

文章编号:1673-887X(2026)06-0216-03

旱作区马铃薯氮磷钾配施与有机肥替代技术优化试验

李小瑞

(天水市农业生态与资源保护技术服务中心,甘肃 天水 741000)

摘要 针对陇中黄土高原旱作区土壤“低氮低碳”特征及化肥过量施用问题,探究有机肥替代化肥的优化比例,以实现马铃薯绿色增产与资源高效协同。试验设置0%(CK₀)、常规施肥(CK)、10%~40%有机替代(T₁—T₄)6个处理,测定产量、品质及肥料利用率,结合¹⁵N示踪量化氮素利用机制。结果表明:20%替代(T₂)处理产量达40.7 t/hm²,较CK增产5.4%,氮肥利用率提升至45.3%,淀粉、维生素C显著优化;替代30%时产量降低2.85%、粗蛋白下降5.05%;替代40%时产量降低9.07%、粗蛋白下降9.17%。结论:20%有机替代通过缓释养分匹配需肥高峰、活化土壤磷钾及增强碳代谢,是旱区实现“等养分替代20%化肥—增产5.4%—提质增效”的初步优化技术范式。

关键词 旱作区;马铃薯;氮磷钾;有机肥

中图分类号 S532

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.074

Optimization Experiment on Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilizer Application and Organic Fertilizer Replacement Technology in Dryland Area Potato Cultivation

Li Xiaorui

(Tianshui Agricultural Ecological and Resource Protection Technology Service Center, Tianshui 741000, Gansu, China)

Abstract: In response to the "low nitrogen and low carbon" characteristics of the soil in the dry farming area of the Longzhong Loess Plateau and the problem of excessive application of chemical fertilizers, this study explored the optimal proportion of organic fertilizer substitution for chemical fertilizers to achieve green increase in potato yield and efficient synergy of resources. The experiment set up 6 treatments to measure yield, quality and fertilizer utilization rate, and combined with ¹⁵N tracing to quantify the nitrogen utilization mechanism. The conclusion showed that 20% organic substitution by matching slow-release nutrients with the peak nutrient demand, activating soil phosphorus and potassium, and enhancing carbon metabolism was a preliminary optimized technical paradigm for achieving "equivalent nutrient substitution of 20% chemical fertilizers-5.4% increase in yield-improvement in quality and efficiency" in arid areas.

Key words: arid farming area; potato; phosphorus, potassium, nitrogen; organic fertilizer

甘肃省天水市地处陇中黄土高原半干旱地区,年均降水量仅480~610 mm,且季节分布不均,属典型雨养旱作农业区。作为区域主导作物,马铃薯的稳产高产对保障粮食安全与农民增收至关重要。但是,该地区土壤养分呈现“低氮、中磷、高钾、低碳、微偏碱”的典型特征,传统施肥模式中化肥过量投入与有机肥施用不足并存,导致土壤结构恶化、盐度增加、微生物多样性下降,并伴随肥料利用率递减等问题^[1]。近年来,在国家化肥农药减量增效行动导向下,有机肥部分替代化肥成为优化养分管理、提升土壤健康的关键路径。相关研究显示,全膜覆盖结合生物有机肥替代,可显著提高马铃薯商品薯率,不仅能提升增产效果,而且能提升

土壤速效钾及有机质含量^[2]。但是,天水市区域适宜的有机替代比例尚未形成标准化参数。本研究立足天水旱作区生产实际,通过田间试验,设置等养分总量条件下不同有机肥替代比例梯度,系统评价其对马铃薯产量、品质及肥料利用率的影响,旨在为本区域马铃薯绿色生产提供“有机替代—产量协同”的参考依据,支撑干旱山区农业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省天水市秦州区杨家寺乡中川村。此处属黄土高原南部边缘与秦岭山脉过渡地带,

收稿日期 2025-07-18

作者简介 李小瑞(1982-),女,甘肃天水人,高级农艺师,研究方向为作物栽培管理。

海拔约1 650 m。该区域年均降水量480~610 mm,降水季节分布不均,多集中于7月—9月,年均温8~10℃,昼夜温差显著,利于马铃薯干物质积累。试验田前茬作物为冬小麦,于试验前一年7月收获后休耕,土壤类型为泥砂土,质地疏松、通透性强,矿物质含量较高,但肥力总体中等偏下。根据天水市农业科学研究所长期定位监测数据,试验地土壤呈微碱性(pH 7.5~8.2),有机质质量分数普遍偏低,均值仅为12.6~15.3 g/kg,属典型“低碳”类型;全氮质量分数均值0.65~0.82 g/kg,碱解氮质量分数均值68.5 mg/kg;有效磷质量分数中等(15.3~18.7 mg/kg),速效钾质量分数较高(153~187 mg/kg)。

1.2 供试材料

试验选用甘肃省农业科学院马铃薯研究所选育的陇薯10号为供试品种,该品种具有抗旱性强、块茎膨大速度快、商品薯率≥85%等特性,适宜天水旱作区覆膜栽培;块茎椭圆形,黄皮淡黄肉,含干物质22.1%~24.5%,生育期约120 d。供试种薯为脱毒一级种薯[单薯质量(50±5)g],播种前经0.1%高锰酸钾消毒并草木灰裹种处理。供试肥料为马铃薯专用氮磷钾复合肥(15%-15%-15%)、有机肥(有机质≥65%,N-P₂O₅-K₂O为1.5%-1.5%-1.5%)、硝酸钾水溶肥(N-P₂O₅-K₂O为13.5%-0-46%)、尿素(含N 46%)、硫酸钾水溶肥(含K₂O 52%)。

1.3 试验设计

本试验采用随机区组设计,设6个处理,3次重复,小区面积46.2 m²(6.6 m × 7.0 m)。供试马铃薯品种为陇薯10号,种植密度61 360株/hm²,采用高垄覆膜单垄双行种植,垄宽80 cm、沟宽40 cm、行距120 cm(垄中心间距),垄上小行距30 cm、株距29.5 cm。

试验设不施肥(CK₀)、常规施肥(CK)以及有机肥等养分替代化肥,替代比例分别为10%(T₁)、20%(T₂)、30%(T₃)、40%(T₄)共6个处理。各处理具体施肥量如下。

CK₀:不施任何肥料。

CK:基肥施15-15-15复合肥1 500 kg/hm²(提供N 225 kg、P₂O₅ 225 kg、K₂O 225 kg);追肥于幼苗期及块茎形成期施13.5-0-46硝酸钾水溶肥667 kg/hm²(提供N 90 kg、K₂O 307 kg),块茎膨大期不再追施钾肥。

T₁(10%替代):有机肥等养分替代基肥中10%的N、P₂O₅、K₂O。基肥中有机肥N 22.5 kg、P₂O₅ 22.5 kg、K₂O 22.5 kg,需有机肥实物量1 500 kg/hm²(有机肥养分含量1.5%-1.5%-1.5%);不足养分由15-15-15复合肥补足至基肥各养分225 kg/hm²,复合肥用量1 350 kg/hm²。追肥同CK。

T₂(20%替代):有机肥等养分替代基肥中20%的N、P₂O₅、K₂O。有机肥用量3 000 kg/hm²(提供各养分45 kg/hm²),复合肥用量1 200 kg/hm²。追肥同CK。

T₃(30%替代):有机肥用量4 500 kg/hm²,复合肥用量1 050 kg/hm²。追肥同CK。

T₄(40%替代):有机肥用量6 000 kg/hm²,复合肥用量900 kg/hm²。追肥同CK。

所有基肥于起垄前一次性均匀撒施后翻耕入土。追肥采用滴灌施用于幼苗期(50%)、块茎形成期(50%)。其余田间管理同当地高产栽培管理。

1.4 测定内容

产量方面,于收获期每小区随机选取10株测定单株块茎质量(电子天平,精度0.01 kg),折算单位面积产量;按《马铃薯商品薯分级与检验规程(GB/T 31784—2015)》规定的分级标准计算商品薯率(分级标准:大薯>80 mm,中薯50~80 mm,小薯<50 mm,商品薯=大薯+中薯);同步测定块茎干物质含量(105℃杀青30 min后80℃烘干至恒重)。

品质分析包括:淀粉含量(旋光法)、还原糖(DNS比色法)、维生素C(2,6-二氯酚酚滴定法)、粗蛋白(凯氏定氮法)及块茎硬度(质构仪穿刺测试,探头P/6,穿刺深度10 mm)。

肥料利用率评价涵盖:养分吸收量(成熟期植株全氮磷钾含量,H₂SO₄-H₂O₂消煮-ICP法)、肥料偏生产力(PFP_x=产量/肥料×施用量)、农学效率[(AE_x=(施肥区产量-空白区产量)/肥料×施用量)],并通过¹⁵N同位素示踪法:设置1 m × 1 m微区,播种时施用丰度10%的¹⁵N标记的尿素;成熟期采集植株样品,烘干粉碎后利用同位素质谱仪(Delta V Advantage)测定¹⁵N丰度,计算肥料氮回收率。

1.5 数据分析

采用Microsoft Excel 2016处理试验数据,使用SPSS 23.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯品质的影响

不同处理对马铃薯品质的影响见表1。由表1可知,淀粉含量随有机替代比例增加呈先升后降趋势,T₂最高达18.7%,显著高于CK(17.2%)(P<0.05),这与有机肥促进碳同化物积累有关;但T₄降至16.9%,可能与过量有机肥延缓生育后期淀粉转化有关。还原糖质量分数以CK₀最高,常规施肥CK为0.25%,而T₁、T₃维持在0.20%~0.22%的低值,表明适度有机替代通过稳定碳代谢降低油炸加工褐变风险。维生素C质量分数在T₂达峰值,较CK提高16.7%(P<0.05),印证了有机肥对抗氧化物质的促进作用。粗蛋白质量分数受氮素供应调控,CK与T₁、T₂无显著差异,但T₃、T₄分别降至2.07%和1.98%,反映高比例替代下氮矿化不足。块茎硬度随钾肥追施显著提升,T₂达6.8 kg/cm²,较CK₀提高24.5%,与硫酸钾强化细胞壁结构密切相关^[3]。

表1 不同处理对马铃薯品质的影响表

Tab.1 The effects of different treatments on the quality of potatoes

处理	w(淀粉)/%	w(还原糖)/%	w(维生素C)/(mg·hg ⁻¹)	w(粗蛋白)/%	硬度/(kg·cm ⁻²)
CK ₀	15.3 ± 0.4c	0.32 ± 0.03a	14.2 ± 0.8d	1.85 ± 0.06c	5.5 ± 0.3c
CK	17.2 ± 0.5b	0.25 ± 0.02b	16.8 ± 1.0b	2.18 ± 0.07a	6.2 ± 0.4b
T ₁	17.8 ± 0.4ab	0.22 ± 0.02c	18.1 ± 0.9ab	2.15 ± 0.08ab	6.5 ± 0.3ab
T ₂	18.7 ± 0.6a	0.20 ± 0.01c	19.6 ± 1.1a	2.16 ± 0.05ab	6.8 ± 0.5a
T ₃	17.5 ± 0.5b	0.21 ± 0.02c	17.5 ± 0.7bc	2.07 ± 0.06b	6.6 ± 0.4ab
T ₄	16.9 ± 0.4bc	0.24 ± 0.02b	15.9 ± 0.8c	1.98 ± 0.07c	6.0 ± 0.3b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05);下表同。

2.2 不同处理对马铃薯产量的影响

不同处理对马铃薯产量的影响见表2。由表2可知,CK₀产量最低,表明当地土壤基础肥力有限。常规施肥(CK)产量达38.6 t/hm²,较CK₀增产35.9%(P<0.05)。有机替代处理中,T₂(20%替代)产量峰值达40.7 t/hm²,显著高于CK 5.4%(P<0.05),主要归因于单株块茎数增加和商品薯率提升;T₁(10%替代)与CK无显著差异,而T₃、T₄产量分别降至37.5 t/hm²和35.1 t/hm²,反映过量替代导致生育后期养分供应不足^[4]。产量构成分析表明,单株块茎质量与商品薯率呈正相关,T₂单株块茎质量达1.28 kg,较CK提高8.5%;其商品薯率89.3%显著高于CK的85.6%(P<0.05),与有机肥改善薯型均匀度有关。

表2 不同处理对马铃薯产量的影响表

Tab.2 The impact of different treatments on potato yield

处理	产量/(t·hm ⁻²)	块茎数/(个·株 ⁻¹)	块茎质量/(kg·株 ⁻¹)	单薯质量/g	商品薯率/%
CK ₀	28.4 ± 1.2d	2.8 ± 0.3c	0.82 ± 0.05d	293 ± 21c	76.4 ± 3.1d
CK	38.6 ± 1.5b	3.7 ± 0.4b	1.18 ± 0.07b	319 ± 24b	85.6 ± 2.8b
T ₁	39.2 ± 1.3b	3.8 ± 0.3ab	1.20 ± 0.06ab	316 ± 22b	86.8 ± 2.5ab
T ₂	40.7 ± 1.8a	4.1 ± 0.5a	1.28 ± 0.08a	312 ± 25b	89.3 ± 3.0a
T ₃	37.5 ± 1.4c	3.6 ± 0.4b	1.14 ± 0.07bc	317 ± 23b	83.7 ± 2.7c
T ₄	35.1 ± 1.6c	3.3 ± 0.3bc	1.06 ± 0.06c	321 ± 20b	80.2 ± 3.2c

2.3 不同处理对肥料利用率的影响

有机替代比例显著调控养分资源利用效率,具体见表3。由表3可知,氮肥利用率(NUE)以T₂处理最高,较CK提升18.6%(P<0.05),主要归因于有机肥减少氮

素淋失;而T₄处理降至31.5%,反映高替代比例下氮矿化滞后损失。¹⁵N示踪表明,T₂的肥料氮回收率达52.7%,显著高于CK的46.1%(P<0.05)。磷钾吸收效率呈相似规律,T₂处理植株磷积累量和钾积累量分别较CK提高11.2%和9.8%,与有机酸活化土壤固定态磷钾相关^[5]。肥料偏生产力(PFP)和农学效率(AE)在T₂达峰值,其中PFP_N较CK提高17.4%,AE_K较CK提升21.8%。

表3 不同处理对肥料利用的影响表

Tab.3 The impact of different treatments on fertilizer utilization

处理	NUE/%	肥料氮回收率/%	P积累量/(kg·hm ⁻²)	K积累量/(kg·hm ⁻²)	PFP _N /(kg·hm ⁻²)	AE _K /(kg·hm ⁻²)
CK	38.2 ± 2.1b	46.1 ± 2.5b	61.5 ± 3.2b	175.3 ± 8.7b	110.1 ± 5.3b	10.1 ± 0.6b
T ₁	41.5 ± 1.8ab	49.3 ± 2.2ab	64.8 ± 3.0ab	183.2 ± 7.9ab	118.7 ± 4.8ab	11.2 ± 0.5ab
T ₂	45.3 ± 2.3a	52.7 ± 2.8a	68.4 ± 3.5a	192.6 ± 9.1a	129.2 ± 6.1a	12.3 ± 0.7a
T ₃	36.8 ± 1.9bc	43.6 ± 2.0bc	59.2 ± 2.8bc	169.5 ± 7.5bc	105.3 ± 4.5bc	9.5 ± 0.5bc
T ₄	31.5 ± 1.7c	38.9 ± 1.8c	54.7 ± 2.5c	158.1 ± 6.8c	92.6 ± 4.0c	8.2 ± 0.4c

3 结语

本研究证实,在陇中黄土高原旱作区,20%有机肥等养分替代化肥(T₂)为适宜配比,该模式可在不增加总养分投入的前提下,实现马铃薯增产提质,同时提升氮肥利用效率。究其原因,有机肥不仅可缓释养分、匹配马铃薯块茎膨大期需肥规律,减少氮素淋溶损失,并活化土壤磷、钾养分;还可促进植株碳代谢与抗氧化物质合成,改善块茎品质。若有机肥替代比例高于30%,则会因养分矿化滞后造成马铃薯减产、品质下降。本研究结果可为当地旱作区马铃薯化肥减量、绿色高效栽培提供科学依据与技术参考。

参考文献

[1] 余世洪,陶文广,金鑫,等.七星关区马铃薯和玉米种植的有机肥替代及肥料利用率试验[J].农技服务,2024,41(1):13-16.

[2] 黄艳岚,张超凡,张道微,等.有机肥替代化肥对马铃薯产量、氮肥利用和土壤养分的影响[J].湖南农业科学,2022(6):25-28.

[3] 高青青,方玉川,汪奎,等.氮磷钾配施对马铃薯农艺性状·产量及干物质含量的影响[J].安徽农业科学,2021,49(17):144-147.

[4] 杨光利,王鑫,郭肖艳,等.不同施肥处理对秋马铃薯产量和肥料利用率的影响[J].云南农业科技,2024(3):9-13.

[5] 刘文倩,曾路生,赵秀芬,等.有机肥替代化肥比例对马铃薯产量及氮磷钾养分吸收利用的影响[J].山东农业科学,2025,57(3):133-138.