

不同移栽密度对不同熟性加工番茄品质及产量的影响原因分析

罗静静¹, 王旭¹, 高光瑞¹, 房艳¹, 颌健辉², 刘燕¹, 崔瑜¹

(1. 新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所(畜牧科学研究所), 新疆 塔城 834601;

2. 新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 本研究通过对不同熟期的加工番茄品种在不同移栽密度下的生长情况进行分析, 探究移栽密度对加工番茄品质和产量的影响。采用适宜的品质评价指标, 比照移栽密度对加工番茄品质影响的研究, 并基于不同熟性番茄品种的特点, 提出相应的选择标准。试验设计明确了移栽密度设置, 系统收集了品质指标数据, 利用量化分析方法, 对产量与品质数据进行了综合评估。结果表明, 移栽密度对加工番茄的品质及产量具有显著影响, 且这一影响随品种熟期的不同而具有异质性。本文为合理调控加工番茄生产中的移栽密度提供科学依据, 并为不同品种加工番茄的栽培管理提出指导建议。

关键词: 加工番茄; 品质评价; 移栽密度; 熟期效应; 产量分析; 栽培管理

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2177(2025)01-001-06

新疆作为亚洲最大的番茄酱加工区, 出口量居全国首位, 生产规模居亚洲第一位, 世界第二位^[1-2], 加工番茄已成为兵团红色产业的重要组成部分, 年种植面积约1.33万 hm^2 , 占全疆的34%左右, 总产约占全疆40%。塔额垦区2000年前后开始种植加工番茄, 发展历史较短, 最初番茄成熟期短、产量低, 随着新品种引进及种植技术发展, 加工番茄产业初具规模^[3-4]。塔额垦区昼夜温差极大, 发展加工番茄有得天独厚的优势, 可溶性固形物含量及番茄红素含量可达到产业顶尖水平。近年, 该垦区积极做大做强加工番茄产业, 在发挥资源及技术优势中, 突显出口创汇及增收潜力。

加工番茄是全球范围内广泛种植的经济作物, 其品质和产量受多种因素影响^[5-6], 其中移栽密度是关键agronomic处理之一。研究表明^[7], 适宜的植株密度不仅可以优化光合效应, 还能促进养分的有效利用, 从而提升作物的整体表现。采用田间试验方法, 2023年5月—2024年10月, 利用2年时间在第九师团结农场七斗4号地农科所试验田开展试验。针对不同移栽密度对早、中、晚熟加工番茄的品质与产

量进行深入分析, 以期在生产实践提供科学依据。

1 加工番茄品质研究现状

1.1 品质评价指标

品质评价指标主要涵盖了加工番茄的外观、营养成分和感官特性。外观指标包括果实形态、色泽和大小。果实的平均重量、直径和长宽比是基本测量参数。从选取的3株加工番茄上摘取中下部果实30个, 带回实验室混匀后从中选取5个, 横切后将番茄汁倒入MASTER手持折射仪测定果实可溶性固形物含量; 用糖酸一体机测定糖度、酸度以及糖酸比; 每个果再从中间纵切后, 各取1/4混匀后打成果浆, 取出3份(各20 mL), 用colorflex仪器测定番茄红素以及L、a、b值。果浆经加热过滤后用粘度仪测定粘稠度。

1.2 移栽密度影响研究回顾

移栽密度对加工番茄的生长和品质具有显著影响。研究表明, 不同移栽密度条件下, 番茄植株的光合效率、生长速率及果实品质均呈现不同反应。实验中, 移栽密度分为低密度($3.9\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$)、中

收稿日期: 2024-12-16

基金项目: 新疆生产建设兵团第九师科技项目(2023JS004)

作者简介: 罗静静(1989-), 女, 汉族, 河南商丘人, 副研究员, 硕士研究生, 研究方向: 经济作物高效栽培及病虫害防治。

通信作者: 崔瑜(1970-), 女, 汉族, 北京人, 高级农艺师, 本科, 研究方向: 农作物高产栽培及土壤改良技术。

密度(4.2万株·hm⁻²)和高密度(4.5万株·hm⁻²)3种设置。高密度种植时,植株间竞争激烈,导致光照不足和养分争夺,从而影响果实的糖分积累和酸度变化。研究显示,低密度下的番茄果实糖含量可达6.5%~7.2%,而高密度下则下降至5.5%~6.0%。

移栽密度对番茄的生理指标和贮藏特性存在明显影响。低密度条件下,植株的叶面积指数(LAI)较大,叶绿素含量提高,促进了光合作用,果实的维生素C含量每100 g增加25 mg,而高密度情形下该指标明显降低。此外,果实的硬度及抗病性也受到移栽密度影响,低密度栽培下,果实较为坚实,保鲜期更长,通常可达到14 d以上,而高密度条件下,果实易于软化,并在储存第7 d开始出现腐烂现象。

在一些相关研究中^[8-11],采用田间实验法观察番茄在不同密度下的生长情况,通过分析不同密度处理下的农艺性状、品质参数对比,进一步明确了适宜的密度标准。例如,某些研究建议在高温多湿条件下,应减少植株密度,以提升品质与产量^[9]。此外,配合施肥技术,可以显著改善高密度条件下的生长和品质。例如,通过适量补充氮、磷、钾等元素,可以使得高密度区的番茄果实在含糖量和硬度方面回升到与低密度相近的水平。

移栽密度不但对果实的外观和口感产生影响,也在一定程度上关联着病害发生率。研究显示,在高密度下,病害的发生率提升,尤其是灰霉病和叶斑病的发生频率增高。病害控制措施常需要根据密度调整,增加通风与光照以降低病害发生风险。此外,遗传因子在不同移栽密度对品质影响的研究中也逐渐受到重视,表明不同品种在同一密度下,表现出的特性各有不同,为未来育种提供了新的思路。

综上,移栽密度的选择需综合考虑环境条件、植株生长特性及市场需求,以期达到最佳品质和经济效益。

2 材料与方法

2.1 早中晚熟番茄品种选择

早中晚熟番茄品种的选择对于加工番茄的产量与品质具有重要影响。早熟番茄品种,通常选择生育周期为80~90 d,适宜在5月上旬进行移栽,结实后的果实早于其他品种,成熟度高,市场价格较为

稳定。而中熟品种,生育周期为100 d左右,能够在生长季节中有效利用光照,适应性广,果实重量可达50~60 g,抗病能力强,对于酱厂加工期长,品质好。晚熟品种,生育周期可达110 d以上,通常在5月下旬移栽,其特点为单果重,部分品种重可超过65 g,果实口感较佳,适合于高附加值产品的深加工。

在选择早中晚熟品种时,还需考虑以下因素:气候条件、土壤特性、病虫害防治措施及市场需求。气候因素对番茄生长影响显著,早熟品种需选择抗寒性强的品种,而晚熟类型则应选择适应高温和湿度的品种。土壤特性方面,需关注土壤的pH值、养分含量及排水性能,以确保番茄根系健康生长。根据研究,移栽密度在3万~4.5万株·hm⁻²时,早熟品种的果实品质最高,果形整齐,糖度及酸度均达到最佳范围。

选定的品种在生产实践中应进行田间试验,评估在特定地区、特定气候条件下的产量表现与果实品质。试验应包括种植3种不同时期的生长观察,记录产量、果实重量、糖度、酸度及市场接受度等数据。产量可以通过每公顷采收果实的总重量评估,品质评估则通过随机取样进行果实性能分析。具体实施中,品种的选择需结合种植者的管理水平,以确保在实践中实现高效的产出。

除品种选择外,病虫害管理策略同样是影响其生长与产量的关键。对早熟番茄,可通过生物防治和化学防治结合的方法,低剂量高频次喷洒,以降低病虫害损失率。中熟和晚熟品种则要求在定植之前进行全面的土壤消毒。同时,采用轮作、间作及良种选择等生态农业技术,以优化番茄的生长环境,最大程度上提高作物的抗逆性和产量。

因此,早中晚熟番茄品种的选择应考虑综合因素,结合生产实践中具体需求及环境条件,以实现产量与品质的双重提升,满足市场对不同类型加工番茄的需求。

2.2 移栽密度设置与试验设计

在考察移栽密度对不同熟期加工番茄品质和产量的影响过程中,本研究设计了精细化的试验方案,严格遵循番茄移栽密度试验流程图进行(见图1)。首先,按照试验要求选取了代表性的早熟、中熟、晚熟加工番茄品种,并保证种质具有一定的代表性和稳

定性。随后, 根据早中晚熟特性调整试验布局, 设置了3组移栽密度梯度, 即低密度 ($3.9\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$)、中密度 ($4.2\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$) 和高密度 ($4.5\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$), 以模拟实际生产中广泛存在的密度变化并分析其对番茄生长的具体影响。

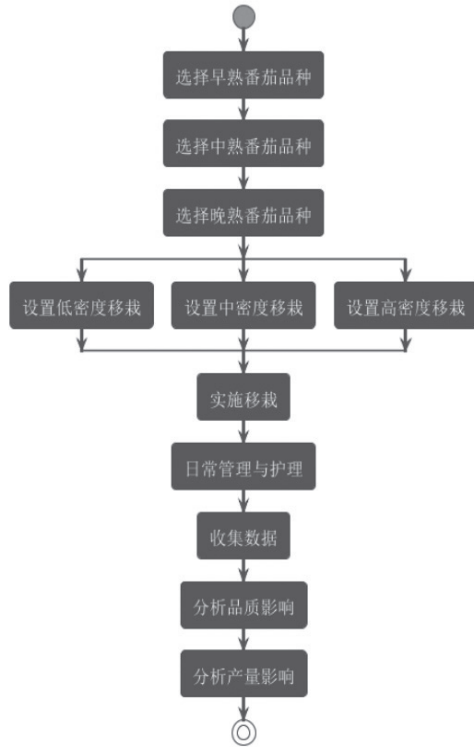


图1 番茄移栽密度实验流程图

Fig.1 Flow chart of tomato transplanting density experiment

试验过程中, 严格遵守农艺操作规范, 确保各处理在光照、灌溉、施肥及病虫害管理等方面条件一致, 从而排除非密度因素对结果的干扰。在番茄生长周期内, 对生理生长指标进行定期测定, 收集包括株高、茎粗、叶面积指数、青红果大小比例、单果质量等在内的数据, 以支持后续品质及产量的分析比对。

收集的数据运用多元统计分析方法, 深入探讨不同熟期番茄在不同密度梯度下的生长表现差异, 品质参数 (如可溶性固形物、酸度、维生素C含量) 与产量之间的关系, 以及密度与品质、产量之间的相互作用机制。此外, 通过方差分析 (ANOVA) 判定处理间的显著性差异, 并采用LSD多重比较获得具有统计学意义的差异性。试验结果的准确性和科学性将为加工番茄的密植栽培技术提

供切实可靠的理论依据。

本研究不仅补充了密植条件下早、中、晚熟加工番茄品质及产量的本土化研究资料, 而且通过细致的试验设计和系统化分析, 提出了针对不同熟期番茄的科学栽培建议, 对于优化栽培技术、提高果实品质和产量具有重要的理论价值和实际指导意义。

3 数据收集与结果分析

3.1 品质指标数据收集

在本研究中, 对不同移栽密度下早、中、晚熟加工番茄的品质指标进行系统的数据收集, 选取了3种不同的移栽密度: $3.9\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $4.2\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $4.5\text{万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。试验区采用随机区组设计, 主要监测生长期间的温度、湿度、光照和土壤养分等环境因素, 并控制在一定范围内, 确保数据的准确性与可重复性。

在品质指标方面, 重点收集了果实的果径、果重、糖度、酸度和维生素C含量5项关键指标。果实的果径通过数字化测量工具进行数据记录, 果重则采用电子天平称量, 具体规格为精度 0.01g 。糖度和酸度通过手持式折光仪和酸碱滴定法分别测定, 确保数据的科学性。维生素C含量的分析采用高效液相色谱法 (HPLC), 以保证结果的高灵敏度及准确度。

在数据记录过程中, 各样本数量均为30个, 覆盖不同生育阶段。该过程确保了样本的代表性与广泛性。为了更全面地分析品质差异, 数据统计使用SPSS软件 (Version 26), 运用双因素方差分析 (ANOVA) 比较不同移栽密度下各品质指标的显著性差异, 显著性水平设置为0.05。

在进行数据分析时, 针对果重的测量结果, 移栽低密度的番茄平均果重为 68.08g , 中密度则为 73.24g , 而高密度的平均果重为 68.75g , 经测定中密度番茄品种平均单果较低密度、高密度提高 7.6% 和 6.5% 。在糖度方面, 低密度 3.9万株 为 5.22°Brix , 4.5万株 为 4.96°Brix , 4.5万株 则下降至 4.87°Brix , 显示出随着植株密度的增加, 果实品质下降趋势。在酸度测量中, 各密度组的平均酸度分别为 0.53% 、 0.59% 和 0.60% , 明确表达了相应关系。

所有数据记录和分析均遵从农业试验基本标准和相关伦理规定, 确保试验过程的合规性与数据的真实性。通过系统的品质指标数据收集, 为分析不

同移栽密度对加工番茄品质和产量的影响提供了强有力的支撑和参考。

3.2 产量与品质数据分析

在本研究中,针对不同移栽密度对早、中、晚熟加工番茄品种的产量及品质的影响进行了深入分析。为了保证试验结果的准确性和可靠性,采取了一系列科学的统计分析方法。主要分析方法涵盖了方差分析(ANOVA)、多重比较(Tukey's HSD test)及线性回归模型。

$$Y = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 + \dots$$

研究中引入的线性回归模型 $Y = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 + \dots$, 其中变量 X_1 、 X_2 、 X_3 等代表不同的环境和栽培因素,包括移栽密度、植株生长指标和环境参数等。模型参数 α 、 β 、 γ 等,通过数据拟合计算出具体数值,以量化不同因素对番茄产量的影响大小。

数据来源于精心设计的田间试验,相关数据收集自不同移栽密度下早、中、晚熟番茄品种的实际观测。通过对这些数据的深度挖掘,本研究不仅关

注整体的产量变化,还重点分析了品质指标。相关数据归纳整理在“不同移栽密度下早、中、晚熟番茄品种的产量和品质指标表”中,该表详细记录了试验中的关键指标,如平均株高、平均果实重、平均果数、叶绿素含量、可溶性固形物、可溶性糖含量、VC含量及产量等(见表1)。

在数据分析过程中,特别注意解决了数据的正态分布和方差齐性问题,确保ANOVA的有效进行。此外,采用^[12-13]Tukey's HSD test对同一品种在不同密度下的处理组间进行了差异显著性测试。而通过线性回归模型,能够评估单个因素对产量和品质的直接影响。

本研究结合试验数据与统计模型,发现移栽密度对于番茄的产量和品质具有明显的影响,通过对数据的科学分析,为加工番茄的栽培管理提供了理论依据和实践指导。通过精准的数据处理与分析,本研究在理论上有所突破,对早、中、晚熟加工番茄的栽培技术进行了优化建议,对提高番茄产量与改善品质具有重要的指导意义。

表1 不同移栽密度下早、中、晚熟番茄品种的产量和品质指标表

Tab.1 Yield and quality indexes of early, middle and late ripe tomato varieties under different transplanting densities

番茄品种 Tomato varieties	移栽密度 (万株·hm ⁻²) Transplanting density	平均株高 (cm) Average plant height	平均果实重 (g) Average fruit weight	平均果数 (个/株) Average number of fruits	叶绿素含量 (SPAD) Chlorophyll content	可溶性固形物 (%) Soluble solids	粘度值 Viscosity value	酸含量 Acid content	产量 (kg·hm ⁻²) Yield
早熟品种 Early maturing varieties	3.9	83.67a	48.11a	45.78c	36.76c	4.19c	12.33c	0.66a	60650.3a
	4.2	81.44b	46.85b	55.33b	37.81b	4.39b	13.17b	0.58b	57890.7b
	4.5	79.00c	43.42c	63.22a	35.44d	4.51a	15.40a	0.57c	54927.1c
中熟品种 Medium-ripening variety	3.9	98.3a	44.39c	34.00c	38.13c	4.71c	19.27b	0.64a	7084.80b
	4.2	97.1b	45.53b	44.56b	38.22b	4.76b	19.00c	0.63b	7630.01a
	4.5	95.7c	46.86a	50.56a	39.59a	4.79a	19.37a	0.61c	6390.44c
晚熟品种 Late-maturing varieties	3.9	102.6a	58.16a	26.5a	44.02a	5.61b	21.27a	0.61b	70532.8a
	4.2	101.1b	53.97b	25.3b	41.61b	5.55c	16.73c	0.58c	68020.5b
	4.5	99.4c	52.77c	23.7c	40.05c	5.63a	18.23b	0.63a	65670.3c

4 结论

不同移栽密度对早、中、晚熟加工番茄的品质及产量影响显著。试验设计了3种不同移栽密度(3.9万株·hm⁻²、4.2万株·hm⁻²、4.5万株·hm⁻²),并在相同的生长条件下进行种植,本研究通过对比不同移栽密度对早、中、晚熟加工番茄产量和品质的影响,发现适宜的移栽密度对提高产量和品质具有重要意义。适度的移栽密度能有效提高番茄的产量

和品质,而过高或过低的密度则易导致产量的提升与果实品质的下降之间存在一定的负相关关系。结果表明,增加密度对早熟品种增产和提高质量的效果有限,考虑到降低生产成本,在选择适宜的品种基础上,低密度下就能达到高产优质的生产目的,因此,在番茄的生产中,建议根据品种特性和市场需求,适当调整移栽密度,以达到最佳的经济效益。

参考文献

- [1] 张占琴, 颀建辉, 李艳, 等. 氮、钾用量对机采加工番茄果实成熟、产量及品质的影响[J]. 西北农业学报, 2022, 31(6): 766-776.
ZHANG Zhanqin, XIE Jianhui, LI Yan, et al. Effects of Nitrogen and Potassium Dosage on Ripeness, Yield and Quality of Machine-harvested Tomato Fruit[J]. Journal of Northwest Agricultural Sciences, 2022, 31(6): 766-776.
- [2] 张永华. 加工番茄花药培养的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2007.
ZHANG Yonghua. Study on anther culture of processed tomato[D]. Shihezi: Shihezi University, 2007.
- [3] 李云霞, 范军亮, 关新元, 等. 新疆灌区农业节水发展现状与对策建议[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(2): 93-98.
LI Yunxia, FAN Junliang, GUAN Xinyuan, et al. Current status and countermeasures of agricultural water-saving development in irrigated areas of Xinjiang[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2024, 43(2): 93-98.
- [4] 黄敏, 布卡·欧尔娜, 宋梅, 等. 新疆奎屯垦区加工番茄品种多性状综合评价[J]. 中国农学通报, 2022, 38(19): 25-29.
HUANG Min, Buka·ou er na, SONG Mei, et al. Comprehensive evaluation of multiple traits of processed tomato varieties in Kuitun reclamation area, Xinjiang[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(19): 25-29.
- [5] 杜红艳. EMS诱变加工番茄早熟突变体的筛选及鉴定[D]. 石河子: 石河子大学, 2021.
DU Hongyan. Screening and identification of early-maturing mutants in tomato processed by EMS mutagenesis[D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.
- [6] 杜红艳, 庞胜群, 马海翔, 等. 加工番茄早熟突变体农艺性状相关性及通径分析[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(4): 943-950.
DU Hongyan, PANG Shengqun, MA Haixiang, et al. Correlation and Path Analysis of Agronomic Traits of Processed Tomato Early Maturity Mutants[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(4): 943-950.
- [7] 陈宇, 马捷, 刘燕, 等. 膜下滴灌不同水·肥·密度处理对加工番茄产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(22): 59-61, 64.
CHEN Yu, MA Jie, LIU Yan, et al. Effects of Different, et al. Fertilizer and Density Treatments on Yield and Quality of Processed Tomato by Drip Irrigation under Film [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(22): 59-61, 64.
- [8] 雷喜红, 李新旭, 王铁臣, 等. 不同种植密度对番茄长势、果实品质及产量的影响[J]. 北方园艺, 2015(7): 30-33.
LEI Xihong, LI Xinxu, WANG Tiechen, et al. Effects of Different Planting Densities on Tomato Growth, Fruit Quality and Yield[J]. Northern Horticulture, 2015(7): 30-33.
- [9] 何连顺, 张革. 浅议棉区加工番茄的种植密度和蹲苗[J]. 新疆农垦科技, 2016, 39(1): 25-26.
HE Lianshun, ZHANG Ge. A brief discussion on the planting density and squatting seedlings of processed tomato in cotton area[J]. Xinjiang Agricultural Reclamation Science and Technology, 2016, 39(1): 25-26.
- [10] 李树庭. 密度和氮肥对设施袋培番茄生长、产量和品质的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2016.
LI Shuting. Effects of density and nitrogen fertilizer on the growth, yield and quality of tomato in facility bag culture[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2016.
- [11] 李扬丹, 卢志权, 白晓丽, 等. 不同种植密度和留果穗数对早春大棚番茄产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2018(11): 38-42.
LI Yangdan, LU Zhiquan, BAI Xiaoli, et al. Effects of Different Planting Densities and Number of Ears on Yield and Quality of Tomato in Early Spring Greenhouse[J]. Northern Horticulture, 2018(11): 38-42.
- [12] 袁莉, 姜波. 加工番茄可溶性固形物含量与相关性状的关联研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(4): 504-507.
YUAN Li, JIANG Bo. Correlation Study between Soluble Solids Content and Related Traits in Processed Tomato[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2011, 42(4): 504-507.
- [13] 赵怀勇, 李群, 张红菊. 加工番茄可溶性固形物含量相关因素研究[J]. 北方园艺, 2007(2): 22-24.
ZHAO Huaiyong, LI qun, ZHANG Hongju. Study on Factors Associated with Soluble Solids Content in Processed Tomato[J]. Northern Horticulture, 2007(2): 22-24.

Analysis of the Effects of Different Transplanting Densities on the Quality and Yield of Tomatoes Processed with Different Ripeness

LUO Jingjing¹, WANG Xu¹, GAO Guangrui¹, FANG Yan¹, XIE Jianhui², LIU Yan¹, CUI Yu¹

(1. Institute of Agricultural Sciences (Institute of Animal Science) , Ninth Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Tacheng Xinjiang 834601, China; 2. Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences, Shihezi Xinjiang 832000, China)

Abstract: In this study, the growth of processed tomato varieties at different ripening stages under different transplanting densities was analyzed to explore the effects of transplanting density on the quality and yield of processed tomatoes. Based on the characteristics of different ripeness tomato varieties, the appropriate quality evaluation index was used to compare the effect of transplanting density on the quality of processed tomato. The experimental design clarified the setting of transplanting density, systematically collected quality index data, and used quantitative analysis methods to comprehensively evaluate the yield and quality data. The results showed that transplanting density had a significant effect on the quality and yield of processed tomatoes, and this effect was heterogeneous with different ripening dates. This paper provides a scientific basis for the rational regulation of transplanting density in the production of processed tomatoes, and puts forward guidance and suggestions for the cultivation management of different varieties of processed tomatoes.

Keywords: processed tomatoes, quality evaluation, transplanting density, ripening effect, yield analysis, cultivation management

Fund project: Science and Technology Project of the 9th Division of Xinjiang Production and Construction Corps (2023JS004)

Correspondence author: CUI Yu (1970-) , female, Han nationality, from Beijing, senior agronomist, bachelor, research direction: high yield cultivation of crops and soil improvement technology.