

# 苔藓结皮影响干旱半干旱植被指数的稳定性

房世波<sup>1</sup>, 张新时<sup>2</sup>

1. 中国气象科学研究院, 北京 100081

2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093

**摘要** 植被指数是表征大尺度下陆地生态系统的最常用的,也是最重要的参数,所以得到准确的植被指数就显得至关重要。苔藓结皮在干旱半干旱区、极地和亚极地区分布广泛,且干、湿苔藓结皮光谱差异较大,这种差异在干湿交替频繁的干旱与半干旱区是否对区域植被指数产生影响?能产生多大的影响?国内外未见研究报道。该文以最常用的植被指数 NDVI 为例,重点分析了苔藓结皮干、湿变化能在多大程度上影响区域 NDVI 值。研究得出,100%盖度的湿苔藓结皮 NDVI 值(0.657)较干苔藓结皮 NDVI 值(0.320)提高 0.337,比干苔藓结皮高 1 倍多,干、湿苔藓结皮 NDVI 值达到 0.000 水平差异显著;研究区苔藓结皮的平均盖度为 12.25%,线性混合光谱模型分析得出,湿苔藓结皮较干苔藓结皮可以使研究区区域 NDVI 提高 0.04 (14.3%);由于苔藓结皮的存在和干旱半干旱区降雨的不稳定性,必然造成该区域短时间内 NDVI 变化的不稳定。

**关键词** 生物土壤结皮;苔藓结皮;植被指数(NDVI);遥感;光谱

**中图分类号:** S151.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)03-0780-04

## 引言

生物土壤结皮(简称生物结皮)广泛分布于陆地表面,特别是干旱、半干旱区、高寒、极地等生态脆弱区域,其盖度达到 30%~50%<sup>[1-4]</sup>,常常超过维管植物而成为主要的植被覆盖。其按构成的优势生物不同可以分为苔藓结皮(moss soil crusts, MSC)、地衣结皮和藻结皮<sup>[4-6]</sup>。

植被指数在遥感监测区域乃至全球的植物生长发育、植被生产力、气候变化与陆地生态系统的关系等方面广泛应用<sup>[7,8]</sup>。所以得到准确的植被指数就显得至关重要。然研究发现湿状态的生物结皮较干状态的生物结皮具有更高的植被指数值<sup>[9-11]</sup>;由于干旱半干旱区土壤浅层水份的极不稳定,将可能导致生物结皮分布广泛区植被动态变化遥感解译错误,导致该区地表参量的错误估计<sup>[10,11]</sup>。然而干、湿生物结皮的植被指数差异在区域尺度能产生多大的植物指数求解错误,国内外未见后续研究报道。本研究目标是:(1)以 NDVI 为例,研究干、湿苔藓结皮 NDVI 的差异;(2)分析苔藓结皮干、湿变化对区域 NDVI 值的影响。

## 1 研究方法

### 1.1 野外光谱测定和植被盖度调查

#### 1.1.1 光谱测定方法

采用美国 CROPSPEC INC 的 MSR16R 型光谱仪,该仪器视场角为 31°,包括 16 个波段(460~1 650 nm)。测量选择在晴朗无云或少云的日子 10:00—14:00 进行。测定之前,用白色标准版校准一次,测定时探头高度保持在距植物冠层、土壤或土壤结皮 1.5 m。

#### 1.1.2 干湿苔藓结皮和维管植物光谱测定

在鄂尔多斯国家野外科学观测站附近研究区(39°29'37.6"N, 110°11'29.4"E)测定了不同盖度(100%, 75%, 50%, 25%和 0%五组盖度;每组盖度设五个平行)、土壤干湿两种条件下的苔藓结皮、裸地土壤和油蒿的光谱。并测定了研究区主要植物的光谱,包括油蒿(*Artemisia ordosica*),北沙柳(*Salix psammophyla*),羊柴(*Hedysarum leave*),小叶杨(*Populus simonii Carr.*)。

#### 1.1.3 归一化植被指数计算

分别以 NIR(810 nm)和 Red(660 nm)波段,求算 NDVI

收稿日期:2010-05-07, 修订日期:2010-10-22

基金项目:国家自然科学基金项目(30700107)和中加国际科技合作项目(2009DFA91900)资助

作者简介:房世波,1974年生,中国气象科学研究院副研究员 e-mail: sbfang0110@163.com

$$NDVI_{660} = \frac{NIR(810) - Red(660 \text{ nm})}{NIR(810 \text{ nm}) + Red(660 \text{ nm})}$$

### 1.1.4 植被盖度和苔藓结皮盖度调查

在研究区调查一条 10 km 长的样线, 每 1 km 调查 200 m 范围内 5 个样方 (5 m × 5 m), 总计调查 55 个样方, 调查内容包括灌丛类型、灌丛盖度、灌丛覆盖外的苔藓结皮盖度。

### 1.2 线性混合光谱模型及其验证

根据光谱测定结果和植被盖度进行区域植被指数估算, 须确定混合光谱模型。大尺度的光谱混合完全可以被认为是一种线性混合<sup>[12]</sup>。本研究为小区域或区域尺度研究, 故采用线性模型。线性混合光谱模型公式参见文献<sup>[12]</sup>。

不同盖度下的苔藓结皮和土壤的混合光谱的 NDVI 见图 1; 不同盖度下的油蒿和土壤的混合光谱的 NDVI 见图 2。由图 1 和图 2 可以看出苔藓结皮和土壤的混合光谱严格符合线性模型 ( $R^2 = 0.93 \sim 0.98$ ), 油蒿和土壤的混合光谱也严格符

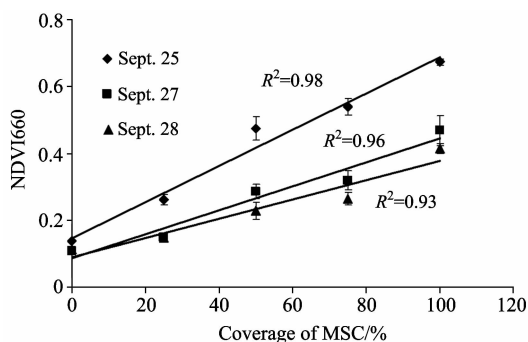


Fig. 1 Linear mixing models verification: Linear correlations between NDVI of MSC & soil mixed and coverage in arbitrarily selected 3 days

Table 1 NDVI(660 nm) of all plants and soil crust in 100% coverage

	N	Average NDVI	SD	Minimum	Maximum	Sig. T
Moss soil crusts(wet)	9	0.657	0.032	0.593	0.694	
Moss soil crusts(dry)	9	0.320	0.027	0.285	0.369	0.000
<i>Artemisia ordosica</i> (wet)	15	0.552	0.036	0.518	0.632	
<i>Artemisia ordosica</i> (dry)	15	0.527	0.034	0.485	0.598	0.062
Soil(wet)	9	0.134	0.007	0.125	0.145	
Soil(dry)	9	0.118	0.010	0.105	0.134	0.001
<i>Hedysarum leave</i>	14	0.526	0.047	0.616	0.453	
<i>Salix psammophyla</i>	15	0.605	0.037	0.652	0.532	
<i>Populus simonii Carr.</i>	16	0.792	0.026	0.839	0.746	

### 2.2 苔藓结皮对区域 NDVI 的影响——以鄂尔多斯地区为例

植被的盖度调查结果(表 2)可以看出, 研究区苔藓结皮的平均盖度(12.25%)仅次于油蒿的平均盖度(16.55%), 可见苔藓结皮对研究区植被指数值的构成贡献很大。研究区裸地(土壤)平均盖度为 54.20%, 尽管干湿交替时, 裸土的 NDVI 变化(见表 1, 0.134 和 0.118)仅为 0.016, 由于裸土盖度较大, 有必要分析裸土干湿交替对 NDVI 的影响。

根据前文所述线性模型, 分别模拟处于干和湿 2 状态(不考虑油蒿等维管植物的干湿状态的差异, 统一输入油蒿

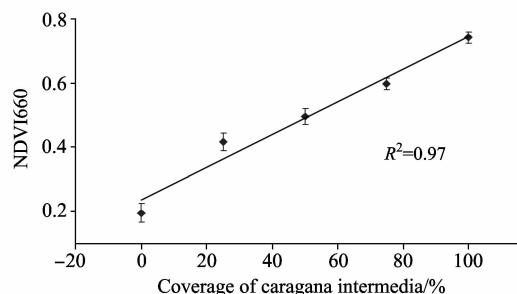


Fig. 2 Linear mixing models verification: Linear correlations between NDVI of *artemisia ordosica* & soil mixed and coverage

合线性模型 ( $R^2 = 0.97$ )。所以可以利用各不同地物的 NDVI 与盖度权重的线性模型模拟该区域更大尺度的混合像元的 NDVI。

## 2 研究结果

### 2.1 干湿苔藓结皮及其各地物的 NDVI 比较

100% 盖度的干湿苔藓结皮与油蒿、裸地的 NDVI 见表 1。干湿苔藓结皮 NDVI 差异较大, 湿苔藓结皮 NDVI 值 (0.657) 较干苔藓结皮 NDVI 值 (0.320) 提高 0.337, 差异达到 0.000 水平显著; 裸地在干湿条件的 NDVI 值差异为 0.016, 达到 0.001 水平差异显著, 仅相当于 4.7% (0.016/0.337) 盖度的苔藓结皮干湿变化对 NDVI 值的影响。土壤干湿条件下的油蒿 NDVI 分别为 0.527 和 0.552, 但其差异没有达到 0.05 水平显著。

干状态的 NDVI) 的 NDVI 及其差异, 结果见表 3。从表 3 看出, 表层土壤湿时较土壤干时, 调查样线上各区域的 NDVI 值都有所增加, 其中 4 km 处和 8 km 处的 NDVI 提高最大, 分别为 0.153 (49.1%) 和 0.116 (35.0%), 而整个调查区域 NDVI 提高 0.050 (17.3%); 苔藓结皮在土壤湿时对 NDVI 提高起关键作用, 使 4 km 处和 8 km 处的 NDVI 分别提高 0.148 (47.4%) 和 0.111 (33.5%), 而苔藓结皮湿时可使整个调查区域 NDVI 提高 0.041 (14.3%); 裸地在土壤湿时对 NDVI 提高的作用不大, 提高值 > 0.01 的有 0 km 处 0.012 (4.9%)、1 km 处 0.011 (4.3%) 和 9 km 处 0.012 (4.9%),

而使整个调查区域 NDVI 提高 0.009(3.0%)。综合来看,苔藓结皮对提高区域的 NDVI 起关键作用,由于苔藓结皮存在

和干旱半干旱区降雨的不稳定性,必然造成该区域短时间内 NDVI 的不稳定性。

Table 2 Result of vegetation coverage in research region

Coverage/%	Distance											Coverage of investigated region/%
	0 km	1 km	2 km	3 km	4 km	5 km	6 km	7 km	8 km	9 km	10 km	
Moss soil crusts	0.4	2.0	9.0	2.2	44.0	4.6	3.6	12.0	33.0	0.0	9.0	<b>12.25</b>
Soil	72.0	67.0	53.0	46.8	32.0	61.4	50.4	50.0	31.0	77.6	55.0	<b>54.20</b>
<i>Artemisia ordosica</i>	11.6	24.0	28.0	5.0	4.0	16.0	10.0	6.0	36.0	5.4	36.0	<b>16.55</b>
<i>Hedysarum leave</i>	13.0	7.0	10.0	10.0	10.0	14.0	22.0	20.0	0.0	0.0	0.0	9.64
<i>Salix psammophyla</i>	3.0	0.0	0.0	21.0	10.0	4.0	14.0	12.0	0.0	0.0	0.0	5.82
<i>Populus simonii Carr.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	1.55

Table 3 Simulated NDVI values in wet and dry conditions according to area ratio of all plants and moss soil crust

NDVI	Distance											Average of region
	0 km	1 km	2 km	3 km	4 km	5 km	6 km	7 km	8 km	9 km	10 km	
NDVI(dry)	0.234	0.249	0.292	0.268	0.313	0.269	0.324	0.307	0.332	0.255	0.283	0.289
NDVI(wet)	0.247	0.266	0.330	0.283	0.466	0.295	0.344	0.355	0.448	0.267	0.323	0.339
$\Delta$ NDVI(Total)	0.013	0.017	0.039	0.015	<b>0.153</b>	0.025	0.020	0.048	<b>0.116</b>	0.012	0.039	<b>0.050</b>
$\Delta$ NDVI(Moss role)	0.001	0.007	0.030	0.007	<b>0.148</b>	0.016	0.012	0.040	<b>0.111</b>	0.000	0.030	<b>0.041</b>
$\Delta$ NDVI(Soil role)	<b>0.012</b>	<b>0.011</b>	0.008	0.007	0.005	0.010	0.008	0.008	0.005	<b>0.012</b>	0.009	<b>0.009</b>
$\Delta$ NDVI/(Total)	5.5	7.0	13.3	5.6	<b>49.1</b>	9.4	6.2	15.8	<b>35.0</b>	4.9	13.8	<b>17.3</b>
$\Delta$ NDVI(Moss role)/%	0.6	2.7	10.4	2.8	<b>47.4</b>	5.8	3.7	13.2	<b>33.5</b>	0.0	10.7	<b>14.3</b>
$\Delta$ NDVI(Soil role)/%	<b>4.9</b>	<b>4.3</b>	2.9	2.8	1.6	3.6	2.5	2.6	1.5	<b>4.9</b>	3.1	<b>3.0</b>

### 3 讨论与结论

苔藓结皮 NDVI 与苔藓结皮的生命活动状态有关,干湿交替必然造成苔藓结皮盖度较大区域的植被指数的不稳定。苔藓结皮在遇水恢复新陈代谢活动时,由于苔藓具有光合作用特性<sup>[13]</sup>,导致苔藓结皮在土壤水分充足时具有与维管植物相似的光谱曲线,具有高的 NDVI 值;而土壤水分不足时处于休眠状态的苔藓(干)的光谱曲线与裸地土壤光谱曲线相似,具有低的 NDVI 值<sup>[9-11]</sup>。干湿苔藓结皮的 NDVI 值差异必然造成区域 NDVI 的不稳定,造成植被动态的遥感解译的错误和植被指数的过高估计<sup>[9,11]</sup>,从而影响对生态系统状况和陆面参量的正确判断。

苔藓结皮光谱与土壤水分有关,仅通过分析其某一状态下的光谱与其他地物光谱的异同,构建的遥感解译方法很难具有普适性。本研究得出苔藓结皮的干、湿状态的 NDVI 相差 0.33,国外的研究也得出干、湿状态的苔藓结皮 NDVI 值相差 0.2~0.3,干湿地衣结皮、藻类结皮都能产生 NDVI 差异,但变化值较小( $<0.1$ )<sup>[9]</sup>,由于构成生物土壤结皮的

植物为变水植物(poikilohydric),其光谱特征随着土壤表层水分变化而产生变化<sup>[9-11]</sup>。仅通过分析某一状态下的生物结皮的光谱与其他地物光谱的异同来进行遥感解译和遥感解译方法构建<sup>[14-17]</sup>,很难完整的反应生物土壤结皮的光谱,构建的遥感解译方法很难具有普适性,很容易导致区域尺度的遥感植被解译错误。

植被指数产品多采用最大值合成法(max value composite, MVC),最大值合成法将高估苔藓结皮分布广泛区域的植被指数,产生对该区域植物覆盖等的过高估计。植被指数是表征植物活动的关键变量<sup>[7]</sup>,所以国际上有各种不同分辨率的植被指数产品,而区域及其全球尺度的植被指数求解,往往采用最大值合成法(MVC)<sup>[18]</sup>,即采用多天中的最大值作为该像元值。由于受生物结皮的干湿状态交替的影响,最大值合成法就会造成该区域短时间内 NDVI 的不稳定,而影响植被动态解译<sup>[9,11]</sup>。区域苔藓结皮的存在,会导致最大值合成法求得苔藓结皮湿时的 NDVI,而苔藓结皮与维管植物在生物量、生产力方面差异很大,势必给模型的求解和解释带来错误和误差,导致对区域生物量或生产力的过高估计。

### References

[1] Belnap J. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Berlin: Springer-Verlag, 2001.

- [ 2 ] Smith M J, Walton D W H. *Microbial Ecology*, 1985, 11(3): 245.
- [ 3 ] Beringer J, Lynch A H, Chapin F S, et al. *Journal of Climate*, 2001, 14: 3324.
- [ 4 ] FANG Shi-bo, FENG Ling, LIU Hua-jie, et al(房世波, 冯 凌, 刘华杰, 等). *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2008, 28(87): 3312.
- [ 5 ] Belnap J. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, 1(5): 181.
- [ 6 ] CHEN Ya-ning, LI Wei-hong, ZHANG Yuan-ming, et al(陈亚宁, 李卫红, 张元明, 等). *Progress in Natural Science(自然科学进展)*, 2005, 15(10): 1211.
- [ 7 ] FANG Jing-yun, PIAO Shi-long, HE Jin-sheng, et al(方精云, 朴世龙, 贺金生, 等). *Science in China · C(中国科学 · C辑)*, 2003, 33(6): 554.
- [ 8 ] GAO Zhi-qiang, LIU Ji-yuan(高志强, 刘纪远). *Chinese Science Bulletin(科学通报)*, 2008, 53(3): 317.
- [ 9 ] Karnieli A, Shachak M, Tsoar H, et al. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 57: 88.
- [10] Karnieli A, Kidron G J, Glaesser C, et al. *Remote Sensing of Environment*. 1999, 69: 67.
- [11] FANG Shi-bo, TAN Kai-yan, XU Duan-yang, et al(房世波, 谭凯炎, 徐端阳, 等). *J. Infrared Millim. Waves(红外与毫米波学报)*, 2010, 29(5): 347.
- [12] TONG Qing-xi, ZHANG Bing, ZHENG Lan-fen(童庆喜, 张 兵, 郑兰芬). *Hyperspectral Remote Sensing—Principle, Technology, Application(高光谱遥感—原理、技术与应用)*. Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2006.
- [13] WU Peng-cheng(吴鹏程). *Bryological Biology(苔藓植物生物学)*. Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1998.
- [14] Zhang J, Rivard B, Sánchez-Azofeifa A. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(1): 57.
- [15] Chen J, Zhang M Y, Wang L, et al. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96(2): 165.
- [16] Solheim I, Engelsen O, Hosgood B, et al. *Remote sensing of Environment*. 2000, 72: 78.
- [17] YANG Wei, CHEN Jin, ZHANG Yuan-ming, et al(杨 伟, 陈 晋, 张元明, 等). *Journal of Natural Resources(自然资源学报)*, 2006, 21(6): 934.
- [18] Holben B N. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7: 1417.

## Impact of Moss Soil Crust on Vegetation Indexes Interpretation

FANG Shi-bo<sup>1</sup>, ZHANG Xin-shi<sup>2</sup>

1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

2. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

**Abstract** Vegetation indexes were the most common and the most important parameters to characterizing large-scale terrestrial ecosystems. It is vital to get precise vegetation indexes for running land surface process models and computation of NPP change, moisture and heat fluxes over surface. Biological soil crusts (BSC) are widely distributed in arid and semi-arid, polar and sub-polar regions. The spectral characteristics of dry and wet BSCs were quite different, which could produce much higher vegetation indexes value for the wet BSC than for the dry BSC as reported. But no research was reported about whether the BSC would impact on regional vegetation indexes and how much dry and wet BSC had impact on regional vegetation indexes. In the present paper, the most common vegetation index NDVI were used to analyze how the moss soil crusts (MSC) dry and wet changes affect regional NDVI values. It was showed that 100% coverage of the wet MSC have a much higher NDVI value (0.657) than the dry MSC NDVI value (0.320), with increased 0.337. Dry and wet MSC NDVI value reached significant difference between the levels of 0.000. In the study area, MSC, which had the average coverage of 12.25%, would have a great contribution to the composition of vegetation index. Linear mixed model was employed to analyze how the NDVI would change in regional scale as wet MSC become dry MSC inversion. The impact of wet moss crust than the dry moss crust in the study area can make the regional NDVI increasing by 0.04 (14.3%). Due to the MSC existence and rainfall variation in arid and semi-arid zones, it was bound to result in NDVI change instability in a short time in the region. For the wet MSC's spectral reflectance curve is similar to those of the higher plants, misinterpretation of the vegetation dynamics could be more severe due to the "maximum value composite" (MVC) technique used to compose the global vegetation maps in the study of vegetation dynamics. The researches would be useful for detecting and mapping MSC from remote sensing imagery. It also is to the advantage to employing vegetation index wisely.

**Keywords** Biological soil crusts(BSC); Moss soil crusts(MSC); NDVI; Remote sensing; Spectroscopy