果 树 学 报 2021,38(7):1077-1083
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20210009

岳阳红苹果矮化栽培与负载量关系研究

张秀美,王 宏*,刘 志,于年文,李宏建,里程辉

(辽宁省果树科学研究所,辽宁熊岳 115009)

摘 要:【目的】探讨不同负载量的树体结构、叶绿素、光合指标、果实品质,为高效生产提供技术支撑。**【方法】**以10年生岳阳红/77-34/山定子苹果为试材,高中低产3种负载量作为处理,研究了负载量对树体结构、叶绿素、光合指标、果实品质的影响。**【结果】**不同处理的树体结构以处理Ⅱ枝芽量1046×10³个·hm⁻²、长中短枝比1∶2.7∶8.4,较合理;叶片叶绿素含量与比叶质量呈显著正相关,叶绿素含量越高比叶质量相对越大,以处理Ⅱ叶绿素含量最高;处理Ⅱ能明显改善岳阳红的光合性能,显著提高光合速率;处理Ⅱ的果实品质最好,果实硬度、糖、酸适宜,果面光洁度好,易着红色,品质优于其他处理。**【结论】**负载量中等(193个·株⁻¹)的处理Ⅱ果实内在和外在品质好,有助于树体的营养积累和丰产稳产。

关键词:苹果;负载量;枝类组成;叶绿素;光合速率;产量;品质

中图分类号:S661.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2021)07-1077-07

A study on the relationship between dwarfing cultivation and load of Yueyanghong apple

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

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

Abstract:【Objective】The study investigated the relationship between tree structure, leaf chlorophyll content, photosynthetic indexes and fruit yield and quality and fruit load.【methods】Ten-year old trees of Yueyanghong /77-34/ *Malus baccata* Borkh. were used as the experimental material to study the effects of fruit load on tree structure, leaf chlorophyll content, photosynthetic indexes and fruit quality. test design for three treatments, treatment Ⅰ contained 30 000 kg·hm^{-2} load, treatment Ⅱ contained 37 500 kg·hm^{-2} load, treatment Ⅲ contained 45000 kg·hm^{-2} load.【Results】The total number of shoots in treatment Ⅱ was1046×10^3 per hm^2, which was higher than that in treatment I and treatment Ⅱ, which was 138×10^3 per hm^2 and 37×10^3 per hm^2, respectively. The number of medium and short branches were largest in treatment Ⅲ (1009×10^3 per hm^2), followed by treatment Ⅱ (1046×10^3 per hm^2), and smallest in treatment Ⅰ (908×10^3 per hm^2). As for long branches, the treatment I had the largest number. There were significant differences among different treatments. At the stage of fruit full maturity, higher shoot number and the higher proportion of medium and short shoots contributed to higher and stable yield of the tree in next season. Trees in treatment Ⅱ had a better tree structure with a larger proportion of medium and short shoots and a larger total number of shoots, while the proportion of long shoots was lower. The ratio of long, medium and short shoots was 1∶2.7∶8.4. The total chlorophyll content in treatment Ⅱ was significantly higher than that in treatment I and treatment Ⅲ. There was no significant difference between the treatment Ⅰ and treatment Ⅲ. Leaf chlorophyll content in treatment Ⅱ was positively correlated with specific leaf weight. Net photosynthetic rate in treatment Ⅱ was the highest, which was 17.11

收稿日期:2021-01-14 **接受日期:**2021-03-23

基金项目:辽宁省自然科学基金指导计划(2019-ZD-0385);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-27);辽宁省太和区果树特派团;辽宁省凌源市果树科技特派团(2020JH5/10400062)

作者简介:张秀美,女,副研究员,硕士,从事苹果栽培生理研究。Tel:13464719010,E-mail:lnxiumei@163.com

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

μmol·m^{-2}·s^{-1}, followed by treatment Ⅲ, 16.08 μmol·m^{-2}·s^{-1}, and there were great differences between treatment I and treatment Ⅱ. The lowest stomatal conductance in treatment Ⅱ was 0. 038 3 mmol·m^{-2}·s^{-1}, which was significantly higher than that in treatment 1, but not significantly different from that in treatment Ⅲ. The transpiration rate in treatment Ⅰ and Ⅲ was significantly higher than that in treatment Ⅱ. Intercellular CO_2 concentration decreased with the increase in net photosynthetic rate, and was the highest in treatment Ⅰ, which was significantly higher than the other two treatments. Net photosynthetic rate was inversely proportional to stomatal conductance, intercellular CO_2 and transpiration rate. The photosynthetic performance and photosynthetic rate of Yueyanghong were significantly improved by treatment Ⅱ. Fruit quality was affected by fruit load. Fruit load was relative lower and the single fruit weight was the largest in treatment Ⅰ. Fruit shape index was significantly changed by the treatments. In terms of fruit hardness, treatment Ⅰ was significantly higher than the other two treatments, while treatment Ⅱ had no significant effect. Soluble solids in treatment Ⅱ was the highest (13.64%), while in treatment Ⅰ it was only 11.64%. The content of titratable acid in treatment I was significantly higher than that in treatment Ⅱ and Ⅲ, and the content of Vc in treatment Ⅱ was also higher than that in treatment Ⅰ and Ⅲ. Fruit color reflected by *L*, *a* and *b* values in treatment Ⅱ and Ⅲwas obviously better than in treatment I, but there was no significant different between treatment Ⅱ and treatment Ⅲ. In summary, fruit quality treatment Ⅱ was the best.【Conclusion】Treatment Ⅱ with medium load (193 per plant) had good internal and external fruit quality, which contributed to the nutrient accumulation, high yield and stable yield of the tree. The number of shoots was 1046×10^3 per hm^2, and the ratio of long, medium and short branches was 1∶2.7∶8.4, which could overcome the problem of alternative bearing.

Key words: Apple; Capacity; Branch composition; Chlorophyll; Photosynthetic; Yield; Quality

自20世纪70年代以来，矮化密植栽培已经在世界各地应用，随着时间的推移，矮化密植技术不断发展，新的矮化砧木不断出现，栽培模式也不断创新，目前矮砧集约栽培是世界苹果发展的方向[1]。矮化栽培具有结果早、容易成花、用工量小、便于管理的优点，矮化栽培的苹果树苗也得到普遍的推崇，可以说矮化栽培苹果树将成为苹果发展的趋势[2-7]。当然，近几十年辽宁省也在大力发展矮砧栽培模式，由于辽宁地区独特的气候条件，冬季寒冷，夏季高温多雨，栽种苹果的地方多为山地，因此矮化中间砧的栽培模式在辽宁地区被广泛应用。77-34矮化砧木能与山定子、海棠、富士、国光表现出很好的亲和性[8]。岳阳红苹果是辽宁省果树科学研究所1992年以富士为母本、东光为父本杂交育成的中晚熟抗寒苹果新品种。77-34也是辽宁省果树科学研究所1977自主选育的半矮化砧木，于1995年通过辽宁省农作物品种审定委员会审定，10年间在长江以北13个省份试栽推广3845 hm^2[9]。近年来辽宁、赤峰等区域大面积栽植，该品种与抗寒砧木77-34嫁接，表现出丰产性好、结果早、抗性强和果实品质优良等特点。针对负载量的研究较多，在苹果、梨、葡萄等树种上都曾有报道。陆超等[10]研究结果认为盛果期红富士苹果适宜负载量应控制在45 000~60 000 kg·hm^{-2}，负载量的大小直接影响苹果的平均单果质量和实际单位面积产量，随着负载量的增加，叶片的净光合速率(P_n)呈逐渐下降趋势。薛晓敏等[11]认为结果初期红富士适宜负载量为30 000~33 750 kg·hm^{-2}，负载量越大，单果质量越小，果形指数越小，果实着色和光洁度越差，可溶性糖含量越低。这些学者研究试材多为富士，栽培模式为乔砧栽培，针对单位面积产量仅仅做出了个区间范围并没有明确最佳的负载量，同时针对我国自主选育的新品种矮化栽培盛果期苹果叶片以及果实品质的相关指标的研究甚少。为探讨管理水平较高的苹果园盛果期的适宜负载量与树体光合、叶绿素、树体生长发育以及果实品质的关系，以10 a生岳阳红/77-34/山定子为试材，研究不同负载量对岳阳红叶片光合指标与果实品质的影响。旨在为克服大小

年问题，解决矮化苹果优产及高效稳产的生产栽培模式提供理论依据和技术支撑。

1　材料和方法

1.1　试验材料

试验于2020年1月至2020年12月在辽宁省果树科学研究所新品种砧穗组合园进行，果园为改良的壤砂土，肥力较高。土壤pH为6.75，土壤有机质质量分数为1.68%，植株生长健壮，地势平坦，栽培管理水平较高。2009年定植，株行距为2 m × 3 m，基砧山定子，中间砧木77-34，品种岳阳红。树形为改良纺锤形，选择树冠大小和树势基本一致的植株进行试验。试验设计为3个处理，处理Ⅰ：负载量30 000 kg·hm^{-2}（每株树留果量为134个），处理Ⅱ：负载量37 500 kg·hm^{-2}（每株树留果量为193个），处理Ⅲ：负载量45 000 kg·hm^{-2}（每株树留果量为291个），单株小区，3次重复。

1.2　试验方法

8月中旬对1年生中长枝采摘第7~8枚的叶片30枚，参考李合生[11]的方法测定百叶质量、比叶质量、叶片的叶绿素含量。选择晴朗无云的天气采用便携式光合仪Li-6400XT（Li-COR，美国公司）进行功能叶片的光合生理参数测定，测定指标为净光合速率（P_n）、气孔导度（G_s）、胞间CO_2浓度（C_i）、蒸腾速率（T_r）。

果实色差值的测定：在树冠的外围，内膛采摘无病虫害的30个果实测定，采用CR400色差计进行测定，每个果实测量阴阳、萼洼、梗洼4处，取平均值，具体参照马瑞娟等[13]和陈磊[14]的方法。果实品质的测定：采用GY-1型手持硬度计在果实4个方向测定果实硬度；采用日产PAL-1型数显测糖仪在果实4个方向测定可溶性固形物含量取其平均值；采用NaOH滴定法测定含酸量；采用2，6-二氯酚靛酚法测定维生素C含量。调查树高、树冠大小，新梢长度及亩枝芽量。采用Excel、DPS等统计软件处理试验数据并进行分析。

2　结果与分析

2.1　不同负载量对岳阳红树体生长发育变化的影响

不同负载量的树体生长发育存在一定差异。表1列出了不同负载量对岳阳红树体生长发育的影响，从表1可以看出，由于负载量不同，处理Ⅱ总枝芽量为1046×10^{3}个·hm^{-2}，分别高于处理Ⅰ和处理Ⅱ 138×10^{3}个·hm^{-2}、37×10^{3}个·hm^{-2}；从枝类组成比例来看，中短枝最多的为处理Ⅲ（1009×10^{3}个·hm^{-2}），其次为处理Ⅱ（1046×10^{3}个·hm^{-2}），最少的为处理Ⅰ（908×10^{3}个·hm^{-2}），长枝间以处理Ⅰ最多，各个处理间达到显著差异水平；从平均新梢来看，处理Ⅱ新梢居中达到45.06 cm；平均树高和冠径间无显著差异。综上所述，对于盛果期的岳阳红，较高的枝芽量和较高的中短枝比例更能保证树体连年丰产稳产，处理Ⅱ更能表现出更好的树体结构，中短枝比例和总枝芽量较多，长枝比例较低，长中短枝比例约为1∶2.7∶8.4。

表1　不同负载量对岳阳红树体生长发育的影响

Table 1　The effect of fruit load on tree development in Yueyanghong apple

处理 Treatment	冠径 Canopy width/cm		平均树高 Average tree height growth/cm	平均新梢长 Average shoots/cm	枝类组成比例 Proportion of branch composition/%			总枝芽量 Total number of branches and buds (×10^3·hm^{-2})
	东西 East-west	南北 North-south			长枝 Long shoot（>15 cm）	中枝 Medium shoot（5~15 cm）	短枝 Spur shoot（<5 cm）	
处理Ⅰ Treatment Ⅰ	273 b	238.5 c	408 bc	50.32 a	95 a	114 b	699 c	908 c
处理Ⅱ Treatment Ⅱ	283 a	260.0 a	415 a	45.06 b	86 b	236 a	724 b	1046 a
处理Ⅲ Treatment Ⅲ	250 c	250.0 b	410 ab	38.03 c	37 c	203 a	769 a	1009 b

注：不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at $p<0.05$. The same below.

2.2　不同负载量对岳阳红叶片相关指标的影响

2.2.1　不同负载量处理对岳阳红叶片叶绿素含量等的影响　叶片是植物与大气之间进行能量、CO_2和水分交换的主要界面。表2列出了不同负载量岳阳红叶片的百叶质量、比叶质量、叶厚度、叶绿素a和b及总叶绿素含量。百叶质量和比叶质量各个处理间没有明显的差异。叶绿素a是苹果光合作用的主

表 2 不同负载量处理对岳阳红叶片叶绿素含量等的影响

Table 2 The effect of fruit load on leaf characters in Yueyanghong apple

处理 Treatment	百叶质量 Hundred leaf weight/g	比叶质量 Specific leaf weight/(g·cm^{-2})	叶厚度 leaf thickness/mm	w(叶绿素a) Chlorophyll a content/(mg·g^{-1})	w(叶绿素b) Chlorophyll b content/(mg·g^{-1})	w(总叶绿素) Chlorophyll content/(mg·g^{-1})
处理Ⅰ Treatment Ⅰ	95.20 a	4.50 a	0.500 a	2.70 b	0.90 b	3.87 b
处理Ⅱ Treatment Ⅱ	92.65 a	4.52 a	0.535 a	3.12 a	1.31 a	4.98 a
处理Ⅲ Treatment Ⅲ	92.80 a	4.47 a	0.510 a	3.06 b	1.25 b	4.04 b

要色素，其含量的高低与苹果的光合速率密切相关。处理Ⅱ的叶绿素a、b，总叶绿素含量明显高于处理Ⅰ和处理Ⅲ，达到极显著差异，处理Ⅰ和处理Ⅲ之间无显著差异，叶片叶绿素含量与比叶质量呈显著正相关，叶绿素含量越高比叶质量相对越大。

2.2.2 不同负载量处理对岳阳红叶片光合指标的影响 植物的光合速率是植物生理性状的一个重要指标，也是光合生产能力的主要依据。在一定的光照度下，植物的P_n可直接反映干物质增加多少的能力。在8月15日设置光照度1200 lx下测定不同负载量叶片的光合指标，从表3看出，3个不同负载量处理，P_n以处理Ⅱ最高，为17.11 μmol·m^{-2}·s^{-1}，其次是处理Ⅲ为16.08 μmol·m^{-2}·s^{-1}，处理Ⅱ极显著高处理Ⅰ，但与处理Ⅲ差异不显著。G_s以处理Ⅱ最低为0.038 3 mmol·m^{-2}·s^{-1}，处理Ⅰ最高为0.051 8 μmol·m^{-2}·s^{-1}，处理Ⅱ的G_s极显著高于处理Ⅰ，但与处理Ⅲ间差异不显著；处理Ⅰ与处理Ⅲ的T_r极显著高于处理Ⅱ。C_i随着净光合速率的增大而减小，处理Ⅰ最高，极显著高于其他2个处理，而其他两处理间差异不显著。P_n与G_s、C_i、T_r呈反比例关系，综上所述，处理Ⅱ能明显改善岳阳红的光合性能，显著提高光合速率。

表 3 不同负载量处理对叶片光合指标的影响

Table 3 The effect of fruit load on leaf photosynthetic indexes

处理 Treatment	净光合速率 P_n/(μmol·m^{-2}·s^{-1})	气孔导度 G_s/(mmol·m^{-2}·s^{-1})	胞间CO_2浓度 C_i/(μmol·mol^{-1})	蒸腾速率 T_r/(mmol·m^{-2}·s^{-1})
处理Ⅰ Treatment Ⅰ	14.69 b	0.051 8 a	299.3 a	2.82 a
处理Ⅱ Treatment Ⅱ	17.11 a	0.038 3 b	219.4 b	2.07 b
处理Ⅲ Treatment Ⅲ	16.08 ab	0.046 9 ab	238.4 b	2.52 a

2.3 不同负载量对岳阳红果实品质的影响

果实内在品质和外在品质是决定优质果比率的重要指标之一，也是决定果农经济效益的关键因素。从表4中可以看出，不同留果量对岳阳红品质影响较大，留果量少，单果质量大，处理Ⅰ单果质量最大；果形指数3个处理变化不显著；从硬度来看，处理Ⅰ明显高于其他2个处理，处理Ⅱ和处理Ⅲ变化不明显；可溶性固形物含量处理Ⅱ最高为13.64%，处理Ⅰ仅为11.64；可滴定酸含量处理Ⅰ明显高于处理Ⅱ和处理Ⅲ；维生素C含量以处理Ⅱ好于处理Ⅰ和处理Ⅲ；从果实着色来看，L值越大果面越亮，越有光泽；a值越大，果面着红色越多，b值代表果面底色的颜色，b值越大，果面着底色越好，果面越易着红色。从表中可以看出，L、a、b以处理Ⅱ和处理Ⅲ明显好于处理Ⅰ，处理Ⅱ和处理Ⅲ变化不明显，由于处理Ⅲ的负载量大，长枝比例少，在夏季时苹果摘袋后果实极易发生日烧现象。综上所述，无论是内在品质还是外在品质处理Ⅱ的最好。

表 4 不同负载量对岳阳红果实品质的影响

Table 4 The effect of fruit load on fruit quality in Yueyanghong apple

处理 Treatment	单果质量 Fruit weight/g	果形指数 Fruit shape indexes	硬度 Firmness/(kg·cm^{-2})	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可滴定酸) Titratable acidity/%	w(维生素C) Vitamin C content/(mg·100 g^{-1})	L	a	b
处理Ⅰ Treatment Ⅰ	268.9	0.89	9.13 a	11.64 b	0.56 a	2.03 b	41.35 b	27.94 b	12.52 b
处理Ⅱ Treatment Ⅱ	233.3	0.90	8.38 b	13.64 a	0.50 b	3.04 a	52.54 a	38.60 a	17.21 a
处理Ⅲ Treatment Ⅲ	185.7	0.89	8.22 b	12.78 a	0.50 b	2.35 b	49.14 a	37.51 a	17.27 a

3 讨 论

叶片作为苹果最重要的库器官，叶绿素含量受负载量影响很大，当负载量过大时，叶绿素含量相对较低，这与前人[15-17]研究结果较一致，从本实验得出当负载量30 000 kg·hm^{-2}时叶绿素含量（w，后同）3.87 mg·g^{-1}，37 500 kg·hm^{-2}时叶绿素含量4.98 mg·g^{-1}，45 000 kg·hm^{-2}时叶绿素含量反而降低4.98 mg·g^{-1}。净光合速率的变化与叶绿素含量变化较一致，当负载量30 000 kg·hm^{-2}时净光合速率为14.69 μmol·m^{-2}·s^{-1}，37 500 kg·hm^{-2}时净光合速率17.11 μmol·m^{-2}·s^{-1}，45 000 kg·hm^{-2}时净光合速率反而降低16.08 μmol·m^{-2}·s^{-1}。随着负载量的增加叶绿素含量和净光合速率先增大后减少的趋势，分析原因是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的供应果实，也产生了净光合速率下降的情况，但也不能说明继续增加负载量净光合速率继续下降，关于这方面的研究还需采用不同梯度处理做进一步分析。然而与前人[18-22]研究结果不一致，其分歧有待进一步研究。

果实品质是由内在品质和外在品质共同决定的，果实色差值是决定果实外在品质的重要指标之一[23]，苹果的外观色泽更能直接影响其商品价值，果实鲜艳、果面光泽好的苹果往往更容易被消费者所接受[24]。前人测量果实外观着色程度采用分级法，实验数据由于人为因素产生不一致现象。而采用CR400色差计测量的果实光洁度实验数据更加准确。L值越大颜色越浅、果面越有光泽；a值表示果实着红色程度的大小，a值越大红色越深；b值表示黄青的程度，b值越大黄色越深，果面着底色越好，果面越易着红色。本实验处理Ⅱ的L值（52.54）、a值（38.60）、b值（17.21）明显好于处理Ⅰ的L值（41.35）、a值（27.94）、b值（12.52）。处理Ⅲ和处理Ⅱ外观变化不明显，由于处理Ⅲ的长枝比例过少，夏季果实摘完纸袋后极易发生日烧现象，果实的优质果比例低，这与张秀美等[25-26]的研究结果基本一致。

从本文中可以看出，并不是单株负载量小（处理Ⅰ留果量134个）果实品质越好，虽然果实的单果质量有所增加，但长枝比例过高，树势偏旺，中短枝结果枝较少，浪费了大量的营养生长，不利于第2年花芽分化，若修剪不及时，树体郁闭，病虫害加重，产量过低，果农的经济效益净将受到一定的影响；而单株负载量过大时（处理Ⅲ留果量291个），果实的单果质量较小，据观察年年负载量过大树体容易早衰，苹果果实各项指标（除果形指数）都有所下降，这与前人[27-30]研究较一致，不同的负载量对果实的品质产生了一定的影响，负载量增加使果实品质降低。连年较高的负载量，果实的单果质量、糖酸、色差、耐贮藏性都有下降，树体的花芽分化率和树体的抗病性下降，树体极易感病，树体的贮存营养积累较少，严重的果园造成死树的现象。从本文中得出盛果期岳阳红/77-34/山定子单株最佳的留果量为处理Ⅱ每株留果量193个果实。此时的单果质量233.3 g、果形指数0.90、果实硬度8.38 kg·cm^{-2}、可溶性固形物含量13.64%、可滴定酸含量0.50%、维生素C含量3.04 mg·100 g^{-1}。

苹果适宜负载量大小受多种因素影响，笔者认为与当地自然气候、土壤肥力、砧穗组合、乔砧、矮砧、树龄、树势、埋土深度、前年产量等直接相关。采用矮化中间砧这种栽培模式，由于采用山定子做基砧，抗寒性、抗旱性、抗病性好于矮化自根砧；岳阳红与77-34矮化中间砧苹果树萌芽率高，主枝分布均匀，都是小型结果枝结果，无永久结果枝，树体一直能够保持中庸，保证树体丰产、稳产。关于继续跟踪目标树、观察负载量影响的后效等以及平衡树上与树下、源-库关系等是下一步研究的方向。

4 结 论

盛果期矮化中间砧77-34的岳阳红苹果树，以单株果实数量在193个、枝芽量1046×10^{3}个•hm^{-2}、长中短枝比1∶2.7∶8.4，666.7 m^{2}产量2500 kg为最佳指标，据观察树体连年丰产，无大小年现象，可为辽宁省苹果新品种矮化砧木栽培生产的发展提供基础数据。

参考文献 References：

[1] 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.

[2] 李正之 . 果树矮化密植[M]. 上海：上海科学技术出版社，1984.
LI Zhengzhi. Dwarf density planting of fruit tree[M]. Shanghai：

Shanghai Scienctific and Technical Publishers，1984.

[3] 翟衡，赵政阳，王志强，束怀瑞 . 世界苹果产业发展趋势分析[J]. 果树学报，2005，22(1)：44-50.
ZHAI Heng，ZHAO Zhengyang，WANG Zhiqiang，SHU Huairui. Analysis of the development trend of the world apple industry[J]. Journal of Fruit Science，2005，22(1)：44-50.

[4] 韩明玉 . 苹果矮砧集约栽培技术模式刍议[J]. 中国果树，2015(3)：76-79.
HAN Mingyu. Discussion on intensive cultivation technology model of apple anvil[J]. China Fruits，2015(3)：76-79.

[5] 韩明玉 . 苹果矮砧集约高效栽培模式[J]. 果农之友，2009(9)：12.
HAN Mingyu. Intensive apple orchard systems[J]. Fruit Grower’s Friend，2009(9)：12.

[6] CLAUDIO D V, CHIARA C, MARINA B, FRANCESO L. Effect of interstock (M.9 and M.27) on vegetative growth and yield of apple trees[J]. Scientia Horticulturae，2009，119(3)：270-274.

[7] 朱树华，郁松林，权俊萍 . 世界苹果矮化砧木研究与应用现状[J]. 石河子大学学报, 2003，7(4)：327-331.
ZHU Shuhua，YU Songlin，QUAN Junping. The status quo of theresearch and application of apple dwarfing rootstocks[J]. Journal of Shihezi University，2003，7(4)：327-331.

[8] 赵德英，程存刚，宣景宏，袁继存，徐锴，张彦昌 . 辽宁省苹果矮化砧木利用现状及发展建议[J]. 北方果树，2013(4)：54-55.
ZHAO Deying，CHENG Cungang，XUAN Jinghong，YUAN Jicun，XU Kai，ZHANG Yanchang. The present situation and development proposal of apple dwarf rootstock in liaoning province[J]. Northern Fruits，2013(4)：54-55.

[9] 李喜森，荣志祥，李恩生，谷大军，王家民，王景元，张同喜，郁香荷 . 苹果矮化砧木 77-34 选育研究[J]. 北方果树，2000(4)：4-9.
LI Xisen，RONG Zhixiang，LI Ensheng，GU Dajun，WANG Jiamin，WANG Jingyuan，ZHANG Tongxi，YU Xianghe. Researchon the breeding of 77-34 apple rootstock[J]. Northern Fruits，2000 (4)：4-9.

[10] 路超，王金政，康冰心，王萌，许孝瑞，李娜，李培环，安国宁 . 盛果期红富士苹果树适宜负载量研究[J]. 山东农业科学，2009(10)：35-38.
LU Chao，WANG Jinzheng，KANG Bingxin，WANG Meng，XU Xiaorui，LI Na，LI Peihuan，AN Guoning. Study on fruit load full productive age of apple[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2009(10)：35-38.

[11] 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.

[12] 李合生 . 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京：高等教育出版社，2004.
LI Hesheng. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiment[M]. Beijing: Education Technical Publishers，2004.

[13] 马瑞娟，张斌斌，张春华，蔡志翔，颜志梅 . 采前除袋铺设反光膜对桃果实着色及相关基因表达的影响[J]. 园艺学报，2015，42(11)：2123-2132.
MA Ruijuan，ZHANG Binbin，ZHANG Chunhua，CAI Zhixiang，YAN Zhimei. Effect of bag removing with reflective film mulching before harvest on fruit coloration and expression of anthocyanin related genes in peach[J]. Acta Horticulturae Sinica，2015，42(11)：2123-2132.

[14] 陈磊，郭玉蓉，白鸽，袁莉 . 红富士苹果气调贮藏期间果皮色泽变化及花青苷合成相关基因相对表达量的差异比较[J]. 食品科学，2015，36(24)：326-331.
CHEN Lei，GUO Yurong，BAI Ge，YUAN Li. Changes in pericarp color and the expression of anthocyanin biosynthesis-related genes of two kinds of coloredred fuji apples during controlled atmosphere storage[J]. Food Science，2015，36(24)：326-331.

[15] 程瑞平，束怀瑞，顾曼如 . 负载量对金冠苹果叶水势和脱落酸含量季节变化的影响[J]. 河北科技师范学院学报，1990，4(4)：24-29.
CHENG Ruiping，SU Huairui，GU Manru. Effects of crop load on seasonal changes of leaf water potential and abscisicacid in leves of Golden Delicious[J]. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology，1990，4(4)：24-29.

[16] 刘悦萍，张玉兰，郭金丽，张建宁，张志友 . 金红苹果树(GM256 中间砧)负载量对叶片光合产物影响的研究[J]. 内蒙古农业大学学报，2003，24(3)：53-56.
LIU Yueping, ZHANG Yulan, GUO Jinli, ZHANG Jianning, ZHANG Zhiyou. Effects of fruit load on soluble sugar content sandstarts contents of jinlong Apple(GM256) interstock[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University，2003，24(3)：53-56.

[17] 张新生，郝宝锋，陈湖，刘勇 . 负载量对沙地苹果品质及枝类组成的影响[J]. 河北果树，2002(5)：7.
ZHANG Xinsheng，HAO Baofeng，CHEN Hu，LIU Yong. Effect of yield different apple with quality and branch[J]. Hebei Fruits，2002(5)：7.

[18] 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 fruit load levels on growth, photosynthesis, yield and quality of apples with dwarf interstock[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2019，47(21)：202-206.

[19] 袁成龙，李培环，段艳欣 . 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. 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.

[20] PALMER J W. Effects of varying crop load on photosynthesis，dry matter production and partitioning of Crispin/M.27 apple trees[J]. Tree Physiology，1992，11(1)：19 -33．

[21] PALMER J W, GIULIANI R, ADAMS H M. Effect of crop load on fruitingand leaf photosynthesis of braeburn/M26 apple trees [J]. Tree Physiology，1997，17(11)：741-746．

[22] GLENN D M. Dry matter partitioning and photosynthetic response to biennial bearing and freeze damage in empire apple [J]. ScientiaHorticulturae，2016(210)：1-5.

[23] 田雪婷，吴晗笑，王雷 . 1-MCP 处理对采后澳洲青苹苹果叶绿素降解的影响[J]. 果树学报，2020，37(5)：734-742.
TIAN Xueting，WU Hanxiao，WANG Lei. Effect of 1- MCP treatment on chlorophyll degradation in postharvest Granny Smith apple fruit[J]. Journal of Fruit Science，2020，37(5)：734-742.

[24] JU Z G. Fruit bagging，A useful method for studying anthocyaninsynthesis and gene expression in apples[J]. Scientia Horticulture，1998，77(34)：155-164.

[25] 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 Xiume，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.

[26] 张秀美，刘志，王宏，于年文 . 岳阳红苹果改良主干形光照分布与产量和品质的关系研究[J]. 西南农业学报，2014，27(1)：248-252.
ZHANG Xiumei，LIU Zhi，WANG Hong，YU Nianwen. Relationships between distribution of relative light intensity and yield and quality in different tree canopy shapes of Yue Yanghong apple[J]. Southwest China Journal of Agricultura，2014，27(1)：248-252.

[27] 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(增刊 1)：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.

[28] 冉辛拓，张新生，王学军 . 负载量对苹果光合速率及干物质生产的影响[J]. 园艺学报，2003，30(3)：351-355.
RAN Xintuo，ZHANG Xinsheng，WANG Xuejun. Effect of crop Load on photosynthetic rate and dry matter production of apple [J]. Acta Horticulturae Sinica，2003，30(3)：351-355.

[29] 王少敏，张勇 . 不同负载量对套袋新红星苹果果实品质的影响[J]. 山东农业科学，2008(4)：41-44.
WANG Shaomin，ZHANG Yong. Effect of crop load on bagging apple quality of Xinhongxing apple[J]. Shandong Agricultural Sciences，2008(4)：41- 44.

[30] 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 andquality of‘Red Fuji’apple[J]. Chinese Agricultural Science Bulletion，2011，27(2)：210-214.