



# 基于通量观测数据的 MODIS 生产力模型在攀西典型烟田的适用性验证

徐同庆<sup>1,2</sup>, 徐宜民<sup>1</sup>, 张焯<sup>1,2</sup>, 王程栋<sup>1</sup>, 刘光亮<sup>1</sup>, 王树声<sup>1</sup>, 董建新<sup>1</sup>, 陶健<sup>3</sup>

1 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101;

2 中国农业科学院研究生院, 北京 100081;

3 山东工商学院公共管理学院, 山东烟台 264005

**摘要:** 准确估算烟田生态系统生产力, 对于评估区域烟叶产量的时空变化特征及研究烟叶产量的影响因素至关重要。采用遥感数据和地面通量观测数据, 对 MODIS 生产力模型在攀西烟区典型烟田生态系统总初级生产力 (GPP) 评估中的适用性进行初步验证和本地参数化, 以提高 MODIS 数据产品在攀西烟田生产力水平评价中的可信度。结果表明: 采用默认参数的 GPP 模拟值低于观测值, 1:1 直线回归斜率为 0.769, 决定系数 ( $R^2$ ) 为 0.776, 效率系数 (NS) 为 0.253, 均方根误差 (RMSE) 为  $0.268 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{8day}^{-1}$ , 模型模拟效果相对较差。基于通量观测数据, 对默认参数的 MODIS 生产力模型进行本地参数化后, GPP 模拟效果明显改善, 1:1 直线斜率、 $R^2$  及 NS 分别为 1.001、0.984 和 0.919, RMSE 下降至  $0.0978 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{8day}^{-1}$ , 时间动态曲线基本一致, 表明参数校正后的 MODIS 生产力模型在研究区具有较好的适用性。为进一步利用该模型在攀西及西南烟区进行烟田生产力评估及水、碳循环过程研究提供理论依据与数据支持。

**关键词:** MODIS 生产力模型; 总初级生产力; 通量观测; 攀西烟区

**引用本文:** 徐同庆, 徐宜民, 张焯, 等. 基于通量观测数据的 MODIS 生产力模型在攀西典型烟田的适用性验证 [J]. 中国烟草学报, 2018, 24 (4)

农田生态系统生产力作为农田碳循环的重要组成部分, 是农田生态系统物质 - 能量过程研究的基础<sup>[1]</sup>, 同时也是评估农田生产力的关键生态指标<sup>[2-3]</sup>。田间观测和模型模拟是研究农田生产力形成过程及影响机理的 2 个主要手段<sup>[1,4]</sup>。其中, 田间观测主要采用定位观测和空间多点采样等手段, 其研究数据在站点尺度上具有较高的准确性<sup>[1,5]</sup>, 但田间观测数据的空间连续性较差, 采用统计方法进行尺度外推时误差较大<sup>[2,4,6]</sup>。模型模拟是研究大尺度生产力过程的重要手段, 已在区域生态系统生产力研究中得到了广泛应用<sup>[2,7]</sup>。烤烟作为重要的经济作物, 烟田生产力水平直接决定着烟叶光合产物的积累及内含物质的形成, 从而影响着烟叶的产量和质量。因此, 结合站点观测数据, 优化模型过程和参数, 准确评估区域烟田生产力变化过程及其影响机理, 对优质烟叶产量和质

量的宏观预测及烤烟优势种植区位的选择起到重要参考作用。

随着遥感 (remote sensing, RS) 和地理信息系统 (geographic information system, GIS) 等技术的发展, 模型模拟成为区域生态系统生产力研究的关键手段和重要方向<sup>[8-11]</sup>。其中, MODIS 生产力模型是当前区域生产力研究中最受认可的模型之一<sup>[12-13]</sup>。该模型采用 MODIS 遥感数据作为输入参数, 对区域生态系统总初级生产力 (gross primary production, GPP) 过程进行模拟。由于模型计算过程中涉及多个遥感生物物理指标, 同时受诸多非生物和生物参数的影响, MODIS 生产力模型在区域生产力模拟中需要进行本地适用性验证及参数化调整<sup>[1,14-15]</sup>。因此本研究采用 MODIS 生产力模型对攀枝花和西昌烟区 (以下简称“攀西烟区”) 典型烟田生态系统 GPP 进行初步模拟, 并依据田间

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金项目 (41501054); 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-TRIC03)

**作者简介:** 徐同庆 (1993—), 研究生, 主要研究方向: 生态系统生产力与水分利用效率, Tel: 0532-66715598, Email: xutongqing2015@163.com

**通讯作者:** 陶健 (1983—), Tel: 0532-66715598, Email: taojian\_ecology@163.com

**收稿日期:** 2017-06-27; **网络出版日期:** 2018-07-03

涡度相关通量观测数据<sup>[16]</sup>对模型进行适用性验证和本地参数化,为 MODIS 生产力模型在攀西烟区的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验设置在四川省凉山州西昌市(27°49'N, 102°22'E),海拔 1700 m,属于南亚热带季风气候。区域内年均温 17.0°C,年均降水量 1013.1 mm,土壤多为酸性红壤和紫色土<sup>[17-18]</sup>。试验站与周围大片农田相连,满足涡度相关通量观测仪对下垫面的要求。研究时间段内,试验站点周围烟田生长状况、农艺管理措施、土壤肥力及气象因素等在区域内均具有典型代表性。

### 1.2 数据的选取

本研究以 2016 年 5 月—10 月(DOY 116~289,表 1)每 8 d 的遥感数据作为 MODIS 生产力模型的输入项,以相应时间点 GPP 地面涡度相关通量观测值为参照,对 MODIS 生产力模型在研究区的适用性进行初步验证,然后以地面通量观测数据和气象数据对导致模型误差的原因进行分析,并对模型进行本地参数化,最后以 2016 年全生育期和 2015 年烤烟旺长期和成熟期(DOY 161~233)数据对参数化后的 MODIS 生产力模型在研究区的适用性与精度进行独立检验。其中,遥感数据来源于 MOD17A2、MOD15A2、MOD12 及 GMAO/NASA 产品(<https://modis.gsfc.nasa.gov>),地面观测数据包括通量数据及气象数据,由地面涡度相关通量观测系统采集获得。

表 1 烤烟不同生育期所对应日序数范围

Tab.1 Daily ordinal range of flue-cured tobacco at different growth stages

生育期	移栽还苗期	伸根期	旺长期	成熟期
日序数(DOY)	116~130	131~161	162~196	197~289

### 1.3 模型计算方法

#### 1.3.1 GPP 模拟计算过程

MODIS 生产力模型将 GPP ( $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ) 看做光能利用率( $\epsilon$ ,  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{MJ}^{-1}$ )与植被吸收的光合有效辐射(APAR,  $\text{MJ}\cdot\text{day}^{-1}$ )的乘积(公式 1)<sup>[19-20]</sup>:

$$GPP = \epsilon \times APAR \quad (1)$$

光能利用率  $\epsilon$  通过以下公式计算获得:

$$\epsilon = \epsilon_{\max} \times T_s \times VPD_s \quad (2)$$

其中,  $\epsilon_{\max}$  表示最大光能利用率,因研究区域植被覆盖类型而存在取值差异,具体取值可通过查表获得。 $T_s$  和  $VPD_s$  分别表示气温和水分限制因子,可通过日最低气温和日均饱和水汽压差计算获得, GPP 详细计算过程及参数选取参照 Running 等<sup>[20]</sup>。

### 1.4 模型模拟效果的验证

本研究通过由最小二乘法所计算出的模拟值与通量观测值的 1:1 直线斜率、决定系数( $R^2$ )、效率系数(NS)<sup>[21]</sup>以及均方根误差(RMSE,  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ )<sup>[22]</sup>对 MODIS 生产力模型在研究区的模拟效果进行分析,以评价 MODIS 生产力模型在以研究站点为中心的攀西烟区的适用性。其中,NS 是验证水文模型和生物物理模型好坏的重要指标,其取值范围为负无穷至 1,当 NS 取值接近 1,表示模型模拟质量好,模型可信度高;当 NS 接近 0,表示模型模拟结果接近观测值的平均值水平,即总体结果可信,但模拟误差大;当 NS 远远小于 0 时,则模型是不可信的。

对每个进行敏感性分析的参数在默认取值的 80%~120% 的范围内变动,并进行原来的模型计算过程,然后将每次参数变动所模拟得到的 GPP 进行如下计算,以表示 GPP 对此参数的敏感度:

$$\text{敏感度} = \Delta y / \Delta x \quad (3)$$

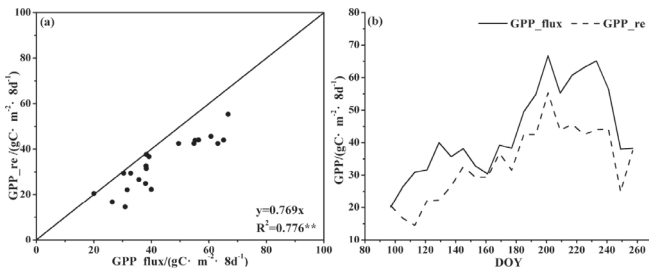
式中,  $\Delta x$  表示参数变动的百分比,  $\Delta y$  表示 GPP 因参数变动而改变的百分比。依敏感性程度将参数进行分类(敏感度绝对值):  $>0.2$ , 表示 GPP 对此参数高度敏感;  $0.1\sim 0.2$ , 表示 GPP 对此参数中度敏感;  $<0.1$ , 表示 GPP 对此参数低敏感性。

## 2 结果与分析

### 2.1 MODIS 生产力模型默认参数模拟结果验证

采用 MODIS 生产力模型中有关农田生态系统过程的默认参数,对研究区烟田 GPP 模拟后,与通量观结果进行比较,结果如图 1 所示。

由图 1a 可知,采用默认参数的 GPP 模拟值与通量观测值相比,1:1 直线斜率为 0.769,  $R^2$  为 0.776, NS 为 0.253, RMSE 为 26.8%,说明 GPP 模拟值与观测值相关性显著,但过程模型模拟误差较大,模拟值比观测值整体偏低约 23.1%,即采用默认参数的 MODIS 生产力模型会低估研究区烟田 GPP 的实际水平。进一步结合 GPP 模拟值与观测值在整个研究时间段内的动态变化曲线(图 1b)可知,采用默认参数的 MODIS 生产力模型所模拟的 GPP 值与观测值相比,整体变化趋势相近,在烤烟伸根期和采收期中后期,模型模拟结果与实际相比明显偏低。



注: GPP\_flux 表示 Flux 通量观测值, GPP\_re 表示 MODIS 生产力模型模拟值; \*\* 表示相关性达到极显著水平

图 1 默认参数 MODIS 生产力模型 GPP 模拟值与实测值比较

Fig. 1 Comparison of GPP simulated values from MODIS productivity model with measured values

2.2 MODIS 生产力模型的本地参数化

光能利用率模型虽然在区域生态系统 GPP 模拟计算中具有较高的可信度,但是由于其在计算的过程中受到温度和水分 2 个限制因子的影响,而卫星在对地观测过程中往往会受到气溶胶及复合像元的干扰,对温度、水汽及光照辐射的监测存在误差,因此在 MODIS 生产力模型模拟计算中,模型的模拟效果会受到气象数据精度和生理参数适应性的共同影响<sup>[23-25]</sup>。因此结合前人研究结果,利用地面观测气象数据代替遥感气象数据,以验证气象数据误差对模型

的影响,同时基于观测数据构建默认参数模型修正系数,从而找到能对攀西烟区烟田生产力进行相对准确评估的遥感观测模型。

根据 MODIS 生产力模型中 GPP 相关计算过程,对 GPP 模拟过程进行参数化。由公式 (1) 可知,ε 和 APAR 是 GPP 模拟过程中 2 个重要的输入变量,其中 ε 计算值与 ε<sub>max</sub> 取值有关,因此,本研究以 Running 等<sup>[20]</sup>所提出的 ε<sub>max</sub> 在农田生态系统中的取值为基础,对 ε<sub>max</sub> 在模型中的取值进行参数化校正,通过对比调整 ε<sub>max</sub> 取值后的模拟精度,选定适用于研究区烟田生态系统的 ε<sub>max</sub> 取值,分析结果如表 2 所示。从表中可以看出,ε<sub>max</sub> 取值适当上调能够明显的降低 GPP 模拟值与实测值之间的差异,提高模拟值与实测值的相关性和效率系数,其中 ε<sub>max</sub> 取值为 0.001148 (上调 10%) 时, GPP 模拟值与实测值的 1:1 直线回归斜率达到 0.913, R<sup>2</sup> 和 NS 最高,分别为 0.805 和 0.748, RMSE 最小,为 0.135,说明该参数取值下, GPP 的模拟效果得到明显提高,因此选择 0.001148 作为 MODIS 生产力模型在研究区烟田生态系统 GPP 模拟过程中 ε<sub>max</sub> 的近似取值。但此时 GPP 模拟值与实测值相比, NS 仍相对较低,未达到模型适用水平,所以需对模型进一步参数化。

表 2 ε<sub>max</sub> 参数化调整下 GPP 模拟结果对比分析

Tab.2 Comparison on simulation efficiency of MODIS-GPP model in parameterizing process of ε<sub>max</sub>

ε <sub>max</sub> /(kgC·MJ <sup>-1</sup> )	1:1 直线斜率	R <sup>2</sup>	NS	RMSE/(g·m <sup>-2</sup> ·8d <sup>-1</sup> )
+20%	1.347	0.667	0.461	0.382
+15%	1.128	0.790	0.633	0.284
+10%	0.913	0.805	0.748	0.135
+ 5%	0.825	0.773	0.425	0.212
0.001044 (默认取值)	0.769	0.776	0.253	0.268
-5%	0.683	0.685	0.183	0.335
-10%	0.602	0.679	0.056	0.419
-15%	0.531	0.541	0.034	0.533
-20%	0.475	0.260	-0.307	0.799

APAR 作为 GPP 模拟计算过程中另一个重要的输入参数, 其模拟值主要受到 FPAR 和 IPAR 精度的影响, 而研究中 FPAR 数据来源于 MOD15A2 产品, 其数据取值往往受到云层、地面植被结构组成等因素的影响而与实际值存在偏差, 因此研究中选择 FPAR 作为提高 MODIS 生产力模型在研究区适用性的另一个参数化对象。在  $\varepsilon_{\max}$  参数化后的基础上对 FPAR 参数化, 结果如表 3 所示。从中可以看出, FPAR 适当上

调能减少 GPP 模拟值与实测值之间的差异, 提高模型模拟效果, 而 FPAR 下调会降低 GPP 模拟过程在研究区的适用性。其中, 当 FPAR 上调 5% 时, 参数化后的模型 GPP 模拟值与实测值相比, 1:1 直线斜率为 1.001,  $R^2$  达到 0.984, NS 达到 0.919, RMSE 下降至 0.0978, 说明该参数化水平下 MODIS 生产力模型 GPP 模拟结果接近实测值水平, 模型达到模拟精度要求。

表 3 FPAR 参数化调整下 GPP 模拟结果对比分析

Tab.3 Comparison on simulation efficiency of MODIS-GPP model in parameterizing process of FPAR

调整方向	1:1 直线斜率	$R^2$	NS	MSE / ( $g \cdot C \cdot m^{-2} \cdot 8d^{-1}$ )
+20%	1.554	0.633	0.133	0.584
+15%	1.342	0.712	0.512	0.347
+10%	1.170	0.758	0.687	0.166
+5%	1.001	0.984	0.919	0.0978
原始值	0.913	0.805	0.748	0.135
-5%	0.815	0.670	0.712	0.230
-10%	0.738	0.646	0.519	0.418
-15%	0.652	0.512	0.283	0.559
-20%	0.578	0.438	0.055	0.685

### 2.3 本地参数化后的 MODIS 生产力模型适应性检验

以 2015 年和 2016 年 2 年的数据验证本地参数化后的 MODIS 生产力模型在研究区烟田 GPP 模拟中的适用性, 结果如图 2 所示, 在 2015 年和 2016 年利用参数化后的 MODIS 生产力模型所估算的 GPP 值与地面通量观测值相比, 模型模拟精度较高, 其 1:1 直线回归斜率分别为 0.992 和 1.001,  $R^2$  分别为 0.901 和 0.984, NS 分别为 0.866 和 0.919, RMSE 分别为 0.113 和 0.0978  $g \cdot C \cdot m^{-2} \cdot 8d^{-1}$ , 说明本地参数化后的 MODIS 生产力模型在研究区烟田 GPP 的模拟计算中适用性达到模型精度要求。

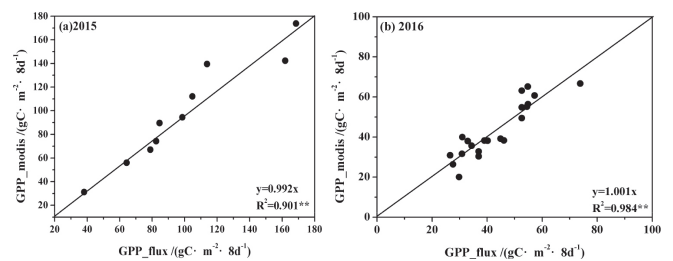


图 2 MODIS 生产力模型参数化后 GPP 模拟值与观测值比较

Fig.2 Comparison of MODIS-GPP model simulated values after parameterization with field flux observed values

### 3 讨论

#### 3.1 MODIS 生产力模型参数化校正结果分析

本研究基于地面通量观测数据,对 MODIS 生产力模拟进行参数化校正及模拟效果检验,以优化该模型在研究区生产力研究中的适用性。本研究中,采用默认参数的模型模拟结果小于实测值,且误差较大。GPP 模拟结果的效率系数相对较低,模拟效果略高于观测值的平均水平,但 GPP 模拟与观测结果的时间动态曲线变化趋势相对一致。对 MODIS 生产力模型进行本地参数化后,模型模拟精度提升,GPP 模拟结果的效率系数达到模型精度要求,2015 年和 2016 年 2 年的 GPP 模拟结果的效率系数分别达到 0.866 和 0.919,证明了该模型经过本参数化后在研究区具有较高的模拟精度和适用性。

整个烤烟大田生育期,使用默认参数的 GPP 模拟值与实测值的关系因生育期而异,在烤烟采收期中后期,烟田 GPP 模拟值与实测值相比明显偏低。表明 MODIS 生产力模型对于生态系统生产力的评估的准确性,除了与大气中水汽对近短波红外波段的干扰有关<sup>[26]</sup>,也与天气、植物构成、地表等参数有关<sup>[22]</sup>。研究指出,由 MOD15A2 所提供的 FPAR 数据值在森林生态系统中高于实测值<sup>[27-29]</sup>,也有些研究表明在森林生长期 MOD15A2/FPAR 值低于实测值<sup>[30]</sup>。研究中以 1 km 分辨率的遥感数据作为模型输入值,而遥感数据可能因多像元(如林地)的干扰而使相关指标的遥感观测值与实际值存在差异。综合来看,参数化后的 MODIS 生产力模型,基本修正了 MODIS 数据产品在研究区烟田生态系统应用中的误差,提高了模型在研究区的适用性。但由于研究区生态条件的复杂性及脆弱性,仅以此为依据对区域 GPP 进行反演仍需长期观测数据的多尺度验证。

#### 3.2 MODIS 生产力模型参数敏感性分析

在 MODIS 生产力模型中,GPP 模拟过程中涉及较多的非生物与生物参数,不同参数对于模拟结果的贡献率不同,因此不同参数对模拟结果的影响存在差异。采用前人研究方法,在保证其余参数保持不变的前提下,对模型参数逐一进行调整,以分析各参数对 GPP 模拟结果影响的敏感性差异。由表 4 可知,GPP 模拟过程受 FPAR 影响的敏感性最强,敏感性值为 0.235。FPAR 是植物水、碳及能量循环的重要检测指标,它与植物生理生态、叶片蒸腾、光能截获力等密切相关,FPAR 越大,植物光合能力越强,生产力水平也越高<sup>[31]</sup>。因此,FPAR 是生态

系统模型的重要特征参数,MODIS/FPAR 遥感数据与实测值的误差,会通过影响群体冠层与土壤能量的分配比例,进而对模拟精度产生影响<sup>[32]</sup>。而比叶面积(SLA)、根叶比(Froot\_leaf\_ratio)等参数对 GPP 模拟结果影响相对较小,敏感性相对较弱。总体看来,一定范围内  $\epsilon_{\max}$ 、FPAR 及 LAI 取值与 GPP 模拟精度变化呈正相关,而 SLA 和 Froot\_leaf\_ratio 取值与 GPP 呈负相关。

表 4 MODIS 生产力模型参数敏感性分析

Tab.4 Sensitivity analysis on parameters in MODIS productivity model

参数	敏感度
$\epsilon_{\max}$	0.170*
FPAR	0.235**
SLA	-0.028
Froot_leaf_ratio	-0.032
LAI	0.117*

注: \* 表示中度敏感, \*\* 表示高度敏感, 无标注表示低敏感性。

### 4 结论

本研究依据通量观测数据,对 MODIS 生产力模型在攀西烟田的适应性进行评价,并通过参数化提高该模型在研究区烟田生产力模拟中的准确度和适用性,主要结论如下:

(1) 采用默认参数的 MODIS 生产力模型所估算的 GPP 值低于地面通量观测值,整体偏低约 23.1%,模型模拟效果相对较差,误差较大,尤其是在烤烟采收期中后期差异最显著,但模拟与实测结果的时间动态曲线变化趋势基本一致。

(2) 利用地面站数据对 MODIS 生产力模型中敏感度较高的 2 个参数  $\epsilon_{\max}$  和 FPAR 进行参数化后,模型对研究区烟田 GPP 模拟效果显著提高并达到模型适用性要求。

(3) 参数化后的 MODIS 生产力模型,能相对准确的对攀西烟区典型烟田生态系统 GPP 进行模拟,为区域尺度烟田产质量的评估提供数据支持。

#### 参考文献

- [1] 刘敏. 基于 RS 和 GIS 的陆地生态系统生产力估算及不确定性研究—以青藏高原草地样带为例 [D]. 南京师范大学, 2008.

- LIU Min. Study on estimation and uncertainty of terrestrial ecosystem productivity based on RS and GIS - take the grassland transect in Tibetan Plateau for example [D]. Nanjing Normal University, 2008.
- [2] 李正泉, 于贵瑞, 肖向明, 等. 利用 MODIS 资料与气候数据估算生态系统生产力 [C]// 首届全国生态与农业气象业务发展与技术交流会. 2006.
- LI Zhengquan, YU Guirui, XIAO Xiangming, et al. Estimation of ecosystem productivity by using MODIS data and climate data [C]// The first national ecological and agricultural meteorology business development and technology exchange meeting. 2006.
- [3] 王淼, 关德新, 王跃思, 等. 长白山红松针阔叶混交林生态系统生产力的估算 [J]. 中国科学: 地球科学, 2006(S1): 70-82.
- WANG Miao, GUAN Dexin, WANG Yuesi, et al. Estimation of ecosystem productivity of Korean pine needles and broad-leaved mixed forests in Changbai Mountain [J]. Science in China Ser. D Earth Sciences, 2006(S1): 70-82.
- [4] 马文红, 韩梅, 林鑫, 等. 内蒙古温带草地植被的碳储量 [J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(3): 192-195.
- MA Wenhong, HAN Mei, LIN Xin, et al. Carbon storage in vegetation of grasslands in Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(3): 192-195.
- [5] 胡波, 孙睿, 陈永俊, 等. 遥感数据结合 Biome-BGC 模型估算黄淮海地区生态系统生产力 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2061-2071.
- HU Bo, SUN Rui, CHEN Yongjun, et al. Estimation of ecosystem productivity using remote sensing data and Biome-BGC model in Huang Huai Hai region [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(12): 2061-2071.
- [6] 张美玲, 蒋文兰, 陈全功, 等. 草地净第一性生产力估算模型研究进展 [J]. 草地学报, 2011, 19(2): 356-366.
- ZHANG Meiling, JIANG Wenlan, CHEN Quanguo, et al. Research progress in the estimation models of grassland net primary productivity [J]. Acta Agraria Sinica, 2011, 19(2): 356-366.
- [7] 袁文平, 蔡文文, 刘丹, 等. 陆地生态系统植被生产力遥感模型研究进展 [J]. 地球科学进展, 2014, 29(5): 541-550.
- YUAN Wenping, CAI Wenwen, LIU Dan, et al. Satellite-based vegetation production models of terrestrial ecosystem: An Overview [J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(5): 541-550.
- [8] BEHRENFELD MJ, RANDERSON JT, MCCLAIN CR, et al. Biospheric primary production during an ENSO transition [J]. Science, 2001, 291(5513): 25-94.
- [9] FIELD CB, BEHRENFELD MJ, RANDERSON JT, et al. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components [J]. Science, 1998, 281: 237-240.
- [10] RUIJY A, KERGOAT L, BONDEAU A. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): analysis of differences in light absorption and light-use efficiency [J]. Global Change Biology, 1999, 5(S1): 56-64.
- [11] RUNNING SW, THORNTON PE, NEMANI R, et al. Global terrestrial gross and net primary productivity from the earth observing system [J]. Methods in Ecosystem Science, 2000: 44-57.
- [12] RUNNING SW, NEMANI RR, HEINSCH FA, et al. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production [J]. Bioscience, 2004, 54(6): 547-560.
- [13] RUNNING SW. A measurable planetary boundary for the biosphere [J]. Science, 2012, 337(6101): 1458-1459.
- [14] 莫兴国, 刘苏峡, 林忠辉, 等. 华北平原蒸散和 GPP 格局及其对气候波动的响应 [J]. 地理学报, 2011, 66(5): 589-598.
- MO Xingguo, LIU Suxia, LIN Zhonghui, et al. Patterns of evapotranspiration and GPP and their responses to climate variations over the North China Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(5): 589-598.
- [15] KALMA JD, MCVICAR TR, MCCABE MF. Estimating land surface evaporation: a review of methods using remotely sensed surface temperature data [J]. Surveys in Geophysics, 2008, 29(4): 421-69.
- [16] FALGE E, BALDOCCHI D, TENHUNEN J, et al. Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements [J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2002, 113(1-4): 53-74.
- [17] 徐同庆, 徐宜民, 王程栋, 等. 基于通量观测的攀西烟区烟田水分利用效率特征研究 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 63-71.
- XU Tongqing, XU Yimin, WANG Chengdong, et al. Characteristics of water use efficiency in tobacco field of Panxi tobacco planting area-based on flux observations [J]. Acta Tobacaria Sinica, 2017, 23(3): 63-71.
- [18] 徐同庆, 徐宜民, 孟霖, 等. 攀西干热河谷烟田烤烟成熟初期水碳通量日间变化的非对称响应 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 72-79.
- XU Tongqing, XU Yimin, MENG Lin, et al. Asymmetric response of diurnal variation of water and carbon fluxes in flue-cured tobacco at maturity stage in Panxi tobacco planting area [J]. Acta Tobacaria Sinica, 2017, 23(3): 72-79.
- [19] HEINSCH FA, REEVES M, et al. User's Guide Version 2.0: GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products, NASA MODIS Land Algorithm [J]. 2003.
- [20] RUNNING SW, ZHAO Maosheng. User's Guide Version 3.0: Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm [J]. 2015.
- [21] MORALES P, SYKES M TIC, SMITH P, et al. Comparing and evaluating process based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest biomes [J]. Global Change Biology, 2006, 11(12):2211-2233.
- [22] 夏钰. 基于涡度相关通量观测的 MODIS 总初级生产力估算研究 [D]. 武汉大学, 2017.
- XIA Yu. Research on evaluation of MODIS gross primary production using eddy covariance flux data [D]. Wuhan University, 2017.
- [23] ZHANG Li, TIAN Jing, HE Honglin, et al. Evaluation of water use efficiency derived from MODIS products against eddy variance measurements in China [J]. remote sensing, 2015, 7: 11183-11201.
- [24] 贾文晓. 中国北方草地生态系统生产力估算及其不确定性研究 [D]. 华东师范大学, 2016.
- JIA Wenxiao. Estimation and uncertainty analysis of grassland ecosystem productivity in Northern China [D]. East China Normal

- University, 2016.
- [25] BALDOCCHI DD, WILSON KB. Modeling CO<sub>2</sub> and water vapor exchange of a temperate broad leaved forest across hourly to decadal time scales [J]. *Ecological Modelling*, 2001, 142(1): 155-184.
- [26] 戴昌达, 姜小光, 唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- DAI CD, JIANG XG, TANG LL. Process and analysis of remote sensing image application [M]. Beijing: Tsing Hua University Press, 2004.
- [27] FENSHOLT R. SANDHOLT I.RASMUSSEN MS. Evaluation of MODIS LAI, FPAR and the relation between FPAR and NDVI in a semi-arid environment using in Situ measurements [J]. *Remote Sensing of Environment*. 2004. 91: 490-507.
- [28] CHENG YF, GAMON JA, FUENTES DA, et al. A multi-scale analysis of dynamic optical signals in a Southern California Chaparral ecosystem: a comparison of field, AVIRIS and MODIS data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006,103: 369-378.
- [29] STEINBERG DC, GOETZ SJ, HYER E. Validation of MODIS FPAR products in boreal forests of Alaska [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, 44(7): 1818-1828.
- [30] OLOFSSON P, EKLUNDH L. Estimation of absorbed PAR across scandinavia from satellite measurements. Part II: modeling and evaluating the fractional absorption [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110(2): 240-251.
- [31] CRAMER W, KICKLIGHTER D W, BONDEAU A M B, et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results[J]. *Global Change Biology*, 1999, 5(S1): 1-15.
- [32] 杨飞, 张柏, 王宗明, 等. 基于 MODIS 数据的玉米植被参数估算方法的对比分析 [J]. *遥感技术与应用*, 2008, (2): 147-153.
- YANG F, ZHANG B, WANG Z M, et al. Comparison of methods for estimating corn canopy parameters based on MODIS data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, (2): 147-153.

## Applicability validation of MODIS productivity simulation model based on flux data in typical Pan-xi tobacco planting area

XU Tongqing<sup>1,2</sup>, XU Yimin<sup>1</sup>, ZHANG Ye<sup>1,2</sup>, WANG Chengdong<sup>1</sup>, LIU Guangliang<sup>1</sup>, WANG Shusheng<sup>1</sup>, DONG Jianxin<sup>1</sup>, TAO Jian<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, Shandong, China ;

<sup>2</sup> Graduate School, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China ;

<sup>3</sup> College of Public Administration, Shandong Technology and Business University, Yantai 264005, Shandong, China

**Abstract:** Accurate estimation of ecosystem productivity in tobacco field is important for assessing temporal and spatial variation characteristics of tobacco yield and influencing factors of tobacco leaves. Based on remote sensing data and ground flux observation data, the applicability of MODIS gross primary productivity model of typical tobacco field ecosystem in Pan-xi tobacco area was verified and locally parameterized, so as to improve credibility of MODIS data products in productivity level evaluation. Results showed that GPP simulation value with default parameters was lower than observed value; 1:1 linear regression slope was 0.769 with determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.776, efficiency coefficient (NS) of 0.253, root mean square error (RMSE) of 0.268  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 8\text{ day}^{-1}$ . The simulation effect of the model was relatively poor. Based on the flux observation data, the GPP simulation effect was improved after the MODIS productivity model was locally parameterized with default parameters. Compared with the observed values, the efficiency coefficient was improved significantly, the 1:1 linear regression slope,  $R^2$  and NS were 1.001, 0.984 and 0.919, respectively. The RMSE dropped to 0.0978  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 8\text{ day}^{-1}$ , and the time dynamic curve was consistent which validated the accuracy of the model. These results proved that the MODIS productivity model had efficient applicability after parameterization, and it could provide applicable GPP datasets to assist future research in carbon and energy balance in Pan-xi tobacco planting area.

**Keywords:** MODIS productivity model; gross primary production; flux observation; Pan-xi tobacco planting area

**Citation:** XU Tongqing, XU Yimin, ZHANG Ye, et al. Applicability validation of MODIS productivity simulation model based on flux data in typical Pan-xi tobacco planting area [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2018, 24(4)

\*Corresponding author. Email: taojian\_ecology@163.com