

海南省自然科学基金项目(合同编号 808124)

海南橡胶防护林防风效果 数值模拟研究

◎ 唐朝胜 著



中国农业科学技术出版社

海南省自然科学基金项目(合同编号 808124)

海南橡胶防护林防风效果 数值模拟研究

◎ 唐朝胜 著

5727.24
7036

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

海南橡胶防护林防风效果数值模拟研究/唐朝胜著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2009. 5

ISBN 978 - 7 - 80233 - 853 - 1

I. 海… II. 唐… III. 橡胶树 - 防护林 - 防风 - 数值模拟 - 研究 - 海南省 IV. S727.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 052742 号

责任编辑 梅 红

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82106630(编辑室) (010)82109704(发行部)
(010)82109703(读者服务部)

传 真 (010)82106636

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 850 mm × 1 168 mm 1/32

印 张 4.25

字 数 130 千字

版 次 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

定 价 15.00 元

——版权所有·翻印必究——

前 言

海南植胶区位于副热带高压信风带。由于地理位置上的特殊性，此地橡胶树易遭受风、寒、旱等自然灾害的影响。这些灾害不仅影响橡胶树的高产、稳产，甚至直接威胁橡胶树的生存。其中大风风害对海南橡胶树的危害程度尤为严重。因此，研究风害的规律，以及橡胶防护林防风效果和抗风措施，对橡胶树的生长乃至橡胶产业的健康发展有着极其重要的意义。本书正是从防护林的防风抗风角度出发，在分析和总结目前防护林的研究状况和特征的基础上，尝试用数值模拟方法对防护林防风性能进行研究，并对模拟结果进行归纳和分析，笔者还对今后的研究方向和注意事项提出个人的意见和建议。

全书共分7章。第一章阐述以台风为代表的大风风害对海南橡胶树及其橡胶产业的影响，以及对橡胶风害的机制、影响因素、防御风害的措施及橡胶防护林防风作用等。

第二章从防护林的防风机制出发，介绍相关术语，并重点阐述了影响防护林防风效应的主要因素。

第三章对国内外有关林带和林网防护区的风速分布特征、林带防风效应、林网防风效应，以及其防风效应与林带林网规划设计之间的关系等有关研究工作，作归



纳和总结。还对目前的研究方法及数值模拟研究现状进行阐述。

第四章从空气动力学角度出发,对大气湍流的特征进行描述,并在此基础上对湍流基本数学方程组及各种数值模拟方法进行分析和比较。

第五章介绍计算流体动力学(CFD)的工作机理,并分析比较各常用CFD软件的特征,对FLUENT软件进行重点介绍。

第六章在设置各主要影响因子的基础上,以FLUENT软件,对围绕橡胶防护林的气流进行全程数值模拟,并对数值模拟结果进行分析和讨论。

第七章阐述数值模拟的结论和不足,并对今后推广研究的原则、方法及注意事项进行了探讨。

本书撰写过程中得到海南大学周兆德教授和中国热带农业科学院橡胶研究所陶忠良研究员的大力支持,特表感谢。

由于笔者撰写时需反复核查和分析,加之学识水平有限,难免有许多不足和错误之处,敬请专家和读者批评指正。

唐朝胜
于海南大学
2009年3月

目 录

第一章 绪言	(1)
一、大风风害对海南天然橡胶及其产业的影响	(1)
(一) 风对橡胶树生长、发育和产胶的影响	(1)
(二) 风害对海南天然橡胶及其产业的影响	(2)
二、橡胶的风害机制及防御措施	(3)
(一) 橡胶风害机制及影响因素	(3)
(二) 防御风害措施	(5)
三、橡胶防护林的作用	(7)
第二章 防护林防风机制	(9)
一、防护林定义的表述	(9)
二、影响防护林防风效能的因素	(11)
(一) 防护林带的防风原理	(11)
(二) 防护林带的防风效能	(11)
(三) 评估林带防护效能的常用术语	(12)
(四) 影响防护效能的林带结构参数	(15)
第三章 防护林带防风效应研究概况	(21)
一、林带、林网防护区的风速分布特征与研究状况	(21)
(一) 林带防护区内风速分布特征研究	(22)
(二) 林网防护区内风速分布特征研究	(26)
(三) 林带附近湍流分布特征研究	(27)
二、林带防风效应研究概况	(28)
(一) 疏透度和透风系数与防风效应的研究	(29)



(二) 林带宽度、高度与防护效应的研究	(31)
(三) 林带横断面形状与防护效应的研究	(33)
(四) 天气条件与防护效应研究	(34)
(五) 地体因子与防风效应的研究	(36)
(六) 影响林带防风效应的综合因素研究	(37)
三、林网与林带防风效应的研究概况	(38)
四、林带气象动力效应的研究方法	(40)
(一) 试验研究的方法	(40)
(二) 理论数学模拟分析的方法	(41)
五、国内外运用数值模拟对防护林流场研究现状	
概况	(43)
六、海南橡胶及防护林防风研究的概况	(45)
(一) 橡胶树(林)抗风研究的概况	(45)
(二) 橡胶防护林抗风研究的概况	(46)
(三) 运用数值模拟研究橡胶防护林流场的	
必要性分析	(47)
第四章 湍流基本方程和数值模拟方法	(50)
一、湍流特性的表述	(50)
(一) 地面边界层和湍流	(50)
(二) 湍流运动相关性质表述	(54)
二、空气动力学控制方程	(57)
(一) 运动方程	(58)
(二) 连续方程	(61)
三、湍流控制方程	(62)
四、湍流数值模拟方法	(64)
(一) 零方程和一方程模型	(66)
(二) 标准的 $k - \varepsilon$ 模型	(68)
(三) 湍流流动近壁面的处理	(71)

第五章 软件 FLUENT	(76)
一、计算流体动力学及 CFD 软件概述	(76)
(一) 计算流体动力学定义及计算流程	(76)
(二) 常用的 CFD 软件简介	(77)
二、FLUENT 软件简介	(79)
(一) FLUENT 软件的结构	(80)
(二) FLUENT 软件的特点	(81)
(三) FLUENT 软件的优点	(83)
(四) FLUENT 中的 UDF 介绍	(84)
(五) 使用 FLUENT 计算前要考虑的问题	(85)
(六) 使用 FLUENT 解决问题的步骤	(86)
(七) FLUENT 求解方法的选择	(86)
第六章 数值模拟设计方案、步骤及分析	(88)
一、设计方案	(88)
(一) 研究内容	(88)
(二) 技术路线	(89)
二、数值模拟的前导工作	(90)
(一) 确定环境参数	(90)
(二) 建立模型方程	(91)
(三) 确定方程离散方法及求解算法	(93)
(四) 确定收敛判断条件	(94)
三、数值模拟步骤详述	(94)
(一) 划分网格、建立求解区域	(94)
(二) 网格读取及检查、设定求解器及介质类型	(96)
(三) 设置湍流模型及壁面函数	(96)
(四) 设置边界条件	(101)
(五) 设定方程源项	(103)
(六) 设定求解控制	(105)



(七) 模拟输出结果	(107)
四、结果的分析与讨论	(107)
(一) 不同疏透度下速度流场的对比分析	(107)
(二) 不同疏透度下湍动能流场的对比分析	(108)
(三) 不同疏透度下压力流场的对比分析	(109)
(四) 不同粗糙度下速度流场的对比分析	(109)
(五) 不同宽高比下速度流场的对比分析	(110)
第七章 结论与展望	(111)
一、基本结论与不足	(111)
二、展望与讨论	(113)
(一) 数学模型以及网格模型的相似程度	(115)
(二) 环境参数的近似程度	(115)
(三) 因子之间的关联程度	(116)
(四) 数值模拟的局限性	(116)
参考文献	(118)
附录 入口边界及源项自定义函数 (UDF)	(123)

第一章

绪 言

一、大风风害对海南天然橡胶及其产业的影响

天然橡胶是建设现代化国家的重要工业原料之一。它与钢铁、煤、石油并称为四大工业原料。每生产 100t 钢铁就需要 1 ~ 1.5t 橡胶与之配套。目前,世界上各种用途和特殊性能的橡胶制品达 10 万种之多,这在其他行业是不多见的,可见橡胶的重要性。天然橡胶产业受地域资源、种质资源及劳动力资源三重约束。海南岛地处亚热带地区,是我国植胶最多,胶园占土地的分率最高的地区。据统计,2003 年全国植胶面积达 63.5 万 hm^2 , 产干胶 55.75 万 t; 而同年海南农垦植胶面积 24.7 万 hm^2 , 产胶 22.90 万 t, 分别占全国的 38.95% 和 41.08%。但海南也是受热带气旋入侵的主要路径和频发区,从全局和长期看,橡胶树遭受热带气旋等大风风害是不可避免的,有时某些局部地区受到破坏甚至相当严重,对海南天然橡胶产业的影响也很大。

(一) 风对橡胶树生长、发育和产胶的影响

风是橡胶生长过程中重要的生态因子,它对橡胶的生产有重要意义。风在橡胶生产与气象条件的联系中起着重要的作用:一方面,通过植物表面空气的流动,促进了胶树与大气之间的能量和水分交换;另一方面,通过风的能量传递,有传播花粉、种子和病虫害的作用。但橡胶树原产于赤道静风带,根浅干质脆,具



有喜静风、怕强风的特性，因此橡胶树对风的适应能力是有限的。

常年平均风速小于 1.0m/s 的环境下，则微弱的气流有利于林中二氧化碳的能源补充，提高了光合作用强度，而且在静风下，割胶时橡胶树排胶强度大，对高产有利。

常年平均风速为 $1.0 \sim 1.9\text{m/s}$ 的地区，对橡胶树生长没有多大妨碍。

常年平均风速为 $2.0 \sim 2.9\text{m/s}$ ，对橡胶树生长和产胶有抑制作用，需要营造防护林加以保护。

常年风速大于 3.0m/s 时，就会严重抑制胶树的生长和产胶，没有良好的防护林时，胶树不能正常生长。

当出现 5~6 级的大风时，可使嫩叶皱缩或被撕裂，尤其是伴随寒潮的出现，对橡胶树的危害逐渐加剧。大于 8 级 (17.2m/s) 的大风将使不抗风的橡胶树品系出现树干断折。风力若大于 10 级，则出现大面积的折枝、断干、倒伏灾害。风力 12 级以上，则使全部橡胶树受更严重的灾害。

一般而言，微风对橡胶树生长有利，而当常风风速 $\geq 3.0\text{m/s}$ 时橡胶树不能正常生长和产胶，使树型矮小，树皮老化呈灰白色。因此，植胶时要根据当地风力的变化情况，合理选择宜胶地。

(二) 风害对海南天然橡胶及其产业的影响

海南岛是我国天然橡胶的主要种植基地，其产量和种植面积都分别占全国的 57.5%。但海南也是热带气旋的主要登陆地点之一，故风害成为海南天然橡胶种植的最严重的自然灾害之一。据有关资料统计，1951~1990 年在海南登陆风力达到 12 级 (32.7m/s) 以上的台风共有 29 次（加上热带风暴总共是 62 次）。热带气旋对橡胶树的危害程度是不容忽视的。一般 10~11



级的强热带风暴, 所造成橡胶的平均受害率为 1.5% 左右; 12 级台风时, 平均受害率达 4.1% 左右; 13 级台风时, 平均受害率达 7.4% 左右; 14、15、17 级台风时, 平均受害率分别为 7.5%、12.5%、24.3%。据海南省总局农林处统计, 2003 年 12 号台风“科罗旺”(风速 12 级) 造成三级以上开割胶树受害, 株数达 179.0 万株, 受害率为 2.8%。而 2005 年 18 号台风“达维”风速达到了 16 级, 影响到全海南岛的 92 个农场, 给海南农垦系统造成当年干胶产量损失 5 万 t 以上, 开割胶树三级以上的断倒率达 50.9%, 且受害胶园要经过 5 年左右的时间才能恢复原先的产量水平。此外大风也是造成橡胶寒害发生和发展的间接因素之一。因此, 研究大风风害及其规律, 寻找合适的防范措施, 对橡胶生长及其产业发展具有重要意义。

二、橡胶的风害机制及防御措施

(一) 橡胶风害机制及影响因素

1. 橡胶风害机制

风对橡胶树的危害, 可分为机械损伤和生理伤害。

生理伤害主要是增大蒸腾强度, 使树体体内水分失去平衡, 同化作用减退。这种危害具有普遍性。据国外对某些作物的实验分析认为, 风速 5m/s 时其同化产量仅为无风时的 1/2, 10m/s 时则只有 1/3。可见长时间吹稍强的风, 对橡胶树生理伤害的危害程度, 并不比机械损伤轻。

强风直接造成的机械损伤主要是使叶片破损、落花、落果、落叶、折梢、折枝、断干、根拔、倾斜以致倒伏。其中以断干、倒伏最为严重。现从大风的物理特性和橡胶树的风害受力进行分析:



(1) 从大风的物理特性而言, 主要是风速变化和由此造成的风压。而风速的变化反映在风的阵性和随高度的变化。风的阵性体现为风速振幅, 可用最大风速和最小风速之差来表示。而风压的大小与风速、植被的大小、形状以及通风度等有关。

(2) 橡胶树的风害受力分析。橡胶树受风害是因旋转速度很快的气流作用在树冠上形成风压而产生的。对于橡胶树而言, 其树冠所承受的风压与风速、树冠大小、形状和透风度密切相关。风速越大、树冠面积越大, 则所承受的风压越大; 反之, 如树冠疏朗通透, 风易穿透, 阻力系数减少, 风压也相应减少。

橡胶树折断和倒伏, 都是在风压作用下产生的。如果树干任一部位的实际应力, 小于树干的强度极限, 橡胶树便不会倒断。如果根系固结土壤的力量大, 而树干的强度极限小于它的实际应力, 则橡胶树会出现断干。断干高度因树径围大小、种植材料和橡胶树密度等不同而异; 而倒伏则是在根系的附着力矩小于树冠的风载荷所产生的倒伏力矩时发生。橡胶树的倒伏与否, 主要与土壤含水率的高低、根层深度等有关。

2. 橡胶风害的影响因素

橡胶风害主要与环境条件有关。橡胶树风害的轻重, 取决于风力大小和植株状况、地形地势、种植品系、种植形式和密度、病虫害发生率、植株的抚育管理状况, 以及土层深度和肥力, 以及是否有防护林等。它们不是对风速就是对植株状况产生影响, 如果其中一个因子的变化使植株产生不平衡, 就会引起风害。下面仅就大风特性和地势因素进行讨论。

(1) 风力大小。风害首先与风力的大小有关, 一般是风力愈大, 则风压愈大, 风害则愈重。此外, 由于在气流运动过程中, 对橡胶树迎风面和背风面产生了压力差, 并在风的阵性支配



下,使橡胶树出现周期性振动,而当台风振动频率与橡胶树自振频率相应时,会引起共振使风害加剧。因此,除风力大小外,风的阵性、振动频率对风害亦有很大影响。而大风尤其是台风,具有风速大,持续时间长、阵性明显等特点。连士华在其论文中专门就此进行过讨论。

(2) 地形地势。由于台风路径多变、登陆点各异,加上下垫面的影响,造成的灾害呈区域性差异。以海南岛为例,台风登陆点相对集中,即文昌北部、南部、琼海及万宁的北部,这些地区因此所受的风害最重。而距离海岸线较远的内陆地区,因为地面摩擦力较大,消耗了动能,风害较轻。此外地形对台风的障碍作用和引导作用极其明显。一般迎风坡的灾害比背风坡重。沟谷的灾害也因地形和高度不一因而对大风的引导作用也不一样,一般造成了U形谷比V形谷、长的单一状的山谷比弯曲多分支的山谷、出口窄的山谷比出口宽的山谷、谷的两侧比谷顶、与风向平行的山谷比垂直的山谷受害要重的现象。另外风害与坡度的关系也有关,坡度越陡,则风害越重,坡脚和坡顶其迎风坡面处受灾最重。

(二) 防御风害措施

橡胶园防御风害的措施应是多方面地、综合性地考虑。主要措施有:一是选择和改良小环境,即选择避风环境和营造防护林等;二是合理配置好的种植材料及种植形式等。下面作简要说明。

(1) 选择避风环境,采取相应防风措施。从大环境来看,海南热带气旋登陆地点相对固定。从中环境看,四周没有屏障的开阔地、顺着河谷两岸和山峡低洼的地区,易遭风害。从小环境看,外围有高山屏蔽的低丘及背风坡的山腰其风害较轻。而孤立的山丘两侧和迎风坡面,及迎风开口的马蹄形地势易遭



受风害。

例如，在海南岛东部沿海平原，正是台风路径之地，又无地形阻拦，风害较重；中部五指山区盆地内及西部沿海，因地形的保护，风害较轻。而在沿海的农场内，必须选择有山地丘陵屏障的盆地及背风坡植胶，并要考虑风速可能造成霜冻的影响等。

因此，实际栽培时，要做好小环境类型的规划，因地制宜地选择具有抗风能力和一定产量的品系栽种，同时经常修枝、整形以提高橡胶树的抗风能力。

(2) 大力营造防护林（网）。防护林所起的效能是多方面的，防风抗风是其最主要效能。无论哪种立地环境，防护林对减少风害均有一定的效果。当然，林带的防护效果也因林带结构、走向、完整度等不同而有较大差异。相关内容在后文作详细讨论，这里不再赘述。

(3) 选用抗风品系，合理修枝整形，减轻风害。橡胶树的植株高达 10 ~ 20m，树冠大，因而受风面积也大。实行修剪整形，使其矮化，能减小树冠的受风面积，因而重心下移，也是防风的一个有效措施。为此应合理修剪枝叶，并在沿海风害较重的地区重点推广抗风性能强的橡胶树品系，可有效减少橡胶树的断倒率。

(4) 适当密植。橡胶林以宽行密株的种植形式和适当密植，对减少风害有重大意义。同样的风力情况下，密植林段可以保存较多的株数，不易倒伏，断干部位也较高，因而易于恢复割胶。其中海南农垦推广的“丛式种植法”就是一种较好的抗风密植形式。实践证明，与单株种植相比，适当密植不仅其抗风效果提高，单位面积产胶量也能提高。



三、橡胶防护林的作用

防护林是以保持、控制、稳定和改善生态环境为主要目的的森林类型，防护林除了对近地面风速有明显的消弱作用以达到减风抗风、抗御灾害的效果之外，还具有调节气候，涵养水源，保持水土、减少污染等功能。它在维持生态平衡，保障经济和社会生活的正常运转发挥着及其重要的作用。

营造橡胶防护林是我国植胶 30 余年抗御风、寒、旱害，促进速生高产的有效措施，也是现代科学已经肯定了一项改造环境的成功经验。对风速大、气候干旱的环境，更为有效。海南岛是我国橡胶主要种植区，由于其地理位置的特殊性，常年受到大风、台风以及干旱等自然灾害的影响。因此，要保证橡胶树速生高产，营造防护林防护橡胶是非常重要的，所以营造橡胶园防护林更有其重要意义。关于防护林带（网）对改造橡胶园小气候的效果，经过多年的实践检验，有以下几方面效果：

（1）防风。防风是防护林的主要功能之一。试验证明，橡胶园防护林带（网）能大大减弱常风，减轻台风灾害（防护林防台风的有效范围约为防护林树高的 2 倍以上），提高土壤和空气湿度，使不适于植胶的环境改变为适宜橡胶树生长发育的环境。在风害严重地区，先造防护林后植胶，能有效地保护橡胶树的生长和产胶能力。一般有橡胶防护林的胶树比对照区橡胶树快长 10% ~ 30%。

（2）防寒。橡胶园防护林可调节气候，减轻寒害。在有平流寒害年份，由于防护林网能减弱风速，减弱平流降温效果，因而能减轻平流型或平流辐射混合型寒害。据测定，防护林地内比无林地夏天温度低 8 ~ 10℃，冬天林地比无林地要暖和，温度可



提高 5% ~ 10%。

(3) 防旱作用。防护林网能提高土壤湿度，减少蒸发。

(4) 蓄水作用。防护林能涵养水源，保持水土，减少水土流失。据测定有林地每亩比无林地多蓄水 20m^3 。

(5) 胶园的防护林可带来额外的经济效益。一般防护林地占植胶面积 $1/4$ 多，从某种意义来说，植胶区又是林场区。营造防护林可以解决木材短缺，满足农垦建筑、燃料用材，从而增加经济收入。