

Key technology of health evaluation
and ecological regulation on *Pinus massoniana* plantation

马尾松人工林健康评价 及生态调控关键技术研究

刘君昂 周国英 靳爱仙 李红军 吴 毅 著



西北农林科技大学出版社

Key technology of health evaluation and ecological regulation
on *Pinus massoniana* plantation

马尾松人工林健康评价及生态调控 关键技术研究

刘君昂 周国英 靳爱仙 李红军 吴



西北农林科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

马尾松人工林健康评价及生态调控关键技术研究/刘君昂等著. —杨凌:西北农林科技大学出版社,2013.1

ISBN 978-7-81092-793-2

I. ①马… II. ①刘… III. ①马尾松—人工林—森林经营—研究 IV. ①S791.248

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第018065号

马尾松人工林健康评价及生态调控关键技术研究

刘君昂 周国英 靳爱仙 李红军 吴毅 著

出版发行	西北农林科技大学出版社	
地 址	陕西杨凌杨武路3号	邮 编:712100
电 话	总编室:029-87093105	发行部:87093302
电子邮箱	press0809@163.com	
印 刷	陕西杨凌森奥印务有限公司	
版 次	2013年1月第1版	
印 次	2013年1月第1次	
开 本	787 mm × 1092 mm 1/16	
印 张	10.25	
字 数	228千字	

ISBN 978-7-81092-793-2

定价:25.00元

本书如有印装质量问题,请与本社联系

前 言

马尾松人工林是我国南方栽培面积较大的用材林,其生产力、抵抗力、生态状况及林分质量等问题已经成为人工林经营者关注焦点。特别是人工纯林连栽导致土壤地力退化、病虫害严重发生等问题日显突出,影响了马尾松人工林健康经营。对于湖南衡山县紫金山林场马尾松人工林的不健康问题,项目组针对马尾松人工林土壤健康生物学评价与林分健康评价、人工林主要病害监测、土壤健康生物调控、主要虫害生物控制及林下植被生态功能恢复模式等关键技术开展研究。本书是林业公益性行业科研专项“南方速生丰产林健康与活力维护技术研究”(200904006)中关于马尾松人工林健康与活力维护技术的研究成果,是靳爱仙、李红军、吴毅等博士,梅杰、杨枝林、伍南、黄鹏飞、闫瑞坤、闫法领等硕士的学位论文研究的部分内容。该成果在完成过程中得到湖南衡山县紫金山林场的大力支持。

全书分为七章:第一章,绪论。第二章,马尾松人工林土壤健康生物学评价。第三章,马尾松人工林土壤健康生物调控技术。第四章 马尾松人工林林分健康评价。第五章,马尾松人工林主要病害高光谱遥感监测技术。第六章,马尾松人工林主要虫害生物控制技术。第七章,马尾松人工林林下植被生态功能恢复技术。第八章,主要结论。

全书由刘君昂、周国英、靳爱仙、李红军、吴毅审改统编。由于我们水平有限,加之时间仓促,书中纰缪之处在所难免,敬请同行专家和读者指正。

著 者

2012 年 9 月

主要撰写人员 刘君昂 周国英 靳爱仙 李红军
吴 毅 梅 杰 杨枝林 伍 南
黄鹏飞 闫瑞坤 闫法领



目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 森林健康的发展及内涵	(1)
一、森林健康的发展	(1)
二、森林健康的概念	(2)
第二节 森林健康的监测与评价研究进展	(3)
第三节 土壤健康评价研究进展	(6)
第四节 森林林分研究进展	(6)
第五节 森林健康经营国内外研究现状	(9)
第六节 马尾松人工林研究进展及经营状况	(9)
一、马尾松人工林健康评价研究进展	(9)
二、马尾松人工林经营技术研究进展	(10)
第七节 选题背景、意义与主要研究内容	(13)
一、选题背景、意义	(13)
二、主要研究内容	(14)
第二章 马尾松人工林土壤健康生物学评价	(15)
第一节 材料与方法	(15)
一、土壤样品采集	(15)
二、土壤微生物数量的测定	(15)
三、土壤酶活性的测定	(16)
四、土壤微生物生物量的测定	(16)
五、土壤呼吸作用强度的测定	(16)
六、土壤养分状况的研究	(16)
第二节 结果与分析	(16)
一、不同林龄马尾松人工林土壤生物学指标	(16)



二、不同林龄马尾松人工林土壤养分状况	(21)
三、不同林龄马尾松人工林微生物指标与土壤肥力相关性	(22)
四、马尾松人工林土壤微生物学指标对土壤健康的评价	(25)
第三节 小结与讨论	(29)
一、马尾松人工林土壤微生物分布特点	(29)
二、马尾松人工林土壤养分状况	(29)
三、马尾松人工林土壤生物学指标与土壤养分密切相关	(29)
第三章 马尾松人工林土壤健康生物调控技术	(30)
第一节 材料与方法	(30)
一、供试培养基	(30)
二、供试菌种	(30)
三、供试苗木	(30)
四、马尾松外生菌根真菌和土壤样品的采集	(31)
五、外生菌根真菌的分离、纯化及回接试验	(31)
六、溶磷菌株的溶磷能力测定	(32)
七、溶磷菌株的分离、纯化	(33)
八、分离菌株的生理生化鉴定	(33)
九、分离菌株的分子生物学鉴定	(33)
十、拮抗性试验	(33)
十一、菌株发酵液混合肥效测定	(33)
十二、复合菌剂的制作技术	(34)
十三、复合菌剂各质量指标的测定	(37)
十四、肥效试验	(38)
十五、盆栽苗微生态效应研究	(38)
第二节 结果与分析	(39)
一、马尾松复合菌剂的菌株分离筛选	(39)
二、马尾松复合菌剂的制作及其质量检测	(46)
三、马尾松人工林复合菌肥调控技术	(59)
第三节 小结与讨论	(65)
一、马尾松人工林外生菌根真菌的分离筛选	(65)
二、溶磷菌株的分离筛选	(65)
三、复合菌剂制作及质量检测	(66)
四、复合菌剂对马尾松生长的影响	(66)
五、复合菌剂的微生态效应	(66)

第四章 马尾松人工林林分健康评价	(67)
第一节 研究区概况	(67)
第二节 研究方法	(67)
一、调查小班样地设置	(67)
二、调查方法	(67)
三、林分健康评价指标体系的构建方法	(68)
四、评价模型	(69)
五、林分活力与健康关键因子筛选方法	(69)
第三节 结果与分析	(70)
一、马尾松人工林林分活力与健康指标及评价	(70)
二、马尾松人工林林分活力与健康关键因子研究	(73)
三、小结与讨论	(77)
第五章 马尾松人工林主要病害高光谱遥感监测技术	(78)
第一节 材料与方法	(78)
一、试验地点	(78)
二、试验时间	(78)
三、技术路线	(78)
四、样地设置及数据采集方法	(79)
五、马尾松赤枯病样本材料与数据获取	(79)
六、数据处理与统计分析	(81)
七、病情指数、叶绿素含量地面高光谱反演模型及评价方法	(83)
八、试验仪器	(84)
第二节 结果与分析	(85)
一、马尾松赤枯病病情严重度地面高光谱反演模型	(85)
二、马尾松赤枯病冠层针叶叶绿素含量地面高光谱反演模型	(88)
三、本节结论	(90)
第三节 小结与讨论	(91)
一、病害胁迫下林木冠层可见/近红外光谱特征	(91)
二、病害胁迫下林木冠层光谱敏感波段筛选及红边特征参数提取	(91)
三、病害胁迫下林木病情和叶绿素含量地面高光谱反演模型	(92)
四、病害胁迫下林木病害监测模型优选	(92)
第六章 马尾松人工林主要虫害生物控制技术	(93)
第一节 材料与方法	(93)
一、材 料	(93)



二、方 法	(94)
第二节 结果与分析	(98)
一、三种植物提取物对松梢螟幼虫的单一毒力测定	(98)
二、三种植物提取物对松梢螟幼虫的联合毒力测定	(111)
三、防治松梢螟害虫植物源药剂的制备及林间防效	(117)
第三节 小结与讨论	(123)
一、三种植物提取物对松梢螟幼虫的单一毒力	(123)
二、三种植物提取物对松梢螟幼虫的联合毒力	(123)
三、防治松梢螟害虫植物源药剂的制备及林间防效	(123)
第七章 马尾松人工林林下植被生态功能恢复技术	(124)
第一节 材料与方法	(124)
一、植被群落调查样地设置与调查方法	(124)
二、植被恢复试验设计	(124)
第二节 结果与分析	(126)
一、衡山马尾松人工林植被群落特征	(126)
二、马尾松人工林植被恢复技术	(131)
第三节 小结与讨论	(137)
一、马尾松人工林样地群落植被特征	(137)
二、马尾松人工林林下植被恢复技术	(137)
第八章 主要结论	(139)
第一节 马尾松人工林土壤健康生物学评价	(139)
第二节 马尾松人工林土壤健康生物调控技术	(139)
第三节 马尾松人工林林分健康评价	(140)
第四节 马尾松人工林主要病害监测技术	(140)
第五节 马尾松人工林虫害生物控制技术	(141)
第六节 马尾松人工林林下植被生态功能恢复技术	(142)
参考文献	(143)

第一章 绪 论

第一节 森林健康的发展及内涵

一、森林健康的发展

1978 年, 苏格兰物理学家、地质学家 James Hutton 提出地球是一个具有自我维持能力的超有机体的观点, 这是最早提及“自然健康”的一篇文献^[1]。1941 年 Aldo Leopold 提出了“土地健康”(land health), 他指出“land”意味着一个整体的生态系统, 有害物种的偶然爆发及当地物种的神秘消失和灭绝、土壤侵蚀、肥力损失、水循环不畅等, 这些都是土地疾病的症状; 物种多样性及复杂性与生态系统稳定和健康密切相关, 或者说是由其导致的; 这为从物种多样性角度评价生态系统健康找到了最初起源^[2]。同时 Aldo Leopold 在他的著作中使用了“土地疾病(land sickness)”这一术语, 把“土地有机体健康”作为生态系统内部的自我更新能力, 认为研究中考考虑“土地有机体健康”应当与医学研究中考考虑个人有机体的健康一样, 这就表明了可以用“健康”这一概念来描述自然环境因子的存在状态。20 世纪 70 年代, Woodwell 和 Barrett 极力提倡胁迫生态学^[3-4]。有人指出, 森林管理方法可能影响生态系统的功能; 美国一些机构, 特别是环境保护局在关注建立健康生态系统的同时, 强调了生态系统管理, 管理是着眼于保持和维护生态系统的结构、功能的可持续性, 保证生态系统的长远健康。“生态系统健康性”到底如何评判在当时也没有引起学术界的广泛关注, 哪怕是定性的。这些后来都被运用到了生态系统健康的概念和规范中^[5-6]。1984 年, 在美国生物科学联合会年会上, 美国生态学会主办的题为“受胁迫生态系统描述与管理的整体方法”的研讨会, 推进了退化生态系统的恢复研究和受胁迫生态系统健康标准研究, 随后几年, 该方面多个研究项目得到了美国自然科学基金会和美国林务局等单位的相继支持^[7]。1988 年, Schaeffer 等首次探讨了有关生态系统健康度量的问题, 但没有明确定义生态系统健康, 只是简单地将其定义为“没有疾病(Absence of disease)”, 并提出了进行评价的原则及方法, Schaeffer 的研究成为生态系统健康研究的先导^[8-12]。1990 年 10 月和 1991 年 2 月分别在美国马里兰和华盛顿召开了生态系统的专门会议, 会议的主题是确立以生态系统健康为环境管理的主要目标, 管理的主要着眼点在于保持和维护生态系统的健康可持续性; 1992 年, Costanza 总结了上面两次会议, 呼吁人们关心全球各类生态系统的健康^[13]。随后, 生态系统健康得到学者广泛关注, 美国



国会通过了“森林生态系统健康和恢复法”,美国环保局、林务署与农业部等组织专家对美国范围内的森林、湿地等进行了一项长期性的监测和评估计划,每年定期提交美国国家水平和地区水平主要森林的健康质量变化情况报告;该计划包括了一系列标准化的森林健康指标,包括初级生产力、各乔木树种生物量、林冠状况、龄级分布、林下植被多样性、病虫害以及土壤养分含量等,该指标体系主要集中于各要素上以森林经济利用为主的生态系统健康^[14]。20世纪90年代后期,生态系统健康在中国开始研究以来,已取得了许多进展,生态系统健康评价也正在从理论研究走向实践。我国已提出实施“国家天然林健康质量监测计划”的基本想法和思路,目标是监测、评价和报告国家天然林生态系统健康状况及其变化和长期发展趋势^[15]。20世纪60年代,“森林健康”这个术语作为一个森林管理的基本概念,一般是针对因人为具体因素而形成的森林衰退。例如人为的森林砍伐、土地开发以及大气污染和酸雨等造成的植物成熟前期的叶子卷曲、脱叶、脱色、大面积森林死亡、冠层变稀疏等现象,以及病虫害和火灾的威胁等^[16-17]。这些研究都是直接针对小规模 and 个体行为的森林所受的胁迫所引起的相应变化。

二、森林健康的概念

森林健康的概念秉承生态系统健康概念而来,是生态系统健康概念在森林上的一个延伸和拓展。当前关于森林健康的概念、认识和争论基本上来自三种途径,是认识森林健康问题的三种出发点:第一,认为生态系统健康就是生物与非生物因素不威胁到现在及将来的森林管理目标的状态,管理目标决定了森林健康,这是功利主义观的面向目标途径。第二,是生态系统观的面向生态系统途径,它认为生态系统健康就是生态系统具有完全功能性、生态整合性、平衡、回复力恢复;生态系统途径强调产生和维持森林状况,去潜在满足一系列多样目标的基础性生态过程。最后是平衡二者的综合考虑,认为生态系统健康就是生态系统可持续到未来的一种状态、森林向人类提供需要并维持自身复杂性的一种状态。辨识这些途径的具体表述对我们认识森林健康的内涵有重要意义^[18]。

现代森林健康的概念已经逐步发展为包括森林景观、森林群落生态系统以及林分在内的系统概念。目前对森林健康的研究,一方面强调森林健康与生态系统服务功能之间的关系^[19-20];另一方面是对其健康状况的研究,包括恢复能力、承载能力、林分组织活力及森林健康胁迫因子等研究^[21]。随着GIS、遥感技术的成熟,森林生态系统健康评价与监测方法也得到很大提高,研究内容也开始从定性到定量方向发展^[22-23]。

森林健康是今后林业发展的主要目标和理念之一。一个理想的健康森林,生物因素和非生物因素对它的影响(如病虫害、干旱、空气污染、营林措施、木材采伐、抚育采伐、放牧等)不会威胁到现在或将来森林资源经营的目的。健康的森林是国家和民族实现社会可持续发展的基础,是改善人民居住环境和生活品质的重要保证;它能够满足人们多种需要:有效保护改善生态环境、涵养清洁水源、为动物提供栖息地、为人类提供工业生产

的原材料、净化空气、陶冶人的情操和提供人们游憩的场所。森林健康经营是通过森林正确的管理,遵循自然进程,维护森林生态系统的稳定性、生物多样性以及对灾害性破坏(如病虫害、抚育采伐、放牧等)的自我调节能力,减少灾害性因素引起的损失,培育和保护健康的森林,使森林生态系统能够适时更新,从大规模的破坏中恢复,保持生态系统的平衡,并满足现在和将来人类所期望的多目标、多价值、多用途、多产品和多服务水平的需要。森林健康经营是先进的现代林业经营理念,是维持林业可持续发展的重要措施之一^[24]。

第二节 森林健康的监测与评价研究进展

正确理解了什么是健康的森林生态系统后,学术界开始了对森林生态系统健康性能评价因子的研究。在森林生态系统健康性能评价时,要考虑的因子较多。有学者认为,森林的生产力、演替阶段、土壤养分、人为破坏、火灾、气候条件、环境污染以及重大灾害等都应该纳入森林生态系统健康性能评价范畴^[25]。20世纪70年代末期,德国率先提出了森林健康状态的概念并开始了观测工作,随后该工作影响并扩大到了整个欧洲^[26]。美国也展开了相关的森林状态的监测,美国林务局和美国自然科学基金会等单位相继支持了多个该方面的研究项目。1992年,美国国会通过了“森林生态系统健康和恢复法”,并在20世纪90年代期间实施了一系列国家范围内的森林健康评估和监测计划。世界各国主要是围绕与可持续发展有关的指标来采集信息进行森林健康监测。如赫尔辛基进程和蒙特利尔进程中的可持续经营和森林保护的指标和标准,涉及社会和经济效益、碳循环、水土保持、森林生态系统及生物多样性等内容,根据调查监测的类型和具体的内容会有所不同。肖风劲等基于模型,研究了森林生态系统健康指数与森林NPP(初级净生产力)的相关性,结果显示,目前大力发展的人工林(特别是人工纯林)在三个因子中,NPP对森林健康的影响最小,其生产力水平很高,但健康指数低^[27-28]。美国和加拿大在森林生态系统健康评价因子的分析上做了大量工作。美国林务局设立了全国森林健康监测的专门机构和研究监测项目(Forest Health Monitoring, FHM),负责对全国的森林健康调查,以监测全国森林健康状态的动态变化及其发展趋势,及时报告森林健康的状态及变化,FHM分4个基本层次进行监测,主要监测指标有:树木生长(Tree Growth)、树木更新(Tree Regeneration)、树冠状况(Tree Crown Condition)、树木损伤(Tree Damage)、树木死亡率(Tree Mortality)、臭氧指示种(Ozone Bioindicator Plants)、土壤结构和化学性质(Soil Morphology and Chemistry)、植被结构(Vegetation Structure)、植物多样性(Plant Diversity)等^[29]。在加拿大,资源可持续发展管理局(Department of Sustainable Resource Development, SRD)主要立足于从Alberta(加拿大西部一个省份)的森林最大收益出发,采取了各种措施,主要有:教育群众,在群众中推广病虫害鉴定知识;从病虫害、外来物种对森林健



康性的影响出发,调查、搜集第一手资料,建立信息档案,长期跟踪评价森林健康性^[30]。

由于森林健康评价指标多且复杂,指标间存在相关性,需要找到一个合理的方法,减少分析指标的同时,尽量减少原指标包含信息的损失,对所收集的资料作全面的分析。由于各变量间存在一定的相关关系,因此有可能用较少的综合指标分别综合存在于各变量中的各类信息。1993年,美国环保局与林务局共同实施的全国森林健康监测计划的评估指标体系中,包括初级生产力、乔木树种生物量的估算、龄级分布、林下植被多样性、树冠状况、病虫害、土壤养分含量等指标^[31]。程志光采用了群落物种的多样性指数、土壤有机质、含水率、实际净光合速率、林木生物量和经济价值总量共6个指标^[32]。孔红梅等选用了对生态系统健康有较大影响的一些指标,如乔木、灌木、草本、土壤动物等21个指标构成评估指标体系^[33]。尹华军等针对西南地区亚高山针叶林采用生态指标为主进行了健康诊断,主要诊断指标达14个以上^[34]。肖风劲等提出了由组成、结构、生物多样性、NPP等19个指标构成森林生态系统健康评估指标体系和模型,但是多数指标数据难以一次得到,所以作者也只是选取了NPP、生物多样性指数和抗病虫害能力3个指标对全国的森林生态系统健康状况进行了评估^[27-28]。李金良等结合北京地区森林植被和具体的自然条件情况,采用复合结构功能指标法,提出了包括林分蓄积量、林分郁闭度、群落层次结构、物种多样性、年龄结构、病虫害、灌木层盖度、草本盖度和枯落物层厚度9个指标因子组成了水源涵养林健康评估指标体系^[35]。陈高等根据他人研究的数据资料和样地调查,提出了阔叶红松林生态系统健康评估指标体系框架^[36-39]。王亚玲针对潭江流域提出了包括3个方面17个指标组成的森林生态系统健康评估指标体系^[40]。鲁绍伟等由林分蓄积量、年龄结构、林分郁闭度、病虫害危害程度、群落层次结构、物种多样性、灌木层盖度和土壤侵蚀程度8个指标构建了森林生态系统健康评估指标体系^[41]。李秀英依据土壤状况、组织结构、生产力和抵抗力4个方面的29个指标构建了森林生态系统健康评估指标体系^[42]。谷建才主要从结构性、基础性、生态服务功能价值和抗干扰性四个方面,选择了生物量、NPP、呼吸速率、光合速率、植被结构、植被类型、植物多样性、气象灾害、森林病虫害、森林火险、污染灾害等指标^[24]。甘敬在森林经营小班尺度上,从完整性、稳定性和可持续性三个方面初步构建健康评价指标^[43]。赵小亮选择了24个评价森林生态系统健康的指标建立指标体系,并对初步选取的指标采用主成分分析法,将多项相关的指标简化为较少的主成分,代替原指标^[44]。聂力从森林生态系统的稳定性、可持续性和结构功能的完备性的评价标准出发,筛选出了21项指标^[45]。姬文元综合考虑群落结构完整性、林分稳定性、林分生长状况3个方面,确定了郁闭度、下木总盖度、地被物总盖度、幼树中建群种数量比例、更新等级、幼树幼苗生长情况、单位面积活立木蓄积量、建群种的平均胸径、建群种的平均树高共9个指标^[46]。由于森林生态系统健康评估途径不同,其评估指标体系有较大差异。

自森林生态系统健康一词出现以来,国内外众多学者通过潜心研究,提出了许多评

估的计算公式。Costanza 等提出的公式最早奠定了评估的基础, Ulanowicz 发展了活力、组织结构和恢复力的测量及预测公式^[47]。2002 年, 孔红梅提出了国内第一个计算公式^[2]之后, 陈高^[18]、肖凤劲^[27]、李秀英^[30]、李金良^[35]、鲁绍伟^[41]、王薇^[48]等也分别提出了森林生态系统健康评估计算公式。这些公式的共同问题是无法验证其评估结果的准确程度, 还有待深入研究改进。

大部分学者认为, 构建森林健康评价指标体系要综合林分蓄积量、年龄结构、群落层次结构、林分郁闭度、草本层盖度、灌木层盖度、物种多样性、病虫害危害程度、枯落物层厚度等众多因素。因此现有的众多评价指标体系也各有不同, 不论包含哪些具体指标, 一般来说森林健康评价指标体系的构建应考虑三个原则: 科学性、可操作性及灵敏性原则。

森林健康评价主要是基于生态系统结构的稳定性、功能的完备性和持续性来进行, 是对森林健康状况全面综合的评价过程。其评价内容主要有胁迫因素、功能过程、生态组成结构等, 组织结构、生态系统的活力、恢复力和抵抗力构成了其评价要素。在评估森林健康的过程中, 有学者建议通过森林生态系统的健康指数 (FEHI) 大小来反映森林健康状况, 其评估模型为:

$$FEHI = W_1 V + W_2 O + W_3 R$$

式中: FEHI 为森林生态系统健康指数; V 为活力; O 为组织结构; R 为恢复力和抵抗力; W_1, W_2, W_3 分别为 V、O、R 的权重, 且 $W_1 + W_2 + W_3 = 1$ 。

对森林健康的分类或评价, 目前还未有统一的分类标准。众多学者认为, 健康的森林除了具有较强的抗御自然灾害能力、良好的土壤环境等特征外, 还应该能尽可能多得为人们提供更多的直接经济效益和生态效益。依据森林结构与森林健康的密切关系, 李志洪等认为森林健康状况可划分为不健康、欠健康、亚健康和健康 4 类, 并分别阐述了各种健康状况的定性描述^[49]:

(1) 不健康: 受人为破坏或自然灾害严重, 生长差的残林; 由于树种选择不当, 生长的“小老头林”, 这些林分即使目前未发生病虫害, 均有可能成为森林病虫害的发源地。这一方法虽然有一定的定量描述, 但定量指标太单一。

(2) 欠健康: 生长一般的人工林, 病虫害感染率 21%~30%, 因病虫害或火灾原因而枯死林木 > 10%。

(3) 亚健康: 受到较重的人为破坏, 但基本保存着主要物种, 封育后可以自身恢复的残次林; 生长旺盛的人工混交林、纯林, 火灾、病虫害受灾率 < 20%。

(4) 健康: 具有生物多样性的自然林及已基本能自然恢复成林的自然次生林, 病虫害感染率 < 10%, 未发生森林火灾。



第三节 土壤健康评价研究进展

土壤质量(soil quality)和土壤健康(soil health)可以说是同义词,近年来是土壤研究中的一个热点,定义为:在土壤生态系统内维持生物生产力、改善环境质量以及促进动植物健康的持续运行机能。健康的土壤应该是有生物活力的和具有功能的土壤^[50]。Anderson^[51]指出,土壤健康主要集中于土壤的生物成分上。Doran 和 Zriss^[52]认为,狭义来说,“土壤健康”指的是最大限度上减少土传植物疾病生物的数量及有关疾病的发生率,最大限度地减少和控制土传昆虫或其他害虫的数量及活动范围。

土壤是生态系统健康评价的重要指标,土壤生物指标能敏感地反映出土壤健康和土壤质量的变化,并有可能成为土壤生态系统稳定性的敏感指标和早期预警,能确定标志土壤健康的关键性指标并对其评价全球范围的土地管理和农业生产具有重要意义^[53-54]。微生物量(microbial biomass,简称MB)、土壤呼吸(soil respiration)及其衍生指数(derived indices)、一些土壤微生物功能组、微生物群体结构及功能多样性、土壤酶、微动物区系的功能多样性和植物生长等亦均可看作土壤健康指示目前具有潜力的生态指标^[55-58]。

土壤健康评价在生态系统健康评价中的现实早已受到关注^[59]。健康的生态系统应具有很强的系统的恢复能力和对胁迫因子的负荷能力,土壤微生物指标有着不可取代的作用^[60-61]。因此,土壤生物学质量是土壤健康监测和评价的主要研究内容,也是确定和诊断土壤污染和地力衰退程度的重要方面。

有学者提出土壤生物学质量评价的新方法^[62-63],揭示了土壤微生物最根本的生存状态,成为评价土壤健康和土壤生物学质量状况的有利工具。在国内外常使用的评价方法有:多变量指标克立格法(multiple variable indicator transform, MVIT)、土壤质量动力学方法、土壤质量综合评定法、土壤相对质量评价法。这4种方法都具有优点,可以认为土壤综合评分法更能直观看出其土壤的质量状况,且应用多元统计分析法,即能得出相关数据,且方法原理简单,计算简便,结果客观可靠,是一种值得推广的综合土壤健康指标评分法。

第四节 森林林分研究进展

林分是内部结构具有极其相似一致性的森林自然存在地块,又和其相邻林分有显著区别。构成林分的树种、立地质量、林分起源及经营目的、经营强度等方面相同或相似;但不同林分间由于立地、经营集约度的差别,就使得林分显得千差万别,因此需要不同的管理措施进行经营^[64]。对于森林林分的研究,长期以来,林分结构一直是林学界研究的

重点^[65]。林分结构反映了种群个体在水平空间上彼此间的相互关系,是种群生物学特性、种内与种间关系以及环境条件综合作用的结果,是种群空间属性的重要方面,也是种群的基本数量特征之一^[66]。李毅等认为林分结构是林分中树种、树高、胸径、株数等因子分布的状态^[67];陈东来等认为林分结构是以林分所包含的林木大小值分布和树种而言,其内容包括树种、树高、直径、树冠、材积、形数等^[68];孟宪宇提出了林分结构规律的概念,认为不论是天然林或人工林,在未遭受严重干扰的情况下,林分内如树种、树高、直径、树冠、材积、形数及复层异龄混交林中的树种、年龄和林层组成等特征因子都表现出一种结构规律稳定的分布状态^[69];胡文力认为林分结构是整个森林经营单位的林层、株数、年龄、树种及径级等构成^[70];姚爱静等认为,林分结构是指一个林分的空间配置、树种组成、直径分布、树高分布、年龄分布和个体数^[71]。

众多学者对林分的研究主要集中在测树学和森林生态学两个领域。黄清麟分析了福建青冈萌芽林分物种组成^[72];陈昌雄等对闽北天然异龄林的林分结构进行分析和模拟研究,得出了林分内部的树种结构大体可以分为3个层次^[73];吕勇等利用湖南会同县170块杉木人工林样地资料,用Weibull分布函数模拟出直径分布规律,并以此为基础,结合树高曲线理论模型,推导出树高分布预估模型,同时进行了精度分析和假设检验^[74];薛俊杰等对华北落叶松天然林群落更新、演替、年龄结构状态与干扰等之间的关系进行了研究^[75];张伟等使用Greig-simth等级方差分析法,通过结合样带调查,研究了庞泉沟自然保护区两类次生混交林的主要种群空间格局和年龄结构^[76];张贵等应用weibull分布研究了毛竹直接分布规律^[77];Hansorg指出年龄结构的分析有益于估计斑块入侵的速度,分析不同地理条件对群落发展的影响和有助于理解群落内部的动力学^[78];Takuo Nagaike的研究通过多元回归分析,得出日本中部自然恢复矮林林下物种多样性和丰富度受景观参数的影响比受林分结构的影响大^[79];郭华等用冠层半球影像系统测定,分析了黄土高原腹地子午岭林区4个不同龄级油松林的冠层特征和林下光立地系数^[80];姚爱静分别对人工刺槐林、人工油松林和天然纯林的树高分布利用直方图进行描述分析^[71];徐海等在吉林省蛟河林业实验区大坡经营区调查,利用角尺度、大小比数和混交度等3种结构参数,分析了样地内不同径阶林木的空间分布特征^[81];乌吉斯古楞等研究了30a生的油松人工林生长状况与林分密度的关系^[82];宋坤等研究了栲树的生长特征和种群年龄结构^[83];刘建利等以黄土高原丘陵区刺槐林为研究对象,比较和分析了不同密度及立地条件的人工刺槐林林下植被多样性变化特征^[84];刘畅用直方图对八达岭林场糠椴树主要树种的直径分布进行了研究并分析了其直径分布结构特征^[85];刘明国等运用6种树高生长模型对朝阳区主要树种油松、刺槐和华北落叶松的树高生长进行了拟合研究^[86];邱迎君等对福建天宝岩自然保护区长苞铁杉天然林的群落组成、年龄结构和各年龄级的空间分布格局进行了研究^[87];孙景波等采用样地网格调查法以及年轮分析法研究了哈尔滨市6种城市人工林群落的更新数量、更新树种组成结构和更新幼树年龄结构^[88];谢小魁等以



原始阔叶红松林为研究对象,采用密度依赖矩阵模型,模拟了自然生长下林分径级结构的动态变化^[89];曹旭平等对陕北黄土高原神木、绥德、吴起、延川、黄龙、宜川等8个县人工油松同龄纯林林分结构特点进行了对比研究^[90]。许国华等对白桦林和白桦落叶松混交林进行了抚育间伐最佳经营密度的研究^[91];柴一新等通过对白桦林径级的分析、死亡木分析和经营进行了分析研究^[92];孙志虎对采用修枝和间伐对白桦天然林林分生长影响进行了研究^[93];张涛等对低效林改造的方法与效果进行了研究分析^[94];何明月对低效、残次防护林的近自然林经营技术进行了研究,提出了近自然森林经营的技术体系^[95];陆元昌对近自然森林经营体系及人工林进行了近自然化经营试点研究^[96]。

在森林生态学领域,近年来有关森林群落的种类组成研究有增多的趋势,群落种类组成研究内容主要集中在群落植物的区系背景分析、科属组成、物种丰富度、优势种重要值等方面^[97]。研究的主要森林群落有针叶林、亚热带常绿阔叶林、针叶阔叶混交林、热带雨林以及人工林和毛竹林^[98]。马克平对多样性的测度方法进行了全面的综述^[99],高宝嘉提出了群落垂直结构的测度方法^[100]。我国学者也对不同的森林群落的多样性进行了大量的研究,例如马克平、黄建辉等对东灵山地区植物群落的多样性进行了分析,并比较了用多度、盖度和生物量作为测度指标面计算的群落多样性^[101-102];陈廷贵等运用关帝山89个样地物种的重要值数据对十五个物种多样性进行了比较研究^[103];罗文训对南方红豆杉天然林群落结构特征进行了研究,测定了该群落11种主要树种的重要值,分析了群落的种类组成、物种多样性、群落结构及其动态^[104];黄忠良对用多度、重要值和盖度作为测度指标计算群落多样性进行了分析比较,并分析了其与演替阶段、人为干扰程度等方面的^[105]比较;Xiaoni Xu等应用多样性指数和均匀度指数对日本冲绳县以北亚热带常绿阔叶林林下植物进行了研究^[106];王国梁等对纸坊沟流域恢复生态系统中的植物群落的组成和结构进行了对比研究^[107];郭华等应用多样性指数对不同龄级的人工油松林群落的生物多样性进行了初步研究^[108];韩永光等通过样地调查,运用重要值、多样性、均匀度和丰富度等指标,研究了油松林林下植物群落的物种多样性^[109];刘红霞等根据小五台森林群落的实地调查数据,详细分析并比较了各个不同群落类型的物种多样性及相似性^[110];高远等沿海拔梯度对蒙山自然植被进行调查,发现植物多样性沿海拔梯度呈现出近似中海拔高的单峰格局^[111]。Nagaike认为植物的多样性受到林分结构和景观参数影响^[112];《国家森林资源连续清查技术规定》将林层结构划分为单层林和复层林,其中复层林划分时规定各林层每公顷蓄积量不少于 30m^3 ,主林层、次林层平均高相差20%以上,各林层平均胸径在8cm以上,主林层郁闭度不少于0.30,次林层郁闭度不少于0.20^[113];安慧君将林层比定义为参照树*i*的*n*株最近相邻木中,与参照树不属同层林木所占的比例,并运用该方法对阔叶红松林中不同树种的垂直结构进行了分析^[114];方精云以直径级为森林结构的划分变量,将海南岛尖峰岭山地的雨林划分为4个层次:小乔木层、中乔木层、乔木层和高大乔木层^[115];张忠义在研究宝天曼山栎类天然次生林群落结构时,将4