

韩聪, 刘鹏, 母艳梅, 原媛, 郝少荣, 田赞, 查天山, 贾昕 (2022). 黑沙蒿灌丛生态系统碳平衡对昼夜非对称增温的响应. 植物生态学报, 46, 1473-1485. DOI: 10.17521/cjpe.2021.0485

Han C, Liu P, Mu YM, Yuan Y, Hao SR, Tian Y, Zha TS, Jia X (2022). Response of ecosystem carbon balance to asymmetric daytime vs nighttime warming in *Artemisia ordosica* shrublands. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 46, 1473-1485. DOI: 10.17521/cjpe. 2021.0485

<https://www.plant-ecology.com/CN/10.17521/cjpe.2021.0485>

#### 附录 I BIOME-BGC 模型碳循环关键过程

#### Supplement I Key carbon cycle process of BIOME-BGC model

##### 日间和夜间温度:

BIOME-BGC 模型通过不同方式计算日间和夜间温度, 从而达到模拟碳通量组分在日间和夜间增温的差异, 并在改变日最高、最低气温时模型会重新计算日平均气温:

$$\begin{aligned} T_{\text{avg}} &= (T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2 \\ T_{\text{day}} &= 0.45 \times (T_{\text{max}} - T_{\text{avg}}) + T_{\text{avg}} \\ T_{\text{night}} &= (T_{\text{day}} + T_{\text{min}})/2 \end{aligned}$$

式中,  $T_{\text{day}}$  指日间温度,  $T_{\text{night}}$  指夜间温度,  $T_{\text{max}}$  指日最高温度,  $T_{\text{min}}$  指日最低温度,  $T_{\text{avg}}$  指日平均温度。

##### 碳循环关键过程:

(1) 总初级生产力(GPP)来源于光合作用(采用双叶模型和酶促反应):

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_{\text{cmax}}(C_i - \Gamma^*)}{C_i + K_c(1 + \frac{O_2}{K_o})} - MR_{\text{leafday}} \\ A_j &= \frac{J_{\text{max}}(C_i - \Gamma^*)}{4.5C_i + 10.5\Gamma^*} - MR_{\text{leafday}} \end{aligned}$$

式中,  $A_v$  和  $A_j$  分别指受最大羧化速率和最大电子传递效率影响的光合速率,  $C_a$  和  $C_i$  分别指大气和胞间  $\text{CO}_2$  浓度(pa),  $O_2$  是指大气中氧气浓度(pa),  $\Gamma^*$  指  $\text{CO}_2$  补偿点,  $K_c$  和  $K_o$  分别指 rubisco 羧化和氧化的米氏常数,  $MR_{\text{leafday}}$  指日间叶片维持呼吸,  $J_{\text{max}}$  指最大电子传递速率,  $V_{\text{cmax}}$  指最大羧化速率。

$J_{\text{max}}$ 、 $V_{\text{cmax}}$  的计算方式这里不做具体描述, 能够产生日间和夜间增温差异的部分来源于  $K_c$ 、 $K_o$  和 rubisco 活性(ACT):

$$K_o = K_{o25} \times Q_{10K_o}^{\frac{T_{\text{day}} - 25}{10}}$$

$T_{\text{day}} > 15 \text{ }^\circ\text{C}$  时,

$$K_c = K_{c25} \times Q_{10K_c}^{\frac{T_{\text{day}} - 25}{10}}; \quad \text{ACT} = \text{ACT}_{25} \times Q_{10\text{ACT}}^{\frac{T_{\text{day}} - 25}{10}}$$

$T_{\text{day}} \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$  时

$$K_c = \frac{K_{c25} \times 1.8Q_{10K_c}^{\frac{T_{\text{day}} - 15}{10}}}{Q_{10K_c}}; \quad \text{ACT} = \frac{\text{ACT}_{25} \times 1.8Q_{10\text{ACT}}^{\frac{T_{\text{day}} - 15}{10}}}{Q_{10\text{ACT}}}$$

式中,  $Q_{10}$  为不同参数的温度敏感性;  $Q_{10K_c}$ 、 $Q_{10K_o}$  和  $Q_{10\text{ACT}}$  分别为 2.1、1.2 和 2.4; 带有 25 下标的参数均为  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  时的常数值,  $K_{c25}$ 、 $K_{o25}$  和  $\text{ACT}_{25}$  分别为 404.0、248.0 和 3.6。

(2) 呼吸作用(Re):

① 维持呼吸(MR):  $\text{MR} = 0.218NQ_{10}^{(T - 20)/10}$

式中,  $N$  指器官组织氮含量;  $T$  在计算叶片时为日间和夜间温度, 计算茎时为日平均气温, 计算根时为土壤平均温度。

② 生长呼吸(GR)为固定比例(默认 30%)从碳库(GPP - MR)中获取。

③ 异养呼吸(HR)来源于枯落物分解和土壤有机质分解, 其变化与分解速率相关。模型根据枯落物和土壤有机质类型分

成 8 个库进行分解, 分解速率受土壤水分和土壤温度标量影响。温度变化直接影响土壤温度标量、间接影响土壤水分标量, 进而调控分解速率。