

黄土丘陵沟壑区 微地形特征及植被配置

薛智德 著



中国林业出版社

黄土丘陵沟壑区微地形 特征及植被配置

薛智德 著



中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

黄土丘陵沟壑区微地形特征及植被配置 / 薛智德著. - 北京: 中国林业出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5038-8520-4

I. ①黄… II. ①薛… III. ①黄土高原-丘陵地-沟壑-微地貌-研究②黄土高原-丘陵地-沟壑-森林植被-研究 IV. ①P942.407.4②S718.54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 090994 号

责任编辑: 李 伟

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

E-mail forestbook@163.com 电话 010-83143544

网址 lych.forestry.gov.cn

发行 中国林业出版社

印刷 北京中科印刷有限公司

版次 2016年5月第1版

印次 2016年5月第1次

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 10.5 彩插 4面

字数 230千字

印数 1~1000册

定价 38.00元

前 言

目前全球植被正在面临面积锐减、质量下降、生物多样性减少、生态环境功能减退等问题,由此产生一系列环境问题,如水的问题(森林破坏造成水土流失、水旱灾害、水资源分配失调)、土的问题(土资源减少、风蚀荒漠化、盐碱化等)和大气问题(森林破坏造成空气污染、温室效应等)。由 95 个国家、1360 余位学者参与的千年生态系统评估(MA /Millennivm Ecosystem Assessment)国际合作项目,2000 年~2005 年调查研究后,对全球各类生态系统进行综合的、多尺度评估。评价结果认为:在过去 50 年中,人类已经极大地改变了生态系统的状况,60%的生态系统服务已经退化;生态系统的变化已经给人类带来了惠益,但是其成本会越来越高,而且会给实现环境方面的目标造成威胁;生态系统的退化可能会愈来愈严重,但是这一趋势是可以被扭转的;只有在政策方面进行重大调整,才会在扭转生态系统退化方面取得真正的成效(Synthesis Team Co-chairs: Steve Percy, Jane Lubchenco, 2005; Walter V. Reid, Harold A. Mooney, Angela Cropper, Doris Capistrano, 2005)。中国是世界上生态环境恶化最严重的国家之一,由此带来的灾难性后果日趋明显和严重。世界银行农村发展部中国和蒙古司负责人于尔根弗格勒指出:“中国北方土地干旱和沙漠化现象正在加剧,土壤退化影响到中国 1/3 的土地,中国存在全世界最严重、也可能是最危险的水土流失问题。”(王礼先,2004)治理生态环境是摆在中国政府面前不容忽视的首要课题。例如黄河流域水土流失面积 43 万 km^2 ,占全流域面积的 48%,年流失泥沙 16 亿 t,中上游黄土高原地区占 80%。由于长期过度的经济活动,天然植被遭到中强度干扰,世纪之交,不但加重了水力侵蚀,而且由风力引起的沙尘暴频繁袭击中国北方地区,沙尘暴过程已经影响到长江以南,形成扬沙或浮尘天气。为解决或缓解这些矛盾,中国政府坚持以人为本的方针,确立并实施以生态建设为主的林业发展战略,建立以森林植被为主体的国土生态安全体系和山川秀美的生态文明社会,作出实施六大林业重点工程:天然林资源保护工程、退耕还林工程、京津风沙源治理工程、三北及长江中下游地区等重点防护林工程、野生动植物保护及自然保护区建设工程和重点地区速生丰产用材林基地建设工程。这些工程的不断实施,对改善生态环境起着重大作用。然而随着各项工程的不断深入,困难立地占工程区面积比例不断增加。中国黄土高原地区面积为 62.38 万 km^2 ,境内沟壑密布,长度在 1km 以上的侵蚀沟达 30 万条以上,沟壑密度达 1.3~8.1 km/km^2 。黄土丘陵沟壑区占黄土高原总面积 70%,其沟壑面积占 30%~55%。黄土区干旱少雨,蒸发量大,十年九旱,干旱是该地

区的基本气候特征，而侵蚀沟坡度多在 35° 以上，植被稀疏，是黄土区的主要侵蚀产沙源和输沙通道，恢复和重建侵蚀沟的植被对于改善黄土区生态环境，防治水土流失具有重要意义。但侵蚀沟干旱瘠薄，植被恢复与重建困难，已成为该地区林业生态工程建设的典型困难立地。黄土干旱阳坡困难立地自然条件更加恶劣，生态系统脆弱，是林业生态工程建设的“硬骨头”，土壤侵蚀造成坡面破碎，浅沟、切沟等微地形遍布其中，根据微地形环境特征，配置合理的植被结构是目前中国黄土高原半干旱丘陵沟壑区植被恢复的科学问题之一，只有按照微地形条件配置适宜的植被类型，才能真正做到“适地适林(草)”“适地适群落”，才能快速、高效、稳定地实现生态恢复。所以，适应微地形特征的植被配置等技术研究迫在眉睫。

薛智德

2015 年 8 月于西北农林科技大学

目 录

前 言

第 1 章 立地学研究进展	(1)
1.1 森林立地学研究进展	(1)
1.2 定量立地评价与分类研究	(6)
1.3 土地评价和适地适树研究	(7)
1.4 微地形研究	(12)
1.5 科学问题与展望	(13)
第 2 章 研究区概况和研究内容方法	(15)
2.1 研究区概况	(15)
2.2 研究内容方法	(17)
第 3 章 退耕封育地自然植被特征	(22)
3.1 退耕封育阳坡植被特征	(22)
3.2 退耕封育半阳坡植被特征	(28)
3.3 退耕封育半阴坡植被特征	(36)
3.4 三坡向植被特征比较	(42)
3.5 小 结	(43)
第 4 章 微地形的形状及类型	(46)
4.1 吴起县坡向和阳坡坡度组成	(46)
4.2 切沟形状与类型	(47)
4.3 浅沟相对深度及间距	(49)
4.4 小 结	(50)
第 5 章 微地形土壤养分	(51)
5.1 土壤养分变异规律	(51)
5.2 土壤养分相关性	(53)
5.3 土壤养分因子分析	(56)
5.4 微地形养分对比分析	(57)
5.5 小 结	(61)
第 6 章 微地形土壤水分的异质性	(62)
6.1 微地形土壤含水量差异性检验	(63)
6.2 阳坡微地形土壤含水量的比较	(64)

6.3	半阳坡微地形土层含水量比较	(67)
6.4	半阴坡典型微地形土壤含水量的比较	(70)
6.5	三个坡向微地形土壤含水量的比较	(73)
6.6	小 结	(76)
第7章	影响土壤含水量的主要因素	(78)
7.1	微地形对降雨入渗的影响	(78)
7.2	降雨对微地形土壤含水量的影响	(83)
7.3	天然草地土壤含水量	(96)
7.4	蒸发对土壤含水量的影响	(96)
7.5	小 结	(98)
第8章	微地形的分类体系	(100)
8.1	典型微地形的分类体系	(100)
8.2	微地形分类体系	(102)
8.3	小 结	(119)
第9章	微地形的植被配置	(120)
9.1	黄土丘陵沟壑区植被恢复目标	(120)
9.2	植被配置与物种选择原则	(121)
9.3	微地形的植被配置	(122)
9.4	小 结	(143)
	黄土丘陵沟壑区微地形特征及植被配置植物种及拉丁学名	(145)
	参考文献	(147)
	后 记	(157)

第1章 立地学研究进展

1.1 森林立地学研究进展

1.1.1 国外森林立地学研究概况

广泛的土地分类出现于罗马, Cato(公元134~139年)为了土地交易的需要将土地分为9级, 其中用材林占中间位置。1795年Hartig根据林相将林地划分为上、中、下3个类型评定林地生产力。1872年Blomquist依据土壤坡向和植被将芬兰分为3个生长地带, 每个带中分为3个立地级。1893年E. Raman(德国)在编著《森林土壤学和立地学》中最早提出森林立地概念(刘建军, 1994)。由于人们的认识和客观自然条件的不同, 分类所遵循的基本原则也大相径庭, 其分类方法各有千秋, 研究报道都带有区域性的特征(顾云春, 1993), 没有形成全球性的分类方案。目前各种森林立地分类和质量评价体系并存, 概括起来有3个方面: 植被途径(植物途径和林木生长效果途径)、环境因子途径和综合途径。这3种途径往往互相渗透、互相影响、分类术语相互借用, 但表达的物理意义相近或不同。

1.1.1.1 植被途径

(1) 植被组成和结构及其指示植物途径。植被的种类组成、结构和生长状况是环境条件的综合反映。芬兰Cajander第一个把稳定群落看作立地分类的基础, 将立地定义为: 具有相似立地质量与相近下木组成的成熟林和同类立地的不稳定林分(惠特克, 1985)。

芬兰学者A. K. Cajander(1879~1943)从斯堪的纳维亚半岛和西伯利亚植物种类、地形、地貌均较单调的情况下创立的芬兰学派, 通过稳定的植物群落, 特别是下木组成所反映的立地条件来确认生态系统类型。系统共有3个级别: 立地型纲[芬兰森林分为干旱和贫瘠的(石楠灌丛)、泛滥湿地、泛滥而肥沃(阔叶林)、潮湿肥沃(盐渍的森林)、潮湿而贫瘠(沼泽林)5个纲]、立地型(主要根据优势下木植物种或优势种组加以识别)、林型(主要根据优势种确定)。芬兰学派的研究区域为高纬度地带的原始林, 对苏联苏卡乔夫学派有过很大影响。

苏卡乔夫晚年对林型所下的定义为: 林型就是树种组成、其他植物层次和区系微生物界、气候、土壤、水文条件、植物和环境之间的相互关系, 生物地理群落内部和外部的物质和能量交换, 更新过程和演替趋向均相同的森林地段的联合。该学派认为: 林型是最基本的分类单位, 生境类型相同的林型可合并为林型组, 每个林型组中有一个典型林型, 林型组之

间也有联系,形成逐渐过渡的关系。此学说也强调植物与环境之间的关系,在林型命名中反映了这一思想。苏卡乔夫分类方案属于外观分类方法,可以用遥感影像大面积识别,与植被分类资料之间可以互提信息,在世界各国有很大的影响,也是20世纪50~60年代在中国占主导地位的学派。显然这种方法在原始林区能通过群落较好地反映立地的差异,而在次生林区、无林区,群落对立地没有很好的指示意义,所以很难或不能用这种方法进行立地分类。

Hodgkin's 根据 Braun-Blanquet 覆盖度-多度级编制了美国长叶松林地指示植物谱,依据指示植物的多度就可以从谱中查出林分立地指数对林分和土壤生产力进行评价(斯波尔 S H, 1982)。个别指示植物作为区分立地类型的依据,在复杂和干扰多的林区很难实施,20世纪70年代更多的是采用生态种组的方法,凡生态要求相似的指示植物归入一个生态种组,然后根据生态种组区分生态系统。生态种组在立地单元野外鉴别和制图中具有重要作用(Burton V Barnes, 1982; Pregitzer, 1984; Kurt S Pregitzer, 1984), 1985年 Spies (Thomas A Spies, 1985)指出,单纯依靠生态种组划分立地单元不如综合应用生态系统各组分精确,也比不上立地因子的分类。所以,采用植被特征进行立地分类和质量评价存在许多局限性。

(2) 林木生长效果途径。同一树种在不同立地上生长有明显差异,因此人们很早就开始以林木生长量指标进行立地分类和质量评价。1797年 Spath 以不同年龄的树木立方米材积绘制生长曲线;1824年 Hundesha-gan 和 Huber 根据指示林分平均木树干解析编制成第一个标准收获表,1923年美国林协委员会曾确认材积生长量是立地质量的主要度量方法,并建议为生长良好的云杉林制定收获表;1981年 Bjorn Hagglund 提出用立地特性直接表达蓄积生长量的函数,但是由于材积(蓄积)生长量除与立地特性有关外,还受到林分密度、经营措施等影响,因此生长量不能确切反映立地特性。相对而言,树高能反映生境生产木材的能力且受林分密度的影响较小(詹昭宁, 1981), Baur 开始使用立地级这一术语,并用树高代替材积(蓄积)进行生产力评价。立地级(site class)是一定年龄的林分按其平均高划分的等级,反映出林地生产力的大小,可为立地分类提供尺度,这种方法广泛应用于原苏联和东欧国家的林业生产中。20世纪初期,立地级的概念传到西欧和北美,1926年 Bruce 在编制南方松的收获表时抛弃常用的立地级,采用了一定年龄的优势木平均高度作为衡量立地的指标,逐渐产生了立地指数(site index)。1957 McIntock 和 Bickford 在研究美国东北红果云杉异龄林分的立地质量时,认为同一林分中优势木的高度和胸径间存在敏感关系,规定优势木在一个标准的胸径达到的高度作为立地指数,使立地指数在异龄林内得到应用。1967年 Frier 指出用同一立地指数曲线族预测树高发育和进行立地分类是不合适的,其后许多学者相继根据解析木资料建立了多形立地指数曲线,取代了单行导向曲线编制的立地指数,提高了立地指数的预测精度(骆期邦, 1989)。总之,立地级和立地指数都是根据植物生长状况直接评价立地条件与土壤生产力,为准确地划分立地类型提供了科学依据,但它们不能应用于无林地,也不能深入地反映立地的自然属性。

1.1.1.2 环境因子途径

在相对一致的气候条件下,土壤对森林生产力有决定性的作用,常被作为立地分类划分的重要依据,日本20世纪60~70年代制定的林业土壤分类系统将发生学分类与土壤水分及

肥力性质结合,预测不同树种的生产力(叶德敏,1987)。20世纪80年代,西方发达国家首次提出土壤质量(soil quality)(张海林,2002),用作物产量衡量土壤生产力。1994年Doran和Parkin认为土壤质量是生态系统边界内保持作物生产力、维持环境质量、促进动植物健康的能力(Doran J W, 1994)。就是土壤肥力质量、土壤环境质量和土壤健康质量三个即相对独立又有机联系组分之综合集成,包括土壤物理性质、化学性质和生物性质三大基本内容,但是第2和3级指标的选取分歧仍很大(Brookes P C, 1985; Pennock D J, 1994)。目前国内土地质量定量化评价仍然采用评分法、分等定级、综合指数、聚类分析和层次分析等方法,土壤质量动态变化评价采用多变量指标克里格法(Multiple Variable Indicator Kriging)、土壤相对质量指数评价法、土壤质量综合评分法和土壤质量动力学方法。

1.1.1.3 综合途径

通过对气候、地形、土壤、植被的综合研究,进行森林立地分类和质量评价。森林可以看做是林分(林木)和环境的统一体,森林立地分类以立地为基础,而植物种是立地最好的指示者,指出评定生境肥力的基本标准是林分、乔木树种及其他植物。在分类系统和分类单位上,根据土壤养分水分条件划分立地条件类型,根据立地条件类型的气候差异确定林型,以林分优势种组的相似性划分林分型。

乌克兰学派代表人物博格莱勃涅克(П. С. Погребняк)的分类方案以两个坐标为基础:土壤肥力(养分)的变化和土壤湿度的变化。并划分为6个湿度级(极干旱的生境、干燥的生境、潮湿的生境、湿润的生境、重湿的生境和森林沼泽)和4个养分等级(极度贫瘠的土壤、比较贫瘠的土壤、比较肥沃的土壤和肥沃的土壤),组成24个林型,该法在确定土壤养分和土壤水分等级时并不需要土壤的分析数据,而是根据指示植物来判断。乌克兰学派的林型比苏卡乔夫的“林型”大得多,它包括稳定林型也包括一系列演替阶段的群落;同一林型的不同演替阶段或不同的建群种的林型界定为林分型,林分型是最小的分类单位,相当于苏卡乔夫分类的“林型”。林型和林分型采用土壤养分水分等级加森林类型命名。乌克兰学派最大优点是适用于有林地和无林地;分类的主要依据是土壤养分和土壤水分两个因子。但是它无视了生态因子的多样性,而且在干扰严重的地区编制一套指示植物名录也很难,20世纪50~60年代在中国有一定的影响,但不如苏卡乔夫学派影响大。

1926年G. A. Kranss提出巴登-符腾堡分类法,1946年德国的巴登-符腾堡州森林研究站首先采用这种方法。通过两个阶段区域性生态单元生长区的划分(生长区域、生长区、生长小区)和立地类型划分,立地类型(立地单元)是根据地形土壤因子(土壤质地、结构、土层厚度、持水量)、小气候、上层木和下层植物的局部地方性差异勾绘。各种立地单元都有其代表性种群,同一立地单元的造林潜力、林木生长速度以及树种生产力都是相同的,主要以地形、土壤和植被命名。Barnes认为森林立地分类,必须以现代生态学和生态系统理论为基础,综合来自地理、土壤和植被等方面的信息,并完整地表达它们之间的关系,提出森林立地分类的生态学方法和生态系统分类的概念,1984年借鉴巴登符腾堡系统中的地域分类方法,分别完成了美国上密执安地区Sylvania和McCormick实验林的地域生态系统分类。

以伊瓦什介维奇(Б. А. ИваШкевич)和柯列斯尼科夫(В. П. Колесников)为代表的6级

分类系统为；森林群系—地貌林型总体—气候群相—林型组—林型—林分型。该学派也十分重视森林演替，每一演替阶段有不同的建群种，其中每一阶段为一个林分型，相当于苏卡乔夫学派的“林型”。

1.1.2 国内立地学研究概况

19 世纪 50~60 年代，中国森林立地研究和应用最初引用前苏联专家的林型学说，以后又引进瑞士学派和英国学派。1954 年林业部在开发大兴安岭林区调查中，引用苏卡切夫的林型方法，对兴安落叶松、白桦等主要树种以指示植物为分类特征，共划分为 18 个林型[林型就是在树种组成、其他植被层的种特点，动物区系，综合的森林植物生长条件(气候、土壤心土和水文)，植物与环境之间的相互关系、森林更新过程和更替方向都相似，而且在同样经济条件下要求采用同样措施的森林地段(各个森林生物地理群落)的综合]。1956~1958 年中国科学院林业土壤研究所(现应用生态研究所)对小兴安岭林区南坡林型进行分类；1958~1959 年林业部森林综合调查队对云南金平县和广东省海南岛热带林区的常绿阔叶林调查时，提出以地貌、土壤、乔木树种组、下木等因子划分林型。

20 世纪 50 年代普遍应用立地级表(罗汝英, 1983; 詹昭宁, 1981)，分别编制了西南地区天然云杉、冷杉和云南松的立地级表；东北小兴安岭天然红松立地级表；西北地区天然天山云杉及南方天然杉木的立地级表。骆期邦等(1989)用立地指数和年龄为解释变量的杉木多形标准蓄积量收获模型，取代了传统的单形导向曲线编制的立地指数表，克服了蓄积量受林分密度及经营措施影响的弊端，且便于树种间的比较和选择。对于具有轮生枝的针叶幼树，利用传统的立地指数曲线误差，在确定幼年年龄的误差会大大降低立地指数的准确性，许多学者利用生长截距法的研究(利用所选定的早期树高生长估计立地质量，从而消除了基准年龄的限制)。树种间立地指数比较与转换评价研究在立地质量评价中占重要地位，研究了包括环境因子在内的多元数量化松—代换模型，并与标准蓄积量联系起来，统一评价了杉木—马尾松的立地质量，解决了有林地与无林地统一评价的问题。

在无林地的立地分类方面，19 世纪 50 年代北京林学院等单位合作，根据乌克兰学派的学说，结合华北地区的情况，提出了一个华北石质山地立地条件类型表。这个表分为两个梯度，将水分分为极干旱(旱生植物覆盖率 $>60\%$)、干旱(旱生植物覆盖率 $<60\%$)、适润(中生植物)和湿润(中生植物有苔藓)4 级(以 0, 1, 2, 3 表示)，土壤肥力分为瘠薄土壤、中度土壤和肥沃土壤 3 级(关君蔚, 1957; 林业部造林设计局, 1958)。这种分类方法虽然依据土壤水分和肥力来划分，但却要求以指示植物作为判定不同水分和肥力等级。由于我国的原生植被都已经被破坏，植物的指示作用较难判断，所以未能在实践上行得通。1958 年林业部调查设计队在华北平原划分森林植物条件类型的主导因子使土壤质地、地下水位、盐渍化程度，把冀北山地亚区按照主导因子为坡向、土层厚度、海拔高划分为 6 个森林植物条件类型。

1959 年北京林业大学研究了河北、山西等省次生林区的林型，认识到立地条件变化比森林植物群落变化稳定，提出以立地条件类型作为划分森林的基本单位，这样便与无林地立

地条件类型划分方法取得一致,并将陕西省太岳山灵空山林场的中山地带划分为6个立地条件类型和13个林型。1959年中国科学院林业土壤研究所根据杉木的树种特性、森林植物条件和人为措施3个要素,提出杉木人工林4级分类系统,其中第二级林型组主要是根据坡度和坡位,第三级林型根据土壤条件(土壤厚度、土壤质地、土壤腐殖质)划分。有林地与无林地立地条件类型划分逐渐趋于统一。

19世纪70年代后期,引入联邦德国巴登-符腾堡州森林生态系统分类技术,它强调物理立地因子与生物因子之间相互作用关系,在综合各种立地因子分析基础上,对每个因子作出合理评价后,根据大气候、地质差异将州划分为7个生长区,生长区内根据气候、母质、土壤和植被的小差异划分生长亚类,亚类内再根据地形、土壤因子(质地、结构、土层厚度、持水能力、PH值)、小气候、上层林木和下层植物等方面差异再细分为立地单元。

1979~1982年吉林省林业勘察设计院将吉林省的造林地划分为东西两片,各片根据各自的环境条件特征,选择各自适宜的划分因子。例如东片采用3级分类系统:造林类型区(根据气候、土壤、地形、水文、植被以及林业发展方向基本相同,划分为2个造林类型区)、立地类型组(按照坡度划分为陡坡组、斜坡组、平缓坡组、谷地组4个)、立地条件类型(按照坡向、土类和土层厚度划分为12个)。1980年贵州农学院在提出划分立地类型的“岩性—地貌—土壤”方法,采用岩石—地貌—土壤的山地类型组合以表达“生态因子的综合效应”。例如杉木立地类型分类系统包括以中地貌控制立地类型区,以岩性控制立地类型亚区,以地形部位划分立地类型组,以土壤和腐殖质层厚度划分立地类型。1981~1983年北京林学院主持的“黄土高原立地条件类型划分和适地适树研究”,按照全国气候区划、植被区划、土壤区划和林业区划实行控制,把黄土高原区划为5个森林植物地带、12个地貌类型区和125个立地条件类型(黄土高原课题协作组,1984)

20世纪80年代后期,国家林业局把立地分类的研究列入“七五”规划科技项目的首位,各地分别开展区域立地分类的研究。1986年林业部资源司组织全国立地分类南北方两处试点,对森林立地理论及其实践进行全面深入探讨,拉开了中国森林立地分类研究的序幕。通过具体试点,将立地分类的7项原则具体化,并在原来拟定的分类系统中的立地亚区和立地类型组之间增设了立地类型小区一级,将立地类型高级单元(林业区划单元)与低级单元巧妙地衔接起来,因为立地亚区是地域相连的,立地类型组是地域不相连的,立地类型小区是相对成片但不相连的一些小地域,在立地亚区内可以重复出现,虽然采用区的名称,但是不是区划单位,而是分类的类型小区。即形成完整的6级分类系统,前3级是区划单位,后3级是分类单位,自高级向低级依次为立地区域、立地区、立地亚区、立地类型小区、立地类型组和立地类型。1989年“中国森林立地分类”课题组编著出版了《中国森林立地分类》一书。1989年开始,历时5年的《中国森林立地类型》研究对新中国成立积累的立地类型资料全面整理、系统归纳、科学分析。完善健全了中国森林立地分类系统;借鉴计算机和现代数学方法,建立了比较成熟的划分立地类型单元技术理论和现代方法;以主要立地类型为示范,建立了立地类型为单位的立地生产力评价体系(王永安,1996)。1995年“中国森林立地类型”课题组编写了《中国森林立地类型》专著,提出了一个全面科学的6级森林立地分类系

统,逐级划分出8个立地区域(site area)、50个立地区(site region)和166个立地亚区(site sub-region),归纳了494个立地类型小区(site type district)、1716个立地类型组(group site type)和4463个立地类型(site type)(中国森林立地类型编写组,1995)。这一时期的特点是:从单因子分类转向多因子分类;从定性分类与定量分类相结合,转向定量分类;从有林地划分林型,宜林地划分立地类型,转向有林地与无林地统一同时划分立地类型,进行立地质量评价,并在生产实践中应用(张康健,1996)。

20世纪90年代以后,随着个人计算机和各类数理计算软件的普及和推广,“3S”技术应用到立地分类方面(张晓丽,1998;余其芬,2003;张雅梅,2005;秦国金,2003)。以定量立地质量评价与立地类型划分为主体,完善了立地领域在调查设计的立地定量分类和评价应用体系,是立地类型研究延伸到立地资源的控制(保护、经营、收获、监理和反馈)系统,包括立地区划、评价、分类、造林类型设计、立地经营、产量收获评价信息反馈等,形成了一门独立的学科——立地学(陶国祥,2005)。

1.2 定量立地评价与分类研究

国内外有林地定量立地评价是随着林型学的发展而发展起来的,评价的方法按照采用的指标分为测树学方法和立地因子评价法。

1.2.1 测树学评价

对于大多数树种来说,立地质量高,树高生长快。用年龄与林分平均高编制地位级表即立地级(site class);其后采用立地指数,如单形立地指数曲线、多形立地指数曲线。Wakely曾提议以胸高以上5年的生长节间为自变量,以立地指数为因变量建立直线回归方程,对于幼林来说这种方法很有用。在无林地可用间接方法推算立地指数,通常的做法是,用相同地区有林地的资料,以立地指数为因变量,立地要素为自变量,采用逐步回归、数量化方法I、灰色建模等数学方法建立预测预报模型,根据立地因子(海拔、坡度、坡向、坡位、坡形等地形特征;土壤厚度、腐殖质厚度、养分含量、石砾含量、紧实度、土壤水分、酸碱度、砂粘粒比重、孔隙度、容重等土壤特性;干燥度、辐射强等气象因子)来估计立地指数。单位面积上的总收获量是对立地好坏最好的客观评价,编制木材收获量表可对立地进行科学合理的划分。

1.2.2 立地因子评价法

立地质量的直接评价方法是测定土壤等立地因子各项理化性质,对比不同立地类型的理化性质进行分类定级;间接方法是以立地要素作为自变量,以林分生产力为因变量,通过回归分析来预测生产力。常采用数量化理论I、逐步回归与模糊评判等。

赵彬(1996)采用主成分分析法对西藏鲁朗森林立地66个标准地调查实测材料分析,选

取海拔高度、坡度、坡向、土层厚度、土壤质地、石砾含量、土壤有机质含量7个因子,共划分出8个森林立地类型。

李世东等(2005)调查研究国内外相关文献,对其分区指标进行频度统计分析,根据分区的目的和原则,结合研究区特点,从自然、经济和社会3方面选取指标,构建不同区划级别的预选指标集。利用逐步回归法建立初选指标因子与主导因子相关系数,进行指标筛选,利用层次分析法,在专家打分的基础上,经过分析运算,确定指标因子权重。构建出退耕还林分类指标体系。最后确定以土壤种类、坡向(阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡等)、坡位(山脊、上坡、中坡、下坡、平地等)、坡度、海拔、主要植被和植被覆盖度为主要因子。应用数量化理论,对各个小班的调查数据进行了指标数量化,同时赋予指标权重。以统计分析软件 Matlab 为平台,运用层次分析法和系统聚类分析法(HCM)进行立地分类,最终采取两级立地分类体系,即立地类型组、立地类型。

秦国金(2003)依据生态学原理,运用系统工程方法,建立立地类型层次分析结构模型,将有关的理论和经验转换成数据,分析立地条件如何作用于生态因子,从而影响林木生长,建立立地层次结构系统发生学的分类体系,进行森林立地划分。

肖化顺利用粗糙集理论(rough set)(肖化顺等,2005;袁智敏等,2005),在研究区内选取与立地因子关系最密切的树高因子为决策属性,以海拔、母岩、坡度、坡位、土类和土层厚度作为条件属性;决策属性动态聚类和各条件属性值域离散化后,建立立地类型分类决策表,计算决策属性的依赖度及其相对约简,得到马尾松林分立地类型的分类因子为土层厚度、坡位和母岩。

马明东等人(2006)应用多元线性分析、逐步回归分析、主分量分析和数量化理论(I)4种数学方法,定量比较分析了云杉分布区、地貌、土壤和植被类型等11个生境因子与地位指数、林分蓄积量、乔木层生物量、林分生物量4个生产力指标,结果表明4种数学方法均可用于生境条件分类因子的筛选,且尤以数量化理论(I)法较为直观,可揭示生境因子间对生产力贡献大小,结合聚类数量分类,提出云杉产区的生境区(大地貌)、生境组(植被型)、生境型(局部地形)、生境类型级(土壤)5级分类系统。

1.3 土地评价和适地适树研究

1972年联合国粮农组织(FAO)在《土地与景观的概念及定义》文件中界定,土地包括地球特定地域表面及其以上和以下的大气、土壤、基础地质、水文和植被,它还包括这一地域范围内过去和目前人类活动的种种结果,以及动物对目前和未来人类利用土地所施加的重要影响。

土地评价是以不同土地利用为目的,估价土地潜力、土地适宜性、土地经济价值的过程。2500多年以前就有关于土宜的记载,如《管子·地员篇》中指出:“凡草木之适,各有谷造”,它是世界上最早的土地评价系统。据《禹贡》记载,夏大禹治水后,曾按土色、质地、

水分等将九州土地划分成九等,依据肥力制定贡赋等级。还有美国 1933 年提出斯托利指数分级和康奈尔评价系统,法国财政部 1934 年《农地评价条例》,德国 20 世纪 30 年代的土地指数分等。

FAO 于 1972 年 10 月在荷兰的瓦格宁根举行了国际专家会议,对土地的概念、土地利用类型、土地评价的方法与诊断指标等进行了讨论,并于 1976 年颁布了《土地评价纲要》。1977 年 FAO 又组织了农业生态区计划的研究,从气候和土壤的生产潜力分析入手进行土地资源承载力评价,并在非洲、东南亚和西亚实施应用。1981 年美国提出了“土地评价和立地评价”系统。参照 FAO 的土地评价纲要,结合中国实际,20 世纪 80 年代初拟定了“中国 1:100 万土地资源图分类系统”,该系统分为土地潜力区、土地适宜类、土地质量等、土地限制型和土地资源单位五个等级。1992~1996 年加拿大生态经济学家 Willam Rees 和他的学生 Wackernagel 提出生态足迹(ecological footprint,简称 EF),此概念通过估算维持人类的自然资源消费量和同化人类产生的废弃物所需要的生态生产性空间面积大小,并与给定人口区域的生态承载力进行比较,来衡量区域的可持续发展状况(蒙吉军,2005)。

按照评价目的,土地评价可分为:潜力评价、适宜性评价、利用可持续性评价、土地经济评价和生态评价。现在土地评价表现出综合化、精确化、定量化三个特点,根据土地评价的目的,选择相关的土地性质,并根据它们的重要性分别给定一定得分值,按照一定的数学运算得到总的土地性能指数;最后,将这些数值进行划分,并与一定的土地质量等级联系起来,对土地质量等级做出评定(倪绍祥,1999)。

德国有世界最早的加减法土地评价系统, $P = A + B + C$,式中: P 为分数或指数, A 、 B 、 C 等为地形、土壤和其他环境要素。1924 年 R. Fackler(R. 法克勒)选择了 9 项自然和经济性质,规定最高分级总分,以此为标准对土地作出等级评定。1934 年德国政府制定国家标准“基准数”100,地点在马格德堡(Magdeburg)附近的比肯多尔(Backendorf)标准区;希耳德斯海姆(Hildesheim)标准区,某一地区与此标准地不同,则从评价纲要规定的数值中加分或减分,土地的评价用相对于上述国家标准的百分数表示(即耕地指数或牧场指数)。得到地块产量指数(面积 $\times$ 耕地指数/100)。

1962 年罗马建立起了土地评价加减法系统。首先编制“一致性生态区域:包含一种土壤类型,处于某一特定的地形和气候性质变动范围之内”(Homogenous Ecological Territory,简称 TEO),然后分别按照其对于 24 种常见作物的适宜性每个 TEO 打分(0~100),最后根据其他环境因素(温度、降水、坡度、地表水和地下水等)通过加减修订。

1993 年美国 R. E. Storie 采用“斯托利指数”(Storie Index Rating, SIR)对加利福尼亚使用的土地质量进行分等,经过 10 次修订,1944 年修订后的计算公式如下:

$$SIR = A \cdot B \cdot C \cdot X \quad (1-1)$$

式中: SIR——斯托利指数;

A ——土壤剖面特性;

B ——表土质地;

C ——坡度;

X ——其他因子(排水、侵蚀危害、养分水平)等。

每个因子均用百分比打分,最后结果也用百分比表示。只要规定一定的等级范围,就可以将指数转化为类别体系,对土地作出等级评价。

波兰学者斯特尔泽姆斯基(M. Strzemiński)对斯托利指数改型:

$$P = A \cdot (P_s \cdot P_c \cdot P_r \cdot P_a)^{1/2}$$

式中: P_s , P_c , P_r , P_a ——土壤、气候、地形、水分四个因素的分值;

A ——农业技术系数,根据试验结果确定。

1950年、1951年、1957年 G. R. Clarke(克拉克)土壤剖面指数 P :

$$P = V \cdot G = \left[\sum_{i=1}^n (D_i \cdot T_i) \right] \cdot G \quad (1-2)$$

式中: P ——土壤剖面指数,与小麦产量有一定比例关系;

D ——土层厚度评分;

T ——土壤质地评分;

G ——排水因素评分。

1951年加拿大提出评价指数 X :

$$X = (A1 + A2 + A3)B(C1 + C2 + C3 + C4) \quad (1-3)$$

式中: A ——土壤剖面 100 分(土壤质地 40、土壤结构 30、土壤自然肥力 30 分);

B ——地形 100 分;

C ——其他 100 分(气候 25 分、土壤盐渍度 25 分、土壤含石量 25 分、土壤容易受到风蚀的趋势 25 分)。

1971年由莱斯(H. Lieth)在迈阿密讨论会上提出的以年平均降水量 p (mm)和年平均温度 t ($^{\circ}\text{C}$)预测生物生产力 $Y[\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}]$ 的一种模型,即迈阿密模型(Miami Model)。

$$Y_1 = \frac{3000}{1 + e^{1.315 - 0.119t}} \quad (1-4)$$

$$Y_2 = 3000(1 - e^{-0.000664p}) \quad (1-5)$$

1972年 H. Lieth 和 E. Box 在加拿大蒙特利尔国际地理(纪念 Thornthwaite)大会上提出的通过蒸散量 E (mm)模拟陆地生物生产量 $P[\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}]$, 桑斯维特模型(Thornthwaite memorial Model):

$$P = 3000[1 - e^{0.009695(E-20)}] \quad (1-6)$$

1977年 Kassam 根据一定区域的纬度、日照持续时间、作物生长周期、叶面积指数、生长起始月份、收获月份和生长季节月平均温度得到地区特定作物的潜在最高产量 $Y(\text{kg}/\text{hm}^2)$ 。称为农业生态区域法(Agro-Ecological Zones Project)。

当 $Y_m > 20 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 时:

$$Y = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \cdot [F(0.8 + 0.01Y_m)Y_0 + (1 - F)(0.05 + 0.025Y_m)Y_c] \quad (1-7)$$

当 $Y_m < 20 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 时:

$$Y = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \cdot [F(0.5 + 0.25Y_m)Y_0 + (1 - F)(0.05Y_m)Y_c] \quad (1-8)$$

20 世纪 80 年代 M. R. Moss 提出修正的潜在净土地第一性生产力 $ANPP^*$

$$ANPP^* = ANPP \cdot PI \quad (1-9)$$

$$NPP = 3000[1 - e^{0.009695(E-20)}] \quad (1-10)$$

$$ANPP = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^m A_j^* \cdot V_j^* \quad (1-11)$$

$$PI = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n A_i V_i \quad (1-12)$$

式中: $ANPP$ ——修正的潜在净土地第一性生产力 [$g/(m^2 \cdot a)$];

NPP ——桑斯维特纪念模型获得的潜在第一性生产力 [$g/m^2 \cdot a$];

E ——年平均蒸散量 (mm);

PI ——土壤性状指数;

n ——土壤类型数;

A_i —— i 类土壤所占面积的百分数;

V_i —— i 类土壤等级值;

A_j^* ——每一类土壤类型占生态区总面积的百分数;

V_j^* ——每一等级 NPP 值的中值。

陈光伟(1994)用经验方法选定 8 项常见土地参评因素(坡度、土层厚度、水源保证率、涝害灾害、土壤侵蚀、土壤质地、土壤养分、裸岩率),按照限制性强度从小到大分成 6 级,分别为 0、1、2、3、4、5,还选择了 3 项非常见因素(海拔、冷泉、日照条件),限制性分为 2 级 0、2;土地质量指标用土地利用限制因素强度之和 Y 表示。最后将之划分为不同的等级,确定土地对农林牧利用的质量等级。

$$Y = \sum_{i=1}^n X_i + \sum_{j=1}^m Z_j \quad (1-13)$$

程伟民等(1994)等采用土地评价单元的总分值,对海南旅游地等级评价。

$$A = \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (1-14)$$

式中: A ——参数因子指数和;

P_i ——第 i 个评价因子权重(专家咨询法);

A_i ——第 i 个评价因子得分;

n ——评价因子数。

宋延洲(1983)选取坡度、土层厚度、障碍土层、人口密度、土壤质地、土壤肥力、地表岩性、水源保证率和改造程度共 9 种参评因素,并对它们进行 8 级划分。9 种因素对于土壤质量影响的大小排序成 $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$ (不同的地貌区域,土地参评因素的排列次序也是不同的),设一等地 a_1 的指数为 100, 8 等地 a_1 的指数为 0,按照等差数列通项公式 $a_n = a_1 + (n-1)d$, 得到 $d = -a_1/(n-1)$ 。求出每等地的 a_1 值。然后,在以每等地的 a_n 为 0,用同样的方式求出每等地 $a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$ 的指数,它们之间成等差关系。每等地的各参评因素的指数相加,即为该等地的质量综合指数 p 。相邻两