

宁夏草地植被覆盖度动态变化监测

沙文生¹, 魏淑花^{2*}, 牟高峰¹, 马丽娟¹, 王蕾¹, 黄文广¹

(1. 宁夏草原工作站, 宁夏银川 750002; 2. 宁夏农林科学院植物保护研究所, 宁夏银川 750002)

摘要 为了研究宁夏草地植被覆盖度动态变化情况, 研究以宁夏天然草原为研究对象, 采用遥感监测的方法对宁夏草地 2002、2006、2011、2016 年不同时期草地植被覆盖度进行了计算。结果表明: 在 2002—2016 年, 宁夏地区草地覆盖度呈升高的趋势, 草原覆盖度好转; 草地植被覆盖度指数呈现先增加后减少的趋势。

关键词 草地植被覆盖度; NDVI; 像元二分模型

中图分类号 X 835 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)23-0010-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.23.003



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Monitoring the Vegetation Coverage Change of Grassland in Ningxia

SHA Wen-sheng¹, WEI Shu-hua², MOU Gao-feng¹ et al (1. Grassland Workstation of Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750002; 2. Plant Protection Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002)

Abstract To study the situation of the vegetation coverage dynamic change of grassland in Ningxia, the grassland in Ningxia was selected as a research object. The method of remote sensing monitoring was used to calculate the vegetation coverage of grassland in Ningxia during four periods which are 2002, 2006, 2011, 2016. The results showed that the grassland vegetation coverage was increased, and the grassland vegetation index showed a trend of increasing first and then decreasing.

Key words Grassland vegetation coverage; NDVI; Dimidiate pixel model

植被覆盖度是指植物地上部分的垂直投影面积与样方总面积的百分比, 是陆地生态系统的主要组成部分, 是区域生态环境变化的指示器^[1]。植被覆盖度是衡量地表植被覆盖的重要指标, 也是反映植被长势和描述生态系统的基本指标及重要的基础数据^[2-3]。草地生态系统是陆地生态系统中分布最广、最为脆弱和敏感的生态系统类型之一^[4]。目前草地植被覆盖度估算主要有传统草地资源野外调查和 3S 遥感监测 2 种方法^[5]。遥感监测方法弥补了传统调查方法效率低下、耗时长、浪费人力物力等缺点, 可以开展不同尺度、大范围监测, 遥感的时间序列数据可以用来监测地表植被动态变化^[3]。遥感监测方法效率高、耗时短, 可以开展不同尺度、大范围监测, 遥感的时间序列数据可以用来监测地表植被动态变化^[5]。国内外许多学者通过对地表植被长时间序列变化趋势的分析, 并利用植被指数获得了植被覆盖度空间分异、动态变化的情况, 为遥感技术在草地生态方面的研究提供了理论基础^[6-10]。笔者以 2002、2006、2011、2016 年 4 期 TM 遥感影像为数据源, 提取归一化植被指数并反演草地植被覆盖度, 分析了宁夏草地植被覆盖度动态变化情况, 为宁夏自治区草地的生态建设和综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况 宁夏地区位于 35°14'~39°23'N、104°17'~107°39'E, 处在黄河中上游地区及沙漠与黄土高原的交接地带, 全境海拔 1 000 m 以上, 地势南高北低, 高差近 1 000 m。宁夏地区属温带大陆性干旱、半干旱气候, 年平均气温在 5~9°C, 呈北高南低分布; 多年平均年降水量 183.4~

677.0 mm, 由南向北递减; 年降水量 150~600 mm, 雨季多集中在 6—9 月; 平均年水面蒸发量 1 250 mm; 夏季时间短, 降水少, 7 月最热, 平均气温 24°C, 冬季时间长, 气温变化起伏大, 1 月最冷, 平均气温 -9°C; 南部六盘山区阴湿多雨, 气温低, 无霜期短, 北部日照充足, 蒸发强烈, 昼夜温差大, 全年日照时数达 3 000 h, 无霜期 150 d 左右。宁夏地区的草原类型分别为温性草甸草原类、温性草原类、温性荒漠草原类、温性草原化荒漠类、温性荒漠类。草原的地带性分布从东南到西北依次呈现草甸草原类、温性草原类、温性荒漠草原类及温性荒漠类。

1.2 数据来源与处理 该研究选取 2002 年 7 月、2006 年 7 月、2011 年 7 月、2016 年 7 月的 TM 影像为数据源, 图像空间分辨率为 30 m×30 m。基于 ERDAS 9.2、ArcGIS 10.3 软件进行投影转换、辐射定标、大气校正等预处理, 然后用宁夏草地边界矢量界限对不同年份数据进行裁剪获取研究区内的影像数据。

1.3 草地植被覆盖度估算 归一化植被指数 NDVI 常用来进行区域尺度的植被分类和植被覆盖度研究, 计算公式如下^[11]:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

式中, R 表示红外波段; NIR 表示近红外波段。

根据像元二分模型理论得到草地植被覆盖度计算公式^[11]:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

参照国家标准(GB 19377—2003), 将宁夏地区草地植被覆盖等级分为 5 级, 如表 1。

1.4 草地植被覆盖度指数计算 草地植被覆盖度指数计算公式为

$$GVCI = \left(\sum_{i=1}^5 D_i \times A_i \right) / A$$

基金项目 国家自然科学基金项目(31760705)。

作者简介 沙文生(1968—), 男, 宁夏银川人, 工程师, 从事草原资源保护与管理。* 通信作者, 副研究员, 硕士, 从事农业昆虫与害虫防治研究。

收稿日期 2020-05-06; **修回日期** 2020-05-19

式中, GCVI 为草地植被覆盖指数; D_i 为草地植被覆盖等级 i 的评分; A_i 为草地植被覆盖等级 i 的分布面积 (km^2); A 为研究区草地总面积 (km^2)。

通过遥感反演获得逐年草地植被盖度的基础上, 运用

ERDAS 编写运算程序, 获得研究区草地植被盖度的空间格局, 并计算逐年草地植被覆盖度指数, 综合判别和分析该区域时空格局(表 2)。

表 1 宁夏地区草地植被覆盖度分级标准

Table 1 Grading standards for grassland vegetation coverage in Ningxia

评价指标 Evaluation index	监测指标 Monitoring indicators	草地覆盖等级 Grassland coverage	覆盖等级评分 Coverage rating	草地植被覆盖 等级划分方法 Classification method of grassland vegetation coverage
草地植被盖度 Grassland vegetation coverage	正常覆盖草地植被盖度	高覆盖草地	1	正常覆盖草地植被盖度的 90% 之上
		中高覆盖草地	2	达到优等覆盖草地植被盖度的 75%~90%
		中覆盖草地	3	达到优等覆盖草地植被盖度的 60%~75%
		低覆盖草地	4	达到优等覆盖草地植被盖度的 30%~60%
		极低覆盖草地	5	正常覆盖草地植被盖度的 30% 之下

表 2 宁夏地区草地植被覆盖遥感评价指标综合判别

Table 2 Comprehensive identification of remote sensing evaluation indicators for grassland vegetation cover in Ningxia

序号 No.	草地植被覆盖指数 Grassland vegetation cover index	草地植被覆盖状态 Grassland vegetation coverage
1	$GCVI \leq 1$	优等覆盖草地
2	$1 < GCVI \leq 2$	良等覆盖草地
3	$2 < GCVI \leq 3$	中等覆盖草地
4	$3 < GCVI \leq 4$	差等覆盖草地
5	$4 < GCVI$	劣等覆盖草地

2 结果与分析

2.1 不同时期宁夏草地植被覆盖度情况 根据草地植被覆盖度计算过程及方法, 分别计算出了宁夏地区 2002、2006、2011、2016 年草地植被覆盖度等级分布情况, 结果见图 1。

由表 3 可知, 2016 年宁夏地区高覆盖草地的面积为 892.45 km^2 , 所占比重为 3.38%, 中高覆盖草地的面积为 700.27 km^2 , 所占比重为 2.65%, 中覆盖草地的面积为 $1\ 645.10 \text{ km}^2$, 所占比重为 6.23%, 低覆盖草地的面积为 $14\ 609.50 \text{ km}^2$, 所占比重为 55.29%, 极低覆盖草地面积为

$8\ 575.04 \text{ km}^2$, 所占比重为 32.45%。其中低覆盖草地面积所占比重最大, 中高覆盖草地面积所占比重最小。

2002 年宁夏地区高覆盖草地面积为 140.37 km^2 , 所占比重为 0.53%; 中高覆盖草地面积为 419.04 km^2 , 所占比重为 1.58%; 中覆盖草地面积 493.38 km^2 , 所占比重为 1.87%; 低覆盖草地面积 $9\ 306.69 \text{ km}^2$, 所占比重为 35.20%; 极低覆盖草地面积为 $16\ 079.60 \text{ km}^2$, 所占比重为 60.28%, 其中高覆盖草地所占比重最小, 极低覆盖草地面积所占比重最大。

到 2006 年, 高覆盖草地面积 216.53 km^2 , 所占比重为 0.82%; 中高覆盖草地面积 462.40 km^2 , 所占比重为 1.75%; 中覆盖草地面积 604.76 km^2 , 所占比重为 2.28%; 低覆盖草地面积 $5\ 818.10 \text{ km}^2$, 所占比重为 21.98%; 极低覆盖草地面积 $19\ 368.70 \text{ km}^2$, 所占比重为 73.17% 其中高覆盖草地面积所占比重仍是最小, 极低覆盖草地面积所占比重仍为最大。

到 2011 年, 高覆盖草地面积为 302.88 km^2 , 所占比重为 1.15%; 中高覆盖草地面积 641.71 km^2 , 所占比重为 2.43%; 中覆盖草地面积 809.32 km^2 , 所占比重为 3.06%; 低覆盖草地面积 $8\ 427.31 \text{ km}^2$, 所占比重为 31.88%; 极低覆盖草地面积 $16\ 254.20 \text{ km}^2$, 所占比重为 61.49%, 其中高覆盖草地面积所占比重仍是最小, 极低覆盖草地面积所占比重仍为最大。

表 3 宁夏地区不同年份不同等级草地面积及比重统计

Table 3 Statistics of grassland area and proportion of different grades in different years in Ningxia

草地等级 Grassland grade	2002 年		2006 年		2011 年		2016 年	
	面积 Area km^2	比例 Proportion//%	面积 Area km^2	比例 Proportion//%	面积 Area km^2	比例 Proportion//%	面积 Area km^2	比例 Proportion//%
高覆盖草地 High covered grassland	140.37	0.53	216.53	0.82	302.88	1.15	892.45	3.38
中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	419.04	1.58	462.40	1.75	641.71	2.43	700.27	2.65
中覆盖草地 Medium covered grassland	493.38	1.87	604.76	2.28	809.32	3.06	1 645.10	6.23
低覆盖草地 Low covered grassland	9 306.69	35.20	5 818.10	21.98	8 427.31	31.88	14 609.50	55.29
极低覆盖草地 Very low covered grassland	16 079.60	60.82	19 368.70	73.17	16 254.20	61.49	8 575.04	32.45
草地合计 Total grassland	26 439.08	100.00	26 470.48	100.00	26 435.42	100.00	26 422.36	100.00

由表 4 可知, 从各年份的变化幅度来看, 2002—2006 年高覆盖草地面积和中高覆盖草地面积都呈增加趋势, 但是增

加较小, 分别为 76.16 、 43.36 km^2 ; 中覆盖草地面积增加了 111.38 km^2 , 低覆盖草地面积减少了 $3\ 488.59 \text{ km}^2$, 极低覆盖

草地面积增加了 3 289.10 km²。2006—2011 年,高覆盖草地增加了 86.35 km²,中高覆盖草地面积增加了 179.31 km²,中覆盖草地面积增加了 204.56 km²,低覆盖草地面积增加了 2 609.21 km²,极低覆盖草地面积减少了 3 114.50 km²。

2011—2016 年,高覆盖草地面积增加了 589.57 km²,中高覆盖草地面积增加了 58.56 km²,中覆盖草地面积增加了 835.78 km²,低覆盖草地面积增加了 6 182.19 km²,极低覆盖草地面积减少了 7 679.16 km²,减幅最大。

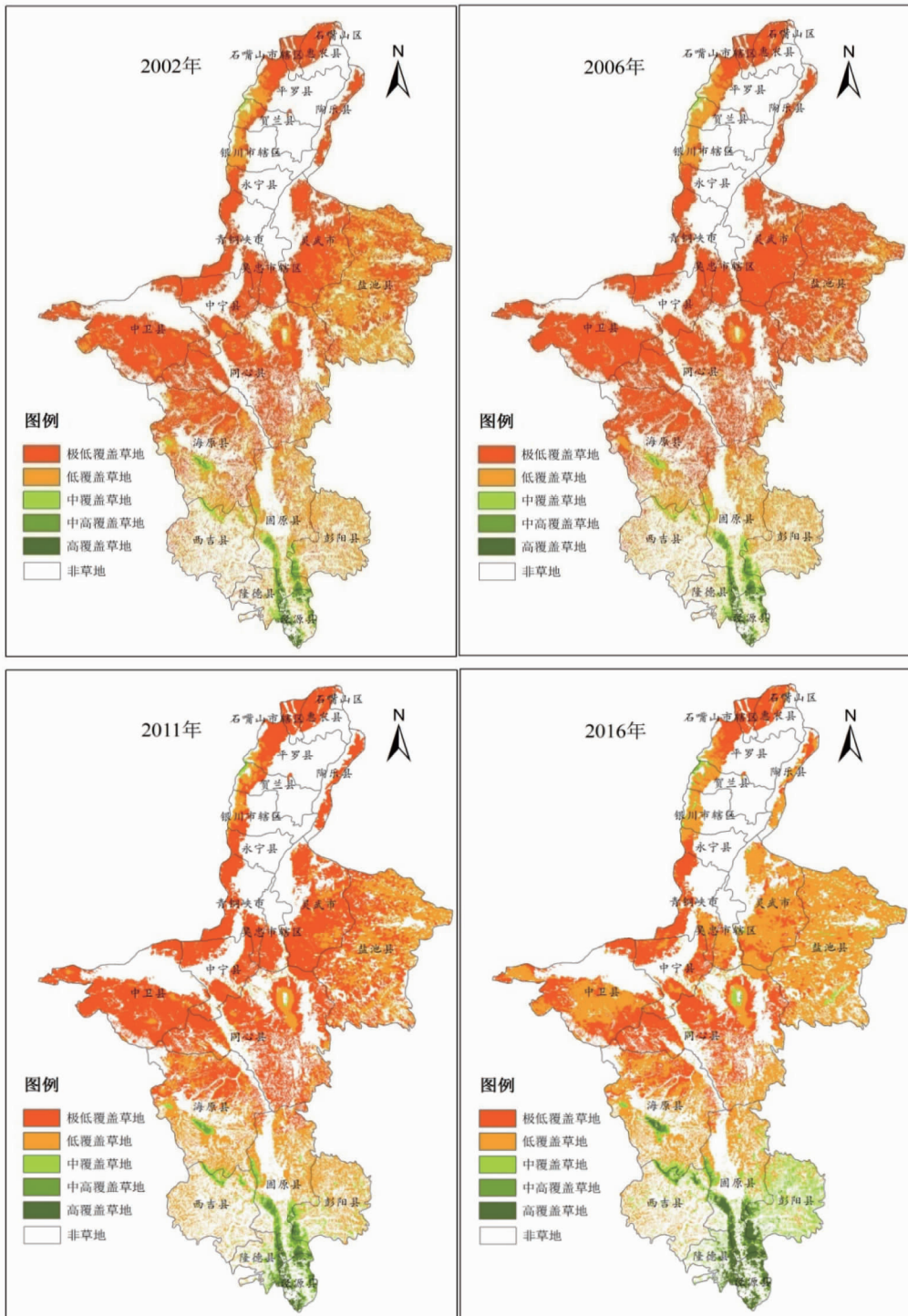


图1 宁夏地区草地植被覆盖度等级分布

Fig.1 Gradient distribution of grassland vegetation coverage in Ningxia

总之,2002—2016 年,高覆盖草地面积呈增加趋势,共增加了 752.08 km²,中高覆盖草地面积增加了 281.23 km²,中覆盖草地面积增加了 1 151.72 km²,低覆盖草地面积增加了 5 302.81 km²,极低覆盖草地面积减少了 7 504.56 km²,其中

低覆盖草地面积增加最多,中高覆盖草地增加最小,仅极低覆盖草地面积减少,且减少幅度较大。

2.2 宁夏草地植被覆盖度动态变化情况 为了更好地分析宁夏地区草地植被覆盖度的时空变化情况,该研究依据马尔

科夫(Markov)转移矩阵模型,并结合 ArcGIS 中工具箱中的分析工具→叠加分析→相交,对前后 2 期宁夏草地植被覆盖度数据进行空间叠加分析,得出研究区各覆盖度草地之间的转移情况(图 2)。从图 2 得出不同年份各等级草地转移面积(表 5~8)。

由表 5 可知,在 2002—2006 年,宁夏地区高覆盖草地面积有 127.14 km² 保持不变,有 85.55 km² 中高覆盖草地转为高覆盖草地,有 0.36 km² 中覆盖草地转为高覆盖草地。中高覆盖草地有 297.56 km² 保持不变,有 138.26 km² 中覆盖草地转为中高覆盖草地,9.24 km² 低覆盖草地转为中高覆盖草

地,11.07 km² 的高覆盖草地转为中高覆盖草地。在中覆盖草地中有 274.94 km² 保持不变,283.64 km² 低覆盖草地转为中覆盖草地,29.61 km² 中高覆盖草地转为中覆盖草地。在低覆盖草地中有 4 633.08 km² 保持不变,有 971.57 km² 极低覆盖草地转为低覆盖草地,1.03 km² 中高覆盖草地转为低覆盖草地,72.87 km² 的中覆盖草地转为低覆盖草地。在极低覆盖草地中有 14 978.70 km² 保持不变,有 0.09 km² 中覆盖草地转为极低覆盖草地,4 186.04 km² 低覆盖草地转为极低覆盖草地。

表 4 宁夏地区不同年份草地变化幅度统计

Table 4 Statistics of grassland changes in different years in Ningxia

km²

草地等级 Grassland grade	2002—2006 年 变化幅度 Change range from 2002 to 2006	2006—2011 年 变化幅度 Change range from 2006 to 2011	2011—2016 年 变化幅度 Change range from 2011 to 2016	2002—2016 年 变化幅度 Change range from 2002 to 2016
高覆盖草地 High covered grassland	76.16	86.35	589.57	752.08
中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	43.36	179.31	58.56	281.23
中覆盖草地 Medium covered grassland	111.38	204.56	835.78	1 151.72
低覆盖草地 Low covered grassland	-3 488.59	2 609.21	6 182.19	5 302.81
极低覆盖草地 Very low cover grassland	3 289.10	-3 114.50	-7 679.16	-7 504.56

表 5 2002—2006 年宁夏地区各等级草地转移面积统计

Table 5 Statistics on the transferred area of grassland at various levels in Ningxia from 2002 to 2006

km²

草地等级 Grassland grade	高覆盖草地 High covered grassland	中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	中覆盖草地 Medium covered grassland	低覆盖草地 Low covered grassland	极低覆盖草地 Very low covered grassland	2006 年 合计 Total of 2006
高覆盖草地 High covered grassland	127.14	85.55	0.36	—	—	213.05
中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	11.07	297.56	138.26	9.24	—	456.13
中覆盖草地 Medium covered grassland	0.11	29.61	274.94	283.64	1.02	589.32
低覆盖草地 Low covered grassland	—	1.03	72.87	4 633.08	971.57	5 678.55
极低覆盖草地 Very low covered grassland	—	—	0.09	4 186.04	14 978.70	19 164.83
2002 年合计 Total of 2002	138.32	413.75	486.52	9 112.00	15 951.29	26 101.88

由表 6 可知,2006—2011 年,宁夏地区高覆盖草地中有 192.64 km² 保持不变,103.17 km² 中高覆盖草地转为高覆盖草地,1.66 km² 中覆盖草地转为高覆盖草地。在中高覆盖草地中有 342.23 km² 保持不变,有 251.93 km² 中覆盖草地转为中高覆盖草地,15.51 km² 低覆盖草地转为中高覆盖草地,20.28 km² 高覆盖草地转为中高覆盖草地。在中覆盖草地中有 301.89 km² 保持不变,有 462.20 km² 的低覆盖草地转为

中覆盖草地,有 10.73 km² 的中高覆盖草地转为中覆盖草地。在低覆盖草地中有 4 405.45 km² 保持不变,有 3 797.21 km² 极低覆盖草地转为低覆盖草地,0.22 km² 中高覆盖草地转为低覆盖草地,35.06 km² 中覆盖草地转为低覆盖草地。在极低覆盖草地中有 15 354.20 km² 保持不变,有 0.15 km² 中覆盖草地转为极低覆盖草地,800.03 km² 低覆盖草地转为极低覆盖草地。

表 6 2006—2011 年宁夏地区各等级草地转移面积统计

Table 6 Statistics on the transferred area of grassland at various levels in Ningxia from 2006 to 2011

km²

草地等级 Grassland grade	高覆盖草地 High covered grassland	中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	中覆盖草地 Medium covered grassland	低覆盖草地 Low covered grassland	极低覆盖草地 Very low covered grassland	2011 年 合计 Total of 2011
高覆盖草地 High covered grassland	192.64	103.17	1.66	—	—	297.47
中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	20.28	342.23	251.93	15.51	0.09	630.04
中覆盖草地 Medium covered grassland	0.60	10.73	301.89	462.20	2.47	777.89
低覆盖草地 Low covered grassland	—	0.22	35.06	4 405.45	3 797.21	8 237.94
极低覆盖草地 Very low covered grassland	—	—	0.15	800.03	15 354.20	16 154.38
2006 年合计 Total of 2006	213.52	456.35	590.69	5 683.19	19 153.97	26 097.72

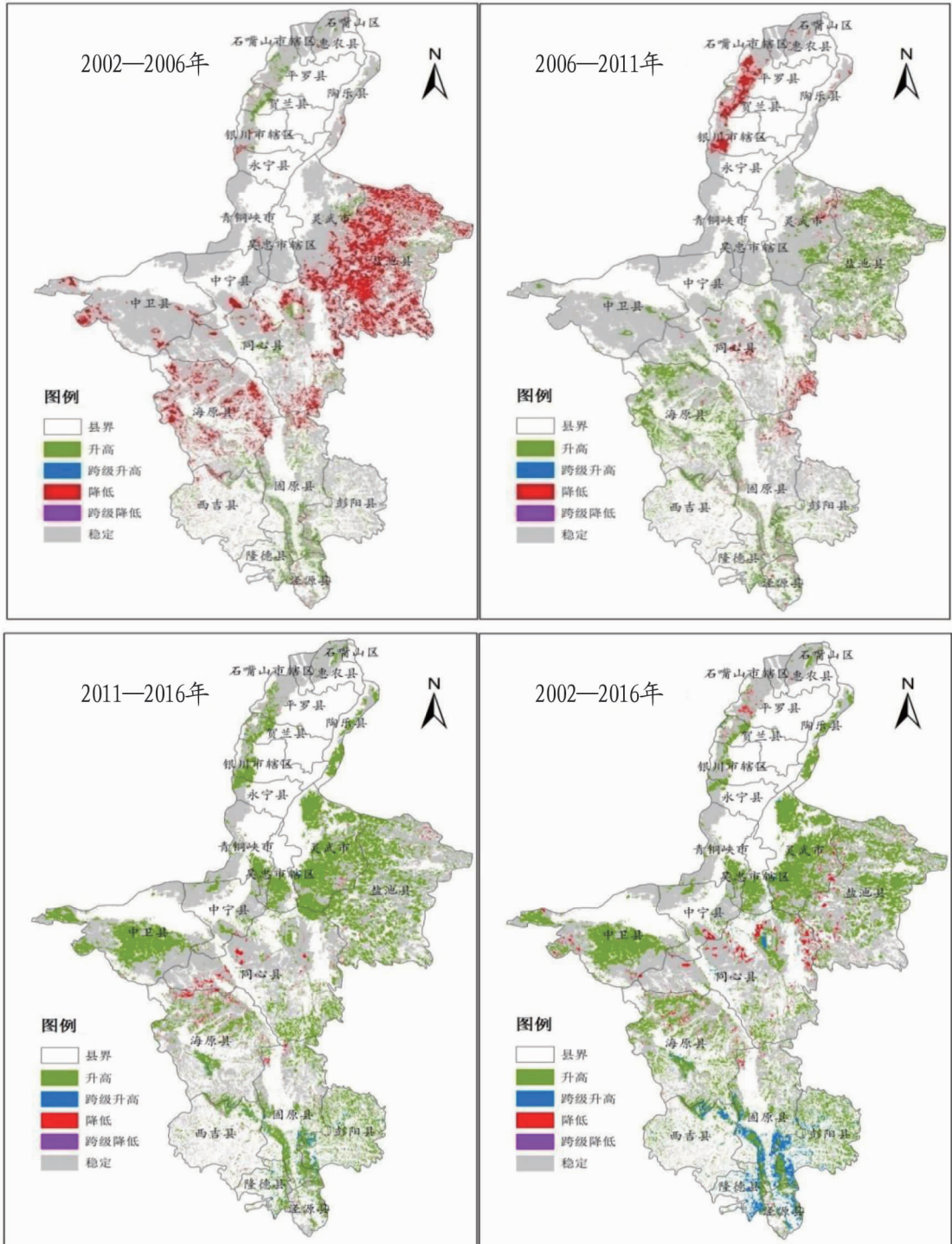


图2 宁夏地区草地植被覆盖度转移情况

Fig.2 The transfer of grassland vegetation coverage in Ningxia

由表7可知,2011—2016年,宁夏地区高覆盖草地面积有292.33 km²保持不变,其中有509.28 km²中高覆盖草地转为高覆盖草地,有73.99 km²中覆盖草地转为高覆盖草地,分别有1.51和0.15 km²的低覆盖草地和极低覆盖草地转为高覆盖草地。中高覆盖草地中有116.92 km²保持不变,有433.33 km²中覆盖草地转为中高覆盖草地,有117.57 km²低覆盖草地转为中高覆盖草地,有2.24 km²极低覆盖草地转为

中高覆盖草地,有4.75 km²高覆盖草地转为中高覆盖草地。在中覆盖草地中有243.94 km²保持不变,有1313.15 km²低覆盖草地转为中覆盖草地,有13.75 km²极低覆盖草地转为中覆盖草地,有5.51 km²中高覆盖草地转为中覆盖草地。低覆盖草地中有6473.35 km²保持不变,有7849.20 km²极低覆盖草地转为低覆盖草地,0.20 km²中高覆盖草地转为低覆盖草地,30.06 km²中覆盖草地转为低覆盖草地。在极低覆

盖草地中有 8 197.50 km² 保持不变,其中 0.36 km² 中覆盖草地转为极低覆盖草地,305.32 km² 低覆盖草地转为极低覆盖草地。

由表 8 可知,2002—2016 年,宁夏地区高覆盖草地面积有 133.59 km² 保持不变,其中有 395.87 km² 中高覆盖草地转为高覆盖草地,有 240.58 km² 中覆盖草地转为高覆盖草地,有 102.21 km² 低覆盖草地转为高覆盖草地,有 0.84 km² 极低覆盖草地转为高覆盖草地;在中高覆盖草地中有 16.52 km² 保持不变,185.22 km² 中覆盖草地转为中高覆盖草地,465.06 km² 低覆盖草地转为中高覆盖草地,2.86 km² 高

覆盖草地转为中高覆盖草地;在中覆盖草地中有 54.73 km² 保持不变,1 372.75 km² 低覆盖草地转为中覆盖草地,146.37 km² 极低覆盖草地转为中覆盖草地,2.66 km² 中高覆盖草地转为中覆盖草地;在低覆盖草地中有 6 553.43 km² 保持不变,有 7 760.91 km² 极低覆盖草地转为低覆盖草地,有 0.08 km² 中高覆盖草地转为低覆盖草地,有 6.12 km² 中覆盖草地转为低覆盖草地。在极低覆盖草地中有 7 931.75 km² 保持不变,有 0.45 km² 中覆盖草地转为极低覆盖草地,有 568.96 km² 低覆盖草地转为极低覆盖草地。总之,在此期间宁夏地区草原植被覆盖度呈升高的趋势,草原覆盖度好转。

表 7 2011—2016 年宁夏地区各等级草地转移面积统计

Table 7 Statistics on the transferred area of grassland at various levels in Ningxia from 2011 to 2016

km²

草地等级 Grassland grade	高覆盖草地 High covered grassland	中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	中覆盖草地 Medium covered grassland	低覆盖草地 Low covered grassland	极低覆盖草地 Very low covered grassland	2016 年 合计 Total of 2016
高覆盖草地 High covered grassland	292.33	509.28	73.99	1.51	0.15	877.26
中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	4.75	116.92	433.33	117.57	2.24	674.81
中覆盖草地 Medium covered grassland	1.54	5.51	243.94	1 313.15	13.75	1 577.89
低覆盖草地 Low covered grassland	—	0.20	30.06	6 473.35	7 849.20	14 352.81
极低覆盖草地 Very low covered grassland	—	—	0.36	305.32	8 197.50	8 503.18
2011 年合计 Total of 2011	298.62	631.91	781.68	8 210.90	16 062.84	25 985.95

表 8 2002—2016 年宁夏地区各等级草地转移面积统计

Table 8 Statistics on the transferred area of grassland at various levels in Ningxia from 2002 to 2016

km²

草地等级 Grassland grade	高覆盖草地 High covered grassland	中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	中覆盖草地 Medium covered grassland	低覆盖草地 Low covered grassland	极低覆盖草地 Very low covered grassland	2016 年 合计 Total of 2016
高覆盖草地 High covered grassland	133.59	395.87	240.58	102.21	0.84	873.09
中高覆盖草地 Medium and high covered grassland	2.86	16.52	185.22	456.06	16.05	676.71
中覆盖草地 Medium covered grassland	0.76	2.66	54.73	1 372.75	146.37	1 577.27
低覆盖草地 Low covered grassland	—	0.08	6.12	6 553.43	7 760.91	14 320.54
极低覆盖草地 Very low covered grassland	—	—	0.45	568.96	7 931.75	8 501.16
2002 年合计 Total of 2002	137.21	415.13	487.10	9 053.41	15 855.92	25 948.77

2.3 宁夏草地植被覆盖度指数结果分析 表 9 是宁夏地区 2002、2006、2011、2016 年的草地植被覆盖度指数。

表 9 宁夏地区不同年份草地植被覆盖度指数结果统计

Table 9 Statistics of grassland vegetation coverage index results in different years in Ningxia

年份 Year	GCVI	草地植被覆盖状态 Grassland vegetation coverage
2002	4.54	劣等覆盖草地
2006	4.65	劣等覆盖草地
2011	4.50	劣等覆盖草地
2016	4.11	劣等覆盖草地

根据表 2 中草地植被覆盖度指数的分级标准,结合表 9 统计结果,宁夏地区 4 个时间点的草地植被覆盖度指数均大于 4,说明 2002—2016 年,宁夏地区的草地植被覆盖状态均为劣等覆盖草地;2002 年草地覆盖度指数为 4.54,2006 年草地覆盖度指数为 4.65,2011 年草地覆盖度指数为 4.50,到 2016 年草地覆盖度指数下降为 4.11。在此期间,草地覆盖

度指数呈现先增加后减少的趋势,草地覆盖状态在 2002—2006 年变差,而在 2006—2016 年草地覆盖状态呈现转好的趋势。

4 结论

从 2002—2016 年整个研究区间来看,高覆盖草地面积呈增加趋势,共增加了 752.08 km²,中高覆盖草地面积增加了 281.23 km²,中覆盖草地面积增加了 1 151.72 km²,低覆盖草地面积增加了 5 302.81 km²,极低覆盖草地面积减少了 7 504.56 km²,其中低覆盖草地面积增加最多,中高覆盖草地增加最小,仅极低覆盖草地面积减少,且减少幅度较大。2002—2016 年宁夏地区草地植被覆盖度呈升高的趋势,草原覆盖度好转。

2002、2006、2011 和 2016 年宁夏地区的草地植被覆盖状态均为劣等覆盖草地,在此期间,草地植被覆盖度指数呈现先增加后减少的趋势,草地覆盖状态在 2002—2006 年变差,而在 2006—2016 年,草地覆盖状态呈现转好的趋势。

(下转第 20 页)

后,也能保持很高的酶活性,其中 JN3 的最适反应温度为 40 ℃,JS3 的最适反应温度为 45 ℃。在 20~50 ℃ 的反应区间内,2 株菌的粗酶均能保持较高的活性,这说明该酶降解岩藻聚糖硫酸酯时对反应温度要求不高,方便在不同的环境中使用。JN3、JS3 的岩藻聚糖硫酸酯降解酶的活力与 pH 有关,在 pH 为 4.0~7.0 时均能保持较好的活性,在 pH 5.0 时呈现出最大活性。Sakai 等^[20]分离得到一株降解岩藻聚糖的菌株,属于产黄菌素属(*Flavobacteriaceae* sp.),其酶活最适反应温度为 30~35 ℃,pH 为 6.5~8.0。而该试验筛选出 JN3、JS3 菌株中降解酶反应温度和对酸碱环境适应范围都比 Sakai 等分离的菌株更加宽广,在温度为 30~50 ℃ 和 pH 在 4.0~7.0 时都能保持很高的活性。

金属离子对于酶活有一定影响,Mg²⁺、Ca²⁺、Zn²⁺对 JN3、JS3 中酶均有一些激活作用,而 Cu²⁺强烈抑制酶活,Ni²⁺也在一定程度上抑制酶活性。与冯蕾等^[21]的研究结果相同,推测 Ca²⁺、Mg²⁺、Zn²⁺等离子可以和酶活性中心作用,使酶活性中心结构发生改变,从而使酶的活性增加。而 Cu²⁺和 Ni²⁺占据了酶活中心的活性位点,使酶不能与多糖作用而产生相应的降解活性。

4 结论

该研究从江水、江泥中筛选获得了 2 株高活性的具有岩藻聚糖硫酸酯降解活性的菌株 JS3 和 JN3,其粗酶活性高达 384、410 U。经鉴定,2 株菌均属于克雷白氏杆菌(*Klebsiella* sp.),这是首次从该菌属中发现具有岩藻聚糖硫酸酯降解活性的菌株。通过对粗酶活性研究,发现该酶具有较好的热稳定性和较宽的 pH 使用范围,但是该酶的降解性质及底物特异性如何是值得深入研究的课题。该研究为进一步开发岩藻聚糖硫酸酯降解酶及利用其来制备岩藻聚糖硫酸酯低聚糖和寡糖等提供了先决条件。

参考文献

- [1] DENIAUD-BOUËT E, HARDOUIN K, POTIN P, et al. A review about brown algal cell walls and fucose-containing sulfated polysaccharides: Cell wall context, biomedical properties and key research challenges[J]. Carbohydrate polymers, 2017, 175: 395-408.
- [2] WANG J, ZHANG Q B, JIN W H, et al. Effects and mechanism of low molecular weight fucoidan in mitigating the peroxidative and renal damage induced by adenine[J]. Carbohydrate polymers, 2011, 84(1): 417-423.
- [3] 陈蕾, 吴皓. 多糖降解方法的研究进展[J]. 中华中医药学刊, 2008, 26(1): 133-135.
- [4] VICKERS C, LIU F, ABE K, et al. Endo-fucoidan hydrolases from glycoside hydrolase family 107 (GH107) display structural and mechanistic similarities

- ties to α -L-fucosidases from GH29[J]. Journal of biological chemistry, 2018, 293(47): 18296-18308.
- [5] BERTEAU O, MULLOY B. Sulfated fucans, fresh perspectives: Structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharide[J]. Glycobiology, 2003, 13(6): 29R-40R.
- [6] SILCHENKO A S, KUSAYKIN M I, KURILENKO V V, et al. Hydrolysis of fucoidan by fucoidanase isolated from the marine bacterium, *Formosa algae* [J]. Marine drugs, 2013, 11(7): 2413-2430.
- [7] KIM W J, PARK J W, PARK J K, et al. Purification and characterization of a fucoidanase (FNase S) from a marine bacterium *Sphingomonas paucimobilis* PF-1[J]. Marine drugs, 2015, 13(7): 4398-4417.
- [8] SILCHENKO A S, IMBS T I, ZVYAGINTSEVA T N, et al. Brown alga metabolites-inhibitors of marine organism fucoidan hydrolases[J]. Chemistry of natural compounds, 2017, 53(2): 345-350.
- [9] OHSHIRO T, OHMOTO Y, ONO Y, et al. Isolation and characterization of a novel fucoidan-degrading microorganism [J]. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 2010, 74(8): 1729-1732.
- [10] HOLT J G, KRIEG N R, SNEATH P H A, et al. Bergey's manual of determinative bacteriology[M]. 9th ed. Baltimore: William & Wilkins, 1994: 87.
- [11] SASAKI K, SAKAI T, KOJIMA K, et al. Partial purification and characterization of an enzyme releasing 2-sulfo- α -L-fucopyranose from 2-sulfo- α -L-fucopyranosyl-(1 \rightarrow 2) pyridylaminated fucose from a sea urchin, *Strongylocentrotus nudus* [J]. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 1996, 60(4): 666-668.
- [12] DESCAMPS V, COLIN S, LAHAYE M, et al. Isolation and culture of a marine bacterium degrading the sulfated fucans from marine brown algae [J]. Marine biotechnology, 2006, 8(1): 27-39.
- [13] SILCHENKO A S, KUSAYKIN M I, ZAKHARENKO A M, et al. Endo-1, 4-fucoidanase from Vietnamese marine mollusk *Lambis* sp. which producing sulphated fucosaccharides[J]. Journal of molecular catalysis B: Enzymatic, 2014, 102: 154-160.
- [14] FURUKAWA S I, FUJIKAWA T, KOGA D, et al. Production of fucoidan-degrading enzymes, fucoidanase, and fucoidan sulfatase by *Vibrio* sp. N-5 [J]. Nippon suisan gakkai shi, 1992, 58(8): 1499-1503.
- [15] IVANOVA E P, BAKUNINA I Y, SAWABE T, et al. Two species of culturable bacteria associated with degradation of brown algae *Fucus evanescens* [J]. Microbial ecology, 2002, 43(2): 242-249.
- [16] SAKAI T, KAWAI T, KATO I. Isolation and characterization of a fucoidan-degrading marine bacterial strain and its fucoidanase [J]. Marine biotechnology, 2004, 6(4): 335-346.
- [17] RODRÍGUEZ-JASSO R M, MUSSATTO S I, PASTRANA L, et al. Fucoidan-degrading fungal strains: Screening, morphometric evaluation, and influence of medium composition [J]. Applied biochemistry and biotechnology, 2010, 162(8): 2177-2188.
- [18] 陈惠源, 蔡俊鹏, 刘江涛. 岩藻多糖降解酶产生菌的筛选及鉴定 [J]. 现代食品科技, 2005, 21(3): 42-44.
- [19] WU Q Q, ZHANG M, WU K, et al. Purification and characteristics of fucoidanase obtained from *Dendryphiella arenaria* TM94 [J]. Journal of applied phyiology, 2011, 23(2): 197-203.
- [20] SAKAI T, KIMURA H, KATO I. A marine strain of Flavobacteriaceae utilizes brown seaweed fucoidan [J]. Marine biotechnology, 2002, 4(4): 399-405.
- [21] 冯蕾, 唐学玺, 王艳玲, 等. 褐藻酸降解酶特性的初步研究 [J]. 海洋科学, 2006, 30(2): 30-33.

(上接第 15 页)

参考文献

- [1] 蔡栋, 李文龙, 朱亚莉, 等. 基于多源数据的甘南草地植被覆盖度遥感监测研究 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(3): 373-379.
- [2] 蔡朝朝, 安沙舟, 蒲智, 等. 基于 TM NDVI 的库尔勒市域植被覆盖度动态变化 [J]. 草业科学, 2015, 32(7): 1069-1078.
- [3] 朱宁, 常伟纲, 贾小凤. 三江源草地覆盖度时空变化及对气候的响应 [J]. 北京测绘, 2020, 34(4): 495-500.
- [4] 戴睿, 刘志红, 姜梦筠, 等. 藏北那曲地区草地退化时空特征分析 [J]. 草地学报, 2013, 21(1): 37-41, 99.
- [5] 陈鹏. 基于 SPOT-VEG 的内蒙古草原植被覆盖时空动态变化监测研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015.
- [6] 王福成, 赵彦玲, 马素洁, 等. 基于 MODIS 影像的藏北草地植被覆盖度

- 时空变化趋势分析 [J]. 高原农业, 2020, 4(4): 399-404, 439.
- [7] 刘家琰, 谢宗强, 申国珍, 等. 基于 SPOT-VEGETATION 数据的神农架林区 1998—2013 年植被覆盖度格局变化 [J]. 生态学报, 2018, 38(11): 3961-3969.
- [8] 王瑾, 闫庆武, 谭学玲, 等. 内蒙古地区植被覆盖度动态及驱动因素分析 [J]. 林业资源管理, 2019(4): 159-167.
- [9] 王磊, 王杰, 付林, 等. 南充市辖区近 15 年植被覆盖度变化特征 [J]. 生态科学, 2019, 38(1): 159-167.
- [10] BRANDT M, VERGER A, DIOUF A, et al. Local vegetation trends in the Sahel of Mali and Senegal using long time series FAPAR satellite products and field measurement (1982-2010) [J]. Remote sensing, 2014, 6(3): 2408-2434.
- [11] 那日苏, 王君芳, 高鸿永, 等. 基于遥感与 GIS 技术的呼和浩特万亩草原植被覆盖度动态变化监测 [J]. 草原与草业, 2018, 30(2): 15-19.