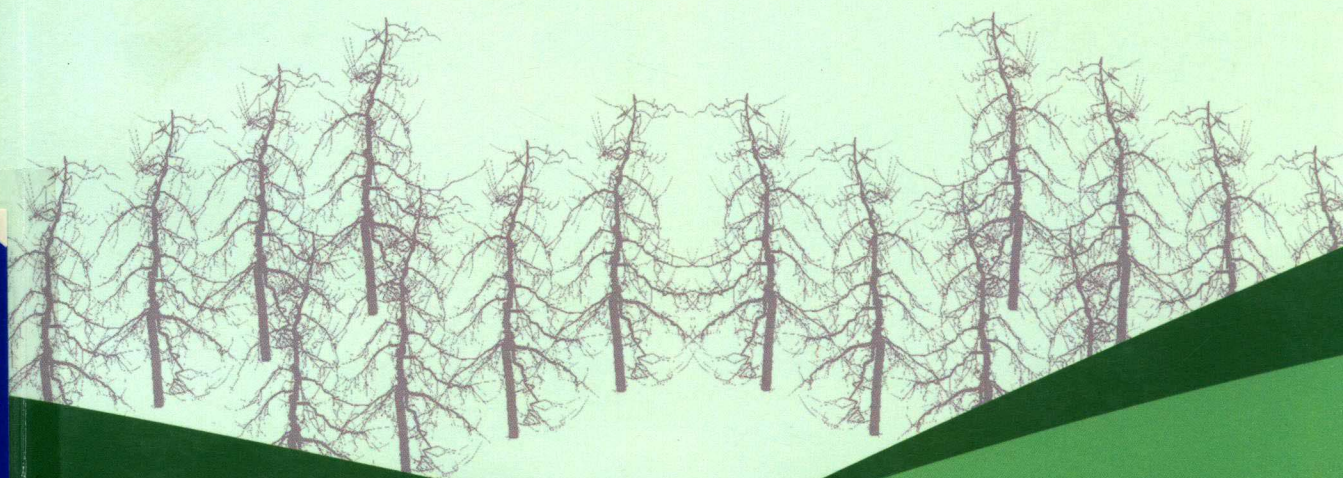


*Theory and Practice
of Apple Development Regulation
in the Loess Plateau*

黄土高原苹果发育调控 理论与实践

韩明玉◎主编

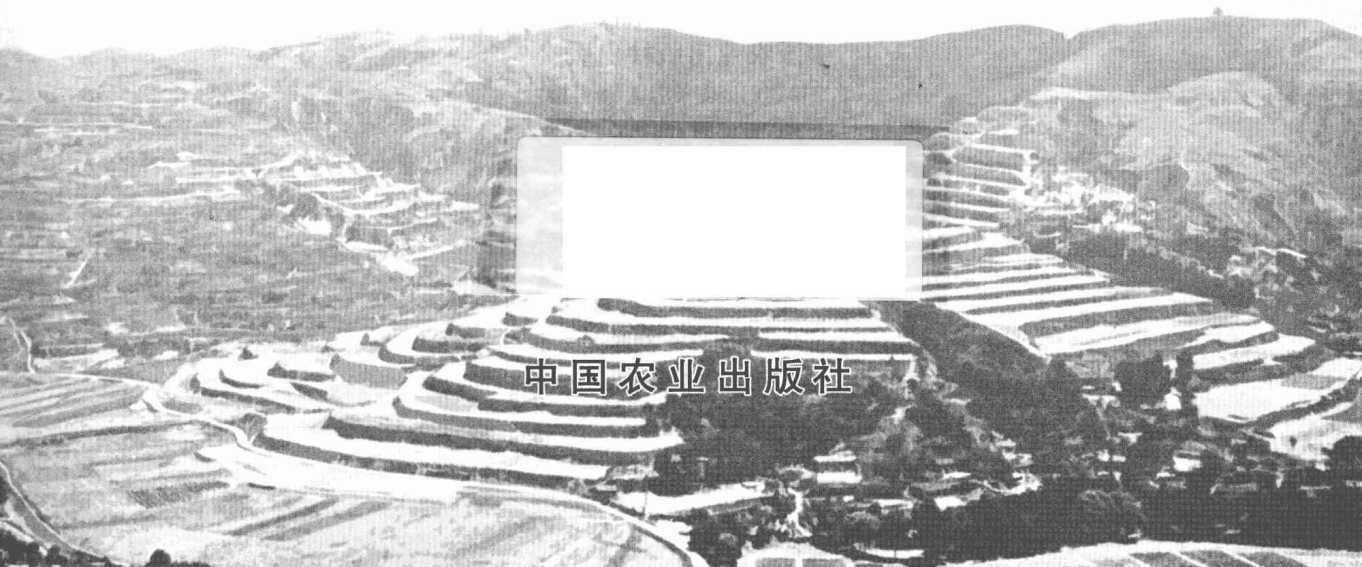


 中国农业出版社

黄土高原苹果 发育调控理论与实践



韩明玉 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄土高原苹果发育调控理论与实践/韩明玉主编.

—北京: 中国农业出版社, 2015.2

ISBN 978-7-109-20052-4

I. ①黄… II. ①韩… III. ①黄土高原—苹果—发育—调控—研究 IV. ①S661.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 005369 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张 利 黄 宇

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 38.25 插页: 4

字数: 979 千字

定价: 150.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 韩明玉

编 者 韩明玉 李丙智

范崇辉 张立新

张林森 张 东

黄土高原是我国最大的优质苹果生产基地，其光热资源丰富，昼夜温差大，果品色泽鲜亮，含糖量高，肉质脆，耐贮藏。同时，该区土层厚，降水量偏少(430~630mm)，且季节分布不均，造成了该区域苹果生长发育性质的特殊性和调控技术的独特性。《黄土高原苹果发育调控理论与实践》一书针对黄土高原苹果园水分不平衡、果园郁闭、富士品种较难成花、大小年现象严重等突出问题，历时10余载，研究了黄土高原苹果发育特点和针对性的调控技术，建立了黄土高原苹果矮砧集约栽培模式及技术体系。

该书获得的系列创新性成果，为推动黄土高原苹果产业发展做出了卓越贡献。主要表现在：1) 对生产上主要品种和砧木抗性进行了研究评价，筛选出了适宜黄土高原地区发展矮化砧木及砧穗组合；2) 揭示了黄土高原苹果矮砧栽培品种、中间砧、基砧三者之间互作生根关系，确定了各区域矮化砧木利用方式，研究了黄土高原苹果矮砧栽培早果丰产的生物学基础，研究创制了适宜黄土高原矮砧栽培的高细纺锤形树形，为旱地苹果矮砧栽培提供了理论依据和技术支撑；3) 建立示范了苹果优质无毒带分枝大苗繁育技术体系，促进了我国苹果苗木质量的提高；4) 研究了黄土高原苹果花芽分化的生物学和分子机理，阐明富士难于成花的原因，提出了下垂枝修剪等调控技术，通过对结果枝组的培养，克服了富士大小年结果的问题；5) 摸清了黄土高原苹果园土壤水分时空分布特征，在黄土高原苹果园土壤“干层化”的情况下，首次建立了旱地果园微垄覆盖土壤管理制度，通过对地下部水分养分调控，形成浅层土壤稳定缓冲层，培养优质吸收根，进而达到对枝芽叶发育有效调控。



总体而言，本书紧密结合黄土高原实际，走出了适宜黄土高原旱地栽培矮砧苹果特色道路，有力促进了我国苹果栽培制度的变革，支撑和引领了黄土高原区苹果持续健康发展和我国苹果西移的战略性转移。

乐意作序推荐！

中国工程院院士

山东农业大学教授

束怀瑞

2014年11月22日



黄土高原光照充足、昼夜温差大，有生产优质苹果的天然条件，目前苹果面积占全国的 53%、世界的 27%，规模优势十分明显。当地果农和政府发展苹果产业的积极性空前高涨，苹果真正成为这片贫瘠地区果农致富的支柱产业。但是该地区苹果园单产和果园效益比世界先进生产国还有较大差距，与我国东部主产区也有一定差距。除果农技术水平和素质差异之外，重要原因是未能真正按照苹果发育规律，找到适合该区域的苹果科学栽培管理技术，同时现有苹果栽培制度落后。目前矮砧密植是世界苹果栽培发展方向，而黄土高原 92% 的果园仍是乔砧密植，10 年后大多郁闭、光照不良，需要改形透光，占果园面积 65% 以上的富士苹果幼树难于成花，成龄树大小年结果现象严重。黄土高原干旱缺水，旱地果园要不要和能不能发展矮砧栽培，理论上没有答案，实践上存在争议，这是亟待解决的、关系到该区苹果发展前途的首要问题。二是黄土高原现有乔砧果园树体生长过旺，枝芽调控技术繁琐复杂，果园改形和肥水调控缺乏科学量化指标。研究揭示苹果矮砧集约栽培理论基础和树体枝芽发育调控机理，建立黄土高原旱地苹果矮砧集约栽培体系和创新关键生产技术，对提高整体生产技术水平和竞争力有重要意义。

针对黄土高原苹果郁闭果园营养生长与生殖生长失调现状，农业部黄土高原苹果发育生物学和矮砧集约栽培创新团队系统开展了黄土高原苹果发育调控研究。通过引进国内外优良砧木与品种，进行抗旱抗逆评价，确定抗性生理机制，培育筛选出适应黄土高原发展的苹果矮化砧木和砧穗组合；研究旱地矮砧栽培生物学基础，建立矮砧集约栽培技术体系；从黄土高原苹果枝芽发育特性及花芽分化机理、树形光截获评价和水分养分吸收运输动力学模型等着手，研究下垂枝修剪促花和改形透光技术、果园根际环境管理与肥水高效利用技术，调控枝芽发育，使更多养分向生殖器官转移，确保黄土高原苹果持续高效健康发展。本书是本团队 10 多年研究成果的集结和汇总，以期为黄土高原区苹果发展提供理论和实践参考。

一、揭示了黄土高原旱地苹果矮砧栽培生理机制，在国内首次建立了苹果矮砧集约栽培模式和技术体系，有力促进了我国苹果栽培制度的变革

1. 系统评价了国内外主要品种和砧木资源的抗逆性，选育出了一批适合黄土高原的砧木和品种，确定了适宜的砧穗组合 大量收集国内外苹果品种和砧木资源，包括世界上最新育成的苹果新品种和新砧木，并对其进行抗逆性鉴定。针对黄土高原干旱缺水，土壤 pH 偏高，夏秋降水过于集中，土壤易板结，苹果腐烂病、褐斑病高发等突出问题，对生产上主要



品种和砧木的抗性进行评价,证明富平楸子 WUE 高、耐旱性与耐盐性强, B9 和 Pajam1 中间砧抗旱性强,同时,研究了苹果品种和砧木抗旱抗逆机理。

首次在国内提出了矮化砧木筛选原则,除抗旱、耐寒性外,促进富士容易成花,同时幼树容易成形是关键,而矮化性则次之,改变了对矮化砧木的筛选标准。首先从法国引进国际上广泛应用的 T337 矮化砧木,在陕西进行了大规模的示范,同时无偿提供给全国同行试验栽培。育成推广了富红早嘎、红香脆、秋红嘎拉等苹果新品种,丰富和优化了黄土高原早中熟品种结构。在广泛调查、多点区试和系统评价基础上,明确了 T337 矮化砧木、M26 双矮栽培组合、SH 系砧木的适宜区域,以及各类长枝富士、短枝富士的特点与适宜的砧穗搭配组合,提出了黄土高原各区域苹果适宜的砧木和砧穗组合。

2. 揭示了黄土高原苹果矮砧栽培品种、中间砧、基础三者之间互作生根关系,确定了各区域矮化砧木利用方式,为旱地苹果矮砧栽培提供了理论依据 在国内首次发现黄土高原 80% 的苹果园树栽植过深,基础、中间砧根系萎缩,富士品种直接生根起到了根系主要作用,导致树体抗性减弱,生长旺盛,难于成花,成龄树大小年结果现象严重。栽植过深的主要原因,一是国家苗木标准中规定基础长度小于 5cm,基础太短,而国际标准为 15~20cm;二是黄土高原干旱缺水,深栽利于幼树成活和快速生长。因此,栽培深度要适合,必须杜绝品种生根。研究发现,中间砧木埋土越深,中间砧大量生根,基础根量减少,品种生长类激素 IAA、GA、ZR 含量越高,矮化作用越弱,树体越大;中间砧埋土较浅或全露地面,中间砧生根较少或不生根,基础根系发达,品种生长类激素含量降低,矮化作用越强,树体较小。这一发现为通过中间砧埋土深浅,调控树体大小提供了理论依据,也为矮化苹果在旱地栽培提供了技术支撑。基于这一发现,对旱作果园,建议利用矮化中间砧,实行埋土深度动态管理;对灌溉果园,建议利用矮化自根砧,建立新模式技术体系。

3. 研究创制了适宜黄土高原矮砧栽培的高细纺锤形树形 近 20 年来,乔砧苹果园树形由主干疏层形、开心形,发展到自由纺锤形,但矮砧密植果园仍采用自由纺锤形,树冠偏大,容易郁闭。本团队结合黄土高原地区生态条件,创造性地设计了高细纺锤形树形,中心干保留 25~30 个小主枝,拉枝下垂;树高 3.5~4.0m,每 667m² 枝量 6 万~8 万条。其特点是:光截获效率比自由纺锤形高 14%,果台副梢高 53%,果台副梢叶面积增加 155%;单位叶面积产量及单位空间产量分别高 1.21 倍和 0.59 倍,果实品质显著优于自由纺锤形。高细纺锤形适宜光截获效率为 0.1632,适宜叶面积指数 3.16。树体紧凑,修剪量小,易于成花结果,便于机械化操作,目前已成为黄土高原矮砧集约栽培模式的主要树形。

4. 研究建立了苹果优质无病毒分枝大苗培育技术体系 在陕西、甘肃等 5 省 113 个苗圃调查显示,黄土高原区苹果苗木质量极差:乔化苗符合国家苗木最低标准 3 级苗及以上的比例仅为 28.8%;三年生矮化苗仅为 25.8%。研究了苹果幼苗枝芽促发机理、分枝管理对树体生长发育和营养吸收分配的影响,首次在国内提出了苹果带分枝大苗培育技术;查明了植株密度与器官构建的动态营养平衡关系,提出 60cm×20cm 或 10 株/m² 是黄土高原苹果最佳育苗密度;建立了苹果矮化砧木自根苗繁育技术和品种砧木脱毒、检测、快繁技术体系。



5. 研究了黄土高原苹果矮砧栽培早果丰产的生物学基础, 阐明矮砧栽培是一个低消耗、高产出的栽培模式。从解剖结构上研究了 M9 和 M26 中间砧矮化苗生长特性, 探讨了中间砧的致矮解剖机理。矮化中间砧通过影响叶片、新梢与茎段结构来影响整株生理代谢, 使树体长中短枝比例由 $(1.0 \sim 1.5) : (1.5 \sim 2.0) : (6.5 \sim 7.5)$ 改变为 $1 : 1 : 8$, 大幅提高短枝比例, 利于花芽形成, 缩短了生物学幼年期。从生理机制分析, 矮砧根系 CTK 含量较高, 品种容易分枝, 营养生长向生殖生长转变加速。系统研究矮砧与乔砧果园树体光合日变化、季节变化, 以及碳水化合物分配发现, 黄土高原矮砧树果实、叶片、枝干根系得到的碳水化合物分别为 67%、18%、15%, 分配到果实中的比例较同龄乔砧高 10~15 个百分点, 树体光合生产效率高, 经济系数高。同时, 矮砧栽培模式比传统乔砧模式结果早, 便于机械化操作, 矮砧模式在 20 年生命周期内比传统乔砧模式 25 年生命周期内的经济效益高 16.3%, 经济利用土地。

综上所述, 本团队首次在国内建立的矮砧集约栽培模式技术体系特色明显, 更适合黄土高原和中国区域特点, 专家认为整体达到国际先进水平。

二、研究了黄土高原苹果树枝芽发育特性与调控技术, 建立了 3D 技术评价树体结构的方法和指标, 创新性提出了富士下垂枝修剪促花和郁闭园改形透光技术

1. 明确了苹果花芽分化分子机理, 查明了黄土高原富士难于成花原因, 在国内首次提出了下垂枝修剪是解决富士成花的有效措施。明确了黄土高原区富士苹果花芽生理分化期在 5 月 20 日至 6 月 20 日, 形态分化期在 6 月 20 日至 10 月 20 日。采用 PBO 和拉枝促花处理, 激素信号通路首先发生改变, IAA、GA、CTK 的多个调控基因差异表达, 导致 CTK/(IAA+GA) 值增加。同时, 光合通路光系统 *PsaB* 和 *PsaD* 等及淀粉和蔗糖代谢通路相关基因上调表达; 谷氨酰胺等氮代谢通路氨基酸合成相关基因下调表达, 枝条顶端分生组织 C/N 比值增加。在激素信号和营养物质积累双重作用下, 顶端分生组织成花相关 *CO*、*FT*、*SPLs* 等基因上调表达, 成花抑制基因 *FLC* 等下调表达, 促进顶端分生组织分化, 形成花芽。鉴定出 miRNA159a、miRNA166a、amiRNA394、miRNA827 通过对靶向激素信号通路、光合通路、糖代谢通路、氮代谢通路以及成花相关基因, 参与苹果花芽孕育调控; 鉴定出 miR156 和 miR172 通过靶向成花关键转录因子 *SPL2*、*SPL9* 等, 参与苹果童期转变调控。

黄土高原 80% 的果园 N 含量偏高, 富士枝条易旺长, 春梢停长期较嘎拉延迟 10~15d。尽早促使富士短枝停长, 提高短枝芽 C/N 比例与 ABA 和 ZR 含量, 是富士成花关键机制。¹³C 和 ¹⁵N 示踪证明, 拉枝下垂, 顶芽 C 素积累急剧增加, 向外运输急剧减少; 氮素吸收下降, 顶芽总氮含量降低; 从而使顶芽总糖含量和 C/N 比值增加; 短枝顶端的 ABA 和 ZR 含量增加, IAA 和 GA 含量降低。本项目提出的将富士树大多枝条拉枝角度由 70°~80°加大到 110°促进成花的观点, 发展了苹果拉枝和整形修剪理论, 是一大改进和创新, 并有效解决了富士难于成花问题, 生产上已经得到广泛应用。整形修剪一直要求每个主枝和每个结果枝组上营养生长和生殖生长平衡, 本团队提出了整株营养生长和生殖生长平衡的理念: 将大量枝条拉枝下垂, 培养结果枝组结果; 而整株预留 5%~7% 直立营养枝, 以保持树势, 是对枝



条进行功能化分类处理的创新性整形修剪思路。

2. 揭示了树体枝芽发育、光截获与果实品质间的关系,建立了3D技术评价树体光截获方法和指标,提出了多套适合不同地区郁闭园树形改造技术方案。树体是否郁闭,应有量化评价指标体系。过去以冠层不同部位光的实际测量为基础,测定是静态的,数据易受经验及外界环境条件影响,精确性不高。利用三维数字化方法建立植物虚拟三维模型,可以精确化评价太阳光的连续变化、树冠局部和整体光截获量、光积累量等动态指标。本团队以数字化测定树体枝条空间坐标为基础,结合构建枝叶变异关系、枝叶欧拉角度分布等,构建了高细纺锤形和自由纺锤形三维虚拟冠层;借助VegeSTAR软件,分析了整体冠层结构信息、各枝类光截获量、不同枝类叶片、光截获效率和果实空间分布,揭示枝叶果之间相关性。得出光截获(STAR)可以作为郁闭果园光照时空变化精确化评价指标。黄土高原大多郁闭果园叶片STAR值在0.12以下,合理的叶片光截获值应大于0.15。据此,制定了以间伐为主,落头、抬干、疏枝和瘦身等多种方法灵活应用的郁闭果园改造技术规范,在黄土高原区推广22.3万 hm^2 ,极大地改善了该区域果园郁闭状态。

三、明确了黄土高原苹果园土壤水分时空分布、干层化的区域特征和树体养分吸收规律,建立了水分动力学模型和旱地果园微垄覆盖集雨保墒土壤管理制度

1. 明确了黄土高原苹果园土壤水分时空分布与干层化的区域特征。黄土高原苹果产区年降水420~630mm,65%以上集中在7~9月,北部果园几乎全靠自然降水。采用定点土壤水分连续监测方法,对陕西从南到北苹果主产县果园的土壤水分分异特征和干层化特征进行分析,陕西苹果园由南向北土壤贮水量逐渐降低,土壤水分亏缺加重;4~6月北部丘陵沟壑区果园土壤水分亏缺度高达18.5%~47.5%,黄土残塬区为7.8%~20.3%,关中平原仅有1.2%~6.3%。在栽培密度一致的条件下,矮化果园5m土层的土壤含水量均高于乔化果园。

首次发现,十五年生以上旱地苹果园土壤出现干层化现象,且由南到北加重。米脂、安塞果园干层在2m左右出现,洛川果园从2.5m开始产生。干层或由于降水少不能补充果树消耗造成,或由于产生径流、降水未能全部入渗造成。干层形成后,根系无法穿过,深层水分难以利用;不及时补水,果树生产难以为继,说明这种水分利用模式果园难以持续发展。

2. 系统监测了黄土高原旱地果园树体水分代谢规律,建立了水分动力学模型。采用热脉冲探针等技术,首次测定了富士树干不同部位径向水分液流移动速率,计算了整株水分吸收过程;依据气象因子变化和苹果叶面积指数,结合整体光合、蒸腾测定数据,建立了果园水分吸收动力学模型。以陕西渭北富士果园生长季为例,4~10月总蒸散量为587mm,日均蒸散量为2.79mm;7月最大日均蒸散量为3.59mm;4~7月是该区苹果水分供应矛盾突出期。满足优质苹果生产年蒸散量为670mm,蒸散量明显大于降水量。因此渭北苹果园需要在水分敏感关键期,限量灌溉或地膜覆盖果园,减少蒸发,促进水分高效利用。

3. 摸清了黄土高原苹果园土壤养分时空分布特征,研究了树体养分吸收规律,结合高



产典型果园的解析,建立了配方施肥方案 对黄土高原苹果主产区 213 个果园 0~40cm 的土样和 316 个果园叶样测定表明,80%左右的果园有机质含量偏低,含氮量偏高。陕西关中果园氮、磷过高、养分供应不平衡现象更为严重。过多施氮造成了活性钙淋失,使大量元素吸收失衡,影响了苹果质量和耐贮性;过多施磷产生了磷锌拮抗,造成微量元素吸收受阻,导致不少地方出现微量元素缺乏症状。通过¹⁵N 示踪和田间试验,研究了苹果 N、P、K 需求规律。采用 Field-Spec Pro 便携式光谱仪和叶绿素计 SPAD 等,初步建立了苹果树的早期营养诊断和叶片全 N 含量的预测模型;根据苹果园土壤养分和叶片测定结果,制定了因园定量施肥标准,纠正了盲目施肥和“高肥高产”的认识误区,使施肥逐渐步入科学化、标准化和平衡化轨道。

4. 建立了旱地果园微垄覆盖集雨保墒土壤管理制度 根据黄土高原降水量少而不均衡、土层深厚、春季蒸发量大等特点,结合全根灌溉、半根灌溉与常规灌溉及根系观测等研究成果,建立了旱地果园微垄覆盖集雨保墒土壤管理制度。从树冠外沿投影处由行间向行内起 8~10cm 的垄,内高外低,覆草或覆膜,垄两边挖 2 条深 10~15cm、宽 15~20cm 的排灌沟,利于雨季排水和沟内灌溉。为了提高集雨效果,减少土壤蒸发,在集雨沟内覆盖秸秆,基肥和追肥也可在集雨沟内行施或穴施。

这项土壤管理制度,通过防止蒸发消耗,保证表层土壤的理化、生物特性,不使土壤水分养分剧烈变化,形成浅层土壤稳定缓冲层,同时两边的排灌沟有利于培养优质吸收根,进而达到对枝芽发育有效调控。可以使树体 5~6 月 0~40cm 土层土壤含水量由 12.5%提高到 15.7%,基本满足了春夏树体对水分的需求。在黄土高原区生产上广泛应用,累计推广面积 13.7 万 hm^2 ,缓解了黄土高原区苹果园土壤干层化的趋势。

四、充分发挥协会、企业等市场化推广主体的作用,在国内首次实现了 IFP 果品综合生产制度在生产上的大面积应用。

新栽培模式累计推广 11.3 万 hm^2 ;不同类型郁闭果园改造和富士下垂枝修剪技术 22.3 万 hm^2 ;果园微垄覆盖 13.7 万 hm^2 ;IFP 制度 8.7 万 hm^2 ;年经济效益 20.5 亿元。

项目组牵头建立了全国苹果矮砧集约栽培模式研究协作组;培养博士、硕士研究生 100 余名,形成了一支以研究“黄土高原苹果发育生物学和矮砧栽培模式”为主要方向的农业部科研创新团队;获得省部级科学技术一等奖 1 项、二等奖 3 项,省部级农业技术推广成果一等奖 1 项;育成品种 6 个、砧木 1 个,获得专利 6 个;发表学术论文 151 篇。

黄土高原是我国最大的优质苹果生产基地,其光热资源丰富,昼夜温差大,其果品色泽鲜亮,含糖量高,肉质脆,耐贮藏。同时,该区土层厚,降水量偏少(430~630mm),且季节分布不均,造成了该区域苹果生长发育性质的特殊性和调控技术的独特性。

本书全面归纳总结了本团队近 10 年来在黄土高原苹果发育生理与调控技术的研究进展,同时吸收同行在黄土高原苹果研究的最新进展,参考国内外的研究成果,理论联系实际,基本反映了黄土高原苹果发育生理与调控的最新成果。本书共分 5 章,全部由本团队西北农林科技大学成员编写。第一章 黄土高原苹果栽培概况由李丙智和韩明玉编写;第二章 黄土高原苹果树枝芽发育与光能高效利用由范崇辉和韩明玉编写,任小林参与了部分工作;第三



章 黄土高原苹果园土壤与肥水调控由张立新和张林森编写；第四章 黄土高原苹果园产量与质量控制由张东和韩明玉编写；第五章 黄土高原苹果矮砧集约栽培制度由韩明玉和李丙智编写。全书由韩明玉策划、主编、统稿、审定完成，邢利博、宋春晖等参加了部分章节资料收集、书稿的修改和核对。

本书可作为果树研究者、技术员、果农的重要参考用书，也可作为果树教师及相关专业硕士、博士研究生的参考读物。由于能力和时间所限，书中难免出现一些差错，恳请读者谅解和提出宝贵意见。

编著者

2014年11月22日



序
前言

第一章 黄土高原苹果栽培概况	1
第一节 黄土高原苹果产区自然生态条件	1
一、黄土高原的自然生态条件	1
二、黄土高原各苹果产区自然生态条件	2
第二节 黄土高原苹果栽培历史与现状	9
一、黄土高原苹果栽培的总体情况	9
二、黄土高原各产区苹果栽培历史与现状	13
第三节 黄土高原发展苹果的优势与制约因素	18
一、黄土高原苹果发展优势	18
二、黄土高原发展苹果的制约因素	19
三、黄土高原苹果发展战略	24
主要参考文献	29
第二章 黄土高原苹果树枝芽发育与光能高效利用	32
第一节 枝叶发育	32
一、芽和枝条的类型及特性	32
二、枝条的生长	33
三、叶片的生长发育	37
四、叶幕	39
第二节 苹果花芽分化	40
一、花芽分化的意义	40
二、花芽分化过程	41
三、花芽分化机理及主要学说	45
四、黄土高原苹果花芽分化研究	51
五、影响苹果花芽分化的因素与促花措施	79
第三节 黄土高原苹果树光合特性	81
一、苹果树光合作用进程	82
二、影响光合作用的外部因素	87



三、影响光合作用的内部因素	97
第四节 树形评价原理与方法	108
一、以实际测量为主的传统树形评价	108
二、以 2D 图像计算机为主的树形评价	111
三、基于三维数字化仪为主的虚拟植物模拟树形评价	116
四、基于虚拟植物的高纺锤富士苹果冠层结构与光截获分析	122
五、利用 3D 技术对苹果高纺锤形和自由纺锤形进行评价	130
六、苹果树形评价方法发展趋势分析	132
第五节 高光效树形的整形与修剪	135
一、苹果的树体结构	135
二、苹果的高光效树形	139
三、苹果高光效树形的整形修剪	145
第六节 下垂枝修剪	147
一、枝条角度影响苹果树生理变化的基础	148
二、枝条角度对苹果树生长的影响	173
三、枝条角度对苹果树开花和结果的影响	176
四、苹果枝条角度的调控方法	180
第七节 郁闭园改形技术	182
一、苹果园群体结构	182
二、果园群体结构类型	183
三、郁闭园改形对树体生长和结果的影响	184
四、郁闭苹果园的改形修剪技术	195
主要参考文献	205
第三章 黄土高原苹果园土壤与肥水调控	217
第一节 黄土高原苹果园土壤和肥水特征	217
一、黄土高原苹果园土壤理化特征	217
二、黄土高原苹果园养分特征	223
三、黄土高原苹果园水分特性	234
第二节 黄土高原苹果树根系发育	247
一、黄土高原苹果根系的类型及发育	247
二、影响根系生长的因素	260
三、黄土高原苹果根系对于干旱条件的适应	261
第三节 黄土高原苹果园水分动力学	266
一、黄土高原苹果园土壤水分变化	266
二、根系吸水规律	269
三、苹果树水分吸水变化规律	271
四、干旱对苹果导水等生理特性的影响	276
第四节 黄土高原苹果园养分动力学	279

一、氮素的吸收、转运和分配	280
二、磷素的吸收、转运和分配	287
三、钾素的吸收、转运和分配	290
四、其他营养元素的养分动力学	293
第五节 黄土高原苹果园肥水高效利用生物学	295
一、黄土高原苹果树水分高效利用生物学	295
二、黄土高原苹果树养分高效利用生物学	299
三、苹果园水肥耦合效应	313
第六节 黄土高原苹果园肥水高效利用技术	315
一、节水灌溉技术	316
二、营养诊断与配方施肥技术	319
三、肥水一体化技术	325
主要参考文献	343
第四章 黄土高原苹果园产量与质量控制	353
第一节 苹果园产量构成与库源调控	353
一、苹果园产量来源及其影响因素	353
二、苹果树产量构成	354
三、苹果树体同化产物分配	354
四、苹果树体水分转运与积累	358
五、苹果树的产量调控	360
六、限制黄土高原苹果产量提升的主要因子	360
第二节 果实品质的形成与调控	368
一、果实品质的形成	368
二、果实品质形成的影响因子	388
三、黄土高原苹果品质下降的因素分析	406
四、黄土高原苹果优质栽培技术研究	408
第三节 疏花疏果	412
一、疏花疏果的作用及意义	413
二、疏花疏果的时期	413
三、疏花疏果的方法	414
四、黄土高原苹果产区疏花疏果开展的研究	422
五、疏花疏果技术发展趋势分析	429
第四节 果实套袋	429
一、套袋对果实发育的影响	430
二、关于苹果套袋问题的思考	437
第五节 国外苹果综合生产 (IFP) 制度	441
一、国外苹果综合生产 (IFP) 制度发展的基本情况	441
二、2005 意大利南提洛尔地区仁果类果树综合生产 (IFP) 指南 (第 15 版)	443



三、苹果出口的门槛——欧盟良好农业操作规范 (EUREPGAP)	456
主要参考文献	459
第五章 黄土高原苹果矮砧集约栽培制度	475
第一节 苹果栽培制度的变迁	475
一、国外苹果栽培制度的变迁	475
二、国内苹果栽培制度的变迁	481
第二节 黄土高原苹果砧木	484
一、苹果野生砧木	484
二、苹果矮化砧木	487
三、苹果砧木的抗性研究	490
四、苹果砧木的矮化性研究 (矮化机理/自根砧/中间砧)	505
第三节 苹果矮砧无毒大苗的培育	519
一、国内外苹果苗木发展现状	520
二、黄土高原苹果苗木质量调查与评价	526
三、培育大苗育苗密度筛选	532
四、促进苗木分枝技术	539
五、自根苗培育技术	544
六、苹果脱毒、检测、快繁技术	549
第四节 矮砧集约果园建立	552
一、矮砧集约果园生产力分析	553
二、矮砧苹果栽培的主要优点和早果丰产机理	557
三、矮砧栽培生产中存在问题	559
四、矮砧集约果园建立技术	565
主要参考文献	588



第一章 黄土高原苹果栽培概况

第一节 黄土高原苹果产区自然生态条件

一、黄土高原的自然生态条件

(一) 黄土高原的范围

黄土高原 (Loess Plateau) 是世界最大的黄土沉积区, 位于北纬 $34^{\circ}\sim 40^{\circ}$, 东经 $103^{\circ}\sim 114^{\circ}$, 在我国北方地区与西北地区的交界处。它东起太行山, 西至乌鞘岭, 南连秦岭, 北到长城, 主要包括陕西省、甘肃省、山西省、青海省、宁夏回族自治区及河南省等省 (自治区) 46 个地 (市、州)、282 个县 (市、区)。全区域总面积 63.5 万 km^2 。

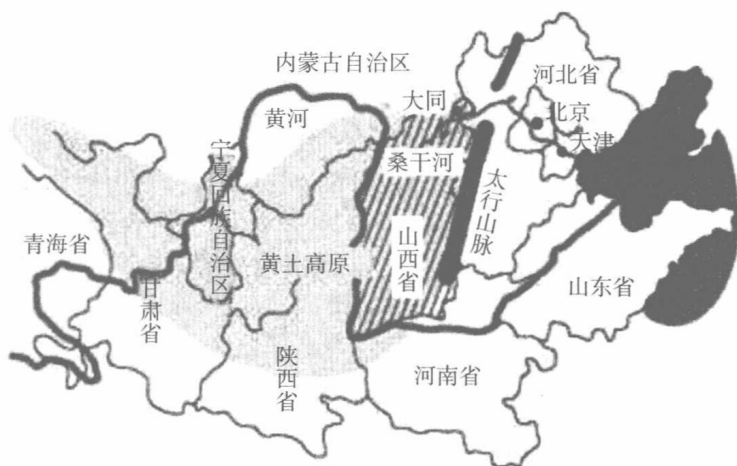


图 1-1 黄土高原地形图 (引自百度文库, 2012)

(二) 黄土高原的区域划分

甘枝茂 (1989) 研究, 按地形差别分陇中高原、陕北高原、山西高原和豫西山地等。平均海拔 1 000~1 500m, 除少数石质山地外, 高原上覆盖着深厚的黄土层, 黄土厚度 50~80m, 最厚达 150~180m。年均气温 $6\sim 14^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 200~700mm。从东南向西北, 植被依次出现森林草原、草原和风沙草原。土壤依次为褐土、垆土、黄绵土和灰钙土。

1. 陇中高原 位于六盘山以西, 是一个新生代的拗陷盆地, 属盆地型高原, 海拔 1 500~2 000m。地形破碎, 多塬、峁、沟谷、垄板地形。

2. 陇东和陕北高原 包括六盘山以东, 吕梁山以西, 渭河以北, 长城以南的地区。也是一个盆地型高原, 海拔 800~1 200m。经强烈侵蚀, 除少数残留的黄土塬 (董志塬、洛川塬) 外, 大部分地区已成为破碎的塬峁丘陵, 其间只有少数基岩低山突起在高原之上, 状似