

植被最大光能利用率的模拟方法对比评估

赵涔良, 朱文泉*, 谢志英

遥感科学国家重点实验室, 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875

zhao.cl@mail.bnu.edu.cn

1 简介

光能利用率模型是一种基于遥感数据估算植被生产力的参数模型, 其核心参数最大光能利用率 (LUE_{max}) 在早期模型中被认为是一个适用于所有植被类型的固定值(例如 CASA 模型), 而从 MODIS-LUE 模型开始则成为一个依植被类型而变化的参数, 直至近年来被认为需要进一步根据植被的物候及生理状态而进行实时调整 [1]。本文针对目前已有的 3 种典型动态 LUE_{max} 参数模拟方法(基于叶绿素遥感指数、基于 LAI 季节调节因子、马尔科夫链蒙特卡洛模拟), 通过采用相同的生产力估算与评估数据集(FLUXNET 2015) 和模型结构(MODIS-LUE 模型结构)对它们进行了对比分析。

2 研究亮点

- 研究采用统一的生产力估算框架和数据集进行了参数评估。
- 相比同类研究有着更大的研究区范围和更广泛的植被类型, 结果更具普适性。
- 研究除去 GPP 精度对比之外, 还针对影响 LUE_{max} 的环境因素进行对比分析。

3 生产力估算模型

本文选用的三种动态 LUE_{max} 参数模拟方法(基于叶绿素遥感指数、基于 LAI 季节调节因子和马尔科夫链蒙特卡洛模拟)都仅针对光能利用率模型中的 LUE_{max} 参数进行了设置, 未改变模型整体结构与其他参数设置。因此, 本文使用了统一的 MODIS-LUE 总初级生产力模型框架, 并且基于相同的数据集(FLUXNET 2015, 涵盖了 12 种 IGBP 分类系统下的植被类型)对比了各 LUE_{max} 参数的表现。MODIS-LUE 的模型结构如下:

$$GPP = PAR \times fPAR \times LUE_{max} \times T_S \times W_S$$

PAR 是单位时间(例如每天或每月)的入射光合有效辐射($MJ m^{-2}$), $fPAR$ 是被植被吸收的光合有效辐射(APAR)占总入射光合有效辐射的比例; T_S 是温度胁迫因子; W_S 是水分胁迫因子; LUE_{max} 是最大光能利用率($g C m^{-2} MJ^{-1} APAR$)。各 LUE_{max} 模拟方法有着不同的参数设置, 依据各自对应文献中所描述的算法进行计算。

4 动态 LUE_{max} 构造方法

$LUE_{max-BPLUT}$ MODIS-LUE 模型原有的静态参数来自全球生态模型(BIOME-BGC)模拟的各植被类型 LUE_{max} 查找表(BPLUT)。

LUE_{max-CI} 基于叶绿素遥感指数的动态参数, 是通过 GPP-PAR 曲线形状和地面照度实验, 使用基于叶绿素遥感指数的经验公式计算所得 [2]。

$LUE_{max-LAI}$ 基于 LAI 季节调节因子的动态参数, 是在原模型结构上添加 LAI 季节调节因子, 并基于通量观测的 GPP 数据进行回归反算所得 [3]。

$LUE_{max-MCMC}$ 基于马尔科夫链蒙特卡洛模拟的动态参数, 是基于通量观测数据, 使用马尔科夫链蒙特卡洛方法进行模拟所得 [4]。

8 参考文献

- [1] R. Houborg, M. C. Anderson, J. M. Norman, T. Wilson, and T. Meyers. Intercomparison of a 'bottom-up' and 'top-down' modeling paradigm for estimating carbon and energy fluxes over a variety of vegetative regimes across the us. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(11):1875–1895, 2009.
- [2] K. Muramatsu, S. Furumi, N. Soyama, and M. Daigo. Estimating the seasonal maximum light use efficiency. *Proceedings of Spie the International Society for Optical Engineering*, 9260, 2014.
- [3] X. W. Zhou and Q. C. Xin. Improving satellite-based modelling of gross primary production in deciduous broadleaf forests by accounting for seasonality in light use efficiency. *International Journal of Remote Sensing*, 40(3):931–955, 2019.
- [4] X. F. Lin, B. Z. Chen, J. Chen, H. F. Zhang, S. B. Sun, G. Xu, L. F. Guo, M. Y. Ge, J. F. Qu, L. J. Li, and Y. W. Kong. Seasonal fluctuations of photosynthetic parameters for light use efficiency models and the impacts on gross primary production estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 236:22–35, 2017.

5 动态 LUE_{max} 时序曲线及 GPP 估算精度对比

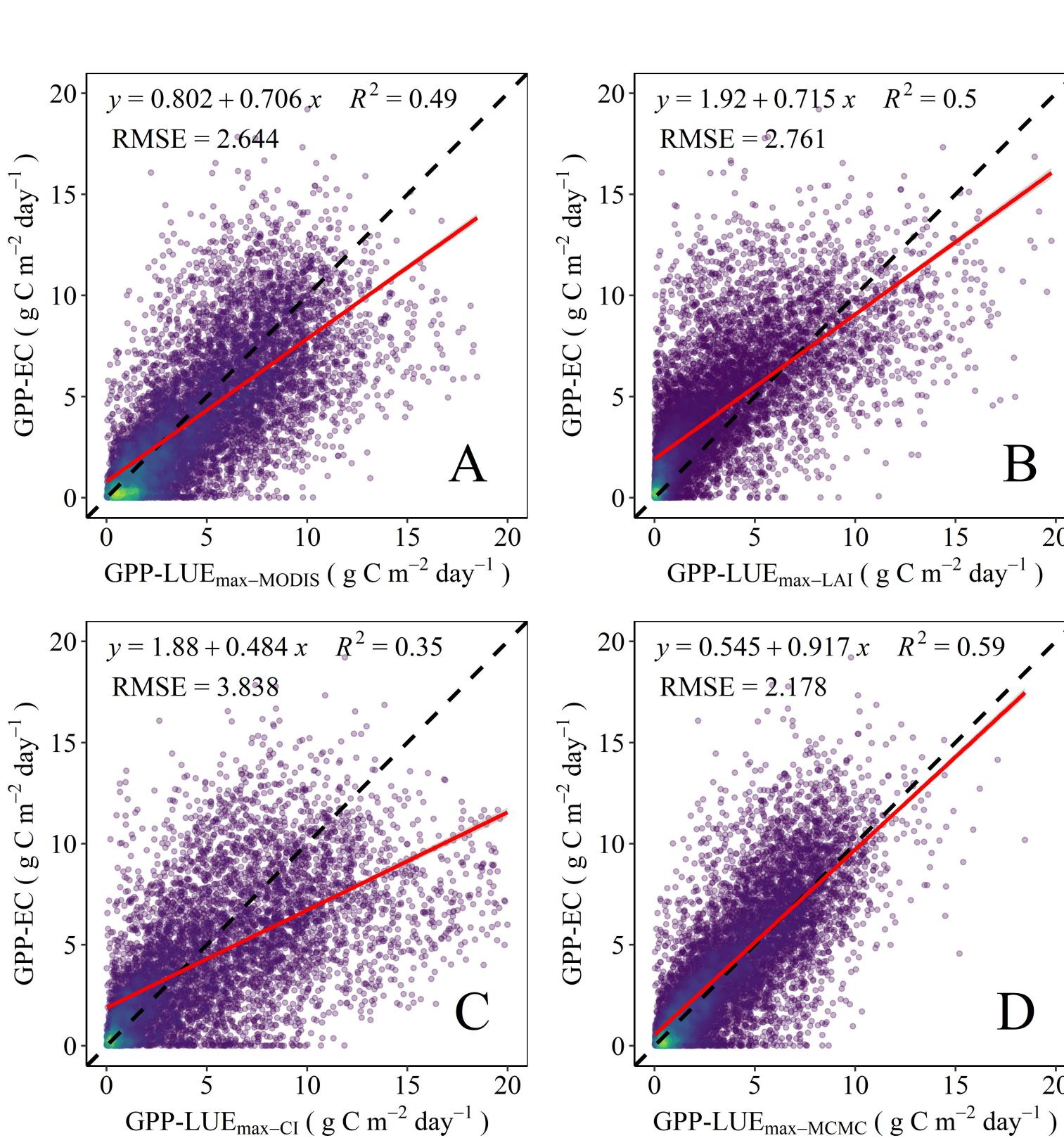


图 2 四种 LUE_{max} 参数计算的 GPP 值与通量观测 GPP 值对比

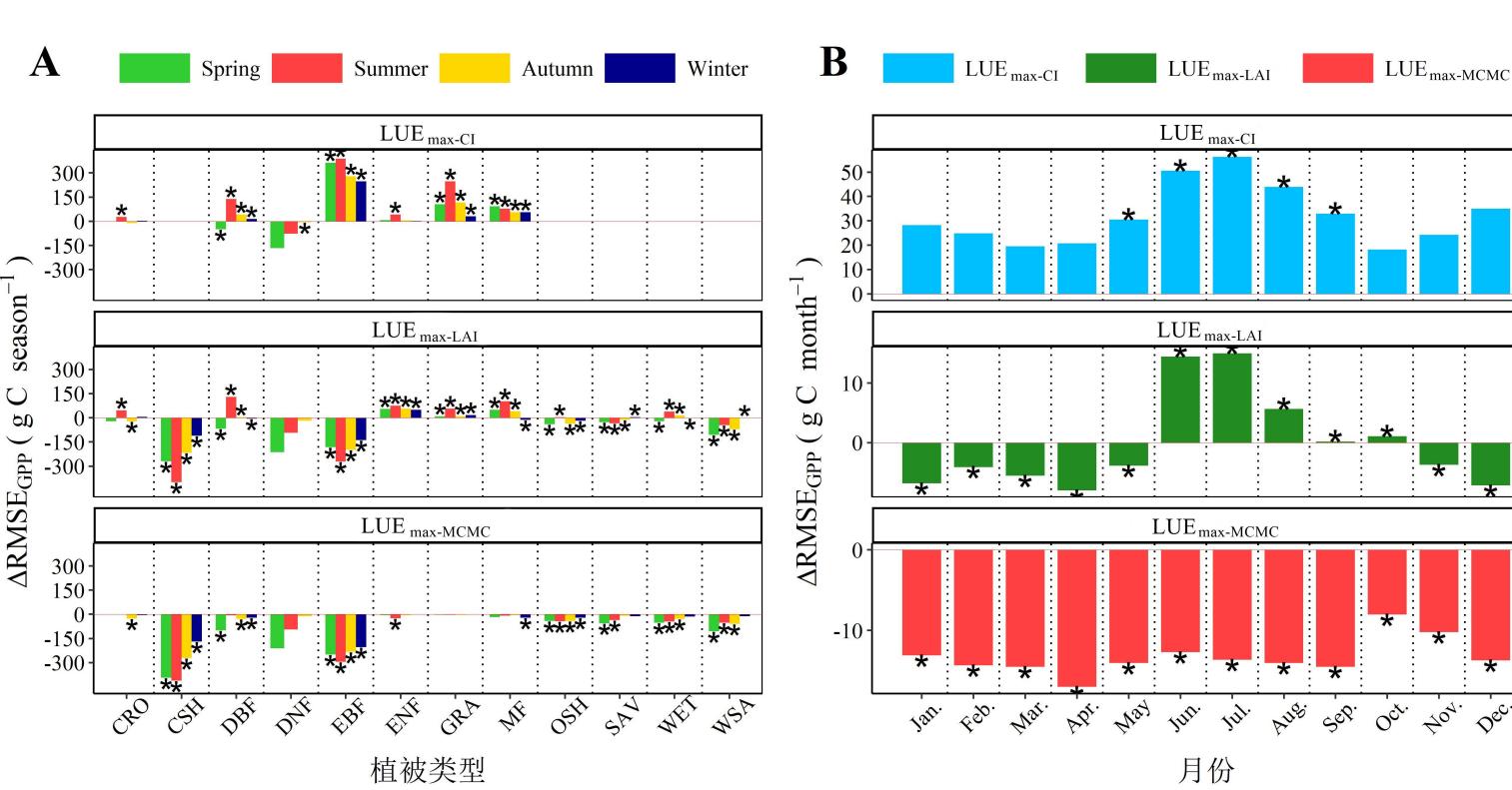


图 3 基于动态 LUE_{max} 参数与基于静态参数的 GPP 模拟效果(RMSE)对比

各动态 LUE_{max} 参数与 MODIS-LUE 模型原静态参数在数值上有着明显差异。同时, 不同动态 LUE_{max} 参数间具有一定的一致性(例如 DBF 的生长季, 三种动态 LUE_{max} 参数的年变化曲线都呈现凸型), 但是在其他植被类型上的表现则差异较大(图 1)。从对 GPP 模拟的误差(RMSE)来看(图 2, 3), 基于动态 LUE_{max} 参数计算的 GPP 结果与基于静态 LUE_{max} 参数的计算结果在不同的植被类型、不同时段内均有着不一样的表现。从显著性检验的结果来看, 四种 LUE_{max} 参数的 GPP 估算数值存在显著差异。总的来说, MCMC 的 GPP 估算结果最优(相比静态参数的 GPP 结果, $\Delta RMSE = 13.3 g C m^{-2} month^{-1}$, $\Delta R^2 = 0.084$), 其次是 $LUE_{max-LAI}$, 而 LUE_{max-CI} 的表现最差。

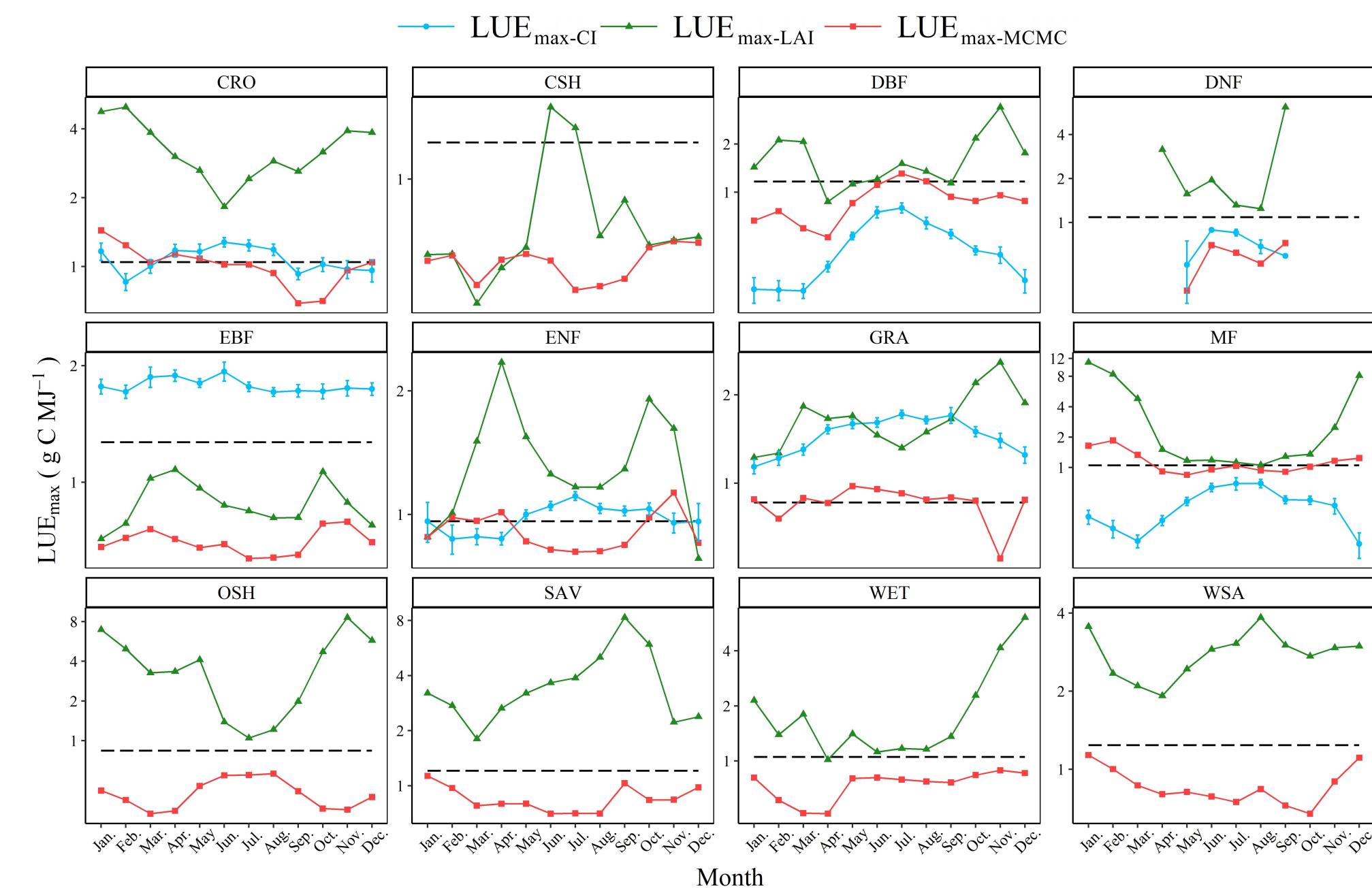


图 1 三种动态 LUE_{max} 参数的月变化(虚线为 MODIS-LUE 静态参数)

6 不同 LUE_{max} 参数的环境影响因素

典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)本质是多响应变量多元回归结果的主成分降维展示, 其排序结果图中各箭头之间的角度表示相关性的大小(锐角-正相关, 钝角-负相关)。分析结果显示各影响因子中解释度最高的是温度胁迫系数(TS)和 LAI, 其次则是饱和水汽压差(VPD)和水分胁迫系数(WS), 这一方面佐证了 LUE_{max} 参数与 LAI 指数和温度的紧密联系, 另一方面也暗示除温度外的其他环境因素也可能对 LUE_{max} 参数产生影响。

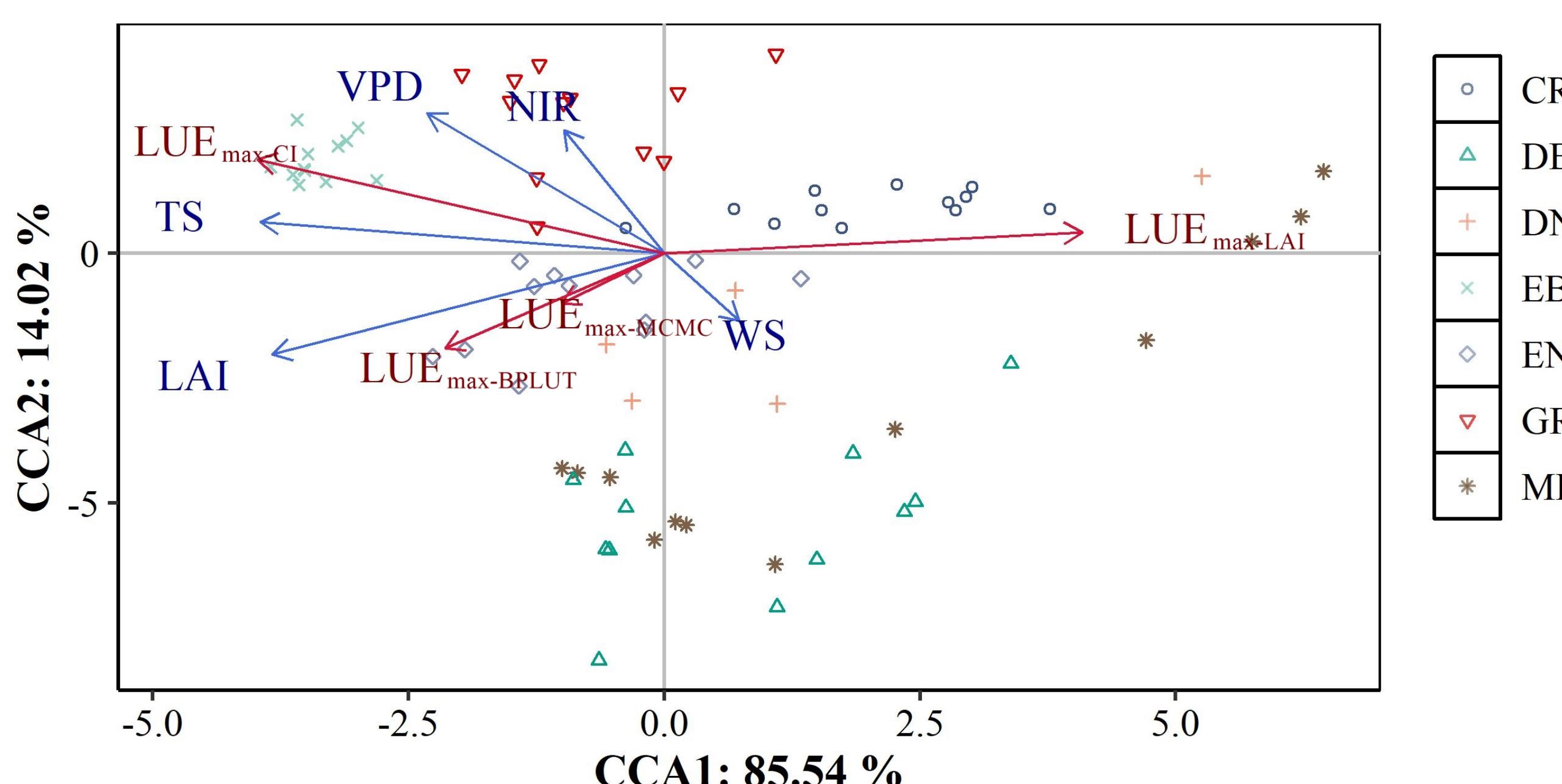


图 4 LUE_{max} 参数及其影响因素的典范对应分析排序图(CCA)

7 结论

本研究横向对比了三种典型动态最大光能利用率参数(LUE_{max})的季节性变化特征, 并评估了他们在 MODIS-LUE 模型框架下的 GPP 估算精度, 得到以下 3 个主要结论:

1. 三种动态 LUE_{max} 参数差异较大, 其在各植被类型上的季节性变化呈现出单峰、“U”型及水平波动三类形状特征。
2. 基于动态参数的 GPP 估算精度相比基于原静态参数有着一定的提高, 但高度依赖于具体的动态 LUE_{max} 方法, 在某些植被类型与时段甚至会造成更大的估算误差。
3. 贝叶斯框架下的马尔科夫链蒙特卡洛(MCMC)方法对动态 LUE_{max} 参数有着较好的模拟效果, 并且在郁闭灌丛、落叶针叶林以及常绿阔叶林上的提升效果尤为明显。