

# 青土湖区植被与土壤盐渍化响应研究

杨志辉,赵 军,温媛媛

(西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**以甘肃民勤县青土湖为研究区,用 Landsat OLI 数据计算植被覆盖度(FVC)和改进盐渍化指数(MSI),在分级分析和探究两者相关性的基础上,定量分析了不同植被覆盖度和发展变化特征对不同程度盐渍土的响应。结果表明:2015—2017 年中高和高覆盖度植被占比较低,分别为 4.3%和 2.0%,极低覆盖度占比最大为 50.0%,低覆盖度占比为 44.3%。2015—2017 年非盐渍土面积为 25.9%,重度盐渍土占研究区总面积的 45.4%。植被覆盖度和土壤盐渍化呈显著负相关,相关系数为-0.691。高覆盖度和中高覆盖度植被分布于非盐渍土区域达 90.0%以上,极低覆盖度植被分布于盐渍土区域面积为 93.4%。青土湖浅水区植被覆盖度与改进盐渍化指数呈显著负相关关系( $r=-0.532$ ,  $P<0.05$ )的面积为 88.95 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 62.84%。且植被覆盖度发展和土壤盐渍化逆转区域在空间分布上相一致。因此,土壤盐渍化是影响青土湖区植被覆盖度的重要因素之一。

**关键词:**土壤盐渍化;植被覆盖度;生态遥感;相关性;青土湖

**中图分类号:**S156.4 **文献标志码:**A

## Study of response of vegetation coverage to salinization in Qingtu Lake

YANG Zhihui, ZHAO Jun, WEN Yuanyuan

(College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** In this paper, the Qingtu Lake area of Minqin was used as the research area, and the Landsat OLI data was used to calculate the vegetation coverage (FVC) and the modified salinization index (MSI). The response of vegetation coverage and developmental features to different degrees of saline soil was quantitatively analyzed based on the hierarchical analysis and the correlation analysis between the FVC and MSI. The results showed that the medium-high and high coverage vegetation accounted for a relatively low proportion 4.3% and 2.0% in 2015–2017, respectively. Extremely low coverage accounts for a maximum of 50.0% while low coverage accounted for 44.3%. The area of non-saline soil was 25.9% in 2015–2017, and the heavily saline soil accounted for 45.4% of the study area. There was a significant negative correlation between vegetation coverage and soil salinity that the correlation coefficient was -0.691. The vegetation with high coverage and medium-high coverage was distributed in more than 90.0% of non-saline soil area, and extremely low-coverage vegetation was distributed in 93.4% of saline soil areas. There was a significantly negative correlation between vegetation coverage and modified salinization index value ( $r=-0.532$ ,  $P<0.05$ ), which area was 88.95 km<sup>2</sup> accounting for 62.84% of the study area. The spatial distribution of vegetation coverage development and soil salinity reversal areas were consistent. Therefore, soil salinization was one of the important factors affecting vegetation coverage in Qingtu Lake area.

**Keywords:** soil salinization; vegetation coverage; ecological remote sensing; Qingtu Lake

土壤盐渍化是各国所面临的主要生态环境问题之一<sup>[1]</sup>。科学获取土壤盐渍化信息、分析植被对土壤盐渍化的响应机制是土壤盐渍化研究的发展

趋势,及时获取土壤盐渍化时空变化信息,对盐渍化防治、植被恢复及生态保护至关重要<sup>[2]</sup>。随着全球气候变暖,干旱和半干旱地区的蒸发量和矿物质

积累增加<sup>[3]</sup>,盐渍化对植被覆盖度的影响已成为各国关注的生态问题<sup>[4]</sup>。土壤盐渍化信息遥感获取研究始于 20 世纪 70 年代,经历了定性向定量研究发展过程。20 世纪 80 年代,人们主要利用多波段、多时相遥感图像结合盐碱土壤和盐生植被光谱特征进行目视解译。20 世纪 90 年代后定量研究越来越多地得到应用,如许迪等<sup>[5]</sup>用 Landsat 卫星遥感影像数据,利用监督分类、NDVI 指数等对黄河上游宁夏青铜峡灌区进行了土壤盐碱分布研究,Howari 等采用 Landsat ETM+、AVI RIS、彩红外航空像片(CIR)获取的数据提取了格兰德河地区的盐碱地信息,并进行了详细的比较<sup>[6-8]</sup>,魏娜等<sup>[9]</sup>利用高光谱遥感数据实现了对土壤特性的定量分析。近年来已有学者利用与土壤盐分密切相关的指标提取土壤盐分信息,如王飞等<sup>[10]</sup>认为 NDVI-SI 能较好地表征研究区实际的盐渍化程度,丁建丽等<sup>[11-12]</sup>提出盐渍化距离指数(SDI)对盐渍化信息提取精度高且与地表覆盖度密切相关,但这些研究皆侧重于对土壤盐渍化提取方法精度的提高,而在土壤盐渍化对植被覆盖度的影响方面关注较少。

近年来青土湖区盐渍化问题日益突出,严重影响到植被覆盖。本文利用 Landsat OLI 影像计算青土湖区植被覆盖度(FVC)和改进盐渍化指数(MSI),通过分析干旱区内陆河尾间湖区植被覆盖度时空变化与土壤盐渍化的联系,探究不同程度盐渍土及其变化对植被覆盖度的影响特征,以期对植被恢复、控制土壤盐渍化和生态环境保护提供科学依据。

## 1 研究数据与方法

### 1.1 研究区概况

青土湖是石羊河的尾间湖,地处甘肃民勤县西渠镇境内,位于巴丹吉林沙漠东南部、腾格里沙漠

西部,地理位置 39°04'~39°09'N、103°36'~103°39'E(图 1)。该区海拔 1 292~1 310 m,属于典型的温带大陆性干旱气候,年平均气温 7.8℃,年平均降水量 110 mm,年平均风速为 4.1 m·s<sup>-1</sup>。其中青土湖浅水区面积为 16.6 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 12.72%。研究区植被类型为荒漠植被,主要植物为白刺、芦苇、柽柳、黑果枸杞、盐爪爪、猪毛、砂蓝刺头、碟果虫实等。

### 1.2 研究数据

本文采用 2015—2017 年 7 月和 12 月 Landsat OLI 影像数据,空间分辨率为 30 m,合成影像分辨率 15 m,时间分辨率 16 d,来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)。利用 ENVI 和 ArcGIS 软件对数据做了几何校正、大气校正、裁剪和指标计算等处理。将手持光谱仪测得的实地样点数据与波段计算结果进行对比分析,检验了 NDVI 指标结果的准确度。

### 1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖度及其计算 植被覆盖度(FVC)是指植被冠层或叶面在地面的垂直投影面积占植被区总面积的比例<sup>[13]</sup>,植被覆盖度的估测采用像元二分模型,该模型假设一个像元的信息可分为植被与裸土两部分。青土湖周边植被主要以芦苇为主,土壤主要为沙土,地类单一,能够取一定置信区间内 NDVI 的方法计算 FVC。计算公式如下:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中,NDVI<sub>v</sub>取 99.5% 置信区间内的平均最大值,代表纯植被覆盖像元值,NDVI<sub>s</sub>为取 0.5% 置信区间内的平均最小值,代表无植被覆盖的裸土像元值。FVC 在一定程度上解决了 NDVI 对于覆盖度较高的植被易于饱和、而对覆盖度较低的植被难于区分的不足,更好地反映了研究区地表植被覆盖状况<sup>[14]</sup>。

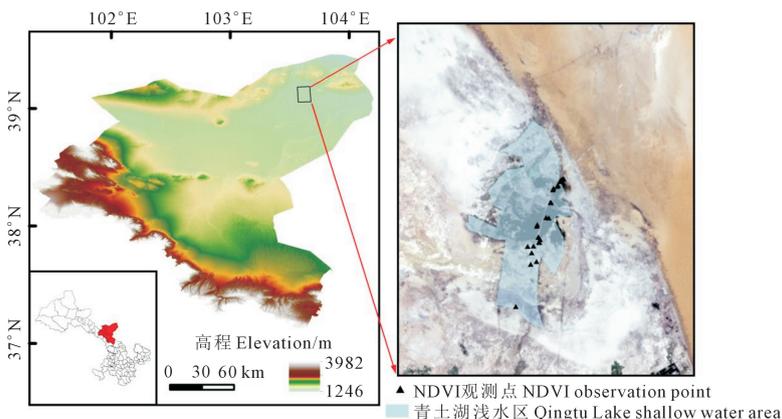


图 1 研究区位置概况

Fig.1 Location of the study area

1.3.2 改进盐渍化指数及其计算 研究表明,盐分指数(SI)容易将盐碱地和裸土地混淆<sup>[15]</sup>,不能准确表示盐渍化程度。因此本文采用12月份Landsat OLI数据计算土壤盐渍化,这时像元内以裸土信息为主,改进盐渍化指数(modified salinization index, MSI)在提取盐渍化信息时具有明显优势。计算公式如下:

$$MSI = \frac{\rho_{gre} - \rho_{red}}{\rho_{gre} + \rho_{red}} \times \frac{\rho_{blu} - \rho_{gre}}{\rho_{blu} + \rho_{gre}} \quad (2)$$

式中, $\rho_{gre}$ 表示绿光波段反射率, $\rho_{red}$ 表示红光波段反射率, $\rho_{blu}$ 表示蓝光波段反射率。

1.3.3 相关性分析 为评估青土湖区土壤盐渍化对植被覆盖度的影响,逐像元计算了改进盐渍化指数值和植被覆盖度的Pearson's相关系数,计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中, $r_{xy}$ 是变量 $x$ 和变量 $y$ 之间的相关系数,其值介于-1到1之间。 $x_i$ 表示植被覆盖度, $y_i$ 表示改进盐渍化指数值, $\bar{x}$ 表示植被覆盖度多年平均值, $\bar{y}$ 表示盐渍化多年平均值, $n$ 表示年份。

## 2 结果与分析

### 2.1 归一化植被指数结果验证

依据2017年7月野外手持光谱仪采集的25个观测样点数据对归一化植被指数计算结果进行验证。由图2可知,2017年研究区内实测光谱仪数据与归一化植被指数显著正相关( $R^2=0.9205$ ),表明NDVI计算结果与青土湖区实际状况极为接近,可进一步用于该区域植被覆盖度的计算。

### 2.2 植被覆盖度时空特征

2015—2017年植被覆盖度空间分布如图3(见236页)所示,借鉴干旱区植被覆盖度分级标准<sup>[16]</sup>,结合青土湖区盐渍土条件及植被覆盖度得到适用于研究区的分级标准,将植被覆盖度分为四级:第一级,植被覆盖度 $\leq 0.1$ ,属于极低覆盖度植被;第二级,植被覆盖度 $0.1 \sim 0.35$ ,属于低覆盖度植被;第三级,植被覆盖度 $0.35 \sim 0.65$ ,属于中高覆盖度植被;第四级,植被覆盖度 $\geq 0.65$ ,属于高覆盖度植被。2015—2017年各等级植被覆盖度面积比例(表1)表明:中高和高覆盖度植被占比整体较低,2015—2017年中高和高覆盖度平均保持在4.3%和2.0%,且占比较为稳定。极低覆盖度占比最大,平均为

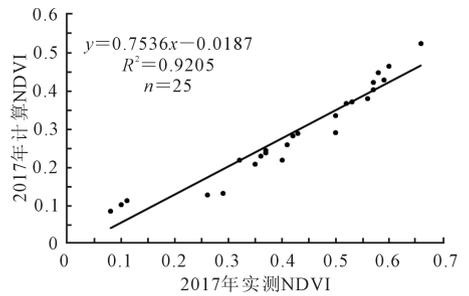


图2 2017年NDVI样点值与计算结果

Fig.2 NDVI sample values and calculation results in 2017

50.0%;低覆盖度占比平均为44.3%。相比上一年,2016年极低覆盖度植被向低覆盖度植被转化了30.7%,2017年由低覆盖度植被向极低覆盖度植被退化40.3%,可见极低和低覆盖度植被之间的变化较大。

### 2.3 盐渍化分级分析

利用2017年影像计算的NDVI和改进盐渍化指数结果进行重采样,在SPSS中进行斯皮尔曼等级相关系数分析。结果表明:相关系数 $R$ 为-0.626,通过显著性差异检验( $P < 0.01$ ),即NDVI和改进盐渍化指数为强相关关系。NDVI反演结果间接检验了改进盐渍化指数在青土湖区提取土壤盐渍化信息的准确性,盐渍化反演结果符合区域实际状况。目前,土壤盐渍化等级一般根据土壤含盐量、盐离子组成和土壤盐碱性划分<sup>[17]</sup>。本文基于研究区盐渍土特征和罗家雄<sup>[18]</sup>提出的干旱区盐渍土等级划分标准<sup>[18]</sup>,得到适用于研究区的盐渍土等级划分标准(表2)。青土湖区2015—2017年土壤盐渍化计算结果(图4)显示:研究区内盐渍化较高的区域主要分布在浅水区北部和东南部,其中西北部有小面积低盐渍化区域分散分布;东南部有盐渍化区域连片分布,除2016年略有降低外,其他两年皆表现为重盐渍化。依据图4计算结果和表2划分等级标准得到研究区2015—2017年MSI各等级面积比例(表3)。数据表明,非盐渍土和轻度盐渍土占比整体偏低,其中非盐渍土平均保持在25.9%,2015—2017年增长了2.5%。重度盐渍土占比最高,平均占研究区总面积的45.4%,致使该区域植物生长困难,严重影响植被覆盖度的增加。

### 2.4 植被覆盖度与土壤盐渍化相关性分析

2.4.1 植被覆盖度与土壤盐渍化的相关性分析 采用SPSS计算2015—2017年青土湖区植被覆盖度(FVC)与改进盐渍化指数的皮尔森相关系数,结果表明:相关系数最高为2017年( $R = -0.691, P <$

0.01); 2016 相关系数 ( $R = -0.651$ ,  $P < 0.01$ ); 相关系数最低为 2015 年 ( $R = -0.621$ ,  $P < 0.01$ )。数据显示: 2015—2017 年 FVC 和 MSI 相关系数的显著性差异检验结果均为显著相关。表明植被覆盖度与盐渍化评价指数结果具有负向高度相关关系, 该区土壤盐渍化对植被覆盖度有明显的影。

**2.4.2 植被覆盖度与土壤盐渍化的空间相关分析** 采用空间相关性分析方法<sup>[19]</sup>, 得到青土湖区植被覆盖度与土壤盐渍化空间相关性分布图(图 5, 见 236 页)。统计表明: 植被覆盖度与土壤盐渍化呈显著负相关关系 ( $r = -0.532$ ,  $P < 0.05$ ) 的面积为 88.95 km<sup>2</sup>, 占研究区面积的 62.84%, 主要分布在离青土湖浅水区较远的外围区域; 植被覆盖度与土壤盐渍化呈正相关关系 ( $r = 0.092$ ,  $P < 0.05$ ) 的面积为 20.69 km<sup>2</sup>, 占研究区面积的 14.62%, 主要分布在青土湖浅水区邻近区域和湖中零星区域, 分布离散且多呈条带状围绕浅水区分布, 这一区域地下水位较高, 减小了土壤盐渍化对植被生长的抑制作用, 故植被覆盖度与土壤盐渍化呈正相关关系。王俭珍等<sup>[20]</sup>的研究也指出轻度盐渍土可以促进植被覆盖度的提高, 高浓度则会明显抑制, 且随浓度的升高, 抑制作用增强, 与本文结论一致。

**2.4.3 不同植被覆盖度与不同等级盐碱土关系的定量分析** 依据植被覆盖度和改进盐渍化指数值分级结果, 在 ArcGIS 中通过叠置分析统计不同植被覆盖度各等级盐渍土的面积, 结果见表 4。结果表明: 高覆盖度植被主要分布在非盐渍土区域, 2015 年 100.00% 的高覆盖度植被分布在非盐渍土区域, 2016 年和 2017 年分别为 94.44% 和 100.00%, 占比

极高且分布稳定。中高覆盖度植被同样集中分布在非盐渍土区域, 2015—2017 年中高覆盖度植被在非盐渍土分布的区域面积占比分别为 99.73%、81.55% 和 99.92%, 比例极高且比较稳定。低覆盖度

表 1 2015—2017 年各等级 FVC 面积统计

Table 1 FVC area statistics at various levels in 2015—2017

年份 Year	极低覆盖度 Very low coverage/%	低覆盖度 Low coverage/%	中高覆盖度 Medium high coverage/%	高覆盖度 High coverage/%
2015	57.6	37.1	3.3	1.9
2016	22.7	67.8	7.1	2.5
2017	68.2	27.9	2.5	1.5

表 2 土壤盐渍化程度划分等级标准

Table 2 Classification criteria for soil salinization

等级 Grade	含盐量/(g · kg <sup>-1</sup> ) Total salt	植物生长状况 Plant growth status
非盐渍土 Non-salt soil	<2	植物生长基本正常 Plant growth is basically normal
轻度盐渍土 Light saline soil	2~5	植物受轻微抑制 Plants are slightly inhibited
中度盐渍土 Moderate saline soil	5~8	植物受到一般抑制 Plants are generally inhibited
重度盐渍土 Severe saline soil	>8	植物生长困难 Plant growth difficulties

表 3 2015—2017 年不同 MSI 面积比例

Table 3 Proportion of different MSI areas in 2015—2017

年份 Year	非盐渍土 Non-salt soil/%	轻度盐渍土 Light saline soil/%	中度盐渍土 Moderate saline soil/%	重度盐渍土 Severe saline soil/%
2015	28.6	0.4	10.8	60.2
2016	18.0	34.8	31.0	16.2
2017	31.1	0.3	8.7	59.8

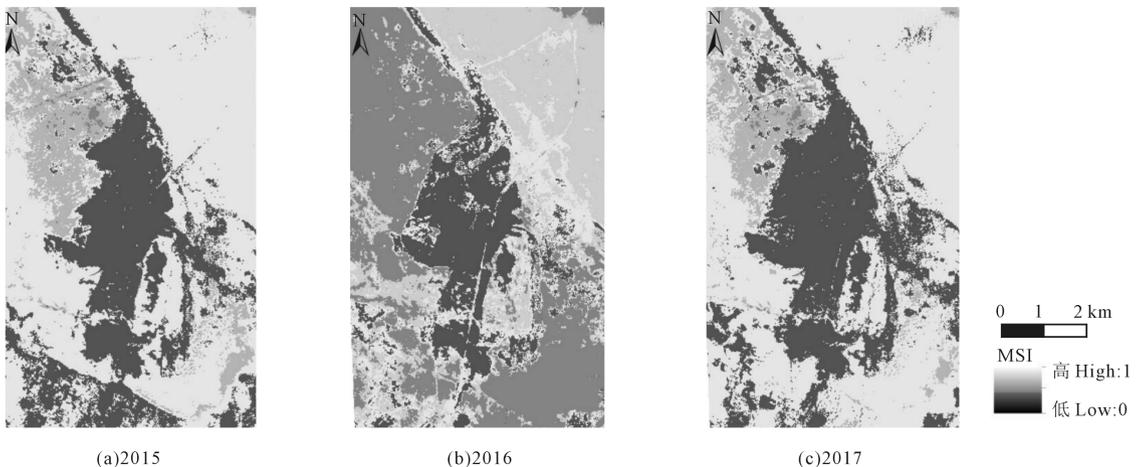


图 4 2015—2017 年 MSI 反演结果  
Fig.4 MSI inversion results in 2015—2017

植被在非盐渍土区域的面积占比在 2015—2017 年平均为 46.6%,但低覆盖度植被不同年份在不同盐渍土上分布不稳定,变化较大。极低覆盖度植被主要分布在盐渍土区域,大部分分布在中度和重度盐渍土区域,2015—2017 年极低覆盖度植被平均分布在中度盐渍土区域的面积比例为 16.3%,分布在重度盐渍土区域的面积比例为 51.4%。不同覆盖度植被在各等级盐渍土上的分布比例充分显示了盐渍土等级对植被覆盖度的影响程度,中高覆盖度和高覆盖度植被主要分布于非盐渍土区域,低覆盖度和极低覆盖度植被主要分布在盐渍土区域,且年际间面积变化较大、空间分布不稳定,对不同盐渍土响应更为敏感。

**2.4.4 植被覆盖度与土壤盐渍化年际变化响应分析** 定义植被覆盖度和盐渍土降低为逆转,植被覆盖度升高和盐渍土浓度增加为发展。为进一步研究青土湖区植被覆盖度和土壤盐渍化的空间变化,将极低覆盖度、低覆盖度、中高覆盖度、高覆盖度植被和非盐渍土、轻度盐渍土、中度盐渍土、重度盐渍土的 4 个等级分别进行 1~4 赋值,将 2015—2017 年植被覆盖度和盐渍土的变化依据表 5 进行分级,通过 ArcGIS 栅格计算器,得到植被覆盖度和盐渍土

变化图(图 6,见 236 页)。

对植被覆盖度和盐渍土变化统计发现(表 6),80.36%植被覆盖度和 82.53%盐渍土未发生变化,未变化的植被覆盖度和盐渍土分布于整个研究区但不连续,被逆转或发展的条带、斑块所分割。植被覆盖度明显逆转区域面积积极小,占研究区面积的 0.45%,逆转区域占研究区面积的 15.34%;盐渍化明显逆转区域占研究区面积的 7.24%,逆转区域占研究区面积的 2.14%。植被覆盖度明显逆转和逆转区域主要分布在研究区南部,在小范围内连续分布,部分非连续区域分布于研究区西北部,整体来看研究区植被覆盖度发展和土壤盐渍化逆转区域在空间分布上基本一致,充分说明了盐渍土对植被覆盖度变化的巨大影响。植被覆盖度发展和快速发展区域面积较小,占比分别为 3.69%和 0.16%,主要分布于浅水区域,小部分零星分布在浅水区外围。同样,研究区盐渍化发展和快速发展区域比例较小,仅占研究区面积的 3.36%和 4.73%,浅水区域基本未出现盐渍化发展状况,仅在浅水区西北边缘出现小片盐渍化区域。结果表明,研究区植被覆盖度逆转区域和土壤盐渍化发展区域的占比与空间分布趋于一致。

表 4 不同覆盖度植被占各级盐渍土的面积统计

Table 4 Statistics of different vegetation coverage at various levels of saline soil

年份 Year	类型 Type	极低覆盖度 Very low coverage/%	低覆盖度 Low coverage/%	中高覆盖度 Medium high coverage/%	高覆盖 High coverage/%
2015	非盐渍土 Non-salt soil	7.03	52.04	99.73	100.00
	轻度盐渍土 Light saline soil	0.66	0.06	0.00	0.00
	中度盐渍土 Moderate saline soil	16.80	3.04	0.00	0.00
	重度盐渍土 Severe saline soil	75.51	44.87	0.27	0.00
2016	非盐渍土 Non-salt soil	3.36	13.45	81.55	94.44
	轻度盐渍土 Light saline soil	76.14	25.87	0.00	0.00
	中度盐渍土 Moderate saline soil	19.25	39.26	0.35	0.42
	重度盐渍土 Severe saline soil	1.25	21.43	18.10	5.14
2017	非盐渍土 Non-salt soil	9.45	74.33	99.92	100.00
	轻度盐渍土 Light saline soil	0.46	0.02	0.00	0.00
	中度盐渍土 Moderate saline soil	12.68	0.26	0.00	0.00
	重度盐渍土 Severe saline soil	77.41	25.38	0.08	0.00

表 5 青土湖区植被覆盖度和土壤盐渍化变化分级

Table 5 Classification of vegetation coverage and soil salinization change in Qingtu Lake area

明显逆转 ≤ -2 Obvious reversal	逆转 -1 Reversal -1	稳定 0 Stable 0	发展 1 Development 1	快速发展 ≥ 2 Rapid development ≥ 2
3→1, 4→1 4→2	2→1, 3→2 4→3	1→1, 2→2 3→3, 4→4	1→2, 2→3 3→4	1→3, 1→4 2→4

注:图中“→”表示不同赋值间的变化情况。

Note:“→” in the figure indicates the change between different assignments of different levels.

表 6 2015—2017 年植被覆盖和盐渍化变化面积统计

Table 6 Statistics of vegetation cover and salinization change area in 2015-2017

数据指标 Data indicator	FVC		MSI	
	面积/km <sup>2</sup> Area	比例/% Proportion	面积/km <sup>2</sup> Area	比例/% Proportion
明显逆转 Obvious reversal	0.60	0.45	9.40	7.24
逆转 Reversal	20.01	15.34	2.80	2.14
稳定 Stable	104.85	80.36	107.67	82.53
发展 Development	4.80	3.69	4.38	3.36
快速发展 Rapid development	0.21	0.16	6.17	4.73

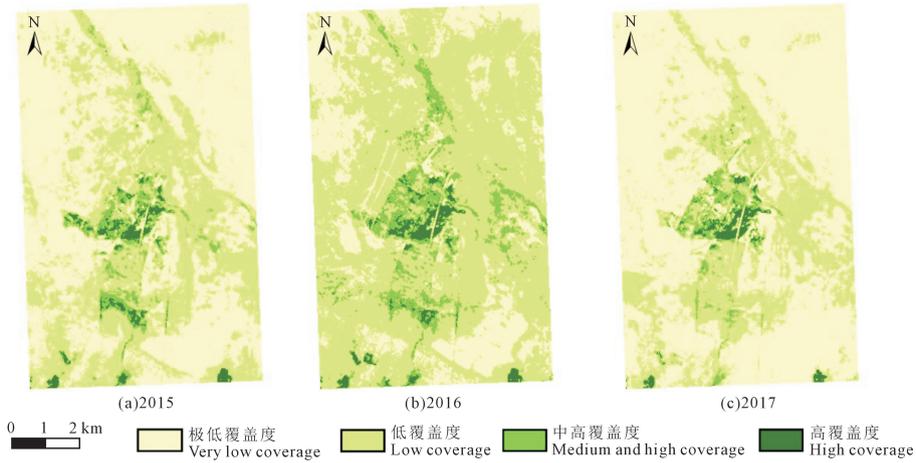


图 3 2015—2017 年植被覆盖度空间分布  
Fig.3 FVC spatial distribution in 2015–2017

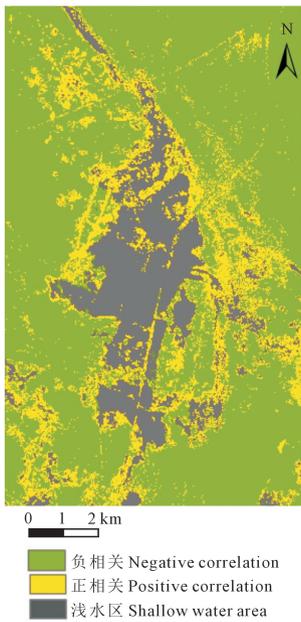


图 5 植被覆盖度和土壤盐渍化空间相关性  
Fig.5 Spatial correlation of vegetation coverage and soil salinization

### 2.5 植被覆盖度与盐渍土发展缓冲区分析

青土湖浅水区边界以间距 500 m 作多环缓冲区,对不同距离内植被覆盖度和土壤盐渍化的变化做统计发现(表 7):500 m 范围内植被覆盖度发展较快,其中发展区域面积占 9.63%,快速发展区域面积占 0.68%,明显逆转区域面积占 1.63%,逆转区域面积占 18.15%,总体呈逆转趋势;而盐渍化发展区域面积占 1.64%,快速发展区域面积占 1.42%,明显逆转区域面积占 12.68%,逆转区域面积占 0.40%,总体也呈逆转趋势,所以在 500 m 范围内盐渍化对植被覆盖度变化无显著影响。在 500 m 之外植被覆盖度发展区域面积占比急剧下降,盐渍化发展和快速发展比例则逐渐增加,说明浅水区外部区域土壤盐渍化是影响植被覆盖度的重要因素之一,且随着

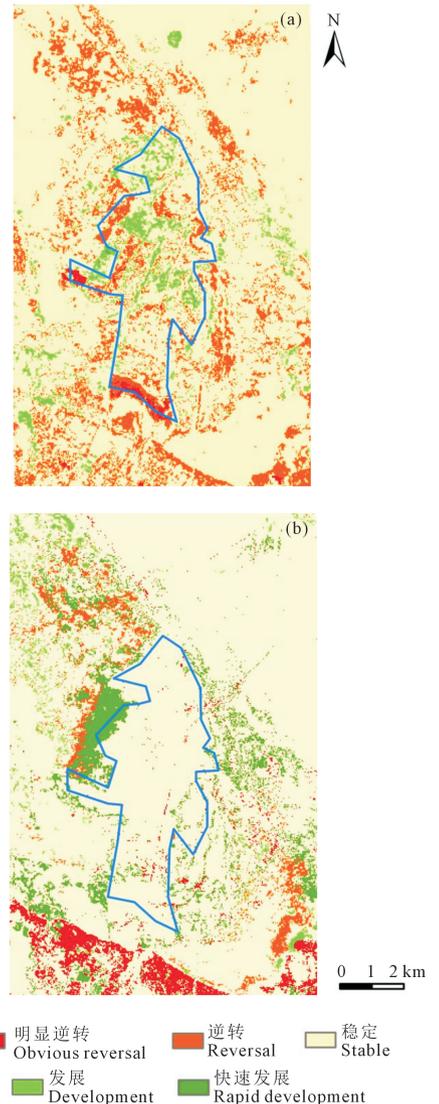


图 6 2015—2017 年青土湖区植被覆盖度 (a) 和盐渍化程度 (b) 变化  
Fig.6 Vegetation coverage (a) and salinization (b) change in Qingtu Lake area in 2015–2017

表7 距浅水区不同距离植被覆盖度和土壤盐渍化变化趋势

Table 7 Trends of vegetation coverage and soil salinization at different distances from shallow waters

类型 Type	距离 Distance/km	明显逆转 Obvious reversal/%	逆转 Reversal/%	稳定 Stable/%	发展 Development/%	快速发展 Rapid development/%
FVC	<0.5	1.63	18.15	69.91	9.63	0.68
	0.5~1.0	0.04	18.95	79.56	1.45	0.00
	1.0~1.5	0.00	15.5	79.96	1.47	0.00
	1.5~2.0	0.00	13.43	83.96	2.61	0.00
	>2.0	0.18	12.73	85.16	1.92	0.00
MSI	<0.5	12.68	0.40	83.85	1.64	1.42
	0.5~1.0	8.59	1.34	83.96	4.34	1.76
	1.0~1.5	6.13	1.97	80.84	2.92	8.11
	1.5~2.0	5.44	2.36	79.26	3.48	9.43
	>2.0	4.84	3.22	82.81	4.10	5.02

距离的增加植被覆盖度对土壤盐渍化响应愈加显著。气候、土壤是影响植被覆盖度发展的重要因素,但前人研究发现青土湖区降水量小、蒸散发量高,30年来该区域气候变化波动较小,且随着气候的变化植被覆盖变化不明显,气候因子对植被覆盖度的影响较弱<sup>[21]</sup>。所以盐渍化对该区域植被覆盖度影响更加重要。

### 3 讨论与结论

本文在计算青土湖区土壤盐渍化和植被覆盖度的基础上,进一步定量分析了土壤盐渍化对不同等级植被覆盖度时空分布和时空变化的影响特征,得出如下主要结论:

(1) 土壤盐渍化是影响青土湖及其周边地区植被覆盖度的重要因素之一。盐渍土抑制植被覆盖度的增加,影响植被的分布。植被覆盖程度与土壤盐渍化等级之间存在显著负向相关,青土湖浅水区轻度盐渍土区域植被覆盖度与土壤盐渍化之间为正相关关系,而青土湖外围中度和重度盐渍土区域则为负相关关系。

(2) 高覆盖度和中高覆盖度植被主要分布于非盐渍土区域且分布稳定,低覆盖度植被分布于盐渍土区域且对不同程度盐渍土响应灵敏。土壤盐渍化变化时,低覆盖度植被受盐渍土影响较大且变化明显。

(3) 土壤盐渍化严重影响植被覆盖度的时空变化,植被覆盖度随盐渍土的发展而逆转,盐渍土的变化直接影响植被覆盖度的发展和空间分布。在青土湖浅水区500 m范围内盐渍化对植被覆盖度变化无显著影响,浅水区外围则响应明显,随距离的增加植被覆盖度与盐渍土时空变化关系愈加紧密。

#### 参考文献:

[1] 董新光,周金龙,陈跃滨.干旱内陆区水盐监测与模型研究及其应用[M].北京:科学出版社,2007:1-27.  
[2] 陈实,高超,徐斌,等.新疆石河子农区土壤含盐量定量反演及其空间格局分析[J].地理研究,2014,33(11):2135-2144.

[3] 李新国,古丽克孜·吐拉克,赖宁.基于RS/GIS的博斯腾湖湖滨绿洲土壤盐渍化敏感性研究[J].水土保持研究,2016,23(1):165-168.  
[4] 李建国,濮励杰,朱明.土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J].地理学报,2012,67(9):1233-1245.  
[5] 许迪,王少丽,蔡林根.利用NDVI指数识别作物及土壤盐碱分布的应用研究[J].灌溉排水学报,2003,22(6):5-8,32.  
[6] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等.盐碱地可持续利用研究综述[J].地理学报,2011,66(5):673-684.  
[7] 丁建丽,瞿娟,孙永猛,等.基于MSAVI-WI特征空间的新疆渭干河—库车河流域绿洲土壤盐渍化研究[J].地理研究,2013,32(2):223-232.  
[8] Howari F M. The use of remote sensing data to extract information from agricultural land with emphasis on soil salinity [J]. Australian Journal of Soil Research., 2003, 41(7):1243-1253.  
[9] 魏娜,姚艳敏,陈佑启.高光谱遥感土壤质量信息监测研究进展[J].中国农学通报,2008,(10):491-496.  
[10] 王飞,丁建丽,伍漫春.基于NDVI-SI特征空间的土壤盐渍化遥感模型[J].农业工程学报,2010,26(8):168-173.  
[11] 丁建丽,姚远,王飞.基于三维光谱特征空间的干旱区土壤盐渍化遥感定量研究[J].土壤学报,2013,50(5):853-861.  
[12] 解雪峰,濮励杰,朱明,等.基于典范对应分析的滨海滩涂围垦区景观格局与土壤盐渍化关系[J].地理研究,2017,36(3):495-505.  
[13] 赵军,王小敏,李东成.基于MODIS的民勤绿洲植被覆盖变化定量分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(10):91-96.  
[14] Yang X M, Liu S Z, Yang T B, et al. Spatial-temporal dynamics of desert vegetation and its responses to climatic variations over the last three decades: A case study of Hexi region in Northwest China [J]. Journal of Arid Land, 2016, 8(4):556-568.  
[15] 冯娟,丁建丽,魏雯瑜.基于Albedo-MSAVI特征空间的渭库绿洲土壤盐渍化研究[J].中国农村水利水电,2018,(2):147-152.  
[16] 颜耀文,汪桂生.黑河流域历史时期水资源利用空间格局重建[J].地理研究,2014,33(10):1977-1991.  
[17] 史晓艳,李维弟,余露,等.玛纳斯河流域农灌区土壤盐渍化遥感定量评价[J].灌溉排水学报,2018,37(11):69-75,83.  
[18] 罗家雄.新疆盐碱地改良[M].北京:水利电力出版社,1985:33-39.  
[19] Tong S Q, Zhang J Q, Bao Y H, et al. Spatial and temporal variation of vegetation cover and its relationship with climate factors in Inner Mongolia based on GIMMS NDVI3g data [J]. Journal of Arid Land, 2017,9(3):394-407.  
[20] 王俭珍,刘倩,高娅妮,等.植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J].生态学报,2017,37(16):5565-5577.  
[21] 赵军,杨建霞,朱国锋.生态输水对青土湖周边区域植被覆盖度的影响[J].干旱区研究,2018,35(6):1251-1261.