

临泽盐渍化草地空间格局的可塑性面积单元问题

李 广¹, 侯扶江², 黄高宝³

(1. 甘肃农业大学信息科学技术学院, 兰州 730070; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃省草原生态研究所, 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室, 兰州 730020; 3. 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070)

摘要:通过对临泽盐渍化草地群落取样资料的分析表明,草地空间格局的分布对样地尺度变化和划区方案选择均存在敏感性。样地面积在 12500m² 以下时,尺度增聚效应表现非常明显。在同一取样面积单元下不同的划区方案对草地的空间分布都有一定的影响,但随着取样面积的增大,区划方案的影响也是减少的。因此在研究草地空间分布格局时,要力求寻找一个最佳的区划方案和取样尺度,使得面积单元内的差异最小是非常有必要的。

关键词:盐渍化草地;空间格局;可塑性面积单元问题

文章编号:1000-0933(2008)01-0154-08 中图分类号:Q149, S154, S812.3 文献标识码:A

The optimum sampling unit area on the spatial distribution pattern of grassland on the saline land in Linze

LI Guang¹, HOU Fu-Jiang², HUANG Gao-Bao³

1 College of Information Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China

3 College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0154 ~ 0161.

Abstract: The spatial distribution of grassland community was studied on the saline land in Linze using different sampling areas and zoning methods. Results showed that the spatial distribution pattern of grassland community was sensitive to sampling sizes and zoning methods. The effect of aggregation was very obvious when the sampling area was under 12500m². The different zoning methods had certain effects on the spatial distribution pattern under same sampling sizes. However, the effect of zoning methods on the spatial distribution pattern decreased as sampling area increased. Therefore, it is essential to optimise the sampling areas and select the appropriate zoning methods to minimise the difference between sampling units for the research on spatial distribution of grassland community on saline land.

Key Words: saline land; grassland; spatial distribution; sampling size; zoning methods

植被空间格局与生态过程之间的关系是生态学研究的前沿问题之一^[1]。研究中采用适宜的取样面积和取样方案对于正确揭示这种关系有重要影响^[2]。这些影响主要来自 2 个方面:一是尺度增聚(Aggregation across scales)效应,即分析结果随取样尺度变化而变化;二是划区效应(Zoning effect),即在相同的取样尺度

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2006BAD16B01)

收稿日期:2006-11-22; 修订日期:2007-04-29

作者简介:李广(1971~),男,内蒙古化德县人,博士,副教授,主要从事农业系统工程和理论生态研究. E-mail: lig@gsau.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Project of National key project of science and technical supporting programs (No. 2006BAD16B01)

Received date: 2006-11-22; **Accepted date:** 2007-04-29

Biography: LI Guang, Ph. D., mainly engaged in agricultural system engineering and theory ecology. E-mail: lig@gsau.edu.cn

下,采用不同的划区方案,分析结果随之改变,也称划区多选择性(Zoning alternatives),两者统称为可塑性面积单元问题(modifiable area unit problem, MAUP)^[3]。

河西地区临泽县草地分布非常广泛,并且是主要的放牧草地。近年来,草地群落斑块的空间格局受自然干扰(如降水、蒸发引起土壤盐分运动)、人类活动(主要是放牧)和植被的内源演替等共同作用,致使甘肃省河西地区发育成大面积的盐渍化草地。关于河西地区盐渍化草地水盐动态、植物抗盐生理生化、种群与群落的结构与功能、生产系统优化等方面已有较多研究^[4],植被空间分布格局的研究也逐渐受到重视^[5],但植被的空间格局的可塑性面积单元问题研究较少。本文采用不同的取样尺度和取样方案,以草地群落作为斑块,采用多样性指数、优势度指数、斑块伸长指数、分维数、修改分维数和相对聚集度指数等指标,研究临泽盐渍化草地空间格局,进而分析盐渍化草地典型样地的尺度增聚效应和区划效应。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于甘肃草原生态研究所临泽草地农业试验站(100°6'4"E, 39°11'7"N)。试验站地处祁连山前冲积扇缘,占地面积约 387hm²,平均海拔高度 1400m,属温带大陆干旱气候,多年平均温度 7.6℃, ≥10℃ 年积温 3078.4℃,无霜期 170d。年日照时数 >3000h,年太阳总辐射 >607kJcm⁻²。多年平均降水量 113.4mm,降水主要集中在夏季,其中 7 月和 8 月份降水占全年 20% 以上。多年平均蒸发量 2341.0mm,大气相对湿度平均约 47%^[6]。自 1990 年建站以来,试验站内的天然草地主要以牛、羊放牧为主,部分地段曾引种过碱茅。

在试验站内确定 1000m × 1000m 的典型地段为研究区域。研究区土壤理化性质如表 1 所示。土壤类型为呈复合分布的盐化草甸土与草甸盐土。在 0 ~ 10cm 土层,低洼区全盐含量约 0.5%,地势较高区高达 18%。在 20 ~ 40cm 土层,95% 以上区域全盐含量低于 4.0%。40 ~ 60cm 土层,85% 以上区域全盐含量低于 2.0%,仅 1% 左右的区域超过 3.1%。表层土壤 pH 值 7.6 ~ 8.8,下层土壤 pH 值略有降低。土壤有机质含量与全盐含量、地下水位深浅负相关^[5]。土壤水盐动态和家畜放牧影响该区植被分布最主要的生态因子。

表 1 研究区土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristic of different soil layers

土层(cm) Soil layer	全盐含量(%) Total salt content	有机质(%) Organic matter	pH	地下水位(m) Groundwater level
0 ~ 10	0.5 ~ 18.0	0.2 ~ 3.7	7.4 ~ 8.8	1.55 ~ 2.04
10 ~ 20	0.4 ~ 8.0	0.6 ~ 2.4	7.4 ~ 8.6	
20 ~ 40	0.2 ~ 10.7	0.4 ~ 2.5	7.5 ~ 8.4	
40 ~ 60	0.2 ~ 3.9	0.3 ~ 2.0	7.2 ~ 8.2	

群落学调查表明^[7],研究区主要有 14 种植物群落: I. 碱茅(*P. distans*), II. 海韭菜 + 碱茅群丛(*Asso. Triglochin maritimum + Puccinellia distans*), III. 针蔺群丛(*Asso. Heleocharis inersita*), IV. 小香蒲群丛(*Asso. Typha minima*), V. 海韭菜 + 碱茅 + 黄戴戴群丛(*Asso. T. maritimum + P. distans + Heterpestes ruthenica*), VI. 芦苇 + 黄戴戴 + 碱茅群丛(*Asso. Phragmites communis + H. Ruthenica + P. Distans*), VII. 赖草 + 黄戴戴群丛(*Asso. L. dasystachys + H. Ruthenica*), VIII. 芦苇 + 小灯心草群丛(*Asso. P. Communis + Juncus bofonius*), IX. 唐古特白刺群丛(*Asso. Nitraria tangutica*), X. 盐爪爪 + 芦苇群丛(*Asso. Kalidium gracide + P. communis*), XI. 盐爪爪 + 芦苇 + 假苇状拂子茅群丛(*Asso. K. Gracide + P. Communis + Calamagrostis pseudophragmite*), XII. 盐爪爪 + 茵陈蒿群丛(*Asso. K. Gracide + Artemisia capillaris*), XIII. 盐爪爪 + 碱蓬 + 盐角草群丛(*Asso. K. gracide + Suaeda salsa + Salicornia europaea*), XIV. 盐爪爪 + 芨芨群丛(*Asso. K. gracide + Achnatherum splendens*)。根据群落类型,研究区可划分 14 种斑块类型,共 17 个斑块。

1.2 图形转换

以临泽草地农业试验站 1:10000 草地植被类型分布图为底图,用透明网格对原始图形进行转换。转换过

程中,同一方格中若出现几个斑块类型,用占格子面积最大的斑块类型转换,如果某一斑块面积超过 1/2 个格子的面积,且恰好单独占有两个以上的格子,按其面积分布最大的格子转换^[8]。

基本空间单元(Basic spatial unit,BSU)为边长 25m 的正方形格子,以便把样区中所有的斑块类型反映到景观图中。如此在 1000m×1000m 的研究区内可划分 40×40=1600 个格子。图形转换工作在草地景观底图上完成(下同)。

1.3 尺度增聚和划区方案

1.3.1 尺度增聚

分别采用面积为基本空间单元 1、4、16、25、64 倍和 100 倍的正方形取样单元在研究区内依次不重叠取样,增聚序列的取样面积和格子数如表 2 所示。

1.3.2 划区方案

分别用面积为 2500 m²和 10000 m²的取样单元在研究区内依次不重叠取样,划区方案分别为 3 种(表 2)。

表 2 取样方法
Table 2 Sampling methods

可塑性面积单元问题 MAUP	取样方法编号 Order	取样单元面积 Area of sampling unit	取样格子数 Number of grids
尺度增聚 Aggregation across scales	1	25m×25m=625m ²	1600
	2	50m×50m=2500m ²	400
	3	100m×100m=10000m ²	100
	4	125m×125m=15625m ²	64
	5	200m×200m=40000m ²	25
	6	250m×250m=62500m ²	16
划区方案 Zoning system	7	25m×100m=2500m ²	400
	2	50m×50m=2500m ²	400
	8	100m×25m=2500m ²	400
	9	50m×200m=10000m ²	100
	3	100m×100m=10000m ²	100
	10	200m×50m=10000m ²	100

1.4 景观空间格局多样性测定

景观空间格局多样性(landscape diversity)是对景观水平上斑块组成多样化程度的表征,分为景观类型多样性(type diversity)、斑块多样性(patch diversity)和格局多样性(pattern diversity)^[9,10,11],可以用一系列数量化的指标来表征。

1.4.1 类型多样性

指景观斑块类型的丰富度和复杂性^[9],本文用多样性指数(diversity index, H)和优势度指数(dominance index,DI)测定:

$$H = P_i \ln P_i \tag{1}$$

$$DI = H_{\max} - H \tag{2}$$

式中, P_i 为第*i*种斑块类型的面积比例; $H_{\max}$ 是最大景观多样性, $H_{\max} = \ln M$;M 是景观斑块的类型数目。

1.4.2 斑块多样性

指景观中斑块的数量、大小和形状的多样性和复杂性^[9],这里用斑块伸长指数(elongation index, EI)和分维数(fractal dimension, D)测定:

$$EI = [C/A^{(1/2)}] - 4 \tag{3}$$

$$D = 2\ln(C/4)/\ln A \tag{4}$$

式中, C 为斑块周长, A 为斑块面积, 欧几里德正方形斑块的伸长指数为 0。

1.4.3 格局多样性

指景观类型空间分布的多样性及各类型之间和斑块之间空间关系和功能联系^[9,11], 本文用修改分维数 (D_m) 和相对聚集度指数 (relative contagion index, RC) 表示:

$$D_m = 2 \ln(C_m / 4) / \ln A \quad (5)$$

$$RC = 1 - CI / CI_{\max} \quad (6)$$

式中, C_m 是修改周长, $C_m = C + 2(A - 1)n / (M - 1)$, n 是与第 i 类斑块相邻的斑块数目, CI 为复杂性指数 (complexity index, CI)^[12], $CI_{\max}$ 为 CI 的最大可能取值, $CI_{\max} = M \ln M$ 。

2 结果与分析

2.1 尺度增聚效应对草地空间格局分析结果的影响

随着取样面积增大, 部分斑块因为所占面积比例较小, 在图形转换中容易被忽略, 不能反映到景观图中 (表 2)。当取样面积单元超过 BSU 的 16 倍时, 在基础景观图中面积比例 $\leq 2\%$ 的斑块, 如斑块 I、II、III、IV、XV, 从第 3~6 景观图中消失。当取样面积单元大于基本空间单元的 64 倍时, 在基础景观图中面积比例 $\leq 5\%$ 的斑块, 如斑块 VIII、IX、XIII, 在以第 5、6 景观图中反映不出来。根据转换规则, 理论上, 在取样面积单元中, 面积比例 $< 5\%$ 的斑块就容易被忽略; 事实上, 景观中的一个斑块类型有时有两个以上斑块, 在面积单元中, 一些面积比例 $\geq 5\%$ 的斑块也可能转换不到景观图中。同时, 也应该注意到, 转换规则对此也有一定影响。

表 3 各群落斑块类型在不同取样方法中的面积比例 (%)

Table 3 The area proportion (%) of different patch type in different sampling method

群落类型 Patch type	取样方法 Sampling method									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	0.2	0.5	0	0	0	0	0	0.8	0	0
II	0.3	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	0
III	0.7	0.8	0	0	0	0	0	0.5	0	0
IV	0.8	1.0	0	0	0	0	1.0	0.8	0	0
V	11.1	10.8	14.0	14.1	20.0	12.5	12.8	10.8	16.0	15.0
VI	1.3	1.8	0	0	0	0	1.5	0	2.0	0
VII	11.1	10.8	9.0	11.0	8.0	12.5	9.3	12.3	12.0	12.0
VIII	3.8	3.8	4.0	4.7	0	0	3.5	4.3	4.0	3.0
IX	2.6	2.8	2.0	3.1	0	0	2.8	3.0	3.0	3.0
X	27.6	27.5	29.0	29.7	36.0	37.5	29.0	26.5	28.0	28.0
XI	25.1	24.8	26.0	23.4	28.0	25.0	25.5	25.0	21.0	26.0
XII	10.8	10.5	10.0	9.4	8.0	12.5	10.0	11.3	10.0	9.0
XIII	4.3	4.3	6.0	4.7	0	0	4.3	4.0	4.0	4.0
XIV	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0

草地的景观空间格局可以通过类型多样性、斑块多样性和格局多样性指数这些特征值进行量化分析。运用上述指标, 对河西临泽盐渍化草地景观空间格局的可塑性面积单元问题的尺度增聚效应进行了研究 (图 1)。结果表明尺度增聚效应对临泽盐化草地景观空间格局分析结果的影响可以分为四类:

第一类, 随着取样面积单元增大, 景观空间格局分析呈对数下降 (图 1, c)。斑块数目、斑块类型、类型多样性的优势度指数、斑块多样性的伸长指数和格局多样性的聚集度指数与取样面积拟合形成对数型曲线, 表明当取样面积增加时, 其效应呈对数曲线逐渐下降 (图 1, a, b, d, e, h)。当取样面积增聚至 BSU 的 20 倍以前, 尺度效应非常显著; 增聚至 20 倍以后, 则尺度效应逐渐减弱。即取样面积在 12500m^2 以前, 取样面积对斑块数目、类型、形状以及景观内斑块的组成都有显著的影响; 当在取样面积达到 12500m^2 以后继续增聚样方面积, 则尺度效应逐渐减弱;

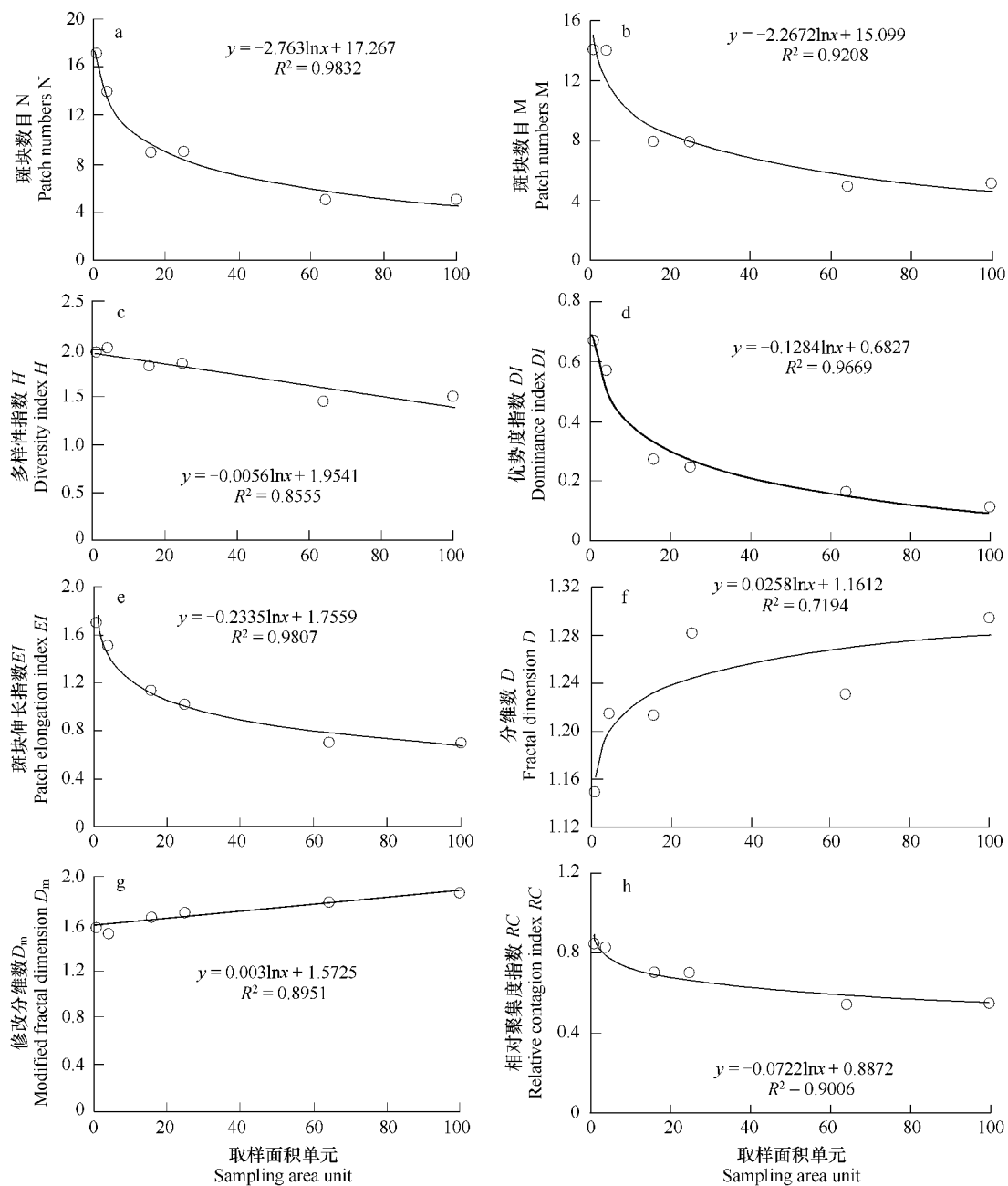


图1 取样面积与景观格局指数

Fig. 1 Relationship of the sampling area unit and the index of the spatial pattern

第二类,随着取样面积单元增大,景观空间格局分析呈线性下降(图1,c)。类型多样性指数随取样面积单元呈线性递减,递减率为0.0056。当取样面积增聚时,斑块类型的多少和所占比例的变化与取样面积呈线性变化,并且影响不是非常显著。即取样面积对斑块类型的多少和所占比例的变化影响是相对稳定的,均匀的,受取样面积的限制相对较小;

第三类,随着取样面积单元增大,景观空间格局分析呈对数逐渐增加(图1,f)。分维数随取样面积增大呈对数增大,但增大的幅度非常小,基本是均一的,说明取样面积的增聚对分维数的影响不显著。即取样面积增聚对斑块的形状影响不大;

第四类,随着取样面积单元增大,景观空间格局分析呈线性增加(图1,g)。修改分维数随取样面积增大呈线性的增加,递增率为0.003,但取样面积的增聚对分维数和修改分维数影响都不显著。即取样面积的增

聚对斑块形状的复杂程度以及空间分布的都呈一定的增加趋势,但影响较小。

根据对草地景观空间格局的各项指标的分析表明:当调查样地面积为 12500m^2 以下时,景观空间格局的多样性计算结果变化很大,得出的结论也有较大的差异。当野外调查样地面积加大至 12500m^2 或更大时,尺度效应均较小。同时何志斌对荒漠绿洲过渡带植被空间异质性的可塑性面积单元问题研究表明^[13]:泡泡刺种群空间分布格局的样地面积应不小于 $200\text{m} \times 200\text{m}$,而红砂种群应不小于 $100\text{m} \times 100\text{m}$,认为主要是由于不同种群的空间异质性受调查样地面积的影响程度不同,样地面积大小的临界值也不同,总体研究表明取样面积增大会减少尺度效应,但过大的取样面积会增加工作量,因此研究盐渍化草地景观空间格局合理的解决方案是取样面积为 $12000 \sim 12500\text{m}^2$ 。

2.2 划区效应对草地景观空间格局分析结果的影响

植被空间格局与生态过程之间的关系是生态学研究的前沿问题之一,其中采用不同的取样面积和取样方案可以正确揭示这种关系。在生态学与空间格局之间的关系研究方面,在过去尺度效应容易被人们重视,然而划区效应往往被忽视。为了正确和全面地认识生态系统的格局与过程,特别是生物多样性这样复杂的问题,划区效应的影响不应被忽视。生态学中有些指标对划区效应敏感,有些指标不一定敏感。群落类型多样性属对划区效应敏感的指标。在研究中常常发现,在同一个群落中不同的位置设立样地,得出的结果如同几个群落调查的结果。引入物种多样性指数的划区效应概念对加深认识群落类型多样性的这种变异性是有益的^[2]。

不同划区方案的景观变幅愈大,即划区效应愈大。相反,景观格局的变幅小则划区效应小。在同一取样面积单元下(图2,a,b),不同划区方案对景观空间格局的多样性指数都有一定的影响。不同取样面积单元下,景观格局的景观类型多样性、斑块多样性和格局多样性的各个表征指数的变异随着区划方案的不同而变化,对不同区划方案的表征指数进行分析,可以看出景观多样性的划区效应是明显的。随着取样方案的变化,样地内包含的群落发生变化。在 2500m^2 和 10000m^2 的取样单元的不同3种划区方案对表征指数都有一定的影响,但随着取样面积的增大,区划方案的影响也是减少的。

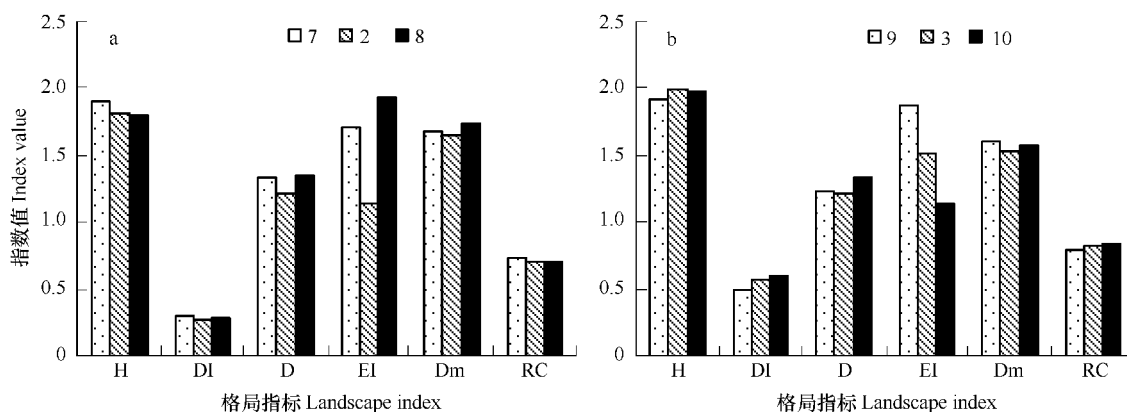


图2 不同划区方案与多样性指数

Fig. 2 Different zoning scheme and diversity index

为了进一步研究划区方案对景观空间格局的数量化影响,引入变异系数进行分析。在两个不同取样面积单元下,3种不同的划区方案对景观格局指数的变异系数都有影响(表4),并且不同划区方案对不同景观格局指数有不同的影响。不论在哪个取样面积下,划区方案对斑块伸长指数(EI)影响最大,表明不同划区方案对斑块的形状影响最为显著;其次是对斑块优势度指数(DI)和分维数(D)的影响,表明不同划区方案对斑块的优势度和复杂度影响也比较显著;不同的取样面积对景观格局指数影响不同,整体表现为 2500m^2 大于 10000m^2 的取样面积的景观格局变异系数,表明取样面积越大景观格局的稳定性越好。因此在研究群落多样性时要力求寻找一个最佳的区划方案,并且根据研究的目标不同可以选择不同的划区方案,使得面积单元内

的差异最小是非常有必要的。

表 4 不同划区方案景观格局指数的变异系数

Table 4 Variance coefficient of landscape index in different zoning project

取样面积(m ²) Area of sampling	<i>H</i>	<i>DI</i>	<i>D</i>	<i>EI</i>	<i>Dm</i>	<i>RC</i>
2500	2.29%	10.16%	4.94%	24.31%	2.44%	2.79%
10000	3.10%	4.04%	5.65%	25.45%	2.74%	3.04%

3 结论

空间格局与生态过程之间的关系是生态学研究的前沿问题之一,其中采用不同的取样面积和划区方案可以正确揭示这种关系。为了正确和全面地认识生态系统的格局与过程,本研究通过对临泽盐渍化草地空间格局的分析表明,空间格局对空间尺度变化和划区方案选择均存在敏感性,影响表现明显。随着取样面积的增加,转换到景观图中的斑块及其类型的数量呈对数函数减少,并且部分斑块因为所占面积比例较小,在图形转换中容易被忽略,不能反映到景观图中。当调查样地面积为 12500m² 以下时,景观空间格局的多样性计算结果变化很大,当野外调查样地面积加大至 12500m² 或更大时,尺度效应均较小,但过大的取样面积会增加工作量,难以实现,因此合理的解决方案是取样面积为 12000 ~ 12500m²。但由于不同种群的空间异质性受调查样地面积的影响程度不同,样地面积大小的临界值也不同。

不同取样面积的景观格局的景观类型多样性、斑块多样性和格局多样性的各个表征指数的变异随着区划方案的不同而变化。在 2500m² 和 10000m² 的两种取样单元面积的 3 种不同划区方案对表征指数都有一定的影响,不论在任何取样面积下,划区方案对斑块的形状影响最为显著,其次是对斑块的优势度和复杂度影响也比较显著,但随着取样面积的增大,区划方案的影响也是减少的,表明取样面积越大景观格局的稳定性越好。因此在研究草地空间分布格局时,寻找一个最佳的区划方案和取样尺度,并且根据研究的目标不同可以选择不同的划区方案,使得面积单元内的差异最小是非常有必要的。

References:

- [1] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 1992, 73(6):1943—1967.
- [2] Zhu J M, Jiang Z L. The modifiable area unit problem of species diversity in the forest community of Northern Fujian Province. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 304—311.
- [3] Wu J G, Dennis Jelinski. The pattern and scale in ecology-The modifiable area unit problem. *The modern ecology lectures*. Beijing: Science Press, 1995. 1—9.
- [4] Ren J Z, Zhu X Y. Biological improvement and optimization producing mode of salized in Hexi corridor. Beijing: Science Press, 1998. 14—23.
- [5] Liu X L. Shape index and its ecological significance in salinized meadow landscape. *Pratacultural Science*, 2000, 17(2): 50—54.
- [6] Chen L H, Qu Y G. Water and soil resources and their reasonable utilization in Hexi area. Beijing: Science Press, 1992. 1—35.
- [7] Shen Y Y, Pan D Y, Yan S G. The mapping and interpretation of eco-map series in linze Research area. *Acta Prataculturae Sinica*, 1995, 4(2): 30—36.
- [8] Chang X L, Wu J G. Spatial analysis of pattern of sandy landscapes in Kerqin. Inner Mongolia. *Acta Ecaologica Sinica*, 1998, 18(3):225—232.
- [9] Ma K M, Fu B J, Zhou H F. Measuring landscape diversity: Affinity analysis of pattern diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 76—81.
- [10] Fu B J. Landscape diversity analysis and mapping. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(4): 345—350.
- [11] Scheiner SM. Measuring pattern diversity. *Ecology*, 1992, 73(5): 1860—1867.
- [12] Wang X L, Bu R C, Hu Y M, *et al.* Analysis on landscape fragment of Liaohe delta wetlands. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(3): 299—304.
- [13] He Z B, Zhao W Z, Chang X L. The modifiable areal unit problem of spatial heterogeneity of vegetation communities in the transitional zone between oasis and desert. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2004, 28(5): 616—622.

参考文献:

- [2] 朱锦懋,姜志林. 闽北森林群落物种多样性的可塑性面积单元问题. 生态学报,1999,19(3):304~311.
- [3] 邬建国,Dennis Jelinski. 生态学中的格局与尺度——可塑性面积单元问题. 见:李博主编. 现代生态学讲座. 北京:科学出版社,1995. 1~9.
- [4] 任继周,朱兴运. 河西走廊盐渍地的生物改良与优化生产模式. 北京:科学出版社,1998. 14~23.
- [5] 刘学录. 盐化草地景观中的斑块形状指数及其生态学意义. 草业学报,2000,17(2):50~54.
- [6] 陈隆亨,曲耀光. 河西地区水土资源及其合理开发利用. 北京:科学出版社,1992. 1~35.
- [7] 沈禹颖,潘代远,闫顺国. 临泽盐渍化草地试验区生态图系列的建立和释义. 草业学报,1995,4(2):30~36.
- [8] 常学礼,邬建国. 科尔沁沙地景观格局特征分析. 生态学报,1998,18(3):225~232.
- [9] 马克明,傅伯杰,周华峰. 景观多样性测度:格局多样性的亲和度分析. 生态学报,1998,18(1):76~81.
- [10] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. 生态学报,1995,15(4):345~350.
- [12] 王宪礼,布仁仓,胡远满,等. 辽河三角洲湿地的景观破碎化分析. 应用生态学报,1996,7(3):299~304.
- [13] 何志斌,赵文智,常学礼. 荒漠绿洲过渡带植被空间异质性的可塑性面积单元问题. 植物生态学报,2004,28(5):616~622.