

‘嘎拉’苹果不同留果量对枝类组成、果实品质和产量的影响

李宏建,王宏*,刘志,于年文,宋哲,张秀美,里程辉

(辽宁省果树科学研究所,辽宁熊岳 115009)

摘要:【目的】探讨留果量对高纺锤形‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’砧穗组合苹果枝类组成、果实品质和产量的影响,确定适宜的留果量水平,为生产中合理产量的选择提供理论参考。【方法】以7~8 a(年)生高纺锤形‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’苹果树为试材,设计4个目标的留果量水平,调查树体发育状况、不同类型枝条的数量和比例、果实品质和产量等指标。【结果】高纺锤形‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’苹果树随留果量的增加,树高、新梢长和总枝条数量逐渐减少,枝类组成中的短枝数量增幅明显,中枝(15~30 cm)和长枝数量(30~60 cm和 ≥ 60 cm)下降加快,导致总枝条数量显著降低;留果量可以影响不同冠层高度内的枝类组成数量和比例。随着留果量的增加,果实单果质量、维生素C含量逐渐下降,而硬度逐渐升高;处理III果面色差值(L 值、 a 值和 b 值)高于其他处理,树冠上层果实的着色和光亮程度明显优于下层。冠层高度2.0~3.0 m是树体产量分布的主要集中区域,占总产量比例的30%以上。【结论】综合比较认为,处理III(28.87×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$)是7~8 a生高纺锤形‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’苹果树适宜的留果量,该留果量水平的树体发育状况良好,枝类组成结构合理,果实外观、内在品质和产量较高,利于树体养分积累和优质丰产。

关键词:苹果;留果量;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(2020)12-1856-09

Effects of fruit load on the composition of branches, fruit quality and yield of ‘Regal Gala’ apple

LI Hongjian, WANG Hong*, LIU Zhi, YU Nianwen, SONG Zhe, ZHANG Xiumei, LI Chenghui

(Liaoning Institute of Pomology, Xiongyue 115009, Liaoning, China)

Abstract: 【Objective】The study explored the effects of fruit load on the composition of branches, fruit quality and yield in the high-spindle-shaped apple trees of ‘Regal Gala’ cultivar grafted on *Malus hupehensis* Rehd. rootstock in order to determine the appropriate fruit load level and to provide theoretical reference for the selection of reasonable yield in production. 【Methods】The materials were 7 to 8-year-old trees of ‘Regal Gala’ apple. Four load levels were designed in this experiment. The development of the trees, the number and proportion of different types of branches, fruit quality and yield and other indicators were investigated. 【Results】With the increase in fruit load, tree height, new shoot length and total number of branches decreased. The number of spur shoots increased significantly, and the numbers of medium shoots (15-30 cm) and long shoots (30-60 cm and ≥ 60 cm) decreased rapidly, resulting in a significant reduction in the total number of branches. In 2015, the number of spur shoots in treatment I was significantly higher than in the other treatments, and in 2016 the number of spur shoots in treatment IV was the highest, which was significantly different from that of treatment I and treatment II. Due to high fruit load, tree resources were allocated to fruit development with reduced supply to branch growth. As a result, tree vigor was significantly weakened, and thus the total number of branches signifi-

收稿日期:2020-03-17 接受日期:2020-07-27

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-27);辽宁省自然科学基金(2019-MS-179);辽宁省大石桥市果树科技特派团(2020JH5/10400040)

作者简介:李宏建,男,副研究员,硕士,从事苹果栽培生理生化研究工作。Tel:13840758126, E-mail:5lihongjian@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13940725660, E-mail:wanghong3034@163.com

cantly reduced. The canopy width in east-west direction was higher than that in the north-south direction in 2015 and 2016. The coverage rate in treatment III was the highest in 2015, while it was highest in treatment I and lowest in treatment IV in 2016. To clarify the effect of fruit load on the growth of branches in the canopy, the numbers and proportions of different branch types were investigated in 2016. The results showed that the number and proportion of branches were differentially affected by fruit load at different canopy heights. The proportion of spur shoots (< 5 cm) was the highest. Within the same canopy height, with the increase in fruit load, the proportion of spur shoots (< 5 cm) increased gradually with the increase in fruit load, while the proportion of long shoots (30-60 cm and ≥ 60 cm) decreased gradually. The canopy height of 1.0-3.0 m had the highest branches distribution. It was found that fruit load affected not only the internal quality of the fruit. With the increase of fruit load, the fruit weight and vitamin C content gradually decreased, while the fruit firmness increased gradually. Fruit color values (*L*, *a* and *b*) in treatment III were higher than the other treatments. Brightness of the fruit from the upper canopy was significantly higher than from the lower canopy. There was no significant difference in fruit firmness between treatment III and treatment II in 2015, or between treatment III and treatment IV in 2016. Fruit soluble solid content in treatment III was the highest in both seasons and the lowest in treatment IV. The titratable acidity in treatment II and treatment III was similar in 2015 and significantly higher than in the other treatments. It was the highest in treatment III in 2016. The canopy height of 2.0-3.0 m was the major part of yield, which accounted for 30 percent of the total yield. The fruit yield in treatment IV in all canopy heights was the highest. When the fruit load was 41.25×10^4 per hm^2 (treatment IV), the highest yield in 2015 and 2016 was 5.79×10^4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and 6.19×10^4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively.【Conclusion】Treatment III (28.87×10^4 per hm^2) was the appropriate fruit load for 7-8 year old high-spindle-shaped trees of ‘Regal Gala’ on *Malus hupehensis* Rehd. rootstock. The tree developed well with a reasonable branch structure, good yield, fruit appearance and intrinsic quality.

Key words: Apple; Fruit load; Branch composition; Fruit quality; Yield

负载量调控技术是通过调节“库”的大小,平衡“源(叶片)-库(果实)”关系,减少果实间营养物质的竞争,提升果实品质,获得高产和稳产的一项重要技术措施^[1-2]。过高的留果量,不仅会降低果实品质,影响果实商品性和经济价值,而且会过度消耗树体营养,使翌年树势减弱,树体容易出现早衰现象;过低的留果量,虽然可以改善果实品质,提升商品性,但是由于留果量低,会影响经济收益和花芽形成,造成树势过旺和“大小年”现象^[1,3-4]。

近年来,关于留果量的报道主要集中于留果量对果实品质、光合参数的影响等方面研究^[5-11]。冉辛拓等^[5]报道5~6 a(年)生‘长富1’苹果单果质量、可溶性固形物、可滴定酸含量随着负载量的增加而下降,负载量与叶片光合速率呈显著正相关。薛晓敏等^[6]报道4 a生矮化中间砧‘烟富3’苹果树适宜产量为30 000~33 750 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,负载量对果实着色和光洁度影响较大,而对果实硬度和可滴定酸含量影响较小。李卓阳等^[7]和薛晓敏等^[8]认为盛果期16、18 a

生的‘红富士’适宜的产量和总枝数分别为52 500~60 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和120万~135万个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,留果量过高会降低单果质量、可溶性糖和可溶性固形物含量。袁成龙等^[9]提出45 000~60 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 是红富士苹果园盛果期适宜的产量,总枝数120~135万个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,可以保证树体正常的光合作用,利于果园连年丰产和树体贮存较多营养。李泰山等^[10]发现树体产量影响杏李‘味帝’品质,降低树体产量能显著提高果实蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇和苹果酸含量,降低果实硬度、柠檬酸、草酸和奎宁酸含量。张秀美等^[11]报道10 a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 8.15×10^4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,留果量影响叶片光合速率、叶面积指数和果实品质。薛晓敏等^[8]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,但不影响枝条生长量和枝类组成。

维持合理的群体结构和适宜的枝叶量是苹果树丰产、稳产、优质的基础,而不同枝条类型在群体和

树体的空间分布与树体生长势、果实产量和品质密切相关^[12-13]。留果量对树体产量、果实品质的影响均有报道^[5-11]，而关于留果量对枝类组成和产量空间分布的影响等研究报道较少。‘丽嘎拉’是辽宁省果树科学研究所从新西兰引进的‘嘎拉’芽变苹果品种，因其色泽艳丽、早果性好、丰产性强、产量高，深受生产者的喜爱，‘丽嘎拉’作为中熟品种不仅丰富辽宁地区苹果品种的构成，而且可以满足市场多样化的需求^[14]。‘平邑甜茶’(*Malus hupehensis* Rehd.)具有较强的无融合生殖特性，在辽宁苹果生产中，多采用高位嫁接的方式而被广泛应用。与传统‘山定子’砧木低位嫁接相比，‘平邑甜茶’砧木高位嫁接后的苹果树砧穗亲和性好、整齐度高、树势强、丰产性好^[15-17]。为此，本研究以‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’砧穗组合苹果树为试材，比较不同留果量对树体的枝类组成、果实品质和产量的影响，以期获得适宜的留果量，为‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’砧穗组合的推广应用提供理论参考和指导依据。

1 材料和方法

试验在辽宁省果树科学研究所苹果试验区进行，果园土壤为轻沙壤土，有机质含量(w , 后同) 1.13%，全氮含量 0.64%，速效磷含量 $70.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效钾含量 $107 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。年平均气温 $9.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，1月平均气温 $-9.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，7月平均气温 $24.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温 $-31.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，年降水 686 mm，无霜期 178 d。果园采取常规管理，亩施腐熟有机肥 4 000~4 500 kg，株间地布覆盖，行间自然生草。

1.1 试验材料

供试苹果品种为‘丽嘎拉’，砧木为‘平邑甜茶’，苗木采取高位舌接方式，接穗嫁接口距离地面高度 70 cm。2010年春季栽植 2 a 生带分枝苗木，株行距为 $1.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ ，树形按照‘高纺锤形’整形。2014年冬季试验树修剪后的树高为 3.42~3.55 m，冠径覆盖率为 61.5~64.2%，总枝数为 $(10.5 \sim 11.4) \times 10^5 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 试验方法

试验于 2015—2016 年进行，选择树体长势一致、树冠完整、总枝数相近的植株作为试验树。试验参考前人关于丰产树适宜产量和总枝量的研究报告^[7-9,11]，按试验树的总枝量估算目标产量，计算留果量。

试验确定 4 个目标产量，分别为 3.75×10^4 、 4.50×10^4 、 5.25×10^4 、 $7.50 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，按照平均单果质量 200 g、实际留果量再加 10% 的保险系数，计算出 4 个目标产量的留果量，分别为处理 I ($20.63 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$)、处理 II ($24.75 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$)、处理 III ($28.87 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和处理 IV ($41.25 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{hm}^{-2}$)。按间距法进行定果，疏去多余果实，保留中心果实。

2015 年和 2016 年 9 月按照冠层分格方法^[13]，将试验树从地面到顶部分成 4 个冠层，分别为距地面高度 $< 1.0 \text{ m}$ 、距地面高度 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}$ 、距地面高度 $2.0 \sim 3.0 \text{ m}$ 、距地面高度 $\geq 3.0 \text{ m}$ (以下简写为 $< 1.0 \text{ m}$ 、 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}$ 、 $2.0 \sim 3.0 \text{ m}$ 和 $\geq 3.0 \text{ m}$)，果实成熟期分别测定每个冠层内的果实产量和品质，计算树体产量空间分布组成比例。果实单果质量、硬度和果形指数分别用百分之一天平、GY-1 型硬度计和游标卡尺测定；果实可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量分别用 DR-103 型电子糖量仪、酸碱滴定法和 2,6-二氯靛酚滴定法测定；果皮色差值采用色差计 (Konica Minolta CR-400, USA) 测定，具体参照李宏建等^[18]的方法。

2015 年和 2016 年 10 月用钢卷尺分别测定树高、新梢长、主枝长、冠径等；将试验树从地面到顶部分成 4 个冠层 (具体方法同上)，分别调查每个冠层内短枝 ($< 5 \text{ cm}$)、中枝 ($5 \sim 15 \text{ cm}$)、长枝 ($15 \sim 30 \text{ cm}$)、长枝 ($30 \sim 60 \text{ cm}$)、 $\geq 60 \text{ cm}$) 的数量，计算总枝芽数量和枝类比例，具体参照尚志华等^[19]和张强等^[20]的方法。

2016 年 8 月上旬随机取试验树东南方向基部粗度、长度基本相同的新梢中部第 6、7、8 枚完整无损叶片，分别用天平和 YH-1 型叶片厚度计测定单叶质量和叶片厚度；选择晴天 9:00—11:00 选取试验树东南方向、外围枝条成熟叶片，用日本 KONICA 公司的 SPAD-502 PLUS 叶绿素仪测定叶片叶绿素相对含量，用美国 LI-COR 公司的 LI-6400P 型便携式光合仪测定叶片净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)，计算水分利用效率 (WUE)， $WUE = P_n / T_r$ 。

数据统计采用 Excel 软件，数据分析采用 SPSS 13.0 数据分析软件。

2 结果与分析

2.1 留果量对树体生长和枝类组成数量的影响

2015、2016 年分别测定各处理苹果树生长量。由表 1 可见，2015、2016 年各处理树高随留果量的增

表1 留果量对‘丽嘎拉’苹果树体生长量的影响

Table 1 Effect of fruit load on tree growth of ‘Regal Gala’ apple

年份 Year	处理 Treatment	树高 Height/m	主枝数 Bough number/ ($\times 10^4$ No. \cdot hm $^{-2}$)	主枝长 Bough length/m	新梢长 New shoot length/m	冠径 Canopy width/m		覆盖率 Coverage rate/%
						东西 East-west	南北 South-north	
2015	I	4.05 \pm 0.18 a	6.36 \pm 0.10 b	1.32 \pm 0.10 a	0.55 \pm 0.05 a	2.75 \pm 0.06 b	1.55 \pm 0.06 a	68.75 \pm 0.85 b
	II	3.88 \pm 0.12 b	6.43 \pm 0.11 a	1.34 \pm 0.08 a	0.53 \pm 0.02 b	2.62 \pm 0.07 c	1.43 \pm 0.06 b	65.50 \pm 0.65 c
	III	3.82 \pm 0.15 b	6.28 \pm 0.12 c	1.31 \pm 0.06 a	0.52 \pm 0.04 b	2.86 \pm 0.10 a	1.41 \pm 0.04 b	71.50 \pm 0.38 a
	IV	3.65 \pm 0.09 c	6.15 \pm 0.15 c	1.23 \pm 0.10 b	0.48 \pm 0.05 c	2.73 \pm 0.08 b	1.52 \pm 0.06 a	68.25 \pm 0.45 b
2016	I	4.26 \pm 0.08 a	7.37 \pm 0.19 a	1.40 \pm 0.07 ab	0.59 \pm 0.02 a	2.94 \pm 0.05 a	1.63 \pm 0.03 b	73.60 \pm 1.22 a
	II	4.20 \pm 0.06 b	7.24 \pm 0.15 ab	1.42 \pm 0.05 a	0.59 \pm 0.01 a	2.89 \pm 0.04 ab	1.58 \pm 0.04 b	72.30 \pm 0.87 ab
	III	4.17 \pm 0.10 b	7.00 \pm 0.18 b	1.40 \pm 0.06 ab	0.55 \pm 0.03 b	2.90 \pm 0.03 ab	1.60 \pm 0.03 b	72.55 \pm 0.62 ab
	IV	4.09 \pm 0.09 c	6.70 \pm 0.13 c	1.36 \pm 0.08 b	0.53 \pm 0.03 c	2.85 \pm 0.04 b	1.68 \pm 0.05 a	71.25 \pm 0.82 b

注:同列不同小写字母表示差异显著($p \leq 0.05$)。

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

加均呈现递减的变化趋势;2015年处理II主枝数最多,2016年处理I主枝数最多,而处理IV主枝数最少;2015、2016年处理II主枝长均高于其他处理;2015、2016年各处理新梢长随留果量的增加均呈现递减的变化趋势;2015、2016年各处理冠径的东西方向高于南北方向;2016年处理I覆盖率最高,而处理IV最低,分析认为,由于留果量的增加,新梢获得的养分减少、新梢长降低,影响树冠覆盖率。由此可见,树高和新梢长受留果量影响效果明显,随着留果量的增加呈现下降的变化趋势。

2015、2016年分别统计各处理苹果树枝类组成数量。由表2可见,2015、2016年随着留果量的增加,各处理的总枝、中枝(5~15 cm和15~30 cm)和长枝(30~60 cm和 ≥ 60 cm)数均逐渐减少。其中,处理IV中枝数(5~15 cm和15~30 cm)和长枝数(30~60 cm和 ≥ 60 cm)下降趋势明显,与其他处理间差异显著。2016年处理IV短枝数最高,与处理I、处理II差异显著。由此可见,随着留果量的增加,短枝数增幅明显,中枝数(15~30 cm)和长枝数(30~60 cm和 ≥ 60 cm)降幅加快,导致总枝数显著降低。

表2 留果量对‘丽嘎拉’苹果树枝类组成数量的影响

Table 2 Effect of fruit load on branch composition of ‘Regal Gala’ apple

年份 Year	处理 Treatment	短枝数 Spur shoots/ ($\times 10^5$ No. \cdot hm $^{-2}$)	中枝数 Medium shoots/ ($\times 10^5$ No. \cdot hm $^{-2}$)		长枝数 Long shoots/ ($\times 10^5$ No. \cdot hm $^{-2}$)		总枝数 Total branches/ ($\times 10^5$ No. \cdot hm $^{-2}$)
			5~15 cm	15~30 cm	30~60 cm	≥ 60 cm	
2015	I	9.60 \pm 0.62 b	2.03 \pm 0.07 a	1.41 \pm 0.8a	0.63 \pm 0.03 a	0.81 \pm 0.02 a	14.47 \pm 0.21 a
	II	9.44 \pm 0.54 c	1.95 \pm 0.05 a	1.23 \pm 0.12b	0.40 \pm 0.01 b	0.52 \pm 0.01 b	13.54 \pm 0.32 b
	III	9.65 \pm 0.83 b	1.79 \pm 0.08 b	0.93 \pm 0.05c	0.38 \pm 0.01 c	0.51 \pm 0.01 b	13.26 \pm 0.28 b
	IV	9.86 \pm 0.72 a	1.54 \pm 0.06 c	0.42 \pm 0.03d	0.15 \pm 0.01 d	0.13 \pm 0.01 c	12.10 \pm 0.24 c
2016	I	10.55 \pm 0.86 b	2.21 \pm 0.06 a	1.63 \pm 0.13a	0.71 \pm 0.02 a	0.92 \pm 0.04 a	16.02 \pm 0.54 a
	II	10.49 \pm 0.43 b	2.11 \pm 0.05 a	1.41 \pm 0.09a	0.43 \pm 0.01 b	0.58 \pm 0.02 b	15.02 \pm 0.63 b
	III	11.08 \pm 1.02 a	1.92 \pm 0.03 b	1.05 \pm 0.02b	0.30 \pm 0.01 c	0.43 \pm 0.02 b	14.78 \pm 0.54 b
	IV	11.61 \pm 0.88 a	1.75 \pm 0.02 c	0.46 \pm 0.01c	0.16 \pm 0.01 d	0.15 \pm 0.01 c	14.13 \pm 1.08 c

为了明确留果量是否影响树冠内枝条类型的空间分布。2016年分别统计4个冠层高度内的不同类型枝条比例。由图1可见,各处理不同冠层高度内的短枝(<5 cm)比例最高,相同冠层高度内的短枝比例随留果量的增加而逐渐升高。其中,冠层高度1.0~2.0 m内的短枝比例明显高于其他冠层高度,分别占相同冠层高度内枝类组成比例的71.24%、

75.73%、78.60%、87.50%。各处理冠层高度2.0~3.0 m和 ≥ 3.0 cm内的长枝(30~60 cm)比例随留果量的增加而逐渐降低,分别为3.14%、2.79%、2.22%、1.36%和5.09%、3.72%、1.70%、1.40%。由此可见,留果量影响树冠内枝条类型的空间分布。在相同冠层高度内,随着留果量的增加,短枝比例逐渐增加,中枝和长枝比例逐渐减少;冠层高度1.0~2.0 m和2.0~3.0 m

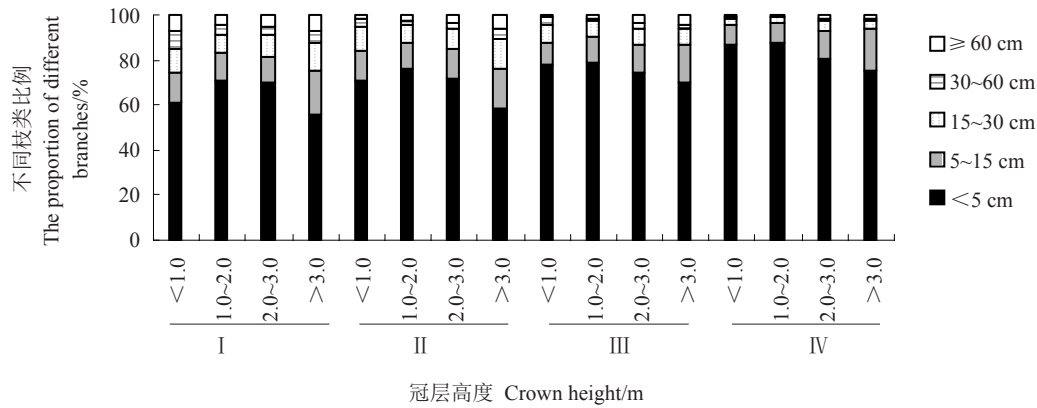


图 1 留果量对‘丽嘎拉’苹果树不同冠层枝类组成比例的影响 (2016)

Fig. 1 Effect of fruit load on the proportions of different types of branches at different crown heights of ‘Regal Gala’ apple (2016)

是枝条分布的主要集中区域。

为了明确留果量对苹果树叶片质量和光合参数的影响程度,2016年测定各处理苹果树单叶质量、净光合速率等参数。由表3可见,叶片单叶质量、叶片厚度随留果量的增加均呈现下降的变化趋势。其中,处理II、处理III单叶质量和叶片厚度差异不显

著,其他处理间差异显著。随着留果量的增加,叶片净光合速率、水分利用效率和叶绿素相对含量均呈现下降的变化趋势。其中,处理I、处理II水分利用效率和叶绿素相对含量差异不显著,其他处理间差异显著。由此可见,留果量过高会降低叶片净光合速率和水分利用效率,导致叶片叶绿素相对含量降

表 3 留果量对‘丽嘎拉’苹果树叶片质量和光合参数的影响 (2016)

Table 3 Effect of fruit load on leaf quality and photosynthetic parameters of ‘Regal Gala’ apple (2016)

处理 Treatment	单叶质量 Leaf fresh mass/g	叶片厚度 Leaf thickness/ mm	净光合速率 Photosynthetic rate/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 Water use efficiency/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)	叶绿素相对含量 Relative content of chlorophyll/SPAD value
I	1.15±0.05 a	0.48±0.02 a	12.35±0.21 a	5.23±0.12 a	56.87±2.16 a
II	1.06±0.04 b	0.43±0.02 b	11.76±0.45 b	5.16±0.18 a	54.13±1.85 a
III	1.04±0.05 b	0.41±0.03 b	11.06±0.32 c	4.85±0.15 b	50.15±2.02 b
IV	0.90±0.03 c	0.37±0.02 c	9.86±0.41 d	4.03±0.22 c	46.78±2.35 c

低、单叶质量和叶片厚度下降。

2.2 留果量对果实品质的影响

2015、2016年分别对各处理苹果果实品质进行

比较和分析。由表4可见,2015、2016年各处理单果质量随留果量的增加均呈现下降的变化趋势,2015、2016年处理III果实果形指数均高于其他处理;随着

表 4 留果量对‘丽嘎拉’苹果果实品质的影响

Table 4 Effect of fruit load on fruit quality of ‘Regal Gala’ apple

年份 Year	处理 Treatment	单果质量 Fruit mass/g	果形指数 Fruit figure index	硬度 Firmness/ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可滴定酸) Titratable aci- dity content/%	固酸比 Solids acid ratio	w(维生素C) Vitamin C content/($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)
2015	I	215.37±10.18 a	0.77±0.010 b	8.26±0.32 b	10.68±0.42 b	0.23±0.02 c	46.43±1.85 a	2.85±0.14 a
	II	209.54±12.35 b	0.78±0.007 b	8.37±0.28 b	12.02±0.55 a	0.27±0.01 a	44.52±1.26 a	2.46±0.12 b
	III	206.50±9.85 b	0.80±0.007 a	8.40±0.21 b	12.65±0.65 a	0.27±0.01 a	46.85±1.42 a	2.39±0.13 b
	IV	180.25±14.28 c	0.78±0.009 b	8.62±0.25 a	10.36±0.28 b	0.25±0.02 b	41.44±1.05 b	2.06±0.11 c
2016	I	229.36±13.80 a	0.81±0.010 a	8.12±0.24 c	10.55±0.32 c	0.26±0.02 a	40.58±1.03 b	2.46±0.10 a
	II	223.62±15.92 b	0.80±0.008 b	8.36±0.18 b	11.35±0.45 b	0.25±0.02 b	45.40±1.63 a	2.23±0.13 b
	III	218.50±17.24 b	0.81±0.008 a	8.66±0.18 a	12.35±0.36 a	0.27±0.01 a	45.74±1.58 a	1.98±0.18 c
	IV	194.34±12.65 c	0.79±0.008 b	8.70±0.14 a	10.18±0.25 c	0.22±0.01 c	46.27±1.82 a	1.92±0.11 c

留果量的增加,2015、2016年果实硬度逐渐升高、维生素C含量逐渐降低;2015、2016年处理III果实可溶性固形物和可滴定酸含量最高;2015年处理III果实固酸比最高,2016年处理IV固酸比最高,其次为处理III。由此表明,随着留果量的增加,果实单果质量和维生素C含量逐渐降低,果实硬度逐渐升高;处理III果形指数、可溶性固形物含量高于其他处理。

2015、2016年分别对各处理苹果果实色差值测定和分析。由表5可见,2015年处理III果面色差L值、a值和b值均显著高于其他处理,处理IV果面色差a值最低,处理I色差b值最低;2016年处理III果面色差L值、a值和b值均显著高于其他处理,处理I果面色差L值与处理II差异不显著,处理I果面色差a值和b值最低、与其他处理间差异显著。综合比较,认为处理III果面色差值明显高于其他处理,果面光亮度、红色着色程度表现较好。

表5 留果量对‘丽嘎拉’苹果果实色差值的影响

Table 5 Effect of fruit load on fruit color values of ‘Regal Gala’ apple

年份 Year	处理 Treatment	色差值 Color difference value		
		L	a	b
2015	I	40.18±2.06 c	27.08±1.05 c	17.34±1.36 c
	II	43.25±4.02 b	29.40±2.65 b	20.48±2.16 b
	III	46.36±3.16 a	32.48±4.02 a	24.68±1.98 a
	IV	44.06±3.15 b	24.68±2.15 d	18.06±2.02 c
2016	I	48.40±6.48 c	26.18±4.69 c	16.11±0.87 c
	II	50.43±3.03 c	34.20±2.98 b	19.46±3.88 b
	III	58.24±2.36 a	37.59±5.73 a	20.77±2.03 a
	IV	53.15±4.60 b	35.70±1.44 b	18.50±1.90 b

为了明确留果量对树冠空间内果实着色分布的影响程度,分别测定不同冠层高度内果面色差值。由表6可见,2016年随着冠层高度的增加,各处理的果面色差L值、a值和b值均呈现递增的变化趋势,说明树冠上层果实的着色和光亮程度均优于下层果实。处理III果面色差L值在不同冠层高度内均高于其他处理,果面色差a值分别在冠层高度1.0~2.0 m、2.0~3.0 m、≥3.0 m内均高于其他处理。由此可见,处理III果实在树冠不同空间内的果面着色程度优于其他处理。

2.3 留果量对果实产量的影响

由表7可见,与试验预期设计留果量相比,各处理的实际果实数量均少于预期设计数值。其中,2015、2016年处理IV实际果实数量分别为 32.15×10^4

表6 留果量对‘丽嘎拉’苹果果实色差值空间分布的影响(2016)

Table 6 Effect of fruit load on fruit color values of ‘Regal Gala’ apple at different canopy heights (2016)

冠层高度 Crown height/m	处理 Treatment	色差值 Color difference value		
		L	a	b
<1.0	I	38.49±2.36 c	12.21±1.17 b	11.26±0.82 b
	II	39.15±2.05 c	11.96±1.85 b	10.85±0.45 c
	III	43.05±3.12 a	12.65±1.42 a	11.85±1.32 a
	IV	40.16±3.55 b	12.85±1.06 a	10.05±0.58 c
1.0~2.0	I	43.60±4.12 d	20.22±2.45 c	14.40±1.45 c
	II	46.20±3.05 c	27.26±1.98 b	17.27±1.96 b
	III	57.85±4.28 a	31.78±3.25 a	18.62±2.36 a
	IV	52.50±5.62 b	29.53±2.98 b	14.62±2.28 c
2.0~3.0	I	52.37±5.37 c	32.05±3.62 c	18.16±1.02 c
	II	55.05±5.01 b	45.32±4.18 b	21.92±1.89 b
	III	63.39±5.28 a	48.65±3.35 a	23.86±2.45 a
	IV	57.65±2.46 b	44.06±3.12 b	24.18±2.16 a
≥3.0	I	59.13±5.63 b	40.22±2.47 c	20.62±1.85 c
	II	61.30±4.85 b	52.27±4.13 b	27.80±2.24 a
	III	68.65±6.12 a	57.28±3.65 a	28.76±2.62 a
	IV	62.27±3.68 b	56.36±3.06 a	25.16±1.83 b

表7 留果量对‘丽嘎拉’苹果果实产量的影响

Table 7 Effect of fruit load on fruit yield of ‘Regal Gala’ apple

年份 Year	处理 Treatment	果实数量 Fruit number/ ($\times 10^4$ No. \cdot hm^{-2})		果实产量 Fruit yield/ ($\times 10^4$ kg \cdot hm^{-2})	
		设计 Design	实际 Actual	设计 Design	实际 Actual
		2015	I	20.63	18.04±0.10 d
	II	24.75	21.85±0.14 c	4.50	4.58±0.21 c
	III	28.87	25.02±0.15 b	5.25	5.33±0.25 b
	IV	41.25	32.15±0.13 a	7.50	5.79±0.18 a
2016	I	20.63	17.18±0.07 d	3.75	3.94±0.14 d
	II	24.75	20.68±0.22 c	4.50	4.62±0.10 c
	III	28.87	24.30±0.12 b	5.25	5.31±0.13 b
	IV	41.25	31.85±0.14 a	7.50	6.19±0.17 a

个 \cdot hm^{-2} 和 31.85×10^4 个 \cdot hm^{-2} ,与设计留果量相差较大。2015、2016年处理I、处理II、处理III的实际单果质量均高于试验设计数值200 g,实际产量高于预期设计产量,分别为 3.89×10^4 、 4.58×10^4 、 5.33×10^4 kg \cdot hm^{-2} 和 3.94×10^4 、 4.62×10^4 、 5.31×10^4 kg \cdot hm^{-2} ;而2015、2016年处理IV实际单果质量分别为180.25、194.34 g,实际产量均低于预期设计产量。由此可见,‘丽嘎拉’苹果树留果量为 41.25×10^4 个 \cdot hm^{-2} (处理IV)时,2015、2016年可获得果实产量最高分别为 5.79×10^4 、 6.19×10^4 kg \cdot hm^{-2} 。

为了明确留果量对果实产量空间分布的影响程度,分别测定不同冠层高度内果实产量。由表8可见,在每个冠层高度(<1.0 m、1.0~2.0 m、2.0~3.0 m、≥3.0 m)内,处理IV果实产量均高于其他处理;每个处理的产量在冠层高度<1.0 m内所占比例均最低,处理II、处理III、处理IV产量在冠层高度2.0~3.0 m内所占比例最高,而处理I在冠层高度≥3.0 m内所占比例最高,由此可见,冠层高度2.0~3.0 m是各处理果实产量集中分布的主要区域,占树体总产量比例的30%以上。

表8 留果量对‘丽嘎拉’苹果果实产量空间分布的影响 (2016)

Table 8 Effect of fruit load on fruit yield of ‘Regal Gala’ apple at different canopy heights (2016)

冠层高度 Crown height/m	处理 Treatment	果实产量组成 Fruit yield composition	
		产量 Yield/($\times 10^4$ kg \cdot hm $^{-2}$)	比例 Proportion/%
<1.0	I	0.52±0.02 c	13.20
	II	0.56±0.02 c	12.15
	III	0.59±0.04 a	13.62
	IV	0.68±0.02 b	11.06
1.0~2.0	I	0.97±0.04 d	24.60
	II	1.24±0.10 c	26.84
	III	1.44±0.09 b	27.85
	IV	1.68±0.10 a	27.18
2.0~3.0	I	1.21±0.03 c	30.80
	II	1.63±0.21 b	35.28
	III	2.02±0.31 a	37.42
	IV	2.36±0.28 a	38.06
≥3.0	I	1.24±0.06 c	31.40
	II	1.19±0.12 b	25.73
	III	1.26±0.11 b	21.11
	IV	1.47±0.23 a	23.70

3 讨 论

维持合理的留果量,保持适当的枝叶量水平是苹果树丰产、优质的基础,合理的留果量不仅有利于保持树体营养生长和生殖生长的均衡,而且可以提升果实品质。梁海忠等^[12]认为苹果高纺锤形丰产优质果园的枝量为 110.0×10^4 个 \cdot hm $^{-2}$,产量可以达到 5.76×10^4 kg \cdot hm $^{-2}$,该枝果比可以保证产量在树冠内的分布比较均匀;董建波^[21]提出优质、丰产的矮砧密植苹果园枝芽量为 9.0×10^5 个 \cdot hm $^{-2}$;梁海忠等^[22]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 hm $^{-2}$;本研究发现,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超过 12.10×10^5 个 \cdot hm $^{-2}$,达到前人提出的丰产树总枝数量的标准^[21-22]。有研究报道认为,随着疏果程度的增加,植株吸收的营养物质向生殖器官(果实)的分配减少,而向其他器官的分配增加,从而增加了树体的贮藏营养^[1]。本研究发现单叶质量、叶片厚度、叶片净光合速率、水分利用效率、新梢长、树高、总枝数量等指标均随着留果量的增加而逐渐减少。通过对不同冠层高度内枝类组成数量和比例调查,发现随着留果量的增加,中枝(15~30 cm)和长枝数量(30~60 cm和≥60 cm)下降明显,导致总枝数量显著降低;而在相同冠层高度内,短枝(<5 cm)比例随着留果量的增加逐渐升高。由于处理IV留果量过高,2015—2016年不仅树体的中枝、长枝、总枝数量显著低于其他处理,而且树体生长势也弱于其他处理。苹果树枝类组成的中、长枝数量的显著下降,极易引起树势早衰。因此,生产管理中应降低留果量水平、加强肥水管理、提高树势,冬季修剪时应及时更新、疏除细弱的结果枝组。

为了获得较高的经济收益,生产者都期望通过设计高留果量而达到丰产的预期。然而,过高的留果量,不仅会降低果实品质,而且影响树体的营养生长、削弱树势。李卓阳等^[7]和薛晓敏等^[8]认为红富士苹果总枝数量达到120万~135万个 \cdot hm $^{-2}$ 时,产量可以保持52 500~60 000 kg \cdot hm $^{-2}$ 。张秀美等^[11]报道10年生‘丽嘎拉’中间砧苹果树冬剪后留枝量100~120万个 \cdot hm $^{-2}$,适宜产量为 8.15×10^4 kg \cdot hm $^{-2}$ 。参考前人研究结果,设计本试验处理,本研究发现,4个处理中仅处理IV实际产量未能达到设计预期水平。分析原因认为,处理IV留果量过高,幼果期果实对养分竞争明显,导致果实生理落果严重,实际果实数量较预期相差较大。由于留果量过高,营养枝生长受到抑制,树体中、长枝比例减少,叶片净光合速率和叶片质量下降,导致果实单果质量较小,因此实际果实产量小于设计预期水平。本研究发现,随着留果量的增加,果实单果质量、维生素C含量逐渐下降,硬度逐渐升高,这一结果与李泰山等^[10]和冉辛拓等^[5]研究结论一致。通过对果实产量和色差值空间分布调查,发现冠层高度2.0~3.0 m是树体产量分布的主要集中区域,占总产量比例的30%以上,树冠上层果实的着色和光亮程度明显优于下层。薛晓敏等^[23-24]认为中等留果量水平的苹果果实外观品质最好,果面光洁和

着色等外观品质随留果量的增大呈现先升后降的趋势。本研究发现,留果量为 28.87×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ (处理III)时,果面光亮程度高、着色好,分析原因,认为由于树体营养积累和养分分配合理,枝类组成中的长枝比例小,所以枝条和叶片对果实遮挡程度低,果实可以获得较好的光照;留果量为 20.63×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ (处理I)时,由于留果量低、树体萌发的中枝和长枝数量高、果面被叶片遮挡严重、影响果面着色;而留果量为 41.25×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ (处理IV)时,由于留果量过高、导致营养生长和生殖生长不均衡,短枝比例过高、叶片制造养分无法满足果实的需求,影响果面色泽;虽然留果量为 41.25×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ (处理IV)时,产量高,但是果实单果质量小、外观色泽不如处理III(28.87×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$)。苹果的外观直接影响果实的商品价值,色泽艳丽、果型端正的果实往往会深受消费者的喜爱,销售更高的价格,因此认为留果量为 28.87×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ (处理III)时,果实品质优于其他处理。

4 结 论

‘丽嘎拉’/‘平邑甜茶’砧穗组合7~8 a生高纺锤形苹果树适宜的留果量为 28.87×10^4 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$,该留果量生产的苹果不仅果实品质好、产量高,而且树势强、枝类结构合理。该留果量即可保证优质、丰产,又有利于维持树势。

参考文献 References:

- [1] 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):147-154.
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.
- [2] 刘传和,陈杰忠,刘运春,李娟.疏果对黄皮果实发育着色及树体器官碳水化合物含量的影响[J].园艺学报,2008,35(6):869-872.
LIU Chuanhe, CHEN Jiezhong, LIU Yunchun, LI Juan. Effects of fruit thinning on fruits development, pigmentation and carbohydrate content in plant organs of wampee[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(6):869-872.
- [3] 赵林,姜远茂,彭福田,李盼盼,王磊,李洪波.嘎拉苹果对春施 ^{15}N -尿素的吸收、利用与分配特性[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6):1439-1443.
ZHAO Lin, JIANG Yuanmao, PENG Futian, LI Panpan, WANG Lei, LI Hongbo. Characteristics of absorption, utilization and distribution of spring soil ^{15}N - urea application for Gala/*Malus hupehensis*[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(6):1439-1443.
- [4] 史祥宾,孙永江,高荣广,马振强,翟衡.施肥量与负载量对‘巨峰’葡萄产量、品质及贮藏营养的影响[J].河北农业大学学报,2012,35(6):12-17.
SHI Xiangbin, SUN Yongjiang, GAO Rongguang, MA Zhenqiang, ZHAI Heng. Effects of rate of fertilizer application and load on yield, quality and nutrient storage of ‘Kyoto’ grape[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2012, 35(6):12-17.
- [5] 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(9):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(9):131-132.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 袁成龙,李培环,段艳欣,王金政,董晓颖.不同负载量对盛果期‘红富士’苹果树光合指标和贮存营养的影响[J].中国农学通报,2012,28(22):163-167.
YUAN Chenglong, LI Peihuan, DUAN Yanxin, WANG Jinzheng, DONG Xiaoying. Effects of different capacity treatments on leaves photosynthetic and storage nutrition of ‘Red Fuji’ apple trees in full fruit period[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(22):163-167.
- [10] 李泰山,杜改改,刁松锋,韩卫娟,傅建敏,杨绍彬,李芳东.负载量调控对杏李‘味帝’果实糖酸组分及风味的影响[J].中国农业大学学报,2017,22(5):39-48.
LI Taishan, DU Gaigai, DIAO Songfeng, HAN Weijuan, FU Jianmin, YANG Shaobin, LI Fangdong. Crop load influences the components of sugar, acid and flavor in *Prunus domestica* × *armeniaca* ‘Weidi’ [J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(5):39-48.
- [11] 张秀美,王宏,张广仁.不同负载量对苹果‘丽嘎拉’/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.
- [12] 梁海忠, 范崇辉, 王琰, 曲俊贤, 韩明玉. 苹果高纺锤形树体枝量、果实产量与品质的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7): 123-127.
LIANG Haizhong, FAN Chonghui, WANG Yan, QU Junxian, HAN Mingyu. Study on the volume, yield and quality of high spindle tree[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2010, 38(7): 123-127.
- [13] 李宏建, 王宏, 刘志, 于年文, 宋哲, 张秀美, 里程辉. '岳阳红'/'77-34'/山定子砧穗组合的苹果树体结构、果实产量和品质形成特点[J]. 果树学报, 2019, 36(1): 58-68.
LI Hongjian, WANG Hong, LIU Zhi, YU Nianwen, SONG Zhe, ZHANG Xiumei, LI Chenghui. Formation of tree structure, fruit yield and quality in apple stock- scion combination of 'Yue Yanghong' with '77-34' Interstock and *Malus baccata* Borkh. rootstock[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(1): 58-68.
- [14] 王宏, 苏卫东, 于年文. 苹果中早熟新品种'丽嘎拉'的选育[J]. 中国果树, 2013, 5(3): 3-5.
WANG Hong, SU Weidong, YU Nianwen. Breeding of a new mid early ripening apple variety 'Regal Gala' [J]. China Fruits, 2013, 5(3): 3-5.
- [15] 高付凤, 毛云飞, 张佳腾, 杨恒峰, 王增辉, 沈向. 平邑甜茶外源花粉授粉效果和生殖机能研究[J]. 山东农业科学, 2018, 50(1): 23-28.
GAO Fufeng, MAO Yunfei, ZHANG Jiateng, YANG Hengfeng, WANG Zenghui, SHEN Xiang. Study on pollination effect and reproductive function of *Malus hupehensis* with foreign pollen [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(1): 23-28.
- [16] 杨洪强, 范伟国. 苹果根系构型及其调控研究进展[J]. 园艺学报, 2012, 39(9): 1673-1678.
YANG Hongqiang, FAN Weigu. Advances in research of apple root system architecture and its regulation[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(9): 1673-1678.
- [17] 宋哲, 王宏, 刘志, 于年文, 张秀美, 里程辉, 李宏建, 韩丽红. 平邑甜茶砧木高位嫁接苹果新品种直接建园探讨[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(3): 151-155.
SONG Zhe, WANG Hong, LIU Zhi, YU Nianwen, ZHANG Xiumei, LI Chenghui, LI Hongjian, HAN Lihong. Discussion on the direct establishment of *Malus hupehensis* rootstock high grafting apple varieties[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 151-155.
- [18] 李宏建, 王宏, 于年文, 张秀美, 里程辉, 宋哲. 地面覆盖对苹果树体生长和果实品质的影响[J]. 果树学报, 2019, 36(3): 42-53.
LI Hongjian, WANG Hong, YU Nianwen, ZHANG Xiumei, LI Chenghui, SONG Zhe. Effects of mulching on the growth and fruit quality of apple tree[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(3): 42-53.
- [19] 尚志华, 魏钦平, 孙丽珠, 王小伟, 张强, 付立华. 乔砧富士苹果改良高干开心形树冠郁闭的评判参数[J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 132-139.
SHANG Zhihua, WEI Qinqing, SUN Lizhu, WANG Xiaowei, ZHANG Qiang, FU Lihua. Judgement parameters of canopy overcrowded for reformative high trunk open centre shape of Fuji apple with standard rootstock[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(1): 132-139.
- [20] 张强, 魏钦平, 王小伟, 尚志华, 刘军, 刘松忠, 孙志鸿. 乔砧富士苹果树冠枝梢数量和分布对产量与品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 47(8): 1205-1212.
ZHANG Qiang, WEI Qinqing, WANG Xiaowei, SHANG Zhihua, LIU Jun, LIU Songzhong, SUN Zhihong. Effects of shoot numbers and distribution in canopy on yields and qualities of Fuji apple with standard rootstock[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 47(8): 1205-1212.
- [21] 董建波. 苹果矮砧密植园个体与群体参数研究[M]. 保定: 河北农业大学, 2010.
DONG Jianbo. Research on individual and group parameters of apple orchard with intensive planting on dwarf rootstock[M]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2010.
- [22] 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.
- [23] 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, 2(1): 87-91.
XUE Xiaomin, HAN Xueping, CHEN Ru, WANG Laiping, NIE Peixian, WANG Jinzheng. Study on the suitable load of 'Yanfu 3' apple on dwarfing intermediate stock at full fruit stage[J]. China Fruits, 2020, 2(1): 87-91.
- [24] 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. Effect of load level on growth, photosynthesis, yield and quality of dwarf apple[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(21): 202-206.