

王雅宁, 桑乐飞, 田再民, 等. 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种生长和产量的影响[J]. 山西农业科学, 2026, 54(2): 72-80.

WANG Y N, SANG L F, TIAN Z M, et al. Effects of different planting density and fertilizer application rate on growth and yield of potato original seeds[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(2): 72-80.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.02.09

不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种 生长和产量的影响

王雅宁¹, 桑乐飞¹, 田再民¹, 韩红艳², 张宏宇¹, 岳敏杰¹

(1. 河北北方学院, 河北 张家口 075000; 2. 中化现代农业(内蒙古)有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000)

摘要: 为有效改善马铃薯原原种的生长状况并提高其产量, 以冀张薯 12 号脱毒试管苗为试验材料, 采用二因素随机区组设计, 设置 237(D1)、267(D2)、297(D3)、327 万株/hm²(D4) 4 个种植密度和 900(F1)、1 200(F2)、1 500 kg/hm²(F3) 3 个施肥水平, 共 12 个处理, 研究不同种植密度和施肥量对冀张薯 12 号马铃薯原原种块茎膨大期株高、主茎粗、叶面积、SPAD 值、净光合速率、产量、商品薯率的影响。结果显示, 相同种植密度下, 随着施肥量的增加, 马铃薯原原种的株高、主茎粗、叶面积、SPAD 值、净光合速率均总体呈现出先增加后降低的趋势。在相同施肥量下, 随着种植密度的增加, 马铃薯原原种的株高、主茎粗、SPAD 值和净光合速率呈现先增加后降低的趋势; 叶面积呈现出减少—增加—减少的趋势。当种植密度为 297 万株/hm²、施肥量为 1 200 kg/hm² 时, 马铃薯原原种的株高、主茎粗、叶面积、SPAD 值、净光合速率均最高, 其中, 株高、主茎粗分别为 23.15、0.40 cm, 叶面积、SPAD 值、净光合速率分别为 23.50 cm²、45.00 和 20.31 μmol/(m²·s); 大薯数、中薯数、产量、商品薯率均最高, 大薯数、中薯数分别为 0.11、0.91 粒/株, 产量、商品薯率分别为 416.74 万粒/hm² 和 72.1%。因此, 种植密度为 297 万株/hm²、施肥量为 1 200 kg/hm² 是马铃薯原原种最佳种植方式。

关键词: 马铃薯; 原原种; 种植密度; 施肥量; 产量; 株高; 主茎粗; 净光合速率

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2026)02-0072-09

Effects of Different Planting Density and Fertilizer Application Rate on Growth and Yield of Potato Original Seeds

WANG Yaning¹, SANG Lefei¹, TIAN Zaimin¹, HAN Hongyan²,
ZHANG Hongyu¹, YUE Minjie¹

(1. Hebei North University, Zhangjiakou, 075000, China;

2. Sinochem Modern Agriculture (Inner Mongolia) Co., Ltd., Hohhot 010000, China)

Abstract: To effectively improve the growth and increase the yield of potato original seeds, in this study, an experiment was conducted using virus-free test tube plantlets of Jizhangshu 12. A two-factor randomized block design was adopted with four planting densities: 237(D1), 267(D2), 297(D3), and 3.27 million plants/ha(D4), and three fertilization levels: 900(F1), 1 200(F2), and 1 500 kg/ha(F3), resulting in 12 treatments in total, and the effects of different planting densities and fertilizer application rates on plant height, main stem diameter, leaf area, SPAD value, net photosynthetic rate, yield, and marketable tuber rate of Jizhangshu 12 potato original seed at the tuber bulking stage were studied. The results showed that under the same planting density, with the increase in fertilizer application rate, the plant height, main stem diameter, leaf area, SPAD value, and net photosynthetic rate of the potato original seed all exhibited an overall trend of first increasing and then decreasing. Under the same fertilizer application rate, with the increase in planting density, the plant height, main stem diameter, SPAD value,

收稿日期: 2025-02-19

基金项目: 河北北方学院博士基金(BSJJ202428); 河北北方学院校级课题(XJ2023019)

作者简介: 王雅宁, 在读硕士, 研究方向: 马铃薯种质资源遗传多样性分析, E-mail: 2523609606@qq.com

通信作者: 田再民, 副教授, 博士, 主要从事马铃薯栽培与育种研究, E-mail: nkxtzm@163.com

and net photosynthetic rate of potato original seed exhibited a trend of first increasing and then decreasing, the leaf area showed a trend of decrease-increase-decrease. When the planting density was 2.97 million plants/ha(D3) and the fertilizer application rate was 1 200 kg/ha(F2), the plant height, main stem diameter, leaf area, SPAD value, and net photosynthetic rate of the potato original seed were the highest, which were 23.15, 0.40 cm, and 23.50 cm², 45.00, 20.31 μmol/(m²·s), respectively. The number of large potatoes, medium potatoes, yield, and marketable tuber rate were all the highest, specifically 0.11, 0.91 seeds/plant, and 416.74 million seeds/ha, 72.1%, respectively. Therefore, the optimal planting method for potato original seeds was with a planting density of 2.97 million plants/ha and a fertilizer application rate of 1 200 kg/ha.

Keywords: potato; original seeds; planting density; fertilizer application rate; yield; plant height; main stem diameter; net photosynthetic rate

马铃薯是茄科茄属的1年生草本植物,其块茎可供食用,作为第四大粮食作物,仅次于玉米、小麦和水稻,对国家粮食安全有重要作用^[1]。马铃薯不仅是一种重要的粮食作物,还富含维生素C和多种微量元素,被称为“营养之王”。随着马铃薯主粮化战略的推进,种植面积逐渐扩大,种薯的需求量也随之逐渐增长。河北省是马铃薯的主产区之一,其中,张家口市凭借其高海拔形成的冷凉气候,为马铃薯的种植提供了有利条件^[2]。马铃薯主要依赖无性繁殖进行生产,容易被病毒侵染,进而导致品种退化、产量和品质下降,因此,普遍采用脱毒薯作为种薯^[3]。但是栽培密度和肥料选择不当限制了马铃薯原原种对区域光、热、水、肥料等资源的利用。如何优化密度、施肥等,以充分利用光、温、水、气、热资源,是实现马铃薯原原种高产的关键^[4]。

马铃薯原原种的产量受多种因素影响,其中,种植密度是一个重要的影响因素,已有研究发现,马铃薯原原种产量与密度呈现抛物线的关系^[5]。马铃薯产量是由基因型、生产环境和栽培管理措施共同决定的。为了高效繁殖马铃薯原原种,在栽培上主要通过增加群体密度来实现^[6-7]。陈永伟等^[8]在马铃薯原原种的研究中发现,随着种植密度的增加,脱毒马铃薯原原种单位面积收获种薯数逐渐增加,当种植密度为416万株/hm²时,原原种的产量最高,为586万粒/hm²,增产了近64%;肖旭峰等^[9]研究发现,在大西洋马铃薯原原种的生产上,适当调节种植密度可显著提高产量和节约生产成本,当种植密度为400万株/hm²时,产量最高,为107万粒/hm²。因此,制定合理的种植密度,可以获得较高的马铃薯原原种产量和经济效益。

肥料是另一个很重要的影响因素。肥料不仅影响马铃薯产量,还影响到马铃薯的质量。有研究表

明,氮肥的使用有助于提高马铃薯的光合作用,促进植株生长发育;施用钾肥能有效增加马铃薯产量;施用磷肥对于马铃薯的增产效果不明显^[10]。氮、磷、钾的合理配比施用不仅可以提高马铃薯原原种产量和品质,还能够减少农药的使用,提高马铃薯原原种的抗病性,减少病害发生,达到农业可持续发展的目的^[11]。在施肥对定西马铃薯产量的影响研究中也表明氮磷钾的施用对于马铃薯有增产作用,当施肥量N 270 kg/hm²、P 113 kg/hm²、K 75 kg/hm²时,马铃薯产量最高,为35.8 t/hm²,相较于不施肥增产32.6%。但当施肥量超过一定限度后,再增加施肥量对马铃薯产量的影响不显著,甚至有降低的趋势^[12]。因此,选择合适的施肥量对于提高马铃薯原原种的产量十分重要。

合理施氮量和种植密度是影响马铃薯产量的关键因素,通过调节种植密度和肥料施用量等农业栽培措施,可有效提高作物生育后期干物质的积累和向块茎的分配比例,进而提高产量^[13]。但是过度的增加密度和肥料施用量最终会导致马铃薯减产。在密度和肥料对青薯6号光合速率和产量的影响的研究中,发现过量的施加氮磷钾肥对马铃薯的光合作用具有抑制性,密度过高也会导致光合速率减小,当施肥量N 172.5 kg/hm²、P 112.125 kg/hm²、K 67.5 kg/hm²时,种植密度为6万株/hm²时,马铃薯的产量最高,为41.55 t/hm²;随着氮磷钾肥和密度的增加,马铃薯的光合作用逐渐降低,产量也随之降低^[14]。因此,选择合适的种植密度和施肥量,才可以显著改变马铃薯原原种的生长状况,进而提高产量。

目前,针对马铃薯原原种植密度和施肥的研究相对较少,因此,本研究以冀张薯12号脱毒试管苗为试验材料,设置4个种植密度和3个施肥水平,测定冀张薯12号马铃薯原原种在块茎膨大期的株高、主茎粗、叶面积、SPAD值、净光合速率、

产量和经济效益,研究不同种植密度和施肥量对冀张薯 12 号马铃薯原原种生长和产量的影响,旨在为马铃薯原原种高产栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

于张家口市张北县坝源薯业开发有限公司的试验基地进行,试验田周围加有防虫网(40 m×10 m)。

1.2 试验材料及前期处理

1.2.1 试验材料 冀张薯 12 号马铃薯试管苗由河北北方学院提供;镁立硼复合肥购自山东中天国际化肥出口有限公司。

1.2.2 前期处理 冀张薯 12 号采用 MS 培养基大量扩繁试管苗,苗龄 20 d、株高约 7 cm 时,进行移栽。移栽前 1~2 d 将组培瓶盖打开进行炼苗,将苗根部培养基清洗干净,根长保留约 1.5 cm,选取长

势相近脱毒试管苗,按照地上部分露出土面 2 cm 进行移栽。移栽后浇足水,在小区上方支起透光率 50% 的遮阳网,缓苗期过后将其取下。脱毒苗生长期间每隔 7 d 浇一次水,浇水视情况而定,保证基质湿润。

1.3 试验设计

以冀张薯 12 号脱毒试管苗为试验材料,将蛭石、椰糠按体积比为 2:1 混合作为栽培基质,采用随机区组设计,设置 237(D1)、267(D2)、297(D3)、327(D4) 万株/hm² 等 4 个种植密度,900(F1)、1 200(F2)、1 500(F3) kg/hm² 等 3 个施肥处理,12 个处理,3 次重复,共 36 个小区,小区面积 11 m² (4.4 m×2.5 m)。肥料为镁立硼复合肥(N:P:K=15:15:15),在播前撒施复合肥,旋耕入土,后在块茎形成期和膨大期用点播器在 2 株马铃薯之间进行点播追肥,具体处理见表 1。

表 1 不同种植密度和肥料用量

Tab.1 Different planting densities and fertilizer dosages

处理 Treatment	密度/(万株/hm ²) Density	基肥/(kg/hm ²) Base fertilizer	第 1 次追肥/(kg/hm ²) First top dressing	第 2 次追肥/(kg/hm ²) Second top dressing
D1F1	237	450	300	150
D1F2		600	450	150
D1F3		750	600	150
D2F1	267	450	300	150
D2F2		600	450	150
D2F3		750	600	150
D3F1	297	450	300	150
D3F2		600	450	150
D3F3		750	600	150
D4F1	327	450	300	150
D4F2		600	450	150
D4F3		750	600	150

1.4 测定指标及方法

1.4.1 形态指标测定 在块茎膨大期,用直尺测量株高^[15];在块茎膨大期,测量植株地上部最粗主茎距地面 5~10 cm 处的横径为主茎粗^[15];在块茎膨大期,采用方格法,将叶片的轮廓描在标准计算纸上(最小方格纸的规格为 1 mm×1 mm),统计叶轮廓占的小方格数(达到或超过半格的算 1 格,不足半格的舍去)即得到叶面积^[15]。

1.4.2 光合指标测定 在块茎膨大期,于晴天 9:00—11:00,采用叶绿素测定仪(SPAD-502)测定植株倒四叶的顶小叶的 SPAD 值^[15];在块茎膨

大期,于 10:00—12:00 和 14:00—16:00,采用 LS-1020 光合作用测定仪测定植株的第 4 片叶片的净光合速率^[4]。

1.4.3 产量及商品薯率测定 在收获时,将各个处理的马铃薯原原种的块茎进行计数,并把这些块茎分为 >20 g(大薯)、>5 g≤20 g(中薯)、>3 g≤5 g(小薯)共 3 个等级,并分别计算产量^[16]。商品薯率为大、中薯占原原种总数中的比例。

1.5 统计分析

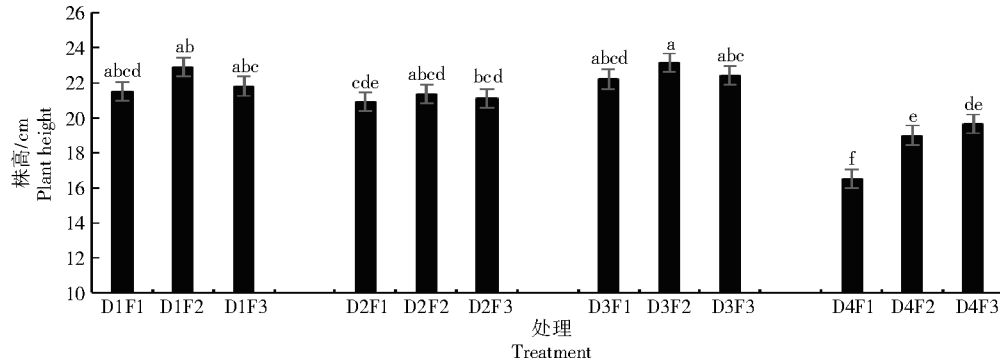
采用 Microsoft Excel 进行数据处理和作图,采用 SPSS 27.0 软件进行方差和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种农艺性状的影响

2.1.1 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种株高的影响 由图1可知,相同种植密度下,马铃薯原原种的株高随着施肥量的增加总体呈现出先增加后降低的趋势。其中,种植密度为327万株/hm²、

施肥量为900 kg/hm²(D4F1)时,马铃薯原原种的株高显著低于D4F2、D4F3处理($P<0.05$),其他3个种植密度下各处理的株高均无显著差异。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,马铃薯原原种的株高呈现出降低—增加—降低的趋势。其中,D4F1、D4F2、D4F3处理的株高显著低于其他处理($P<0.05$)。其中,D3F2处理的株高最高,为23.15 cm。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下图同

Different lowercase letters indicated significant differences among the different treatments ($P<0.05$). The same as below

图1 种植密度和施肥量对马铃薯原原种株高的影响

Fig.1 Effects of planting density and fertilizer application rate on the plant height of the potato original seed

2.1.2 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种主茎粗的影响 从图2可以看出,相同种植密度下,随着施肥量的增加,D1、D2种植密度下的主茎粗呈先增加后降低的趋势,其中,D1F2、D2F2处理的主茎粗均显著高于其他处理($P<0.05$);D3种植密度下主茎粗呈现先增加后降低的趋势,且各处理间无显著差异;D4种植密度下的主茎粗呈现逐

渐降低的趋势,其中,D4F3处理的主茎粗显著低于D4F1、D4F2处理($P<0.05$)。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,各处理均呈现先增加后降低趋势,D1F2、D2F2、D3F2处理下的主茎粗无显著差异,但显著高于其他处理($P<0.05$)。D3F2处理的主茎粗最高,为0.4 cm。

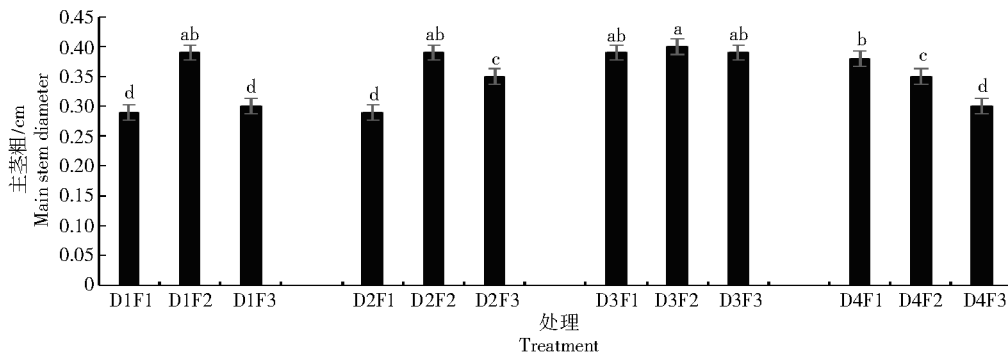


图2 种植密度和施肥量对马铃薯原原种主茎粗的影响

Fig.2 Effectes of planting density and fertilizer application rate on the main stem diameter of the potato original seed

2.1.3 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种叶面积的影响 由图3可知,相同种植密度下,随着

施肥量的增加,D1、D3、D4种植密度下的叶面积均呈现出先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);D2种植密度下的叶面积呈现逐渐增加的趋势。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,F1、F2施肥量下的叶面积均呈现出降

低—增加—降低的趋势;F3施肥量下的叶面积呈现先增加后降低的趋势,D3F3、D4F3处理的叶面积均显著高于D1F3、D2F3处理($P<0.05$)。其中,D3F2处理的叶面积显著高于其他处理($P<0.05$),为 23.5 cm^2 。

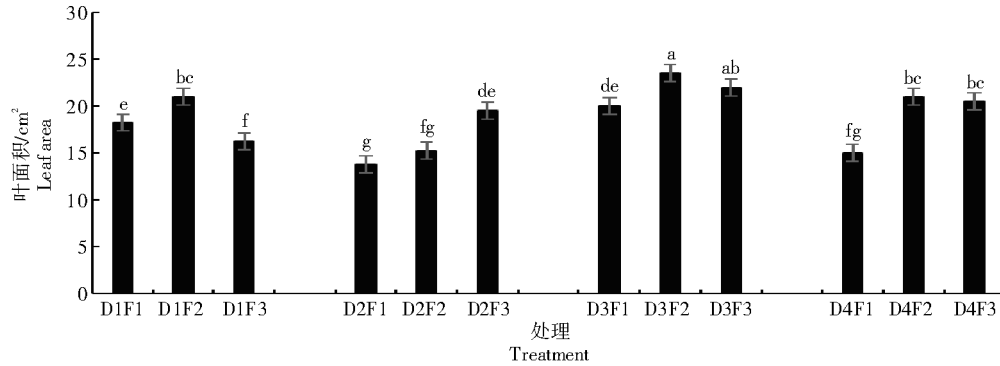


图3 种植密度和施肥量对马铃薯原原种叶面积的影响

Fig.3 Effects of planting density and fertilizer application rate on the leaf area of the potato original seed

2.2 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种光合指标的影响

2.2.1 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种SPAD值的影响 由图4可知,相同种植密度下,随着施肥量的增加,D1种植密度下的马铃薯原原种的SPAD值均呈现出逐渐增加的趋势,且各处

理间无显著差异;D2、D3、D4种植密度下的SPAD值均呈现出先增加后降低的趋势,且各处理间无显著差异。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,马铃薯原原种的SPAD值先增加后降低,各处理无显著差异。其中,D3F2处理下的SPAD值最大,为43.1。

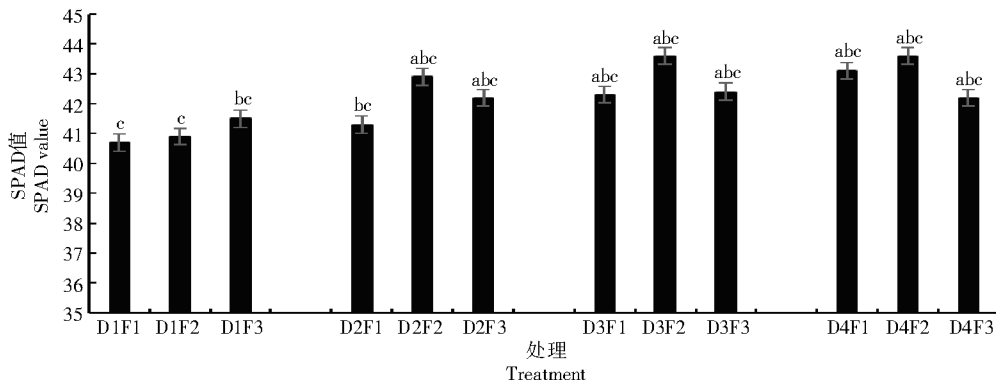


图4 种植密度和施肥量对马铃薯原原种SPAD值的影响

Fig.4 Effects of planting density and fertilizer application rate on the SPAD value of the potato original seed

2.2.2 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种净光合速率的影响 从图5可以看出,相同种植密度下,随着施肥量的增加,D1、D3、D4种植密度下的净光合速率均呈现出先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);D2种植密度下的净光合速率呈现出逐渐增加的趋势,且各处理间差异

显著($P<0.05$)。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,F1、F2、F3施肥量下,马铃薯原原种的净光合速率均呈现出先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$)。其中,D3F2处理的净光合速率显著高于其他处理($P<0.05$),为 $20.31\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

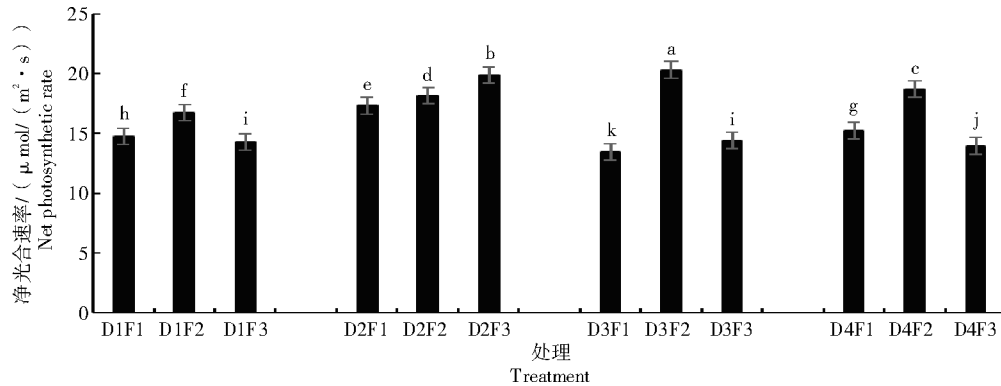


图5 种植密度和施肥量对马铃薯原原种净光合速率的影响

Fig.5 Effects of planting density and fertilizer application rate on the net photosynthetic rate of the potato original seed

2.3 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种产量及其构成要素的影响

由表2可知,相同种植密度下,随着施肥量的增加,D1密度下,大薯数呈现先降低后增加的趋势;中薯数和单株粒数均呈现逐渐降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);小薯数呈现先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$)。

表2 种植密度和施肥量对马铃薯原原种产量形成指标的影响

Tab.2 Effects planting density and fertilizer application rate on yield formation indicators of the potato original seed

处理 Treatment	大薯数 Lager potato number	中薯数 Medium potato number	小薯数 Mini potato numbers	单株粒数 Tuber number per plant
D1F1	0.12a	0.86c	0.51c	1.50a
D1F2	0.04g	0.84de	0.57a	1.45b
D1F3	0.08de	0.80f	0.54b	1.42c
D2F1	0.08de	0.83e	0.46d	1.37e
D2F2	0.10bc	0.88b	0.41e	1.39d
D2F3	0.09cd	0.85cd	0.50c	1.44b
D3F1	0.09cd	0.80f	0.38f	1.27f
D3F2	0.11ab	0.91a	0.38f	1.40d
D3F3	0.07ef	0.80f	0.33g	1.20h
D4F1	0.07ef	0.77g	0.41e	1.25g
D4F2	0.09cd	0.78g	0.38f	1.25g
D4F3	0.06f	0.78g	0.42e	1.26fg

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among the different treatments($P<0.05$). The same as below.

D2密度下,大薯数和中薯数均呈现先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);小薯数呈现先降低后增加的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);单株粒数呈现逐渐增加的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$)。D3密度下,大薯数、中薯数、单株粒数均呈现先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);小薯数呈现逐渐降低的趋势,其中,D3F3处理的小薯数显著低于其他处理($P<0.05$);D4密度下,大薯数呈现先增加后降低的趋势,其中,D4F3处理的大薯数显著高于其他处理($P<0.05$);中薯数和单株粒数均呈现逐渐增加的趋势,且各处理间差异不显著;小薯数呈现先降低后增加的趋势,其中,D4F2处理的小薯数显著低于其他处理($P<0.05$)。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,F1施肥量下,大薯数呈现降低—增加—降低的趋势,其中,D1F1处理的大薯数显著高于其他处理($P<0.05$);中薯数、小薯数和单株粒数逐渐降低,各处理间差异显著($P<0.05$)。F2施肥量下,大薯数和中薯数呈现先增加后降低的趋势,D3F2处理的大薯数和中薯数均显著高于其他处理($P<0.05$);小薯数和单株粒数整体均呈现出先降低后增加的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$);F3施肥量下,大薯数、中薯数和单株粒数呈现出先增加后降低的趋势,其中,D2F3处理的大薯数、中薯数和单株粒数均显著高于其他处理($P<0.05$);小薯数呈现先降低后增加的趋势,且各处理间差异显著($P<0.05$)。其中,D3F2处理下的大薯数、中薯数均最多,分别为0.11、0.91粒/株;D1F1处理下的单株粒数最多,为1.5粒/株;D1F2处理下,小薯数最多,

为 0.57 粒/株。

2.4 不同种植密度和施肥量对马铃薯原原种产量和商品薯率的影响

由表 3 可知,相同种植密度下,随着施肥量的增加,D1 种植密度下的产量逐渐降低,D2 和 D4 种植密度下的产量逐渐增加,D3 种植密度下的产量呈现先增加后降低的趋势;D1 种植密度下商品薯率呈现先降低后增加的趋势,D1F1 处理的商品薯率显著高于其他 2 个处理($P < 0.05$);D2、D4 种植密度下,商品薯率呈现出先增加后降低的趋势,其

中,D2F2、D2F4 处理的商品薯率均显著高于同密度下的其他施肥处理($P < 0.05$);D3 种植密度下的商品薯率呈现逐渐增加的趋势,且各处理间无显著差异。在施肥量相同的情况下,随着种植密度的增加,F1 施肥量下的产量逐渐增加,F2 和 F3 施肥量下的产量呈现先增加后降低的趋势;F1、F2、F3 施肥量下的商品薯率均呈现出先增加后降低的趋势,且各处理间差异显著($P < 0.05$)。其中,D3F2 处理下的商品薯率最高,为 72.1%。D3F2 处理的产量最高,为 416.74 万粒/hm²。

表 3 种植密度和施肥量对马铃薯原原种产量和商品薯率的影响

Tab.3 Effects of planting density and fertilizer application rate on the yield and marketable tuber rate of the potato original seed

处理 Treatment	产量/(万粒/hm ²) Yield	商品薯率/% Marketable tuber rate	处理 Treatment	产量/(万粒/hm ²) Yield	商品薯率/% Marketable tuber rate
D1F1	355.55h	66.20de	D3F1	376.22e	70.08bc
D1F2	343.42i	61.31f	D3F2	416.74a	72.12a
D1F3	335.57j	61.97f	D3F3	357.75h	71.86a
D2F1	365.20g	66.23de	D4F1	408.74c	67.20d
D2F2	370.43f	70.89ab	D4F2	409.30bc	69.12c
D2F3	383.66d	65.24e	D4F3	412.60b	66.98d

3 结论与讨论

种植密度与马铃薯植株及块茎的生长发育、块茎的大小密切相关。种植密度高低直接影响植株效率和养分吸收能力,从而影响马铃薯生长。已有研究发现,增加作物种植密度,可以提高叶面积指数,从而充分利用光照资源,提高光合效率和增加光合产物积累^[17]。在玉米的研究中也发现,通过适当的增加种植密度可以促进作物生长,提高作物产量^[18]。本研究发现,施肥量相同时,随着种植密度的增加,冀张薯 12 号马铃薯原原种的株高、主茎粗、叶面积等农艺性状均呈现先增加后降低趋势。并且增加种植密度,冀张薯 12 号马铃薯原原种的光合作用也随之增强,其 SPAD 值和净光合速率均呈现先增加后降低的趋势。当施肥量为 1 200 kg/hm²(F2)、种植密度为 297 万株/hm²(D3) 时,株高、主茎粗、叶面积、SPAD 值、净光合速率均最高,分别为 23.15、0.4 cm 和 23.5 cm²、43.6、20.31 μmol/(m²·s)。表明增加种植密度可以提高作物对光、水、热资源的利用效率,从而提高光合作用效率,最终导致作物产量提高。本研究还发现,在合理施肥条件下,随着种植密度的改变,马

铃薯原原种的农艺性状和光合作用会受到显著影响。王友生等^[19]研究发现,合理密植有助于马铃薯原原种光合产物的积累,增加薯质量。本研究发现,施肥量相同,增加种植密度,收获后的中薯数和大薯数明显增加,但小薯数却随着种植密度的增加而降低,这与梁淑敏等^[20]的研究结果一致。随着种植密度的增加,马铃薯原原种的产量和商品薯率也呈现出先增加后减少的趋势,这与郑顺林等^[21]研究结果一致,即马铃薯产量与种植密度呈抛物线关系,在适宜范围内随密度增加而提高。因此,在马铃薯生产中可以通过适当增加种植密度,增加马铃薯原原种的产量。

在马铃薯种植过程中,提高肥料利用率是降低成本的重要途径。合理的施肥有助于马铃薯的生长,同时还能减少肥料的浪费。已有研究发现,在低肥力土壤中实施科学施肥,能够提高肥料利用效率,促进马铃薯植株合理生长,从而提升块茎生产效率^[22]。本研究结果表明,种植密度相同时,随着施肥量的增加,冀张薯 12 号马铃薯原原种的株高、主茎粗、叶面积、SPAD 值、净光合速率均表现出先增加后降低的趋势,这与低肥力土壤能够实现肥料的高效利用的结论相一致。已有研究表

明,在合理的施肥条件下,马铃薯的产量随着施肥量的增加而增加,但是超过一定限度后再增加施肥量马铃薯的产量不再增加,甚至有降低的趋势^[23]。在本研究中,马铃薯原原种的产量随着施肥量的增加而逐渐增加,最大值为416.74万粒/hm²。大薯和中薯的数量随着施肥量的增加呈现出先增加后降低的趋势,表明高养分条件下可以显著提高单薯质量,这与邬春雨^[24]在旱作马铃薯上的研究结果一致。密度过大会增强个体对养分的竞争,导致叶片中的叶绿素含量降低,进而影响光合作用产物的合成与积累。而肥料效应则可以提高个体对养分的竞争,从而在块茎形成的重要生育期对密度进行补偿^[25-27]。同时种植密度的增大也意味着种植成本的增加。因此,在实际生产中应充分考虑密度与肥料的互作关系,针对不同密度实施适量施肥,这不仅是实现马铃薯原原种高产的关键,也是提高经济效益的重要途径。

本研究结果表明,随着种植密度和施肥量的增加,对冀张薯12号马铃薯原原种的农艺性状和光合作用产生了显著影响。株高、主茎粗、叶面积、SPAD值、净光合速率整体呈现出先增加后降低的趋势,种植密度为297万株/hm²(D3)、施肥量为1200 kg/hm²(F2)时,株高、主茎粗、叶面积、SPAD值、净光合速率均最大,分别为23.15、0.4 cm和23.5 cm²、43.6、20.31 μmol/(m²·s);合理增加种植密度和施肥量均能够增加马铃薯原原种薯质量。D3F2处理下,大薯数与中薯数分别为0.11、0.91粒/株,显著高于其他处理;同时,其产量和商品薯率也达到最高,分别为416.74万粒/hm²和72.1%。

参考文献:

- [1] 李秋琛. 水肥供应及光照对马铃薯微型薯生长发育的影响[D]. 银川:宁夏大学,2018.
LI Q C. Effects of water and fertilizer supply and light on the growth and development of potato mini-potato[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018.
- [2] 王哲,刘德超,翟宇. 河北省马铃薯产业发展研究[J]. 河北农业大学学报(社会科学版),2019,21(4):8-13.
WANG Z, LIU D C, ZHAI Y. The development of potato industry in Hebei province[J]. Journal of Hebei Agricultural University (Social Sciences), 2019, 21(4): 8-13.
- [3] 霍晓兰,孟全业,郝保平,等. 山西马铃薯养分管理现状及问题分析[J]. 山西农业科学,2016,44(7):1033-1036.
HUO X L, MENG Q Y, HAO B P, et al. Analysis of the status quo and problems of potato nutrient management in Shanxi[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(7): 1033-1036.
- [4] 柳燕兰,郭贤仕,张绪成,等. 密度和施肥对旱地马铃薯干物质积累、产量和水肥利用的影响[J]. 作物学报,2021,47(2):320-331.
LIU Y L, GUO X S, ZHANG X C, et al. Effects of planting density and fertilization on dry matter accumulation, yield and water-fertilizer utilization of dryland potato[J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(2): 320-331.
- [5] 于显枫,张绪成,方彦杰,等. 减氮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.
YU X F, ZHANG X C, FANG Y J, et al. Effects of top dressing with reduced nitrogen fertilizer and density enhancement on water use efficiency and growth of potatoes planted in mini-ditch on ridges with plastic mulching[J]. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(5): 764-776.
- [6] FARRAN I, MINGO-CASTEL A M. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals[J]. American Journal of Potato Research, 2006, 83(1):47-53.
- [7] ÇALIŞKAN M E, YAVUZ C, YAĞIZ A K, et al. Comparison of aeroponics and conventional potato mini *Tuber* production systems at different plant densities[J]. Potato Research, 2021, 64(1):41-53.
- [8] 陈永伟,沈振荣,王奇,等. 种植密度对脱毒马铃薯微型薯的影响研究[J]. 宁夏农林科技,2013,54(8):1-3.
CHEN Y W, SHEN Z R, WANG Q, et al. Effect of different planting densities on virus-free potato minitubers[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2013, 54(8): 1-3.
- [9] 肖旭峰. 马铃薯微型薯生产技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2005.
XIAO X F. Studies on the technology of minituber production [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2005.
- [10] 田再民,杨立军,冯琰,等. 不同施肥方式对马铃薯生长及产量的影响[J]. 西南农业学报,2013,26(4):1741-1743.
TIAN Z M, YANG L J, FENG Y, et al. Effects of different fertilization methods on growth and yield of potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(4): 1741-1743.
- [11] 胡新元,柳永强,谢奎忠,等. 旱区有机肥替代氮肥对多年连作土壤理化性质和马铃薯品质的影响[J]. 作物杂志,2023(4):159-164.
HU X Y, LIU Y Q, XIE K Z, et al. Effects of organic fertilizer replacing nitrogen fertilizer on soil physical chemistry properties and potato quality under continuous cropping in arid area [J]. Crops, 2023(4): 159-164.
- [12] 苏小娟,王平,刘淑英,等. 施肥对定西地区马铃薯养分吸收动态、产量和品质的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):86-91.
SU X J, WANG P, LIU S Y, et al. Effect of fertilization on the nutrient uptake dynamic, yield and quality of potato in Dingxi Region[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(1): 86-91.

- [13] 王月超,李传兴,代兴龙,等.栽培模式对冬小麦光能利用和产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(9):2707-2713.
WANG Y C, LI C X, DAI X L, et al. Effects of cultivation patterns on the radiation use and grain yield of winter wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2707-2713.
- [14] 田丰,张永成,张凤军,等.不同肥料和密度对马铃薯光合特性和产量的影响[J].西北农业学报,2010,19(6):95-98.
TIAN F, ZHANG Y C, ZHANG F J, et al. Effects of fertilizer and density on photosynthetic characteristics and yield of potato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(6): 95-98.
- [15] 苏晨晨.不同栽培措施对马铃薯微型薯生长及产量的影响[D].张家口:河北北方学院,2023.
SU C C. Effects of different cultivation measures on the growth and yield of potato mini-potato[D]. Zhangjiakou: Hebei North University, 2023.
- [16] 曹琳琳,王越,冯洁,等.马铃薯微型薯基质栽培的分次采收技术研究[C]//2020年中国马铃薯大会论文集.定西,2020:336-343.
CAO L L, WANG Y, FENG J, et al. Research on the Fractional Harvesting Technology of Potato Micro Potato Substrate Cultivation[C]//Proceedings of the 2020 China Potato Conference. Dingxi, 2020: 336-343.
- [17] 蔡宗程,吕亮雨,刘青青,等.施肥和种植密度对燕麦饲草产量、品质和土壤理化性质的影响[J].河南农业科学,2025,54(7):30-39.
CAI Z C, LÜ L Y, LIU Q Q, et al. Effect of fertilization and planting density on yield, quality of oat forage and soil physico-chemical property[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2025, 54(7): 30-39.
- [18] 孟战赢,王育红,郭党,等.不同种植密度对夏玉米产量及农艺性状的影响[J].山西农业科学,2025,53(3):50-57.
MENG Z Y, WANG Y H, GUO D, et al. Effects of different planting densities on yield and agronomic traits of summer maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3): 50-57.
- [19] 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.
WANG Y S, YUE Y, LI X W. Effects of different planting densities and fertilization amounts on straw mulching potato in Dingxi areas[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019, 28(2): 198-203.
- [20] 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.
LIANG S M, LI Y S, YANG Q F, et al. Effect of 4 planted densities on breeding *Tuber seeds* of 6 genotypes mini-tubers potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(11): 2454-2460.
- [21] 郑顺林,王良俊,万年鑫,等.密度对不同生态区马铃薯产量及块茎空间分布的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(7):15-23.
ZHENG S L, WANG L J, WAN N X, et al. Effects of plant density on *Tuber* yield and spatial distribution response of potato from different ecological regions in Sichuan[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2017, 45(7): 15-23.
- [22] 贾峥嵘,李江辉,武宗信,等.生物菌肥对甘薯产量、品质及经济效益的影响[J].山西农业科学,2018,46(9):1506-1508.
JIA Z R, LI J H, WU Z X, et al. Effect of bio-bacterial fertilizer on yield, quality and economic benefit of sweet potato[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2018, 46(9): 1506-1508.
- [23] 白茹.早作马铃薯需肥特点及精准施肥技术研究[D].银川:宁夏大学,2013.
BAI R. Studies on fertilizer-required characteristics of potato and precise fertilization technique by dry farming[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2013.
- [24] 郭春雨.施肥量和密度对旱作马铃薯生长和产质量的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.
WU C Y. Effects of fertilization volume and density on growth and yield quality of dryland potatoes[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.
- [25] 曹倩,贺明荣,代兴龙,等.密度、氮肥互作对小麦产量及氮素利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):815-822.
CAO Q, HE M R, DAI X L, et al. Effects of interaction between density and nitrogen on grain yield and nitrogen use efficiency of winter wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(4): 815-822.
- [26] 沈若川,丁文成,高强,等.基于养分专家系统推荐施肥的北方马铃薯适宜氮肥用量研究[J].植物营养与肥料学报,2022,28(5):880-893.
SHEN R C, DING W C, GAO Q, et al. Optimized nitrogen fertilizer management for potato in northern China based on the nutrient expert system[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(5): 880-893.
- [27] 许国春,李华伟,罗文彬,等.密度与施氮及其互作对冬作马铃薯产量和氮肥农学利用率的影响[J].福建农业学报,2020,35(4):406-413.
XU G C, LI H W, LUO W B, et al. Effects of planting density and nitrogen application on yield and nitrogen utilization of winter potato plants[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 35(4): 406-413.