

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.11.020

气候和土地利用变化对成都市 植被 NPP 时空分布的影响^①

彭月月¹, 魏妍冰², 李启权^{1,3}, 余雪莲¹

1. 四川农业大学 资源学院, 成都 611130;
2. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
3. 四川农业大学 资源与地理信息技术研究所, 成都 611130

摘要: 以 2001—2010 年 MOD17A3 数据集的年均 NPP 数据为基础, 分析成都市植被净初级生产力的时空变化及其影响因素, 并借助回归分析方法对引起植被 NPP 变化的影响因素进行量化分析。结果表明: 研究区植被净初级生产力年际变化特征明显, 年净初级生产力分布在 560 ~ 699 gC/(m² · a) 之间, 平均值为 663 gC/(m² · a), 总体来看 10 年间成都市植被净初级生产力呈波动减少趋势, 年际减少为 5.04 gC/(m² · a)。空间分布上表现为由西南向东北逐渐减少的趋势, 不同地形区植被 NPP 变化程度各异, 其中平原区植被 NPP 下降趋势最为显著, 其次为山区, 而丘陵区植被 NPP 呈上升趋势。温度、降水量、耕地面积和建设用地面积对整个成都市植被 NPP 时空变化的独立解释能力分别为 2.3%, 16.4%, 1.0%, 10.5%, 即研究区植被 NPP 受到自然因素和人为因素共同作用, 而自然因素对植被 NPP 时空变化的主控作用总体上大于人为因素。对各地形区而言, 山区 NPP 变化主要受到温度和降水量影响, 降水量是主控因素(独立解释能力为 6.6%); 平原区 NPP 变化主要受到降水量、耕地面积和建设用地面积影响, 建设用地面积为主控因素(独立解释能力为 10.3%); 丘陵区 NPP 变化主要受到温度、降水量、建设用地面积影响, 建设用地面积为主控因素(独立解释能力为 5.2%)。研究结果为区域生态环境的建设, 以及合理的城市土地利用规划提供依据。

关键词: NPP; 气候因子; 土地利用; 时空变化; 成都市

中图分类号: X171.3; Q948

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)11-0150-10

植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)是指从总初级生产力中除去植物呼吸作用消耗的物质后所剩余的有机物的质量, 是绿色植物用于生长发育的能量值, 也是生态系统中能量流动和物质循环的基础^[1-2]。NPP 不仅是表征植物活动的重要变量, 还是判定生态系统碳积累和调节生态过程的主要因子^[3]。NPP 主要受到气温、降水等自然因素和土地利用结构变化等人为因素的影响, 对区域植被 NPP 影响因素的分析不仅有利于了解自然因素和人为因素在 NPP 变化中各自的影响程度, 而且能为区域生态系统可持续发展和土地资源的合理利用提出参考。

研究表明, NPP 主要受到自然因素和人为因素共同作用, 梁妙玲等^[4]研究指出, 中国植被 NPP 的主要影响因子是降水, 温度的影响在不同地区差别很大。谢宝妮等^[5]对我国黄土高原植被生产力变化驱动机制

① 收稿日期: 2017-05-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(SQ2018YFD080041)。

作者简介: 彭月月(1995-), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤环境质量研究。

通信作者: 李启权, 博士, 副教授。

进行了研究,并指出退耕还林还草累计面积、帕尔默干旱指数(PDSI)、耕地面积和人口数量是影响 NPP 变化的主要因素.罗玲等^[6]研究指出,水分条件是吉林省西部草地生长的主要控制因素,对于相同距离缓冲区,居民地对西部草地 NPP 的影响远大于道路.王琳等^[7]研究表明,除苏南少数区域外,气候因素控制着 NPP 的时空变化规律,其中气温的升高和太阳辐射的增加促进 NPP 提高,而降水量的增加引起 NPP 的降低.但由于陆地生态系统的复杂性,NPP 存在区域变化规律,影响因素也存在地域差异,而对这些因素的影响程度也需进行深入分析.成都市位于川西北高原向四川盆地过渡的交接地带,地势差异具有统计学意义,近年来区域内出现的气候变化异常和快速城市化导致的土地利用结构改变,对区域内植被净初级生产力影响较大.因此,本文基于 MOD17A3 数据集中 2001—2010 年的 NPP 数据,分析探讨了快速城市化的成都地区植被 NPP 的时空变化特征,并采用回归分析方法定量分析了各影响因素对区域内植被 NPP 的影响程度,为区域生态环境的建设,以及合理的城市土地利用规划提供依据.

1 研究区概况

成都市位于四川盆地西部,川西平原腹地,总面积 12 390 km².地理坐标为东经 102°54′—104°53′,北纬 30°05′—31°26′.地形西北高,东南低,平均海拔为 500 m.区域气候为亚热带季风性湿润气候,年降水量 900~1 300 mm,年平均温度在 15.2~16.7 °C.土壤类型主要为水稻土、潮土、紫色土、黄壤等.该区地貌类型可分为平原、丘陵和山地,其中平原面积比例高,占全市土地总面积的 40.1%.全市土地利用类型主要以耕地为主,土地利用率达 90.2%,土地利用的圈层结构明显,即中心区域为城市和近郊区,作为大城市发展用地区,为城市各项功能服务;第二圈层为中郊平原区,主要生产粮食、油料等,为全市提供粮、菜、肉、蛋等农副产品;第三圈层为远郊区,以农、林、果生产为主.截止 2014 年,成都市地区生产总值达 10 056.6 亿元,居副省级市第四位,全年进出口总额 558.4 亿美元,第一、第二、第三产业持续增长,是西部地区重要中心城市.

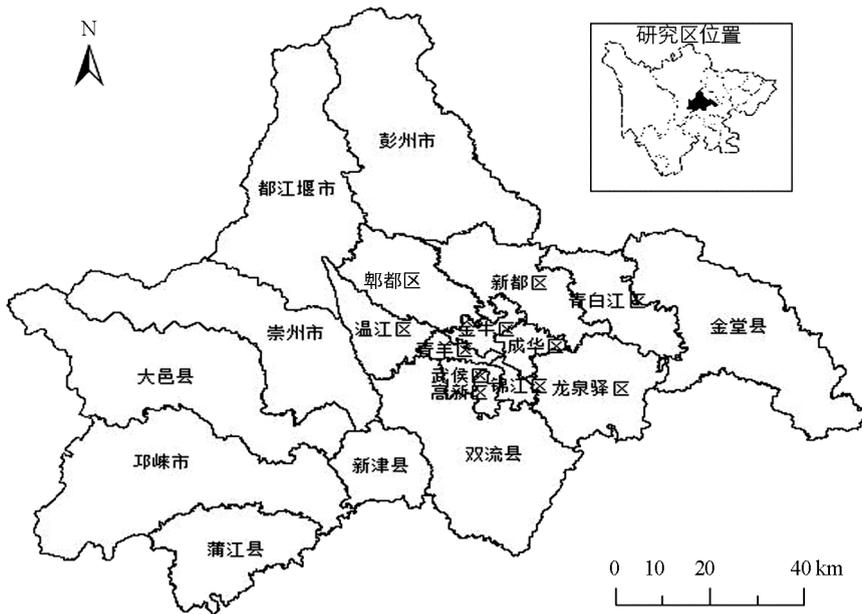


图 1 研究区位置图

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

NPP 数据来自美国 NASA EOS/MODIS 的 2001—2010 年 MOD17A3 数据集 (<https://lpdaac.usgs.gov>),空间分辨率为 1 km.该数据利用 BIOME-BGC 模型与光能利用模型建立的 NPP 估算

模型模拟得到陆地生态系统 NPP, 该数据已在全球 NPP 与碳循环研究中广泛应用。

气象数据来自成都市气象站点的气温、降水日值数据, 该数据包含 2001—2010 年的总降水量, 日温以及高程和经纬度坐标。2001 年和 2010 年两期土地利用数据来源于成都市国土部门的土地利用变更调查。

2.2 数据处理与方法

本文数据处理使用软件为 ArcGIS 10.2, SPSS 和 Excel。常规统计分析及回归分析在 SPSS 和 Excel 软件中完成。成都市的 MOD17A3 数据为两个图幅, 利用 ArcGIS 10.2 对其进行拼接, 然后对 MOD17A3 进行投影转换。以成都市行政区划图为基础进行裁剪, 并用掩膜法扣除 NPP 数据中市中心无植被覆盖区, 并根据地形地貌, 将成都市 NPP 数据分为山区、丘陵区和平原区 3 类, 提取不同地形区 NPP 值。利用地统计向导, 对成都市 14 个气象站点的气温、降水数据进行克里金插值分析, 获得整个研究区的各气象因子分布图。利用 ArcGIS 10.2 渔网工具, 将成都地区切分为 3 267 个 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 的格网, 提取 2001—2010 年每个格网内的气温变化、降水变化和土地利用面积变化。

本文采用简单差值法对相同地区不同时相的图像进行相减, 利用图像之间的差值衡量了成都市 2001—2010 年 NPP 的变化特征。用一元线性回归方法分析各地形区植被 NPP 变化趋势, Slope 趋势线斜率的绝对值越大, NPP 变化越显著。使用皮尔逊方法对 NPP 与气温、降水等影响因子进行相关分析, 再对相关系数进行显著性检验, 当 $p < 0.05$ 或 $p < 0.01$ 时, 认为有统计学意义。

运用回归方法定量分析了自然因素和人为因素对植被 NPP 的影响程度。共选取 4 个影响因素, 其中自然因素包括气温和降水, 人为因素包括耕地面积和建设用地面积。利用回归方程的校正决定系数来判断各影响因素对 NPP 变化的独立解释能力, 并以此确定植被 NPP 变化的主控因素。

3 结果与分析

3.1 植被 NPP 数据验证

为了确保本文植被 NPP 数据应用到研究区的可行性, 对数据精度进行了分析验证。区域 NPP 模型模拟精度评价一般有 2 种方法: 一种是与实测数据进行对比, 另一种是与其他模型估算结果对比^[8]。由于成都地区植被 NPP 无实测数据, 本文将 MOD17A3 模拟的成都市各植被类型 NPP 与不同模型模拟结果和部分植被实测值进行对比。由表 1 可以看出, 本文所用 MOD17A3 数据集与其他模型估算值较接近, 且在实测值范围之内, 其变化趋势也与各模型反映出的较为一致, 基本为常绿阔叶林或落叶阔叶林值最大, 草地值最小。因此, 该模型应用到成都市植被 NPP 研究中是可靠的。

表 1 MOD17A3 植被净初级生产力年均值与其他模型模拟均值及实测值的比较

植被类型	本文数据	CASA 模型 ^[9]	CEVSA 模型 ^[9]	BEPS 模型 ^[9]	Miami 模型 ^[9]	实测值 ^[9]
常绿针叶林	686.1	367.1	515.0	553	740.0	179~806
落叶阔叶林	708.6	642.9	517.6	641	449.1	114~1 669
常绿阔叶林	748.4	985.8	721.0	/	809.5	407~1 913
灌丛	417.3	367.7	272.0	/	627.5	364
草地	336.0	382.8	/	123	282.2	29.5~375
耕地	636.5	426.5	648.8	584	558.7	239~760

3.2 成都地区植被年均 NPP 年际变化

2001—2010 年成都市植被净初级生产力变化显著, 年均 NPP 在 2001—2005 年明显增加, 2005—2010 年明显减少, 总体呈下降趋势(图 2, 区间取值范围包括前值), 年际减少为 $5.04\text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。年均 NPP 波动范围在 $560 \sim 699\text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 平均值为 $663\text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。成都市年均 NPP 大于 $600\text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的区域约占总面积的 $45\% \sim 74\%$, 主要为耕地和林地。10 年间 NPP 小于 $600\text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 区域总体呈上升趋势, NPP 大于 $600\text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的区域总体呈下降趋势。统计显示, 成都地区植被净初级生产量波动范

围在 2.910~3.693 TgC/yr, 平均值为 3.266 TgC/yr, 约占全国净初级生产量的 0.08%~0.10% (以朱文泉等^[9]对中国陆地生态系统净初级生产力估算的结果为参考). 2001—2006 年, 年净初级生产量从 2.944 TgC 上升到 3.693 TgC, 呈较明显的上升趋势; 2007—2010 年, NPP 年积累量显著减少, 从 3.619 TgC 下降到 2.910 TgC, 并在 2010 年达到最小值(2.910 TgC). 10 年间, 净初级生产量由 2001 年的 2.944 TgC/yr 下降到 2010 年的 2.910 TgC/yr.

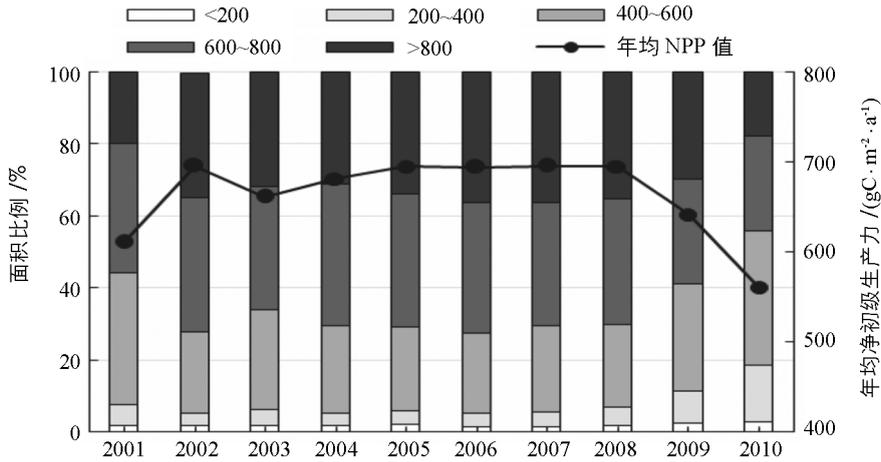


图 2 2001—2010 年成都市 NPP 年际变化

3.3 成都市植被 NPP 空间变化

从图 3a 可以看出(区间取值范围包括前值), 成都地区 NPP 空间分异明显, 总体上呈现由西南向东北逐渐减少的趋势. 从空间分布格局上看, 西南山地广泛分布常绿林, 年 NPP 积累值较大, 其次为丘陵区, 中部平原区积累值最小. 分析 10 年间植被年均 NPP 变化趋势(图 3b, 区间取值范围包括前值), 大部分地区 NPP 是减少的, 只有少部分地区增加. 增加地区主要分布在西部沿山丘陵区 and 东部低山丘陵区, 平原区和西部山区则下降严重.

统计显示, 成都市 2001—2010 年 NPP 呈减少趋势的面积占全市总面积的 65.3%, NPP 呈增加趋势的面积占 34.7%. 就各地形区而言, 平原区 NPP 呈减少趋势的面积为 78.1%, 呈增加趋势的面积为 21.9%; 山区 NPP 呈减少趋势的面积为 76.7%, 呈增加趋势的面积为 23.3%; 丘陵区 NPP 呈减少趋势的面积为 38.4%, 呈增加趋势的面积为 61.6%. 从图 4 看出, 成都市不同地形区植被 NPP 变化程度各异, 平原区地势低平, 主要以农耕为主, 近年来城市化进程加快, 土地利用结构改变较大, 植被 NPP 下降趋势最显著, 年际减少趋势为 5.8 gC/(m²·a); 山区为常绿阔叶林集中区, 区域植被易受气候影响, 植被 NPP 呈下降趋势, 年际减少趋势为 3.00 gC/(m²·a); 丘陵区森林覆盖率较低, 是经济作物的主产区, 水热配合较好, 植被 NPP 呈明显上升趋势, 年际增加趋势为 7.2 gC/(m²·a).

3.4 成都市植被 NPP 变化的影响因素分析

3.4.1 植被 NPP 与温度和降水

图 5 统计显示, 2001—2010 年成都市的年均温和年降水量总体呈下降趋势, 2005—2010 年年均温和降雨量波动较大, 且 2006, 2009 年出现不同程度的旱灾, 气温上升的同时降水量也明显减少. 对 10 年间年均温、年降水量与 NPP 的相关性分析显示(表 2), 整个成都地区植被 NPP 与降水正相关分析有统计学意义($r=0.398$, $p<0.01$), 与温度负相关分析有统计学意义($r=-0.151$, $p<0.01$), 表明温度与降水对成都地区植被 NPP 呈协同效应. 从空间上看, 各地形区植被 NPP 对年降水量和年均温的响应有明显的不同. 山区植被 NPP 与温度负相关分析有统计学意义($r=-0.235$, $p<0.01$), 与降水正相关分析有统计学意义($r=0.273$, $p<0.01$); 丘陵区植被 NPP 与温度负相关分析有统计学意义($r=-0.232$, $p<0.01$), 与降水负相关分析有统计学意义($r=-0.173$, $p<0.01$); 平原区

植被 NPP 与降水正相关分析有统计学意义 ($r=0.049, p<0.05$), 而与温度的相关性无统计学意义。相关性显示, 气温和降水对各地形区植被 NPP 影响程度从大到小依次为: 山区、丘陵区、平原区。

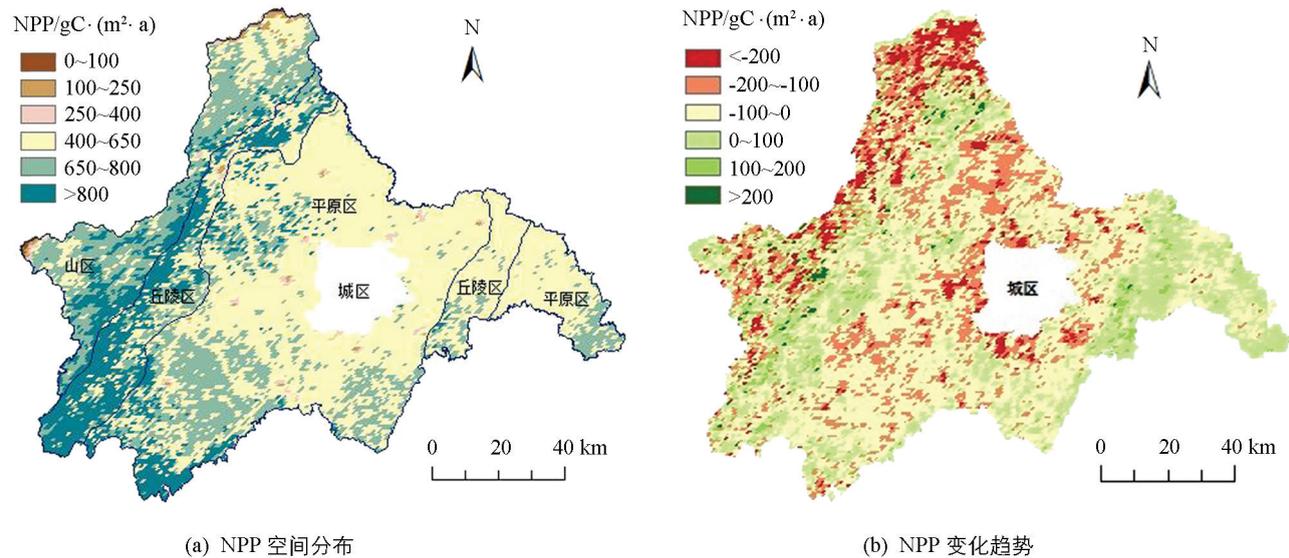


图 3 2001—2010 年成都市年均 NPP 空间分布及变化趋势

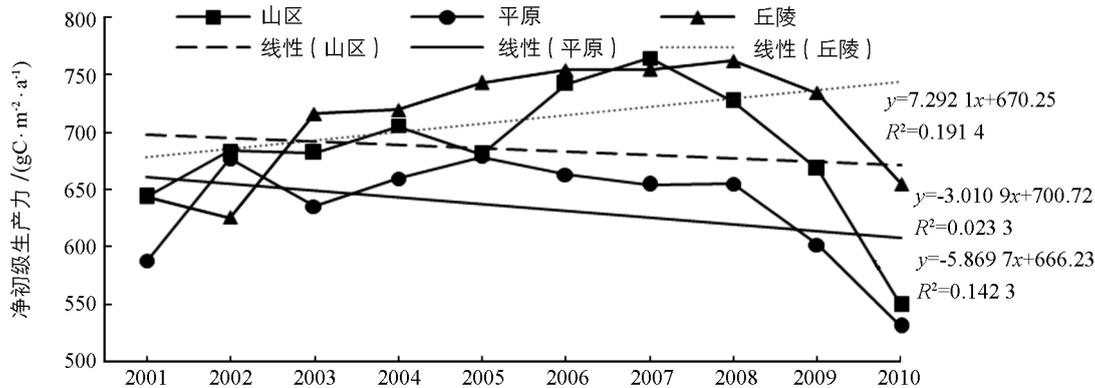


图 4 成都市 2001—2010 年不同地形区 NPP 变化折线图

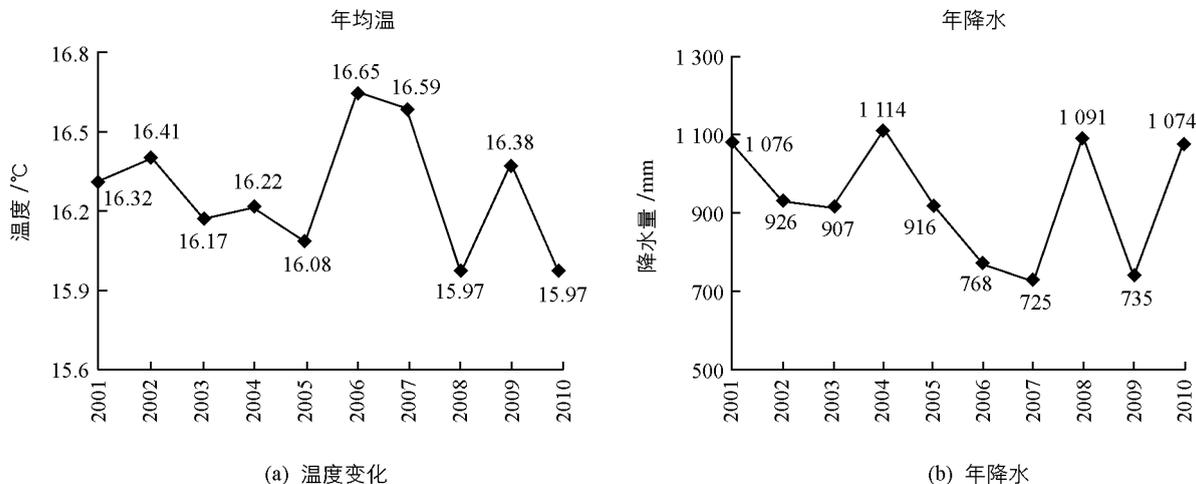


图 5 2001—2010 年成都市温度及降水变化图

表 2 2001—2010 年成都市不同地区植被年均 NPP 与温度和降水的相关关系

年份	山区		平原区		丘陵区		成都市	
	温度	降水	温度	降水	温度	降水	温度	降水
2001—2010	-0.235**	0.273**	0.004	0.049*	-0.232**	-0.173**	-0.151**	0.398**

注：* 代表 $p < 0.05$ 时有统计学意义；** 代表 $p < 0.01$ 时极有统计学意义。

3.4.2 植被 NPP 与区域土地利用变化

对成都市 2001—2010 年的土地利用变化进行分析,从土地利用面积变化图可以看出(表 3),成都地区主要土地利用类型是耕地和林地,10 年间耕地和林地总体呈下降趋势,且耕地面积比例明显下降,由 43.2% 下降到 36.0%,城市建设用地比例则快速上升,由 15.6% 增加到 24.6%,建设用地面积增加最多(10 8767 hm^2),耕地面积减少最多(87 236 hm^2),林地面积也出现减少,主要转化为建设用地和其他土地。

对成都市主要土地利用类型与 NPP 相关分析显示(表 4),10 年间 NPP 与耕地面积正相关分析有统计学意义($r=0.103$, $p < 0.01$),与建设用地面积负相关分析有统计学意义($r=-0.212$, $p < 0.01$),且 NPP 与建设用地变化相关性强于耕地变化。对各地形区土地利用类型与 NPP 相关分析显示,平原区 NPP 与耕地面积正相关分析有统计学意义($r=0.78$, $p < 0.01$),与建设用地面积负相关分析有统计学意义($r=-0.322$, $p < 0.01$);丘陵区受人为因素影响程度比平原区小,该区 NPP 与建设用地面积负相关分析有统计学意义($r=-0.231$, $p < 0.01$);山区与各土地利用类型相关性均无统计学意义,表明山区植被 NPP 受人为因素影响较小。就成都地区而言,建设用地面积变化对 NPP 影响程度最大,进一步对 NPP 变化与建设用地变化比例趋势分析显示(图 6),趋势线斜率为负,表明随着建设用地面积增加,NPP 呈下降趋势。当建设用地变化比例处于 $-20\% \sim 0$ 时,NPP 出现上升趋势;当建设用地变化比例处于 $0 \sim 10\%$ 时,NPP 出现明显下降趋势;当建设用地变化比例大于 20% 时,NPP 出现明显下降趋势。

表 3 成都市 2001—2010 年土地利用面积变化

土地利用类型	2001 年		2010 年		2001—2010 年变化	
	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%
耕地	461 660	43.2%	356 540	36.0%	-87 236	-7.2%
林地	335 912	27.8%	330 528	27.3%	-5 384	-0.4%
建设用地	188 878	15.6%	297 645	24.6%	108 767	9.0%
水域	11 226	0.9%	11 377	0.9%	151	0.0%
农村居民点	94 751	7.8%	95 555	7.9%	804	0.1%
其他土地	55 959	4.6%	38 857	3.2%	-17 102	-1.4%

表 4 成都地区植被 NPP 与土地利用变化的相关关系

区域	耕地	林地	建设用地
山区	-0.034	0.059	0.057
平原区	0.078**	0.033	-0.322**
丘陵区	-0.016	0.023	-0.231**
成都市	0.103**	0.027	-0.212**

注：* 代表 $p < 0.05$ 时有统计学意义；** 代表 $p < 0.01$ 时极有统计学意义。

3.5 自然因素和人为因素的贡献比例

NPP 影响因素主要包括自然因素和人为因素,利用回归分析来进一步量化不同影响因素的相对重要程度。分别以温度、降水量、耕地面积、建设用地面积为自变量进行回归分析,以定量揭示不同因素对成都市及各地形区 NPP 的影响程度。结果表明(表 5),各回归方程均达到极有统计学意义水平($p < 0.001$)。对整个成都地区而言,温度和耕地面积变化对植被 NPP 的独立解释能力分别为 2.3% 和 1%,表明温度和耕

地面积变化在一定程度上对植被 NPP 空间变化产生了影响, 但影响程度有限. 降水量对成都市植被 NPP 的解释能力最大, 达 16.4%, 是成都市植被 NPP 空间变化的主控因素. 其次为建设用地面积变化, 对 NPP 的解释能力为 10.5%. 说明除降水影响外, 快速城市化造成的土地利用状况变化也对植被 NPP 产生了重要影响. 对各地形区而言, 山区受人为因素影响较小, NPP 变化主要受到温度和降水量等自然因素影响, 降水量是主控因素(独立解释能力为 6.6%); 平原区受自然因素影响较小, 受人为因素影响较大, NPP 变化主要影响因素有降水量、耕地面积和建设用地区积, 其中建设用地区积为主控因素(独立解释能力为 10.3%); 丘陵区 NPP 变化主要受到温度、降水量、建设用地区积影响, 建设用地区积为主控因素(独立解释能力为 5.2%), 但各影响因素的独立解释能力差别不大.

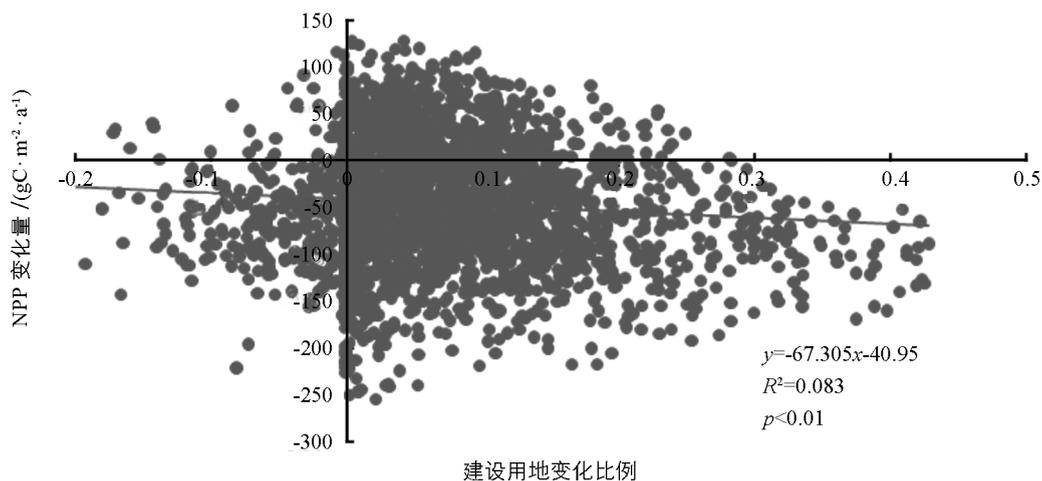


图 6 NPP 与建设用地变化的关系

表 5 不同因素对植被 NPP 的回归分析结果

区域	影响因素	决定系数 R^2	校正决定系数 R^2	p
山区	温度	0.052	0.050	<0.001
	降水量	0.068	0.066	<0.001
平原区	降水量	0.003	0.003	<0.001
	耕地面积	0.006	0.006	<0.001
	建设用地区积	0.103	0.103	<0.001
丘陵区	温度	0.050	0.048	<0.001
	降水量	0.032	0.030	<0.001
	建设用地区积	0.053	0.052	<0.001
成都市	温度	0.028	0.023	<0.001
	降水量	0.165	0.164	<0.001
	耕地面积	0.011	0.010	<0.001
	建设用地区积	0.106	0.105	<0.001

4 讨论

对陆地植物而言, 气温、降水等自然因素对植物 NPP 的影响程度受到区域环境的限制, 所以在不同地区, 植被的生长与气候因子的相关性有所不同^[10-12]. NPP 的变化是气候变化的良好指标, 本文研究显示, 温度与降水对整个成都市 NPP 的影响显著, 其中温度和降水对各地形区 NPP 影响从大到小程度依次为: 山区、丘陵区、平原区, 说明山区植被 NPP 受气候因子的影响较大, 而平原区和丘陵区植被

NPP 受气候因子的影响较小, 主要原因是都江堰水利工程有效地控制了岷江进入成都平原的灌溉水量, 在消除岷江水患的同时又灌溉了岷江沿岸地区农田, 极大满足了成都平原和川中丘陵地区农业用水的需要, 使灌区受旱情影响较小^[13]. 同时平原区和丘陵区植被覆盖度较低, 而山区植被覆盖度高, 干旱等气候异常对该区植物和作物生长影响较大, 且山区远离快速化平原区, 受人类活动影响较少, 所以该区域植被对气候因子更为敏感.

NPP 的时空变化主要取决于植被、土壤和气候之间的复杂相互作用, 并受人类活动和全球环境变化的强烈影响^[14]. 相关性研究表明, 10 年间成都市 NPP 与耕地面积正相关分析有统计学意义与建设用地面积负相关分析有统计学意义, 且 NPP 与建设用地变化相关性强于耕地变化, 同时土地利用变化对平原区的影响显著大于丘陵区及山区. 这是因为城市化进程不断加快导致了土地利用结构的改变, 而土地利用状况的变化能直接影响生态系统的类型、结构和功能, 从而改变植被净初级生产力^[15-16]. 特别是在平原地区, 快速地城市化发展、产业集群效应和基础设施建设力度明显大于丘陵区及山区, 使得该区域在土地利用结构发生巨大转变的同时, 也影响着区域内 NPP 的积累. 就整个成都地区而言, 2001—2010 年成都地区因城市人口增长和城市化发展引起城市建设用地急速扩张, 大量耕地转化为建设用地, 造成土地利用格局变化剧烈, 对成都市植被生产力产生了负面影响^[17-18]. 回归分析进一步显示, 成都地区 NPP 主要受到温度、降水量、耕地面积、建设用地面积变化的影响, 其中降水是主控因素, 其独立解释能力为 16.4%, 与其他学者^[19-22]的研究具有一定相似性, 这主要是因为降水量是影响土壤水分的重要因素, 而土壤水分质量分数则是植被生长的主要限制因素, 水分过多或过少都会抑制植被生长及光合作用, 从而不利于 NPP 的积累^[23-25]. 就各地形区而言, 平原区 NPP 呈下降趋势, 其变化主要受到降水量、耕地面积和建设用地面积影响, 其中建设用地面积为主控因素, 这与相关分析结果一致, 说明平原区 NPP 变化主要受到人为因素的影响. 丘陵区 NPP 呈缓慢上升趋势, 其变化主要受到温度、降水量、建设用地面积影响, 建设用地面积为主控因素, 但各因素的独立解释能力差别不大, 说明丘陵区虽然受到自然因素及人为因素的共同作用, 但近年来长防林建设和退耕还林工程对改善区域生态环境起到了很大的作用, 区域水热条件配合良好. 山区 NPP 变化主要受到温度和降水量影响, 降水量是主控因素, 说明山区对自然因素的响应最为敏感. 总体而言, 成都市 NPP 总体呈现下降趋势, 其中平原区相较于山区及丘陵区而言 NPP 下降最为显著, 针对这一状况, 应在快速城市化的同时, 适当控制建设用地的急速扩张以及耕地的盲目占用, 同时继续推进丘陵区的长防林建设和退耕还林工程, 维持生态环境稳定性, 从而加强整个区域的生态系统服务功能.

5 结 论

1) 成都市 2001—2010 年植被净初级生产力总体呈下降趋势, 波动范围在 560~699 gC/(m²·a), 平均值为 663 gC/(m²·a). 10 年间植被 NPP 呈减少的面积占全市总面积的 65.3%, 植被 NPP 呈增加的面积占 34.7%. 植被净初级生产量由 2001 年的 2.944 TgC/yr 下降到 2010 年的 2.811 TgC/yr, 表明成都地区植被固碳能力有所减弱.

2) 成都市植被 NPP 空间分布表现为由西南向东北逐渐减少的趋势. 不同地形区植被 NPP 变化程度各异: 平原区主要受到土地利用格局等人为因素影响, 同时又受到气候因子作用, NPP 下降趋势最显著; 山地虽然受人类活动影响较少, 但植被对气候因子更为敏感, 受高温干旱作用植被 NPP 也显著下降; 丘陵区受人类活动影响较少, 近年来长防林建设和退耕还林工程对改善区域生态环境起到了很大的作用, 区域水热条件配合良好, 所以植被 NPP 呈上升趋势.

3) 相关分析显示成都市植被 NPP 主要受到温度、降水、耕地面积变化和建设用地面积变化的影响. 回归分析表明, 降水是植被 NPP 变化的主控因素, 独立解释能力为 16.4%; 其次为建设用地面积变化, 解释能力为 10.5%. 对各地形区而言, 山区 NPP 变化主要受到温度和降水量影响, 降水量是主控因素(独立解释能力为 6.6%); 平原区 NPP 变化主要受到降水量、耕地面积和建设用地面积影响, 建设用地

面积为主控因素(独立解释能力为 10.3%); 丘陵区 NPP 变化主要受到温度、降水量、建设用地面积影响, 建设用地面积为主控因素(独立解释能力为 5.2%)。说明成都市植被 NPP 变化在受到自然因素和人为因素的共同作用。

参考文献:

- [1] FIELD C B, RANDERSON J T, MALMSTROEM C M. Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51(1): 74—88.
- [2] 王修信, 孙涛, 朱启疆, 等. 利用 BEPS 模型估算城区植被净初级生产力的时空变化 [J]. *干旱资源与环境*, 2014, 28(11): 1—5.
- [3] 张杰, 潘晓玲. 天山北麓山地—绿洲—荒漠生态系统净初级生产力空间分布格局及其季节变化 [J]. *干旱区地理*, 2010, 33(1): 78—86.
- [4] 梁妙玲, 谢正辉. 我国气候对植被分布和净初级生产力影响的数值模拟 [J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(5): 582—592.
- [5] 谢宝妮, 秦占飞, 王洋, 等. 黄土高原植被净初级生产力时空变化及其影响因素 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 244—253.
- [6] 罗玲, 王宗明, 宋开山, 等. 吉林省西部草地 NPP 时空特征与影响因素 [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(11): 2319—2325.
- [7] 王琳, 景元书, 李琨. 江苏省植被 NPP 时空特征及气候因素的影响 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(11): 2529—2533.
- [8] LIU Y, JU W M, HE H L, et al. Changes of Net Primary Productivity in China During Recent 11 Years Detected Using an Ecological Model Driven by MODIS Data [J]. *Frontiers of Earth Science*, 2013, 7(1): 112—127.
- [9] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413—424.
- [10] GAO Y H, ZHOU X, WANG Q, et al. Vegetation Net Primary Productivity and Its Response to Climate Change During 2001—2008 in the Tibetan Plateau. [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 444(1): 356—362.
- [11] 刘思瑶, 卢涛, 唐斌, 等. 基于 CASA 模型的四川植被净初级生产力及其时空格局分析 [J]. *四川农业大学学报*, 2013, 31(3): 269—282.
- [12] 张德铨, 祁威, 周才平, 等. 青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP)时空分异 [J]. *地理学报*, 2013, 68(9): 1197—1211.
- [13] 杨斌. 都江堰水利可持续发展与成都平原经济社会发展的关系研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [14] 王莺, 夏文韬, 梁天刚, 等. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地净初级生产力时空变化研究 [J]. *草业学报*, 2010, 19(1): 201—210.
- [15] 韩艳飞, 柯长青, 李晶. 近 30 年关天经济区植被净初级生产力对土地利用变化的动态响应 [J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(6): 68—74.
- [16] 陈探, 刘森, 胡远满, 等. 沈阳经济区土地利用和净初级生产力变化 [J]. *生态学报*, 2015, 35(24): 8231—8240.
- [17] 国志兴, 王宗明, 张柏, 等. 2000—2006 年东北地区植被 NPP 的时空特征及影响因素分析 [J]. *资源科学*, 2008, 30(8): 1226—1235.
- [18] 古琳. 成都市近 20 年林地景观动态变化研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [19] 陈晓玲, 曾永年. 亚热带山地丘陵区植被 NPP 时空变化及其与气候因子的关系——以湖南省为例 [J]. *地理学报*, 2016, 71(1): 35—48.
- [20] 吴晓全, 王让会, 李成, 等. 天山植被 NPP 时空特征及其对气候要素的响应 [J]. *生态环境学报*, 2016, 25(11): 1848—1855.
- [21] 刘琳, 李月臣, 朱翠霞, 等. 2001—2010 年重庆地区植被 NPP 时空变化特征及其与气候因子的关系 [J]. *遥感信息*, 2013, 28(5): 99—108.
- [22] 赵东升, 吴绍洪, 尹云鹤. 气候变化情景下中国自然植被净初级生产力分布 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 897—904.

- [23] 程春晓, 徐宗学, 王志慧, 等. 2001—2010 年东北三省植被净初级生产力模拟与时空变化分析 [J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2401—2412.
- [24] 徐兴奎, 林朝晖, 薛峰, 等. 气象因子与地表植被生长相关性分析 [J]. 生态学报, 2003, 23(2): 221—230.
- [25] 譙捷. 成都市温度和降雨变化趋势及其对农业的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30): 17088—17089.

The Effects of Changes in Climate and Land Use on the Spatio-Temporal Distribution of Vegetation NPP in Chengdu

PENG Yue-yue¹, WEI Yan-bing², LI Qi-quan^{1,3}, YU Xue-lian¹

1. Resource College of Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China;

3. Resource and Geographic Information Technology Research Institute of Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the construction of regional ecological environment and rational urban land-use planning, this paper analyzes the spatio-temporal variation and its influencing factors for vegetation net primary productivity in Chengdu based on the annual NPP data of MOD17A3 data sets from 2001 to 2010, and conducts a quantitative analysis of the influencing factors causing vegetation NPP variation with the help of the regression analysis method. Results indicate that the annual variation characteristics of vegetation net primary productivity in the research area are obvious, while the annual net primary productivity is distributed in the range of 560 and 699 $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, averaging 663 $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Overall, in the ten years (2001—2010), the vegetation net primary productivity in Chengdu presented a decreasing tendency, with an annual decrease of 5.04. The spatial distribution of vegetation net primary productivity in Chengdu shows a tendency of gradual decrease from southwest to northeast. The vegetation NPP varies with different morphologic regions. The plain areas show the most obvious decreasing tendency, followed by the mountainous areas, while a rising tendency is present in the hilly areas. Temperature, precipitation, agricultural acreage and construction land area account for 2.3%, 16.4%, 1.0% and 10.5%, respectively, of the vegetation NPP spatio-temporal variation in Chengdu. In other words, the vegetation NPP in the research area is under the combined action of natural factors and artificial factors. As a whole, the main control function of natural factors on vegetation NPP spatio-temporal variation is stronger than artificial factors. NPP variation in mountainous areas is mainly influenced by temperature and precipitation, while precipitation is the main control factor (its independent interpretation ability being 6.8%). NPP variation in plain areas is mainly influenced by precipitation, agricultural acreage and construction land area, while construction land area is the main control factor (its independent interpretation ability being 10.3%). NPP variation in hilly areas is mainly influenced by temperature, precipitation and construction land area, while construction land area is the main control factor (its independent interpretation ability being 5.2%).

Key words: NPP; climatic factor; land use; spatio-temporal variation; Chengdu