

不同间伐方式对密植苹果园生理生态的影响*

张露荷¹ 陈佰鸿^{1**} 王延秀¹ 徐巨涛² 毛娟¹ 党兆霞¹

(1. 甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070; 2. 甘肃省庆城县果业局 庆城 745100)

摘要 为了选择最适宜黄土高原成龄‘红富士’苹果郁闭园采用的间伐方式, 本文以 18 年生‘红富士’苹果树为试验材料, 研究了隔行间伐(T1)、隔株间伐(T2)、隔 2 伐 1(T3)等 3 种间伐方式对‘红富士’果园光照分布、叶片质量、叶片结构、果实分布、品质、产量及效益等的影响。结果表明: 与未间伐对照(CK)相比, T1、T2 和 T3 间伐方式株间透光率分别提高 108.59%、191.98%和 57.45%, 行间透光率分别提高 259.20%、220.11%和 64.86%, 冠下透光率分别提高 102.80%、155.32%和 37.43%, 树冠光合有效辐射分别提高 38.02%、45.18%和 18.43%, 单果重分别提高 25.03%、34.83%和 9.81%, 着色指数分别提高 6.00%、6.26%和 3.30%, 可溶性糖含量分别提高 35.98%、39.14%和 22.98%, 果皮花青苷含量分别提高 104.41%、101.47%和 30.88%, 可滴定酸含量分别降低 15.38%、23.08%和 17.95%。间伐有效改善了叶片的质量与结构, T1 和 T2 显著提高了叶片的厚度、叶绿素含量、氮含量和钾含量; T2 提高叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的幅度最大; T2 的叶片栅栏组织较其他处理的排列更整齐紧密。T1、T2 及 T3 每公顷产量分别下降 7 601.89 kg、5 219.45 kg 及 6 056.80 kg, 但其产值分别增加 14 959.54 元、34 363.70 元及 9 081.13 元, T2 增加幅度最大, 是郁闭果园改造的首选间伐方式。

关键词 苹果园 间伐 光照 叶片质量 果实品质 果实产量

中图分类号: S661 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2015)11-1394-10

Effects of different thinning methods on ecophysiology of dense apple orchard*

ZHANG Luhe¹, CHEN Baihong^{1**}, WANG Yanxiu¹, XU Jutao², MAO Juan¹, DANG Zhaoxia¹

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Fruit Industry Bureau of Qingcheng County, Gansu Province, Qingcheng 745100, China)

Abstract In order to choose optimum thinning method of closed and matured ‘Red Fuji’ orchards in the Loess Plateau, 18-year old ‘Red Fuji’ apple trees in Qingyang County, Gansu Province, were used to study the effects of three thinning methods — interlaced thinning (T1), septum strain thinning (T2) and cutting one for every 3-tree (T3) — on orchard light distribution, leaf quality, leaf structure, fruit distribution and quality, and yield and economics of apple trees. The results showed that thinning methods significantly decreased orchard coverage rate, with 22.01%, 18.01% and 10.14% decrease under T1, T2 and T3, compared with the control (CK). The transmittance between plants in a line under T1, T2 and T3 treatments increased by 108.59%, 191.98% and 57.45%, respectively, compared with the control (CK). The transmittance between lines increased 259.20%, 220.11% and 64.86%, respectively. Transmittance under crown increased respectively by 102.80%, 155.32% and 37.43%. Canopy photosynthetically active radiation (PAR) increased respectively by 38.02%, 45.18% and 18.43%. PAR three dimension distributions of apple trees under T1 and T2 was better than under CK and T3 treatment, PAR of T2 treatment was improved more obvious. Also thinning methods effectively improved the structure of apple leaf. T1 and T2 significantly increased upper epidermis thickness of leaves inside canopy and palisade tissue thickness of all leaves, while T3

* 甘肃省苹果产业科技攻关项目(GPCK2013-2)资助

** 通讯作者: 陈佰鸿, 从事果树生物技术及栽培生理研究。E-mail: bhch@gsau.edu.cn

张露荷, 研究方向为果树生理与栽培技术。E-mail: 1030868271@qq.com

收稿日期: 2015-04-04 接受日期: 2015-07-09

* Supported by the Key Technology R&D Program of Apple Industry of Gansu Province (No. GPCK2013-2)

** Corresponding author, E-mail: bhch@gsau.edu.cn

Received Apr. 4, 2015; accepted Jul. 9, 2015

significantly increased lower epidermis thickness of leaves inside and outside canopy. Under T2 treatment, leaf palisade tissues were more tidily and closely arranged than under other treatments. Leaves quality was significantly changed under different thinning methods. Leaf chlorophyll, N and K contents were increased in 3 thinning methods treatments. T2 was the best in terms of increase in the contents of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids. Single fruit weight increased by 25.03%, 34.83% and 9.81%, fruit color index increased by 6.00%, 6.26% and 3.30%, soluble sugar content increased by 35.98%, 39.14% and 22.98%, and peel anthocyanin content increased by 104.41%, 101.47% and 30.88%, while titratable acid content decreased by 15.38%, 23.08% and 17.95%, respectively, under T1, T2 and T3 conditions, compared with CK. Under CK treatment, there was not fruit in position 0.5 m away from stem, most fruits were 2 m away from stem and 3 m high, showing outside moving of fruit-setting position. Under thinning conditions, fruits in inside canopy and in lower canopy increased. Despite yield per hectare under T1, T2 and T3 treatments decreased by 7 601.89 kg, 5 219.45 kg and 6 056.80 kg, respectively, orchard productivity value per hectare increased by 14 959.54 Yuan, 34 363.70 Yuan and 9 081.13 Yuan.

Keywords Apple orchard; Thinning; Light; Leaf quality; Fruit quality; Fruit yield

黄土高原是我国苹果生产的优势产区之一, 随着我国苹果生产重心由东向西转移, 以‘红富士’为主栽品种的苹果产业在该区发展迅猛。但在建园模式上该区仍采用 3 m×4 m 的乔化密植方式, 并通过轻剪长放多留枝等的修剪措施, 实现早果、丰产的目标^[1-3], 进入结果期后就出现枝量偏多、果园密闭现象, 导致树冠光照条件恶化、病虫害发生严重、品质下降、结果部位外移、效益降低等一系列问题^[4-8]。因此, 果园郁闭已成为黄土高原苹果产业亟待解决的重大技术问题。

树形改造、间伐间移是‘红富士’苹果郁闭园改造的主要措施^[9]。目前生产中密植果园主要是通过提干、落头、疏大枝、缩冠等整形修剪措施来解决果园密闭问题, 改善树冠内的光照分布^[10-12]。常规整形修剪可降低树冠内的郁闭程度, 但无法满足乔化密植果园树体生长对空间的要求, 不能从根本上解决乔化密植果园的郁闭问题。前人研究表明间伐是苹果密植园改造的简单、彻底、有效的根本措施^[13]。间伐可以降低果园总枝数, 从根本上解决密植果园的郁闭问题, 改善果园通风透光条件, 优化枝类组成, 促进花芽分化, 增加产量, 提高果实品质, 增强树势^[6,11,14]。虽然李培环等^[15]研究了不同间伐方式对果园光照状况、叶片光合指标、枝类比、产量及果品质量的影响, 但在甘肃陇东地区‘红富士’乔化密植园的相关研究较少, 不同间伐方式对苹果树叶片质量参数的研究鲜见报道。本研究以甘肃陇东地区成龄‘红富士’乔化密植果园为试材, 系统研究了不同间伐方式对苹果园生理生态的影响, 以期为黄土高原地区乔化密植苹果园的改造提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在甘肃省庆阳市庆城县赤城乡老庄村示范

果园进行, 该地属于温带大陆性季风气候(经度 107°42′, 纬度 35°58′, 海拔 1 305 m), 年均降雨量 537.5 mm, 年平均气温 9.4 °C, 无霜期 160 d 左右。果园土壤类型为黑垆土, 地势平坦, 40~60 cm 土层有机质含量为 6.94 mg·kg⁻¹, 速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 73.27 mg·kg⁻¹、22.72 mg·kg⁻¹、14.89 mg·kg⁻¹, pH 8.1。试材为 18 a 生‘长富 2 号’苹果, 授粉品种为‘秦冠’。树形为疏散分层形, 树势整体基本一致, 株行距 3 m×4 m, 南北行向。各处理均按 20 cm 左右疏花定果, 盛花期后 55 d 套袋。

设 3 种间伐方式, 隔行间伐(T1): 按定植行隔 1 行间伐 1 行, 间伐后株行距为 3 m×8 m, 420 株·hm⁻²; 隔株间伐(T2): 行内隔株间伐, 间伐后行距变为株距, 株行距为 4 m×6 m, 420 株·hm⁻²; 隔 2 伐 1(T3): 在行内间隔 2 株间伐 1 株, 间伐后株行距为 3-3-6 m×4 m, 560 株·hm⁻²; 对照(CK): 未间伐的密闭果园, 株行距为 3 m×4 m, 定植密度为 840 株·hm⁻²。每 3 行树为 1 个处理(10~12 株·行⁻¹), 重复 3 次。间伐时间均为 2012 年 10 月下旬—11 月中旬。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 果园群体组成

PAR: 2013 年 8 月上旬(新梢停长期)于晴天的 9:30—12:00 用 LP-80 冠层仪测定。从距离地面 1 m 开始每隔 50 cm 确定 1 个高度, 同一高度自西向东每隔 50 cm 测定 1 个点, 每株树测定 45 个点。测定时鱼眼始终保持与地面呈 30°夹角方向。覆盖率=(东西冠幅×南北冠幅)/(株距×行距)。每处理测定 3 株树, 重复 3 次。

果园透光率: 2013 年 8 月上旬于晴天的 12:00—14:00 用小方格的白布统计花斑法计算。行间、株间及冠下透光率分别为在行间、株间及冠下铺小方格的白布统计花斑计算所得。每处理测定 3 株树, 重复 3 次。

1.2.2 叶片生长发育

采样方法: 2013年8月上旬分别在树冠东、西、南、北4个方向的外围(距树干大于1.5 m)第1层主枝选取生长势好且长势一致的新梢的第3、4片无机械损伤、无病虫害的叶作为测定叶片, 内膛(距树干小于0.5 m)选取生长势好且紧靠果实短枝上的第3、4片无机械损伤、无病虫害的叶作为测定叶片。每3株树为1个取样单元, 重复3次。测定指标及方法: 比叶重=叶片干重/叶面积; 叶绿素用SPAD-520叶绿素仪在树上直接测定; 叶面积用YMJ-C型叶面积测量仪测定; 叶片组织结构按照李和平^[16]的方法制片观察测定; 叶片厚度用石蜡切片测定; 叶片氮含量用定氮仪蒸馏法测定, 叶片磷含量用磷钼蓝比色法测定(分光光度计用日本津岛产的UV-2450紫外可见分光光度计), 叶片钾含量用火焰光度法测定^[17]; 光合色素用丙酮提取^[18]的方法测定。

1.2.3 果实品质

2013年10月3日采果带回实验室进行果实品质的调查与测定; 每株树在树冠东南方位取5个果实, 每6株树为1个取样单元, 重复3次。果实硬度用GY-4型果实硬度计进行去皮硬度测定; 采用5级分级法^[14]计算着色指数; Vc用2,6-二氯酚靛酚法进行滴定^[18]; 可溶性固形物用TD-35手持数字折光仪进行测定; 可溶性糖用蒽酮比色法进行测定^[18]; 可滴定酸含量用氢氧化钠滴定法测定^[18]; 花

青苷用三氟乙酸-甲醇溶液浸提法测定^[19], 苹果果皮花青苷提取液在534 nm具有最大吸收值。2014年10月5日按照张强等^[20]的方法方格定位补充统计果实个数。

1.3 数据处理与分析

用Excel软件进行数据整理, 用SPSS 17.0统计软件对数据进行统计和差异显著分析($P \leq 0.05$), 用Origin75软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同间伐方式对果园群体结构的影响

2.1.1 对覆盖率及透光率的影响

不同间伐方式均显著降低了果园的覆盖率(表1), 其中T1降低幅度最大, 较对照降低22.01%; T2较对照降低18.01%, T3较对照降低10.14%。株间、行间和冠下透光率均有显著改善, 株间透光率T2最高, 是对照的2.92倍, 依次为T2>T1>T3>CK。行间透光率T1最高, 是对照的3.59倍, 依次为T1>T2>T3>CK。各处理冠下透光率均显著高于对照, 大小依次为: T2>T1>T3>CK。与CK相比, T1、T2和T3的株间透光率分别提高108.59%、191.98%和57.45%, 行间透光率分别提高259.20%、220.11%和64.86%, 冠下透光率分别提高102.80%、155.32%和37.43%。从透光率来看, 隔株间伐方式(T2)改善果园光照的效果最佳。

表1 不同间伐方式对‘红富士’苹果园覆盖率及透光率的影响

Table 1 Effects of different thinning methods on coverage rate and transmittance of ‘Red Fuji’ apple orchard

指标 Index	处理 Treatment			
	T1	T2	T3	CK
覆盖率 Coverage rate (%)	77.06±3.37c	81.01±2.44c	88.79±2.56b	98.81±0.45a
株间透光率 Transmittance between plants (%)	43.93±0.03b	61.49±3.58a	33.16±1.98c	21.06±3.20d
行间透光率 Transmittance between lines (%)	60.92±5.00a	54.29±4.94b	27.96±4.24c	16.96±1.95d
冠下透光率 Transmittance under crown (%)	28.23±3.70b	35.54±5.68a	19.13±4.07c	13.92±1.48d

T1: 隔行间伐; T2: 隔株间伐; T3: 隔2伐1; CK: 对照。下同。同行不同小写字母表示不同处理间0.05水平差异显著。T1: interlaced thinning; T2: septum strain thinning; T3: cutting one for every three trees; CK: control. The same below. Different small letters within the same row indicate significant difference among treatments at 0.05 level.

2.1.2 对树冠内 PAR 三维分布的影响

T1、T2及T3均显著增大了果园PAR, 与CK相比平均值分别提高38.02%、45.18%和18.43%, 以T2处理增加的幅度最大。图1表明: 各处理之间的PAR差异较大, T1和T2的树冠整体光照状况较好, 但T1下部的光照状况不及T2, T2更好地改善了树冠的光照状况; T3也可以改变树冠的光照状况, 但对距地面高度2.5 m以下的效果并不明显。就树冠所处的高度来看, PAR随着高度的增加而不同程度

地增加。就水平方向来看, 外围的PAR高于内膛。

2.2 不同间伐方式对叶片生长发育的影响

2.2.1 对叶片质量的影响

间伐后, ‘红富士’叶片质量得到明显提高(表2)。隔行间伐(T1)和隔株间伐(T2)均显著提高了树冠外围叶片的比叶重, 与CK相比分别提高20.23%和26.63%。T1、T2均显著提高了叶片叶绿素含量和叶片厚度, T2提高叶绿素含量的幅度最大, T3对树冠内膛叶片厚度无显著影响。不同间伐方式均显著提

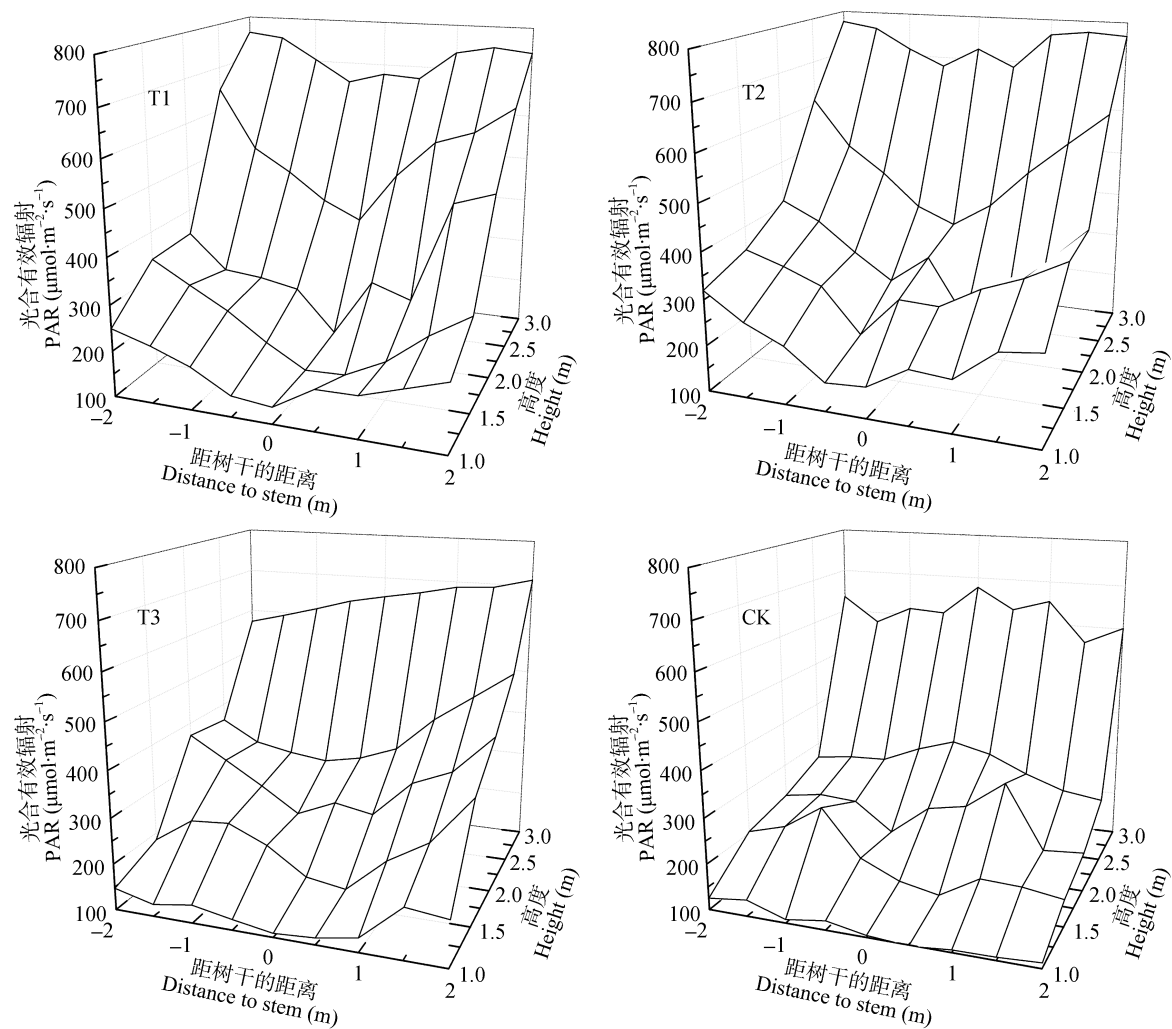


图 1 不同间伐方式对苹果树冠内光合有效辐射(PAR)三维分布的影响

Fig. 1 Three-dimensional distribution of photosynthetically active radiation (PAR) inside canopies of apple trees under different thinning methods

表 2 不同间伐方式对苹果叶片质量参数的影响

Table 2 Effects of different thinning methods on leaf quality parameters of apple trees

位置 Position	处理 Treatment	比叶重 Specific leaf weight (mg·cm ⁻²)	叶绿素 Chlorophyll (SPAD)	单叶面积 Leaf area (cm ²)	叶片厚度 Leaf thickness (μm)	氮含量 N content (g·kg ⁻¹)	磷含量 P content (g·kg ⁻¹)	钾含量 K content (g·kg ⁻¹)
树冠外围 Outside canopy	T1	10.34±1.22a	55.41±0.47ab	27.65±0.14a	253.04±8.92a	18.55±1.07a	1.96±0.02a	9.01±0.04b
	T2	10.89±0.33a	56.67±0.24a	26.62±1.27a	258.71±14.82a	19.39±3.65a	1.88±0.11a	9.81±0.01a
	T3	8.79±0.69b	52.96±0.38bc	25.10±1.83a	215.36±20.36b	15.22±0.93bc	1.89±0.03a	8.78±0.04bc
	CK	8.60±0.04b	51.91±0.65c	22.19±1.33bc	185.69±19.04cd	14.37±0.64c	1.86±0.17a	8.64±0.05c
树冠内膛 Inside canopy	T1	7.40±0.13bc	51.47±1.64c	26.34±1.56a	199.48±1.80bc	15.97±2.52b	1.89±0.16a	8.54±0.10c
	T2	7.56±0.46b	52.40±1.92c	25.26±0.29a	199.28±18.09bc	14.66±1.33c	1.87±0.06a	9.58±0.02a
	T3	8.27±0.54b	50.29±0.46c	23.12±0.39b	160.78±17.62de	14.30±1.80c	2.06±0.22a	8.51±0.09c
	CK	6.78±0.18c	47.66±0.69d	20.41±0.46c	142.33±12.37e	12.71±0.51d	1.87±0.15a	8.28±0.09d

树冠外围的测定叶片为距树干大于 1.5 m 的第 1 层主枝第 3、4 片叶，树冠内膛的测定叶片为距树干小于 0.5 m 的果实短枝上第 3、4 片叶。同列不同小写字母表示不同处理间 0.05 水平差异显著。下同。The measured leaves of outside canopy are the 3rd and 4th leaves of first layer main branch whose distance to stem is greater than 1.5 m. The measured leaves of inside canopy are the 3rd and 4th leaves of fruit spur whose distance to stem is less than 0.5 m. Different small letters within the same line indicate significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

高了单叶面积，其中 T1、T2 对树冠内膛单叶面积提升幅度较 T3 大。T1、T2 均显著提高了叶片氮含量，与 CK 相比树冠外围叶片氮含量分别提高 29.09%和 35.93%。不同间伐方式对叶片磷含量没有显著影响。T1、T2 均显著提高了叶片钾含量，T2 提升幅度最大，T3 对树冠外围叶片钾含量无显著影响。

2.2.2 对叶片组织结构的影响

封藏的切片在 OLYMPUS BH-2 显微镜下观察拍照(10 倍镜)并测定上表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度及下表皮厚度(表 3)。不同间伐方式对树冠外围叶片的上表皮厚度无显著影响,而增大了树冠内膛的叶片上表皮厚,隔株间伐(T2)增大的幅度最大。隔行间伐(T1)和 T2 均显著增大了叶片的栅栏组织厚度,隔 2 伐 1(T3)对树冠外围叶片的栅栏组织厚度无显著影响。不同间伐方式均显著增大了树冠外围叶片的海绵组织厚度,而对树冠内膛的无显著影响。T3 显著增大了叶片下表

皮厚度。

叶片对环境变化较为敏感,不同间伐方式造成了不同光照条件下苹果叶片形态结构差异较大(图 2)。隔行间伐(T1)和隔株间伐(T2)后的叶片、隔 2 伐 1(T3)树冠外围叶片的栅栏组织有 3 层,栅栏组织从上至下其每层细胞的长度逐渐减小;T2 处理的叶片栅栏组织较 T1 的排列更整齐紧密。各处理树冠外围叶片的栅栏组织较其内膛排列更紧密。T3 和 CK 的栅栏组织细胞较 T1 和 T2 的短圆。各处理栅栏组织细胞每一层的大小差异不明显,层与层之间分界线均明显。

表 3 不同间伐方式对苹果叶片组织结构的影响
Table 3 Effects of different thinning methods on leaf organizational structure parameters of apple trees

位置 Position	处理 Treatment	上表皮厚度 Upper epidermis thickness (μm)	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness (μm)	海绵组织厚度 Spongy tissue thickness (μm)	下表皮厚度 Lower epidermis thickness (μm)
树冠外围 Outside canopy	T1	18.38±2.37ab	125.92±7.81a	91.77±10.21a	16.97±0.99ab
	T2	18.84±1.74ab	131.71±7.11a	99.06±6.00a	14.44±1.77abc
	T3	19.43±6.44ab	95.55±8.86bc	82.79±11.74ab	17.60±1.00a
	CK	17.18±0.98ab	94.72±14.02bc	61.75±10.69cd	12.04±3.69bc
树冠内膛 Inside canopy	T1	18.27±1.53ab	106.85±2.28b	60.40±0.26cd	13.97±2.86abc
	T2	20.62±1.17a	94.71±6.00bc	71.84±10.01bc	12.11±2.32bc
	T3	17.46±3.23ab	79.08±8.25c	45.48±3.22d	18.76±5.44a
	CK	13.86±1.86c	60.45±3.07d	57.94±2.35cd	10.40±0.43c

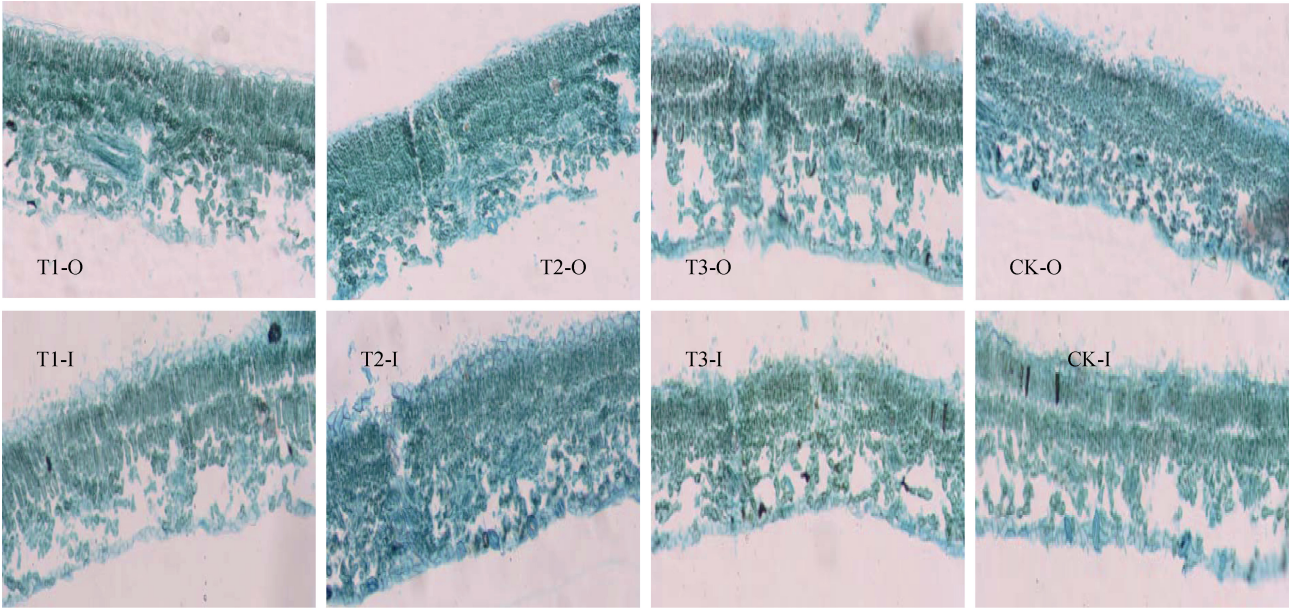


图 2 不同间伐方式下不同位置苹果叶片的组织结构图
Fig. 2 Organizational structure charts of leaves in different positons of apple trees under different thinning methods
O: 树冠外围; I: 树冠内膛。O: outside canopy; I: inside canopy.

2.2.3 对叶片光合色素的影响

如表 4 所示:隔株间伐(T2)显著提高了叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量,隔行间伐(T1)

显著提高了树冠外围叶片的叶绿素 a、树冠内膛叶片的叶绿素 b 含量,隔 2 伐 1(T3)对各光合色素含量影响不显著。不同方式间伐后树冠外围叶片的光合色

表 4 不同间伐方式对苹果叶片光合色素的影响
Table 4 Effects of different thinning methods on leaf photosynthetic pigments

位置 Position	处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a (mg·g ⁻¹)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg·g ⁻¹)	叶绿素 a/b Chl. a/Chl. b	类胡萝卜素 Carotenoid (mg·g ⁻¹)
树冠外围 Outside canopy	T1	2.80±0.15ab	0.91±0.05ab	3.08	0.74±0.03ab
	T2	2.98±0.11a	0.96±0.04a	3.10	0.82±0.03a
	T3	2.69±0.19abc	0.86±0.05abc	3.12	0.63±0.06abc
	CK	2.09±0.65cd	0.80±0.2bcd	2.61	0.55±0.01bc
树冠内膛 Inside canopy	T1	2.51±0.72abcd	0.81±0.07bcd	3.10	0.68±0.13abc
	T2	2.71±0.10abc	0.83±0.03bc	3.27	0.70±0.01ab
	T3	2.25±0.05bcd	0.76±0.03cde	2.96	0.68±0.01abc
	CK	1.96±0.16d	0.62±0.07e	3.16	0.46±0.03c

素含量均无显著性差异；不同方式间伐后树冠内膛叶片的光合色素含量同样均无显著性差异。T2 提高光合色素含量的幅度最大。

2.3 不同间伐方式对果实、产量的影响

2.3.1 对单株果实分布的影响

不同间伐方式处理树冠内果实分布相差较大

(图 3)。隔行间伐(T1)水平方向上, 距树干 1~2 m 的树冠范围内所结果实个数最多；距树干 0.5~1 m 的树冠范围内所结果实个数较少。T1 垂直方向上, 挂果个数表现为：随着高度的增加, 挂果个数先增大再减少；2 m、2.5 m 高度处所挂果个数较多, 分别为 87 个、80 个。隔株间伐(T2)水平方向上, 距树干 0.5 m、

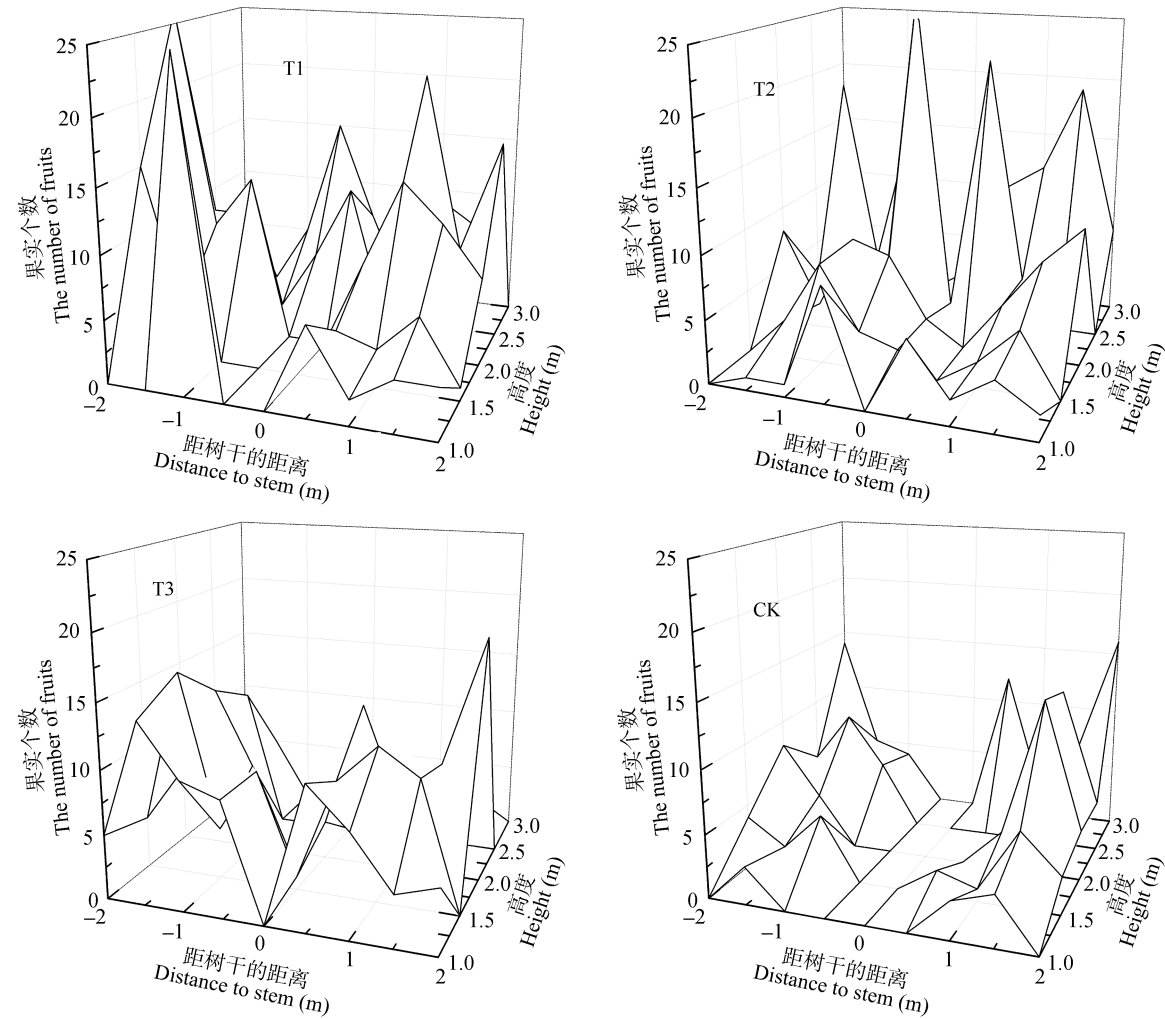


图 3 不同间伐方式下苹果果实的三维分布
Fig. 3 Three-dimensional distributions of fruits of apple trees under different thinning methods

1.5 m、2 m 的树冠范围内所挂果实个数均较多。T2 垂直方向上, 2.5 m、3 m 所挂果实个数最多; T2 平均每株比 T1 多挂果 31 个。隔 2 伐 1(T3)水平方向距树干 1.5 m 处所挂果个数最多, 垂直方向 2 m 处所挂果个数最多。CK 距树干 0.5 m、0 m 处没有挂果实, 果实总量少, 大多在树干外围 2 m, 垂直方向 3 m 处, 明显表现出郁闭果园内膛空虚挂果少、结果部位外移现象。

2.3.2 对果实品质的影响

‘红富士’乔化密植园间伐后, 果实品质得到明显提高(表 5)。在外在品质方面, 不同间伐方式均显著增大了单果重和果实着色指数, 尤其是隔株间伐

(T2), 但各间伐处理对果实硬度无显著影响。与 CK 相比, T1、T2 和 T3 的单果重分别提高 25.03%、34.83%和 9.81%, 着色指数分别提高 6.00%、6.26%和 3.30%。

在内在品质方面, 隔行间伐(T1)和隔株间伐(T2)均显著增大了果实可溶性固形物含量, 与 CK 相比分别提高 1.51%、2.04%; 不同间伐方式均显著提高了果实的可溶性糖含量, 并降低了可滴定酸含量; T1 和 T2 显著提高了果皮花青苷的含量, T3 对果皮花青苷含量无显著影响; 与 CK 相比, T1、T2 和 T3 的可溶性糖含量分别提高 35.98%、39.14%和 22.98%, 果皮花青苷含量分别提高 104.41%、101.47%和 30.88%。

表 5 不同间伐方式对苹果果实品质的影响
Table 5 Effects of different thinning methods on fruit quality of apple

处理 Treatment	单果重 Single fruit weight (g)	硬度 Hardness (kg·cm ⁻²)	着色指数 Index of color (%)	Vc (mg·100g ⁻¹)	可溶性固形物 Soluble solid (%)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	可滴定酸 Titratable acid (%)	花青苷 Anthocyanin (%)
T1	232.66±7.47a	8.28±0.52a	96.14±1.33a	3.83±0.06a	15.27±0.46a	10.77±0.50a	0.33±0.01b	1.39±0.17a
T2	250.90±11.92a	8.54±0.57a	96.38±0.54a	3.50±0.10a	15.80±0.63a	11.02±0.58a	0.30±0.01b	1.37±0.54a
T3	204.34±6.41b	8.18±0.24a	93.69±0.44b	3.57±0.14a	14.13±0.15b	9.74±1.25a	0.32±0.00b	0.89±0.07b
CK	186.09±2.14c	8.15±0.32a	90.70±1.36c	3.73±0.50a	13.76±0.74b	7.92±0.36b	0.39±0.01a	0.68±0.06b

2.3.3 对产量、效益的影响

2013 年隔行间伐(T1)、隔株间伐(T2)及隔 2 伐 1(T3)与 CK 相比每公顷产量分别下降 7 601.89 kg、5 219.45 kg 及 6 056.80 kg。虽然间伐后 2013 年各处理产量与 CK 相比均显著下降, 但产生的经济效益却均提高, T1、T2 及 T3 比对照每公顷同年产值增加 14 959.54 元、34 363.70 元及 9 081.13 元, T2 增加幅度最大(表 6)。

表 6 不同间伐方式对苹果产量和经济效益的影响
Table 6 Effects of different thinning methods on yield and economic benefits of apple orchard

处理 Treatment	平均产量 Average yield (kg·hm ⁻²)	平均价格 Average price (Yuan·kg ⁻¹)	平均产值 Average value (Yuan·hm ⁻²)
T1	23 400.74±926.77b	7.82	182 993.78
T2	25 783.18±483.45b	7.85	202 397.95
T3	24 945.83±895.97b	7.10	177 115.37
CK	31 002.63±649.52a	5.42	168 034.25

3 讨论

间伐能够优化果园覆盖率^[7], 隔行间伐后树冠覆盖率大幅度下降^[14]。本试验隔行间伐的覆盖率小于隔株间伐, 但是差异不显著。果园通风透光条件影响着冠层生态因子, 进而影响花芽形成、开花坐果及果实品质^[21]。因此, 光照状况是评价哪一个间

伐方式最佳和最重要的生态指标。对树冠进行改形除了增大光照强度外, 还改变了光质的组成成分, 并使有利于果实生长发育的光质成分得以增加^[22]。树冠不同部位的 PAR 有差异, 为树冠顶层>树冠外层>树冠内层>树冠中心^[23], 本试验结果与此一致。本试验中间伐后果园通风透光条件不同程度地得以改善, 其 PAR 提高, 覆盖率下降, 株间、行间及冠下透光率均显著改善; 从 PAR 和透光率来看, 隔株间伐打开果园光路的效果最佳, 树冠既通风透光又充分地利用了光能, 其 81.01%的覆盖率保证了苹果树的生长及农事操作的空间。

作为源的叶片向果实提供碳水化合物, 其供应能力直接影响果实品质^[24-25]。叶片的发育质量与其所处的辐射环境有密切联系, 叶绿素的形成需要光, 长期的弱光会影响叶片的正常发育, 叶片的叶绿素含量、叶片厚度、比叶重和叶片氮含量都与光合有效辐射的强度呈明显的正相关^[22,26-28]。本试验中苹果园进行间伐后其叶片质量显著提高, 具体表现为比叶重、光合色素含量、单叶面积、叶片厚度、叶片氮含量和钾含量、叶片栅栏组织厚度都不同程度地增大, 这与人前所做的基本一致^[7,11,14]。间伐后叶片发育质量提高的原因可能是: 间伐后随着通风透光条件的改善, 光合效能得以增加, 进而加快了苹果树的营养生长, 促进了叶片的生长发育^[29]; 另外

间伐后植株个体的无机营养、水分利用空间和生长发育空间都优于未间伐的^[30-31]。间伐对磷含量无显著影响的原因可能是磷的运转周期较长。间伐提高钾含量的原因可能是提高了叶片质量, 高质量的叶片代谢活跃, 故叶片钾分布较多, 而果园郁闭的不良环境会降低钾的吸收。

前人研究表明, 间伐可以改善果园的微气候环境^[9], 增加果树的光合效能^[32], 促进果实着色, 提高单果重和可溶性固形物含量^[22,29], 可以解决果园郁闭的问题^[33]。本试验中苹果园进行间伐后单株果实个数显著增多, 改善了以前郁闭造成的内膛空虚挂果少的状况。间伐后果实品质显著提高, 具体表现为果实的单果重、着色指数和可溶性糖含量均不同程度地增大, 可滴定酸含量下降, 这与人所做的基本一致。然而对于果实硬度与前人所做试验结果不尽相同。本试验表明, 间伐对果实硬度无显著影响, 吴亚维等^[34]研究也表明不同部位果实的硬度间伐前后差异不显著, 王雷存等^[7]研究认为苹果树形改造对果实硬度无显著影响, 与本研究结果一致。但吴军帅等^[14]认为间伐可以增大果实硬度, 何学涛等^[35]认为间伐增加了苹果树的供给营养后其果实硬度增大, 王海萍^[36]认为树形改造可提高果实硬度, 与本研究结果不同。其原因可能是试验地的地理位置、树龄、树体管理水平等条件不同。

研究表明: 隔株间伐比隔行间伐更好地打开了光路, 苹果树冠下透光率显著高于隔行间伐。隔株间伐后果园群体结构合理, PAR 高, 覆盖率小, 透光率大小适宜; 叶片比叶重大、光合色素含量高、叶面积大, 叶片氮含量和钾含量高, 叶片组织结构发达; 单株果实个数多, 果实果个大, 着色好, 可溶性固形物含量和可溶性糖含量高。生产上推荐使用隔株间伐进行‘红富士’乔化郁闭园改造。但当综合考虑果园密度、行向、树体结构等具体的条件后, 隔行间伐也可行, 改善郁闭园效果也很有效。隔 2 伐 1 间伐程度太轻, 效果不明显, 但还是可以降低果园的郁闭程度, 可以考虑在果园郁闭程度较轻时结合提干、落头、去大枝、缩冠瘦身、大枝环剥等其他改形措施进行改善郁闭园的通风透光条件。

参考文献

- [1] 魏钦平, 鲁韧强, 张显川, 等. 富士苹果高干开心形光照分布与产量品质的关系研究[J]. 园艺学报, 2004, 31(3):

291-296

Wei Q P, Lu R Q, Zhang X C, et al. Relationships between distribution of relative light intensity and yield and quality in different tree canopy shapes for ‘Fuji’ apple[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2004, 31(3): 291-296

- [2] 李保国, 郭素平, 齐国辉, 等. 红富士苹果生态适宜栽培区评价方法研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(5): 78-80
- Li B G, Guo S P, Qi G H, et al. Study on evaluation method of ecological optimum growing area of Red Fuji apple[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(5): 78-80
- [3] 杨聚德, 李晓荣, 张秀峰. 红富士苹果园郁闭的成因及对策[J]. 落叶果树, 2002, 34(4): 32-33
- Yang J D, Li X R, Zhang X F. Reasons for ‘Fuji’ apple orchard closing and countermeasures[J]. Deciduous Fruits, 2002, 34(4): 32-33
- [4] 孔繁霞. 红富士苹果郁闭园改造技术[J]. 河北果树, 2012(6): 13-14
- Kong F X. Reform technology of Fuji apple closed orchard[J]. Hebei Fruits, 2012(6): 13-14
- [5] 姬松龄, 边秀然. ‘红富士’苹果郁闭园改造技术[J]. 北方果树, 2009(4): 27-28
- Ji S L, Bian X R. Reform technology of ‘Fuji’ apple closed orchard[J]. Journal of Northern Fruit Trees, 2009(4): 27-28
- [6] 袁景军, 张林森, 赵政阳, 等. 大改形对富士苹果密植树生长结果和效益的影响[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(4): 60-62
- Yuan J J, Zhang L S, Zhao Z Y, et al. Effect of modifying tree form on growth and fruiting in Fuji apple high-density orchards[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(4): 60-62
- [7] 王雷存, 赵政阳, 董利杰, 等. 红富士苹果密闭树改形修剪效应的研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 65-67
- Wang L C, Zhao Z Y, Dong L J, et al. Improvement of production of shade Red Fuji by modifying crowns[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(4): 65-67
- [8] Widmer A, Krebs C. Influence of planting density and tree form on yield and fruit quality of ‘golden delicious’ and ‘royal gala’ apples[C]//The Seventh International Symposium on Orchard and Plantation Systems. New Zealand, 2001: 235-242
- [9] 李宗德, 杨聚德. 间伐和树形改造对红富士苹果郁闭园产量和品质的影响[J]. 中国果树, 2007(2): 39-41
- Li Z D, Yang J D. The effect of thinning and tree transformation on yield and quality of Fuji apple closed orchard[J]. China Fruits, 2007(2): 39-41
- [10] 刘进, 薛桂红, 徐勤美. 红富士苹果郁闭园树形改造的垂枝修剪试验[J]. 中国果树, 2013(1): 24-26
- Liu J, Xue G H, Xu Q M. Vertical branch pruning for Fuji apple closed orchard tree reconstruction[J]. China Fruits, 2013(1): 24-26
- [11] 田海成. 几种改形措施对密闭红富士苹果园光合和生长结果的影响[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2007: 1
- Tian H C. Effect of several pruning practices on

- photosynthesis, growth and fruiting in Red Fuji apple high-density orchards[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007: 1
- [12] 王金政, 薛晓敏, 路超. 苹果密闭园改造技术[J]. 落叶果树, 2010, 42(2): 41–43
Wang J Z, Xue X M, Lu C. Closed canopy apple orchards: Type, problems, causes and solutions[J]. Deciduous Fruits, 2010, 42(2): 41–43
- [13] 孙建设, 马宝焜, 章文才. 富士苹果果皮色泽形成的需光特性研究[J]. 园艺学报, 2000, 27(3): 213–215
Sun J S, Ma B K, Zhang W C. The study on the characters of needed light in the coloration of ‘Fuji’ apple skin[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27(3): 213–215
- [14] 吴军帅, 董晓颖, 段艳欣, 等. 苹果郁闭园不同间伐方式对果树群体结构和果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(19): 135–140
Wu J S, Dong X Y, Duan Y X, et al. Effects of different thinning methods on group structure and fruit quality in airtight apple orchard[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(19): 135–140
- [15] 李培环, 吴军帅, 董晓颖, 等. 苹果密闭园不同间伐方式对光强、光合和生长结果的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(11): 2217–2223
Li P H, Wu J S, Dong X Y, et al. Effects of different thinning methods on illumination, photosynthetic, growth and fruiting in airtight apple orchard[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(11): 2217–2223
- [16] 李和平. 植物显微镜技术[M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2009: 2–54
Li H P. Plant Microscopy Techniques[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2009: 2–54
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 39–114
Bao S D. Soil Agro-Chemical Analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 39–114
- [18] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 110–171
Zou Q. Plant Physiology Experimental Guidance[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 110–171
- [19] 闫亚美, 冉林武, 曹有龙, 等. 黑果枸杞花色苷含量测定方法研究[J]. 食品工业, 2012, 33(6): 145–147
Yan Y M, Ran L W, Cao Y L, et al. Determine the total anthocyanins in *Lycium ruthenicum* Murr. by different methods[J]. The Food Industry, 2012, 33(6): 145–147
- [20] 张强, 魏钦平, 王小伟, 等. 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, 37(8): 1205–1212
Zhang Q, Wei Q P, Wang X W, et al. Effects of shoot numbers and distribution in canopy on yields and qualities of ‘Fuji’ apple with standard rootstock[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(8): 1205–1212
- [21] 李国栋, 张军科, 苏渤海, 等. 富士苹果 3 种树形的树冠生态因子比较研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 121–125
Li G D, Zhang J K, Su B H, et al. Comparative study of the ecological factors in different tree canopy shapes for ‘Fuji’ apple[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(1): 121–125
- [22] 姜仲书. 金冠苹果树冠内光质构成与果实品质、光合特性的相关性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008
Jiang Z S. Studies on the component of light quality and its correlation with fruit quality, photosynthesis in canopy of Golden Delicious apple (*Malus domestica* Borkh. cv.)[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2008
- [23] 刘国琴, 樊卫国, 龙令炉. 脐橙光合特性及树冠光能分布对叶片光合速率的影响[J]. 山地农业生物学报, 2006, 25(2): 124–127
Liu G Q, Fan W G, Long L L. Influences of photosynthetic characters and light distribution on photosynthetic rate in the canopy of navel orange leaves[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2006, 25(2): 124–127
- [24] Legros S, Mialet-Serra I, Caliman J P, et al. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning[J]. Annals of Botany, 2009, 104(6): 1183–1194
- [25] Massonnet C, Costes S, Rambal E, et al. Stomatal regulation of photosynthesis in apple leaves: Evidence for different water-use strategies between two cultivars[J]. Annals of Botany, 2007, 100(6): 1347–1356
- [26] Warrington I J, Stanley C J, Tustin D S, et al. Light transmission, yield distribution, and fruit quality in six tree canopy forms of ‘Granny Smith’ apple[J]. Journal of Tree Fruit Production, 1996, 1(1): 27–54
- [27] 高照全, 冯社章, 张显川, 等. 不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1037–1044
Gao Z Q, Feng S Z, Zhang X C, et al. The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1037–1044
- [28] Niinemets Ü. Photosynthesis and resource distribution through plant canopies[J]. Plant, Cell & Environment, 2007, 30(9): 1052–1071
- [29] 刘新江, 王明涛, 陈玉玲, 等. 红富士苹果郁闭园间伐试验[J]. 北方园艺, 2011(4): 65–66
Liu X J, Wang M T, Chen Y L, et al. Study on shade garden of Fuji apple by the method of intermediate cutting[J]. Northern Horticulture, 2011(4): 65–66
- [30] Meir P, Kruijt B, Broadmeadow M, et al. Acclimation of photosynthetic capacity to irradiance in tree canopies in relation to leaf nitrogen concentration and leaf mass per unit area[J]. Plant, Cell & Environment, 2002, 25(3): 343–357
- [31] 张继祥, 魏钦平, 张静, 等. 苹果密植园与间伐园树冠层内叶片光合潜力比较[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2898–2904
Zhang J X, Wei Q P, Zhang J, et al. Leaf photosynthetic potential in canopy layers of un-thinned and thinned apple orchards[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(12): 2898–2904

- [32] 宋凯, 魏钦平, 岳玉苓, 等. 不同修剪方式对‘红富士’苹果密植园树冠光分布特征与产量品质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1224–1230
Song K, Wei Q P, Yue Y L, et al. Effects of different pruning modes on the light distribution characters and fruit yield and quality in densely planted ‘Red Fuji’ apple orchard[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(5): 1224–1230
- [33] 聂佩显, 薛晓敏, 王金政, 等. 苹果密植园间伐效应研究[J]. 山东农业科学, 2011(5): 37–39
Nie P X, Xue X M, Wang J Z, et al. Study on thinning effect in high-density apple orchards[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2011(5): 37–39
- [34] 吴亚维, 向青云, 杨华, 等. 红富士苹果树冠不同部位果实品质评价[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(7): 167–170
Wu Y W, Xiang Q Y, Yang H, et al. Quality of Fuji apples on different crown position[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(7): 167–170
- [35] 何学涛, 牛俊义, 刘建华. 不同施肥水平对苹果产量及品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(2): 83–86
He X T, Niu J Y, Liu J H. Effects of the different fertilizer application level on the yield and quality of apple[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2010, 45(2): 83–86
- [36] 王海萍. 苹果开心形树形引进培养与表现[J]. 山西果树, 2004(5): 15–16
Wang H P. Cultivation and perform of introduced open center shape of apple tree[J]. Shanxi Fruits, 2004(5): 15–16

欢迎订阅 2016 年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办, 中国科学院主管, 科学出版社出版。系中国期刊方阵双效期刊、中国科技精品期刊、百种中国杰出学术期刊、中文核心期刊、RCCSE 中国权威学术期刊, 为中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中国学术期刊文摘、中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、CNKI 中国期刊全文数据库源刊, 并被国际农业生物学文摘(CABI)、美国化学文摘(CA)、哥白尼索引(IC)、美国乌利希国际期刊指南等国际数据库及检索单位收录。荣获第三届、四届全国农业优秀期刊一等奖和首届北方优秀期刊奖, 中国北方优秀期刊, 连续多届获得河北省优秀期刊奖。

《中国生态农业学报》主要报道全球环境变化与农业、农业生态系统与生态农业理论基础、农田生态系统与农业资源、生态农业模式和技术体系、农业生态经济学、农业环境质量及环境保护、农业有害生物的综合防治等领域创新性研究成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生、农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的技术人员阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行, 国内刊号 CN13-1315/S, 国际刊号 ISSN1671-3990。月刊, 国际标准大 16 开本, 128 页, 每期定价 35 元, 全年 420 元。邮发代号: 82-973, 全国各地邮局均可订阅。漏订者可直接汇款至编辑部补订(需另加邮资 50.00 元/年)。

地址: (050022) 河北省石家庄市槐中路 286 号 中科院遗传发育所农业资源研究中心《中国生态农业学报》编辑部

电话: (0311) 85818007 传真: (0311) 85815093

网址: <http://www.ecoagri.ac.cn> E-mail: editor@sjziam.ac.cn