

生态场理论在沙地云杉种群
更新中的应用*

邹春静 韩士杰 徐文铎

(中国科学院沈阳应用生态研究所 沈阳 110015)

摘要 生态场理论是物理生态学的基本理论,它基于植物分布格局、植物生长模型、植物竞争以及资源利用的研究。研究森林草原过渡带上沙地云杉种群在更新中产生的生态场的特性,结果表明:沙地云杉种群生态场是半椭圆形特殊的非均匀场,生态场强度随着与母树距离的增大而变化,开始时迅速增大,3~5m处场强达到最大,然后逐渐下降;由于生态场的重叠而使叠加部分的场强明显增大;生态场的作用范围与坡度、坡长等地形因子及树高、冠半径等测树因子都有密切的关系。长轴半径(R)与坡度(X)、坡长(L)和树高(H)存在下列多元线性关系:

$$R = 0.923H + 0.316X + 0.015L - 4.314 \quad (r = 0.825)$$

关键词 沙地云杉种群,生态场,生态场强度,生态场作用范围。

ECOLOGICAL FIELD THEORY APPLICATION TO
REGENERATION OF *Picea mongolica* POPULATION

ZOU Chun-Jing, HAN Shi-Jie, XU Wen-Duo

(Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang, 110015, China)

Abstract Ecological field theory is a basic theory of physical ecology. Its basis is the research on the plant distribution pattern, plant growth model, plant competition and resources utilization. The ecological field of *Picea mongolica* population is a semi-oval, no-even field. It is a complex process which is determined by the particularity of its habitat and its biological characters. The intensity of ecological field changes with the increase of distance from the mother tree. It increases rapidly in the distance of 3~5meters, and then decrease gradually. The intensity of the ecological field in the part of overlap increases obviously. Domain of the ecological field has relationships with the following factors; degree of slope, length of slope, height of tree and ridus of tree crown. The function of ridus of ecological field long axis(R), degree of slope(X), length of slope(L) and height of tree (H) is:

$$R = 0.923H + 0.316X + 0.015L - 4.314 \quad (r = 0.825)$$

Key words *Picea mongolica* population, ecological field, intensity, domain.

* 国家自然科学基金资助项目,中国科学院“百人计划”支持项目。

收稿日期:1996-06-26,修改稿收到日期:1998-09-14。

生态场(ecological field)理论是物理生态学的基本理论,是美国 Texas 农工大学系统生物学研究组的 Hsin-I Wu 教授同 Sharpe 和 Walker 等生态学家合作创建的。他们成功地将物理学中的经典场论的基本原理和方法引入到生态学领域,并于1985年首次正式提出生态场的概念,而且在1986年的“第四届国际生态学会”发表了他们的研究成果,轰动一时。Hsin-I Wu 等人指出,生态场理论的基础是建立在对植物生长分布格局、植物生长模型、植物竞争与资源利用模型的研究上^[1]。我国已故著名生态学家马世骏曾指出,为从根本上解决生物与生物、生物与环境之间相互作用的问题,需要建立生态场理论。

在内蒙古小腾格里沙漠东部边缘的固定沙地上,分布着一大片(1947hm²)茂密的原始沙地云杉(*Picea mongolica*)林^[2],与周围浩瀚无垠的草原和沙垠景观形成极鲜明的对照,形成了极其鲜明的森林草原过渡带植被景观。由于它的存在为改造内蒙古东部沙地和“三北”防护林体系建设提供了可贵的历史鉴证和线索。但是有关沙地云杉林生态学的研究资料较少,为了揭示沙地云杉林的发生和发展规律,本文研究了沙地云杉种群生态场的特性,以期阐明其种群动态过程和分布格局机理,为进一步保护好现存的沙地云杉林和扩大造林面积提供科学依据。

1 自然背景与研究方法

1.1 立地条件

研究地区位于内蒙古白音敖包自然保护区,地理位置为43°30'~43°36'N,117°06'~117°16'E,这里是大兴安岭山地向蒙古高原的过渡地带,海拔1300~1500m,是小腾格里沙地的组成部分,其形成原因与第四纪晚期气候干旱有关,沙层厚度一般为40~80m。沙地地貌可分丘顶,丘间低平地,沙丘的阴阳坡。沙丘长轴方向为西北西-东南东排列。沙地云杉林集中分布于沙丘阴坡,林相整齐(郁闭度0.6~0.8),长势较好(平均高13m);在丘顶和丘间低平地上沙地云杉呈疏林(郁闭度<0.3)分布。林下土壤由于受森林植被影响呈微酸性反应,表层土壤水解酸含量为4cmol/kg 土,下层<1cmol/kg 土,pH5.9~6.3;盐基饱和度为88.79%~96.35%;腐殖质含量0.12%~0.86%。这类灰沙土是生草沙土向灰色森林土的过渡类型^[4]。

1.2 生态场形成条件

沙地云杉为我国特有树种,具有耐荫性,幼苗期忌日光直射,在幼苗没有木质化之前,很容易发生灼伤致死,尤其是在夏季,沙地温度可达50℃以上,因此在林墙和孤立木的南侧没有更新,而在林冠遮阴处,特别是在一天中气温最高时(14:00)的树冠阴影处,沙地云杉种群更新最好,即半壁遮阴更新效应(semi-wall shading regeneration effect)^[5],形成了半椭圆形特殊的沙地云杉种群生态场。这与沙地云杉母树周围形成的环境梯度有关(表1)。

表1 沙地云杉母树周围的环境条件(10:00)

Table 1 Environmental conditions around *Picea mongolica* mother tree

	0m		4m		8m		12m	
	地表温度 Temperature	土壤含水率 Ratio of water	地表温度 Temperature	土壤含水率 Ratio of water	地表温度 Temperature	土壤含水率 Ratio of water	地表温度 Temperature	土壤含水率 Ratio of water
东 Eastern	21.7	7.0	23.0	20.0	28.1	12.0	32.0	4.0
南 Southern	22.0	7.1	26.3	18.8	30.0	5.0	33.1	3.7
西 Western	21.5	7.0	22.4	21.5	29.4	11.4	31.9	5.1
北 Northern	20.0	7.1	21.8	25.8	28.0	22.9	31.0	7.4

1.3 研究方法

用两种方法研究特殊的沙地云杉种群生态场(图1)。

I 分区环形调查法 以母树为基点,将生态场作用范围平均分成3个区,即西区、北区和东区,以2m 为半径做圆环,调查每环内所有幼树的高度、年龄和株数。II 分方向样带调查法 以母树为基点,在180°范围内分成5个方向,即西、西北、北、东北和东各5条1m 宽的样带,分为2m 一段进行调查。

同时调查母树测树因子(树高、胸径、枝下高及东、南、西、北各方向的冠半径)和坡度、坡长等地形因

子,共调查6块样地27株母树所形成的种群生态场,样地总面积为5000m²。

2 结果与分析

2.1 沙地云杉种群生态场的生态势和生态场强度

生态势是描述生态场特征的时空连续函数,其强弱即为生态场强度^[1,4~6]。沙地云杉母树产生的后代在其生态空间 D 上分布,以母树为圆心,将 $D=D(x,y)$ 空间划分成等距离环, $\Delta r=r_{i+1}-r_i (i=0,1,2,\dots,n), r=x^2+y^2$ 。采用 $\Delta r=2m$ 构成梯度圆环,每环内个体株数,记为 $\mu(x,y)$ 。因圆环半径不同,面积不等,缺少可比性,故采用密度 $\rho(r)=6\mu/(\pi(r_{i+1}^2-r_i^2))$ 作为生态场强度的标度^[7]。样带调查的场强度以样带区间的个体数除以样带区间面积2m²。同时以沙地云杉幼树树高,树龄在生态场中空间分布为特征(图2)描述生态场的行为。

在沙地云杉种群生态场中,场强度随与母树距离的变化由小迅速增大,3~5m处达到最大值,大约为8株每平方米,然后逐渐下降(图2(A))。这与母树形成的环境梯度有关,随着与母树距离的增大,北方向上光照逐渐变强,相对光强由30%到100%,温度由20℃到31℃,土壤湿度由树基部的7%到3~5m的21%再到15m处的4%。北区的场强大于东西各区,且北区的作用范围也大于东西各区;样带中北方向和东北方向的生态场强度明显高于其它方向,特别是遮阴较好的东北方向,这是沙地云杉种群生态场非均匀性的表现。

从幼树树高在生态场中的空间分布来看,幼树在东北方向长势最好(最高),而且也是3~5m处幼树树高

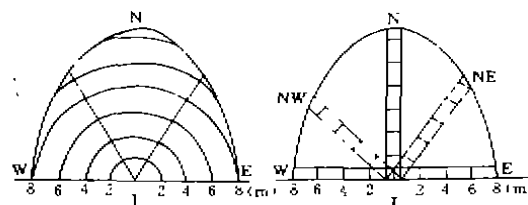


图1 研究方法

Fig. 1 Study methods

1 分区环形调查法, 1 分方向样带调查法

1 Loop-surveying in each region, 1 Belt-surveying in each direction

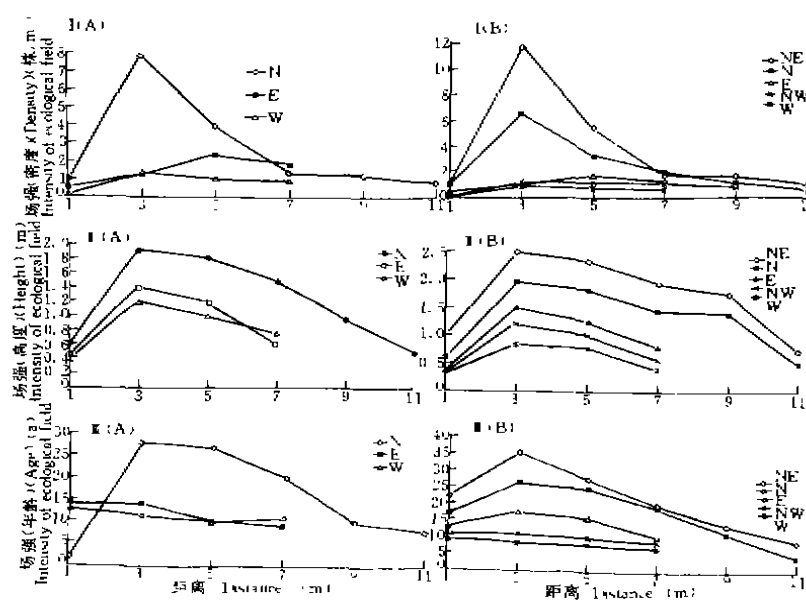


图2 沙地云杉种群生态场特征

Fig. 2 Character of *Picea mongolica* population ecological field

A 分区 A Regions, B 分方向 B Directions

度最大,可达2.5m(图2(Ⅱ))。

从幼树树龄在生态场中的空间分布(图2(Ⅲ))看,沙地云杉最先在距母树3~5m处的东北方向更新(树龄最大,可达35a),并随着更新幼树的生长,其本身所形成的生态场又促进了沙地云杉的连续更新,这种现象叫接力棒更新效应(relay baton regeneration effect)^[2]。说明沙地云杉种群生态场既有方向性(矢量性),又有恒变性,这是生态场的基本特征^[4,5]。

2.2 沙地云杉种群生态场的生态等势线及生态场的叠加

依据生态势绘制的生态等势线和生态等势面,能更直观地表示出相互作用过程中的植物生态场行为;而叠加的等势面又可直观地再现相邻植物之间的相互作用关系^[8]。在沙地云杉种群生态场中,以密度为标度的生态势随着与母树距离及个体的生长而变化。依据生态势绘制了单株,双株沙地云杉母树的生态场(图3),多株云杉的生态场叠加依此类推。

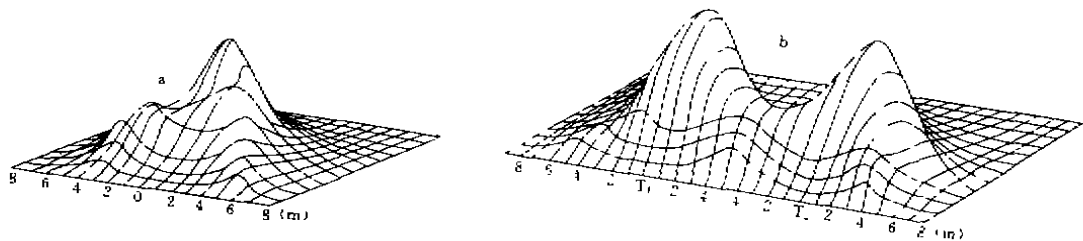


图3 沙地云杉种群生态场及其叠加(a单株,b双株)

Fig. 3 The ecological field and its overlap of *Picea mongolica* population(a single tree, b two trees)

沙地云杉种群生态场的生态等势面的分布与场强度完全一致,即3~5m处等势面最高,北和东北方向等势面高于其它方向(图3(a));由生态场的叠加而使叠加部分的生态势大大加强(图3(b)),说明了植物生态场具有加和性。

2.3 沙地云杉种群生态场的作用范围

生态场的作用范围是生态势的有效作用空间,它的大小和形状与生物体的形态大小、生物节律以及环境条件都有关系^[4]。沙地云杉种群生态场为半椭圆形,其作用范围与地形因子和母树的某些测树因子都有十分密切的关系。选择坡度(X),坡长(L)等地形因子和树高(H)与生态场长轴半径之间的关系以及树冠东西侧半径与生态场短轴半径之间的关系为研究对象,结果如图4。

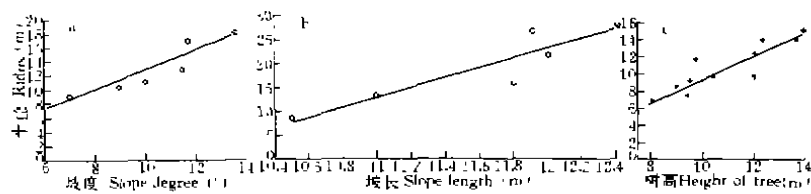


图4 回归关系图

Fig. 4 Regression relationships

由图4可知,生态场长轴半径与 X , L , H 都呈正相关。而且树高(H)与 R 之间存在线性关系; $R=1.42H-4.88$ 。当然这种关系只有在树高的一定范围(8~15m)内才成立,本文调查的沙地云杉树高都在8~15m之间,年龄均在60~140a左右,根据其生物学特性,只有这样的母树才能形成年龄在30a左右的种群生态场格局。

显然,生态场作用范围不是单因子作用的结果,而是许多因子的综合作用。选择 X , L , H 和 R 作回归,得到如下的多元性线方程: $R=0.923H+0.316X+0.015L-4.314(r=0.825)$ 。由此可见,树高对长轴半径

影响最大,坡度次之,坡长影响最小。

另外,沙地云杉母树东西方向的冠半径,一般为2.5~5m,通过调查,冠半径与生态场短轴半径有一定的相关;冠半径越长,生态场短轴半径越大。

3 讨论

3.1 沙地云杉种群生态场形成机理初探

本文所研究的沙地云杉母树,是1952年和1960年两次火灾后的残遗林木,多分布于沙丘的丘顶和半阴坡,形成疏林或孤立木。根据沙地云杉生物学和生殖特性,从30~40a开始结实,并有大小年之分,间隔一年或两年出现丰收年,种子9月份成熟。沙地云杉种子小、有翅、成熟后果鳞绽开,种子以种子雨的形式飞散出去,借风力传播。沙地环境具有特殊性和恶劣性,散布于阳坡或丘顶的种子很难萌发或萌发后很快死亡;只有散布于阴坡、半阴坡以及树荫下的种子才能萌发生长,但树荫正下方土壤条件不良,幼苗难以长成幼树;在树荫方向的3~5m处环境条件最有利,因此最先在此更新,然后扩散,逐步形成了以母树为中心的半椭圆性的种群生态场作用范围。

3.2 沙地云杉种群生态场研究的意义

生态场理论是物理生态学的生长点,它是特定科学历史背景下的产物,也为特定时代的科学研究提供了一条新途径,因此具有重大的理论意义和实践意义。首先,生态学的研究通常采用归纳的思维方式,而生态场理论是建立在演绎的思维过程基础之上的。这种思维拓宽了生态学研究的学术思路和方法。而且生态场的研究为“场论”的发展提供了一个崭新的领域,其它物理场都很难直观地观察,而生态场却给人们提供了许多直接观察的机会,因此为场论的研究增添了许多生动的内容。从实践上讲,通过对各种不同类型的生态场的研究,如草本植物、灌木及乔木所形成的生态场的研究以及农作物的生态场研究,为草原的合理经营管理、半干旱地区灌木的分布格局和沙漠化防治研究以及森林中林木的管理和木材生产提供科学依据,同时指导农业生产实践,为农业增产丰产所要求的作物栽培密度及耕作制度提供参考,具有十分重要的实践意义。

本文首次将生态场理论应用于沙地云杉种群生态学的研究中,开创了木本植物种群生态场研究的开端;同时在研究过程中发现了沙地云杉种群生态场具有非均匀性的独特性质,并采取了特殊的研究方法,开拓了非均匀场研究的新途径;本研究对沙地森林乃至山地森林的种群分布格局及动态研究具有重要的参考价值;对沙地云杉林的保护生态学研究和管理及整个自然保护区的规划和森林公园的建设具有重要的指导意义。

参 考 文 献

- 1 Wu Hsin-I, et al. Ecological field theory: A spatial analysis of resource interference among plants. *Ecological Modelling*, 1985, **29**: 215~243
- 2 徐文铎等. 内蒙古沙地云杉生长与生态条件关系的研究. *应用生态学报*, 1993, **4**(4): 368~373
- 3 徐文铎等. 沙地云杉种群结构与动态的研究. *应用生态学报*, 1993, **4**(2): 126~130
- 4 王德利. 生态场理论——物理生态学的生长点. *生态学杂志*, 1991, **10**(6): 39~43
- 5 王根轩. 探索生物间相互作用规律的生态场理论. *大自然探索*, 1992, **11**(3): 52~56
- 6 Walker J. et al. Ecological field theory: the concept and field tests. *Vegetatio*, 1989, **83**: 81~95
- 7 王振堂等. 红松种群生态场特性函数初步分析. *植物研究*, 1989, **9**(4): 91~98
- 8 Goldberg D. Neighborhood competition in an old-field plant community. *Ecology*, 1987, **68**(5): 1211~1223