

伏牛山阻隔作用下水热因子、土地覆被与 NPP 的时空特征

陈志超¹, 郝成元¹, 刘昌华¹, 丁效东^{2*}

1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650

摘要: 作为秦岭山脉的东延余脉, 伏牛山山地效应研究意义重大。文章基于 ArcGIS9.3 空间分析功能, 对伏牛山南北两侧的水热因子、土地覆被和净初级生产力时空格局变化进行了对比分析, 结果表明: 北坡极端低温和均温明显低于南坡 (-2.88°C 和 -1.7°C), 极端高温明显高于南坡 ($+1.35^{\circ}\text{C}$), 而年降水量北坡则比南坡低 14.41%; 伏牛山北坡部分常绿针叶林转换为落叶阔叶林, 2001—2004 年间的落叶阔叶林面积比重分别为: 52.4%、55.2%、63.0%和 70.9%; 2001—2004 年间的净初级生产力有增大趋势, 尤其是东部区域。研究结论丰富了秦岭-伏牛山作为主要气候区和生态区分界线的理论依据, 同时也丰富了山地生态学理论。

关键词: 阻隔效应; 水热因子; 土地覆被; NPP; 伏牛山

中图分类号: P422.11

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 05-0761-06

引用格式: 陈志超, 郝成元, 刘昌华, 丁效东. 伏牛山阻隔作用下水热因子、土地覆被与 NPP 的时空特征[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 761-766.

CHEN Zhichao, HAO Chengyuan, LIU Changhua, DING Xiaodong. Influences of barrier function on the temporal and spatial characteristics of temperature, precipitation, land cover and net primary productivity in Mt. Funiu [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 761-766.

山地是相对高差较大、具有一定坡度, 连绵延伸、显著突出于周围地域之上的正地貌形态^[1], 而且还是许多生态系统组成的复杂自然综合体^[2]。相对于其它地区, 山区地形条件不仅是植物空间分布的基础, 而且是山地气候形成的动力因素^[3]。因此, 大尺度山地常常成为气候带和气候区的分界, 如秦岭山脉作为中国暖温带与北亚热带的分界线, 但对其东延余脉的伏牛山山地效应研究却很少^[4], 已有研究, 仅马建华等在探讨伏牛山南侧亚热带北界的划分时, 进行了伏牛山中段南坡不同海拔高度土壤剖面的野外调查、腐殖质组成和性状鉴定, 明确了土壤空间变化梯度和主要影响因子^[5-6]; 丁彦彦计算了伏牛山和鸡公山两个自然保护区植物相似性系数, 认为鸡公山植物更趋近于北亚热带植物区系而伏牛山植物既与亚热带关系密切、也与北温带相关^[7]; 胡楠等、范玉龙等采用群落生态学的调查方法, 通过计算伏牛山南、北坡样地的群落优势种重要值, 对伏牛山森林生态系统不同生活型植物功能型进行了分类^[8-10]; 卢训令等探明了伏牛山植物多样性分布格局^[11], 但伏牛山作为整体的山地效应研究尚未涉及。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

伏牛山为秦岭山脉的东延余脉, 相对高差 1000~1700 m, 位于 $110^{\circ}30'\sim 113^{\circ}05'\text{E}$ 、 $33^{\circ}10'\sim 34^{\circ}10'\text{N}$; 呈北西—南东走向, 东西绵延接近 400 km, 南北宽 40~70 km。其地理位置既位于我国南、北温度带过渡区 (暖温带和北亚热带), 又处在东、西地形地貌过渡带 (第二阶梯和第三阶梯)^[12-13], 也必然会对植被空间分布和气候特征变化产生较大影响, 其研究也是对秦岭山地自然地带过渡性研究的必要补充。

1.2 数据来源

本研究数据主要有两类。其一是伏牛山周围 14 个气象台站 (各台站基本信息见表 1, 台站与山地的空间位置关系见图 1) 1960—2009 年的水热因子日数据, 包括气温和降水两大类, 由河南省气候中心提供; 其二为卫星遥感数据, 包括土地覆被和净初级生产力 (net primary productivity, 以下均简称 NPP), 均来源于 MODIS (the moderate resolution imaging spectroradiometer, 陆地/中分辨率成像光谱仪), 由美国对地观测系统 (EOS) LPDAAC 网站提供, 其产品已在土地覆被变化、生物量估算、环境监测等研究中得到验证和应用^[14-15]。两种数据图像

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41040012)

作者简介: 陈志超 (1980 年生), 男, 讲师, 硕士, 主要从事土地生态学研究。E-mail: logczc@163.com

***通信联系人:** 丁效东, E-mail: xiaodongding2004@163.com

收稿日期: 2013-03-01

表 1 伏牛山山地周围 14 个气象台站近 50 年统计数据
Table 1 Statistical data of fourteen meteorological stations in fifty years in Mt. Funiu areas

位置	名称	号码	东经/(°)	北纬/(°)	海拔/m	均温/℃	低温/℃	高温/℃	高温*/℃	降水/mm
北坡	洛宁	57066	111.03	34.05	328.3	13.87	-15.48	40.54	40.83	580.41
	卢氏	57067	111.67	34.38	568.8	12.67	-17.16	40.00	41.74	630.81
	栾川	57077	111.65	33.78	742.4	12.25	-15.42	38.26	41.04	842.73
	汝阳	57078	112.467	34.15	336.5	14.31	-16.06	41.14	41.48	669.27
	嵩县	57162	112.08	34.15	325.8	14.28	-13.78	41.60	41.88	657.65
东部	鲁山	57173	112.88	33.75	145.7	14.83	-15.10	41.20	40.40	820.81
	方城	57179	113.00	33.28	160.4	14.55	-13.86	40.20	39.49	802.67
南坡	南阳	57178	112.58	33.03	129.2	15.05	-14.72	39.94	39.04	785.42
	西峡	57156	111.50	33.30	250.3	15.17	-10.90	40.92	40.75	853.19
	内乡	57169	111.87	33.05	159.1	15.15	-13.06	40.90	40.18	773.32
	镇平	57175	112.23	33.05	191.4	14.92	-13.82	40.56	40.03	701.82
	南召	57176	112.42	33.48	231.1	14.93	-12.58	40.14	39.85	853.75
	淅川	57261	111.52	33.12	233.0	15.85	-11.08	41.12	40.84	801.40
	邓州	57274	112.12	32.70	107.6	15.13	-12.74	40.62	39.59	646.26

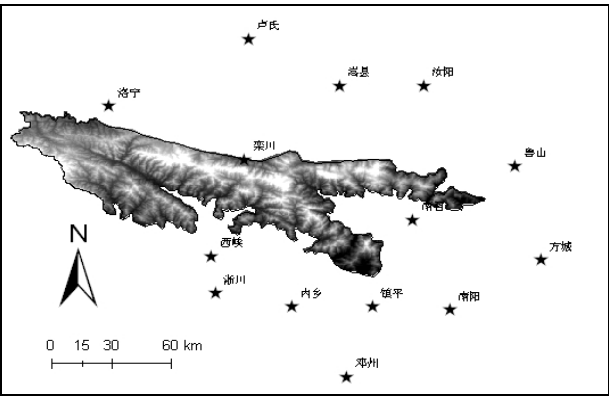


图 1 气象站点与伏牛山相对位置图
Fig. 1 Relative position of meteorological stations

空间分辨率均为500 m，时间序列为2001—2004年。其中土地覆被包含5类数据，即IGBP、UMD、LAI/FPAR、NPP和PFT。由于本研究涉及NPP时空格局变化研究，因此选用NPP分类系统，其类型共有9种：常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、一年生阔叶植被、一年生草地植被、水域、裸地和城镇建设用地，与实地考察结果基本吻合。

2 结果与分析

无论是山地的动力作用还是热力作用都可能使山体两侧植被覆盖及其生态因子发生空间变异^[14-15]，需要对这些方面进行探讨。本研究主要从水热因子、土地覆被和NPP时空格局进行探讨。

2.1 水热因子时空格局

水热因子数据时间段为 1960—2009 年共 50 年，包括年均温、极端高温、极端低温、年均降水量的数据统计，其中年均温来源于 50 年的日平均值，极端低温或高温分别来源于 1960—1969 年、1970—1979 年、1980—1989 年、1990—1999 年、

2000—2009 年五个时段的低温或高温的平均值，年降水量为 50 年的年降水量平均值。有关气温和降水变化，本研究初步结果表明，伏牛山周围所有 14 个气象台站的年均温和极端低温均表现出微弱升高趋势：年均温变化倾向率多在 0.02~0.1 ℃/10 a 之间，极端低温变化倾向率多在 0.1~0.5 ℃/10 a 之间；极端高温则呈微弱降低趋势，其变化倾向率多在 -0.1~0.5 ℃/10 a 之间；年降水变化也没有显著的增多和减少趋势，14 个台站均变动不大，即变化趋势不明朗。总之，就近 50 年来的气温和降水变化，伏牛山山地时间差异不鲜明。在此，本研究仅针对年均温、极端高温、极端低温和年降水的空间差异进行对比分析。

14 个气象站点 50 年年均温见图 2。伏牛山山地北坡的洛宁、卢氏、栾川、嵩县、汝阳等 5 个台站的多年均温均在 14.5 ℃以下，均值为 13.47 ℃；而伏牛山山地南坡的南阳、西峡、内乡、镇平、南召、淅川、邓州等 7 个台站的多年均温均在 14.5 ℃以上，均值为 15.17 ℃。北坡台站均值低于南坡台

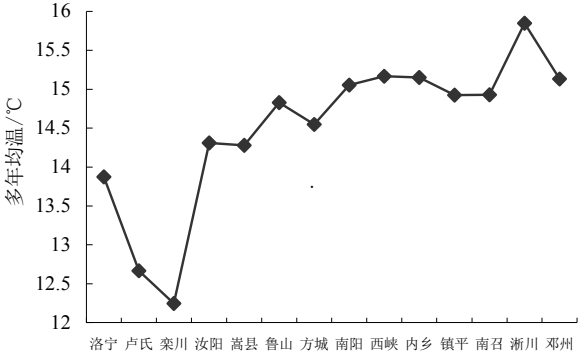


图 2 气象站点多年均温
Fig. 2 Annual temperature of meteorological stations

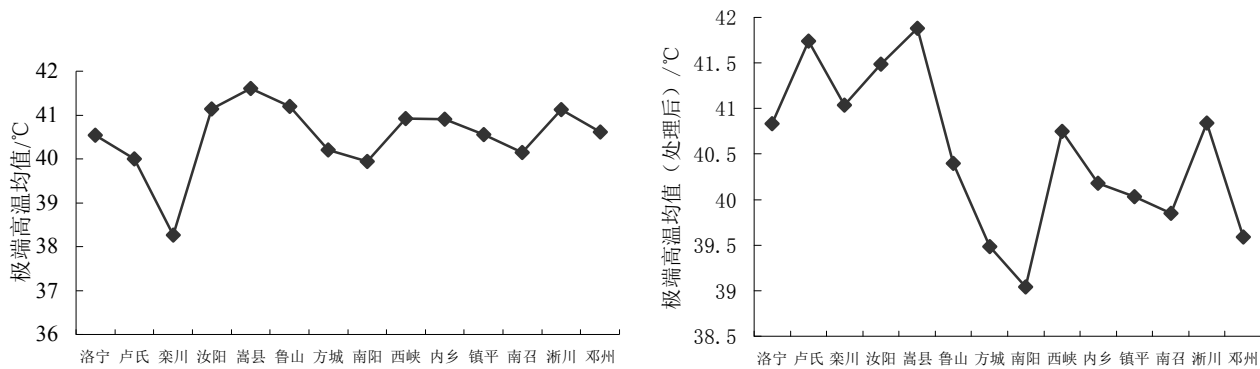


图3 气象站点多年极端高温（左：原始；右：海拔归一化处理后数据）

Fig. 3 Annual maximum temperature of meteorological stations (Left: basic figure; Right: figure after normalizing)

站均值约 1.7 °C，对比鲜明；而山地东面的鲁山和方城两台站则位居其间，分别为 14.83 °C 和 14.55 °C。这种多年均温空间分布格局虽然与南、北坡气象站点的纬度差异有关，但主要还是伏牛山山地效应起作用的结果。

依据 50 年极端高温观测数据本身，山地南、北坡台站基本没有差异（图 3 左），但 14 个气象站点的观测数据经过海拔高度均一化处理后就另当别论（图 3 右）。其处理过程如下：先求出 14 个站点海拔均值 h 为 279.25 m，然后按照各个站点海拔高度值 H 和监测极端高温值 T ，即可使用下述公式求出各个站点的海拔高度归一化后的极端高温 T^* （见表 1）。

$$T^* = T + (H - h) / 100 \times 0.6$$

由图 3 右可知，山地北坡的洛宁、卢氏、栾川、汝阳、嵩县 5 个气象站点的极端高温数值均高于 40.5 °C，分别为 40.83 °C、41.74 °C、41.04 °C、41.48 °C 和 41.88 °C，均值为 41.39 °C；而南坡的南阳、西峡、内乡、镇平、南召、淅川、邓州等 7 个站点的极端高温数值均低于 41 °C，分别为 39.04 °C、40.75 °C、40.18 °C、40.03 °C、39.85 °C、40.84 °C 和 39.59 °C，均值为 40.04 °C。即北坡站点极端高温均值高于南坡站点均值约 1.35 °C，而山地东面的鲁山和方城极高温分别为 40.40 °C 和 39.49 °C，高于南坡、低于北坡。

14 台站 50 年来极端低温均值见图 4。山地北坡的 5 个站点中仅有嵩县的极端低温均值高于 -15 °C，其它站点均低于 -14 °C，平均数值为 -15.58 °C；南坡的 7 个站点中仅有最南部的南阳极端低温低于 -14 °C，平均数值为 -12.7 °C。即南坡站点相对于北坡站点，其极端低温高出了 2.88 °C，伏牛山山地阻隔效应不可谓不显著。而山地东面的两个站点的极端低温均值为 -14.48 °C，高于北坡而低于南坡。

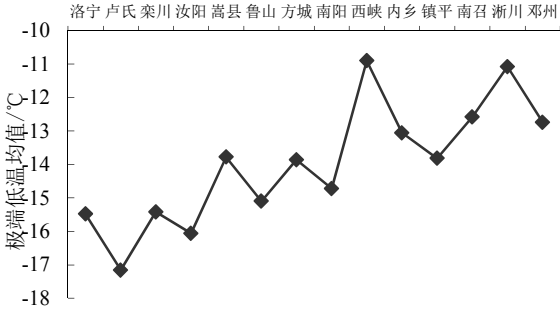


图4 气象站点多年平均极端低温

Fig. 4 Annual minimum temperature of meteorological stations

分析站点多年年均降水量（图 5），北坡 5 个站点的多年平均降水量均值为 676.18 mm，仅有栾川降水量高于 700 mm；南坡 7 个站点的多年平均降水量均值为 773.60 mm，仅有邓州降水量低于 700 mm。平均而言，南坡站点比北坡站点的降水量高出 14.41%（97.42 mm），即南北坡降水量差异明显。而山地东面的鲁山和方城年均降水量分别为 820.81 mm 和 802.67 mm，与东南部来的暖湿气流环绕所形成的地形雨有直接关联，这正是山地效应的一个组成部分。

总之，无论从 1960—2009 年间的多年均温、

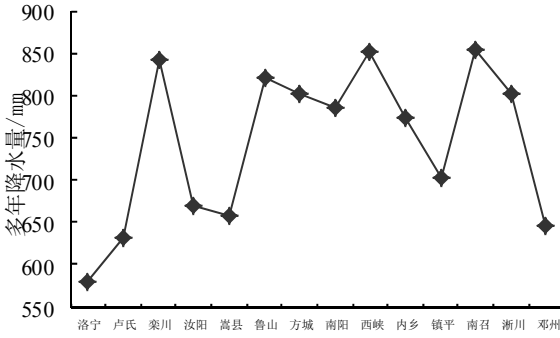


图5 气象站点多年平均年降水量

Fig. 5 Annual precipitation of meteorological stations

极端低温、极端高温还是多年降水量的空间分布都可以呈现出显著的山地效应。具体而言,北坡区域极端低温和均温明显低于南坡(2.88℃、1.7℃)、极端高温明显高于南坡(1.35℃),而降水量南坡则比北坡高出14.41%。

2.2 土地覆被时空变化

植被类型的形成、分布乃至演替均以植物与太阳辐射、土壤—大气之间的能量转化和物质交换为基础,这种转换的基本条件是热量和水分^[18-19]。因此,受其综合影响,陆地表层生态系统植被类型也有相应的时空分布和变化规律。本研究主要从土地覆被转换的时间异质性和空间异质性两方面进行探析。

由于研究区内没有大面积水体,因此利用ArcGIS9.3统计与分析模块只统计8种土地覆被类型面积,见表2。其中,研究区主要土地覆被类型前3位分别是落叶阔叶林、常绿针叶林和常绿阔叶林,2001—2004年间的植被覆盖变化也是以它们之间的转换为主。

时间异质性上,2001—2004年间的主要土地覆被类型中的常绿针叶林、常绿阔叶林和落叶阔叶林的面积变化较为显著,其中常绿针叶林面积基本是

持续减少,而落叶阔叶林是持续递增,常绿阔叶林则波动较大(图6)。

空间异质性上,分析2001—2004年土地覆被变化空间分布状态,可以从主要土地覆被类型及其变化空间分布两方面来进行。其一,以2001—2004年间的平均数值度量,常绿针叶林主要分布于山体北坡,约占总面积的25.3%;落叶阔叶林主要分布于山体南坡,约占总面积的60.4%;常绿阔叶林分布比较零散,约占总面积的6.0%。其二,在2001—2004年间,落叶阔叶林面积增大与常绿针叶林面积减少相辅相成,水热组合的适宜性使山体北坡的部分常绿针叶林逐渐转换为落叶阔叶林,落叶阔叶林的面积在2001—2004年间分别占研究区总面积的比例分别为:52.4%、55.2%、63.0%和70.9%(图6)。

总之,2001—2004年间的土地覆被变化主要表现为常绿针叶林显著减少、落叶阔叶林持续增加,两种土地覆被变化空间表现相辅相成,即伏牛山山地北坡的部分常绿针叶林逐渐转换为落叶阔叶林,使得落叶阔叶林2001—2004年间在全区域的总面积中的比例分别表现为:52.4%、55.2%、63.0%和70.9%。

表2 2001—2004年伏牛山地土地覆被面积统计
Table 2 Areas of different land cover types in Mt. Funiu areas from 2001 to 2004 km²

类型	常绿针叶林	常绿阔叶林	落叶针叶林	落叶阔叶林	一年生阔叶植被	一年生草地植被	裸地	居民地
2001	2581.3	297.9	0.0	3722.4	332.7	160.3	2.7	2.7
2002	1580.6	774.9	2.7	3916.1	578.5	243.2	1.3	2.7
2003	1620.7	406.2	2.7	4474.6	372.8	220.5	0.0	2.7
2004	1410.9	237.8	1.3	5033.1	239.2	175.0	0.0	2.7

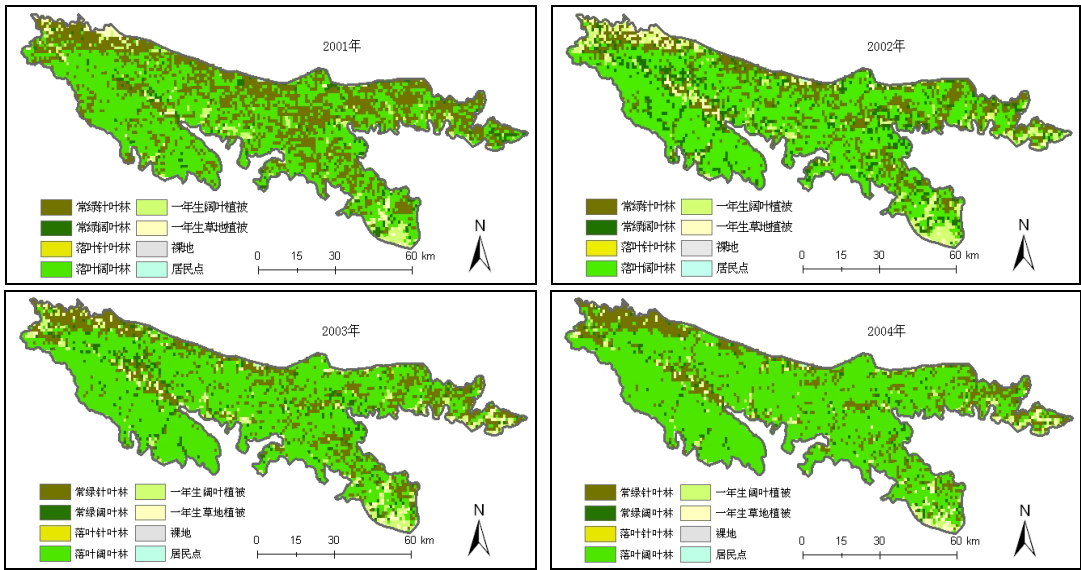


图6 伏牛山地 2001—2004 年土地覆被变化格局
Fig. 6 Variation pattern of land cover types in Mt. Funiu areas from 2001 2004

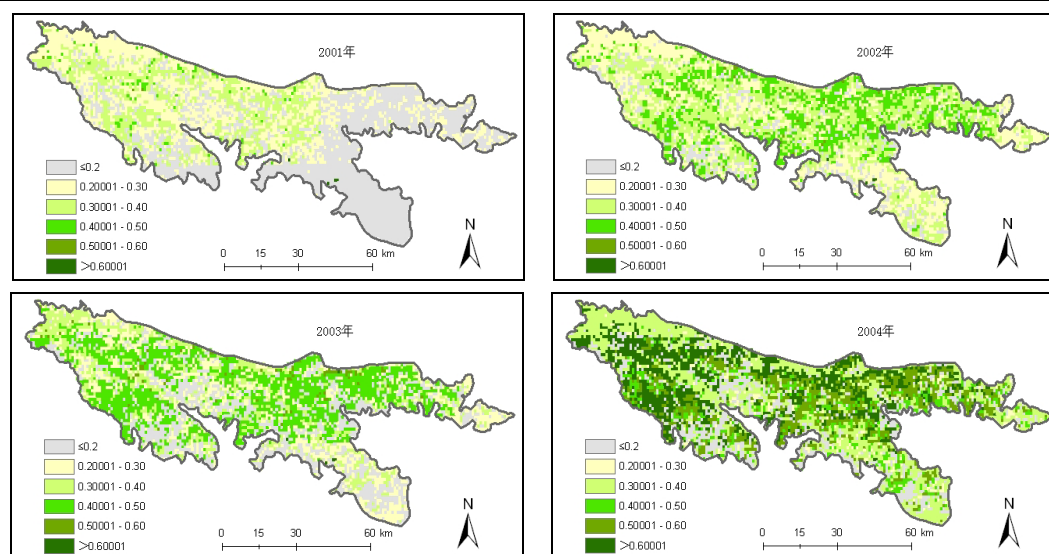


图 7 伏牛山地 2001—2004 年 NPP 变化格局

Fig. 7 Variation pattern of NPP in Mt. Funiu areas from 2001 to 2004

2.3 NPP 时空变化

植被生态系统 NPP 时空格局变化是植被类型、植物种、太阳辐射、气温、降水量以及人类活动等多因子综合作用的结果，植被类型变化可以引起植被分布区域格局变迁^[3,18]。所以本研究拟主要从空间异质性和时间异质性两方面来探寻研究区植被 NPP 分布规律。

空间异质性上，2001—2004 年间均呈现为研究区东部数值较小、中西部地区数值较大的趋势，基本呈现出地势较高 NPP 数值较高的规律（图 7）。

时间异质性上，2001—2004 年间的植被 NPP 呈现为随时间推移数值增大的趋势（图 7）。2001 年，研究区 NPP 数值较低，仅有研究区西部 NPP 数值在 $0.3 \sim 0.5 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2}$ ，而东部地区则在 $0.2 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下；2002 年、2003 年的 NPP 绝大部分地区数值在 $0.3 \sim 0.5 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间，仅有研究区最东部部分地区小于 $0.3 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2}$ ；2004 年，整个研究区的植被 NPP 都有大幅度提高，达到 $0.3 \sim 0.6 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2}$ ，而且有较大面积区域 NPP 数值高于 $0.6 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

总之，2001—2004 年间的 NPP 总体表现为地势高的中西部地区数值较大、而地势低的东部地区数值较小，随着时间的推移 NPP 有数值增大的趋势，尤其表现在中东部。

3 结论

无论从水热因子空间特征，还是从土地覆被和净第一性生产力时空变化格局研究，都得出伏牛山山地效应明显、南北分异显著的结论。

（1）伏牛山北坡区域极端低温和均温明显低于南坡（ $-2.88 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）、极端高温明显高于南坡（ $+1.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ），而降水量南坡则比北坡高出 14.41%。

（2）伏牛山北坡的部分常绿针叶林逐渐转换为落叶阔叶林，使得落叶阔叶林在研究年际间在全区域的总面积中的比例分别表现为：52.4%、55.2%、63.0% 和 70.9%。

（3）研究年际间的 NPP 总体呈现为地势高的中西部地区数值较大、而地势低的东部地区数值较小，随着时间的推移 NPP 有数值增大的趋势，主要表现在中东部。

参考文献：

- [1] 左大康. 现代地理学词典[M]. 北京：商务印书馆，1990：186-187.
- [2] 方精云，沈泽昊，崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容[J]. 生物多样性，2004，12(1)：10-19.
- [3] 崔海亭，刘鸿雁，戴君虎，等. 山地生态学与高山林线研究[M]. 北京：科学出版社，2005：41-46.
- [4] 张久铭. 伏牛山地区亚热带北界问题[J]. 平顶山学院学报，2010，25(2)：115-118.
- [5] 马建华，韩晋仙，赵庆良. 试从土壤腐殖质组成和性质论伏牛山南侧亚热带北界的划分[J]. 山地学报，2002，20(3)：272-276.
- [6] 马建华. 试论伏牛山南坡土壤垂直分异规律——兼论亚热带北界的划分[J]. 地理学报，2004，59(6)：998-1011.
- [7] 丁圣彦，卢讯令. 伏牛山和鸡公山自然保护区植物区系比较[J]. 地理研究，2006，25(1)：63-64.
- [8] 胡楠，范玉龙，丁圣彦，等. 伏牛山自然保护区森林生态系统乔木植物功能型分类[J]. 植物生态学报，2008，32(5)：1104-1115.
- [9] 范玉龙，胡楠，丁圣彦，等. 伏牛山自然保护区森林生态系统草本植物功能群的分类[J]. 生态学报，2008，28(7)：3092-3101.
- [10] 胡楠，范玉龙，丁圣彦. 伏牛山森林生态系统灌木植物功能群分类[J]. 生态学报，2009，29(8)：4017-4025.
- [11] 卢训令，胡楠，丁圣彦，等. 伏牛山自然保护区物种多样性分布格局[J]. 生态学报，2010，30(21)：5790-5798.
- [12] 叶永忠，翁梅，杨修. 伏牛山栎类群落多样性研究[J]. 植物学通报，1995，12(s2)：79-84.
- [13] 唐俊梅，张树文. 基于 MODIS 数据的宏观土地利用/土地覆盖监测

- 研究[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(2): 104-107.
- [14] 廖秉华, 胡楠, 丁圣彦, 等. 伏牛山北坡植物功能群组成沿海拔梯度的动态变化[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2008, 38(6): 618-621.
- [15] 夏文韬, 王莺, 冯琦胜, 等. 甘南地区 MODIS 土地覆盖产品精度评价[J]. 草业科学, 2010, 27(9): 11-18.
- [16] 张善红, 白红英, 高翔, 等. 太白山植被指数时空变化及其对区域温度的响应[J]. 自然资源学报, 2011, 26(8): 1377-1386.
- [17] 高登义. 中国山地环境气象学[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2005: 21-25.
- [18] 江源, 黄晓霞, 黄秋如, 等. 小五台山亚高山景观尺度水热条件与植被关系[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 698-704.
- [19] 李飞, 赵军, 赵传燕, 等. 中国潜在植被空间分布格局[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5347-5355.

Influences of barrier function on the temporal and spatial characteristics of temperature, precipitation, land cover and net primary productivity in Mt. Funiu

CHEN Zhichao¹, HAO Chengyuan¹, LIU Changhua¹, DING Xiaodong^{2*}

1. College of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

2. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Science, Guangzhou 510650, China

Abstract: The research on barrier function of Funiu Mountain is of great significance, which is the odd arterie of Qinling Mountains. The spatio-temporal patterns of the hydrothermic factors, land cover and net primary productivities between the north and south of Mt. Funiu were analyzed using a geographical information system (ArcGIS9.3). The results showed that, first, compared with the studied parameters in the south side, the north side of Mt. Funiu is lower 2.88 °C in annual minimum temperature, lower 1.7 °C in annual average temperature, and higher 14.41 percent in annual precipitation. Second, the proportions of deciduous broad-leaved forest area of 2001 to 2004 were 52.4%, 55.2%, 63.0%, and 70.9%, due to conversion of the vegetation types from evergreen coniferous forest to deciduous broad-leaved forest. Third, the increasing trend of net primary productivities was found in both sides of Mt. Funiu from 2001 to 2004, especially in the eastern area. The conclusions in this study elucidated the boundary effect of Qinling Mountains, and enriched the theory system of mountain ecology.

Key words: barrier effects; hydrothermic factors; land cover; net primary productivity; Mt. Funiu