

生物炭基肥对马铃薯产量和品质的影响

赵欣楠¹, 杨君林¹, 谢丽华¹, 张旭临¹, 冯守疆²

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070;

2. 温州大学生命与环境科学学院, 浙江 温州 325035)

摘要: 探明马铃薯专用生物炭基肥在临洮县、甘州区、肃州区最佳施用量, 为当地马铃薯合理施肥管理措施提供依据。以马铃薯品种陇薯 15 号为材料, 设置 300、600、900、1 200 kg/hm² 不同梯度马铃薯专用生物炭基肥、与其等养分量的 N、P、K 传统化肥及对照不施肥等 9 个处理, 研究比较了不同施肥处理下马铃薯植株性状、产量、养分吸收率的变化, 并在试验区进行连续 2 a 田间试验验证。结果表明, 生物炭基肥施用量为 900 kg/hm² 时马铃薯产量最高, 较等养分传统施肥 (尿素 289.8 kg/hm²、普通过磷酸钙 450.0 kg/hm²、氯化钾 138.6 kg/hm²) 提高 12.0%; 块茎数、块茎重、大中薯数、大中薯重、大中薯率较等养分传统施肥分别增加 43.14%、8.27%、13.04%、9.34%、18.40%, 养分吸收效率增加 6.8 个百分点。连续 2 a 田间试验验证表明, 马铃薯专用生物炭基肥 900 kg/hm² 处理的产量较等养分传统全化肥施肥在临洮县、甘州区、肃州区分别显著提高 20.6%、16.4%、12.9%; 显著提高马铃薯的干物质、蛋白质、粗淀粉、还原糖含量。综上所述, 马铃薯专用生物炭基肥适宜施用量为 900 kg/hm², 可提产增效, 是临洮县、甘州区、肃州区马铃薯种植推荐施用量。

关键词: 马铃薯; 产量; 品质; 生物炭基肥

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)03-0272-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.03.012

Effects of Biochar-based Fertilizer on Potato Yield and Quality

ZHAO Xinnan, YANG Junlin, XIE Lihua, ZHANG Xulin, FENG Shoujiang

(1. Institute of Soil, Fertilizer, and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China;

2. College of Life and Environmental Sciences, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang 325035, China)

Abstract: To investigate the best application amount of biochar-based fertilizer for potatoes in Lintao County, Ganzhou District and Suzhou District, and to provide basis for reasonable fertilization management measures for local potato production in this study, the potato variety Long 15 was used as material, and four biochar-based fertilizers with different gradients for potato were set up, including 300, 600, 900 and 1 200 kg/ha, and nine treatments with the same amount of traditional N, P and K fertilizers and no fertilization. The changes of potato plant traits, yield and nutrient uptake rate under different fertilization treatments were studied and compared, and field experiments were conducted in the experimental area for two consecutive years. Results showed that when the application rate of biochar-based fertilizer was 900 kg/ha, the potato yield was the highest which was 12.0% higher than that under traditional fertilization with equal nutrients (urea 289.8 kg/ha, superphosphate 450.0 kg/ha, potassium chloride 138.6 kg/ha). Compared with traditional fertilization, number of tubers, tuber weight, number of medium and large tubers, weight of medium and large tubers, and the proportion of medium and large tubers increased by 43.14%, 8.27%, 13.04%, 9.34%, and 18.40%, respectively, while nutrient uptake efficiency improved by 6.8 percentage points. 2 consecutive years of field experiment confirmed that at 900 kg/ha, the biochar-based fertilizer treatment significantly increased potato yield by 20.6%, 16.4%, and 12.9% compared with traditional full chemical fertilization in Lintao County, Ganzhou District, and Suzhou District, respectively. It also significantly improved potato dry matter content, protein content, crude starch content, and reducing sugar content. In conclusion, the optimal application rate of potato-specific biochar-based fertilizer is 900 kg/ha, which enhances yield and efficiency. It is recommended as the fertilization rate for potato cultivation in Lintao County, Ganzhou District, and Suzhou District.

Key words: Potato; Yield; Quality; Biochar-based fertilizer

马铃薯是甘肃省三大粮食作物之一, 种植面积和产量占全省粮食播种面积和产量的 1/5 以上。

收稿日期: 2024-11-13; 修订日期: 2025-01-19

基金项目: 甘肃省科技厅民生计划项目(21CX6NA123); 甘肃省农业科学院院列重点研发项目(2022GAAS46)。

作者简介: 赵欣楠(1981—), 女, 甘肃临洮人, 副研究员, 主要从事植物营养与新型肥料研究工作。Email: 472923329@qq.com。

通信作者: 谢丽华(1996—), 女, 江苏泰州人, 主要从事作物栽培研究工作。Email: 2987237989@qq.com。

其产业是甘肃省六大特色产业之一, 在解决甘肃省粮食安全问题以及乡村振兴具有不可撼动的战略地位^[1]。陇中旱作区气候阴凉, 土壤富钾, 是马铃薯高产优质栽培的优势产区^[2-3], 常年种植面积稳定在 27 万 hm^2 左右^[4]; 张掖、酒泉地处甘肃省河西走廊, 是典型的绿洲农业区, 马铃薯种植面积占耕地面积的 1/4 左右, 为主栽作物之一^[5]。近年来为追求高产高收益, 多年连作与传统全化肥施肥, 导致马铃薯产量和品质显著下降, 严重阻碍全省马铃薯产业健康持续发展。生物炭基肥利用生物质制备的生物炭能够有效固持肥料养分使其在土壤中缓慢释放, 是一种优良的缓释肥料, 可提高肥料利用率并实现农作物秸秆资源化利用^[6-7], 有利于土壤质量提升与植物生长^[8-11]。在华东地区砂壤农田研究生物炭基肥对马铃薯产量影响的结果表明, 适宜生物炭基肥用量较传统单施化肥可显著提升产量^[12], 针对同一区域探索作物专用肥施用比较试验已在玉米、小麦上广泛开展, 而在区域特色主栽作物马铃薯上却鲜有报道^[13-16]。在陇中旱作区与河西灌区研究不同生物炭基肥施用量如何影响马铃薯植株性状及产量分析十分必要。为此, 我们依托定西市临洮县、张掖市甘州区、酒泉市肃州区田间试验, 通过研究对比马铃薯专用生物炭基肥与常规传统施肥对马铃薯植株性状、产量以及品质的影响, 为陇中旱作区与河西灌区马铃薯专用生物炭基肥推广提供理论依据及数据支撑。

1 材料与方

1.1 试验区概况

2022—2024 年试验地设在临洮县辛店镇(35° 61' N, 103° 79' E)。该地位于甘肃省中部偏南, 属中温带半干旱区。土壤类型为黄绵土, 平均海拔 2 000 m, 年均太阳辐射 592.85 kJ/cm^2 , 年均日照时数 2 476.6 h, 年均气温 6.4 $^{\circ}\text{C}$, ≥ 0 $^{\circ}\text{C}$ 积温 2 933.5 $^{\circ}\text{C}$, ≥ 10 $^{\circ}\text{C}$ 积温 2239.1 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 140 d, 耕层土壤含有机质 11.20 g/kg 、全氮 1.12 g/kg 、全磷 0.83 g/kg 、全钾 1.23 g/kg 、速效氮 68.0 mg/kg 、速效磷 15.0 mg/kg 、速效钾 162.0 mg/kg , pH 8.20。

2023、2024 年增加张掖市和酒泉市试验地, 其中张掖市试验地设在甘州区(39° 04' N, 100° 42' E), 年均气温 7.6 $^{\circ}\text{C}$, 年日照时数 3 500.0 h,

≥ 10 $^{\circ}\text{C}$ 积温 3 080.0 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 145 d, 土壤类型为灌漠土, 耕层土壤含有机质 16.20 g/kg 、全氮 1.22 g/kg 、全磷 0.94 g/kg 、全钾 1.16 g/kg 、速效氮 92.7 mg/kg 、速效磷 18.4 mg/kg 、速效钾 136.7 mg/kg , pH 8.34。酒泉市试验地设在肃州区(39° 74' N, 98° 58' E), 土壤为灌淤土, 土质疏松。年均气温 7.3 $^{\circ}\text{C}$, 降水量为 85.3 mm, 年均日照时数 3 033.4 h, 耕层土壤含有机质 12.80 g/kg 、全氮 0.81 g/kg 、全磷 0.77 g/kg 、全钾 1.13 g/kg 、速效氮 80.4 mg/kg 、速效磷 19.5 mg/kg 、速效钾 114.5 mg/kg , pH 8.54。

1.2 供试材料

供试肥料氮肥为尿素(N 46%), 由新疆心连心能源化工有限公司生产; 磷肥为普通过磷酸钙(P_2O_5 16%), 由美盛国际贸易大连有限公司生产; 钾肥为氯化钾(K_2O 52%), 山东九重化工有限公司生产; 生物炭基马铃薯专用肥由生物质炭与化肥复合而成(有机碳 3%、N 15%、 P_2O_5 8%、 K_2O 7%), 由甘肃金九月肥业有限公司提供。指示马铃薯品种为陇薯 15 号。

1.3 试验方法

1.3.1 专用生物炭基肥对马铃薯性状、产量及养分吸收利用效率的影响 2022 年在临洮县辛店镇, 试验采用随机区组设计, 共设 9 个施肥处理(表 1), 3 次重复, 小区面积 40 m^2 (5 m \times 8 m)。试验采用地膜覆盖垄作种植方式, 种植带宽 100 cm,

表 1 试验各处理的施肥量^①

处理	施肥量/(kg/hm^2)			
	生物炭基肥	尿素	普通过磷酸钙	氯化钾
T1 (CK)	0	0	0	0
T2	0	96.6	150.0	46.2
T3	0	193.2	300.0	92.4
T4	0	289.8	450.0	138.6
T5	0	386.4	600.0	184.8
T6	300.0	0	0	0
T7	600.0	0	0	0
T8	900.0	0	0	0
T9	1 200.0	0	0	0

①施用生物炭基肥 T6 处理对应的等养分传统施肥为 T2; 生物炭基肥 T7 处理对应的等养分传统施肥为 T3; 生物炭基肥 T8 处理对应的等养分传统施肥为 T4; 生物炭基肥 T9 处理对应的等养分传统施肥为 T5。

其中垄宽 60 cm, 垄高 20 cm, 沟宽 40 cm。所有肥料一次性基施。播种前覆幅宽 110 cm、厚 0.01 mm 的地膜, 在垄上间隔 50 cm 留渗水孔。2022 年 4 月中下旬播种, 垄上播种马铃薯 2 行, 行距 50 cm、株距 33 cm, 播深 15 cm, 种植密度 6.0 万株 / hm²。试验各处理分别在苗期、现蕾期、开花期、块茎膨大期小水浅灌不没及垄面, 除放苗和拔草外不进行其他管理。9 月中下旬收获。

1.3.2 马铃薯专用生物炭基肥田间验证试验 选取 2022 年生物炭基肥试验最优处理, 2023、2024 年分别在临洮县、张掖市甘州区和酒泉市肃州区进行连续 2 a 的马铃薯专用生物炭基肥田间试验验证, 以确定生物炭基肥科学施用量。试验采用大区设计, 共设 2 个处理, 分别为常规施肥(T4)、对应的最优生物炭基肥, 不设重复, 大区面积 200 m²。其他管理同当地高产农田。

1.4 主要测定指标及计算方法

2022 年马铃薯成熟期每小区随机采 10 株植株样品, 测定每株鲜重、块茎数、块茎重、大中薯个、大中薯重量以及大中薯率。并根据小区单产单收, 测定产量。单株装入纸袋置于烘箱 105 ℃ 杀青 0.5 h, 80 ℃ 烘干至恒重, 计算单株马铃薯干物质积累量。粉样后分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰光度计法测定植株全氮量、全磷量、全钾量^[1]。

2023、2024 年马铃薯收获时, 每个大区随机选取 5 点, 每点随机选取 20 株马铃薯计算马铃薯

产量。使用 FOSS 近红外仪 (DA 1650) 测马铃薯块茎鲜样蛋白质、粗淀粉、维生素 C、还原糖^[1]。按以下公式计算总养分吸收量和养分吸收效率。

总养分吸收量 = 成熟期全植株干物质重量 × 植株养分含量(全氮、全磷、全钾)

养分吸收效率 = 总养分吸收量 / 总养分投入量 × 100%

1.5 数据统计

所有数据在 Excel 2019 中进行整理, SPSS 24.0 (IBM SPSS, USA) 对数据进行统计分析, 采用 LSD 进行 ($P < 0.05$) 处理间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 生物炭基肥对马铃薯植株性状和产量构成因素的影响

由表 2 可知, 施肥处理下块茎数、块茎重、大中薯数、大中薯重、大中薯率均高于不施肥处理。不同生物炭基肥施用量以 T8 处理块茎数(21.9 个 / 穴)、块茎重(973.8 g / 株)、大中薯数(5.2 个 / 株)、大中薯重(572.7 g / 株)、大中薯率(63.7%)表现最优, 较等养分传统施肥处理分别增加 43.14%、8.27%、13.04%、9.34%、18.40%。

2.2 生物炭基肥对马铃薯产量的影响

由图 1 可知, 马铃薯产量施肥处理均高于无肥处理, 其中 T8 处理产量最高, 较 T6、T7 处理分别显著提高 21.2%、17.6% ($P < 0.05$), 较等养分量传统施肥 T4 处理显著提高 12.0% ($P < 0.05$); 其次是 T9 处理, 较 T6 处理显著提高 15.6% ($P < 0.05$),

表 2 不同生物炭基肥用量下马铃薯植株性状及产量构成因素

处理	块茎数 /(个/穴)	块茎重 /(g/株)	大中薯数 /(个/株)	大中薯重 /(g/株)	大中薯率 ^① /%
T1(CK)	12.5 c	502.7 d	1.8 d	152.7 e	30.4 c
T2	12.8 c	659.4 c	2.3 c	228.3 d	34.6 c
T3	14.7 bc	753.5 bc	4.2 bc	378.3 c	50.2 b
T4	15.3 b	899.4 b	4.6 b	523.8 b	53.8 ab
T5	14.3 bc	861.6 b	4.4 bc	477.2 bc	55.4 ab
T6	13.5 c	687.2 c	3.4 c	326.7 c	47.5 bc
T7	15.2 b	894.6 b	4.7 b	520.8 b	53.4 ab
T8	21.9 a	973.8 a	5.2 a	572.7 a	63.7 a
T9	16.8 b	890.5 b	4.8 b	518.3 b	58.2 ab

①大中薯率为单薯重 50 g(含 50 g)以上薯块的占比。

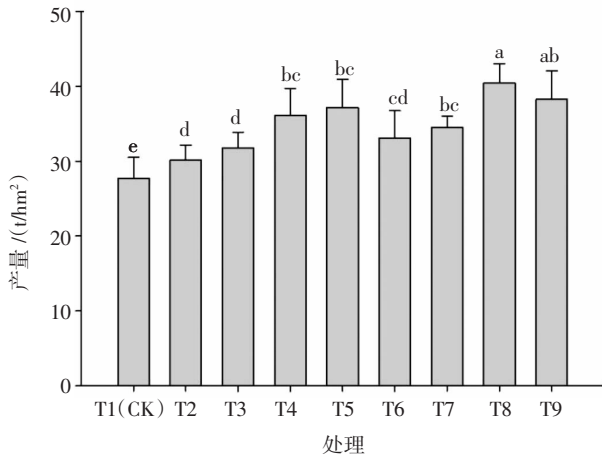


图 1 不同生物炭基肥用量下马铃薯的产量

较 T7 处理提高 10.9%。对各处理马铃薯产量进行方差分析表明, T8 处理与 T9 处理差异不显著 ($P>0.05$), 与其余处理差异显著 ($P<0.05$); T9 处理与 T4、T5、T7 处理差异不显著 ($P>0.05$), 与 T6、T3、T2、T1 处理差异显著 ($P<0.05$); T4、T5、T7 处理均与 T6 处理差异不显著 ($P>0.05$), 与 T3、T2、T1 处理差异显著 ($P<0.05$)。可见在养分投入

量相近情况下, 马铃薯专用生物炭基肥较传统化肥更有利于马铃薯产量提高。

2.3 生物炭基肥对马铃薯养分吸收利用效率的影响

由表 3 可知, 施肥处理下植株全氮量、植株全钾量、总养分吸收量及养分吸收利用效率均高于无肥处理。T8 处理下养分吸收利用效率显著高于其他处理 ($P<0.05$)。与 T4 处理相比, T8 处理植株全氮量、全磷量、全钾量分别提高 0.29、0.70、0.86 g/kg, 总养分吸收量提高 2.3 kg/hm², 养分吸收利用效率提高 6.8 个百分点。说明在等养分投入水平下, 适宜生物炭基肥施用量较传统施肥可显著提高肥料养分利用率。

2.4 马铃薯专用生物炭基肥田间验证分析

通过试验得出 T8 处理为生物炭基肥最优处理, 对临洮县、甘州区和肃州区进行马铃薯生物炭基肥对比试验结果(表 4)发现, 临洮县 2 a 平均产量生物炭基肥处理(T8)较常规处理(T4)显著提高 8.9 t/hm², 增幅 20.2%。T8 处理的干物质、粗淀粉、还原糖含量与 T4 处理差异达显著水平

表 3 不同生物炭基肥用量下马铃薯养分吸收利用效率

处理	植株全氮量/(g/kg)	植株全磷量/(g/kg)	植株全钾量/(g/kg)	总养分吸收量/(kg/hm ²)	养分吸收利用效率/%
T1(CK)	16.34 b	4.76 ab	22.87 b	33.5 c	
T2	16.78 ab	3.47 c	23.47 ab	41.1 bc	22.6 e
T3	16.42 b	4.23 b	23.03 b	41.2 bc	22.9 e
T4	17.53 a	4.82 ab	23.67 ab	45.8 b	36.8 b
T5	17.09 ab	4.37 b	23.89 ab	44.4 b	32.5 c
T6	17.24 ab	4.42 b	24.14 a	43.6 bc	30.1 cd
T7	17.73 a	4.78 ab	24.82 a	46.9 b	40.1 b
T8	17.82 a	5.52 a	24.53 a	48.1 a	43.6 a
T9	17.39 a	4.72 ab	24.42 a	46.3 b	39.7 b

表 4 生物炭基肥最优处理与常规施肥的马铃薯产量及品质

试验点	时间	产量/(t/hm ²)		干物质/(g/kg)		蛋白质/(mg/kg)		粗淀粉/(g/kg)		维生素 C/(mg/kg)		还原糖/(mg/kg)	
		T4	T8	T4	T8	T4	T8	T4	T8	T4	T8	T4	T8
临洮县	2023 年	43.0 b	53.5 a	1.73 b	2.03 a	182 a	189 a	124 a	110 b	1.35 a	1.32 a	77.4 a	65.1 b
	2024 年	44.6 b	51.8 a	1.87 b	1.95 a	206 a	205 a	148 a	128 b	1.17 a	1.12 a	84.5 a	77.2 b
甘州区	2023 年	57.0 b	62.9 a	1.62 b	2.01 a	185 a	168 b	118 b	150 a	1.44 b	1.53 a	15.4 a	9.4 b
	2024 年	43.0 b	53.5 a	1.74 b	2.17 a	163 a	143 b	114 b	160 a	1.58 a	1.71 a	18.6 a	11.3 b
肃州区	2023 年	44.6 b	51.8 a	1.68 b	1.93 a	199 a	202 a	126 b	152 a	1.66 a	1.62 a	20.4 b	26.2 a
	2024 年	57.0 b	62.9 a	1.80 b	2.03 a	165 a	172 a	144 b	176 a	1.82 a	1.82 a	24.2 a	28.1 a

($P < 0.05$), 蛋白质和维生素 C 含量与 T4 处理差异不显著。甘州区 2 a 平均产量 T8 处理较 T4 处理显著提高 8.2 t/hm^2 , 增幅 16.4%, T8 处理的干物质、蛋白质、粗淀粉、还原糖含量与 T8 处理差异达显著水平($P < 0.05$)。酒泉市肃州区 2 a 平均产量 T8 处理较 T4 处理显著提高 6.6 t/hm^2 , 增幅 12.9% ($P < 0.05$), T8 处理的干物质、粗淀粉含量与 T4 处理差异达显著水平。

3 讨论与结论

氮、磷、钾维持马铃薯正常生长发育的三大必需营养元素, 适宜的氮、磷、钾肥用量对提升马铃薯产量品质极具意义^[17]。株高、块茎重、大中薯数、大中薯重、大中薯率是马铃薯生长性状的主要观测指标^[17]。本研究中, 观察发现不同生物炭基肥施用量处理株高均低于传统施肥处理, 而产量指标却呈相反表现, 这表明马铃薯生长时若地上部分徒长则不利于地下块茎, 即产量形成, 这与前人研究结果一致^[18-19]。随着生物炭基肥施用量增加, 马铃薯产量呈现先升高后降低趋势, 这与长江三角洲砂壤农田研究生物炭基肥对马铃薯产量结果一致^[12]。养分积累量是马铃薯产量形成的基础, 肥料利用效率和块茎产量均会受到养分积累量的影响^[20]。本研究结果表明, 适宜生物炭基肥施用量下马铃薯养分吸收效率最高, 与西南地区砂壤农田研究马铃薯氮、磷、钾吸收利用的结果一致^[21], 这可能是由于生物炭基肥在化肥氮、磷、钾养分基础上增加有机质投入, 促进马铃薯对养分的吸收利用。已有众多研究表明, 作物产量与品质不可兼得, 本研究连续两年验证试验结果表明, 科学适宜的马铃薯生物炭基肥施用量较传统施肥显著提高产量同时对品质具有一定提升效果, 这与研究蔬菜专用肥的研究结果一致, 这可能是由于科学专用肥投入量在供应植株养分同时平衡土壤养分^[22-23]。

本研究在等养分条件下对 4 种不同生物炭基肥用量与传统施肥进行对比, 研究生物炭基肥对马铃薯生长、产量以及品质的影响, 结果表明, 生物炭基肥施用量为 900 kg/hm^2 处理的马铃薯块茎数、块茎重、大中薯数、大中薯重、大中薯率表现最优, 产量、养分利用效率表现最高, 与等养分传统施肥 (尿素 289.8 kg/hm^2 、普通过磷酸钙

450.0 kg/hm^2 、氯化钾 138.6 kg/hm^2) 相比, 块茎数、块茎重、大中薯数、大中薯重、大中薯率分别增加 43.14%、8.27%、13.04%、9.34%、18.40%, 产量提高 12.0%, 养分吸收效率增加 6.8 个百分点。临洮县、甘州区、肃州区 2 a 田间试验表明, 马铃薯专用生物炭基肥 900 kg/hm^2 处理的产量较等养分传统全化肥施肥在临洮县、甘州区、肃州区分别显著提高 20.6%、16.4%、12.9%; 显著提高马铃薯的干物质、蛋白质、粗淀粉、还原糖含量。可见生物炭基肥施用量 900 kg/hm^2 处理较传统全化肥施肥增产提质。因此, 在临洮县、甘州区、肃州区马铃薯大田生产中, 可推广的生物炭基肥适宜施用量为 900 kg/hm^2 。

参考文献:

- [1] 李红霞, 汤瑛芳, 沈 慧. 甘肃马铃薯省域竞争力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(8): 36-41.
- [2] 罗其友, 高明杰, 张 烁, 等. 中国马铃薯产业国际比较分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(7): 1-8.
- [3] 杨新强, 孙建好, 李伟绮, 等. NBPT 和 DMPP 对陇中半干旱区马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(10): 917-921.
- [4] 牛彩萍, 李德明, 董爱云, 等. 定西市马铃薯产业生产现状调查和分析[J]. 农业科技与信息, 2021(13): 80-81; 86.
- [5] 李炫臻. 膜下滴灌调亏对河西绿洲灌区马铃薯生长特性及产量影响研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [6] 朱永永, 赵 婧, 赵贵宾, 等. 旱作区富锌马铃薯绿色高质高效生产技术[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(2): 145-147.
- [7] 杜 蕙, 蒋晶晶, 漆永红. 农业废弃物基生物炭的应用效应研究进展[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(3): 203-207.
- [8] 王致晶. 甘肃省循环农业发展模式总结及主推建议[J]. 甘肃农业, 2020(9): 103-105.
- [9] 傅志强, 刘 祯, 马春花, 等. 生物炭及炭基肥对土壤质量与植物生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2024, 36(7): 1634-1645.
- [10] 兰 宇, 孟 军, 韩晓日, 等. 生物炭基产品及其对土壤培肥改良效应的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2024, 30(7): 1396-1412.
- [11] 高文慧, 郭宗昊, 高 科, 等. 生物炭与炭基肥对大豆根际土壤细菌和真菌群落的影响[J]. 生态环境学报, 2021, 30(1): 205-212.

- [12] 高佳, 王姣, 王松, 等. 生物炭基肥对马铃薯田土壤脲酶活性和产量的影响[J]. 作物杂志, 2021(6): 134-138.
- [13] 程晶. 抗旱性专用肥对土壤理化性质及持水量和玉米产量的影响[J]. 青海农林科技, 2020(1): 7-13; 104.
- [14] 马世军, 闫治斌, 赵芸晨, 等. 适于甘肃张掖土壤玉米制种田的豆粕有机生态肥研究[J]. 土壤与作物, 2015, 4(3): 131-139.
- [15] 刘倩倩, 陈欢, 张存岭, 等. 新型专用肥对冬小麦产量、氮素吸收与利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(10): 1186-1194.
- [16] 冯守疆, 车宗贤, 赵欣楠, 等. 长效缓释小麦专用肥施用效果研究[J]. 甘肃农业科技, 2018(11): 68-70.
- [17] 李梦露. 膜下滴灌对旱地马铃薯土壤水热效应及其产质量的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [18] 王颖, 何仁元, 蒲宁, 等. 陇中黄土丘陵区不同品种马铃薯块茎产量和品质比较[J]. 作物研究, 2024, 38(3): 193-201.
- [19] 张青江, 刘怒安. 不同植物生长调节剂对冬作马铃薯块茎的影响[J]. 耕作与栽培, 2024, 44(4): 32-34.
- [20] 张彬彬, 史春余, 柳洪鹏, 等. 钾肥基施利于甘薯块根产量的形成[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 208-216.
- [21] 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.
- [22] 韩严竞, 王玉洁, 屈靖雄, 等. 长效有机肥与烟草专用肥配施对烟草产量及品质的影响[J]. 现代农业科技, 2024(12): 38-42.
- [23] 杨启睿. 夏花生氮磷钾肥效应及专用肥配方优化研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2024.