

北京密云水库流域水源保护林区径流空间尺度效应的研究

秦永胜¹, 余新晓¹, 陈丽华¹, 刘 松²

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京市林业局水源保护林试验站, 北京 100029)

摘要:通过 10a 的森林水文定位观测, 对比研究了北京密云水库流域水源保护林和对照荒坡地径流在坡面尺度(约 0.9 hm²)和小流域尺度(约 2.7hm²)上的空间尺度效应。结果表明, 荒坡地和水源保护林地的径流系数在坡面和试验流域尺度上与降雨量呈显著的对数相关关系; 在坡面尺度和小流域尺度, 荒坡地径流系数都显著地大于水源保护林地; 而且随着降雨量级的增大, 荒地与水源保护林地的径流系数之差在小流域尺度比坡面尺度更大; 随着研究尺度从坡面到小流域的扩展, 荒地径流系数显著增大, 而水源保护林地的径流系数变化微小。这一尺度效应说明水源保护林对水文过程具有较大的调蓄能力, 表现为较强的水源涵养作用。

关键词:尺度; 水源保护林; 径流系数; 密云水库

Spatial scale effects of runoff on the water resource conservation forest watershed within the Miyun reservoir basin

QIN Yong-Sheng¹, YU Xin-Xiao¹, CHEN Li-Hua², LIU Song² (1. Key Lab. of Soil and Water Conservation Ministry of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Water Resources Conservation Forest Research Station of Beijing Forestry Bureau, Beijing 100083, China)

Abstract: By ten years field observation, this paper presents scale effects of runoff across two study scales on the controlled forestland and its comparative non-forest land within Miyun reservoir basin. Results showed that the runoff rates of two land use logarithmically increase with the rainfall depth increased; the runoff rates of non-forest land on the two scales are greater than those of forestland; furthermore, the difference of runoff rates between non-forest lands and forestlands on the small watershed scales are higher than those of plot scales; with the increase of spatial scales from plot to small watershed, the runoff rates of forestlands increased far less than those of non-forest lands. Thus, contrasting with non-forest land, the water resources conserving function of the water resource conservation forest is very evident.

Key words: scale; water resource conservation forest; runoff rate; Miyun reservoir

文章编号: 1000-0933(2001)06-0913-06 中图分类号: S273, S727.21, TV121 文献标识码: A

水文模拟中的尺度问题源于 70 年代大气环流模拟(GCM)对地表进行参数化的研究, 随着近年来公众环境意识的增强和水文循环被确认为气候模拟中的一个重要问题而使得尺度问题、亚单元变异和大尺度模拟成为水文研究的焦点^[1]。尺度问题不仅仅局限于水文学中, 其它学科如气象学、气候学、地貌学、海洋学、海岸水力学、土壤学、生物学和社会学等学科领域中同样都存在尺度问题^[2]。在构建恰当的模型用于土地资源和水资源管理以及描述大的生态系统行为的研究中, 尺度问题显得尤为重要。水文学中的尺度和尺度转换问题是当今水科学研究的前沿课题, 水文过程涵盖的尺度范围非常广, 从 1m 深土壤剖面中的饱和水流到百万 km² 上的洪水, 从持续数秒的山洪暴发到含水层中可持续上百年的水流运动。水文过程在时间

基金项目: 国家“九五”科技攻关专题(96-007-01-02)资助项目

收稿日期: 2000-07-13; **修订日期:** 2001-01-10

作者简介: 秦永胜(1972~), 男, 内蒙古人, 博士, 工程师。主要从事森林植被与水文响应研究。

和空间上可以划分为不同的时空尺度组合,许多学者都对此作过分类^[2]。不同水文尺度的研究方法也不完全相同,随着水文尺度从微观到宏观的扩展,适用于微观尺度的理论模型需要再参数化^[3,4]。值得指出的是,水文过程的时空尺度并不具有单值意义,它往往描述的是一个范围值,虽然小(大)的时间尺度常与小(大)的空间尺度相联系,但是不同时间和空间尺度的组合和交错也是水文过程的一个重要特征^[2]。具有一定时空尺度分布的太阳辐射和降雨是水文循环的主要驱动力,水文过程中不同水文变量所表现出来的尺度变化,是水文循环各分量在不同界面之间、不同介质中分布、扩散和运移过程中对驱动力具有时滞作用的响应。

虽然水文学家们在对单个水文过程的理解和定量化研究方面已经取得了较大的成绩,关于尺度问题的基本特征属性也已经有了比较清楚的认识,但是,诸如入渗、蒸发、地表径流、泥沙搬运和壤中流等许多水文过程的理论研究过去一直是,并将继续在小的时间和空间尺度上进行,用于把小尺度的非线性水文过程外推到大尺度、三维自然系统的系统理论还很成熟^[5]。

径流系数是水量平衡研究中表征径流动态的一个重要参数。本文试图通过对不同空间尺度上水源保护林与对照无林地径流系数的对比分析,研究水源保护林与对照无林地径流系数的尺度变化特征,揭示水源保护林涵养水源的作用机理,为密云水库流域不同尺度上水源保护林的科学经营管理提供依据。

1 试验地选择与布设

研究地点位于密云县境内的北庄乡大南沟流域、小南沟流域内,属于密云水库的2级保护区,90年代初以来一直作为密云水库水源保护林试验示范区的水文监测站。本区土壤多为风化岩残屑混合物,质地较粗,土层较薄。多年平均降水量600mm左右,降水年际分布不均,丰枯水年降水量可差2.5~3.0倍。降水年内分配极不均匀,全年降水量80%~85%集中在汛期(6~9月份),并多以暴雨形式出现。暴雨历时短,强度大,夏季雨量往往集中在几场降雨之中,有时一次降水量可占全年的60%~70%^[6]。试验地布设有对比坡面径流场和对比小流域定位观测区,观测对象主要为刺槐(*Robinia pseud.*)水源保护林。对比试验地主要特征及设施布设情况详见表1。

表1 小南沟坡面径流场基本情况和试验布设表

Table 1 Characteristics of two comparative plots and their measurement instruments

坡面 Plot	有林地 Controlled forest land	无林地 Non-forest land
土地利用 Land use	10年生刺槐薪炭林,郁闭度为92% Ten-years old <i>Robinia</i> fuel forest, canopy cover is 92%	荒坡 Clear cutting land
集水区面积 Watershed area (hm ²)	0.91	0.95
处理措施 Treatment	原样,枯落物量22.0t/hm ² No treat (litters weight 22.0t/hm ²)	雨季前皆伐、清除地被 Clear cutting before rainfall season
主要植被 Under vegetation	柠条、狗尾草等 <i>Caragana microphylla</i> , <i>Setaria viridis</i>	柠条、狗尾草和艾蒿,覆盖度50%~60% <i>Caragana microphylla</i> , <i>Setaria viridis</i> and <i>Artemisia argyi</i> , cover is 50%~60%
坡向 Slope facing	E	W
坡度 Slope (°)	25~30	22~28
土壤类型 Soil type	山地沙壤土 Mountain sandy loam	山地沙壤土 Mountain sandy loam
土层厚度 Soil depth (cm)	34	38
土壤容重 Soil bulk density (g/cm ³)	1.34	1.45
量水堰类型 Gauging weir	90°三角形薄壁量水堰 Triangular sharp edged weir	90°三角形薄壁量水堰 Triangular sharp edged weir
试验设施布设 Instruments	自计水位计,雨量计 Water level recorder, pluviograph	自计水位计,雨量计 Water level recorder, pluviograph

2 结果分析

根据 1991~2000 年的水文观测结果,对比坡面和小流域在不同降雨量下的径流系数实测结果如表 3 和图 1 所示。从图表中可以看出,无论是在坡面尺度还是小流域尺度,荒地径流系数都显著的大于水源保护林地;而且随着降雨量级的增大,荒地与水源保护林地的径流系数之差在小流域尺度上比坡面尺度更大;随着研究尺度从坡面到小流域的扩展,荒地径流系数显著增大。如表 3 所示,在坡面尺度上,在 216.3 mm 的降雨量下,荒地径流系数可达 49.3%,对应的水源保护林地的径流系数为 37.7%,相差 11.6%。而在小流域尺度上,在 215.6mm 的降雨量下,荒地和水源保护林地的径流系数分别为 65.6%、52.7%,相差达 12.9%。当然,产流过程是一个比较复杂的问题,径流系数的大小与降雨量、植被、前期土壤湿度、土壤理化性质、地形地貌等因素密切相关,在不同的条件下,实测径流系数值还是有很大差异的(如表 3),为此,对径流系数和降雨量实测值进行相关分析和方程拟合得表 4 所示结果,从表中可知,在坡面和小流域尺度上,荒地与水源保护林地的径流系数与降雨量变化趋势较为一致,都呈显著的对数相关关系,既径流系数随着降雨量的增大呈对数增加。

表 2 大南沟小流域自然状况特征表

Table 2 Characteristics of small watersheds and their measurement instruments

小流域 Watershed	有林地 Controlled forest land	无林地 Non-forest land
土地利用 Land use	8~10 年生刺槐薪炭林,郁闭度为 90%。 8~10 years old <i>Robinia</i> fuel forest	荒地 Non-forest land
集水区面积 Watershed area (hm ²)	2.70	2.80
处理措施 Treatment	未处理(枯落物量 8t/hm ²) No treat(litters weight 8t/hm ²)	雨季前皆伐 Clear cutting before rainfall season
主要植被 Under vegetations	下层植被为柠条、狗尾草、苔藓等。 <i>Caragana microphylla</i> , <i>Setaria viridis</i> etc	柠条、狗尾草、艾蒿, 覆盖度 50%~60%。 <i>Caragana microphylla</i> , <i>Setaria viridis</i> , <i>Artemisia argyi</i> , etc., cover is 50%~60%
坡向 Aspect	E and W	S and N
坡度 Slope(°)	23.4	22.1
主沟比降 Gully gradient(%)	15.9	16.6
土壤类型 Soil type	山地沙壤土 Mountain sandy loam	山地沙壤土 Mountain sandy loam
土层厚度 Soil depth(cm)	30	25
土壤平均容重(g/cm ³) Soil average bulk density	1.43	1.62
量水堰类型 Gauging weir	90°三角形薄壁量水堰 Triangular sharp edged weir	90°三角形薄壁量水堰 Triangular sharp edged weir
试验设施布设 Instruments	自计水位计,雨量计 Water level recorder, pluviograph	自计水位计,雨量计 Water level recorder, pluviograph

为了便于分析,把表 4 所示的回归方程根据降雨量的大小重新点绘成散点图,如图 2 所示。从图中可以清楚地看出:水源保护林地的径流系数显著的小于荒地,当研究尺度从坡面扩大到小流域时,荒地和水源保护林地径流系数的尺度变化特征是截然不同的。对于水源保护林地来说,从坡面到小流域随着研究尺度的增大,其径流系数略有增长,但变化并不明显。而对于荒地来说,随着研究尺度的增大其径流系数明显增大。

3 讨论

一般来说,水文过程的尺度效应是经常与土壤物理性质的空间变异性联系在一起的^[7]。重要的空间变异参数有水力传导率、毛管吸力、坡度、植被或地表糙率。水力传导率和毛管吸力控制入渗、微地形,从而决定了地表产流前土壤的贮水能力,而坡度、植被或地表糙率决定地表径流的深度和流速,另外,地表径流的时间变异也是影响尺度效应的重要原因,在不同的立地条件下,土壤物理性质的空间变异特性和地表径流

的时间动态对水文过程尺度效应的相对重要性是不同的^[8]。Julien 和 Moglen^[7]采用对地表径流无量纲化的方法,研究了土壤物理性质空间变异对径流量的影响,结果表明,土壤性质的空间变异特性即可以增加又可以减少地表径流量。Giesen 等^[8]在西非(多年平均降雨量为 1200mm)研究了相对比较均质的农地上不同坡长(1.25m 和 12m)条件下径流系数的尺度效应,结果发现径流系数随着坡长的增加呈递减趋势,他认为降雨产流过程的时间变异是引起尺度效应的主要原因。

表 3 实测坡面尺度和小流域尺度径流系数表

Table 3 Experimental results of rainfall runoff rates on the plots and watersheds

坡面尺度 Plot			小流域尺度 Watershed		
降雨量(mm) Rainfall	水源林径流系数 RRF(%)	荒地径流系数 RRNF(%)	降雨量(mm) Rainfall	水源林径流系数 RRF(%)	荒地径流系数 RRNF(%)
56.8	2.61	4.93	65.0	0.60	2.17
42.4	2.64	6.13	46.4	9.74	16.32
38.6	0.60	1.41	92.3	26.93	39.58
33.8	1.53	2.82	89.6	40.64	64.60
32.4	5.66	9.10	72.3	0	0.24
48.0	3.82	10.07	32.0	0.39	1.23
65.0	0.95	1.65	31.0	0.04	0.18
46.4	3.09	4.20	34.3	0.14	0.21
92.3	27.42	37.20	29.6	0.08	0.14
97.5	40.63	46.89	215.6	52.70	65.60
30.5	2.95	3.52	147.2	18.03	65.90
74.5	1.02	9.50	—	—	—
30.7	0.55	0.15	—	—	—
33.4	0.48	0.77	—	—	—
37.6	1.09	0.22	—	—	—
216.3	37.70	49.30	—	—	—
37.9	0.31	0.70	—	—	—
148.9	39.60	44.10	—	—	—

“—”表示没有观测记录, RRF is runoff rate of forest and RRNF is runoff rate of non-forest land

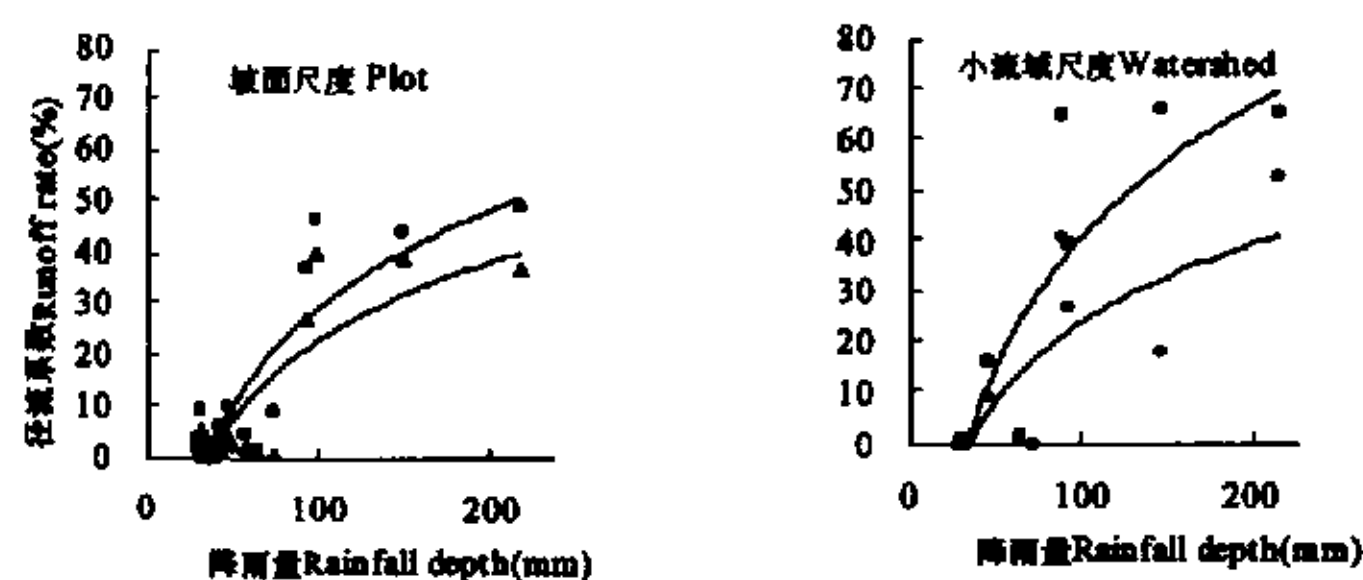


图 1 不同尺度试验地径流系数对比分析图

Fig. 1 Comparative analysis of runoff rates under two study scales

由于特定的地质地貌条件和气候条件的差异,本区从坡面到小流域径流动态的尺度效应具有与西非农地^[8]截然不同的特征。荒坡径流系数的尺度变化特征,主要原因应归结为土壤物理性质的空间变异,因为从坡面到小流域,土壤前期湿度、土壤入渗性能、蓄水能力、水力导度、地表糙率等具有较大的时空变异性。本区属北方土石山区,山高坡陡,土质粗且薄,产流机制主要以超渗地表径流为主^[6],土壤蓄水入渗能力也较差,因此,地表径流的时程变化促进了汇流作用。这就导致本区降雨形成地表径流的汇流作用比较

显著,结果就形成了这种“降多、排多”的降雨汇流机制,径流系数相应呈现出随着研究尺度增大而增大的尺度效应。这一结论说明,一方面,水文过程的尺度效应非常显著,随着研究尺度的改变,某些水文变量可能具有完全不同的变化特征。对某一区域水文过程的研究应该分别不同尺度进行,了解不同尺度上水文过程的变化特征,只有这样才能得到比较正确的结论,从而为开发基于物理机制的水文模型和区域水资源管理提供科学的理论支持;另一方面,不同地区之间的水文过程存在显著差异,把适用于某一地区的水文规律或模型应用于另外一个地区很可能是不适宜的,而这也正是当前水文学发展的主要障碍之一。

表 4 不同尺度径流系数与降雨量相关关系分析

Table 4 Correlation analyses of runoff coefficients and total rainfall under different study scales

	坡面尺度 Plot	小流域尺度 Watershed
水源林地	$y = 22.409 \ln(x) - 79.708$	$y = 22.648 \ln(x) - 80.109$
Forestland	$R^2 = 0.7296^{**} \quad n=18$	$R^2 = 0.6532^{**} \quad n=11$
对照荒地	$y = 27.52 \ln(x) - 96.741$	$y = 37.651 \ln(x) - 132.45$
Non-forest land	$R^2 = 0.7888^{**} \quad n=18$	$R^2 = 0.7369^{**} \quad n=11$

y 径流系数 Runoff rate; x 降雨量 Rainfall depth

与对照荒地相比,随着从坡面到小流域研究尺度的增大,水源保护林林地径流系数的变化非常小,这说明水源保护林对水文过程的具有较大的调蓄能力,表现为具有较大的水源涵养功能。因此,在本区径流系数较高的情况下,水源保护林的水源涵养作用对密云水库集水区的水资源保护来说,具有非常重大的意义。

4 结论与展望

(1) 荒地与水源保护林地的径流系数在坡面和小流域尺度上与降雨量呈显著的对数相关关系。

(2) 在坡面尺度和小流域尺度,荒坡地径流系数都显著的大于水源保护林地,随着研究尺度从坡面到小流域的扩大,荒地的径流系数显著增大,而水源保护林地的径流系数增幅很小。

(3) 荒地与水源保护林地径流系数的尺度效应说明,水源保护林对不同尺度的水文过程具有显著的调蓄功能,表现为较大的水源涵养功能。

(4) 径流系数的尺度效应充分说明水文过程多尺度研究的紧迫性和必要性。

本文对径流空间尺度效应的初步研究,只是对流域水文尺度和尺度转换问题的简单尝试,试验方法比较简单,然而,试验研究结果表明,径流空间尺度效应的研究具有很大意义。受当前研究方法和测量手段等的限制,开展水文尺度问题的定量系统研究非常困难。但是,对水文过程和水文循环基本规律的科学认识乃至分布式水文模拟和全球变化的研究必然要求水文尺度和尺度转换问题研究的深入展开,这也是今后水文学研究的重点和难点。

强调空间格局,生态学过程与尺度之间的相互作用是景观生态学研究的核心所在,过程产生格局,格局作用于过程,而二者关系又依赖于尺度是景观生态学的重要观点^[9]。水文尺度问题是水文学研究的基础问题之一。随着水文过程从微观到宏观尺度的增加,不同水文过程的相对重要性会发生改变,水文复杂性与不确定性愈加突出,对水文过程在不同尺度上的定量研究会变的更加困难。因此,有的学者对尺度和尺度转化理论的发展前景表示悲观,认为所能作的只是开发尺度相关(Scale-dependent)的水文模型^[10]。然而,近来的许多研究表明,河流系统乃至流域系统是组织性和随机性的统一体,具有显著的自相似性,借助地统计学、分形理论的原理,有望通过较为严密的尺度推绎法则解决不同尺度水文过程的尺度转化问

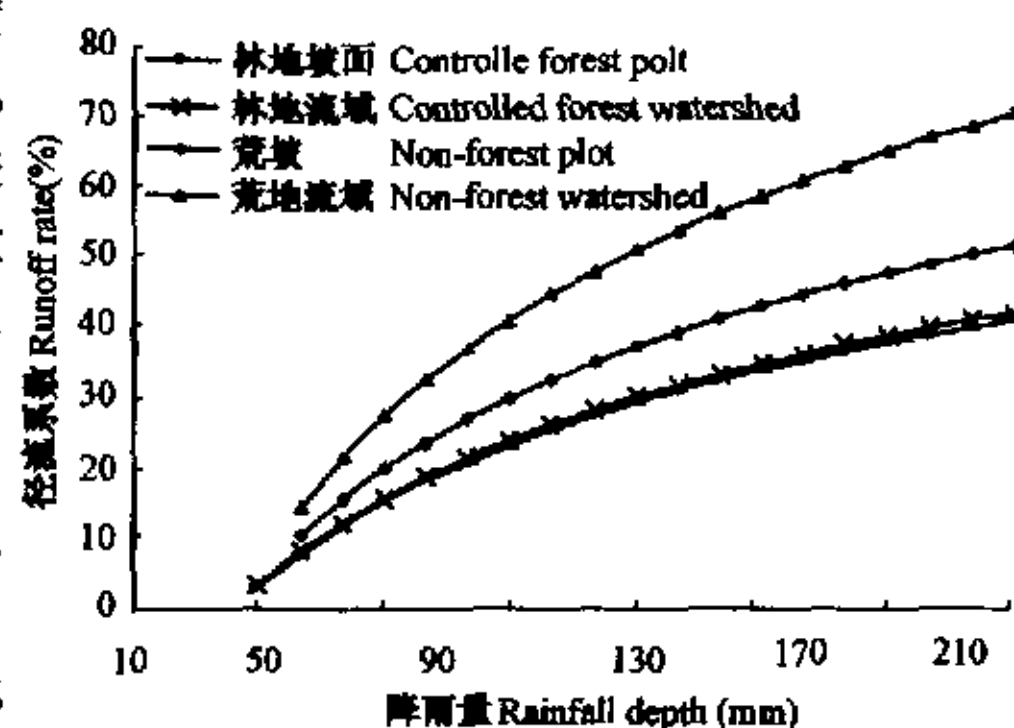


图 2 不同降雨量级下径流系数的尺度变化特征

Fig. 2 Characteristics of runoff rate under various rainfall depth

题^[11]。

参考文献

- [1] Bergstrom S and Graham L P. On the scale problem in hydrological modelling. *J. Hydrol.*, 1998, **211**: 253~265.
 - [2] Blöschl G and Sivapalan M. Scale issues in hydrological modelling: A review. *Hydrol. Process.*, 1995, **9**: 251~290.
 - [3] 刘昌明, 孙 睿. 水循环的生态学方面: 土壤植被大气系统水分能量平衡研究进展. *水科学进展*, 1999, **10**(3): 251~258.
 - [4] 夏 军. 水文尺度问题. *水力学报*, 1993, (5): 32~37.
 - [5] Sivapalan Murugesu and Kalma J D. Scale problems in hydrology: contributions of the Robertson Workshop. *Hydrol. Process.*, 1995, **9**: 243~250.
 - [6] 于志民, 王礼先主编. 水源涵养林效益研究. 北京: 中国林业出版社, 1999.
 - [7] Julien Y P and Moglen G E. Similarity and length scale for spatially varied overland flow. *Wat. Resour. Res.*, 1990, **26**: 1819~1832.
 - [8] Van de Giesen N C, *et al.* Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall-runoff dynamics in a West African catena landscape. *Hydrol. Process.*, 2000, **14**: 165~175.
 - [9] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. *生态学杂志*, 2000, **19**(1): 42~52.
 - [10] Beven K J and Fisher J. Remote sensing and scaling in hydrology. In: Stewart J. B, Engman E. T, Feddes R. A and Kerr Y eds. *Scaling Up in Hydrology Using Remote Sensing*, Wiley: Chichester. 1996.
 - [11] Becker, Alfred and Peter Braun. Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modelling. *J Hydrol.*, 1999, **217**: 239~252.
- +++++

《植物和动物种群统计方法》介绍

(Plant and Animal Populations Methods in Demography)

作者: Thomas A. Ebert, 加利福尼亚 San diego State 大学生物系

出版: Academic 出版公司

索书号: Q332/E16/1999

藏书点: 武汉大学外教中心室

本书目次:

第一章 生命图表的设计; 第二章 结合存活和生殖能力的附加途径; 第三章 生命表的描述统计; 第四章 生命周期图; 第五章 The Leslie 矩阵; 第六章 种群生长中的短暂行为; 第七章 敏感性分析; 第八章 活动范围(stage-1)结构种群统计方法; 第九章 数量结构种群统计方法; 第十章 λ 置信区间; 第十一章 个体生长功能; 第十二章 功能描述曲线; 第十三章 种群数量结构; 第十四章 最大参数

本书适于植物学、动物学、生态学等相关学科的研究人员参阅。

刘丽华 武汉大学图书馆外国教材中心 Email: LiuLh@mail.lib.whu.edu.cn