

栽培基质与种植密度对马铃薯原原种的可持续性评价

张增强¹, 焦智辉², 张海强³, 王欢凯³, 王艳娜^{4,5}, 张燕兰^{5,6}, 李远志⁵

(1. 通渭县农村合作经济经营服务站, 甘肃 通渭 743300; 2. 通渭县种子服务站, 甘肃 通渭 743300; 3. 通渭县农业农村局, 甘肃 通渭 743300; 4. 通渭县寺子川乡人民政府农业综合服务中心, 甘肃 通渭 743300; 5. 通渭县新景乡人民政府, 甘肃 通渭 743300);
6. 甘肃亨丰现代农业开发有限责任公司, 甘肃 通渭 743300

摘要: 为提升马铃薯脱毒种薯生产的节本增效水平, 针对当前马铃薯原原种栽培基质单一, 资源利用率和产投比低等问题, 探讨不同基质下增密对马铃薯脱毒苗农艺性状、产量性状及经济效益的影响, 评价不同栽培模式的可持续性。以陇薯10号脱毒试管苗为材料, 设置蛭石、椰糠、蛭石+椰糠(体积比为1:1)3种栽培基质为主区, 3个种植密度(200、250、300株/m²)为副区, 研究了栽培基质、种植密度及两者互作对马铃薯脱毒苗农艺性状、产量性状以及经济效益的影响, 并对不同栽培模式的可持续性进行了评价。结果表明, 蛭石+椰糠(体积比为1:1)处理提高了马铃薯脱毒苗的农艺性状及产量性状, 其中种植密度为250株/m²处理脱毒苗移栽成活率、叶片SPAD值、叶面积指数均最高, 成活率较其他处理提高0.1~1.2个百分点, 叶片SPAD值、叶面积指数分别提高2.0%~12.7%、5.6%~31.0%; 马铃薯原原种产量、有效薯产量分别较其他处理提高了20.3%~29.9%、19.3%~29.6%。在基质为蛭石时, 种植密度为300株/m²的处理生产成本最高, 为115元/m²; 净收益最低, 为55.2元/m²; 而蛭石+椰糠(体积比为1:1)基质配合250株/m²种植密度的处理, 生产成本为102.5元/m², 净收益达94.8元/m²。综合10个指标发现蛭石+椰糠(体积比为1:1)基质配合250株/m²种植密度的处理同样具有较优的可持续评价指数。因此, 采用栽培基质为蛭石+椰糠(体积比为1:1)、种植密度250株/m²较现有栽培模式提高了原原种产量及经济效益, 具有较高的可持续性, 可作为提高马铃薯原原种增产增收的主要生产技术。

关键词: 马铃薯; 原原种; 栽培基质; 种植密度; 经济效益; 可持续评价

中图分类号: S532 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172 (2026) 03-0232-07

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2026.03.007

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是茄科茄属一年生草本块茎作物, 是我国广泛种植的粮菜兼用作物。甘肃省定西市是马铃薯主产区之一, 栽培环境适宜, 种植面积大且品质优良, 马铃薯已成为该区农业增效、农民增收的主要作物^[1-2]。马铃薯原原种繁育受栽培基质、种植密度等因素影响, 优化栽培基质、改善种植条件是提高马铃薯原原种产量及质量的有效途径^[3-4]。栽培基质是调控马铃薯脱毒苗根系微环境的主要措施, 通过改善土壤水热条件、增加土壤渗透性, 可为作物提供适宜的生长环境。马铃薯原原种生产中常用的栽培基质有蛭石、珍珠岩、草炭土和椰糠等材料。其中, 蛭石重复使用易造成颗粒粉化、板结

严重, 影响结薯、降低原原种产量(结薯个数和大小), 透气性降低易发生疮痂病, 植株长势减弱、抗病性降低易发生早晚疫病^[5]。草炭土因透气性差显著影响脱毒苗结薯率^[6]。椰糠因其独特的多孔纤维结构, 兼具良好的保水性和透气性, 且作为椰子加工的副产物, 具有来源广泛、可自然降解等优势, 但仍具有自身养分含量较低等缺点。

种植密度显著影响作物群体结构与产量, 但密度过高会加剧作物对光热水肥的需求, 超出土壤水肥承载能力, 反而导致产量下降^[7-8]。因此, 构建良好的栽培基质体系是密植增产的基础。当前亟须探索多种功能型基质与密植技术的协同集成路径, 并在马铃薯原原种生产实践中进行系统

收稿日期: 2025-07-25; 修订日期: 2025-10-15

基金项目: 甘肃省科技计划项目(23CXGJ0020、22CX2NJ004); 定西市科技计划项目(DX2024JP013、DX2025BYN049)。

作者简介: 张增强(1983—), 男, 甘肃通渭人, 高级农艺师, 硕士, 主要从事农业技术推广工作。Email: zqzhang2009cn@163.com。

通信作者: 焦智辉(1994—), 男, 甘肃通渭人, 硕士, 主要从事农业技术推广工作。Email: jzh05055525@163.com。

验证, 以充分发挥各类基质各自的优势, 实现增产增收同步提升的目标。为此, 我们设置不同基质下的密植试验, 探索不同基质和种植密度对马铃薯脱毒苗农艺性状、产量性状以及经济效益的影响, 综合评价不同处理组合的可持续性, 为建立高产、优质、高效的马铃薯原原种繁育技术提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为马铃薯晚熟品种陇薯10号脱毒试管苗, 由甘肃亨丰现代农业开发有限责任公司提供。基质为椰糠(由厦门环世进出口贸易有限公司提供)、蛭石(由灵寿县华阔矿产品加工厂生产), 栽培基质加入50%多菌灵可湿性粉剂(由江苏省太仓市农药厂有限公司生产) 100 g/m², 充分混匀后铺于栽培槽纱网上, 厚10 cm。

1.2 试验设计

试验在甘肃省通渭县陇阳镇亨丰现代农业科技温室大棚内进行(105°19' N, 35°16' E), 采用高架离地苗床。试验采用二因素裂区设计, 主区为不同栽培基质, 设3个处理, 分别为蛭石(A₁)、椰糠(A₂)、蛭石: 椰糠按体积比1:1混合(A₃); 副区为不同种植密度, 共设3个水平, 分别为200株/m²(M₁)、250株/m²(M₂)、300株/m²(M₃)。小区面积1.2 m²(1.2 m×1.0 m), 3次重复。脱毒试管苗于3月28日移栽至大棚, 7月8日收获, 全生育期为102 d, 适时防治各种病虫害, 确保脱毒苗健康生长。

1.3 测定指标与方法

移栽15 d后, 统计各小区脱毒苗移栽成活率。移栽后60 d, 每处理选择3株长势一致且具有代表性的植株测定株高、茎粗、叶片SPAD值、叶面积指数(LAI)等指标。株高用软卡尺测量植株地上部最高主茎基部至生长点的高度。茎粗用游标卡尺测量植株地上部最粗主茎距地面5~10 cm处的横径。叶片SPAD值用SPAD502叶绿素仪测定。

$LAI = (\text{单株叶面积} \times \text{土地面积内的株数}) / \text{土地面积}$ [9]

1.3.1 产量及经济效益 产量以单位面积收获的所有原原种总个数计。有效薯产量为单位面积收

获的大于1 g的原原种个数。

有效薯率=有效薯产量/产量

1.3.2 可持续评价 基于株高、茎粗、叶片SPAD值、叶面积指数(LAI)、产量、有效薯产量、有效薯率、产值、净收益以及产投比等相关指标建立的综合评价指数, 计算公式如下 [10]。

$$\alpha A_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_{\max}} \begin{pmatrix} i=1,2,3,4,5,6 \\ j=1,2,3,4,5,6,7,8 \end{pmatrix}$$

$$\text{或} = \frac{A_{\min}}{A_{ij}} \begin{pmatrix} i=1,2,3,4,5,6 \\ j=9,10 \end{pmatrix}$$

式中, αA_{ij} 表示第*i*行×第*j*列的数据标准化值($0 < \alpha A_{ij} \leq 1$), A_{ij} 为各处理*i*与评价指标*j*的实际值, A_{\max} 与 A_{\min} 为每个评价指标的最大值与最小值。

$$\beta B_{ij} = \frac{1}{\alpha A_{ij}} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\alpha A_{ij} - \alpha A_{ij})^2}$$

$$\begin{pmatrix} i=1,2,3,4,5,6 \\ j=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \end{pmatrix}$$

式中, βB_{ij} 为标准化系数, *m*不同处理*i*或评价指标*j*的最大数。

$$\text{Index} = \sum_{j=1}^m \left(\alpha A_{ij} \times \frac{\beta B_{ij}}{\sum_{j=1}^m \beta B_{ij}} \right)$$

$$\begin{pmatrix} i=1,2,3,4,5,6 \\ j=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \end{pmatrix}$$

式中, Index为不同处理的综合评价指数, 该指数的数值越大说明该处理的表现最好。

1.4 统计分析

采用Excel 2016软件整理数据和制作图表, 使用SPSS 19.0软件进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同栽培基质与种植密度对马铃薯原原种农艺性状的影响

由表1可以看出, 不同栽培基质对株高、茎粗、叶片SPAD值及叶面积指数影响显著, 对马铃薯脱毒苗成活率影响不显著; 种植密度对马铃薯脱毒苗成活率、株高、茎粗、叶片SPAD值及叶面积指数影响显著; 栽培基质与密度的互作效应对马铃薯脱毒苗的株高影响显著, 其他农艺性状互作效应不显著。同一种植密度下, A₃处理提高了脱毒苗株高、叶片SPAD值及叶面积指数, 与A₁、

A₂处理相比, 平均株高显著提高10.1%、7.6% ($P < 0.05$), 平均叶面积指数显著提高17.6%、12.6% ($P < 0.05$); 平均叶片SPAD值提高5.4%、4.8%。同一栽培基质下, 不同种植密度脱毒苗移栽成活率差异不显著。株高均以M₁处理最高, 分别较M₂、M₃处理平均增加2.4%、6.8%。在A₁、A₂处理下, 茎粗均以M₂处理最高; A₃处理下M₁、M₂处理均最高, 为5.36 mm。叶片SPAD值随种植密度增大呈先升高后降低趋势, 均以M₂处理最高, 平均叶片SPAD值分别较M₁、M₃处理提高4.5%、7.2%。在A₁、A₃处理下, 叶面积指数均以M₂处理最高; A₂处理下以M₂、M₃处理均最高。A₃M₂处理脱毒苗移栽成活率、叶片SPAD值、叶面积指数均最高, 成活率较其他处理提高0.10~1.20个百分点, 叶片SPAD值、叶面积指数分别提高2.0%~12.7%、5.6%~31.0%。以上结果说明, A₃M₂处理可有效提高脱毒苗移栽成活率、株高、茎粗、叶绿素含量及叶面积指数, 具有更适宜的栽培条件优势。

2.2 不同栽培基质与种植密度对马铃薯原原种产量特征的影响

不同栽培基质及种植密度对马铃薯原原种产量、有效薯产量、有效薯率均影响显著, 二者互

作效应不显著(表2)。同一种植密度下, A₃处理提高了马铃薯原原种产量、有效薯产量及有效薯率, 与A₁、A₂处理相比, 平均原原种产量分别提高11.0%、3.4%; 平均有效薯产量分别显著提高14.1%、4.8% ($P < 0.05$); 平均有效薯率分别提高2.2、1.1个百分点。A₂处理原原种产量、有效薯率产量均显著高于A₁处理 ($P < 0.05$); 有效薯率高于A₁处理, 差异不显著 ($P > 0.05$)。同一栽培基质下, 马铃薯原原种产量随种植密度提高显著增加。其中, 马铃薯原原种产量以M₃处理最高, 平均原原种产量分别较M₁、M₂处理增加23.3%、5.9%; M₂处理较M₁处理增加16.4%。有效薯产量随种植密度提高呈先增加后降低的趋势, 以M₂处理最高, 平均有效薯产量分别较M₁、M₃处理提高了13.6%、6.9%; M₃处理较M₁处理提高了6.3%。有效薯率随密度增大呈降低趋势, M₃处理分别较M₁、M₂处理降低了11.5、9.5个百分点。与A₁M₁、A₂M₁处理相比, A₃M₂处理马铃薯原原种产量分别显著提高29.9%、20.3% ($P < 0.05$); 有效薯产量分别显著提高29.6%、19.3% ($P < 0.05$); 有效薯率分别减少0.2%、0.8%, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。可以看出, 随着种植密度的增加, A₁、A₂

表1 不同栽培基质与种植密度对马铃薯原原种农艺性状的影响^①

处理	成活率 /%	株高 /cm	茎粗 /mm	叶片SPAD值	叶面积指数 (LAI)
A ₁ M ₁	98.70 cd	56.99 bc	5.17 bc	31.73 cde	0.29 f
A ₁ M ₂	98.50 cd	53.84 e	5.24 abc	32.85 abc	0.32 cd
A ₁ M ₃	98.30 d	51.74 f	4.81 d	30.52 e	0.30 ef
A ₂ M ₁	98.80 bed	56.49 cd	5.22 abc	30.88 de	0.31 de
A ₂ M ₂	99.40 ab	55.92 d	5.38 a	33.44 ab	0.32 cd
A ₂ M ₃	99.10 abc	53.85 e	4.99 cd	31.29 de	0.32 de
A ₃ M ₁	99.00 abc	60.85 a	5.36 a	33.71 a	0.33 c
A ₃ M ₂	99.50 a	60.41 a	5.36 a	34.39 a	0.38 a
A ₃ M ₃	99.10 abc	57.66 c	5.25 abc	32.11 bed	0.36 b
显著性 (P 值)					
种植密度 (M)	0.0044 **	0.0471 *	0.0426 *	0.0056 **	0.0021 **
栽培基质 (A)	0.5268 NS	0.0038 **	0.0076 **	0.0446 *	0.0006 **
种植密度×栽培基质 (M×A)	0.4110 NS	0.0023 **	0.2326 NS	0.4458 NS	0.5611 NS

①同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), *表示差异显著 ($P < 0.05$), **表示差异极显著 ($P < 0.01$), NS表示差异不显著, 下同。

处理并不能发挥脱毒苗产量特性, 而 A₃M₂ 处理具有较好的产量优势。

表2 不同基质类型与密度对马铃薯原原种产量特征的影响

处理	原原种产量 /(粒/m ²)	有效薯产量 /(粒/m ²)	有效薯率 /%
A ₁ M ₁	438.5 g	360.9 e	82.3 bc
A ₁ M ₂	510.7 e	411.6 c	80.6 c
A ₁ M ₃	546.9 d	385.0 d	70.4 d
A ₂ M ₁	473.6 f	392.1 d	82.8 bc
A ₂ M ₂	551.2 cd	448.1 b	81.3 c
A ₂ M ₃	580.6 b	419.8 c	72.3 d
A ₃ M ₁	489.8 f	415.8 c	84.9 a
A ₃ M ₂	569.8 bc	467.8 a	82.1 bc
A ₃ M ₃	600.7 a	437.3 b	72.8 d
显著性 (P值)			
种植密度 (M)	**	**	**
栽培基质 (A)	**	**	**
种植密度×栽培基质(M×A)	NS	NS	NS

2.3 不同栽培基质与种植密度对马铃薯原原种经济效益的影响

由表3可以看出, 同一种植密度下, A₃处理提高了马铃薯原原种的产值、净收益, 与A₁、A₂处理相比, 产值平均提高13.2%、4.4%, 平均净收益提高46.1%、3.5%。同一栽培基质下, 马铃薯原原种产值、净收益和产投比均随种植密度增

加呈先增加后降低趋势, 均以M₂处理最高。与M₁、M₃处理相比, M₂处理平均产值分别提高14.4%、2.9%; 平均净收益分别提高23.4%、17.9%; 平均产投比分别提高5.8%、10.3%。总体来说, 产值和净收益均以A₃M₂处理最高, 其生产成本为102.5元/m², 产值和净收益则分别为197.3、94.8元/m², 较其他处理提高3.1%~29.7%和2.9%~82.0%; 产投比以A₂M₂处理最高, 为1.94, 较其他处理提高1.0%~31.1%; 生产成本以A₁M₃处理最高, 为115.0元/m², 净收益最低, 为55.2元/m²。A₃M₂处理虽提高了种苗费、基质材料费, 但因产量优势具有较高产值和产投比, 经济效益显著。

2.4 不同组合的可持续性分析

综合马铃薯原原种株高、茎粗、叶片SPAD值、叶面积指数、产量、有效薯产量、有效薯率、产值、净收益以及产投比等10个指标, 对不同栽培基质与种植密度下马铃薯原原种的可持续性进行评价。从表4可以看出, 不同处理的可持续性具有较大差异, 以A₃M₂处理的可持续评价指数最高, 为0.87, 较其他处理提高2.1%~42.6%, 其中与A₂M₂处理差异不显著, 显著高于其余处理 (P<0.05); A₂M₂处理较高, 为0.85, 较其他处理显著提高8.97%~39.34% (P<0.05)。综上所述, A₃M₂处理具有较好的可持续性, 可作为干旱半干旱区提高马铃薯原原种增产增收的主要

表3 不同栽培基质与种植密度对马铃薯原原种经济效益的影响^①

处理	成本投入/(元/m ²)				产值 /(元/m ²)	净收益 /(元/m ²)	产投比
	种苗投入	基质材料费	人工、农资投入	总投入			
A ₁ M ₁	30.0	20.0	50.0	100.0	152.1 e	52.1 e	1.52 d
A ₁ M ₂	37.5	20.0	50.0	107.5	174.6 bcd	67.1 de	1.62 cd
A ₁ M ₃	45.0	20.0	50.0	115.0	170.2 cd	55.2 e	1.48 d
A ₂ M ₁	30.0	10.0	50.0	90.0	165.0 de	75.0 cd	1.83 b
A ₂ M ₂	37.5	10.0	50.0	97.5	189.6 ab	92.1 a	1.94 a
A ₂ M ₃	45.0	10.0	50.0	105.0	184.0 bc	79.0 bcd	1.75 c
A ₃ M ₁	30.0	15.0	50.0	95.0	173.7 bcd	78.7 bcd	1.83 b
A ₃ M ₂	37.5	15.0	50.0	102.5	197.3 a	94.8 a	1.92 a
A ₃ M ₃	45.0	15.0	50.0	110.0	191.3 ab	81.3 bcd	1.74 c

①脱毒苗价格0.15元/株, 马铃薯原原种>1g按0.4元/粒, <1g按0.1元/粒。

表4 不同栽培基质与种植密度下马铃薯原原种的可持续性分析

处理	株高	茎粗	叶片SPAD值	叶面积指数	产量	有效薯产量	有效薯率	产值	净收益	产投比	可持续评价指数
A ₁ M ₁	0.048	0.034	0.036	0.004	0.073	0.060	0.065	0.060	0.107	0.125	0.61 d
A ₁ M ₂	0.045	0.034	0.037	0.004	0.086	0.068	0.063	0.070	0.139	0.150	0.70 c
A ₁ M ₃	0.043	0.031	0.034	0.004	0.092	0.064	0.055	0.068	0.114	0.114	0.62 d
A ₂ M ₁	0.047	0.034	0.035	0.004	0.079	0.065	0.065	0.066	0.156	0.201	0.75 b
A ₂ M ₂	0.047	0.035	0.038	0.004	0.093	0.075	0.064	0.076	0.193	0.229	0.85 a
A ₂ M ₃	0.045	0.033	0.035	0.004	0.098	0.070	0.056	0.074	0.165	0.182	0.76 b
A ₃ M ₁	0.051	0.035	0.038	0.004	0.082	0.069	0.067	0.070	0.164	0.200	0.78 b
A ₃ M ₂	0.051	0.036	0.039	0.004	0.096	0.078	0.065	0.079	0.199	0.224	0.87 a
A ₃ M ₃	0.048	0.035	0.036	0.004	0.102	0.073	0.057	0.077	0.170	0.178	0.78 b

生产技术。

3 讨论与结论

优质的脱毒种薯是马铃薯产业高质量发展的重要保障。无土栽培脱毒苗繁育技术已成为保障种薯质量的核心手段^[11]，而进一步优化农艺措施，改善脱毒苗生长微环境，增强基质承载潜力与农艺调控措施的吻合度^[3]，是提高马铃薯脱毒种薯的重要途径。蛭石、珍珠岩和椰糠等栽培基质能够降低土壤自身对脱毒苗的感染风险^[12]，而且生产的脱毒种薯能够有效克服马铃薯种性退化问题。马铃薯生产中采用单一栽培基质的弊端日趋明显，随着使用茬数的增加，不仅造成基质肥力下降影响产量，还会影响基质透气和保水性，增加晚疫病风险。椰糠作为环保型栽培基质广泛应用于马铃薯原原种生产，但椰糠本身不含养分，需定期施肥补充营养以维持植株叶片光合作用。祁驰恒等^[4]研究发现，河沙：草炭土按体积比3：1基质配比下，马铃薯脱毒苗具有较高的叶绿素含量及叶面积指数，结合300株/m²种植密度，有效薯率能够达到93.57%。林金秀等^[13]研究发现，蛭石、珍珠岩等量配比能改善根系，提高马铃薯脱毒苗的移栽成活率及产量，这与本研究结果一致。本研究发现，蛭石+椰糠（体积比为1：1）处理较蛭石、椰糠处理显著提高了马铃薯脱毒苗农艺性状及产量性状。分析其原因，一方面是该复合基质将二者优势结合后具有良好的保水保肥能力，可满足脱毒苗前期营养生长；另一方面是增强了基质透气性，可促进脱毒苗生殖生长，加

速块茎形成，促进原原种增产。

优化作物群体结构，协调植株个体与群体间的关系，是马铃薯增产的另一要素。研究表明，脱毒苗移栽密度是影响马铃薯种薯繁育的首要因素^[14]。适当降低种植密度，可扩大苗间距、增强透气性、减少病虫害，进而提高脱毒苗成活率^[15]；但密度过低也会导致单位面积苗数减少、叶面积下降，群体效应减弱，最终制约产量形成^[16]。本研究结果与此一致，在种植密度为200株/m²时，基质覆盖率低，脱毒苗生殖生长过程中原原种易突破上层覆盖基质，受到阳光照射后致使种薯生长抑制进而降低产量。本研究发现，种植密度对脱毒苗成活率无显著影响，可能是因为该时期脱毒苗个体弱小，种间竞争对脱毒苗成活率影响较小，个体差异和光热等栽培环境成为影响成活率的主要因素。另有研究表明，适当增加种植密度、提高单位面积株数，有助于群体原原种产量达到最大^[7,14]。本研究中，基质为蛭石+椰糠（体积比为1：1）时，种植密度为250株/m²处理脱毒苗移栽成活率、叶片SPAD值、叶面积指数均最高，成活率较其他处理提高0.1~1.2个百分点，叶片SPAD值、叶面积指数分别提高2.0%~12.7%、5.6%~31.0%；较种植密度为200、300株/m²处理马铃薯原原种产量、有效薯产量分别提高了20.3%~29.9%、19.3%~29.6%。主要原因是该密度下具有最优的叶面积指数与光照环境，同时蛭石+椰糠（体积比为1：1）处理具有较优的水肥特性，脱毒苗群体光合速率达到最佳，单株生产力提高。然

而, 当种植密度提高至 300 株/m²时, 马铃薯原原种产量显著下降, 可能是因为密度过大导致脱毒苗冠层之间相互遮蔽, 光环境封闭, 光合能力下降导致干物质累积与分配受阻, 从而影响产量。

就经济效益而言, 蛭石处理和增加种植密度分别提高了材料费、种苗费进而增加了生产成本, 但由于不同处理下原原种产值不同, 导致经济效益差异显著。当基质为蛭石时, 种植密度为 300 株/m²的处理生产成本最高, 为 115.0 元/m²; 净收益最低, 为 55.2 元/m²; 而蛭石+椰糠 (体积比为 1:1) 基质配合种植密度为 250 株/m²的处理, 生产成本为 102.5 元/m², 净收益则达 94.8 元/m², 为各处理中最高, 该处理虽在种苗费、基质材料费方面投入较高, 但因产量优势可抵消生产成本高的负效应, 进而提高了产投比。基于经济、社会、生态等多角度可持续性评价是提高某一技术措施的最终目标, 但其存在单一且侧重点不同等不足^[10,17]。因此本研究基于株高、茎粗、叶片 SPAD 值、叶面积指数、产量、有效薯产量、有效薯率、产值、净收益以及产投比等相关指标建立了综合评价指数。结果表明, 蛭石与椰糠按体积比 1:1 配制的基质, 配合种植密度 250 株/m²的处理, 综合评价指数最高, 可以减弱因使用蛭石基质及种植增密导致成本增加对系统经济效益的负面影响, 进而提高了该处理的经济效益和产投比。

综上所述, 蛭石+椰糠 (体积比为 1:1) 结合种植密度为 250 株/m²的处理提高了脱毒苗株高、茎粗、叶片 SPAD 值和叶面积指数, 进而提高了原原种产量和产投比, 其资源利用高、产量以及经济效益表现优, 具有较好的可持续性, 可作为提高铃薯原原种增产增收的主要生产模式。

参考文献:

- [1] 马菊花, 黄彩霞, 李亚珍, 等. 秸秆覆盖量与覆盖方式对马铃薯耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42 (3): 57-64.
- [2] 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.
- [3] 范奕, 李亚杰, 韩微仁, 等. 西北旱作区党参秸秆基质对马铃薯原原种产量和经济效益的影响[J]. 旱地区农业研究, 2024, 42 (4): 199-209.
- [4] 祁驰恒, 曾钰婷, 许娟妮, 等. 栽培基质与密度对马铃薯脱毒原原种繁育的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55 (3): 69-74.
- [5] 胡洪涛, 朱志刚, 周荣华, 等. 不同处理对蛭石栽培的微型薯疮痂病防控效果及其微生态效应分析[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40 (4): 72-79.
- [6] 张颖, 牟森, 张金梅, 等. 不同配比菇渣基质对黄瓜产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2019 (11): 1-5.
- [7] 焦智辉, 陈桂平, 范虹, 等. 绿洲灌区密植减量施氮玉米的水分利用特征[J]. 中国农业科学, 2023, 56 (16): 3088-3099.
- [8] 张展军, 杨宏伟, 樊志龙, 等. 绿洲灌区免耕一膜两年用玉米密植的水分承载潜力[J]. 中国农业科学, 2021, 54 (16): 3406-3416.
- [9] 高秋燕, 陈亮, 刘斌. 景电灌区保水剂施用量对甜瓜产量及水分利用效率的影响[J]. 寒旱农业科学, 2025, 4 (4): 326-330.
- [10] 苟志文, 殷文, 柴强, 等. 干旱灌区小麦间作玉米麦后复种绿肥的可持续性分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55 (7): 1319-1331.
- [11] 冯洁, 曹琳琳, 王越, 等. 无糖组织培养技术在马铃薯种苗快繁中的应用[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38 (6): 62-69.
- [12] 马全会, 张娟, 刘义飞, 等. 河沙、甘草渣混配基质理化性状及其对草莓生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (21): 185-188.
- [13] 林金秀, 吴玥琳, 凌永胜, 等. 马铃薯原原种生产中基质、密度和施肥因子的优化[J]. 福建农业学报, 2017, 32 (12): 1291-1297.
- [14] 梁淑敏, 李燕山, 杨琼芬, 等. 4个栽培密度对6个马铃薯基因型微型薯繁育种薯的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30 (11): 2454-2460.
- [15] 饶莉萍, 邹雪, 丁凡, 等. 马铃薯试管苗秋季种植密度对结薯及质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51 (15): 34-38.
- [16] 凌永胜, 沈清景, 叶贻勋, 等. 加工型马铃薯原原种扩繁的种植密度研究[J]. 福建农业学报, 2004 (1): 24-27.
- [17] 王上, 李康利, 聂江文, 等. 华北平原春绿豆-夏玉米种植模式经济效益和碳足迹评价[J]. 中国生态农业学报 (中英文), 2020, 28 (6): 910-919.

Sustainable Evaluation of Potato Original Seeds Based on Cultivation Substrate and Planting Density

ZHANG Zengqiang¹, JIAO Zhihui³, ZHANG Haiqiang², WANG Huankai², WANG Yanna^{4,5},
ZHANG Yanlan^{5,6}, LI Yuanzhi⁵

(1. Tongwei County Rural Cooperative Economic Operation Service Station, Tongwei Gansu 743300, China; 2. Seed Service Station in Tongwei County, Tongwei Gansu 743300, China; 3. Tongwei County Agriculture and Rural Affairs Bureau, Tongwei Gansu 743300, China; 4. Agricultural Comprehensive Service Centre of Sizichuan Township People's Government in Tongwei County, Tongwei Gansu 743300, China; 5. Xinjing Township People's Government in Tongwei County, Tongwei Gansu 743300, China; 6. Gansu Hengfeng Modern Agricultural Development Co., Ltd., Tongwei Gansu 743300, China)

Abstract: To enhance the cost-effectiveness of virus-free seed potato production, this study aimed to address the current issues of single cultivation substrate for potato minitubers, low resource utilization rate and low input-output ratio. Effects of different substrates and increased planting densities on the agronomic and yield traits of virus-free potato seedlings and economic benefits were investigated, and the sustainability of different cultivation models was evaluated. Using virus-free test-tube seedlings of Longshu 10 as the material, 3 cultivation substrates, i.e., vermiculite, coconut coir, and vermiculite + coconut coir (volume ratio, 1:1), were set as the main plots, and 3 planting densities (200, 250, and 300 plants/m²) were set as the subplots. Effects of cultivation substrate, planting density, and their interactions on the agronomic and yield traits of virus-free potato seedlings and economic benefits were studied, and the sustainability of different cultivation models was evaluated. Results showed that the vermiculite + coconut coir (volume ratio, 1:1) treatment improved the agronomic and yield traits of virus-free potato seedlings. Among them, the 250 plants/m² treatment had the highest survival rate of virus-free seedlings, SPAD value of leaves, and leaf area index. The survival rate was 0.1 to 1.2 percentage points higher than that of other treatments, and the SPAD value of leaves and leaf area index were increased by 2.0% to 12.7% and 5.6% to 31.0%, respectively. The yield of potato minitubers and effective tuber yield were increased by 20.3% to 29.9% and 19.3% to 29.6%, respectively, compared with the 200 and 300 plants/m² treatments. Under the vermiculite substrate, the 300 plants/m² planting density treatment had the highest production cost of 115 Yuan/m² and the lowest net income of 55.2 Yuan/m². However, the treatment with vermiculite + coconut coir (volume ratio, 1:1) substrate and 250 plants/m² planting density had a production cost of 102.5 Yuan/m² and a net income of 94.8 Yuan/m². Based on the comprehensive evaluation of 10 indicators, the treatment with vermiculite + coconut coir (volume ratio, 1:1) substrate and 250 plants/m² planting density also had a relatively high sustainability evaluation index. Therefore, the cultivation model with vermiculite + coconut coir (volume ratio, 1:1) substrate and 250 plants/m² density can increase the yield and economic benefits of potato minitubers compared with the existing cultivation model and thus has higher sustainability. It can be used as a main production technology to increase the yield and income of potato minitubers.

Key words: Potato; Original seed; Cultivation substrate; Planting density; Economic benefit; Sustainable evaluation