

负载量水平对矮化自根砧富士苹果 生长发育和果实品质的影响

刘 丽, 石彩云^a, 魏志峰, 徐玉西, 李秋利, 高登涛*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要:【目的】研究不同负载量对 M9T337 矮化自根砧富士高纺锤树形树体枝类组成、叶片生长和果实品质的影响, 确定适宜的负载量水平, 为生产中合理负载提供依据。【方法】以 5 年生 M9T337 矮化自根砧富士为材料, 设计 6 个负载量水平处理 (I: 每平方厘米干截面积留果 2 个; II: 每平方厘米干截面积留果 3 个; III: 每平方厘米干截面积留果 4 个; IV: 每平方厘米干截面积留果 5 个; V: 每平方厘米干截面积留果 6 个; VI: 每平方厘米干截面积留果 7 个), 调查树体生长情况和不同类型枝条的数量、叶片相对叶绿素含量、叶片面积、净光合速率、果实品质和产量等指标。【结果】随着负载量的增大, 5 年生 M9T337 矮化自根砧富士的长枝数量、中枝数量、短枝数量和总枝量变化趋势不明显。叶片相对叶绿素含量和净光合速率随负载量的增大先增高后降低, 叶片面积和单果质量逐渐减少, 果形指数、可溶性固形物含量、L 值基本都呈下降趋势, *a*、*b* 先增加后减少, 维生素 C 含量、可滴定酸含量和果实硬度无明显变化规律。【结论】M9T337 矮化自根砧富士高纺锤树形较适宜的负载量为每平方厘米干截面积留 5 个果, 产量为 $6.27 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 总枝量为 $3.03 \times 10^5 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$, 利用隶属函数法对叶片指标、果实指标及产量综合评价排名最高。

关键词: 富士苹果; M9T337 矮化自根砧; 负载量; 枝类组成; 品质; 产量

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2022)06-0982-10

Effects of fruit load on growth, development and fruit quality of Fuji apple on dwarfing rootstock

LIU Li, SHI Caiyun^a, WEI Zhifeng, XU Yuxi, LI Qiuli, GAO Dengtao*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstract: 【Objective】The effects of different load levels on the branch composition, relative content of chlorophyll (SPAD), leaf area, net photosynthetic rate, fruit quality and yield of Fuji trees on M9T337 dwarfing rootstock with tall-spindle system were studied to determine the appropriate load level, so as to provide reference for reasonable load in production. 【Methods】The materials were 5-year-old Fuji trees on M9T337 dwarfing rootstock. Six load-level treatments (I: 2 fruits retained per square centimeter of trunk cross-sectional area (TCSA); II: 3 fruits retained per square centimeter of TCSA; III: 4 fruits retained per square centimeter of TCSA; IV: 5 fruits retained per square centimeter of TCSA; V: 6 fruits retained per square centimeter of TCSA; VI: 7 fruits retained per square centimeter of TCSA) were designed in this experiment. The tree canopy was divided into three heights: lower (less than 1.0 m from the ground), middle (1.0–2.0 m from the ground) and upper (more than 2.0 m from the ground). The experiment was carried out after physiological fruit drop, and the load was determined by the trunk cross-sectional area. The trees with different loads were managed as usual. The development of the trees, the number of different types of branches [Long shoots (> 60 cm, > 30–60 cm), middle shoots

收稿日期: 2021-08-24 接受日期: 2022-03-07

基金项目: 国家重点研发项目(2019YFD1001403-3A); 兵团重大科技项目(2019AA004); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610192021203)

作者简介: 刘丽, 女, 硕士, 主要从事果树栽培生理研究。Tel: 0371-65330959, E-mail: liuli03@caas.cn。a 为共同第一作者。

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65330959, E-mail: gaodengtao@caas.cn

(>5-15 cm, >15-30 cm), spur shoots (≤ 5 cm)], SPAD, leaf area, net photosynthetic rate, fruit quality and yield were investigated. Excel was used to sort out the obtained data, and SPSS 22.0 was used for analysis of variance. 【Results】With the increase of fruit load, the change trend of the number of long shoots (> 60 cm, > 30-60 cm), middle shoots (> 5-15cm, > 15-30 cm) and spur shoots (≤ 5 cm) and total branches of 5-year-old Fuji trees on M9T337 dwarfing rootstock were not obvious. In this study, it was found that the 5-year-old Fuji on M9T337 dwarfing rootstock with tall-spindle system had 128 branches per tree, the total branches were 3.03×10^5 per hm^2 , and the yield was 6.27×10^4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. When the load was 2 fruits retained per square centimeter of TC-SA, SPAD was 56.28 and the net photosynthetic rate was $15.50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; when the load was 5 fruits retained per square centimeter of TC-SA, SPAD was 59.35, and the net photosynthetic rate of leaves was $17.28 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; when the load was 7 fruits retained per square centimeter of TC-SA, SPAD was 56.77, and the net photosynthetic rate of leaves was $16.45 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The photosynthetic rate and SPAD of leaves first increased and then decreased with the increase of fruit load. There was a negative correlation between leaf area and fruit load. When the load was 2 fruits retained per square centimeter of TC-SA, the leaf area was 34.92 cm^2 ; When the load was 7 fruits retained per square centimeter of TC-SA, the leaf area was 15.12 cm^2 . The photosynthetic rate, SPAD and leaf area of the same load in different heights of the canopy had no obvious change, indicating that the tall-spindle system had no effect on the photosynthetic rate, SPAD and leaf area. There was a negative correlation between fruit load and single fruit weight. With the increase of load, fruit shape index, soluble solids and L basically showed a downward trend, a and b first increased and then decreased, and fruit quality decreased, but had no effect on vitamin C content, titratable acid and fruit hardness. At the same load, the fruit shape index, hardness, soluble solids, titratable acid and vitamin C content in the upper height of the canopy were higher than those in the middle and lower heights, but there was no obvious difference between the middle and lower heights. In addition to the relationship with canopy, bagging also affected fruit quality and color setting. Bagging promoted coloring but significantly reduced fruit quality. The membership function method was used for comprehensive analysis. The membership function values of each index of different loads were $\text{IV} > \text{III} > \text{II} > \text{I} > \text{V} > \text{VI}$ in a descending order. When the load of 5-year-old Fuji on M9T337 dwarfing rootstock with tall-spindle system was 5 fruits retained per square centimeter of TC-SA, the fruit yield, quality, color difference value, leaf net photosynthesis, SPAD, leaf area and other comprehensive indexes ranked the best. 【Conclusion】The suitable loading level of Fuji on M9T337 dwarfing self rootstock with tall spindle system was 5 fruits retained per square centimeter of trunk cross-sectional area. The yield was 6.27×10^4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the total branches amount was 3.03×10^5 per hm^2 . The ranking of leaf area index, fruit shape index and yield was the highest by using the membership function method.

Key words: Fuji apple; M9T337 dwarfing rootstock; Fruit load; Branches composition; Fruit quality; Yield

中国是世界上最大的苹果生产国和消费国,栽培面积和总产量均占世界的50%以上^[1]。随着果园管理机械化、省力化的推进,矮砧密植集约栽培模式已逐渐成为新建果园最常用的栽植模式,该模式也是世界苹果发展的方向^[2]。矮砧栽培具有易成花、结果早、用工量小、易于管理的特点,特别是M9T337矮化自根砧高纺锤形密植栽植模式,可以实现栽植2 a(年)有产量,3 a丰产,丰产稳产、果实品质好、经济效益高^[3-4],是目前生产中主要推广栽培模式。

果树的负载量是否合理与果树的产量、果实品质之间存在相辅相成密不可分的关系,合理负载量是保证树体生长势及获得优质、高产、稳产的重要基础^[5-6]。杨始锦等^[7]利用13年生乔化瓦里短枝盛果树进行试验,叶果比设置范围为10:1~60:1,得出叶果比为30:1~40:1时,有利于叶片光合物质积累和果实品质的形成。张秀美等^[8]以14~16年生乔化岳帅苹果为试材,负载量分别设置为 $73.17 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $106.63 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 、 $138.28 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$,研究发现负载量为

106.63 kg·株⁻¹的处理果实分布均匀,优质果比例高,有助于树体的营养积累和丰产稳产。薛晓敏等^[9]以7年生矮化中间砧红富士苹果为材料,研究发现每平方米留果4个,折合60 000 kg·hm⁻²为较适宜的负载量。丁宁等^[10]以5年生烟富3/M26/平邑甜茶为试材,疏果(2/3负载量和1/3负载量)虽然降低单株产量但显著改善果实品质,显著提高氮肥利用率,综合效益以2/3负载量,即单株留果量为(80±7)个最好。厉恩茂等^[11]以6年生GM310、MAC9、SH1、SH6、SH38和SH40共6种矮化中间砧嘎拉苹果树为试材,建议GM310适宜的负载量水平为每平方米干截面积留果5~6个,MAC9、SH1、SH38和SH40适宜的负载量水平为每平方米干截面积留果4~5个,SH6较适宜的负载量水平为每平方米干截面积留果3.0~3.5个。

目前关于苹果负载量的报道多集中在乔砧或者矮化中间砧栽培不同负载量对树体产量、果实品质以及营养分配利用的影响^[7-12]。关于矮化自根砧的合理负载量几乎没有报道。笔者以5年生M9T337矮化自根砧富士为材料,研究了不同负载量对苹果树体结构、叶片生长和果实品质的影响,以期矮化自根砧富士高纺锤形树形的合理负载提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于2019年5月至2020年11月在河南省灵宝市寺河山高山公司果园进行,果园为沙壤土,有机质含量(w)0.79%,氨态氮含量(ρ ,后同)为17.17 mg·L⁻¹,硝态氮含量为22.07 mg·L⁻¹,全磷含量为10.8 mg·L⁻¹,全钾含量为108.87 mg·L⁻¹,pH值为8.28。试验材料为5年生M9T337矮化自根砧阿珍富士(Aztec Fuji),株行距为1.2 m×3.5 m,树体生长一致,树形为高纺锤形。

1.2 试验设计

试验于生理落果后进行,应用于干截面积法确定留果量,在地面以上30 cm处取主干周长,再根据公式($S=L^2 \times 0.0796$;干截面积=干周平方×0.0796)计算出主干截面积,然后根据品种特性和树势强弱,由单位干截面积留果量计算出全树总的留果量。以每平方米干截面积留4个果为标准,然后用每平方米干截面积留果量×干截面积,即为全树总留果量。计算留果量作为标准负载量即100%负载

量。实际留果量要加10%的保险系数,按间距法(15~20 cm留1个果)疏去多余的果实,尽量使保留的果实分布均匀。试验设6个处理,I:每平方米干截面积(·cm² TCSA)留果2个;II:留果3个·cm² TCSA;III:留果4个·cm² TCSA;IV:留果5个·cm² TCSA;V:留果6个·cm² TCSA;VI:留果7个·cm² TCSA。单株小区,3次重复。定果后的试验树参照园区正常管理:树冠上层果实全不套袋,树冠中下层果实全部套袋。果袋为内黑外黄双层纸袋。

1.3 试验方法

将树冠分成下(距地面<1.0 m)、中(1.0~2.0 m)、上(距地面>2.0 m)3个层次。

采果落叶后用钢卷尺分别测定树高、主枝长度、主枝粗度。调查主枝数量及主枝上各分枝数量,长枝(>60 cm, >30~60 cm)、中枝(>5~15 cm, >15~30 cm)、短枝(≤5 cm)数量,计算各枝量。

叶面积用叶面积仪Li3000进行测定,采用SPAD-502叶绿素仪测定叶片叶绿素相对含量,用美国PP System公司的CIRAS-3便携式光合仪测定光合指标,测定在晴天上午8:00—10:00进行。于8月中上旬,取树体冠层外围中部健康成熟完整叶片进行测定,每个处理每个冠层取10枚叶片。

10月下旬果实成熟期每处理在上、中、下各层树冠外围随机采10个果,样品带回实验室进行测量分析。单果质量用天平进行测定;果形指数用游标卡尺进行测定;可溶性固形物含量用日本Atago-PAL-1型数字糖度计测定;果实硬度用GY-1果实硬度计测定;维生素C含量依照GB/T 5009.86—2016测定;可滴定酸含量按照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》,采用滴定法测定;果实色差采用NR60CP进行测定L、a和b,每个果取3个点,测得的各项数据取平均值。

1.4 数据处理

使用Excel整理试验数据,利用SPSS 22.0进行方差分析。不同处理的效果评价应用模糊数学中的隶属函数值法^[13]。隶属函数值计算公式:

$$Z_{ij} = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}),$$

如果为负相关,则用反隶属函数进行转换,计算公式为:

$$Z_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

其中: Z_{ij} 表示*i*品种*j*指标的隶属函数值; X_{ij} 表示*i*品种*j*指标的测定值; X_{\max} 和 X_{\min} 分别表示各品种中

指标的最大和最小测定值。

2 结果与分析

2.1 不同负载量对富士苹果树体结构和枝类组成的影响

从表1可以看出,5年生M9T337矮化自根砧富士高纺锤形树形树高为3.53~3.77 m,结果枝组数量为25~29个,结果枝组长度为0.76~0.87 m,结果枝组

粗度为1.37~1.75 cm。不同负载量条件下,树体的树高、干径、结果枝组数量、结果枝组长度均无显著差异。

负载量高的树体总枝量和短枝量(≤ 5 cm)最多。处理I总枝量为 2.82×10^5 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,短枝量(≤ 5 cm)为 1.04×10^5 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$;处理VI总枝量为 4.04×10^5 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,短枝量(> 5 cm)为 2.12×10^5 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。随着负载量的增加,长枝数量、中枝数量、短枝数量和总枝量

表1 不同负载量对富士苹果树体结构和枝类组成的影响

Table 1 The effects of different load on tree structure and composition proportion of branch of Fuji apple

处理 Treatment	树高 Height/m	干径 diameter/ cm	结果枝组数量 Number of fruit branch groups per plant	结果枝组长度 Fruit branch groups length/m	结果枝组粗度 Fruit branch groups diameter/cm	总枝量 Total branches/ ($\times 10^5$ No. $\cdot \text{hm}^{-2}$)	长枝数量 Loog shoots/ ($\times 10^5$ No. $\cdot \text{hm}^{-2}$)	中枝数量 Medium shoots/ ($\times 10^5$ No. $\cdot \text{hm}^{-2}$)	短枝数量 Spur shoots/ ($\times 10^5$ No. $\cdot \text{hm}^{-2}$)
I	3.67±0.29 a	5.23±0.81 a	29.33±3.06 a	0.86±0.15 a	1.57±0.13 ab	2.82±0.22 a	1.33±0.05 a	0.44±0.03 a	1.04±0.14 b
II	3.57±0.06 a	5.67±0.76 a	27.00±3.61 a	0.87±0.05 a	1.75±0.32 a	3.21±0.51 a	1.41±0.20 a	0.63±0.14 a	1.16±0.20 b
III	3.53±0.06 a	4.47±0.61 a	28.33±3.79 a	0.76±0.07 a	1.37±0.08 b	2.80±0.32 a	1.07±0.20 a	0.80±0.17 a	0.93±0.05 b
IV	3.77±0.25 a	5.23±0.66 a	25.33±9.07 a	0.78±0.06 a	1.50±0.06 ab	3.03±0.63 a	1.16±0.20 a	0.62±0.18 a	1.24±0.28 ab
V	3.57±0.06 a	4.57±0.72 a	27.00±7.00 a	0.80±0.07 a	1.40±0.08 b	2.85±0.88 a	1.03±0.22 a	0.56±0.24 a	1.26±0.42 ab
VI	3.60±0.10 a	4.97±0.74 a	26.00±1.73 a	0.80±0.05 a	1.45±0.08 b	4.04±0.21 a	1.19±0.41 a	0.74±0.11 a	2.12±0.37 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($p \leq 0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at $p \leq 0.05$. The same below.

变化趋势不明显。其中处理VI的总枝数量高于其他处理但差异不显著,短枝量(≤ 5 cm)显著高于其他处理,中枝量($> 5 \sim 15$ cm, $> 15 \sim 30$ cm)、长枝量($> 30 \sim 60$ cm, > 60 cm)和其他处理相比差异不显著。

2.2 不同负载量对富士苹果叶片生长的影响

2.2.1 不同负载量对富士苹果叶片叶绿素相对含量的影响 叶绿素含量的高低可反映光合能力的强弱,叶绿素含量越低,光合作用越弱,不利于植物的生长^[14]。由图1可知,叶片叶绿素相对含量随着负

载量的增加呈现先升高后降低的趋势。不同负载量叶绿素相对含量由大到小依次为 $IV > III > V > II > VI > I$,处理IV的叶绿素相对含量最高为59.35,和其他处理相比差异显著;处理I的叶绿素相对含量最低为56.28。处理II、III、V之间叶绿素相对含量差异不显著。

2.2.2 不同负载量对富士苹果叶面积的影响 叶面积是衡量叶片光合能力的指标,叶面积越大,越有利于拦截更多的阳光制造有机物^[15]。叶片面积随着负载量的增加而减少(图2),叶片面积由大到小依次

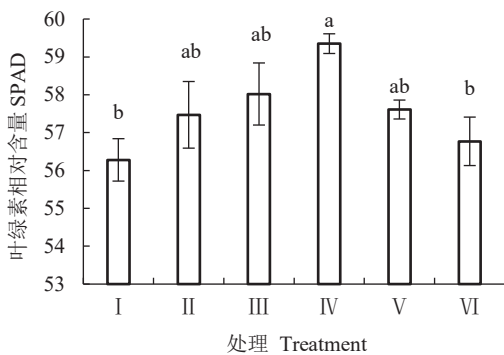


图1 不同负载量对富士苹果叶片叶绿素相对含量的影响
Fig. 1 The effects of different load on leaf SPAD of Fuji apple leaves

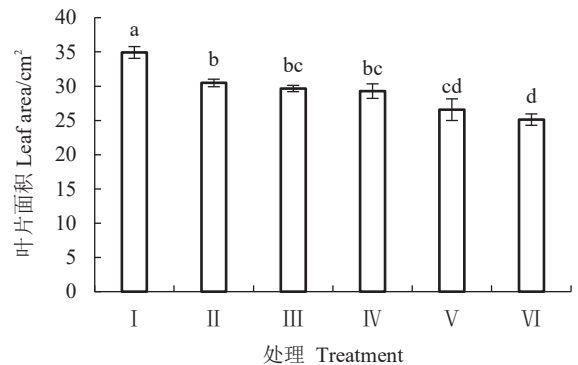


图2 不同负载量对富士苹果叶片面积的影响
Fig. 2 The effects of different load on leaf area of Fuji apple

为: I > II > III > IV > V > VI。处理 I 的叶片面积最大为 34.92 cm², 和其他处理相比差异显著; 处理 VI 的叶片面积最小为 25.12 cm², 与其他处理相比差异显著。

2.2.3 不同负载量对富士苹果不同冠层叶片生长的影响 由表 2 可知, 树冠上层的叶片叶绿素相对含量 (SPAD) 随着负载量的增加先增加后减少, 树冠中层和下层叶片面积与负载量之间变化不规律。同一冠层的叶片面积基本随负载量的增加呈减少趋势, 处理 I 在同一冠层的叶片面积均为最大, 处理 VI 在同一冠层的叶片面积均为最小; 同一负载量的叶片面积与不同冠层间无规律性变化。除处理 III、VI 外, 不同冠层的叶片叶绿素相对含量都是中层最高, 上层和下层稍偏低。说明不同冠层对叶片叶绿素相对含量、叶片面积影响不大。

2.3 不同负载量对富士苹果叶片光合指标的影响

2.3.1 不同负载量对富士苹果叶片光合指标的影响 从表 3 可以看出, 净光合速率随着负载量的增

表 2 不同负载量对富士苹果不同冠层叶片生长的影响
Table 2 The effects of different load on leaf growth in different canopy heights of Fuji apple

树冠高度 Canopy height/m	处理 Treatment	叶绿素相对含量 SPAD	叶片面积 Leaf area/cm ²
> 2.0 m	I	55.45±1.95 b	35.57±2.55 a
	II	57.71±0.50 ab	29.48±4.95 b
	III	59.39±0.75 a	30.44±2.91 b
	IV	58.83±0.64 a	27.16±0.47 ab
	V	57.75±0.45 ab	23.40±1.44 b
	VI	55.50±2.27 b	23.32±2.42 b
1.0~2.0 m	I	57.34±0.98 ab	35.97±2.52 a
	II	58.86±1.60 ab	30.55±1.83 b
	III	56.55±1.13 b	29.70±2.38 b
	IV	59.70±0.76 a	30.38±3.31 b
	V	57.96±2.05 ab	28.19±2.56 b
	VI	57.35±0.48 ab	25.75±2.01 b
< 1.0 m	I	56.06±1.13 b	33.21±4.92 a
	II	55.83±1.01 b	31.38±3.01 ab
	III	58.14±0.94 ab	28.84±2.26 ab
	IV	59.51±0.47 a	30.30±1.78 ab
	V	57.13±2.18 ab	28.11±1.04 ab
	VI	57.47±1.85 ab	26.29±2.25 b

表 3 不同负载量对富士苹果叶片光合指标的影响

Table 3 The effect of different load on photosynthetic characteristics of Fuji apple

处理 Treatment	净光合速率 P_n / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 C_i / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	气孔导度 G_s / ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 T_r / ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用率 WUE / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)
I	15.50±0.31 c	296.55±0.82 a	376.94±32.85 b	5.89±0.37 bc	2.74±0.10 a
II	15.88±0.64 bc	292.33±6.06 a	381.66±36.95 b	5.49±0.49 c	2.81±0.11 a
III	16.96±0.23 ab	283.82±4.55 a	513.81±19.61 a	6.99±0.17 a	2.35±0.03 b
IV	17.28±0.40 a	281.63±4.19 a	541.85±49.44 a	6.93±0.43 a	2.47±0.21 ab
V	17.15±0.38 ab	283.44±5.13 a	498.96±21.89 a	7.13±0.69 a	2.30±0.05 b
VI	16.45±0.39 abc	287.37±2.07 a	472.80±18.78 ab	6.55±0.03 ab	2.51±0.06 ab

加先增加再减少, 不同负载量净光合速率最高为处理 IV (17.28 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 其次是处理 V (17.15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 最低为处理 I (15.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); 胞间 CO_2 浓度随着净光合速率的增加而减少, 处理 I 最高 (296.55 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$), 最低为处理 IV (281.63 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$); 气孔导度和蒸腾速率随着净光合速率的升高而升高, 水分利用率随着蒸腾速率的降低而降低。

2.3.2 不同负载量对富士苹果不同冠层叶片光合指标的影响 同一冠层不同负载量之间净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、蒸腾速率、水分利用率变化规律不明显; 同一负载量不同冠层之间光合指标也无明显变化规律, 说明高纺锤形树形不同冠层对光合指标影响不大, 是高光效树形 (表 4)。

2.4 不同负载量对富士苹果果实品质和色差值的影响

2.4.1 不同负载量对富士苹果果实品质和色差值的影响 从表 5 可以看出, 随着负载量的增加, 整株苹果的单果质量、果形指数和 L 值都是呈下降趋势, 其中, 处理 I 的单果质量最大, 为 276.37 g, 处理 VI 的单果质量最小, 为 221.49 g; 处理 I 的果形指数最大, 为 0.92, 处理 VI 的果形指数最小, 为 0.85; 负载量 I 的 L 最大, 为 47.06, 处理 VI 的 L 值最小, 为 43.28。整株苹果的果实硬度、可滴定酸含量、固酸比和负载量之间并不呈规律性变化, 处理 IV 的硬度最高, 为 5.88 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, 处理 V 最低, 为 5.56 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$; 可滴定酸含量最低是处理 III、V、VI, 均为 0.22, 最高是处理 II, 为 0.25; 固酸比从大到小依次为 III > IV > V >

表4 不同负载量对富士苹果不同冠层叶片光合指标的影响

Table 4 Effects of different loads on Photosynthetic indexes of leaves in different canopy heights of Fuji apple

冠层	处理 Treatment	净光合速率 P_n / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 C_i / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	气孔导度 G_s / ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 T_r / ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用率 $WUE/(\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1})$
>2.0 m	I	14.94±0.55 a	298.11±26.67 a	327.11±17.29 abc	5.23±0.13 bc	2.92±0.19 a
	II	17.16±1.18 a	280.33±11.72 a	455.44±55.41 abc	6.36±0.32 abc	2.68±0.19 ab
	III	17.30±1.49 a	275.89±2.53 a	497.22±30.50 ab	7.13±0.21 a	2.40±0.15 c
	IV	16.78±0.89 a	289.44±11.88 a	443.22±19.21 abc	6.07±0.35 abc	2.89±0.29 ab
	V	17.91±0.37 a	272.33±2.52 a	524.89±25.15 a	7.26±0.62 a	2.22±0.21 c
	VI	17.20±0.87 a	277.78±5.58 a	490.51±20.33 ab	6.52±0.90 ab	2.60±0.19 ab
1.0~2.0 m	I	15.56±1.19 a	296.22±5.10 a	364.78±44.35 b	5.92±0.82 bc	2.69±0.88 a
	II	15.18±0.76 a	299.78±10.61 a	348.33±7.84 b	5.47±0.42 a	3.03±0.09 a
	III	16.51±1.21 a	291.67±5.67 ab	491.33±42.21 a	6.66±0.83 abc	2.32±0.27 a
	IV	16.98±0.49 a	275.11±10.03 b	585.11±48.15 a	7.39±0.37 a	2.29±0.20 a
	V	16.69±1.16 a	290.56±14.00 ab	516.56±24.93 a	7.03±0.67 ab	2.27±0.34 a
	VI	15.87±0.83 a	295.33±3.71 a	477.44±30.82 a	6.61±0.85 bc	2.40±0.18 a
<1.0 m	I	16.01±0.24 ab	295.33±11.29 a	438.94±66.37 c	6.52±0.45 ab	2.60±0.19 ab
	II	15.31±0.83 b	296.89±7.07 a	341.22±56.79 c	4.65±0.78 c	2.71±0.19 a
	III	17.07±0.96 ab	283.89±13.38 a	552.89±46.55 ab	7.18±0.67 ab	2.33±0.31 a
	IV	18.08±0.40 a	280.33±11.72 a	597.22±51.17 a	7.33±0.39 a	2.23±0.28 a
	V	16.84±0.71 ab	287.44±10.87 a	455.44±55.41 abc	7.09±0.81 ab	2.40±0.09 a
	VI	16.28±0.70 ab	289.00±15.21 a	450.44±38.30 bc	6.52±0.90 ab	2.54±0.28 a

表5 不同负载量对富士苹果果实品质和色差值的影响

Table 5 The effects of different load on fruit quality and color values of Fuji apple

处理 Treat- ment	单果质量 Fruit weight/g	果形指数 Fruit shape index	硬度 Hardness/ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	w(可溶性 固形物) Soluble solids/%	w(可滴 定酸) Titratable acidity/%	固酸比 Sugar- acid ratio	w(维生素C) Vitamin C content/ ($\text{mg}\cdot\text{100 g}^{-1}$)	L	a	b
I	276.37±13.23 a	0.92±0.01 a	5.64±0.49 a	13.99±0.51 a	0.23±0.01 a	57.69±2.06 b	2.27±0.37 a	47.06±1.63 a	31.25±2.98 a	12.06±0.37 a
II	273.14±8.57 a	0.91±0.01 a	5.62±0.49 a	14.08±0.53 a	0.25±0.01 a	56.63±3.00 b	2.78±0.82 a	46.07±1.70 a	31.75±3.00 a	12.28±0.22 a
III	245.89±6.68 b	0.89±0.02 ab	5.82±0.34 a	13.36±0.80 a	0.22±0.02 a	65.55±2.25 a	2.38±0.95 a	45.76±1.58 a	32.69±3.09 a	12.58±0.54 a
IV	244.31±10.00 b	0.87±0.03 ab	5.88±0.26 a	14.01±0.22 a	0.23±0.01 a	61.70±1.38 ab	2.46±0.30 a	44.78±2.76 a	32.90±4.18 a	12.62±0.21 a
V	223.93±0.83 b	0.87±0.01 ab	5.56±0.48 a	12.72±0.37 a	0.22±0.01 a	58.97±2.27 ab	1.90±0.44 a	44.25±3.06 a	31.73±3.85 a	11.44±0.72 a
VI	221.49±2.50 b	0.85±0.00 b	5.59±0.39 a	12.48±0.32 a	0.22±0.02 a	56.72±1.89 b	1.91±0.51 a	43.28±2.90 a	31.36±3.28 a	12.00±0.47 a

I > VI > II; a 随着负载量的增加呈现先增加后减少的趋势, b 与负载量之间变化规律不明显。

2.4.2 不同负载量对富士苹果不同冠层果实品质和色差值的影响 同一冠层的单果质量、果形指数和可溶性固形物含量基本是随着负载量的增加呈减少趋势(表6)。在上层和中层,处理 I 的单果质量均最大,分别为 299.13、276.67 g,处理 VI 的单果质量均最小,分别为 216.60、224.87 g。在下层,处理 II 的单果质量最大,为 290.27 g,处理 IV 的单果质量最小,为 222.47 g;在上层和下层,处理 I 的果形指数均为最高(0.93);在上层和上层,处理 I 的可溶性固形物含量均最高,分别为 15.00%、14.07%,处理 VI 的

可溶性固形物含量最低,分别为 12.97%和 12.60%。不同冠层部位可滴定酸、维生素 C 含量与负载量之间无明显变化规律;同一负载量的单果质量和果形指数与不同冠层间没有明显变化规律;同一负载量的果实硬度及可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量均表现为树冠上层高于中层和下层,中层和下层无明显变化规律,这除了与冠层有关,套袋也降低了果实的品质。

同一冠层,树冠上层的亮度值 L 随着负载量的增加而降低,树冠中层和下层亮度值 L 随着负载量增加有下降趋势,但不呈负向变化;同一负载量,树冠上层的亮度值 L 和红绿色差值 a 低于树冠中层和

表 6 不同负载量对富士苹果不同冠层果实品质和色差值的影响

Table 6 The effects of different load on fruit quality and color values in different canopy heights of Fuji apple

树冠高度 Canopy height/m	处理 Treatment	单果质量 Fruit weight/g	果形指数 Fruit shape index	硬度 Hardness/(kg·cm ⁻²)	w(可溶性固形物) Soluble solids/%	w(可滴定酸) Titratable acidity/%
>2.0 m	I	299.13±41.99 a	0.93±0.02 a	6.61±0.02 a	15.00±0.66 a	0.25±0.02 a
	II	264.67±17.76 ab	0.92±0.03 a	6.59±0.55 a	14.42±0.60 a	0.26±0.03 a
	III	257.73±28.65 abc	0.84±0.03 b	6.48±0.45 a	14.87±0.61 a	0.25±0.02 a
	IV	224.53±14.71 bc	0.92±0.01 a	6.37±0.38 a	14.92±0.28 a	0.24±0.02 b
	V	224.00±15.59 bc	0.85±0.03 b	6.52±0.42 a	13.40±0.26 b	0.24±0.02 b
	VI	216.60±12.26 c	0.85±0.01 b	6.35±0.60 a	12.97±0.95 b	0.25±0.00 a
1.0~2.0 m	I	276.67±10.78 a	0.90±0.02 a	5.10±0.25 b	14.07±0.15 a	0.22±0.02 a
	II	264.47±9.25 a	0.89±0.01 ab	5.22±0.15 b	13.93±0.64 ab	0.23±0.02 a
	III	245.33±6.20 ab	0.92±0.02 a	5.58±0.20 ab	14.00±1.22 a	0.20±0.01 b
	IV	256.80±21.11 ab	0.87±0.01 bc	5.78±0.54 a	12.97±1.10 a	0.22±0.01 a
	V	225.33±21.10 b	0.89±0.03 ab	5.16±0.26 b	12.63±0.42 a	0.20±0.02 b
	VI	224.87±32.15 b	0.84±0.01 c	5.32±0.02 ab	12.60±0.40 a	0.20±0.03 b
<1.0 m	I	253.30±20.16 b	0.93±0.15 a	5.20±0.45 a	13.17±0.51 ab	0.22±0.06 ab
	II	290.27±20.61 a	0.93±0.00 a	5.06±0.14 a	13.67±0.61 a	0.25±0.01 a
	III	251.60±7.85 b	0.90±0.03 ab	5.39±0.36 a	13.10±0.61 ab	0.21±0.03 b
	IV	222.47±22.54 b	0.82±0.06 c	5.50±0.12 a	12.20±0.82 bc	0.23±0.04 a
	V	234.60±7.32 b	0.88±0.03 abc	5.01±0.27 a	12.13±0.15 bc	0.21±0.02 b
	VI	223.00±32.33 b	0.85±0.03 bc	5.10±0.46 a	11.87±0.46 c	0.20±0.03 b
树冠高度 Canopy height/m	处理 Treatment	固酸比 Sugar-acid ratio	w(维生素 C) Vitamin C/(mg·100g ⁻¹)	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
>2.0 m	I	60.80±1.01 a	2.98±0.27 ab	43.81±3.02 a	25.35±0.68 a	12.03±0.67 ab
	II	54.67±2.69 a	4.36±0.43 a	42.93±1.86 a	25.87±1.39 a	11.96±1.77 ab
	III	58.83±2.81 a	4.28±0.88 ab	42.64±2.21 ab	26.50±2.43 a	12.82±1.27 a
	IV	62.35±2.42 a	2.77±0.58 b	39.29±1.83 bc	24.60±0.85 a	12.41±1.46a
	V	55.83±0.64 a	2.78±0.68 b	38.13±1.16 c	24.12±0.40 a	10.01±0.87b
	VI	52.49±5.37 a	2.94±0.20 ab	37.74±0.44 c	24.84±1.30 a	11.40±0.69ab
1.0~2.0 m	I	63.39±3.83 a	1.97±0.64 bc	48.50±1.14 a	34.92±1.06 b	12.72±0.93 a
	II	62.87±3.25 a	2.40±0.31 ab	46.53±1.78 ab	35.76±0.78 ab	12.18±1.38 a
	III	70.32±2.24 a	1.46±0.16 c	46.84±2.58 ab	35.89±1.32 ab	11.54±0.49 a
	IV	59.23±7.39 a	2.74±0.27 a	46.96±0.71 ab	37.88±1.77 a	12.41±1.21 a
	V	63.55±3.93 a	1.55±0.11 c	47.21±1.18 ab	36.60±0.70 ab	12.17±0.64 a
	VI	63.76±6.68 a	1.44±0.12 c	44.57±2.33 b	35.14±1.35 b	11.67±1.17 a
<1.0 m	I	61.08±3.83 a	1.84±0.64 a	48.88±2.32 a	33.48±1.12 a	11.44±0.77 a
	II	54.75±2.23 a	1.59±0.22 a	48.76±0.47 a	33.62±0.26 a	12.70±1.94 a
	III	63.47±2.04 a	1.40±0.04 a	47.80±1.47 a	35.67±1.21 a	13.37±1.35 a
	IV	52.80±4.05 a	1.86±0.62 a	48.08±0.81 a	36.22±0.66 a	13.03±1.39 a
	V	58.39±4.24 a	1.36±0.15 a	47.42±3.11 a	34.47±0.84 a	12.15±0.12 a
	VI	61.90±7.22 a	1.36±0.39 a	47.52±0.67 a	34.11±3.08 a	12.94±0.70 a

下层,树冠中层和下层的亮度值 *L* 和红绿色差值 *a* 与负载量间无明显变化规律,这可能是由套袋造成的。黄蓝色差值 *b* 在不同负载量和不同冠层之间无明显变化规律。

2.5 不同负载量对富士苹果产量的影响

从表 7 可以看出,产量随着负载量增加呈现增加的趋势,但与负载量的增加不呈正比例关系。各

个处理间差异显著。其中处理 VI 产量最高,为 $7.24 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 处理 I 产量最低,为 $2.88 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。产量由大到小依次为 VI > IV > V > II > III > I。

2.6 不同处理的效果评价

对不同负载量的各个指标用隶属函数法进行了综合评价,从表 8 可以看出,不同负载量各指标的隶属函数值从大到小依次为 IV > III > II > I > V > VI。说

表 7 不同负载量对富士苹果产量的影响

Table 7 The effects of different load on fruit yield of Fuji apple

处理 Treatment	留果数 Fruit number/per plant	单果质量 Single fruit weight/g	产量 Yield/ ($\times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	处理 Treatment	留果数 Fruit number/per plant	单果质量 Single fruit weight/g	产量 Yield/ ($\times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
I	44.00±13.75 c	276.37±13.23 a	2.88±0.52 c	IV	108.0±26.58 ab	244.31±10.00 b	6.27±0.89 ab
II	76.67±21.08 bc	273.14±8.57 a	4.96±0.79 abc	V	100.0±32.66 ab	223.93±0.83 b	5.32±1.00 abc
III	63.00±16.70 bc	245.89±6.68 b	3.67±0.56 bc	VI	138.0±41.62 a	221.49±2.50 b	7.24±1.26 a

表 8 富士苹果不同负载量各指标的隶属函数值

Table 8 The membership function of each index in different treatment of Fuji apple

处理 Treatment	隶属函数值 Membership function															平均隶属函数值 Average membership function	综合排序 Comprehensive ranking
	净光合速率 P_n	叶绿素相对含量 SPAD	叶片面积 Leaf area	单果质量 Fruit weight	产量 Yield	果形指数 Fruit shape index	硬度 Hardness	可溶性固形物含量 Soluble solids	可滴定酸含量 Titratable acidity	固酸比 Sugar-acidity ratio	维生素C含量 Vitamin content	L	a	b			
I	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.16	1.00	0.56	0.85	0.41	1.00	0.00	0.53	0.536	4	
II	0.21	0.36	0.55	0.94	0.48	0.91	0.11	0.95	0.00	0.24	1.00	0.74	0.30	0.71	0.537	3	
III	0.82	0.49	0.46	0.47	0.18	0.32	0.77	0.94	1.00	0.98	0.54	0.66	0.87	0.97	0.677	2	
IV	1.00	1.00	0.42	0.44	0.77	0.55	1.00	0.55	0.56	1.00	0.63	0.40	1.15	1.00	0.747	1	
V	0.93	0.41	0.15	0.04	0.56	0.36	0.82	0.15	1.00	0.00	0.00	0.26	0.29	0.00	0.355	5	
VI	0.61	0.14	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.40	0.00	0.00	0.07	0.48	0.264	6	

明M9T337矮化自根砧苹果以每平方厘米干截面积留果量为5个果时,各方面综合性状表现最优,其次是每平方厘米干截面积留果4个。

3 讨论

负载量调控技术是通过调节“库”的大小,平衡果实间营养物质的竞争、提升果实品质的一项技术^[16]。因此要维持源库平衡,保持合理的留果量和枝叶量,使生殖生长和营养生长达到平衡,才能保证优产、稳产。梁海忠等^[17]认为9年生纺锤形矮砧苹果树的合理总枝数量为 119.4×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,产量可达到 $5.62 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。张秀美等^[15]报道10年生丽嘎拉中间砧苹果树的冬剪后留枝量为 $(10 \sim 12) \times 10^5$ 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,适宜产量为 $8.15 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。李宏建等^[18]研究发现7~8年生丽嘎拉/平邑甜茶砧穗组合高纺锤形苹果树总枝数量 14.13×10^5 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,产量为 $6.19 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。本研究发现M9T337矮化自根砧5年生富士高纺锤形树形单株留枝量为128个 $\cdot \text{株}^{-1}$,总枝量为 3.03×10^5 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,产量为 $6.27 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。本研究试验地块位于灵宝市寺河山,地处黄土高原,土壤条件比较瘠薄,虽然水肥一体化设施很好,但调查显示其5年生树平均每 666.7 m^2 产量只有2500 kg左右,和土壤肥沃的果园相比,产量明显偏低。园区

土肥条件可能会对研究结果形成一定的偏差,但在同等管理条件下不同负载量对自根砧苹果生长和果实品质的研究有一定的参考意义。

笔者在本研究中发现叶片光合速率和相对叶绿素含量随着负载量的增加先增加后减少。这与张秀美等^[3]的研究结果一致。张秀美等^[3]认为负载量过高时叶绿素含量快速降低,叶片的脱落酸含量升高,从而加速叶片的衰老,进而影响净光合速率下降,叶片库制造的养分不能充分地供应果实,也产生了净光合速率下降的情况。而冉辛拓等^[19]对乔化长富1研究表明,随着负载量增加,光合速率与留果量呈极显著正相关。薛晓敏等^[20]发现盛果期富士苹果留果量的增加会降低叶面积系数和叶绿素含量。本研究得出叶片面积与留果量呈负相关,每平方厘米干截面积留果2个时叶片面积是 34.92 cm^2 ;每平方厘米干截面积留果7个时叶片面积是 15.12 cm^2 ,这与前人研究一致。关于负载量与光合速率、相对叶绿素含量关系的分歧有待进一步研究。同一负载量在不同冠层的光合速率、相对叶绿素含量、叶片面积没有明显变化规律,说明高纺锤形树形冠层不同部位微环境相对一致,光照及叶片生长发育差异不大,是高光效树形。

本研究表明负载量与单果质量呈负相关,随着

负载量的增加,果形指数、可溶性固形物含量、*L*值基本都呈下降趋势,*a*、*b*先增加后降低,果实品质降低,但对可滴定酸含量和果实硬度影响不大。这和薛晓敏等^[21]与李卓阳等^[22]的研究结果一致。在本试验中,产量并不随着负载量的增加而增加,产量与单果质量和留果量有关。单果质量取决于留果量,留果量取决于干截面积。干截面积大时留果量多产量也高;干截面积小留果量多产量反倒降低。同时留果量大会大大影响果实的品质,只有源库平衡,才能达到优质、高产。M9T337矮化自根砧5年生富士苹果高纺锤形树每平方厘米干截面积留果5个时果实产量、品质、色差值及叶片净光合速率、叶片相对叶绿素含量、叶片面积等综合指标排序最优,即M9T337矮化自根砧5年生富士高纺锤形树形最佳留果量为每平方厘米干截面积留5个果。这跟前人^[6,11]对矮化中间砧苹果研究结果一致。在本试验中,同一负载量,树冠上层的硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量等均高于中层和下层,中层和下层则无明显规律;该试验中树冠上层的着色明显差于树冠的中层和下层。这个除了和冠层有关系,套袋也影响了果实品质和着色情况,套袋促进着色但明显降低了果实品质。所有处理均参考生产中实际情况进行操作,即所有处理均采用上层不套袋,中下层进行套袋,可将套袋对不同负载量的影响忽略,同时为生产实际提供参考。

4 结 论

5年生M9T337矮化自根砧富士高纺锤形树形较适宜的负载量为每平方厘米干截面积留5个果,产量为 $6.27 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,总枝量为 $3.03 \times 10^5 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$,利用隶属函数法对叶片指标、果实指标及产量综合评价排名最高。

参考文献 References:

- [1] 李民吉,张强,李兴亮,周贝贝,杨雨璋,张军科,周佳,魏钦平. 4种矮化砧木对再植苹果幼树生长、产量和品质的影响[J]. 中国农业科学,2020,53(11):2264-2271.
- LI Minji, ZHANG Qiang, LI Xingliang, ZHOU Beibei, YANG Yuzhang, ZHANG Junke, ZHOU Jia, WEI Qinqing. Effects of 4 dwarfing rootstocks on growth, yield and fruit quality of 'Fuji' sapling in apple replant orchard[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 53(11):2264-2271.
- [2] 马宝焜,徐继忠,孙建设. 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报,2010,27(1):105-109.
- MA Baokun, XU Jizhong, SUN Jianshe. Consideration for high density planting with dwarf rootstocks in apple in China[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(1):105-109.
- [3] 张秀美,王宏,刘志,于年文,李宏建,里程辉. 岳阳红苹果矮化栽培与负载量关系研究[J]. 果树学报,2021,38(7):1077-1083.
- ZHANG Xiumei, WANG Hong, LIU Zhi, YU Nianwen, LI Hongjian, LI Chenghui. Study on the relationship between dwarfing cultivation and load of Yueyanghong apple[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(7):1077-1083.
- [4] 张士伟,刘艳侠,张忠伟,杨丽媛,李晓刚. 'M9T337'矮化自根砧'烟富3'苹果在江苏丰县的引种表现及苗木繁育技术[J]. 中国果树,2018(5):88-90.
- ZHANG Shiwei, LIU Yanxia, ZHANG Zhongwei, YANG Liyuan, LI Xiaogang. Introduction performance and seedling propagation techniques of 'M9T337' dwarfing rootstock 'Yanfu 3' apple in Fengxian County, Jiangsu Province[J]. China Fruits, 2018(5):88-90.
- [5] 宁万军,张强,黄闽敏,刘旭丽. 不同负载量对重新2核桃树体营养、生长及果实品质的影响[J]. 果树学报,2021,38(9):1550-1556.
- NING Wanjun, ZHANG Qiang, HUANG Minmin, LIU Xuli. Effects of loading capacity on tree nutrition, growth and fruit quality of Xinxin 2 walnut[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(9):1550-1556.
- [6] 薛晓敏,韩雪平,陈汝,王来平,聂佩显,王金政. 盛果期矮化中间砧烟富3号苹果适宜负载量的研究[J]. 中国果树,2020,(1):87-91.
- XUE Xiaomin, HAN Xueping, CHEN Ru, WANG Laiping, NIE Peixian, WANG Jinzheng. Study on the suitable capacity of dwarfing interstock Yanfu 3 apple in full fruiting period[J]. China Fruits, 2020, (1):87-91.
- [7] 杨始锦,毛娟,田凤娟,马宗桓,左存武,褚明宇,马彦妮,陈佰鸿. 叶果比对瓦里短枝苹果叶片生理特性和果实品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2018,53(6):121-128.
- YANG Shijin, MAO Juan, TIAN Fengjuan, MA Zonghuan, ZUO Cunwu, CHU Mingyu, MA Yanni, CHEN Baihong. Effects leaf-fruit ratio on physiological characteristics and fruit quality of Valle Spur[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2018, 53(6):121-128.
- [8] 张秀美,王宏,刘志,于年文. 岳帅苹果不同负载量光照分布与果实品质的关系[J]. 果树学报,2017,34(11):1408-1414.
- ZHANG Xiumei, WANG Hong, LIU Zhi, YU Nianwen. Relationships between distribution of relative light intensity and quality in Yueshuai apple with different fruit loads[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(11):1408-1414.
- [9] 薛晓敏,韩雪平,王来平,丛培建,聂佩显,王金政. 负载量水平对矮化中间砧苹果生长发育、光合作用及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):202-206.
- XUE Xiaomin, HAN Xueping, WANG Laiping, CONG Peijian, NIE Peixian, WANG Jinzheng. Effects of different loading lev-

- els on growth, photosynthesis, yield and quality of dwarfing interstock apple[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(21): 202-206.
- [10] 丁宁, 陈建明, 丰艳广, 沙建川, 张民, 姜远茂. 矮化苹果负载量对氮素吸收、分配及利用的影响[J]. *园艺学报*, 2016, 43(3): 549-556.
DING Ning, CHEN Jianming, FENG Yanguang, SHA Jianchuan, ZHANG Min, JIANG Yuanmao. Effects of fruit load on absorption, distribution and utilization of N in the dwarf apple[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(3): 549-556.
- [11] 厉恩茂, 赵德英, 李敏, 安秀红, 李壮, 程存刚. 不同矮化中间砧嘎啦苹果适宜负载量研究[J]. *中国果树*, 2019(6): 27-31.
LI Enmao, ZHAO Deying, LI Min, AN Xiuhong, LI Zhuang, CHENG Cungang. Research on suitable load of Gala apple trees with different dwarfing intermediate stocks[J]. *China Fruits*, 2019(6): 27-31.
- [12] 门永阁, 安欣, 许海港, 姜翰, 魏绍冲, 姜远茂. 不同负载量对苹果 ^{13}C 和 ^{15}N 分配、利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(3): 702-708.
MEN Yongge, AN Xin, XU Haigang, JIANG Han, WEI Shaochong, JIANG Yuanmao. Effects of different fruit load on distribution and utilization characteristics of ^{13}C and ^{15}N of apple[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(3): 702-708.
- [13] 许凤, 张颢, 杨春梅, 蹇洪英, 王其刚, 单芹丽, 汪国鲜, 曹桦. 利用隶属函数值法评价月季耐寒性[J]. *西南农业学报*, 2012, 25(5): 1870-1873.
XU Feng, ZHANG Hao, YANG Chunmei, JIAN Hongying, WANG Qigang, SHAN Qinli, WANG Guoxian, CAO Hua. Evaluation of cold-resistance of rose species using membership function[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(5): 1870-1873.
- [14] 王鹏. 土壤干湿交替对桑树幼苗生理及生长的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
WANG Peng. Effect of different drying-wetting cycles on mulberry seedling growth and physiology[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [15] 张秀美, 王宏, 张广仁. 不同负载量对苹果‘嘎啦’/MM106冠层光合能力及品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(10): 218-220.
ZHANG Xiumei, WANG Hong, ZHANG Guangren. Effects of different load on photosynthetic capacity and quality of apple ‘Li Gala’/MM106 canopy[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(10): 218-220.
- [16] GONZÁLEZ M, CUEVAS J. Optimal crop load and positioning of fruit in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 115(2): 129-134.
- [17] 梁海忠, 范崇辉, 江道伟. 不同树龄苹果高纺锤形树体结构及产量的研究[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(4): 152-154.
LIANG Haizhong, FAN Chonghui, JIANG Daowei. Structure and yield of Tall-spindle shaped apple trees with different ages[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26(4): 152-154.
- [18] 李宏建, 王宏, 刘志, 于年文, 宋哲, 张秀美, 里程辉. 嘎啦苹果不同留果量对枝类组成、果实品质和产量的影响[J]. *果树学报*, 2020, 37(12): 1856-1864.
LI Hongjian, WANG Hong, LIU Zhi, YU Nianwen, SONG Zhe, ZHANG Xiumei, LI Chenghui. Effects of fruit load on the composition of branches, fruit quality and yield of ‘Regal Gala’ apple[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(12): 1856-1864.
- [19] 冉辛拓, 张新生. 不同负载量对苹果光合速率及干物质生产的影响[J]. *华北农学报*, 2003, 18(S1): 131-132.
RAN Xintuo, ZHANG Xinsheng. Effect of crop load on photosynthetic rate and dry matter production of apple[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2003, 18(S1): 131-132.
- [20] 薛晓敏, 陈鸿飞, 王金政. 盛果期红富士苹果适宜负载量的研究[J]. *江西农业学报*, 2012, 24(9): 31-34.
XUE Xiaomin, CHEN Hongfei, WANG Jinzheng. Research on suitable fruit load of Red Fuji apple in full fruit period[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(9): 31-34.
- [21] 薛晓敏, 王金政, 聂佩显, 陈汝, 王来平. 结果初期矮化中间砧苹果适宜负载量研究[J]. *北方农业学报*, 2017, 45(4): 100-104.
XUE Xiaomin, WANG Jinzheng, NIE Peixian, CHEN Ru, WANG Laiping. Research of suitable load on dwarfing intermediate stock apple at beginning of fructification[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2017, 45(4): 100-104.
- [22] 李卓阳, 董晓颖, 王志鹏, 王金政, 李培环. 不同负载量处理对红富士苹果产量和品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(2): 210-214.
LI Zhuoyang, DONG Xiaoying, WANG Zhipeng, WANG Jinzheng, LI Peihuan. The Effects of different capacity on yield and quality of Red Fuji apple[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(2): 210-214.