

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.04.010

中度干扰对不同光照条件下草地物种多样性的影响

王建芳¹, 谭志雄², 王元川³

(1. 重庆三峡学院生物与食品工程学院, 重庆 404100;

2. 恩施市第三高级中学生物教研组, 湖北 恩施 445000;

3. 湖北师范大学生命科学学院, 湖北 黄石 435002)

摘要:生物多样性保护是全球范围内的生态学问题, 以往的观点是, 人类活动是导致生物多样性急剧下降的主要原因, 所以全球范围内都加快了生态环境的保护。但目前很多的森林、草地及自然资源出现了过度保护现象, 导致生物多样性并没有随着环境保护的加强而增多。为了研究干扰对物种多样性的影响, 本文设计了在不同光照条件下的人为干扰实验, 运用 Margalef 丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Winener 指数和 Pielou 均匀度指数, 研究了无人干扰和适度干扰在不同光照条件下对物种多样性和植物生物量的影响, 并以此为生态服务和生物多样性保护策略提供依据。结果表明, 不同人为干扰强度和光照强度对物种的数量特征和分布特征产生了影响, 有人为干扰样方中的物种多样性比无人干扰样方中的高, 适度干扰样方中物种数量多于轻度干扰样方。有光照的样方中物种数量比荫蔽样方中的物种数量要高。光照强度和人为干扰对地面现存生物量有影响, 并且光照强度的影响要大于人为干扰。

关键词:光照强度; 人为干扰; 物种多样性; 多样性指数

中图分类号: Q53; S718.51 文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2019)04-0051-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Moderate Disturbance on Species Diversity of Grassland under Different Illumination Conditions

WANG Jian-fang¹ TAN Zhi-xiong² WANG Yuan-chuan³

(1. College of Biology and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China;

2. Biology Teaching and Research Group of Enshi Third Senior Middle School, Enshi 445000, China;

3. College of Life Sciences, Hubei Normal University, Huangshi 435002, China)

Abstract: Biodiversity conservation is a global ecological problem. The previous concept was that human activities were the main reason for the sharp decline of biodiversity, so the protection of ecological environment was accelerated worldwide. However, at present, many forests, grasslands and natural resources were over-protected, not resulting in increased biodiversity with the strengthening of environmental protection. In order to study the effects of disturbance on species diversity, the experiments of artificial disturbance were designed under different illumination conditions. The effects of uninhabited and moderate disturbance on species diversity and plant biomass under different illumination conditions were studied by using Margalef richness index, Simpson index, Shannon-Winener index and Pielou evenness index, and the effects of uninhabited and moderate disturbance were also researched on species diversity and plant biomass under different illumination conditions, which provided basis for the strategy of biodiversity con-

收稿日期: 2019-05-29

作者简介: 王建芳(1976-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事生态学研究, e-mail: glayertop2@163.com。

servation. The results showed that the number and distribution characteristics of species were affected by different intensity of human disturbance and illumination. The species diversity of human disturbance quadrats was higher than that of non-human disturbance quadrats, and the number of species in moderate disturbance quadrats was more than that in mild disturbance quadrats. The number of species in illuminated plots was higher than that in shaded plots. Light intensity and human disturbance had an effect on the existing biomass of the ground, and the influence of light intensity was greater than that of human disturbance.

Key words: Intensity of illumination, Human disturbance, Species diversity, Diversity index

生物多样性和生态系统的稳定性是全球范围内生态学研究领域的重要问题,是人类社会赖以生存和发展的重要基础^[1~2]。然而,随着人类活动的不断加剧和现代社会经济的高速发展,以及人类工业化程度的越来越高,人类自然资源、社会资源和环境资源等一系列影响社会生产和生活的问题也逐渐凸显出来^[3],生物多样性也正以前所未有的速度降低,并严重影响到了人类社会发展和人类生存与发展,因此近现代生态学研究已逐步深入到人类活动、资源和环境保护等方面上来了^[4]。以往的观点是,人类活动是导致生物多样性急剧下降的主要原因,所以全球范围内加快了生态环境保护的步伐同时,也加强了生态环境的保护措施,对生态环境的保护几乎到了密不透风的程度,从而导致很多森林、草地等自然资源出现了过度保护现象,然而生物多样性不仅没有随着环境保护的加强而增多,反而逐年呈下降趋势,使得生态环境保护和生物多样性保护行动更加刻不容缓^[5]。由此,美国生态学家康奈尔提出了中度干扰假说,越来越多的学者也开始重视干扰这一生态因子在提高物种多样性,改善群落结构方面的作用,同时,他们也在这方面做出了大量的研究,研究表明中度干扰不仅能提高物种多样性,在推进群落结构进化,促进草地恢复等方面也有很多的作用^[6~11],从而为生态环境保护和生物多样性保护提供了科学策略,本文也是基于此目的。

在生态学上干扰行为普遍存在,就其形式和起源来说,我们可以将干扰分为自然干扰和人为干扰,而人为干扰是生态学研究中最常用的方法和手段。干扰在改变生物环境中资源的有效性和调节群落中生物的多样性方面有很好的作用^[12~13]。即使是最极端的有机论者也认为干扰不仅扰乱顶级群落的稳定性,对群落的演替进展也有阻碍^[12]。早期的生态学者将研究主要集中在自然干扰上,比如地震、洪流、飓风和暴雪暴雨等,这些自然干扰对生态群落的影响往往是毁灭性,所以他们往往视干扰为生态

研究中的不利因素^[14]。而近代生态学者则强调了干扰在形成群落结构和演替过程中的积极作用^[9],这些干扰主要是指农、林、牧等人类活动的人为干扰对自然群落的影响^[15]。

广西大学的杨梅等人研究结果表明,由于人为干扰强度不同,群落中的生态因子和种群繁殖策略发生了显著变化,物种的数量特征和分布特征也发生了明显的变化,并且在物种多样性影响方面,中度干扰高于温和干扰。另外有研究表明,重度干扰会阻碍和延缓群落的恢复进程^[16],但是,当这种干扰强度减弱时,群落中原有的种群又会逐渐出现,并有新种进入^[17]。伍业钢等指出,干扰是环境与资源在时间和空间上的异质性的来源之一,也是生态系统得以维持和发展的重要因素之一^[18~19]。众所周知,生态环境的空间异质性可增加物种的多样性,对生物多样性的维持有非常重大的意义^[20~21]。按照生态学中的冗余理论,在植物生态系统中,中度干扰之所以能增加物种多样性,是因为中度干扰只是损害了植物的冗余根系,对植物的整个根系功能并未破坏,植株能重新发展新根以实现“冗余补充”,所以中度干扰能促进具有生长冗余器官的植物的大量繁殖^[22~23]。

黄石地处东经 113°41' ~ 115°05', 北纬 29°58' ~ 31°22', 年平均气温 15.8℃ ~ 17.5℃, 属北亚热带季风性(湿润)气候,具有常年雨量丰沛、热量充足、雨热同季、光热同季、冬冷夏热、四季分明等特点。

1 实验技术路线

1.1 实验工具与仪器

相机、铲子、游标卡尺、卷尺、封口袋、铅笔、小刀、样桩、绳子、照度计、记录纸、标本夹、记号笔、烘箱、分析天平。

1.2 实验地点

实验样地选择在湖北省黄石市湖北师范大学校内青山湖旁一块天然环境下自由生长的杂草区域,样地区域海拔高度为 27 m,土壤属潮土类,地处开阔,沿岸有高大树木遮蔽,受亚热带季风气候影响,常年光照充足,雨量充沛,实验期间的 2 月—5 月正是各种杂草生长繁盛时期。样地面积约为 100 m²,一半处于自然日照条件下,一半处于荫蔽条件下,所以光照采用自然光照设计,干扰则采用人为干扰。

1.3 实验设计

实验设计四个处理组,即自然光照无干扰(NN),自然光照中度干扰(ND),荫蔽无干扰(SN),荫蔽有干扰(SD),每组设 3 个平行实验,共 12 块样方,样方面积均为 1 m × 1 m。

实验从 2 月出开始进行,光照采用自然光照和在遮蔽区域再用黑色纱布遮阴,干扰采用人为定期定时定频率的中度干扰,即每天 9:00 和 17:00,一人次以自然走路的方式在干扰实验样方内来回踏遍一次^[12]。每天 10:00 和 15:00 进行光照强度测定,最后取平均光照强度为各样方的光照强度。

于 5 月末用小铲小心连根收获样地植物,统计植物的株数,计算每一种植物的密度、盖度,株数;将样方内的全部植物收齐称重,即地上现存量;鉴定物种,并计算出各样方内的各物种多样性指数。在每一样方内,将所有物种进行分类并计数,用封口袋封好带回实验室,通过游标卡尺测得每种植株周长,然后把植株根剪去洗净后烘干称量干重。

1.4 实验方法

1.4.1 数量特征计算

物种相对丰度,即相对丰度值(RA),其计算公式为:

$$RA = (\text{相对密度} + \text{相对频度})/2 \quad (1)$$

密度(D_i), D_i 表示第*i*个种的密度,其计算公式为:

$$\text{某样方内植株个数/某样方的面积} \quad (2)$$

相对密度(RD),其计算公式为:

$$(D_i / D_s) \times 100\% \quad (3)$$

式中: D_i 表示第*i*个种的密度; D_s 表示所有物种的总密度。

频度(F_i),其计算公式为:

$$\text{某物种出现在样方里的样方数/样方总数} \quad (4)$$

本实验的样方总数为 12。

相对频度(RF),其计算公式为:

$$(F_i / F_s) \times 100\% \quad (5)$$

式中: F_i 为某物种的频度; F_s 为所有实验样方内的所有物种的总频度。

优势度或显著度(DE_i):即盖度或胸高断面积。

相对优势度或相对显著度(RDE),其计算公式为:

$$(DE_i / DE_s) \times 100\% \quad (6)$$

式中: DE_i 为某物种的优势度或显著度; DE_s 为所有实验样方内的所有物种的优势度之和。

重要值(IV),是一个综合数值,表示物种在群落中的相对重要性,其计算公式为:

$$\text{重要值(IV)} = \text{相对多度(RD\%)} + \text{相对频度(RF\%)} + \text{相对显著度(RP\%)} \quad (7)$$

式中:相对多度即为(某物种的个体数和所有实验样方内的所有物种的个体数) × 100%,相对频度即为(某个植物的频度/所有实验样方内的所有物种的频度) × 100%,相对显著度即为(某个植物的胸截面积/所有实验样方内的所有物种的胸截面积) × 100%。

优势度指数,即生态优势度 C,其计算公式为:

$$C = N_i(N_i - 1)/(N(N - 1)) \quad (8)$$

式中: N 为样方中各物种多度指标的总和, N_i 为第*i*个种的多度指标。

1.4.2 α 多样性指数

它包含两方面的含义:即物种的丰富度和物种的均匀度。

(1) Margalef 指数

Margalef 指数,也就是物种的丰富度,其公式为:

$$R = (S - 1) \ln N \quad (9)$$

在本文中,式中的 S 为实验样方中出现的物种数, N 为样方中所有物种的个体总数。

(2) Simpson 指数

辛普森多样性指数,又称优势度指数,是与生物多样性正好相反的一个生态学指标,即集中性的度量。它是指假设从包含 N 个个体, S 个物种的群落中,采取不放回方式随机抽取两个个体,如果这两个个体属于同种的概率大,则有理由认为样方的多样性低,反之则高。所有辛普森指数可以度量群落的生态优势度。其公式为:

$$D = 1 - \sum p_i^2 \quad (10)$$

式中 P_i 是第*i*个物种的个体数占群落中所有物种的总个体数的比例。在本文中采用:

$$C = 1 - \sum N_i(N_i - 1)/N(N - 1) \quad (i = 1, 2 \dots S) \quad (11)$$

式中: C 为辛普森多样性指数, N 是样方所有物种的个体数, N_i 是第 i 个物种的个体数。

(3) Shannon-wiener 指数

香农 - 维纳多样性指数利用了信息的不确定性, 即如果从群落中随机抽取一个个体, 它将属于哪个物种是不确定的, 并且群落中物种数越多, 其不确定性就越大, 因此这种不确定性亦可当作是生物多样性的一个指标, 即香农 - 维纳多样性指数。其公式为:

$$H = - \sum (P_i \times \log P_i) \quad (12)$$

式中: H 为香农 - 维纳多样性指数; P_i 为抽样个体属于某一物种的概率 $P_i = N_i/N$ 。本文中计算 Shannon-Wiener 指数的方法采取:

$$D = - \sum p_i \ln p_i \quad (13)$$

$i = 1, 2 \dots S$

或:

$$D = 3.3219(\log_{10}^N - (1/N) \sum n_i \log_{10}^n) \quad (14)$$

式中: n 是群落中所有物种的个体数, n_i 是第 i 个物种的个体数, 3.3219 是从 \log_{10} 到 \log_2 的转化系数。该指数是以 Shannon-Wiener 函数为基础的多样性指数。

(4) Pielou 均匀度指数

Pielou 均匀度指数即:

$$E = H/H_{\max} \quad (15)$$

式中: H 为实际观察的物种多样性指数; H_{\max} 为最大的物种多样性指数, $H_{\max} = \ln S$ (S 为群落中的总物种数)

均匀度是指样方中各个物种多度的均匀度, 即为观察多样性与最高多样性的比率, 因此本文中均匀度的计算方法为:

$$J = D/1.4427 \{ \ln N - (1/N) \} \{ [\alpha(S - \beta) \ln \alpha] + [\beta(\alpha + 1) \ln(\alpha + 1)] \} \quad (16)$$

其中, D 为 Shannon-Wiener 指数; n 为群落中所有物种的总个体数; n_i 为第 i 个物种的个体数; 1.4427 是从 \log_2 到 \log_e 的转化系数; J 为均匀度; S 为群落中的总种数; β 是 n 被 S 整除以外的余数 ($0 \leq \beta \leq n$); $\alpha = (n - \beta)/S$ 。

1.5 植物分类、测量和数据计算

对采集回来的所有植物进行整理分类、测量、称量和计算, 并用 EXCEL 等软件进行数据处理和作图。

2 结果与分析

2.1 不同光照和人为干扰对各群落中物种分布的影响

从表 1 中可以看到在有光照无干扰的样方中有 16 种物种, 物种出现的总频率数为 22%, 有光照中度干扰样方中有 25 种物种, 物种出现的频率总数为 37%, 荫蔽无干扰样方中有 16 种物种, 物种出现的总频率数为 20%, 荫蔽中度干扰样方中有 17 种物种, 物种出现的总频率数为 21%, 其中有光照样方的物种数总数为 41, 无光照样方的物种总数为 33, 无干扰样方里物种总数为 32, 中度干扰样方里的物种总数为 42。从物种数量上看, 有光照中度干扰样方中物种数最高, 其次是荫蔽中度干扰样方, 有光照无干扰样方内的物种数和荫蔽无干扰样方内的相等。从物种出现的总频数来看, 也是有光照中度干扰样方最高, 有光照无干扰样方为其次。而且有光照的样方和中度干扰的样方物种总数都明显高于无光照样方和无干扰样方。

表 1 各样方中物种分布情况

Tab. 1 The species distribution of each quadrat

科名	种名	样方处理			
		NN	ND	SN	SD
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	√	√		
	鼠曲草 <i>Herba Gnaphalii Affinis</i>	√	√		√
菊科	艾蒿 <i>Artemisia verlotorum Lamotte</i>		√	√	
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> (Linn.) Pers.		√	√	
	又薊		√		
十字花科	蔊菜 <i>Rorippa cantoniensis</i> (Lour.) Ohwi		√		
大麻科	葎草 <i>Humulus scandens</i>	√	√	√	√
		√	√	√	√
玄参科	婆婆纳 <i>Veronica polita</i> Pries	√	√	√	√
	通泉草 <i>Mazus japonicus</i> (Thunb.) O. Kuntze		√	√	
禾本科	野燕麦 <i>Avena fatua</i> L	√	√	√	√
	淡竹叶 <i>Herba Loophatheri</i>	√			√
	麦娘 <i>Alopecurus aequalis</i> Sobol		√	√	
苋科	水花生 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	√	√		√
	牛膝 <i>Radix Achyranthis Bidentatae</i>	√			√
石竹科	繁缕 <i>Andgallis arvensis</i> L. var		√		√
茜草科	猪殃殃 <i>Galium trifidum</i> Linn	√	√	√	√
牻牛儿苗科	老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i> Linn.		√		√

续表 1 各样方中物种分布情况
Cont. Tab. 1 The species distribution of each quadrat

科名	种名	样方处理			
		NN	ND	SN	SD
伞形科	窃衣 <i>Glehnia littoralis</i> F. Schmidt ex Miq.	√	√		
	细叶旱芹 <i>Apium leptophyllum</i> (Pers.) F. Muell	√	√	√	
败酱科	白花败酱 <i>Patrinia sinensis</i> (Levl.) Kaidz		√	√	√
蝶形花科	野豌豆 <i>Vicia angustifolia</i> Linn.	√	√		
凤尾蕨科	井栏边草 <i>Pteris multifida</i> Poir.		√	√	
忍冬科	忍冬 <i>Lonicera tellmanniana</i>				√
苎麻科	苎麻 <i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaud.	√	√	√	√
莎草科	莎草 <i>Cymbidium elegans</i> Lindl.			√	
海金沙科	海金沙 <i>Spora Lygodii</i>			√	
匍匐科	乌敛莓		√		
藜科	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i> Linn		√		√
酢浆草科	红花酢浆草 <i>Oxalis articulata subsp rubra</i>		√	√	
蓼科	何首乌 <i>Polygonum multiflorum</i>	√			√
蔷薇科	蛇毒 <i>Fomes officinalis</i> (Vill. Et Fr.) Ames	√	√		√
苋科	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb	√	√	√	√

注:NN 光照强度平均值为 41 867 lux(35 200 ~ 48 300 lux),ND 光照强度平均值为 42 500 lux (36 800 ~ 51 100 lux),SN 光照强度平均值为 7 226 lux(3 250 ~ 13 200 lux),SD 光照强度平均值 8 021 lux(5 214 ~ 11 324 lux)

从物种分布结构来看,有光照的中度干扰样方里,物种的分布也最均衡,除了一年蓬、淡竹叶、牛膝、忍冬、海金沙、莎草和蓼科没有在这个条件的样方里出现外,其余物种在此种样方中都有出现,其次是遮蔽中度干扰样方物种分布也较为均衡。同时,从表 1 中还可以看到有 9 种物种只出现在有中度干扰的样方里,分别是艾蒿、通泉草、麦娘、井栏边草和红花酢浆草在有光照和无光照的中度干扰的样方里都有出现,乌敛莓和葶菜只出现在有光照的中度干扰样方里,海金沙和莎草只出现在无光照的中度干扰样方里,而在无干扰样方里出现,在有干扰样方里却没有出现的物种只有 4 种。

结果表明中度干扰不仅能提高物种多样性,对群落中物种的结构分布也是有影响的,中度干扰在群落结构的恢复进程中有推进作用。

2.2 不同光照和人为干扰对群落多样性的影响

由表 2 和图 1 可以看出有光照中度干扰样方的 Margalef 指数和 Shannon-Weiner 指数最高,其次是无光照中度干扰的样方。结果说明中度干扰对生物多样性的提高有明显的促进作用。另外,无光照样方内的 Simpson 指数比同等干扰条件下的有光照样方内的 Simpson 指数要高。此结果说明光照强度对物种多样性也有影响,有光照比无光照的生物多样

性要高。同时,从图 1 和表 2 中还可以看到,两个中度干扰样方内的 Pielou 指数明显比两个无干扰样方内的 Pielou 高,说明中度干扰不仅可以提高生物多样性,还可以提高样方内的物种均匀度。

表 2 生物多样性指数
Tab. 2 The species diversity index of each quadrat

样方处理	Margalef 指数	Simpson 指数	Shannon-Weiner 指数	Pielou 均匀度指数
NN	3.80904	1.0821	2.5521	1.21341
ND	6.97452	2.3211	5.65704	2.20551
SN	4.1631	1.60425	3.62742	1.81014
SD	5.95647	2.27244	5.06391	2.30469

注:各指数为同一条件下各样方的指数和

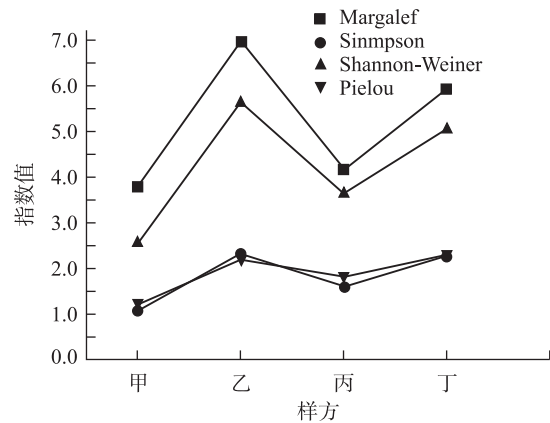


图 1 不同处理样方生物多样性指数

Fig. 1 The species diversity index of different treated quadrats

2.3 不同光照和人为干扰对植物生物量的影响

由图 2 可以看出有光照无干扰处理实验中植物生物量最多,无光照有干扰的样方中植物生物量最少,两者之间的生物量差距较大,生物量由高到底分别是有光照无干扰样方 > 有光照中度干扰样方 > 无光照无干扰样方 > 无光照中度干扰样方。结果表明干扰和光照对生物量是有影响的,光照能促进生物量的增加,干扰减少生物量的增加,但光照强度对生物量的影响大于干扰对生物量的影响。

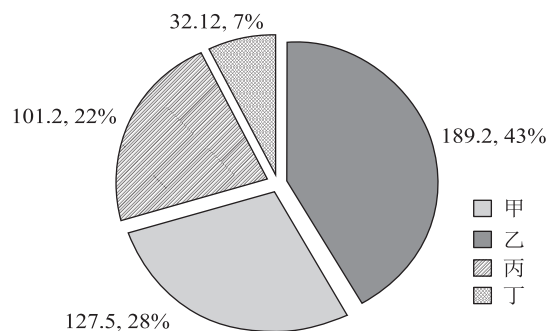


图 2 不同处理样方内植物生物量

Fig. 2 The plant biomass of different treated quadrats

3 结论

干扰和空间异质性一样,是调节植物群落物种多样性的主要因子。中度干扰不仅能提高物种多样性,也能提高物种分布的均匀度,从而改善物种的分布结构,在加速群落演替进程上也起到一定的作用。所以在现代生态保护和生物多样性保护观念上,我们不仅要加强环境保护理念,减少人类活动对生态环境的破坏和摧毁,还要充分运用干扰手段,尤其是人为的中度干扰。

光照条件对生物多样性和生物量有一定的影响,但光照条件会受到植物特性等很多原因的制约,所以在对生物多样性的影响方面,干扰优于光照。但在对植物的生物量的影响上,干扰又不同于光照的影响大。所以在我们进行植物生态保护时,在权衡物种多样性的提高和植物生物量的增加时,要将光照和干扰结合起来运用。

4 讨论

不同植物对光照有不同的适应性。在实验中出了一些喜阳植物物种如苦苣菜、老鹳草、窃衣、野豌豆只出现在有光照的样方中,喜阴植物如忍冬只出现在无光照的样方中,所以光照强度对物种的分布和多样性的影响可能受到植物特性的制约。

由于物种丰富度指数没有利用到物种相对多度的信息,所以由物种丰富度指数反映出来的物种多样性不能全面反映群落的多样性水平。同时,影响物种丰富度的因素有很多,诸如历史因素、物种库的大小、物种库之间的距离、群落面积和群落内物种间的相互作用等,所以在实验中选择样方大小时,很难将这些因素全部考虑到。而 Simpson 指数则是更多的重视了物种的多度,同样忽略了物种的数量,所有本实验中样方的大小在一定程度上也可能影响到了实验的效果。

参考文献:

[1] 赵永辉,潘业田. 生物多样性与林窗干扰影响研究综述[J]. 四川林勘设计,2018(02):71~78.
 [2] 刘晓媛. 放牧方式对草地植被多样性与稳定性关系的影响[D]. 东北师范大学,2013.
 [3] Michael Huston. Conservation and biodiversity[J]. Trends in Ecology & Evolution,1997,12(6).

[4] G. Sainty,G. McCorkelle,M. Julien. Control and spread of Alligator Weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. in Australia: lessons for other regions[J]. Wetlands Ecology and Management,1997,5(3).
 [5] 宋林,许才万,刘红宇,谢涛. 中度干扰对退耕地刺槐林群落结构及植物多样性的影响[J]. 现代农业科技,2014(19):170~171.
 [6] 宋林,许才万,刘红宇,等. 中度干扰对退耕地刺槐林群落结构及植物多样性的影响[J]. 现代农业科技,2014(19):170~171.
 [7] 李聪慧,雷霆. 人为干扰对北京野鸭湖市级自然保护区植物多样性的影响[J]. 福建林学院学报,2014,34(04):309~315.
 [8] 周云磊. 人为干扰对底栖生物群落多样性的影响及效应分析[D]. 南京农业大学,2015.
 [9] 郑伟,朱进忠,潘存德. 草地植物多样性对人类干扰的多尺度响应[J]. 草业科学,2009,26(08):72~80.
 [10] 罗天相,刘莎. 中度放牧干扰对草地生物多样性影响的思考[J]. 安徽农业科学,2007(21):6567~6568+6612.
 [11] 王仁忠. 干扰对草地生态系统生物多样性的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版),1996(03):112~116.
 [12] Holm L G, et al. Distribution and Biology [M]. Honolulu: Hawaii: University Press of Hawaii,1977.
 [13] Julien M H, Bourne A S, Low V H K. Growth of the weed *Alternanthera philoxeroides* (Martius) Grisebach (alligatorweed) in aquatic and terrestrial habitats. Plant Prot Quarterly,1992,7: 102~108.
 [14] HU TCHINSON G E. The paradox of the plankton[J]. American Naturalist,1951,95: 137~145.
 [15] 孙儒泳,等. 普通生态学(第一版). 北京:高等教育出版社,2001,202~205.
 [16] 杨梅,林思祖,曹光球. 不同人为干扰强度下甜槠群落物种多样性比较分析[J]. 东北林业大学学报,2009,37(07):30~32.
 [17] Zhang G C(张格成),Li J X(李继祥),Chen X H(陈秀华). Primary biology of alligatorweed. Weed Sci(杂草科学),1993,2: 10~12.
 [18] 李绪佳,张庭端,兰立达,等. 不同干扰强度下的大渡河天然岷江柏种群特征[J]. 四川林业科技,2017,38(02):91~96+54.
 [19] 伍业钢,李海滨. 景观生态学的理论发展:当代生态学博论[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.
 [20] 宋博,丁圣彦,赵爽,等. 农业景观异质性对生物多样性及其生态系统服务的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(04):443~450.
 [21] Kubota Yasuhiro, Kusumoto Buntarou, Fujinuma et al. Systematic conservation planning for biodiversity conservation[J]. JAPANESE JOURNAL OF ECOLOGY,2017,67(3).
 [22] 白卫国,李增元. 中国西部草地生态系统可持续发展的探讨[J]. 中国草地,2004,26(3):53~58.
 [23] 任明迅,吴振斌. 大型水生植物生长冗余研究[J]. 生态学报,2001,21(7):1072~1078.