

文章编号: 1004-4353(2017)03-0277-06

延边地区植被 NPP 时空格局与 气候因子的关系

相恒星¹, 王一航¹, 金日¹, 姚昆², 崔桂善^{3,1*}, 朱卫红^{3,1}

(1. 延边大学理学院 地理系, 吉林 延吉 133002; 2. 西昌学院 资源与环境学院, 四川 西昌 615000;

3. 延边大学长白山生物资源与功能分子教育部重点实验室, 吉林 延吉 133002)

摘要: 基于 MODIS NPP 数据, 利用 ArcGIS10.2 空间分析模块对 2000—2015 年延边朝鲜族自治州植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)进行时空变化特征分析. 结果表明: 1) 延边州植被 NPP 总体呈现从南到北递减的趋势, 16 年的均值 NPP 为 $462 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 年均 NPP 主要集中在 $500 \sim 700 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间. 2) 2000—2015 年延边州各县市的年均 NPP 均随时间在一定数值范围内上下波动, 且变化趋势相似. 16 年间的 NPP 波动范围集中在 $301 \sim 722 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间, 其中峰值出现在 2005 年和 2012 年, 谷值出现在 2007 年. 3) 延边州 2015 年的 NPP 与 2000 年的 NPP 相比, 绝大部分面积(99.72%)的 NPP 为增加, 仅有小面积(0.28%)的 NPP 为减少, NPP 增加的幅度由延边州北部、南部向中部递减. 4) 年均 NPP 与日照时数具有较强的相关性(相关系数达 0.688, 且 $P < 0.01$), 而与降水量、气温的相关性不强.

关键词: NPP; 时空变化特征; 延边地区; 气候因子

中图分类号: K903

文献标识码: A

Spatio-temporal pattern of vegetation net primary productivity and its relationship with climatic factors in Yanbian prefecture from 2000 to 2015

XIANG Hengxing¹, WANG Yihang¹, JIN Ri¹, YAO Kun², CUI Guishan^{3,1*}, ZHU Weihong^{3,1}

(1. Department of Geography, College of Science, Yanbian University, Yanji 133002, China; 2. Resource and Environmental

Sciences, Xichang University, Xichang 615000, China; 3. Key Laboratory of Natural Resources of Changbai Mountain

& Functional Molecules (Yanbian University), Ministry of Education, Yanji 133002, China)

Abstract: Based on the MODIS NPP data, using ArcGIS10.2 spatial analysis model, this paper analyzes vegetation Net Primary Productivity (NPP) on the spatiotemporal variation characteristics from 2000 to 2015 in Yanbian Korean autonomous prefecture. The results showed as follows: 1) The NPP of Yanbian vegetation showed a decreasing trend from south to north in general, and the average NPP in 16 years was $462 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. The average annual NPP of vegetation mainly concentrated in $500 \sim 700 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. 2) During 2000-2015, the annual average NPP in all counties and cities in Yanbian prefecture fluctuated within a certain range of values over time and had a similar trend. The fluctuation range of NPP in this 16 years is concentrated in the range of $301 \sim 722 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, with the peaks in 2005 and 2012 and the trough in 2007. 3) NPP of 2015 in Yanbian prefecture compared with that of 2000, most of the area (99.72%) increased while only a little (0.28%) reduced. The increase of NPP is decreased from the northern and the southern parts to the middle part of Yanbian. 4) The annual average NPP had a strong correlation with sunshine hours (with a correlation

coefficient of 0.688 and $P < 0.01$), while was not significantly correlated with precipitation and air temperature.

Keywords: NPP; spatiotemporal variation characteristics; Yanbian prefecture; climatic factors

0 引言

植被作为陆地生物圈的重要组成部分,在调节全球碳平衡方面具有不可替代的作用^[1]. 陆地植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是指将植物在单位时间和面积上由光合作用产生的有机物总量去除自养呼吸之后的剩余部分^[2]. NPP 作为碳收支和气候变化研究的核心内容,不仅是表征植被活动的关键变量,而且是判定生态系统健康状况和可持续发展水平的重要指标,也是研究全球变化和碳循环的基础性方式^[3].

植被 NPP 的空间分布与人为因素和自然因素诸多驱动力存在着显著的相关性. 对植被 NPP 进行长时间序列监测,能间接地反应人类活动和自然因素影响下植被生态系统的变化特征,从而为区域生态与环境保护、植物估产及国土资源的开发建设等提供科学依据. 姜春等对广东省土地利用覆盖变化与 NPP 相关分析的研究表明,以城市扩张为主导的土地覆盖类型变化降低了广东省的 NPP^[4]. 李登秋等利用江西省 40 年气候变化、林龄、CO₂ 浓度和氮沉降对亚热带森林 NPP 动态变化的影响进行了分析^[5]. 王娟等分析了 NPP 与众多驱动因子的关系,指出植被 NPP 与地形因子、植被类型、土壤类型、气候因子(主要是降水量及气温)显著相关^[6]. 郝成元等利用矿区陆地表层 NPP 时空格局特征分析得出,空间异质性多与地形地貌、植被类型、年降水量等自然因子相关,且人类活动(农业耕作及煤炭开采)对其有着重要影响^[7]. 王静等利用 MODIS 数据和 CASA(Carnegie Ames Stanford Approach)模型对南方丘陵山地带 NPP 时空分布格局进行了研究,结果表明植被 NPP 空间变化与气温、降雨量等气候因素有直接关系,而社会、经济、政策等人为因素则是通过改变土地利用方式间接影响 NPP 的变化^[1]. 国内外诸多研究者还利用 MOD17A3 数据研究了植被 NPP 时空格局的变化,结果表明利用该数据进行研究具有较好的可靠性^[8-9],但对于延边州区域 NPP 时空变化的相关研究还未见报道. 基于此,

本文利用 MODIS17A3 数据,研究自然因素(降水量、气温、日照时数)对 NPP 的影响状况,为该区域生态与环境保护、植物估产及国土资源的开发建设提供科学依据.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

延边州(41°59′47″~44°30′42″N, 127°27′43″~131°18′33″E)位于吉林省东部,中朝俄三国交界处,总面积为 43 474 km²(其中山地占总面积的 54.8%),约占吉林省面积的 1/4. 延边州四季分明,季风明显,冬暖夏凉,年日照时数为 2 150~2 480 h,年平均气温为 2~6℃,年平均降水量为 400~650 mm,年平均无霜期为 100~150 d,属于典型的中温带湿润半湿润季风气候. 延边州地貌复杂,水系发达,森林覆盖率高(森林覆盖率约 80%)^[10-11]. 延边州各县市的区域图如图 1 所示.

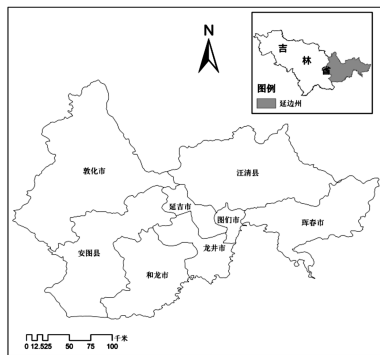


图 1 研究区概况图

1.2 数据来源

本研究采用的是 2000—2015 年的 NPP 数据,来源于美国 Numerical Terradynamic Simulation Group(<http://www.nts.gov>)的 MOD17A3 影像数据,属于 4 级产品. L4 级产品是应用级产品不可缺少的部分^[12],该级产品的 MODIS 影像在进行不同时相的匹配时,误差小于 1 个像元. MOD17A3 影像数据的时间分辨率是 1 a,空间分辨率是 30-arcsec. 本文借助 ArcGIS 10.2 软件对数据进行投影变换与重采样操作,采用 Albers 投影把数据的空间分辨率转换为 1 km.

延边州的温度、降水量、日照时数数据来源于中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/site/index.html>).

1.3 趋势分析

以像元为基础,对所有年份的 NPP 数据求均值,以此获得研究区所有年份的平均 NPP (\overline{ANPP}) 的时空分布,计算公式如下:

$$\overline{ANPP} = \frac{\sum_{x=1}^n ANPP_x}{n}, \tag{1}$$

式中 n 为研究时间跨度的年数, $ANPP_x$ 为像元点第 n 年的 NPP 值. 为了定量描述 NPP 变化规律, 本文使用简单差值法^[13] 对比分析延边州区域 2000—2015 年不同地区植被 NPP 的变化特征. 简单差值法的计算公式为

$$D_{xy} = NPP_{xy}^{t1} - NPP_{xy}^{t2}, \tag{2}$$

式中 D_{xy} 为第 x 行 y 列像素的差值, NPP_{xy}^{t1} 为时相 $t1$ 第 x 行 y 列像素的 NPP 值, $t1$ 为时相, x 和 y 为第 x 行、 y 列像素的位置. 利用线性倾向估计对 NPP 时间趋势进行分析,表明随着时间的变化 NPP 常出现连续上升或降落趋势.

1.4 相关性分析

本文使用 Pearson 系数法分析 NPP 与气候因子(降水量、平均气温及日照时数)的关系,其公式为

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

式中 r 为 x 和 y 变量的相关系数, i 为监测年份, x_i 为第 i 年的 NPP, y_i 为第 i 年的气温或者降水或者日照时数, y 为计算时间段内平均气温或平均降水量或者平均日照时数. 对相关系数进行显著性检验,即在给定的显著水平下通过查相关系数检验临界值表,本文主要考虑 $P < 0.01$ 的置信度水平^[14].

2 结果与分析

2.1 延边州植被 NPP 的空间格局

本文选取 2000、2005、2010 年和 2015 年 4 个年份的植被 NPP (单位记为 $g\ C \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$) 进

行分析,4 个年份的植被 NPP 空间分布图如图 2 所示. 从图中可以看出:延边州的 NPP 总体上呈现的是南高北低和从南向北逐渐递减的趋势;各个县市的 NPP 空间变化有所不同,其中安图县南部、和龙市南部的 NPP 值显著偏大,敦化市北部、汪清县北部的 NPP 值显著偏小;4 个年份的年均 NPP 分别为 374、518、382、522.

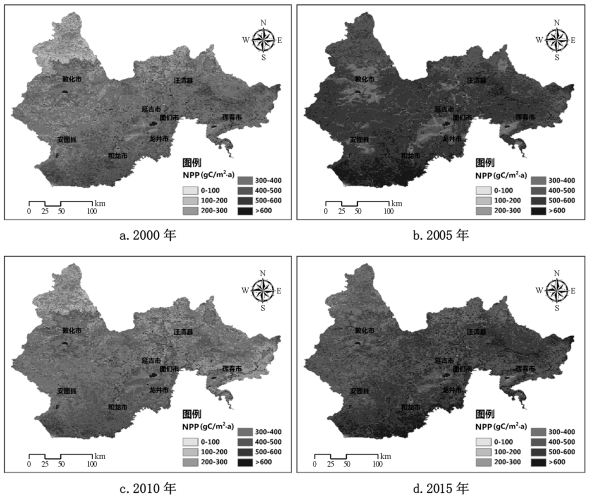


图 2 植被 NPP 空间分布

2000—2015 年延边州区域植被年均 NPP 空间变化图如图 3 所示. 由图 3 可以看出,延边州植被 NPP 总体呈现从南到北的递减趋势. 延边州 16 年的均值 NPP 为 462,其中:延吉市 16 年间的均值 NPP 为 653,年均 NPP 基本处于 500~700 之间;图们市 16 年间的均值 NPP 为 612,年均 NPP 处于 400~700 之间;和龙市 16 年间的均值 NPP 为 518,年均 NPP 处于 300~800 之间;珲春市 16 年间的均值 NPP 为 503,年均 NPP 处于 300~700 之间;龙井市 16 年间的均值 NPP 为

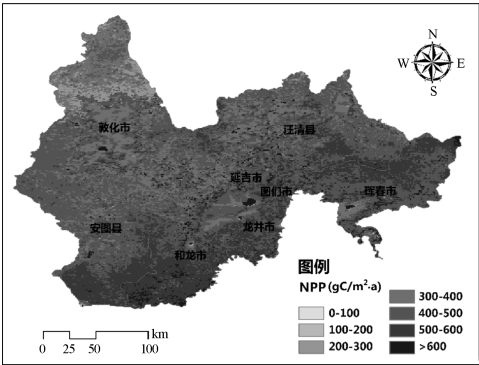


图 3 植被 NPP 均值图

498,年均 NPP 处于 300~600 之间;安图县 16 年间的均值 NPP 为 485,年均 NPP 处于 300~500 之间;汪清县 16 年间的均值 NPP 为 457,年均 NPP 处于 200~500 之间;敦化市 16 年间的均值 NPP 为 417,年均 NPP 处于 100~500 之间.

2.2 延边州植被 NPP 的年际变化

由 NPP 的年际变化曲线图(图 4)可以看出,2000—2015 年延边州区域各县市的年均 NPP 均随时间在一定数值范围内上下波动,且变化趋势相似.16 年间的 NPP 波动范围集中在 301~722 之间,其中峰值出现在 2005 年和 2012 年,谷值出现在 2007 年.

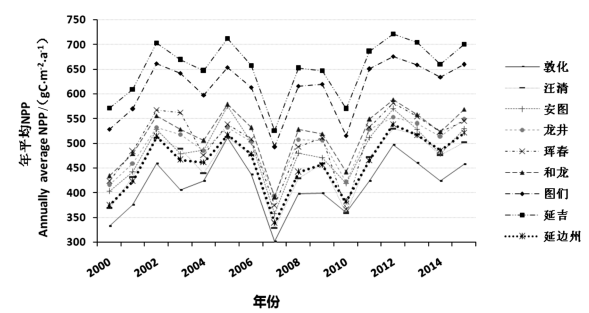


图 4 2000—2015 年延边州各县市植被 NPP 年际变化曲线图

敦化市和安图县在 2005 年达到了研究时段
的最高值,分别为 512 和 576,这主要是由于 2005
年全年的日照时数较高,特殊的气候环境促进了
森林植被的生长及碳积累速度,致使 NPP 达到最
高.年均 NPP 在 2007 年跌至研究时段的最低值,
其中敦化市为 301、汪清县为 329、安图县为 358、
龙井市为 394、珲春市为 375、和龙市为 391、图们
市为 493、延吉市为 526,导致最低值的原因主要

是由 2007 年 3 月的冰雪灾害和 6—8 月的高温干
旱引起的.2012 年汪清、龙井、珲春、和龙、图们、
延吉的年均 NPP 值均达到了研究时段的最高值,
分别为 530、554、582、589、676、722,这主要是由
于该年没有出现重大气象灾害,水、热、光分配相
对均匀,植物生长条件良好,所以出现了 NPP 最
大值.

2.3 延边州植被 NPP 的空间变化

将 2000 年和 2015 年的 NPP 影像代入公式
(2)进行计算,生成 16 年的延边州植被 NPP 空间
变化图(图 5).由图 5 可以看出,2015 年的年均
NPP 与 2000 年的年均 NPP 相比,NPP 增加的面积
大大高于减少的面积,增加的幅度由延边州北
部、南部向中部递减.年均 NPP 降低 0~100 的区
域主要分布在敦化市中部、延吉市南部、珲春市西
南部.这些地区植被年均 NPP 减少基本是由于土
地的开发利用而造成的.从表 1 可知,延边州年均
NPP 增加的面积占总土地面积的 99.72%,其中
增加 0~≤50、50~≤100、100~≤150 和 >150
的面积分别占 2.61%、17.7%、49.31%和 30.1%;

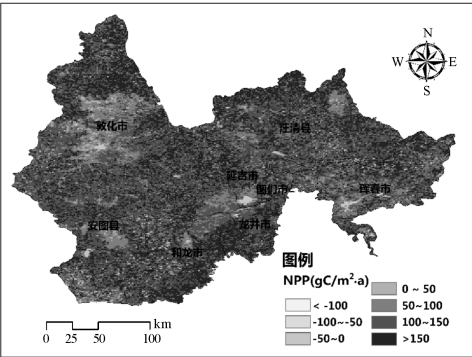


图 5 植被 NPP 差值图

表 1 2000—2015 年延边州 NPP 变化面积百分比

NPP 变化/ ($\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	变化面积百分比/%								
	敦化市	汪清	安图	龙井	珲春	和龙	图们	延吉	延边州
≤−100	0	0	0	0	0.13	0	0	0	0.02
−100~≤−50	0.01	0.03	0	0.05	0.13	0.03	0	0.09	0.03
−50~≤0	0.15	0.22	0.24	0.15	0.39	0.35	0	0.22	0.23
0~≤50	3.75	1.27	2.72	0.96	2.85	2.32	2.2	4.32	2.61
50~≤100	21.35	14.57	16.39	13.97	23.66	13.35	14.55	15.74	17.7
100~≤150	47.37	49.96	53.49	51.42	48.45	46.61	52.97	46.65	49.31
>150	27.37	33.95	27.16	33.45	24.39	37.34	30.28	32.98	30.1
≤0	0.16	0.25	0.24	0.2	0.65	0.38	0	0.31	0.28
>0	99.84	99.75	99.76	99.8	99.35	99.62	100	99.69	99.72

年均 NPP 减少的面积占总土地面积的 0.28%，其中减少 $0 \sim \leq 50$ 的面积占 0.23%，减少 > 50 的面积占 0.05%。从各区域来看，各县市年均 NPP 增加的面积均大于 90%，其中图们市年均 NPP 增加的面积达到 100%。各县市的 NPP 增加的幅度均主要集中在 100~150 之间，分别占敦化市、汪清县、安图县、龙井市、珲春市、和龙市、图们市、延吉市比例的 47.37%、49.96%、53.49%、51.42%、48.45%、46.61%、52.97%、46.65%。

2.4 延边州植被 NPP 与气候因子的相关性分析

2.4.1 气象数据处理 采用延边州 8 个气象站点的气温、降水量、日照时数等数据，运用样条插值法对延边州各县市 16 年的数据进行空间插值并求取平均，并生成和 NPP 像元大小一样的图像（图 6）。

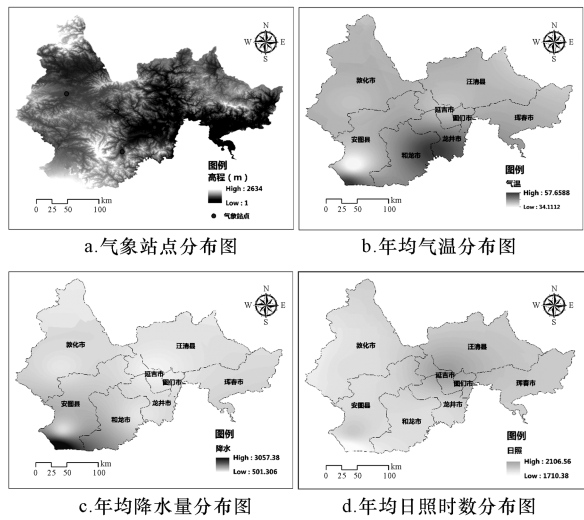


图 6 2000—2015 年延边州气象分布图

2.4.2 NPP 与气温、降水量、日照时数的相关性

在气候因素对植被 NPP 的影响中，气温是影响植被特征变化的主要因素，它能够加强植被对太阳辐射的吸收能力；降水量可以湿润土壤，增强土壤养分能力；日照时数可以加快植被的能量吸收^[15]。本文以年为时间尺度，剔除异常值后，逐栅格计算 2000—2015 年每个栅格像元的年均 NPP 值与年气温、年均 NPP 值与年降水量、年均 NPP 值与年日照时数的 Pearson 相关系数。基于 SPSS19.0 相关分析，得出年均 NPP 与降水量的相关系数为 $-0.124 (P < 0.01)$ ，年均 NPP 与气温的相关系数为 $0.112 (P < 0.01)$ ，年均 NPP 与日

照时数的相关系数为 $0.688 (P < 0.01)$ 。由此可知：延边州年均 NPP 与降水量呈负相关，与气温呈正相关；但由于 Pearson 系数绝对值都小于 0.2，因此年均 NPP 与降水量、气温的相关性并不显著。NPP 与日照时数具有较强的相关性，且置信度符合标准，所以在植被主要生育期内，日照时数是决定延边州 NPP 变化的主要气候因子。

3 讨论与结论

本文利用 2000—2015 年 MOD17A3 遥感数据集的年均 NPP 数据，通过 GIS 技术定量分析了延边州地区植被 NPP 的空间分布特征，以及 NPP 随时间变化的趋势，结果表明：

1) 延边州的植被 NPP 从南到北总体呈现递减的趋势。延边州 16 年的均值 NPP 为 462。2000、2005、2010、2015 年的年均 NPP 分别为 374、518、382、522，年均 NPP 按安图县、和龙市南部到龙井市、图们市、珲春市、延吉市、汪清县、敦化市依次逐渐减少，且县市的 NPP 空间分布差异显著。

2) 2000—2015 年延边州区域各县市的年均 NPP 均随时间在一定数值范围内上下波动，且变化趋势相似。16 年间的 NPP 波动范围集中在 301~722 之间，其中峰值出现在 2005 年和 2012 年，谷值出现在 2007 年。

3) 2015 年的年均 NPP 与 2000 年的年均 NPP 相比，延边州区域面积的 99.72% 是增加的，仅有 0.28% 的面积是减少的，NPP 增加的幅度由延边州北部、南部向中部递减。年均 NPP 降低 $0 \sim 100$ 的区域主要分布在敦化市中部、延吉市南部、珲春市西南部。植被年均 NPP 减少主要是由土地的开发利用而造成的。

4) 延边州年均 NPP 与降水量呈负相关，与气温呈正相关，但相关性不显著；NPP 与日照时数具有较强的相关性，且置信度符合标准。

本文研究可为今后延边州区域植被生态保护与开发提供科学依据，但是本研究只是结合了统计年鉴和气象数据进行了相关性解释，并未从实地取样验证，因此研究所得结果能否真实反映延边州植被生长状况还有待于进一步验证。

参考文献:

- [1] 王静,王克林,张明阳,等. 南方丘陵山地植被净第一性生产力时空动态特征[J]. 生态学报,2015,35(11):3722-3732.
- [2] 王新闯,王世东,张合兵. 基于 MOD17A3 的河南省 NPP 时空格局[J]. 生态学杂志,2013,32(10):2797-2805.
- [3] 孙庆龄,冯险峰,肖潇. 武陵山区植被净第一性生产力的时空格局及其与地形因子的关系[J]. 地球信息科学学报,2014(6):915-924.
- [4] 姜春,吴志峰,程炯,等. 广东省土地覆盖变化对植被净初级生产力的影响分析[J]. 自然资源学报,2016,31(6):961-972.
- [5] 李登秋,张春华,居为民,等. 江西省森林净初级生产力动态变化特征及其驱动因子分析[J]. 植物生态学报,2016,40(7):643-657.
- [6] 王娟,卓静,何慧娟,等. 2000—2013 年秦岭林区植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因素[J]. 西北林学院学报,2016,31(5):238-245.
- [7] 郝成元,杨志茹. 基于 MODIS 数据的潞安矿区 NPP 时空格局[J]. 煤炭学报,2011,36(11):1840-1844.
- [8] 李登科,范建忠,王娟. 基于 MOD17A3 的陕西省植被 NPP 变化特征[J]. 生态学杂志,2011,30(12):2776-2782.
- [9] 蒋蕊竹,李秀启,朱永安,等. 基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征[J]. 生态学报,2011,30(22):6708-6716.
- [10] 李洪楠. 基于遥感技术的延边州湿地分布特征研究[D]. 延吉:延边大学,2011.
- [11] 王倪. 延边州人文景观格局及优化研究[D]. 长春:东北师范大学,2012.
- [12] ZHAO M, HEINSEH F A, NEMANI R R, et al. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,95(2):164-176.
- [13] Zhang Yongxun, Min Qingwen, Zhao Guigen, et al. Can clean energy policy improve the quality of alpine grassland ecosystem? A scenario analysis to influence the energy changes in the three-river headwater region China[J]. Sustainability, 2016,8(3):231.
- [14] 杭玉玲. 2000—2013 年内蒙古陆地植被 NPP 时空变化及其对气候的响应[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学,2015.
- [15] 李建国,濮励杰,刘金萍,等. 2001 年至 2010 年三峡库区重庆段植被活动时空特征及其影响因素[J]. 资源科学,2012,34(8):1500-1507.

(上接第 254 页)

3 结束语

本文使用基于 Restful Webservice 架构的程序作为远程服务器,设计了一个以 Android 手机作为客户监控端,实现家庭远程监视与控制的监控系统. 经实际应用表明,本文研究的系统不仅能够成功地接受来自现场布控的各种传感器所传递的实时信息,同时也能成功地接收 Android 客户监控端信号,Android 终端可以根据实时数据及预警信息成功地开启与关闭现场设备,实现远程监视和远程监控的功能. 本文研究的系统搭建和配置简单,实用性强,具有较好的应用价值.

参考文献:

- [1] 侯俊,吴成东,袁中甲,等. 基于 ZigBee 的智能家居安全监控系统研究[J]. 机电工程,2009,26(1):67-70.
- [2] 贾新彬. 基于 Android 手机的家庭安全远程监控系统[D]. 北京:北京邮电大学,2013.
- [3] 李清健. 上下文感知的移动 Web 服务组合研究[D]. 山东:大连海事大学,2015:9.
- [4] 王进,黄志球. 面向超媒体链接的 Restful 服务隐私建模方法[J]. 计算机研究与发展,2017,54(4):886-905.
- [5] 吴衍标,熊勇,姚炜,等. 基于 Restful Web 的智能家居系统应用[J]. 计算机应用,2015,35(S2):284-289.
- [6] Jon Galloway, Phil Haack, Brad Wilson, et al. ASP.NET MVC 3 高级编程[M]. 孙远帅,译. 北京:清华大学出版社,2012:1-5.