

培肥措施对新垦黄绵土养分及水分利用效率的影响

姜小凤^{1,2}, 郭天文^{1,2,3}, 郭贤仕^{1,2}, 柳燕兰^{1,2}, 张平良^{1,2}, 董博^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以三棱豆为指示作物, 在黄土高原中东部地区新垦黄绵土上进行了施肥效应试验研究。结果表明, 有机肥(羊粪 30 000 kg/hm²)与化肥(N 180 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm²)配施是提高新垦土壤肥力和水分利用效率的重要农艺措施, 可使新垦黄绵土(0~10 cm)土层有机质、全氮、全磷分别较不施肥提高 55.6%、42.7%、43.9%。

关键词: 新垦黄绵土; 土壤养分; 水分利用效率; 土壤培肥

中图分类号: S153.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)05-0020-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2017.05.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2017.05.008)

Effects of Different Fertilization on Soil Nutrient and Water Use Efficiency in Newly Cultivated Loessal Soil

JIANG Xiaofeng^{1,2}, GUO Tianwen^{1,2,3}, GUO Xianshi^{1,2}, LIU Yanlan^{1,2}, ZHANG Pingliang^{1,2}, DONG Bo^{1,2}

(1. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Key Laboratory of High Water Use-Efficiency in Arid Area of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The experiment for fertilization effect on indicator crop *Lathyrus quinquenervius* is carried out on newly cultivated loessal soil in the middle east of loess plateau. The result shows that the application of organic fertilizers (sheep manure 30 000 kg/hm²) combined with chemical fertilizer (N 180 kg/hm², P₂O₅ 120 kg/hm², K₂O 90 kg/hm²) is an importantly agronomic practice for improving soil fertility and water use efficiency in new-cultivated loessal soil so that it can respectively increase more 55.6% soil organic matter content, 42.7% total nitrogen content, 43.9% total phosphorus content than control group in 0~10 cm soil layer of new-cultivated loessal soil.

Key words: Newly cultivated loessal soil; Soil nutrition; Water use efficiency; Soil fertilization

随着人口增加, 耕地面积减少, 人地矛盾更加突出, 因而要求有更多更好的土地用于农业生

收稿日期: 2017-01-17

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD05B003); 国家自然科学基金(31460547)资助。

作者简介: 姜小凤(1974—), 女, 甘肃平凉人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物营养与土壤生态方面的研究。E-mail: jxf_5188@163.com。

通信作者: 郭天文(1963—), 男, 山西山阴人, 研究员, 主要从事旱作农业及植物营养方面的研究工作。E-mail: 277824949@qq.com。

[6] 宋福, 庄生仁, 赵贵宾, 等. 加强高产集成技术应用, 推动甘肃棉花产业提质增效[J]. 中国棉花, 2012, 39(7): 7-9.

[7] 郭世乾, 崔增团, 傅亲民. 甘肃省盐碱地现状及治理思路与建议[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(4): 75-79.

[8] 王宁, 南宏宇, 冯克云. 10个棉花品种在河西走廊绵区的耐盐性评价[J]. 甘肃农业科技, 2016(3): 23-26.

[9] HOFFMAN G, SHANNON M J. Relating plant performance and soil salinity[J]. Reclamation and Revegeta-

tion Research, 1986(5): 211-225.

[10] 叶武威, 庞念厂, 王俊娟, 等. 盐胁迫下棉花体内Na⁺的积累、分配及耐盐机制研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(5): 279-283.

[11] 林君, 孙玉强, 吕有军, 等. 种子盐引发对转基因抗虫棉耐盐性的影响[J]. 棉花学报, 2006, 18(6): 338-341.

[12] 辛承松, 罗振, 孔祥强, 等. 不同基因型陆地棉亲本及其杂交后代的耐盐性差异[J]. 棉花学报, 2011, 23(3): 235-240.

(本文责编: 陈珩)

产^[1]。在黄土高原中东地区,黄绵土是该区的主要耕种土壤,由于该区旱地、荒坡地居多,每年都有新开垦的荒坡地用于农业生产,大多数耕地跑水、跑土、跑肥严重,致使生土层加厚,土壤肥力过低^[2-4]。因此,如何通过合理施肥来改善新垦黄绵土的土壤肥力,提高自然降水的利用效率,增加作物产量,是旱作农业研究的重要内容。我们通过对新垦土壤施用不同肥料的试验研究,探讨不同培肥措施对新垦黄绵土土壤养分及水分利用效率的影响,为黄土高原中东地区新垦黄绵土快速培肥、提高自然降水的利用效率以及增产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

指示作物品种为三棱豆。

1.2 试验区概况

试验于 2013 年 3—9 月在定西市安定区团结镇唐家堡村进行。试验区属中温带半干旱区,平均海拔 1 970 m; 年均太阳辐射 5 898 MJ/m²,日照时数 2 500 h, 年均气温 6.2 ℃, ≥0 ℃积温 2 787.7 ℃, ≥10 ℃积温 2 075.1 ℃; 无霜期 140 d, 多年平均降水 415 mm, 为典型的雨养农业区。土壤为典型的黄绵土, 土质绵软, 土层深厚, 质地均匀, 贮水性能良好。

1.3 试验设计

试验采用随机区组顺序排列, 在新垦土壤生土区设 4 个处理(A、C、D、F), 在熟土区设 3 个处理(A、D、F)。小区面积 24 m² (4 m × 6 m), 3 次重复。试验肥料用量及组成见表 1, 所有肥料均作为基肥在播中前一次性施入。三棱豆收获后采集的土样为试验主要研究对象。2013 年 3 月 21 日播种, 8 月 27 日收获。其他管理同大田。

表 1 试验处理及肥料组成

处理	处理	有机肥(羊粪) (kg/hm ²)	化肥/(kg/hm ²)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
A(CK)	不施肥	0	0	0	0
C	单施有机肥	3 0000	0	0	0
D	单施化肥		180	120	90
F	有机肥+化肥	3 0000	180	120	90

1.4 样品采集与分析

1.4.1 样品采集 土壤样品采集于 2013 年 8 月 27 日(收获日), 采用 S 型多点取样法, 用土钻在 0~10、10~20 cm 土层取样, 剔除石块、植物残根等

杂物, 混匀后用四分法留 1 kg 左右土样带回实验室, 风干研磨过筛, 供测定用。

1.4.2 土壤养分的测定 土壤有机质用重铬酸钾外加法测定, 全氮用开氏蒸馏法测定, 全钾用 NaOH 熔融法测定, 全磷用 HClO₄-H₂SO₄ 法测定, 速效磷用钼锑抗比色法测定, 速效钾用火焰光度法测定^[5]。

1.4.3 土壤容重和水分测定 土壤容重测定采用环刀法, 取样深度为 0~10 cm, 3 次重复。土壤水分测定采用烘干法, 取样深度 0~200 cm, 每 20 cm 取样 1 次, 3 次重复。

土壤储水量采用以下公式计算:

$$W = h \times \rho \times b\% \times 10$$

式中 W 为土壤储水量(mm), h 为土层深度(cm), ρ 为土壤容重(g/cm³), $b\%$ 为土壤水分质量百分数;

耗水量计算公式: 耗水量 = 播前土壤储水量 + 生育期降水 - 收后土壤储水量;

水分利用效率(WUE)计算公式:

$$WUE = \text{产量} / \text{耗水量}。$$

1.4.4 数据处理 采用 SPASS 17.0 和 EXCEL 2007 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 施肥处理对土壤全量养分含量的影响

从收获后耕层土壤全量养分含量的分析结果(表 2)可以看出, 无论化肥单施还是有机肥单施, 均对提高耕层土壤养分含量有一定的作用, 但以有机肥与化肥配合施用对土壤的培肥效果最为显著。总体来看, 全量养分含量熟土区大于生土区, 除全钾外, 其他全量养分均为 0~10 cm 土层大于 10~20 cm 土层。收获后有机质含量以生土区 A(CK)处理 10~20 cm 最低。在生土区表层土壤(0~10 cm), 有机质含量由大到小依次为 F、C、D、A(CK), 其中处理 F、C、D 有机质含量分别较处理 A(CK)高 55.6%、50.74%、22.8%。在熟土区表层土壤(0~10 cm), 处理 A(CK)、D、F 有机质含量分别 16.38、17.22、18.70 g/kg, 处理 D、F 均与处理 A(CK)差异显著。10~20 cm 土层有机质变化趋势与 0~10 cm 土层基本一致。说明适当增加施肥量可以提高新垦土壤有机质含量, 特别是有机肥料的使用能够加快生土的熟化。

从表 2 还可以看出, 无论是生土区还是熟土区, 10~20 cm 土层土壤全氮含量差异不显著; 而

表 2 不同处理土壤全量养分含量

处理	g/kg								
	0~10 cm				10~20 cm				
	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	
生土区	A (CK)	11.43 b	0.75 b	0.41 b	35.64 a	11.31 b	0.68 a	0.38 b	36.88 a
	C	17.23 a	1.10 a	0.45 b	38.86 a	12.49 a	0.85 a	0.42 b	40.13 a
	D	14.04 b	0.95 ab	0.43 b	39.58 a	11.82 a	0.83 a	0.40 b	39.77 a
	F	17.79 a	1.07 a	0.59 a	37.97 a	13.38 a	0.90 a	0.57 a	38.10 a
熟土区	A (CK)	16.38 b	0.90 b	0.69 a	38.48 a	14.85 a	0.87 a	0.54 a	40.15 a
	D	17.22 a	0.92 b	0.72 a	39.87 a	16.82 a	0.88 a	0.70 a	39.74 a
	F	18.70 a	1.13 a	0.89 a	34.87 a	16.98 a	0.89 a	0.82 a	37.64 a

0~10 cm 土层中, 相同处理的全氮水平高于 10~20 cm, 有利于作物对养分的吸收。在生土区, 处理 C 全氮含量 0~10 cm 最高, 为 1.10 g/kg, 较处理 A(CK)高 0.35 g/kg。熟土区全氮含量在 0~10 cm 土层中, 处理 F 显著高于处理 A、处理 D, 说明有机肥与无机肥配施改善土壤全氮含量较化肥明显。在 10~20 cm 土层中, 无论是生土区还是熟土, 处理之间全氮都表现出差异不显著, 这可能与该种豆科作物根系的发达程度有关。

土壤全磷是土壤磷素总体水平的体现, 是土壤无机磷素和有机磷素的总和, 能反映土壤磷库大小和潜在的供磷能力^[6]。新垦生土区和熟土区各处理的土壤全磷含量变化幅度均相对较小, 且变化趋势基本一致, 均为 0~10 cm 土层高于 10~20 cm 土层。熟土区土壤全磷处理 F、D、A 比生土区同处理分别高出 50.8%、67.4%、68.3%; 生土区 0~10 cm 土层全磷含量由大到小依次为 F、C、D、A, 处理 F 与其他处理间差异显著。说明新垦生土全磷含量普遍较低, 通过增加耕作年限可以提高生土的全磷含量。

无论是生土区还是熟土区, 不同处理之间全钾含量差异不显著, 说明在新垦黄绵土上增加耕作年限或者施肥对耕层土壤全钾含量影响不明显。从不同土层可以看出, 10~20 cm 土层全钾含量略高于 0~10 cm 土层, 这可能跟作物根系从土壤中吸收钾的深度、表层土壤干湿交替规律有关。

2.2 施肥处理对土壤速效养分含量的影响

由表 3 可以看出, 在生土区 0~10 cm 土层上, 处理 D 的速效磷、速效钾含量分别比处理 A(CK)高 59.2%、37.2%; 处理 C 的速效磷、速效钾含量分别比处理 A(CK)高 174.2%、162.7%; 处理 F 的速效磷、速效钾含量分别比 CK 高 206.3%、

181.3%。在 10~20 cm 土层中, 速效磷和速效钾明显低于 0~10 cm 土层。由此可以看出, 有机肥与无机肥配施能显著提高生土区耕层速效养分的含量, 特别是 0~10 cm 土层。在生土区 0~10 cm 土层, 速效磷、速效钾的含量表现出一致性, 由大到小依次为处理 F、C、D、A, 且处理 F、处理 C 显著高于处理 A、处理 D, 说明新垦土壤耕层速效养分受肥料影响很大, 特别是有机肥带给土壤的较多。在生土区 10~20 cm 土层, 不同处理间速效磷、速效钾含量差异并不显著。

表 3 不同处理土壤速效养分含量 mg/kg

处理	mg/kg				
	0~10 cm		10~20 cm		
	速效磷	速效钾	速效磷	速效钾	
生土区	A(CK)	13.02 b	129.39 b	9.71 a	126.00 a
	C	35.71 a	339.40 a	12.86 a	163.33 a
	D	20.73 b	177.18 b	11.81 a	139.33 a
	F	39.89 a	363.60 a	11.00 a	156.00 a
熟土区	A(CK)	40.49 b	245.09 b	31.08 a	168.97 b
	D	44.54 b	259.09 b	27.33 a	151.67 b
	F	70.66 a	409.50 a	30.24 a	254.00 a

2.3 施肥对水分利用效率及作物产量的影响

从表 4 可以看出, 不同施肥处理的水分利用率与产量趋势相吻合, 各施肥处理对三棱豆生育期田间总耗水量无明显的影响。生土区各处理的平均耗水量为 379.39 mm, 比熟土区各处理的平均耗水量多 12.28 mm, 这可能与熟土区三棱豆地上生物部分长势较好, 茎叶扩大了覆盖地面度而降低了土壤蒸发有关。在生土区, 处理 C、处理 D、处理 F 的水分利用效率比处理 A(CK)分别提高

表4 不同施肥处理对水分利用效率的影响

处理	耗水量 /mm	产量 /(kg/hm^2)	水分利用率 / $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})]$	增幅 /%	
生土区	A(CK)	351.85	1 648.05	4.68	
	C	396.56	2 384.53	6.01	28.4
	D	388.43	2 558.22	6.59	40.8
	F	380.73	2 890.23	7.59	62.2
熟土区	A(CK)	359.37	2 162.19	6.02	
	D	365.29	2 681.15	7.34	21.9
	F	376.68	3 167.92	8.41	39.7

28.4%、40.8%、62.2%；在熟土区，处理 C、处理 D 的水分利用效率较处理 A(CK)分别提高 21.9%、39.7%。相比较而言，同一处理生土区比熟土区水分利用效率增幅相对较大。三棱豆折合产量生土区以处理 F 最高，为 2 890.23 kg/hm^2 ，比处理 A(CK)高 1 242.18 kg/hm^2 ；熟土区处理 F 为 3 167.92 kg/hm^2 ，较处理 A(CK)增加 1 005.73 kg/hm^2 ，生土区产量增幅大于熟土区。由此可以看出，无论是生土区还是熟土区，均以有机肥 + 无机肥配合施用处理的产量和水分利用效率最高，尤其在生土区，施用化肥或化肥 + 有机肥配合施用可明显提高土壤水分利用效率。

3 小结与讨论

试验结果表明，在新垦黄绵土上，增加肥料投入可以改善土壤耕层养分，有机肥 + 化肥配施可显著提高土壤养分。其中施羊粪 30 000 kg/hm^2 、N 180 kg/hm^2 、 P_2O_5 120 kg/hm^2 、 K_2O 90 kg/hm^2 时，土壤耕层有机质、全氮、全磷分别较不施肥处理提高 55.6%、42.7%、43.9%，对全钾影响较小，这和桂国林^[7] 研究新垦淡灰钙土磷肥后效结果一致。熟土区土壤速效养分含量高于生土区，这与前人研究结果一致^[8-9]。这是由于熟土区长时间的耕作影响所致，使得熟土区肥力较高。

增加肥料投入并配合施肥是黄土高原中东新垦旱作农业区充分利用自然降水、提高水分利用效率的主要技术措施。这些措施对于新垦黄绵土显得尤为重要。而在生土区有机肥（羊粪 30 000 kg/hm^2 ）+ 化肥（N 180 kg/hm^2 、 P_2O_5 120 kg/hm^2 、 K_2O 90 kg/hm^2 ）配施的水分利用效率仅为 7.59 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ，处于较低水平，表明黄绵土基础肥力还很低，要改变这种状况，必须通过长期的培肥

地力，方能达到逐步提高水分利用效率的目的。

三棱豆折合产量以有机肥（羊粪 30 000 kg/hm^2 ）+ 化肥（N 180 kg/hm^2 、 P_2O_5 120 kg/hm^2 、 K_2O 90 kg/hm^2 ）配施最高，生土区为 2 890.23 kg/hm^2 ，比不施肥处理高 1 242.18 kg/hm^2 ；熟土区为 3 167.92 kg/hm^2 ，较不施肥处理增加 1 005.73 kg/hm^2 ，生土区产量增幅大于熟土区。汪惠芳^[10] 等研究发现，有机肥与无机肥配施增产的主要原因是提高了大田叶面积系数，增加了有效分枝数、单株荚数、百粒重，实行有机肥与无机肥配施可使大豆生育期延长 2~3 d，并有利于大豆根瘤菌形成。

在新垦黄绵土旱地，不同肥料的合理配施可增强作物吸收利用水分，进而提高作物产量和水分利用效率。因此，新垦黄绵土旱作农业区应增施肥料，尤其是有机肥，并注意和化学肥料的科学配比，是提高作物产量和水分利用率最有效的途径。

参考文献：

- [1] 谢开云, 董慕新, 刘更另, 等. 红壤丘陵区三种土壤生土熟化初期的养分和 pH 变化特征[J]. 中国农业科学, 1994, 27(6): 33-40.
- [2] 刘海福. 干旱地区提高新修梯田土地生产力的措施[J]. 甘肃科技, 2006, 22(1): 178-179.
- [3] 董博, 周欢, 蔡立群, 等. 免耕条件下不同有机物料还田对土壤有机碳及微生物量碳含量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2015(1): 12-14.
- [4] 罗照霞, 杨志奇, 马忠明, 等. 耕作措施对玉米的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014(11): 19-21.
- [5] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [6] FRANCIS D D, J S Schepers, M F Vigil. Post-anthesis nitrogen loss from corn[J]. Agron. J., 1993, 85: 659-663.
- [7] 桂国林. 新垦淡灰钙土磷肥后效研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 335-337.
- [8] 刘建平, 张海云, 路广平, 等. 生土特性及生土快速培肥措施[J]. 山西水土保持科技, 2001(3): 14-16.
- [9] 洪世奇, 朱胤华, 江华, 等. 山旱区新修梯田土壤培肥途径及其效益研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(2): 80-83.
- [10] 汪惠芳, 朱丹华, 郑连光, 等. 有机肥与无机肥配施对新垦红壤春大豆生长及产量的影响[J]. 土壤肥料, 1997(6): 35-36.