

刘智成, 陈瑶瑶, 陈敏, 等. 不同尿素施用量和修剪强度对台农1号百香果生长及产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(11): 2222-2231.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.11.015

不同尿素施用量和修剪强度对台农1号百香果生长及产量和品质的影响

刘智成¹, 陈瑶瑶¹, 陈敏¹, 欧雪婷², 严良文¹

(1. 龙岩市农业科学研究所, 福建 龙岩 364000; 2. 闽西职业技术学院, 福建 龙岩 364021)

摘要: 为实现百香果产量增加和品质提升, 本研究分别于2021年和2022年在福建省龙岩市采用不同尿素施用量与不同修剪强度组合的9个处理(T1~T9), 测定了百香果生长、开花、结果农艺性状及产量、品质等16项性状, 并进行方差分析和变异分析, 然后利用相关性分析和主成分因子分析获得T1~T9处理的综合评价。结果表明, 16项性状均受到T1~T9处理的影响, 各性状的变异系数为1.11%~29.01%; 16项性状间存在无显著($P>0.05$)相关性、显著($P<0.05$)相关性或极显著($P<0.01$)相关性, 通过主成分分析法选取特征值均大于1.000的前2个主成分, 其累计方差贡献率为84.129%, 代表了原始数据大部分信息, 且集中反映出百香果的产量特征、品质特征, 据此建立综合评价模型 $Y=0.807Y_1+0.193Y_2$, 结合综合得分排名可知, T6处理百香果生长、开花、结果农艺性状以及果实产量与品质最佳。因此, 在福建省龙岩市百香果生产上可以考虑采用192 kg/hm²尿素施用量和强修剪的组合处理。

关键词: 百香果; 尿素; 修剪; 产量; 品质

中图分类号: S667.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2025)11-2222-10

Effects of different urea application rates and pruning intensities on the growth, yield and quality of Tainong 1 passion fruit

LIU Zhicheng¹, CHEN Yaoyao¹, CHEN Min¹, OU Xueting², YAN Liangwen¹

(1. Longyan Institute of Agricultural Sciences, Longyan 364000, China; 2. Minxi Vocational and Technical College, Longyan 364021, China)

Abstract: To increase the yield and improve the quality of passion fruit, this study applied nine treatments (T1-T9) combining different urea application rates and pruning intensities in 2021 and 2022 in Longyan City, Fujian province. Sixteen traits related to the growth, flowering, fruiting, yield and quality of passion fruit were measured, and variance analysis and variation analysis were carried out. Then, comprehensive evaluation of T1-T9 treatments was obtained by correlation analysis and principal component factor analysis. The results showed that all 16 traits were affected by T1-T9 treatments, and the variation coefficients ranged from 1.11% to 29.01%. There were nonsignificant ($P>0.05$), significant ($P<0.05$) or extremely significant ($P<0.01$) correlations among the 16 agronomic traits. The first two principal components

with eigenvalues greater than 1.000 were selected by principal component analysis, and their cumulative variance contribution rate was 84.129%, which represented most of the original data information and centrally reflected the yield and quality characteristics of passion fruit. Accordingly, a comprehensive evaluation model was established as $Y=0.807Y_1+0.193Y_2$. Based on the comprehensive score ranking, T6 treatment demonstrated the best

收稿日期: 2024-12-05

基金项目: 福建省农业引导性(重点)项目(2017N0049、2023N0061); 福建省农业农村厅2021年特色现代农业发展专项(设区市农科院所建设)项目[闽财农指(2021)32号]

作者简介: 刘智成(1982-), 男, 福建龙岩人, 硕士, 副研究员, 研究方向为园艺作物栽培、育种与植物保护。(E-mail) liuzc510@163.com

overall performance in terms of agronomic traits (growth, flowering and fruiting), as well as yield and quality of passion fruit. Therefore, the combination of 192 kg/hm² urea application rate and heavy pruning can be considered in passion fruit production in Longyan City, Fujian province.

Key words: passion fruit; urea; pruning; yield; quality

果树结果母枝的农艺性状与果实产量和品质密切相关^[1-2]。生产上可通过调节氮肥施用量以影响结果母枝的粗度、节间长度等营养生长指标,从而影响果树单株果实产量^[1,3-4];还可以通过修剪管理去除果树顶端优势^[5],增加枝条茎粗^[6],适度修剪能够影响成花基因 *FY* 和 *AP2* 的表达,促进乙烯合成,提高成花率^[7-9],最终优化结果蔓质量,实现增产目标^[10]。由此可见,氮肥施用量与修剪措施对果树结果枝生长具有重要调控作用,直接关系到水果的最终产量^[6]。百香果具有新梢萌发与花蕾分化同步进行的特性^[11],其单株产量的形成高度依赖结果蔓的数量与质量^[12-13]。因此,生产中常通过合理调整氮、磷、钾肥施用比例以提高水果产量。然而,过量施用氮肥易打破营养生长与生殖生长的平衡^[14],并增加生产成本。张丽敏等^[15]发现,科学的施肥管理不仅能促进百香果枝条生长,增加茎粗和叶片数量,还能显著改善果实产量与品质;吴斌等^[16]则证实,在百香果苗期多次修剪可有效缩短生育周期,实现提早开花结果。前人研究多聚焦于肥料种类、配比、施用量及修剪等单一或组合措施对百香果产量和品质的影响^[14,17]。由于果树农艺性状与果实产量、品质密切相关^[18],且百香果结果蔓生长、开花和结果各生育期存在重叠,各阶段生长发育进程相互竞争、相互制约^[12],因此,施肥与修剪措施对百香果的影响是多维的,不仅体现在产量和品质层面,还深刻影响结果蔓生长、开花、结果等一系列关键农艺性状。

目前,方差分析、相关性分析、主成分分析等方法主要应用于作物种质遗传多样性分析^[19]、抗性评价^[20]等领域。在百香果研究中,这些方法已被用于种苗繁育^[21-22]、抗寒性分析^[23]、产区特性比较^[24]、架式栽培效果评估^[25]、肥料类型及施肥量优化^[14],以及产量与果实品质分析^[26]等方面。尽管农艺性状指标的变化能在一定程度上反映氮肥施用量与修剪协同作用对百香果的影响,但现有研究缺乏系统性和全面性。值得注意的是,目前尚未有采用方差分析、变异系数分析、Spearman 秩相关性分析和主成分因子分析等方法对百香果结果蔓的生长、开花、

结果特性,以及产量与品质进行综合评价。有鉴于此,本研究以台农1号百香果为研究对象,通过设置不同尿素施用量与修剪强度的组合处理,利用方差分析探究结果蔓农艺性状指标的差异,结合变异系数分析量化数据离散程度,并运用 Spearman 秩相关性分析和主成分分析,系统评价尿素施用量与修剪组合处理对百香果生长、产量及品质的影响。本研究旨在明确不同组合处理百香果结果蔓各性状指标的差异,筛选出能够有效提升结果蔓质量的最佳尿素施用量与修剪强度组合,从而为提高百香果单株产量和果实品质提供理论依据与实践指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验选取当地普遍种植的台农1号紫果类百香果品种扦插苗,培养成高度约80 cm作为定植种苗,按株距0.25~0.30 m,行距2.00 m,于2021年3月25日和2022年3月25日定植于已施入基肥的畦上,结合平棚,用绳子引一条健壮侧蔓作结果主蔓至棚顶^[27],每株只保留1条结果蔓。

1.2 试验地概况

试验地位于福建省龙岩市新罗区小池镇兴贵村(东经116.87°,北纬25.14°),海拔412 m,处于亚热带季风气候带,年平均气温18.9℃,年积温可达5 618℃,年降水量为1 689 mm;2021年和2022年该地土壤理化性质各主要指标平均值为有机质含量30.56 g/kg、碱解氮含量140.81 mg/kg、有效磷含量117.98 mg/kg、有效钾含量125.43 mg/kg。

1.3 试验方法

试验期间百香果正常肥料施用量参考当地高产果园氮磷钾肥施用量,分别为氮肥240 kg/hm²(以含氮量46%的尿素计)、磷肥(P₂O₅)120 kg/hm²和钾肥(K₂O)180 kg/hm²,在百香果定植前将磷肥和钾肥随基肥一次性施入土壤中,定植后每隔5~7 d(需视天气情况)将尿素分15次兑水后以膜下滴灌方式追施。

本试验共设置9个组合处理,即施用240 kg/hm²

尿素+不修剪作为对照(T1)、施用 240 kg/hm² 尿素+轻修剪处理(T2)、施用 240 kg/hm² 尿素+强修剪处理(T3)、施用 192 kg/hm² 尿素+不修剪处理(T4)、施用 192 kg/hm² 尿素+轻修剪处理(T5)、施用 192 kg/hm² 尿素+强修剪处理(T6)、施用 144 kg/hm² 尿素+不修剪处理(T7)、施用 144 kg/hm² 尿素+轻修剪处理(T8)、施用 144 kg/hm² 尿素+强修剪处理(T9);每个处理重复 3 次,共计 27 个试验小区,每个小区面积 50 m²,其中,强修剪为定植种苗离畦面 0.40 m 处修剪,轻修剪为定植种苗摘心打顶处理。

1.4 测定指标与方法

每个小区随机抽取 20 株植株进行标记观察,百香果采收结束后用游标卡尺测出结果蔓茎粗,统计每株有效叶片数,计算出平均节间长度。其中,结果蔓茎粗指标于扦插种苗新梢基部 1 cm 处测定,每株有效叶片数为叶片长宽均大于 10 cm 的叶片总数,用卷尺测量出离畦面 0.80 m 以上枝条长度,统计节间数并计算平均节间长度。

观察记载花蕾数和开花数,计算成花率(成花率=开花数/花蕾数×100%);统计坐果数和结果数,计算坐果率(坐果率=坐果数/开花数×100%);当果实表面 80% 以上转为红色或紫红色时采收,统计出成熟果实数量,计算平均单果重以及单果重≥60 g 的中大果比率,并统计出单株产量。

参考《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定》(NY/T 2637-2014)折射仪法^[28],测定果实可溶性

固形物含量;参考《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》(GB 5009.8-2016)滴定法^[29],测定果实总糖含量;参考《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》(GB/T 12456-2021)中滴定法^[30],测定果实总酸含量;计算出糖酸比值(糖酸比值=总糖含量/总酸含量)。

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 对原始数据进行整理,然后在 0.05 水平上进行方差分析、Spearman 秩相关性分析、主成分分析,并建立综合评分模型。

2 结果与分析

2.1 尿素施用量与修剪强度组合处理对百香果生长的影响

2.1.1 百香果生长性状 经过 2021 年和 2022 年两个试验年份,结果发现,在 9 个组合处理下百香果结果蔓茎粗、每株有效叶片数、平均节间长度 3 项指标存在显著差异($P < 0.05$) (表 1)。其中,T3 处理和 T6 处理结果蔓茎粗显著高于其他处理;T6 处理每株有效叶片数显著高于其他处理;T9 处理平均节间长度显著低于其他处理。此外,从表 1 可知,在相同尿素施用量条件下,修剪可以显著增加结果蔓茎粗;尿素施用量不变,增加修剪强度,或者修剪强度不变,减少尿素施用量均可显著缩短平均节间长度;尿素施用量不变,强修剪与不修剪相比均可显著增加每株有效叶片数,这有助于植株碳水化合物的累积。

表 1 百香果生长性状测定结果

Table 1 The determination results of growth traits of passion fruit

处理	结果蔓茎粗(mm)		每株有效叶片数(张)		平均节间长度(cm)	
	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年
T1	10.79±0.071c	10.61±0.142c	29.66±0.065f	29.00±0.136e	12.75±0.054a	12.91±0.133a
T2	12.01±0.075b	11.92±0.134b	32.78±0.109cd	32.30±0.187c	12.28±0.048b	12.32±0.115b
T3	14.07±0.128a	14.05±0.057a	35.91±0.049b	35.47±0.133b	11.35±0.044c	11.36±0.108c
T4	10.85±0.109c	10.85±0.052c	32.79±0.049c	32.23±0.164c	12.25±0.058b	12.30±0.138b
T5	12.19±0.056b	12.16±0.130b	35.88±0.056b	35.57±0.184b	11.18±0.114c	11.23±0.058c
T6	14.23±0.058a	14.19±0.103a	38.83±0.057a	38.33±0.194a	10.34±0.064d	10.43±0.145d
T7	8.85±0.059e	8.68±0.108e	29.72±0.052f	29.07±0.135e	9.26±0.058e	9.35±0.136e
T8	9.81±0.048d	9.79±0.124d	31.80±0.061e	31.23±0.141d	8.24±0.057f	8.31±0.108f
T9	10.76±0.111c	10.63±0.058c	32.25±0.054d	31.70±0.199cd	7.15±0.124g	7.19±0.054g

T1:尿素施用量为 240 kg/hm²,不修剪;T2:尿素施用量为 240 kg/hm²,轻修剪;T3:尿素施用量为 240 kg/hm²,强修剪;T4:尿素施用量为 192 kg/hm²,不修剪;T5:尿素施用量为 192 kg/hm²,轻修剪;T6:尿素施用量为 192 kg/hm²,强修剪;T7:尿素施用量为 144 kg/hm²,不修剪;T8:尿素施用量为 144 kg/hm²,轻修剪;T9:尿素施用量为 144 kg/hm²,强修剪。表中数据为平均值±标准差;同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

2.1.2 百香果开花性状 从表2可知,百香果结果蔓的花蕾数、开花数、成花率3项指标在9种组合处理下存在一定显著差异($P<0.05$)。T1~T3处理百香果成花率为88.93%~92.79%,T4~T6处理百香果成花率为84.45%~97.76%,T7~T9处理百香果成花

率为64.41%~71.18%。总体上看,T6处理百香果花蕾数、开花数及成花率达到最优。这估计与不同尿素施用量和修剪强度影响了百香果成花过程中碳、氮含量及两者比例有关。

表2 百香果开花性状测定结果

Table 2 The determination results of flowering traits of passion fruit

处理	花蕾数(个)		开花数(个)		成花率(%)	
	2021年	2022年	2021年	2022年	2021年	2022年
T1	29.53±0.171c	29.43±0.092c	26.30±0.085d	26.17±0.145d	89.13±0.530c	88.93±0.567c
T2	30.83±0.084ab	30.83±0.160a	27.53±0.104c	27.50±0.178c	89.30±0.308c	89.26±0.754c
T3	30.97±0.033ab	30.80±0.121a	28.73±0.082b	27.73±0.159c	92.79±0.296b	90.10±0.718bc
T4	30.90±0.056ab	30.83±0.128a	26.10±0.056d	26.03±0.140d	84.47±0.225d	84.45±0.398d
T5	31.00±0ab	31.00±0.117a	28.73±0.082b	28.70±0.160b	92.69±0.265b	92.59±0.480b
T6	31.17±0.069a	30.80±0.130a	30.47±0.093a	29.93±0.126a	97.76±0.273a	97.24±0.605a
T7	30.47±0.171b	30.23±0.079b	19.60±0.091g	19.57±0.133f	64.41±0.521f	64.73±0.454f
T8	30.53±0.093b	30.43±0.190ab	20.03±0.033f	19.73±0.126f	65.63±0.247f	64.91±0.555f
T9	30.87±0.063ab	30.80±0.169a	21.87±0.063e	21.90±0.121e	70.85±0.270e	71.18±0.625e

T1~T9见表1注。表中数据均为平均值±标准差,数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.1.3 百香果结果性状 从表3可知,与T1处理相比,T2处理、T3处理、T5处理、T6处理两年坐果数和结果数均显著提高,其中T6处理坐果数和结果数最多;与T1处理相比,2021年T2处理、T3处理、

T5处理、T6处理和T9处理坐果率显著提高,2022年T2~T6处理坐果率显著提高,T5处理、T6处理两年坐果率均超过90.00%。

表3 百香果结果性状测定结果

Table 3 The determination results of fruiting traits of passion fruit

处理	坐果数(个)		坐果率(%)		结果数(个)	
	2021年	2022年	2021年	2022年	2021年	2022年
T1	20.80±0.074e	20.50±0.150e	79.11±0.352e	78.40±0.678d	19.27±0.082e	19.20±0.130e
T2	23.23±0.114d	22.53±0.157d	84.39±0.376c	82.04±0.790c	20.23±0.092d	20.07±0.151d
T3	25.03±0.033c	25.03±0.122c	87.15±0.266b	90.37±0.762b	22.80±0.074c	22.50±0.133c
T4	20.87±0.063e	20.70±0.128e	79.96±0.276e	79.56±0.560c	19.50±0.093e	19.30±0.128e
T5	26.70±0.268b	26.50±0.270b	92.94±0.942a	92.41±1.039b	24.40±0.091b	24.23±0.177b
T6	28.53±0.124a	28.50±0.142a	93.67±0.462a	95.22±0.376a	28.77±0.079a	28.50±0.164a
T7	15.87±0.063g	15.73±0.143g	81.02±0.569de	80.54±0.984cd	15.20±0.074g	14.87±0.133f
T8	16.20±0.088g	15.70±0.167g	80.87±0.469e	79.66±0.996cd	15.70±0.085g	15.47±0.133f
T9	18.17±0.069f	17.67±0.154f	83.10±0.420cd	80.73±0.812cd	17.37±0.089f	17.03±0.155f

T1~T9见表1注。表中数据均为平均值±标准差,数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.1.4 百香果产量性状 从表4可知,9个处理百香果中大果比率均达90.00%以上,估计与试验中每株只保留1条一定长度的结果蔓有关,并且两个试验年度中T6处理中大果比率均显著高于其他处理;单株产量除

T7处理未达1000g,其余处理单株产量均在1000g以上,并且T6处理单株产量显著高于其他处理,而T7~T9处理单株产量均显著低于T1处理,同时T7~T9处理平均单果重也显著低于T1处理,且均低于70.00g。

表 4 百香果产量性状测定结果

Table 4 The determination results of yield traits of passion fruit

处理	平均单果重(g)		中大果比率(%)		单株产量(g)	
	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年
T1	71.74±0.050d	71.81±0.114d	94.61±0.120de	94.76±0.057c	1 382.28±6.234e	1 378.76±9.756e
T2	71.92±0.060d	71.93±0.119d	94.91±0.053d	94.97±0.110c	1 455.16±6.902d	1 443.51±11.389d
T3	75.07±0.111c	75.08±0.049c	95.44±0.047c	95.61±0.094b	1 711.59±5.708c	1 689.22±10.037c
T4	71.94±0.043d	72.00±0.113d	94.93±0.081d	95.09±0.112c	1 402.83±6.813e	1 389.64±9.755e
T5	79.32±0.121b	79.40±0.056b	95.68±0.045b	95.80±0.093b	1 935.50±8.673b	1 924.21±14.023b
T6	82.69±0.156a	82.82±0.064a	96.22±0.139a	96.28±0.054a	2 378.56±7.689a	2 363.20±13.550a
T7	63.38±0.099g	63.48±0.044g	93.37±0.052g	93.47±0.138e	963.40±5.105h	943.79±8.466g
T8	65.38±0.050f	65.53±0.114f	93.51±0.111fg	93.53±0.051e	1 026.41±5.499g	1 013.47±8.959g
T9	67.93±0.124e	67.95±0.055e	94.09±0.145ef	94.13±0.055d	1 179.72±6.440f	1 157.43±10.893f

T1~T9 见表 1 注。表中数据为平均值±标准差,数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.1.5 百香果果实品质性状 从表 5 可知,2021 年 T3 处理、T6 处理百香果果实中可溶性固形物含量显著高于其他处理,分别为 17.42% 和 17.23%; 2022 年 T3 处理百香果果实中可溶性固形物含量为 17.43%,其次是 T6 处理,两者差异不显著,且均显著高于 T1 处理、T4 处理、T5 处理、T7 处理、T8 处

理、T9 处理。两年试验中 T3 处理和 T6 处理百香果果实中总糖含量显著高于其他处理,T7~T9 处理果实中总糖含量处于较低水平,为 61.68~69.00 g/L。两年试验中 T1 处理和 T4 处理果实中总酸含量均显著高于其他处理。两年试验中 T3 处理和 T6 处理果实糖酸比显著高于其他处理。

表 5 百香果果实品质性状测定结果

Table 5 The determination results of quality traits of passion fruit

处理	可溶性固形物含量(%)		总糖含量(g/L)		总酸含量(g/L)		糖酸比	
	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年	2021 年	2022 年
T1	16.25±0.046c	16.24±0.124cd	76.85±0.045d	76.80±0.045d	42.90±0.107a	42.97±0.107a	1.79±0.004e	1.79±0.004e
T2	16.80±0.061b	16.73±0.135bc	94.56±0.605b	94.50±0.605b	37.65±0.211b	37.71±0.211b	2.52±0.026b	2.52±0.026b
T3	17.42±0.069a	17.43±0.131a	96.63±0.054a	96.57±0.053a	30.67±0.051f	30.74±0.051f	3.15±0.006a	3.15±0.006a
T4	16.02±0.049d	15.97±0.109d	76.84±0.038d	76.78±0.038d	43.24±0.114a	43.30±0.114a	1.78±0.005e	1.78±0.005e
T5	16.04±0.045cd	16.03±0.116d	87.23±0.726c	87.17±0.726c	35.94±0.443c	36.01±0.443c	2.56±0.004b	2.44±0.046b
T6	17.23±0.071a	17.34±0.135ab	96.75±0.060a	96.68±0.061a	30.80±0.046f	30.87±0.046f	3.14±0.004a	3.14±0.004a
T7	14.36±0.055f	14.35±0.141e	61.74±0.560g	61.68±0.056g	32.73±0.058d	32.84±0.058d	1.88±0.004e	1.88±0.004e
T8	14.56±0.045f	14.51±0.118e	66.52±0.611f	66.45±0.061f	31.73±0.057e	31.80±0.057e	2.10±0.004d	2.10±0.004d
T9	14.84±0.052e	14.62±0.128e	69.00±0.513e	68.95±0.051e	30.50±0.053f	30.57±0.053f	2.26±0.004c	2.26±0.004c

T1~T9 见表 1 注。表中数据为平均值±标准差,数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 百香果结果蔓生长性状以及产量与品质性状的变异分析

从 16 项性状变异程度(表 6)来看,各性状变异系数为 1.11%~29.01%,其中变异系数大于 20.00% 以上的性状有单株产量(29.01%)、糖酸比(21.58%),结果数(20.62%)和坐果数(20.32%),说明这 4 个性状在各处理间表现出较

大差异;而每株有效叶片数、花蕾数、坐果率、平均单果重、中大果比率和果实中可溶性固形物含量的变异系数均小于 10.00%,且中大果比率变异系数仅为 1.11%,说明这些性状在不同处理中表现较为一致。由此可知,尿素施用量与修剪强度组合处理对百香果生长、开花、结果以及产量与品质具有一定的影响。

表 6 各性状的变异系数

Table 6 Coefficients of variation for all measured traits

性状	极小值	极大值	均值	标准差	性状	变异系数(%)
结果蔓茎粗(mm)	7.48	15.36	11.47	1.80	结果蔓茎粗	15.69
每株有效叶片数(张)	28.00	40.00	32.77	3.01	每株有效叶片数	9.19
平均节间长度(cm)	6.69	13.98	10.57	1.92	平均节间长度	18.13
花蕾数(个)	28.00	32.00	30.64	0.79	花蕾数	2.58
开花数(个)	18.00	31.00	25.37	3.78	开花数	14.89
成花率(%)	59.38	100.00	82.80	12.08	成花率	14.59
坐果数(个)	14.00	30.00	21.57	4.38	坐果数	20.32
坐果率(%)	70.00	100.00	84.51	6.70	坐果率	7.92
结果数(个)	14.00	30.00	20.24	4.17	结果数	20.62
平均单果重(g)	62.95	83.31	72.19	5.91	平均单果重	8.19
中大果比率(%)	92.08	96.90	94.80	1.05	中大果比率	1.11
单株产量(g)	880.00	2 500.00	1 490.00	0.43	单株产量	29.01
可溶性固形物含量(%)	13.00	18.83	15.93	1.22	可溶性固形物含量	7.63
总糖含量(g/L)	61.22	97.30	80.65	12.92	总糖含量	16.02
总酸含量(g/L)	30.04	44.10	35.17	4.93	总酸含量	14.02
糖酸比	2.04	2.21	2.29	2.62	糖酸比	21.58

表中各指标均为 2021 年和 2022 年两年测得的平均值。

2.3 百香果农艺性状间的相关性

采用 Spearman 秩相关性分析百香果生长、开花、结果农艺性状以及产量与品质,结果(表 7)表明,16 个农艺性状间存在相对独立性或表现出显著、极显著相关性。百香果结果蔓生长、开花和结果农艺性状与单株产量均存在极显著($P < 0.01$)正相关,表明这些性状对形成单株产量有正向效应。除平均节间长度与坐果率无显著相关性外,结果蔓茎粗、每株有效叶片数、平均节间长度均与百香果开花、结果农艺性状以及产量与品质存在极显著相关性,表明百香果结果蔓茎粗、每株有效叶片数及平均节间长度是影响百香果产量与品质的重要因素。花蕾数、开花数、成花率均与百香果单株产量存在极显著相关性,表明花蕾数、开花数、成花率是形成百香果产量的基础条件。坐果数、坐果率、结果数均与单株产量存在极显著正相关性,其中,坐果数与单株产量、结果数与单株产量相关系数分别为 0.963、0.995,表明百香果结果农艺性状对增加产量有直接正效应。平均单果重与单株产量、中大果比率与单株产量均呈极显著正相关性,且相关系数分别为 0.975、0.860,表明平均单果重、中大果比率在百香果产量构成因素中具有关键作用。糖酸比均与可溶

性固形物、总糖含量存在极显著正相关,与总酸含量存在极显著负相关性,表明糖酸比是作为衡量果实品质的重要性状之一。

2.4 主成分分析及综合评价

将 T1~T9 处理百香果 16 个农艺性状指标值进行标准化转换,分别用 X1~X16 依次表示结果蔓茎粗、每株有效叶片数、平均节间长度、花蕾数、开花数、成花率、坐果数、坐果率、结果数、平均单果重、中大果比率、单株产量、可溶性固形物含量、总糖含量、总酸含量和糖酸比等性状标准化数值,采用主成分分析法选取特征值均大于 1.000 的前 2 个主成分(PC1、PC2),其累计方差贡献率为 84.129%,表明 PC1、PC2 可以反映大部分信息,可作为综合评价尿素施用量与修剪强度组合处理对百香果的影响。第 1 主成分(PC1)的特征值为 10.863,方差贡献率为 67.892%,特征向量值较大的性状有坐果数、结果数、平均单果重、单株产量等,表明该主成分主要与产量及产量形成直接因子相关,因此第 1 主成分(PC1)为百香果产量因子;第 2 主成分(PC2)的特征值为 2.598,方差贡献率为 16.237%,特征向量值较大的性状为总酸含量,表明该主成分与果实品质相关(表 8、表 9)。

表 7 百香果农艺性状间 Spearman 秩相关性

Table 7 Spearman's rank correlation analysis of agronomic traits in passion fruit

性状	每株有效叶片数	平均节间长度	花蕾数	开花数	成花率	坐果数	坐果率	结果数	平均单果重	中大果比率	单株产量	可溶性固形物含量	总糖含量	总酸含量	糖酸比
结果蔓茎粗	0.807**	0.281**	0.309**	0.876**	0.839**	0.884**	0.673**	0.875**	0.861**	0.774**	0.876**	0.793**	0.915**	-0.268**	0.750**
每株有效叶片数	1.000	0.009	0.466**	0.781**	0.703**	0.813**	0.735**	0.814**	0.804**	0.736**	0.820**	0.590**	0.773**	-0.378**	0.769**
平均节间长度		1.000	-0.122**	0.417**	0.441**	0.396**	-0.066	0.391**	0.384**	0.369**	0.386**	0.528**	0.437**	0.708**	-0.196**
花蕾数			1.000	0.279**	0.098*	0.309**	0.358**	0.288**	0.259**	0.280**	0.289**	0.153**	0.273**	-0.214**	0.359**
开花数				1.000	0.977**	0.950**	0.596**	0.943**	0.930**	0.833**	0.943**	0.795**	0.908**	-0.054	0.633**
成花率					1.000	0.916**	0.543**	0.914**	0.907**	0.801**	0.913**	0.787**	0.876**	-0.026	0.582**
坐果数						1.000	0.770**	0.964**	0.948**	0.856**	0.963**	0.787**	0.912**	-0.071	0.659**
坐果率							1.000	0.695**	0.664**	0.589**	0.692**	0.469**	0.627**	-0.403**	0.737**
结果数								1.000	0.956**	0.860**	0.995**	0.771**	0.901**	-0.064	0.633**
平均单果重									1.000	0.857**	0.975**	0.765**	0.878**	-0.049	0.588**
中大果比率										1.000	0.860**	0.705**	0.808**	-0.037	0.534**
单株产量											1.000	0.771**	0.900**	-0.061	0.629**
可溶性固形物含量												1.000	0.864**	-0.008	0.521**
总糖含量													1.000	-0.140**	0.707**
总酸含量														1.000	-0.696**

* 表示在 0.05 水平显著相关; ** 表示在 0.01 水平极显著相关。

表 8 前 2 个主成分特征向量

Table 8 Eigenvectors for the first two principal components

性状	特征向量	
	PC1	PC2
X1(结果蔓茎粗)	0.920	-0.132
X2(每株有效叶片数)	0.870	-0.374
X3(平均节间长度)	0.460	0.807
X4(花蕾数)	0.297	-0.442
X5(开花数)	0.940	0.289
X6(成花率)	0.903	0.378
X7(坐果数)	0.982	0.030
X8(坐果率)	0.735	-0.402
X9(结果数)	0.964	-0.044
X10(平均单果重)	0.960	0.053
X11(中大果比率)	0.877	0.110
X12(单株产量)	0.959	-0.051
X13(可溶性固形物含量)	0.833	0.242
X14(总糖含量)	0.937	0.064
X15(总酸含量)	-0.069	0.940
X16(糖酸比)	0.799	-0.491

PC1:第 1 主成分;PC2:第 2 主成分。

表 9 前 2 个主成分方差贡献率

Table 9 Variance contribution rates of the first two principal components

项目	PC1	PC2
特征值	10.863	2.598
方差贡献率(%)	67.892	16.237
累计贡献率(%)	67.892	84.129

PC1、PC2 见表 8 注。

鉴于主成分与特征向量之间的关系,可求得 PC1 和 PC2 主成分得分值表达式: $Y_1 = 0.279X_1 + 0.264X_2 + 0.140X_3 + 0.090X_4 + 0.285X_5 + 0.274X_6 + 0.298X_7 + 0.223X_8 + 0.292X_9 + 0.291X_{10} + 0.266X_{11} + 0.291X_{12} + 0.253X_{13} + 0.284X_{14} - 0.021X_{15} + 0.243X_{16}$; $Y_2 = -0.082X_1 - 0.232X_2 + 0.500X_3 - 0.274X_4 + 0.179X_5 + 0.235X_6 + 0.019X_7 - 0.249X_8 - 0.027X_9 + 0.033X_{10} + 0.068X_{11} - 0.031X_{12} + 0.150X_{13} + 0.040X_{14} + 0.583X_{15} - 0.305X_{16}$ 。

用特征值除以所有主成分特征值之和,求得权重,可得到综合评价模型 $Y = 0.807Y_1 + 0.193Y_2$ 。根据综合评价模型计算出不同尿素施用量和修剪强度组合处理(T1~T9)综合得分,并依据综合得分(Y)

进行排序(表10),排列前3位分别为T6处理、T3处理和T5处理,说明通过施用192 kg/hm²尿素和强修剪组合处理,百香果生长、开花、结果农艺性状得到较大提升,单株产量与果实品质最佳。

表10 不同处理百香果主成分因子得分与综合得分

Table 10 Principal component scores and comprehensive scores of passion fruit under different treatments

处理	Y1	Y2	综合得分	综合排名
T1	-0.970	2.968	-0.210	6
T2	1.070	1.034	1.063	4
T3	3.200	-0.785	2.431	2
T4	-0.567	1.993	-0.073	5
T5	2.942	-0.059	2.362	3
T6	5.540	-1.290	4.222	1
T7	-4.681	-0.657	-3.904	9
T8	-3.904	-1.345	-3.410	8
T9	-2.629	-1.861	-2.481	7

T1~T9见表1注。Y1:第1主成分得分值;Y2:第2主成分得分值。

3 讨论

3.1 各性状变异性分析

本试验于2021年和2022年设置9个处理探究不同尿素施用量与果树修剪强度对百香果产量与品质的影响。研究从结果蔓生长、开花、结果以及产量与品质等相关性状指标及变异性展开分析。结果显示,尿素施用量与果树修剪强度的不同组合在一定程度上影响百香果结果蔓生长、开花和结果。已有研究表明,减氮施肥与修剪处理会减少氮素供应,甚至导致植株生长暂时性减缓^[31],同时改变花和果实生长发育过程中的氮营养含量^[32]。此外,前人研究^[10,33]还发现,不同氮肥施用量和修剪方式影响果树单果重和果实可溶性固形物含量,合理施用氮肥则有助于提高果实产量^[4,34]。本试验结果表明,在同一尿素施用量水平下,修剪可促进百香果生长(平均节间长度除外),提高成花率和坐果率,增加产量并提升果实品质。其中,T6处理百香果生长、开花和结果相关性状表现最佳。同时,适当的尿素施用量与修剪处理不仅未减缓结果蔓的生长、开花和结果,反而起到促进作用^[35-36]。

变异系数分析结果显示,百香果16项农艺性状的变异系数介于1.11%~29.01%。其中,每株有效

叶片数、坐果率、花蕾数、平均单果重、中大果比率和果实中可溶性固形物含量的变异系数较小,其余性状变异系数较大。这表明,不同尿素施用量与修剪强度组合处理,百香果结果蔓茎粗、平均节间长度、开花数、成花率、坐果数、结果数、单株产量、总糖含量、总酸含量及糖酸比等性状存在显著差异。由于百香果花蕾随新梢抽生分化,且本试验采用单级结果蔓栽培模式,使得结果蔓花蕾数和中大果比率的指标值变异系数较小。而各处理中尿素施用量与修剪强度的组合差异导致结果蔓生长、开花、结果农艺性状及产量、品质14项性状(除花蕾数和中大果比率外)出现不同程度的变化。其中,坐果数、结果数、单株产量和糖酸比的变异系数超过20.00%,处于较高水平。综上,排除栽培环境、土壤条件及栽培模式等因素干扰,在单级结果蔓栽培模式下,综合评价尿素施用量与果树修剪强度不同组合处理对百香果生长、开花、结果农艺性状以及产量与品质的影响,对提升百香果产量和果实品质具有重要意义。

3.2 各性状间相关性分析

百香果结果蔓茎粗、每株有效叶片数和平均节间长度等生长性状反映其营养生长特征;花蕾数、开花数和成花率等开花性状体现其生殖生长特征;坐果数、结果数和单株产量等产量构成性状决定最终产量水平;总糖、总酸和糖酸比等性状作为果实内在因子反映果实品质特征。本试验通过相关性分析发现,百香果生长、开花、结果农艺性状及产量、品质16项性状间存在无显著、显著或极显著的相关性,表明不同尿素施肥量与果树修剪强度组合处理的百香果各性状间存在相互影响。已有研究人员指出,高氮水平易促使枝条过度营养生长,不利于产量提升^[3];而修剪能够抑制前期营养生长,有助于提高大果比例^[36]和果实中可溶性固形物含量^[9]。本试验的两个年份中不同尿素施用量与果树修剪强度组合对百香果的影响,最终体现在各性状与产量、品质的密切关联上,同时也揭示出不同组合处理会导致百香果生长、开花、结果农艺性状及产量与品质性状间存在交叉影响与协同变化。

3.3 主成分因子分析

本试验运用主成分因子分析,将百香果16项性状整合为2个相对独立的综合性状,其累计贡献率达84.129%。其中,第1主成分主要反映产量特征,第2主成分侧重体现品质特性。这表明,评估不同

尿素施用量与果树修剪强度组合处理对百香果的影响时,需兼顾产量提升与品质改善,尤其应重点关注提高坐果数、增加单果重、降低果实总酸含量。本研究通过权重计算得出综合得分(Y),对 9 个处理百香果各性状进行综合评分。结果显示,综合得分由高到低排序为 T6、T3、T5、T2、T4、T1、T9、T8、T7 处理。这些综合得分直观反映出不同组合处理最终对百香果生长、开花、结果及产量、品质产生的影响。其中,192 kg/hm² 尿素施用量与强修剪的组合处理在提高百香果结果蔓质量方面表现突出,显示出提升果实产量与改善品质的双重优势。

4 结论

本试验采用不同尿素施用量和不同修剪强度 9 个组合处理,对台农 1 号百香果生长、开花、结果农艺性状以及产量、品质性状进行分析,并对不同组合处理综合得分进行排序,结果表明,采用 192 kg/hm² 尿素施用量及对定植种苗离畦面 0.40 m 处修剪为最佳组合处理,本研究结果为提高台农 1 号百香果产量及果实品质提供了试验依据。

参考文献:

- [1] 易淑瑶,刘青,贾东峰,等. 不同结果母枝粗度对“东红”猕猴桃果实品质的影响[J]. 中国南方果树,2022,49(4):122-126.
- [2] 孙浩燕,程强,郑文艳,等. 温州蜜柑不同时期结果母枝的着果率及果实品质[J]. 中国南方果树,2021,50(2):38-39.
- [3] 杨莉莉,王永合,韩稳社,等. 氮肥减量配施有机肥对苹果产量品质及土壤生物学特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2021,40(3):631-639.
- [4] 魏斌,李友明,翟广生,等. 氮素营养对猕猴桃营养功能特征及果实产量的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(12):98-101.
- [5] 苏曼琳,吴尚,马履一,等. 3 种修剪方法对文冠果芽内源激素含量和萌芽成枝的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(5):101-108,115.
- [6] 黄秋良,范辉华,张天宇,等. 不同修剪强度下无患子新梢生长与开花结实情况[J]. 热带作物学报,2020,41(7):1366-1372.
- [7] 莫亿伟,刘锴栋,宋虎卫,等. 修剪和光照处理对番荔枝成花及基因表达的影响[J]. 农业生物技术学报,2015,23(8):991-1001.
- [8] 魁小花,杨宏娟,李敏,等. 修剪方式对设施葡萄 2 次成花及果实品质的影响[J]. 中国南方果树,2021,50(4):135-143.
- [9] 陈木兰,肖兰芝. 不同修剪方式对百香果开花结果的影响[J]. 东南园艺,2020,8(5):34-37.
- [10] 宋海岩,涂美艳,刘春阳,等. 夏季修剪对“翠玉”猕猴桃植株生长及果实品质的影响[J]. 西南农业学报,2020,33(7):1561-1565.
- [11] 张育森,郑正勇. 百香果开花习性之研究[J]. 中国园艺,1988,34(4):271-282.
- [12] 田青兰,吴艳艳,黄伟华,等. ‘台农 1 号’西番莲的成花坐果特性及与气象因子的关系[J]. 果树学报,2020,37(9):1358-1370.
- [13] 田青兰,吴艳艳,刘洁云,等. 广西地区西番莲产量和品质形成特征及其对气象因子的响应[J]. 生态学杂志,2021,40(7):1924-1936.
- [14] 谢林婧,林碧英,郑诚乐. 福建百香果产业历史、现状及发展若干思考[J]. 福建热作科技,2017,42(4):57-59.
- [15] 张丽敏,蔡国俊,彭熙,等. 不同施肥对百香果产量和营养成分的影响[J]. 热带作物学报,2021,42(11):3180-3187.
- [16] 吴斌,张越根,黄东梅,等. 苗期多级修剪对百香果实生苗提早开花结果影响的初步试验[J]. 中国南方果树,2021,50(5):62-64.
- [17] 徐智,汤利. 西番莲果渣有机肥对西番莲生长发育、品质和产量的影响[J]. 云南农业大学学报,2012,27(3):457-460.
- [18] 肖明昆,刘光华,宋记明,等. 不同木薯品种(系)农艺性状分析及高产品种(系)筛选[J]. 作物杂志,2022(4):77-82.
- [19] 兰秀,杨海霞,李恒锐,等. 16 份棕榈种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 西南农业学报,2022,35(5):1000-1009.
- [20] 刘鑫,汪堃,梁鹏飞,等. 红豆草苗期耐盐种质筛选及综合评价[J]. 西南农业学报,2022,35(9):2171-2179.
- [21] 刘智成,严良文,陈瑶瑶. 穴盘规格对百香果砧木幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中国南方果树,2022,51(6):74-78.
- [22] 刘智成,严良文,陈瑶瑶. 低温处理对西番莲扦插苗生长及生理特性的影响[J]. 中国南方果树,2021,50(2):98-102.
- [23] 郭玉琳,吴凤禅,李安定,等. 西番莲不同种质资源抗寒性测定[J]. 热带作物学报,2022,43(5):955-963.
- [24] 袁启凤,陈楠,史斌斌,等. 贵州不同产区百香果紫香 1 号果实品质分析与评价[J]. 西南农业学报,2021,34(12):2729-2736.
- [25] 袁启凤,陈楠,严佳文,等. 基于果实品质主成分分析的‘黄金百香果’栽培架式评价[J]. 中国果树,2021(1):22-27.
- [26] 袁启凤,陈楠,严佳文,等. 不同架式栽培对台农 1 号百香果果实品质和产量的影响[J]. 南方农业学报,2020,51(7):1576-1583.
- [27] 刘智成,严良文,陈瑶瑶,等. 一种百香果早熟高产栽培方法:CN111149604A[P]. 2020-05-15.
- [28] 中华人民共和国农业部. 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法:NY/T 2637-2014[S]. 北京:中国农业出版社,2015.
- [29] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定:GB 5009.8-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [30] 国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定:GB 12456-2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.
- [31] 解斌,安秀红,陈艳辉,等. 苹果砧木对低氮胁迫的响应及适应性评价[J]. 植物营养与肥料学报,2020,28(6):1092-1103.

- [32] 彭福田,姜远茂,顾曼如,等. 不同负荷水平下氮素对苹果果实生长发育的影响[J]. 中国农业科学,2002,35(6):690-694.
- [33] 王日俊,刘文静,李梦琦,等. 施肥对我国桃树产量与品质影响的整合分析[J]. 中国土壤与肥料,2022(6):228-235.
- [34] CHEN S P, LIN G H. Compensatory growth responses to clipping defoliation in *Leymus chinensis* (Poaceae) under nutrient addition and water deficiency conditions[J]. Plant Ecology,2008,196(1):85-99.
- [35] VANDERKLEIN D W, REICH P B. The effect of defoliation intensity and history on photosynthesis, growth and carbon reserves of two conifers with contrasting leaf lifespans and growth habits[J]. New Phytologist,1999,144(1):121-132.
- [36] 李双海,郑诚乐,候毛毛,等. 冬季修剪方式对高山巨峰葡萄生长及果实品质的影响[J]. 中国南方果树,2021,50(3):111-113,117.

(责任编辑:黄克玲)