

利用多时相近地面反射波谱特征对不同退化等级草地的鉴别研究

王艳荣 雍世鹏

(内蒙古大学自然资源研究所 呼和浩特 010021)

摘要 草地各退化等级群落反射波谱特征之间的差异性大小与草地类型和生长季节有关,羊草(*Leymus chinensis*)草原不同退化等级群落反射波谱特征之间的差异在6月底最为显著,在5月底的差异最不明显,大针茅(*Stipa grandis*)草原不同退化等级群落反射波谱特征之间在7月底、8月底的差异最为显著,在5月底和6月底的差异最不明显。植被指数(*NDVI*)在5月底、6月底和9月底在各草地类型的不同退化等级群落中都无显著差异,而在7月底、8月底差异显著程度也小于各波段反射率。主分量分析(*PCA*)和模式识别分析结果表明:对于羊草草原退化生态系列的不同退化等级群落分类效果最佳的鉴别函数是蓝光、红光和近红外波段反射率的线性组合,最佳分类时间在6月底,平均错误概率仅为0.7%,5月底进行分类效果最差,平均错误概率为12%左右,7月底、8月底、9月底的分类效果居中;对大针茅草原退化生态系列的不同退化等级群落分类效果最佳的鉴别函数是蓝光、绿光和近红外波段3个反射率的线性组合,在7月底和8月底进行分类效果最好,分类的平均错误概率为4%左右,9月底的分类效果最差,平均错误概率达10%左右。

关键词 多时相 反射波谱 退化草地 鉴别

THE USE OF MULTITEMPORAL NEAR-GROUND SPECTRAL REFLECTANCE TO DISCRIMINATE AMONG DEGRADED GRASSLANDS

WANG Yan-Rong and YONG Shi-Peng

(Natural Resources Institute, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China)

Abstract From May to September 1998, we measured the seasonal near-ground spectral reflectance characteristics and biological parameters of non-degraded, moderately (or lightly) degraded and heavily degraded grassland communities of *Leymus chinensis* steppe and *Stipa grandis* steppe in Inner Mongolia, China. The results of Duncan multi-variance analysis indicated that the near-ground spectral reflectance varied with the degree of degradation, growing season and grassland type. For *Leymus chinensis* steppe grazing gradient, differences in the near-ground spectral reflectance among degraded communities were most distinct when measured at the end of July and were least at the end of May. For the *Stipa grandis* steppe grazing gradient, the spectral response was most distinct at the end of July and August and was least distinct at the end of May and June. No distinct differences in the Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*) among degraded community types were observed at the end of May, June and September. At the end of July and August, differences were observed but the degree of difference of the *NDVI* was less than that of the near-ground spectral reflectance. *PCA* and Pattern-Recognition Method, used to develop discriminate functions, indicated that the blue, red and near-infrared reflectance captured at the end of June had the greatest ability to discriminate among degrees of degradation along the *L. chinensis* grazing gradient (mean probability of error was 0.7%) and had the poorest discriminatory power at the end of May (the mean probability of error was 12%). For *S. grandis* steppe grazing gradient, the discrimination ability was highest at the end of June and August when composed of blue, green and near-infrared reflectance (mean probability of error was lower than 4%) and lowest at the end of September (mean probability of error was about 10%).

Key words Multitemporal near ground spectral reflectance, *NDVI*, Degraded grasslands, Discrimination function, Inner Mongolia

利用遥感技术对内蒙古不同退化等级草地的分类研究始于20世纪80年代中期,目前该领域的主

要方法可分为两类,一类可称为“目视解译法”,即利用 TM(或 MSS)假彩色合成卫片,结合地面实地考察,通过目视解译完成(全川等,2002)。这种方法由于多使用单时相的遥感资料(生长盛期),而不同退化等级草地的波谱反射特征之间在该时相不一定有显著差别,加之人为主观性,不同退化等级草地之间界限的判定定量性较差。另一类可称为“植被指数法”,即假定不同退化等级草地的地上生物量存在显著差异,因而用于遥感测产的植被指数(NDVI、RVI)之间也应该出现显著差异(黄敬峰等,2001;李京等,1993;史培军等,1993),故利用遥感磁带数据生成植被指数(NDVI)数据,结合地面考察资料,把一个特定区域的草地植被指数(NDVI)数据分成不同的等级,完成对不同退化等级草地的定量分类,利用“植被指数法”对退化草地进行分级的精确性高于“目视解译法”(裴浩等,1994)。

综上所述,内蒙古不同退化等级草地的遥感定量分类与鉴别研究首先是建立在不同退化等级草地的反射波谱特征之间是否存在显著差异的基础之上的,包括在哪些波段和在哪些时相它们的反射波谱特征之间存在显著差异两个方面,其次是如何利用适宜的定量分析方法把不同退化等级草地的反射波谱特征之间的差异体现得最为深刻(王艳荣,2001),因而对不同退化等级草地近地面反射波谱及其季节变化特征的测量与分析就成为十分重要的基础工作。

1 研究方法

1.1 不同退化强度草地的近地面反射波谱特征与群落学特征季节变化的测量

在2001年4月底(草原植物萌动)至9月底(绝大多数植物枯黄)期间,对内蒙古典型草原的代表群系——大针茅(*Stipa grandis*)草原和羊草(*Leymus chinensis*)草原3个退化等级上的植被开展了近地面反射波谱特征和群落生态特征的季节动态研究。

研究区位于内蒙古锡林河流域白音锡勒牧场境内,相当于 $43^{\circ}26' \sim 44^{\circ}08' N$, $116^{\circ}4' \sim 117^{\circ}05' E$ 的范围,分别以无牧的羊草草原永久样地、大针茅草原永久样地和居民点为牧压梯度的两个端点,各设置一条退化生态系列,大针茅草原生态系列设置在锡林河南岸的一级玄武岩台地上,长度约为4 km;羊草草原生态系列设置在二级玄武岩台地的波状起伏地带,长度约为3 km。在1997年对它们开展了群落生态学调查,在两条生态系列上各划分出重度退化群

落(Heavily degraded intensity,记为:HD)中(轻)度退化群落(Moderately degraded intensity,记为:MD)无退化群落(Non degraded intensity,记为:ND)3个等级,在1998年4月24日~9月28日期间,每间隔一个月的时间,对两个退化梯度上的6个群落分别进行群落生态学和近地面反射波谱特征的测量,测定方法为:在生态系列的每个群落样地各随机设置20个 $1.0 m^2$ 样方,使用两台RS-II型便携式4通道地物波谱仪(其波谱范围分别与TM 1至TM 4波段相同),首先测量植被冠层光谱,因仪器视场角小,在每个样方中顺序移动测量10次光谱,取其平均值。波谱测定条件为:视场全光照,无风或微风,测定时间为上午9:00~11:00和下午13:00~15:00,中午考虑到植物光合作用存在“午休”现象,反射波谱特征会受到影响,一般不进行波谱的测量。测量植被光谱后,在20个样方中随机选定5个样方,详细记载植物种类组成及其数量特征,其余15个样方仅用收割法测定地上生物量,最后用同样的方法测量土壤背景光谱。

1.2 数据分析方法

本研究采用方差分析、主分量排序(PCA)以及统计模式识别方法(Swan & Davis, 1984)对植被反射波谱特征进行分析与鉴别,其基本原理为:

1) 本文采用原始测量值的集合以及线性组合作为分类的特征矢量。

2) 使用主分量分析的排序方法实现不同群落波谱特征的初步鉴别,并确定线性组合特征矢量的常系数,比较各个主分量包含的信息量、排序结果和错误概率,确定特征矢量的维数。

3) 对不同群落波谱特征识别相当于规定一组鉴别函数,把测量空间分为适当的判别区域。本研究利用最大似然判决法则(Maximum likelihood classification rule),这种统计决策理论求得一组鉴别函数:

$$g_i(Y) = p(Y|w_i) \times p(w_i) = \ln[p(w_i)] - (1/2) \times \ln|C_i| - (1/2) \times (Y - U_i)^T \times C_i^{-1} \times (Y - U_i)$$

式中, $g_i(Y)$ 为 i ($i=1,2,3$)类别的鉴别函数, $p(w_i)$ 为 i 类别的先验概率,即观测到某一模式来自 i 类别的概率,在本研究中, $p(w_i)=1$; $p(Y|w_i)$ 为特征矢量 Y 的概率密度函数, Y 、 U_i 、 C_i 分别代表 i 类别的特征矢量、均值矢量和协方差矩阵, $|C_i|$ 为协方差矩阵的行列式, C_i^{-1} 为协方差矩阵的逆矩阵, $(Y - U_i)^T$ 为矩阵 $(Y - U_i)$ 的转置矩阵。

最大似然判决法则是指为了对模式 Y 进行分

类,先算出乘积 $p(Y|w_i) \times p(w_i)$,再把模式 Y 判属给具有最大乘积的类别。即当且仅当

$$p(Y|w_i) \times p(w_i) \geq p(Y|w_j) \times p(w_j)$$

对所有 $j = 1, 2, \dots$ 都成立时,判决 Y 属于 i 类别。

4) 分类结果的评价:不同群落反射特征在测量空间实际上是部分重叠的,采用统计方法的主要目的是使分类的错误概率最小,计算错误概率可以帮助了解分类结果有多大的置信度。本研究采用统计可分性估计错误概率方法评价分类效果,利用 $J-M$ 距离作为评价类对间统计可分性的一种度量, $J-M$ 距离的值越大,表示类对间的统计可分性越高,其定义如下:

$$J(i, j) = \text{SQRT}[2 \times (1 - \exp(-a))]^2$$

$$a = 1/8 \times (U_i - U_j) \times [(C_i + C_j)/2]^{-1} \times (U_i - U_j) + (1/2 \times \ln[|(C_i + C_j)/2| / \text{SQRT}(|C_i| \times |C_j|)])$$

根据 $J-M$ 距离可以计算出分类错误概率 (PE) 的界限:

$$1/16 \times (2 - J \times J)^2 \leq PE \leq 1 - 1/2 \times (1 + 1/2J \times J)$$

2 研究结果

2.1 不同退化等级群落植物种类组成与地上生物量季节变化特征

1) 羊草草原退化生态系列:对本次实验的群落学数据分析表明,不退化的羊草群落以羊草为建群种,以根茎禾草、鳞茎植物、小禾草层片为优势层片,群落中含有大量的中旱生杂类草;中(轻)度退化的羊草群落虽然也以羊草为建群种,但是小禾草层片的地上生物量比例高于不退化羊草草原群落(平均高出 25.61%),一、二年生植物和过度放牧指示植物(如星毛委陵菜、蒙古糙苏)数量增加,重度退化群落以小半灌木层片和小禾草+苔草层片为优势层片(二者的地上生物量之和平均占群落总地上生物量的 65.26%),含有大量的一、二年生植物,星毛委陵菜的比例也很高。

在整个生长时期内,不同退化等级群落的地上生物量总体趋势为:

不退化群落 > 中(轻)度退化群落 > 重度退化群落

Duncan 多重方差分析结果(表 1)表明:在 5 月底至 9 月底期间,不退化的羊草草原(ND)地上生物量与中(轻)度退化群落(MD)和重度退化群落(HD)有极显著差异,而后二者只在 5 月底和 6 月底差异显

著,在其它 3 个月无显著差异。

2) 大针茅草原退化生态系列:不退化的大针茅群落中高大丛生禾草层片占绝对优势;中(轻)度退化群落与不退化群落相比,在种类组成上两点显著差异,一是群落种类饱和度较低,杂类草(尤其是中旱生杂类草)种类贫乏,二是小禾草层片的优势度大大高于不退化群落,重度退化的群落以冷蒿为建群种,以小半灌木层片、小禾草(糙隐子草、冰草)+苔草层片为优势层片(二者的平均地上生物量之和占群落总地上生物量的 73.18%),杂类草层片中富含一、二年生植物。

大针茅草原不同退化等级群落的地上生物量的变化趋势为:

在 5 月底:中(轻)度退化群落 > 重度退化群落 > 不退化群落

从 6 月底至 9 月底:不退化群落 > 重度退化群落 > 中(轻)度退化群落

在 5 月底、6 月底和 8 月底,中度退化(MD)的大针茅草原群落地上生物量与不退化群落(ND)和重度退化群落(HD)有极显著差异,而后二者无显著差异,在 7 月底,中度退化群落与不退化群落之间生物量差异显著,而在中度与重度退化群落之间、重度与不退化群落之间无显著差异,在 9 月底,不退化群落地上生物量与退化群落有显著差异,而重度与中度退化群落之间地上生物量差异不显著。

2.2 草原不同退化等级群落近地面反射波谱特征的比较分析

在 5 月底至 9 月底期间,与地上生物量的季节变化相对应,羊草草原、大针茅草原退化系列上的不同退化等级群落的 3 个可见光波段反射率季节变化特征都为单谷曲线,而近红外波段反射率的季节变化幅度都较小(图 1)。

方差分析结果(表 1)表明:不同生长时期羊草草原不同退化等级群落波谱特征的差异程度各异,具体表现为:1)在 8 月底和 9 月底,3 个群落在 4 个波段的反射率都存在极显著差异。2)在 7 月底,重度退化群落的波谱特征与不退化和中度退化群落之间差异显著,而后二者之间无显著差异。3)在 6 月底,3 个群落的可见光波段反射率之间都存在极显著差异,而在近红外波段反射率上,只有中度退化群落与重度退化群落差异显著。4)在 5 月底,重度退化群落的波谱特征与中度退化群落之间无显著差异,而不退化群落只在绿光和近红外反射率上与其它两种群落差异显著。

表 1 不同退化等级群落地上生物量与波谱季节变化特征差异的 Duncan 多重方差检验
Table 1 Result of Duncan multi-variance analysis of seasonal biomass and spectral characteristic for different degraded communities

生态序列 Ecological serie	月份 Month	比较群落 Compared community	地上生物量 Biomass	红光反射率 Red reflectance	近红外反射率 Near infrared reflectance	植被指数 Vegetation index(<i>NDVI</i>)
羊草草原 <i>Leymus chinensis</i> steppe	5 月底 End of May	ND - MD	* *	* *	* *	-
		ND - HD	* *	* *	* *	-
		HD - MD	* *	* *	-	-
	6 月底 End of June	ND - MD	* *	* *	-	-
		ND - HD	* *	* *	* *	-
		HD - MD	* *	* *	* *	-
	7 月底 End of July	ND - MD	-	-	-	-
		ND - HD	* *	* *	* *	* *
		HD - MD	* *	* *	* *	* *
	8 月底 End of August	ND - MD	* *	* *	* *	* *
		ND - HD	* *	* *	* *	* *
		HD - MD	-	-	* *	-
	9 月底 End of September	ND - MD	* *	* *	* *	-
		ND - HD	* *	* *	* *	-
		HD - MD	-	-	-	-
大针茅草原 <i>Stipa grandis</i> steppe	5 月底 End of May	ND - MD	* *	-	* *	-
		ND - HD	-	-	* *	* *
		HD - MD	* *	-	* *	-
	6 月底 End of June	ND - MD	* *	-	-	-
		ND - HD	-	-	* *	* *
		HD - MD	* *	-	* *	* *
	7 月底 End of July	ND - MD	* *	-	-	-
		ND - HD	-	* *	* *	-
		HD - MD	-	-	* *	-
	8 月底 End of August	ND - MD	* *	* *	* *	-
		ND - HD	-	* *	* *	-
		HD - MD	* *	-	* *	-
	9 月底 End of September	ND - MD	* *	* *	* *	-
		ND - HD	* *	* *	* *	-
		HD - MD	-	-	-	-

HD :重度退化 Heavily degraded intensity MD :中(轻)度退化 Moderately degraded intensity ND :无退化 Non degraded intensity * * :差异显著 Significant difference - :差异不显著 No significant difference

不同生长时期大针茅草原不同退化等级群落波谱特征的差异表现为:1)在 5 月底和 6 月底,3 个群落的可见光反射率彼此之间无显著差异,近红外反射率在 5 月底的 3 个群落之间差异显著,而在 6 月底,只有重度退化群落与中度退化、不退化群落之间差异显著,后二者无显著差异。2)在 7 月底,在蓝光和红光波段,不退化群落与重度退化群落反射率之间差异显著,而在绿光和近红外波段,3 个群落反射率之间都差异不显著。3)在 8 月底和 9 月底,不退化群落的可见光反射率与两个退化群落差异显著,而中度与重度退化群落之间无显著差异,但是在 8 月底,3 个群落的近红外反射率之间都存在显著差异。

羊草草原不退化群落与退化群落之间土壤背景波谱特征差异显著,重度退化群落与中度退化群落

之间差异显著性较低,大针茅草原 3 个群落之间的土壤背景波谱特征都差异显著。

上述羊草草原、大针茅草原各个退化等级群落植被反射波谱特征的季节变化以及两个不同群落类型之间波谱特征的季节差异是由群落种类组成(特别是优势植物生活型)的差异、地上生物量的季节变化特征以及土壤背景不同(特别是枯草的盖度、土表色度)决定的。

2.3 草原不同退化等级群落植被指数的比较分析

多重方差检验结果(表 1)表明:羊草草原、大针茅草原不同退化等级群落的植被指数之间的差异小于可见光波段反射率。群落之间地上生物量的差异性与植被指数的差异性的一一对应性较差,出现明显的“同生物量异植被指数”或“同植被指数异生物量”的现象。羊草草原不同退化群落的植被指数之

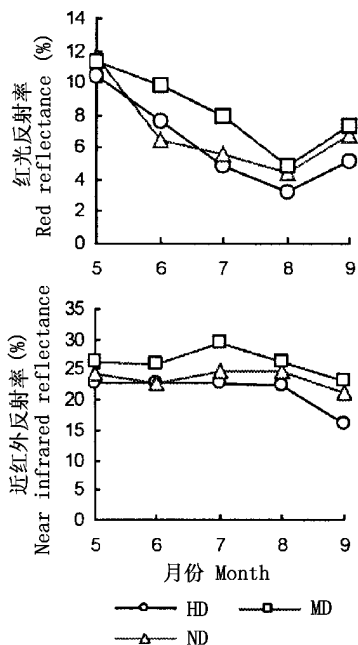


图1 羊草草原不同退化强度群落的波谱反射特征的季节变化
 Fig.1 Seasonal change of spectral reflectance for different degraded intensity communities of *Leymus chinensis* steppe
 HD ,ND ,MD 同表 1 See Table 1

间在 5 月底、6 月底和 9 月底都无显著差异,在 7 月底,只有重度退化群落在 *NDVI* 上与中度退化群落差异显著,在 8 月底,只有不退化群落的植被指数与两个退化群落之间差异显著,而中度退化与重度退化群落植被指数之间无显著差异;大针茅草原在 5 月底、6 月底,重度退化群落的 *NDVI* 与中度退化和不退化群落之间存在显著差异,而在其它月份,3 个群落植被指数之间差异都不显著(图 2)。

2.4 利用主分量分析(PCA)对羊草草原、大针茅草原不同退化等级群落波谱特征的鉴别

利用植被 4 个波段的反射率,对每个生态系列中的 3 个群落的不同月份的波谱特征分别进行了二维、三维和四维的 PCA 排序。

对羊草草原退化系列的 PCA 排序结果表明:1)在 5 月底,利用绿光和近红外反射率的 PCA 二维排序对不同退化群落的分类效果最佳,可以将不退化群落与中度和重度退化群落在 95% 的准确率上区分,而重度与中(轻)度退化群落有较大的重叠范围。2)在 6 月底,利用 3 个可见光反射率的三维排序,可以将 3 个群落在 95% 左右的准确率上予以区分(图 3b)。3)在 7 月底,利用红光、蓝光和近红外反射率的三维排序,可以在约 95% 的准确率上把重度退化群落从不退化和中(轻度)退化群落中区分出来,而后二者之间有较大的重叠范围。4)在 8 月底

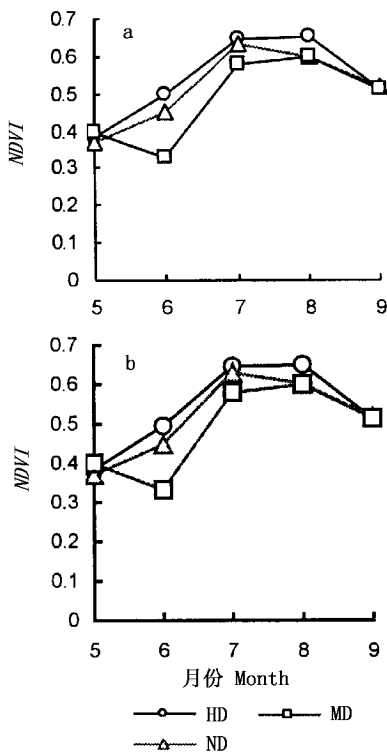


图2 不同退化程度的草地植被指数(NDVI)的季节动态
 Fig.2 Seasonal change of *NDVI* for different degraded intensity communities
 a 大针茅草原 *Stipa grandis* steppe b 羊草草原 *Leymus chinensis* steppe
 HD ,ND ,MD 同表 1 See Table 1

和 9 月底,利用红光、蓝光和近红外反射率的三维 PCA 排序,可以将不退化群落与两个退化群落相区别,分类准确率约为 94%,但是不能把重度退化与中度退化群落予以明确区分。

对大针茅草原退化系列的 PCA 排序结果表明:1)在 5 月底,利用红光、蓝光和近红外反射率的 PCA 三维排序对不同退化群落的分类效果最佳,可以将重度退化群落在 95% 的准确率上从不退化群落和轻度退化群落中区分,而不退化群落与中(轻度)退化群落有较大范围的重叠。2)在 6 月底、7 月底和 8 月底,利用蓝光、绿光和近红外反射率的三维排序(图 3a),都可以在 93% 左右的准确率上区分重度与非重度退化群落。3)在 9 月底,不论利用哪种反射率的线性组合,PCA 排序的分类效果都不佳,3 个群落之间重叠严重。

2.5 利用模式识别方法对羊草草原、大针茅草原不同退化等级群落波谱特征的鉴别

利用 4 个波段反射率的不同组合和上述 PCA 排序的第一和第二主分量,对不同生长时期的羊草草原、大针茅草原生态系列的 3 个不同退化群落分别建立了 18 个鉴别函数,通过对分类错误概率(表 2)的评价,筛选出每月的最佳的鉴别函数(或鉴别函

数的集合)。

对羊草草原退化系列的波谱模式识别结果表明：1) 在 5 月底，含有蓝光、绿光和近红外反射率的鉴别函数对 3 个不同退化等级群落的分类效果最高，平均错误概率为 12% 左右。2) 在 6 月底，包含蓝光和红光、近红外反射率的鉴别函数综合分类效果最好，平均错误概率仅为 0.7% 左右。3) 在 7 月底，最佳鉴别函数包含蓝光、红光和近红外反射率，对重度退化群落与不退化群落以及重度退化群落与中度退化群落的分类平均错误概率极低(为 0.1%)，但是对中度退化与不退化群落的分类平均错误概率

高达 13.74%。4) 在 8 月底和 9 月底，最佳鉴别函数包含的反射率与 7 月底相同，但是与 7 月底的分类结果不同，这个鉴别函数对不退化群落与退化群落的分类效果较好，平均错误概率分别为 2.3% 和 0.93%，然而对重度与中度退化群落的平均分类错误概率较高，分别为 12.10% 和 15.80%。

对大针茅草原退化系列的波谱模式识别结果表明：1) 在 5 月底，蓝光、红光和近红外波段反射率组合形成的鉴别函数分类效果最高，对中度退化群落与非重度退化群落的分类错误概率为 2.52%，对不退化群落与中度退化群落的分类错误概率为

表 2 羊草草原、大针茅草原不同退化等级群落最佳鉴别函数与平均错误概率
Table 2 Optimum discrimination functions and mean probability of error (PE) of different degraded communities for *Leymus chinensis* steppe and *Stipa grandis* steppe

月份 Month	群落 Community	羊草草原 <i>Leymus chinensis</i> steppe 鉴别函数 Discrimination function			大针茅草原 <i>Stipa grandis</i> steppe 鉴别函数 Discrimination function		
		均值 Mean	标准差 Standard difference	平均错误概率(%) Mean probability of error	均值 Mean	标准差 Standard difference	平均错误概率(%) Mean probability of error
5 月底 May	ND - MD	-	-	10.17	-0.49	1.39	11.63
	ND - HD	-	-	12.64	-1.41	1.92	1.12
	HD - MD	-	-	13.08	1.18	0.87	3.92
6 月底 June	ND - MD	-1.53	0.57	1.63	-2.23	2.48	13.28
	ND - HD	0.92	0.23	0.01	0.71	0.79	2.95
	HD - MD	-0.49	1.48	0.05	0.04	0.75	1.85
7 月底 July	ND - MD	0.59	1.20	13.74	0.21	1.25	6.75
	ND - HD	1.04	0.67	0.01	0.78	0.83	0.98
	HD - MD	0.75	1.18	0.01	-1.93	1.68	3.62
8 月底 August	ND - MD	0.72	1.12	4.10	1.36	0.47	6.26
	ND - HD	0.92	0.83	0.54	0.06	0.64	0.01
	HD - MD	0.36	0.76	12.10	0.22	0.50	3.47
9 月底 September	ND - MD	0.28	0.83	1.00	-	-	9.63
	ND - HD	0.44	0.79	0.86	-	-	9.66
	HD - MD	-0.02	1.35	15.80	-	-	8.10

HD, ND, MD 同表 1 See Table 1

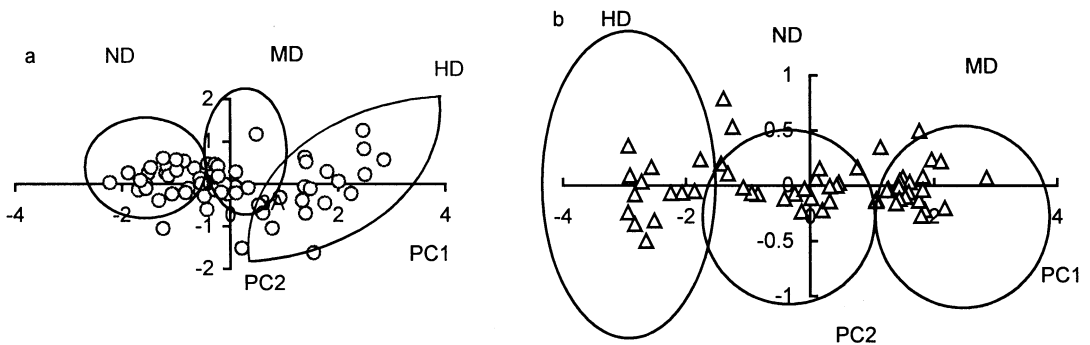


图 3 对大针茅草原、羊草草原不同退化群落 6 月底反射波谱特征的 PCA 排序

Fig.3 PCA ordinations of spectral reflectance for different degraded intensity communities at the end of June

HD, ND, MD 同表 1 See Table 1

11.63%。2)在6月底至9月底期间,最佳鉴别函数的波段组合相同,都包含蓝光、绿光和近红外反射率,它们对重度退化群落与不退化群落以及重度退化群落与中度退化群落之间的分类错误概率都较低,平均为3.96%,但是对中度退化与不退化群落的分类错误概率较高,平均为8.98%,其中,在7月底、8月底的分类效果最好,6月底次之,9月底的分类效果最差。

3 结论与讨论

1)在不同生长时期里,典型草原不同退化等级群落在种类组成、结构和生物量、土壤背景等特征上的明显不同,导致植被反射波谱特征表现出显著差异,而且随着群落类型和时相不同,波谱特征的差异程度各异。方差分析结果表明,在羊草草原退化生态系列中,不同退化等级群落之间的近地面反射特征在6月底的差异最为显著,在5月底的差异最不明显,在波谱性质上,不同退化等级群落在红光、近红外、蓝光波段的反射率之间差异程度较高;大针茅草原不同退化等级群落之间的近地面反射特征在7月底、8月底的差异最为显著,在5月底和6月底的差异最不明显,不同退化等级群落在蓝光、近红外和绿光波段的反射率之间差异程度较高。

2)多重方差分析结果还表明,在同一生态系列的不同退化水平的群落之间,植被指数之间的显著性差异与地上生物量之间的显著性差异不一定总是一一对应关系,不同退化水平的群落植被指数之间的显著性差异与地上生物量之间的显著性差异的一一对应程度随草原类型及不同生长季节而变化。在羊草草原退化生态系列中,植被指数之间的显著性差异与地上生物量之间的显著性差异对应率为46.67%,而红光反射率之间、近红外反射率之间的显著性差异与地上生物量之间的显著性差异对应率分别为100%和80%。在5月底、6月底和9月底,尽管3个群落地上生物量之间都分别存在显著差异,但植被指数之间无显著差异,出现了“异生物量同植被指数(即异物同谱)”的现象,而红光反射率之间的差异显著性与地上生物量之间显著性差异一致,近红外波段的敏感性介于红光反射率和植被指数之间,此时如果利用植被指数来鉴别羊草草原的退化等级,分类精确性会很低,但在7月底、8月底之间,3个群落在地上生物量之间、植被指数之间显著性差异都呈一一对应关系,可以利用植被指数来鉴别羊草草原的退化等级,但植被指数之间的差异

显著程度也小于各波段反射率,利用植被指数对不同退化等级草地群落的鉴别精度低于利用各波段反射率组合对退化等级的鉴别。对大针茅草原退化生态系列而言,植被指数之间、红光反射率之间、近红外反射率之间的显著性差异与地上生物量之间的显著性差异对应率仅分别为20.00%、46.67%和53.33%,只在5月底、6月底,重度退化群落的NDVI与中度退化和不退化群落之间存在显著差异,而在其它月份,3个群落植被指数之间差异都不显著,因此,植被指数几乎不能用于对大针茅草原退化等级的鉴别。

本项研究结果表明,植被指数的大小不仅受地上生物量的影响,同时还与群落种类组成(特别是优势种和优势层片植物生长型的差异)、盖度、土壤背景特征有关,在地上生物量较高的群落中(如羊草草原比之大针茅草原)或当群落处于生长旺季,地上生物量处于较高水平时(如7月底、8月底之间的羊草草原比之5月底、6月底和9月底的羊草草原),植被指数的变化在更大程度上受不同群落地上生物量差异的影响,不同群落在地上生物量之间、植被指数之间的显著性差异可呈较高的一一对应关系,而在地上生物量水平较低的群落或季节中,群落种类组成(特别是优势种和优势层片植物生长型的差异)、盖度、土壤背景等特征对植被指数的影响增加,植被指数对地上生物量变化的反应敏感性降低。因而,在利用“植被指数法”对退化草原进行分类时,时间最好选择在7~8月底之间。

3)使用主分量分析(PCA)和模式识别方法,利用多时相、多波段的植被波谱反射特征,可以实现对不同退化强度的草地群落进行鉴别的目的,其中后者对退化草地等级的鉴别精度较高。对于羊草草原退化生态系列,模式识别方法对不同退化等级群落分类效果最佳的鉴别函数是蓝光、红光和近红外波段反射率的线性组合,最佳分类时间在6月底,平均错误概率仅为0.7%,5月底进行分类效果最差,平均错误概率为12%左右,7月底、8月底、9月底的分类效果居中,对大针茅草原不同退化等级群落分类效果最佳的鉴别函数是蓝光、绿光和近红外波段3个反射率的线性组合,在7月底和8月底进行分类效果最好,分类的平均错误概率为4%左右,9月底的分类效果最差,对3个群落之间分类的平均错误概率都达10%左右,从总体上分析,对大针茅草原退化草地的波谱识别精度不及羊草草原。

模式识别方法与“植被指数法”相比,二者的相

同之处在于对退化草原进行鉴别的最佳时相都是植物生长旺季(7~8月底),而且对大针茅草原退化生态系列群落的识别精度都低于羊草草原退化生态系列群落。

本项研究结果还表明,模式识别方法优于“植被指数法”,一方面,利用“植被指数法”对退化草原进行鉴别精度受时相的限制,而利用模式识别方法在非生长旺季对退化草地的鉴别精度也达到90%左右,可以满足在不同季节对草原利用现状进行实时监测的要求,另一方面,利用模式识别方法在对退化草地进行鉴别分类时,可直接从统计学角度得到鉴别精确度的信息;“植被指数法”无法估计不同退化程度群落之间的重叠程度。

参 考 文 献

- Huang, J. F. (黄敬峰), X. Z. Wang (王秀珍) & X. B. Hu (胡新博). 2001. A study on monitoring and predicting models of grass yield in natural grassland using remote sensing data and meteorological data. *Journal of Remote Sensing (遥感学报)*, 5 (1): 69 ~ 74. (in Chinese with English abstract)
- Li, J. (李京) & Q. Yuan (袁清). 1993. Research on the methods of quantitative monitoring of grassland productivity by using the remote sensing data of NOAA/AVHRR. *Journal of Natural Resources (自然资源学报)*, 4: 365 ~ 373. (in Chinese with English abstract)
- Pei, H. (裴浩) & Y. Z. Pan (潘耀忠). 1994. Research on degraded grassland using meteorological satellite data. *Grassland of China (中国草地)*, 1: 58 ~ 61. (in Chinese with English abstract)
- Shi, P. J. (史培军), J. Chen (陈晋) & Y. M. Zhang (张元明). 1993. Research on the optical models of above ground biomass estimation and the different rule in space temporal of ground spectrums in the grassland of Inner Mongolia. In: Li, B. (李博) ed. *The design on technical system of dynamic monitoring of grazing ecosystem and regional experimental practice*. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press. 81 ~ 90. (in Chinese)
- Swan, P. H. & S. M. Davis. 1984. *Remote sensing: the quantitative approach*. Beijing: Science Press.
- Tong, C. (仝川), J. R. Yang (杨景荣) & W. Y. Yong (雍伟义). 2002. Spatial pattern of steppe degradation in Xilin river basin of Inner Mongolia. *Journal of Natural Resources (自然资源学报)*, 17: 201 ~ 206. (in Chinese with English abstract)
- Wang, Y. R. (王艳荣). 2001. The influence of different grazing intensity on near-ground spectral reflectance of *Leymus chinensis* steppe. *Grassland of China (中国草地)*, 2: 1 ~ 6. (in Chinese with English abstract)

责任编辑:董 鸣 责任编辑:张丽赫