

中/国/资/源/生/物/研/究/系/列

新疆红富士苹果生理 特性与品质调控研究

李建贵 秦 伟 杜 研 等/著



科学出版社

中国资源生物研究系列

新疆红富士苹果生理特性 与品质调控研究

李建贵 秦 伟 杜 研 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共分 5 章内容, 涵盖新疆红富士苹果光合特性、水分特性、养分特性、外在品质和内在品质等在生长发育、形态、生理生化及生态方面的应用研究, 较为系统地反映了红富士苹果提升内在品质的最新研究进展。全书以提升新疆红富士苹果商品品质、解决生产实践问题为目标, 介绍了国内外红富士苹果相关研究进展、具体研究材料和方法及技术手段, 科学地分析了研究结果, 为今后新疆红富士苹果的高效栽培提供了科学的理论和实践依据。

本书可作为果树学研究者、技术员、果农的重要参考用书, 也可作为果树学教师及相关专业本科生、硕士研究生、博士研究生的参考读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

新疆红富士苹果生理特性与品质调控研究 / 李建贵, 秦伟, 杜研等著.
—北京: 科学出版社, 2016.1

(中国资源生物研究系列)

ISBN 978-7-03-045616-8

I. ①新… II. ①李… ②秦… ③杜… III. ①苹果—生理特性—研究
②苹果—质量控制—研究 IV. ①S661.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 212842 号

责任编辑: 张会格 岳漫宇 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2016 年 1 月第一次印刷 印张: 15 1/8 插页: 2

字数: 312 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

新疆维吾尔自治区素有“瓜果之乡”的美名，由于气候类型独特，生态和生产环境多样，具有发展多种特色果树得天独厚的自然资源优势、品种优势和生产优势，特别是当地具有栽植果树的悠久历史和传统习惯。其中吐鲁番葡萄、库尔勒香梨、阿克苏苹果这些久负盛名的特色果品，是新疆乃至中国农业的名牌产品。2003 年自治区党委提出“尽快把南疆地区建成我国重要的特色优势林果生产基地”。2004 年、2005 年新疆维吾尔自治区分别召开了林业工作会议和特色林果业发展暨林果技能培训工作会议，出台了《关于进一步加快林业发展的意见》和《关于加快特色林果业发展的意见》，2007 年国家 32 号文件明确提出“大力发展特色林果业，加快建设环塔里木优势林果主产区和吐哈盆地、伊犁河谷、天山北坡特色林果基地”，同年新疆维吾尔自治区党委七届五次全委（扩大）会议中强调“必须坚定不移地建设林果业基地，使之成为大幅度提高农民收入、长远造福人民群众的长盛不衰的支柱产业”，2008 年自治区党委、自治区人民政府出台了《关于进一步提高特色林果业综合生产能力的意见》，8 月召开了自治区特色林果业工作会议，使得发展特色林果业的目标更加明确，思路更加清晰，定位更加准确，措施更加有力。

现已基本形成了南疆环塔里木盆地以红枣、核桃、扁桃、杏、香梨、苹果为主栽树种的特色果树主产区，东疆吐哈盆地以鲜食葡萄、红枣为主的优质特色林果基地，伊犁河谷和天山北坡以苹果、鲜食和酿酒葡萄、枸杞、小浆果、时令水果为主的特色鲜明的果树基地。截止到 2011 年年底，新疆全区林果总面积超过 99 万 hm^2 ，果品总量达到 602 万 t，年产值超过 240 亿元，占人均纯收入的 15% 以上。在南疆五地州，特色林果业已成为农村经济发展的增长点、农业结构优化升级的突破点、农民收入持续增加的新亮点、新农村建设最现实的着力点。各级党委政府高度关注特色林果业的发展，始终把发展特色林果业作为振兴农村经济、促进农民持续增收的战略重点，特色林果业即将成为新疆农村经济的又一大支柱产业。因此，研究新疆特色林果产业的发展，对于改善生态环境，促进农村经济可持续发展，调整农业产业结构，增加农民收入，缩小新疆城乡收入差距，带动农村劳动力转移，发挥特色林果品的自身优势，促进新疆经济发展都具有重要的理论价值和现实意义。

苹果是世界四大水果之一，在我国无论是种植面积还是果实产量，苹果都居各种果树的首位。据农业部统计，2012 年苹果种植面积约为 256.67 万 hm^2 ，产量

3950 万 t, 面积和产量均占世界的 40%以上。新疆栽培苹果属果树的历史, 至少已有 1000 多年。20 世纪以前栽培的苹果品种, 多是从当地的野苹果中选留的。除野苹果外, 还有吉尔吉斯苹果, 如新源的大白果子等。新疆是西北苹果产区的主产区之一, 过去主要集中在伊犁地区和南疆, 20 世纪 60 年代后逐渐扩大。

据 2012 年新疆年鉴统计, 新疆果树种植面积最大的四大树种为红枣 45.6 万 hm^2 、杏 19.4 万 hm^2 、葡萄 13.6 万 hm^2 、苹果 8.3 万 hm^2 。2011 年新疆的苹果种植主要集中在阿克苏地区和伊犁州直, 两地的苹果种植面积占全疆苹果种植总面积的比例为 70%, 产量占全疆的 53.4%。其中伊犁州直种植面积为 4.3 万 hm^2 , 产量为 13.9 万 t。说明阿克苏地区和伊犁州直的苹果种植占据了新疆苹果种植的半壁江山。同时, 伊犁州直是新疆最大的苹果种植区域, 也是新疆具有悠久苹果栽培历史的区域, 然而在长期的生产栽培过程中, 受环境因子和人为因素的影响, 伊犁州直的苹果不如阿克苏地区的苹果品质优良, 主要在着色和含糖量方面差异尤为突出。

苹果作为新疆林果发展的主要树种之一, 随着种植规模的日益扩大, 如何提高果实品质已成为人们关注的重点问题。果实品质包括外观与内在两个方面, 而糖分是果实品质优劣的主导因素, 不仅左右着果实风味的好坏, 而且是类胡萝卜素、维生素、色素和芳香物质等合成的基础原料, 参与新陈代谢、能量供给, 并在细胞信号转导中起着信号分子的作用, 与内源激素、氮、环境等其他信号分子偶联成复杂的网络, 共同调节着植物的生长发育与基因的表达。同时, 果实中糖的积累除受遗传基因控制外, 外界自然环境因子、矿质元素与栽培措施等对果实中糖的积累也起着一定的调控作用, 而且遗传基因的表达在很大程度上受到外界因素的调节。因此, 研究苹果果实品质的影响因子, 了解其调控的生理机制, 是提高苹果果实品质的重要基础性研究课题。

苹果 (*Malus pumila* Mill.) 属于蔷薇科苹果属落叶乔木果树, 是落叶果树中主要栽培树种之一, 也是世界果树栽培面积较广、产量较多的树种之一。原产于欧洲东南部、中亚地区及我国的新疆。苹果种类品种较多, 适应性强, 分布地区广, 成熟期自 6 月中旬直至 11 月。而且苹果产量高, 产值大, 果实品质风味好, 含水分 85%左右, 总含糖量为 10.0%~14.2%, 苹果酸 0.38%~0.63%, 可谓甜酸适口。

红富士苹果为日本农林省园艺试验场以国光×元帅为亲本杂交育成。1962 年定名为“富士”。我国最早于 1966 年引种栽植。富士的主要性状诸多为双亲性状的表现, 但更倾向于国光, 树势强壮, 萌芽率和成枝力均高, 上色比国光早, 果面光洁, 底色黄绿, 阳面常具红霞, 有暗红色条纹。富士是一个结果早、产量高、品质好、成熟晚、耐贮藏的优良品种。

当前, 虽然我国的苹果树种植技术和标准化、规范化、无公害化已经深入推进, 苹果产业化有了长足进步, 但仍然迫于国内外市场对苹果的品质要求不断提高的压力, 如在苹果栽培种, 矮化密植种植模式的富士苹果品质难以提升, 目前

亟待解决的问题是腐烂病流行、色泽不艳丽、果皮表面粗糙、果实形状歪斜、口感差等，其在国内外苹果市场的占有份额相对少，明显缺乏强劲的竞争力，严重威胁我国苹果在国际市场的销售量。20 世纪 90 年代以来，中国外贸出口苹果的数量仅占据 1% 的国内生产苹果总量，甚至一段时间内出现苹果滞销的问题，此种状况的发生极大地限制了苹果生产经济效益的提升空间。

因此，本书以新疆红富士苹果为研究对象，开展不同影响因子对红富士果实品质影响研究，可为新疆红富士的高品质栽培提供理论依据，从而增强新疆红富士苹果的市场竞争优势，对新疆农业结构调整和农民增收具有重要意义。

李建贵

2015 年 10 月 23 日

目 录

第一章 新疆红富士苹果冠层光合特性	1
1.1 研究材料、关键技术和方法	10
1.1.1 试验地点	10
1.1.2 试验材料与处理	10
1.1.3 试验方法	11
1.2 研究取得的重要进展	13
1.2.1 两种不同树形 5 月叶片平均光合作用及温度日变化	13
1.2.2 两种不同树形 6 月叶片平均光合作用日变化	14
1.2.3 两种不同树形 7 月叶片平均光合作用日变化	16
1.2.4 两种不同树形冠层有效辐射特性研究	16
1.2.5 叶面积指数季节变化规律	18
1.2.6 透光率季节变化规律	18
1.2.7 两种树形对富士苹果果实品质的影响	19
1.2.8 两种树形对富士苹果着色及果实产量的影响	20
1.2.9 补光措施对果实着色的影响	20
1.2.10 补光措施对果实色差的影响	20
1.2.11 补光措施对果实品质的影响	21
1.2.12 喷施叶面肥对红富士苹果叶片光合特性的影响	22
1.3 研究结论与讨论	26
1.4 小结与展望	29
1.4.1 小结	29
1.4.2 展望	31
参考文献	31
第二章 新疆红富士苹果水分特性	36
2.1 研究材料、关键技术和方法	46
2.1.1 研究区概况	46
2.1.2 试验材料	47
2.1.3 研究方法	47
2.2 研究取得的重要进展	51

2.2.1 红富士苹果树干液流时空变化规律	51
2.2.2 红富士苹果树干液流与环境的协变机制	59
2.3 研究结论与讨论	70
2.4 小结与展望	76
2.4.1 小结	76
2.4.2 展望	76
参考文献	77
第三章 新疆红富士苹果养分特性（施肥对苹果的影响）	81
3.1 研究材料、关键技术和方法	86
3.1.1 研究区概况	86
3.1.2 研究材料	86
3.1.3 研究方法	86
3.1.4 数据处理	89
3.2 研究取得的重要进展	89
3.2.1 不同 NPK 配比施肥对红富士苹果果实品质的影响	89
3.2.2 不同 NPK 配比施肥对红富士苹果相关糖代谢酶的影响	98
3.2.3 不同 NPK 配比施肥对红富士苹果内源激素的影响	102
3.3 研究结论与讨论	106
3.4 小结与展望	108
3.4.1 小结	108
3.4.2 展望	109
参考文献	109
第四章 新疆红富士苹果外在品质调控（果形和果色）	113
4.1 研究材料、关键技术和方法	123
4.1.1 试验概况	123
4.1.2 研究方法	124
4.2 研究取得的重要进展	132
4.2.1 富士苹果果形发育动态与果皮解剖结构的研究	132
4.2.2 授粉受精对富士苹果果形的影响	136
4.2.3 内源激素对富士苹果果形的影响	141
4.2.4 外源激素对富士苹果果形的影响	149
4.2.5 套袋、施肥和花序果量对富士苹果果形的影响	154
4.3 研究结论与讨论	156
4.4 小结与展望	163
4.4.1 小结	163

4.4.2 建议.....	165
4.4.3 展望.....	165
参考文献.....	166
第五章 新疆红富士苹果内在品质调控.....	171
5.1 研究材料、关键技术和方法.....	176
5.1.1 研究区概况.....	176
5.1.2 材料与处理.....	177
5.1.3 试验方法.....	179
5.1.4 数据处理.....	180
5.2 研究取得的重要进展.....	181
5.2.1 套袋对红富士苹果品质的影响.....	181
5.2.2 喷施叶面肥对红富士苹果果实品质的影响.....	184
5.2.3 不同激素对阿克苏富士苹果果实糖组分与品质的影响.....	217
5.2.4 库源关系对红富士苹果果实发育及其品质的影响.....	219
5.2.5 疏果摘叶对红富士苹果糖分相关酶活性的影响.....	221
5.2.6 疏果摘叶对红富士苹果内源激素的影响.....	222
5.3 研究结论与讨论.....	223
5.3.1 套袋对红富士苹果品质的影响.....	223
5.3.2 苹果果实的糖组分及其分布.....	224
5.3.3 激素对苹果果实糖组分的影响.....	225
5.3.4 苹果果实的风味品质.....	225
5.3.5 库源调剂对红富士苹果品质影响.....	226
5.4 小结与展望.....	226
参考文献.....	228
作者简介	
参编人员	
附录 I	
附录 II	

第一章 新疆红富士苹果冠层光合特性

苹果种植过程中，其产量形成的关键因素为栽植密度、栽植结构、单株冠层空间分布、太阳辐射体系等(Widmer and Krebs, 2001; Wertheim et al., 2001; Caruso et al., 1999; 魏钦平等, 1997)。近年来，在苹果产业化过程中，以提高苹果单株产量、促进提前挂果为目标的新树形被用于实际生产中，如采用自然纺锤形、细长纺锤形、改良纺锤形和轻剪长放多留枝条等树形修剪方法，虽然产量得到提高，但是这些树形缺点也不可小觑，其在一定程度上会使枝条过多，管理不便，造成冠层郁闭，内膛光线不充足，从而使品质难以在短时间内提升(李邵华等, 2002; Wertheim et al., 2001; Caruso et al., 1999; 魏钦平等, 1997)。

目前，随着经济的飞速发展，人民生活水平的不断改善，消费档次的日益提高，人们对果实品质的要求越来越高，因此，对苹果无公害优质高产生产技术的研究和提高苹果内在品质和外观品质，以及促进我国苹果业的蓬勃发展具有重要意义。

1. 苹果树形的演化过程

在苹果栽培的历史过程中，起初人们并没有认识到果树整形的意义，树形大部分为自然圆头形。欧洲人对果树树形的修剪研究起源较早，到18世纪中后期，法国的宫廷花园内出现了专职的园艺师，机械地将果树修剪成美化形状，当然此种树形的结果量少可想而知，还会额外地耗费大量物力、钱财、人力。从20世纪50年代初开始，英国、法国、波兰等国家先后实施了果树矮化砧木育种工程，从而开启了果树密植栽培的先河。苹果的树形种类很多，按不同的分类依据可以划分为不同种树形，通常根据树冠的大小，一般将苹果分为三种树形，分别为小冠形、中冠形和大冠形(杨振伟, 1996; 束怀瑞和李嘉瑞, 1999)，其树体结构的差异主要体现在树高、树干高、枝组类型、枝条角度等构成部分和冠层的具体参数之间。随着栽培技术的发展，果树矮化密植大面积推广，矮化树形业已成为苹果最主要的栽培技术。目前，苹果栽培已经进入商品化、规模化的生产阶段，世界各国有其各具特色的修剪方式和修剪习惯，如美国的组合纺锤形、日本的开心形、澳大利亚的高密度篱壁形和意大利的高纺锤形等，这些树形普遍的优点是，通风好、易透光、树体更新快、单株产量高、品质上乘。

目前中国苹果树形经历了三个时期：自然圆头形时期，三大主枝半圆形时期

和开心形时期。我国早期苹果栽培以圆头形、半圆形为主,此树形树冠大,主枝较少,侧枝较多,留枝量多,亩产量也较高,修剪是通过增加小枝数量来维持树体的高产量。由于此种树形冠层体积大,树体冠层内枝条、叶片密度高,会使树体内部光线传输不畅,光合有效辐射减弱,致使果实总体品质下降,同时大冠树形成形较慢,其结果时期也会随之滞后,而且随着树冠体积的逐渐增大,光合有效辐射利用率也会大幅度降低(李邵华等,2002)。当前,我国普遍采用的开心形树形起源于20世纪80年代,这种树形的优点是透光性好,果实品质高,然而处于低树龄的苹果树单产普遍偏低,在长期生产过程中发现,树龄偏大的果树比较适合修剪成开心树形。因此,生产中较为新颖的疏层形、主冠分层形和纺锤形等树形被探索出来,并应用于实际。总体来说,研究果树适合的树形结构,对提高果实品质有现实的意义。

2. 果树光合作用研究进展

生物界获得能量及食物的重要基础途径是光合作用,光合作用是地球上规模最大的将太阳能转化为化学能的过程,也是规模最大的以无机物合成有机物及植物体吸收水分向大气圈释放氧气的过程,光合作用是地球上存在的众多化学反应中最重要。对果树开展的光合作用研究已经有200多年的历史,但是一直到20世纪60年代中后期,伴随当时先进科技的发展及理论创新,如红外线二氧化碳分析仪得到突破性改造和实际应用,从而使得关于果树光合作用的研究上升到一个新的台阶,特别是进入21世纪以来,无论在果树光合作用的研究材料上,还是在方法上都取得了巨大进步。

影响果树光合作用的因素有内因和外因两种。内因主要包括种类、品种、砧木、年龄、叶位、叶绿素含量等。不同内因的果树净光合速率的差异较大,对此前人进行了深入的研究,如符军等(1998)测定秦美猕猴桃净光合速率(P_n)只有陕猕1号的75%;朱林等(1994)在对毛葡萄、宝石、白玉霓和山葡萄的净光合速率的研究中发现野生种毛葡萄的净光合速率在其研究的待测品种中是最高的。韦兰英等(2009)测得龙眼净光合速率随叶龄增大而升高。在葡萄(黄从林和张大鹏,1996;李建华和罗国光,1996;沈育杰等,1998;商霖和刘英军,1989)、柚(王丹等,1995)、梨(谢深喜等,1996)、板栗(白仲奎,1996)、核桃(魏书蜜等,1994)、猕猴桃(彭永宏和章文才,1994)等其他果树上,净光合速率也因叶龄、叶位的不同而出现差异。外因主要是指光照(张规富等,2003; He et al., 1996; 徐凯等,2005)、二氧化碳浓度(王志强等,2000; 苏培玺等,2002; 潘晓云等,2002; Hamlyn, 1998)、温湿度(孟庆伟等,1995; 吕均良,1992; 陈志辉和张良诚,1994; 贺东祥和沈允钢,1995)、土壤养分(Pastor et al., 1999; 周蕾芝和林葆威,1990; 王乃江等,2000; 铭西和范丽华,1994)、病虫害(赵晓艳,

1996; 张伟和李先文, 2004; 于丽杰和崔继哲, 1995; 卢远华, 1998) 等。光是光合作用的原动力, 光照强度与光合作用的能量推动有关; 二氧化碳是光合作用的原料之一, 二氧化碳浓度和水分的多少与光合作用原料供应有关; 温度主要与酶的活性有关, 它不仅影响光合作用效率, 同时也是制约光合作用的主要因素之一。同一植株在不同的环境条件下其生长、发育状况也会有所改变, 进而其光合性能也相应发生变化。

果树的光合作用有消长动态(李道高, 1996), 消长动态分为日变化和季节变化。不同生长季节环境生态因子差异比较大, 与此同时叶片的光合速率也表现出不同的变化类型, 一般表现为以下三种: 单峰曲线, 如巨峰葡萄(郭继英等, 1994)、猕猴桃(谢建国等, 1999); 双峰曲线, 如苹果(杨建民和王中英, 1993)、李(于泽源等, 2004)、银杏(陶俊和陈鹏, 1999)、刺梨(文晓鹏等, 1991)、骆驼黄杏(张国良等, 1999); 三峰曲线, 如大磨盘柿(王文江等, 1993)。其中大多数植物呈现双峰曲线。

果树光合速率的日变化因树种、品种及栽植地区气候的不同也有所不同。其变化规律主要也有三个类型: 一是单峰曲线, 如核桃(张志华等, 1993); 二是双峰曲线, 如枣(王永蕙和李保国, 1990)、猕猴桃(韦兰英等, 2008)、阿月浑子(路丙社等, 1999); 三是三峰曲线, 如板栗(牟云官和李宪利, 1986)。对于大多数果树来说, 日变化规律也一样呈双峰曲线。主要是因为夏季的高温引起果树叶片的气孔关闭, 产生午休现象(郭华和王孝安, 2005)。

3. 果树冠层的研究和冠层分析仪的应用

植物冠层结构是植物群体的地上部分绿色覆盖层的总和(赵平等, 2002), 而果树冠层即指分布于树干地上部分的枝、叶、花、果等构成要素, 与其大小形状、空间分布方向等, 植物与环境的相互作用关系也是部分受到植物体冠层结构的影响, 这种关系反映了植物与环境间的物质能量交换情况和植物适应环境的能力(魏钦平等, 2004)。高效的光照条件取决于冠层结构是否合理, 它会影响果树的产量和果实品质的提高(Hampson et al., 2002; 李火根和黄敏仁, 1998), 因此, 定性测定和描述果树的冠层结构对探索和理解果树的大量生态过程显得极为关键。目前, 对于树木冠层特性的现有文献报道中, 对果树冠层的研究仅仅从叶生物量、叶面积等基本冠层指标进行总结分析(方升佐和徐锡增, 1995; 周国模和金爱武, 1999; 张显川等, 2005)。

植物与地球大气两者之间所进行的水分、二氧化碳和能量交换的主要界面是叶片, 叶面积指数(leaf area index, LAI)指单位土地面积上果树投影的总叶片面积, 该指数是衡量果树冠层生物学特性的一个主要参照指标, 叶面积指数对果园光能利用、果树产量和品质形成有着重要指示作用, 在很大程度上会决定果园

的投入产出效率(张显川等, 2006; Waring, 1983; 岳玉苓等, 2008; Watson, 1947)。

LAI 最初应用于作物学, 主要的目的是明确作物产量发展的动态学指标(Watson, 1952; 坎内尔, 1981)。Watson 在 1971 年的研究发现 LAI 的变化是植物的收获量差异的最主要原因(胡延吉等, 2000), 之后叶面积指数成为果树生理生态研究和农作物与良种选育的一个重要参数, 并且得到广泛应用(张佳华, 2001)。现在 LAI 已成为研究植物群体和群落生长分析时必不可少的一个重要参数。同时 LAI 还广泛地应用于景观、林分和地区尺度上对水分通量、碳、能量等的研究, 现在已经被成功用于景观尺度上及林冠水平上模拟水分蒸腾蒸发损失总量, 成为估测景观水平及林分尺度上森林生产力的最重要参数(Pierce and Running, 1988; Coops et al., 1998); 此外, 运用遥感技术计算叶面积指数已经在研究建立森林生态系统的生长模型和其能量及水分交换方面获得了重要的进展(Jing et al., 2002, 高登涛等, 2006)。

测量或估计 LAI 的方法目前有直接测量法和间接估计法(王谦等, 2005)。直接测量法有具破坏性、耗时耗力、不能重复、操作困难并且很难测量叶面积的动态变化等问题(Chason et al., 1991)。近几年, 间接估计果园或森林的 LAI 的方法取得了迅速的发展和广泛的应用。间接法又能分为光学法和异速生长法。

利用光学方法测定叶面积指数中, 基于冠层图像数字分析技术的冠层分析仪, 具有携带方便、自动数字存储、测定迅速等特点, 在实际研究中得到广泛应用, 如美国进口的冠层分析仪 LI-COR、CID 系列(Dufrene and Breda, 1995; 郝玉梅和李凯荣, 2007)。

高登涛等(2006)利用 Wins Canopy 型冠层分析仪测定了渭北地区 110 株苹果树的冠层结构光学特性, 其结果表明苹果冠层特征的相关参数中, 不同树体之间各个冠层参数差异很大, 叶面积指数、冠层有效辐射通量、间隙指数、开度和定点因子的各指标有一定的关联性, 说明这几个冠层特征的相关参数对苹果冠层截获光的能力的影响较强, 而聚集因子和均值叶角等指标与苹果冠层有效辐射的通量定点因子之间的相关性不显著, 不同苹果树的个体间差异极其微小。由此项研究结果说明该冠层分析仪对苹果的冠层分析及光学特性评价有一定可靠性, 并可以加以实际应用。

郝玉梅利用基于半球影像系统技术的 Hemi-View 型冠层分析仪测定了不同树龄、树形及修剪程度的苹果树的冠层特性与光照强度的关系, 其研究结果表明相比较于轻度修剪的苹果树, 重度修剪的苹果树透光率大幅度提高。有关研究表明苹果树随着树龄的老化, 叶面积指数也有增加的趋势, 其光能截获的效率也适当增强(伍涛等, 2008)。

当然, 各种冠层分析仪是在假定植物冠层内叶、枝、干和果等元素随机分布,

依据冠层间隙度或光学特性反演 LAI; LAI 是一个无量纲、动态变化的参数,随着叶子数量的变化而变化。另外, LAI 与果树叶子的生长和果树种类自身特性、外部环境条件及人为管理方式有关,而用冠层分析仪测量 LAI 时,忽略了其他元素(枝、干和果等)对辐射传输的影响,所以冠层分析仪所测得 LAI 值比实际的 LAI 值要小,因此实际测量中不仅为了不给果树带来伤害,应用间接测量法,而且要额外注意应用间接测量法时产生的误差。

4. 果树光合有效辐射研究进展

光合有效辐射(photo-synthetically active radiation, PAR)作为植物生物量形成的最基本能源,通常是绿色植物用以产生光合作用的太阳辐射,其可以直接影响作物的发育生长,进而影响作物产量,以及品质的提升(李韧等, 2007; 王锡平等, 2004),光合有效辐射的波长为 400~700 nm。

乔木有不同的冠层结构,光合有效辐射在树体冠层内部的分布状况也不一样,光合有效辐射在时间上表现出动态性,而其在空间上则表现出异质性;在植物树体冠层中的光合有效辐射分布受到多种环境及自身因子的影响,如太阳辐射强度、太阳高度角、树体冠层结构、叶面积指数、叶片着生角度、树体透光率和叶片生理特性等。

国外在 20 世纪 50 年代已有关于光合有效辐射的研究,Seaki、Monsi 等最早将比尔定律用于植物树体冠层辐射的传输和分布研究,目前大量学者已经在玉米、小麦和水稻等大宗农作物上先后开展了冠层内分布影响因子的前瞻性研究(Boote and Pickering, 1994)。

国内学者对植物树体冠层辐射的传输和分布的研究比较晚,刘洪顺是我国研究植物有效辐射的先驱,其有效测定了植物有效辐射(刘洪顺, 1980),董振国和周允华等分别测定了森林、农田的有效辐射率,反射率及其透射比(董振国和于沪宁, 1989; 周允华等, 1984),而王锡平等(2004)采用冠层分析仪(ACCUPAR)测定并分析了玉米植株冠层内的光合有效辐射三维体系,但是这些开展的研究基本上侧重于测量冠层上方光能辐射强度。

综上所述,植物光合作用对生长发育起着决定性作用,对光合作用有影响的因子既包含植物自身的种类、树龄、叶片叶绿素含量、叶片位置和酶类等内因,也包括太阳辐射、温湿度、二氧化碳、水分、营养物质含量和其他环境因子等外部因子,植物冠层内的光分布造成的光合作用差异是其他因素的作用无法比拟的,因此植物树体的光合有效辐射分布状况对植物光合作用起最主要作用。由于植物的冠层结构不尽相同,其内部的光合有效辐射分布量也不同,在实际生产中通过适当修剪等栽培措施形成较为合理的树体冠层结构,从而提高冠层有效辐射的传输效率,以提高植物群体光能利用率。

5. 树形与冠层温湿度的关系

温度是制约果树地理分布和光合生产力的一个重要的环境因素,是果树树冠内重要的微域气候生态因子,是果实生长发育的关键影响因子。它不仅影响代谢中所有的生物化学过程,而且影响果树体内的物质扩散等过程,从而影响生长和发育。当植物水分减少时,冠层温度相应上升,因此植物的冠层温度就能反映植物的水分状况,是检测植物是否受到水分胁迫的重要标志之一。同时,冠层的温度是通过植物的气孔导度(Cond)、蒸腾速率(Tr)、净光合速率、叶片的含水量和酶的活性等因素来影响植物的生长。

相对湿度是冠层内实际水汽压与当时气温下的饱和水汽压的比值,它的大小可以直接表示空气距饱和状态远近的程度。在种植过程中,相对湿度主要取决于水汽压和温度相互制约,另外温度的变化会更加明显并且快速。相对湿度对植物光合过程的影响不仅表现在微观层次上,其能改变植物叶片的气孔导度(Gs),进而影响植物的净光合速率和蒸腾速率;相对湿度还可以影响地表面的蒸发,使植物的根系对土壤水分的吸收受到影响,进而影响植物生长所需要的营养的供应。

杨振伟等(1998)研究了富士苹果两种不同树形、冠形的微气候,结果发现,五主开心形和自然圆头形在相同冠层内不同部位的湿度差异明显。他们的研究表明,冠层内叶面积指数、天空可见度、各枝条的分布、叶幕的厚度等都与冠层的温度和相对湿度有关。Reay和Lancaster(2001)研究发现:红富士苹果五主双层开心形树冠内不同方位和不同高度的温度平均值显著地高于自然半圆形。杨振伟等(1998)研究表明,树冠不同部位温度分布特征值在两种冠形上表现不同,在树冠同一方位的冠东、冠北和冠中差异显著;不同高度上,两种冠形在冠中距地面高1.0~1.5 m和2.5 m处的温度差异不显著,但在2.0 m处差异显著。五主双层开心形树冠整体的温度显著高于自然半圆形,冠内不同水平方位上的温度、风速、相对湿度、紫外线辐射度及冠内蒸发量均明显不同且差异显著;在冠内不同高度上的温度、风速差异较小。五主双层开心形冠层和同一冠层不同方位相对湿度显著高于自然半圆形相对湿度。李国栋等(2008)的研究表明低干开心形树冠层相对湿度较大,小冠疏层形冠层的相对湿度小,自由纺锤形的相对湿度最大,它们冠层内的温度变化差异不明显。

6. 补光措施对果实品质的影响研究进展

(1) 套袋栽培管理技术

果实套袋具有增加果实着色、提高果面光洁度、防治病虫害、降低果实中农药残留、减轻对环境的污染、增加果实贮藏的时间等作用,同时,通过套袋可以

提高果实质量和市场竞争力,增加果农的收入(沙守峰等,2009)。

目前生产上应用的果袋主要有双层纸袋、单层纸袋和塑膜袋,不同的果袋改善果实外观品质的效果也不同,双层纸袋最好,单层纸袋次之,塑膜袋效果最差,生产上几乎无应用价值。

世界上最早开始果实套袋的国家为日本,起初日本学者用旧报纸巧妙地缝制成袋子套在果实上,并发现起到了防病虫害作用。后期,通过多方面的研究,日本学者又开发了一种防病虫害效果明显的双层纸袋,广泛地应用于苹果和梨上(杨尚武,2004)。韩国开始使用果实套袋技术始于20世纪80年代,由于劳动力欠缺等,韩国试用套袋管理栽培技术没有进行广泛的应用。

我国从日本和韩国等国家引进套袋技术及纸袋,进行了大力的推广。特别是最近的十年来,果树套袋的技术在我国的推广与应用越来越得到重视,人们对此进行了深入的研究。目前我国陕西、山东、辽宁、河北等地区大量使用苹果套袋栽培技术(刘志坚,2001)。最初的苹果套袋试用的纸袋主要是用新闻报纸粘制而成的,随后在20世纪80年代起开始试用韩国纸袋和日本纸袋。之后为了降低套袋果实的成本,国内的很多教学单位、科研单位及有关部门进行了国产纸袋的研制和开发。90年代末的时候,纸袋的成本有些高,我国很多地区农民开始试套塑膜袋,在保持果面的光洁度和防治病虫害等方面获得了比较理想的效果,且价格相对便宜。因此,套塑膜袋在某些苹果产区开始大量推广。苹果的全套袋技术的推广也是从塑膜袋开始的。2000年以来,我国的一些果农利用膜袋和纸袋的优点,对富士苹果进行套纸袋和塑膜袋相结合的办法,生产了无公害的优质苹果(黄春辉等,2007)。这样既能利用膜袋果面光洁、基本上无裂果的优点,又能使纸袋发挥使果实着色鲜艳、遮光褪绿的作用。

A. 套袋对果实外观品质的影响

花青苷是决定果实色泽的主要色素。套袋后袋内的微域环境发生了变化,因而影响果实色泽的形成和转变。通常,果实套袋后,袋内的光照强度非常弱,花青苷的合成受阻,果实的表面黄化呈乳白色。袋子去除后,果实中的花青苷合成相关酶的水平升高,花青苷的合成积累增加,使果实的颜色迅速变红,这个时候叶绿素的含量明显低于没有套袋子的果实,并且果实在套袋的发育过程中,果皮中的花青苷、酚类物质、类黄酮、叶绿素等的合成被抑制,当袋子取下来后,果皮中的花青苷、酚类物质、类黄酮、叶绿素等物质的合成与积累又迅速提高,从而改变了花青苷的显色背景,使套袋果实色泽鲜艳。

果实套袋之后,处在温湿度相对比较稳定的条件下,避免了药剂、风、雨、有害光线、机械摩擦、烈日等因素对果皮的刺激和损害,确保了果皮的正常良好发育,提高了果面光滑洁净度、果面光洁指数,并让果锈指数降低。果实套袋之后,由于果袋的保护,一些外部的病虫害难以入袋侵害果实。据研究,套袋苹果

虫果率比对照降低了 97.8%。

果实大小是评价果实外观品质的重要指标，常以单果重衡量。在优质果品商品化生产中，小于标准大小的果实的品质和商品价值均比较低。套袋影响果实的大小，不同材质的袋子对果实大小的影响也不同。套塑膜袋可增加果实单果重，但是套双层的纸袋子的效果相反，潘增光和辛培刚（1995）的研究也发现，套塑膜袋和黑袋后，抑制了红星苹果的生长发育。李振刚等（2000）试验结果表明，套塑膜袋可以明显增大红富士苹果的果个，而套了双层纸袋的果实的果个略小于没有套袋的果实。王少敏等（1998，2001）试验结果表明，套了双层纸袋的红富士苹果的果实与套了单层纸袋的果实的单果重差异不显著。套袋对红富士苹果果实的果形指数的影响不显著。

B. 套袋对果实内在品质的影响

研究表明，果实套袋后使袋内形成了一个独立的微域环境，类似于温室环境。在此环境下，果实的呼吸作用较强，对能量的消耗有所增加。苹果果实套双层的纸袋后，对光的吸收能力下降，进而影响糖酸等的积累（高华君等，2000），还原糖和可溶性糖的含量明显降低，可滴定酸含量也下降较多，但是糖酸的比值略有所升高（Arakawa et al., 1994；卜万锁等，1998）。芳香物质和抗坏血酸的含量也下降（范崇辉等，2004；辛贺明和张喜焕，2003）。陈敬宜等（2000）研究发现，所选袋子的不同、不同的套袋时期和摘袋时期对果实糖类物质的积累影响不同，孙忠庆等（1995）在试验中也发现，取袋过晚会降低红富士苹果的可溶性固形物的含量。套袋对红富士果实中淀粉含量、总糖及可溶性固形物的积累也有很大的影响，其中，套双层纸袋的红富士果实的淀粉含量为最低，未套袋果的淀粉含量高于单层纸袋果的淀粉含量；套单层袋果实的总糖、可溶性固形物的含量显著高于套双层纸袋的果实。

（2）铺反光膜及摘叶转果栽培管理技术

果树下铺设反光膜可以调节果树冠层的微环境，也是提高水果果实品质的主要技术措施之一。近年来，我国在梨、苹果、葡萄、荔枝、柑橘等果树栽培中实施铺设反光膜技术使得其外观品质改善，市场竞争力和经济效益明显提高。铺设反光膜除了能改善果实色泽和光洁度外，还能加速果实内淀粉的转化，提高果实含糖量，提高果实的花青苷及可溶性固形物的含量，与此同时果实风味变浓。

A. 铺设反光膜对果实外观的影响

铺设反光膜可以改善树冠内膛和下部的光照条件，主要解决了树冠下部果实和背阴面果实的着色不良问题，从而对果实的外观品质产生影响。

冯传余（2002）对蜜柑的树冠内铺设了反光膜，试验结果表明，蜜柑内膛果、中下部果相对不做任何处理的绿黄色果实，颜色鲜亮，大多呈现橘红色，外观品质相对较好。夏国海等（1998）在红星苹果铺设反光膜对微域环境的影响方面也