

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201306051350

李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 纪迪, 张晓勇. 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系. 生态学报, 2013, 33(24): 7729-7738.

Li H D, Shen W S, Cai B F, Ji D, Zhang X Y. The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7729-7738.

雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与 风沙化土地演变的耦合关系

李海东^{1,*}, 沈渭寿¹, 蔡博峰², 纪迪¹, 张晓勇³

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012;

3. 江苏省环境监测中心, 南京 210036)

摘要: 运用 1982—2010 年的两种 NDVI 数据集 (Pathfinder AVHRR 和 SPOT VEGETATION), 以及 1975、1990、2000 和 2008 年 4 期遥感数据, 通过 GIS 技术、人工目视解译和灰色关联分析方法, 研究了雅鲁藏布江流域 NDVI 变化和风沙化土地演变的耦合关系, 结合 1957—2007 年降水和气温逐日气象资料, 探讨了气候变化对其耦合关系的影响。结果表明: (1) 流域内 1982—2010 年 NDVI 的年际变化总体上呈波动式增长的趋势。NDVI 空间分布呈现由下游向中上游逐渐降低的趋势, 以米林宽谷最大、马泉河宽谷最小。(2) 2008 年流域内共有风沙化土地 273 697.54 hm², 呈现由江源区马泉河宽谷向中下游递减的趋势。1975—2008 年流域内风沙化土地呈缓慢增长趋势, 以 1990—1999 年增长率最高, 2000—2008 年的增长率最小。(3) 对于 NDVI 年变化和植被生长季 (7—9 月份) 的变化, 马泉河宽谷受平均气温的影响最大, 日喀则宽谷和山南宽谷受年降水量的影响最大; 米林宽谷 NDVI 的年变化受风沙化土地扩展的影响最大, 植被生长季变化受年降水量的影响最大。(4) 不同宽谷段 NDVI 与风沙化土地年变化的关联度自下游向中上游呈总体减小的趋势。流域尺度 NDVI 植被生长季变化主要受平均气温和年降水量的影响, 非植被生长季 (10 月—翌年 6 月) 变化主要受风沙化土地扩展的影响。

关键词: 植被指数; 风沙化土地; 气候变化; 灰色关联分析; 青藏高原

The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China

LI Haidong^{1,*}, SHEN Weishou¹, CAI Bofeng², JI Di¹, ZHANG Xiaoyong³

1 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

2 Chinese Academy for Environmental Planning, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China

3 Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing 210036, China

Abstract: Based on two NDVI datasets (Pathfinder AVHRR NDVI and SPOT VEGETATION NDVI) from 1982 to 2010 and four series of aeolian sandy land data visually interpreted from the Landsat images of 1975, 1990, 2000, and 2008 with the aid of geographic information system (GIS) technology, the coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China were analyzed using grey correlation analysis method. Thereafter, their coupling relationship with climate factors (temperature and precipitation) were discussed extracted from meteorological data collected from eight monitoring stations in or around the study area during the period of 1957—2007. The results showed that: 1) The annual mean NDVI in the Yarlung Zangbo River basin demonstrated a fluctuating growing trend during the period of 1982—2010. Meanwhile, the spatial distribution of annual mean NDVI

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41301611); 江苏省自然科学基金资助项目 (BK20130103); 国家环保公益性行业科研专项资助项目 (200809010)

收稿日期: 2013-06-05; **修订日期:** 2013-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lihd2020@163.com

presented a gradually decreasing trend from Milin wide valley in the downstream to the middle and upper reaches of the river basin gradually, with the largest NDVI value found in Milin wide valley and the smallest value in Maquanhe wide valley. 2) There were 273 697.54 hm^2 of aeolian sandy lands in the river basin in 2008, which showed a spatially decreasing trend from the Maquanhe wide valley in the headwater area to the middle and lower reaches. The area of aeolian sandy lands in the river basin increased slowly from 1975 to 2008, with the quickest increase during the 1990—1999 period and slowest increase during the 2000—2008 period. 3) The main factors which influenced the variations of annual mean NDVI and variations of NDVI in growing season (July to September) was the annual mean temperature in Maquanhe wide valley, while being annual precipitation in Shigatse wide valley and Shannan wide valley, respectively. However, in Milin wide valley, the variations of annual mean NDVI were mainly influenced by the expansion of aeolian sandy land, while that of NDVI in growing season were mainly influenced by annual precipitation. 4) The degree of correlation between variation of annual mean NDVI and annual change of aeolian sandy land in different wide valleys showed a decreasing trend totally from the downstream to the middle and upper reaches of the river basin. Besides, the variation of NDVI in growing season in the basin was mainly affected by mean temperature and annual precipitation, while in non-growing season (October to June) it was mainly affected by the expansion of aeolian sandy land.

Key Words: NDVI; aeolian sandy land; climate change; grey correlation analysis; Tibetan Plateau

气候变化是制约生态脆弱地区沙漠化的最主要和多变的环境因素,对植被退化、生物多样性丧失和沙漠化发生发展有直接的影响^[1-2]。归一化差值植被指数(NDVI)是反映区域植被动态变化的最敏感指标,在某种程度上代表着土地覆盖的动态变化^[3]。近年来,许多学者对 NDVI 与气候变化之间的关系进行了广泛研究。Weiss 等^[4]分析了新墨西哥州不同季节以及年内植被与气候的相关性,宋怡等^[5]利用 NDVI 数据分析了我国寒旱地区植被生长状况及其对各种气候因子的响应关系,朴世龙等^[6]利用 NOAA / AVHRR 数据研究指出青藏高原植被对全球变化的响应是最明显的。同时,许多学者亦对气候变化与沙漠化之间的影响做了大量的研究。魏文寿等^[7]研究指出在没有人为影响的条件下,古尔班通古特沙漠边缘的沙漠化对气候变化有着明显的响应,其响应过程反映出沙漠化的敏感性和干旱气候积累的滞后性;白美兰等^[8]研究指出气候的变干、变暖以及局地性暴雨的增强,可以导致沙漠化进程的加快。由此可见,气候变化与 NDVI、土地沙漠化之间均存在着较强的相关性,然而,目前将 NDVI 与土地沙漠化、气象数据相结合,系统分析三者之间关联性的研究尚鲜有报道。

雅鲁藏布江流域地势高亢,平均海拔超过 4000m,是我国第五大河(仅次于长江、黄河、黑龙江和珠江)和世界上海拔最高的大河。流域内物理冻融侵蚀作用广泛,生态环境极其脆弱。由于地表沙物质丰富、气候干冷多风、植被稀疏低矮等,风沙地貌非常发育^[9-11]。近 20 年来,西藏自治区在雅鲁藏布江源区开展了国家级生态功能保护区的建设试点,在中部流域开展了大规模人工造林和围栏封育等生态保护与建设工作,对区域风沙灾害防治发挥了重要作用。但同时,由于受全球气候变暖以及人类活动的影响,雅鲁藏布江源区、中部流域的拉萨国际机场和日喀则机场周边的风沙化土地近几十年来仍呈缓慢的增长趋势^[12-14]。当前,在气候波动和生态保护与建设的叠加作用下,雅鲁藏布江流域植被生长状况和风沙化土地变化之间的关联性如何?以及气候因素和人类活动对其耦合关系的影响等,这些问题亟待分析与讨论。因此,开展流域内植被 NDVI 和风沙化土地变化的关联性研究,分析 NDVI、风沙化土地变化和气候变化之间的耦合关系,对加强流域生态安全屏障建设、指导正在进行的风沙化土地生态恢复工作具有重要意义。

1 研究区概况

雅鲁藏布江由西向东横跨西藏自治区的拉萨市、日喀则和山南地区的大部分和阿里、那曲、昌都地区的一小部分,涉及 41 个县(市),流域面积 24.2 万 km^2 ,占西藏国土面积的 20%。流域内地势西高东低,南北高、中间低(图 1)。受西南季风的影响,流域内降水主要来源于印度洋孟加拉湾的暖湿气流,由于南部喜马拉雅山

脉的阻隔,大部沿江而上形成降水,且从下而上逐渐减少。在下游干流两侧高山区形成由南向北、由东向西递减的易贡藏布—尼洋河、尼洋河—干流河谷,以及雅鲁藏布江大拐弯西南侧若干个降水高值中心^[15]。在喜马拉雅山北麓,由于南来的气流过喜马拉雅山后的下沉作用,形成了一条狭长的雨影区,导致雅鲁藏布江中上游降水量显著减小。

雅鲁藏布江流域内上下游气候条件各异,下游地区为亚热带湿润气候,广大中游地区属温带森林草原气候,上游谷地为温带草原气候。雅鲁藏布江上游地区,受环流形势和水汽条件的限制,无暴雨产生,年降水量较小。中游河谷地形的主要特点是宽谷与峡谷相间,宽谷段河道平缓,叉流发达,多为游荡性辫状水道,枯水季节河床边滩和心洲大片出露。流域中上游生态环境脆弱,干季大风盛行,河谷地区风沙危害严重,沙丘、沙丘链随处可见。沙生植物主要有砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、固沙草(*Orinus thoroldii*)、三角草(*Aristida triseta*)、棘豆(*Oxytropis sericopetala*)、藏白蒿(*Artemisia younghusbandii*)、藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)等。

按河谷宽窄特征和行政界线,将雅鲁藏布江流域自上而下划分为 4 个宽谷段,即马泉河宽谷、日喀则宽谷、山南宽谷和米林宽谷(图 1),不同宽谷段的气候特征见表 1。流域内支流众多,主要有多雄藏布、年楚河、拉萨河、尼洋河和帕隆藏布等。其中,多雄藏布、年楚河位于日喀则宽谷段,拉萨河位于山南宽谷段,尼洋河和帕隆藏布位于米林宽谷段。

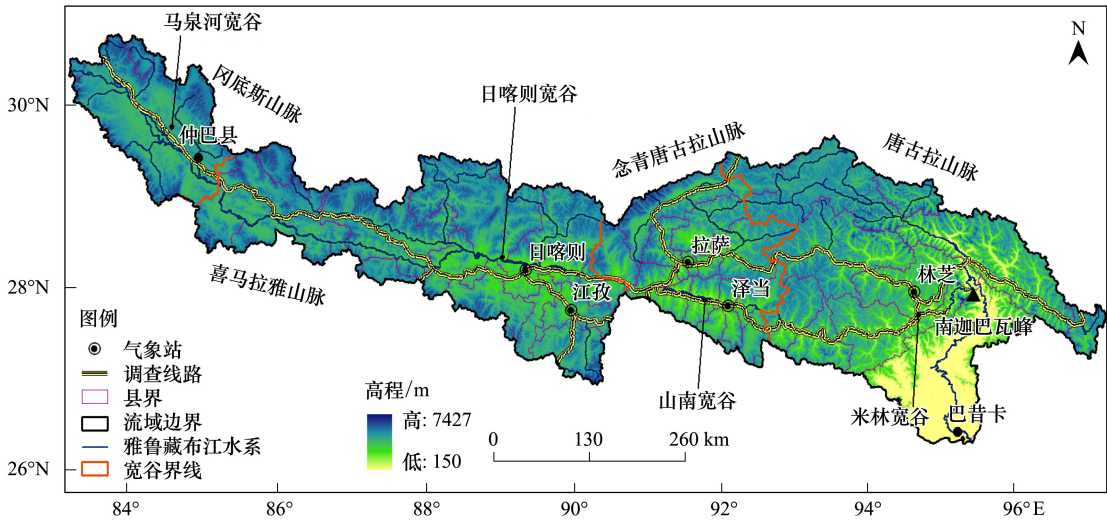


图 1 雅鲁藏布江流域的地貌特征和野外调查路线

Fig.1 Morphologic characteristics of the Yarlung Zangbo River Basin and the field survey routes

表 1 雅鲁藏布江流域不同宽谷段的气候特征

Table 1 Climatic characteristics of different wide valley section in the Yarlung Zangbo River Basin								
地段 Valley section	站点 Name	海拔/m Elevation	建站时间 Year	年降水量/mm Precipitation	平均气温 Temperature/℃			平均风速/(m/s) Wind speed
					日平均	日最高	日最低	
马泉河宽谷	普兰	3 890	1973	152.33	3.49	11.05	-2.86	3.46
	改则	4 415	1973	172.20	0.16	8.37	-8.35	3.85
	狮泉河	4 278	1961	70.35	0.77	8.38	-7.05	2.81
日喀则宽谷	日喀则	3 836	1955	434.25	6.54	14.90	-1.13	1.64
	江孜	4 040	1956	290.69	5.00	13.65	-2.67	2.46
山南宽谷	拉萨	3 649	1955	442.46	7.94	15.72	1.46	1.91
	泽当	3 552	1956	397.35	8.70	16.51	1.98	2.67
米林宽谷	林芝	2 950	1954	676.70	8.79	16.12	3.83	1.75

2 材料与方法

2.1 NDVI 数据与处理方法

本研究所使用的植被 NDVI 数据包括 1982—1998 年的 Pathfinder AVHRR NDVI 数据集和 1999—2010 年

的 SPOT VEGETATION NDVI 数据集。其中, Pathfinder AVHRR NDVI 数据集是基于 8km 的从 1981 年 7 月至 2001 年 12 月的每 10d 合成的 4 个波段的光谱反射率 (由于 NOAA-13 发射失败, 没有使用 Pathfinder AVHRR NDVI 1994 的数据); SPOT VEGETATION NDVI 数据集是基于 1km 的从 1998 年 4 月 1 日至 2010 年 12 月每 10d 合成的 4 个波段的光谱反射率及 10d 最大化 NDVI 数据集。

采用几何校正、大气校正、辐射校正等方法对上述数据进行预处理, 采用最大合成法减少云、大气、太阳高度角等的影响^[16]。由于卫星几何视场角、大气中的灰霾、云以及数据合成过程对 NDVI 的影响, 因此不同数据集的 NDVI 数据仍然有偏差^[17], 本研究中使用 Chen 等^[18]提出的三点平滑方法修正 NDVI 数据, 并且运用 ENVI 软件求取 1982—2010 年 (不含 1994) 的 NDVI 的年平均值和植被生长季 (7—9 月) 的平均值, 用此值来表征雅鲁藏布江流域植被覆盖的年变化和植被生长季变化状况。运用 Mann-Kendall 非参数检验法进行 NDVI 年变化的显著性检验, 其中, 统计变量 Z 大于 0 时, 表示某个 NDVI 呈上升趋势; Z 小于 0 时, 则是下降趋势。 Z 的绝对值 ≥ 1.28 、1.64 和 2.32 时, 分别表示通过了置信度 90%、95% 和 99% 的显著性检验。

2.2 风沙化土地类型划分与遥感监测

根据文献^[13-14]进行风沙化土地类型划分和遥感解译标志建立, 其类型主要包括由风积活动引起的流动沙地、半固定沙地和固定沙地, 以及由风蚀活动引起的裸露砂砾地和半裸露砂砾地。采用的遥感数据主要有 1975、1990、2000 和 2008 年 TM/ETM+/MSS 遥感影像, 时相基本在秋冬季节。1975 年 MSS 数据空间分辨率为 60m, 1990、2000 和 2008 年的 TM/ETM+ 数据空间分辨率均为 30m。笔者于 2008、2009 和 2010 年, 在雅鲁藏布江流域进行了大量野外实地调查, 观察、记录和复核了不同类型沙地的位置、分布特征以及沙地表面的色泽、纹理等特征, 对比不同数据源的遥感影像数据, 建立和校正了风沙化土地遥感解译标志。

采用 ERDAS IMAGE 9.3 软件和 ENVI 4.2 软件对图像进行预处理, 包括几何校正、辐射校正和大气校正。其中, 像元重采样采用最近邻点法或双线性插值法, 影像的几何纠正误差一般不超过 1—2 个像元, 以消除不同时期遥感数据空间分辨率大小不一致带来的影响, 达到动态分析的要求。通过遥感数据 432 波段 RGB 假彩色合成、直方图匹配, 使 4 期影像的色调基本保持一致, 能够较好地反映不同地类的差别等。根据风沙化土地遥感解译标志, 采用人机交互目视解译方法进行不同类型的风沙化土地的遥感解译, 雅鲁藏布江流域风沙化土地现状与空间分布见表 2。

表 2 2008 年雅鲁藏布江流域风沙化土地现状与分布

Table 2 Status and distribution of different aeolian sandy land types in the Yarlung Zangbo River Basin in 2008

地段 Valley section	风沙化土地面积 Aeolian sandy land areas/hm ²					合计 Total/hm ²
	流动沙地	半固定沙地	固定沙地	半裸露砂砾地	裸露砂砾地	
马泉河宽谷	12 925.72	38 669.29	49 581.47	16 293.38	20 153.08	137 622.94
日喀则宽谷	9 570.33	22 283.31	20 844.33	7 364.75	9 798.44	69 861.15
山南宽谷	8 029.43	16 306.12	14 925.08	5 876.70	7 172.75	52 310.08
米林宽谷	3 093.01	3 551.86	6 437.58	508.51	312.40	13 903.37
合计 Total	33 618.49	80 810.58	91 788.46	30 043.34	37 436.67	273 697.54

基于遥感监测获取的雅鲁藏布江流域 1975、1990、2000 和 2008 年 4 期风沙化土地数据, 计算不同时期风沙化土地变化的动态度, 公式为:

$$WD = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{t} \times 100\%$$

式中, WD 为风沙化土地变化动态度, U_a 为起始年风沙化土地面积, U_b 为终结年风沙化土地面积, t 为测算间隔年限。根据上述公式, 可计算得到 1975—1989 年, 1990—1999 年和 2000—2008 年 3 个时期风沙化土地变化的动态度, 进而获得 1975—2008 年风沙化土地面积逐年面积数值。

2.3 灰色关联分析

以灰色系统两要素历史数据序列之间的关联度, 来表征 NDVI 分别与风沙化土地、气候变化因子 (年降水

量和平均气温)两要素之间的密切程度。关联度的计算式如下:

$$R_{om} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^1 R_{om}(t)$$

式中, R_{om} 为母序列 o 与子序列 m 的关联度; N 为数据序列的长度, 即数据个数; $R_{om}(t)$ 为母序列 o 与子序列 m 在时刻 t 的关联系数, 其计算公式如下:

$$R_{om}(t) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{om}(t) + \rho \Delta_{\max}}$$

式中, $\Delta_{\min}$ 、 $\Delta_{\max}$ 分别为各个时刻两序列绝对差中的最小值和最大值; $\Delta_{om}(t)$ 为 t 时刻两序列的绝对差; ρ 为分辨系数, $\rho \in (0, 1)$, 一般取 0.1—0.5, 通常取 0.5。

鉴于雅鲁藏布江流域 NDVI 数据集的时间段为 1982—2010 年, 风沙化土地数据时间段为 1975—2008 年, 气象数据为 1957—2007 年, 为充分利用已有数据资源和计算的科学性, 本研究选择 1982—2007 年作为分析 NDVI 与风沙化土地、年降水量和平均气温之间关联度的统一时间尺度, 对所选取的上述原始数据进行标准化处理, 通过计算相关标准化数据, 分别开展 1982—2007 年流域 NDVI 年变化(1—12 月)、植被生长季(7—9 月)变化与风沙化土地、年降水量和平均气温之间的灰色关联度研究。

3 结果与分析

3.1 流域 NDVI 的动态变化

由图 2 可见, 雅鲁藏布江流域 1982—2010 年 NDVI 的年际变化总体上呈波动式增长的趋势, 但增加趋势不显著, 未通过 90% 的显著性检验(Mann-kendall 检验 Z 值为 0.435)。在 2009 年流域 NDVI 达到最高值, 均为 0.161, 高于 NDVI 的多年均值 0.145, 其次是 1990 和 1998 年 NDVI 较高, 分别为 0.159 和 0.156; 在 1982 年流域 NDVI 最小, 1983 年和 1987 年次之。流域 NDVI 有 3 个快速增长期, 分别为 1982—1990 年, 1996—1998 年和 2000—2010 年, 其中 1982—1990 年增长最快。

由图 2 可见, 流域 1982—2010 年 NDVI 月均值的变化自 1—12 月随着月份的增大, NDVI 呈现先减小后增大、再减小的趋势。NDVI 峰值出现在 8 月份, 其次为 9 月份, 分别为 0.213 和 0.212; NDVI 最小值出现在 4 月份, 3 月份次之, 分别为 0.077 和 0.078。就不同宽谷 NDVI 的变化而言, 下游的米林宽谷 NDVI 月均值最大, 中部流域的山南宽谷和日喀则宽谷次之, 江源区的马泉河宽谷最小, 流域内 NDVI 呈现由下游至中上游逐渐降低的趋势; 同时, NDVI 峰值也由米林宽谷和山南宽谷的 8 月份, 过渡到日喀则宽谷和马泉河宽谷的 9 月份; NDVI 最小值由米林宽谷的 3 月份, 过渡到山南宽谷和日喀则宽谷的 4 月份, 而马泉河宽谷 NDVI 最小值则出现在 2 月份。由此可见, 雅鲁藏布江流域植被生长季的起始时间自下游至中上游随海拔的增高, 呈现不断延迟、生长期不断缩短的趋势。

3.2 流域风沙化土地的演变趋势

雅鲁藏布江流域 2008 年共有风沙化土地 273697.54hm²(表 2)。其中, 风积沙地以固定沙地面积最大, 为 91788.46hm², 其次是半固定沙地 80810.58hm², 流动沙地面积较小, 为 33618.49hm²; 风蚀沙地的裸露砂砾地面积为 37436.67hm², 半裸露砂砾地面积为 30043.3hm²。从空间分布特征来看, 流域内风沙化土地呈现由江源区向中下游递减的趋势, 以马泉河宽谷最大, 占风沙化土地总面积的 50.28%, 其它依次为日喀则宽谷、山南宽谷和米林宽谷, 分别占 25.52%、19.11% 和 5.08%。

由表 3 可见, 1975—2008 年流域风沙化土地呈缓慢增长趋势。1975 年风沙化土地面积为 247697.24hm², 1990 年为 255754.61hm², 2000 年为 269599.78hm², 2008 年扩展至 273697.54hm², 1975—2008 年共增长了 10.5%, 年均增长率为 764.71hm²/a。其中, 1975—1989 年面积增加 8057.38hm², 年均增长率为 537.16hm²/a; 1990—1999 年面积增加 13845.17hm², 年均增长率为 1384.52hm²/a; 2000—2008 年面积增加 4097.76hm², 年均增长率为 455.31hm²/a。可以看出, 1990—1999 年流域风沙化土地增长最快, 增长率明显高于 1975—1989 年、2000—2008 年和 2000—2008 年。近 34 年来, 各宽谷段的风沙化土地面积均有所增加, 以马泉河宽谷增加

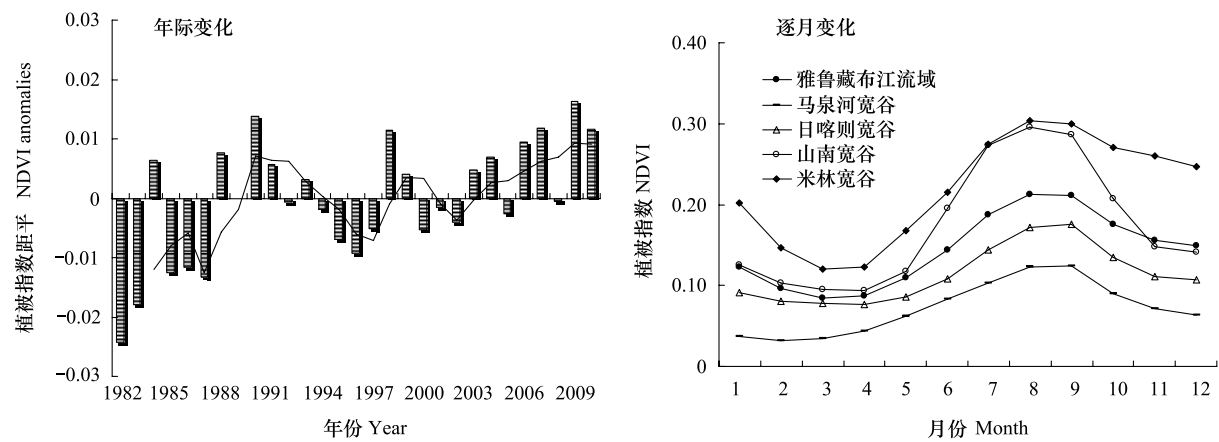


图2 雅鲁藏布江流域 1982—2010 年 NDVI 的动态变化

Fig.2 Variations of the annual and monthly mean NDVI in the Yarlung Zangbo River Basin from 1982 to 2010

幅度最大(达 11880.23hm²),日喀则宽谷和山南宽谷次之(分别为 8378.70hm²和 3162.12hm²),米林宽谷最小(2579.24hm²)。

表3 1975—2008 年雅鲁藏布江流域不同类型风沙化土地的动态变化

年份 Year	风沙化土地面积 Aeolian sandy land areas/hm ²					合计 Total/hm ²
	流动沙地	半固定沙地	固定沙地	半裸露砂砾地	裸露砂砾地	
1975	29 214.00	73 493.21	83 362.27	28 382.21	33 245.55	247 697.24
1990	31 146.64	75 776.79	85 685.53	29 160.56	33 985.10	255 754.62
2000	32 900.77	79 610.78	91 324.71	30 002.07	35 761.46	269 599.78
2008	33 618.48	80 810.58	91 788.45	30 043.34	37 436.68	273 697.54

3.3 流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的关联性分析

由表 4 可见,1982—2007 年雅鲁藏布江流域 NDVI 变化的母序列分别与其对应的 3 个子序列(风沙化土地、年降水量和平均气温)的关联序在不同宽谷段呈现较大的差异性。

表4 雅鲁藏布江流域 NDVI 与风沙化土地、气候因子(年降水量和平均气温)的关联度

地段 Valley section	风沙化土地 x_1 Aeolian sandy land	气候因子 Climatic factors	
		年降水量 x_2	平均气温 x_3
马泉河宽谷	0.567/ 0.604	0.538/ 0.687	0.624/ 0.689
日喀则宽谷	0.562/ 0.594	0.622/ 0.673	0.600/ 0.623
山南宽谷	0.600/ 0.549	0.642/ 0.603	0.629/ 0.599
米林宽谷	0.658/ 0.571	0.571/ 0.701	0.646/ 0.653

“/”符号前表示 1—12 月份母序列与子序列两者之间的关联度,“/”符号后表示 7—9 月份母序列与子序列两者之间的关联度

总体来说,江源区的马泉河宽谷 NDVI 的年变化(1—12 月)和植被生长季(7—9 月)变化均表现为受平均气温的影响最大,所不同的是,NDVI 年变化受风沙化土地扩展的影响较大、生长季变化受年降水量的影响较大;中部流域的日喀则宽谷和山南宽谷 NDVI 年变化和植被生长季变化均表现为受年降水量的影响最大,平均气温的影响次之,风沙化土地扩展的影响最小;下游的米林宽谷 NDVI 年变化和植被生长季的变化差异较大,NDVI 的年变化受风沙化土地扩展的影响最大,平均气温的影响次之,而植被生长季的变化受年降水量的影响最大,平均气温的影响次之。

就植被生长季 NDVI 的变化而言,马泉河宽谷主要受平均气温和年降水量的影响,日喀则宽谷和山南宽

谷主要受年降水量和平均气温的影响,米林宽谷主要受年降水量的影响。

4 讨论

青藏高原由于其特殊的地形以及热力动力作用,形成了从热带到寒带、从湿润到干旱等多种气候条件与植被类型^[19],一直是气候变化与植被演替研究的热点区域^[20-22]。雅鲁藏布江流域横贯青藏高原南部,海拔从 150—7000 多 m,植被类型和气候条件复杂多样,是研究青藏高原植被生态与气候变化响应的典型代表性区域。相关研究表明,气候变化是引发区域植被变化最主要的原因,NDVI 作为植物生长状态和植被空间分布的指示因子,在一定程度上代表地表植被覆盖情况^[23-24]。雅鲁藏布江流域 1982—2010 年 NDVI 的年际变化总体上呈波动式增长的趋势(图 2),与杨元合等^[21]、付新峰等^[24]和向波等^[25]研究指出的青藏高原大部分地区的植被指数呈不同程度的上升趋势相一致。

雅鲁藏布江流域 NDVI 的空间分布及其动态变化受气候条件和植被类型影响很大。就气候条件而言,江源区的马泉河宽谷年降水量和平均气温最低(分别为 131.63mm 和 1.47℃),下游的米林宽谷年降水量和平均气温最高(分别为 676.70mm 和 8.79℃),中部流域的山南宽谷和日喀则宽谷年降水量和平均气温介于前两者之间(表 1),流域年降水量和平均气温呈现自下游向中上游逐渐降低的趋势^[26]。结合流域 NDVI 呈现由下游至中上游逐渐降低的趋势(图 2)、以及风沙化土地总体上呈自下游向中上游逐渐增加的趋势(表 2),可以看出,流域内 NDVI 的空间变化趋势总体上与年降水量和平均气温相似,但与风沙化土地的变化趋势相反。流域中上游(马泉河宽谷、日喀则宽谷和山南宽谷)属半干旱干旱气候,其 NDVI 年变化主要受平均气温和年降水量的影响(表 4),与 Nicholson 等^[27-29]指出的 NDVI 与年降水量、平均气温具有较好的相关性的结论结果相一致。

就植被类型而言,马泉河宽谷的地带性植被基本为高山草原、高山草甸、高山灌丛和高山沼泽草甸等类型^[30],且以高寒草原和草甸生态系统为主,日喀则宽谷和山南宽谷的植被基本上属于同一植被型,即山地灌丛草原^[31]和人工林^[13-14],米林宽谷植被基本为高山森林。流域内不同宽谷 1982—2010 年 NDVI 的多年平均值统计表明(图 3),以森林植被为主的米林宽谷 NDVI 最大(0.219),其它依次为山地灌丛草原和人工林为主的山南宽谷(0.174)和日喀则宽谷(0.114),最小的为以高寒草原和草甸生态系统为主的马泉河宽谷(0.072)。不同宽谷 1982—2010 年 NDVI 年际变化趋势与流域 NDVI 年际变化相似(图 3),亦表现为总体上呈波动式增长的趋势但不显著(Mann-kendall 检验 Z 值分别为 0.654,0.470,0.708 和 0.638,均小于 1.28)。其中,马泉河宽谷、日喀则宽谷和山南宽谷的 NDVI 年际变化波动较大,1988—1993 年 NDVI 植被状况较好;米林宽谷 NDVI 年际变化波动较小,总体上表现为稳定增长状态。

气候变化和人类活动是当今土地沙漠化过程的两大驱动力^[2, 32-33],两者均可引起或加剧植被退化和土地沙漠化,并可反过来对区域气候造成一定的影响^[34-35]。许多学者认为西藏高原土地沙漠化的发生发展是在干旱多风的气候条件下,以缓慢的自然沙漠化过程为基础,现代人类不合理的生产、生活方式加速与加剧了这一过程^[11, 36]。研究结果表明,1982—2010 年雅鲁藏布江流域 NDVI 总体上呈不断增长的趋势,同时,1975—2008 年风沙化土地变化亦呈现缓慢增长的趋势。这表明,近年来流域内开展的大规模人工植树造林和草地围栏封育等生态保护与建设工作,使得流域内植被状况不断好转;但是,植被状况的好转并未能有效地遏制土地沙漠化的扩展,这可能与青藏高原生境胁迫条件下新营造的次生人工林和原生高寒植被生态系统的防风固沙功能较弱有关。加之,全球变暖和不合理的人为活动影响,流域内风沙化土地仍呈不断扩展的趋势。

5 结论

(1) 雅鲁藏布江流域 1982—2010 年 NDVI 的年际变化总体上呈波动式增长的趋势,1982—1990 年增长最快。流域 NDVI 峰值出现在 8 月份,其次为 9 月份;NDVI 最小值出现在 4 月份,3 月份次之。流域 NDVI 呈现由下游至中上游逐渐降低的趋势,以米林宽谷 NDVI 最大,马泉河宽谷最小。雅鲁藏布江流域植被生长季的起始时间自下游至中上游随海拔的增高,呈现不断延迟、生长期不断缩短的趋势。

(2) 雅鲁藏布江流域 2008 年共有风沙化土地 273 697.54hm²,呈现由江源区的马泉河宽谷向中下游的日

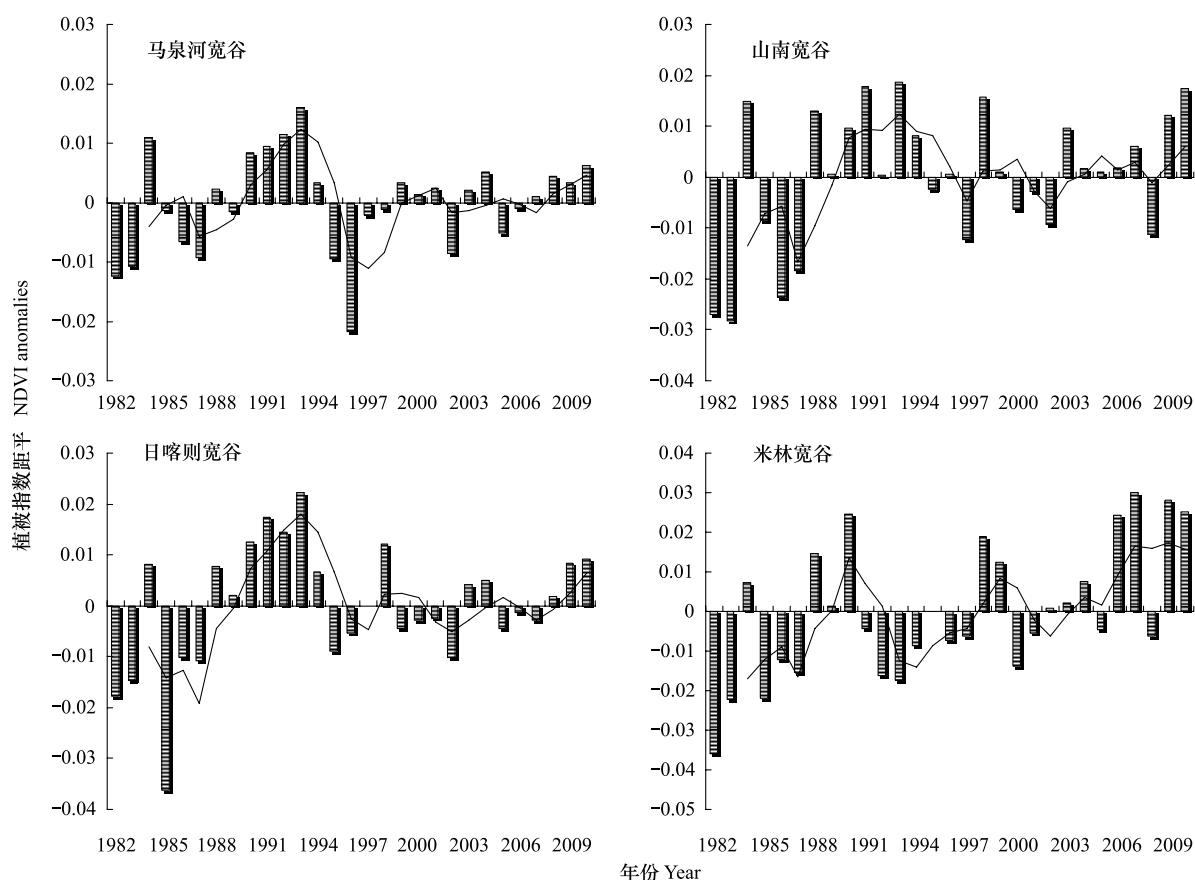


图3 雅鲁藏布江流域不同宽谷段 1982—2010 年 NDVI 的动态变化

Fig.3 Variations of the annual mean NDVI in different wide valley of the Yarlung Zangbo River Basin from 1982 to 2010

喀则宽谷、山南宽谷和米林宽谷递减的趋势。1975—2008 年流域风沙化土地呈缓慢增长趋势,以 1990—1999 年增长最快。就风沙化土地扩展对 NDVI 年变化的影响而言,自下游至江源区 NDVI 与风沙化土地变化的关联度呈不断减弱趋势。流域风沙化土地扩展对 NDVI 的影响主要表现为每年 10 月—翌年 6 月的非植被生长季节。

(3)雅鲁藏布流域 NDVI 植被生长季变化主要受平均气温和年降水量的影响。江源区 NDVI 年变化和植被生长季变化受平均气温的影响最大,中部流域受年降水量的影响最大;下游 NDVI 年变化受风沙化土地扩展的影响最大,而 NDVI 植被生长季变化受年降水量的影响最大。总体来讲,流域内不同宽谷段的气候条件和植被类型对 NDVI 的空间分布及其动态变化影响较大。

References:

- [1] Ho P. Rangeland degradation in north China revisited? A preliminary statistical analysis to validate non-equilibrium range ecology. *Journal of Development Studies*, 2001, 37: 99-133.
- [2] Xu D Y, Kang X W, Liu Z L, Zhuang D F, Pan J J. Assessing the relative role of climate change and human activities in sandy desertification of Ordos Region, China. *Science in China: Series D*, 2009, 39(4): 516-528.
- [3] Yuan L, Du J, Zhou K S. NDVI variations and its relation with main climatic factors in the watershed of Nujiang River in Tibetan Autonomous Region. *Pratacultural Science*, 2010, 27(8): 52-58.
- [4] Weiss J L, Gutzler D S, Allred Coonrod J E, Dahmet C N. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57(4): 507-534.
- [5] Song Y, Ma M G. Variation of AVHRR NDVI and its relationship with climate in Chinese arid and cold regions. *Journal of Remote Sensing*. 2008, 12(3): 504.

- [6] Piao S L, Fang J Y. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 119-125.
- [7] Wei W S. The despondence and feedback of modern sand deserts to climate change. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(6): 636-641.
- [8] Bai M L, Shen J G, Pei H, Hao R Q. Assessment of climate change impact on desertification. *Climatic and Environmental Research*, 2002, 7(4): 457-464.
- [9] Li H D, Shen W S, Zou C X, Yuan L. Characteristics of soil erosion in the source area of the Yarlung Zangbo River in China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(1): 25-30.
- [10] Yang Y C. Aeolian landform on the banks of river valley-case study in Yalutsangpo River Valley. *Journal of Desert Research*, 1984, 4(3): 12-16.
- [11] Dong Y X, Li S, Dong, G R. Tentative study on the status and the causes of desertification in Yarlung Zangbo River basin. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(1), 35-41.
- [12] Shen W S, Li H D, Sun M, Yan S G, Zhang Q. Evolution of aeolian sand in the source region of China's Yarlung Zangbo river//Edited by George A. Sorial, Jihua Hong. *Environmental Science & Technology 2010 (II)*, American Science Press, 2010: 344-351.
- [13] Li H D, Shen W S, Zou C X, Sun M, She G H. Spatial distribution and evolution of aeolian sandy land in the areas around Lhasa Airport (Tibet, China) since 1990. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5716-5727.
- [14] Li H D, Fang Y, Shen W S, Sun M, She G H. Spatial distribution and evolution of aeolian sandy land in the areas around Shigatse Peace Airport of Tibet, China since 1975. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(7): 1148-1155.
- [15] Gao D Y, Zou H, Wang W. Influence of water vapor pass along the Yarlung Zangbo River on precipitation. *Mountain Research*, 1985, 3(4): 239-249.
- [16] Shen W S, Ji D, Zhang H, Yan S G, Li H D, Lin N F. The Response Relation between Climate Change and NDVI over the Qinghai-Tibet plateau. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011, (59): 2216-2222.
- [17] Ding M J, Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F, Yang X C. Seasonal Time Lag Response of NDVI to Temperature and Precipitation Change and Its Spatial Characteristics in Tibetan Plateau. *Progress in geography*, 2010, 29(4): 507-512.
- [18] Chen X Q, Tan Z J, Schwartz M D, Xu C X. Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China. *International Journal of Biometeorology*, 2004, 44: 97-101.
- [19] Mo S G, Zhang B P, Cheng W M, TAN Y, Xiao F, Wu H Z. Major environmental effects of the Tibetan plateau. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 88-96.
- [20] Yang W, Yang L, Merchant J W. An assessment of AVHRR NDVI-ecological parameters relations in Nebraska, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18: 2161-2180.
- [21] Li H X, Liu G H, Fu B J. Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5495-5504.
- [22] Yang Y H, Piao S L. Variations in grassland vegetation cover in relation to climatic factors on the Tibetan Plateau. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 1-8.
- [23] Wang N, Li D L, Zhang J. Research advance of surface temperature change over Tibetan Plateau. *Journal of Arid Meteorology*, 2010, 28(3): 265-269.
- [24] Fu X F, Yang S T, Liu C M. Changes of NDVI and their relations with principal climatic factors in the Yarlung Zangbo River Basin. *Geographical Research*, 2007, 26(1): 60-66.
- [25] Xiang B, Miu Q L, Gao Q X. Study on the relationship between climate change and vegetation index on Tibetan Plateau. *Journal of Sichuan Meteorology*, 2001, 75(1): 29-36.
- [26] Li H D. Remote sensing monitoring and vegetation restoration experiments on aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River basin on the Tibetan Plateau. *Nanjing Forestry University*, 2012: 27-28.
- [27] Nicholson S E, Farrar T J. Influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. 1. NDVI response to rainfall. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 50(2): 107-120.
- [28] Milich L, Weiss E. GAC NDVI images; relationship to rainfall and potential evaporation in the grazing lands of The Gourma (northern Sahel) and in the croplands of the Niger-Nigeria border (Southern Sahel). *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(2): 261-280.
- [29] Camberlin P, Martiny N, Philippon N, Richard Y. Determinants of the interannual relationships between remote sensed photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 106(2): 199-216.
- [30] He P, Guo K, Gao J X, Shi P J, Zhang Y Z, Zhuang H X. Vegetation Types and Their Geographic Distribution in the Source Area of the Yarlung Zangbo. *Journal of Mountain Research*, 2005, 23(3): 167-173.
- [31] Shen W S. Classification and sorting of the psammophytic vegetation in the middle Yarlung Zangbo River Basin, Tibet. *Journal of Desert Research*,

1997, 17(3): 269-273.

- [32] Su Z Z, Lu Q, Wu B, Ji H L, Dong G R. Potential Impact of Climatic Change and Human Activities on Desertification in China. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(3): 329-335.
- [33] Yan C Z, Song X, Zhou Y M, Duan H C, Li S. Assessment of aeolian desertification trends from 1975's to 2005's in the watershed of the Longyangxia Reservoir in the upper reaches of China's Yellow River. *Geomorphology*, 2009, 112: 205-211.
- [34] Zhang J Y, Dong W J, Fu C B. Impact of land surface degradation in northern China and southern Mongolia on regional climate. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(1): 75-81.
- [35] Fan G, Cheng G D. Interactions between Physiological Process of the Tibetan Plateau Vegetation and CO₂ Concentration and Climate Change. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2002, 27(4): 509-518.
- [36] Shen W S, Li H D, Sun M, Jiang. Dynamics of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China from 1975 to 2008. *Global and Planetary Change*, 2012, (86/87): 37-44.

参考文献:

- [2] 许端阳, 康相武, 刘志丽, 刘志丽, 庄大方. 气候变化和人类活动在鄂尔多斯地区沙漠化过程中的相对作用研究. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2009, 39(4): 516-528.
- [3] 袁雷, 杜军, 周刊社. 西藏怒江河谷流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系. *草业科学*, 2010, 27(8): 52-58.
- [5] 宋怡, 马明国. 基于 GIMSAVHRR NDVI 数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系. *遥感学报*, 2008, 12(3): 499-504.
- [6] 朴世龙, 方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异. *地理学报*, 2003, 58(1): 119-125.
- [7] 魏文寿. 现代沙漠对气候变化的响应与反馈: 以古尔班通古特沙漠为例. *科学通报*, 2000, 45(6): 636-641.
- [8] 白美兰, 沈建国, 裴浩, 郝润全. 气候变化对沙漠化影响的评估. *气候与环境研究*, 2002, 7(4): 457-464.
- [9] 李海东, 沈渭寿, 邹长新, 袁磊. 雅鲁藏布江源区土壤侵蚀特征. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(1): 25-30.
- [10] 杨逸畴. 雅鲁藏布江河谷风沙地貌的初步观察. *中国沙漠*, 1984, 4(3): 12-16.
- [11] 董玉祥, 李森, 董光荣. 雅鲁藏布江流域土地沙漠化现状与成因初步研究—兼论人为因素在沙漠化中的作用. *地理科学*, 1999, 19(1): 35-41.
- [13] 李海东, 沈渭寿, 邹长新, 孙明, 余光辉. 西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势. *生态学报*, 2010, 30(21): 5716-5727.
- [14] 李海东, 方颖, 沈渭寿, 孙明, 余光辉. 西藏日喀则机场周边风沙源空间分布及近 34 年的演变趋势. *自然资源学报*, 2011, 26(7): 1148-1155.
- [15] 高登义, 邹捍, 王维. 雅鲁藏布江水汽通道对降水的影响. *山地研究*, 1985, 3(4): 239-249.
- [17] 丁明军, 张德铨, 刘林山, 王兆峰. 1982—2009 年青藏高原草地覆盖度时空变化特征. *自然资源学报*, 2010, 25(12): 2114-2122.
- [19] 莫申国, 张百平, 程维明, 谭红, 肖飞, 武红智. 青藏高原的主要环境效应. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 88-96.
- [20] 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究. *生态学报*, 2011, 31(19): 5495-5504.
- [21] 杨元合, 朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 1-8.
- [22] 王楠, 李栋梁, 张杰. 青藏高原气温变化的研究进展. *干旱气象*, 2010, 28(3): 265-269.
- [24] 付新峰, 杨胜天, 刘昌明. 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系. *地理研究*, 2007, 26(1): 60-66.
- [25] 向波, 缪启龙, 高庆先. 青藏高原气候变化与植被指数的关系研究. *四川气象*, 2001, 75(1): 29-36.
- [26] 李海东. 雅鲁藏布江流域风沙化土地遥感监测与植被恢复研究. 南京林业大学, 2012: 27-28.
- [30] 何萍, 郭柯, 高吉喜, 史培军, 张永泽, 庄红翔. 雅鲁藏布江源头区的植被及其地理分布特征. *山地学报*, 2005, 23(3): 167-173.
- [31] 沈渭寿. 雅鲁藏布江中游沙地植被的分类与排序. *中国沙漠*, 1997, 17(3): 269-273.
- [32] 苏志珠, 卢琦, 吴波, 靳鹤龄, 董光荣. 气候变化和人类活动对我国荒漠化的可能影响. *中国沙漠*, 2006, 26(3): 329-335.
- [35] 范广洲, 程国栋. 影响青藏高原植被生理过程与大气 CO₂ 浓度及气候变化的相互作用. *大气科学*, 2002, 27(4): 509-518.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 丁 平

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元