

施肥对旱作区新修梯田土壤理化性质及马铃薯产量的影响

柳燕兰^{1,2}, 马明生^{1,2}, 张绪成^{1,2}, 李世成³, 雷康宁^{1,2}, 李继明⁴, 张强⁴

(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. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020; 4. 定西市安定区农业技术推广服务中心, 甘肃 定西 743000)

摘要: 探究施肥对旱作区新修梯田土壤理化性质和作物产量的影响, 对中低产田地力提升具有重要意义。利用 2019 年设置在定西市安定区新修梯田的定位试验, 分析不施肥(CK)、施氮磷钾肥(NPK)、氮磷钾肥配施有机肥(NPKM)、氮磷钾肥配施有机肥再增施土壤调理剂(NPKMF)对土壤理化性质和马铃薯产量的影响, 以评价施肥对新修梯田土壤的培肥效果。结果表明, 与不施肥(CK)相比, 各施肥处理均降低了新修梯田挖方部位和填方部位的土壤容重, 提高了土壤总孔隙度和田间持水量, 增加了土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量, 挖方部位和填方部位马铃薯产量分别提高 21.79%~66.13%和 24.91%~32.28%。与施氮磷钾肥相比, 氮磷钾肥配施有机肥再增施土壤调理剂降低了挖方部位和填方部位的土壤容重, 提高了土壤总孔隙度和田间持水量, 且对挖方部位的改善效果更显著; 但土壤有机质、有效磷和速效钾含量差异均不显著, 挖方部位和填方部位碱解氮含量分别显著提高 9.98%和 10.00%, 马铃薯产量分别提高了 36.40%和 5.90%。综上可知, 氮磷钾化肥配施有机肥再增施土壤调理剂可降低土壤容重, 提高土壤总孔隙度和田间持水量, 提升土壤养分含量, 增加马铃薯产量, 是旱作区新修梯田地力提升的有效措施。

关键词: 施肥; 旱作区; 新修梯田; 土壤物理性质; 养分含量; 马铃薯; 产量

中图分类号: S147.2; S532; S153 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2022)02-0115-04

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2022.02.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2022.02.004)

Effects of Fertilization on Soil Physical and Chemical Properties and Potato Yield of New Terraced Farmland in Rain-fed Region

LIU Yanlan^{1, 2}, MA Mingsheng^{1, 2}, ZHANG Xucheng^{1, 2}, LI Shicheng³, LEI Kangning^{1, 2}, LI Jiming⁴, ZHANG Qiang⁴

(1. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Provincial Key Laboratory for Efficient Utilization of Water Resources in Dry Farming Region, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Agricultural Technologies Extension Station, Lanzhou Gansu 730020, China; 4. Agricultural Technology Promotion Center of Anding District in Dingxi, Dingxi Gansu 743000, China)

Abstract: Exploring the effect of fertilization on the physical and chemical properties of soil and crop yield of newly built terrace land in rain-fed areas is integral for improving the fertility of middle and low yield fields. The potato yield and soil physical and chemical properties in four treatments, composed of no fertilizer control(CK), a single application of fertilizer of nitrogen, phosphate and potassium(NPK), fertilizer combined with manure(NPKM), fertilizer combined with manure and then added with soil conditioner (NPKMF) from a long-term experimental field established in 2019, were studied to evaluate the effects of different fertilization treatments on crop yield and soil physical properties of the new terraced farmland in the Anding District of Dingximunicipality. Compared with CK, fertilization reduced soil bulk density, increased soil total porosity and field capacity, increased contents of soil organic matter, alkali hydrolyzable nitrogen and available phosphorus of cut and fill of new terraced farmland, which increased potato yield of cut and fill by 21.79% to 66.13% and 24.91% to 32.28%, respectively. Compared with NPK, NPKMF reduced soil bulk density, increased soil total porosity and field water capacity of excavation and filling, and it had more significant improvement effect on excavation. However, the contents of soil organic matter, available phosphorus and available potassium were not significantly

收稿日期: 2022-10-26

基金项目: 甘肃省农业农村厅科技项目(GNKJ-2020-5); 甘肃省农业科学院科技成果转化项目(2022GAAS-CGZH01); 甘肃省科技计划项目(20JR10RA464); 甘肃省农业科学院农业科技创新专项(2019GAAS25)。

作者简介: 柳燕兰(1981—), 女, 甘肃民勤人, 副研究员, 硕士, 主要从事旱地农田土壤养分循环与培肥研究工作。Email: liuyanlan868@163.com。

通信作者: 张绪成(1973—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 博士, 主要从事作物生理生态及早地农业研究工作。Email: gszhangxuch@163.com。

different, but the content of alkali hydrolyzed nitrogen was significantly increased by 9.98% and 10.00%, respectively. Eventually the yield of potato was increased by 36.40% and 5.90%, respectively. Therefore, fertilizer combined with manure and then added with soil conditioner could reduce soil bulk density, increase soil total porosity and field capacity, improve soil nutrient contents, and increase potato yield. This could be used to efficiently improve the fertility of new terraced farmland in rain-fed areas.

Key words: Fertilization; Rain-fed region; New terraced farmland; Soil physical property; Soil nutrient content; Potato; Yield

黄土高原区沟壑纵横, 水土流失严重, 影响区域生态健康和农业生产发展。坡改梯田从源头上控制了水土流失成为区域粮食生产的支柱性措施, 而采用大型机械修建坡改梯田, 将表层熟土填埋, 生土裸露, 破坏了农田原有的土壤结构, 使耕作层出现较多的土壤障碍因子, 如土壤通透性差、有机质含量低、养分贫瘠等, 严重影响作物生长, 使作物产量低而不稳, 甚至当年绝收。因此, 探究新修梯田土壤培肥、改良技术, 对旱作区农业持续发展具有重要意义。

定位试验表明, 长期施用氮磷肥, 不仅导致土壤理化性状恶化, 而且肥料利用率显著降低, 也严重污染了环境^[1]; 而氮磷钾化肥平衡施用或与有机肥配合施用均能增加当年土壤有机质和养分含量, 提高作物产量, 提升土壤肥力^[2-4], 且无机有机肥配施对增强土壤肥力效果最好^[5]。然而这些传统的培肥措施研究多针对中高肥力农田, 对旱作区低产田的研究较少, 且忽略了生物活体物质对土壤物质能量转化的作用, 虽然增加了作物产量, 但土壤物理和化学性质没有明显的恢复, 难以达到培肥改土的效果。土壤改良剂能显著促进土壤团粒形成, 改善土壤结构, 降低土壤容重, 提高土壤肥力, 并对土壤微生物产生积极的影响, 从而提升低产田土壤的生产力^[6]。但是, 其对土壤的改良效果与改良剂、土壤本身的性质有关。以往的研究多集中在有机肥与化肥配施, 或单一施用土壤改良剂。我们在前人研究基础上, 进一步探讨了有机肥与无机肥配施再增施土壤调理剂对旱作区新修梯田土壤理化性质及作物产量的影响, 旨在为这类土壤的培肥利用和旱作区农业生产的持续发展提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2020—2022 年在属于典型旱作区的甘肃省定西市安定区西巩驿镇南河村进行, 供试地块为 2019 年新修梯田。当地平均海拔 1 793 m, 属温带大陆性气候, 全年平均日照总时数 2 500 h, 年平均气温 7.5 ℃, 年均降水量 300 mm, 无霜期 150 d。试验地采用马铃薯—绿肥—马铃薯轮作种植模式,

耕作方式以普通旋耕为主, 土壤类型为淡黑垆土。

1.2 供试材料

指示作物为马铃薯, 品种为陇薯 7 号, 由甘肃省农业科学院马铃薯研究所选育并提供。供试土壤调理剂由甘肃省农业科学院旱地农业研究所专利研制并提供, 以腐殖酸、复合微生物菌剂等为主要成分。供试氮肥为尿素(含氮 46%); 磷肥为普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 16%); 钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%)。供试有机肥为腐熟鸡粪(含有机质 ≥ 23.8%)。

1.3 试验方法

试验设 4 个处理, 分别为不施肥(CK)、施氮磷钾肥(NPK)、氮磷钾肥配施有机肥(NPKM)、氮磷钾肥配施有机肥再增施土壤调理剂(NPKMF)。肥料用量分别为 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm²、腐熟鸡粪 30 000 kg/hm², 有机肥中带入的氮、磷、钾养分不计入肥料总量。土壤调理剂用量为 1 500 kg/hm²。全部肥料和土壤调理剂均在播前结合整地一次性施入。试验完全随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 35 m²。试验采用全膜覆盖垄上微沟种植方式, 种植密度 45 000 穴/hm²。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤物理性质测定 2022 年马铃薯收获后, 采用环刀法采集 0~20 cm 耕层土样, 测定土壤容重和田间持水量。每小区随机采集 5 个样点; 参照《土壤物理性质测定法》测定和计算土壤总孔隙度^[7]。

$$\text{土壤总孔隙度} = (1 - BD/\rho) \times 100\%$$

式中, BD 为土壤容重(g/cm³), ρ 为土壤比重(通常为 2.65 g/cm³)。

1.4.2 土壤化学性质测定 2022 年马铃薯收获后, 用土钻取 0~20 cm 耕层土样, 研磨过筛, 用于室内分析。其中有机质含量采用重铬酸钾外加热氧化法测定; 碱解氮含量采用碱解扩散法测定; 有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提, 钼锑抗比色法测定; 速效钾含量采用原子吸收法测定^[8]。

1.4.3 产量测定 收获时分小区测定马铃薯块茎产量。

1.5 数据处理

用 Excel 软件对试验数据进行整理, 用 SASS

对数据进行 ANOVA 方差分析, 并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对耕层土壤物理性状的影响

从表 1 可以看出, 各施肥处理均降低了新修梯田耕层土壤的容重。与 CK 相比, 各施肥处理均显著降低了挖方部位土壤容重, 降幅为 5.88% ~ 12.50%, 其中以处理 NPKMF 降低最为显著; 处理 NPK 和处理 NPKM 填方部位的土壤容重与 CK 差异不显著, 而处理 NPKMF 较 CK 显著降低 7.81%。相比之下, 处理 NPKM 挖方部位的土壤容重与处理 NPK 差异不显著, 而处理 NPKMF 则较处理 NPK 显著降低 7.03%; 处理 NPKM 和处理 NPKMF 填方部位的土壤容重与处理 NPK 差异均不显著。

从表 1 还可以看出, 各施肥处理均提高了土壤总孔隙度。其中, 各施肥处理挖方部位土壤总孔隙度较 CK 显著提高 6.91% ~ 13.24%, 以处理 NPKMF 提高的幅度最大; 处理 NPK 和处理 NPKM 的填方部位的土壤总孔隙度与 CK 差异不显著, 处理 NPKMF 较 CK 显著提高了 7.54%。处理 NPKM 挖方部位土壤总孔隙度与处理 NPK 差异不显著, 处理 NPKMF 则较处理 NPK 显著提高 5.92%; 处理 NPK、处理 NPKM、处理 NPKMF 间填方部位的土壤总孔隙度差异不显著。

田间持水量的大小反映了土壤蓄水、供水和保水性能。各施肥处理均显著提高了新修梯田挖方和填方部位的田间持水量, 其中均以处理 NPKMF 提高的幅度最大, 分别较 CK 提高了 20.76%、22.95%。与处理 NPK 相比, 处理 NPKM 和处理 NPKMF 挖方部位的田间持水量分别显著提高 6.03%、7.60%, 填方部位田间持水量分别显著提高 10.48% 和 15.13%, 而处理 NPKM 和处理 NPKMF 的田间持水量在挖方和填方部位均差异不显著(表 1)。

表 1 不同处理耕层土壤物理性质

处理	土壤容重/(g/cm ³)		土壤总孔隙度/%		田间持水量/%	
	挖方	填方	挖方	填方	挖方	填方
CK	1.36 a	1.28 a	48.49 c	51.57 b	22.74 c	24.57 c
NPK	1.28 b	1.24 ab	51.84 b	53.20 ab	25.52 b	26.24 b
NPKM	1.23 bc	1.22 ab	53.65 ab	54.11 ab	27.06 a	28.99 a
NPKMF	1.19 c	1.18 b	54.91 a	55.46 a	27.46 a	30.21 a

表 2 不同处理耕层土壤化学性质

处理	有机质/(g/kg)		碱解氮/(mg/kg)		有效磷/(mg/kg)		速效钾/(mg/kg)	
	挖方	填方	挖方	填方	挖方	填方	挖方	填方
CK	4.23 a	4.33 b	18.73 d	19.91 c	12.40 a	12.28 b	164.53 a	183.04 a
NPK	4.75 a	5.24 a	20.64 c	25.09 b	14.72 a	14.85 ab	149.02 a	194.08 a
NPKM	4.88 a	5.09 a	24.37 a	25.16 b	16.55 a	15.65 ab	166.26 a	138.40 a
NPKMF	4.99 a	5.41 a	22.70 b	27.60 a	18.45 a	20.04 a	169.90 a	174.12 a

2.2 不同处理对耕层土壤化学性质的影响

从表 2 可以看出, 与 CK 相比, 各施肥处理均增加了新修梯田挖方和填方土壤有机质、碱解氮和有效磷的含量, 其中挖方部位土壤有机质、碱解氮和速效磷含量分别增加了 12.29% ~ 17.97%、10.20% ~ 30.11%、18.71% ~ 48.79%; 填方部位土壤有机质、碱解氮和速效磷含量分别增加了 17.55% ~ 24.94%、26.02% ~ 38.62% 和 20.93% ~ 63.19%, 且均以处理 NPKMF 增加幅度最大。另外, 不同处理的土壤有机质、有效磷和速效钾含量在挖方部位差异均不显著, 而填方部位差异显著速效钾含量差异不显著。处理 NPKM、处理 NPKMF 的挖方和填方部位土壤有机质、有效磷和速效钾含量与处理 NPK 差异均不显著; 碱解氮含量挖方部位分别较处理 NPK 显著提高 18.07% 和 9.98%, 填方部位分别较处理 NPK 分别提高 0.28% 和 10.00%, 且处理 NPKMF 碱解氮含量与处理 NPK 差异达显著水平。

2.3 不同处理的马铃薯产量

从图 1 可知, 新修梯田挖方部位的马铃薯产量均低于填方部位, 且各施肥处理均显著增加了马铃薯产量。与 CK 相比, 处理 NPK、NPKM、NPKMF 挖方部位马铃薯产量分别显著提高 21.79%、56.71%、66.13%, 填方部位的马铃薯产量分别显著提高 24.91%、30.77%、32.28%, 且均以处理 NPKMF 提高幅度最大。与处理 NPK 相比, 处理 NPKM 和 NPKMF 挖方部位的马铃薯产量分别显著提高了 28.67% 和 36.40%; 填方部位的马铃薯产量分别提高了 4.69% 和 5.90%, 但差异不显著。处理 NPKM 和处理 NPKMF 间挖方部位和填方部位的马

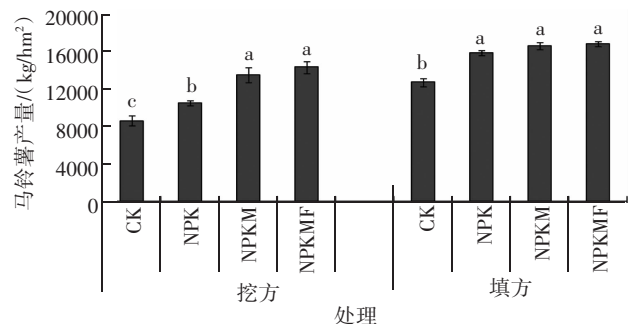


图 1 不同处理的马铃薯产量

铃薯产量差异均不显著。

3 讨论与结论

土壤容重是土壤肥力的重要评价指标,其影响土壤的水、肥、气、热的变化和作物的生长,最终影响作物产量的形成^[9]。本研究中,各施肥处理均降低了新修梯田挖方部位和填方部位的土壤容重,其中化肥配施有机肥和化肥配施有机肥再增施土壤调理剂对土壤容重降低的效果更显著,这与王道中等^[10]的研究一致。主要原因是本研究施用的有机肥为动物粪肥,其营养物质丰富,更有利于土壤有机质的固定和作物生长,从而降低土壤容重^[11]。另外,本研究加入的土壤调理剂主要以腐殖酸和复合微生物菌剂为主,它施入土壤后不仅可为微生物提供碳源和能源,促进微生物繁殖,间接影响土壤容重,而且可促进土壤团粒结构的形成,从而降低土壤容重。提高田间持水量可增强土壤的蓄水、供水和保水的性能,其受土壤自身的条件及施肥等众多因素的影响^[12],长期施用有机肥可以提高田间持水量^[12-13]。本研究结果也表明,有机肥和化肥配施或有机肥配施化肥再增施土壤调理剂能够显著提高土壤有机质含量,从而提高田间持水量。

氮磷钾化肥平衡施用,或在化肥配施的基础上增施粪肥均能培肥地力,提高作物产量^[10]。本研究中,与对照不施肥相比,氮磷钾化肥平衡施用、氮磷钾化肥与有机肥配施、氮磷钾化肥与有机肥配施再增施土壤调理剂均能提高土壤养分含量,且以氮磷钾化肥与有机肥配施再增施土壤调理剂的提升效果最为显著,这与 Ai^[14]的研究相一致。另外,与氮磷钾化肥平衡施用相比,氮磷钾化肥与有机肥配施可提高土壤有机质、碱解氮、有效磷含量,但效果不如氮磷钾化肥与有机肥配施再增施土壤调理剂显著。这主要是除粪肥自身携带丰富的氮、磷等营养元素,改善了土壤理化性质,进而新修梯田的挖方部位和填方部位的马铃薯的产量提高36.40%和5.90%外,以腐殖酸和复合微生物菌剂为主要成分的土壤调理剂施入土壤后,不仅直接增加了土壤有机碳含量,而且通过促进微生物的大量繁殖活动来提高土壤养分的时效性,实现了培肥土壤的目的,从而提升作物产量。

氮磷钾化肥配施可以降低旱作区新修梯田土壤容重,改善土壤化学性质,提高马铃薯产量。

但在氮磷钾平衡施用的基础上,配施有机肥再增施土壤调理剂对旱作区新修梯田培肥地力、提高马铃薯产量的效果更显著。因此,氮磷钾化肥与有机肥配施再增施土壤调理剂为旱作区新修梯田较为适宜的培肥模式。

参考文献:

- [1] WANG L, LI XG, LÜ J, et al. Continuous plastic-film mulching increases soil aggregation but decreases soil PH in semiarid areas of China[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 167: 46-53.
- [2] 马常宝, 卢昌艾, 任意, 等. 土壤地力和长期施肥对潮土区小麦和玉米产量演变趋势的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (4) :796-802.
- [3] 邢素丽, 韩宝文. 华北平原小麦-玉米两熟作物区土壤培肥途径[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 1013-1015.
- [4] 王飞, 林诚, 李清华, 等. 长期不同施肥对南方黄泥田水稻子粒品质性状与土壤肥力因子的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 283-290.
- [5] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.
- [6] 刘慧军, 刘景辉, 于健, 等. 土壤改良剂对燕麦土壤理化性状及微生物量碳的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 68-72; 77.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性状测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [9] 冀建华, 侯红乾, 刘益仁, 等. 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 607-619.
- [10] 王道中, 花可可, 郭志彬. 长期施肥对砂姜黑土作物产量及土壤物理性质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4781-4789.
- [11] CHANG E H, WANG C H, CHEN C L, et al. Effects of long-term treatments of different organic fertilizers complemented with chemical N fertilizer on the chemical and biological properties of soils[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2014, 60(4): 499-511.
- [12] 李卓, 吴普特, 冯浩, 等. 容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 611-620.
- [13] 李文军, 彭保发, 周诗彪, 等. 长期施肥对洞庭湖区水稻土物理性状及团聚体中有机碳积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(4): 761-768.
- [14] AI C, LIANG G Q, SUN J W, et al. Responses of extra-cellular enzyme activities and microbial community in both the rhizosphere and bulk soil to long-term fertilization practices in a fluvoaquic soil[J]. Geoderma, 2012, 173/174: 330-338.