, 14.43%, 净收益分别增加了 217.24, 564.99, -506.46 元/hm<sup>2</sup>; 提高玉米生育期内的土壤碱解氮、速效磷和速效钾的含量; 提高了肥料利用率、养分偏生产力 and 养分农学利用效率, 其中氮肥分别显著提高了 8.15%, 9.34%, 14.08% ( $P < 0.05$ ), 钾肥分别显著提高 15.92%, 21.13%, 29.36% ( $P < 0.05$ )。因此, HF 和 BN 处理可以促进玉米生长, 增产增效, 提高肥料利用率和土壤肥力, 为有玉米生产中减肥增效提供了经济可行的施肥方案和理论依据。

**关键词:** 有机替代; 减肥; 玉米; 产量; 经济效益; 土壤肥力

中图分类号: S146.1; S513; S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0281-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.05.041

## Effects of Different Organic Substitution Reducing Fertilizer Patterns on Maize Growth and Soil Fertility

HE Hao, ZHANG Yutong, WEI Changzhou, LI Junhua

(College of Agronomy, Shihezi University, Key Laboratory of Oasis Eco-Agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi, Xinjiang 832003)

**Abstract:** The effects of different organic substitution reducing fertilizer patterns on maize (*Zea Mays* L.) growth and soil fertility were studied, which provided economic and feasible fertilization scheme and theoretical basis for reducing fertilization and increasing benefits in maize production. Five treatments were set up in the field experiments, which were no fertilizer (CK), conventional fertilization (CF), humic acid organic fertilizer + reduction of 10% nitrogen fertilizer + phosphate and potassium fertilizer (HF), fertilizer synergist + reduction of 10% nitrogen fertilizer + phosphate and potassium fertilizer (BN), commercial organic fertilizer + reduction of 10% nitrogen fertilizer + phosphate and potassium fertilizer (OF). The results showed that compared with CF, HF, BN and OF promoted maize growth, increased plant height and stem diameter at different growth stages. Meanwhile, HF, BN and OF effectively improved maize ear traits and yield components, maize yield increased by 11.12%, 6.47% and 14.43%, respectively, net income per hectare increased by 217.24 yuan, 564.99 yuan and -506.46 yuan. The above three treatments increased the contents of soil alkaline nitrogen (AN), available phosphorus (AP) and available potassium (AK) in the growth period of maize, and increased fertilizer recovery efficiency (RE), partial factor productivity (PFP) and agronomic use efficiency (AUE). Among them, the recovery efficiency of nitrogen fertilizer significantly increased by 8.15%, 9.34% and 14.08% ( $P < 0.05$ ), respectively, and potassium fertilizer significantly increased by 15.92%, 21.13% and 29.36% ( $P < 0.05$ ), respectively. Therefore, HF and BN treatments could promote maize growth, increase yield and efficiency, improve fertilizer use efficiency and soil fertility, and provide economical and feasible fertilization scheme and theoretical basis for reducing fertilization and increasing benefits in maize production.

**Keywords:** organic substitution; reducing fertilizer; maize; yield; economic benefit; soil fertility

收稿日期: 2019-03-28

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201808, 2018YFD0200406); 国家自然科学基金项目(31660598, 31360501)

第一作者: 何浩(1993—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事植物营养生理生态研究。E-mail: hehao8303@163.com

通信作者: 李俊华(1972—), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事新型肥料与现代施肥技术研究。E-mail: ljh630703@163.com

玉米是我国主要的粮饲兼用作物,在保障粮食安全中发挥着重要的战略地位。玉米对氮肥比较敏感,施用氮肥是提高产量的重要手段。近年来,在玉米生产上盲目追求产量而过度施氮的现象非常普遍,造成肥料利用率降低、农业生产成本增加、农业面源污染严重等问题,并威胁到农业生态环境可持续发展<sup>[1-3]</sup>。农业部提出,力争到 2020 年实现“化肥零增长”的目标,并解决农业污染问题<sup>[4]</sup>。因此,迫切需要一种在保障玉米稳产和增加农民收益基础上,减少化肥施用量、促进农业可持续发展的施肥措施。

有机肥具有丰富的养分和缓效性、改善土壤理化性质、促进微生物繁殖和活动、改善作物品质等特点。增施有机肥是农业生产中保持土壤生产力,减少化肥施用和节约成本的有效措施<sup>[5-6]</sup>。其中化肥与商品有机肥或腐殖酸有机肥配施可以促进作物生长、提高产量、增加肥料利用率、培肥土壤、减少环境污染<sup>[7-11]</sup>。也有研究<sup>[12]</sup>发现,肥料增效剂的运用可以减少肥料用量、降低施肥成本、减轻化肥污染、保护生态环境。当肥料增效剂与氮肥配施时,可以降低氮素损失、促进作物生长发育、提高作物产量,节本增效效果明显<sup>[13-14]</sup>。可以看出,关于化肥与有机肥或肥料增效剂配施对作物生长、产量、土壤肥力以及养分利用率影响的研究已有大量报道,其中大多为推荐化肥用量基础上的研究,但在减肥的基础上配施有机肥或肥料增效剂方面的相关研究较少。因此,本研究基于新疆玉米生产中普遍存在过度依赖化肥和重氮肥,轻磷钾肥的现象,并造成了农业成本增加、养分利用效率低、土壤肥力下降等问题,希望运用不同有机替代减肥方式在保障玉米增产稳产前提下,提高肥料利用效率,培肥土壤和增加农民收入。通过田间试验,研究不同有机替代减肥方式对玉米生长发育、产量及土壤肥力的影响,为当地玉米生产中减肥增效提供经济可行的施肥方案和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于新疆伊宁县现代农业技术示范园

(43°55'N, 81°33'E, 海拔 683 m), 该县属温带荒漠气候, 冬春温和湿润, 夏秋温暖干燥, 年平均气温 10.6 °C, 年最高气温 35.8 °C, 年降水量 250~551.7 mm, 无霜期 154~184 d,  $\geq 10$  °C 有效积温 3 621.2 °C。试验区土壤类型为灌溉灰钙土, 耕层(0—20 cm)土壤的基本理化性质: pH 为 7.71, 有机质含量为 12.73 g/kg, 全氮含量为 0.96 g/kg, 碱解氮含量为 85.95 mg/kg, 速效磷含量为 23.94 mg/kg, 速效钾含量为 229.24 mg/kg。

### 1.2 供试材料

供试肥料: 化肥包括尿素(含 N 46.0%)、磷酸二铵(含 N 18.0%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46.0%)、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 51.0%); 商品有机肥(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O  $\geq 5\%$ , 有机质  $\geq 45\%$ ); 腐殖酸有机肥(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O  $\geq 5\%$ , 有机质含量  $\geq 60\%$ , 腐殖酸  $\geq 28\%$ ); 肥料增效剂(陶氏益农一伴能); 新型氮肥增效剂, 有效成分为 2-氯-6-三氯甲基吡啶, 有效成分含量为 200 g/L, 形态为水剂, 剂型为微囊悬浮剂。

### 1.3 试验设计

试验于 2018 年 4—9 月进行, 为田间小区试验。供试植物为玉米, 品种为“新玉 50”。设置 5 个处理: (1) 不施肥空白(CK); (2) 常规施肥(CF); (3) 腐植酸有机肥+氮肥减量 10%+磷钾肥(HF); (4) 肥料增效剂+氮肥减量 10%+磷钾肥(BN); (5) 商品有机肥+氮肥减量 10%+磷钾肥(OF)。选取地力水平均匀连续的地块, 采取完全随机区组排列, 每个处理共设 3 个重复, 共 15 个小区, 每个小区面积 33.2 m<sup>2</sup> (4 m×8.3 m), 于 2018 年 4 月 28 日进行机械播种, 采用 50.0 cm 等行距不覆膜种植方式, 株距 21.5 cm, 理论株数  $9.3 \times 10^4$  株/hm<sup>2</sup>, 灌溉方式为沟灌, 其他田间管理措施与当地常规管理方法一致。春季农田翻耕(2018 年 4 月 22 日)前, 腐植酸有机肥, 肥料增效剂与尿素拌匀, 商品有机肥作为基肥施入, 40% 氮肥与磷钾肥基肥施入, 剩余 60% 氮肥在拔节期人工追施尿素(沟施), 施肥方案见表 1。

表 1 不同处理施肥方案

单位: kg/hm<sup>2</sup>

处理	基肥				追肥 N	总化肥量		
	化肥			不同方式		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O					
CK	0	0	0	0	0	0	0	
CF	120.0	180.0	60.0	0	180.0	300.0	60.0	
HF	90.0	180.0	60.0	600.0	180.0	270.0	60.0	
BN	90.0	180.0	60.0	0.6	180.0	270.0	60.0	
OF	90.0	180.0	60.0	1800.0	180.0	270.0	60.0	

注: 表中不同方式中 HF 为腐殖酸有机肥; BN 为肥料增效剂(伴能施用量为 3 L/hm<sup>2</sup>, 相当于 0.6 kg/hm<sup>2</sup>); OF 为商品有机肥。

### 1.4 样品采集及测定指标

试验开始前用土钻按“S”形采集试验地 0—20 cm 土样, 测定土壤基础理化指标。在玉米苗期(2018

年 5 月 28 日)、拔节期(2018 年 6 月 18 日)、大喇叭口期(2018 年 7 月 6 日)、吐丝期(2018 年 7 月 20 日)和成熟期(2018 年 8 月 28 日), 每个小区选取长势均

匀10株玉米,测定玉米株高和茎粗(用游标卡尺测定茎基第1节间);每个小区选取具有代表性3株玉米进行采样,并测定其地上部干物质重(成熟期包括籽粒重)和植株氮磷钾含量;每个小区用土钻按“S”形采集0—20 cm土样,测定土壤碱解氮、速效磷和速效钾。玉米成熟后,每个小区选取长势均匀10株玉米进行考种和测产,测定穗长、穗粗、秃尖长、行粒数、穗行数、穗粒数和千粒重。脱粒,烘干后称重,计算小区产量(折算籽粒含水量为14%)。

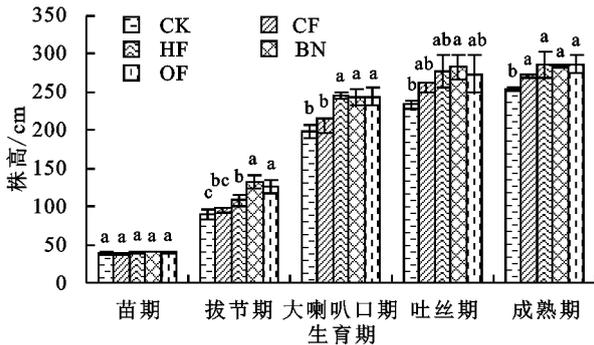
土壤碱解氮测定采用碱解扩散法,土壤全氮测定采用凯氏定氮法,土壤速效磷测定采用钼锑抗比色法,土壤速效钾测定用火焰光度法,土壤有机质测定用重铬酸钾—外加热法,土壤pH测定采用电位计法(水土比2.5:1)。玉米地上部干物质重用烘干法测定,植株样品经 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮后,全氮测定采用奈氏比色法,全磷测定采用钼锑抗比色法,全钾测定采用火焰光度计法<sup>[15]</sup>。

### 1.5 数据处理

试验数据采用SPSS 17.0软件处理和分析,不同处理采用Duncan法进行差异性检验( $P < 0.05$ )。Microsoft Excel 2010制作图表。

相关计算公式<sup>[16]</sup>为:

养分利用率(recovery efficiency, RE, %) = (施肥处理的植株养分吸收量 - 不施肥处理的植株养分吸收量) / 总养分投入量 × 100%



注:图中不同小写字母代表不同处理间差异显著性( $P < 0.05$ )。下同。

图1 不同处理对不同生育期玉米株高和茎粗的影响

### 2.2 不同处理对玉米地上部干物质重的影响

由表2可知,有机替代减肥的处理有利于玉米地上部干物质重的增加,同时在玉米生育后期能有效地协调营养生长和生殖生长对养分吸收的关系。各处理的玉米地上部干物质重,苗期无显著差异( $P > 0.05$ );拔节期开始增加,其中有机替代减肥处理HF、BN和OF处理较CK和CF处理开始出现显著差异;大喇叭口期迅速增加,较拔节期增加166.68%~215.36%;吐丝期增加减缓,较大喇叭口期增加57.60%~97.06%;成熟期,施肥处理CF、HF、BN和OF较CK处理显著增加了45.29%,59.68%,60.42%和70.81%( $P < 0.05$ ),不同处理

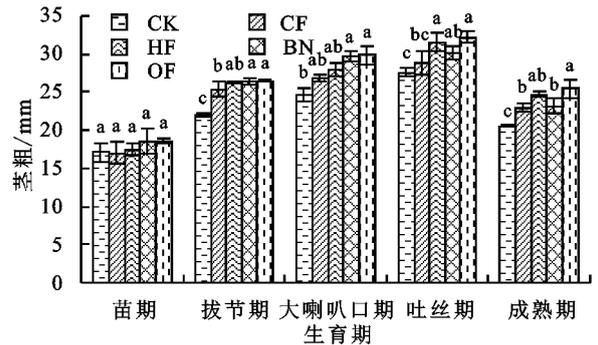
养分偏生产力(partial factor productivity, PFP, kg/kg) = 籽粒产量/养分投入量

养分农学利用效率(agronomic use efficiency, AUE, kg/kg) = (施肥处理小区籽粒产量 - 不施肥籽粒产量) / 养分投入量

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对不同生育期玉米株高和茎粗的影响

由图1可知,有机替代减肥的处理可以增加玉米生育期的株高和茎粗。各处理玉米株高,苗期无显著差异( $P > 0.05$ );拔节期增长迅速,较苗期增加了139.71%~224.08%,此时期差异最明显;拔节期至大喇叭口期生长最为迅速,增长的株高占成熟期株高的39.06%~47.99%,大喇叭口期后株高增长缓慢;成熟期时停止生长,施肥处理CF、HF、BN和OF较CK处理分别显著增加了7.25%,12.66%,11.49%,13.08%( $P < 0.05$ ),但各处理间无显著差异( $P > 0.05$ ),不同处理株高大小顺序为OF>HF>BN>CF>CK。各处理茎粗苗期无显著差异( $P > 0.05$ );拔节期迅速增加,较苗期分别增加29.12%~50.15%,此时期差异最明显;大喇叭口期至吐丝期增加缓慢,成熟期时迅速降低,施肥处理CF、HF、BN和OF较CK处理显著增加了11.77%,20.17%,12.89%,23.79%( $P < 0.05$ ),其中OF和HF处理显著高于CF和BN处理( $P < 0.05$ ),不同处理茎粗大小顺序为OF>HF>BN>CF>CK。



的地上部干物质重的大小顺序为OF>HF>BN>CF>CK,此时期差异最明显。成熟期玉米籽粒重增加迅速,占地上部干物质总重的54.09%~58.29%,施肥处理CF、HF、BN和OF较CK处理显著增加了55.00%,63.17%,65.56%和69.12%( $P < 0.05$ ),不同处理籽粒重的大小顺序为OF>HF>BN>CF>CK。

### 2.3 不同处理对穗部性状的影响

由表3可知,施肥处理较不施肥空白显著改善了玉米穗部性( $P < 0.05$ ),施肥处理之间无显著差异( $P > 0.05$ )。较CF处理,HF、BN和OF处理的穗长、穗粗、穗行数和行粒数分别增加了0.33%,0.76%,

1.27%、-0.70%、0.72%、-0.48%、1.83%、3.20%，穗长和穗行数增加效果较明显；秃尖长分别增加了 4.11% 和 -1.11%，1.62%，3.15%，其中各处理的 18.09%，4.39%，-18.01%。

表 2 不同处理对玉米地上干物质重的影响

单位:g/株

处理	苗期	拔节期	大喇叭口期	吐丝期	成熟期	
					总重	籽粒重
CK	0.72±0.10a	20.32±3.56c	64.07±6.49c	100.97±9.59d	240.17±11.12d	131.22±7.24b
CF	0.68±0.08a	28.46±2.06b	75.91±11.70bc	149.58±9.08c	348.93±12.62c	203.38±11.63a
HF	0.75±0.14a	32.27±2.39ab	91.90±13.69ab	172.49±13.27ab	383.49±8.41b	214.10±13.84a
BN	0.66±0.10a	31.92±1.36ab	88.87±8.49ab	170.15±12.55b	385.27±11.10b	217.25±13.06a
OF	0.78±0.12a	34.53±0.33a	101.84±12.86a	183.57±15.33a	410.23±19.16a	221.91±15.26a

注:表中数据为平均值±标准差;不同小写字母代表不同处理间差异显著性( $P<0.05$ )。下同。

表 3 不同处理对玉米穗部性状的影响

处理	穗长/cm	穗粗/cm	秃尖长/cm	穗行数/粒	行粒数/行
CK	17.18±0.92b	4.72±0.03b	4.02±0.15a	14.27±0.70a	27.87±1.50b
CF	20.20±0.99a	5.08±0.17a	1.53±0.34b	14.60±0.72a	39.10±1.45a
HF	20.36±0.59a	5.12±0.03a	1.60±0.47b	15.07±0.99a	39.73±0.81a
BN	20.27±0.15a	5.05±0.05a	1.81±0.46b	14.87±0.42a	38.67±1.72a
OF	20.46±0.24a	5.06±0.14a	1.26±0.38b	15.20±0.35a	40.33±0.93a

#### 2.4 不同处理对玉米产量及产量构成要素影响

由表 4 可知,施肥处理较不施肥空白显著改善了玉米产量构成( $P<0.05$ ),施肥处理之间无显著差异( $P>0.05$ )。较 CF 处理, HF、BN 和 OF 处理的有效穗数、穗粒数、千粒重分别增加了 1.53%、2.24%、2.24%、0.74%、4.98%、7.49%、0.88% 和 0.31%、

1.12%。施肥处理 CF、HF、BN 和 OF 较 CK 处理显著增加了玉米产量( $P<0.05$ ),分别增加了 66.51%、77.63%、72.98%、80.94%,有机替代减肥处理 HF、BN 和 OF 较 CF 处理,玉米产量分别增加了 11.12%、6.47%、14.43%,不同处理产量大小顺序为 OF>HF>BN>CF>CK。

表 4 不同处理对玉米产量及产量构成的影响

处理	有效穗数/ (万穗·hm <sup>-2</sup> )	穗粒数/ 粒	千粒重/ g	产量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	增产率/ %
CK	8.31±0.11b	397.01±13.17b	310.25±7.19b	10.24±0.62b	
CF	8.49±0.11ab	585.87±36.34a	352.13±32.49a	17.05±1.53a	66.51
HF	8.62±0.11a	598.13±26.92a	353.21±12.95a	18.19±0.39a	77.63
BN	8.68±0.11a	574.41±13.39a	355.23±18.83a	17.71±1.09a	72.98
OF	8.68±0.11a	612.91±10.78a	348.18±16.35a	18.53±1.06a	80.94

#### 2.5 经济效益分析

由表 5 可知,不同施肥处理的玉米产值为 23 955.11~26 030.93 元/hm<sup>2</sup>,有机替代减肥处理 HF、BN 和 OF 较 CF 增收了 1 599.52,931.02,2 075.82 元/hm<sup>2</sup>;不同处理施肥成本为 2 577.15~5 159.43 元/hm<sup>2</sup>,有机替代减肥处理 HF、BN 和 OF 较 CF 处理投入增加了 1 382.28、

366.03,2 582.28 元/hm<sup>2</sup>,净收益增加了 217.24,564.99,-506.46 元/hm<sup>2</sup>。其中 OF 处理产值最高,而施肥投入高于其他处理,导致收入成负增收,从而低于其他处理,BN 处理玉米产值最低,而施肥投入低于其他处理,导致净增收最高,因此,不同有机替代减肥处理净收益大小顺序为 BN>HF>OF。

表 5 不同处理经济效益分析

处理	产收			施肥投入		净收益/ (元·hm <sup>-2</sup> )
	产量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	产值/ (元·hm <sup>-2</sup> )	增收/ (元·hm <sup>-2</sup> )	施肥成本/ (元·hm <sup>-2</sup> )	较 CF 增加/ (元·hm <sup>-2</sup> )	
CF	17.05	23955.11		2577.15		
HF	18.19	25554.63	1599.52	3959.43	1382.28	217.24
BN	17.71	24886.13	931.02	2943.18	366.03	564.99
OF	18.53	26030.93	2075.82	5159.43	2582.28	-506.46

注:除施肥不同外,其他管理均相同;其中 2018 年尿素 1.8 元/kg,磷酸二铵 3.3 元/kg,硫酸钾 3.3 元/kg,腐殖酸有机肥 2.5 元/kg,肥料增效剂(伴能)161.25 元/L,商品有机肥 1.25 元/kg;2018 年玉米市场价 1.4 元/kg。

## 2.6 不同处理对土壤肥力的影响

由图2可知,各处理的土壤碱解氮苗期和拔节期无显著差异( $P>0.05$ );大喇叭口期时,施肥处理显著高于CK处理( $P<0.05$ ),其中有机替代减肥处理 HF、BN 和 OF 高于 CK 和 CF 处理;吐丝期迅速下降,较大喇叭口期减少了 9.29%~19.03%;成熟期时有所增加,施肥处理 CF、HF、BN 和 OF 较 CK 处理显著增加了 37.55%、48.30%、64.43%、59.06% ( $P<0.05$ ),不同处理土壤碱解氮的大小顺序为  $BN>OF>HF>CF>CK$ 。

整个生育期中,施肥处理的速效磷显著高于 CK 处理( $P<0.05$ )。各处理的土壤速效磷,在苗期至拔节期有所升高;拔节期至吐丝期迅速下降,分别较前期下降了 12.05%~18.47%、12.04%~12.60%;成熟期相对稳定,施肥处理 CF、HF、BN 和 OF 较 CK 处理显著增加了 27.92%、35.68%、29.17%、45.69%,不同处理土壤速效磷的大小顺序为  $OF>HF>BN>CF>CK$ 。

各处理的土壤速效钾在苗期至大喇叭口期无显著差异( $P>0.05$ ),大喇叭口期时较拔节期下降了 2.73%~9.02%;大喇叭口期至成熟期逐渐增加,成熟期时,施肥处理 CF、HF、BN 和 OF 较 CK 处理显著增加了 17.18%、24.03%、16.50%、25.30% ( $P<0.05$ ),不同处理土壤速效钾的大小顺序为  $OF>HF>CF>BN>CK$ 。

## 2.7 施肥处理对玉米养分利用效率的影响

由表6可知,有机替代减肥处理 HF、BN 和 OF 较 CF 处理,氮肥和钾肥利用率分别显著提高了 8.15%、9.34%、14.08%和 15.92%、21.13%、29.36% ( $P<0.05$ ),氮肥和钾肥利用率大小顺序均为  $BN>OF>HF>CF>CK$ ;磷肥利用率提高了 4.02%、2.31%、5.79%;氮肥、磷肥、钾肥偏生产力分别提高了 18.66%、15.49%、20.77%、6.65%、3.91%、8.66% 和 6.65%、3.87%、8.66%;氮肥、磷肥、钾肥农学利用效率分别提高了 29.52%、

22.03%、35.24%、16.93%、9.79%、21.69% 和 16.74%、9.69%、21.67%。各处理的磷肥利用率,养分偏生产力和养分农学利用效率的大小顺序均为  $OF>HF>BN>CF>CK$ 。

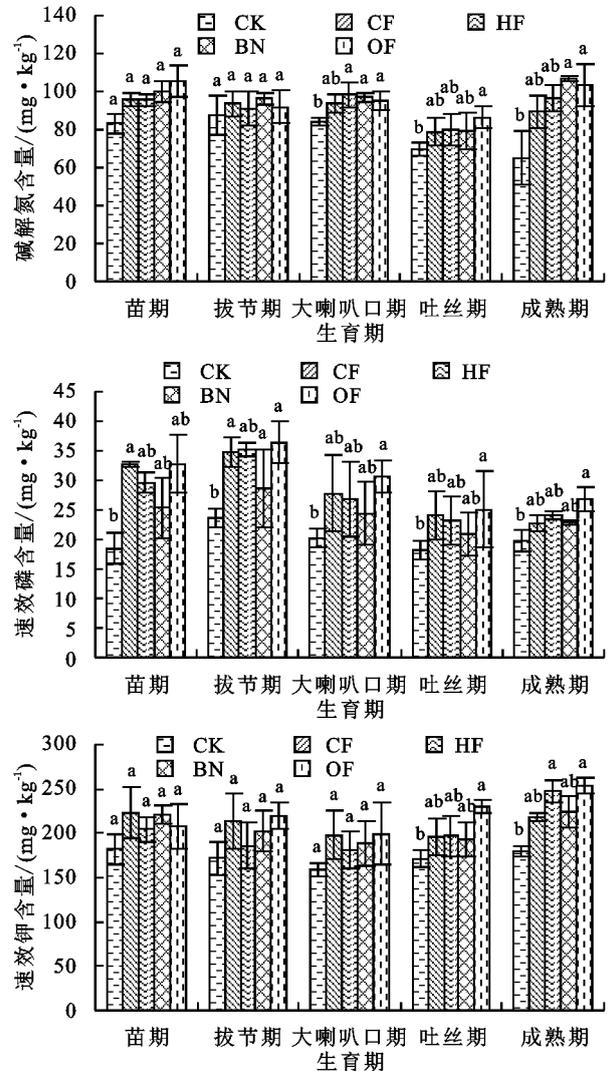


图2 不同处理对不同生育期的土壤肥力动态变化

表6 施肥处理对玉米养分利用效率的影响

处理	养分利用率 RE/%			养分偏生产力 PFP/(kg·kg <sup>-1</sup> )			养分农学利用效率 AUE/(kg·kg <sup>-1</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CF	35.61b	16.72a	65.30b	56.83a	94.72a	284.17a	22.70a	37.83a	113.50a
HF	43.76a	20.74a	81.21ab	67.36a	101.05a	303.14a	29.44a	44.16a	132.48a
BN	44.95a	19.04a	86.42a	65.60a	98.40a	295.21a	27.68a	41.52a	124.55a
OF	49.69a	22.51a	94.65a	68.62a	102.93a	308.79a	30.70a	46.04a	138.13a

## 3 讨论

已有研究<sup>[8,11,13,17-18]</sup>表明,商品有机肥或腐殖酸有机肥与化肥配合施用后,能有效协调养分的供应,及时满足作物生长对养分的需求,并增加作物产量;肥料增效剂(伴能)与氮肥结合后,使氮肥缓慢释放,有利于植物吸收利用,有效改善了穗部性状,从而提高产量,这与本研究结果一致。与常规施肥(CF处理)相比,不同有机替代减肥方式(HF、BN 和 OF 处

理)均可以促进玉米生长发育,从而增加了不同生育期内的株高和茎粗,有利于地上干物质的积累,并协调作物营养生长和生殖生长对养分吸收,改善了穗部性状(其中改善穗行数和穗长效果明显),并增加了有效穗数、穗粒数、千粒重,进而增加了玉米产量。本研究中不同施肥处理产量大小顺序为  $OF>HF>BN>CF$ ,有机替代减肥的各处理均可以增加玉米的产量,其中 OF 和 HF 处理增产效果优于 BN 处理,是由于不同方式的组分和作用效果不同导致,有机肥

含有丰富的养分,施入后释放养分供植物吸收利用;而肥料增效剂的主要原料是氮肥增效剂,通过降低氮素的损失,促进作物对氮素的吸收与利用<sup>[13]</sup>。

评价一种施肥方式是不仅需要考虑到作物生长发育和产量效应,还需要考虑培肥土壤、养分利用率和经济效益等效应,因此不同有机替代减肥方式增产效果是一个综合的效应。从培肥土壤方面来看,土壤速效养分含量是土壤肥力的重要指标,是提高作物产量的重要物质基础<sup>[19]</sup>。本研究发现,不同有机替代减肥方式(HF、BN和OF处理)较常规施肥(CF处理),可以提高玉米生育期内的生育期的土壤碱解氮、速效磷、速效钾的含量,及时供应玉米吸收利用,为玉米增产创造了基础。本试验在玉米拔节期进行追肥,避免了玉米生长发育迅速而使得土壤氮素含量快速下降,而肥料增效剂的应用有效的减少氮素的损失;商品有机肥和腐殖酸有机肥中养分到了生育后期累计释放较多,从而增加了土壤养分含量,因此不同有机替代减肥方式的培肥土壤效果较明显。

从养分利用效益方面来看,肥料利用效率是反映作物对肥料吸收与利用主要指标;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;农学利用效率是评价肥料增产效益的较为准确的指标<sup>[20]</sup>。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、肥料利用率和偏生产力的增加<sup>[21]</sup>,因此,减少肥料施用量是提高肥料利用率有效途径,成为目前研究的热点<sup>[22-24]</sup>。本研究表明,与常规施肥(CF处理)相比,不同有机替代减肥方式(HF、BN和OF处理)可以促进作物生长发育,增加作物对肥料的需求,从而促进作物对养分吸收和利用,减少肥料的损失,有利于增加玉米产量,进而提高了肥料利用率(显著提高了氮肥和钾肥的利用率)、偏生产力和农学利用效率。这与一些在玉米氮肥减量配施增效剂和有机肥或在小麦和水稻氮肥减量配施的研究<sup>[11,13,18,25]</sup>结果相一致。

从经济效益方面来看,一种施肥方式能否在农业生产应用与推广,其核心在于保障作物产量的同时增加农民收益。在本研究中,不同有机替代减肥方式(HF、BN和OF处理)较常规施肥(CF处理),净收益增加217.24,564.99,-506.46元/hm<sup>2</sup>,其中各施肥处理的产量无显著差异( $P>0.05$ ),OF处理的产值最高,由于商品有机肥施用量较大,使施肥投入增加,导致净收益为负增收,施用商品有机肥增产效果最明显,在玉米生产中可适当减少商品有机肥施用量,可以确保产量的增加,同时增加经济效益;HF和BN处理均增加了净收益,其中BN处理的玉米产值最低,但施肥投入最低,导致净增收最高。在田间管理相同下,施肥投入

是决定净收益的主要因素,因此,节约成本、增加农民收入的减肥方式,可以激发农民减肥的积极性,对我国玉米产业的健康发展的意义重大。

## 4 结论

本研究表明,较常规施肥(CF处理),不同有机替代减肥方式(HF、BN和OF处理)促进了玉米生长发育,在不同生育期的玉米株高和茎粗均有所增加;有效改善玉米穗部性状,其中增加了穗长和穗行数效果明显;改善了产量构成因子,其中有效穗数、穗粒数、千粒重分别增加了1.53%~2.24%,0.74%~7.49%,0.88%~1.12%,从而增加了玉米产量和经济效益,产量分别增加了11.12%,6.47%,14.43%,净收益分别增加了217.24,564.99,-506.46元/hm<sup>2</sup>,其中产量大小顺序为OF>HF>BN,净收益大小顺序为BN>HF>OF;提高玉米生育期内的土壤碱解氮、速效磷、速效钾的含量,及时供应玉米吸收利用,为玉米增产创造了基础;提高了肥料利用率,养分偏生产力和养分农学利用效率、其中氮肥和钾肥利用率分别显著提高了8.15%,9.34%,14.08%和15.92%,21.13%,29.36%( $P<0.05$ ),磷肥利用率、养分偏生产力和养分农学利用效率的大小顺序均为OF>HF>BN>CF。因此,HF、BN处理可以促进玉米生长,增产增效,提高肥料利用率和土壤肥力,为有玉米生产中减肥增效提供了经济可行的施肥方案和理论依据,并促进农业可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 王玲敏,叶优良,陈范骏,等.施氮对不同品种玉米产量、氮效率的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(5):529-535.
- [2] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等.一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J].中国农业科学,2018,51(20):10-22.
- [3] 杨小梅,刘树伟,秦艳梅,等.中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1184-1192.
- [4] Jin S, Zhou F. Zero growth of chemical fertilizer and pesticide use: China's objectives, progress and challenges [J]. Journal of Resources and Ecology,2018,9(1):50-58.
- [5] Fan M S, Shen J B, Yuan L X, et al. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China [J]. Journal of Experimental Botany,2012,63(1):13-24.
- [6] Diacono M, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review [J]. Agronomy for Sustainable Development,2010,30(2):401-422.
- [7] 温延臣,张曰东,袁亮,等.商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2136-2142.

- [8] 傅伟,刘坤平,陈洪松,等.等氮配施有机肥对喀斯特峰丛洼地农田作物产量与养分平衡的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(6):812-820.
- [9] Liu E K, Yan C R, Mei X R, et al. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China [J]. *Geoderma*, 2010, 158(3/4): 173-180.
- [10] Liu P, Zhao H J, Li Y, et al. Corn yields with organic and inorganic amendments under changing climate [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2018, 111(2/3): 1-13.
- [11] 袁丽峰,黄腾跃,王改玲,等.腐殖酸及腐殖酸有机肥对玉米养分吸收及肥料利用率的影响[J].中国农学通报,2014,30(36):98-102.
- [12] 何威明,保万魁,王旭.氮肥增效剂及其效果评价的研究进展[J].中国土壤与肥料,2011(3):1-7.
- [13] 王士坤,唐振海,董彦琪,等.肥料增效剂与氮肥配施对夏玉米生长发育和产量的影响[J].河南农业科学,2015,44(12):53-56.
- [14] 林海涛,李慧,余晔,等.氮肥与新型增效剂配施对夏玉米生长及产量的影响[J].山东农业科学,2015(11):68-71.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999.
- [16] 邬梦成,李鹏,张欣,等.不同有机物施用对油菜—红薯轮作模式下养分吸收利用的影响[J].水土保持学报,2018,32(1):320-326.
- [17] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.
- [18] 刘威,熊又升,徐祥玉,等.减量施肥模式对稻麦轮作体系作物产量和养分利用效率的影响[J].中国农业科技导报,2018,20(5):91-99.
- [19] 徐娜,党廷辉,刘文兆.黄土高原沟壑区农田土壤养分与作物产量变化的长期监测[J].植物营养与肥料学报,2016,22(5):1240-1248.
- [20] 朱金龙.膜下滴灌春玉米营养规律与施肥技术研究[D].新疆石河子:石河子大学,2014.
- [21] 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.
- [22] 宋以玲,于建,陈士更,等.化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J].水土保持学报,2018,32(1):352-360.
- [23] 王兴龙,朱敏,杨帆,等.配施有机肥减氮对川中丘区土壤微生物量与酶活性的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):271-276.
- [24] 胡娟,吴景贵,孙继梅,等.氮肥减量与缓控肥配施对土壤供氮特征及玉米产量的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):116-120.
- [25] 何欣,荣湘民,谢勇,等.化肥减量与有机肥替代对水稻产量与养分利用率的影响[J].湖南农业科学,2017(3):31-34.

(上接第280页)

- [29] He Y T, Zhang W J, Xu M G, et al. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China [J]. *Science of The Total Environment*, 2015, 532: 635-644.
- [30] 李景,吴会军,刘志平.长期保护性耕作提高土壤大团聚体含量及团聚体有机碳的作用[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):378-386.
- [31] 于爱忠,黄高宝,柴强,等.耕作措施对冬小麦农田土壤团聚体分布及稳定性的影响[J].水土保持学报,2011,25(6):119-123.
- [32] 慕平,张恩和,王汉宁,等.连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J].水土保持学报,2011,25(5):81-85.
- [33] 高明,周保同,魏朝富,等.不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1177-1181.
- [34] 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):89-96.
- [35] 李景,吴会军,武雪萍,等.长期不同耕作措施对土壤团聚体特征及微生物多样性的影响[J].应用生态学报,2014,25(8):2341-2348.
- [36] Luo Z, Wang E, Sun O J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2010, 139(1/2): 224-231.
- [37] 胡旦旦,张吉旺,刘鹏,等.密植条件下玉米品种混播对夏玉米光合性能及产量的影响[J].作物学报,2018,44(6):920-930.