DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0777

有机无机肥配施对喀斯特地区土壤及马铃薯产量的影响

甘建阳,刘怒安,阳　腾,何学佳,陈恩发,邓禄军

(贵州省生物技术研究所　贵阳　550006)

摘　要:为明确土壤养分及马铃薯产量对有机无机配施的内在响应规律,指导贵州喀斯特地貌区马铃薯生产科学用肥,以贵州安顺地区冬作马铃薯为研究对象,采用田间随机区组试验,设置 T1(常规施肥)、T2(常规施肥+商品有机肥)、T3(80%常规施肥)、T4(80%常规施肥+商品有机肥)4 个处理,分析不同处理对土壤基础养分、氮素含量、土壤酶活、马铃薯产量及各指标间相关性的影响。结果表明,常规施肥和减施化肥条件下,增施有机肥处理有机质含量、碱解氮含量均有所增加,速效钾含量有所降低。与 T1 处理相比,T3 处理全氮、铵态氮、硝态氮含量分别降低 4.17%、7.13%、31.28%;与 T3 处理相比,T4 处理全氮、铵态氮、硝态氮含量分别提高 1.63%、7.88%、26.87%。与 T1 处理相比,T2 处理土壤硝酸还原酶活性显著提高 64.71%,脲酶活性降低 10.52%;与 T3 处理相比,T4 处理土壤硝酸还原酶活性显著提高 93.33%,脲酶活性降低 17.85%。与传统施肥相比,减施化肥显著降低了马铃薯产量,而增施有机肥显著提高了马铃薯产量和商品薯率。马铃薯商品薯率与有机质含量、硝酸还原酶活性均存在高度正相关,折合产量与硝酸还原酶活性、铵态氮含量及有机质含量均呈正相关。可见,与传统施肥相比,减施化肥会减少土壤全氮、铵态氮、硝态氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量,降低土壤硝酸还原酶活性,进而导致马铃薯产量降低。而增施有机肥能一定程度上通过增加土壤有机质含量,促进土壤硝酸还原酶活性提升,从而增加土壤养分含量,尤其是铵态氮含量,最终实现马铃薯产量和商品薯率同步提升,常规施肥+商品有机肥处理效果最佳。

关键词:马铃薯;有机肥;喀斯特地貌;土壤养分;土壤酶活性;产量

中图分类号:S532　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1673-2871(2026)10-167-08

Effects of the combined application of organic and inorganic fertilizers on soil in karst regions and potato yield

Gan Jianyang, Liu Nu'an, Yang Teng, He Xuejia, Chen Enfa, Deng Lujun

(*Biotechnology Institute of Guizhou Province, Guiyang 550006, Guizhou, China*)

Abstract: To clarify the intrinsic response patterns of soil nutrients and potato yield to the combined application of organic and inorganic fertilizers, and to guide scientific fertilization for potato production in the karst landform area of Guizhou, a field randomized block experiment was conducted using winter potato in the Anshun region of Guizhou. Four treatments were established: T1(conventional fertilization), T2 (conventional fertilization + commercial organic fertilizer), T3 (80% conventional fertilization), and T4 (80% conventional fertilization + commercial organic fertilizer). The effects of different treatments on soil basic nutrients, nitrogen content, soil enzyme activity, potato yield, and correlations among these indicators were analyzed. The results indicated that under both conventional and reduced chemical fertilization conditions, the application of organic fertilizer increased soil organic matter and alkaline hydrolyzable nitrogen content while decreasing available potassium content. Compared with the T1 treatment, the T3 treatment exhibited reductions in total nitrogen, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen content by 4.17%, 7.13%, and 31.28%, respectively. Compared with the T3 treatment, the T4 treatment showed increases in total nitrogen, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen content by 1.63%, 7.88%, and 26.87%, respectively. Compared with the T1 treatment, the T2 treatment significantly enhanced soil nitrate reductase activity by 64.71% and decreased urease activity by 10.52%. Compared with the T3 treatment, the T4 treatment significantly enhanced soil nitrate reductase activity by 93.33% and decreased urease activity by 17.85%. Compared with

收稿日期:2025-11-13;**修回日期:**2026-08-16

基金项目:黔科合支撑〔2022〕重点 030;贵州省马铃薯现代农业产业技术体系(GZCYTX2024-04);贵州省山地农业关键核心技术攻关项目(GZNYGJHX-2023014)

作者简介:甘建阳,男,助理研究员,主要从事马铃薯高产栽培技术及生理研究工作。E-mail:gjy3664@163.com

通信作者:邓禄军,男,研究员,主要从事薯芋作物高产栽培与营养生理方面的研究工作。E-mail:denglujun@163.com

conventional fertilization, reduced chemical fertilization significantly decreased potato yield, whereas the application of organic fertilizer significantly increased potato yield and marketable tuber percentage. The marketable tuber percentage exhibited extremely significant positive correlation with organic matter content and nitrate reductase activity, and the equivalent yield was positively correlated with nitrate reductase activity, ammonium nitrogen content, and organic matter content. These findings demonstrate that compared with conventional fertilization, reduced chemical fertilization decreases soil total nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, alkaline hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, and available potassium content, and reduces soil nitrate reductase activity, consequently leading to decreased potato yield. In contrast, the application of organic fertilizer can, to a certain extent, enhance soil nitrate reductase activity by increasing soil organic matter content, thereby increasing soil nutrient content, particularly ammonium nitrogen content, and ultimately achieving simultaneous improvements in potato yield and marketable tuber percentage, with the conventional fertilization plus commercial organic fertilizer treatment exhibiting the optimal effect.

Key words: Potato; Organic fertilizer; Karst landform; Soil nutrient; Soil enzyme activity; Yield

马铃薯是中国第四大粮食作物，贵州省作为全国马铃薯的重要产区，种植面积常年保持在66.67万 hm^2 以上，稳居全国前三。养分供应是作物生长发育的基础，对作物生长、产量和品质的形成有重要作用。但长期以来，中国部分地区马铃薯生产存在肥料使用粗放、过量且养分投入不平衡，造成土壤板结、养分失衡等一系列问题，从而导致马铃薯产量和品质不高、养分利用率低[1-3]。提高土壤有机质水平可以为作物生长提供良好的土壤条件，进而有效保持作物生产力[4-6]。研究有机无机配施对土壤肥力及马铃薯产量的影响，对促进马铃薯产业绿色可持续发展具有重要意义。

贵州是典型喀斯特山区农业省份，可溶性碳酸盐岩的出露面积占全省土地总面积的73%，91.7%的耕地和94%的粮食产量都出自有喀斯特分布的县（市、区）[7]。在贵州喀斯特山区特殊地质背景下，耕地有机质含量低、质量差、生产力退化及石漠化严重等问题突出[8-9]，制约了贵州马铃薯产量提升。前人研究表明，无机化肥养分释放迅速，可在作物生长初期及时充分供给所需营养；而有机肥养分释放缓慢且持久，可以保障后期供应[10-11]。林茜等[11]在重庆研究发现，每 hm^2 施用750 kg复合肥配施3375 kg商品有机肥有助于提高马铃薯产量；刘文倩等[12]在山东的研究结果表明，有机肥替代30%化肥可以提高马铃薯叶片和块茎的干物质积累量；孙雪梅等[13]在云南研究也发现，有机肥等氮替代20%化肥促进成熟期马铃薯整株氮积累量提高了5.41%~6.09%。可见，有机无机配施可以实现养分高效持续供给、有效增加土壤有机质含量、改善土壤理化性质，并促进作物生育期延长和植株养分积累，进而提高作物产量[14-15]。但前人研究大多在非喀斯特地貌区开展，针对有机肥在贵州喀斯特山区马铃薯生产上的应用研究较少，有机无机配施对该区域马铃薯种植地土壤肥力及马铃薯产量的影响尚不明确。

综上，本研究通过设置不同的有机无机配施比例，探讨不同处理对喀斯特地区土壤基础养分、氮素含量、土壤酶活性及马铃薯产量的影响，并分析各指标间的相关性，以期明确喀斯特地区土壤养分及马铃薯产量对有机无机配施的内在响应规律，为指导贵州喀斯特地区马铃薯生产科学用肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年1－6月在安顺市平坝区天龙镇合旺村实施，前茬作物为白菜。试验地块地面平坦，排灌方便，土壤质地为砂壤土，有机质含量（w，下同）33.12 $g \cdot kg^{-1}$，碱解氮含量162.27 $mg \cdot kg^{-1}$，有效磷含量59.19 $mg \cdot kg^{-1}$，速效钾含量442.61 $mg \cdot kg^{-1}$。

1.2 材料

供试马铃薯品种为徽薯1号，市场购买。

供试复合肥为洋丰三元复合肥（$N∶P_2O_5∶K_2O$=17∶17∶17），供试普通有机肥为君宇商品有机肥（有机质含量≥45%，总养分含量≥5%），均为市场购买。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本试验采用田间随机区组设计，设置T1（常规施肥）、T2（常规施肥+商品有机肥）、T3（80%常规施肥）、T4（80%常规施肥+商品有机肥）4个处理，每个处理3次重复，每个小区24 m^2。马铃薯采用机械起垄、黑膜覆盖、打孔栽培，单垄单行，垄距0.8 m，株距0.21 m，种植密度为4000株·667 m^{-2}。各处理施肥量如表1，复合肥常规施肥量基于当地马铃薯生产常规用量确定。所有肥料均作为底肥一次性施入，其他栽培管理措施按当地高产要求实

表1　各处理施肥量

Table 1　Fertilizer application rates for each treatment

（kg·hm^{-2}）

处理 Treatment	施肥量 Fertilizer application rates	
	复合肥 Compound fertilizer	有机肥 Organic fertilizer
T1	1500	0
T2	1500	1500
T3	1200	0
T4	1200	1500

施，小区间保持一致。

本研究试验材料和田间栽培条件与团队前期已报道的研究[16]保持一致，为同一组田间试验的延伸分析。前期已研究报道完整分析了7个试验处理对马铃薯干物质积累及产量的影响，本研究选取其中4个代表性处理，重点聚焦不同处理下土壤肥力指标的响应特征。

1.3.2　测定指标及方法　产量指标：按小区实收记产，包含所有薯块（含破损、畸形薯）；按薯块大小进行分级，记录大中薯（≥50 g）、小薯（＜50 g）的数量和质量，商品薯率/%=大中薯质量/薯块总质量×100[17]。

土壤指标：于马铃薯采收期，在每个小区采用5点采样法采集0~20 cm耕层土样，把取样各点土样充分混合，捡除石块、作物残体等后，采用四分法取标准土样，带回实验室风干备用。土壤脲酶活性、硝酸还原酶活性按照试剂盒说明测定，用酶标仪测定吸光度后根据标准曲线计算酶活性[18]，用重铬酸钾容量法检测土壤有机质含量、凯氏消煮法测定全氮含量、靛酚蓝比色法测定铵态氮含量、酚二磺酸比色法测定硝态氮含量、碱解扩散法测定碱解氮含量、钼锑抗比色法测定有效磷含量、火焰光度法测定速效钾含量[19]。

1.4　数据处理

使用SPSS 25.0进行统计分析，采用新复极差法进行差异显著性检验。使用WPS Office、Origin-Pro 2024整理数据和作图。

2　结果与分析

2.1　不同处理对土壤养分含量的影响

如表2所示，与常规施肥相比，减施化肥降低了土壤碱解氮、有效磷和速效钾的含量，但增加了土壤有机质含量。常规施肥和减施化肥条件下，增施有机肥处理有机质、碱解氮含量均有所增加，速效钾含量有所降低。对于土壤有机质含量，T4处理提升效果最好，分别较T1、T3处理显著增加3.96%、3.64%。与T1处理相比，T2处理碱解氮含量增加0.44%；与T3处理相比，T4处理碱解氮含量增加3.19%，T1处理显著增加8.44%。有效磷含量以T2处理最高，较最低的T4处理高20.19%。速效钾含量表现为T1处理最高，分别较T2、T3、T4处理高6.13%、6.54%和11.70%。

表2　不同处理对土壤养分含量的影响

Table 2　Effects of different treatments on soil nutrient content

处理 Treatment	*w*（有机质）Organic matter content/（g·kg^{-1}）	*w*（碱解氮）Alkaline hydrolyzable nitrogen content/（mg·kg^{-1}）	*w*（有效磷）Available phosphorus content/（mg·kg^{-1}）	*w*（速效钾）Available potassium content/（mg·kg^{-1}）
T1	32.59±0.18 b	167.64±4.11 a	55.16±3.20 a	460.53±17.99 a
T2	33.37±0.90 ab	168.38±5.12 a	60.72±4.78 a	433.91±5.76 a
T3	32.69±0.47 b	154.59±4.75 b	52.80±10.62 a	432.25±87.35 a
T4	33.88±0.31 a	159.52±5.33 ab	50.52±8.34 a	412.29±64.36 a

注：同列不同小写字母表示各处理间达显著差异水平（P<0.05）。下同。

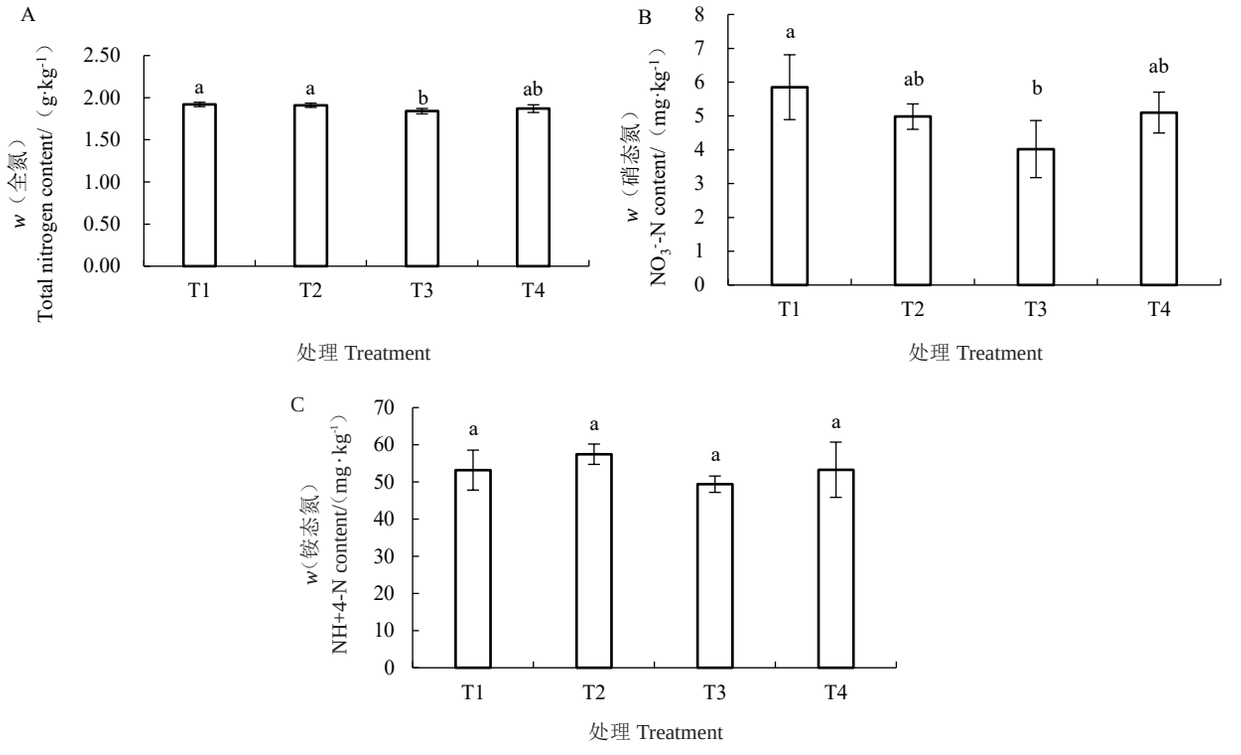
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments（P<0.05）. The same below.

2.2　不同处理对土壤氮素含量的影响

由图1可知，不同处理对土壤全氮和硝态氮含量有一定影响，与常规施肥相比，减施化肥降低了土壤全氮及不同形态无机氮含量，而配施商品有机肥（T4）能够一定程度上减小降低比例。与T1处理相比，T3处理全氮、铵态氮、硝态氮含量分别降低4.17%、7.13%、31.28%；与T3处理相比，T4处理全氮、铵态氮、硝态氮含量分别提高1.63%、7.88%、26.87%。

2.3　不同处理对土壤酶活性的影响

由图2可知，不同处理对土壤硝酸还原酶和脲酶活性都有一定影响，与常规施肥相比，减施化肥降低了土壤硝酸还原酶活性，增施有机肥则对土壤硝酸还原酶活性有提高作用；脲酶活性表现则相



注：不同小写字母表示各处理间达显著差异水平（P<0.05）。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between treatments（P<0.05）. The same below.

图 1　不同处理对土壤氮素含量的影响

Fig. 1　Effects of different treatments on soil nitrogen content

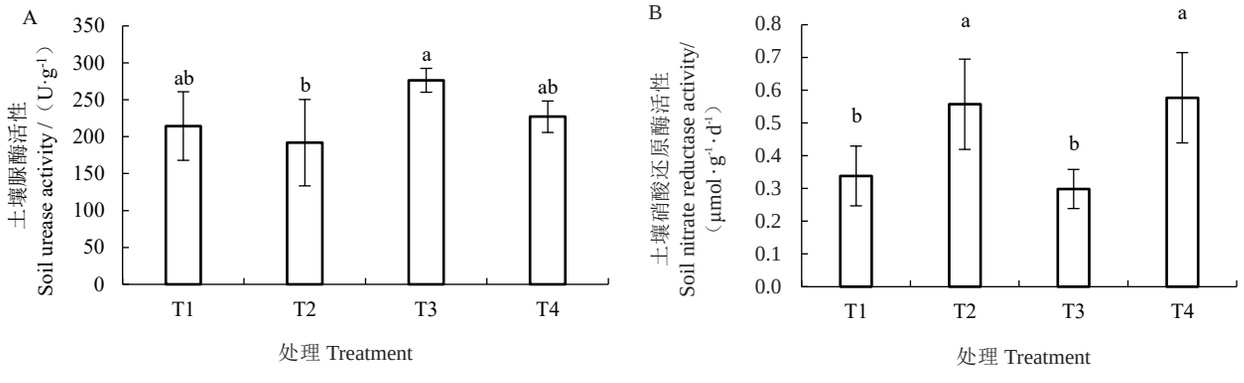


图 2　不同处理对土壤脲酶和土壤硝酸还原酶活性的影响

Fig. 2　Effects of different treatments on soil urease and soil nitrate reductase activity

反，减施化肥提高了土壤脲酶活性，增施有机肥则降低了土壤脲酶活性。与 T1 处理相比，T3 处理土壤硝酸还原酶活性降低 11.77%，T2 处理显著提高 64.71%；与 T3 处理相比，T4 处理土壤硝酸还原酶活性显著提高 93.33%。对于脲酶活性，与 T1 处理相比，T2 处理降低 10.52%，T3 处理提高 28.88%；与 T3 处理相比，T4 处理降低 17.85%。

2.4　不同处理对马铃薯产量指标的影响

由表 3 可知，不同施肥处理对马铃薯产量及商品薯率存在一定影响。与常规施肥相比，减施化肥显著降低了大薯质量和折合产量，而增施有机肥显著提升了大薯质量、折合产量和商品薯率。折合产量最高为 T2 处理，达 2 707.35 kg·667 m^{-2}，最低为 T3 处理，仅 1 814.22 kg·667 m^{-2}；商品薯率

表 3　不同处理对马铃薯产量指标的影响

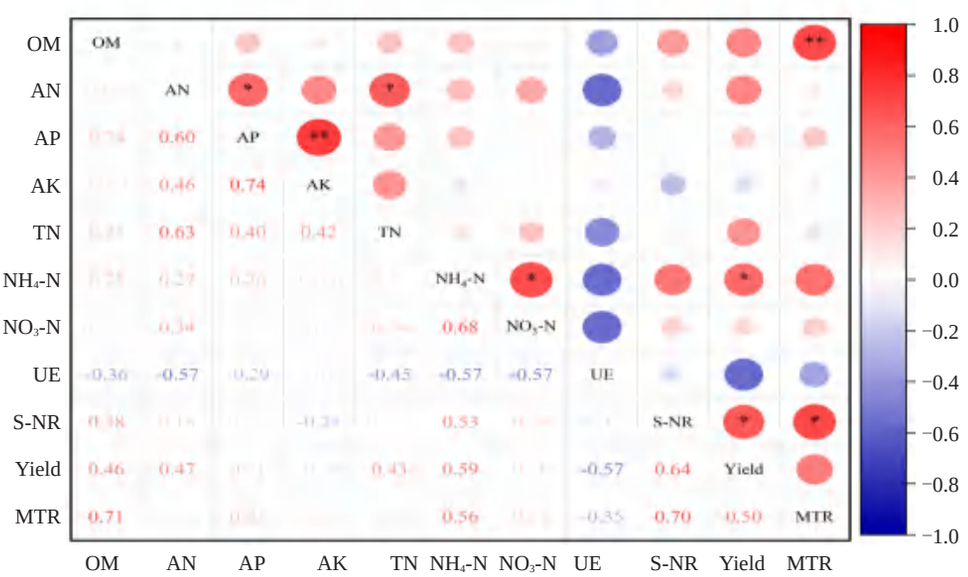
Table 3　Effects of different treatments on potato yield indicators

处理 Treatment	大薯质量 Mass of large tubers/kg	小薯质量 Mass of small tubers/kg	总质量 Total mass/kg	折合产量 Equivalent yield/（kg·667 m^{-2}）	商品薯率 Marketable tuber rate/%
T1	64.90±1.85 c	10.16±1.51 a	75.06±1.31 c	2 084.99±36.43 c	86.47±1.98 b
T2	87.28±3.52 a	10.18±0.60 a	97.46±2.93 a	2 707.35±81.34 a	89.53±0.93 ab
T3	56.62±5.45 d	8.70±2.24 a	65.32±7.52 d	1 814.22±208.95 d	86.81±1.92 b
T4	77.44±3.93 b	7.29±1.71 a	84.73±2.73 b	2 353.73±75.88 b	91.37±2.17 a

最高为 T4 处理，达 91.37%，最低为 T1 处理，仅 86.47%。与 T1 处理相比，T3 处理大薯质量和折合产量分别显著降低 12.76%和 12.99%；而与 T3 处理相比，T4 处理大薯质量和折合产量分别显著提高 36.77%和 29.74%。T4 处理折合产量较 T2 处理显著降低 13.06%，但商品薯率为各处理最高，分别较 T1、T2 和 T3 处理提高 5.67%、2.06%和 5.25%。

2.5　各指标相关性分析

如图 3 所示，各指标相关性分析结果表明，马铃薯商品薯率与有机质含量存在极显著正相关，与硝酸还原酶活性存在显著正相关；产量与硝酸还原酶活性、铵态氮含量均呈显著正相关；碱解氮含量与全氮含量、有效磷含量之间、铵态氮与硝态氮之间均存在显著正相关；有效磷含量与速效钾含量之间表现出极显著正相关；而脲酶活性与多数指标均



注：*表示 $P\leqslant0.05$，**表示 $P\leqslant0.01$；OM. 有机质含量；AN. 碱解氮含量；AP. 有效磷含量；AK. 速效钾含量；TN. 全氮含量；NH_4-N. 铵态氮含量；NO_3-N. 硝态氮含量；UE. 脲酶活性；S-NR. 土壤硝酸还原酶活性；Yield. 产量；MTR. 商品薯率。

Note: * indicates $P\leqslant0.05$, and ** indicate $P\leqslant0.01$; OM. Organic matter content; AN. Alkaline nitrogen content; AP. Available phosphorus content; AK. Rapidly available potassium content; TN. Total nitrogen content; NH_4-N. Ammonium nitrogen content; NO_3-N. Nitrate nitrogen content; UE. Urease activity; S-NR. Soil nitrate reductase activity; Yield. Harvest yield; MTR. Commercial potato yield percentage.

图 3　各指标相关性分析

Fig. 3　Correlation analysis of various indicators

呈负相关关系，但并不显著。

3　讨论与结论

土壤是作物生长所需养分的主要来源，土壤养分状况对作物生长、产量和品质的形成有重要影响。研究表明，有机无机肥配施能改善土壤物理性状，提高土壤有机质含量，可以促进土壤中碱解氮、有效磷、速效钾等有效养分的积累，保证养分供应平衡[20-24]。贵州喀斯特耕地土层薄、结构差、有机质含量低[8-9]，增施有机肥可以通过外源有机物输入提

高土壤有机质含量[25]。本研究结果表明，在常规施肥基础上增施有机肥提高了土壤有机质、碱解氮和有效磷含量，与前人研究结果一致。在本研究中，减施化肥降低了土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量，增施有机肥能一定程度上增加土壤有机质和碱解氮含量，但对土壤有效磷和速效钾含量无显著影响，该结果与前人研究存在一定差异[26-27]。究其原因可能是贵州喀斯特土壤钙镁含量较高，磷更容易被固定成无效态；加之土层浅薄、土壤结构差、保水保肥能力相对较差，增施有机肥使土壤结构更加疏松[6,28]，加剧了钾离子的淋溶损失。

氮素是作物健康生长、产量和品质形成不可或缺的营养元素之一，氮素形态及配比对作物光合作用、氮素吸收及生长发育有着显著影响，并可以调节作物生物量的产生[29-30]。硝态氮、铵态氮是作物能够吸收利用的主要氮素形态，铵态氮能够诱导马铃薯更早地发育块茎，并有效促进马铃薯干物质的积累，硝态氮能够提高马铃薯产量，但氮素形态对马铃薯生长的影响可能随着马铃薯的生长而变化，硝态氮、铵态氮的合理配施是获得高产的关键[31-33]。胡雄亮等[34]研究发现，不同形态氮素及配比可以不同程度地提高马铃薯叶片光合性能及产量和品质，硝态氮与铵态氮质量比为3∶1时效果最佳。不同的土壤类型、气候、施肥措施等对土壤中氮素形态及含量有着显著的影响[35-36]。王苏亮等[37]研究发现，用鸡粪有机肥等氮替代化肥氮，土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量分别增加6.67%~28.9%、12.0%~74.5%和12.9%~17.2%。杜二小等[38]研究结果显示，与全氮处理相比，80%氮肥+腐熟羊粪和80%氮肥+生物有机肥处理显著提高了0~60 cm土层土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量。本研究结果与前人研究高度相似，表明在减施化肥情况下，增施有机肥可以提高土壤全氮、硝态氮、铵态氮含量，为作物生长提供充足有效的氮素养分。

土壤酶活性被广泛用于评价施肥措施对土壤养分循环和肥力状况的影响效果，土壤硝酸还原酶和脲酶在土壤中直接参与氮素转化，其活性影响着土壤供氮能力[39-40]。土壤微生物的分泌物是土壤酶的主要来源之一，有机肥能为土壤微生物提供丰富碳源，对土壤微生物起到活化作用，进而提高土壤酶活性[41-42]。杨海滨等[39]研究发现，有机肥配施尿素提升了茶园土壤硝酸还原酶活性4.83%~7.87%。任立军等[40]研究表明，相较于单施化肥，化肥+有机肥处理可以提高土壤脲酶活性12.99%，提高土壤硝酸还原酶活性21.35%。本研究中，减施化肥降低了土壤硝酸还原酶活性，增施有机肥提高了土壤硝酸还原酶活性，与前人研究一致；但土壤脲酶活性表现相反，减施化肥提高了土壤脲酶活性，增施有机肥则降低了土壤脲酶活性，且脲酶活性与多数指标呈负相关。这可能与收获期降水少、土壤含水量较低及有机肥施用量有关。强浩然等[43]研究表明，在低水分供应量（40%持水量）条件下，随着氮肥供应的增加，脲酶活性反而降低。商跃凤[44]、邹英武等[45]研究指出，施用有机肥对土壤酶活性提高存在一定阈值，有机肥的交换容量大，对铵态氮吸附较多，分解过程中产生的有机酸会降低其周围土壤中脲酶活性。

合理施肥是保障作物高产的重要栽培手段，无机化肥养分释放迅速，可以及时为作物提供充足养分，而有机肥养分释放缓慢，可以为作物提供长效养分保障，有机无机肥配施能够协调养分的平衡供应，提高作物产量和品质[46-47]。但不同配施方式及有机肥用量对马铃薯的影响不同。刘文倩等[12]研究结果表明，有机替代处理可促进马铃薯产量提升，替代比例为30%时，产量达到最高值，之后呈现下降趋势。杜二小等[38]研究表明，有机肥替代化学氮肥能显著提高马铃薯产量，其中20%有机肥+80%化肥效果最佳。阳新月等[48]研究指出，随着有机质施入量的增加，马铃薯产量呈现先增后减的趋势。本研究结果表明，减施化肥显著降低了马铃薯大薯质量和产量，而增施有机肥显著提高了大薯质量、产量和商品薯率，与前人研究保持一致。从各指标相关性上看，马铃薯商品薯率与有机质含量、硝酸还原酶活性均存在高度正相关，折合产量与硝酸还原酶活性、铵态氮含量及有机质含量均呈正相关。这也进一步侧面说明增施有机肥对马铃薯产量和商品薯率的提升有正向作用。

综上所述，在贵州喀斯特地貌区，减施化肥会减少土壤全氮、铵态氮、硝态氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量，降低土壤硝酸还原酶活性，进而导致马铃薯产量降低。有机无机肥配施能在一定程度上通过增加土壤有机质含量，促进土壤硝酸还原酶活性提升，从而增加土壤养分含量，尤其是铵态氮含量，最终实现马铃薯产量和商品薯率同步提升，常规施肥+商品有机肥处理效果最佳。本研究仅针对有机无机肥配施对喀斯特地区土壤养分情况的

影响进行了分析，未深入探讨其调节机制，未来可以结合微生物组学和代谢组学，探讨根际微生物、根系分泌物等对有机无机肥配施的响应，分析喀斯特地区有机无机肥配施增加马铃薯产量的根际生理机制。

参考文献

[1] 李成晨，安康，索海翠，等.广东省冬种马铃薯施肥现状调查与施肥对策[J].热带作物学报，2019，40(10)：2054-2060.

[2] 刘亚军，王文静，李敏，等.无机肥与有机肥配施对甘薯土壤养分变化及微生物碳代谢功能的影响[J].河南农业科学，2022，51(7)：75-84.

[3] 王耀.复合肥配施不同生物有机肥对土壤肥力及马铃薯产量和品质的影响[J].中国马铃薯，2018，32(2)：96-100.

[4] Philip R G，Gross K L，Hamilton s K，et al. Farming for ecosystem eervices：An ecological epproach to eroduction egriculture[J]. BioScience，2014，64(5)：404-415.

[5] 范晓晖，陈慕松，刘文婷，等.化肥减量配施有机肥对葡萄产量、品质及土壤质量的影响[J].中国土壤与肥料，2022(3)：46-51.

[6] 邢鹏飞，高圣超，马鸣超，等.有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料，2016(3)：98-104.

[7] 刘彦伶，李渝，张萌，等.基于文献计量的贵州喀斯特地区石漠化等级土壤养分状况分析[J].中国土壤与肥料，2019(2)：171-180.

[8] 刘春艳，夏忠敏，童倩倩，等.喀斯特山区耕地休耕取得的主要成效及存在问题与对策：以贵州省为例[J].贵州农业科学，2021，49(11)：134-140.

[9] 刘彦伶，李渝，秦松，等.西南喀斯特生态脆弱区实行轮作休耕问题探讨：以贵州省为例[J].中国生态农业学报，2018，26(8)：1117-1124.

[10] 李新美，齐红志，何家帅，等.不同比例有机肥替代化肥对夏玉米氮肥利用率及 N_2O 排放的影响[J].河南农业科学，2024，53(5)：92-100.

[11] 林茜，邓振鹏，阳新月，等.减施化肥配施有机肥对马铃薯产量及养分利用的影响[J].园艺学报，2025，52(4)：1007-1019.

[12] 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.

[13] 孙雪梅，赵吉霞，张文妹，等.有机肥等氮替代化肥对马铃薯氮素吸收及产量的影响[J].土壤通报，2025，56(1)：157-170.

[14] 刘红江，蒋华伟，孙国峰，等.有机-无机肥不同配施比例对水稻氮素吸收利用率的影响[J].中国土壤与肥料，2017(5)：61-66.

[15] Shi Y W，Niu X X，Chen B Z，et al. Chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer affects the soil microbial community and diversity and yield of cotton[J]. Frontiers in Microbiology，2023，14：1295722.

[16] 甘建阳，刘怒安，阳腾，等.减施化肥配施不同有机肥对马铃薯干物质积累分配及产量的影响[J].江苏农业科学，2025，53(17)：266-271.

[17] 杨晓璐，杨航，王季春，等.马铃薯行株距比对光合特性及产量品质的影响[J].园艺学报，2018，45(8)：1563-1574.

[18] 张晓花，宋娅丽，王克勤，等.不同改良剂施用对滇中植烟土壤酶活性的影响[J].江苏农业科学，2024，52(6)：242-249.

[19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京：中国农业出版社，2000.

[20] Chen M M，Wang X L，Ding X D，et al. Effects of organic fertilization on phosphorus availability and crop growth：Evidence from a 7-year fertilization experiment[J]. Archives of Agronomy and Soil Science，2023，69(11)：2092-2103.

[21] 谭军利，马永鑫，王西娜，等.生物有机肥替代氮肥对压砂西瓜生长、产量及品质的影响[J].北方园艺，2022(7)：30-38.

[22] 刘敏，纪立东，王锐，等.沼液配施化肥对土壤质量及作物生长的影响[J].中国土壤与肥料，2022(5)：68-76.

[23] 宁川川，王建武，蔡昆争.有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J].生态环境学报，2016，25(1)：175-181.

[24] 梁路，张卫杰，徐博涵，等.有机无机肥配施影响土壤肥力与土壤环境的研究进展[J].河南农业科学，2022，51(3)：1-11.

[25] 李抗抗，高凯露，崔一梦，等.有机无机肥配施对大豆农田土壤养分及微生物群落结构与功能的影响[J].微生物学报，2026，66(5)：2280-2305.

[26] 冶雨萌，严玲玲，舒畅，等.有机肥替代化肥对双季稻产量、稻米品质和土壤质量的影响[J].作物研究，2025，39(3)：187-192.

[27] 杜春燕.有机肥替代化肥对果实产量、品质及土壤肥力的影响[D].陕西杨凌：西北农林科技大学，2019：1-65.

[28] 魏全全，芍久兰，张萌，等.氮肥减施配施有机物料对贵州高山甘蓝生长的影响[J].河南农业科学，2022，51(6)：76-84.

[29] 高研，彭绿春，李世峰，等.不同铵硝比对高山杜鹃侧枝生长和生理特性影响[J].核农学报，2024，38(4)：785-793.

[30] 贾明飞，樊建英，封志明，等.氮素不同形态对早熟马铃薯产量和氮素积累的影响[J].中国土壤与肥料，2024(2)：146-151.

[31] Qiqige S Y L，Jia L G，Qin Y L，et al. Effects of different nitrogen forms on potato growth and development[J]. Journal of Plant Nutrition，2017，40(11)：1151-1159.

[32] 焦峰，王鹏，翟瑞常.氮肥形态对马铃薯氮素积累与分配的影响[J].中国土壤与肥料，2012(2)：39-44.

[33] 苏亚拉其其格，秦永林，贾立国，等.氮素形态及供应时期对马铃薯生长发育与产量的影响[J].作物学报，2016，42(4)：619-623.

[34] 胡雄亮，赵雪蕊，焦淑娟，等.氮素形态及配比对马铃薯生理特性、产量及品质的影响[J].江苏农业学报，2025，41(7)：1280-1288.

[35] 郭雪娇，张婷婷，梁俊梅，等.不同有机肥替代比例对内蒙古阴山北麓地区马铃薯产量的影响[J].北方农业学报，2024，52(1)：26-35.

[36] Yan G X，Yao Z S，Zheng X H，et al. Characteristics of annual nitrous and nitric oxide emissions from major cereal crops in the north china plain under alternative fertilizer management[J]. Agriculture Ecosystems & Environment，2015，207：67-78.

[37] 王苏亮，马洪斌，苑书恒，等.有机肥氮部分替代化肥氮对土壤氮素形态及氮水解酶活性的影响[J/OL].吉林农业大学学报，

1-13(2025-01-27)[2025-07-02]. https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2025.0029.

[38] 杜二小,张利荣,任永峰,等.不同肥料替代化学氮肥对土壤不同形态氮素及马铃薯产量的影响[J].作物杂志,2026(4):155-163.

[39] 杨海滨,李中林,邓敏,等.不同施肥措施对重庆茶园土壤氮转化酶活性的影响[J].应用与环境生物学报,2020,26(5):1107-1114.

[40] 任立军,赵文琪,陈松岭,等.有机肥和土壤调理剂组合对设施土壤氮素和番茄产量的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(12):70-77.

[41] 陈凯威,张仕彬,徐凯,等.不同有机肥替代化肥比对井冈蜜橘品质和土壤养分及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2023(12):98-106.

[42] 李昊庭,强樱莹,姜培坤,等.长期有机肥配施和炭基肥施用对酸性红壤磷素有效性的影响[J].江苏农业科学,2026,54(1):277-284.

[43] 强浩然,张国斌,郁继华,等.不同水分和氮素供应对日光温室辣椒栽培基质氮转化细菌和酶活性的影响[J].园艺学报,2018,45(5):943-958.

[44] 商跃凤.有机无机复混肥对水稻氮素利用率的影响[J].西南农业大学学报,2001,23(3):262-266.

[45] 邹英武,杜洋文,程军勇,等.不同配方施肥对油茶林地土壤酶活性、微生物群落结构及产量和品质影响[J].中国农学通报,2023,39(31):113-121.

[46] 张然,史雷,马龙,等.有机无机肥配施对旱地冬小麦产量及土壤物理性质的影响[J].水土保持学报,2020,34(6):325-330.

[47] 张奇茹,谢英荷,李廷亮,等.有机肥替代化肥对旱地小麦产量和养分利用效率的影响及其经济环境效应[J].中国农业科学,2020,53(23):4866-4878.

[48] 阳新月,向颖,陈子恒,等.有机质施用量对马铃薯产量及氮、磷、钾养分吸收利用的影响[J].作物杂志,2024(6):153-161.