

堆肥替代化肥对玉米产量和水分利用效率的影响

范 铭¹, 李 强², 张 丹¹, 晋小军¹, 曹爱农¹

(1. 甘肃农业大学农学院 甘肃省中药材规范化生产技术创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 本试验研究了河西绿洲灌区在堆肥施用量为 30 000 kg·hm⁻² 和 60 000 kg·hm⁻², 替代化肥用量 10%、20% 和 30% 时对玉米产量和水分利用效率的影响。结果表明, 在不同堆肥用量条件下, 替代化肥处理均较对照提高了玉米产量和水分利用效率; 其中, 堆肥用量 60 000 kg·hm⁻², 替代化肥用量 30% 的平均 3 年玉米经济产量和水分利用效率均最高, 分别为 16 609.02 kg·hm⁻² 和 25.08 kg·mm⁻¹·hm⁻², 较对照分别提高 29% 和 23.73%。因此, 在堆肥施用量为 60 000 kg·hm⁻², 传统化肥减量 30% 时, 玉米的增产和节水效果最佳, 为河西绿洲灌区堆肥替代化肥的最佳施用量。

关键词: 堆肥; 替代化肥; 玉米; 产量; WUE; 河西绿洲灌区
中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A

Effects of compost replacement fertilizer on grain yield and water use efficiency of maize

FAN Ming¹, LI Qiang², ZHANG Dan¹, JIN Xiao-jun¹, CAO Ai-nong¹

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University/ Gansu Provincial Key Laboratory of standardized production and innovation of Chinese Herbal Medicine, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. College of Grassland Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The effect of compost replacement fertilizer on both yield and water use efficiency of maize in HeXi Oasis Irrigation was studied by substituting compost amount of 30 000 kg·hm⁻² and 60 000 kg·hm⁻² for 10%、20% and 30% of the fertilizer amount. The results showed that compost replacement fertilizer had obvious effects on grain yield and water use efficiency. When the compost amount was 60 000 kg·hm⁻², 3 years' average grain yield (16 609.02 kg·hm⁻²) and water use efficiency (25.08 kg·mm⁻¹·hm⁻²) were the highest and were 29% and 23.73% higher than the control. Therefore, 60 000 kg·hm⁻² of compost replacing 30% of the fertilizer was the optimal amount in HeXi Oasis Irrigation.

Keywords: compost replacement fertilizer; maize grain yield; water use efficiency; HeXi oasis irrigation

在我国及世界范围内,受消费观念和生活方式的影响,农作物秸秆资源完全处于高消耗、高污染、低产出状况^[1],在河西绿洲灌区,农田资源循环利用的链接十分薄弱,同时,秸秆大量焚烧给生态环境保护带来了巨大压力^[2]。研究发现,堆肥是实现作物秸秆和畜禽粪便向农田生态系统循环的关键,堆肥即将作物秸秆和畜禽粪便科学合理组配,经好氧高温发酵,生产高质量的有机肥,不仅为农业生产提供优质肥料,并且实现了农业废弃物资源化循环利用,改善农村生产及生活环境,同时,替代化石能量投入,降低农业生产成本,提高作物产量,对河西绿洲灌区可持续农业发展具有重大意义^[3-4]。

国内外的一些研究表明,堆肥能够改善土壤理化性质,提高作物的产量。Miron 等^[5]研究证明,施用有机肥能够增加土壤保水、保肥的性能,减少土壤中病原菌的数量,提高冬麦草的产量。Eghball 等^[6]研究发现,施用堆肥能够提高植物可利用氮和磷的水平,长期施用能产生延续效应,提高玉米的生物产量。Chaoui 等^[7]研究认为,堆肥能够增加土壤中微生物种群数量,提高土壤养分有效性。堆肥由于原料、施用作物品种和气候条件等因素的差异,表现出不同的增产效果。

本试验在前期研究的基础上,通过研究堆肥替代化肥对玉米产量和水分利用效率的影响,实现作

收稿日期: 2016-03-20
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B10)
作者简介: 范 铭,女,甘肃武威人,硕士,研究方向为干旱农业与药用植物资源与利用。E-mail: 1425387378@qq.com。
通信作者: 晋小军,男,研究员,硕士生导师,主要从事干旱农业与药用植物资源与利用研究。E-mail: jingxj@gsau.edu.cn。

物秸秆循环利用,改善土壤理化性质,为西北内陆绿洲可持续农业发展提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2013—2015 年 3—10 月在甘肃省武威市凉州区黄羊镇甘肃农业大学武威试验站进行,该区平均海拔 1 531 m,依赖石羊河水和地下水灌溉,降水少,蒸发强烈,气候干燥。多年平均降水量 160 mm,年潜在蒸发量 2 400 mm,干燥度 5.85,年平均气温 7.7℃,≥0℃年积温 3 513.4℃,≥10℃年积温 2 985.4℃。全年无霜期 156 d,绝对无霜期 118 d,年日照时数 2 945 h。土壤以荒漠灌淤土为主,粉沙壤质,土层深厚,田间持水量为 21.5%,试验区 0~20 cm 土层土壤全氮、全磷、全钾和有机质平均含量为 0.95、0.48、7.70 g·kg⁻¹和 14.29 g·kg⁻¹,速效磷和速效钾平均含量为 33.80 mg·kg⁻¹和 253.95 mg·kg⁻¹,pH 为 8.76。

1.2 试验材料

本试验中选用玉米品种为先玉 335,堆肥原材料为当地玉米秸秆、羊粪和土,选用高效腐解菌剂为 CN-02。

堆肥方法:先将高效腐解菌液用水稀释 500 倍,并放置 10 h 以上,并将作物秸秆粉碎或剁至 <5 cm 的节,喷水使秸秆含水量保持在 50%~65%。把玉米秸秆、羊粪和土一层层按重量比 1:1:1 堆置,稀释好的菌剂洒在玉米秸秆和畜禽粪便上,以玉米秸秆微微湿润为宜。堆体高度达 120~160 cm 即成型,最后在堆体表面覆以塑料膜密封防水保肥,堆置 30~45 d 即可。堆肥充分腐熟后,其有机质含量达 22.87% 以上,全氮、全磷、全钾含量分别可达 1.55%、1.01% 和 2.5% 以上。

1.3 试验设计

本试验采用裂区设计,主因子为堆肥施用量:60 000、30 000 kg·hm⁻²,副因子为化肥减量梯度:0、10%、20%、30% 四个水平,和不施肥作为对照,共 9 个处理,重复 3 次,27 个小区。试验采用随机区组设计,重复 3 次,地膜覆盖滴灌栽培。小区长 6 m,宽 5 m,面积 30 m²。主区之间走道 1 m。种植方式以行距 40 cm,株距 30 cm 均匀种植,种植密度为 82 500 株·hm⁻²。处理设置见表 1。

播种前将有机肥、氮肥和磷肥一次性施入。三年玉米播种时间分别为 2013-04-17、2014-04-16 和 2015-04-20,收获时间分别为 2013-09-29、2014-10-01 和 2015-09-25,总灌水量为 405 mm。

表 1 堆肥替代部分化肥试验处理及代号			
Table 1 The experimental treatments and Code of Compost Replacement Fertilizer			
处理代号 Code of treatment	施肥量 Fertilizing amount/(kg·hm ⁻²)		
	纯 N Pure nitrogen	纯 P Pure phosphorus	堆肥用量 Compost amount
CK	0	0	0
T ₁ (-10%)	360	270	60000
T ₂ (-20%)	320	240	60000
T ₃ (-30%)	280	210	60000
T ₄ (-0%)	400	300	0
R ₁ (-10%)	450	360	30000
R ₂ (-20%)	400	320	30000
R ₃ (-30%)	350	280	30000
R ₄ (-0%)	500	400	0

1.4 样品的采集和测定

1.4.1 玉米产量和产量构成要素的测定 收获时按小区计产,每小区取样 20 株进行考种,详细测定玉米产量构成要素,如穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃顶长、千粒重等,计算生物产量、秸秆产量;每小区取样 40 株进行测产,计算出籽率、经济产量等。

1.4.2 土壤含水量测定 在玉米播种前 1 d、每 1 次灌水前、灌水后和玉米收后 1 d,按小区分 6 层取样,分别依次为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120 cm,用烘干法测定土壤质量含水量。

玉米生育期耗水量和水分利用效率根据以下公式计算:

作物耗水量(ET) = $I + P + (W_1 - W_2)$ (1)
式中, ET 为作物生育期耗水量(mm); I 为作物灌水量(mm); P 为作物生育期降水量(mm); W_1 (mm) 和 W_2 (mm) 是播种前和收获后 0~120 cm 土壤贮水量。因本试验设计的灌水量相对较小,加之试验期间降水稀少,故渗漏量可忽略不计;试验区地下水埋深在 30 m 以下,因此未考虑地下上升水的影响。

$WUE = Y/ET$ (2)
式中, Y 为玉米籽粒产量(kg·hm⁻²), WUE 为根据玉米籽粒产量计算的 WUE (kg·mm⁻¹·hm⁻²); ET 为生育期耗水量(mm)。

1.5 数据统计分析

试验数据采用 Excel 2013 进行整理,用 SPSS17.0 软件进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 堆肥替代化肥对玉米产量构成要素的影响

玉米产量构成要素对研究玉米产量方面具有重要意义。将三年玉米产量构成要素均值列入表 2,由表 2 可见,不同堆肥量替代化肥处理对玉米穗长、穗粗、穗行粒数和千粒重等均有影响。

表 2 堆肥替代化肥对玉米产量的影响

Table 2 Effects of compost replacement fertilizer on grain yield of maize

处理 Treatment	果穗长 Cluster length /cm	果穗粗 Cluster diameter /cm	穗行数 Ear row number /行	行粒数 Gain number per row/粒	秃尖长 Ear barren tip/cm	千粒重 Kilo-grain weightiness/g	经济产量 Economic yield /(kg·hm ⁻²)
CK	20.46 a	5.47 ab	16.17 b	33.95 b	1.94 a	334 b	12919.94 d
T1	21.26 a	5.56 ab	17.02 ab	36.04 ab	2.02 a	350.27 ab	15641.51 abc
T2	21.06 a	5.60 ab	17.28 ab	38.05 a	2.09 a	362.48 ab	16083.86 ab
T3	21.59 a	5.68 a	17.87 a	38.29 a	1.83 a	376.75 a	16609.02 a
T4	20.88 a	5.48 ab	16.57 b	34.36 ab	1.96 a	350.8 ab	14526.27 bcd
R1	20.2 a	5.41 ab	16.78 ab	35.43 ab	2.21 a	356.8 ab	14173.92 cd
R2	21.14 a	5.64 ab	17.17 ab	37.15 ab	2.07 a	361.33 ab	15079.85 abc
R3	21.53 a	5.67 ab	17.34 ab	37.39 ab	1.99 a	354.92 ab	15735.29 abc
R4	19.95 a	5.39 b	16.61 b	36.17 ab	2.13 a	333.2 b	13955.59 cd

各处理间三年平均果穗长及秃尖长差异不显著,施堆肥 60 000 kg·hm⁻²各处理中以 T3 处理三年平均果穗长最长为 21.59 cm,施堆肥 30 000 kg·hm⁻²各处理中以 R3 处理三年平均果穗长最长为 21.53 cm,分别较对照高出 5.52%和 5.23%。对于穗粗,处理 T3 显著高于 R4,其他处理间差异不显著。

穗行粒数的多少对玉米产量具有决定性作用。由表 2 可知,处理 T3 三年平均穗行数显著高于处理 T4、处理 R4 和对照,其他处理间差异不显著。而三年平均行粒数以处理 T2、T3 较多,分别为 38.29 粒和 38.05 粒,显著高于对照,其他处理间差异不显著。

千粒重是体现种子大小与饱满程度的一项指标,也是田间预测产量时的重要依据。由表 2 可知,T3 处理三年平均千粒重显著高于处理 R4 和对照,其他处理间差异不显著。

综上所述,施用堆肥量 60 000 kg·hm⁻²和 30 000 kg·hm⁻²两水平下,均以化肥减量 30%,即处理 T3 和 R3 较好,而又以施堆肥量较多者 T3 为最佳。

2.2 堆肥替代化肥对玉米产量的影响

产量是衡量农业生产最基本,也是最直接的指标之一,高产和优质是现在农业发展最终目标。由表 2 可知,施用堆肥显著的提高了玉米经济产量,除处理 R1 和 R4 之外,其他处理三年平均经济产量,均显著高于对照。施堆肥 60 000 kg·hm⁻²水平下,处理 T1、T2、T3、T4 经济产量分别较对照提高 21%、24%、29%和 12%,施堆肥 30 000 kg·hm⁻²水平下,处理 R1、R2、R3、R4 经济产量分别较对照提高 10%、17%、22%和 8%,不同处理玉米籽粒产量的排列顺序为: T3 > T2 > R3 > T1 > R2 > T4 > R1 > R4 > CK。

作物产量是光合产物的积累和分配,因堆肥是由大量生物物质、植物残体和排泄物缓效物质腐熟而成,不仅含有植物必需的大量元素、微量元素,还含有丰富的有机养分,能够改良土壤、培肥地力,同

时,堆肥中有机质分解产生的有机酸促进土壤和化肥矿质养分的溶解,促进作物生长,提高作物产量。虽然施用堆肥对产量构成各要素收效甚微,但综合之后,对玉米增产显著。

2.3 堆肥替代化肥对玉米水分利用效率的影响

WUE 是作物实际生物产量与田间耗水量的比值,提高作物生物产量或降低田间耗水量均可提高作物 WUE。各处理 2013—2015 年水分利用效率如图 1 所示,施用堆肥 60 000 kg·hm⁻²处理玉米水分利用效率显著高于 30 000 kg·hm⁻²处理和对照,而随着化肥施用量的减少,玉米水分利用效率也有略微的提高。施用堆肥 60 000 kg·hm⁻²时,处理 T3 相对较好,2013 年水分利用效率较低,2014 和 2015 年高于其他处理;施用堆肥 30 000 kg·hm⁻²时,2013 年处理 R2 水分利用效率相对较高,其他处理间无显著差异,2014 和 2015 年随着化肥用量减少,处理水分利用效率逐渐增加。以各处理间三年平均水分利用效率来看,处理 T3 玉米 WUE 最高为 25.08 kg·mm⁻¹·hm⁻²,较对照高出 23.73%,其次依次为 T3 > T2 > T1 > R2 > T4 > R3 > R1 > CK > R4,整体来看,施堆肥 60 000 kg·hm⁻²处理水分利用效率比施堆肥 30 000 kg·hm⁻²处理相对较高。

3 结论与讨论

施用堆肥能够改善土壤理化性质(保水性、保肥性、缓冲力、通气状况)^[8-9],提高土壤可利用养分(土壤有机质、全 N、碱解氮、有效磷、速效钾)含量^[10],增加土壤微生物的数量和种类^[11],提高碳源和氮源的有效性,利于土壤养分的转化和释放,促进作物根系生长及对矿物质元素的吸收^[12],从而提高作物产量。李宗新等^[13]研究发现,鸡粪堆肥配施化肥可以显著地提高玉米生物产量,增产 32.52% ~ 57.21%。本研究试验表明,堆肥替代化肥处理对玉

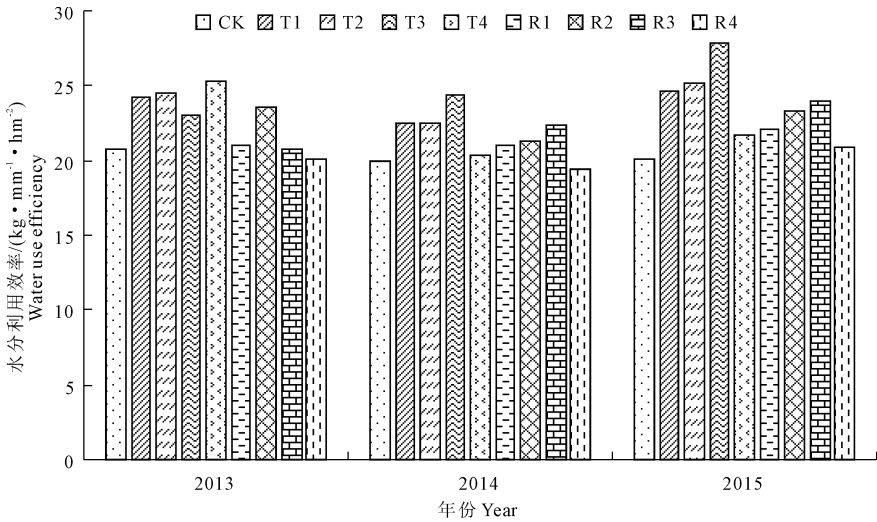


图 1 堆肥替代化肥对玉米水分利用效率的影响

Fig.1 Effects of compost replacement fertilizer on water use efficiency of maize

米穗长、穗粗和秃尖长等影响相对较小,但是显著的
提高千粒重;处理 T3 平均三年玉米籽粒产量达最大
值(16 609.02 kg·hm⁻²),较对照提高 29%。由于堆
肥具有养分全面、肥效缓释的特点,通过肥料养分释
放时间的调控而更能满足玉米的营养需要并提高肥
料养分利用率,同时,研究发现施用堆肥能够增加田
间二氧化碳浓度,改善田间小气候,增加玉米的总体
光合效率,从而提高作物产量^[14]。

施有机肥能有效地改善作物生长,提高作物水
分利用效率^[15]。王晓娟等^[16]研究表明,2 年玉米水
分利用效率随施有机肥量的增加而升高,施有机肥
22 500 kg·hm⁻²的玉米水分利用效率较不施肥提高
29.5%~66.4%。本试验研究发现,堆肥替代化肥
处理不同程度的提高了玉米水分利用效率,其中处
理 T3 的玉米平均两年 WUE(25.08 kg·mm⁻¹·hm⁻²)
最大,较对照提高 23.73%。堆肥替代化肥能够显
著改善土壤理化性质,增加有机质含量,提高玉米产
量和水分利用效率,即有机肥和化学肥料配合施用
(堆肥施用量 60 000 kg·hm⁻²,传统化肥用量减少
30%),是提高河西绿洲灌区玉米产量和水分利用效
率的一条有效途径,为农业施肥理论提供支撑。

参 考 文 献:

[1] 仁仲杰,顾孟迪.我国农作物秸秆综合利用与循环经济[J].安徽农业科学,2005,33(11):2105-2106.
[2] 陈俭煌,魏晓妹,马 岚.石羊河流域绿洲农业发展对水资源转化影响的人工神经网络模拟研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(4):229-234.
[3] 王 辉,晋小军,唐文文,等.堆肥与化肥配施对甘肃河西内陆灌区玉米生长及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2012,(2):78-82.

[4] 姜继韶,黄懿梅,黄 华,等.猪粪秸秆高温堆肥过程中碳氮转化特征与堆肥周期探[J].环境科学学报,2011,31(11):2511-2517.
[5] Miron J, Yosef E, Nikbachat M, et al. Fresh dairy manure as a substitute for chemical fertilization in growing wheat forage; effects on soil properties, forage yield and composition, weed contamination, and hay intake and digestibility by sheep[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011,168(3/4):179-187.
[6] Eghball B, Gilley J E, Ginting D. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties[J]. Agronomy Journal, 2004,96:442-447.
[7] Chaoui H I, Zibilske L M, Ohno T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003,35(2):295-302.
[8] Haynes R J, Naidu R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998,51:123-137.
[9] Asada K, Toyota K, Nishimura T, et al. Accumulation and mobility of zinc in soil amended with different levels of pig-manure compost[J]. Journal of Environmental Science and Health Part B, 2010,45(4):285-292.
[10] Erhart E, Hartl W, Putz B. Biowaste compost affects yield, nitrogen-supply during the vegetation period and crop quality of agricultural-crops[J]. European Journal of Agronomy, 2005,23(3):305-314.
[11] 吴展才,余旭胜,徐源泰.采用分子生物学技术分析不同施肥土壤中细菌多样性[J].中国农业科学,2005,38(12):2474-2480.
[12] 黄雅曦,李 季,李国学,等.施用污泥堆肥对玉米产量及土壤性质的影响[J].东北农业大学学报,2010,41(9):43-49.
[13] 李宗新,董树亭,胡昌浩,等.有机无机肥互作对玉米产量及耕层土壤特性的影响[J].玉米科学,2004,12(3):100-102.
[14] 同小娟,李 俊,李维炯.长期施用有效微生物肥对冬小麦-夏玉米生长和产量的影响[J].华北农学报,2007,22(6):165-170.
[15] 罗奇祥.印度硫肥研究概况[J].土壤肥料,1994,(3):36-38.
[16] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等.旱地有机培肥对玉米产量和水分利用效率的影响[J].西北农业学报,2009,18(2):93-97.