DOI: 10.5846/stxb201509171915
孙世贤,卫智军,吴新宏,姜超,郭利彪.不同放牧强度季节调控下荒漠草原主要植物种群点格局及空间关联性.生态学报,2016,36(23):7570-7579.
Sun S X, Wei Z J, Wu X H, Jiang C, Guo L B.Point pattern and spatial association of primary plant populations in the seasonal regulation of grazing intensity in desert grassland.Acta Ecologica Sinica,2016,36(23):7570-7579.

不同放牧强度季节调控下荒漠草原主要植物种群点格局及空间关联性

孙世贤[1],卫智军[2],吴新宏[1,*],姜 超[1],郭利彪[1]

1 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010020

2 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010018

摘要:种群空间格局是种群自身特性、种间相互关系及环境条件综合作用的结果。以短花针茅荒漠草原为研究对象,运用 Programita 软件,采用 Ripley's K 函数和 Monte Carlo 随机模拟方法,对短花针茅、无芒影子草和碱韭种群点格局及空间关联性进行了研究。结果表明:短花针茅在禁牧和过度放牧下集群分布的尺度在增加,禁牧和过度放牧两种草地利用方式下短花针茅种群的格局具有趋同的趋势;并且,随着放牧强度的增大或者是持续放牧的影响,使得随机分布尺度在逐渐的增大,短花针茅在更大的尺度上才可能为集群分布。春季重牧+夏季重牧+秋季轻牧和全年重度放牧利用下无芒隐子草在较大尺度上才表现为集群分布,并且尺度转化的临界点在放牧的影响下有增大的趋势;重度放牧下碱韭为了适应放牧干扰逐渐向集群分布方向发展,集群分布的尺度在减小以提高种群的稳定性从而抵御过度的干扰。在不同的放牧干扰强度下植物种群具有明显的响应策略,大致表现为物种的群居性在增强,物种集群分布的尺度在减小以提高种群的稳定性从而抵御过度的干扰。春季休牧+夏季重牧+秋季轻牧处理下种群斑块化的尺度较大,有利于群落的稳定,因此荒漠草原采用这种利用方法较为合理。

关键词:荒漠草原;放牧强度;季节调控;种群点格局;空间关联性

Point pattern and spatial association of primary plant populations in the seasonal regulation of grazing intensity in desert grassland

SUN Shixian[1], WEI Zhijun[2], WU Xinhong[1,*], JIANG Chao[1], GUO Libiao[1]

1 *Institute of Grassland Research, China Academy of Agricultural Sciences, Huhhot* 010020, *China*

2 *College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot* 010018, *China*

Abstract: The spatial distribution pattern of a population demonstrates a combination of the unique characteristics of the population, and the interrelationship between species and the environment. In the present study, *Stipa breviflora* was used to examine the point pattern and spatial correlation of primary plant populations using Programita software, Ripley's K function, and the Monte Carlo Method. The results showed that the scale of random distribution gradually increased with elevation of grazing intensity, or continuous grazing, and may be the primary explanation for the clustered distribution of populations at large scales. The clustered distribution scale of *S. breviflora* increased in the "grazing prohibited" and "overgrazed conditions". These two conditions were also associated with a convergence trend in *S. breviflora*. Increasing grazing intensity, or continuous grazing, gradually amplified the random clustered distribution scale of *S. breviflora* and may be the primary explanation for this clustered distribution. On a larger scale, *Cleistogenes songorica* showed a clustered

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2014CB1388022);科技部"十三五"农村领域国家科技计划项目(2012BAD13B00);中国农业科学院科技创新工程(CAASASTIP-IGR)

收稿日期:2015-09-17; **修订日期**:2016-05-10

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wxh1@ vip.sina.com

distribution under "heavy grazing in spring + heavy grazing in summer + light grazing in autumn", and "heavy annual grazing". The critical point of the above scale conversion showed an increasing trend with grazing. *Allium polyrhizum* showed a trend of clustered distribution in response to grazing disturbance. The clustered distribution of this species was reduced to improve the population stability and avoid interference. Plant populations had specific response strategies under different grazing intensities, including enhancement of species sociality, and reduction of the clustered distribution, to improve population stability and avoid excessive disturbance. *S. breviflora*, *C. songorica*, and *A. polyrhizum* had either no correlation or a negative correlation at the small scale. At larger scales, primary plant species had either no correlation or a positive correlation. At a scale of 0—250 cm, *S. breviflora* and *A. polyrhizum* showed no correlation in conditions of "heavy grazing in spring + heavy grazing in summer + light grazing in autumn". However, at larger scales, *S. breviflora* and *A. polyrhizum* were positively correlated in the conditions of "zero grazing in spring + heavy grazing in summer + light grazing in autumn", and "zero grazing in spring + light grazing in summer + heavy grazing in autumn". Conditions of "spring grazing", "summer grazing", and "fall grazing" produced relatively lager-scale population patches that benefited the stability of the population. Thus, these methods are more suitable for the desert grassland.

Key Words: desert grassland; grazing intensities; seasonal regulation of grazing intensity; point pattern of plant population; spatial association

空间格局是指在环境因子的综合作用下空间中种群的分布关系。植物在种群、群落和景观等尺度下均表现出一定的规律性[1]。Watt 于 1947 年发表"植物群落的格局与过程"的开创性论文以来,关于植被格局的研究主要集中在格局与过程的关系方面,如今生态学家们普遍认为空间结构影响着群落动态[2-3]。种群空间格局的形成与生态过程存在着密切的联系,种群在空间中分布格局的形成机制可以通过种群空间格局的分析加以解释[4]。在干扰的影响下,草原植物的生态适应对策因物种类型的差异而不同,进而影响植物对有限资源的竞争,决定了种群不同尺度的空间格局;相反,种群的空间格局及其动态不仅可以反映环境对种群个体的影响,也可指示植物的生态适应对策[5-7]。目前在放牧干扰下种群格局方面已有一些研究[8-9],这些研究都在探索过度放牧干扰下种群的衰退机理。随着人们对草地的过度利用,草地退化已经成为我国北方重要的环境与资源问题之一[10]。

20 世纪 80 年代,任继周提出"季节畜牧业",认为中国西部地区草地生长因受气候影响明显,必须施行季节放牧[11]。由于不同季节草地生物量和抵抗干扰的能力不同,遵循草地的这种季节性差异规律,研究不同季节性调控利用模式对草地的影响具有理论和现实意义。不同季节调控利用下种群分布格局存在什么样的差异,种群分布的尺度转化临界点有什么不同,那种利用方式下群落更加稳定? 这些问题是本研究主要解决的科学问题。荒漠草原生态环境脆弱,且具有较大的波动性,对自然环境和人类生产活动的干扰较敏感[12],目前退化较为严重。本文通过对不同放牧强度季节调控利用下对短花针茅、无芒隐子草和碱韭种群点格局变化及种间关联性进行分析,了解不同放牧强度季节调控下优势植物种群格局特征及其变化趋势,以期为进一步揭示荒漠草原退化原因及演替提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　实验区概况

试验区位于内蒙古锡林郭勒盟苏尼特右旗朱日和镇(112°47′16.9″E,42°16′26.2″N)。土壤为淡栗钙土,有明显的钙积层,分布在 10—35 cm,腐殖质层厚 5—10 cm。试验区植被以亚洲中部荒漠草原种占主导地位。以短花针茅(*Stipa breviflora*)为建群种,优势种为碱韭(*Allium polyrhizum*)和无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)。主要伴生种有银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、细叶韭(*Allium tenuissimum*)、阿尔泰狗哇花(*Heteropappus altaicus*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana*

stenophylla)和寸草苔(*Carex duriuscula*)等。试验区年均降水量 183.0mm,年平均气温 5.8℃,日照时数 3137.3h,年蒸发量 2793.4mm,≥5℃的有效积温 3426.0℃,≥10℃的有效积温 2491℃,无霜期 177d,属中温型气候。

1.2 主要植物种群的生物生态学特性

短花针茅是多年生密丛植物,四月上旬开始萌动返青,5 月下旬至 6 月中旬抽穗开花进入生长发育盛期。无芒隐子草是强旱生密丛禾草植物,为荒漠草原群落的共建种。无芒隐子草春季返青较晚而秋季枯黄期早,是群落中多年生旱生丛生禾草植物生长期较短的植物。每年 4 月下旬气温上升到 10℃时,它才开始萌动。碱韭为典型的旱生植物,鳞茎多枚紧密簇生,圆柱状;鳞茎外围包着一层很厚的枯死鳞茎皮,于地表形成保护层,防旱和防热,减少鳞茎根系暴晒和蒸发水分。鳞茎外面由纵分裂的被膜与叶鞘形成的纤维所紧密包围。

1.3 实验设计

放牧试验于 2010 开始,设 6 个处理,每个处理 3 次重复,共 18 个放牧试验小区(表 1),采用完全随机区组设计。放牧试验地总面积 78.5hm^2,每个试验小区面积为 5.2 hm^2。6 个放牧处理分别为春季零放牧(休牧)+夏季重度放牧+秋季适度放牧区(SA1)、春季零放牧(休牧)+夏季适度放牧+秋季重度放牧区(SA2)、放牧季皆为重度放牧区(SA3)、春夏季重度放牧+秋季适度放牧区(SA4)和放牧季皆为适度放牧区(SA5),即每一试验处理分为春、夏、秋 3 个放牧季,每一放牧季采用的放牧强度为零放牧、适度放牧和重度放牧中的一种。零放牧、适度放牧和重度放牧区分别放牧苏尼特羊 0 只、6 只和 9 只,折算载畜率分别为 0、0.87hm^{2}羊$^{-1}$ a^{-1}和 0.58hm^{2}羊$^{-1}$ a^{-1}。

表 1 试验设计

Table 1 The design of experiment

处理 Treatment	春季(5—6 月) Spring(Apr.—May)	夏季(7—8 月) Summer(Jun.—Jul.)	秋季(9—10 月) Autumn(Aug.—Sep.)	重复数 Repeat
SA1	零放牧	重度放牧	适度放牧	3
SA2	零放牧	适度放牧	重度放牧	3
SA3	重度放牧	重度放牧	重度放牧	3
SA4	重度放牧	重度放牧	适度放牧	3
SA5	适度放牧	适度放牧	适度放牧	3
CK	零放牧	零放牧	零放牧	3

1.4 试验方法

在 2013 年 7 月植物生长盛期采集数据,在每个围栏样地内随机设置 1 个 5m×5m 的样方,用 1m×1m 的样方框按从左到右,从上到下的顺序依次放置(样方框按正南正北方向放置)25 次进行草地群落调查与短花针茅、碱韭和无芒隐子草种群的调查。以样方框左下角顶点为基点,记录样方中每个短花针茅、碱韭和无芒隐子草种群相对位置,以坐标值表示,用坐标值直接表示距离。

1.5 数据分析

Ripley 于 1977 年首先提出点格局分析理论[13],1983 年 Diggle 等人对点格局理论进行了改进与发展[14]。在实践中,用 $K(t)$ 函数表征点格局,$K(t)$ 主要用下式估计:

$$K(t) = \left(\frac{A}{n^2}\right) \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{W_{ij}} It(u_{ij}), (i \neq j)$$

式中,A 表示样地面积;n 表示群落的个体总数;u_{ij}表示第 i 株植株和第 j 植株之间的距离,t 表示空间尺度,当 $u_{ij} \leqslant$ t 是,$It(u_{ij}) = 1$,反之,$It(u_{ij}) = 0$;W_{ij}为以点 i 为圆心、以 u_{ij}为半径的圆落在面积 A 中的弧长与整个圆周的比值,可校正边界效应引起的误差。Besag 和 Kenkel 曾建议用 $L(t)$ 代替 $K(t)$,其公式为:

$$L(t) = \sqrt{\frac{K(t)}{\pi}} - t$$

当 $L(t)=0$ 时,为随机分布;当 $L(t)<0$ 时,为均匀分布;当 $L(t)>0$ 时,为集群分布。

Monte-Carlo 拟合检验用于计算上下包迹线(Envelopes),即置信区间。假定种群是随机分布,则用随机模型拟合一组点的坐标值,对每一 t 值,计算 $L(t)$;同样用随机模型再拟合新一组点坐标,分别计算不同尺度 t 的 $L(t)$。这一过程重复进行直到达到事先确定的次数,$L(t)$ 的最大值和最小值分别为上下包迹线的坐标值。

种间格局分析就是 2 个种的点格局分析,前文中的特定种的格局可以将 $K(t)$ 写为 $K_{11}(t)$,第 2 个中的写为 $K_{22}(t)$,2 个种个体在尺度 t 内的数目,以下式求 $K_{12}(t)$ 和 $H_{12}(t)$:

$$\hat{K}_{12}(t)=\frac{A}{(n_1n_2)^2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}I_t(u_{ij});H_{12}(t)=\sqrt{\frac{\hat{K}_{12}(t)}{\pi}}-t$$

其中,n_1,n_2分别为物种 1 和物种 2 的个体数(点数);i,j 代表种群 1 和种群 2 的个体;其他符号含义同前文。当 $H_{12}(t)$ 等于 0 时,说明 2 个种群在 t 尺度下无关联;$H_{12}(t)$ 大于 0,表明它们正关联;$H_{12}(t)$ 小于 0 则为负关联。所有数据分析过程都通过 Programita 软件完成。

2　结果与分析

2.1　短花针茅空间分布格局

短花针茅的点格局在不同放牧干扰下存在着差异(图 1),在 CK 处理中,0—250cm 尺度上短花针茅存在着两种分布格局,即随机分布和聚集分布。在 0—25、70、110—250cm 尺度上都是随机分布,在 30—65、75—105cm 尺度上是集群分布,聚集强度在 55cm 尺度上最大。SA1 处理下在 0—25cm 之间是随机分布,25—250cm 尺度上是集群分布,并且随着尺度的增加聚集强度波浪式增加。SA2 处理 0—60cm 尺度上是随机分布,65—250cm 尺度上是集群分布,且聚集强度逐渐增加。SA3 处理下,随着尺度的增加分布方式为随机分布-集群分布-随机分布方式,在 0—95cm 尺度上均为随机分布,200—220cm 尺度上为集群分布,225—250cm 为随机分布。SA4 处理下,短花针茅先为随机分布,然后变为集群分布,0—55cm 为随机分布,60—250cm 均为集群分布,聚集强度在 165cm 处达到一个小高峰,然后聚集强度稍微下降,然后再次增加,250cm 尺度上聚集强度最大。SA5 处理下种群空间格局也是先为随机分布然后变为集群分布,在 0—85cm 尺度上为随机分布,在 90—250cm 尺度上均为集群分布。

2.2　无芒隐子草空间分布格局

无芒隐子草的空间点图及格局分布见图 2,从表中可以看出无芒隐子草随着尺度的增加分布模式大部分表现为均匀分布-随机分布-集群分布模式。CK 处理下无芒隐子草在 0—50cm 尺度上表现为均匀分布,55—135cm 尺度上表现为随机分布,140—225 尺度上为集群分布,且聚集强度随着尺度的增加在逐渐的增加,说明无芒隐子草在较小尺度上为均匀分布,在中等尺度上为随机分布,在较大尺度上为集群分布。SA1 处理下 10—70cm 为均匀分布,75—235cm 为随机分布,240—245cm 为集群分布。SA2 处理下 0—10cm 为随机分布,15—40cm 为均匀分布,45—250cm 为集群分布,聚集强度在 235cm 处达到最大。SA3 处理下 10—85cm 尺度上为随机分布,90—250cm 尺度上均为随机分布。SA4 处理下,10—75cm 为均匀分布,80—160cm 尺度上为随机分布,165—185、195—205、215—225cm 均为集群分布,190cm 和 210cm 为集群分布。SA5 处理下,10—60cm 尺度上为均匀分布,65—135cm 为随机分布,135—225cm 为集群分布。

2.3　碱韭空间分布格局

碱韭的空间点图及格局分布图见图 3,CK 处理下,0—70cm 尺度上表现为均匀分布,170—250cm 尺度上为随机分布。SA1 处理下 0—95cm 尺度下为均匀分布,100—250cm 尺度上为随机分布。SA2 处理下,表现为随机分布-均匀分布-随机分布;0—35cm 处理下为随机分布,40—100cm 为均匀分布,105—250cm 为随机分布。SA3 处理下随着尺度的增大,为随机分布-均匀分布-随机分布-集群分布模式,0—5cm 分布方式为随机分布,20—45cm 为均匀分布,50—205cm 尺度上为随机分布,210—250cm 尺度上为集群分布。SA4 处理下,0—40cm 尺度下,碱韭分布方式为随机分布,45—115cm 尺度上表现为均匀分布,120—225cm 尺度上表现为随机

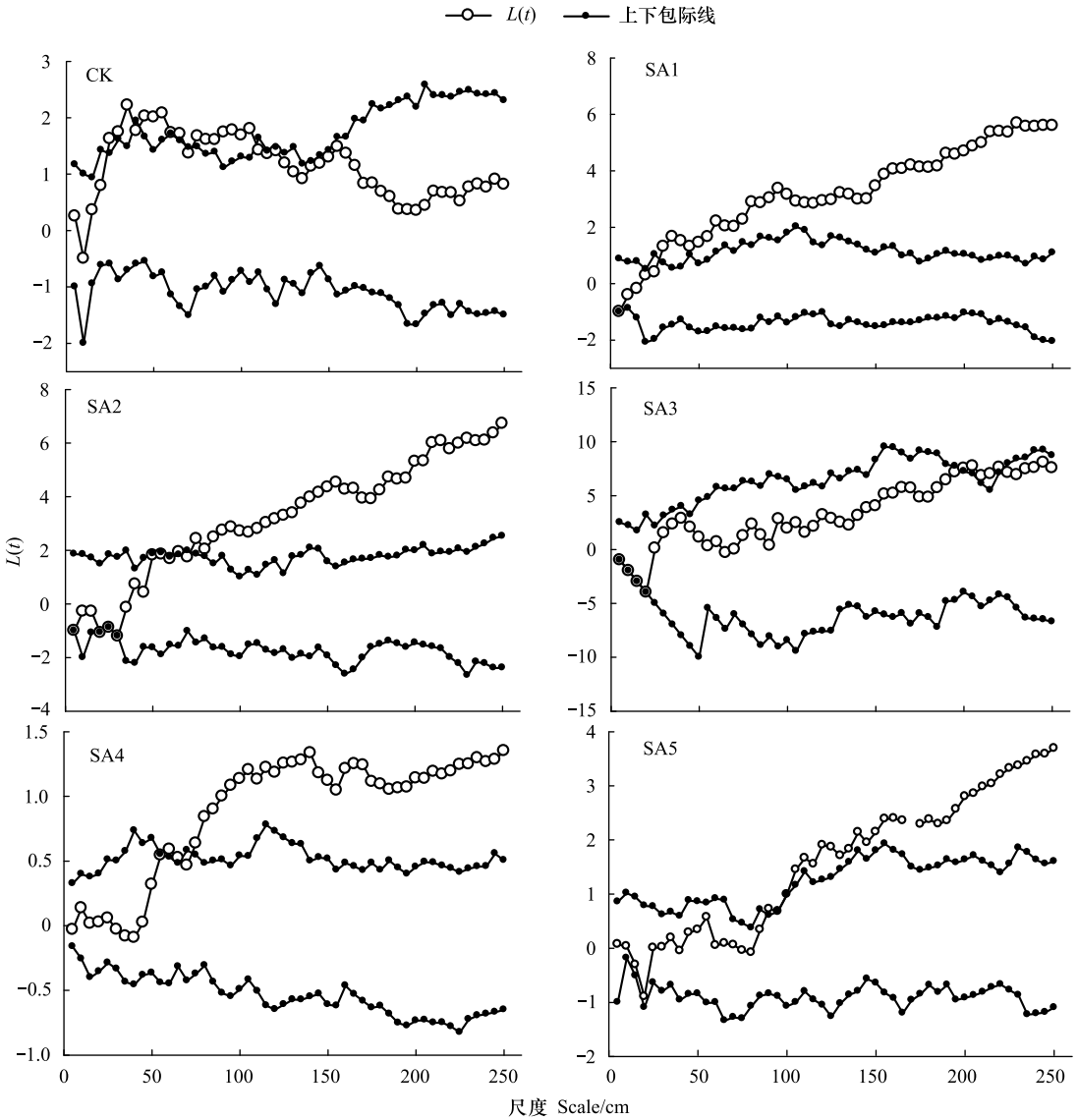


图 1 不同放牧强度季节调控处理下短花针茅点格局分析

Fig.1 Point pattern analysis of *Stipa breviflora* in seasonal regulation under different grazing intensities

分布。SA4 处理下,随着尺度的增加分布方式变的较为复杂,在均匀分布和随机分布之间来回变动,0—5cm 尺度上为随机分布,10—55cm 为均匀分布,60cm 为随机分布,65cm 为均匀分布,70—85cm 为随机分布,90—140cm 为均匀分布,145—250cm 为随机分布。

2.4 主要植物种群关联性

主要植物种群关联性见图 4,从图中可以看出短花针茅和无芒隐子草在不同放牧处理下关联性有一定差别,一般小尺度上表现为无关联或者负关联,在中等尺度上无关联或者正关联。短花针茅和碱韭在小尺度上为正关联或者无关联,在较大尺度上表现为负关联。无芒隐子草和碱韭在较小尺度上为负关联,较大尺度上无关联。短花针茅和无芒隐子草在 SA3 和 SA5 处理下 0—250cm 尺度内均无关联,CK 处理下 0—20cm 尺度上短花针茅和无芒隐子草负关联,25—70cm 尺度上正关联,75—115cm 尺度上无关联,120cm 尺度上负关联,125—250cm 尺度上正关联;SA1 处理下 5—10cm 尺度上无关联,15cm 尺度上正关联,20—250cm 尺度上正关联;SA2 处理下 5—30cm 无关联,40—250cm 尺度上正关联;SA4 处理下 5cm 尺度上无关联,10—40cm 尺度上负关联,45—250cm 尺度上无关联。短花针茅和碱韭、无芒隐子草和碱韭的关联性见图 4。

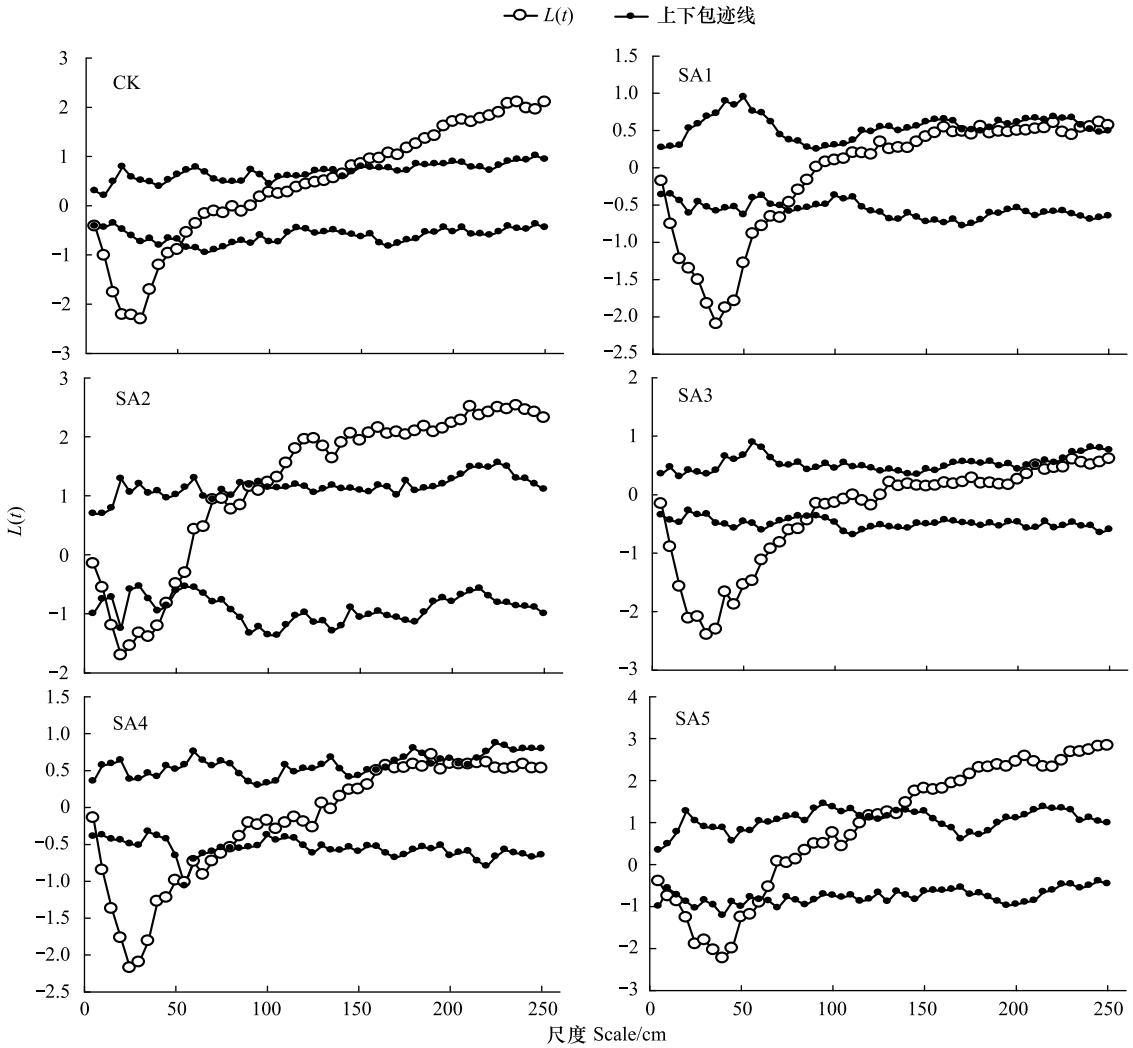


图 2　放牧强度调控处理下无芒隐子草点格局分析

Fig.2　Point pattern analysis of *Cleistogenes songorica* in seasonal regulation under different grazing intensities

3　讨论与结论

3.1　短花针茅、无芒隐子草和碱韭的点格局

种群空间格局是个很复杂的过程,是各种因素共同相互作用的结果[15]。格局的形成过程、种群所处的演替阶段、种群在群落中的数量以及人为干扰是造成不同格局类型的重要因素。春季休牧+夏季重牧+秋季轻牧处理下 0—25cm 之间是随机分布,春季休牧+夏季适牧+秋季重牧处理 0—60cm 尺度上是随机分布,春季重牧+夏季重牧+秋季轻牧处理下 0—55cm 为随机分布,全年轻牧处理下在 0—85cm 尺度上为随机分布,全年重牧处理下 0—195cm 尺度上均为随机分布。这说明随着放牧强度的增大或者是持续放牧的影响,使得随机分布尺度在逐渐的增大,物种在更大的尺度上才可能为集群分布,表现为斑块化现象。大尺度下的斑块往往表现为相对稳定,而小尺度下的斑块则相对多变[16-17],本研究中春季休牧+夏季重牧+秋季轻牧处理下斑块尺度较大,因此比较稳定,这与吴艳玲的研究结果一致[18]。物种在自然界分布的斑块性是一种很普遍的现象[19],斑块在物种分布格局和生态过程中起着物质交换和能量流动载体的作用[20]。造成这种现象的原因可能是物种在重度干扰下种群的斑块破裂逐渐向小型化发展。赵成章对阿尔泰针茅种群格局的研究表明,斑块破碎是阿尔泰针茅种群拓殖和衰退的决定因素[9]。通过对短花针茅点格局的分析可以得出家畜的过度采食、践踏导致种群分布从集群分布向随机分布过渡,草地禁牧使得植物种内为争夺各种资源而互相排斥,从而导致植

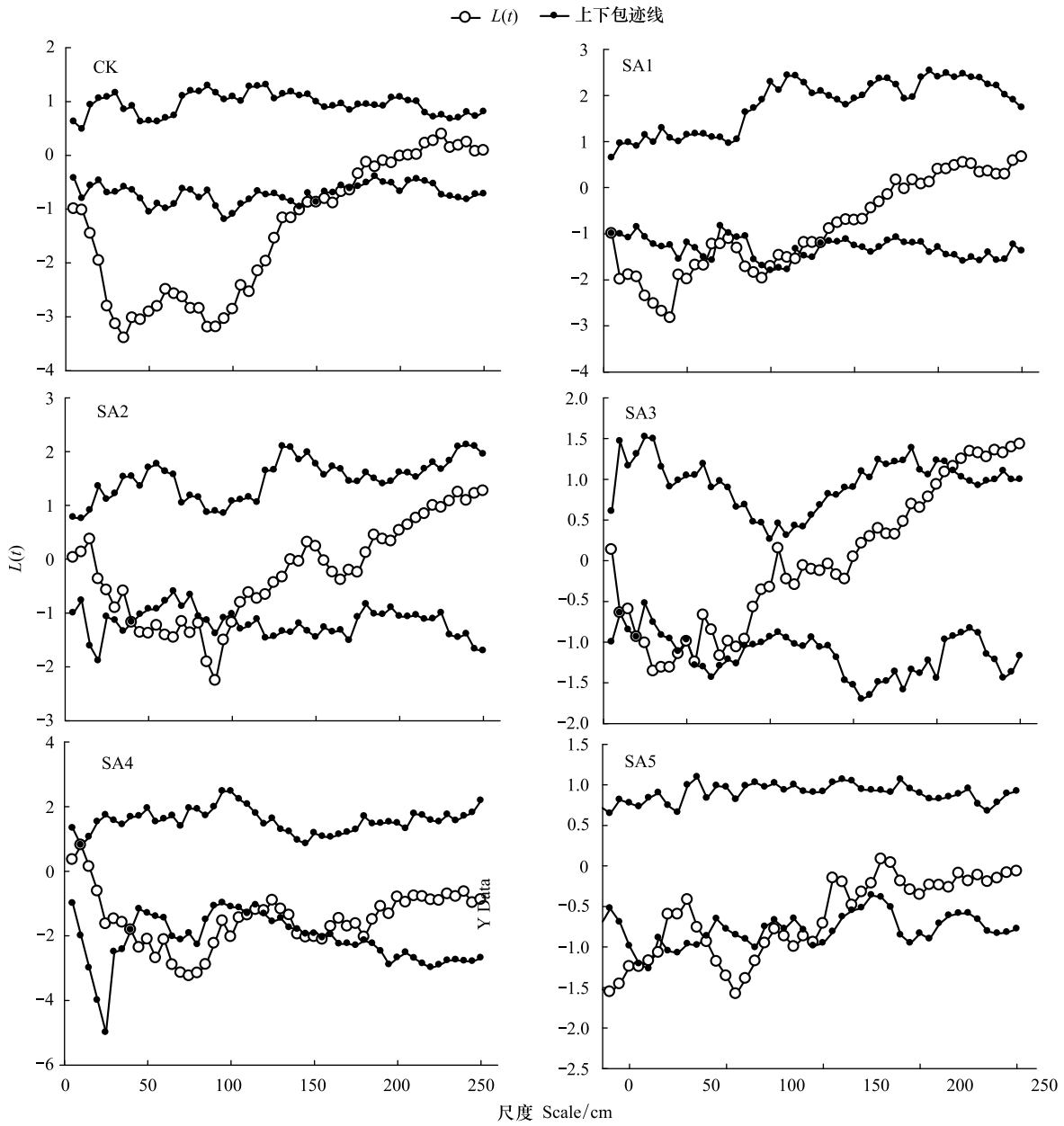


图 3 不同放牧强度季节调控处理下碱韭点格局分析

Fig.3 Point pattern analysis of *Allium polyrhizum* in seasonal regulation under different grazing intensities

物种群从集群分布逐渐向随机分布过渡;家畜的过度采食与践踏虽然能够降低种群为争夺资源而互相竞争,但是物理作用使得群落逐渐从大株丛向小株丛过渡。

无芒隐子草和短花针茅的格局分布有很大差别,无芒隐子草分布类型随着尺度的增大表现为随机分布-均匀分布-随机分布-集群分布或者随机分布,全年重度放牧区均匀分布的尺度最大,其它处理区均匀分布的尺度都小于全年重度放牧处理。Wang 对羊草再生性的研究表明,家畜过度的采食及践踏使羊草形成斑块的能力减弱[21]。这些研究都说明了放牧通过影响群落物种的生长状况进而影响种群的生长格局。植物种群空间格局转化的转折点分析是尺度分析的目的之一[22]。本实验得出不同的放牧处理下从集群分布向随机分布、随机分布向均匀分布的尺度转化的临界点是不同的,从图中大致可以看出春季重牧+夏季重牧+秋季轻牧和全年重度放牧处理下无芒隐子草在较大尺度上才表现为集群分布,尺度转化的临界点在放牧的影响下有增大的趋势。

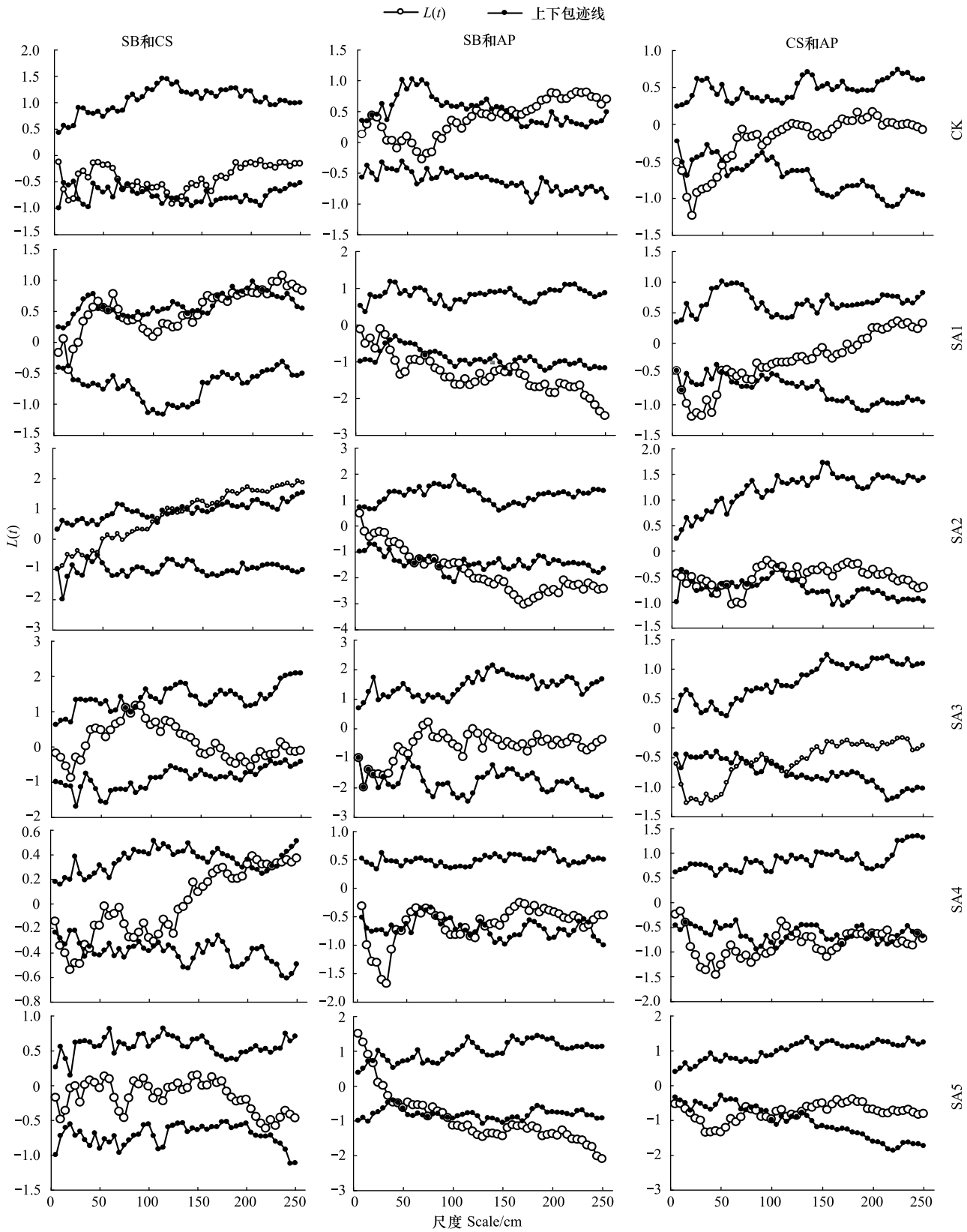


图 4　放牧强度季节调控处理下主要植物种之间关联性研究(SB:短花针茅;CS:无芒隐子草;AP:碱韭)

Fig.4　Spatial association of main plant populations in seasonal regulation under different grazing intensities (SB: *Stipa breviflora*; CS: *Cleistogenes songorica*; AP: *Allium polyrhizum*)

碱韭的点格局分析表明,碱韭的分布格局主要表现为随机分布-均匀分布-随机分布-随机分布或者集群分布。全年重度放牧下碱韭在较大尺度上表现为集群分布,而其它放牧处理下 250cm 尺度以内没有出现集群分布方式。这可能是因为放牧降低了短花针茅和无芒隐子草对碱韭的抑制作用,导致碱韭向着集群分布方式发展。陈宝瑞对不同干扰下羊草种群点格局分析表明,放牧增加了对羊草的采食及践踏,从而减弱了羊草形成斑块化的能力[8],这与本研究的结果不一致。在重度放牧下碱韭为了适应放牧干扰逐渐向集群分布方向发展,提高种群的稳定性抵御过度的干扰。

3.2 空间关联性分析

空间关联分析结果是种群空间关系的表象,正负关联特征可能是物种间相互作用结果,也可能是物种生境趋同或趋异的表现[24]。研究表明试验区优势植物种短花针茅、无芒隐子草和碱韭在小尺度上基本为无关联或负关联,随着尺度的增加主要植物种之间无关联或正关联。短花针茅和碱韭在春季重牧+夏季重牧+秋季重牧处理下 0—250cm 尺度上均无关联性,春季休牧+夏季重牧+秋季适牧和春季休牧+夏季适牧+秋季重牧处理下短花针茅和碱韭随着尺度的增大表现为正关联,说明这两种放牧方式使草地植物种之间相互促进,种间排布在较大尺度上向斑块化方向发展;过度的放牧释放了空间资源,植物种之间对资源的竞争减弱,导致种群随机分布。无芒隐子草和碱韭在较小尺度上表现为负关联,随着尺度的增大种间关联性消失,50—100cm 尺度是负关联向无关联的临界点,在放牧的干扰下无芒隐子草和碱韭负关联的尺度有增大的趋势。本研究与向春玲的研究结论不太一致[25],这也许是因为不同种群之间的差异或者放牧干扰下种群的关联性发生变化。因此影响物种之间关联性的机理需要更进一步研究,以期能够揭示种间关联性的影响机理。

综上所述,表明短花针茅在禁牧和过度放牧下集群分布的尺度在增加,禁牧和过度放牧两种草地利用方式下短花针茅的格局具有趋同的趋势;春季重牧+夏季重牧+秋季轻牧和全年重度放牧处理下无芒隐子草在较大尺度上才表现为集群分布,尺度转化的临界点在放牧的影响下有增大的趋势;重度放牧下碱韭为了适应放牧干扰逐渐向集群分布方向发展,集群分布的尺度在减小以提高种群的稳定性抵御过度的干扰。在不同的放牧干扰强度下植物种群具有明显的响应策略,大致表现为物种的群居性在增强,物种集群分布的尺度在减小以提高种群的稳定性从而抵御过度的干扰。春季休牧+夏季重牧+秋季轻牧处理下种群斑块化的尺度较大,有利于群落的稳定,因此荒漠草原采用这种利用方法较为合理。

参考文献(References):

[1] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.

[2] Watt A S. Pattern and process in the plant community. Journal of Ecology, 1947, 35(1/2): 1-22.

[3] Purves D W, Law R. Fine-scale spatial structure in a grassland community: quantifying the plant′s-eye view. Journal of Ecology, 2002, 90(1): 121-129.

[4] Wiegand T, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Okuda T. Analyzing the spatial structure of a Sri Lankan tree species with multiple scales of clustering. Ecology, 2007, 88(12): 3088-3102.

[5] Brown J R, Stuth J W. How herbivory affects grazing tolerant and sensitive grasses in a central Texas grassland: integrating plant response across hierarchical levels. Oikos, 1993, 67(2): 291-297.

[6] Dieckmann U, Herben T, Law R. Spatio-temporal processes in plant communities//Lepenies W, ed. Yearbook1995/1996, Institute for Advanced Study Berlin. Berlin, Germany: Nicolaische Verlagsbuchhandlung, 1997: 296-326.

[7] 刘振国, 李镇清. 不同放牧强度下冷蒿种群小尺度空间格局. 生态学报, 2004, 24(2): 227-234.

[8] 陈宝瑞, 杨桂霞, 张宏斌, 段庆伟, 辛晓平. 不同干扰类型下羊草种群的空间格局. 生态学报, 2010, 30(21): 5868-5874.

[9] 赵成章, 任珩, 盛亚萍, 高福元, 石福习. 不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局. 生态学报, 2011, 31(21): 6388-6395.

[10] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策. 中国农业科学, 1997, 30(6): 1-9.

[11] 任继周, 王钦, 牟新待, 胡自治, 符义坤, 孙吉雄. 草原生产流程及草原季节畜牧业. 中国农业科学, 1987, 11(2): 87-92.

[12] 卫智军, 韩国栋, 赵钢, 李德新. 中国荒漠草原生态系统研究. 北京: 科学出版社, 2013.

[13] Ripley B D. Modelling spatial patterns. Journal of the Royal statistical Society. Series B (Methodological), 1977, 39(2): 172-212.

[14] Diggle P J. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. New York: Academic Press, 1983.

[15] 杨君珑, 王辉, 王彬, 孙栋元. 子午岭油松林灌木层主要树种的空间分布格局和种间关联性研究. 西北植物学报, 2007, 27(4): 791-796.
[16] 邬建国. 生态学范式变迁综论. 生态学报, 1996, 16(5): 449-460.
[17] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. Ecology, 1992, 73(6): 1943-1967.
[18] 吴艳玲, 陈立波, 卫智军, 刘红梅, 运向军, 王颖杰, 展春芳. 不同放牧压短花针茅荒漠草原群落植物种的空间异质特征. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 110-115.
[19] 张卫国, 黄文冰, 杨振宇. 草地微斑块与草地退化关系的研究. 草业学报, 2003, 12(3): 44-50.
[20] Gonzalez M, Ladet S, Deconchat M, Cabanettes A, Alard D, Balent G. Relative contribution of edge and interior zones to patch size effect on species richness: an example for woody plants. Forest Ecology and Management, 2010, 259(3): 266-274.
[21] 王仁忠. 放牧影响下羊草种群生殖生态学的研究. 应用生态学报, 2000, 11(3): 399-402.
[22] Peterson D L, Parker V T. Ecological Scale: Theory and Applications. New York: Columbia University Press, 1998.
[23] 王伯荪. 植物种群学. 广州: 中山大学出版社, 1989: 115-120.
[24] 向春玲, 张金屯. 东灵山亚高山草甸优势种的点格局分析. 草业科学, 2013, 30(3): 317-321.