

乔砧富士苹果树冠枝梢数量和分布对产量与品质的影响

张 强, 魏钦平*, 王小伟, 尚志华, 刘 军, 刘松忠, 孙志鸿

(北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093)

摘 要: 以 20 年生改良高干开心形乔砧富士苹果树为试材, 应用树冠分格方法, 研究了透光和郁闭树冠内长、中、短枝(梢)的数量、比例与产量和品质的空间分布差异和枝(梢)数量、类型与比例对果实产量品质的影响。结果表明, 透光和郁闭树冠枝(梢)总量分别为 104×10^4 和 124×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 在树冠内膛、中部和外围的比例分别为 41.87%、42.83%、15.30% 和 10.00%、36.92%、53.08%; 透光树冠的折合产量为 $63.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 显著高于郁闭树冠的 $47.96 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 并集中分布在树冠 1.0 ~ 2.5 m 的层次高度, 透光树冠每层的果实产量均大于郁闭树冠; 透光树冠的单果质量、可溶性固形物、固酸比分别比郁闭型树冠高 11.84%、18.01% 和 68.22%。典型相关与多元回归分析获得了影响果实品质因素的主要枝(梢)类型和重要程度, 长枝(梢)数量与果实单果质量、硬度呈显著正相关, 短枝(梢)数量与果实可溶性固形物含量呈正相关, 与可滴定酸含量呈显著负相关; 线性规划得到了乔砧富士苹果优质的总枝(梢)量为 $96.57 \times 10^4 \sim 103.68 \times 10^4$ 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 长、中、短枝(梢)比例分别为 9.41% ~ 10.62%、14.12% ~ 15.00%、74.57% ~ 76.47%。

关键词: 苹果; 树冠; 枝(梢)分布; 产量; 品质

中图分类号: S 661.1

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 08-1205-08

Effects of Shoot Numbers and Distribution in Canopy on Yields and Qualities of 'Fuji' Apple with Standard Rootstock

ZHANG Qiang, WEI Qin-ping*, WANG Xiao-wei, SHANG Zhi-hua, LIU Jun, LIU Song-zhong, and SUN Zhi-hong

(Institute of Forestry & Pomology, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: The methods of canopy subarea, multiple statistical analysis and liner program were used to study difference of shoot numbers, distribution, yields and quality in sunlight and overcrowd canopy, and effect of shoot numbers, type and proportion on yields and quality factors in twenty-year old 'Fuji' apple tree with standard rootstock. The results showed that total shoot numbers of sunlight and overcrowd canopy were 104×10^4 and 124×10^4 per hectare, and proportions of shoot in inner, middle and outer of canopy were 41.87%, 42.83%, 15.30% and 10.00%, 36.92%, 53.08% in sunlight and overcrowd canopy, respectively. The yield that converted per tree into per unit area in sunlight canopy was $63.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,

收稿日期: 2009 - 12 - 14; **修回日期:** 2010 - 07 - 15

基金项目: 国家苹果产业技术体系建设专项 (nycyt-08-02-02); 公益性行业 (农业) 科研专项 (nyhyzx07-024)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: qpwei@sina.com)

which significantly higher than $47.95 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ in overcrowd canopy, and distributed mainly at 1.0 – 2.5 m canopy height. The outputs of per layer in sunlight canopy were higher than overcrowd canopy. The mean weight per fruit, soluble solids content and soluble solids/acid were respectively higher 11.84%, 18.01% and 68.22% in sunlight canopy than overcrowd canopy. Canonical correlation analysis and multiple regression analysis were used to obtain major shoot type and importance affecting fruit quality factors. There was a positive correlation significantly between the amounts of long shoot and per fruit weight and firmness, between amounts of spur shoot and soluble solids content, and also a negative correlation significantly between amounts of spur shoot and titratable acidity content. Linear programming was used to calculate optimum parameters of total shoot number and proportion of different shoot type for good qualities in ‘Red Fuji’ apple trees, which total shoot number was $96.57 \times 10^4 - 103.68 \times 10^4$ per hectare and the ratio in long, medium and spur shoots were 9.41% – 10.62%, 14.12% – 15.00%, 74.57% – 76.47%, respectively.

Key words: apple; canopy; shoots distribution; yield; quality

富士苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 是我国主栽品种, 乔砧富士的种植面积占富士苹果面积的 90%。近 20 年来, 在富士苹果树体管理中, 多采用轻剪长放多留枝的修剪方法, 为提早结果、增加前期产量和收益提供了基础条件。但盛果期后, 由于疏枝和树体结构调整不及时, 导致树体过大, 总枝量偏多, 树冠内膛光照不足, 产量降低和果实品质下降等问题 (Wertheim et al., 2001; 李绍华等, 2002)。国内外关于不同树种果园丰产优质群体结构参数、不同树冠的相对光照强度分布、相对光照强度与产量品质的关系等做了一定的研究 (Wagenmakers, 1996; 杨振伟 等, 1998; 魏钦平 等, 1997, 2004, 2005; Widmer & Krebs, 2001)。孙志鸿等 (2008b) 和张建军等 (1994) 报道了高干开心形富士苹果树冠枝 (梢) 分布与果实品质的关系。但是, 关于乔砧富士苹果透光和郁闭型树冠枝 (梢) 和果实产量空间分布的差异性及枝类组成、数量与果实品质的关系在国内尚缺乏详尽报道。

作者以 2001 年一次性由小冠疏层形改为高干开心形富士苹果为材料, 调查了高干开心形透光和郁闭型树冠的枝 (梢) 数量、长、中、短枝的比例关系和果实产量及品质的空间分布差异, 为成龄乔砧富士苹果合理修剪、提高品质、保持果园可持续生产等提供理论依据和指导方案。

1 材料与方法

试验在北京市昌平区崔村镇真顺村园上园苹果园进行, 果园面积 3.0 hm^2 , 主栽品种为红富士苹果, 授粉品种为王林, 砧木为八棱海棠 (*M. micromalus* Makino)。

1987 年定植, 南北行向, 株行距为 $3 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, 砂壤土, 肥水管理水平高, 果实全部进行了套袋和采前铺反光膜。

2001 年按照日本开心形的树体结构, 把小冠疏层形一次改为高干开心形 (张显川 等, 2006)。自 2003 年开始, 在园内分别选择 1.5 hm^2 , 每年进行常规修剪 (按照改形前的修剪方法) 和适度轻剪 (比常规修剪留枝量多 20%) 处理, 经过几年的树体生长, 树冠枝 (梢) 类型、光照状况和产量、品质出现明显的差异, 把常规修剪树划为透光树, 适度轻剪树划为郁闭树。

2007 年 6 月至 2008 年 10 月, 分别选取 3 个小区 (300 m^2), 在每个小区内选择树体大小基本一致的 4 株树, 共计 12 株。以树干为中心, 用竹竿将树冠分成不同层次和方位的 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 立方体。分别在春梢停长后和落叶前统计各立方体 (0.125 m^3) 内的长 ($> 60 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 60 \text{ cm}$)、中 ($5 \sim 15 \text{ cm}$ 、 $15 \sim 30 \text{ cm}$)、短 ($< 5 \text{ cm}$, 并分 > 6 片叶、 $4 \sim 6$ 片叶、 < 4 片叶) 枝 (梢) 的数

量和比例。

10 月 20 日采摘果实，统计每个立方体内果实个数，取有代表性的果实 3~5 个（根据立方体内果实数），用百分之一天平称单果质量，GY-1 型果实硬度计测量果实硬度，PR-100 型数字糖度计测定可溶性固形物，用 0.1 mol·L⁻¹ NaOH 中和滴定法测定可滴定酸含量。

SAS 9.0、Origin 8.0、LINGO 10、Excel 等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 透光和郁闭树冠层枝（梢）空间分布的差异

苹果透光和郁闭树冠不同层次、部位的枝（梢）类型、数量分布如表 1。透光树枝（梢）总量 104×10⁴ 条·hm⁻²；郁闭树为 124×10⁴ 条·hm⁻²，郁闭树比透光树枝（梢）量多 20×10⁴ 条·hm⁻²。在垂直方向上，透光树和郁闭树的总枝（梢）均集中分布在树冠 1.0~2.5 m 高度，分别占整个树冠枝（梢）量的 71.63% 和 68.69%；水平方向上，透光树冠的内膛和中部枝梢比例（41.87% 和 42.83%）分别高于郁闭树冠（10.00% 和 36.92%），郁闭树冠的枝（梢）多分布在树冠外围（53.08%）。说明了树冠的透光度直接影响枝（梢）在树冠的分布比例，树冠内膛光照条件恶化是导致树冠枝条数量少、内膛光秃的主要因素。

表 1 树冠枝梢的分布
Table 1 Distribution of shoots in canopy

树冠高/m Height of canopy	处理 Treatment	内膛 Inner of canopy			中部 Middle of canopy			外围 Outer of canopy			总枝量 Total Shoots	总枝梢比例/% Ratio of Shoots
		长枝 Long shoot	中枝 Medium shoot	短枝 Spur shoot	长枝 Long shoot	中枝 Medium shoot	短枝 Spur shoot	长枝 Long shoot	中枝 Medium shoot	短枝 Spur shoot		
3.0~3.5	透光型 Sunlight	52	12	8	0	0	0	0	0	0	145	9.28
	郁闭型 Overcrowd	1	0	0	25	8	1	20	10	19	84	4.62
2.5~3.0	透光型 Sunlight	10	10	27	35	13	57	0	0	0	152	9.73
	郁闭型 Overcrowd	3	13	0	14	44	21	15	50	67	227	12.50
2.0~2.5	透光型 Sunlight	35	44	128	21	26	100	0	0	0	354	22.66
	郁闭型 Overcrowd	1	21	25	10	106	67	16	88	86	420	23.08
1.5~2.0	透光型 Sunlight	19	41	96	29	33	164	2	2	11	397	25.41
	郁闭型 Overcrowd	6	39	42	2	115	112	5	100	124	545	29.95
1.0~1.5	透光型 Sunlight	8	30	61	15	27	108	2	33	84	368	23.56
	郁闭型 Overcrowd	0	10	21	10	42	52	0	92	58	285	15.66
0.5~1.0	透光型 Sunlight	0	0	0	3	12	16	1	28	76	146	9.34
	郁闭型 Overcrowd	0	0	0	0	26	17	4	212	0	259	14.23

2.2 透光和郁闭树冠内产量的分布

图 1 是透光和郁闭树冠内单株果实产量的分布。由图 1 看出，成龄乔砧富士苹果透光树冠的折合产量为 63.30 t·hm⁻²，显著高于郁闭树冠的 47.96 t·hm⁻²；透光和郁闭树冠单株果实产量的 81.90% 以上集中分布在 1.0~2.5 m 高度范围内，透光树冠各层次（1.0~1.5、1.5~2.0 和 2.0~2.5 m）的果实产量分布均匀，且显著高于郁闭树冠。这与枝（梢）数量分布一致，说明了树冠的透光度通过影响枝（梢）数量及其在树冠的分布比例而导致果实产量的空间分布差异。

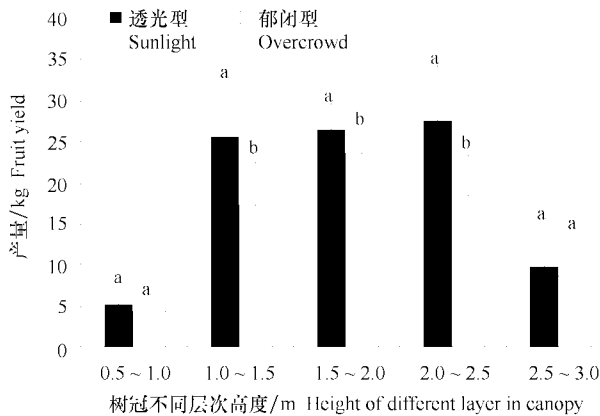


图 1 树冠内单株果实产量的分布
Fig. 1 The distribution of fruit yield in per sunlight and overcrowd canopy

2.3 透光和郁闭树冠的果实品质差异

由表 2 可以看出，除 2.5 ~ 3.0 m 层次高度两种冠型树果实品质指标无差异外，0.5 ~ 2.5 m 范围内，同一层次高度内果实的单果质量、可溶性固形物含量、固酸比多数为透光树大于郁闭树，可滴定酸含量为郁闭树高于透光树。说明了树冠的枝（梢）数量、比例等对果实品质影响较大。生产中应通过修剪，及时调整合理的枝（梢）数量、比例和空间分布。

表 2 透光、郁闭树冠的果实品质差异
Table 2 The difference of fruit quality in the same layer within sunlight and overcrowd canopy

树冠高/m Height of canopy	处理 Treatment	单果质量/g Weight per fruit	硬度/(kg·cm ⁻²) Firmness	可溶性固形物/% Soluble solids content	可滴定酸/% Titratable acidity content	固酸比 Soluble solids/acid
2.5 ~ 3.0	透光型 Sunlight	345.69a	8.35a	14.52a	0.26a	57.84a
	郁闭型 Overcrowd	324.73a	8.25a	14.48a	0.33a	44.71a
2.0 ~ 2.5	透光型 Sunlight	338.01a	8.62a	14.71a	0.26b	57.26a
	郁闭型 Overcrowd	309.69b	8.35a	14.46b	0.34a	44.07a
1.5 ~ 2.0	透光型 Sunlight	333.31a	8.55a	14.06a	0.27b	53.61a
	郁闭型 Overcrowd	308.28a	8.47a	13.45b	0.35a	38.74b
1.0 ~ 1.5	透光型 Sunlight	312.68a	8.31a	13.77a	0.25b	56.22a
	郁闭型 Overcrowd	279.58b	8.25a	12.18b	0.35a	35.07b
0.5 ~ 1.0	透光型 Sunlight	297.52a	8.27a	13.63a	0.25b	54.47a
	郁闭型 Overcrowd	285.70a	8.24a	11.55b	0.36a	32.38b

注：不同小写字母表 $P < 0.05$ 显著水平。
Note: The different small letters stand for $P < 0.05$.

2.4 枝（梢）对果实品质因素影响的因子筛选和回归方程建立

为了明确冠层枝（梢）数量分布与果实品质的相互关系，应用典型相关方法对果实品质因素（单果质量、硬度、可溶性固形物、可滴定酸）和不同（长、中、短）枝（梢）数量进行分析，依据典型相关系数的大小，结合专业知识和统计分析方法等筛选影响果实品质的主要枝（梢）类型（表 3）。从表 3 看出，果实单果质量主要受长枝和短枝数量的影响；果实硬度主要受长枝和中枝数量的影响；果实可溶性固形物和可滴定酸含量均主要受中枝和短枝数量的影响。这表明不同枝（梢）类数量对果实品质因素的影响各异，调整枝（梢）类的组成比例也是提高品质的措施之一。

为了进一步明确不同枝（梢）数量对果实品质因素的影响，分别以果实单果质量、硬度、可溶

性固形物、可滴定酸为目标函数（ y_i ），以影响果实品质的主要枝（梢）因子为自变量（ x_n ），建立了多元线性回归方程（表3），并均达到显著性差异水平，说明方程稳定可靠。从表3看出，苹果单果质量（ y_1 ）受长枝数量（ x_1 ）和短枝数量（ x_3 ）的共同影响，并与长枝数量（ x_1 ）呈显著正相关，与短枝数量（ x_3 ）呈显著负相关，两变量重要性为 $x_1 > x_3$ ；果实硬度（ y_2 ）与长枝数量（ x_1 ）和中枝数量（ x_2 ）呈显著正相关；中枝数量（ x_2 ）和短枝数量（ x_3 ）共同影响果实可溶性固形物含量（ y_3 ），果实可溶性固形物（ y_3 ）与短枝数量（ x_3 ）呈显著正相关，增加短枝数量有利于提高果实可溶性固形物含量；果实可滴定酸含量（ y_4 ）与短枝数量（ x_3 ）呈显著负相关。综合分析，不同枝（梢）数量对果实品质因素的各异，为了确保乔砧成龄苹果园优质丰产，寻求最佳的总枝（梢）数量和不同类型枝（梢）间的比例关系更为重要。

表 3 影响果实品质因素的枝（梢）因子筛选和回归方程建立
Table 3 Selection of shoot factors and establishment of regression equation affecting apple quality factors

品质因素 Quality factor	影响品质的枝(梢)因子 Shoot factors affecting fruit qualities	回归方程 Regression equation	F 值 Value of F
y_1 单果质量 Mean weight per fruit	x_1 长枝数量 Quantity of long shoots x_3 短枝数量 Quantity of spur shoots	$y_1=817.5949+2.8506x_1-0.9567x_3$	32.88**
y_2 硬度 Firmness	x_1 长枝数量 Quantity of long shoots x_2 中枝数量 Quantity of medium shoots	$y_2=7.9717+0.05820x_1+0.1098x_2$	3.33*
y_3 可溶性固形物 Soluble solids content	x_2 中枝数量 Quantity of medium shoots x_3 短枝数量 Quantity of spur shoots	$y_3=14.01391-0.1799x_2+0.03116x_3$	6.22**
y_4 可滴定酸 Titratable acidity content	x_2 中枝数量 Quantity of medium shoots x_3 短枝数量 Quantity of spur shoots	$y_4=0.1661+0.06758x_2-0.01294x_3$	6.04**

2.5 果实优质的枝（梢）数量和比例优化方案

果实品质因素与不同枝（梢）类型的关系复杂，在枝（梢）类型与果实品质各因素多元线性回归分析的基础上，以某一果实品质为目标函数(A)，其它品质因素达到优质标准(略高于鲜苹果 GB/T 10651-2008 标准)为约束条件，建立线性规划方程组，求解优化方案，获得了果树品质因素最佳的总枝（梢）数和不同枝（梢）类型比例（表 4）。从表 4 可知，当苹果园群体总枝（梢）数 $96.57 \times 10^4 \sim 103.68 \times 10^4$ 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$ ，长、中、短枝（梢）比例分别为 9.41% ~ 10.62%、14.12% ~ 15.00%、74.57% ~ 76.47% 范围内时，理论上可以达到果实单果质量为 815.93 g，硬度 8.07 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，可溶性固形物 14.01%，可滴定酸 0.17%。

表 4 果实品质最佳的枝(梢)类型指标体系和最佳值
Table 4 Optimum values of shoots in canopy for favorable community quality of fruit

品质因素 Quality factor	枝（梢）数量/（ $\times 10^4$ 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$ ） Quantity of shoots				枝（梢）比例/% Ratio of shoots			品质理论最佳值 Optimum values of fruit quality
	长枝 Long shoot	中枝 Medium shoot	短枝 Spur shoot	总量 Total shoots	长枝 Long shoot	中枝 Medium shoot	短枝 Spur shoot	
y_1 单果质量 Mean weight per fruit	10.32	14.40	72.48	97.20	10.62	14.81	74.57	815.93 g
y_2 硬度 Firmness	10.32	15.36	78.00	103.68	9.95	14.81	75.23	8.07 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)
y_3 可溶性固形物 Soluble solids content	9.60	14.40	78.00	102.00	9.41	14.12	76.47	14.01%
y_4 可滴定酸 Titratable acidity content	9.60	14.49	72.48	96.57	9.94	15.00	75.05	0.17%

把表 1 调查资料与表 4 的优化方案值进行综合分析看出,郁闭园总枝(梢)量偏多(多 20.32×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 以上),中枝(梢)比例过高(占总枝量的 53.62%),短枝(梢)比例偏少(仅占总枝量的 39.12%),管理中应通过修剪措施及时进行调整。

3 讨论

3.1 关于透光与郁闭树冠枝(梢)数量和分布的研究

乔砧富士成龄苹果园树冠郁闭已成为当前影响我国苹果质量提高和产量增加的重要因素。生产中,人们通常把行间交接、株间枝条重叠作为判断果园郁闭的标准,缺乏对透光和郁闭树冠枝(梢)数量和分布差异的研究。作者以 20 年生改良高干开心形乔砧富士苹果树为材料,从透光和郁闭树冠内长、中、短枝(梢)的数量、比例与空间分布差异及其对果实产量品质的影响等方面综合分析,认为郁闭树冠比透光树冠枝(梢)量多 20×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$;透光树冠 84.70%的枝(梢)分布在树冠内膛和中部,而郁闭树冠仅 46.92%,53.08%的枝(梢)分布在树冠外围。果实产量在树冠不同层次高度的分布状况与枝(梢)数量分布呈现出明显的一致性,这与王小伟等(2009)在樱桃上的研究结果基本一致,表明树冠的透光度直接影响枝(梢)数量和分布比例,进而导致果实产量品质的空间分布差异。因此,在乔砧郁闭果园管理中,可以通过合理修剪、调节树冠枝(梢)数量和空间分布来改善郁闭树冠的光照条件,从而达到提高果实产量品质的目的。

3.2 关于多元统计分析和优化方案的方法

本研究中首先比较透光和郁闭两种树冠枝(梢)和果实产量品质分布的差异;然后利用典型相关对 3 个枝(梢)因子进行筛选,解决各因子间的负贡献率问题,获得冠层枝(梢)数量与果实品质各因子关系的定性描述;在此基础上结合多变量准线性回归和线性规划分析对其进行定量优化,获得最佳树体结构的枝(梢)数量和长、中、短枝比例以及满足最佳树体结构而获得的最佳果实品质,来说明郁闭树冠应如何进行合理修剪,从而保证树体优质丰产。这种统计分析方法解决了冠层枝(梢)因子的贡献率问题。由于冠层枝(梢)各因子对果实品质贡献大小不尽相同,且各因子间常常存在一定的联系,使得各因子之间所包含的信息有一定的重叠,从而给数据分析带来了一定的困难;同时,本研究在思路上突破了前人利用单一树冠进行研究(廖明安等,1992;张建军等,1994;孙志鸿等,2008a)得出理论最佳树体结构参数的方法,避免了人为将所选树冠作为优质丰产树冠,从而利用该树冠的相关条件得出理论最佳树体结构参数的可能。本研究中利用两种树冠,更具有代表性,更能说明生产中认为的优质丰产树体结构是否合理,是否与优化方案存在差距,以及生产中对郁闭树的修剪改造是否合理,从而为成龄乔砧高干开心形富士苹果树体改造、合理修剪、提高产量品质等提供量化评判指标。

3.3 关于优化结果与生产实际问题

刘业好等(2004)认为在我国苹果乔砧密植的情况下,树形和栽植密度是决定苹果产量关键因素,达到一定的覆盖率、总枝量和树体高度后,其苹果产量、品质主要受总枝量、枝类组成和枝叶空间分布的影响。本优化方案获得乔砧富士苹果优质丰产的总枝(梢)量为 $96.57 \times 10^4 \sim 103.68 \times 10^4$ 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$,长、中、短枝(梢)比例分别为 9.41% ~ 10.62%、14.12% ~ 15.00%、74.57% ~ 76.47%,这与前人长中短枝比例为 1:2:7 和亩枝量 10 万左右为适合叶幕结构的结果(束怀瑞,1993;张建军等,1994)基本一致;优化方案的总枝(梢)量下限与孙志鸿等(2008a, 2008b)的研究结果基本一致,上限与生产上高干开心形富士苹果透光树冠的枝(梢)总量(104×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$)接近,说

明该优化方案合理可靠,符合生产实际。生产中的透光树冠与优化方案中的最佳树体结构树冠总枝(梢)量差异不大,留枝量合理,但是短枝比例少,中枝比例多,产量低,生产中应调整修剪,增加短枝比例。郁闭树冠总枝量和枝梢比例与最佳树体结构相差较大,总枝量多 20.32×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,中枝过多,是短枝的1.5倍,与最佳树体结构枝梢比例相差甚远,因此生产中应根据最佳树体结构指标对树体结构进行合理的修剪,确保树体寿命,以保证光照的充足和果实产量品质的形成。

3.4 本研究的不足之处

树冠枝(梢)分布与冠层微域气候之间是一种交互的作用,枝(梢)数量、比例及空间分布的不同引起树冠光照分布、温度和湿度等微域气候的变化,这种小气候对果实生长发育产生重要的生理影响,最终决定了果实产量和品质。本研究中仅探讨了枝(梢)因子对果实产量和品质的影响,关于枝(梢)因子、冠层微气候因子与果实产量品质的相互关系还有待进一步研究。

4 结论

(1) 透光树冠和郁闭树冠枝(梢)量分别是 104×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 和 124×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$,郁闭树冠比透光树冠枝(梢)量多 20×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$;透光树冠84.70%的枝(梢)分布在树冠内膛和中部,而郁闭树冠仅为46.92%,53.08%的枝(梢)分布在树冠外围。透光树冠每层的果实产量均大于郁闭树冠,并且折合产量也显著的高于郁闭树冠;透光树冠的单果质量、可溶性固形物、固酸比和硬度分别比郁闭型树冠高11.84%、18.01%、68.22%和3.23%。

(2) 多元统计分析获得了影响果实品质因素的主要枝(梢)类型和重要程度,长枝(梢)数量与果实单果质量、果实硬度呈显著正相关,短枝(梢)数量与果实可溶性固形物含量呈显著正负相关,与可滴定酸含量呈显著负相关;理论计算出乔砧富士苹果优质的总枝(梢)量为 $96.57 \times 10^4 \sim 103.68 \times 10^4$ 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$,长、中、短枝(梢)比例分别为9.41%~10.62%、14.12%~15.00%、74.57%~76.47%的优化方案,为生产中果树合理修剪和郁闭树改造提供量化参考指标。

(3) 郁闭树冠存在总枝(梢)量偏多(高 20.32×10^4 条 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 以上),中枝(梢)比例过高(占总枝量53.62%),短枝(梢)比例偏少(占总枝量仅39.12%)等树体结构问题,生产中应通过修剪措施及时进行调整枝(梢)数量和比例关系,尽快使郁闭树快速转变成优质丰产树结构。

References

- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2008. Fresh apple, GB/T 10651-2008. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 2008. 鲜苹果, GB/T 10651-2008. 北京: 中国标准出版社.
- Li Shao-hua, Li Ming, Liu Guo-jie, Meng Zhao-qing. 2002. Vegetative growth characters of the young apple trees trained in vertical axis. *Scientia Agricultura Sinica*, 35 (7): 826 - 830. (in Chinese)
- 李绍华, 李明, 刘国杰, 孟昭清. 2002. 直立中央领导干树形条件下幼年苹果树体生长特性的研究. *中国农业科学*, 35 (7): 826 - 830.
- Liao Ming-an, Xiao Hua-ming, Lu Shu-qing, Ye Mou. 1992. Apple canopy parameter in thinned orchard with standard rootstock. *Northern Horticulure*, (3): 31 - 33 (in Chinese)
- 廖明安, 肖华明, 吕淑清, 叶 谋. 1992. 乔砧密植苹果树冠参数调查研究. *北方园艺*, (3): 31 - 33.
- Liu Ye-hao, Wei Qin-ping, Gao Zhao-quan, Wang Xiao-wei, Wei Sheng-lin. 2004. Relationships between distribution of relative light intensity and shoots and foliage in different tier of canopy of Red Fuji apple trees with modified open centre tree shape. *Journal of Anhui Agricultural University*, 31 (3): 353 - 357. (in Chinese)
- 刘业好, 魏钦平, 高照全, 王小伟, 魏胜林. 2004. 富士苹果树3种树形光照分布与产量品质关系的研究. *安徽农业大学学报*, 31 (3):

353 - 357.

Shu Huai-rui. 1993. Fruit tree cultivation physiology. Beijing: Agriculture Press: 152 - 162. (in Chinese)

束怀瑞. 1993. 果树栽培生理学. 北京: 农业出版社: 152 - 162.

Sun Zhi-hong, Wei Qin-ping, Yang Chao-xuan, Li Yan-hong, Sun Zhong-fu, Wang Xiao-wei. 2008a. Relationships between distribution of shoots, leaves and temperature, relative humidity in the canopy of Red Fuji apple trees. *Journal of Fruit Science*, 25 (1): 6 - 11. (in Chinese)

孙志鸿, 魏钦平, 杨朝选, 李艳宏, 孙忠富, 王小伟. 2008a. 红富士苹果树冠枝(梢)叶分布于温度、湿度的关系. *果树学报*, 25 (1): 6 - 11.

Sun Zhi-hong, Wei Qin-ping, Yang Chao-xuan, Sun Zhong-fu, Wang Xiao-wei. 2008b. Relationships between distribution of relative light intensity and shoots and foliage in different stratum of canopy for 'Fuji' apple. *Journal of Fruit Science*, 25 (2): 145 - 150. (in Chinese)

孙志鸿, 魏钦平, 杨朝选, 孙忠富, 王小伟. 2008b. 改良高干开心形富士苹果树冠不同层次相对光照强度分布与枝叶关系研究. *果树学报*, 25 (2): 145 - 150.

Wang Xiao-wei, Shang Zhi-hua, Zhang Qiang, Wei Qin-ping, Liu Jun. 2009. The differences between relative light intensity and yield, quality in two canopy of sweet cherry. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (2): 157 - 162. (in Chinese)

王小伟, 尚志华, 张强, 魏钦平, 刘军. 2009. 樱桃透光和郁闭树冠相对光照强度及其果实品质和产量的差异. *园艺学报*, 36 (2): 157 - 162.

Wagenmakers P S. 1996. Effects of light and temperature on potential apple production. *Acta Horticulturae*, 416: 191 - 197.

Wei Qin-ping, Wang Li-qin, Yang De-xun, Tang Fang, Gao Hong-yu. 1997. Effect of relative light intensity on quality of 'Fuji' apple. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 18 (5): 12 - 14. (in Chinese)

魏钦平, 王丽琴, 杨德勋, 唐芳, 高红玉. 1997. 相对光照度对富士苹果果实品质的影响. *中国农业气象*, 18 (5): 12 - 14.

Wei Qin-ping, Lu Ren-qiang, Zhang Xian-chuan, Wang Xiao-wei, Gao Zhao-quan, Liu Jun. 2004. Relationships between distribution of relative light intensity and yield and quality in different tree canopy shapes for 'Fuji' apple. *Acta Horticulturae 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研究. *园艺学报*, 31 (3): 291 - 296.

Wei Qin-ping, Wang Xiao-wei, Zhu Li-qin. 2005. Apple with no pest standardization production. Beijing: China Agriculture Press: 117 - 120. (in Chinese)

魏钦平, 王小伟, 朱丽琴. 2005. 无公害苹果标准化生产. 北京: 中国农业出版社: 117 - 120.

Wertheim S J, Wagenmakers P S, Bootsma J H, Groot M J. 2001. Orchard systems for apple and pear: Conditions for success. *Acta Horticulturae*, 557: 209 - 227.

Widmer A, Krebs C. 2001. Influence of planting density and tree form on yield and fruit quality of 'Golden Delicious' and 'Royal Gala' apples. *Acta Horticulturae*, 557: 235 - 241.

Yang Zhen-wei, Zhou Yan-wen, Fu You, Yang Mei-ning, Zhao Tong-sheng. 1998. Relationships between microclimatic character of different crown types and fruit quality of 'Fuji' apple. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 9 (5): 533 - 537. (in Chinese)

杨振伟, 周延文, 付友, 杨海宁, 赵同生. 1998. 富士苹果不同冠形微气候特征与果品质量关系的研究. *应用生态学报*, 9 (5): 533 - 537.

Zhang Jian-jun, Ma Xi-man, Du Ji-zhuang, Li Yun-ji, Ma Ji-hong. 1994. The relationships between shoots, leaves and fruit quality of Red Fuji apple trees. *China fruits*, (3): 15 - 17. (in Chinese)

张建军, 马希满, 杜计壮, 李云济, 马继红. 1994. 红富士苹果新梢及叶片与果实品质的关系. *中国果树*, (3): 15 - 17.

Zhang Xian-chuan, Gao Zhao-quan, Fu Zhan-fang. 2006. Integrative technology of application open centre tree shape to change old apple shape apple. *Fruit Growers' Friend*, (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*, (3): 17 - 21.