

文章编号:1673-887X(2026)06-0138-03

不同栽植密度对苹果树生长及果实品质的影响

张永超

(盐源县林业和草原局,四川 盐源 615700)

摘要 以源县主栽富士苹果为对象,设置6个不同栽植密度处理,分析栽植密度对苹果树树体生长、光合特性及果实品质的影响。结果表明,随苹果树株距的增大,树高、干径、冠幅及新梢长度等指标均显著提升,低密度栽植(T_6)有利于缓解树体竞争,促进整体生长势;光合特性分析显示,1.8 m株距(T_4)光合速率最优,较高密度处理(T_1)提升20.7%,气孔导度与蒸腾速率亦显著改善;果实品质方面, T_4 单果质量达195.42 g,可溶性固形物、糖酸比及硬度较高密度处理分别提升9.3%、22.5%和6.3%,综合表现最佳。

关键词 苹果;栽植密度;生长;光合特性;果实品质;盐源县

中图分类号 S661.1

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.046

The Effects of Different Planting Spacing on the Growth and Fruit Quality of Apple Trees

Zhang Yongchao

(Yanyuan Forestry and Grassland Bureau, Yanyuan 615700, Sichuan, China)

Abstract: Took the main cultivated Fuji apples in Yanyuan County as the research object, six different planting densities were set up to analyze the effects of planting density on the growth of apple trees, photosynthetic characteristics, and fruit quality. The results showed that as the tree spacing increased, the indicators such as tree height, trunk diameter, canopy size, and new shoot length all significantly improved. Low-density planting was beneficial for alleviating tree competition and promoting overall growth potential. The analysis of photosynthetic characteristics indicated that the 1.8 m tree spacing had the optimal photosynthetic rate, and the higher-density treatments increased by 20.7%, and stomatal conductance and transpiration rate were also significantly improved. In terms of fruit quality, the single fruit weight of T_4 treatment reached 195.42 g, and the soluble solids, sugar-acid ratio, and hardness of the higher-density treatments increased by 9.3%, 22.5%, and 6.3% respectively, with the best overall performance.

Key words: apple; planting density; growth; photosynthetic characteristics; fruit quality; Yanyuan County

苹果为我国重要的经济果树之一,其栽培模式正朝着矮化密植、省工高效、优质丰产的方向发展^[1]。栽植密度直接影响树体光能利用、营养分配及果实品质形成等指标^[2]。合理的栽植密度能协调个体与群体间的矛盾,提高光能利用率与土地产出率,是实现苹果产业优质高效生产的关键技术之一^[3]。盐源县地处青藏高原东南缘,属典型的高海拔冷凉山区,海拔为2 300~2 800 m,年均温12.1℃,昼夜温差大,雨热同季,光照充足,是中国国家地理标志产品“盐源苹果”的核心产区。盐源苹果以其“皮薄、肉嫩、香甜脆”的独特品质享誉市场,盐源县优越的自然环境为苹果糖分积累、着色和风味形成提供了理想条件。但在高海拔生态条件下,苹果树体生长节奏、光合特性及果实发育规律不同于低海拔地区,栽植密度的优化亦需因地制宜。目前,关于栽植密度对苹果生长与品质影响的研究多集中于北方

平原或丘陵地区,针对高海拔冷凉山区的系统性研究较少^[4-5]。盐源苹果现行栽培模式中,乔化砧密度普遍较低,矮化密植技术推广仍处于探索阶段。为此,本研究以盐源县富士苹果为对象,设置6个栽植密度处理,分析其对树体生长、光合特性及果实品质的影响,旨在筛选适宜当地生态条件与生产实际的优化密度模式,为盐源苹果标准化、优质化栽培提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2021年—2024年在四川省盐源县卫城镇苹果标准化示范基地进行。该地海拔2 450 m,年降水量855.2 mm,年均无霜期201 d,土壤pH值6.5,土壤含有机质1.8%。果园基础设施完善,灌溉条件良好。

收稿日期 2026-01-05

作者简介 张永超(1998-),女,四川冕宁人,助理工程师,研究方向为林业生产。

1.2 试验材料

供试品种为盐源富士,砧木为本地适生的八棱海棠,属于乔化砧类型。苗木为4 a生健壮嫁接苗,栽植前统一整形修剪,保留主干高度80 cm。

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,设6个栽植密度处理,行距为4 m,株距分别为1.0、1.2、1.5、1.8、2.0、2.5 m,对应处理编号为T₁、T₂、T₃、T₄、T₅、T₆;株数分别为167、139、111、93、83、67株/667 m²。每个处理设3个重复。栽植时间为2021年3月,栽后统一进行土肥水管理、病虫害防治及整形修剪,保证各处理间管理措施一致。

1.4 测定项目与方法

于2024年10月新梢停长后,每处理随机选取5株苹果树,测量各项指标如下:树高,采用塔尺测量地面至树冠最高点垂直高度;干径,采用数显游标卡尺测量嫁接口上方10 cm处主干直径;冠幅,采用卷尺测量树冠东西、南北方向直径,取平均值;随机选取树冠外围发育枝10条,测量其长度与基部直径。

于2024年7月的晴天,使用LI-6400XT光合仪(LI-COR,美国)测定树冠外围中部功能叶片(每树3片)的光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO₂浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)。测定时间7时—17时,每2 h测量1次,取日平均值。

于2022年10月下旬果实成熟期,每处理随机采摘树冠中部外围果实30个,单果质量采用电子天平(精度0.01 g)称量;纵横径采用数显游标卡尺测量,计算果形指数(纵径/横径);可溶性固形物采用PAL-1数显糖度仪(ATAGO,日本)测定;可溶性糖与可滴定酸分别采用斐林试剂滴定法和NaOH中和滴定法测定,计算糖酸比;果实硬度使用GY-1型硬度计(北京)测定,取果实赤道部4个点平均值^[6-7]。

1.5 数据处理

试验数据采用Excel 2021初步整理,使用SPSS 26.0软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽植密度对树体生长的影响

不同处理下盐源苹果树体的树高、干径、冠幅和新梢长度测量结果见表1。由表1可知,不同栽植密度对盐源苹果树体树高、干径、冠幅及新梢长度均呈现较为一致的增长趋势,且随株距增大,各项生长指标均表现出不同程度的提升。各处理间树高差异未达显著水平,整体呈现随密度降低而逐渐增加的规律。T₆树高较T₁提高0.44 m,增幅13.6%,表明较大的株距能为树体垂直生长提供更充足的空间与光照资源。各处理干径同样呈递增趋势,T₁—T₆由4.82 cm增至5.28 cm,增幅9.5%,说明稀植密度有利于干部分化和木质部加厚,

增强树体结构强度。冠幅由T₁的2.15 m增至T₆的2.60 m,总体增加20.9%,显示降低密度可明显促进冠层外展,形成更大光合面积,改善群体内部光照环境,有利于树体健康生长。各处理新梢长度差异不显著,T₆比T₁增加1.9 cm,增幅7.2%,说明稀植条件下枝梢延伸生长更充分。T₃、T₅和T₆新梢长度略高于其他处理,表明在适中或偏稀的株距条件下,枝梢生长活力更强。随着株距从1.0 m扩大至2.5 m,树体各项生长指标均表现出持续改善,说明低密度栽植有利于缓解树体间竞争,促进苹果树整体生长势的增强。

表1 不同栽植密度处理下盐源苹果树体生长指标汇总表

Tab.1 Summary of growth indicators of Yanyuan apple trees under different planting density treatments

处理	树高/m	干径/cm	冠幅/m	新梢长度/cm
T ₁	3.24 ± 0.21a	4.82 ± 0.18a	2.15 ± 0.16a	26.3 ± 2.4a
T ₂	3.35 ± 0.19a	4.91 ± 0.22a	2.24 ± 0.18a	25.8 ± 2.1a
T ₃	3.42 ± 0.23a	5.06 ± 0.20a	2.38 ± 0.20a	27.1 ± 2.6a
T ₄	3.51 ± 0.25a	5.12 ± 0.24a	2.45 ± 0.22a	26.5 ± 2.3a
T ₅	3.59 ± 0.27a	5.20 ± 0.26a	2.52 ± 0.24a	27.8 ± 2.5a
T ₆	3.68 ± 0.30a	5.28 ± 0.28a	2.60 ± 0.26a	28.2 ± 2.7a

注:同列不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下表同。

2.2 不同栽植密度对光合特性的影响

不同处理下盐源苹果树叶片的光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO₂浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)等指标结果见表2。

表2 不同栽植密度处理下盐源苹果树叶片光合指标汇总表

Tab.2 Summary of photosynthetic indices of Yanyuan apple trees under different planting density treatments

处理	$\varphi(Pn)/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$\varphi(Gs)/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$\varphi(Ci)/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	$\varphi(Tr)/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
T ₁	11.24 ± 0.86c	0.22 ± 0.02b	298.5 ± 12.4a	4.85 ± 0.32a
T ₂	11.98 ± 0.92bc	0.24 ± 0.02ab	295.8 ± 11.9a	4.92 ± 0.34a
T ₃	12.65 ± 1.01ab	0.26 ± 0.03ab	293.2 ± 12.1a	5.03 ± 0.36a
T ₄	13.56 ± 1.12a	0.29 ± 0.03a	290.6 ± 11.8a	5.12 ± 0.38a
T ₅	13.20 ± 1.08a	0.28 ± 0.03a	292.4 ± 12.0a	5.08 ± 0.37a
T ₆	12.88 ± 1.05ab	0.27 ± 0.03ab	294.1 ± 12.2a	5.05 ± 0.35a

由表2可知,不同栽植密度对盐源苹果叶片光合生理指标产生显著影响(P<0.05)。其中,Pn从T₁的11.24 μmol·m⁻²·s⁻¹增至T₄的13.56 μmol·m⁻²·s⁻¹,增幅20.7%,说明适度降低密度可显著提升叶片光合能力,其中T₄表现最优,且与T₁、T₂处理差异显著(P<0.05)。在更稀植的T₅和T₆,Pn较T₄分别降低2.6%和5.0%,表明过度稀植不再带来额外增益。各处理间气孔导度变化趋势与Pn基本一致,由T₁的0.22 mol·m⁻²·s⁻¹上升至T₄的0.29 mol·m⁻²·s⁻¹,最大增幅达31.8%,表明较低密度显著增强叶片气孔开放程度,有利于CO₂交换;随后在T₅和T₆降至0.28、0.27 mol·m⁻²·s⁻¹,进一步印证栽植密度存在适宜区间。Ci在各处理中差异未达到显著水平,整

体随株距增大呈下降趋势,从T₁的298.5 μmol·mol⁻¹降至T₄的290.6 μmol·mol⁻¹,降幅2.6%,随后回升至T₆的294.1 μmol·mol⁻¹。Ci的降低通常意味着光合消耗增强,T₄处理叶片CO₂固定速率更高。Tr随密度降低逐步提高,T₁的4.85 mmol·m⁻²·s⁻¹增至T₄的5.12 mmol·m⁻²·s⁻¹,增幅5.6%,说明较大株距改善了叶片水分传输与蒸腾

能力。结果表明,1.8×4.0 m的栽植密度(T₄)能显著改善苹果树叶片光合性能。

2.3 不同栽植密度对果实品质的影响

不同处理下盐源苹果果实的单果质量、果形指数、可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸、糖酸比和硬度等指标结果见表3。

表3 不同栽植密度处理下盐源苹果果实品质指标汇总表
Tab.3 Summary of fruit quality indicators of Yanyuan apple under different planting density treatments

处理	单果质量/g	果形指数	w(可溶性固形物)/%	w(可溶性糖)/%	可滴定酸/%	糖酸比	硬度/(kg·cm ⁻²)
T ₁	168.16 ± 14.35c	0.84 ± 0.04a	15.42 ± 0.86c	14.68 ± 0.92c	0.35 ± 0.02a	41.94 ± 2.85d	8.86 ± 0.52c
T ₂	175.33 ± 16.18c	0.85 ± 0.04a	15.78 ± 0.92bc	15.02 ± 0.96bc	0.34 ± 0.02a	44.18 ± 3.12cd	9.02 ± 0.56bc
T ₃	182.47 ± 18.64b	0.86 ± 0.05a	16.12 ± 1.01ab	15.36 ± 1.03ab	0.33 ± 0.02ab	46.55 ± 3.34bc	9.18 ± 0.61ab
T ₄	195.42 ± 15.12a	0.87 ± 0.05a	16.85 ± 1.12a	15.92 ± 1.12a	0.31 ± 0.02b	51.36 ± 3.85a	9.42 ± 0.68a
T ₅	190.18 ± 20.85ab	0.86 ± 0.05a	16.50 ± 1.08a	15.64 ± 1.08a	0.32 ± 0.02ab	48.88 ± 3.65ab	9.30 ± 0.65a
T ₆	185.24 ± 16.21b	0.85 ± 0.05a	16.28 ± 1.05ab	15.42 ± 1.05ab	0.33 ± 0.02ab	46.73 ± 3.42bc	9.22 ± 0.62ab

由表3可知,不同栽植密度对盐源苹果多数果实品质产生了显著影响($P<0.05$)。各处理单果质量整体呈先升高后下降趋势。T₁—T₄单果质量由168.16 g增至195.42 g,增幅达16.2%,T₄明显优于T₁、T₂、T₃,且差异显著($P<0.05$)。T₅与T₆单果质量分别下降至190.18 g和185.24 g,较T₄分别降低2.7%和5.2%,表明密度过低不能进一步提高果实质量。这一结果表明适宜的竞争压力可促进果实更好地积累干物质,T₄(1.8 m)是本试验条件下的最优密度。果形指数在各处理间差异不显著($P>0.05$),说明不同栽植密度对果形的影响有限,树体间光照差异不足以改变果形发育模式,果形指数在全试验中保持稳定。可溶性固形物与可溶性糖质量分数均随株距增大呈显著提升趋势。T₁的可溶性固形物质量分数为15.42%,至T₄增至16.85%,增幅达9.3%;可溶性糖质量分数由T₁的14.68%增至T₄的15.92%,增幅为8.4%,说明较大的群体空间与更充足的光照条件有利于果实糖分累积和风味提升。T₅和T₆,可溶性固形物与可溶性糖质量分数较T₄略有下降。各处理可滴定酸呈先下降后升高趋势,由T₁的0.35%降至T₄的0.31%,降幅达到11.4%,T₄显著低于高密度处理。T₅和T₆可滴定酸略有回升,说明栽植密度过高可能导致光热环境过度增强,影响果实有机酸代谢。糖酸比为衡量果实风味平衡的重要指标,其变化趋势相对比较明显,由T₁的41.94提升至T₄的51.36,增幅高达22.5%,表明适宜密度显著提升果实风味质量,T₄在此指标上相对最优。T₅和T₆糖酸比略降低至48.88和46.73,较T₄分别下降4.8%与9.0%,进一步印证过度稀植不利于最佳风味形成。果实硬度由T₁的8.86 kg/cm²增至T₄的9.42 kg/cm²,增幅6.3%,T₅和T₆略有下降。硬度提升有利于果实商品性与耐贮性,说明T₄的栽植密度更有利于果实细胞结构充实。不同密度处理对果实品质的影响呈现先提升后下降的趋势,其中T₄在单果质量、可溶性固形物、

可溶性糖、糖酸比和硬度等重要指标上均表现最佳,是本研究条件下盐源苹果最适的栽植密度。

3 结语

栽植密度对盐源苹果树体生长、光合特性及果实品质影响显著。研究表明,在行距4 m条件下,1.8 m株距处理(T₄)综合表现最优,树体生长指标中,树高达3.51 m、干径5.12 cm、冠幅2.45 m,较最高密度处理(T₁)分别提升0.44 m、0.46 cm和0.45 m;光合特性方面,光合速率达13.56 μmol·m⁻²·s⁻¹,气孔导度0.29 mol·m⁻²·s⁻¹;果实品质上,单果质量195.42 g,可溶性固形物质量分数16.85%,糖酸比51.36,硬度9.42 kg/cm²。T₄密度处理通过协调个体与群体空间,显著提升光能利用率与产出率,为高海拔冷凉山区苹果优质高效栽培提供了科学依据。

参考文献

[1] 王世明.栽植密度对宫藤富士苹果前期产量及品质的影响[J].中国果业信息,2020,37(4):56.
[2] 吕天星,沈淑荣,姜孝军,等.间伐对“岳艳”苹果树体结构、果实产量和品质的影响[J].特种经济动植物,2021,24(7):16-18.
[3] 杨文钰.栽植密度对苹果产量和品质的影响[J].果树实用技术与信息,2025(3):3-4.
[4] 李民吉,张强,李兴亮,等.矮化中间砧“宫藤富士”苹果栽植密度对树体生长、冠层光照和果实产量的影响[J].园艺学报,2020,47(3):421-431.
[5] 朱玉宁,尹宝颖,沈震,等.不同栽植密度对“天红2号/冀砧1号/八棱海棠”苹果树体生长及果实品质的影响[J].山东农业科学,2022,54(5):53-57.
[6] 李宏建,王宏,刘志,等.栽植株距对昌红富士/SH6自根砧苹果幼树至初结果树体生长和果实品质的影响[J].果树学报,2022,39(9):1619-1627.
[7] 高敬东,王骞,蔡华成,等.行株距对“SH1”矮化中间砧“长富2号”苹果生长和结果的影响[J].中国果树,2019(6):98-100.