

鄂尔多斯高原油蒿群落研究基本样方大小的确定

刘志兰¹, 孙旭¹, 高君亮², 叶学华³

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200; 3. 中国科学院植物研究所 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘 要:油蒿群落在鄂尔多斯高原植被类型中占据绝对优势, 针对油蒿群落的研究中采用的基本样方大小不一。以鄂尔多斯高原油蒿群落为研究对象, 通过野外调查, 采用群落种—面积曲线方程进行拟合分析, 确定抽样到 60%, 70%, 75%, 80%, 85% 和 90% 以上的物种数, 相对应地要求样方面积为 4.77~6.34, 10.45~12.62, 15.48~18.52, 20.20~26.50, 25.95~37.12, 34.06~50.99 m²。结果表明:在样方面积大于 4 m×4 m 时, 植被盖度的变化较小, 趋于稳定。综合种—面积曲线的结果和盖度变化情况, 考虑到取样的效率, 认为样方面积确定为 16 m² (4 m×4 m) 是比较合适的, 此样方能够包括油蒿群落中全部的常见种, 也能较准确地反映群落覆盖地表的状况, 在保证样方代表性的同时也能最大限度地控制工作量。

关键词:油蒿群落; 取样面积; 种—面积曲线

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0185-05

Determination of Minimum Sampling Area for *Artemisia Ordosica* Community in Ordos Plateau, Inner Mongolia

LIU Zhi-lan¹, SUN Xu¹, GAO Jun-liang², YE Xue-hua³

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China;
2. Experimental Center of Desert Forestry, CAF, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China; 3. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: *Artemisia ordosica* is one of the dominant plant species in Ordos Plateau. However, The minimum sampling area (MSA) for *A. ordosica* community had been never studied, And the sampling areas in previous studies on *A. ordosica* community were ununiform. The representation of samling was higher with the increase of sampling area, But it also increased the workload of community investigation. Here MSA for *A. ordosica* community in Ordos Plateau were studied by fitting 10 community species-area relationship equations. The results showed that the MSA for *A. ordosica* community including 60%, 70%, 75%, 80%, 85% and 90% of community species were about 4.77~6.34 m², 10.45~12.62 m², 15.48~18.52 m², 20.20~26.50 m², 25.95~37.12 m² and 34.06~50.99 m², Respectively; And there was no significant change of vegetation cover when sampling area is greater than 4 m×4 m. Therefore, Considering the result of species-area curve and the change of vegetation cover, We figured out that the MSA for *A. ordosica* community in Ordos Plateau is 16 m² (4 m×4 m).

Key words: *Artemisia ordosica* community; sampling area; species-area curve

在自然植物群落中, 群落特征的种类(如植物种类)随调查样方面积的扩大而增加, 到一定程度后就趋于稳定, 这时的样方面积即为群落最小面积, 它意味着取样面积的大小^[1]。最小面积取决于群落类型, 并且变化幅度很大。确定最小面积的方法很多^[2], 常

用的有种—面积曲线法和群落表现面积法^[1]。种—面积曲线法是根据植物种数与样方面积的关系确定群落最小面积, 当样方面积扩大 10% 而种数增加不超过 10% 时, 或者是包含样地总种数 84% 时, 这时的面积可以作为最小样方面积的标准; 群落表现面积法

收稿日期: 2012-10-23

修回日期: 2012-11-28

资助项目: “十二五”国家科技支撑项目(2012BAD16B0301)

作者简介: 刘志兰(1985—), 女, 甘肃省张掖市人, 硕士研究生, 主要研究方向: 水土保持。E-mail: lanlan_198511@126.com

通信作者: 孙旭(1964—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 副教授, 主要研究方向: 水土保持。E-mail: sunxu507@126.com

是用能够表现该群落主要特征的最小地段来代表最小面积^[1]。由于群落的物种组成、分布及环境异质性变化等因素,选择合适的基本样方(实际操作布样样方)来累积最小面积,往往既能保证抽样代表性同时也能极大地提高抽样效率^[3]。目前常用的热带森林的样方面积为 40 m×40 m,亚热带森林为 20 m×20 m,温带森林为 10 m×10 m,灌丛为 2 m×2 m,草本植物为 1 m×1 m^[1]。

半灌木油蒿(*Artemisia ordosica*)属于菊科蒿属植物,广泛分布于我国草原区南部沙地及阿拉善东部沙漠,其分布中心在鄂尔多斯高原,分布面积占鄂尔多斯高原总面积的 47.3%^[4],为鄂尔多斯高原植被中绝对的优势种和建群种,对当地生态系统稳定性起着关键性作用。长期以来,因研究目的的不同,有的把油蒿群落作为草本群落,有的作为灌木群落,从而导致在对油蒿群落进行样方调查时,样方面积大小不一,有 1 m×1 m^[4-5]、2 m×2 m^[4,6-10]、4 m×4 m^[11-13]、5 m×5 m^[14-15]、10 m×10 m^[8,16],甚至还有 50 m×50 m^[17]的样地。鉴于此,本文尝试对鄂尔多斯高原油蒿群落的抽样面积进行研究,以期为该地区及整个油蒿群落分布区的研究,特别是大型长期的野外实验研究提供参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

鄂尔多斯高原(106°42′40″—111°27′20″E,37°35′24″—40°51′40″N)处于荒漠草原—草原—森林草原的过渡地带,总面积约 8.7 万 km²。黄河从西、北、东三面环抱高原,其海拔高度一般为 1 300~1 600 m,年日照时数为 2 800~3 100 h,日照百分率 63%~70%,年总辐射量为 138~150 kJ/cm²,年均温 6~9℃,年平均降水量为 250~450 mm,降水集中在 7—9 月。

本试验样地处于鄂尔多斯高原腹地,为内蒙古鄂尔多斯草地生态系统国家野外科学研究站的长期定位研究样地,位于鄂尔多斯市伊金霍洛旗沙地柏保护区(110°07′14.7″—110°09′27.0″E,39°27′49.3″—39°29′17.6″N)内。该区域平均海拔 1 300 m,区内分布有流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘,四周设有围栏,植被生长较好,在半固定和固定沙丘中上部主要是沙地柏(*Sabina vulgaris* Ant)群落和沙鞭(*Psammochloa villosa*)群落,而在固定沙丘和丘间低地以油蒿群落占绝对优势。

1.2 样地调查方法

在研究区内沙丘间低地较平缓处,随机选择 7 块

10 m×10 m 的油蒿群落样地,将每块样地划分为面积 1 m²(1 m×1 m,记为 A)、4 m²(2 m×2 m,记为 B)、9 m²(3 m×3 m,记为 C)、16 m²(4 m×4 m,记为 D)、25 m²(5 m×5 m,记为 E)、36 m²(6 m×6 m,记为 F)、49 m²(7 m×7 m,记为 G)、64 m²(8 m×8 m,记为 H)、81 m²(9 m×9 m,记为 I)、100 m²(10 m×10 m,记为 J)的样方(图 1),调查每个样方的物种数、植被总盖度和油蒿物种分盖度。对样地中出现的生物结皮种类,因其形体太小,对取样面积影响不大,调查中不予考虑。

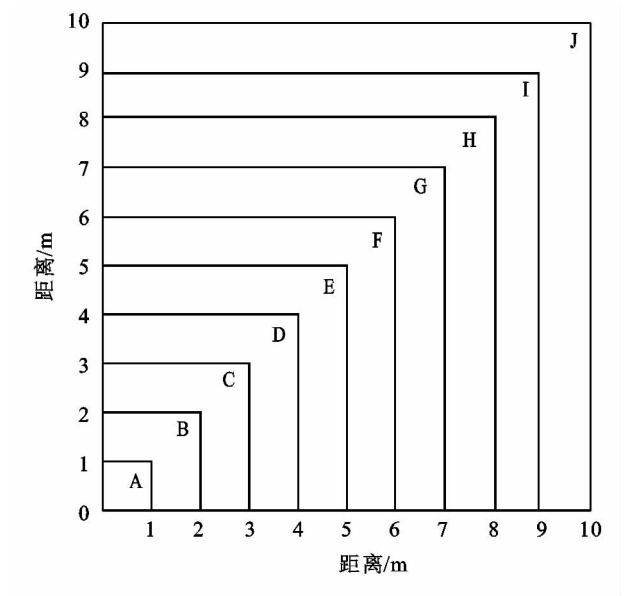


图 1 样地调查示意图

1.3 抽样面积确定方法

选择植物群落调查中常用的 10 条种—面积曲线(表 1),以面积 A 为自变量,物种数 S 为因变量,在 SPSS 软件中用方程(1)—(10)进行全部物种的种—面积方程拟合和待定参数 a, b, c 的求解。对应于上述种—面积曲线,要得到群落总种数一定比例 ρ ($0 < \rho < 1$) 的物种所需要的最小面积(或临界抽样面积)方程见表 2。通过方程的求解,得到不同物种比例的样方最小面积。结合样方内植被总盖度变化情况进行综合分析,确定鄂尔多斯高原油蒿群落研究的抽样面积。

2 结果与分析

2.1 观测群落的物种组成

在所调查的全部样地中,总共出现物种数为 27 种,分属于 10 科 24 属,其中禾本科种数最多,有 7 个种;菊科次之,有 6 个种;藜科和豆科均为 3 种(表 2)。在全部的 27 个物种中,有 2 种半灌木,14 种多年生草本,9 种一年生草本,2 种一年生或二年生草本,没有乔木和灌木(表 2)。

表 1 群落种—面积方程和对应的最小抽样面积方程

编号	曲线方程	最小抽样面积方程	参数			R ²
			a	b	c	
1	$S=b+aA$	$A_1=(\rho S_t-b)/a$	0.078	9.567	—	0.788
2	$S=b+a\ln A$	$A_2=\exp[(\rho S_t-b)/a]$	2.038	6.417	—	0.988
3	$S=(b+a\ln A)^c$	$A_3=\exp\{[(\rho S_t)^{1/c}-b]/a\}$	—	—	—	—
4	$S=a\ln(A+1)$	$A_4=\exp(\rho S_t/a)-1$	3.783	—	—	0.553
5	$S=a\ln(bA+1)$	$A_5=\{\exp(\rho S_t/a)-1\}/b$	—	—	—	—
6	$S=aA^b$	$A_6=(\rho S_t/a)^{1/b}$	7.096	0.180	—	0.992
7	$S=aA/(1+bA)$	$A_7=\rho S_t/(a-b\rho S_t)$	6.422	0.429	—	0.834
8	$S=c/(1+ae^{-bA})$	$A_8=-\{\ln[(c/\rho S_t-1)/a]\}/b$	0	0	12.572	<0.0001
9	$S=c-ae^{-bA}$	$A_9=-\{\ln[(c-\rho S_t)/a]\}/b$	8.512	0.050	15.501	0.985
10	$S=a(1-e^{-bA})$	$A_{10}=-[\ln(1-\rho S_t/a)]/b$	—	—	—	—

注:式中:A——面积;S——A中出现的物种数目;a,b,c——模型中待定参数;St——调查群落物种总数; ρ ——St下期望物种的比例。

表 2 鄂尔多斯高原油蒿群落组成

科	属	种	生活型
菊科 Asteraceae	蒿属 <i>Artemisia</i>	油蒿(<i>Artemisia ordosica</i>)	旱生半灌木
		茵陈蒿(<i>Artemisia capillaris</i>)	旱生多年生草本
	蓝刺头属 <i>Echinops</i>	蓝刺头(<i>Echinops gmelinii</i>)	旱生一年生草本
	狗娃花属 <i>Heteropappus</i>	阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>)	中旱生多年生草本
	旋覆花属 <i>Inula</i>	砂旋覆花(<i>Inula salsoloides</i>)	旱生多年生草本
	苦蕒菜属 <i>Ixeris</i>	苦蕒菜(<i>Ixeris chinensis</i>)	中旱生多年生草本
萝藦科 Asclepiadaceae	鹅绒藤属 <i>Cynanchum</i>	牛心朴子(<i>Cynanchum komarovii</i>)	旱生多年生草本
		地梢瓜(<i>Cynanchum thesiodes</i>)	旱生多年生草本
紫葳科 Bignoniaceae	角蒿属 <i>Incarvillea</i>	角蒿(<i>Incarvillea sinensis</i>)	中生一年生杂草
石竹科 Caryophyllaceae	女娄菜属 <i>Melandrium</i>	女娄菜(<i>Melandrium apricum</i>)	中旱生一、二年草本
	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	雾冰藜(<i>Bassia dasyphylla</i>)	旱生一年生草本
	藜属 <i>Chenopodium</i>	刺藜(<i>Chenopodium aristatum</i>)	中生一年生杂草
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	旱中生一年生草本
大戟科 Euphorbiaceae	大戟属 <i>Euphorbia</i>	乳浆大戟(<i>Euphorbia esula</i>)	多年生草本
		地锦(<i>Euphorbia humifusa</i>)	中生一年生杂草
豆科 Fabaceae	黄芪属 <i>Astragalus</i>	草木樨状黄芪(<i>Astragalus melilotoides</i>)	中旱生多年生草本
	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	达乌里胡枝子(<i>Lespedeza davurica</i>)	中旱生小半灌木
	棘豆属 <i>Oxytropis</i>	沙珍棘豆(<i>Oxytropis psammocharis</i>)	旱生多年生草本
	隐子草属 <i>Cleistogenes</i>	糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	旱生多年生草本
禾本科 Gramineae	画眉草属 <i>Eragrostis</i>	小画眉草(<i>Eragrostis minor</i>)	中生性一年生杂草
	狼尾草属 <i>Pennisetum</i>	白草(<i>Pennisetum centrasiaticum</i>)	多年生草本
	早熟禾属 <i>Poa</i>	硬质早熟禾(<i>Poa sphondylodes</i>)	旱生多年生禾草
	沙鞭属 <i>Psammochloa</i>	沙鞭(<i>Psammochloa villosa</i>)	旱生多年生草本
	狗尾草属 <i>Setaria</i>	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	中生一年生杂草
	针茅属 <i>Stipa</i>	本氏针茅(<i>Stipa bungeana</i>)	旱生多年生草本
唇形科 Labiatae	益母草属 <i>Leonurus</i>	细叶益母草(<i>Leonurus sibiricus</i>)	旱中生一年生或二年生杂草
伞形科 Umbelliferae	阿魏属 <i>Ferula</i>	沙茴香(<i>Ferula Bungeana</i>)	旱生多年生草本

调查数据显示,在 7 个 10 m×10 m 的大样方中,出现 1 次的物种有 8 个,约占总物种数的 30%,分别是沙茴香、细叶益母草、猪毛菜、乳浆大戟、地锦、草木樨状黄芪、蓝刺头、阿尔泰狗娃花;在 7 个大样方中出现 1 次以上的物种为 19 个,占总物种数的 70.4%;出现超过两次以上的物种为 17 个,占总物种数的 63%;而在所有样方中都出现的物种为 7 个,仅占全部物种数的 25.9%。

2.2 群落全部物种的种面积曲线拟合和临界面积求解

鄂尔多斯高原油蒿群落物种数目随着取样面积的增大而增加(表 3),在样方面积为 1 m×1 m 时,群落中的物种数平均为 7 种;样方面积为 2 m×2 m 时,物种数平均为 8.7 个;而当面积增加到 10 m×10 m 时,物种数量增加到了 16 种(表 3)。因此,无论将油蒿群落作为草本群落或者灌丛群落进行取样,按常规的样方设置,选择样方大小为 1 m×1 m 或者 2 m×2 m,都不能包括群落中的大多数物种。

表 3 鄂尔多斯高原油蒿群落中不同面积样地中的物种数

样方	面积/m ²									
	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100
1	7	10	10	12	13	15	15	17	18	19
2	6	7	7	10	11	11	11	13	13	14
3	8	9	13	13	13	14	15	16	18	20
4	8	10	10	13	14	15	15	15	15	15
5	7	10	14	15	15	16	16	16	16	16
6	7	8	10	12	12	12	13	13	13	13
7	6	7	9	10	12	14	15	15	15	15
均值	7	8.7	10.4	12.1	12.9	13.7	14.1	15	15.4	16

利用群落的野外调查数据对方程(1)—(10)进行拟合,求解得到相应的种—面积曲线方程的参数(表 1),从而可以确定相应的种—面积曲线方程。其中方程(2),(6)和(9)的拟合方程相关系数达到 0.9 以上,方程(1),(4)和(7)的拟合方程相关系数差,而对于鄂尔多斯高原油蒿群落,曲线方程(3),(5),(8)和(10)并不适合(表 1)。因此选择拟合度较好的方程(2)、

(6)和(9)所对应的抽样临界面积方程进行物种抽样临界面积的计算。

由表 4 可以看出,要抽样到该群落 60%以上的物种数,样方面积应该在 4.77~6.34 m²;要抽样到 70%,75%,80%,85%,90%,分别要求样方面积为 10.45~12.62,15.48~18.52,20.20~26.50,25.95~37.12,34.06~50.99 m²。

表 4 鄂尔多斯高原油蒿群落最小面积

最小面积	$\rho=0.6$	$\rho=0.7$	$\rho=0.75$	$\rho=0.8$	$\rho=0.85$	$\rho=0.9$
$A_2 = \exp[(\rho S_t - b)/a]$	4.77	10.45	15.48	22.92	33.94	50.25
$A_6 = (\rho S_t/a)^{1/b}$	5.36	12.62	18.52	26.50	37.12	50.99
$A_9 = -\{\ln[(c-\rho S_t)/a]\}/b$	6.34	12.09	15.74	20.20	25.95	34.06

注:ρ 为比例因子。

2.3 群落植被盖度随样方面积大小的变化

对不同大小样方的盖度进行调查,结果显示:在油蒿群落中,随着样方面积增大,植被盖度的差异减小。当样方面积为 1 m×1 m 时,调查的 7 个样方中,最小盖度为 3%,最大盖度为 30%,平均盖度为 13.57%;当样方面积为 2 m×2 m 时,最小盖度为 4%,最大盖度为 35%,平均盖度为 16.14%;当样方面积为 3 m×3 m 时,最小盖度为 10%,最大盖度为 35%,平均盖度为 16.71%;而当样方面积大于 4 m×4 m 时,植被盖度变化相对要小,最小盖度为 15%,最大盖度为 35%,平均盖度为 20%左右(图 2)。

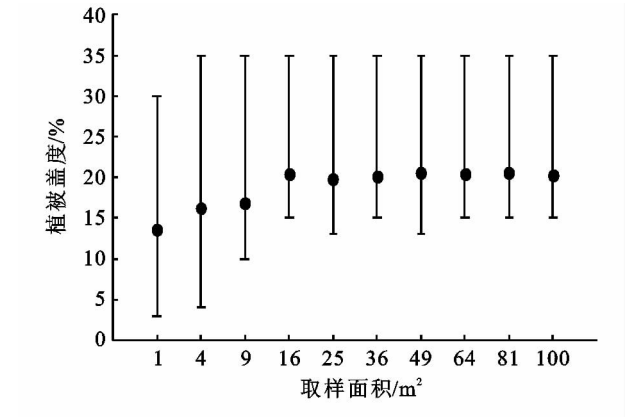


图 2 不同面积油蒿群落样地的平均植被盖度、最小植被盖度和最大植被盖度

3 讨论

油蒿在鄂尔多斯高原毛乌素沙地中具有非常高的优势度。在流动或者半固定沙丘,油蒿往往是单优势种,其它伴生种一般只出现 2~3 种(样方面积 2 m×2 m);在固定沙丘上生长的油蒿群落中,物种数量也只有 8~14 种(样方面积 2 m×2 m)^[7-8]。本研究中调查的油蒿群落为固定沙丘,当样方面积为 2 m×2 m 时,群落中物种平均为 8.7 种,当样方面积为 10 m×10 m 时,平均物种数为 16 种。根据物种组成情况,所调查的区域属于固定沙地油蒿十禾草群落阶段,这一阶段的主要特征是许多草本植物、特别是禾本科植物进入群落中^[18]。调查区域中,禾本科植物种有 7 种。众多的物种进入的同时,使得群落中偶见种的比重增加。在所调查的油蒿群落中,出现频率超过 1 次的物种数仅占总物种数的 70.4%。这使得野外调查样方要包括所有的物种非常困难。在设置调查样方时,考虑到样方的代表性,样方至少应该包括全部物种数的 70.4%以上。根据油蒿群落的种—面积曲线,要抽样到 60%,70%,75%,80%,85%,90%以上的物种数,分别要求样方面积为 4.77~6.34,10.45~12.62,15.48~18.52,20.20~26.50,25.95~37.12,34.06~50.99 m²。也即是说,要使调查样方

至少包括 70.4% 以上的物种,样方的面积应该大于 12.62 m^2 (70% 物种面积)。

种—面积关系的构建方式主要有 3 种,包括巢式样方、随机样方和隔离样方^[19]。其中巢式样方具有取样严格、布点均匀的特点,但受物种集群分布的影响较大,在一定程度上容易高估物种数;随机取样法通过随机设置一系列分散的样方,能够减少物种集群分布的影响,但取样相对不方便,在物种少且分散的情况下容易导致物种缺失^[20]。在鄂尔多斯高原,油蒿群落往往在固定沙丘和丘间低地占据绝对优势地位,群落中植物种数相对较少,由于沙丘与低地相间分布这种特殊地形的影响,物种(特别是草本)分布又相对集中。本文通过随机设置 7 个样地,在每个样地中利用巢式样方法来构建种—面积关系,符合本研究区植被分布的特点。

植被覆盖度是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标,是描述植被群落及生态系统的重要参数。调查样方面积越小,各个样方的植被盖度差异就越大,不能很好地代表整个植被类型的特征。对不同面积油蒿群落样方的植被盖度的研究表明,当样方面积大于 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 时,植被盖度的变化较小,并趋于稳定(图 2)。样方面积越大,对群落的代表性也就更高,但同时也会极大地增加工作量,特别是进行大型长期的野外控制实验时。综合种—面积曲线的结果和盖度变化情况,考虑到取样效率,对油蒿群落的研究结果表明,样方面积确定为 16 m^2 ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) 是比较合适的。此样方能够包括油蒿群落中全部的常见种,也能较准确地反映群落覆盖地表的状况,在保证样方代表性的同时也能最大限度地控制工作量。

在进行有关群落物种丰富度或多样性的大型长期野外控制实验时,选择合适大小的样方非常重要。但同时,样方的数量也是一个很重要的因素。利用稀疏法(rarefaction)能够确定反映研究区物种丰富度的最小表现样方数^[21]。稀疏法是通过物种在样方中的分布信息来估算物种丰富度的一种统计方法,它可以估算出样方总体上随意抽取部分样方组成的样方组中的物种数。同样,在样方面积一定的情况下,也可以估算出需要多少个样方才能真实地反映出整个区域内物种丰富度。在确定了油蒿群落最小样方面积为 16 m^2 ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) 的情况下,通过稀疏法确定反映整个研究区物种丰富度的最小表现样方数,是开展大型长期野外控制实验时需要考虑的问题。

4 结论

(1) 种—面积曲线方程拟合法能真实地反映群

落最小面积,通过求解得到相应的种—面积曲线方程的参数,从而可以确定相应的种—面积曲线方程。其中方程 $S=b+a\ln A$, $S=aA^b$, $S=c-ae^{-bA}$ 的拟合方程相关系数达到 0.9 以上,得出的最小面积相接近而且基本与群落的实际植被覆盖状况相符合;而对于鄂尔多斯高原油蒿群落,曲线方程 $S=(b+a\ln A)^c$, $S=a\ln(bA+1)$, $S=c/(1+ae^{-bA})$ 和 $S=a(1-e^{-bA})$ 并不适合。

(2) 本研究样地中,油蒿群落中出现频率超过 1 次的物种数仅占总物种数的 70.4%,考虑到样方的代表性,设置的调查样方至少应该包括全部物种数的 70.4% 以上;当样方面积大于 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 时,样方植被盖度才能较准确地代表群落植被盖度;考虑到取样的效率,认为样方面积确定为 16 m^2 ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) 是比较合适的。

参考文献:

- [1] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [2] 刘灿然, 马克平, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究: VII. 几种类型植物群落临界抽样面积的确定[J]. 生态学报, 1998, 18(1): 15-23.
- [3] 刘彤, 崔运河, 翟伟, 等. 莫索湾南缘沙漠植物群落多样性抽样方法的研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(3): 367-374.
- [4] 王庆锁, 梁艳英. 油蒿群落植物多样性动态[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2): 159-163.
- [5] 刘凤红, 刘建, 董鸣. 鄂尔多斯高原沙地植被和两种优势克隆半灌木的空间格局[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2374-2381.
- [6] 刘凤红, 刘建, 董鸣. 毛乌素沙地优势克隆半灌木生物量配置对小尺度植被盖度变异的响应[J]. 生态学报, 2004, 25(12): 3415-3419.
- [7] 杨宝珍, 董学军, 高琼, 等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)的蒸腾作用及其群落的水分状况[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 161-170.
- [8] 王庆锁, 董学军, 陈旭东, 等. 油蒿群落不同演替阶段某些群落特征的研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(6): 531-538.
- [9] 陈玉福, 董鸣. 毛乌素沙地群落动态中克隆和非克隆植物作用的比较[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 377-380.
- [10] 姚月锋, 满秀玲, 刘畅, 等. 封育对沙地油蒿群落生物量及其土壤水分影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(1): 37-38.
- [11] 王海涛, 张银太, 何兴东, 等. 干旱区油蒿生物量凋落分解与土壤呼吸[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 455-459.
- [12] 张军, 黄永梅, 焦会景, 等. 毛乌素沙地油蒿群落演替的生理生态学机制[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 977-983.

(下转第 195 页)

- spatial variations of evapotranspiration for spring wheat in the Shiyang river basin in northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2007, 87(3): 241-250.
- [5] Suleiman A A, Tojo S C M, Hoogenboom G. Evaluation of FAO-56 crop coefficient procedures for deficit irrigation management of cotton in a humid climate[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 91(1/3): 33-42.
- [6] 卓玛兰草, 刘普幸, 张亚宁, 等. 甘肃黄土高原区潜在蒸散量时空变化与成因研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 70-76.
- [7] 侯兰功, 肖洪浪, 邹松兵, 等. 黑河流域水循环特征研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 254-258.
- [8] 曾丽红, 宋开山, 张柏, 等. 松嫩平原参考作物蒸散量变化及其影响因素分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(1): 41-48.
- [9] Cleugh H A, Leuning R, Mu Q, et al. Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 106(3): 285-304.
- [10] 田雷, 杨胜天, 王玉娟. 应用遥感技术研究贵州春季蒸散发空间分异规律[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 87-91.
- [11] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop Evapotranspiration-guidelines for Computing Crop Water Requirements[R]. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, 1998.
- [12] Kristensen K J, Jensen S E. A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration[J]. Nordic Hydrology, 1975, 6(3): 170-188.
- [13] 杨胜天, 等. 生态水文模型与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [14] Su Z. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes[J]. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2002, 6(1): 85-100.
- [15] Nilson T. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands[J]. Agricultural Meteorology, 1971, 8: 25-38.
- [16] 唐世浩, 朱启疆, 孙睿. 基于方向反射率的大尺度叶面积指数反演算法及其验证[J]. 自然科学进展, 2006, 16(3): 331-337.
- [17] Monsi M, Saeki T. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production[J]. Japanese Journal of Botany, 1953, 14: 22-52.
- [18] 孙晓敏, 朱治林, 张仁华. 生态系统中蒸发过程的精确测定: 换位式波文比观测仪介绍[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1995, 6(4): 44-47.
- [19] 杜嘉, 张柏, 宋开山, 等. 基于 NOAA/ AV HRR 数据估算三江平原蒸散量研究初探[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 56-62.
- [20] Burba G G, Verma S B, Kim J. A comparative study of surface energy fluxes of three communities (Phragmites australis, Scirpus acutus, and open water) in a prairie wetland ecosystem[J]. Wetlands, 1999, 19(2): 451-457.
- ~~~~~
- (上接第 189 页)
- [13] 李柏, 高甲荣, 崔强, 等. 油蒿、羊柴和花棒下生物结皮阻水特性分析: 以宁夏盐池县为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 136-139.
- [14] 陈玉福, 董鸣. 毛乌素沙地景观的植被与土壤特征空间格局及其相关分析[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 266-269.
- [15] 肖洒, 王刚, 李良. 毛乌素沙地油蒿与杨柴异速生长模式及个体大小的种内竞争调节[J]. 中国沙漠, 2003, 23(1): 67-72.
- [16] 张友焱, 周泽福, 程金花, 等. 毛乌素沙地几种灌木生长季土壤水分动态特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 160-163.
- [17] 杨洪晓, 张金屯, 李振东, 等. 毛乌素沙地油蒿 (*Artemisia ordosica*) 种群空间格局对比[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 1910-1901.
- [18] 郭柯. 毛乌素沙地油蒿群落的循环演替[J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 243-247.
- [19] Scheiner S M. Six types of species-area curves[J]. Global Ecology and Biogeography, 2003, 12(6): 441-447.
- [20] Fattorini S. To fit or not to fit? A poorly fitting procedure produces inconsistent results when the species-area relationship is used to locate hotspots[J]. Biodiversity and Conservation, 2007, 16(9): 2531-2538.
- [21] 邢开雄, 康慕谊, 王强, 等. 运用稀疏法分析物种丰富度的海拔梯度分布格局: 以样方实测乔木种数据为例[J]. 生物多样性, 2011, 19(5): 581-588.