

单株幼龄苹果树修剪仿真研究*

杨丽丽¹ 陈甲风¹ 谢锐¹ 华净² 康孟珍² 董乔雪¹

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 中国科学院自动化研究所, 北京 100190)

摘要: 修剪是果树生产中重要的技术手段, 要想研究更加合理的修剪技术体系, 就必须保证能够对修剪反应有准确、直观和及时的判断, 而仿真模拟技术提供了这种可能。以幼龄苹果树为研究对象, 采用不同修剪处理对比的方法, 在田间试验的基础上, 总结修剪反应规律, 构建苹果树结构和修剪模型。在此基础上基于 Qt 框架和 OpenGL 图形库, 开发了单株苹果树修剪仿真软件平台。结合优化算法, 通过仿真平台模拟了给定生产目标的修剪方案优化, 优化结果对虚拟学习和实际生产提供了可视化指导。

关键词: 苹果树 修剪 仿真

中图分类号: S605⁺.1; S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)S0-0041-04

Simulation Research for Individual Young Apple Tree Pruning

Yang Lili¹ Chen Jiafeng¹ Xie Rui¹ Hua Jing² Kang Mengzhen² Dong Qiaoxue¹

(1. College of Information and Electric Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Pruning is one of the important measures for fruit trees management. Different pruning methods have different effects on the growth of fruit trees. Research on the law of apple tree growth after pruning is of great significance to guide production. Apple tree, as a perennial, is quite complex in observation, modeling and calibration, which makes researches related quite a few. In order to study more reasonable pruning technology, judgment of pruning reaction needs to ensure the accuracy, intuition and timeliness and the simulation technology makes it possible. In this thesis, apple tree was taken as the research object, the data which was measured from the field experiment was analyzed, the law of pruning reaction was summarized and the structure model and pruning model of apple tree were built. The simulation software of apple tree pruning was established based on the Qt framework and OpenGL graphics library. For a given production target, the simulation software of apple tree pruning provides an optimized solution of pruning through the optimal algorithm.

Key words: Apple tree Pruning Simulation

引言

整形修剪是果树栽培的重要措施之一, 合理地整形修剪是高产优质的重要保证, 特别是对苹果树而言^[1]。我国目前的修剪研究主要是建立在总结经验的基础上, 由于冬季修剪后对生长结果的影响要到第2年才可以看到, 因此对于某种修剪手法在

一定条件下的反应也很难准确判断, 耗时耗工^[2]。国内外的研究表明, 基于模型研究农作物生长对外界环境反应的机理, 已经有了成功的尝试和成果^[3]。通过虚拟果树模型的建立, 结合仿真模拟技术, 可实现果树在三维空间的生长发育状况模拟, 对修剪反应有准确、直观和及时的判断, 为进一步实现果树生理特性研究的定量化以及数据采集、分析等

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-11-09

* 国家自然科学基金资助项目(31200543)

作者简介: 杨丽丽, 副教授, 主要从事农业信息化研究, E-mail: llyang@cau.edu.cn

通讯作者: 董乔雪, 副教授, 主要从事植物生长建模与可视化研究, E-mail: dongqiaoxue@163.com

过程的自动化提供了有力工具^[4-7]。苹果树作为多年生植物其在观测、建模、标定等方面复杂性更高,研究相对较少^[8],本文在试验数据分析的基础上,构建幼龄苹果树结构模型及苹果树修剪反应模型,结合实际生产中的各种修剪手段,设计并实现符合实际修剪的三维交互式修剪仿真,通过软件对实际生产中各种可能的修剪手法结合给定优化目标进行仿真,计算得出一个较优的修剪方案,以指导实际生产。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

处于不同生长阶段的苹果树对同一修剪方法反应不同、修剪目的也不同,对盛果期苹果树的修剪大多是为了促进坐果,而对幼苗期苹果树的修剪则主要是为了培养各级骨干枝,从而塑造出合适的树形,促进营养生长^[9],本文试验以幼苗期的苹果树为试验对象,试验地点位于中国农业大学西校区试验田。一年生苹果幼树苗以八棱海棠为砧木,富士为接穗,春季萌芽前选取粗度及高度一致的富士苹果苗定植于盆中,定植当年在 50 cm 处定干。生长季控制每株留 4 或 5 个新梢。根据实际修剪经验,设计 4 种不同的修剪处理方案,并设计了对照组用以对比修剪反应。2014 年春季萌芽前选择生长势一致的幼树进行试验,采取单株小区重复 7 次。4 种处理设计如下:①全株不进行修剪。②主干延长枝及二芽竞争枝进行短截,短截去三分之一。③全株不进行短截,疏除二芽竞争枝。④保留主干延长枝,其他枝均采取留一个芽进行极重短截。

1.2 测定项目和和方法

2014 年正常管理,苹果树经过一年生长季的生长,在同年冬季生长季结束后,统计每一个样本枝条上每个芽位的抽枝情况以及新抽枝条长度,记录整个小树的空间结构信息。幼龄苹果树的结构简单,其空间结构信息易于测量,这里采用手工测量数据和数字设计的方法选择比较典型的幼龄苹果树样本,在进行不同的修剪处理后,立即观测其空间拓扑信息,选取主干及母枝的关键节点测量其空间相对位置及直径,通过插值最终获得整棵苹果树枝干的空间信息,从而为苹果树结构模型构建提供实际的数据基础。

试验开始选取的一年生枝条样本统称为母枝,修剪处理后经过一个生长季,母枝上发出新的枝条,母枝成为两年生枝,新生枝条称为一年生枝。母枝上的所有节位在生长季后的抽枝情况可能有 4 种^[10-11]:①节位上只有一个叶子或者什么都没

有,称为潜伏芽。②节位上长了 5 cm 以下的枝条,称为短枝。③节位上长了 5~20 cm 的枝条,称为中枝。④节位上长了 20 cm 以上的枝条称为长枝。为了统计记录的方便,将上面 4 种抽枝类型依次用数字 0、1、2、3 表示。落叶后用清水将根完整冲洗出来后对树体进行分解,分为:根、主干、两年生枝、一年生短枝、中枝、长枝。

2 试验结果与分析

2.1 试验结果

2.1.1 抽枝类型的确定

枝条比例可以通过修剪来调节,短截可以促进剪口下芽萌发长枝,随短截程度的增加,促进作用增强,图 1 显示处理 4 短截最重,导致其一年生类型 3 枝条比例最大,并且成枝率最大(类型 1、2、3 之和),说明适度修剪有利于新生枝条的形成。苹果的结果枝是中枝、短枝,4 个处理中,处理 3 的中枝、短枝比例明显高于处理 1 和处理 2,实际生产中根据对新生枝条、成枝率或坐果等的具体要求选择对应修剪处理。

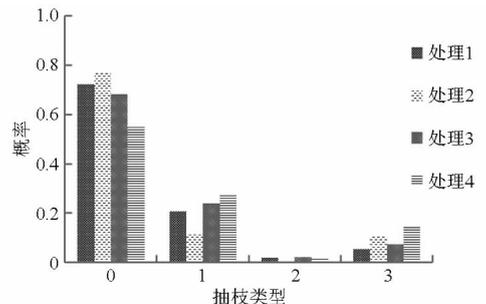


图 1 4 种处理不同抽枝类型概率

Fig. 1 Probability of different new branches for four treatments

2.1.2 抽枝长度的确定

对不同处理中来年母枝抽取长枝的长度加以统计,表 1 表明不同处理、修剪及母枝在主干上的位置都会对新枝条长度产生影响。

表 1 长枝长度统计(抽枝类型 3)

Tab. 1 New long branch lengths (type 3) cm

处理 方式	修剪的母枝上		未修剪的母枝上	
	延长枝	侧枝	延长枝	侧枝
1			38	28
2	45	40	41	28
3			56(顶端)/40(其它)	
4	52		43	27

2.2 模型建立

2.2.1 结构模型

树干采用了上下底半径不同的圆柱体进行模

拟,苹果叶子、果实两个器官的模拟在实际器官的观察基础上,利用 Maya 三维绘制软件,以 obj 文件的形式保存。为了记录枝条之间的拓扑关系,在仿真数据结构中定义了 POS 属性,POS 属性记录了枝条或者器官的位置关系,它是由一个整数序列组成的,记录的是从根部开始,到该枝条(或器官)的位置序列。比如:主干第 10 节的第 1 个侧枝上,第 8 节的第 3 片叶子,序列是〈10,1,8,3〉,通过所有的 POS 属性能够了解整个苹果树模型的拓扑结构。

2.2.2 修剪模型

(1)母枝上每个节位抽枝类型规律

通过试验数据建立不同处理下枝条节位与抽枝概率的数学关系,见图 2。分析可得母枝位置对抽枝类型的差异性影响较小,对同一种处理的同类型(剪或未剪)母枝归为一类进行分析,后继模拟时同样处理。

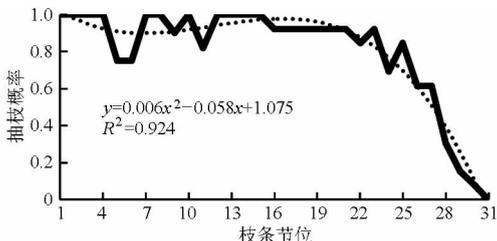


图 2 枝条节位与抽枝概率关系

Fig. 2 Relationship between node order and branch probability

按照从母枝的基部到顶部的顺序标识节位,为应用图 2 的数学关系,对短枝条采用了“顶部对齐”的方法,即将短枝条的顶部节位和最长枝条的顶部节位对齐,基部不足的节位上补枝条 0,之后,将实际幼树生产管理中常用修剪手段对应到试验中的 4 种基本修剪模式或者其组合,结合试验分析用关键修剪特征归类的方法,根据表 2 中的模式优先级优先应用某一基本修剪模式的抽枝反应规律,如果是组合修剪则对余下的修剪枝条应用另外一种抽枝规律,未修剪的枝条全部按照模式 1 处理。

表 2 修剪手段涉及的修剪模式分类

Tab. 2 Different pruning method and pruning mode matching

常用修剪手段	对应修剪模式(处理)	模式优先级
1	模式 1	模式 1
2	模式 2 + 模式 1	模式 2
3	模式 2	模式 2
4	模式 3	模式 3
5	模式 3 + 模式 2	模式 3
6	模式 3 + 模式 2	模式 3
7	模式 4	模式 4
8	模式 4 + 模式 2	模式 4

(2)抽取枝条的长度规律

根据试验数据对抽枝类型 0 统一枝条长度为 0。抽枝类型 1 的长度小于 5 cm,且实际测量时较为平均,仿真时固定为 5 cm。抽枝类型 2 的样本量极少,仿真时固定为 10 cm。抽枝类型 3 的长度普遍大于 15 cm 且差异性大,在苹果树修剪反应仿真时,同一类型母枝上枝条 3 的长度按图 3 分布以随机的方式确定。

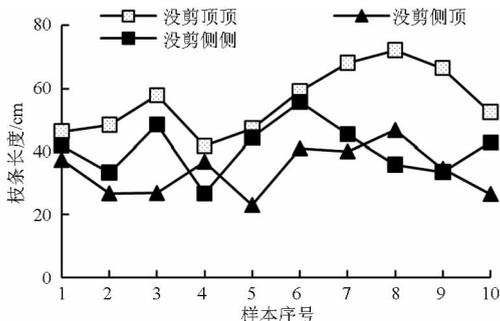


图 3 处理 3 不同类型母枝上抽枝类型 3 的长度分布

Fig. 3 Type 3 branch length distribution on different mother branches for treatment 3

图中,没剪顶顶表示处理 3 没修剪的最靠近主干顶部的母枝上延长枝长度分布;没剪侧顶表示处理 3 没修剪的主干其它部位的母枝上抽枝类型 3 长度分布;没剪侧侧表示处理 3 没修剪的其它部位的母枝上除了延长枝以外的抽枝类型 3 长度分布。

2.3 软件模拟及优化

一个完整的修剪过程包括如下步骤:①确定修剪位置并完成修剪。②分析并匹配出这种修剪方案对应的修剪规律。③按照规律确定所有枝条的每个节位的新生枝条类型。④确定该类型枝条的生长长度(或节位数)的分布规律。⑤按照步骤③、④中的规律得到整棵修剪植株生长季后的形态结构。

在普通计算机 (INTEL CORE i5 - 2410M 2.3 GHz/4 GB/Visual studio 2010/OpenGL 2.1/QT 5.1) 上进行。首先建立了苹果树三维模型显示系统,枝条源数据中样本点的个数为 4 411,枝条数为 359,不同交互修剪模式下仿真时间见表 3。

在实际生产中,希望仿真平台能够给出某种既定生长目标的一个较合理修剪方案建议,即修剪策略优化。如将生长发育最好的目标量化为成枝率最大,或者是苹果树枝干总长和成枝率比例的综合考虑。有了具体的可计算的量化目标后,通过仿真计算,遍历各种可能的修剪方法,从中找出目标值最大者,那么这种修剪方法就是最终推荐的可参考修剪方案,同时在模拟中剔除掉不太合理的修剪方法,能够提高优化的效率及合理性。图 4 为以修剪后第 2

表3 不同修剪方案仿真耗时

Tab.3 Simulation times for different pruning programs

	操作	耗时/ms
鼠标点选	① 选择3级枝条上接近中点处一点,从该点处剪断	1
	② 选择2级枝条上接近中点处一点,从该点处剪断	1
	③ 选择主干上接近中点处一点,从该点处剪断	37
	④ 树形修剪为纺锤形	32
	⑤ 剪除所有3级枝条	3
	⑥ 剪除长度小于0.5m的枝条	42
	⑦ 所有2级枝条减去1/4	4
条件组合	⑧ ④ + ⑤	33
	⑨ ④ + ⑥	42
	⑩ ④ + ⑤ + ⑥	42

年整棵树的枝干总长生长最大为目标的修剪策略,小窗口给出了应该修剪的枝条及相应的修剪节位,最后给出了来年预测的枝干总长度。

3 结论

(1)构建了苹果树结构模型。用试验测量结合简单的参数方法生成苹果树器官及拓扑信息。设计了合理的文件格式用来存储苹果树的结构信息,在几何形态结构数据中加入拓扑信息,既保证了与实际果树形态结构的高度一致性,同时提高了绘制效率,使得修剪反应模拟简单高效。

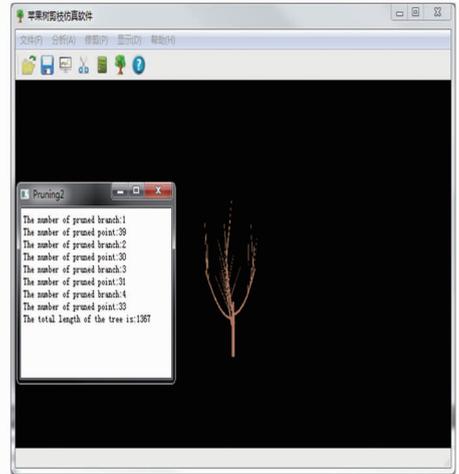


图4 修剪策略优化仿真结果

Fig.4 Simulation pruning strategy optimization

(2)构建了苹果树修剪反应模型。对于小树,由于营养生长占优势,单个枝条修剪会产生较大的全局影响,因此采用关键修剪特征归类的方法,将修剪手段与基本修剪模式进行匹配,从而应用于基于统计的修剪模型,确定小树的修剪反应。

(3)在前面两种模型的基础上结合实际生产中的各种修剪方法,设计并实现了三维交互式修剪仿真,通过软件对实际生产中各种可能的修剪手法结合给定优化目标进行仿真,计算得出一个较优的修剪方案,对实际生产具有一定的指导意义。不同修剪方案仿真耗时说明,仿真软件执行效率较高。

参 考 文 献

- 李明霞,耿桂俊,白岗栓,等. 更新修剪对盛果末期苹果光合能力及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(1):179-185.
- 王建新,牛自勉,李志强,等. 乔砧富士苹果不同冠形相对光照强度的差异及对果实品质的影响[J]. 果树学报,2011,28(1):8-14.
- 谢云,James R Kinary. 国外作物生长模型发展综述[J]. 作物学报,2002,28(2):190-195.
- 孙志鸿,孙忠富,杨朝选,等. 果树生态生理数学模拟的研究进展和应用[J]. 果树学报,2005,22(4):361-366. Sun Z H, Sun Z F, Yang C X, et al. Advances on research and application of mathematical simulation in fruit tree ecophysiology [J]. Journal of Fruit Science, 2005,22(4):361-366. (in Chinese)
- Jean Stephan, Pierre-ericlauri, Nicolasdones, et al. Architecture of the pruned tree: impact of contrasted pruning procedures over 2 years on shoot demography and spatial distribution of leaf area in apple (*Malus domestica*) [J]. Annals of Botany,2007,99(6):1055-1065.
- 程志汉,束怀瑞,魏钦平. 苹果树新梢生长动态的数学模型[J]. 生物数学学报,1999,14(1):82-85. Cheng S H, Shu H R, Wei Q P. Mathematical models of new shoot growing of apple tree[J]. Journal of Biomathematics, 1999,14(1):82-85. (in Chinese)
- 熊瑛,张光年,郭新宇,等. 基于马尔可夫模型的苹果树枝条生长仿真[J]. 农机化研究,2009,31(7):71-78.
- Susie H, Oscar C. A biological model of apple tree production [C] // International Congress on Modelling and Simulation Proceedings,1997:1091-1096.
- 白岗栓,杜社妮,侯喜录. 不同修剪措施对苹果幼龄生物量的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(1):91-95.
- Xia N, Li B G, Deng X M, et al. Modeling the branching patterns of peach tree branches (*Prunus persica*) after being pruned [J]. Journal of Integrative Plant Biology,2004,46(7):793-802.
- Xia N, Li A S, Huang D F. Virtual apple tree pruning in horticultural education [C] // Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development, LNCS5670,2009:26-37.