

# 负载量对高接瑞香红苹果果实生长和品质的影响

王伯臣<sup>1</sup>, 李鸿飞<sup>1</sup>, 杨亚州<sup>1</sup>, 丁小艺<sup>1</sup>, 赵政阳<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>陕西省苹果工程技术研究中心, 陕西杨凌 712100)

**摘要:**【目的】通过探究负载量对苹果新品种瑞香红高接树的果实生长、果实品质以及经济效益的影响, 为高接瑞香红苹果树的适宜负载量提供依据。【方法】以高接第5年的瑞香红苹果树为材料, 应用干截面积法设计3种负载量处理, 以最大负载量为对照, T1: 3.0个·cm<sup>2</sup> TCSA (树干横截面积, trunk cross-sectional area); T2: 2.0个·cm<sup>2</sup> TCSA; T3: 1.3个·cm<sup>2</sup> TCSA; CK: 4.3个·cm<sup>2</sup> TCSA, 测定每种负载量下果实纵横径增长速率、果实外观与内在品质、果实香气物质含量, 根据果实产量与分级标准预估每种负载量下的经济效益。【结果】随着负载量降低, 果实生长速率、大型果所占比率、平均单果质量、翌年开花数量、果面 $a$ 值, 以及可溶性固形物、果糖、葡萄糖、香气物质含量均表现出增加趋势; 果实的产量、硬度、蔗糖含量表现出降低趋势; 果实的果形指数、果面 $L$ 值、果面 $b$ 值、可滴定酸含量无显著变化; 预估经济效益先增高后降低。【结论】低负载量下果实生长速率较快, 果实品质较好, 但产量与经济效益较低; 提高负载量虽然能增加产量, 但会降低果实品质, 综合来看, 高接第5年的瑞香红苹果树以3.0个·cm<sup>2</sup> TCSA的负载量较为适宜。

**关键词:** 苹果; 负载量; 果实品质; 果实大小; 经济效益

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2023)06-1146-11

## Impacts of crop load on fruit growth and quality for top grafted Ruixianghong apple

WANG Bochen<sup>1</sup>, LI Hongfei<sup>1</sup>, YANG Yazhou<sup>1</sup>, DING Xiaoyi<sup>1</sup>, ZHAO Zhengyang<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Northwest Agricultural & Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>Apple Engineering and Technology Research Center of Shaanxi Province, Yangling 712100, Shaanxi, China)

**Abstract:** 【Objective】Crop load is one of the important indicators of orchard productivity. It is of great significance to study the suitable crop load for new varieties after top grafting. In this experiment, the effects of different crop load levels on fruit growth, fruit quality and economic benefits of Ruixianghong apple trees were studied to determine the appropriate crop load in production. 【Methods】The materials were apple variety Ruixianghong trees top grafted 5 years before onto M26 dwarfing interstock Qinfu 1 trees planted in 2007 (11 years old when top grafting). Crop loads were adjusted to 1.3 (T3), 2.0 (T2), 3.0 (T1), and 4.3 fruit·cm<sup>2</sup> of trunk cross-sectional area (TCSA), with the highest crop load as the control check (Control: 4.3 fruit·cm<sup>2</sup> TCSA). From late May to fruit harvest, the maximum longitudinal diameter and the maximum transverse diameter of the fruit were measured regularly. Fruit weight, hardness, soluble solids, titratable acid and color parameters  $L$ ,  $a$ ,  $b$ , total aroma volatile compounds, and the relative content of each component were measured at harvest. The impact of crop load on economic return was analyzed. 【Results】With the decrease in crop load, the growth rate of fruit longitudinal diameter and transverse diameter showed a decreasing trend, and the growth rate was in a pattern of T3 > T2 > T1 > control. At 192 days after flowering, the fruit transverse diameter of T1, T2 and T3 increased by 8.2%, 12.7% and 17.2% respectively, and the fruit longitudinal diameter increased by 6.9%, 11.3% and 15.8% respectively compared with control. Crop load had no significant effect on fruit brightness, back-

收稿日期: 2022-10-27

接受日期: 2022-12-27

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-27)

作者简介: 王伯臣, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为果树栽培生理。Tel: 18553976878, E-mail: wangbc@nwfufu.edu.cn

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13891819690, E-mail: zhaozy@nwsuaf.edu.cn

ground color, growth pattern of longitudinal and transverse diameters, fruit shape index and its change pattern. The higher the crop load, the lower the average single fruit weight. Compared with control, the single fruit weight of T1, T2 and T3 increased significantly by 28.0%, 37.2% and 58.5%, respectively. When the crop load was reduced to T2 and T3 levels, the color value showed a significant difference. At T3 level, the fruit hardness decreased significantly and the soluble solids content increased significantly. The contents of fructose and glucose in T2 and T3 increased significantly compared with control, and were not significantly different from T1. The sucrose content decreased with the decrease in crop load. Compared with control, the sucrose content in fruit of T1, T2 and T3 decreased significantly, and the titratable acid content had no significant difference. Under the condition of low crop load, the total content of aroma substances in Ruixianghong fruit could be increased, and the total aroma substance content was in an order of  $T3 > T2 > T1 > \text{control}$ . The fruit aroma substances under T2 and T3 showed significant improvement. The content of esters in fruit under all treatments exceeded 60%. The contents of esters and aldehydes under T1, T2 and T3 increased to various degrees compared with control, but the difference between T1, T2 and control was not significant. When the crop load decreased to T3 level, esters and aldehydes increased significantly. Under different crop loads, was not significantly different, which indicated that alcohol was not easily affected by crop load. Some other kinds of aroma substances were also affected by the crop load. Under T2 and T3, these aroma substances showed a significant increase compared with control, although the difference between T1 and control was not significant. The proportion of fruit with a transverse diameter smaller than 70 mm in control was as high as 53%, and that between 65 and 70 mm and between 70 and 75 mm was 34% and 40%, respectively. Under T1, T2 and T3, fruit above 70 mm accounted for 86%, 96% and 95%, respectively, and fruit larger than 85 mm could only be found in T2 and T3. Under T1 treatment, fruit between 70 and 75 mm and between 75 and 80 mm accounted for 36% and 44%, respectively, while in T2, fruit diameter fell mainly in a range of 75–80 mm, accounting for 55%. Under T3, fruit of 75–80 mm and 80–85 mm accounted for 31% and 37%, respectively. The percentage of big fruit increased significantly with the decrease of crop load. Compared with control, there was no significant difference in yield under T1; the proportion of large fruit was higher; and the estimated economic benefit was the highest. Although the yield under T2 decreased significantly, the proportion of large fruit was high, and there was no significant difference in estimated economic benefits. The proportion of large fruit under T3 was very high. However, due to the low yield, its economic benefits were not high enough. 【Conclusion】 Although the fruit growth rate can be higher and the fruit quality better under lower crop load, yield and economic benefit may be lower. Increasing the crop load can increase the yield, but it may reduce the fruit quality. Based our results, the optimal crop load for 5-year-old top grafted Ruixianghong apple tree is 3.0 fruit · cm<sup>2</sup> TCSA.

**Key words:** *Malus domestica* Borkh.; Crop load; Fruit quality; Fruit size; Economic efficiency

苹果(*Malus domestica* Borkh.)是重要的经济树木。我国是世界第一大苹果生产国,苹果产业也是我国乡村振兴的重要助力产业之一。目前,我国苹果主栽品种仍以富士系列为主,尤其是大龄果园,急需应用推广更多新优品种来改变当下品种结构单一的局面<sup>[1-2]</sup>。高接换种是果树品种更新的一种常用方法,在苹果、梨、樱桃、核桃、猕猴桃、柑橘等多种果树中均有广泛应用。苹果高接换种,不仅避免了连作

障碍,又能快速培养树形,较早地形成产量,提高早期经济效益<sup>[3]</sup>。苹果新品种瑞香红是以秦富1号为母本、粉红女士为父本杂交选育而成的,于2022年通过国家林木品种审定委员会审定,是一个优质、晚熟的红色苹果品种<sup>[4]</sup>,在无袋化栽培条件下综合品质表现优良<sup>[5]</sup>,可作为苹果高接换种的候选品种之一。

负载量是果园生产力的重要指标之一,其含义为每棵树单位生产的果实数量或质量,常用的表示方

法有树干横截面积(trunk cross-sectional area, TCSA)法、枝果比法、叶果比法、树冠体积法、间距法等。已有研究表明,负载量能够调节苹果树体的营养分配,从而影响果实的生长速率;高负载量虽然能增加当年的苹果产量,但是会降低果实大小与果实品质,影响果实商品率,减少翌年开花数量,造成隔年结果现象等<sup>[6-13]</sup>。前人对瑞香红的研究主要集中在农艺性状<sup>[14]</sup>、与亲本间果实品质的差异<sup>[15-16]</sup>、贮藏特性<sup>[17]</sup>等方面,在负载量对果实生长和品质的影响方面尚未有研究发表。近年来,由于苹果矮化栽培技术的不断推广与应用,对新品种适宜负载量的研究多集中于矮化砧方向,而高接换种作为果园改造与新品种推广的重要方式,有关研究发表较少。因此,笔者通过研究负载量对苹果新品种瑞香红高接树的果实生长、果实品质的影响,分析不同负载量下产生的经济效益,为高接瑞香红苹果树的适宜负载量提供试验依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于2021年3月至2022年4月在陕西省渭南市白水杜康镇西北农林科技大学白水苹果试验站(109.552° E, 35.206° N)进行,海拔829 m,2021年全年总降水量678.2 mm,降水多集中在8—10月,年平均高温19 °C,年平均低温8 °C。研究对象为高接第5年的瑞香红苹果树,高接换种时应用“多枝靠接”技术,高接方法参考邢燕等<sup>[3]</sup>的方法,具体措施是在2017年春季,对2007年采用M26矮化中间砧栽植的秦富1号苹果树,距地面80 cm处将主干横截锯断作为砧木,选取3根瑞香红苹果接穗,1根70 cm左右较粗,其余2根50 cm左右较细,将3根接穗均用皮下枝接法嫁接到砧木上,然后将较细的两根接穗靠接到较粗的1根接穗上,嫁接后树体培养成干高110 cm左右的自由纺锤形。园区内瑞香红与金世纪混栽并且相互授粉,株距2 m,行距4 m,每666.7 m<sup>2</sup>栽植85株树,行内覆盖黑色地布,下设水肥一体化滴灌系统进行灌溉与追肥,行间采取生草制度,30~40 cm高度时刈割。

### 1.2 试验设计

试验于2021年3月中旬对树体第一主枝下方15 cm处使用游标卡尺交叉进行2次直径测量,测量结果分别记为A与B,采用椭圆面积计算公式 $S=3.14 \times 0.25 \times A \times B$ 近似计算出树体主干的横截面积。

4月上旬,统计花序数目,选择当年树干横截面积与花蕾数量均相对整齐一致的瑞香红苹果树作为试验材料,在每花序仅保留单个果实的前提下,根据花序数目预估出最大负载量为4.6个·cm<sup>2</sup> TCSA并作为对照。于4月中旬顶花芽集中开放时,对T1、T2、T3按照由高到低的负载量水平进行人工疏除花序处理,对照不疏除花序;4月中下旬,中心花坐果后,每朵花序均只保留1个中心果,并疏除剩余的全部花朵和幼果,最终实际的负载量为T1:3.0个·cm<sup>2</sup> TCSA; T2:2.0个·cm<sup>2</sup> TCSA; T3:1.3个·cm<sup>2</sup> TCSA;对照:4.3个·cm<sup>2</sup> TCSA。试验树采取套袋栽培措施,单株小区,3次重复,共12株试验树,果园内进行常规管理,10月下旬果实成熟时统一进行采摘。2022年4月,瑞香红顶花芽集中开放时统计花序数量。

### 1.3 试验方法

花后34 d至果实采收前,在每株试验树上、中、下3个部位,使用游标卡尺每隔10 d测量1次果实的最大纵径与赤道部位的最大横径,每部位测量10个苹果。花后192 d果实成熟时在每株试验树上、中、下3个部位,每部位随机采摘10个苹果进行果实品质指标测定,测定时每负载量测定30个苹果样品,3次重复;试验树上的剩余果实统一进行采收,使用电子天平称量全部果实的单果质量,使用游标卡尺测量全部果实的最大纵径与赤道部位的最大横径;色泽参数L、a、b值使用CR-400型色差计(日本Konica Minolta公司)进行测定;硬度使用FTA GS-25水果质地分析仪(南京铭奥仪器公司)进行测定;可溶性固形物与可滴定酸含量使用SAM-706AC多种水果酸度及糖度仪(韩国G-WON公司)进行测定。

可溶性糖组分含量测定参考李娅楠等<sup>[18]</sup>的方法,略有改动。每种负载量处理制备9个苹果样品,3次重复,样品制备过程为果实削皮后将赤道部位的果肉切成小块,然后放入研钵中加入液氮充分研磨成粉状,称取5 g研磨后的果肉,加入25 mL超纯水稀释,于Milli-Q Direct超纯水一体化系统(美国Millipore公司),80 °C水浴提取60 min,冷却后10 000 r·min<sup>-1</sup>离心15 min,上清液通过0.45 μm滤膜,使用Sugar-Pak TM I(300 mm×6.5 mm)色谱柱(美国Waters公司)和2414示差折光检测器(美国Waters公司)进行可溶性糖组分含量测定,柱温80 °C,流动相为超纯水,流速0.5 mL·min<sup>-1</sup>,检测池温度35 °C,进样量20 μL。色谱纯:果糖、葡萄糖、蔗糖(美国Sig-

ma公司)标样配成不同浓度测定,采用外标法定量。

香气物质测定采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析,参照孟智鹏等<sup>[16]</sup>的方法,香气成分的定量采用内标法,选择3-壬酮为内标,将各成分的峰面积与内标峰面积之比进行半定量分析,含量( $w$ )以 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 表示。每种负载量处理制备9个样品,3次重复,应用仪器为50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取头和固相微萃取手柄(美国 Supleco 公司)、Trace DSQ GC/MS 气相色谱-质谱联用仪(美国 Thermo Scientific 公司)、A11 液氮研磨仪(德国 IKA 公司)。

#### 1.4 数据处理

使用 Microsoft Office Excel 2019 对数据进行整理,IBM SPSS Statistics 26.0 对数据进行方差与显著性差异分析,绘图采用 Microsoft Office Excel 2019。

## 2 结果与分析

### 2.1 负载量对果实生长的影响

不同负载量下瑞香红果实横径与纵径的增长幅度均表现出明显差异。如图1所示,果实横径增长过程接近S型曲线,虽然负载量并未改变果实横径呈S型曲线变化的特征,但是对果实横径的增长幅度有较大影响,表现为低负载量能够提高果实横径增长的幅度。与对照相比,T1、T2、T3 3种负载量下果实横径的增长幅度出现了不同程度的变化,增长幅度 $T3>T2>T1>$ 对照。随着果实的生长发育,不同负载量下果实横径表现出较大差异,花后192 d时,T1、T2、T3的果实横径分别比对照增加了8.2%、12.7%、17.2%。果实纵径增长总体呈现出“前快后慢”的规律,与果实横径类似,负载量同样未改变果实纵径增长的特征,但是对果实纵径的增长幅度有较大影响。不同负载量下果实纵径的增长幅度 $T3>T2>T1>$ 对照。随着果实的生长发育,不同负载量下的果实纵径同样表现出较大差异,花后192 d时,T1、T2、T3的果实纵径分别比对照增加了6.9%、11.3%、15.8%。

负载量对不同时期果实纵横径的影响程度不

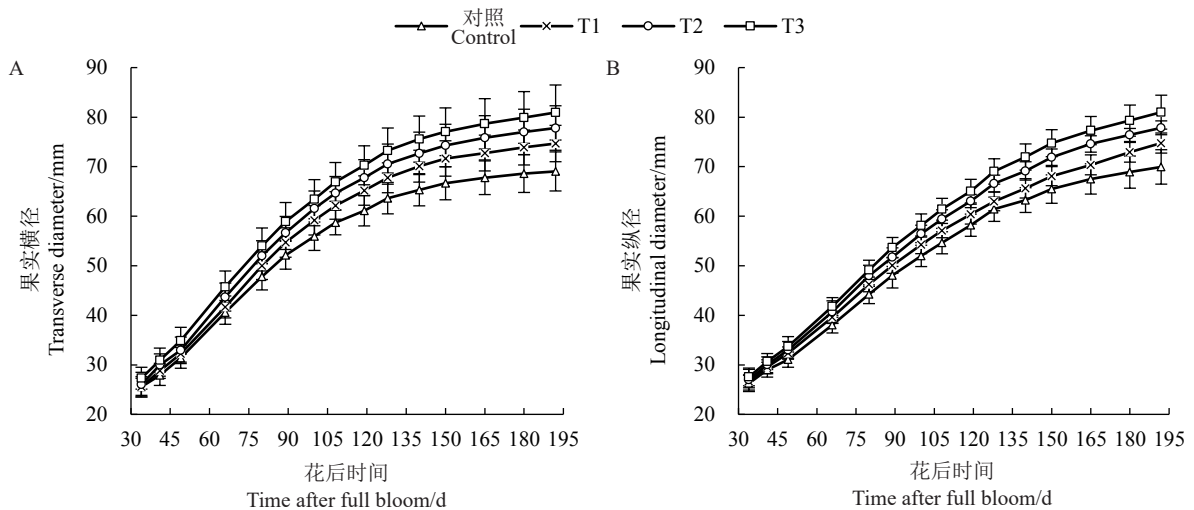


图1 不同负载量下瑞香红果实横纵径的变化

Fig. 1 Changes in transverse and longitudinal diameters of Ruixianghong fruit under different crop loads

同,从而影响果实发育期间的果形指数。如图2所示,果形指数表现出“高-低-高”的变化趋势,但负载量并未改变果形指数的变化趋势。在开花90 d之后,T1、T2、T3的果形指数均低于对照,结合图1所示,此段时期3种负载量下的果实横径均有较快的增长,而对照的果实横径增长速度明显放缓,因此导致3种负载量下的果形指数低于对照。当接近成熟期时,果实横径增长逐渐停滞,而果实纵径仍有较快增长,从而导致果形指数回升并且差异逐渐缩小,至花后192 d时,T1、T2、T3与对照的果形指数分别为

1.01、1.00、1.00、1.02,彼此之间无显著性差异。

### 2.2 负载量对果实横径频率分布的影响

如图3所示,大果比率随着负载量的减少而显著升高。对照的果实横径小于70 mm的苹果占比高达53%,一般认为此类苹果的商品性较低;>65~70 mm与>70~75 mm的果实占据多数,分别为34%与40%。而在T1、T2、T3 3种负载量下,70 mm以上的果实分别占比86%、96%、95%,并且在T2、T3中均产生了对照所不具备的大于85 mm的果实。T1负载量下,>70~75 mm与>75~80 mm的果实占比较大,分

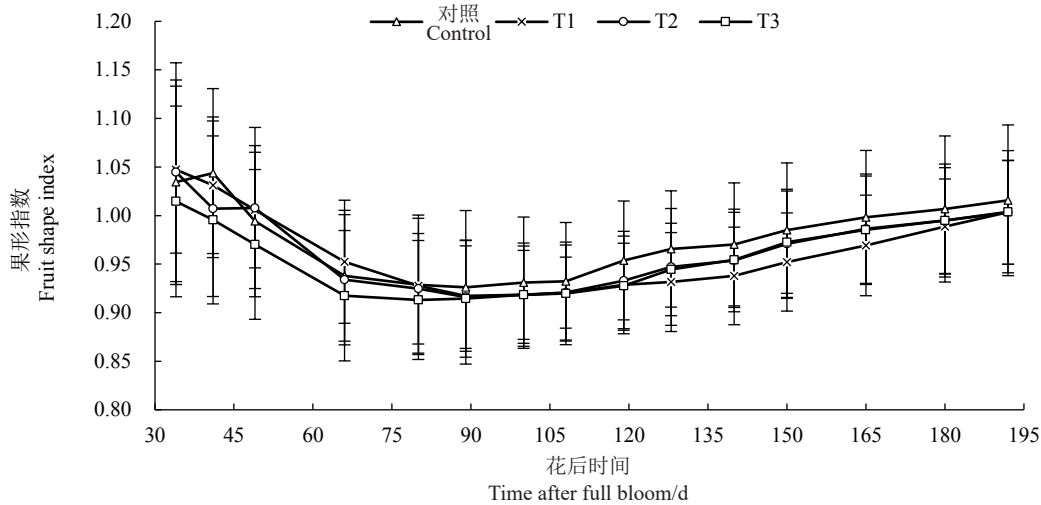


图 2 不同负载量下瑞香红果形指数的变化

Fig. 2 Changes in fruit shape index of Ruixianghong under different crop loads

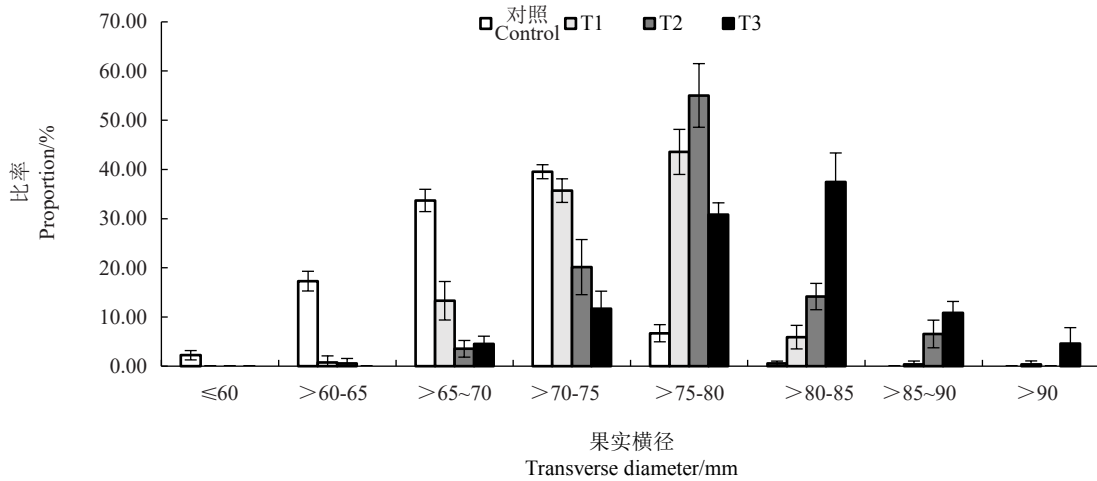


图 3 不同负载量下瑞香红果实横径的频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of fruit the transverse diameter of Ruixianghong fruit under different crop loads

别为36%与44%，而T2负载量以>75~80 mm果实为主，占比高达55%，T3负载量则以>75~80 mm与>80~85 mm果实占比居多，分别为31%与37%。

2.3 负载量对产量与经济效益的影响

产量取决于果实数量与果实质量。如表1所示，2021年，T1、T2、T3与对照的负载量分别为3.0、2.0、1.3、4.3个果实·cm<sup>2</sup>TCSA，每株树的平均果实数分别为85.0、56.3、36.7、119.7。与对照相比，3种

表 1 不同负载量下的产量指标

Table 1 Yield indexes at different crop loads

处理 Treatment	2021年In 2021				每666.7 m <sup>2</sup> 产量 Yield per 666.7 m <sup>2</sup> / kg	2022年In 2022
	花序数 Inflorescence number	每株果实数 Fruit per plant number	平均单果质量 Single fruit mass/g	负载量 Crop load/ (No. of fruits·cm <sup>2</sup> TCSA)		花序数 Inflorescence number
T1	130.3±5.7 a	85.0±1.6 b	201.2±31.6 b	3.0	1 453.7 a	145.7±9.3 c
T2	128.6±4.1 a	56.3±1.2 c	215.6±33.6 b	2.0	1 031.8 b	176.7±7.5 b
T3	128.8±3.1 a	36.7±1.7 d	249.1±45.3 a	1.3	777.1 c	207.3±28.0 a
对照 Control	129.7±6.6 a	119.7±1.7 a	157.2±28.4 c	4.3	1 599.4 a	95.3±8.3 d

注：不同小写字母表示达显著差异水平(p<0.05)。下同。

Note: Different letters indicate a significant difference (p<0.05). The same below.

负载量下的产量均有所减少,产量高低依次为对照>T1>T2>T3,但T1与对照相比差异不显著;在T2、T3负载量下,产量比对照分别减少35.5%、51.4%。与对照相比,T1负载量下每株果实数量显著减少,但因为平均单果质量较大,产量并未显著下降;当负载量降低至T2、T3水平时,单果质量的增加不能弥补果实数量的不足,造成产量下降。苹果的隔年结果现象是翌年产量的重要影响因素,在对照的较高负载量下,2022年的花序数量比2021年降低了26.5%,而T1、T2、T3 3种负载量下的花序数量分别比2021年增长了11.8%、37.4%、60.9%。

果实经济效益取决于产量和大型果的比例。根据表2所示的2021年陕西省渭南市瑞香红苹果收购价格计算,在产量不变的情况下,大型果比例越

表2 2021年陕西省渭南市瑞香红苹果收购价格

Table 2 Purchase price of Ruixianghong apple in Weinan City, Shaanxi Province in 2021

果实横径 Transverse diameter/ mm	市场分级 Market size classification/ mm	预估果实质量 Estimated fruit mass/g	收购价格 Purchasing price/ (Yuan·kg <sup>-1</sup> )	预估单果价格 Estimated price per fruit/ Yuan
≤65	60	95	8	0.76
>65~70	65	130	12	1.56
>70~75	70	165	16	2.64
>75~80	75	201	20	4.02
>80~85	80	236	24	5.66
>85	85	271	30	8.13

高,经济收益越高。如图4所示,根据果实横径与果实质量的相关性分析,瑞香红果实横径每增大5 mm,质量大约增加35 g。图5所示,经济效益由高到低

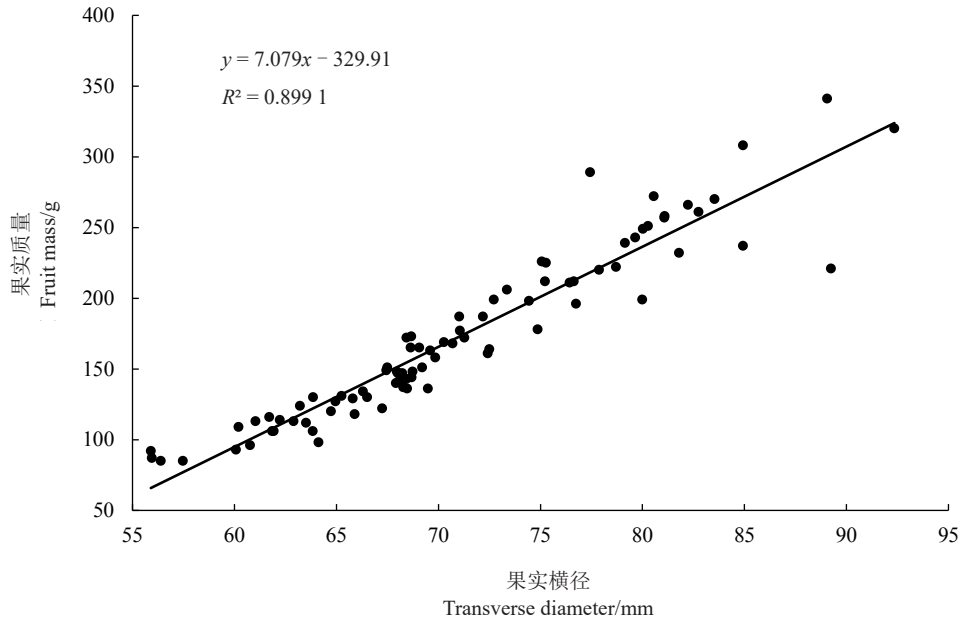


图4 瑞香红果实横径与果实质量的相关性

Fig. 4 Correlation between fruit transverse diameter and fruit weight of Ruixianghong

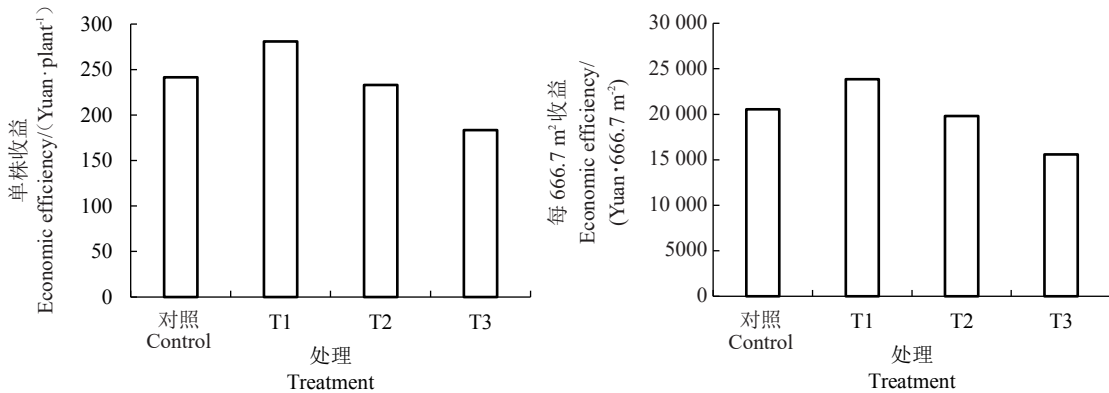


图5 负载量对经济效益的影响

Fig. 5 Impact of crop load on economic return

分别为T1>对照>T2>T3。与对照相比,T1负载量下,不仅产量无显著差异,而且大型果率较高,因此经济效益最高;T2负载量下产量虽然显著下降,但是大型果所占比例高,得益于较高的收购价格,因此经济效益并无较大差异;T3负载量下大型果所占比例极高,因此单果价格较高,但由于产量过低,无法实现较高的经济效益。

#### 2.4 负载量对果实外观品质的影响

苹果果实的外观品质主要包括大小、果形、色泽等方面。如表3所示,在果实大小方面,负载量越高,平均单果质量越小。与对照相比,T1、T2、T3 3种负载量下单果质量均有显著增加,分别增加了

28.0%、37.2%、58.5%。果形指数体现了果实的高桩程度,果形指数越高,果实越高桩;与对照相比,T1、T2、T3 3种负载量下的果形指数均无显著差异,表明负载量对果形指数无显著影响。 $L$ 、 $a$ 、 $b$ 为色泽参数, $L$ 值代表果实亮度,T1、T2、T3 3种负载量与对照相比果实亮度无显著差异,表明负载量对果实亮度无显著影响; $a$ 值表示红绿色度, $a$ 值越高,果面红色越深,与对照相比,T1的 $a$ 值虽然有所增加,但差异不显著,当负载量降低至T2、T3水平时,表现出显著差异,说明较低负载量下有利于果面着色; $b$ 值反映果实的黄蓝色度, $b$ 值越高,果实底色越黄,与对照相比,3个处理在 $b$ 值上无显著性差异,表明负载量

表3 负载量对果实外观品质的影响

Table 3 Effect of crop load on fruit external quality

处理 Treatment	单果质量 Fruit mass/g	果形指数 Fruit shape index	$L$	$a$	$b$
T1	201.2±31.6 b	1.01±0.05 a	41.57±1.70 a	33.87±3.61 c	18.54±1.48 a
T2	215.6±33.6 b	1.00±0.06 a	42.81±1.78 a	35.03±3.48 b	18.78±1.75 a
T3	249.1±45.3 a	1.00±0.05 a	42.58±1.66 a	38.96±5.37 a	19.04±1.37 a
对照 Control	157.2±28.4 c	1.02±0.06 a	42.51±2.17 a	32.04±1.97 c	18.55±1.53 a

对果实底色无显著影响。

#### 2.5 负载量对果实内在品质的影响

硬度与可溶性固形物含量能在一定程度上反映出果实的成熟度与耐贮性。对同一苹果品种而言,通常采收时硬度越小,可溶性固形物含量越高,表明成熟度越高,但耐贮性越差。表4所示,与对照相比,T1、T2负载量下的果实硬度有所降低,而可溶性固形物含量有所增加,但两者差异均不显著;当负载量降低至T3水平时,果实硬度出现显著下降,比对照降低了 $0.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,可溶性固形物含量出现显著上升,比对照提高了0.57个百分点,说明此负载量下的果实成熟度较高,品质较好,但不利于长期贮藏。瑞香红的可滴定酸含量较低并且未出现显著性变

化,说明可滴定酸含量不易受负载量的影响。苹果果实内的可溶性糖主要包括果糖、葡萄糖、蔗糖,在甜度值方面,果糖>蔗糖>葡萄糖,负载量通过改变各种糖组分的比例,从而影响果实的甜味。表4所示,负载量对3种可溶性糖的含量有不同程度的影响,低负载量下果糖和葡萄糖的含量表现出升高趋势,而蔗糖含量表现出降低趋势。对于果糖含量而言,T1负载量与对照相比差异不显著,而T2、T3负载量均表现出显著增加,分别比对照增加了 $1.43 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $2.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。与果糖含量随负载量的变化相似,葡萄糖含量在T1负载量下与对照相比无显著性差异,但在T2、T3负载量下分别比对照增加了 $1.21 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $2.08 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,表现出显著性增加。与对照相比,T1、

表4 负载量对果实内在品质的影响

Table 4 Effect of crop load on fruit internal quality

处理 Treatment	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 acid content/%	w(果糖) Fructose content/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	w(葡萄糖) Glucose content/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	w(蔗糖) Sucrose content/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )
对照 Control	8.25±0.57 a	14.84±0.59 b	0.21±0.03 a	52.85±0.53 c	26.39±1.10 c	30.23±1.00 a
T1	8.14±0.42 ab	15.07±0.64 ab	0.20±0.03 a	53.40±0.93 bc	26.96±0.58 bc	28.90±0.48 b
T2	8.10±0.52 ab	15.10±0.55 ab	0.20±0.03 a	54.28±0.94 ab	27.60±0.70 ab	28.11±1.00 b
T3	7.85±0.37 b	15.41±0.89 a	0.19±0.02 a	55.69±1.10 a	28.47±1.02 a	26.72±0.89 c

T2、T3 3种负载量下果实的蔗糖含量均出现了显著性下降,分别减少了1.33、2.12、3.51  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

## 2.6 负载量对果实香气物质的影响

由图6可知,与对照相比,T1、T2、T3 3种负载量下的香气物质含量均有所提高,总香气物质含量  $T3>T2>T1>$ 对照,T2与T3负载量下的果实香气物质表现出显著性提高,分别比对照增加9.73%与13.58%,但T1与对照之间的差异不显著,表明低负载量条件下能够增加瑞香红果实香气物质的总含量,从而使果实香味更加浓郁。瑞香红果实的香气物质包括酯类、醛类、醇类以及部分其他种类的物质,4种负载量下果实酯类物质的含量均超过60%,在香气物质中所占比重最高,表明酯类物质是瑞香红果实中主要的香气物质,主要表现为甜香、果香

等,对果实的香味影响较大。与对照相比,T1、T2、T3 3种负载量下酯类物质含量均呈现上升趋势,但T1、T2与对照的差异不显著,负载量降低至T3水平时,酯类物质均出现了显著性增高,与对照相比增加了12.82%,表明此负载量下的果实甜香味与果香味更浓。醛类物质表现为青香,与对照相比,T1、T2、T3 3种负载量下醛类物质含量均呈现上升趋势,但T1负载量与对照相比差异不显著,而T2、T3负载量均表现出显著性增加,分别比对照相比增加了6.24%、13.24%。不同负载量下,醇类物质的变化差异不显著,说明醇类物质不易受负载量的影响。其他种类的一些香气物质也会受到负载量的影响,在T2、T3负载量下其他种类的香气物质与对照相比表现出显著增加,分别增加15.69%、15.74%,而T1与

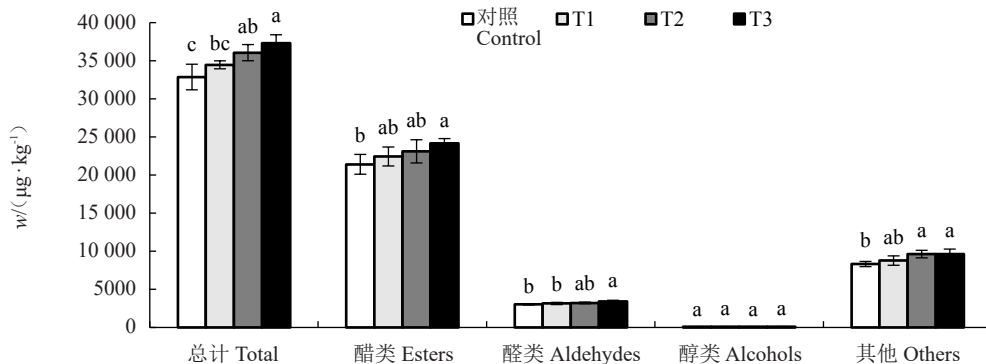


图6 负载量对总香气物质及各组分含量的影响

Fig. 6 Effect of crop load on total aroma volatile compounds and the relative content of each component

对照差异不显著。

## 3 讨论

### 3.1 负载量对果实生长的影响

负载量能够改变苹果果实的生长速率。孙擎等<sup>[19]</sup>在云南昭通对嘎拉果实直径进行持续监测的结果显示,在常规栽培模式下,苹果果实直径生长更接近为“S型”曲线,横径快速增长期出现在6—7月份,本研究中瑞香红的果实生长曲线和横径快速增长期与之相似。Lakso等<sup>[20]</sup>对帝国与金帅的研究表明,负载量高低与果实生长快慢呈负相关关系,在极低负载量下,果实生长速率显著提高,在本研究当中,不同负载量下瑞香红果实生长速率也同样表现出与之相似的变化规律。负载量通过影响果实数量和果实大小来决定最终产量。高负载量下,得益于当年较多的果实数量,因而单株产量较高,但是果实大小会

有所降低,影响果实分级<sup>[8]</sup>。果实大小主要通过纵横径与质量来量化,苹果分级主要根据果实横径,而质量通常与产量相关<sup>[21]</sup>。低负载量下的果实横径与质量均较大,大果所占比重大,但果实数量较少;而高负载量下的果实较小,大果所占比重小<sup>[11]</sup>。相比于果实大小而言,瑞香红的果形指数不易受负载量的影响,果实纵径在果实发育后期仍有较快的增长,使得成熟时的果形指数稳定在1.00左右,这可能与品种遗传特性有关。

### 3.2 负载量对果实品质的影响

负载量影响果实品质,高负载量下虽然能获得较高的苹果产量,但会导致果实品质降低。在色泽方面,苹果果皮颜色由底色与盖色构成,对于瑞香红等一些红色品种而言,叶绿素、类胡萝卜素等色素构成了底色,花青苷等色素构成了盖色,盖色的深浅主要是由花青苷含量决定的<sup>[22]</sup>。李卓阳等<sup>[8]</sup>的研究表



明,负载量会影响底色的黄绿程度与盖色的深浅程度,高负载量下富士的着色指数表现出显著降低;张秀美等<sup>[6]</sup>认为过高与过低的负载量均会导致岳帅果面着色不良,并且对内膛果实的影响更大;Anthony等<sup>[11]</sup>对宇宙脆的负载量研究表明,不同负载量下的苹果着色面积并无显著差异,但着色深浅有轻微不同,低负载量下的果面红色较深;王凯等<sup>[9]</sup>对不同负载量下皇家嘎拉的色泽参数进行测定,认为低负载量虽然能提高果面 $a$ 值,但是会显著降低果面 $L$ 值与 $b$ 值。在本研究当中,不同负载量下 $L$ 值 $b$ 值均无显著变化,与前人研究不符,说明负载量对瑞香红果面的亮度与底色无明显的影响,这可能与本研究采取套袋栽培措施有关;而 $a$ 值出现了较大的差异,与多数研究一致,表现为负载量越低 $a$ 值越高,着色越深。

硬度能够反映果实的成熟度,硬度越低,果实越接近成熟,但贮藏性会降低。可溶性固形物含量是品质的重要指标,以可溶性糖为主,还包括少部分酸、矿物质、维生素等物质,因此可以近似看作糖含量。可溶性固形物含量通常与硬度一并作为采收的参考依据,果实越接近成熟,可溶性固形物含量越高<sup>[22]</sup>。瑞香红果实内的主要可溶性糖包括果糖、蔗糖、葡萄糖,主要有机酸包括苹果酸、奎宁酸、柠檬酸、草酸、莽草酸等,果糖与苹果酸分别是瑞香红果实内的主要可溶性糖和有机酸,糖酸含量及比例共同构成了苹果的风味<sup>[18]</sup>。除糖、酸等常见指标外,苹果的香气物质也是评价果实品质的重要指标。香气物质的种类和含量在不同品种之间差异较大,即便是同一个品种,也会受果实成熟度、栽培措施、检测部位的影响<sup>[15-16, 23-24]</sup>。虽然在苹果中已经分析出了300多种挥发性物质,但只有少部分对苹果果实的香气有明显的影响,例如一些酯类、醛类、醇类、醚类、萜烯类和酮类等,酯类物质是瑞香红苹果的主要香气物质<sup>[15-16, 24]</sup>。苹果的香气物质种类与含量会随着果实成熟度的增加而增多<sup>[23]</sup>。本研究中,在1.3个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA的极低负载量下,可溶性固形物含量、硬度、香气物质含量均显著升高,推测高负载量下会导致果实成熟期延迟,而低负载量下成熟度较高,因此品质较好,这与陆玫丹等<sup>[25]</sup>在葡萄上的研究结论类似,但负载量与硬度的相关性与前人研究<sup>[7, 9, 11-12]</sup>不符,除去品种之间的差异外,推测可能与本次试验采取套袋栽培措施,并且最大负载量的水平设置相对较低等因素有关,具体原因有待进一步探究。

### 3.3 负载量对树体翌年成花的影响

由于苹果当年开放的花是由上一年的花芽分化决定的,负载量通过影响植物激素水平调控花芽分化,高负载量会导致翌年花量不足,严重时全树无花,出现隔年结果的现象<sup>[13]</sup>。但不同品种对隔年结果现象的反应不同,鸡冠、金帅等隔年结果现象较轻,祝光、红玉等苹果品种次之;国光、印度等品种隔年结果现象较为严重<sup>[26]</sup>,而在瑞香红苹果上尚未有研究报道。Gottschalk等<sup>[27]</sup>的试验表明当年的高负载量会严重减少蜜脆第2年的花量,并认为高负载量下产生的大量赤霉素会抑制花芽分化。本研究在2021年进行负载量处理后,比较2022年与2021年2 a(年)的开花数量,结果表明负载量能够影响瑞香红的翌年开花数量,表现为4.3个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA的较高负载量下,2022年的花序数量显著低于2021年;而1.3、2.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA的较低负载量能显著增加翌年的花序数量;负载量为3.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA时,2 a的花序数量相对接近。高负载量虽然会增加瑞香红当年的产量,但会降低翌年开花数量,从而降低翌年产量,这与前人研究相似。因此合理修剪与疏花疏果有助于减轻隔年结果现象,实现稳产;适宜负载,提高果实品质,实现优产,从而保证每年的经济效益。

### 3.4 适宜负载量的确定

对于适宜负载量的确定,王凯等<sup>[9]</sup>认为南疆地区6年生皇家嘎拉/M9-T337负载量为4.4个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA综合效益较好;而刘丽等<sup>[10]</sup>认为5年生阿珍富士/M9-T337负载量为5.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA较为适宜。本研究由于高接换种时的砧树较粗导致干截面积偏大,应用干截面积留果量的方法计算出的负载量相对偏低,另外高接后营养树体生长过快,尚处于初结果期,因此单株开花数量、留果量、产量也相对低于其他研究报道。Suo等<sup>[28]</sup>在陕西长武对株行距为2 m $\times$ 3 m的富士/新疆野苹果的盛果期果园进行连续5 a的研究,认为黄土高原产区盛果期每株树67~81个果实较为合适,本研究T1负载量条件下的留果量与之相近。从经济效益来看,产量高经济效益不一定高。理论上生产120个70 mm的瑞香红苹果的商品果实与生产99个75 mm的瑞香红苹果的商品果实产量相等,但是75 mm果实通常价格更高,经济效益更好。本研究中利用疏花疏果等措施适当降低负载量,不仅没有造成过多苹果产量的损失,反而提高了大型果的比例,产生出更高的经济效益。本试验中所设计

的4种负载量当中,1.3个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA果实品质最好,但经济效益最低;4.3个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA虽然产量最高,但平均单果质量较小,无法获得最高的经济效益;2.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA可以兼顾品质 and 经济效益;而3.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA能获得最高的经济效益,因此在瑞香红75~80 mm中型苹果标准基础上,以3.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA的负载量较为适宜。

## 4 结 论

本研究中低负载量下果实生长速率较快,果实品质较好,但产量与经济效益较低;提高负载量虽然能增加产量,但会降低果实品质。综合来看,高接瑞香红品种第5年的苹果树以3.0个 $\cdot\text{cm}^{-2}$  TCSA的负载量较为适宜。

## 参考文献 References:

- [1] 王金政,毛志泉,从佩华,吕德国,马锋旺,任小林,束怀瑞,李保华,郭玉蓉,郝玉金,姜远茂,张新忠,杨欣,曹克强,赵政阳,韩振海,霍学喜,魏钦平. 新中国果树科学研究70年:苹果[J]. 果树学报,2019,36(10):1255-1263.  
WANG Jinzheng, MAO Zhiquan, CONG Peihua, LÜ Deguo, MA Fengwang, REN Xiaolin, SHU Huairui, LI Baohua, GUO Yurong, HAO Yujin, JIANG Yuanmao, ZHANG Xinzhong, YANG Xin, CAO Keqiang, ZHAO Zhengyang, HAN Zhenhai, HUO Xuexi, WEI Qinqing. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Apple[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10):1255-1263.
- [2] 陈学森,毛志泉,王楠,张宗营,王志刚,姜召涛,徐月华,东明学,李建明. 我国果树产业新旧动能转换之我见III:三位一体的中国式苹果宽行高干省力高效栽培法推动我国苹果产业转型升级,助力乡村振兴[J]. 中国果树,2019(4):1-3.  
CHEN Xuesen, MAO Zhiquan, WANG Nan, ZHANG Zongying, WANG Zhigang, JIANG Zhaotao, XU Yuehua, DONG Mingxue, LI Jianming. Trinity Chinese-style apple cultivation method of wide-line, high-trunk, energy-saving and high-efficiency promotes the transformation and upgrading of China's apple industry and promotes rural revitalization[J]. China Fruits, 2019 (4):1-3.
- [3] 邢燕,李娅楠,王雷存. 苹果高接换优新技术[J]. 陕西农业科学,2020,66(9):102-104.  
XING Yan, LI Yanan, WANG Leicun. A new technique for quality apple scions by top grafting[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2020, 66(9):102-104.
- [4] 杨亚州,赵政阳,高华,王雷存,刘振中,武月妮,杨惠娟,孙鲁龙. 晚熟苹果新品种‘瑞香红’[J]. 园艺学报,2021,48(3):609-610.  
YANG Yazhou, ZHAO Zhengyang, GAO Hua, WANG Leicun, LIU Zhenzhong, WU Yueni, YANG Huijuan, SUN Lulong. A new late ripening apple cultivar ‘Ruixianghong’ [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(3):609-610.
- [5] 何肖肖,王娇娇,孙鲁龙,韩明明,郭雄雄,梁俊. 基于 AHP-EWM 评价陕西渭北地区无袋栽培苹果果实品质[J/OL]. 甘肃农业大学学报,2022: 1-14. (2022-07-12). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20220711.1458.002.html>.  
HE Xiaoxiao, WANG Jiaojiao, SUN Lulong, HAN Mingming, GUO Xiongiong, LIANG Jun. Evaluation of fruit quality of bagless apple in Weibei area of Shanxi Province based on AHP-EWM[J/OL]. Journal of Gansu Agricultural University, 2022: 1-14. (2022- 07- 12). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20220711.1458.002.html>.
- [6] 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. A study on the relationship between dwarfing cultivation and load of Yueyanghong apple[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(7):1077-1083.
- [7] 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 load of ‘Yanfu 3’ apple of dwarf interstock in full fruiting period[J]. China Fruits, 2020(1):87-91.
- [8] 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.
- [9] 王凯,李秀玲,张晓云,袁引燕,鲁晓燕,姜继元,张东,杨伟伟. 负载量对南疆矮化自根砧苹果树体生长、光合能力及果实发育和品质的影响[J]. 果树学报,2023,40(1):48-59.  
WANG Kai, LI Xiuling, ZHANG Xiaoyun, YUAN Yinyan, LU Xiaoyan, JIANG Jiyuan, ZHANG Dong, YANG Weiwei. Impacts of fruit load on tree growth, leaf gas exchange and fruit development and quality in apple trees grafted on a dwarfing rootstock in southern Xinjiang[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40 (1):48-59.
- [10] 刘丽,石彩云,魏志峰,徐玉西,李秋利,高登涛. 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[J]. 果树学报,2022,39(6):982-991.  
LIU Li, SHI Caiyun, WEI Zhifeng, XU Yuxi, LI Qiuli, GAO Dengtao. Effects of fruit load on growth, development and fruit quality of Fuji apple on dwarfing rootstock[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(6):982-991.
- [11] ANTHONY B, SERRA S, MUSACCHI S. Optimizing crop load for new apple cultivar: ‘WA38’[J]. Agronomy, 2019, 9(2): 107.

- [12] SERRA S, LEISSO R, GIORDANI L, KALCSITS L, MUSACCHI S. Crop load influences fruit quality, nutritional balance, and return bloom in 'Honeycrisp' apple[J]. HortScience, 2016, 51(3):236-244.
- [13] REDDY P, PLOZZA T, EZERNIEKS V, STEFANELLI D, SCALISI A, GOODWIN I, ROCHFORD S. Metabolic pathways for observed impacts of crop load on floral induction in apple[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(11): 6019.
- [14] 赵智彦. 苹果杂交优系'浓果4号'、'浓果25号'综合性状评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.  
ZHAO Zhiyan. Comprehensive evaluation on characters of apple superior strains 'Nongguo 4' & 'Nongguo 25' [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019.
- [15] 靳元凯, 姚奕君, 刘莉, 冯瑞芳, 李凤龙, 杨亚州, 赵政阳. 苹果新品种'瑞香红'果实主要品质研究[J]. 陕西农业科学, 2022, 68(3):23-28.  
JIN Yuankai, YAO Yijun, LIU Li, FENG Ruifang, LI Fenglong, YANG Yazhou, ZHAO Zhengyang. Study on main fruit quality of new apple variety 'Ruixianghong'[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2022, 68(3):23-28.
- [16] 孟智鹏, 陈荣鑫, 杨舜博, 闫雷玉, 杨亚州, 赵政阳. 苹果新品种'瑞雪'、'瑞香红'及其亲本香气物质差异分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21):50-56.  
MENG Zhipeng, CHEN Rongxin, YANG Shunbo, YAN Leiyu, YANG Yazhou, ZHAO Zhengyang. Analysis on the difference of aroma volatile compounds in new apple cultivars 'Ruixue', 'Ruixianghong' and their parents[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21):50-56.
- [17] 贾朝爽, 王志华, 包敖民, 韩扎拉干白拉. 温度对瑞香红苹果果实贮藏品质的影响[J]. 中国果树, 2022(9):7-11.  
JIA Chaoshuang, WANG Zhihua, BAO Aomin, Hanzhalaganbaila. Effect of temperature on storage quality of 'Ruixianghong' apple fruit[J]. China Fruits, 2022(9):7-11.
- [18] 李娅楠, 闫雷玉, 张波, 杨舜博, 赵政阳. 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究[J]. 果树学报, 2021, 38(11):1877-1889.  
LI Yanan, YAN Leiyu, ZHANG Bo, YANG Shunbo, ZHAO Zhengyang. A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11):1877-1889.
- [19] 孙擎, 赵艳霞, 程晋昕, 曾厅余, 张祎. 基于多种算法的果树果实生长模型研究:以云南昭通苹果为例[J]. 中国农业科学, 2021, 54(17):3737-3751.  
SUN Qing, ZHAO Yanxia, CHENG Jinxin, ZENG Tingyu, ZHANG Yi. Fruit growth modelling based on multi-methods: A case study of apple in Zhaotong, Yunnan[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(17):3737-3751.
- [20] LAKSO A N, CORELLI GRAPPADELLI L, BARNARD J, GOFFINET M C. An exponential model of the growth pattern of the apple fruit[J]. Journal of Horticultural Science, 1995, 70(3): 389-394.
- [21] SAPIR G, BARAS Z, AZMON G, GOLDWAY M, SHAFIR S, ALLOUCHE A, STERN E, STERN R A. Synergistic effects between bumblebees and honey bees in apple orchards increase cross pollination, seed number and fruit size[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 219:107-117.
- [22] MUSACCHI S, SERRA S. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 234:409-430.
- [23] 刘俊灵. 苹果新品种'瑞雪'果实挥发性香气物质分析及其遗传特性初探[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.  
LIU Junling. Analysis of volatile flavor compounds and their genetic characteristics in *Malus domestica* 'Ruixue'[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019.
- [24] YANG S B, HAO N N, MENG Z P, LI Y J, ZHAO Z Y. Identification, comparison and classification of volatile compounds in peels of 40 apple cultivars by HS-SPME with GC-MS[J]. Foods, 2021, 10(5):1051.
- [25] 陆玫丹, 贺坤, 裴庆松, 贾惠娟. 不同水平负载量对'鄞红'葡萄成熟和品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2014, 40(2):175-180.  
LU Meidan, HE Kun, PEI Qingsong, JIA Huijuan. Effects of different fruit loads on berry maturity and quality in grape cultivar 'Yinhong' [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2014, 40(2):175-180.
- [26] 丁磊. 果树隔年结果现象综合分析[J]. 北方园艺, 1999(1):28-29.  
DING Lei. Comprehensive analysis of fruit bearing phenomenon in alternate years of fruit trees[J]. Northern Horticulture, 1999(1):28-29.
- [27] GOTTSCHALK C, ZHANG S W, SCHWALLIER P, ROGERS S, BUKOVAC M J, VAN NOCKER S. Genetic mechanisms associated with floral initiation and the repressive effect of fruit on flowering in apple (*Malus × domestica* Borkh.)[J]. PLoS One, 2021, 16(2):e0245487.
- [28] SUO G D, XIE Y S, ZHANG Y, CAI M Y, WANG X S, CHUAI J F. Crop load management (CLM) for sustainable apple production in China[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 211: 213-219.