

1982—2006 年黄南州 NDVI 年际变化及其与气候的关系

杜加强, 舒俭民, 张林波

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 在小尺度上研究植被对气候变化的响应, 辨析起关键作用的气候因子, 对于区域植被恢复与生态重建具有重要指导意义。利用 NASA GIMMS 1982—2006 年的 NDVI 数据集和黄南州 4 个气象站的气候资料, 计算了 NDVI 和气候的变化趋势及其相关系数, 探讨了影响 NDVI 的主要气候因子。结果表明, 尖扎县 NDVI 略有下降, 同仁县和泽库县下降趋势显著, 河南县呈增加趋势; 气候向干暖化方向发展, 4 县平均的气温倾向率高达 $0.67\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 同仁县降水量略有减少, 其它 3 县降水量快速减少, 降水量倾向率平均为 $24.82\text{ mm}/10\text{ a}$ 。尖扎县、同仁县 NDVI 与降水量和气温具有较好的相关性, 与降水量呈正相关, 与气温呈负相关; 泽库县 NDVI 主要受蒸发量、冰雹期和无霜期共同作用; 河南县 NDVI 主要与日照时数正相关。建议植被恢复时, 尖扎县和同仁县应注重保湿工作; 在小尺度上开展类似研究针对性更强, 对生态建设的指导意义显著。

关键词: 植被指数; 气温; 降水量; 相关分析; 黄南藏族自治州

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0229-06

中图分类号: P463, Q141

Relationship Between NDVI and Climate Factors in Huangnan City in Recent 25 Years

DU Jia-qiang, SHU Jian-min, ZHANG Lin-bo

(Chinese Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: At small spatial scale, the study on relationship of vegetation with climate change to find key climatic factor affecting vegetation changes has important significance for vegetation reconstruction and environment restoration. The temporal evolution of vegetation and the dynamic changes of climate were analyzed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from the NASA/AVHRR sensor (1982—2006) and corresponding meteorological data at four stations in Huangnan Tibetan Autonomous Prefecture. Further, the relationships between the NDVI and climatic factors were calculated. Results indicated that from 1982 to 2006, the NDVI in Jianzha County slightly decreased. In Tongren County and Zeku County, the trend of decline was significant, while in Henan Mongolian Autonomous County, the NDVI increased. The drier and warmer tendency was very obvious and the air temperature averaged over the four counties remarkably increased by $0.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade over the past 25 years. Precipitation in Tongren County slightly decreased, while in other counties, rapidly decreased, with an average of 24.82 mm per decade. In Jianzha County and Tongren County, the most important climatic factors influencing the variation of the NDVI were precipitation and temperature; the relation between the NDVI and precipitation was positive; and the correspondence between the NDVI and temperature was contrary. In Zeku County, the NDVI was jointly affected by pan evaporation, hail weather process, and frostfree days. The increased NDVI was primarily caused by increase of sun hours in Henan County. The climate warming was of advantage to the NDVI growing in Zeku County and Henan County. In the process of vegetation restoration, Jianzha County and Tongren County should focus on moisture insulation works. For the similar studies at small scale, the results have great significance as well.

Keywords: NDVI; temperature; precipitation; correlation analysis; Huangnan Tibetan Autonomous Prefecture

收稿日期: 2009-11-17

修回日期: 2010-01-05

资助项目: 中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项“黄河源区生态系统水源涵养功能与气候变化、生态退化的关系研究”(2009KYYW10)

作者简介: 杜加强(1980—), 男(汉族), 山东省费县人, 助理研究员, 博士, 主要从事区域生态方面的研究。E-mail: dujiaqiang@mail.bnu.edu.cn.

植被是陆地生态系统最重要的组成部分, 植被变化能够反映陆地生态系统的状况。陆地生态系统对全球变化的响应, 特别是地表植被对气候变化的响应已经成为学术界研究的热点。归一化植被指数 (NDVI) 是公认的陆地植被的最佳表征指标^[1-2], 同时具有时空上的连续性, 得到了大量应用。植被覆盖变化主要是地球内部作用(土壤母质、土壤类型等)和外部作用(气温、降水量、生产活动等)综合作用的结果^[2]。地球内部作用相对较为稳定, 短期内不会发生较大变化, 地表植被的变化主要受气候变化、人类活动等外部作用的影响。目前, 国内外学者对 NDVI 与气候关系的研究大多数着眼于全球、国家或大区域空间尺度^[3-9], 在较小区域尺度上的研究相对较少。宏观尺度上的研究成果, 为探讨植被覆盖与气候变化之间的作用规律做出了重要贡献, 但其研究结论对小区域植被建设的指导意义不显著。地球表面的高度异质性^[4, 8]、影响因素的多样性、影响过程的复杂性, 使得陆地生态系统对全球变化的响应也具有高度的空间异质性。研究的空间尺度过大, 可能会掩盖小区域之间的差异, 使得不同的研究之间结论不完全一致^[6, 10-11]。适当地缩小研究空间范围可以减弱空间异质性、降低不确定性^[12], 从而为指定区域的植被重建和生态恢复提供更有效的建议^[13]。

黄南藏族自治州位于黄河源区向黄河上游地区的过渡地带, 面积为 $1.88 \times 10^4 \text{ km}^2$, 在同类研究中范围相对较小。黄南州南部属于三江源自然保护区, 北部则倾向于黄河上游谷地地区, 在区域生态上占有重要地位。研究该区域植被变化及其与气候因子的关系, 对于指导该区域生态建设、构筑黄河中下游生态安全屏障具有重要作用。本研究利用 1982—2006 年 NDVI 数据集和黄南州 4 个气象站的气候资料, 分析黄南州不同区域的植被、气候的年际变化趋势及其关系, 旨在了解不同气候特点下, 植被对气候变化的响应, 为该区的植被重建、生态恢复提供参考依据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

NDVI 数据来自 NASA 戈达德航天中心全球监

测与模型研究组 GIMMS 数据集, 资料时间跨度为 1982 年 1 月至 2006 年 12 月, 空间分辨率为 8 km, 时间分辨率是 15 d。GIMMS NDVI 数据具有较高的精度和质量^[6, 14], 保障了数据的有效性。气象资料包括黄南州所属 4 县的 4 个气象站的年值数据集, 来源于黄南州气象局以及黄南年鉴^[15-16]、黄南州志^[17]等相关资料。4 个气象站分别位于 4 县境内中部地带, 以此来代表 4 县的气候特点, 具有一定的代表性。4 个气象站周边植被除尖扎县、同仁县附近有极少量耕地分布外, 主要以高山草甸类草地为主。

1.2 研究区概况

黄南州地处青海省东南部地区, 地理坐标为 $100^{\circ}34' - 102^{\circ}28' \text{ E}$, $34^{\circ}04' - 36^{\circ}10' \text{ N}$, 位于青藏高原向黄土高原过渡带, 属于生态环境脆弱区^[7, 18], 兼有高寒生态系统和半干旱生态系统的特征。

全州辖同仁县、尖扎县、泽库县和河南蒙古族自治县 4 县, 地势南高北低, 南部的河南县、泽库县大部分地区海拔在 3 500 m 以上, 北部同仁县、尖扎县海拔一般超过 2 500 m。境内草场资源丰富, 草地面积约占 85%。南部河南蒙古族自治县、泽库县为纯牧业县, 北部同仁县、尖扎县则为半农半牧区, 耕地沿黄河、隆务河等河谷呈条带状分布。

由于自然条件严酷、气候恶劣, 研究区生态系统结构相对简单, 以草地生态系统为主, 系统内物质、能量和信息流动缓慢, 生态系统十分脆弱和敏感。研究区是黄河源区的重要组成部分, 区域生态环境是否可持续发展, 将影响到黄河中下游广大地区。

由于深居欧亚大陆腹地, 受季风、西风带和高原天气系统的共同影响, 加之地形、海拔等因素复杂, 区域内形成了多样的气候特征, 气候差异显著。4 县 1978—2007 年气候因子的平均值见表 1。黄南州北部与南部的气候特点存在较大差别。尖扎县和同仁县降水量相对较少, 年均气温较高, 风速较小, 相对湿度较低, 而蒸发量较大, 无霜期较长, 冰雹期短; 泽库县和河南县则降水量较大、气温较低, 风速较大, 湿度较高, 蒸发量较低, 无霜期非常短, 冰雹期通常较长。北部属于高原温带干旱气候小区, 南部属于高原亚寒带湿润气候小区。

表 1 黄南州所属 4 县气候因子的近 30 a 平均值

县 区	降水 量/mm	平均气 温/°C	最低气 温/°C	最高气 温/°C	日照时 数/h	平均风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	相对湿 度/%	蒸发量/ mm	无霜期/ d	冰雹期/ d
尖扎县	356.76	8.23	2.25	15.70	2 679.95	1.63	49.90	1 636.09	177.40	1.30
同仁县	409.06	5.95	0.29	13.42	2 519.54	1.53	54.64	1 390.99	138.40	3.42
泽库县	477.48	-1.41	-7.83	6.74	2 620.47	2.90	62.48	1 236.21	16.88	8.66
河南县	566.07	-0.14	-7.10	8.61	2 514.74	2.13	64.47	1 247.23	17.16	9.18

1.3 数据处理与研究方法

采用国际通用的最大值合成法 MVC 对 GIMMS NDVI 的半月数据进行最大化处理, 进一步消除云、大气、太阳高度角等因素的干扰, 获得最大化的月 NDVI。在此基础上再次采用 MVC 方法获得最大化的年 NDVI 数据集, 以此代表年覆盖状况。一般认为 10 km 是气象站点数据的有效范围^[1,19]。分别以 4 个气象站所在的像元为中心, 求 3×3 个像元的平均代表该站点的 NDVI 值。

采用气候倾向率表征年际间的气候变化趋势, NDVI 的变化趋势则采用 NDVI 年均变化量、变化率来表征^[20]。利用 NDVI 与气候因子的线性相关系数判断植被变化与气候因子作用关系的性质和强度, 即相关系数为正值表示气候因子的变化有利于 NDVI 增加, 为负值则表示气候变化抑制植被生长, 并按相关系数大小进行趋势显著性判定。降水利用率一般用来评价干旱半干旱地区的水分利用情况, 被认为是评价区域土地退化的有力工具之一^[21-22], 因此采用降水利用率评价黄南州土地退化状况。

2 研究结果

2.1 NDVI 的变化规律

2.1.1 区域 NDVI 的年内变化 黄南州 4 县 12 个月 25 a 的平均 NDVI 见图 1。由图 1 可知, 研究区境内的植被生长呈现单峰型, 年最大值出现在 7—8 月之间。尖扎县、同仁县、泽库县和河南县的 NDVI 年最大值分别为 0.51, 0.62, 0.67 和 0.73; 说明研究区从北向南植被覆盖度呈增加趋势, 河南县植被覆盖状况最好, 尖扎县最差。黄南州草地从 4 月开始明显增加, 5 月后迅速增加, 7—8 月达到最高, 然后开始迅速下降, 至 11 月 NDVI 值降低到 4 月明显增加前的水平。黄南州植被的生长季集中在 4—10 月, 且 4 县基本一致。

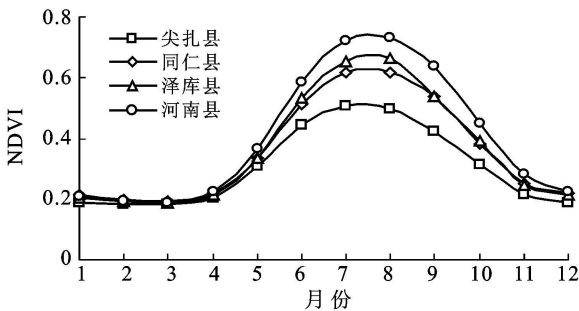


图 1 黄南州所属 4 县的 NDVI 年内变化

2.1.2 区域 NDVI 的年际变化 以区域平均值代表黄南州所属各县的植被覆盖情况, 由此得到 NDVI 的年际变化趋势(图 2)。4 县当中, 河南县的 NDVI 呈

缓慢增加趋势, 其它 3 县 NDVI 呈波动中减少的趋势。将 NDVI 与年份进行最小二乘法线性拟合, 获得 NDVI 的变化量及变化率。结果表明, 尖扎县 NDVI 的减少率和减少量分别为 0.03 %/a 和 0.000 1/a; 同仁县的减少率和减少量分别为 0.17 %/a 和 0.001 1/a; 泽库县的减少率和减少量分别为 0.10 %/a 和 0.000 7/a; 而河南县的增长率和增长量分别为 0.06 %/a 和 0.000 5/a。同仁县年 NDVI 减少幅度较大, 泽库次之, 尖扎县最小, 河南县增加趋势明显。

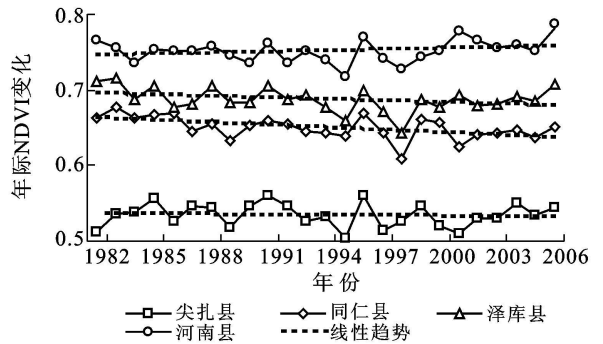


图 2 黄南州所属 4 县 NDVI 的年际变化

2.2 气候变化趋势

分别计算黄南州 4 县近 25 a 来各气候因子的气候倾向率, 结果见表 2。4 县除平均风速变化趋势不完全相同外, 其它气候因子的变化趋势一致。降水量均呈减少趋势, 河南县减少量最大, 为 -25.82 mm/10 a; 同仁县减少量最小, 为 -6.94 mm/10 a; 尖扎县和泽库县的减少趋势略小于河南县, 呈明显减少的趋势。4 县平均气温呈现上升趋势, 同仁县上升趋势明显, 为 0.81 °C/10 a, 泽库县增加量最低, 为 0.57 °C/10 a; 4 县增温幅度高于全国和青海省的平均水平^[23-24]。4 县最低气温和最高气温也呈现显著上升的趋势, 同仁县最高气温和最低气温的升高幅度均为最高, 分别达到 0.82 和 0.93 °C/10 a; 尖扎县最低气温的增高趋势最小, 也达到了 0.42 °C/10 a; 尽管泽库县最高气温的升高趋势最小, 但也高达 0.62 °C/10 a。4 县的相对湿度均呈减小趋势, 而蒸发量则普遍呈快速增强趋势, 同仁县相对湿度的减小幅度最大, 而泽库县的蒸发量增加幅度最大。随着气温的升高, 4 县无霜期均呈现增多趋势, 同仁县增多幅度最大, 为 3.58 d/10 a, 河南县最低, 为 1.28 d/10 a。除尖扎县风速有所增加外, 其它 3 县的风速呈下降趋势。日照时数的变化较为复杂, 北部的尖扎县和南部的河南县呈快速增加趋势, 分别为 32.98 和 25.75 h/10 a; 而中部的同仁县和泽库县则呈略有减小的趋势。

总体上,黄南州 4 县的气候呈现降水量快速下降,气温迅速增高,湿度减小,蒸发量增大的变化趋势,即向着干旱、温暖的方向发展。4 县年均气温的

平均增长率达到 $0.67\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 年均降水量平均减少 $20.35\text{ mm}/10\text{ a}$, 除同仁县外的另外 3 县降水量平均减少 $24.82\text{ mm}/10\text{ a}$ 。

表 2 黄南州所属 4 县各气候因子的气候倾向率

县 区	降水量/ [mm· (10 a) ⁻¹]	平均气温/ [$^{\circ}\text{C}/$ (10 a) ⁻¹]	最低气温/ [$^{\circ}\text{C}/$ (10 a) ⁻¹]	最高气温/ [$^{\circ}\text{C}/$ (10 a) ⁻¹]	日照时数/ [h· (10 a) ⁻¹]	平均风速/ [m·(s ⁻¹)· (10 a) ⁻¹]	相对湿度/ [%· (10 a) ⁻¹]	蒸发量/ [mm· (10 a) ⁻¹]	无霜期/ [d· (10 a) ⁻¹]
尖扎县	- 25.34	0.61	0.42	0.76	32.98	0.14	- 1.39	31.25	2.78
同仁县	- 6.94	0.81	0.93	0.82	- 2.80	- 0.05	- 2.68	38.65	3.58
泽库县	- 23.31	0.57	0.57	0.68	- 6.35	- 0.20	- 0.64	50.22	2.41
河南县	- 25.82	0.67	0.50	0.75	25.75	- 0.16	- 1.31	23.58	1.28

2.3 NDVI 与气候因子的关系

气候系统内任何因子的变化,都会导致地表植被及生态系统相应地发生适应性调整^[25]。将气象站周围 9 栅格 NDVI 均值与各气候因子进行 PEARSON 线性相关性分析,分别以 $P < 0.05$, $P < 0.02$, $P < 0.01$ 为是否相关、明显相关和显著相关的判别标准。结果表明,尖扎县 NDVI 与蒸发量呈明显负相关,与降雨量呈正相关;同仁县 NDVI 与平均气温、最低气温、和最高气温呈显著负相关,与平均风速呈明显正相关;泽库县 NDVI 与蒸发量呈显著负相关,与平均风速呈明显负相关,与冰雹期和无霜期呈负相关;河南县 NDVI 则与日照时数呈正相关。

2.4 土地退化状况分析

降水利用率对土地退化的指示作用明显^[22],而土地退化的本质表现是植被生产力的降低^[26]。使用

生长季累积 NDVI 与生长季降水量来计算降水利用率。4 县的水分利用状况(图 3a)呈剧烈波动中微弱增加的趋势,土地退化状况没有明显的改善,植被的退化仍然存在,处于不稳定状态。降水利用率与降水量的关系(图 3b)与黄土高原的有关研究相同^[19],降水利用率随降水量的增加而减小,与另外一些研究结果不一致^[19,22]。原因可能是由于水分利用率与供水量的关系并非单一的增值曲线^[27],而是呈凸抛物线型,降水利用率起初随降水量增加而增加,在降水量增加到一定水平时反而呈不增加或增幅极小。之所以出现不同的研究结果,可能是由于不同研究的降水量分别位于各自拐点的两侧。另外一个可能的原因是由于黄南州和黄土高原地形陡峭,地表径流强烈,降水量的增加并没有显著增加植被可利用的水量^[26]。

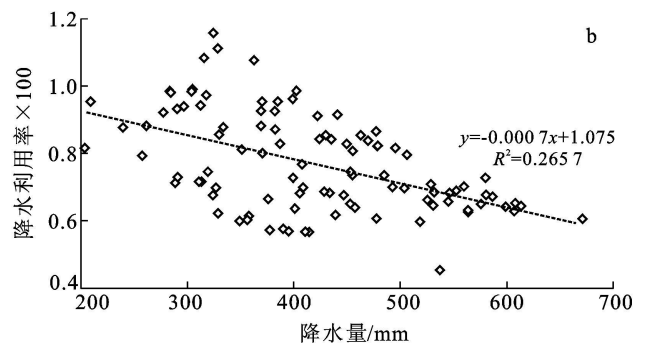
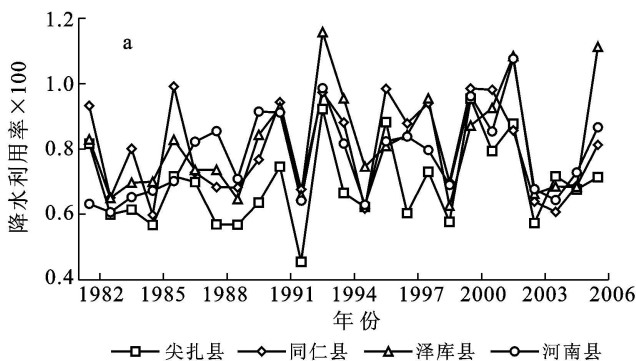


图 3 降水利用效率年际变化(a)及其与降水量的关系(b)

3 讨论

气象站周边 9 栅格 NDVI 与区域变化趋势可能不同,因此在讨论相关关系之前首先计算气象站周边 NDVI 的变化情况。尖扎县气象站周边 NDVI 减少量为 $-0.0003/\text{a}$, 与年份的相关系数仅为 -0.06 ($P > 0.1$), 表明 25 a 来尖扎县气象站附近植被覆盖变

化不明显,呈微弱减少的趋势。相关系数最高的气候因子依次是蒸发量和降水量。尖扎县海拔相对较低,平均气温在 4 县中最高(表 1), 热量资源相对丰富;而降水量较低、蒸发量较高、相对湿度较低(表 1), 水分条件不足,属于半干旱地区。计算结果也表明,尖扎县植被的年际波动主要受水分条件的影响,尤其是蒸发量。随着尖扎县气温的进一步升高、日照时数的增

加、降水量的进一步减少以及蒸发量的增大(表2),水分条件对植被的制约作用将更加突出。

同仁县气象站周边 NDVI 的减少趋势较为显著,减少量为 $-0.0028/a$,与年份显著负相关($P < 0.005$)。NDVI 与气温呈显著负相关,与平均风速呈明显正相关。在水分条件充足的情况下,温度的适当升高有利于植被的生长;在水分不足的情况下,温度的升高则可能抑制植被的生长。同仁县则属于后一种情况,近 25 a 平均降水量为 398.64 mm,属于半干旱地区。平均气温、最低气温、最高气温的普遍、快速升高(表2),使得蒸发量增大,土壤含水量减少,不利于植被的生长^[7-8]。现有研究认为^[28],平均风速增大对植被生长的促进作用可能是有利于干旱环境下植物种子的传播。

泽库县气象站周边的 NDVI 呈减少趋势,减少量为 $-0.0015/a$,与年份的相关系数为 0.4208($P < 0.05$)。由表2可知,泽库县的气候变化特点是降水量减少、蒸发量快速增大,这种变化趋势使得土壤向干燥化方向发展,不利于植被的生长。相关分析也显示,NDVI 减少趋势与蒸发量快速增大的关系最为密切,而蒸发量的增大则可能是在气温升高、无霜期天数增多等因素的共同作用下形成的。NDVI 与冰雹期和无霜期的负相关关系,也在某种程度上反映了冰雹对植被生长的危害以及高寒植被对无霜期增长的不适应。

河南县气象站周边 NDVI 呈增加趋势,增加量为 $0.0009/a$,与年份的相关系数为 0.2928($P > 0.1$)。尽管河南县降水量减少趋势明显(表2),但由于其降水总量相对较为丰富,降水量减少对植被生长的影响尚未得以体现($P > 0.1$)。气候因子中,NDVI 仅与日照时数的相关系数具有统计意义。4县中,河南县平均日照时数最低(表1),光照不足可能是牧草生长发育受到抑制的原因之一。

从年际尺度上看,尖扎县的降水量减少趋势明显,植被覆盖主要受到水分条件的限制;在年均降水量基本平稳的情况下,同仁县的植被生长则主要受到温度全面升高的影响;泽库县 NDVI 的年际变化则与多种气候因素关系密切,主要影响因素是呈快速增加趋势的蒸发量;4县中,只有河南县的植被覆盖呈增加趋势,受日照时数的影响较大。

4 结论

(1) 1982—2006年尖扎县植被覆盖略有降低,同仁县和泽库县植被 NDVI 下降趋势显著;河南县植被覆盖呈增加趋势;区域植被水分利用状况不稳定,土

地退化状况没有明显改善。

(2) 黄南州气候向着干暖化方向发展,尖扎县、泽库县和河南县降水量快速减少,4县的最低气温、平均气温和最高气温呈现普遍快速升高的趋势,蒸发量快速增加,相对湿度降低。

(3) 不同的气候特点下,植被对气候变化的响应不同。尖扎县、同仁县的植被生长主要受水分条件的制约,气温升高对植被生长有负作用;而泽库县则受到蒸发量、冰雹期和无霜期的综合作用;河南县植被覆盖变化的主要气候因子是日照时数,日照时数的增加有利于植被覆盖的提高。

(4) 建议在进行生态建设时,尖扎县和同仁县应注重增水保湿工作。在相对较小的空间尺度上开展 NDVI 与气候变化关系研究,针对性更强,结论具有指导意义。

[参 考 文 献]

- [1] Wang J, Rich P M, Pricek P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(11): 2345-2364.
- [2] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系: 基于 NOAA 时间序列数据分析 [J]. *遥感学报*, 1998, 2(3): 204-210.
- [3] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. *Science*, 2003, 300(5625): 1560-1563.
- [4] 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 [J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 119-125.
- [5] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983—1992年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析 [J]. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 716-720.
- [6] 郭铤, 朱燕君, 王介民, 等. 近 22 年来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系 [J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 319-327.
- [7] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响 [J]. *中国科学(D 辑)*, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [8] 宋怡, 马明国. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系 [J]. *遥感学报*, 2008, 12(3): 499-505.
- [9] Wang J, Meng J J, Cai Y L. Assessing vegetation dynamics impacted by climate change in the southwestern karst region of China with AVHRR NDVI and AVHRR NPP time-series [J]. *Environmental Geology*, 2008, 54(6): 1185-1195.

- [10] 刘绿柳, 肖风劲. 黄河流域植被年 NDVI 与温度、降水关系的时空变化[J]. 生态学杂志, 2006, 25(5): 477-481.
- [11] 李本纲, 陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 898-902.
- [12] 李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 379-382.
- [13] 刘德义, 傅宁, 范锦龙. 近 20 年天津地区植被变化及其对气候变化的响应[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 798-801.
- [14] Tucker C J, Pinzon J E, Slayback D A, et al. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset, compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(20): 4485-4498.
- [15] 黄南藏族自治州年鉴编纂委员会. 黄南年鉴(1991—2000)[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2005.
- [16] 黄南藏族自治州年鉴编纂委员会. 黄南年鉴(2001—2005)[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2008.
- [17] 黄南州地方志办公室. 黄南州志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1999.
- [18] 梁四海, 陈江, 金晓媚, 等. 近 21 年青藏高原植被覆盖变化规律[J]. 地球科学进展, 2007, 22(1): 33-40.
- [19] 齐清, 王天明, 寇晓均, 等. 泾河流域植被覆盖时空演变及其与降水的关系[J]. 植物生态学报, 2009, 33(2): 246-253.
- [20] 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[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 1-8.
- [21] Prince S D, Colstoun E B, Kravitz L L. Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification[J]. Global Change Biology, 1998, 4(4): 359-374.
- [22] 高志海, 李增元, 丁国栋, 等. 基于植被降水利用效率的荒漠化遥感评价方法[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 37-41.
- [23] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.
- [24] 汪青春, 秦宁生, 唐红玉, 等. 青海高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 234-239.
- [25] 徐兴奎, 陈红, Levy J K. 气候变暖背景下青藏高原植被覆盖特征的时空变化及其成因分析[J]. 科学通报, 2008, 53(4): 456-462.
- [26] Wessels K J, Prince S D, Malherbe J, et al. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability: A case study in South Africa[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 68: 271-297.
- [27] 黄占斌, 山仑. 水分利用效率及其生理生态机理研究进展[J]. 生态农业研究, 1998, 6(4): 19-23.
- [28] 孙艳玲, 延晓冬, 谢德体. 基于因子分析方法的中国植被 NDVI 与气候关系研究[J]. 山地学报, 2007, 25(1): 54-63.

(上接第 228 页)

- [30] 苏维词, 杨华, 赵纯勇, 等. 三峡库区(重庆段)涨落带土地资源的开发利用模式初探[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 326-332.
- [31] 赵纯勇, 杨华, 苏维词. 三峡重庆库区消落区生态环境基本特征与开发利用对策探讨[J]. 中国发展, 2004(4): 19-23.
- [32] 孙海兵. 三峡库区消落区农业利用初探[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11168-11169.
- [33] 陈婷. 三峡库区消落带存在的问题及其可持续发展研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 35(19): 9091-9092.
- [34] 梁福庆. 长江三峡水库消落区保护利用研究[J]. 湿地科学, 2008, 6(2): 326-329.
- [35] 谢红勇, 扈志洪. 三峡库区消落带生态重建原则及模式研究[J]. 开发研究, 2004(3): 36-39.
- [36] 龙良碧, 秦志英. 三峡库区消落带土地开发利用探讨[J]. 重庆教育学院学报, 2005, 18(6): 42-45.
- [37] 何再超, 郑钦玉, 马杰, 等. 三峡库区消落区可持续发展途径探讨[J]. 西南农业大学学报: 社会科学版, 2003, 1(4): 5-7, 44.
- [38] 张信宝. 关于三峡水库消落带地貌变化之思考[J]. 水土保持通报, 2009, 23(3): 1-4.
- [39] 苏维词, 赵纯勇, 杨华. 三峡库区消落区自然条件及其开发利用评价: 以重庆库区为例[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 268-272.
- [40] 刘发国. 对三峡水库消落区管理与利用的思考[J]. 重庆三峡学院学报, 2004, 20(5): 22-25.
- [41] 中华人民共和国国务院. 长江三峡工程建设移民条例[S]. 2001, 299号
- [42] 中华人民共和国水利部. 三峡水库调度和库区水资源与河道管理办法[S]. 2008, 35号
- [43] 重庆市人民政府. 关于切实加强三峡水库重庆库区消落带管理的通知[Z]. 2009, 73号
- [44] 中华人民共和国国务院. 关于加强三峡工程建设期三峡水库管理的通知[Z]. 2004, 32号