

苹果树形改造对树冠结构和冠层光合能力的影响

张显川^{1*}, 高照全^{1,2}, 付占方³, 方建辉³, 李天红²

(¹北京日川河果树研究开发中心, 北京 102200; ²中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; ³北京市林业局, 北京 100020)

摘要: 为解决乔化密植苹果园树冠郁闭、光照差、产量低、品质差的问题, 于 2001~2004 年在北京昌平区十三陵农场 (东经 116°13', 北纬 40°13', 海拔 79 m) 对 1986 年定植的富士苹果 (*Malus domestica* Borkh 'Fuji') 进行树形改造试验, 将三主枝疏散分层形逐步改造为高干开心形。经过 3 年的改造, 主干高度从 0.29 m 提高到 1.37 m, 主枝数从 15.8 个减少到 4.58 个, 冬剪后枝数从 $2\,119.73 \times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 减少到 $814.07 \times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 叶面积指数从 3.98 减少到 2.31。改造后树冠的叶片和光照分布更加均匀, 低于 30% 的无效光区从 43% 减少到 24%。通过对冠层光合作用的数值模拟发现, 改造树冠层的光合作用比未改树略有降低, 在整个生长季 (5~9 月) 改造树的冠层光合能力比未改造树小 14.6%, 但平均单叶光合速率却增加 40.4%。改造后苹果产量从 $27.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $54.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 可溶性固形物从 12.83% 增加到 15.55%。

关键词: 苹果; 树形; 树冠结构; 光合作用

中图分类号: S 661.1 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2007) 03-0537-06

Influences of Tree Form Reconstruction on Canopy Structure and Photosynthesis of Apple

ZHANG Xian-chuan^{1*}, GAO Zhao-quan^{1,2}, FU Zhan-fang³, FANG Jian-hui³, and LI Tian-hong²

(¹Beijing Richuanhe Pomological Research and Development Center, Beijing 102200, China; ²College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094; ³Beijing Forestry Bureau, Beijing 100020, China)

Abstract: Tree form reconstruction of 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh 'Fuji') was carried out from 2001 to 2004 in the Ming Tombs Farm (longitude 116°13' east, latitude 40°13' north, altitude of 79 m) in Changping of Beijing. The three branch form was reconstructed into open-center system to resolve the problem of badly light distribution, yield and quality. By three years of experiment the height of trunk was advanced from 0.29 m to 1.37 m. The number of bough was reduced from 15.58 to 4.58. The number of spurs was reduced from $2\,119.7 \times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ to $814.1 \times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ and leaf area index was reduced from 3.98 to 2.31. The distribution of leaves and relative light intensity in canopy were uniform in open-center system. The useless light space was reduced from 43% to 24%. The simulation showed that photosynthesis rate of canopy in open-center system was reduced by 14.6% compared with control in growth period, but the mean photosynthetic rate was 40.4% higher than control. And the output was increased from $27.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $54.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and the soluble sugar of fruit was increased from 12.83% to 15.55%.

Key words: Apple; Tree form; Canopy structure; Photosynthesis

苹果的高干开心树形起源于日本, 这种树形种植密度低 ($150 \sim 200 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$), 没有树头自然开心, 主干高, 通风透光好, 永久性大主枝一般只有 2~3 个。由于树冠只有一层, 所有枝叶果都见光, 果实品质好 (Shiozaki & Kikuchi, 1992; Kikuchi et al, 1994)。自 2001 年起我们在北京市昌平区

收稿日期: 2006-11-15; 修回日期: 2007-04-17

基金项目: 国家科技部星火计划项目 (2003EA600032, 2004EA600031); 北京市科委项目 (H012010450119, Z0004096040221)

* E-mail: richuangyuan@sina.com; Tel: 010-89710816

进行苹果大树改造试验,将过去的三主枝疏散分层形逐步改造为高干开心形,苹果的产量和品质均有显著增加(魏钦平等,2004),本文报道树形改造对冠层结构和冠层光合能力的影响。

1 材料与方法

试验于2001~2004年在北京市昌平区十三陵农场(东经116°13′,北纬40°13′,海拔79 m)进行,砂质壤土,管理水平较高。品种为宫藤富士(*Malus domestica* Borkh 'Fuji'),砧木为八棱海棠(*M. micromalus* Makino),授粉树为王林(*M. domestica* Borkh 'Orin')。1986年定植,株行距3 m×5 m。试验设三主枝疏散分层形(原树形)和改造后的高干开心形两个处理。改造方法为落头开心,逐步疏除下部的大主枝和中间的重叠枝,原有大主枝12~15个,第1年去掉1/3左右,留7~9个,第2年和第3年每年再去掉1~2个,将来再用5~7年最终选留2~3个大主枝,形成高干开心形,枝条全部甩放不短截(张显川等,2006),对过密和过长的枝组进行适当的疏剪和回缩。

2002~2004年早春冬剪后进行调查,枝量和花芽数重复15株,干高等其它指标(表1)重复100株。7~8月调查叶面积指数,先将树冠分成0.5 m×0.5 m×0.5 m的立方体小格,调查每个小格的叶片数,再随机采取5%的叶片用扫描仪求出叶面积,最后计算出整株树的叶面积,重复15株。每年春梢停长后选典型晴天用LQF5型光量子计测定树冠内每个小格的相对光照分布,并用CF310型光合仪测定叶片净光合速率,根据每个小格的辐射强度和叶面积计算整个树冠的光合速率(Higgins et al, 1992)。树冠光合的日变化模拟所需的气象数据由北京市气象局提供,未考虑叶面积指数的变化对光合速率的影响。根据改形后第3年所测数据的平均值制作叶面积、树冠光照和光合的三维分布。2002和2003年10月下旬采收果实,每个处理重复50次,测量果实直径、硬度(GY-1型果实硬度计)、可溶性固形物(PR-100型数字糖度计)、单果质量、可溶性糖(蒽酮法)、可滴定酸(NaOH中和滴定法)和着色面积,对照为2002~2004年的平均值。利用SAS对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 树形改造对苹果树冠结构的影响

从表1可看出,改造树的树冠和树头高度有明显降低,而干高则有显著增加。提高树干是这种树形改造技术的关键环节,通过提高树干可以减少枝叶量,改善果园的通风透光条件,把结果部位从低光区转移到高光区。经过3年的改造,主枝数从15.88个减少到4.58个,枝量从 $2\,119.73 \times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 减少到 $814.07 \times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,叶面积指数也从3.98减少到2.31。由于主枝数减少,树体养分相对集中,所以花芽数有了明显增加。在调查中发现两年生枝成花数从2.57个增加到9.30个,同时果台副梢成花率从70%增加到97%。未改造树平均6.44个顶芽形成一个顶花芽,改造树每1.86个顶芽就形成一个顶花芽。

表1 树形改造对树体结构参数的影响

Table 1 Influence of tree form reconstruction on tree structure

处理 Treatment	年份 Year	干高 Height of first bough (m)	主干高 Height of stem (m)	树高 Height of tree (m)	主枝数 Number of bough	枝量 Number of spurs ($\times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	叶面积指数 Leaf area index	花芽数 Number of blossom
对照 Control	2002~2004	0.29B	3.49A	4.38A	15.88A	2 119.73A	3.98A	498.60B
改造树 Reconstructed tree	2002	1.12A	2.79B	3.67AB	7.30BC	992.83B	2.76B	596.18AB
	2003	1.35A	2.58B	3.58B	5.00C	864.43B	2.21B	697.33A
	2004	1.37A	2.55B	3.44B	4.58C	814.07B	2.31B	663.60A

2.2 树形改造对苹果冠层叶片分布和光照分布的影响

树形改造后叶片的分布更加均匀。未改造树的叶片主要分布在树冠中部,改造后则分布到了树干两侧(图1)。通过叶片的减少和分布的改变,为改善整个树冠的光照条件,提高果实品质提供了保证。

图 2 显示, 改造树的相对光照条件比未改树有明显改善, 整个冠层的平均相对光照比对照增加了 37.1%, 冠层 1 m 以下增加 124.4%, 离主干 1 m 之内增加 56.0%。一般而言, 相对光照低于 30% 的光区为无效光区 (魏钦平等, 2004), 树形改造后无效光区从占树冠体积的 43% 减少到 24%。

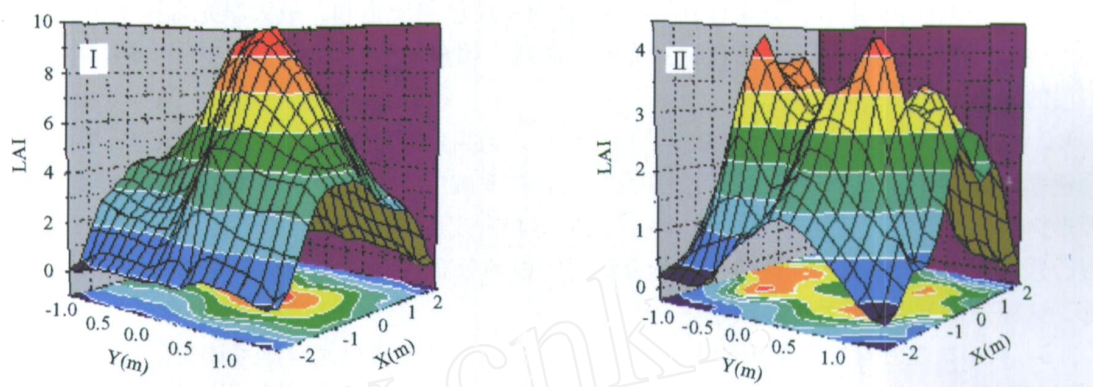


图 1 苹果树形改造对叶面积指数 (LAI) 平面分布的影响

Y轴为南北方向距树干距离, X轴为东西方向距树干距离, Z为树高。 为对照, 为改造树。下同。

Fig 1 Influence of tree form reconstruction on distribution of leaf area index of apple

Y is the distance to stem in N - S, X is the distance to stem in W - E,

Z is the height of canopy is control, is reconstructed tree. The same below.

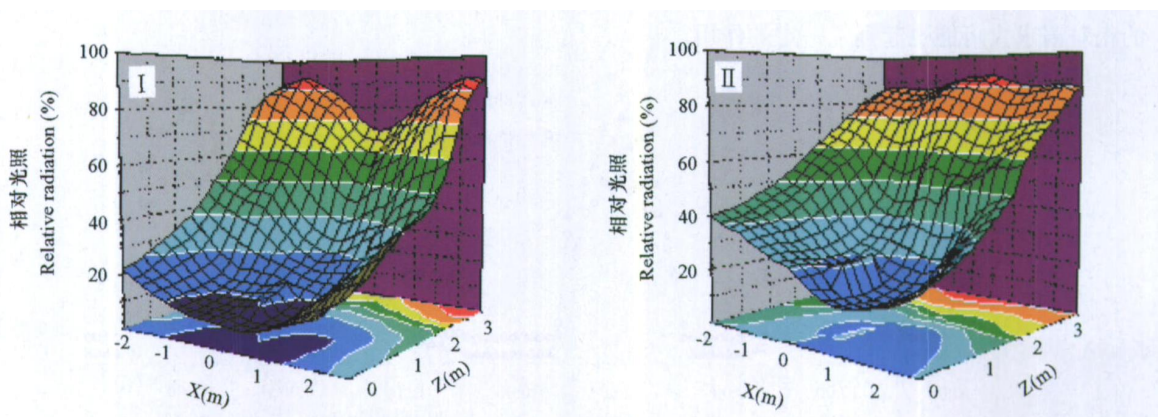


图 2 苹果树形改造对树冠相对光照垂直分布的影响

Fig 2 Influence of tree form reconstruction on vertical distribution of relative radiation in canopy of apple

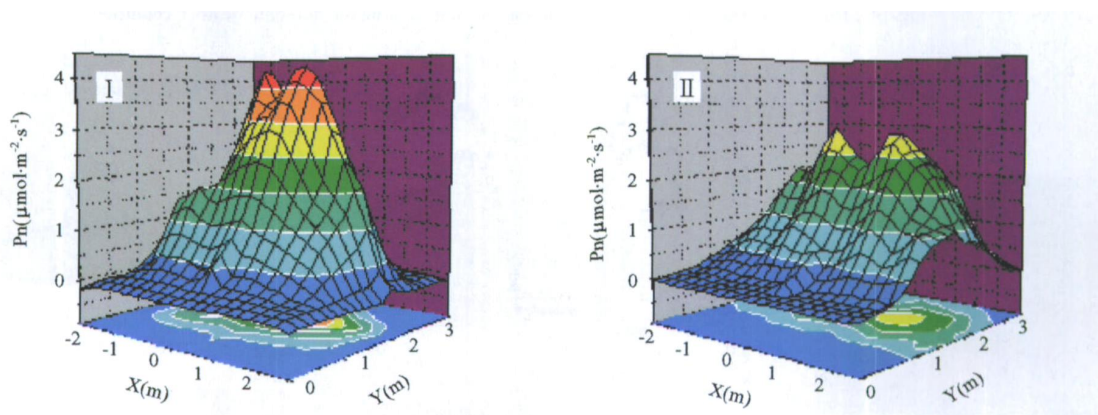


图 3 苹果树形改造对树冠光合速率垂直分布的影响

Fig 3 Influence of tree form reconstruction on vertical distribution of photosynthesis in canopy of apple

2.3 树形改造对苹果树冠光合能力的影响

2.3.1 单叶光合速率的模拟 冠层光合的大小是由树冠的光分布、叶片分布和单叶的光响应曲线决定的, 构建单叶的光合模型是研究冠层光合的基础。根据冠层单叶光合速率的光响应曲线 (图略), 当 PAR 达到 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时单叶的光合速率就已趋于饱和, 最大净光合速率为 $14.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在调查中未发现树形改造对光响应曲线有明显的影响, 因此我们采用同样的参数来计算冠层的光合大小。

2.3.2 树形改造对树冠光合大小分布的影响 未改造树由于叶面积大, 光能截获多, 所以冠层的光合速率大于改造树 (图 3), 改形后冠层总的光合速率减少了 14.6%。但由于冠层光照改善了, 所以改形树单叶的平均光合速率增加 40.4%。改造树和未改造树的冠层光合都集中分布在 2 m 左右的位置, 这与叶片的分布有关。改造树的光合在树冠内的分布相对均匀, 而未改树则集中分布在树冠中部, 这种分布主要由叶片分布决定。

2.3.3 树形改造对树冠光合日变化的影响 树形改造对苹果树冠光合速率日变化有明显的影响, 未改树的光合速率明显大于改造树 (图 4), 不过这种差异在阴天并不明显。从图 4 可看出冠层光合在一天当中呈单峰曲线, 其变化趋势与光辐射相一致。

在整个生长季未改造树的光合也明显大于改造树 (图 5), 计算表明从 5 月到 9 月未改造树的日光合总量比改造树大 16.3%。不过未改造树的叶面积却比改造树大 72.3%, 光合总量的相对增加量不如叶面积大, 主要是因为未改造树的叶片相互遮阴, 同时叶片多夜间的呼吸消耗也大所致, 另外库的相对需求大可能也起到了一定的作用。

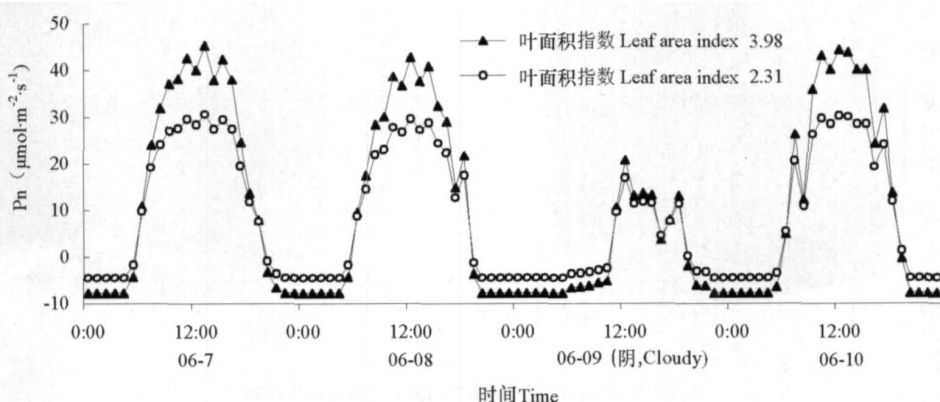


图 4 不同气象条件下单位面积上树冠光合的日变化

Fig 4 Diurnal curves of canopy photosynthesis on unit area under different weather conditions

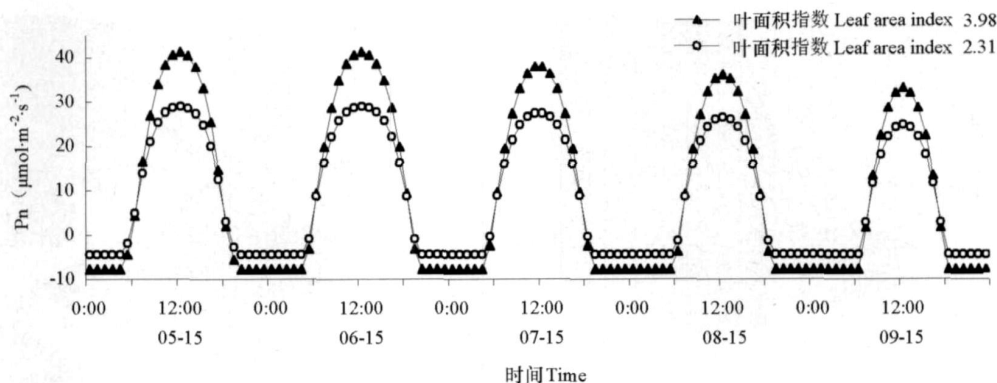


图 5 不同月份果园单位面积上树冠光合的日变化 (5~9月)

Fig 5 Diurnal curves of canopy photosynthesis on unit orchard area in different months (from May to Sept)

2.4 树形改造对苹果产量和品质的影响

改造前的产量为 27.3 t, 改造后第 1 年由于上年的花不是很好, 产量基本持平, 但是由于集中了养分, 单果质量增加 41%。改造后第 2 和第 3 年分别比上年增加 43% 和 33%, 主要是因为光照改善后促使花芽数量增加, 同时单果质量也增加。改造后苹果的可溶性糖有显著增加, 硬度和单果质量也有显著增加, 同时由于配套措施的应用着色面积也显著改善。

表 2 树形改造对苹果品质的影响

Table 2 Influence of tree form reconstruction on apple quality

处理 Treatment	年份 Year	产量 Yield (t · hm ⁻²)	单果质量 Mean fruit mass(g)	硬度 Firmness (kg · cm ⁻²)	可溶性固形物 Soluble solid (%)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	可滴定酸 Titratable acidity(%)	糖/酸 Sugar/acid	着色面积 Surface blush (%)
对照 Control	2002	27.3C	204.43C	8.62B	12.83C	10.17B	0.33A	32.45C	55.73B
改造树 Reconstructed tree	2002	28.6C	287.23B	10.51A	14.01B	11.71AB	0.32A	36.59B	89.15A
	2003	40.9B	297.04A	10.37A	14.76AB	12.08A	0.30A	40.20AB	94.00A
	2004	54.5A	302.23A	10.96A	15.55A	12.91A	0.31BA	41.65A	98.53A

3 讨论

果园的光合能力是果树产量和品质形成的基础, 其光合的总量主要是由冠层的光能截获量决定的 (Cohen & Fuchs, 1987; Asada & Arakawa, 2000; Green et al, 2001), 同时充足的光照分布对果树的花芽形成、产量和品质都有非常重要的影响 (Shu et al, 2001; Wertheim et al, 2001)。果园冠层的光分布主要取决于冠层内的叶幕分布 (Cohen & Fuchs, 1987; Cohen et al, 1995), 这种分布可由冠层的结构参数来描述 (Francisco & Fetcher, 1998)。因此合理的树形结构和修剪措施一直都是园艺学家们关注的焦点。

我国的苹果园以乔化密植为主, 虽然可以早期丰产, 但进入盛果期后树冠郁闭, 导致光照恶化, 产量和品质降低, 大小年严重, 效益减少。高干开心树形的改造可以彻底解决乔化密植苹果园的树冠郁闭光照差的问题, 为苹果的优质丰产提供保证。当然要实现优质丰产还要做好增施有机肥、病虫害防治、套袋、摘叶和覆反光膜等工作, 特别是大量施用有机肥改良土壤是养根壮树的前提。我们在北京、陕西、山东、河北、山西、甘肃和新疆等地的改造示范基地也都取得了优质丰产的良好效果。供给花芽分化和果实的碳水化合物主要是来自其周围的叶片。当枝叶量过大时由于整体光照的恶化而降低了叶片的光合速率, 进而降低了有效碳水化合物的供给, 影响了树体的花芽分化和果实产量品质的提高。Jens (2000) 研究认为苹果产量和结果枝的光能截获高度相关 ($r^2 = 0.78$)。通过开心树形改造即减少了无效枝叶的消耗又改善了结果枝的光照条件, 因此苹果的产量和品质有显著增加。

过去传统树形管理的留枝量为 180 ~ 225 万 · hm⁻², 也有人提倡优质丰产苹果树的留枝量为 90 ~ 135 万 · hm⁻², 叶面积指数为 3.5 ~ 5.0 (束怀瑞, 1999)。通过试验我们发现如果采用高干开心树形每公顷的留枝量 75 万左右, 叶面积指数 2.5 左右就可以达到优质丰产的目的。Shiozaki 等 (1992) 和 Kikuchi 等 (1994) 的研究表明对于 9 m × 9 m 定植的富士苹果, 如果采用高干开心树形, 进入盛果期后, 留 3 个大主枝, 维持 2.0 的叶面积指数即可达到 55 t · hm⁻² 的产量, 并且优质果率可达到 90% 以上。虽然这种树形冠层总的日光含量比传统树形的略低, 但是这种树形的枝叶量少, 树冠的光照分布均匀, 低光区体积小, 通过改善光照而增强了单叶的光合速率, 促进了花芽分化和果实生长, 同时提高了品质。另外这种树形相应的根系数量和骨干枝也少, 因此用于树体建成和呼吸消耗的养分也少, 可以把养分相对集中地供应到花芽形成和果实生长上, 保证丰产。在优质的前提下要想实现果树丰产就要解决树冠内叶片的相互遮阴问题 (Tustin et al., 1998), 高干开心树形的树冠只有一层,

枝、叶和果全能见光，彻底解决了乔化树的树冠郁闭问题。

Green等 (2001) 测得单叶的最大光合速率不到 $13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，我们测得的结果为 $14.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，可能是因为我们的试验地在大城市附近， CO_2 浓度较高所致。Tartachnyk和 Blanke (2001) 的结果与我们相一致 (试验地在波恩附近)。前人的研究表明，苹果的产量并不随延长枝光能截获的增加而增加 (Pierre & Jean, 2001)，而与结果枝的光能截获有较强的线性关系，同时叶片的光合能力还受库—源关系的强烈影响 (Zhou & Bruno, 2003)，因此如何确定最佳的枝类数量和比例来指导苹果的整形修剪还需要进一步深入研究。

References

- Asada T, Arakawa O. 2000. The analysis of light interception and leaf area index (LAI) in central leader 'Fuji/M26' and Jonagold/26 apple orchards producing high yields and quality fruit. *Acta Hort*, 525: 421 - 423.
- Cohen S, Fuchs M. 1987. The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a shamouti orange hedgerow orchard: Part 1. Leaf area radiation. *Agri For Meteol*, 40: 123 - 144.
- Cohen S, Mosi M, Meron M M. 1995. Canopy clumpiness and radiation penetration in a young hedgerow apple orchard. *Agri For Meteol*, 76: 185 - 200.
- Francisco C, Fetcher N. 1998. Three dimensional model of the interception of light by a canopy. *Agri For Meteol*, 90: 215 - 233.
- Green S R, Greer D H, Wunsche J N, Caspari H, Palmer J W, Wunsche J N. 2001. Measurements of light interception and utilization in apple orchard. *Acta Hort*, 557: 369 - 376.
- Higgins S S, Larsen F E, Bendel R B. 1992. Comparative gas exchange characteristics of potted, glasshouse-grown almond, apple, fig, grape, olive, peach and Asian pear. *Sci Hort*, 52: 313 - 329.
- Jens N W. 2000. The relationship between leaf area and light interception by spur and extension shoot leaves and apple orchard productivity. *Hort Science*, 35 (7): 1202 - 1206.
- Kikuchi T, Shiozaki Y, Asada T, Arakawa O. 1994. Light and fruit distribution within a canopy of 'Fuji' apple trees trained to a traditional open-center system in Japan. *J. Japan Soc Hort Sci*, 62 (4): 761 - 768.
- Pierre E L, Jean J K. 2001. Shoot type demography and dry matter partitioning: a morphometric approach in apple (*Malus domestica*). *Can. J. Bot*, 79: 1270 - 1273.
- Shiozaki Y, Kikuchi T. 1992. Fruit productivity as related to leaf area index and tree vigor of open-center apple trees trained by traditional Japanese system. *J. Japan Soc Hort Sci*, 60 (4): 827 - 832.
- Shu Huai-rui. 1999. Apple science. Beijing: Chinese Agricultural Press (in Chinese).
- 束怀瑞. 1999. 苹果学. 北京: 中国农业出版社.
- Shu Z H, Chu C C, Hwang L J, Shieh C S. 2001. Light, temperature, and sucrose affect color, diameter, and soluble solids of disks of wax apple fruit skin. *HortScience*, 36 (2): 279 - 281.
- Tartachnyk I, Blanke M M. 2001. Environmental effects on apple tree physiology. *Acta Hort*, 557: 465 - 472.
- Tustin D S, Cashmore W M, Bensiey R B. 1998. The influence of orchard row canopy discontinuity on irradiance and leaf area distribution in apple trees. *J. of Horti Sci Bia*, 73 (3): 289 - 297.
- Wei Q in-ping, Lu Ren-qiang, Zhang Xian-chuan, Wang Xiao-wei, Gao Zhao-quan, Liu Jun. 2004. Relationship between distribution of relative light intensity and yield and quality in different tree canopy shapes for 'Fuji' apple. *Acta Horticulture Sinica*, 31 (3): 291 - 296 (in Chinese).
- 魏钦平, 鲁韧强, 张显川, 王小伟, 高照全, 刘 军. 2004. 富士苹果高干开心形光照分布与产量品质的关系. *园艺学报*, 31 (3): 291 - 296.
- Wertheim S J, Wagenmakers J H, Bootsma, Groot M J. 2001. Orchard systems for apple and pear: conditions for success. *Acta Hort*, 557: 209 - 227.
- Zhang Xian-chuan, Gao Zhao-quan, Fu Zhan-fang. 2006. The open-center system reconstructed of old apple tree and synthesis technique. *Fruit Growers' Friend*, 46 (3): 17 - 21. (in Chinese).
- 张显川, 高照全, 付占方. 2006. 应用苹果开心树形对老苹果树改造及其综合配套技术. *果农之友*, 46 (3): 17 - 21.
- Zhou R, Bruno Q. 2003. Changes in photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature apple leaves in response to whole plant source-sink manipulation. *J. Amer Soc Hort Sci*, 128: 113 - 119.