

不同种植密度下有机肥替代氮肥对陇中旱作区马铃薯的影响

王友生¹, 雷艳红², 雍山玉¹, 李效文¹

(1. 定西市农业技术推广站, 甘肃 定西 743000; 2. 定西市安定区
农业技术推广服务中心, 甘肃 定西 743000)

摘要: 为了掌握陇中旱作区不同有机肥替代氮肥量和种植密度组合对马铃薯农艺性状及产量的影响, 在等养分替代条件下, 以陇薯7号为指示品种, 研究了3个施肥水平(常规施氮、有机肥替代氮肥20%、有机肥替代氮肥40%)与3种植植密度(5.25万、6.00万、6.75万株/hm²)组合对马铃薯生长的影响。结果表明, 不同有机肥替代氮肥量和种植密度组合对马铃薯农艺性状、产量及商品薯率有一定的影响; 相同替代氮肥水平下, 马铃薯产量及商品薯率随着种植密度的增加均呈先增后减的趋势; 相同种植密度下, 有机肥替代氮肥20%不仅改善了马铃薯农艺性状, 还提高了马铃薯产量构成因素和产量。以有机肥替代氮肥20%(施N 216 kg/hm²、有机肥2700 kg/hm²)、种植密度为6.00万株/hm²组合处理的马铃薯折合产量最高, 为28333.3 kg/hm², 较对常规施氮(施N 270 kg/hm²), 种植密度为5.25万株/hm²增产12.79%; 商品薯率也最高, 为79.8%, 较对照增加10.1个百分点。综合考虑认为, 有机肥替代氮肥20%(施N 216 kg/hm²、有机肥2700 kg/hm²)+种植密度6.00万株/hm²的组合处理为陇中旱作区马铃薯生产的最佳肥密组合。

关键词: 有机肥替代氮肥; 种植密度; 马铃薯; 农艺性状; 产量; 陇中旱作区

中图分类号: S532; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2024)12-1124-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.12.009

Effects of Organic Fertilizer Replacing Chemical Nitrogen Fertilizer under Different Planting Densities on Potatoes in the Arid Farming Area of Central Gansu

WANG Yousheng¹, LEI Yanhong², YONGshanyu¹, LI Xiaowen¹

(Agricultural Technical and Popularization Center in Dingxi City of Gansu, Dingxi, Gansu 743000;

(1. Dingxi Agricultural Technical and Popularization Centre, Dingxi Gansu 743000, China; 2. Anding District Service Centre for Agricultural Technology Extension, Dingxi, Dingxi Gansu 743000, China)

Abstract: To understand the effect of different combinations of organic fertilizer replacing nitrogen fertilizer and planting densities on the agronomic characters and yield of potatoes in the arid farming area of Central Gansu, a study was conducted using Longshu 7 as the experimental variety. Three fertilization levels (conventional nitrogen fertilization, organic fertilizer replacing 20% of nitrogen fertilizer, and organic fertilizer replacing 40% of nitrogen fertilizer) combined with three planting densities (52,500 plants/ha, 60,000 plants/ha, and 67,500 plants/ha) were set up in this study to evaluate their effects on potato growth. The results showed that different combinations of organic fertilizer substitution and planting densities had significant impact on agronomic characters, yield, and marketable tuber rate. Under the same nitrogen replacement level, both potato yield and marketable tuber rate increased and then decreased with the increase in planting density. Under the same planting density, replacing 20% of nitrogen fertilizer with organic fertilizer not only improved agronomic characters but also enhanced the yield components and yield. The highest average yield of 28,333.3 kg/ha was obtained from the combination of 20% organic fertilizer substitution (N 216 kg/ha + 2700 kg/ha of organic fertilizer) and a planting density of 60,000 plants/ha, which was 12.79% higher than that in the conventional nitrogen fertilization treatment (N 270 kg/ha) with a density of 52,500 plants/ha. The marketable tuber rate was also the highest at 79.8%, which was 10.1 percentage points higher than that of the conventional nitrogen treatment. Based on the comprehensive analysis, the optimal combination for potato production in the arid farming area of Central Gansu is 20% organic fertilizer substitution (N 216 kg/ha + 2700 kg/ha organic fertilizer) with a planting density of 60,000 plants/ha.

Key words: Organic fertilizer replacing chemical nitrogen fertilizer; Planting density; Potato; Agronomic character; Yield; Arid farming area of central Gansu

收稿日期: 2023-09-05; 修订日期: 2024-09-29

基金项目: 定西市科技计划项目(DX2022AZ06); 定西市科技人才支持专项(DX2021AR08); 定西市科技计划项目(DX2021BZ25)。

作者简介: 王友生(1981—), 女, 甘肃定西人, 正高级农艺师, 主要从事农业技术推广工作。Email: 33053018@qq.com。

马铃薯在甘肃省栽培历史悠久, 是甘肃省的地理标志产品, 以品质优良享誉国内外^[1]。定西市马铃薯播种面积稳定在 20 万 hm^2 左右, 总产达 500 万 t 左右, 在全市农业生产中占有举足轻重的地位^[2]。随着马铃薯主粮化战略的提出, 马铃薯产业迎来了前所未有的机遇和挑战, 它将成为推动经济发展的致富产业。但是马铃薯的集约化生产导致马铃薯主产区连作现象日趋严重^[3], 加之为了追求高产所导致的无机肥施用量、土壤养分失衡及养分利用率低、种植成本偏高等问题^[4], 严重制约着定西市马铃薯绿色生产及产业可持续发展。

随着农业供给侧结构性改革和绿色发展理念的不断深入, 减少不合理化肥的投入、调整优化施肥方式势在必行。多数研究表明, 有机肥替代部分化肥是实现农业可绿色持续发展的有效途径之一, 通过轮作倒茬、增施有机肥能显著提高作物对土壤水分及养分的利用率进而提高作物产量^[5-7]。种植密度是实现作物高产的重要栽培因素^[8], 适宜的种植密度能促进个体与整体协调生长, 为群体提供足够生物量, 实现高产。同一地区马铃薯生产受施肥量、品种和栽培措施等因素的影响^[9], 种植密度合理、肥料供应充足, 就能促进作物叶片进行光合作用和干物质积累, 对马铃薯产量形成具有重要作用^[10]。马铃薯块茎大小、产量和密度呈抛物线变化关系^[9], 如何平衡施肥量及种植密度之间关系, 提高氮、磷、钾肥及锌肥的养分利用率及产量, 是助推定西马铃薯产业高质量发展的重要措施^[11-12]。通过适当增施有机肥并结合适宜的种植密度可实现马铃薯增产稳产目标, 该方法简单可行且能提高耕地质量^[10]。因此, 我们结合当前定西马铃薯生产实际, 在定西旱作区探究了不同种植密度下施用有机肥替代氮肥对马铃薯农艺性状和产量构成及产量的影响, 以期定西旱作区马铃薯种植密度与有机肥替代氮肥的合理搭配提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2022 年在定西市安定区团结镇唐家堡村的旱作梯田(东经 $104^{\circ} 36' 38''$ 、北纬 $35^{\circ} 32' 16''$)进行, 该区域属于典型的旱作农业区, 平均海

拔 1 934 m, 有效积温 $2\ 300\ ^{\circ}\text{C}$, 无霜期 141 d, 年均气温 $6.3\ ^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 420 mm。试验区当年马铃薯生育期降水量为 149.7 mm。试验地为地势平坦的梯田, 土壤通透性好、肥力中等, 土壤类型为黑麻土, 耕层(0~20 cm)土壤含有有机质 12.30 g/kg、全氮 0.89 g/kg、有效磷 24.8 mg/kg、速效钾 209.00 g/kg, pH 8.2。前茬作物为小麦。前茬作物收获后结合整地施农家肥 30 000 kg/hm^2 。

1.2 供试材料

指示马铃薯品种为陇薯 7 号, 由定西市绿地马铃薯农民专业合作社提供。供试氮肥为尿素(含 N 46%, 甘肃刘化集团有限责任公司生产), 磷肥为普通过磷酸钙(含 $\text{P}_2\text{O}_5 \geq 16\%$, 云南兴昆化工有限公司生产), 钾肥为硫酸钾(含 $\text{K}_2\text{O} 52\%$, 国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产), 商品有机肥(含 N 2.0%、有机质 $\geq 45\%$, 甘肃正通有机肥有限公司生产)。锌肥用硫酸锌($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \geq 99\%$ 、含 Zn 22.4%, 天津市凯信化学工业有限公司生产)。

1.3 试验方法

试验采用二因素三水平设计, 设种植密度和施肥量 2 个因素, 其中施肥量设 3 个水平, 分别为常规施氮(F1)、有机肥替代氮肥 20%(F2)、有机肥替代氮肥 40%(F3); 种植密度设 3 个水平, 分别为 5.25 万(M1)、6.00 万(M2)、6.75 万株 $/\text{hm}^2$ (M3)。试验共 9 个处理, 分别为 F1M1 处理(CK), 常规施氮(施 N 270 kg/hm^2), 种植密度为 5.25 万株 $/\text{hm}^2$; F2M1 处理, 有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm^2 、有机肥 2 700 kg/hm^2), 种植密度为 5.25 万株 $/\text{hm}^2$; F3M1 处理, 有机肥替代氮肥 40% (施 N 162 kg/hm^2 、有机肥 5 400 kg/hm^2), 种植密度为 5.25 万株 $/\text{hm}^2$; F1M2 处理, 常规施氮(施 N 270 kg/hm^2), 种植密度为 6.00 万株 $/\text{hm}^2$; F2M2 处理, 有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm^2 、有机肥 2 700 kg/hm^2), 种植密度为 6.00 万株 $/\text{hm}^2$; F3M2 处理, 有机肥替代氮肥 40% (施 N 162 kg/hm^2 、有机肥 5 400 kg/hm^2), 种植密度为 6.00 万株 $/\text{hm}^2$; F1M3 处理, 常规施氮(施 N 270 kg/hm^2), 种植密度为 6.75 万株 $/\text{hm}^2$; F2M3 处理, 有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm^2 、有机肥 2 700 kg/hm^2), 种植密度为 6.75 万株 $/\text{hm}^2$; F3M3 处理, 有机肥替代氮肥 40% (施 N 162 kg/hm^2 、有机肥 5 400 kg/hm^2),

种植密度为 6.75 万株 /hm²。各处理均施普通过磷酸钙 1 500 kg/hm²、硫酸钾 150 kg/hm²，且各处理纯养分施用量均相同。试验随机区组排列，3 次重复，小区面积 33.0 m² (3.3 m × 10.0 m)，小区间距 30 cm，试验区四周设宽 50 cm 的保护行。试验采用黑膜垄上微沟种植，垄宽 75 cm，垄沟宽 45 cm。播前统一施磷、钾肥后旋耕，覆膜前按试验设计将氮肥及有机肥开沟施于沟内，开沟深度为 15 cm。播种前挑选出无病烂的健康种薯，用 1 g/kg 的高锰酸钾溶液将切刀消毒后把种薯切成重约 30 g 的薯块，每个薯块带 1~2 个芽眼。薯块切好后用 50% 甲霜灵可湿性粉剂按种薯质量的 0.3% 加少量水喷洒后晾干。试验于 4 月 26 日按试验设计用马铃薯专用点播器在垄两侧人工点播，10 月 1 日收获。在马铃薯现蕾期用浓度为 2 g/kg 的 ZnSO₄·7H₂O 溶液每隔 10 d 喷施 1 次，连喷 3 次。其余田间管理措施同大田。

1.4 测定指标

在马铃薯盛花期每小区选取 5 株测定各处理马铃薯株高(地上茎基部到生长点的距离)、主茎数、茎粗(近基部最粗处的直径)、叶面积(采用长宽法测定，每株叶片的长度和最大宽度后计算出叶面积)、叶面积指数等指标。马铃薯成熟后每小区随机挖取 10 株，测定单株结薯数、单株薯重。收获时按小区单收计产，并按薯块大小进行分级(50 g 以下的为小薯，50 g 以上的为大中薯)后计算商品薯率。

$$\text{叶面积} = \text{叶长} \times \text{叶宽} \times 0.75$$

$$\text{叶面积指数} = \text{单位土地上的总叶面积} / \text{单位土地}$$

$$\text{商品薯率} = (\text{大中薯鲜重} / \text{薯块总鲜重}) \times 100\%$$

1.5 数据分析

采用 Excel 软件对试验数据进行统计整理，利用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯农艺性状的影响

不同有机肥替代氮肥水平对不同密度下马铃薯的株高、主茎数、茎粗和叶面积指数等农艺性状均有一定的影响(表1)。株高以 F2M2 处理最高，为 65.8 cm，较 F1M1 处理(CK)高 3.7 cm；F2M3 处理次之，为 65.5 cm，较 F1M1 处理(CK)高 3.4

cm；F2M2 处理、F2M3 处理除与 F3M1 处理、F3M2 处理差异显著($P < 0.05$)，与其他处理均差异不显著($P > 0.05$)。主茎数以 F2M1 处理最高，较 F1M1(CK)增加 6.54%；F2M2 处理较高，较 F1M1(CK)增加 5.00%，且二者均与 F3M3 处理差异显著($P < 0.05$)，与其他处理差异不显著($P > 0.05$)。茎粗以 F2M2 处理最高，较处理 F1M1(CK)增加 8.13%；F2M1 处理较高，较处理 F1M1(CK)增加 3.25%，且二者均与处理 F3M3 差异显著($P < 0.05$)，与其他处理均差异不显著($P > 0.05$)。叶面积指数在施肥量相同的条件下随着种植密度的增大而增加，处理 F3M1 叶面积指数最低，为 3.40；处理 F3M2 最高，为 4.10；处理 F2M2、处理 F3M1 相对较高，分别为 4.03、4.07。在相同种植密度下，以处理 F2M2、处理 F2M3 的叶面积指数最高，分别为 4.03、4.10，分别较 F1M1(CK)增加 9.81% 和 11.72%，但与同种植密度的其他处理均差异不显著($P > 0.05$)。

表 1 不同处理的马铃薯农艺性状

处理	株高 /cm	主茎数 /个	茎粗 /cm	叶面积指数
F1M1(CK)	62.1 ab	2.60 ab	1.23 ab	3.67 cde
F2M1	62.7 ab	2.77 a	1.27 a	3.57 de
F3M1	60.8 b	2.50 ab	1.20 ab	3.40 e
F1M2	64.1 ab	2.57 ab	1.23 ab	3.70 bcde
F2M2	65.8 a	2.73 a	1.33 a	4.03 ab
F3M2	60.7 b	2.60 ab	1.10 ab	3.87 abcd
F1M3	63.1 ab	2.40 ab	1.03 ab	4.07 a
F2M3	65.5 a	2.57 ab	1.07 ab	4.10 a
F3M3	63.5 ab	2.33 b	0.90 b	3.97 abc

2.2 不同处理对马铃薯产量构成因素的影响

不同有机肥替代化肥和种植密度组合对马铃薯单株结薯数、大中薯个数、薯重、大中薯重等产量构成因素的影响差异较大(表 2)。在低中种植密度下，施肥水平为 F2 时的单株结薯数、大中薯个数、薯重和大中薯重均高于 F1 水平和 F3 水平，但各处理间差异均未达到显著水平；在高种植密度下，施肥水平为 F1、F2 时的单株结薯数、大中薯个数、薯重、大中薯重均高于 F3 水平，但各处理间差异也均未达到显著水平。在施肥水平为 F1 的条件下，中低种植密度的单株薯重、大中薯重与高种植密度差异显著；在施肥水平为 F2 的条件下，低种植密度(M1)的单株结薯数(7.7 个)、大中

薯个数(4.4个)、薯重(489.7 g)、大薯重(360.1 g)均与中等种植密度(M2)差异不显著, 与高种植密度(M3)差异显著, 这就说明在试验区相同肥力下, 当种植密度为 5.25 万株/hm² 和 6.00 万株/hm² 时能够有效促进马铃薯块茎形成和膨大, 适宜马铃薯生长。当有机肥替代 40%氮肥时, 高中低种植密度下各处理的马铃薯产量构成因素较常规施肥和有机肥替代 20%氮肥均有所下降, 但各种种植密度之间差异不显著。在高种植密度(M3)下, 有机肥替代 40%氮肥的单株结薯数(6.4 个)、大薯个数(3.8 个)、薯重(375.4 g)、大薯重(213.1 g)均最低。在 F1、F2、F3 三种肥力水平下, 随种植密度的增大, 单株结薯数、单株薯重均呈减少趋势, 单株大薯个数呈先增后减趋势。在相同的种植密度下, 施肥水平为 F1、F2 时的单株结薯数、薯重、大薯个数、大薯重的指标值也相对较大, 但 F1 施肥水平和 F2 施肥水平间差异不显著, 整体看来以有机肥替代 20%氮肥的施肥水平表现更优。

2.3 不同处理对马铃薯产量及商品薯率的影响

从表 3 可以看出, 在相同施肥量下, 马铃薯

的折合产量、商品薯率随着种植密度的增加均呈先增后减的趋势, 3 种施肥水平都呈现出 M2 密度时马铃薯折合产量最高, 分别为 27 000.0、28 333.3、26 515.2 kg/hm², 商品薯率也均最高, 分别为 75.9%、79.8%、68.7%。在相同种植密度下, 以 F2 施肥水平下的马铃薯折合产量最高, 分别为 26 151.5、28 333.3、26 515.2 kg/hm², 在种植密度 M1、M2、M3 条件下较 F1 施肥水平分别提高 4.10%、4.94%、2.82%; 而 F3 施肥水平的马铃薯产量则较 F1 施肥水平分别减少 6.03%、1.80%、9.99%, 但各处理间均不存在差异显著性。各处理以处理 F2M2 的马铃薯折合产量最高, 为 28 333.3 kg/hm²; 商品薯率最高, 为 79.8%, 由此可见, 在相同种植密度下, F2 施肥水平与 F1 施肥水平差异不显著, 但与 F3 施肥水平差异显著。在 F1 施肥水平下, 种植密度 M1、M2、M3 的各处理间差异均不显著; 在 F2、F3 施肥水平下, 种植密度 M2 与种植密度 M1、M3 均差异显著。在相同种植密度下, 不同施肥水平之间商品薯率差异均不显著; 在 F1、F3 施肥水平下, 种植密度 M1、M2 均与种植密度 M3 差异显著; 在 F2 施肥水平下, 种植密

表 2 不同处理的马铃薯产量构成因素

处理	单株结薯数 /个	单株大薯个数 /个	单株薯重 /g	单株大薯重 /g	单株小薯重 /g
F1M1(CK)	7.1 abAB	4.3 abcABC	483.8 aA	337.1 aAB	146.7 a
F2M1	7.7 aA	4.4 abAB	489.7 aA	360.1 aA	129.6 a
F3M1	7.0 abAB	4.3 abcABC	482.8 aA	346.2 aAB	136.6 a
F1M2	6.8 bAB	4.3 abcABC	447.3 abAB	339.4 aAB	107.9 a
F2M2	7.1 abAB	4.6 aA	469.4 abAB	374.7 aA	94.7 a
F3M2	6.9 abAB	4.4 abAB	457.3 abAB	314.0 abAB	143.3 a
F1M3	6.5 bAB	3.8 bcABC	398.1 cdAB	228.9 bcBC	169.2 a
F2M3	6.5 bAB	3.9 bcABC	402.3 cdAB	267.9 cC	134.4 a
F3M3	6.4 bB	3.8 cABC	375.4 dB	213.1 cC	162.3 a

表 3 不同处理的马铃薯产量及商品率

处理	小区平均产量 /(kg/33 m ²)	折合产量 /(kg/hm ²)	较CK增产 /%	商品薯率 /%
F1M1(CK)	82.9±7.1	25 121.2±2 151.5 bc		69.7±5.7 ab
F2M1	86.3±5.4	26 151.5±1 636.4 bc	4.10	73.5±8.1 ab
F3M1	77.9±7.2	23 606.1±2 181.8 d	-6.03	71.7±2.4 ab
F1M2	89.1±5.9	27 000.0±1 787.9 ab	7.48	75.9±5.3 ab
F2M2	93.5±6.9	28 333.3±2 090.9 a	12.79	79.8±5.1 a
F3M2	87.5±6.3	26 515.2±1 909.1 b	5.55	68.7±6.6 ab
F1M3	85.1±5.1	25 787.9±1 545.4 bc	2.65	57.5±6.3 c
F2M3	87.5±7.0	26 515.2±2 121.2 b	5.55	66.6±5.2 bc
F3M3	76.6±9.1	23 212.1±2 757.6 d	-7.60	56.8±6.3 c

度 M2 与种植密度 M1 差异不显著, 与种植密度 M3 差异显著, 种植密度 M1 与种植密度 M3 差异不显著。综合考虑认为, 有机肥替代 20% 氮肥 (施 N 216 kg/hm²、有机肥 2 700 kg/hm²) + 种植密度 6.00 万株 /hm² 的组合处理是陇中旱作区提高马铃薯产量的最佳肥密组合。

3 讨论与结论

许多研究表明不同有机肥替代部分化肥能增加作物的地上生物量、提高作物产量和品质^[13-15], 是实现农业可绿色持续发展的有效途径之一。本研究发现, 在相同种植密度下, 有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm²、有机肥 2 700 kg/hm²) 时, 马铃薯的株高、主茎数、茎粗、叶面积指数等农艺性状较常规施氮 (施 N 270 kg/hm²)、有机肥替代氮肥 40% (施 N 162 kg/hm²、有机肥 5 400 kg/hm²) 均有所增加, 这与何浩等^[16]的研究结果相似, 说明有机肥替代氮肥 20% 能够提供充足的养分以供马铃薯生长; 当有机肥替代氮肥 40% 时, 马铃薯的主茎数和茎粗均较常规施氮 (施 N 270 kg/hm²) 有所下降, 这可能与有机肥中的氮肥肥效释放较慢有关。在有机肥替代氮肥量相同的条件下, 马铃薯的叶面积指数随着种植密度增大而增加, 但中高密度下有机肥替代氮肥后各处理间的差异均不显著, 说明有机肥替代化肥可以延缓肥效释放进而延迟叶片衰老、提高植株光合效率^[17]。

在相同有机肥替代氮肥量下, 随着种植密度的增加, 马铃薯的单株大薯个数、单株薯重、单株大薯重、产量及商品薯率均呈先增后减的趋势, 这与张智芳等^[18]所得的结论一致。本研究表明, 与对经常规施氮 (施 N 270 kg/hm²)、种植密度为 5.25 万株 /hm² 相比, 以有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm²、有机肥 2 700 kg/hm²)、种植密度为 6.00 万株 /hm² 组合处理的马铃薯折合产量最高, 为 28 333.3 kg/hm², 较对照增产 12.79%; 商品薯率也最高, 为 79.8%, 较对照增加 10.1 个百分点。在相同种植密度下, 有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm²、有机肥 2 700 kg/hm²) 处理不仅改善了马铃薯株高、主茎数、茎粗和叶面积指数等农艺性状, 还提高了马铃薯产量构成因素和产量, 该组合处理的单株结薯数、单株薯重、单株大薯重、产量和商品薯率均高于有机肥替代氮肥

40% (施 N 162 kg/hm²、有机肥 5 400 kg/hm²), 这说明适当比例替氮有利于提高作物产量, 与王家宝等^[19]在小麦的研究结果相似。有报道指出在适量施肥量下种植密度较低时, 虽然作物通风透光良好可提高单株的农艺性状, 但会由于群体数量偏低而造成减产^[20-24]。因此, 针对不同马铃薯品种采取有机肥替代氮肥后应确定其最佳种植密度, 以充分发挥单株与群体产量作用才能挖掘出马铃薯的生产潜力。

综合考虑认为, 在本试验条件下, 有机肥替代氮肥 20% (施 N 216 kg/hm²、有机肥 2 700 kg/hm²) + 种植密度 6.00 万株 /hm² 的组合处理为陇中旱作区马铃薯生产的最佳肥密组合。但对于更多有机肥替代氮肥与种植密度合理搭配以及与施用常规化肥的效益比较等方面未做进一步探讨, 需在以后的研究中进行深入研究, 以期化肥减量施用提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 谢奎忠, 孙小花, 罗爱花, 等. 基施锌肥对长期连作马铃薯抗病性相关酶活性、土传病害和产量的影响[J]. 作物杂志, 2022(4): 154-159.
- [2] 王友生, 岳云, 李效文. 不同肥力水平和种植密度对定西秸秆覆盖马铃薯生产的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(2): 198-203.
- [3] 谢奎忠, 邱慧珍, 胡新元, 等. 连作马铃薯根系分泌物鉴定及其对尖孢镰孢菌(*Fusarium oxysporum*)的作用[J]. 中国沙漠, 2021, 41(3): 7-15.
- [4] 方玉川, 吕军, 张圆, 等. 生物有机肥对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(9): 50-53.
- [5] 高怡安, 程万莉, 张文明, 等. 有机肥替代部分化肥对甘肃省中部沿黄灌区马铃薯产量、土壤矿质氮水平及氮肥效率的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(2): 54-60.
- [6] 谢奎忠. 连作马铃薯根系分泌物介导的枯萎病发生机制及根际互作[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2022.
- [7] 张玉娟, 李继明. 定西市安定区马铃薯化肥减量增效试验[J]. 现代农业科技, 2020(5): 54-57.
- [8] 王安, 常庆涛, 吴薇. 有机肥用量和种植密度对秦兴香荷芋农艺性状、产量结构的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 187-193.
- [9] 李惠贤, 刘永贤, 李文宝, 等. 5 个青薯系列马铃薯品种不同种植密度对生长性状及产量的影响试验[J].

- 广西农业科学, 2010, 41(9): 910-913.
- [10] 于显枫, 张绪成, 方彦杰, 等. 有机肥替代氮肥追施和增密对全膜覆盖垄上微沟马铃薯水分利用及生长的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(5): 764-776.
- [11] 陈自雄, 杨荣洲, 张娟宁, 等. 有机肥氮替代部分化肥氮对马铃薯产量及其构成因素的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(7): 24-27.
- [12] 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.
- [13] 陈倩, 谢军红, 李玲玲, 等. 不同比例有机肥替代化肥对玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(6): 162-170.
- [14] 陈云梅, 肖厚军, 赵欢, 等. 商品有机肥替代化肥对春玉米生长、产量及土壤肥料的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 148-152.
- [15] 岳超, 王怀义, 滕松, 等. 马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥肥效试验[J]. 中国马铃薯, 2017, 35(6): 341-345.
- [16] 何浩, 张宇彤, 危常州, 等. 等养分条件下不同有机肥替代率对玉米生长及土壤肥料的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(2): 0454-0461.
- [17] 任伟, 赵鑫, 黄收兵, 等. 不同密度下增施有机肥对夏玉米物质生产及产量构成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1146-1155.
- [18] 张智芳, 刘富强, 云庭, 等. 阴山北麓地区马铃薯不同栽培密度、施肥量对产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(6): 354-356.
- [19] 王家宝, 孙义祥, 李虹颖, 等. 生物有机肥用量及部分替代化肥对小麦产量效应的研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(36): 6-11.
- [20] 高锦旭, 赵绪明, 蒋树怀, 等. 密度和肥料对旱地芸豆品种经济性状及产量的效应[J]. 西北农业学报, 2016, 25(3): 378-385.
- [21] 黄伟, 齐恩芳, 贾小霞, 等. 高寒阴湿区陇薯6号脱毒原种肥密配套模式研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(8): 758-762.
- [22] 何万春, 韩敬仁, 王红梅, 等. 陇中半干旱区不同耕作方式对马铃薯生长的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(11): 1038-1041.
- [23] 李永德, 芦娟, 刘金蓉, 等. 武威南部浅山区马铃薯新品种比较试验初报[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(3): 240-244.
- [24] 王雯, 焦智辉, 郭纪元. 干旱半干旱区马铃薯品种综合评价[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(3): 231-235.