

CASA 模型在金沙江流域(云南部分) NPP 研究中的应用

秦 瑞,周瑞伍,彭明春*,王崇云,彭泽瑜

(云南大学 生态学及地植物学研究所,云南 昆明 650091)

摘 要: 净初级生产力是陆地生态系统碳循环的重要组成部分,对于控制大气 CO₂ 的上升有着重要的作用,是生态系统中物质与能量流动研究的基础。采用气象数据、MODIS NDVI 数据,运用改进的 CASA 模型对金沙江流域(云南部分)的净初级生产力进行研究,并分析了其分布格局及影响因素。结果表明:流域初级生产力最大值达到 1 382.39 g/m²,平均为 719.54 g/m²;在空间分布上,中游[751.21 g/(m² · a)] > 上游[714.42 g/(m² · a)] > 下游[693.00 g/(m² · a)];流域的净初级生产力有明显的季节变化,表现为干湿季分明,雨季[612.26 g/(m² · a)]的生产力明显高于干季[107.08 g/(m² · a)],秋季又较春季为高;净初级生产力受植被类型、温度、降水等因素的影响明显。用遥感的方法对区域的 NPP 产量测算已得到了普遍的认可,其研究结果为 NPP 动态研究和评价生态系统服务功能提供了有效的基础数据。

关键词: 净初级生产力;CASA 模型;金沙江流域

中图分类号: Q948

文献标志码: A

净初级生产力(Net primary productivity,简称 NPP)反映的是植物在单位时间、单位面积上由光合作用产生的有机物质总量当中扣除自养呼吸后剩余的部分^[1]。净初级生产力是生态系统中物质与能量流动研究的基础,是评价生态系统结构与功能协调性的重要指标^[2]。其研究方法可简单划分为调查实测法和模型估算法^[3]。在区域或者全球的尺度下来研究 NPP,人们无法直接进行全面的测量,只能利用模型来间接地估算^[4]。利用模型结合遥感及 GIS 的方法来估算初级生产力,避免了一些繁琐的实验过程,可以实现多维时空下 NPP 的研究^[5]。CASA (Carnegie - Ames-standford Approach) 模型是参数模型的一种代表,它是基于资源平衡理论建立的,由遥感、气象、植被以及土壤类型数据共同驱动的光能利用率模型。

随着遥感与地理信息系统的广泛应用,植被净初级生产力的测算经历了从小范围的传统测量到大范围的遥感估测的过程,并应用到了全球范围。目前测量净初级生产力的模型很多,常用的植被净初级生产力 NPP 模型可概括为统计模型、参数模型和过程模型三类^[6]。国外, Potter 和 Field 发展了 CASA 模型^[7]。Su 和 Crabtree 等探讨了气候变化下的 NPP 的改变与响应^[8-9]。中国遥感模型研究起步较晚,且以农作物遥感模型为主^[10],并逐渐发展到了森林生物生产量的估算^[11]。陈正华等利用 CASA 模型,结合多光谱遥感数据和气候数据模拟了黑河流域 1998—2002 年植被净初级生产力的时空分布^[11]。20 世纪 80 年代后期国内的研究者引用国外的生产力模型并加以改进来估算 NPP^[2]。孙睿和朱启疆对我国的植被净初级生产力的季节变化进

收稿日期(Received date):2013 - 11 - 04;修回日期(Accepted):2014 - 03 - 12。

作者简介(Biography):秦瑞(1987 -),男,汉族,云南曲靖人,硕士研究生,植被与景观生态学研究方向。[Qin Rui (1987 -), male, Han, from Qujing of Yunnan, Graduate student, research directions for the vegetation and landscape ecology.] E-mail:932272254@qq.com

* 通信作者(Corresponding author):彭明春(1966 -),男,汉族,云南昭通人,博士,副教授,从事植被景观生态与遥感方面的研究。[Peng Mingchun (1966 -), male, Han, domicile of origin (zhaotong of yunnan), Ph D, associate professor, research directions for the vegetation and landscape ecology.] E-mail:mcpeng@ynu.edu.cn

行了研究^[12],得出了陆地植被净初级生产力的季节差异。朴世龙^[13]、方精云^[14]等基于 CASA 模型,对青藏高原以及全国的初级生产力进行了研究,并对其格局做出了分析。

21 世纪,随着各种不同时间与空间的遥感数据的出现,使得 *NPP* 的快速实时监测成为可能。本文采用 CASA 模型对金沙江流域的净初级生产力进行研究,意在揭示金沙江流域净初级生产力的时空分布格局及影响因素,探讨在 GIS 的支持下怎样对植被净初级生产力进行研究,从而实现在区域或更大尺度下对净初级生产力的研究,为金沙江流域的生态环境保护和建设提供基础数据。前人已做过涉及金沙江流域 *NPP* 的研究,松下文经等认为输入数据的质量在 *NPP* 推算当中非常重要^[15],柯金虎等对长江流域初级生产力进行的研究是基于 8 km × 8 km 分辨率的 AVHRR NDVI 数据来进行的^[4]。

1 研究区概况

金沙江是长江的上游,在云南省境内长 1 560 km,位于云南的西北部、北部和东北部的边缘,处于 24°30′~29°15′N,98°40′~105°15′E,北部、西北部与西藏、四川相连,东北部与四川、贵州毗邻(图 1)。流域面积 11.088 3 km²,占云南省土地面积的 28.94%。金沙江流域(云南部分)植被属亚热带常绿阔叶林与青藏高原高寒植被交界地带。

流域在云南省内地势高差悬殊,地貌类型复杂多样;具有从南亚热带到北温带的六种气候类型,气候的垂直变化也十分明显。流域内农业人口占绝大部分。金沙江在云南石鼓以上称为上段,石鼓至四川攀枝花为中段,攀枝花至宜宾为下段。金沙江流域是长江上游生态脆弱地区,也是生态环境保护和

建设的重点地区。金沙江流域特殊的地理环境和位置,决定了它对长江中下游地区将产生重要的生态屏障作用;由于地貌和地理环境的多样性与复杂性,形成了地区光、热、水、气等自然资源的时间、空间分布不均匀,差异很大,是我国南方极为典型的生态脆弱地区。

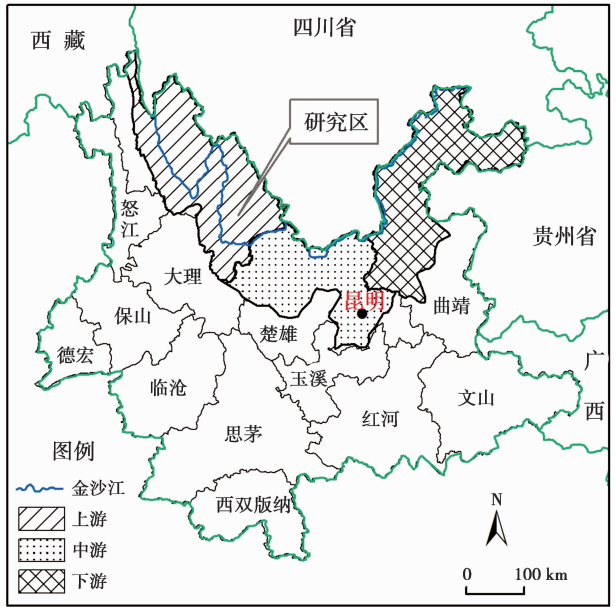


图 1 研究区位置示意图
Fig. 1 The location map of study area

2 研究方法与数据的处理

2.1 材料与方法

数据的投影信息均统一为 Albers,栅格的大小统一为 1 km × 1 km。所得到的数据在 Arcgis 中利用 spatial analysis 工具模块下的 Raster calculator 的工具进行图层的运算^[16],合成每个月的 *NPP* 含量

表 1 研究的数据与材料的来源(2010 年)

Table 1 The source of data and materal used in this study(the year of 2010)

材料	太阳辐射	气候数据	NDVI 数据
来源	GIS 提取	Worldclim 网站下载	NASA 网站下载
分辨率大小	1:25 万	约 1 000 m	16 d 合成 250 m
数据类型	DEM	月均温 月降水量	NDVI
获取方法	利用 DEM 在 Arcgis 软件当中的 Area Solar Radiation 模块当中根据每月进行提取。得到每月的太阳辐射。	从网站下载的栅格影像在 Arcgis 中进行转投影为 Albers,利用 ERDAS,根据研究区提取感兴趣区域,得到金沙江流域的月均温、月降水量数据	从网站下载的栅格影像在 Arcgis 中进行转投影为 Albers,利用 ERDAS 进行拼接处理,根据研究区提取感兴趣区域,得到金沙江流域的 NDVI 数据

图层。

2.2 模型简介

CASA 模型的主要原理是,植被的 NPP 产量与植被吸收的光合有效辐射和植被对光能的实际利用率有关系,计算公式^[7]

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t) \quad (1)$$

空间位置用 x 表示,时间段用 t 表示, $NPP(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月 NPP 的值, $\varepsilon(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月植被光能利用率, $APAR$ 表示像元 x 在 t 月光合有效辐射,计算公式^[8]

$$APAR(X, t) = SOL(x, t) \times fPAR(x, t) \times 0.5 \quad (2)$$

$SOL(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的太阳总辐射, $fPAR(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月植被层对光合有效辐射的吸收比例。

$$\varepsilon(x, t) = T_{\varepsilon_1} \times T_{\varepsilon_2} \times W(x, t) \times \varepsilon^* \quad (3)$$

式中 T_{ε_1} 、 T_{ε_2} 表示温度胁迫影响系数, $W(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的水分胁迫影响系数, ε^* 表示理想条件下植被的最大光能利用率, potter 等^[7]认为全球植被的最大光能转化率为 0.389 gC/MJ 。由于 CASA 模型所用的土壤水分子模型涉及到大量的土壤物理参数,数据难以获取而且精度难以保证^[17]。因此,本文采用朱文泉等人改进的利用气象数据(温度、降水、太阳净辐射),结合已有的区域蒸散模型来实现水分胁迫因子的估算的方法来替代土壤水分子模型^[18],区域实际蒸散量利用周广胜等建立的模型求取^[19],区域潜在蒸散量通过 Boucher 提出的互补模型求取。利用改进的 CASA 模型,已在区域尺度上对中国^[18]、三江源地区^[17]、内蒙古地区^[20]的 NPP 进行了模拟,并得到了很好的模拟效果。

归一化植被指数 $NDVI$ 是计算植被对太阳有效辐射吸收比例的重要参数

$$fPAR(x, t) = \min\left[\frac{SR - SR_{\min}}{SR_{\max} - SR_{\min}}, 0.95\right] \quad (4)$$

$$SR(x, t) = \left[\frac{1 + NDVI(x, t)}{1 - NDVI(x, t)}\right] \quad (5)$$

式中 SR 表示的是比值植被指数。

2.3 流域的划分

金沙江流域(云南部分)地处中国地势第一台阶和第二台阶过渡区,本文为了方便分析根据该地区的地貌格局将流域分为上游、中游、下游三段,具体的分法详见文献[21]。将流域内的华坪、永胜、宾川、鹤庆、宁蒗、丽江、香格里拉、德钦、维西的部分划为上游;永仁、大姚、祥云、姚安、南华、牟定、楚雄、陆丰、元谋、武定、禄劝、富民、嵩明、昆明、呈贡、晋

宁、安宁的部分划为中游;东川寻甸、马龙、沾益、会泽、宣威、巧家、鲁甸、昭通、彝良、大关、永善、绥江、水富、盐津、镇雄、威信的部分划为下游。流域的上段为高山峡谷、中山宽谷盆地地貌;中段为北高南低的高原地貌;下游为南高北低的中山峡谷地貌。

2.4 主成分分析

主成分分析是一种通用的数据降维方法。主成分分析将分散在一组变量的信息集中在几个综合指标上,每一个主成分都是原始变量的线性组合,从而达到剔除冗余信息的目的。本文在 SPSS17.0 中对数据进行主成分分析。由于合成的 NPP 数据、海拔高程数据、温度、降水量数据都是图层数据,因此随机读取了 200 个点的数据带入 SPSS 中进行主成分分析检验。植被类型图由云南大学生态学与地植物学研究所提供,并用代码的形式代入,代码按生态质量的等级进行划分,高质量生态等级对应的编号大。

3 结果与分析

3.1 金沙江流域植被净初级生产力的空间分布

经过对金沙江流域净初级生产力的 GIS 测算,得到流域年净初级生产力 $719.54 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最高为 $1382.39 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。高值出现在流域上游西部植被分布较为繁茂的地区(图 2)。

经过 Arcgis 量算分析,上游的净初级生产力为 $3.063 \times 10^7 \text{ t}$,占流域总净初级生产力的 37.59%,净

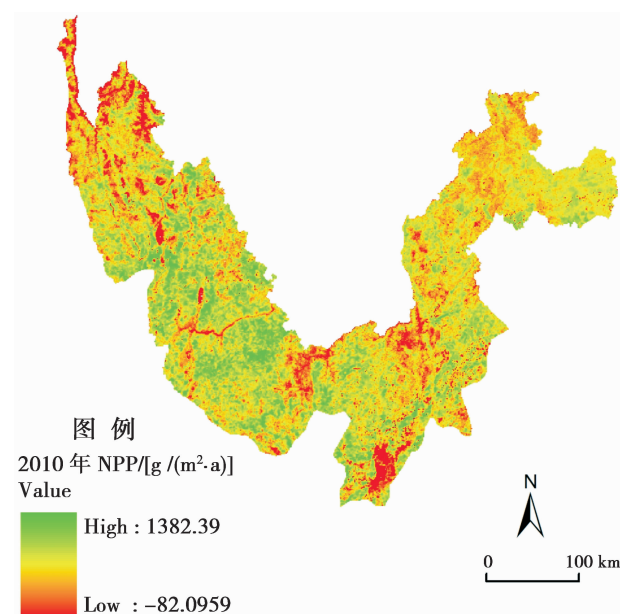


图 2 金沙江流域 2010 年 NPP 的空间分布

Fig.2 The spatial distribution of NPP in 2010

初级生产力的平均值为 $714.42 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;中游 $2.355 \times 10^7 \text{ t}$,占 28.90%,平均值为 $751.21 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;下游净初级生产力为 $2.731 \times 10^7 \text{ t}$,占 33.51%,平均值为 $693.00 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。统计可知金沙江流域的栅格单元的总数为 10 6476 个,上游有 40 075 个,占总数的 37.64%;中游有 29 548 个,27.75%;下游有 36 518 个,占总数的 34.30%。净初级生产力最大的是中游为 $751.21 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其次是上游 $714.42 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,最小的是下游 $693.00 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

3.2 金沙江流域净初级生产力的季节变化

图 3 给出了金沙江流域各个月植被的 NPP 变化情况,可知流域的 NPP 变化呈单峰波动曲线,在 7 月达到峰值,是由于 7 月流域的降水量丰富,热量充足,适合植物的生长,有利于植物的光合作用。金沙江流域的月平均 NPP 在 $2.79 \sim 156.05 \text{ gC}/\text{m}^2$ 之间波动,表明金沙江流域植被的 NPP 有显著的季节差异。冬季气温偏低,降水量也偏少,植物的光合作用受到抑制,植被的 NPP 偏少,12 月、1 月和 2 月的平均 NPP 仅为 $3.33 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $2.79 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $6.9 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。夏季的气温高,降水量丰富,有利于植物的生长和有机质的积累,NPP 的量最高。一年当中,NPP 的最大值出现在 7 月,为 $130 \sim 160 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,其次是 8 月、9 月,这两个月的 NPP 相差不大,分别为 $126.36 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $103.56 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

表 2 流域不同段干湿季节的 NPP
Table 2 The NPP of different part in dry and wet season

位置	干季 $/(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a})$		雨季 $/(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a})$		总量/g
	107.08A		612.26B		
	NPP 最大	NPP 均值	NPP 最大	NPP 均值	
上游	369.99	125.14A	1073.80	588.72A	3.063×10^{13}
中游	401.19	132.37B	1062.62	618.70B	2.355×10^{13}
下游	314.42	65.22C	1049.79	627.56C	2.731×10^{13}

从表 2 中可以看出干季和雨季的净初级生产力的差别较大,上游的总量达到了 $3.063 \times 10^7 \text{ t}$,中游和下游分别为 $2.355 \times 10^7 \text{ t}$ 、 $2.731 \times 10^7 \text{ t}$ 。由于植被类型、太阳辐射、水热状况等因素的分布不均匀,导致了金沙江流域的净初级生产力各个月之间的变化很大。根据云南的降水量多少,11 月至次年的 4 月为干季,降水量为全年的 20%;5—10 月为雨

季,降水量占全年的 80%。净初级生产力集中分布在湿季,总量达到了 $6.907 \times 10^7 \text{ t}$,占流域总生产力的 84.76%;干季,生产力的总量为 $1.242 \times 10^{13} \text{ g}$,占 15.24%。图 4 中的负值代表的是水体的生产力。

经显著性差异检验,金沙江流域初级生产力干季 $107.08 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 与湿季 $612.26 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,有极显著差异 ($P=0.002$)。干季,上游 $[125.14 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 、中游 $[132.37 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 、下游 $[65.22 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 的均呈现极显著差异 ($P=0$);湿季,上游 $[588.72 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 与下游 $[627.56 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 呈现极显著差异 ($P=0$);上游 $[588.72 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 与中游 $[618.70 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 呈现极显著差异 ($P=0$);中游 $[618.70 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 与下游 $[627.56 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ 呈现极显著差异 ($P=0.001$)。

总的来说,金沙江流域 NPP 有显著的季节周期性变化,各个月的净初级生产力不同,季相变化也十分的明显,雨热同期,太阳辐射充足的夏季 NPP 最高,为 $351.00 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;秋季为 $222.88 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;春季为 $129.19 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;冬季的最低,为 $12.81 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,经过显著差异性检验(单因素方差检验),春、夏、秋、东四季存在极显著差异 ($P<0.005$),呈现出夏季>秋季>春季>冬季。5—10 月是金沙江流域的雨季,NPP 的值达到全年的 84.76%。11—4 月很低,这主要是受到水热状况的制约。

3.3 净初级生产力与植被类型、海拔、温度、降水量的关系

由全年的温度、降水、海拔、植被类型与植被的净初级生产力数据组成 200×5 的原始数据矩阵。由于各指标的量纲不一,为消除这一影响需进行标准化处理,得到相关系数矩阵(表 3)。

表 3 相关系数矩阵
Table 3 The correlation coefficient matrix

指标	植被类型	海拔	温度	降水
植被类型	1.000	0.193	-0.189	0.014
海拔	0.193	1.000	-0.910	-0.276
温度	-0.189	-0.910	1.000	0.351
降水	0.014	-0.276	0.351	1.000

注:表中左下角为相关,右上角为偏相关

贡献率说明主成分所包含全部指标的百分比,成分 1、2、3 的累计贡献率达到了 97.85%,说明前

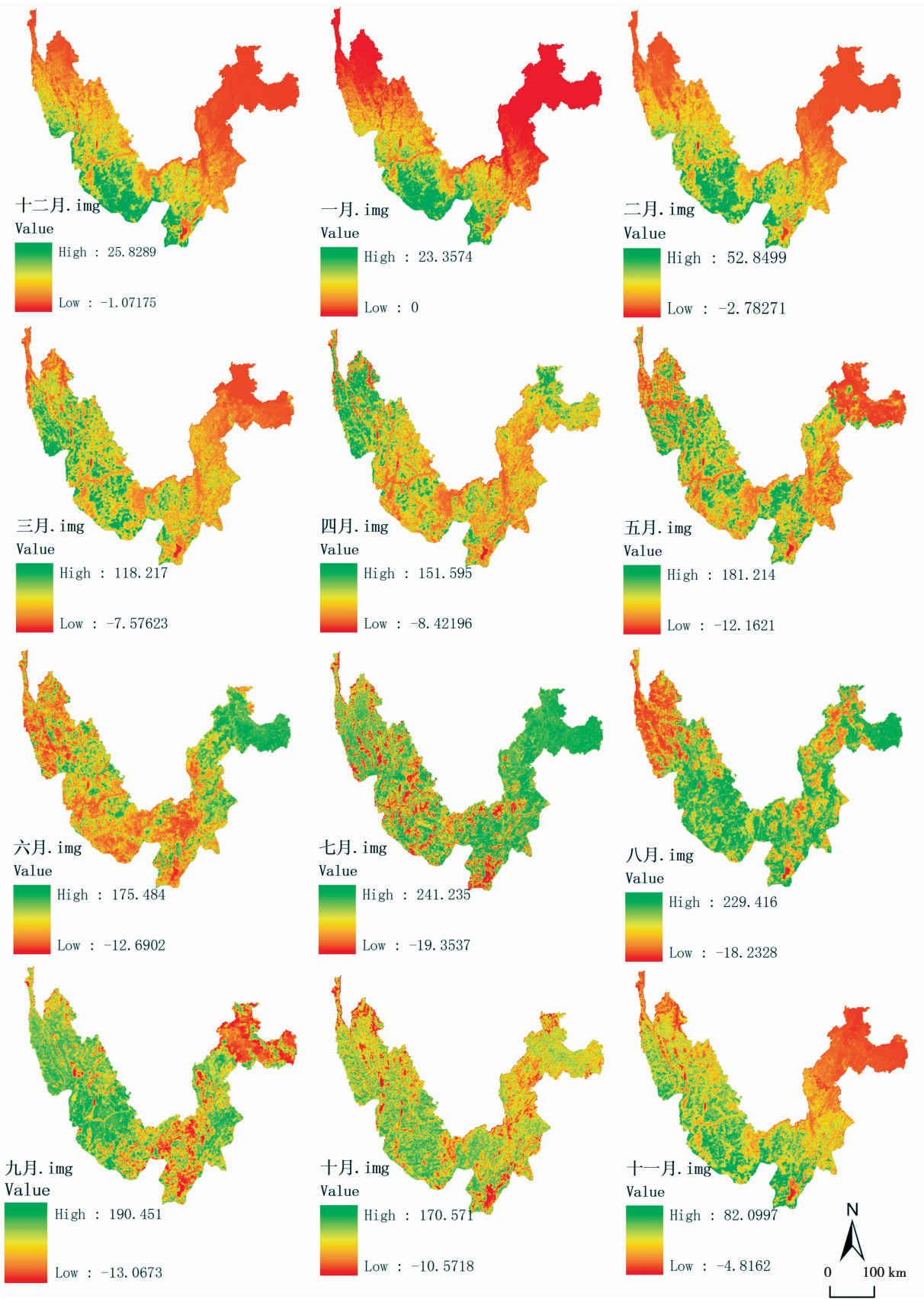


图3 金沙江流域(云南部分)各个月的 *NPP* 格局
Fig. 3 The *NPP* pattern of each month in Jinsha river basin

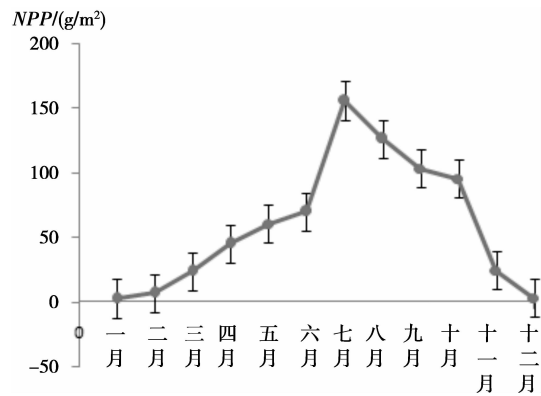


图 4 金沙江流域平均 *NPP* 季节变化

Fig.4 The seasonal change of *NPP* in Jinsha river basin

表 4 特征值及累积贡献率

Table 4 The eigenvalues and cumulative contribution rate

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献/%
y_1	2.144	53.601	53.601
y_2	1.013	25.330	78.931
y_3	0.757	18.918	97.849
y_4	0.086	2.151	100

三个主成分已经代表了原始因子的全部信息,因此选取前三个主成分作为影响金沙江流域 *NPP* 的综合指标,从数理分析上看,是合理的、科学的。前三个主成分的表达式为

$$y_1 = -0.211x_1 - 0.639x_2 + 0.651x_3 + 0.352x_4 \quad (6)$$

$$y_2 = 0.841x_1 + 0.033x_2 + 0.014x_3 + 0.539x_4 \quad (7)$$

$$y_3 = -0.498x_1 + 0.331x_2 - 0.248x_3 + 0.762x_4 \quad (8)$$

式中 $y_i(i=1,2,3)$ 分别表示第一主成分、第二主成分、第三主成分, $x_i(i=1,2,3,4)$ 分别表示植被类型、海拔、温度、降水 4 个指标因子。

第一主成分与温度呈现较强的正相关,与海拔

表 5 影响金沙江流域 *NPP* 的载荷

Table 5 Impact load of *NPP* jinsha river basin

指标	主成分		
	y_1	y_2	y_3
x_1	-0.144 10	0.835 78	-0.572 17
x_2	-0.436 21	0.033 12	0.380 17
x_3	0.444 63	0.013 93	-0.285 78
x_4	0.240 15	0.535 87	0.876 32

则呈现较强的负相关,因此第一主成分为热量状况因子。

第二主成分与植被类型呈现较强的正相关,这一主成分反应的是植被类型对金沙江流域 *NPP* 的影响,因此第二主成分为植被类型因子。

第三主成分与降水量呈现较强的正相关,这一主成分反应的是降水量对金沙江流域 *NPP* 的影响,因此第三主成分为降水量因子。

4 讨论与结论

本文研究的结果,金沙江流域的初级生产力为 $719.54 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。李贵才的研究^[22]表明:中国西南地区的平均净初级生产力在 $600 \sim 900 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;吴庆标等^[23]将江苏、江西、浙江、贵州等同云南列为亚热带植被分区,测得年均 *NPP*^[24-26] 分别为 $506.70 \sim 643.54 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $817 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $625.68 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $910.21 \sim 1\,214.84 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,与之相差不大。金沙江流域的面积占云南省面积的 28.94%,何云玲等^[10]的研究表明,整个云南省的净初级生产力为 0.19 PgC/a ,本文量算得到金沙江流域净初级生产力约为 0.08 PgC/a 。虽然中游地区受人为的干扰十分的严重,但却具有相对良好的气候、土壤、地貌条件^[27],所以植被的净初级生产力的单位产量较高。而在流域的西北部地区虽然人烟稀少,人为活动干扰相对不大,但由于气温较低,处于青藏高原高寒植被区域,*NPP* 水平较低^[10]。

柯金虎等^[4]对长江流域的研究表明,*NPP* 总量与年降水量之间没有很好的相关关系。这可能是由于长江流域大部分地区降水相对丰沛,因此水分条件不是植被生长的主要限制因子。张峰等^[28]在内蒙古草原的研究中指出,制约 *NPP* 因素的主要因子还是由水分胁迫引起的。王骊鹑在对江苏省的研究^[24]认为,降水量、气温同 *NPP* 的关系并不是固定的,在不同的地区会出现变化。金沙江流域是云南省降水量最少的地区,因此在总的趋势变化下来看,金沙江流域的 *NPP* 的变化受降水量的影响较大。但在一些局部地区,如金沙江上游的德钦、香格里拉地区由于处于青藏高原高寒植被带上,所以受气温的影响较大。影响金沙江流域的 *NPP* 分布的主要因素包括热量因子、植被类型因子和降水量因子。

基于卫星遥感数据对地表 *NPP* 的估算,避免了传统方式以点代面的缺点,具有科学性。对金沙江

流域 NPP 的研究对该区域土地人口承载力的估算、农业区划具有重要的参考价值,为更好的开发、保护、利用森林资源提供理论依据。

参考文献 (References)

- [1] Chen Lijun, Liu Gaohuan, Li Huiguo. Estimating net primary productivity of terrestrial vegetation in China using remote sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 2002, 21(2): 53 - 57 [陈利军, 刘高焕, 冯险峰. 遥感在植被净第一性生产力研究中的应用[J]. 生态学杂志, 2002, 21(2): 53 - 57]
- [2] Yu Jingfang. Net primary productivity estimates for zhejiang province based on the CASA model[D]. Journal of Zhejiang A & F University, 2012, 29(4): 473 - 481 [俞静芳. 基于 CASA 模型的浙江省植被初级生产力的估算[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(4): 473 - 481]
- [3] Sun Jinwei, Guan dixin, Wu jiabing. Research advances in net primary productivity of terrestrial vegetation[J]. World Forestry Research, 2012, 25(1): 1 - 6 [孙金伟, 关德新, 吴家兵, 等. 陆地植被净初级生产力研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(1): 1 - 6]
- [4] Ke Jinhu, Piao Shilong, Fang JingYun. NPP and its spatio temporal pattern in the Yangtze River watershed[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(6): 764 - 770 [柯金虎, 朴世龙, 方精云. 长江流域植被净第一性生产力及其时空格局研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 764 - 770]
- [5] Li Gaofei, Ren Hai, Li Yan, et al. Review and tendency of net primary productivity study[J]. Ecologic Science, 2003, 22(4): 360 - 365 [李高飞, 任海, 李岩, 等. 植被净第一性生产力研究回顾与发展趋势[J]. 生态科学, 2003, 22(4): 360 - 365]
- [6] Ruimy A, Saugier B, Dedieu G. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(D3): 5263 - 5283
- [7] Christopher S Potter, James T Randerson, Christopher B Field, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7(4): 811 - 841
- [8] Changhong Su, Bojie Fu. Evolution of ecosystem services in the Chinese Loess Plateau under climatic and land use changes[J]. Global and Planetary Change, 2013, 101: 119 - 128
- [9] Robert Prabhtree, Christopher Potter, Randall Mullen. A modeling and spatio temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113: 1486 - 1496
- [10] He Yunling, Zhang Yipin. A preliminary study on the spatial temporal pattern of NPP in Yunnan province[J]. Mountain Research, 2006, 24(2): 193 - 201 [何云玲, 张一平. 云南省自然植被净初级生产力的时空分布特征[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 193 - 201]
- [11] Chen Zhenghua. Estimation of Heihe basin Net primary productivity using The CASA and multi-spectral radiometric data[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006: 15 - 18 [陈正华. 基于 CASA 和多光谱遥感数据的黑河流域 NPP 研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2006: 15 - 18]
- [12] Sun Rui, Zhu Qijiang. Effect of climate change of terrestrial net primary productivity in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(1): 58 - 61 [孙睿, 朱启疆. 气候变化对中国陆地植被净第一性生产力影响的初步研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(1): 58 - 61]
- [13] Piao Shilong, Fang Jingyun, Guo qinghua. Application of CASA model to the estimation of Chinese terrestrial net primary productivity[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(5): 603 - 608 [朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603 - 608]
- [14] Piao Shilong, Fang Jingyun. Terrestrial net primary production and its spatio temporal patterns in Qinghai - Xizang Plateau, China during 1982 - 1999[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 373 - 380 [朴世龙, 方精云. 1982 - 1999 年青藏高原植被净第一性生产力及其时空变化[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 373 - 380]
- [15] Matsushita Bunkei, Yang Cuifen, Chen Jin, et al. Accurate estimation of net primary productivity of terrestrial ecosystem at regional scale[J]. ACTA Geographica Sinica, 2004, 59(1): 80 - 87 [松下文经, 杨翠芬, 陈晋, 等. 广义空间尺度上植被净初级生产力的精确推算[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 80 - 87]
- [16] Chen Kelong, Han Yanli, Cao Shengkui, et al. The study of vegetation carbon storage in Qinghai lake valley based on remote sensing and CASA model[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 1568 - 1574
- [17] Cai Yulian, Zheng Youfei, Wang Yunlong, et al. Analysis of terrestrial net primary productivity by improved CASA model in Three - river headwaters region[J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology, 2013, 5(1): 34 - 42 [蔡雨恋, 郑有飞, 王云龙, 等. 利用改进的 CASA 模型分析三江源区净植被生产力[J]. 南京信息工程大学学报, 2013, 5(1): 34 - 42]
- [18] Zhu Wenquan, Pan Yaozhong, Zhang Jinshu. Estimation of net primary productivity of Chinese terrestrial vegetation based on remote sensing[J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(3): 413 - 424 [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]
- [19] Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi. Study on climate - vegetation classification for Global change in China[J]. Acta Botanica Sinica, 1996, 38(1): 8 - 17 [周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候: 植被分类研究[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 8 - 17]
- [20] Li Gang, Xin Xiaoping, Wang Daolong, et al. Application of improved CASA model in productivity evaluation of grassland in Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 2100 - 2106 [李刚, 辛晓平, 王道龙, 等. 改进 CASA 模型在内蒙古草原草地生产力估算中的应用[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2100 - 2106]
- [21] Kong Cifen. Dynamics of vegetation cover and its relationship with climate change in Jinshajiang river basin of Yunnan[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2012: 30 - 42 [孔次芬. 金沙江流域(云南段)植被覆盖变化与气候因子相关性研究

- [D]. 重庆:重庆师范大学,2012:30-42]
- [22] Li Guicai. Estimati on of Chinese terrestrial net primary production using Lue model and MODIS data[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications,2004:76-80[李贵才. 基于MODIS数据和光能利用率模型的中国陆地净初级生产力的估算研究[D]. 北京:中科院遥感应用研究所,2004:76-80]
- [23] Wu Qingbiao, Wang Xiaoke¹, Duan Xiaonan, et al. Carbon sequestration and its potential by forest ecosystem s in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(2):517-524[吴庆标,王效科,段晓男,等. 中国森林生态系统植被固碳现状和潜力[J]. 生态学报,2008, **28**(2):517-524]
- [24] Wang Siyao. Temporal-Spatial distribution of NPP in Jiangsu province based on remote sensing[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2012, **4**(4):321-325[王驷鹂. 基于遥感的江苏省植被净初级生产力时空分布研究[D]. 南京:南京信息工程大学学报,2012, **4**(4):321-325]
- [25] Ding Qingfu, Wang Junbang, Qi Shuhua, et al. Spatial patterns of vegetation net primary productivity in Jiangxi Province of China in relation to climate factors [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(3):726-732[丁庆福,王军邦,齐述华,等. 江西省植被净初级生产力的空间格局及其对气候因素的响应[J]. 生态学杂志, 2013, **32**(3):726-732]
- [26] Yang Yamei. Spatio-temporal change of net primary productivity in Guizhou and its Correlationship with Meteorologic Factors[D]. Chongqing:Southwest University, 2009:30-31[杨亚梅. 贵州省植被净初级生产力时空变化与气象因子相关性分析[D]. 重庆:西南大学,2009:30-31]
- [27] Xia Jisheng, Ma Wentao, He Jie. Spatial comparative of landscape characteristics based on GIS in Jinsha River Watershed (Yunnan Part) [J]. *Yunnan Geographic environment Research*, 2013, **25**(1):9-13[夏既胜,马文涛,何洁. 基于GIS的金沙江流域(云南段)景观特征空间对比研究[J]. 云南地理环境研究, 2013, **25**(1):9-13]
- [28] Zhang Feng, Zhou Guangsheng, Wang Yuhui. Dynamic simulation of net primary productivity by a satellite data-driven CASA model in Inner Mongolian typical steppe, China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, **32**(4):786-797[张峰,周广胜,王玉辉. 基于CASA模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力动态模拟[J]. 植物生态学报,2008, **32**(4):786-797]

Application of CASA Model in NPP Evaluation of Jinsha River Basin(Yunnan Part)

QIN Rui, ZHOU Ruiwu, PENG Mingchun, WANG Chongyun, PENG Zeyu

(Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Net primary productivity is an important part of terrestrial ecosystem carbon cycle, to control the rise in atmospheric CO₂ plays an important role, is the foundation of material and material and energy flow in ecosystem research. using meteorological data and MODIS NDVI data, net primary productivity of Jinsha river basin(Yunnan part, China) was studied through improved CASA model, and the distribution pattern and influencing factors were analyzed. Result showed that the maximum net primary productivity of the basin is 1 382.39 g/m², with an average of 719.54 g/m²; On the spatial distribution, middle [751.21 g/(m² · a)] > upstream [714.42 g/(m² · a)] > downstream [693.00 g/(m² · a)]; The net primary productivity of the basin has obvious seasonal difference between dry and wet season, the net primary productivity for rainy season [612.26 g/(m² · a)] is significantly higher than dry season [107.08 g/(m² · a)], the net primary productivity in autumn is higher than spring; Net primary productivity is significantly affected by vegetation type, temperature and precipitation. Using the method of remote sensing to measure regional NPP production has been widely recognized, its research results for NPP dynamic and evaluation of ecosystem service function provides the effective basic data.

Key words: Net primary productivity; CASA model; Jinsha river basin