

围栏封育对青海湖流域主要植物群落 多样性与稳定性的影响

李 璠^{1,2}, 周国英¹, 杨路存¹, 徐文华¹, 钟泽兵^{1,2}, 宋文珠¹

(1. 中国科学院 西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 植物群落多样性与稳定性是群落生态学的核心内容,是现代生态学的热点问题,也是草地资源评价与管理的重要指标。青海湖流域是我国主要牧场之一,研究该地区草地利用现状和封育影响评价对草地可持续利用具有重要意义。本文利用 Simpson, Shannon-wiener 和 Pielou 物种多样性指数及改进后的 Godron 稳定性测定方法,分析了青海湖流域高寒草甸、高寒草原和温性草原三种草地群落的多样性、稳定性及二者之间的关系,比较了相同草地类型围栏内外的植物群落多样性和稳定性,及三种草地类型在围栏内外的情况。结果表明:(1) 高寒草甸,多样性:围栏内>围栏外,稳定性:围栏外>围栏内;高寒草原,多样性:围栏外>围栏内,稳定性:围栏内>围栏外;温性草原,多样性:围栏外>围栏内,稳定性:围栏内>围栏外。(2) 围栏外不同草地类型多样性大小:高寒草甸>高寒草原>温性草原,稳定性大小:高寒草原>温性草原>高寒草甸。(3) 围栏内不同草地类型多样性大小:高寒草甸>高寒草原>温性草原,稳定性大小:温性草原>高寒草原>高寒草甸。在高寒草甸、高寒草原和温性草原中多样性与稳定性表现为负相关关系。

关键词: 青海湖流域; 物种多样性; 群落稳定性; 改进 M-Godron 法; 相关性

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)04-0135-06

Effect of Fence on Biodiversity and Stability of the Main Plant Communities in the Qinghai Lake Area

LI Fan^{1,2}, ZHOU Guo-ying¹, YANG Lu-cun¹, XU Wen-hua¹, ZHONG Ze-bing^{1,2}, SONG Wen-zhu¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences,

Xi'ning 810001, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To analyze community diversity, stability and the their correlation, community diversity and stability within and out of fence in the same community and the three community diversity and stability within and out of fence in QingHai lake area were measured and compared according to three diversity indexes: the Simpson index, the Shannon-Wiener index, and the Pielou index as well as a community stability index; the improved M-Godron method. The result shows that: (1) the diversity of fence alpine meadow is greater than enclosure, the stability is on the contrary; the diversity of enclosure steppe is greater than fence, the stability is on the contrary; the diversity of enclosure temperate steppe is greater than fence, the stability is on the contrary; (2) by comparing the diversity out of fence, the rank of diversities is the alpine meadow>steppe>temperate, by comparing the stability out of fence, the level of stability is in the order of the steppe>temperate>alpine meadow; (3) by comparing the diversity within fence, the rank of the diversities is the alpine meadow>steppe>temperate, by comparing the stability within fence, the level of stability is in the order of the temperate steppe>steppe> alpine meadow. There is an obvious negative correlation between diversity and stability in alpine meadow, alpine steppe and temperate steppe.

Key words: Qinghai lake area; species diversity; community stability; improved M-Godron method; correlation

自 Elton 提出稳定性与多样性之间的关系以来,其一直受到国际社会的广泛关注,但至今有关这方面的解释依旧存在争议。近年来,国内外开展了许多生态系统结构与功能的理论探索和实验研究,并提出许多多样性—稳定性假说^[1-2],其结果大致可以分为三类:正相关、不相关和负相关。大多数实验结果支持正相关理论^[3],早在 1958 年,Elton^[4]提出生态系统越简单就越不稳定的观点。国内许多研究也支持这一观点,认为多样性程度高的群落,其抵抗力强,群落稳定性高^[5-8]。植物群落不仅具有空间(地带性)特征,而且还具有明显的时间(演替动态)特征^[9],导致群落在结构和功能上的复杂性及在时空上的动态变化,加之稳定性的表达方式不同,更增加了多样性—稳定性研究方法的困难。20 世纪 70 年代,May 等^[10]科学家运用数学模型对多样性—稳定性假说提出了质疑,认为生态系统的稳定性随物种多样性的增加而下降。Pfisterer 等^[11]的研究表明,物种多样性与稳定性存在负相关关系。本文采用一种数学生态学方法,即改进后的 Godron 稳定性测度法定量客观地评价青海湖流域草地多样性与稳定性的关系。

青海湖流域地处青藏高原东北部,丰富的草地资源对流域生态环境、气候变化等有着举足轻重的调节作用,同时也是优良牧草和畜牧业生产基地。但随着人类活动范围的扩大和资源利用强度的加深,青海湖流域植被不断受到各种干扰,如气候暖干化、人类活动(超载过牧、草地开垦、铁路、公路等各类建设工程等),导致生境破碎化,物种多样性加速丧失,威胁到牧区居民经济的可持续发展。近年来有关学者加强了对青海湖流域不同草地类型生物多样性的研究^[12-14]。但是,由于这些研究区域较小、代表性不强,其研究结果大多仅针对某一群落类型多样性进行描述分析,对多样性与稳定性的关系研究甚少,加之,群落自身的复杂性,致使结果缺乏普遍性甚至出现偏差。因此,深入研究青海湖流域主要植被群落多样性,及其与稳定性的关系势在必行,这对解释一般性生态系统多样性与稳定性之间的关系有重要的理论价值,并对流域草地恢复工作具有实践指导意义。

1 研究区概况

青海湖位于青藏高原东北部,是我国最大的高原内陆微咸水湖。介于 36°15′—38°20′N,97°50′—101°20′E,四周为高山环绕的封闭式山间内陆盆地。全区有布哈河等 50 余条大小河流分布^[7]。湖区属典型的高原大陆性气候特征,具有寒冷期长,太阳辐射强,气温日差较大,干旱少雨,降水比较集中等特点。据刚察县气象观测资料,湖区多年平均气温为

-0.5℃,极端最高温 25℃,极端最低温 -31℃,≥0℃的年积温为 1 299℃,多年平均降水量 370.3 mm,年蒸发量 607.4 mm,平均风力>8 级,最大冻土深度 2.88 m;土壤以栗钙土为主。

2 取样与方法

2.1 野外取样

高寒草甸、高寒草原和温性草原是青海湖流域的主要植被类型。在青海湖流域三角城种羊场地区的年钦夏格日的高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)草甸、烂泥湾的紫花针茅(*Stipa purpurea*)高寒草原、和那仁的芨芨草(*Achnatherum splendens*)草原 3 种有代表性的草地类型,分别于围栏内外选择植物生长均匀、微地形差异较小、集中连片分布的群落设置样地,并分别进行取样。三块样地于 20 世纪 80 年代初开始围栏封育,围栏内外形成鲜明的对比。每块样地设 3 个重复,每个重复以 50 m 的测绳作为基线,然后以 10 m 为间隔,以左右相间的形式取 1 m×1 m 的小样方,每个重复共取 5 个样方。样方调查记录植物种类组成、种群的物候期、高度和盖度以及海拔等环境因子。

2.2 数据处理

2.2.1 多样性测度公式^[15]

(1) 丰富度指数(Richness index):

$$R_0 = S$$

式中: S ——出现在某一草地类型中的物种数。

(2) Shannon-Wiener 指数:

$$SW = -\sum P_i \ln P_i \quad P_i = N_i / N$$

式中: P_i ——某个草地类型中第 i 个物种的相对重要值; N_i ——该草地类型中的第 i 个物种的重要值; N ——该草地类型中所有物种重要值之和(下同)。

Simpson 指数:

$$SP = 1 - \sum P_i^2$$

(3) Pielou 均匀度指数:

$$J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$$

2.2.2 稳定性测度公式 根据 Godron 稳定性测定方法^[5]并结合郑元润^[16]对 Godron 的改进数学方法,计算 6 个群落的稳定性。由大到小排列植物频度,换算成相对频度后累积,并与群落组成种的累积百分数对应建立数学模型,模型为散点平滑曲线,与直线方程的交点为稳定性的参考点(x/y), x/y 越接近 20/80 (稳定点),群落越稳定^[17]。利用 SPSS 软件建立平滑曲线模拟模型和直线方程,并检验^[5],方法如下:

$$\text{平滑曲线模拟模型为: } y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

$$\text{直线方程为: } y = 100 - x \quad (2)$$

将(2)代入(1)得:

$$ax^2 + (b+1)x + c - 100 = 0$$

得 x 解为:

$$x = \frac{-(b+1) \pm \sqrt{(b+1)^2 - 4a(c-100)}}{2a}$$

x 根据研究情况,交点坐标位于第一象限,即

$$\left(\frac{-(b+1) \pm \sqrt{(b+1)^2 - 4a(c-100)}}{2a}, 100 - \frac{-(b+1) \pm \sqrt{(b+1)^2 - 4a(c-100)}}{2a} \right), \text{ 这样就}$$

可以与稳定点(20,80)进行比较。

3 结果与分析

3.1 围栏封育对植物群落物种多样性的影响

高寒草甸以高山高草草甸为优势种,常见伴生植物见表1。通过围栏封育可以使该草地类型的多样性提高,即围栏内的多样性指数高于围栏外(表2),但差异并不显著($P > 0.05$)。这一结果与赵哈林等^[18]对内蒙古科尔沁沙地植被多样性的研究结果一致,禁牧有利于增加植被多样性,过度放牧使草地植被的多样性降低。

表1 试验区植物种类调查表

草地类型	优势种	伴生种
高寒草甸	高山嵩草 (<i>Kobresia pygmaea</i>)	矮嵩草(<i>Kobresia humilis</i>), 线叶嵩草(<i>Kobresia capillifolia</i>), 冷地早熟禾(<i>Poa crymophila</i>), 紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>), 雪白委陵菜(<i>Potentilla nivea</i>), 二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>), 美丽风毛菊(<i>Saussurea pulchra</i>), 矮火绒草(<i>Leontopodium nanum</i>), 甘肃棘豆(<i>Oxytropis kansuensis</i>), 高山唐松草(<i>Thalictrum alpinum</i>), 麻花苣(<i>Gentiana straminea</i>)
高寒草原	紫花针茅 (<i>Stipa purpurea</i>)	冷地早熟禾(<i>Poa crymophila</i>), 垂穗披碱草(<i>Elymus nutans</i>), 落草(<i>Koeleria cristata</i>), 西北针茅(<i>Stipa sareptana</i>), 青海苔草(<i>Carex qinghaiensis</i>), 猪毛蒿(<i>Artemisia scoparia</i>), 白花蒲公英(<i>Taraxacum leucanthum</i>), 异叶青兰(<i>Dracocephalum heterophyllum</i>), 小叶黄芪(<i>Hedysarum polybotrys</i>), 三幅柴胡(<i>Bupleurum triradiatum</i>), 甘肃马先蒿(<i>Pedicularis kansuensis</i>)
温性草原	芨芨草 (<i>Achnatherum splendens</i>)	赖草(<i>Achnatherum splendens</i>), 垂穗披碱草(<i>Elymus nutans</i>), 矮嵩草(<i>Kobresia humilis</i>), 纤杆蒿(<i>Artemisia demissa</i>), 阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>), 多裂委陵菜(<i>Potentilla multifida</i>), 海乳草(<i>Glaux maritima</i>), 披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>), 鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserine</i>), 短穗兔耳草(<i>Lagotis brachystachya</i>)

高寒草原以紫花针茅为优势种,常见伴生植物见表1。围栏封育降低了草地类型的植物多样性,即围栏外多样性高于围栏内(表2)。围栏外常年受到放牧影响,生境不断受到干扰,但由于紫花针茅具有较强的耐牧性,在围栏外过度放牧的条件下仍然能够生存,但优势地位不明显,这就为其它物种提供了生存空间。这也符合中度干扰假说^[19]。但长期围栏封育后优势种的竞争能力被抑制,猪毛蒿和冷地早熟禾取代紫花针茅成为优势种,且优势地位明显,以致抑制了其他物种的发育,导致围栏内物种多样性偏低。

温性草原以芨芨草为优势种,常见伴生植物见表1。群落垂直结构明显,上层为芨芨草,其它植物构成第二层。围栏封育后围栏外多样性高于围栏内(表

2),与紫花针茅高寒草原的研究结果一致。虽然这三种草地类型围栏内外的多样性有差异,但这种差异并不显著($P > 0.05$)。因此,不能笼统地判断围栏封育对草地生态系统多样性的影响,必须结合草地类型及气候特征进行分析。

草地围栏封育是国内外合理利用、保护天然草地的行之有效的措施。研究结果显示,围栏外各草地类型的生物多样性指数差异不显著($P > 0.05$)。Shannon-wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数均表现为:高寒草甸 > 高寒草原 > 温性草原。围栏内各草地类型的多样性指数差异亦不显著($P > 0.05$)。Shannon-wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数均表现为:高寒草甸 > 高寒草原 > 温性草原。

表2 围栏内外不同类型草地生物多样性变化

指数	高寒草甸		高寒草原		温性草原	
	围栏外	围栏内	围栏外	围栏内	围栏外	围栏内
Shannon-wiener 指数	2.75 ± 0.011	2.76 ± 0.035	2.55 ± 0.145	2.44 ± 0.198	2.38 ± 0.061	2.30 ± 0.060
Simpson 指数	0.92 ± 0.003	0.92 ± 0.004	0.90 ± 0.010	0.88 ± 0.028	0.88 ± 0.011	0.86 ± 0.011
Pielou 均匀度指数	0.92 ± 0.004	0.92 ± 0.012	0.91 ± 0.007	0.90 ± 0.020	0.89 ± 0.010	0.86 ± 0.027

注:Shannon-wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数在同一草地类型不同处理间,以及在不同草地类型同一处理间差异均不显著($P > 0.05$)。

3.2 围栏封育对植物群落稳定性的影响

根据稳定性的计算方法,采用直线方程分别对4种群落的总种数累积和相对应的累积相对频度这两个

数值的散点图进行平滑曲线模拟(图1),模拟结果见表

3。各群落的模拟曲线的 R^2 值分别为 0.998,0.997,1.000,0.998,0.996,0.994,回归方程极显著($P<0.01$)。

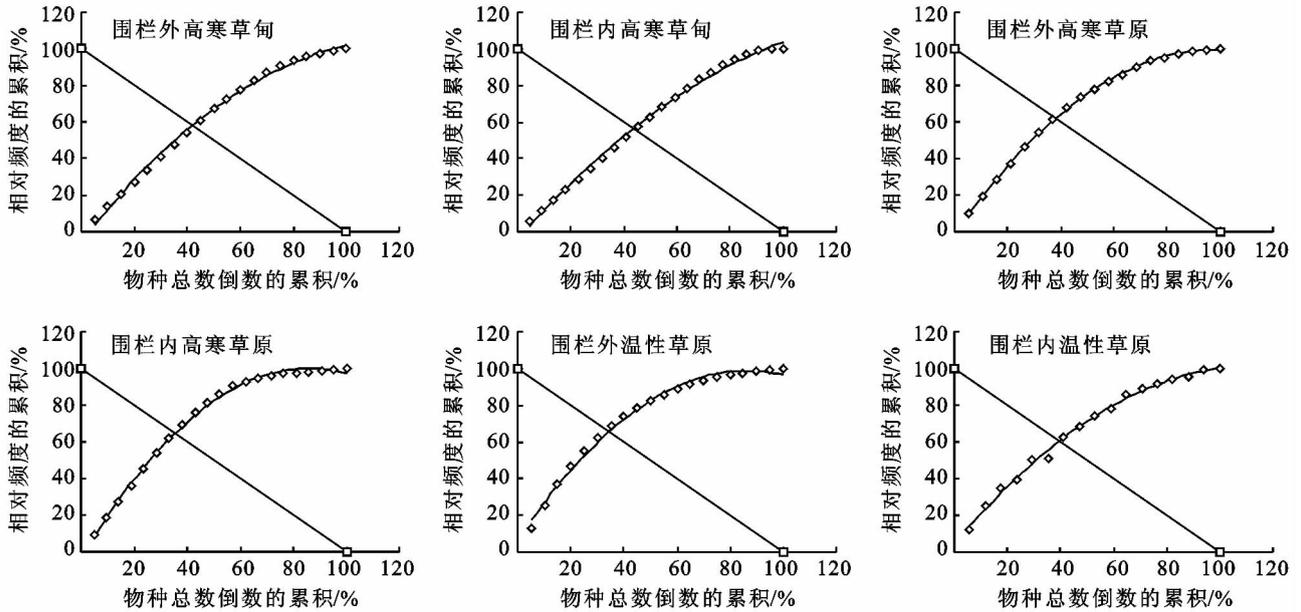


图1 不同草地类型围栏内外的稳定性

表3 群落稳定性分析结果

群落类型	拟合曲线	R^2	交点坐标	x/y	与稳定点的距离
高寒草甸	围栏外 $Y = -0.007x^2 + 1.806x - 4.848$	0.998**	(41.70, 58.30)	0.715	30.69
	围栏内 $Y = -0.005x^2 + 1.629x - 4.152$	0.997**	(43.16, 56.84)	0.759	32.75
高寒草原	围栏外 $Y = -0.010x^2 + 2.047x - 0.706$	1.000**	(37.72, 62.28)	0.606	25.06
	围栏内 $Y = -0.014x^2 + 2.409x - 3.001$	0.998**	(35.34, 64.66)	0.547	21.69
温性草原	围栏外 $Y = -0.008x^2 + 1.719x + 4.341$	0.996**	(39.86, 60.14)	0.663	28.09
	围栏内 $Y = -0.012x^2 + 2.133x + 6.868$	0.994**	(34.21, 65.79)	0.520	20.09

注: **表示极显著相关。

交点坐标与稳定点的距离是判断群落稳定性的指标。由表3可知,6个样地距离稳定点(20,80)的距离分别为30.69,32.75,25.06,21.69,28.09,20.09,距离稳定点越近则越稳定。这样可直观得出各草地类型围栏内外稳定性大小,结果为:围栏外高寒草甸>围栏内高寒草甸;围栏内高寒草原>围栏外高寒草原;围栏内温性草原>围栏外温性草原。这一结果与各草地类型围栏内外多样性的结果恰好相反,即各草地类型围栏内外的多样性越高稳定性越差,结果支持May^[10]和Pfisterer^[11]的研究。

再比较围栏外各草地类型的稳定性得出,围栏外高寒草原>围栏外温性草原>围栏外高寒草甸,结合青海湖流域北岸高寒草甸的放牧方式,在生长季(5—9月)高寒草甸受重度放牧的影响,使竞争力较弱的物种无法生长,导致群落对干扰的抵抗力下降,稳定性较差。围栏内各草地的稳定性表现为:围栏内温性草原>围栏内高寒草原>围栏内高寒草甸。围栏内温

性草原和高寒草原距离稳定点的距离分别为20.09和21.69,二者相差不大,作为地带性植被的温性草原和高寒草原,其稳定性差异不大。本试验中的高寒草甸(距稳定点32.75)封育了很久,稳定性最差。由于长期的封育使土壤板结,影响了土壤水分的运输,限制了植被的生长,致使群落稳定性下降。

3.3 多样性与稳定性的关系

稳定性与多样性的关系已有大量研究,结果也存在很大差异^[20-22]。为了进一步分析群落稳定性与多样性之间的关系,将群落稳定性分析结果和各草地类型的生物多样性的变化进行比较,得到两者之间的变化趋势。从表3中可以看出,各草地类型稳定性的变化剧烈,对比表2和表3可知,在各草地类型中多样性指数与稳定性指数的变化趋势恰好相反。高寒草甸稳定性指数围栏外高于围栏内,Shannon指数、Simpson指数、Pielou指数围栏内高于围栏外;高寒草原和温性草原稳定性指数围栏内高于围栏外,Shan-

non 指数、Simpson 指数、Pielou 指数围栏外高于围栏内。进一步对各生物多样性指数和稳定性做相关性分析(表 4)得出:各生物多样性指数之间不论在何种草地类型中均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),稳定性指数与 Shannon 指数、Simpson 指数、Pielou 指数亦呈显著负相关关系($P < 0.05$),即植物群落的物种多样性越高,稳定性就越差。其中,与 Simpson 指数的相关性最强,与 Shannon 指数的相关性次之,与 Pielou 指数的相关性最弱。

表 4 多样性与稳定性相关性分析

	稳定性	SW	SP	J_{sw}
稳定性	1			
SW	-0.828*	1		
SP	-0.872*	0.985**	1	
J_{sw}	-0.825*	0.924**	0.963**	1

注:“**”表示极显著相关($P < 0.01$),“*”表示显著相关($P < 0.05$)。

4 结论与讨论

多样性与稳定性之间的关系是一个长期争论的问题,有关群落稳定性的研究至今还没有统一的方法,本文通过改进后的 Godron 稳定性测定方法,将稳定性量化,这样能更好地反映出群落间稳定性的差异,同时,利用稳定性的值找寻与多样性之间的关系。

4.1 多样性

关于围栏封育对多样性影响的报道很多,围栏草地缺乏草食动物的影响,少量竞争力强的植物就会成为群落的优势种群,导致多样性下降^[23-26]。但是本文中高寒草甸群落围栏内的 Shannon-wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数均高于围栏外。这一结论的分析必须考虑到群落自身的特点以及当地居民的放牧习惯。高寒草甸位于年钦夏格日山山坡顶部平缓区域,属于夏季牧场,牧草产量高,质量好,在牧草生长期牛羊恣意践踏啃食的现象严重,很大程度上破坏了这里的草地,因此,降低了围栏外的多样性。这与石福孙^[27]的研究结果一致,其原因是重度放牧导致群落物种多样性降低。高寒草原和温性草原属于冬季牧场,在牧草生长期放牧现象较罕见,多样性指数表现为围栏外高于围栏内,这一结果与中度干扰假说相符,即中度干扰有助于多样性保护的和提高^[28]。

4.2 稳定性

本文利用改进后的 Godron 稳定性测定方法得出,高寒草甸的稳定性表现为:围栏外高于围栏内,而草原则相反。造成不同草地类型围栏内外稳定性差异的原因尚不明确,但其中稳定性概念本身的复杂多

层次性以及其研究方法的不统一^[28]会对研究结果造成很大的影响。利用改进后的 Godron 稳定性测定方法得出的稳定性结果,对于解释不同特征群落类型的稳定性也是很有限的。

4.3 多样性与稳定性的关系

通过相关性分析得出,多样性与稳定性呈显著负相关关系,这一结论并不能推广使用,Pimm^[28]指出,多样性和稳定性之间并不存在简单的相关关系。因此,我们得出的这个结论只是针对青海湖流域的 3 种草地类型,不具有普遍性。高寒草甸多样性围栏内高于围栏外,稳定性围栏外高于围栏内;高寒草原和温性草原多样性围栏外的高于围栏内,稳定性围栏内高于围栏外。这可以解释为中度干扰使群落组成种更新或更替较快,群落变化明显,导致多样性较高、稳定性较低。这种局部的规律是否能推广到其它群落类型中,是否能适用于所有的、一般的生态系统中,还有待进一步论证,当务之急是开展不同生态系统的多样性-稳定性关系的研究。

总之,群落多样性与稳定性之间的关系还不确定。适度放牧可以提高群落的多样性,过度放牧会抑制群落的多样性。单从多样性的角度来说,应当适度放牧维持青海湖流域高寒草甸、高寒草原以及温性草原的多样性,至于稳定性与放牧之间的关系有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Grandpre L, Bergeron Y. Diversity and stability of understorey communities following disturbance in the southern boreal forest[J]. *Journal of Ecology*, 1997, 85(6):777-784.
- [2] Grime J P. Benefits of plant diversity to ecosystems Immediate, filter and founder effects[J]. *Journal of Ecology*, 1998, 86(6):902-910.
- [3] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems[J]. *Science*, 2007, 317(5834):58-62.
- [4] Elton C S. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*[M]. London: Chapman and Hall Press, 1958: 143-159.
- [5] Gordon M. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal[J]. *statistical Ecology*, 1972, 3:397-415.
- [6] 刘德梅, 马玉寿, 董全民, 等. 三江源区天然草地群落特征及群落多样性研究[J]. *饲草与饲料*, 2010(2):92-93.
- [7] 刘雪明, 聂学敏. 围栏封育对高寒草地植被数量特征的影响[J]. *草业科学*, 2012, 29(1):112-116.
- [8] Robert M A. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability [J]. *Ecology*, 1995, 36(3):533-536.

- [9] 高贤明,马克平,陈灵芝. 暖温带若干落叶阔叶林群落物种多样性及其与群落动态的关系[J]. 植物生态学报, 2001,25(3):283-290.
- [10] May R M. Will a large complex system be stable[J]. Nature,1972,238:413-414.
- [11] Pfisterer A B, Schmid B. Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning [J]. Nature,2002,416:84-86.
- [12] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究[J]. 草业学报,2004,13(1):26-31.
- [13] 李迪强,蒋志刚,王祖望. 青海湖地区生物多样性的空间特征与 GAP 分析[J]. 自然资源学报,1998,14(1):47-54.
- [14] 宋成刚,张发伟,刘吉宏,等. 青海湖东北岸草甸化草原植物群落特征及多样性分析[J]. 草业科学,2011,28(7):352-1356.
- [15] 马克平. 生物群落多样性的测度方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1994:141-165.
- [16] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学,2000,36(5):28-32.
- [17] Michel Loreau, NaraLyan Behera. Phenotypic diversity and stability of ecosystem process[J]. Theoretical Population Biology,1999,2(1):29-47.
- [18] 赵哈林,张铜会,赵学勇,等. 放牧对沙质草地生态系统组分的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(3):420-424.
- [19] 李凯辉,胡玉昆,阿德力·麦地,等. 草地植物群落多样性研究进展[J]. 干旱区研究,2005,22(4):581-585.
- [20] Steed J M, Patricia M H, Morin P J. Biodiversity regulates ecosystem predictability[J]. Nature,1997,390:162-165.
- [21] Michel Loreau. Biodiversity and ecosystem function: recent theoretical advance[J]. Oikos,2000,91:3-17.
- [22] 杨学民,杨瑞卿,张慧,等. 徐州市城郊森林生态系统健康评价及管理对策[J]. 中国城市林业,2007,5(1):39-41.
- [23] Begoña Peco, Isabel de Pablos, Juan Traba, et al. The effect of grazing abandonment on species composition and functional traits: the case of grassland[J]. Basic & Appl. Ecol.,2005,6(2):175-183.
- [24] Begoña Peco, Ana M Sánchezb, Francisco M Azcáratea. Abandonment in grazing systems: consequences for vegetation and soil[J]. Agric. Ecosyst & Environ.,2006,113(1/4):284-294.
- [25] Juha Pykälä. Plant species responses to cattle grazing in mesic semi-natural grassland[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2005,108(2):109-117.
- [26] 高润梅,石晓东,郭跃东. 山西文峪河上游河岸林群落稳定性评价[J]. 植物生态学报,2012,36(6):491-503.
- [27] 石福孙,吴宁,罗鹏,等. 围栏禁牧对川西北亚高山高寒草甸群落结构的影响[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(6):767-770.
- [28] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems [J]. Nature,1984,307:321-326.

(上接第134页)

- [4] Neves C S V J, Feller C, Guimaraes M F. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey Oxisols in Brazil[J]. Soil & Tillage Research,2003,71(2):109-119.
- [5] 李红,范素芳. 黄土丘陵区退耕还林后不同林地土壤孔隙与贮水特性[J]. 水土保持通报,2010,30(1):27-30.
- [6] 王志强,刘宝元. 不同植被类型对厚层黄土剖面水分含量的影响[J]. 地理学报,2008,63(7):704-710.
- [7] 董铭,史正涛. 松华坝水源保护区土地利用/土地覆被变化研究[J]. 云南师范大学学报,2011,31(2):72-77.
- [8] 关品高. 昆明市松华坝水源区森林植被类型及水源涵养量估算[J]. 山东林业科技,2011(2):57-59.
- [9] 杜森,高祥照. 土壤分析技术规范[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [10] 邓坤枚,谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究[J]. 资源科学,2002,24(6):68-73.
- [11] 徐洪亮,满秀玲,盛后财. 大兴安岭不同类型落叶松天然林水源涵养功能研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):92-97.
- [12] Kay B D, Vanden A J, Aygaart B. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter[J]. Soil & Tillage Research,2002,66(2):107-118.
- [13] 孙昌平,刘贤德,雷蕾,等. 祁连山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持通报,2010,30(4):68-77.
- [14] 莫菲,李叙勇,贺淑霞. 东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价[J]. 生态学报,2011,31(17):5010-5016.
- [15] 梁超,郝文芳,袁丁. 黄土丘陵区不同植被群落土壤水分研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):103-107.
- [16] 邹俊亮,邵明安,龚时慧. 不同植被和土壤类型下土壤水分剖面的分异[J]. 水土保持研究,2011,18(6):12-18.