

文章编号: 1007-4619(2005)06-0725-08

用群落调查及光谱观测数据的主成分分析方法 研究草场各生物参数之间的关系

张 剑^{1, 2}, 李贵才^{1, 3}, 刘先华¹, 韩兴国¹

(1 中国科学院植物所 数量植被实验室, 北京 100093;

2. Department of Plant Biology, Arizona State University, AZ 85287, USA;

3. 中国科学院 遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 以内蒙古锡林河流域典型草原为研究对象, 在群落调查和光谱观测数据的基础上, 引入主成分分析方法 (PCA) 研究了与草场健康有关的各生物参数间关系, 提出一种草场健康状况监测的新方法: (1) 从包含 12 个反映群落各方面信息的变量中提取出 3 个有特定生态学意义的主成分, 并进一步对其进行分析组合, 得出一个能比较敏感、全面反映群落健康状况的新指标—草场健康指数 (GHI); 其意义在于: 它不仅反映草场的生物量信息, 而且可以反映群落的结构组成信息。(2) 从 6 波段的植被光谱反射数据中提取出 2 个主成分: 可见光因子和红外光因子, 它们可以较好地反映植被信息。(3) 表征群落总量、放牧退化的主成分和 GHI 与植被光谱反射值有相当的相关性, 由此得到 GHI 与可见光、红外光因子的回归模型。此模型可利用植被光谱较好地反映草场健康状况。

关键词: 植被光谱; 群落结构; 主成分分析; 草场健康

中图分类号: TP751.1/TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

温带草原是对人类开垦、放牧等活动及环境变化非常敏感的植被类型^[1-3]。草场健康也一直是草原生态系统研究的热点和主体。内蒙古锡林河流域为中国典型草原的代表地区, 多年来已经积累了大量的研究实践。如放牧对草原群落演替和群落特征的影响^[4-8]; 放牧对生物多样性的影响^[9]; 放牧对草原生产力的影响和草原群落生物量的研究^[10, 11]; 放牧对土壤理化性质的改变^[12-14]。

传统地面群落调查是对所测区域随机取样方, 借助数量统计方法和特定群落指示种的辨识、计数来对草场健康加以评价。这类方法较可靠但却费时费力。与之相比, 遥感监测的方法具有大尺度、快速、干扰小等优势。用遥感手段对植被的监测主要是通过植被指数 VI (Vegetation index) 来进行。归一化植被指数 (Normalized difference vegetation index

NDVI) 应用最为广泛。植被对光谱中的可见光的红光波段有着较强的吸收, 而对近红外波段有着较强的反射, 因此这两个波段的组合构成的 NDVI 或其他植被指数可以衡量植被的生长状况。基于这种原理, 各种植被指数已被广泛地用于土地覆盖变化、植被的识别和分类及其全球变化研究^[3, 15-19]。同时, 植被指数也成为草场健康监测的有力手段。

草场健康的程度, 可以从三个层面来理解:

(1) 群落总量, 表现为生物量多少, 群落茂密或稀疏, 高大或矮化等;

(2) 群落结构, 即群落优势种的更替或物种组成的变化, 表现为优质、宜牧草种群是否占优势地位;

(3) 土壤理化指标, 如土壤硬度、持水性、养分组成及含量等是否适宜于牧草的生长。因此, 群落总量高、优质宜牧草种群占优势、且土壤的水肥气等环境条件适宜的草场, 其健康状况较好。

草原群落学的调查研究也表明, 群落结构、物种

收稿日期: 2004-02-18; 修订日期: 2004-05-13

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大延续项目 (KSCX1-08-01)。

作者简介: 张剑 (1972—), 男, 美国亚利桑那州立大学植物生物学系博士研究生, 研究兴趣为景观生态学、植被遥感和 GIS 应用。

E-mail: zhangjian72717@yahoo.com. ©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

组成变化等“质变”也许是草场健康更本质的反映^[5,20]。过去对植被覆盖变化及环境变化的遥感监测基本上是以植被总量的多少为评价标准,这多少因为 NDVI对绿度的敏感和易用性。作为绿度指标的 NDVI或其他植被指数能比较好地反映群落总量的变化,但是如果群落的退化或演替只是在物种组成和群落结构方面发生变化而生物量、盖度高度等变化不大的情况下,反映到 NDVI的变化就很小。这时以 NDVI来监测草场健康状况就很难给出足够的信息。因此,在草场健康监测中,有必要建立植被光谱反射特征与群落结构因子的关系,为进一步的遥感研究提供理论和实验支持。

2 研究地区与方法

2.1 自然概况

锡林河流域地区是中国典型草原的代表地区。本研究选择内蒙古自治区锡林河流域白音锡勒牧场境内的一个放牧村落——四连作为主要研究点。该地位于 $43^{\circ}26' - 44^{\circ}08' N$, $116^{\circ}04' - 117^{\circ}05' E$ 之间。气候为温带半干旱温凉气候,大陆特征明显。年均温 $-0.4^{\circ}C$,无霜期 86天;年降水量 350mm,集中于 6—8月,且年间变幅较大。土壤为典型栗钙土和暗栗钙土。羊草 (*Leymus chinensis*)草原和大针茅 (*Stipa grandis*)草原是该区植被的主体^[4,6,9]。

2.2 方法

2.2.1 研究思路与步骤

(1)从包括群落地上生物量、凋落物、群落总盖度、总高度、土壤硬度、物种重要值等群落特征变量的地面样方数据中,用主成分分析方法提取出 2—3 个主成分。

(2)确定所提取出的群落特征主成分的生态学意义,通过对各主成分的适当组合,找出对监测植被状况有最佳解释的因子——草场健康指数 (Grassland health index GHI)。

(3)从 6波段的地面光谱反射数据中用 PCA 方法提取出“可见光因子”和“红外光因子”。

(4)计算各群落特征因子、主成分与地面光谱反射指标(可见光因子和红外光因子、NDVI及其他植被指数),并建立它们之间的回归模型。

2.2.2 样地设置

从 1997年的卫星 TM 影像上,选择因放牧和人为影响最烈形成“放射斑”最大的区域——四连为中

心,沿东西,南北轴线,向四个方向前进,每隔 500m或 1000m做群落样方调查。取样日期为 7月 29日—8月 14日。这个时间也是牧草生长的高峰期。每个取样点设 $1m \times 1m^2$ 的样方 3个,取地上生物量、枯落物、群落总盖度、总高度、土壤硬度、典型物种的重要值等数据。另外同时对每个样方测地面光谱反射率,重复 3次。另拉 $20m \times 20m$ 垂直两条样线,沿线每隔 0.5m以接触法记录物种,以计算群落多样性和物种频度。此外,在整个流域范围内又选择保护很好的割草场,羊草样地,退化严重的放牧样地,冷蒿草原,河谷禾草草甸等群落类型按上述方法作样方。每个样点均记录 GPS数据。

2.2.3 植被光谱反射值和土壤硬度的测定

植被光谱测量采用 PSR-02 便携式多波段光谱仪 (Portable spectroradiometer PREDE Co Ltd) 进行。其 6个波段的光谱范围在 450—850nm (波段 1、2、3、4为可见光,波段 5、6为近红外)之间,覆盖 LANDSAT-TM 的 1、2、3、4通道。工作时使仪器固定在样方上方 1.5m处,对地物和标准板分别测试。标准板由 $BaSO_4$ 制成,为近似朗伯体,野外测量在晴朗无风或微风条件下进行,工作时间在上午 10点至下午 4点左右,每个样方重复测量 3次取平均值。土壤硬度的测定使用“山中式土壤硬度计 (DK-5552 Yamanaka-type Tester)”。

2.2.4 数据分析方法

采用因子分析中的主成分分析法来对样方数据集中反映群落特征的变量进行处理。主成分分析的目的是把各主成分的载荷系数求出,籍此赋予主成分意义。在对主成分作解释和评价时,还可以对主成分模型作旋转变换,使载荷系数向更大(1)或更小(0)方向变化,使主成分命名和解释更清晰。

从样方数据中,选出 12个受放牧影响的与群落结构有关的变量(指标):地上生物量、枯落物生物量、群落总盖度、总高度、群落内物种多样性指数 (Shannon Wiener指数)、土壤硬度(既受放牧的强烈影响,又对地物光谱反射有影响)、枯落物比重(总地面生物量相对于枯落物生物量的比例)、以及羊草 (*Leymus chinensis*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、星毛茛菪菜 (*Potentilla acaulis*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)等植物种的重要值。其中,羊草、冷蒿、星毛茛菪菜代表了典型草原放牧演替的两极^[6]。糙隐子草是典型旱生种,其分布常与干燥和强度放牧有关。野外观测表明这几种有典型意义的种具有差异较大的光谱反射特征。羊群在生长的、可食性牧

草缺乏时会采食一部分枯草。在载畜量较高的地方,枯落物,特别是羊草、针茅的枯落物很少。因此枯落物比重可以很微妙地指示牧压强度。群落指标的选择是基于以上考虑进行的。

对光谱仪所获得的 6 个波段的地表光谱反射数据集也进行主成分分析,抽取出 2—3 个更集中包含光谱反射信息的指标,然后看是否能在群落指标和光谱主成分之间建立模型。整个分析过程使用 SPSS 7.5 统计软件中的 Factor 和 Regression 模块完成。

3 结果与分析

3.1 群落特征指标的主成分分析

表 1 显示了群落生物参数间的相关系数。地上生物量 (LBD)、枯落物 (LIITF)、枯落物比重 (RTMASS)、群落总盖度 (TC) 及总高度 (TH) 之间,存在较高的相关系数,它们代表了草场群落生物量的信息。

表 1 群落样方原始变量间的相关系数

Table 1 Correlation matrix for original variables of the community

	LBD	IH	LIITF	RTMASS	SD	Shannon	TC	TH	XM	YC	YZ
LBD	1.000										
IH	-0.086	1.000									
LIITF	0.737	-0.219	1.000								
RTMASS	0.012	0.338	-0.341	1.000							
SD	-0.400	0.313	-0.381	0.170	1.000						
Shannon	0.332	-0.405	0.089	-0.162	-0.248	1.000					
TC	0.714	0.061	0.441	0.133	-0.294	0.246	1.000				
TH	0.706	-0.374	0.684	-0.218	-0.505	0.393	0.525	1.000			
XM	0.172	0.265	-0.083	0.156	0.131	-0.186	0.287	-0.168	1.000		
YC	0.096	-0.248	0.221	-0.437	-0.085	0.112	0.000	0.396	-0.277	1.000	
YZ	-0.491	0.180	-0.300	0.029	0.285	-0.654	-0.369	-0.583	-0.079	-0.128	1.000

* LBD:地上生物量; IH:冷蒿 (*Artemisia frigida*) 重要值; LIITF:枯落物; RTMASS:枯落物比重; SD:土壤硬度; Shannon:物种多样性; TC:群落总盖度; TH:总高度; XM:星毛萎陵菜 (*Potentilla acaulis*) 重要值; YC:羊草 (*Leymus chinensis*) 重要值; YZ:糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 重要值。

表 1 还显示了 Shannon 指数与冷蒿重要值 (IH)、糙隐子草重要值 (YZ) 之间较高的负相关关系。作为群落物种多样性、丰富度的重要指标,Shannon 指数也表征了草场的健康状况。而冷蒿 (*Artemisia frigida*)、糙隐子草则多出现于健康状况较差的草场,是草场恶化的指示因子。一定程度上,表 1 反映了它们之间的这种关系。

从表 2 的因子提取结果可以看到,特征值大于 1 的有 3 个主成分,前 3 个主成分方差占到总方差的 65% 以上。

本文数据分析部分曾提到,在对主成分作解释和评价时,可以对主成分模型作旋转变换,使载荷系数向更大 (1) 或更小 (0) 方向变化,使主成分命名和解释更清晰。我们对比了几种因子旋转方式和不旋转方式对因子载荷矩阵的影响,发现斜交旋转后的

表 2 群落特征主成分分析的初始因子提取结果

Table 2 Total original variance explained of PCA for community variables

主成分	特征值	比重 %	累积百分比 %
主成分 1	4.874	40.614	40.614
主成分 2	2.065	17.211	57.824
主成分 3	1.289	10.744	68.569
主成分 4	0.901	7.507	76.076
主成分 5	0.808	6.737	82.813

因子载荷结果更容易解释 (表 3)。

表 3 的因子载荷矩阵中,主成分 1 在地上活生物量 (LBD)、枯落物生物量 (LIITF)、总盖度 (TC)、总高度 (TH) 等变量上的载荷值比其他变量占绝对

表 3 群落特征主成分的因子载荷矩阵
Table 3 Pattern matrix of PCA for community variables

	主成分				
	1	2	3	4	5
LBD	0.885	0.100	-0.104	-0.037	-0.123
LH	0.092	0.437	0.334	0.457	-0.170
LITF	0.864	-0.248	0.232	-0.105	0.049
RTMASS	0.019	0.965	-0.014	0.035	0.145
SD	-0.399	0.041	0.008	0.671	-0.123
Shannon	-0.073	-0.023	-0.930	-0.070	0.063
TC	0.783	0.238	-0.105	0.043	-0.237
TH	0.773	-0.101	-0.219	-0.020	0.231
XM	0.051	-0.146	-0.015	0.038	-0.999
YC	0.218	-0.544	-0.061	0.509	0.339
YZ	-0.244	-0.034	0.803	-0.094	0.118

* LBD:地上生物量; LH:冷蒿 (*Artemisia frigida*)重要值; LITF:枯落物; RTMASS:枯落物比重; SD:土壤硬度; Shannon:物种多样性; TC:群落总盖度; TH:总高度; XM:星毛萎陵菜 (*Potentilla acaulis*)重要值; YC:羊草 (*Leymus chinensis*)重要值; YZ:糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)重要值。

* 旋转方式:斜交旋转。

优势,而土壤硬度(SD)对主成分1有相对的负影响(负载荷值)。显然,主成分1主要反映生物量和群落总体积的“群落总量因子”。通常对于宜于放牧的典型草原,状况良好的草场总是有较大的植被总量,而且该总量因子覆盖了群落总体特征信息的36%以上,因此它将是反映群落“健康”程度的主要指标。

主成分2在枯落物比重(RTMASS)和冷蒿重要值(LH)这两个变量有较大的正载荷值,而这两个变量都与过度放牧有较大关系。因而可以把主成分2看做反映放牧强度或退化程度的一个结构性指示指标——退化因子。

主成分3在反映物种多样性的Shannon信息指数上有较大的负载荷,在隐子草重要值(YZ)有大的正载荷(表3)。Shannon指数与YZ有相当的负相关关系(-50%) (表1)。因而主成分3基本上就是群落集中度/丰富性的反映。

主成分4明显侧重反映羊草(YC),主成分5在星毛萎陵菜(XM)上有压倒性的负载荷值(-0.989)。这表明特定的物种信息,特别是反映演替阶段的指示种,是群落特征中不可替代的层面。

同时,表3显示总量因子(主成分1)与退化因子(主成分2)存在微弱的负相关,但基本上是正交

的,即反映群落状况的独立的两个重要层面。有些因放牧而高度退化的群落,如冷蒿草原和蒿类占优势的坡地和盐碱滩地等,其总量值是相当可观的。因此评价草场质量时总量因子和退化因子都是不可替代的。

3.2 地面光谱反射值的主成分分析

PSR-02便携式多波段光谱仪6个波段的光谱范围在450—850 nm(波段1、2、3、4为可见光,波段5、6为近红外)之间,覆盖了TM的1、2、3、4通道。从波段相关矩阵(表4)看到:波段1、2、3、4彼此之间有很高的正相关关系,波段5、6之间的相关性很高。从主成分提取结果(表5)看出,前2个主成分就提取总光谱信息的96%以上,因而这个6波段的数据集可压缩比率很高。主成分载荷矩阵(表6)显示,主成分1在波段1、2、3、4上有很高的正载荷量,而在波段5、6的载荷量相对很低;主成分2在波段5、6上有较大的载荷量。

在整个光谱上,通常植被在可见光区(波段1、2、3、4)有较好的吸收,而在红外区(波段5、6)的反射率很高。我们把主成分1命名为可见光因子,主成分2命名为红外光因子。可以同时用主成分1、2反映植被信息。

表 4 波段相关矩阵
Table 4 Correlation matrix (a) of bands

		波段 B1 450nm	波段 B2 545nm	波段 B3 650nm	波段 B4 699nm	波段 B5 750nm	波段 B6 850nm
相关系数	波段 B1	1.000					
	波段 B2	0.822	1.000				
	波段 B3	0.970	0.824	1.000			
	波段 B4	0.903	0.876	0.943	1.000		
	波段 B5	-0.278	0.223	-0.258	-0.027	1.000	
	波段 B6	-0.260	0.233	-0.258	-0.035	0.955	1.000
	显著度(单尾)	波段 B1	0.000				
	波段 B2	0.000	0.000				
	波段 B3	0.000	0.000	0.000			
	波段 B4	0.000	0.000	0.054	0.435		
	波段 B5	0.041	0.083	0.054	0.414	0.000	
	波段 B6	0.053	0.074	0.054	0.414	0.000	0.000

表 5 波段主成分分析提取

Table 5 Total variance explained of PCA for bands

主成分	特征值	比重 %	累积百分比 %
1	3.707	61.786	61.786
2	2.090	34.826	96.611
3	0.097	1.623	98.234

表 6 波段主成分分析的因子载荷矩阵

Table 6 Component matrix of PCA for bands

波段变量	主成分		
	1	2	3
波段 B3	0.990	-0.066	0.056
波段 B1	0.980	-0.080	-0.086
波段 B4	0.960	0.163	0.213
波段 B2	0.876	0.426	-0.189
波段 B6	-0.197	0.967	-0.028
波段 B5	-0.202	0.967	0.072

3.3 回归分析

3.3.1 基于 PCA 分析结果的新指标及其生态学意义的解释

P1为群落总量指数(Gross index),对应于群落特征主成分分析的第一主成分;P2为放牧退化指数(Grazing degradation index),对应于群落特征主成分分析的第二主成分;P3为群落多样性指标

(Community biodiversity index),对应于群落特征主成分分析的第三主成分;P4为草场健康指数 GHI (Grassland Health Index), $GHI = P1/P2$ 。

通常,健康的、受人为轻微干扰(主要是放牧)的典型草原有较大的地上枯落物生物量。本研究地原生的、适牧的优势种羊草的重要值相对较高,群落高度、盖度也较大,其群落总量因子 P1自然有较高的值,放牧退化指数 P2的值就低。反之,在放牧退化严重的草场则生物量、群落高度、盖度、羊草重要值比较低,反映草场健康的种(主要是冷蒿和星毛萎陵菜)的重要值则相对较高,土壤硬度大、持水性、枯落物比重等指标也低。对应于 GHI 即 P1值低而 P2值高。可以看到, P1/P2对草场状况具有比单独的 P1和 P2更灵敏、一致的反映。即草场状况越好, P1/P2值越高,反之则低。而且 P1/P2包含了 P1和 P2的信息,并且将其放大,对反映草场健康状况有良好表现,所以将 P1/P2作为“草场健康指数(GHI)”。

分别用可见光因子(S1)、红外光因子(S2)对地上生物量(LBD)、群落总量因子(P1)、放牧退化因子(P2)、群落多样性指标(P3)、草场健康指数 GHI(P4)、物种多样性之 Shannon指数作线性多元回归分析,结果如表 7。

研究显示,草原地区生产力 生物量与 NDVI之间有很好的回归关系^[10, 21, 22]。在锡林河流域地区的研究发现,用代表更多光谱反射信息的 GHI更能反映植被退化信息和某些结构特征。P1比 LBD对

表 7 群落结构因子对光谱反射因子的多元回归方程

Table 7 Multivariable linear regression equation between community factors and spectral reflectance indices

考察变量	回归方程	N	相关系数	显著度
LBD	$Y=105.69-32.52* S1-1.49* S2$	15	0.564	0.023
P1	$Y=-0.536-0.61* S1-0.16* S2$	15	0.561	0.007
P2	$Y=-0.493-0.0084* S1+0.508* S2$	15	0.513	0.016
P3	$Y=0.347+0.531* S1+0.531* S2$	15	0.399	0.120
P4	$Y=1.036-0.12* S1-0.172* S2$	15	0.510	0.001

* S1为可见光因子, S2为红外光因子。

光谱反射因子 S1, S2具有更高的相关显著度。

可能有两方面的因素影响了回归模型的精度:

(1)近地面光谱反射数据的采集和从卫星高度获取光谱反射信息是两个不同尺度,且各自受影响因素也有很大不同的过程;(2)光谱反射数据不够多,并且集中在牧区附近,观测值比较集中。

尽管如此,群落总量因子、群落退化因子和 GHI 在一定程度上仍然可由地面光谱反射数据进行线性模拟,而物种多样性指标 Shannon指数则与光谱指标回归关系较弱($R^2=0.167$)。总量因子包含了比生物量更丰富的,并对地面光谱反射有影响的其他群落因子(如总盖度、总高度、羊草重要值等),因而与光谱指标的回归关系最好。不过,生物量仍然是群落结构特征中最重要的单一因子,并且对地面光谱反射影响最大。

4 结 语

当前,已经有很多研究致力于提高 NDVI在地表覆盖 植被监测方面的潜力,如高分辨率和低分辨率卫星数据的结合^[18];使用多时相的累积 NDVI或引入不同季相的 NDVI进行叠加分析^[23]。对于植被群落总量监测,NDVI已经具有大量的应用实践,并得到研究者和应用部门的认可。但是,这些方法并没有突破这样的事实:在提取物种组成信息和群落结构变异信息方面,NDVI仍有较大的局限性。

找出既对牧压强度敏感,同时又可用植被光谱反射指标模拟的植被群落结构因子,对于典型草原草场健康的遥感监测具有重要价值。迄今为止,把地面群落调查与遥感卫星数据结合起来探索草场健康监测的研究并不多见。本文采用因子分析方法,从影响光谱反射特征的众多植被结构特征指标中,抽取若干能更全面、敏感地反映草场健康状况的

指标,并研究了他们对于光谱反射特征的相关性,建立了可靠的回归模型。本研究结合了反映群落特征的地面样方数据和植被光谱反射率数据,试图探索一条精确、有效地利用光谱和遥感手段监测草场健康的新途径。

参 考 文 献 (References)

- [1] Li L H, Liu X H, Chen Z Z. Carbon Cycles of *Leymus Chinensis* Grassland Ecosystem in Xilin River Basin of Inner Mongolia [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1998, **40**(10): 955-961. [李凌浩,刘先华,陈佐忠. 内蒙古锡林河流域羊草草原生态系统碳素循环研究 [J]. *植物学报*, 1998, **40**(10): 955-961.]
- [2] Henderson-Sellers A, K McGuffie. Global Climate Models and Dynamic Vegetation Changes [J]. *Global Change Biology*, 1995, **1**: 63-75.
- [3] Douglas G G, Henebry G M. A Technique for Monitoring Ecological Disturbance in Tallgrass Prairie Using Seasonal NDVI Trajectories and a Discriminate Function Mixture Model [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **61**: 270-278.
- [4] Li Y H. Divergence and Convergence of *Leymus Chinensis* Grassland and *Stipa Grandis* Grassland Under Grazing Effect in Xilin River Basin of Inner Mongolia [J]. *Journal of Plant Ecology & Geobotany*, 1998, **12**(3): 189-196. [李永宏. 内蒙古锡林河流域羊草草原与大针茅草原在放牧影响下的分异与趋同 [J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1998, **12**(3): 189-196.]
- [5] Li Y H. Community Characters of *Leymus Chinensis* Grassland Along Grazing Intensity and Restoration Time Series [C]. *Grassland Ecosystem Research (Series IV)*, 1992, 1-7. [李永宏. 放牧空间梯度上和恢复演替时间梯度上羊草草原的群落特征及其对应性 [C]. *草原生态系统研究, 第四集*, 科学出版社, 1992, 1-7.]
- [6] Li Y H. Impact of Grazing on *Aneurolepidium Chinense* Steppe and *Stipa Grandis* Steppe [J]. *Acta Oecologia Applicata*, 1993, **10**: 31-46.
- [7] Wang W, Liu Z L, Hao D Y. Community Restoration Succession of Degraded Grassland in Inner Mongolia I. Basic Character and Restoration Succession [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**

- (5): 449—460. [王炜,刘钟龄,郝敦元等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 I 退化草原的基本特征与恢复演替规律 [J]. 植物生态学报, 1996, **20**(5): 449—460.]
- [8] Wang W, Liu Z L, Hao D Y. Community Restoration Succession of Degraded Grassland in Inner Mongolia II Analysis of Time Processes of Restoration Succession [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**(5): 460—471. [王炜,刘钟龄,郝敦元等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 II 恢复演替时间进程的分析 [J]. 植物生态学报, 1996, **20**(5): 460—471.]
- [9] Li Y H. Changes of Plant Diversity of *Leymus Chinensis* Grassland and *Stipa Grandis* Grassland Under Grazing Effect [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1993, **35**(11): 877—884. [李永宏. 放牧影响下羊草草原和大针茅草原植物多样性的变化 [J]. 植物学报, 1993, **35**(11): 877—884.]
- [10] Xiao X, Ojima D S, Ennis C A, et al Estimation of Aboveground Biomass of the Xilin River Basin, Inner Mongolia Using Landsat TM Imagery [C]. *Grassland Ecosystem Research (Series V)*, 1997, **130**—138.
- [11] Xiao X, Ojima D S, Ennis C A, et al Land Cover Classification of the Xilin River Basin, Inner Mongolia Using Landsat TM Imagery [C]. *Grassland Ecosystem Research (Series V)*, 1997, **240**—252.
- [12] Guan S Y, Qi P Q, Kang S A. Effect of Amazing on Biodiversity and Environment of Grassland II Effect of Different Grazing Intensity on Soil Nutrient Content [C]. *Grassland Ecosystem Research (Series V)*, 1997, 17—22. [关世英,齐沛钦,康师安等. 放牧对草原生物多样性及其环境的影响研究之二:不同牧压强度对草原土壤养分含量的影响初探 [C]. 草原生态系统研究,第五集,1997,17—22.]
- [13] Jia S H, Cui X M, Li S L. Effect of Amazing on Biodiversity and Environment of Grassland I Changes of Soil Physical Character Along Grazing Intensity [C]. *Grassland Ecosystem Research (Series V)*, 1997, 12—16. [贾树海,崔学明,李绍良等. 放牧对草原生物多样性及其环境的影响研究之一:牧压梯度上土壤物理性质的变化 [C]. 草原生态系统研究,第五集,1997,12—16.]
- [14] Kang S A, Qi P Q, He J P. Changes of Soil Character in Degraded Grassland [C]. *Grassland Ecosystem Research (Series V)*, 1997, 87—94. [康师安,齐沛钦,何婕平等. 退化草场土壤性状变化的研究 [C]. 草原生态系统研究,第五集,1997,87—94.]
- [15] Guo L, Du P, Xiao Q G. Monitoring the Annual Changes of Evapotranspiration in China Monsoon Region Using Meteorological Satellite Remote Sensing [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, **39**(9): 841—844. [郭亮,杜鹏,肖乾广等. 用气象卫星遥感方法监测中国季风区气候敏感带蒸散量的年际变化 [J]. 植物学报, 1997, **39**(9): 841—844.]
- [16] Sheng Y W, Chen W Y, Xiao Q G. Vegetation Classification of China Using Vegetation Index of Meteorological Satellite [J]. *Science Bulletin*, 1995, **40**(1): 68—71. [盛永伟,陈维英,肖乾广等. 利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类 [J]. 科学通报, 1995, **40**(1): 68—71.]
- [17] Xiao Q G, Chen W Y, Du P. Monitoring of the Eco-transition Zone in East Asia Monsoon Region Using Meteorological Satellite Remote Sensing [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, **39**(9): 826—830. [肖乾广,陈维英,杜鹏等. 用气象卫星对东亚季风区的生态过渡带的遥感监测研究 [J]. 植物学报, 1997, **39**(9): 826—830.]
- [18] Fabio M, Gilbert M A, Conese C. Integration of High and Low Resolution NDVI Data for Monitoring Vegetation in Mediterranean Environments [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, **63**: 208—218.
- [19] Mary P L, Woodcock C E, Collins J B, et al The Status of Agricultural Lands in Egypt: The Use of Multitemporal NDVI Features Derived from Landsat TM [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, **56**: 8—20.
- [20] Li Y H. Pattern and Specialist System of Grassland Degradation in Inner Mongolia [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, **18**(1): 68—79. [李永宏. 内蒙古草原草场放牧退化模式研究及退化监测专家系统刍议 [J]. 植物生态学报, 1994, **18**(1): 68—79.]
- [21] Wang Y R, Yong S J. Relation Analysis of Vegetation Spectrum Reflectance and Grass Production of Grassland Vegetation in Xilin River Basin of Inner Mongolia [J]. *Journal of Plant Ecology & Geobotany*, 1990, **14**(3): 258—266. [王艳荣,雍世姬. 内蒙古锡林郭勒草原植被的光谱反射特征与牧草产量相关性的分析 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, **14**(3): 258—266.]
- [22] Jose M P, Epstein H E, et al ANPP Estimations from NDVI for the Central Grassland Region of the United States [J]. *Ecology*, 1997, **78**(3): 953—958.
- [23] Reed B C, Brown J F, VanderZee D, et al Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1994, 703—714.

Relations of Grassland Bio-parameters Based on PCA Combining Community Survey and Vegetation Spectrum

ZHANG Jian^{1,2}, LI Gui-cai^{1,3}, LIU Xian-hua¹, HAN Xing-guo¹

(¹ Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

² Department of Plant Biology, Arizona State University, AZ 85287, USA;

³ National Key Lab. of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract A method to monitor grassland vegetation health was used in this study. The relations of grassland bio-parameters related with grassland health were analyzed by Principal Component Analysis (PCA) on the basis of combining community survey and vegetation spectrum in Xilin River basin, Inner Mongolia. 1. Three specific Principal Components (PCs) with specific ecological meaning were extracted from a 12-variables data set that contains community information using principal component analysis (PCA). Based on the three PCs, we proposed a new index GHI, which is proved to be qualified for monitoring grassland vegetation health condition, and sensitive to degradation. 2. We extracted two PCs, visible light component and infrared light component from 6-band vegetation spectral reflection data. 3. We got the regression models of GHI and visible light/infrared light based on the PCs correlated to plot spectral reflection and GHI, which indicate community gross and grazing degradation. The model can be used to monitor grassland health condition by vegetation spectrum.

Key words vegetation spectrum; community structure; principal component analysis (PCA); grassland health