

李 贝,于 莉,郭 硕,等. 县域尺度植被净初级生产力遥感估算及时空变化特征[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):246-249.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.062

县域尺度植被净初级生产力遥感估算 及时空变化特征

李 贝,于 莉,郭 硕,张蓬涛

(河北农业大学国土资源学院,河北保定 071001)

摘要:县域 NPP(植被净初级生产力)是生态过程的重要参数,对区域生态调控具有重要的借鉴意义。为掌握县域 NPP 时空变化特征,探索生态调控的最优途径,以气象和遥感数据为基础,应用 CASA 模型估算河北省秦皇岛市青龙满族自治县 2001 年、2007 年、2013 年 3 个时期的 NPP 产量,并分析了各土地类型 NPP 产量的时空变化情况。结果表明,不同用地类型 NPP 总产量、单产均呈下降趋势。各土地类型 NPP 单产下降幅度均在 20% 以上,耕地降幅最大,为 30.07%,园地降幅最小,为 24.70%。单位面积 NPP 产量平均值最大的用地类型为林地,其次为未利用地,园地与耕地的 NPP 产量相近。以格网为单元对 NPP 单产进行等级划分,空间分布由西北、东南部县域边缘的高值向中西部、中部递减。NPP 产量的冷热点区与土地类型的空间分布关系密切。

关键词:县域;NPP;时空变化;冷热点分析;土地类型

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0246-04

NPP(植被净初级生产力)是绿色植物在特定面积、时间内积累的用于植物生长及繁殖的有机物数量^[1]。NPP 不仅是表征陆地生态系统生产有机物质能力大小的重要指标,而且具有吸收氧气、释放二氧化碳、碳汇三大功能,对生态系统具有重要的调节作用。对 NPP 时空变化特征的研究是监测生态系统状况的重要手段,具有重要的现实意义。穆少杰等对内蒙古不同植被类型的 NPP 进行估算,并分析其对气候的响应^[2]。张德铨等通过 NPP 的估算对青藏高原高寒草地生态系统健康状况进行了研究^[3]。其他学者也基于对 NPP 时空特征的分析对区域的生态系统状况进行了动态分析^[4-6]。但对县域尺度 NPP 的研究较少,且基于格网技术进行的空间变化分析鲜有报道。河北省秦皇岛市青龙满族自治县处于省级重点生态功能区,是京、津、冀东地区的生态屏障,生态功能地位较重要,因此,研究青龙满族自治县植被生产力的时空变化特征,对县域范围内的生态调控具有重要意义。

1 研究区概况

青龙满族自治县(以下简称青龙县)位于河北省东北部燕山山脉东段,处于东经 118°33′31″~119°36′30″、北纬 40°04′40″~40°36′52″之间。属大陆性季风气候,季风显著。年平均太阳辐射量 5 498 MJ/m²,年平均日照时数 2 769.4 h,年平均气温 9.4℃,最冷月、最热月分别是 1 月、7 月;年平均

降水量 668.4 mm,降水集中在夏季,多暴雨,夏季降水占年降水量的 72.7%;年平均蒸发量 1 481.8 mm。县域地势西、北高,东、南低,自西北向东南倾斜,呈马鞍形。青龙县的地貌特点为山地、丘陵、河谷相间分布,耕地少,林地面积大,水资源丰富,这种地形分布决定了全县以农业为主,农林牧多种经营的生产格局。

2 数据与方法

2.1 研究数据

(1)本研究所涉及的遥感数据来源于地理空间数据云网站(www.gscloud.cn)3 期 Landsat TM/OLI 数据(2001 年、2007 年、2013 年),成像时间为 8 月、9 月(时间间隔小于 1 个月)。为更好地获取土地利用信息,提高解译数据精度,对遥感影像进行预处理。

(2)NDVI 数据来自美国 LAADS 网站,为 16 d 合成数据,依据最大合成法将 3 年 69 幅 NDVI 数据形成逐月 NDVI 数据。

(3)气象数据来源于青龙满族自治县周边的 12 个气象站点的实测数据及我国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/satellite>),数据包括各月降水量、气温、太阳辐射、日照时数等,并进行空间插值。

2.2 研究方法

目前估算陆地净初级生产力的模型主要有参数、统计、过程模型 3 类^[7-11]。比较各模型的优缺点并结合研究区的特点、掌握的数据情况,采用 CASA 模型^[12-13]进行估算,公式如下:

$$NPP_{\text{year}} = \sum_{i=1}^n NPP_{\text{month}}(x, t);$$

$$NPP_{\text{month}}(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t)。$$

式中:APAR(x, t)为光合有效辐射, MJ/m²; $\varepsilon(x, t)$ 为光能利用

收稿日期:2016-03-03

基金项目:河北省社会科学发展研究课题(编号:2014030224);河北省社会科学基金(编号:HB14GL039、HB14GL040)。

作者简介:李 贝(1990—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事土地经济与评价研究。E-mail:libei2009forever@126.com。

通信作者:张蓬涛,博士,教授,博士生导师,主要从事土地经济与评价研究。E-mail:zhangpt@hebau.edu.cn。

率, g C/MJ; x 表示第 x 个像元; t 为第 t 月; NPP_{year} 、 NPP_{month} 分别为植被净初级生产力年值数据、月值数据。

(1) APAR 的估算

APAR 的大小与太阳辐射量 (SOL)、光合有效吸收率有关, 公式为

$$APAR(x, t) = FPAR(x, t) \times SOL(x, t) \times 0.5。$$

式中: $FPAR$ 、 SOL 分别为能够被植被吸收的入射光合有效辐射 (PAR) 比例、太阳辐射量, 单位均为 MJ/($m^2 \cdot$ 月); 0.5 为能够被植被所利用的太阳有效辐射。

$FPAR$ 与 $NDVI$ (差分植被指数)、 SR (比值植被指数) 均存在很大相关性, 可依据相关公式计算^[12]。

(2) $\varepsilon(x, t)$ 的估算

$\varepsilon(x, t)$ 指能量固定效率, 即将被植物所吸收的 PAR (光合有效辐射) 转为有机碳的效率。 $\varepsilon(x, t)$ 的大小受温度、光照等因素的影响, 公式为

$$\varepsilon(x, t) = f(T) \times f(\beta) \times \varepsilon_{\max}。$$

式中: $f(T)$ 、 $f(\beta)$ 分别为温度、水分胁迫系数; T 、 β 分别为温度、蒸发比; ε_{\max} 为最大光能转化率, g C/MJ。

① ε_{\max} 的估算

ε_{\max} 用有机物所含能量与土地所接受的太阳能的比值表示。直接估算 NPP 与间接估算 NPP, 因是否考虑呼吸消耗而不同。本研究直接估算 NPP, 考虑了呼吸消耗, 采用朱文泉等的研究结果, 林地 ε_{\max} 取 0.692 g C/MJ, 其他植被类型取 0.542 g C/MJ^[14]。

② $f(T)$ 、 $f(\beta)$ 的估算

$f(T)$ 、 $f(\beta)$ 分别为温度、水分胁迫系数, 两者分别表示温度、水分对植物光合作用的影响^[15], 公式^[16]为

$$f(T) = f_{g1}(x, t) \times f_{g2}(x, t);$$

$$\begin{cases} f_{g1}(x, t) = 0.8 + 0.02f_{\text{opt}}(x) = 0.0005[f_{\text{opt}}(x)]^2 \\ f_{g2}(x, t) = \frac{1.184}{[1 + e^{0.2[f_{\text{wp}}(x) - 10 - f(x, t)]]} \times [1 + e^{0.3[-f_{\text{wp}}(x) - 10 + f(x, t)]]} \end{cases}。$$

式中: $f_{g1}(x, t)$ 代表温度过高或者过低时, 对植物光合作用的限制, 特别地, 当月平均温度小于等于 -10 $^{\circ}\text{C}$ 时, $f_{g1}(x, t) = 0$; $f_{g2}(x, t)$ 表示气温从最适宜温度升高或降低的过程中, 对光能转化率的影响; $f_{\text{opt}}(x)$ 为植被最适温度, 依据年内 $NDVI$ 最高值的月平均气温确定; $f(x, t)$ 为 t 月像元 x 的月平均温度, 特别地, 在 $f(x, t)$ 低于最适宜温度 13 $^{\circ}\text{C}$ 或者高于最适宜温度 10 $^{\circ}\text{C}$ 的情况下, $f_{g2}(x, t)$ 是月平均温度为最适宜温度的情况下 $f_{g2}(x, t)$ 的 $1/2$ 。

$f(\beta) = 0.5 + 0.5EET(x, t)/PET(x, t)$ [$0.5 \leq f(\beta) \leq 1.0$]。式中: $EET(x, t)$ 为实际蒸散量, mm; $PET(x, t)$ 为潜在蒸散量, mm。

$$EET(x, t) = \frac{P(x, t) \times R_n(x, t) \times \{ [P(x, t)]^2 + P(x, t) \times R_n(x, t) + [R_n(x, t)]^2 \}}{[P(x, t) + R_n(x, t)] \times \{ (P(x, t))^2 + (R_n(x, t))^2 \}};$$

$$R_n(x, t) = [PET_0(x, t) \times P(x, t)]^{0.5} \times \{0.369 + 0.598 \times [PET_0(x, t)/P(x, t)]^{0.5}\};$$

$$PET(x, t) = [EET(x, t) + PET_0(x, t)]/2。$$

式中: $P(x, t)$ 、 $R_n(x, t)$ 分别表示 t 月份 x 像元的月降水及地表净辐射量; 其中 $PET_0(x, t)$ 为局地潜在蒸散量, 由 Thornthwaite 植被 - 气候关系模型求得^[17-18]。

3 结果与分析

3.1 时间变化分析

3.1.1 各土地类型 NPP 总量的变化 土地利用类型面积变化是影响生态环境变化及生态系统服务的重要因子, 不同土地类型间的转换对区域生态系统服务功能的变化产生不同的影响。基于此, 本研究对青龙县 2001—2013 年各土地类型 (除水域、建设用地外) 的植被净初级生产力进行统计。

由表 1 可知, 2001—2013 年植被净初级生产力总量呈下降趋势, 12 年间共减少了 47.04 万 t C, 平均每年减少 3.92 万 t C。各土地类型 NPP 产量均呈减少的趋势且存在明显差异, 其中未利用地减少的数量最多, 12 年间减少了 23.15 万 t C, 占减少总量的 49.21%; 减少数量最小的为园地, 占减少总量的 8.97%; 按 NPP 产量减少数量排序为未利用地 > 林地 > 耕地 > 园地。2001—2007 年, 6 年间 NPP 总量共减少了 31.28 万 t C, 平均每年减少 5.21 万 t C, 按 NPP 产量减少数量排序为未利用地 > 林地 > 园地 > 耕地。2007—2013 年, 6 年间总量共减少了 15.76 万 t C, 平均每年减少 2.63 万 t C, 按 NPP 产量减少数量排序为未利用地 > 林地 > 耕地 > 园地。

对上述 3 个时间段 NPP 产量的变化进行对比可知, 3 个时间段未利用地、林地的变化量较大, 始终位于前 2 位; 2001—2007 年变化量最小的用地类型为耕地; 2007—2013 年园地变化量最小, 为 0.89 万 t C, 同时也是 12 年间变化量最小的用地类型。NPP 产量的变化情况与 2 个因素相关, 分别为面积数量、单位面积 NPP 产量。未利用地与林地 NPP 产量变化较大, 主要因为这 2 种用地类型是研究期变化幅度最大的用地类型。而园地的面积变化情况为 2001—2007 年变化较大, 2007 年后变化较小, 说明各地类的 NPP 产量受面积数量的变化波动较明显。

表 1 青龙县 2001—2013 年各土地类型 NPP 物质总量统计结果

年份	NPP (万 t C)				
	耕地	园地	林地	未利用地	总计
2001	15.81	24.90	79.35	57.08	177.14
2007	13.03	21.57	69.41	41.85	145.86
2013	10.88	20.68	64.60	33.94	130.10
2001—2007	-2.78	-3.33	-9.94	-15.24	-31.28
年平均变化量	-0.46	-0.56	-1.66	-2.54	-5.21
2007—2013	-2.15	-0.89	-4.81	-7.91	-15.76
年平均变化量	-0.36	-0.15	-0.80	-1.32	-2.63
2001—2013	-4.93	-4.22	-14.75	-23.15	-47.04
年平均变化量	-0.41	-0.35	-1.23	-1.93	-3.92

3.1.2 NPP 总量构成的变化 由图 1 可知, 12 年间 NPP 总量的构成中, 林地、未利用地 NPP 产量的占比较大, 3 个时期二者占 NPP 总量均为 75% 以上; 耕地 NPP 产量的贡献度最小, 始终低于 9%。可见该地区固碳释氧供给的来源主要为林地与未利用地。整体来看, 3 个时期 NPP 产量的结构未发生明显变化, 占比大小均为林地 > 未利用地 > 园地 > 耕地。2001—2007 年、2007—2013 年、2001—2013 年 3 个时间段园地与林地的构成比例始终递增, 未利用地的构成比例持续降低, 而耕地比例变化不明显, 与土地类型比例的变化情况基本一致, 而耕地由于面积较小, 比例变化不明显。2001—2007

年、2007—2013 年、2001—2013 年 3 个时间段比例变化最大与最小的分别为未利用地、耕地。体现出人类活动对土地利用方式的改变直接影响了 NPP 产量的变化情况,尤其是对未利用地的开发,造成未利用地 NPP 产量比例变化明显。

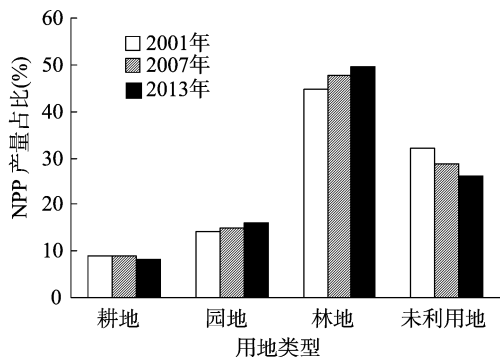


图1 青龙县 NPP 产量占比变化

3.1.2 各用地类型单位面积 NPP 产量的变化 由图 2 可知,研究区单位面积 NPP 产量均值最大的是林地,其次为未利用地,园地与耕地单位面积 NPP 产量相近。林地的单位面积 NPP 产量均值较大的主要原因为该区域林地的光能转化率较其他土地类型大。平均单位面积 NPP 产量分别由 2001 年的 $539.24 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 下降到 2007 年、2013 年的 443.42 、 $397.07 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$,下降了 17.77% 、 26.36% ,表明 NPP 的生产力退化较为明显,且 2001—2007 年比 2007—2013 年退化迅速。对同一时期各用地类型的 NPP 产量均值差异情况进行比较,2001 年、2007 年、2013 年的标准差分别为 22.10 、 22.06 、 22.54 ,表明年际间的相对变化较小,呈现各用地类型 NPP 产量均值整体下降的趋势。各土地类型平均单位面积的 NPP 产量均呈下降趋势,各土地类型平均单位面积 NPP 产量的下降幅度均在 20% 以上,耕地的降幅最大,为 30.07% ,园地的降幅最小,为 24.70% 。说明耕地受人类活动的干扰较强,NPP 的生产能力下降较明显。

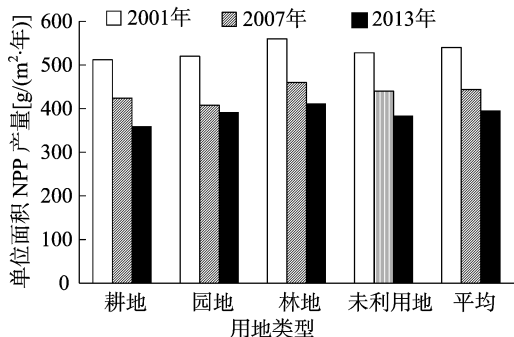


图2 青龙县各用地类型单位面积 NPP 产量

3.2 空间变化分析

3.2.1 空间分布情况 为进一步研究 NPP 产量的空间分布差异,本研究以格网为单元对单位面积 NPP 产量进行等级划分, $200 \sim 300$ 、 $>300 \sim 400$ 、 $>400 \sim 500$ 、 $>500 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 分别为低值、中值、中高值、高值(图 3)。采用 ArcGIS 10.2 软件,计算研究区 2001 年、2007 年、2013 年各类土地用地比率的 Getis - Ord G^* 指数(设定置信度水平为 95%)。根据评价模型计算可知,青龙县 2001 年单位面积 NPP 平均产量主要分布在中值、中高值,分别占总面积的 32.92% 、 54.90% ; 2007 年高值区域在西北、西南扩张。到 2013 年,单位面积 NPP 平均产量又主要分布在中、中高值,占比分别为 39.73% 、 48.19% 。单位面积 NPP 平均产量空间分布上的总体特征为高值在西北都山林场、东南祖山林场集中分布,产量由县域边缘向中西部、中部递减,中值区域逐步扩大,低值零星分布。出现该分布的原因是县域边缘为林地、未利用地聚集区域,林地的光能转化率比其他土地类型大,未利用地受人类干扰较少,在县域边缘形成高值、中高值区。2001—2007 年由于受退耕还林政策的影响,出现高值区域扩大的现象。2007 年后退耕还林初步结束,随着土地利用变化,未利用地大幅减少,人类的活动范围逐步扩大,单位面积 NPP 产量出现衰退的现象。

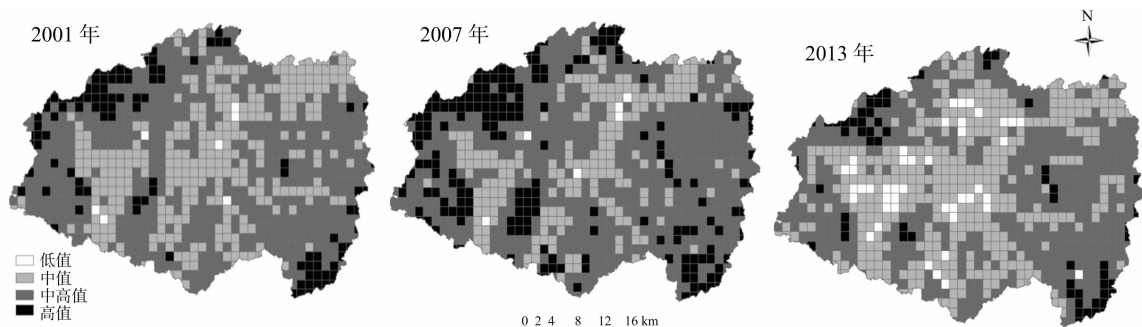


图3 青龙县 NPP 单产的空间分布

3.2.2 空间分布特征 经计算,2001 年处于 NPP 产量热点区的栅格数为 132 个,占栅格总数的 13.62% ,主要分布在县域的西北部边缘、东南角(图 4)。处于冷点区的栅格数为 125 个,占栅格总数的 12.90% ,分布在县域的西南部、中北部、东北部区域(图 4)。冷点区与热点区栅格数量相当,二者合计占栅格总数的 26.52% ,表明区域 NPP 产量聚集分布特征较明显的区域占研究区的 26.52% 。2007 年、2013 年西北部边缘的热点区呈缩减趋势,东南角呈先缩减后扩展的趋势;

冷点区在西南部扩张,东北部区缩减。热点区主要为都山林场、祖山林场所在的区域,一方面由于林地覆盖率高,植被覆盖度好,两区域为 NDVI 指数高值聚集区域,且林地光能转化率较该地其他土地类型大,故形成高值聚集区域。冷点区西南、中北、东北部为地均 NPP 产量低值聚集区,分别为园地、耕地、未利用地聚集区,这些区域森林覆盖率较低,植被覆盖度不高。整体来看,冷点、热点区域随时间变化不大,NPP 产量高值与低值聚集区域空间分布较为稳定,说明 NPP 产量的

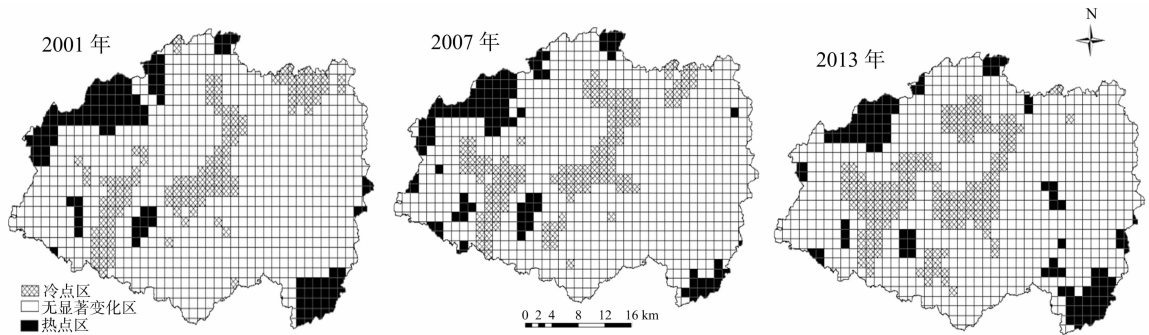


图4 青龙县 NPP 单产冷热的空间格局

局部空间自相关性受社会经济条件影响较小,受自然条件影响较大。

4 结论

利用 CASA 模型对研究区 2001—2013 年的植被净第一生产能力进行估算,并对 NPP 单产的时空变化特征进行分析,得到以下结论。

青龙县 2001—2013 年 NPP 总产量整体呈下降趋势,其中未利用地的 NPP 产量减少最多,12 年间减少了 23.15 万 t C,占减少总量的 49.21%。原因为未利用地是近年来面积减少最多的用地类型。

研究期间各土地类型单位面积 NPP 产量呈下降趋势,下降幅度均在 20% 以上,耕地降幅最大,为 30.07%,园地降幅最小,为 24.70%。说明耕地受人类活动的干扰较强,NPP 的生产能力下降较明显。

单位面积 NPP 平均产量空间分布特征是由西北部的都山林场、东南祖山林场高值区,县域边缘的中高值区向中西部、中部递减,中值区域逐步扩大,低值零星分布。出现该分布的原因与土地类型分布和人类活动密切相关。对区域 NPP 产量冷热点区的划分为进一步制定研究区土地利用方向及生态规划提供了参考。

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]穆少杰,李建龙,周 伟,等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报,2013,33(12):3752-3764.
- [3]张懿铨,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,2014,24(2):269-287.
- [4]陈福军,沈彦俊,李 倩,等. 中国陆地生态系统近 30 年 NPP 时空变化研究[J]. 地理科学,2011,31(11):1409-1414.
- [5]国志兴,王宗明,张 柏,等. 2000 年—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.

- [6]张福平,冯 起,李旭谱,等. 黑河流域 NPP 遥感估算及其时空变化特征[J]. 中国沙漠,2014,34(6):1657-1664.
- [7]Lieth H. Primary production: terrestrial ecosystems [J]. Human Ecology,1973,1(4):303-332.
- [8]Uchijima Z,Seino H. Agroclimatic evaluation of net primary productivity of natural vegetations:(1) Chikugo model for evaluating net primary productivity [J]. Journal of Agricultural Meteorology,1985,40(4):343-352.
- [9]Monteith J L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems [J]. Journal of Applied Ecology,1972,9(3):747-766.
- [10]Running S W,Coughlan J C. A general model of forest ecosystem processes for regional applications I. Hydrologic balance, canopy GAS exchange and primary production processes [J]. Ecological Modelling,1988,42(2):125-154.
- [11]Parton W J,Scurlock J M O,Ojima D S, et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide [J]. Global Biogeochemical Cycles,1993,7(4):785-809.
- [12]徐 冉. 基于遥感技术的嘉兴典型区域生态系统服务价值评估研究[D]. 上海:华东师范大学,2012.
- [13]Potter C S,Randerson J T,Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production:a process model based on global satellite and surface data [J]. Global Biogeochemical Cycles,1993,7(4):811-841.
- [14]朱文泉,潘耀忠,龙中华,等. 基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算——以中国内蒙古为例[J]. 遥感学报,2005,9(3):300-307.
- [15]周才平,欧阳华,曹 宇,等. “一江两河”中部流域植被净初级生产力估算[J]. 应用生态学报,2008,19(5):1071-1076.
- [16]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.
- [17]张新时. 植被的 PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类(一)——几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报,1989,13(1):1-9.
- [18]张新时. 植被的 PE(可能蒸散)指标与植被-气候分类(二)——几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报,1989,13(3):197-207.