

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2021)01-0024-06

栽培生理

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.01.004

滴灌田‘大西洋’马铃薯种植密度对产量及效益影响

张宇新, 王鹏程, 张春雨, 金光辉*
(黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 马铃薯的种植密度对马铃薯产量和经济效益具有重要影响。为明确不同种植密度对马铃薯产量、品质及经济效益的影响, 以马铃薯加工品种‘大西洋’为试验材料, 设5个密度处理, 试图找出合适的种植密度。5 100株/667m²处理马铃薯地上部与地下部生物量最高为106.57和156.58 kg/36m², 此时地下部与地上部生物量比达到最小, 为1.47。5 100株/667m²处理块茎产量显著高于其他处理, 为2 710 kg/667m², 此时经济效益为3 504元/667m²。5 400和4 800株/667m²处理产量分别为第二与第三, 分别为2 418和2 277 kg/667m², 此时经济效益分别为3 033与2 888元/667m²。5 100株/667m²处理干物质与淀粉含量显著高于其他处理, 分别为20.41%和14.61%。研究表明, 当地‘大西洋’的种植密度以5 100株/667m²为宜。

关键词: 马铃薯; 密度; 产量; 效益

Effect of Planting Density on Yield and Benefit of Potato Variety 'Atlantic' Planted in Drip Irrigation Field

ZHANG Yuxin, WANG Pengcheng, ZHANG Chunyu, JIN Guanghui*
(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163000, China)

Abstract: Planting density has an important impact on potato yields and economic benefits. In order to understand the effects of different planting densities on potato yields, qualities and economic benefits, the potato processing variety 'Atlantic' was used as experimental material, and five density treatments were set up to try to find out the suitable planting density. The highest aboveground and underground biomass of 5 100 plants/667m² were 106.57 and 156.58 kg/36m², respectively, and the ratio of underground to aboveground biomass reached the minimum of 1.47. The tuber yields of the 5 100 plants/667m² were significantly higher than those of other treatments, which was 2 710 kg/667m², and the economic benefit at this density was 3 504 Yuan/667m². The yields of 5 400 and 4 800 plants/667m² were ranked in the second and the third place, which was 2 418 and 2 277 kg/667m², respectively, and the economic benefits were 3 033 and 2 888 Yuan/667m². The dry matter and starch contents of 5 100 plants/667m² were significantly higher than those of other treatments, which were 20.41% and 14.61%, respectively. The results showed that the suitable planting density of 'Atlantic' was 5 100 plants/667m².

Key Words: potato; density; yield; benefit

收稿日期: 2020-09-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD020080706)。

作者简介: 张宇新(1988-), 男, 硕士研究生, 从事马铃薯高产栽培研究。

*通信作者(Corresponding author): 金光辉, 博士, 副教授, 主要从事马铃薯高产栽培及遗传育种研究, E-mail: ghjin1122@163.com。

马铃薯粮菜兼用^[1], 是中国第四大粮食作物^[2]。因其具有耐贫瘠、适应性广、高产稳产等特点^[3], 在中国广泛种植。甘肃作为中国马铃薯的重要产地^[4], 2020年, 马铃薯种植面积达68.67万hm², 预计鲜薯产量1550万t^[5]。水肥一体化结合滴灌, 显著提高了肥料与水分的利用率, 降低马铃薯病害的传播, 提高块茎的产量与品质^[6,7]。河西走廊区域气候条件特殊^[8]、农业技术水平落后, 种植密度对马铃薯产量与品质均有一定的影响。密度过高与过低都会影响马铃薯产量, 密度与产量间呈现抛物线关系^[9]。马虎林和刘东川^[10]研究发现, 在一定范围内, 马铃薯黑痣病发病情况随着密度增加而降低。范香全等^[11]研究发现, 随着播种密度的增加, 马铃薯氮肥利用率也相应的提高。

马铃薯品质主要包括淀粉、干物质、蛋白质、还原糖含量等^[12], 营养物质的积累受到多种因素的影响^[13]。种植密度是影响马铃薯品质的重要因素之一, 在不同的栽培密度条件下, 马铃薯也会表现出不同的农艺性状以及品质性状^[14,15]。研究发现, 在一定的密度范围内, 增加马铃薯的种植密度, 会使叶面积指数升高, 但是干物质含量会相对降低, 随着密度的升高块茎内所富含的可溶性蛋白、还原糖、淀粉、维生素等物质含量随之增加^[16]。

康鹏玲等^[17]研究表明, 合理的种植密度能显著提高块茎干物质、淀粉等主要成分含量。王效瑜等^[18]研究表明, 种植密度与干物质含量显著相关, 但过高的密度也会影响块茎干物质的积累。有研究指出, 马铃薯块茎还原糖和维生素C含量会随着种植密度的增加而呈现递增的趋势^[14]。种植密度过小还会使马铃薯块茎在生长过程中产生二次生长, 不仅在薯形上不适合切片, 而且马铃薯块茎中所含的还原糖含量会升高, 淀粉含量下降, 从而影响马铃薯的加工品质。而种植密度过大会造成马铃薯小薯过多, 虽然增加了整体的淀粉含量, 但是会降低马铃薯的商品薯率^[19]。

目前, 有关滴灌结合水肥一体化模式下马铃薯种植密度的相关研究报道较少。基于此, 本试验探究了不同种植密度对马铃薯加工品种‘大西洋’的产量、品质及经济效益的影响, 以期为该地区马铃薯高产、优质和高效益奠定坚实的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省金昌市永昌县六坝镇七坝村。该区域位于河西走廊, 属于大陆性温带干旱气候, 年平均降水量185.1 mm, 蒸发量2000.6 mm, 年日照时数2884.2 h, 日照率65%, 年均气温4.8℃, 无霜期134 d。该区域海拔2000 m, 昼夜温差大, 地势平坦, 灌溉水源为金川峡水库储存的祁连山雪水。供试土壤为当地具有代表性的黏壤土, pH 8.68, 有机质18.34 g/kg, 碱解氮54.00 mg/kg, 有效磷24.00 mg/kg, 速效钾210.00 mg/kg, 前茬种植作物为小麦。

1.2 试验材料

供试马铃薯品种为‘大西洋’一级种, 由甘肃省鼎峰马铃薯种业有限公司提供, 为当地主栽品种, 生育期为90 d左右, 是主要的炸片型品种, 该品种对马铃薯普通花叶病毒(Potato virus X, PVX)免疫, 不抗晚疫病。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计, 设置播种密度为5个水平, 即: 4200株/667m²、4500株/667m²、4800株/667m²、5100株/667m²、5400株/667m²。播种前种薯切成40~50 g的薯块。每小区种植5行, 行长8 m, 行距0.90 m, 单行人工播种, 每个处理3次重复, 每小区面积为36 m², 每小区前后设置1 m过道, 试验地周围设置保护行。

由于河西走廊区域干旱少雨, 为节约用水试验所在地灌溉方式多以滴灌为主, 所以本试验采用滴灌方式进行水肥一体化灌溉。

试验于2018年5月1日播种, 底肥施用复混肥(N:P:K = 11:23:16)60 kg/667m², 全生育期水肥施用与当地种植管理措施一致, 5月23日结合清水补墒喷施除草剂, 7月23日施药预防晚疫病, 9月25日收获。

1.4 测试项目及方法

地上部生物量: 收获期将小区所有地上部植株割下, 收集并测定重量, 记录地上部生物量。

地下部生物量: 收获期将小区全部地下部分(根和块茎)挖出, 测定重量并记录数据。

大薯率: 收获期测定小区大薯和小薯个数, 单薯重 ≥ 150 g为大薯, 单薯重 < 150 g为小薯, 并计算大薯率。

产量: 收获期测定全小区块茎产量, 计算 667 m^2 产量。

淀粉含量和干物质含量: 马铃薯收获后, 对不同种植密度下的块茎进行淀粉含量和干物质含量的测定, 测定方法采用比重法^[20]。

经济效益: 经济效益 = 折合产量 $\times$ 商品薯单价 - 种薯用量 $\times$ 种薯单价。折合产量的单位为 $\text{kg}/667\text{ m}^2$, 商品薯单价的单位为元/kg, 种薯用量单位为 $\text{kg}/667\text{ m}^2$, 种薯单价的单位为元/kg。

经济效益增加率(%) = (经济效益1 - 经济效益2)/经济效益2 $\times 100$ 。

1.5 数据处理

使用Excel 2003进行数据汇总、处理及图、表制作; 使用SPSS 19进行各处理间的方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同播种密度对马铃薯地上部与地下部生物量的影响

在一定范围内, 提升种植密度可以提高马铃薯地上部与地下部生物量, 但会降低植株的地下部与地上部生物量比(表1)。不同密度下, 马铃薯地上部生物量与地下部生物量均随密度增加呈先上升后下降趋势。地上部生物量与地下部生物量最大值均出现在 $5\ 100$ 株/ 667 m^2 处理中, 分别为 106.57 和 $156.58\text{ kg}/36\text{ m}^2$; 地上部生物量与地下部生物量最低值均出现在 $4\ 200$ 株/ 667 m^2 处理中, 分别为 66.85 和 $113.62\text{ kg}/36\text{ m}^2$ 。地下部与地上部生物量比随密度增加呈先下降后上升趋势, 在 $4\ 200$ 株/ 667 m^2 处理中最大, 为 1.72 ; 在 $5\ 100$ 株/ 667 m^2 处理中最小, 为 1.47 , 但差异不显著。由此可见, 马铃薯种植密度的增加, 对于地上部分以及地下部分生物量的积累均

表 1 播种密度对马铃薯生物量的影响
Table 1 Effect of planting density on potato biomass

种植密度(株/ 667 m^2) Planting density (plant/ 667 m^2)	地上部生物量($\text{kg}/36\text{ m}^2$) Aboveground biomass	地下部生物量($\text{kg}/36\text{ m}^2$) Underground biomass	地下部与地上部生物量之比 Ratio of underground to aboveground biomass
4 200	66.85 cB	113.62 dC	1.72 aA
4 500	71.61 bcB	119.86 cdC	1.68 aA
4 800	86.49 abcAB	131.98 bcBC	1.53 aA
5 100	106.57 aA	156.58 aA	1.47 aA
5 400	94.27 abAB	141.62 bAB	1.51 aA

注: 表中数值为平均值, 同列数据后不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著($P < 0.05$); 同列数据后不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。下同。

Note: Data are mean value. Different lowercase letter(s) in the same column indicate significant difference at 0.05 level and different capital letter(s) in the same column indicate highly significant difference at 0.01 level as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

起到促进作用。

2.2 不同播种密度对马铃薯产量的影响

在一定范围内, 提升马铃薯种植密度能显著提高产量。不同密度下, 马铃薯产量随密度增加呈先上升后下降趋势(表2)。产量在 $5\ 100$ 株/ 667 m^2 达到最大且显著高于其他密度, 折合产量为 $2\ 710\text{ kg}/667\text{ m}^2$; $5\ 400$ 和 $4\ 800$ 株/ 667 m^2 分别为第二与第三, 折合产量

分别为 $2\ 418$ 和 $2\ 277\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 。大中薯率变化趋势与产量保持一致, 随密度变化呈先上升后下降趋势, 在 $5\ 100$ 株/ 667 m^2 达到最大, 为 62.97% ; 第二与第三分别为 $4\ 800$ 和 $5\ 400$ 株/ 667 m^2 , 大中薯率分别为 61.89% 和 60.12% 。播种密度在 $4\ 800\sim 5\ 400$ 株/ 667 m^2 , 块茎大小与产量均能有较好的表现, 为较适宜的播种密度, 其中 $5\ 100$ 株/ 667 m^2 块

表2 种植密度对马铃薯产量的影响
Table 2 Influence of planting density on potato yield

种植密度(株/667m ²) Planting density (plant/667m ²)	小区产量(kg/36m ²) Plot yield	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	大薯率(%) Large-sized tuber rate
4 200	105.62	1 956 cC	59.56
4 500	110.47	2 046 cC	59.92
4 800	122.93	2 277 bBC	61.89
5 100	146.29	2 710 aA	62.97
5 400	130.51	2 418 bAB	60.12

茎表现显著高于其他处理，为最佳播种密度。

2.3 不同播种密度对马铃薯块茎干物质与淀粉含量的影响

块茎干物质与淀粉含量均随着播种密度增加呈先上升后下降的变化趋势，其中4 800，5 100和5 400株/667m²3个处理的干物质含量超过20%，淀粉含量超过14%，最高值均出现在5 100株/667m²，其中干物质含量最高为20.41%，淀粉含量

最高为14.61%。4 200株/667m²处理的干物质与淀粉含量均最低，干物质含量仅为19.31%，淀粉含量仅为13.64%。播种密度在5 100株/667m²时，块茎干物质与淀粉均能得到较好积累，为当地适宜的播种密度(表3)。

2.4 不同播种密度对马铃薯效益的影响

表4为不同播种密度对马铃薯经济效益影响的分析，其中种薯费用按购入价格‘大西洋’一级

表3 播种密度对马铃薯块茎干物质与淀粉含量的影响
Table 3 Effects of planting density on dry matter and starch contents of potato tuber

种植密度(株/667m ²) Planting density (plant/667m ²)	干物质含量(%) Dry matter content	淀粉含量(%) Starch content
4 200	19.31 dD	13.64 dD
4 500	19.64 cC	13.93 cC
4 800	20.01 bB	14.33 bB
5 100	20.41 aA	14.61 aA
5 400	20.03 bB	14.35 bB

表4 播种密度对马铃薯经济效益的影响
Table 4 Effect of planting density on potato economic benefit

种植密度(株/667m ²) Planting density (plant/667m ²)	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	种子费用(元/667m ²) Seed cost (Yuan/667m ²)	经济效益(元/667m ²) Economic benefit (Yuan/667m ²)
4 200	1 956	462	2 472
4 500	2 046	495	2 574
4 800	2 277	528	2 888
5 100	2 710	561	3 504
5 400	2 418	594	3 033

种2.2元/kg计算, 马铃薯商品薯按均价1.5元/kg计算经济效益。在其他费用相同的条件下, 种植密度的增加, 种薯费用随之增加。由表4可看出, 随着种植密度的增加, 经济效益呈现先升高后降低的趋势, 在种植密度为5 100株/667m²时, 经济效益达到最大值, 为3 504元/667m², 较其他种植密度增加15.53%~41.75%。因此在一定范围内, 提升马铃薯种植密度虽然会增大用种成本, 但增产获得的效益更加可观。

3 讨 论

试验研究表明, 本试验条件下播种密度在4 800~5 400株/667m²时, 马铃薯加工品种‘大西洋’能获得较好的产量与经济效益, 其中5 100株/667m²为最佳播种密度, 此时产量最高为2 710 kg/667m², 在此密度下经济效益达到最佳为3 504元/667m²。这与范香全等^[1]的结果相类似, 其通过膜下滴灌马铃薯不同施氮量与密度的试验, 发现77 100或65 500株/hm²为较适宜的种植密度。

在不同的地理环境或栽培条件下, 不同马铃薯品种最适栽培密度也不同。王岩等^[21]通过在滴灌条件下设置3个不同播种密度的马铃薯试验, 得出66 700株/hm²为黑龙江地区滴灌种植马铃薯品种‘尤金’的最适种植密度。梁晓丽等^[22]通过研究马铃薯氮钾肥与种植密度对马铃薯的影响认为, 在适合的氮钾肥施用量下, 4 200株/667m²时‘东农311’马铃薯产量最高, 在5 000株/667m²时马铃薯商品薯率最高。在陇中半干旱地区, 胡新元等^[23]采用黑膜覆盖与滴灌相结合的方法进行马铃薯品种‘陇薯7号’不同种植模式与密度的试验, 研究发现播种密度在51 000~57 000株/hm²时产量最高可达到39 270 kg/hm²。虽然其选用的马铃薯品种与本试验不同, 但两者的生产潜力比较相似, 造成两者试验结果差异的原因可能在于所选试验田的差异与所选栽培管理措施不同, 本研究中试验地的土壤水肥等条件与其相比较差, 其次黑膜覆盖使其土壤墒情得到进一步优化, 马铃薯喜肥喜水, 这可能在一定程度上造成了二者试验结果的差异。马永芳^[24]也曾使用‘陇薯3号’进行了马铃薯密度的试验, 其研究结果认为在当地最适合马铃薯的种植密度为44 000~51 000株/hm², 产量最高可

达到34 215 kg/hm², 其最佳种植密度明显低于本试验的种植密度, 这主要是因为其所选用的马铃薯品种‘陇薯3号’较本试验的马铃薯品种‘大西洋’具有更高的生产潜力, 同时试验地自然条件较为优越, 增加了个体的生产潜力, 所以产生了研究结果的差异。这也证明了在不同地点选用当地主栽马铃薯品种来进行最佳密度栽培试验, 是十分必要的。

研究表明, 本试验条件下播种密度在4 800~5 400株/667m²时能取得较好的块茎淀粉与干物质含量, 其中5 100株/667m²为最佳播种密度, 此时干物质含量达到最高为20.41%, 淀粉含量达到最高为14.61%。此结果与吴利晓^[14]的研究结果相类似, 其通过宁夏中部干旱带地区相关试验, 认为在当地环境条件下, 在一定种植范围内增加种植密度能提高马铃薯产量与淀粉含量, 在5 195株/667m²的种植密度下可以获得最高的产量, 综合考量其试验中马铃薯产量与品质, 在4 695株/667m²的种植密度条件下能获得最优结果, 这一点与本文的研究结论不同, 可能是由于品种的选择和环境条件差异因素所造成。田静僊^[25]通过对马铃薯品种‘尤金’进行密度试验, 认为增加密度能显著提高块茎干物质含量, 结论与本研究的类似。刘拴成等^[26]通过田间试验同样证明, 合理密度种植能显著提高马铃薯品种‘克新1号’干物质含量, 最佳播种密度为52 020株/hm²。

在微型薯最适密度的研究中, 库力曼·库西巴义和肖元^[27]的试验结果与本研究中马铃薯生产的最适密度结果相反, 其认为较低密度条件下微型种薯马铃薯在块重、单株结薯数、病株率等方面表现较优, 可以获得较高的经济效益。

综上所述, 本研究结果对当地马铃薯加工品种‘大西洋’高产优质栽培具有一定的指导意义和参考价值。本研究中有关最适密度是否受栽培品种影响, 以及不同肥料的使用是否对种植密度产生影响等问题还有待继续深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 杨帅, 闵凡祥, 高云飞, 等. 新世纪中国马铃薯产业发展现状及存在问题 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(5): 311-316.
- [2] 吕世安. 中国马铃薯产业发展现状与趋势 [J]. 湖北民族学院学

- 报, 2002, 20(4): 29-33.
- [3] 王晓斌. 引进马铃薯种质资源的综合评价 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [4] 白贺兰, 乔德华. 甘肃省马铃薯产业发展现状及持续健康发展对策 [J]. 中国马铃薯, 2018, 32(2): 118-123.
- [5] 掌上薯事. 薯讯. (2020-9-20)[2020-11-21]. https://www.sohu.com/a/419623711_733533.
- [6] 江景涛, 杨然兵, 鲍余峰, 等. 水肥一体化技术的研究进展与发展趋势 [J]. 农机化研究, 2021, 43(5): 1-9.
- [7] 杨海燕. 陕西榆林市马铃薯水肥一体化节本丰产栽培技术 [J]. 陕西农业科学, 2019, 65(12): 94-96.
- [8] 景彩艳, 王海荣. 甘肃马铃薯产量区域特征 [J]. 农业科技通讯, 2013(1): 80-83.
- [9] 赵沛义, 妥德宝, 段玉, 等. 内蒙古后山旱农区马铃薯适宜播种密度和播期研究 [J]. 华北农学报, 2005(s1): 10-14.
- [10] 马虎林, 刘东川. 种植密度对马铃薯生长性状及黑痣病发生的影响 [J]. 现代农业科技, 2020(1): 100-101.
- [11] 范香全, 张胜, 蒙美莲, 等. 施氮量及密度对膜下滴灌马铃薯氮素吸收与利用的影响 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4272-4274.
- [12] 曾凡遼, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.
- [13] 张胜. 遗传因素和环境条件对马铃薯产量、品质、养分吸收影响的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [14] 吴利晓. 不同栽培方式和种植密度对马铃薯产量及品质的影响 [D]. 银川: 宁夏大学, 2016.
- [15] Negero F W. Yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by planting density and rate of nitrogen application at Holeta, West Oromia Region of Ethiopia [J]. African Journal of Agricultural Research, 2017, 12(26): 2242-2254.
- [16] 杨航. 株行距比对马铃薯光合生理及产量品质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [17] 康鹏玲, 杨素, 马娟娟, 等. 种植密度对马铃薯加工品质的影响 [J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(1): 83-89.
- [18] 王效瑜, 王收良, 吴林科, 等. 密度、肥料对马铃薯不同品种产量与品质的影响 [J]. 内蒙古农业科技, 2011(3): 52-53.
- [19] Kabir M H, Alam M K, Hossain M A, *et al.* Yield performance of whole-tuber and cut-piece planting of potato [J]. Tropical science, 2004, 44(1): 16-19.
- [20] 金光辉, 刘继环, 司喆, 等. 淀粉加工型马铃薯种质资源的引进与评价 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(5): 271-274.
- [21] 王岩, 刘畅, 李云开, 等. 种植密度对滴灌马铃薯生长、产量的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(1): 90-94.
- [22] 梁晓丽, 魏峭嵘, 石瑛. 密度与氮钾肥对‘东农311’光合特性及产量的影响 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(5): 290-295.
- [23] 胡新元, 柳永强, 陆立银, 等. 陇中半干旱区不同种植模式与密度对马铃薯产量及抗旱性的影响 [J]. 中国种业, 2017(12): 49-50.
- [24] 马永芳. 不同种植密度对马铃薯出苗及生长的影响 [J]. 农业科技与信息, 2020(13): 24-26.
- [25] 田静僊. 密度调控对马铃薯块茎大小分布及养分积累的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [26] 刘拴成, 穆俊祥, 曹兴明, 等. 新型微生物菌肥对马铃薯品质的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2017(5): 50-54.
- [27] 库力曼·库西巴义, 肖元. 微型种薯马铃薯密度试验 [J]. 农村科技, 2017(9): 16-18.