



水分条件对高寒草地生态系统 的控制作用探讨

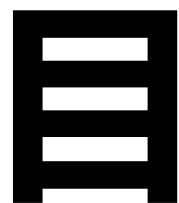
报告人：张 涛

所属站点：那曲站

单 位：中国科学院地理科学与资源研究所

沈阳农业大学

呼伦贝尔 2024.8.23



CONTENTS

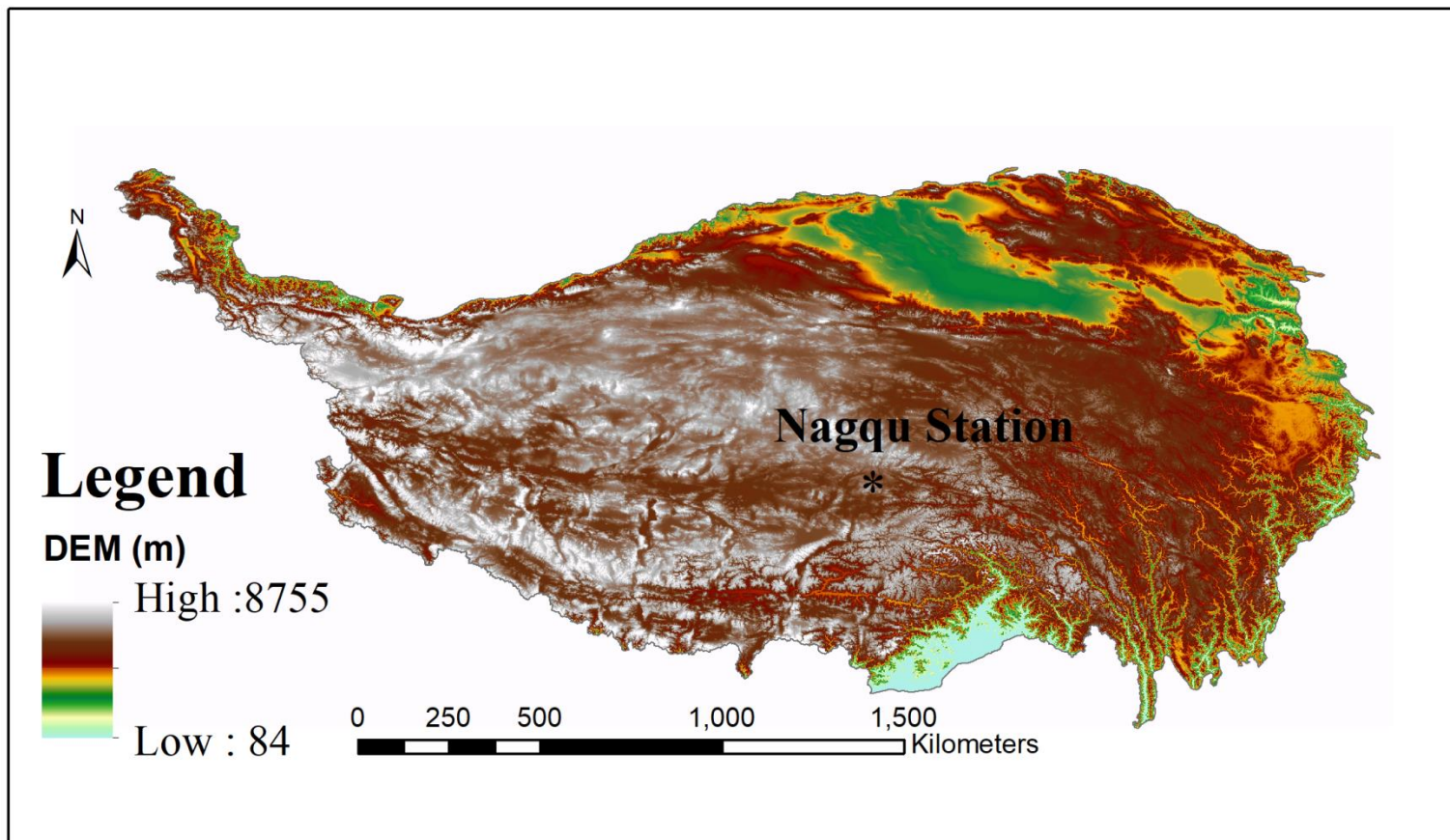
录

- 1 / 水分主控高寒草甸碳收支
- 2 / Fisher 判别法识别干旱
- 3 / 干旱对高寒草甸生态系统稳定性的影响
- 4 / 干旱对高寒草甸生态系统资源利用效率的影响
- 5 / 土壤水分的关键阈值

参考文献

1. Tao Zhang, Baoxin Shan, Mingjie Xu*, Guang Zhao, Zhoutao Zheng, Yuanyuan Tang, Ning Chen*, Juntao Zhu, Nan Cong, Ben Niu, Yangjian Zhang*. Soil moisture alters the responses of alpine ecosystem productivity to environmental factors, especially VPD, on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Science of The Total Environment*, 2024, 947: 174518.
2. Tao Zhang, Yuanyuan Tang, Baoxin Shan, Mingjie Xu*, Nan Cong, Ning Chen, Ximeng Ji, Guang Zhao, Zhoutao Zheng, Juntao Zhu, Yangjian Zhang*. Drought-induced resource use efficiency responses in an alpine meadow ecosystem of northern Tibet. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2023, 342: 109745.
3. Tao Zhang, Danfeng Wang, Mingjie Xu*, Nan Cong, Guang Zhao, Yuanyuan Tang, Zhoutao Zheng, Ning Chen, Juntao Zhu, Yangjian Zhang*, Yongtao He. Analysis of the optimal photosynthetic environment for an alpine meadow ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2023, 341: 109651.
4. Tao Zhang, Yuanyuan Tang, Mingjie Xu*, Guang Zhao, Nan Cong, Zhoutao Zheng, Juntao Zhu, Ben Niu, Zhi Chen, Yangjian Zhang*, Ning Chen, Yongtao He, Guirui Yu. Soil moisture dominates the interannual variability in alpine ecosystem productivity by regulating maximum photosynthetic capacity across the Qinghai-Tibetan Plateau. *Global and Planetary Change*, 2023, 228: 104191.
5. Tao Zhang, Yuanyuan Tang, Mingjie Xu*, Guang Zhao, Ning Chen, Zhoutao Zheng, Juntao Zhu, Ximeng Ji, Danfeng Wang, Yangjian Zhang*, Yongtao He. Joint control of alpine meadow productivity by plant phenology and photosynthetic capacity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022, 325: 109135.
6. Tao Zhang, Ximeng Ji, Mingjie Xu*, Guang Zhao, Zhoutao Zheng, Yuanyuan Tang, Ning Chen, Juntao Zhu, Yongtao He, Yangjian Zhang*. Influences of drought on the stability of an alpine meadow ecosystem. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2022, 8(1): 2110523.
7. Tao Zhang, Ximeng Ji, Yuanyuan Tang, Mingjie Xu*, Yangjian Zhang*, Guang Zhao, Ning Chen, Juntao Zhu, Yongtao He. Fisher discriminant analysis method applied in drought detection: an instance in an alpine meadow ecosystem. *Journal of Plant Ecology*, 2022, 15(5): 911-920.
8. Tao Zhang, Mingjie Xu, Yangjian Zhang*, Tianhong Zhao, Tingting An, Yingge Li, Yi Sun, Ning Chen, Tingting Zhao, Juntao Zhu, Guirui Yu. Grazing-induced increases in soil moisture maintain higher productivity during droughts in alpine meadows on the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, 269-270: 249-256.
9. Tao Zhang, Yangjian Zhang*, Mingjie Xu, Juntao Zhu, Ning Chen, Yanbin Jiang, Ke Huang, Jiaying Zu, Yaojie Liu, Guirui Yu. Water availability is more important than temperature in driving the carbon fluxes of an alpine meadow on the Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 256-257: 22-31.
10. Mingjie Xu, Tingting An, Zhoutao Zheng, Tao Zhang*, Yangjian Zhang*, Guirui Yu. Variability in evapotranspiration shifts from meteorological to biological control under wet versus drought conditions in an alpine meadow. *Journal of Plant Ecology*, 2022, 15(5): 921-932.
11. Mingjie Xu, Tao Zhang*, Yangjian Zhang*, Ning Chen, Juntao Zhu, Yongtao He, Tingting Zhao, Guirui Yu. Drought limits alpine meadow productivity in northern Tibet. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, 303: 108371.

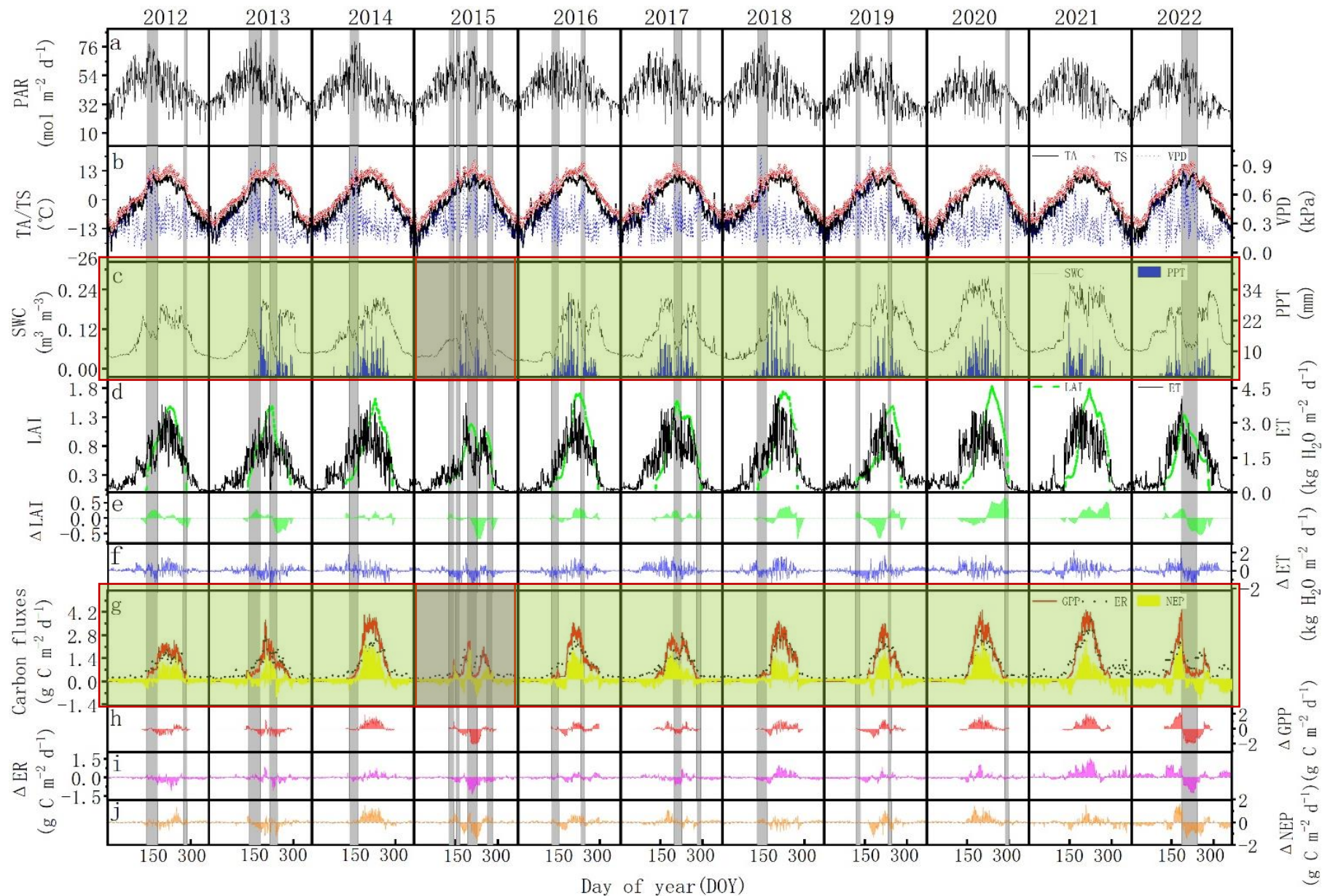
研究区概况



- ☁ 那曲站位于藏北羌塘高原腹地 (31.64°N , 92.01°E , 4598 m a.s.l.) 。
- ☁ 年平均气温为 -1.9°C , 每年10月至翌年5月为风雪期和土壤冻结期, 6月到9月相对温暖, 为生长季。年降水量 430 mm 。
- ☁ 植被类型为典型的高寒草甸, 优势种为高山嵩草。



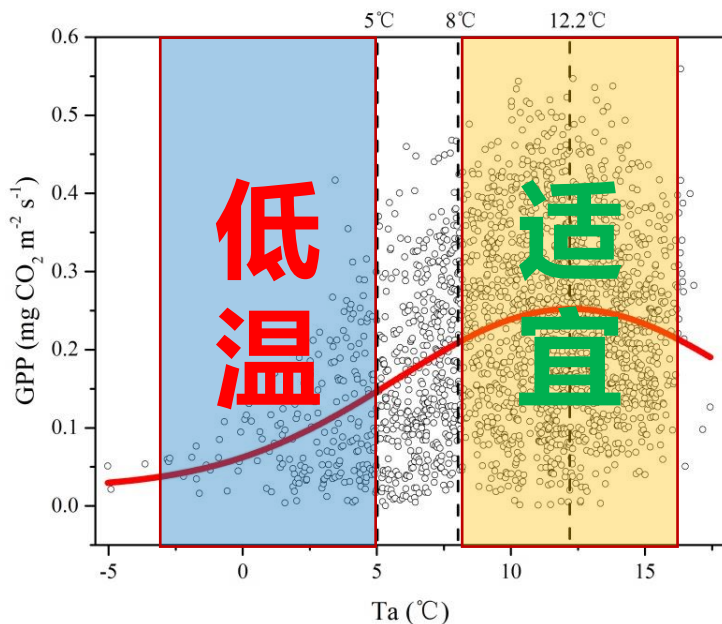
水分主控高寒草甸碳收支



热量条件年际变异小，水分条件年际变异大。

SWC与碳通量变化趋势一致，但存在滞后效应。

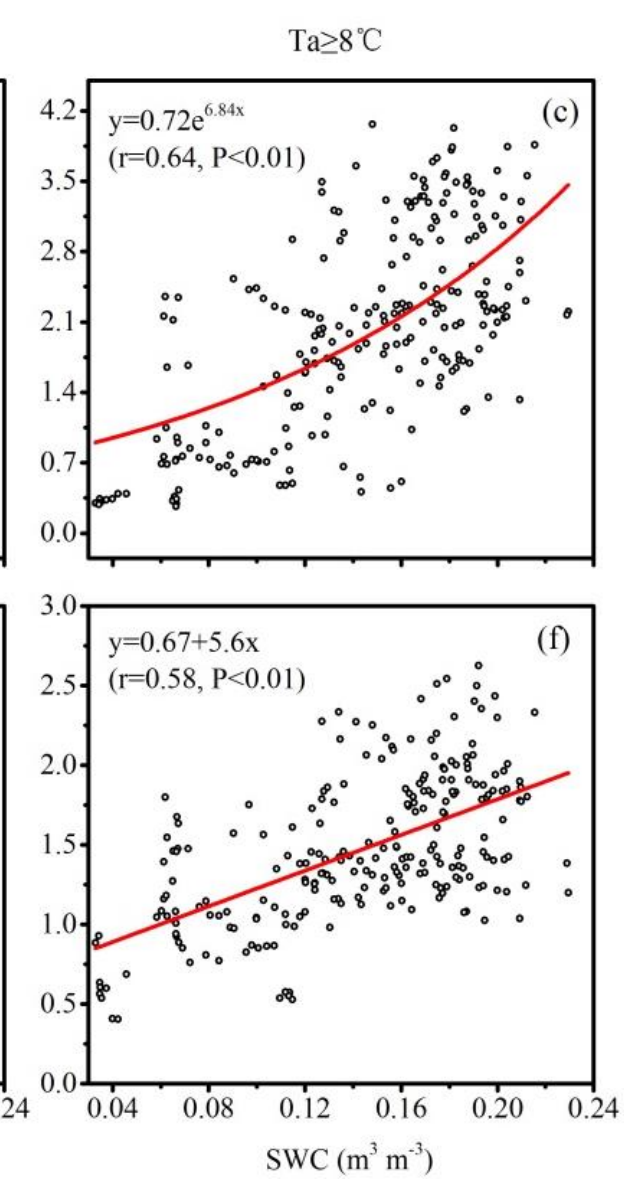
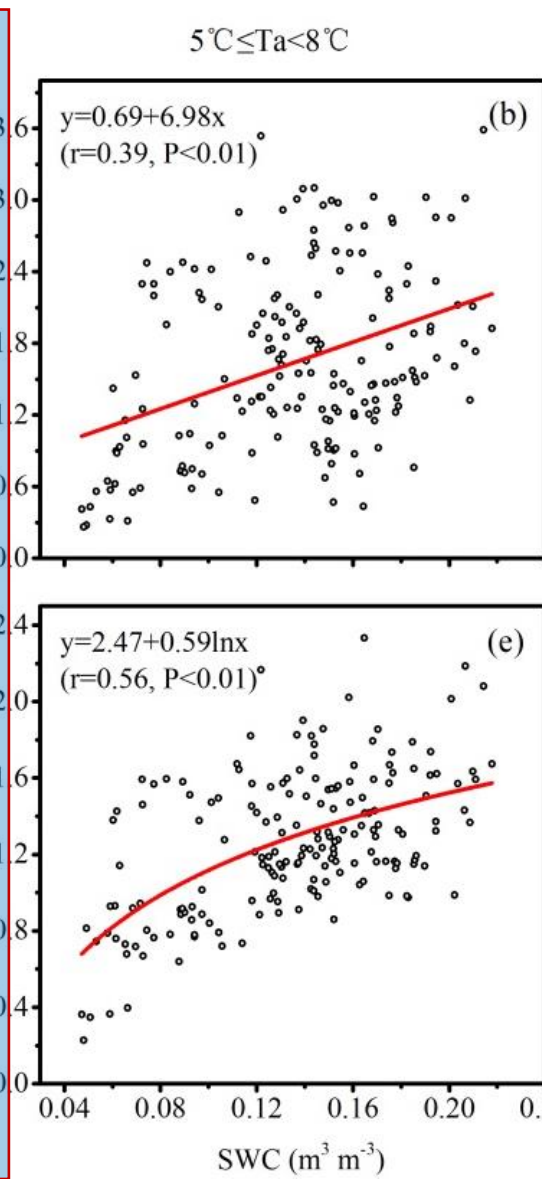
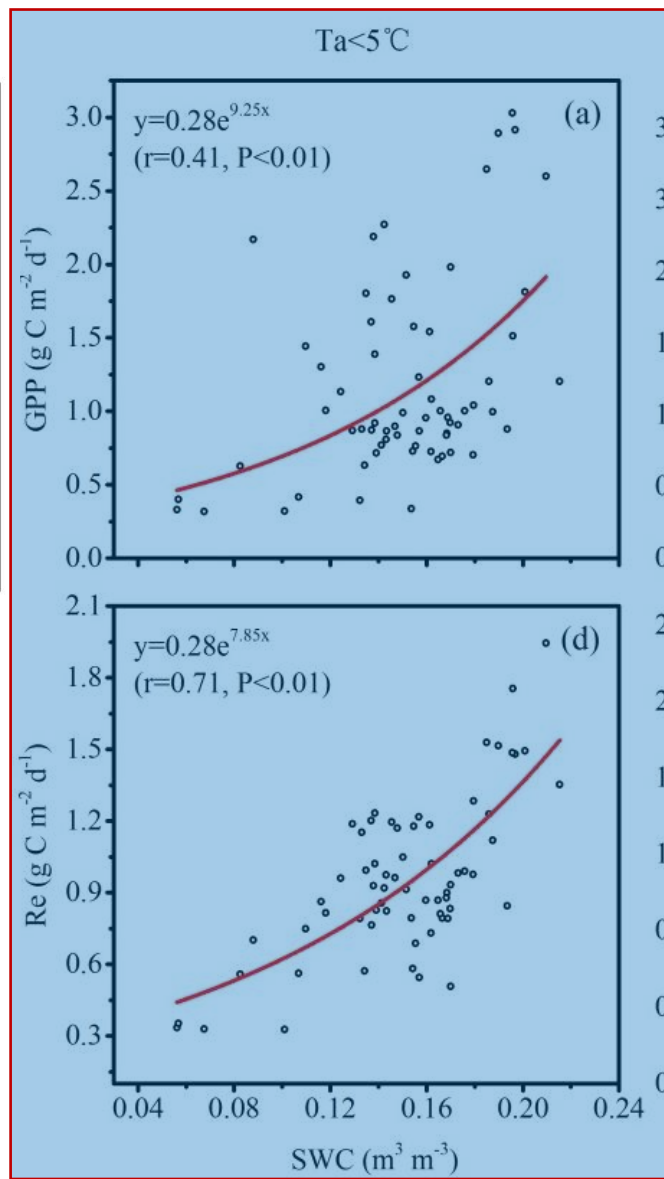
水分主控高寒草甸碳收支



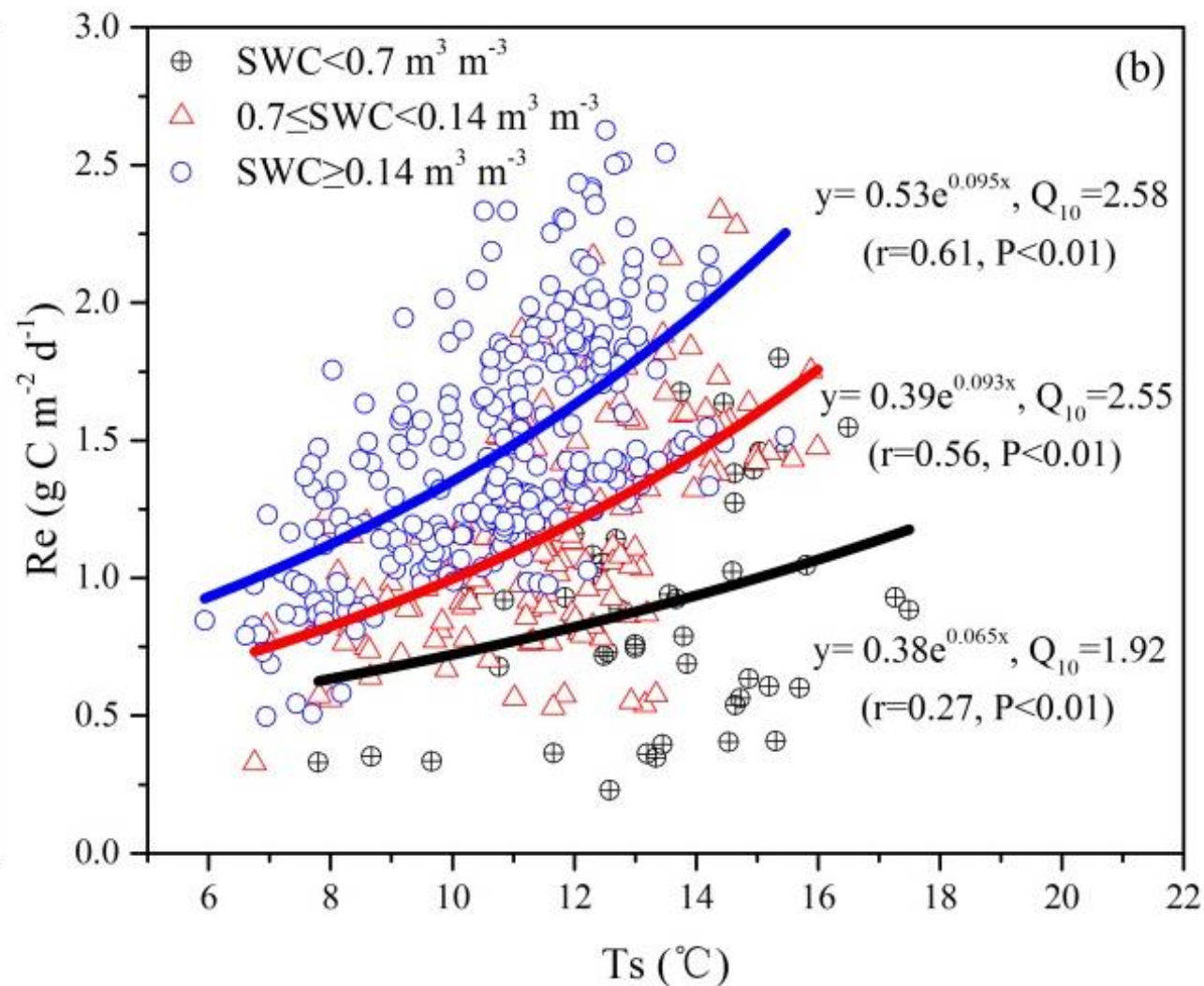
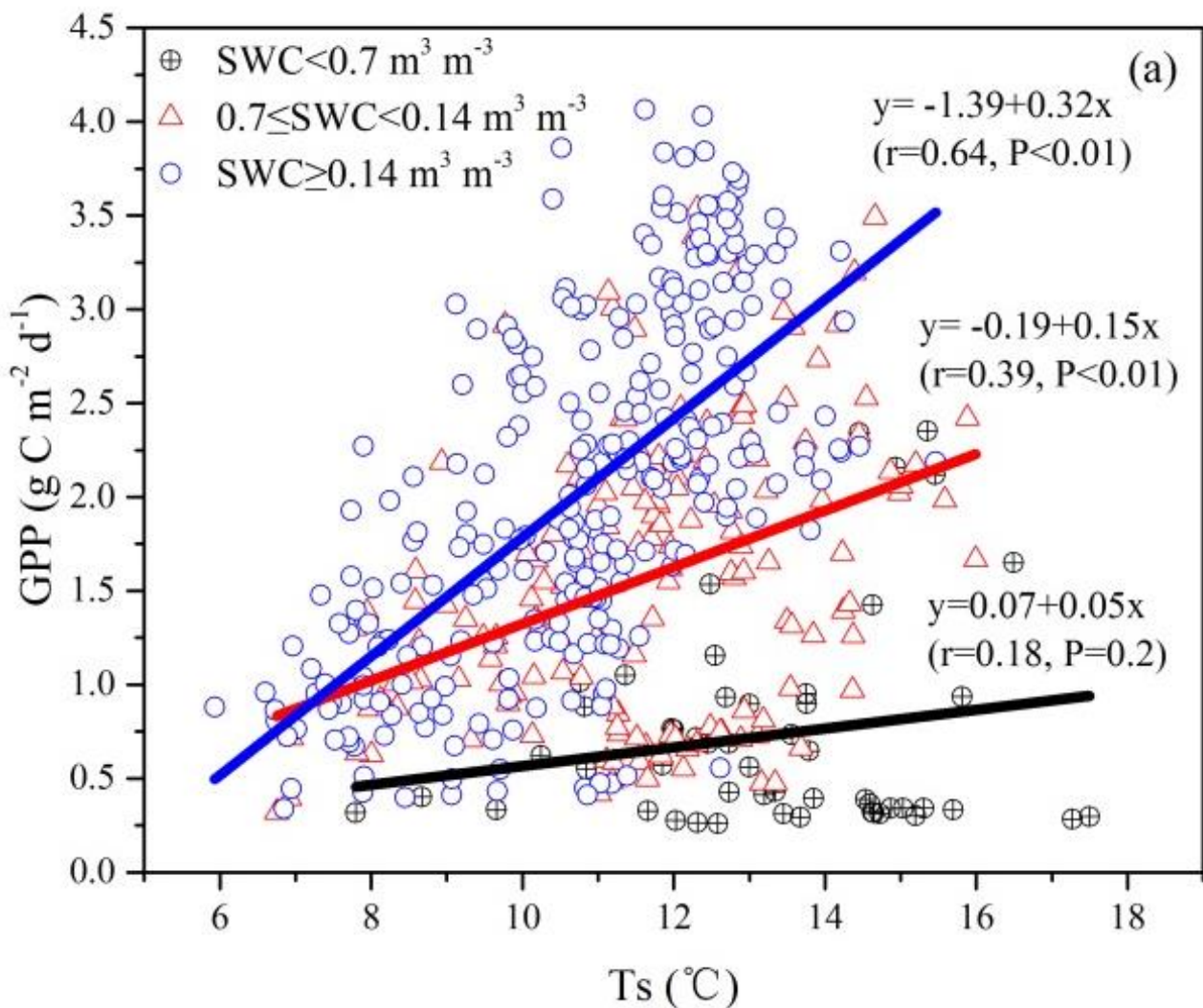
最适温度： 12.2°C

(1) 不同温度条件下，GPP和Re均随SWC增加而增加。

(2) 适宜的水分条件可有效缓解低温胁迫。

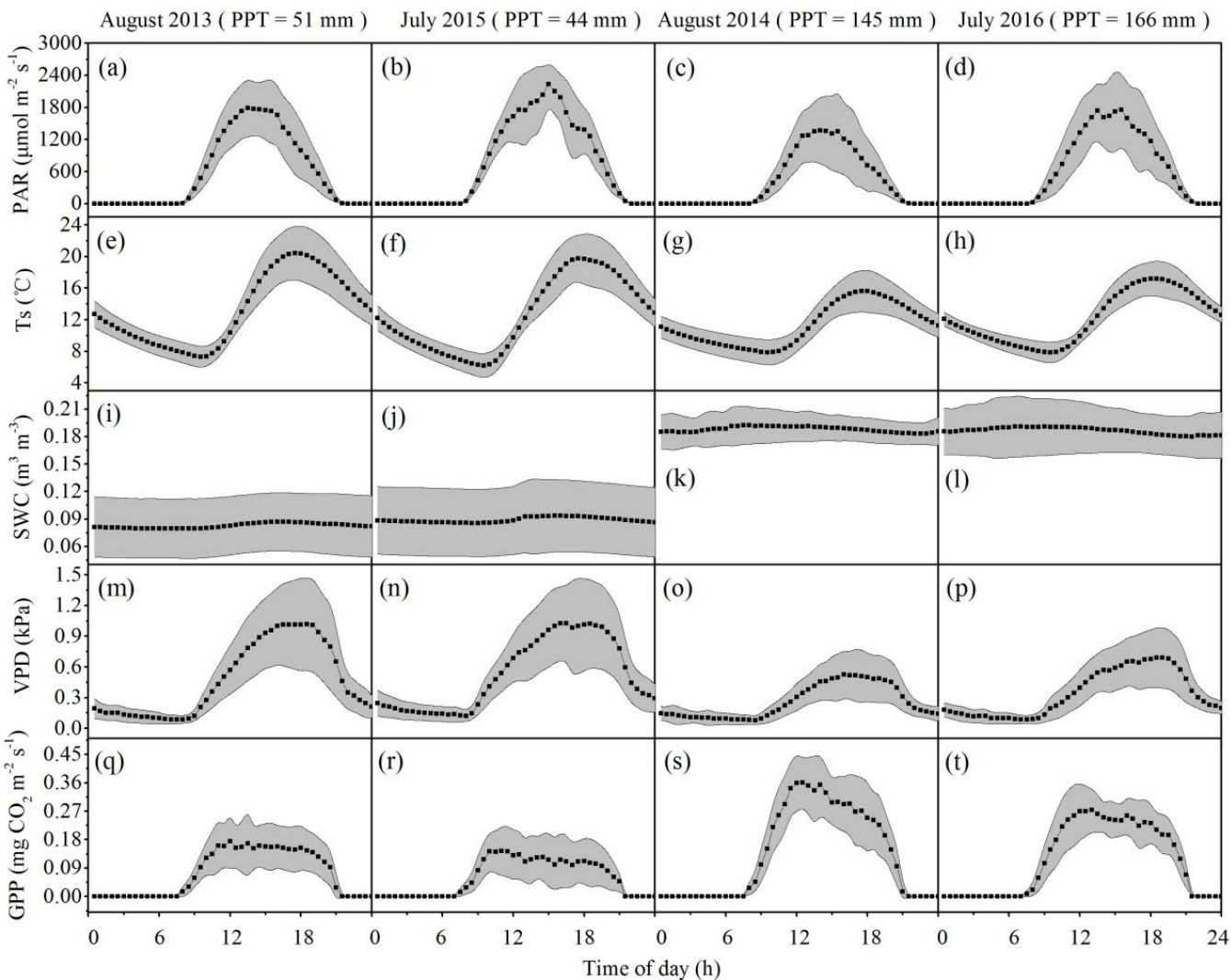


水分主控高寒草甸碳收支

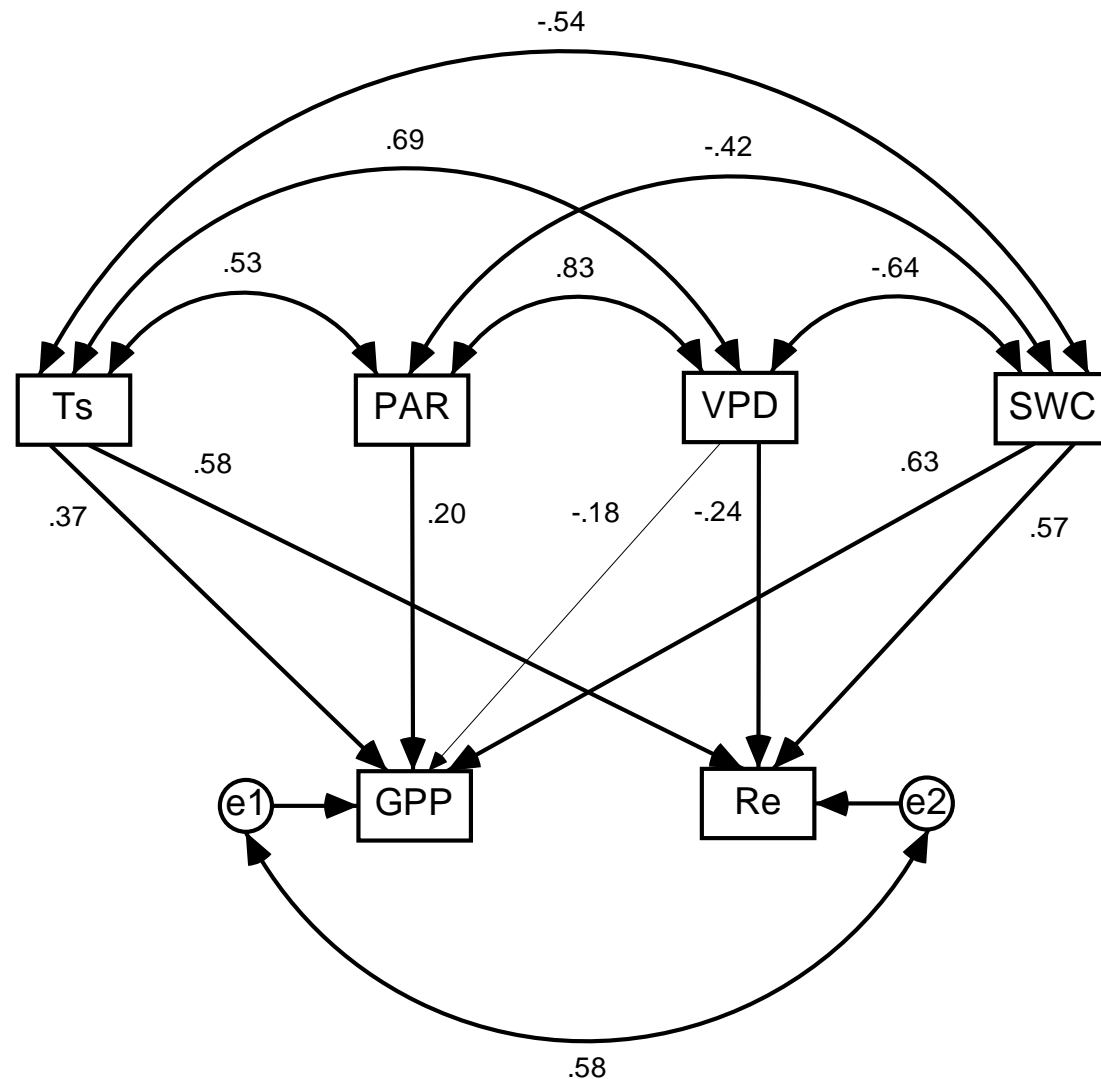


水分条件可影响GPP和Re对Ts的响应特征。水分胁迫直接抑制GPP和Re，反映了水分条件对该高寒草甸生态系统的绝对控制力。

水分主控高寒草甸碳收支

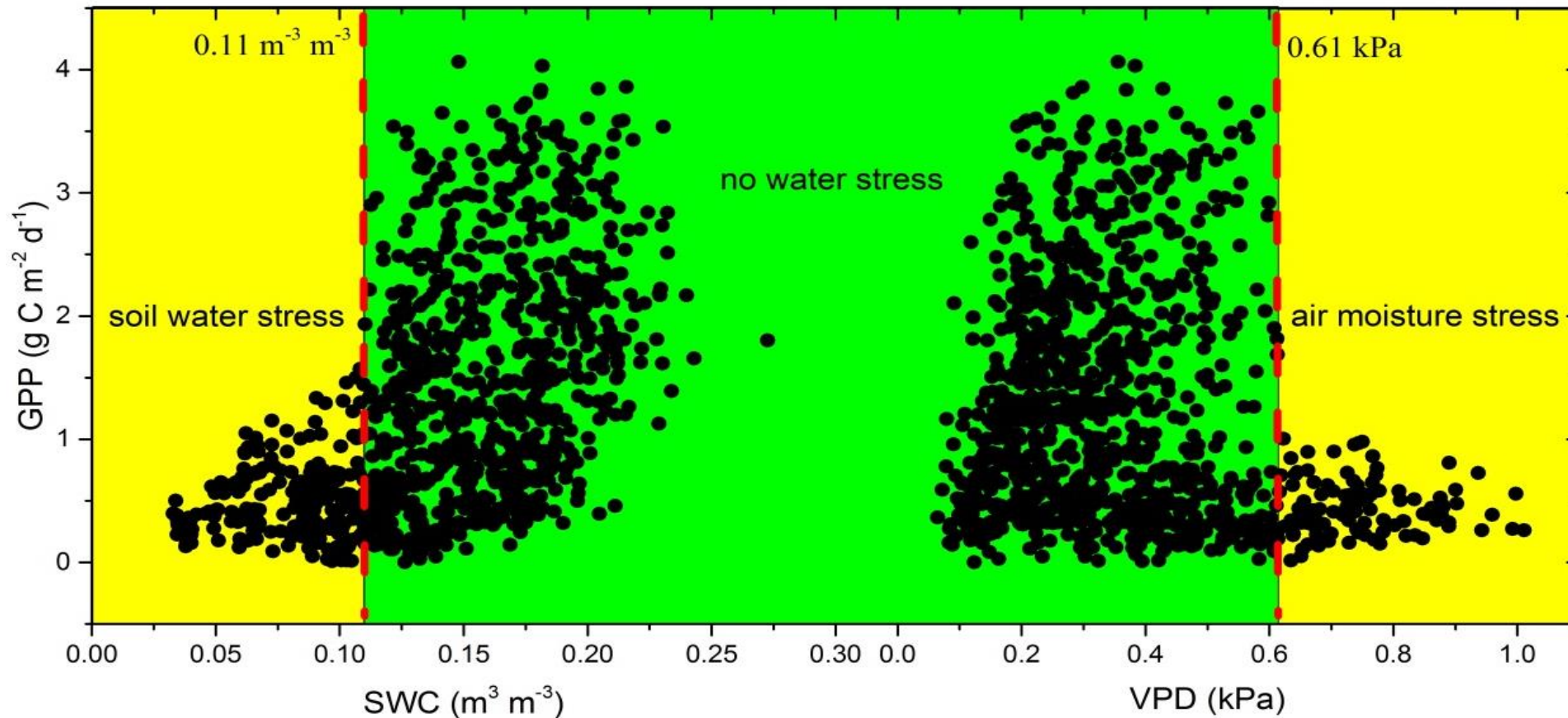


GPP午后抑制现象：湿润季节—水分匮乏；干旱季节—气孔关闭。



GPP主要受SWC控制；Re主要受SWC和Ts共同控制。

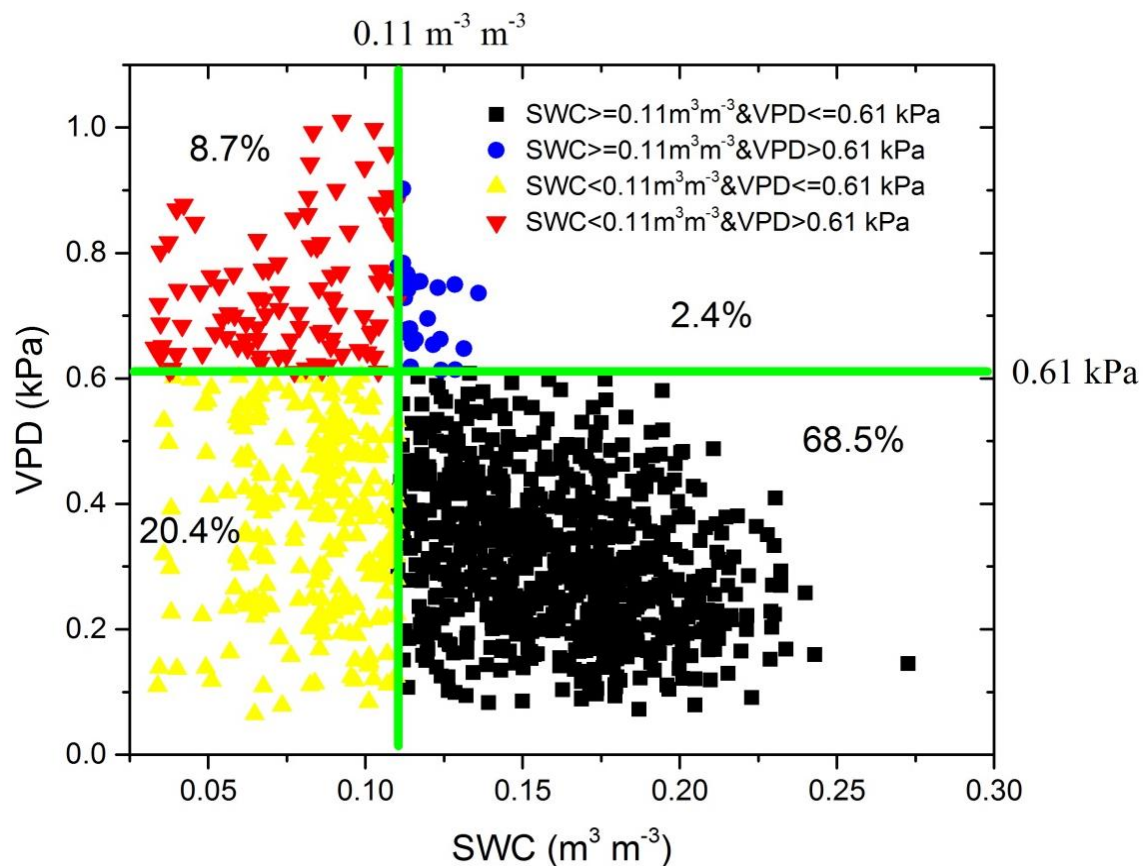
水分对GPP的限制作用



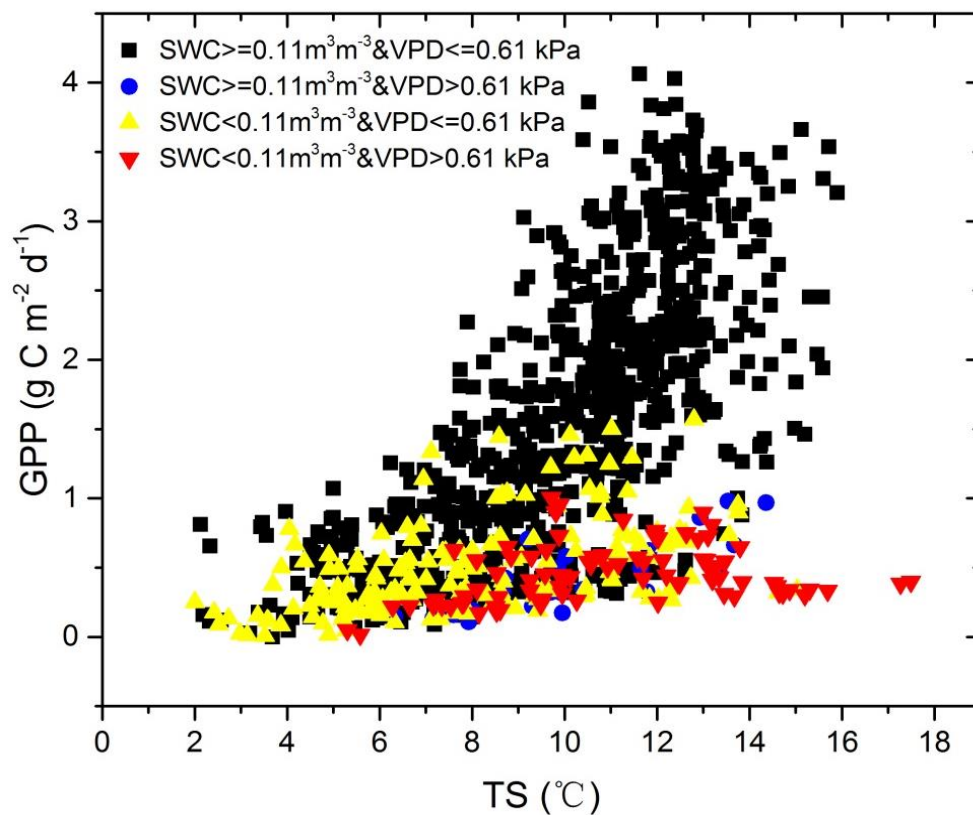
☁ SWC < 0.11 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ，认为发生土壤干旱。

☁ VPD > 0.61 kPa时，认为发生大气干旱。

水分对GPP的限制作用

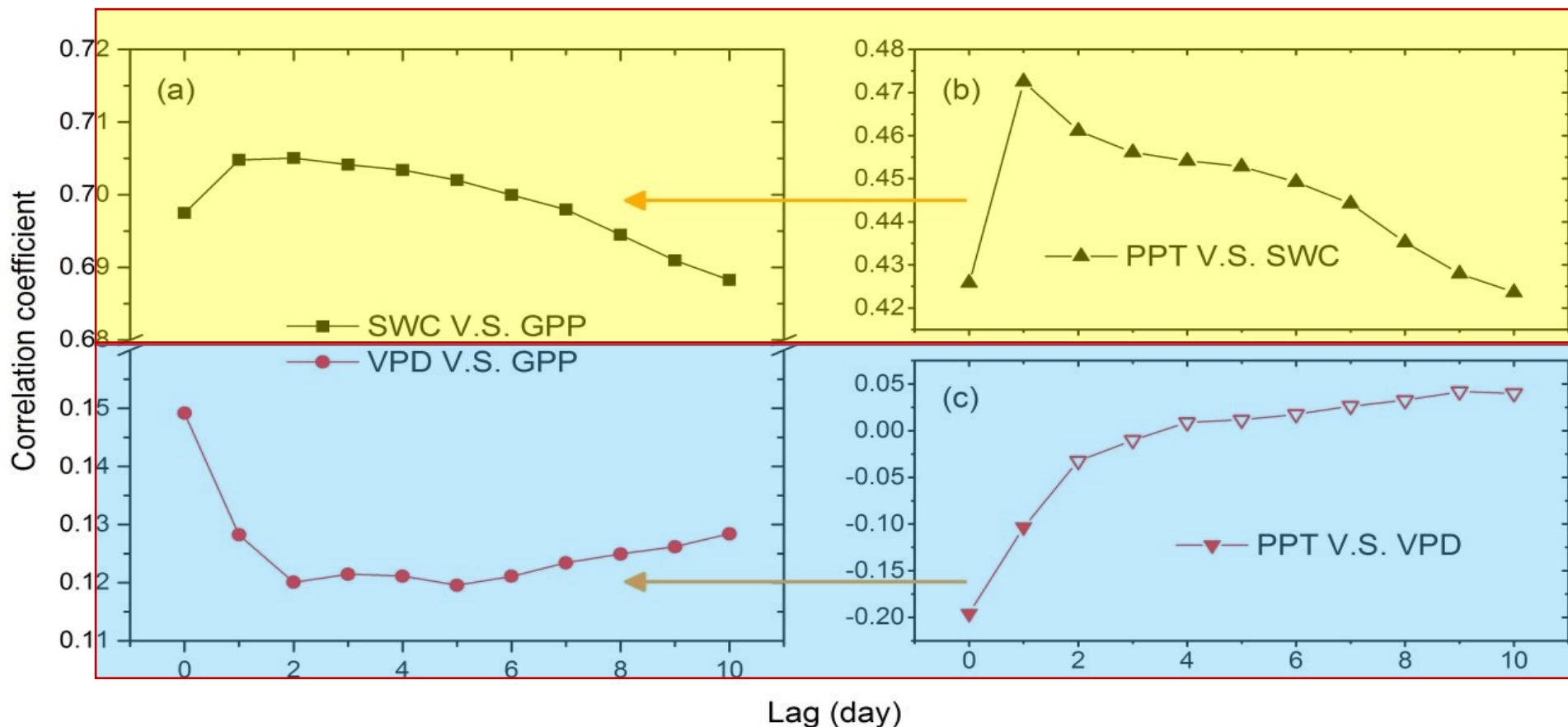


- ☁ 土壤干旱发生概率 20.4%
- ☁ 大气干旱发生概率 2.4%
- ☁ 复合干旱发生概率 8.7%



- ☁ 水分条件影响 GPP对温度的响应
- ☁ 大气和复合干旱表现出了更强的抑制作用

水分对GPP的限制作用



☁ SWC对GPP的影响滞后

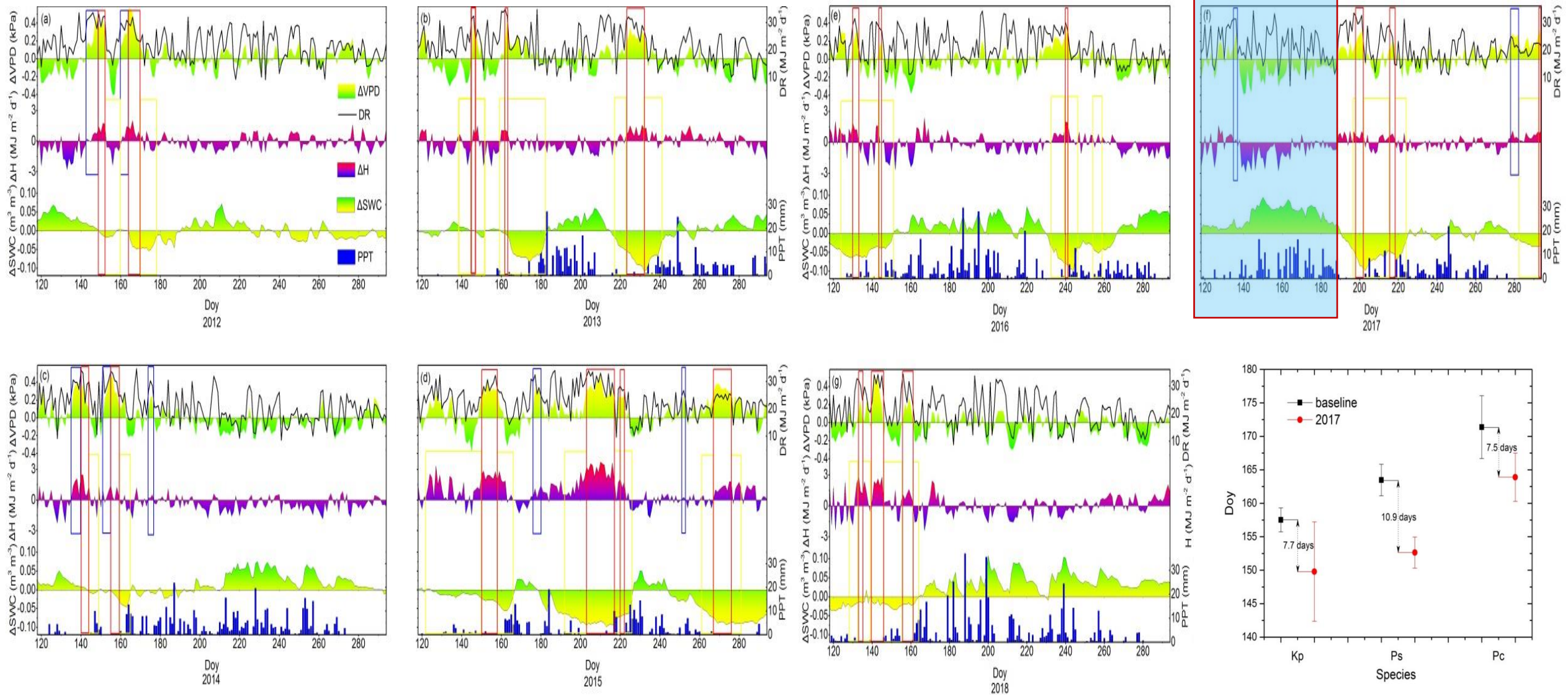
☁ VPD对GPP的影响无滞后



☁ 降水对SWC的影响存在一天滞后

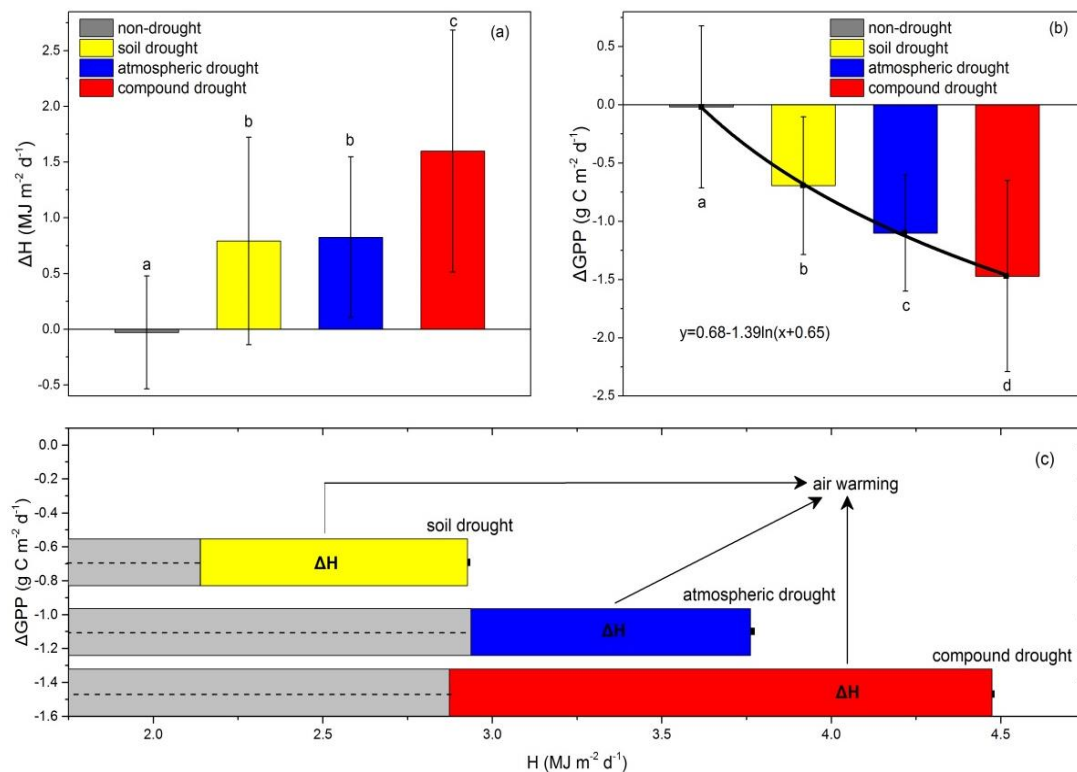
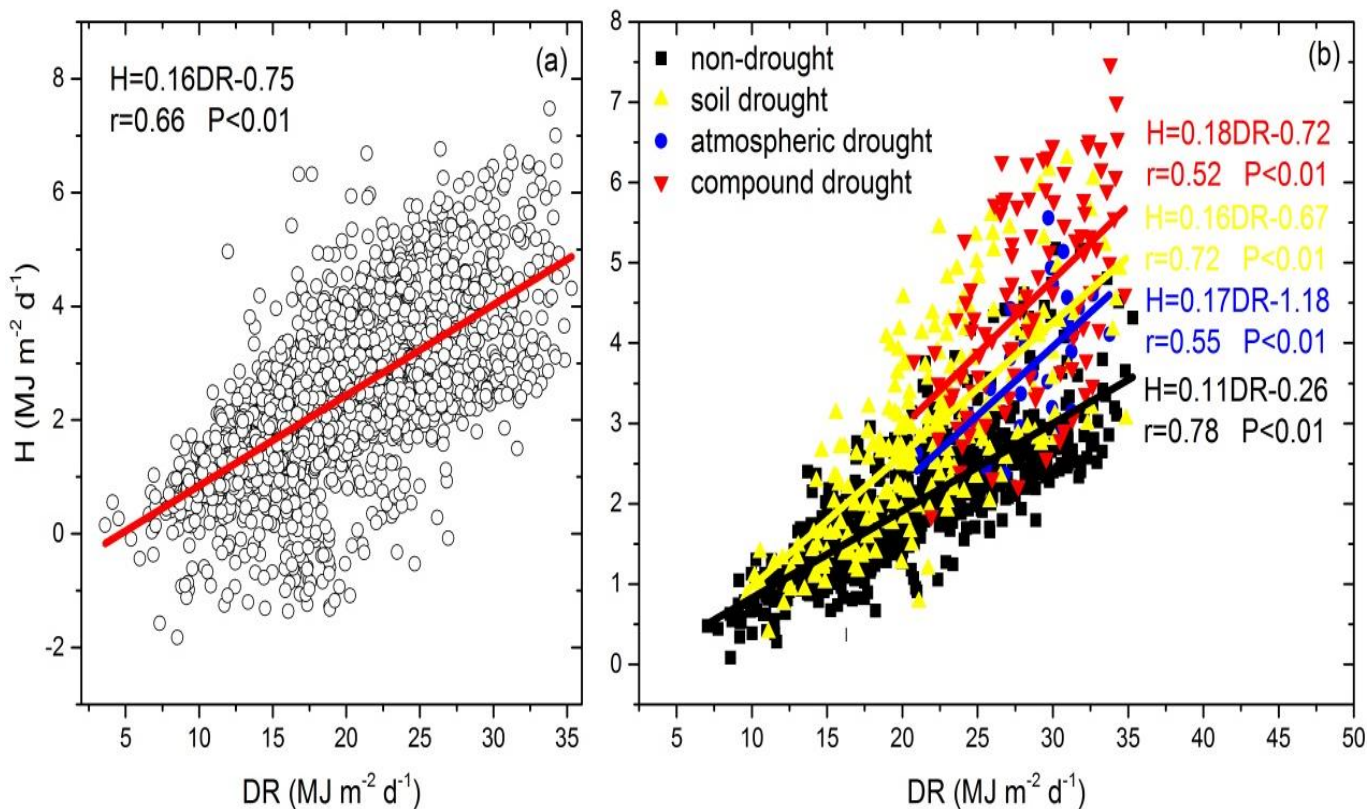
☁ 降水对VPD的影响无滞后

水分对GPP的限制作用



☁ 黄框为土壤干旱，蓝框为大气干旱，红框为双重干旱。

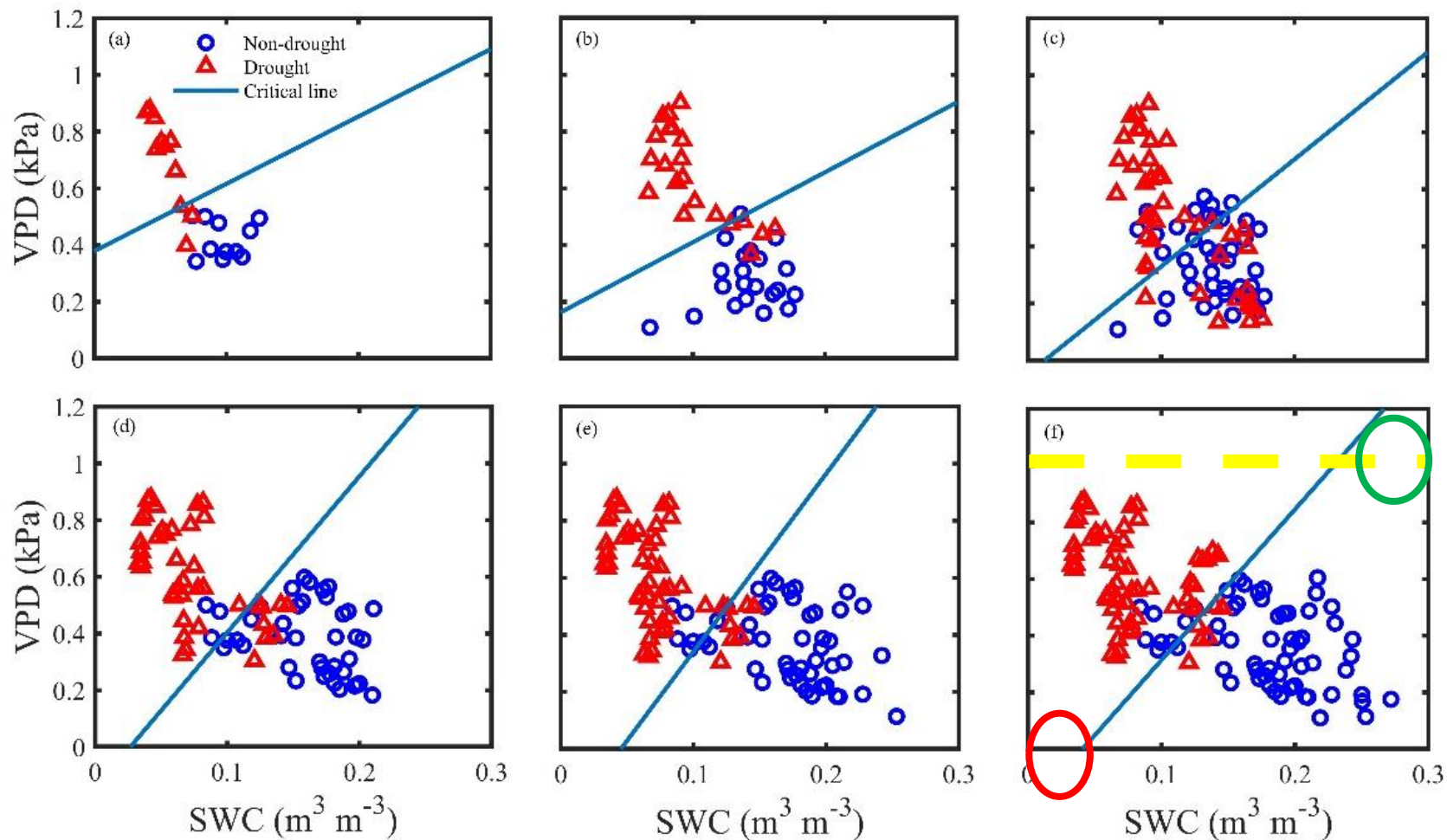
水分对GPP的限制作用



- ☁ 干旱使显热通量升高
土壤干旱0.395，大气干旱0.739，复合干旱1.029。
- ☁ 对干旱有正反馈作用
- ☁ 但土壤干旱的发生频率较高，持续时间较长，显著降低了高寒草甸GPP的年总量。

- ☁ 土壤干旱使GPP降低 $0.69 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
- ☁ 大气干旱使GPP降低 $1.10 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
- ☁ 复合干旱使GPP降低 $1.47 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Fisher 判别法判别高寒草甸生态系统的干旱事件



意义：提出综合考虑土壤干旱和大气干旱的干旱识别方法

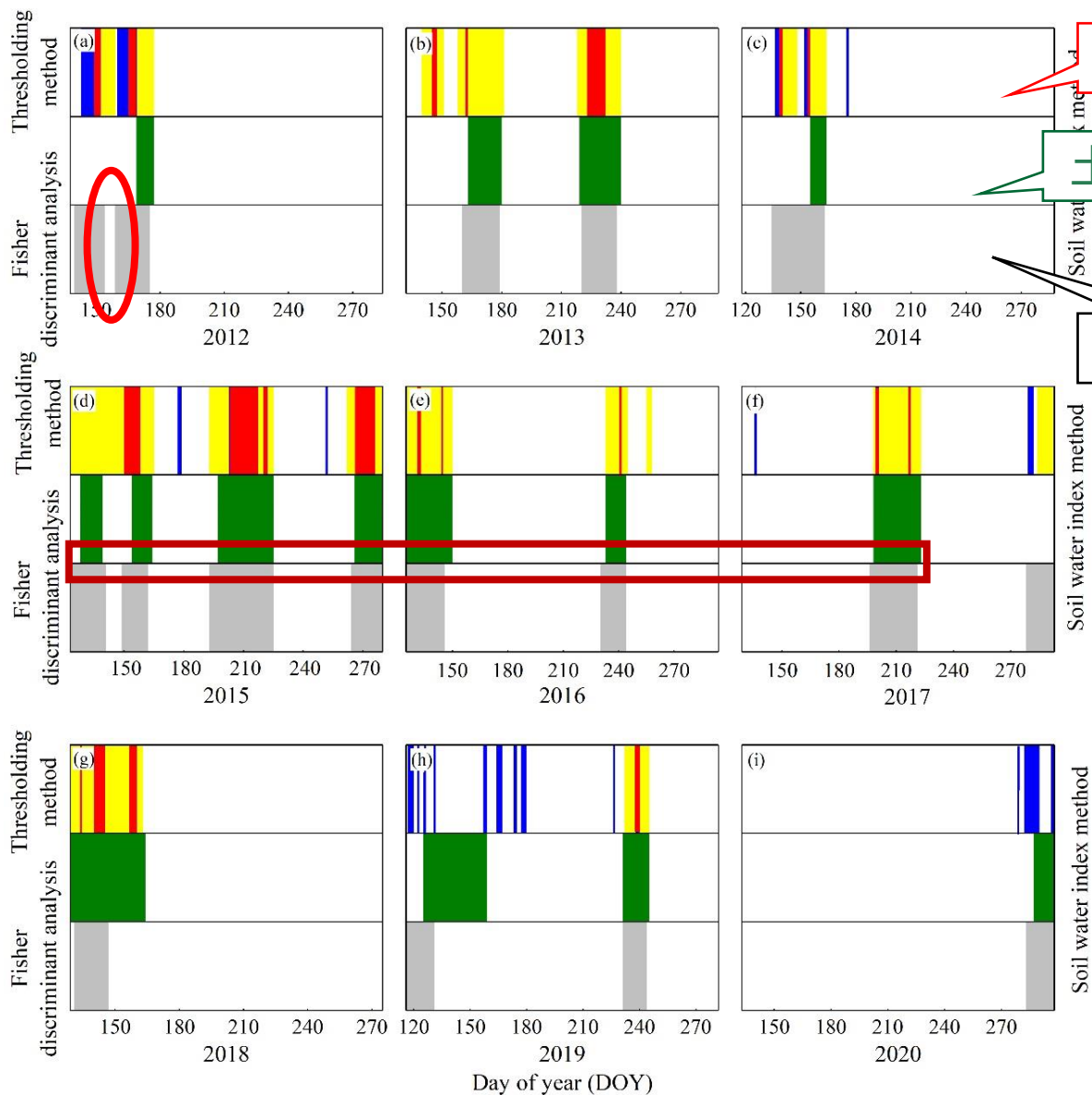
确定干旱发生的临界线方程为：

$$y = 24.46SWC - 4.6VPD$$

当 $y > 1$ 时，样本点位于临界线上方，生态系统受水分胁迫，若持续10天以上，则判定为发生干旱；

当 $y < 1$ 时，样本点位于临界线下方，生态系统不受水分胁迫。

Fisher 判别法判别高寒草甸生态系统的干旱事件



阈值法

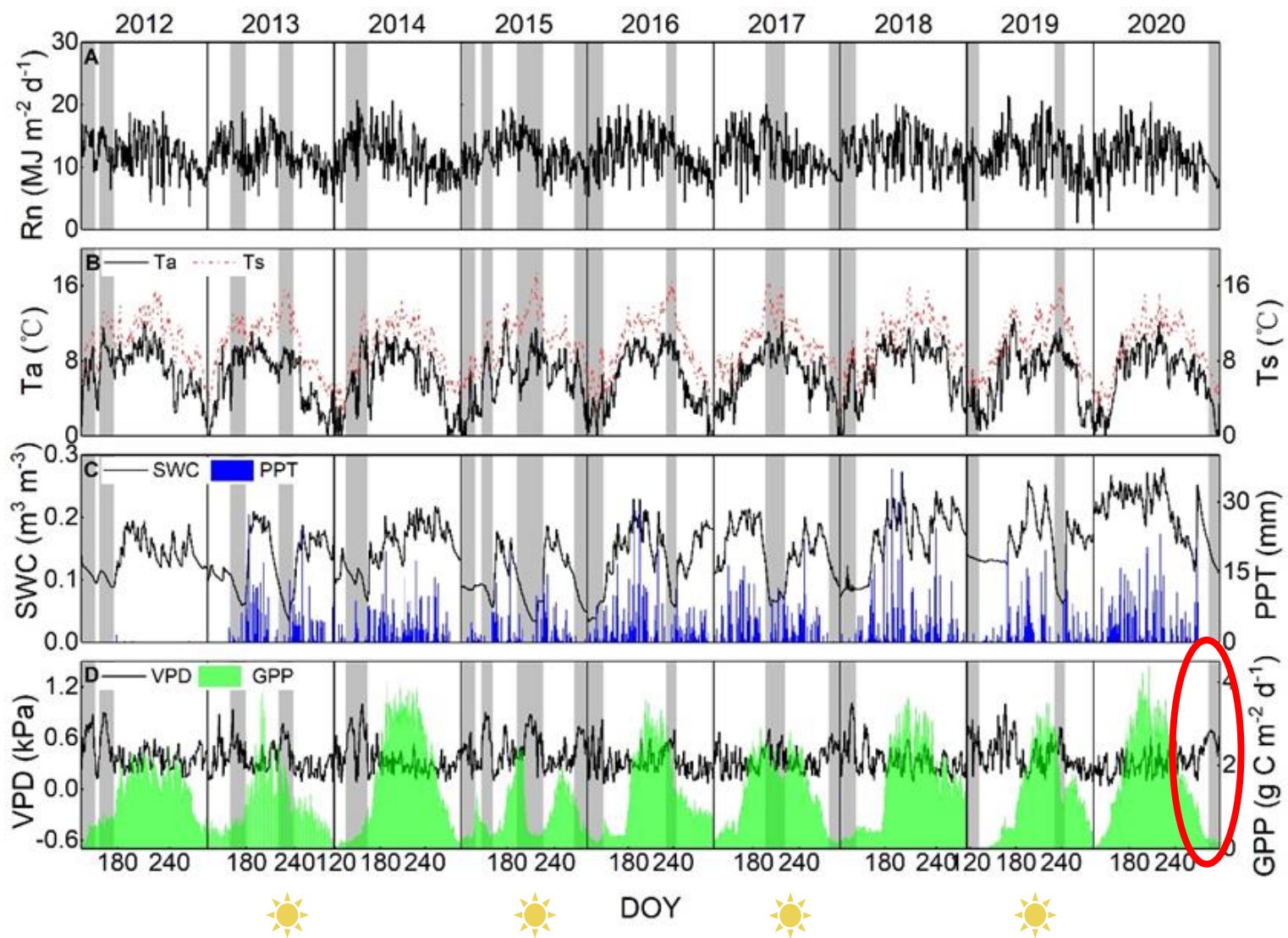
土壤水分指数法

Fisher法

- 在阈值法中
 - 蓝色表示大气干旱
 - 黄色表示土壤干旱
 - 红色表示两种干旱同时发生

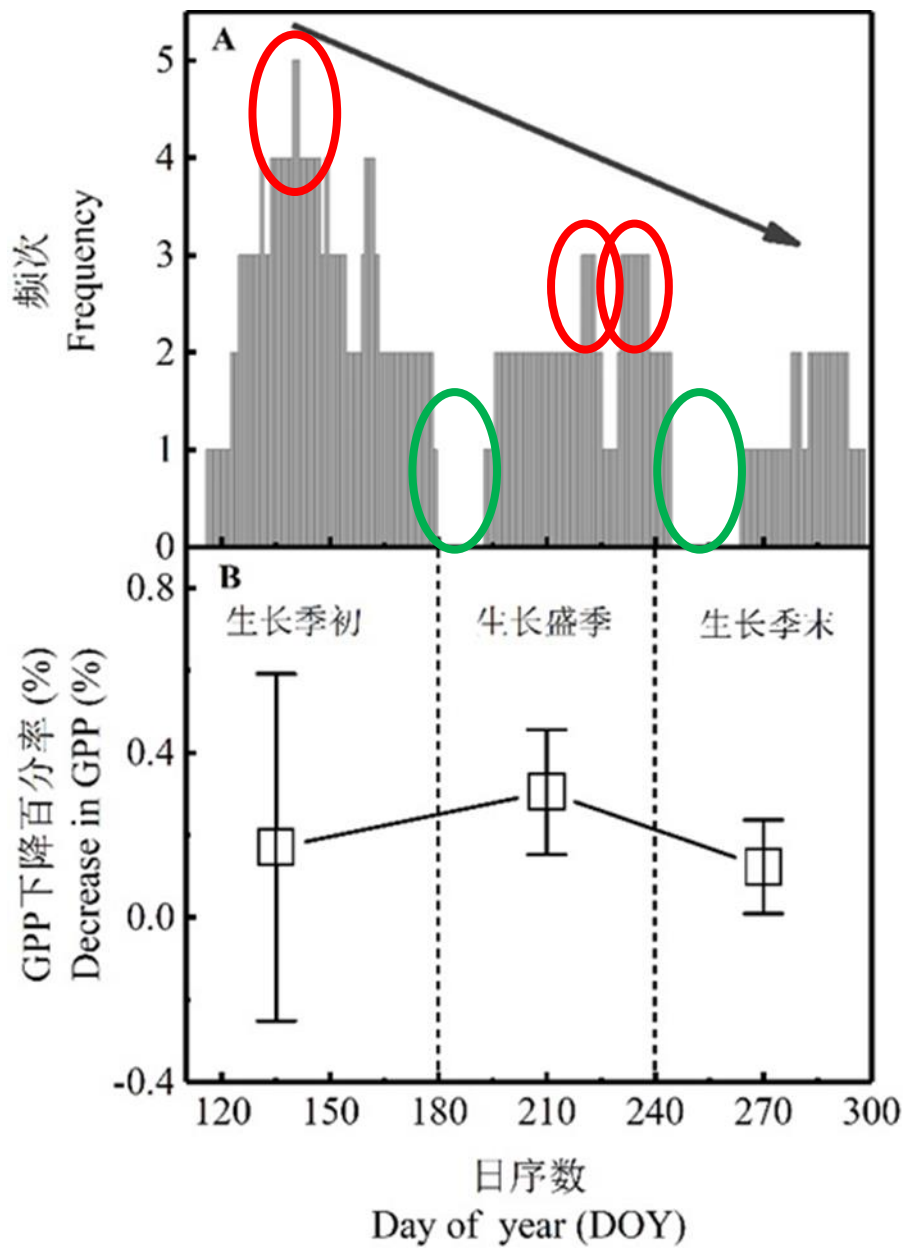
- Fisher判别法：
 - ✓ 可以更准确识别小降水事件
 - ✓ 避免了土壤水分指数法的滞后性

干旱对高寒草甸生态系统稳定性的影响



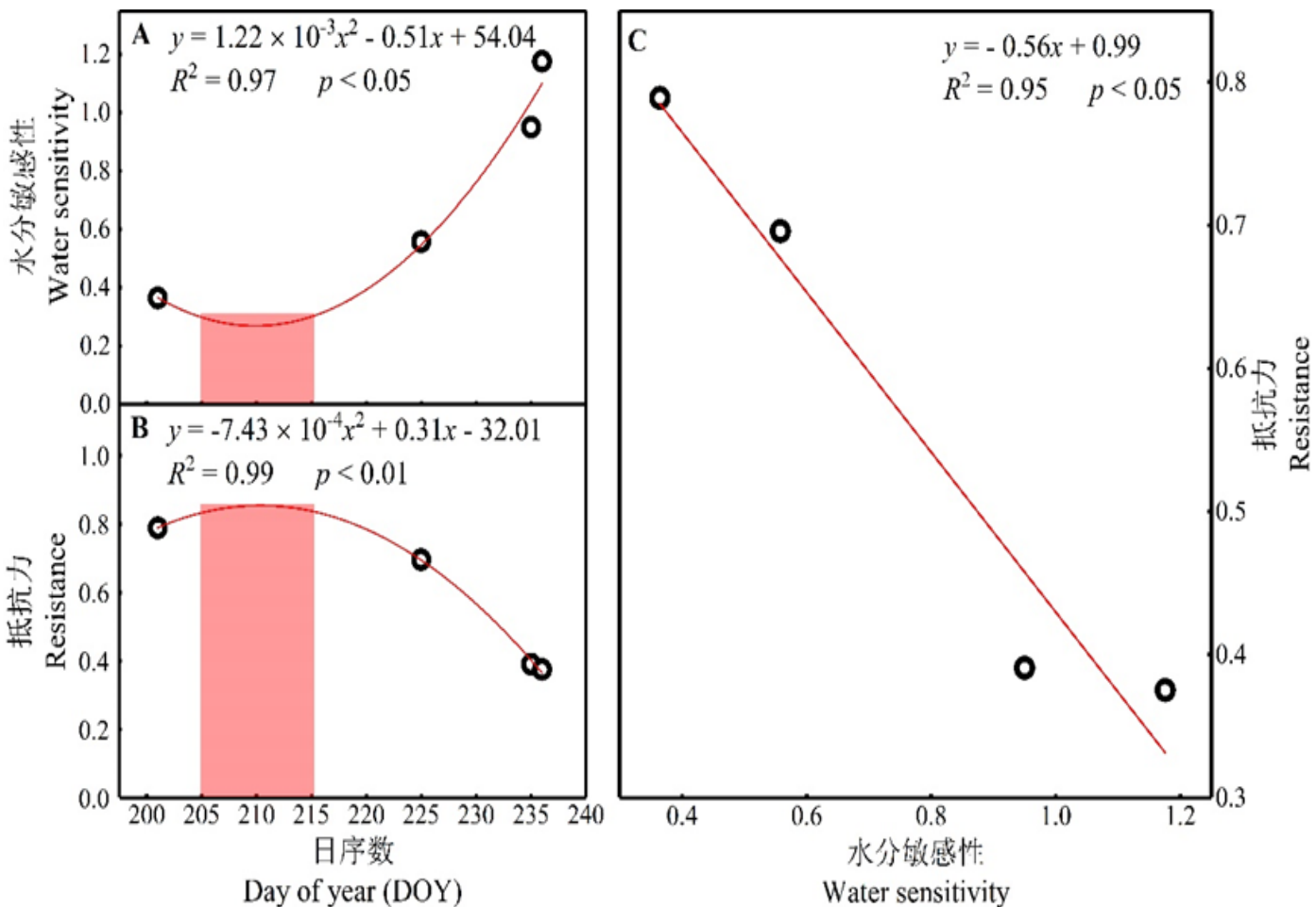
- ☁ 土壤含水量 (SWC) 受降水影响也呈现季节变化趋势，其中2013、2015、2016、2017和2019年生长盛季有明显的水分匮乏现象。
- ☁ GPP在生长季内与温度变化趋势基本相同，但受水分调控明显。
- ☁ 干旱判别结果标记为灰色区域。
- ☁ 2020年仅是在生长季末期发生干旱，可近似认为其在生长季末遭受水分胁迫。

干旱对高寒草甸生态系统稳定性的影响



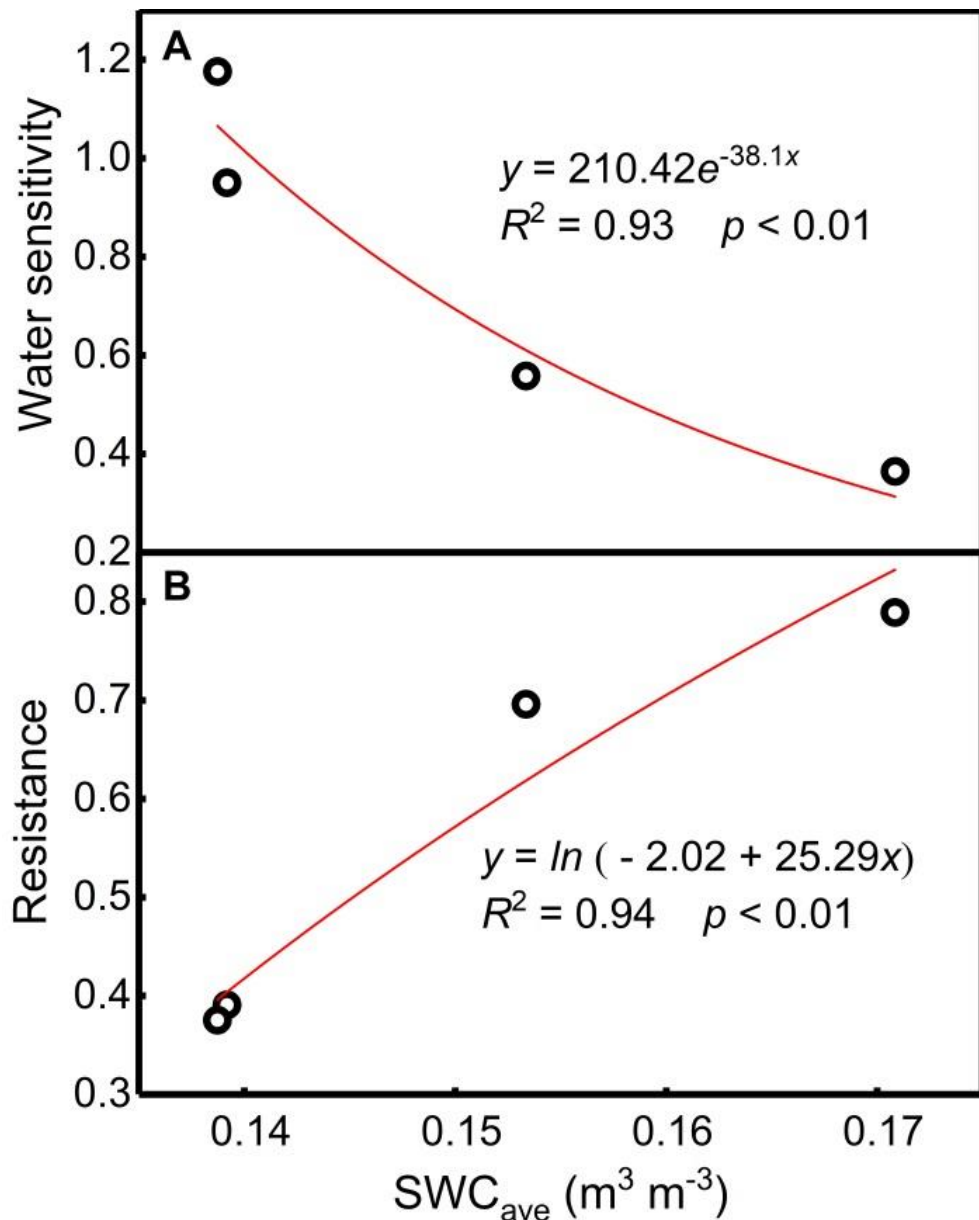
- 高寒草甸生态系统从生长季初到生长季末，干旱发生频次逐渐降低。
- 5月中下旬(DOY131-149)干旱发生频次最高，近50%；生长旺季的两个时间段(DOY 220-223和DOY 231-238)内干旱发生频率达33%；7月上旬(DOY 180-192)和9月中上旬(DOY 245-263)观测期间未曾发生干旱，为水分安全期。
- 发生于生长旺季的干旱可使GPP下降 $30.5 \pm 15.2\%$ ，发生于生长季初和生长季末的干旱分别使GPP下降 $17.1 \pm 42.1\%$ 和 $12.4 \pm 11.4\%$ 。

干旱对高寒草甸生态系统稳定性的影响



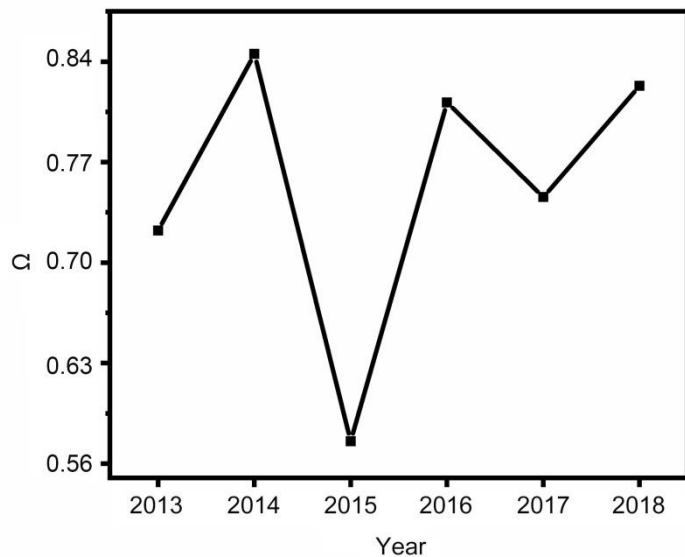
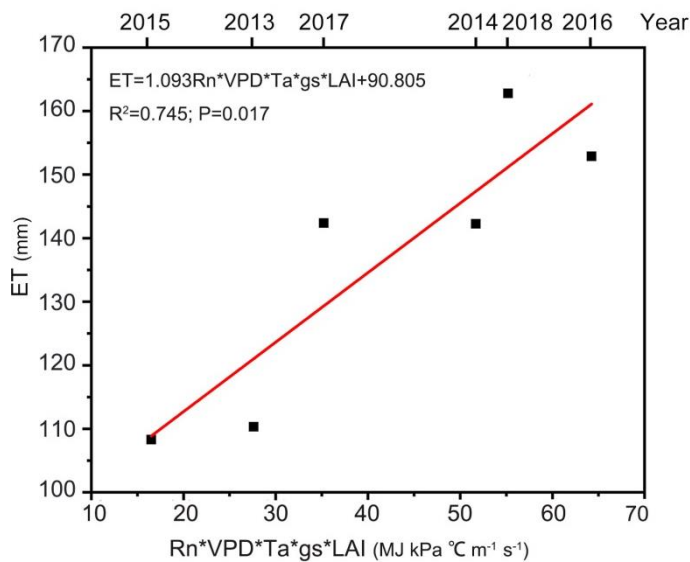
- ☁ 生长盛季中期(DOY205-215)，生态系统的水分敏感性最弱，对干旱的抵抗力最强。
- ☁ 在生长盛季的初期和末期，生态系统的水分敏感性明显升高，对干旱的抵抗力迅速减弱。
- ☁ 生态系统抵抗力与其水分敏感性呈显著负相关，生态系统对水分变化越敏感，抵抗力就越弱。

干旱对高寒草甸生态系统稳定性的影响



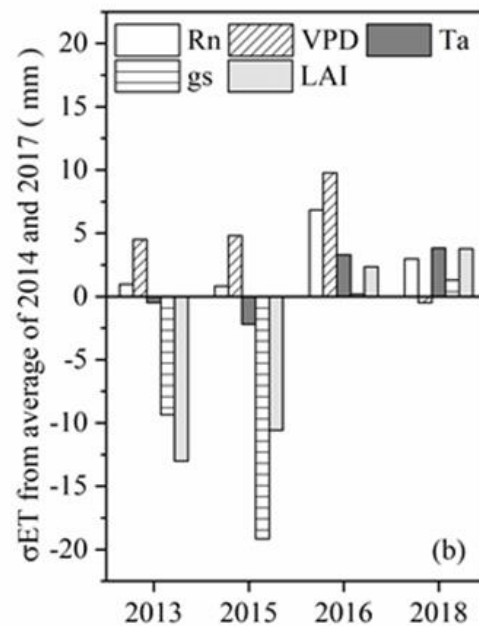
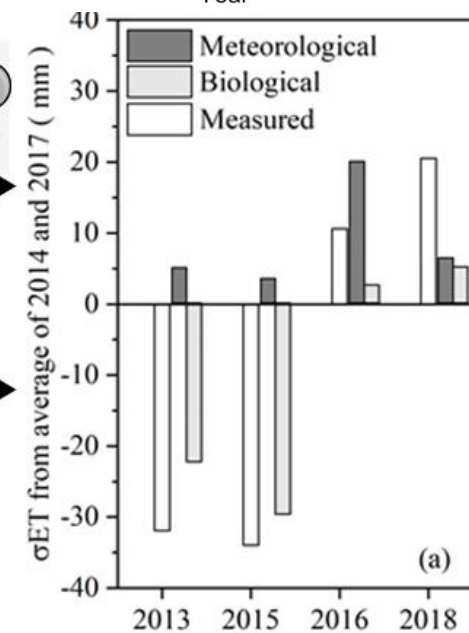
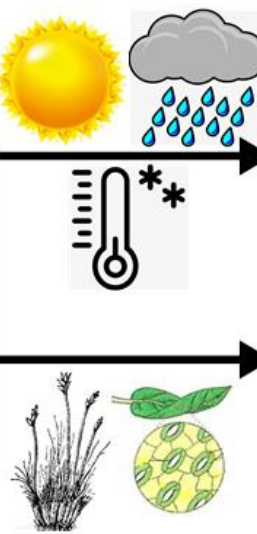
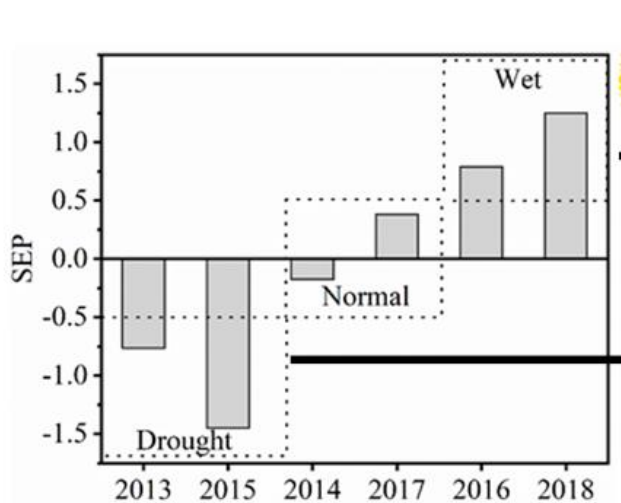
- 高寒草甸生态系统生长旺季内水分敏感性和抵抗力受同期多年平均土壤水分状况影响。
- 水分敏感性随同期多年平均土壤含水量的增加呈指数下降。
- 抵抗力随同期多年平均土壤含水量的增加呈对数上升。

干旱对蒸散的影响

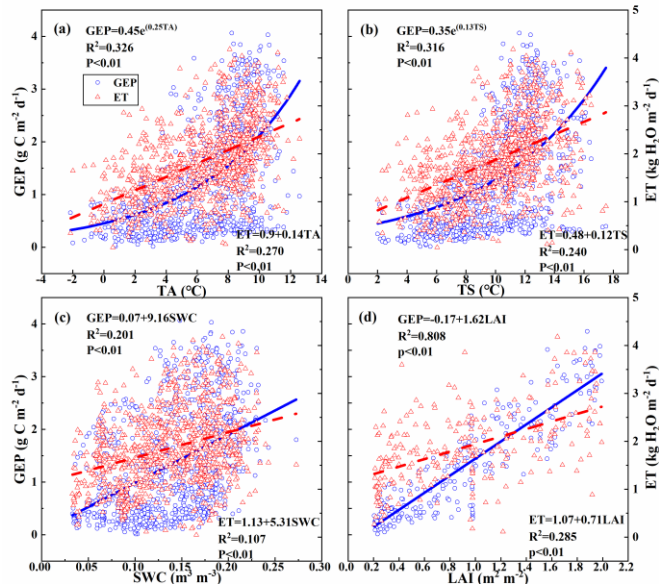
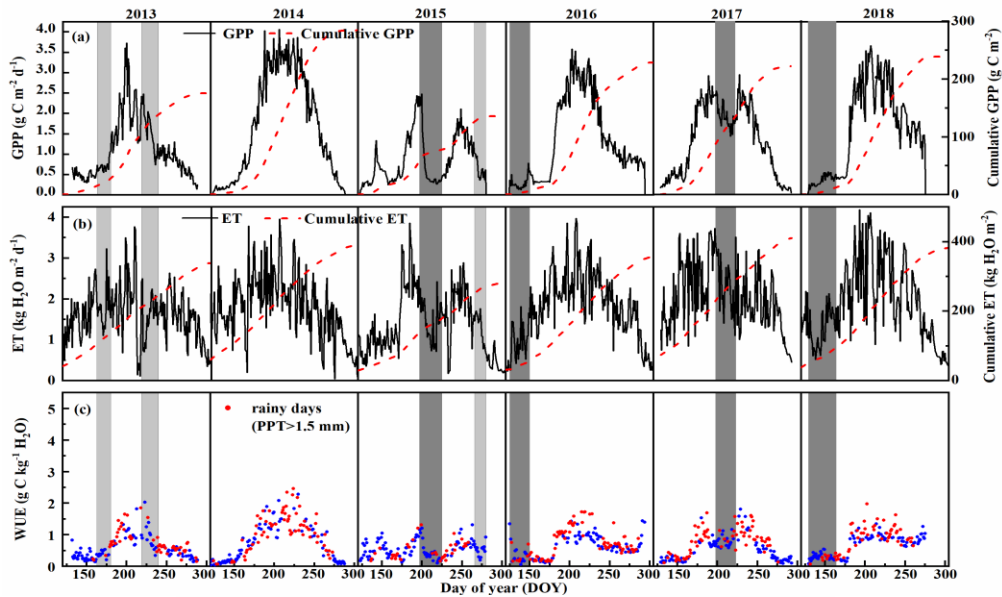


意义：
揭示了干旱年和湿润年ET的控制机制的不同。

主要发现：
湿润年蒸散主要受气象因子控制
干旱年蒸散主要受生物因子控制



干旱对高寒草甸生态系统水分利用效率的影响

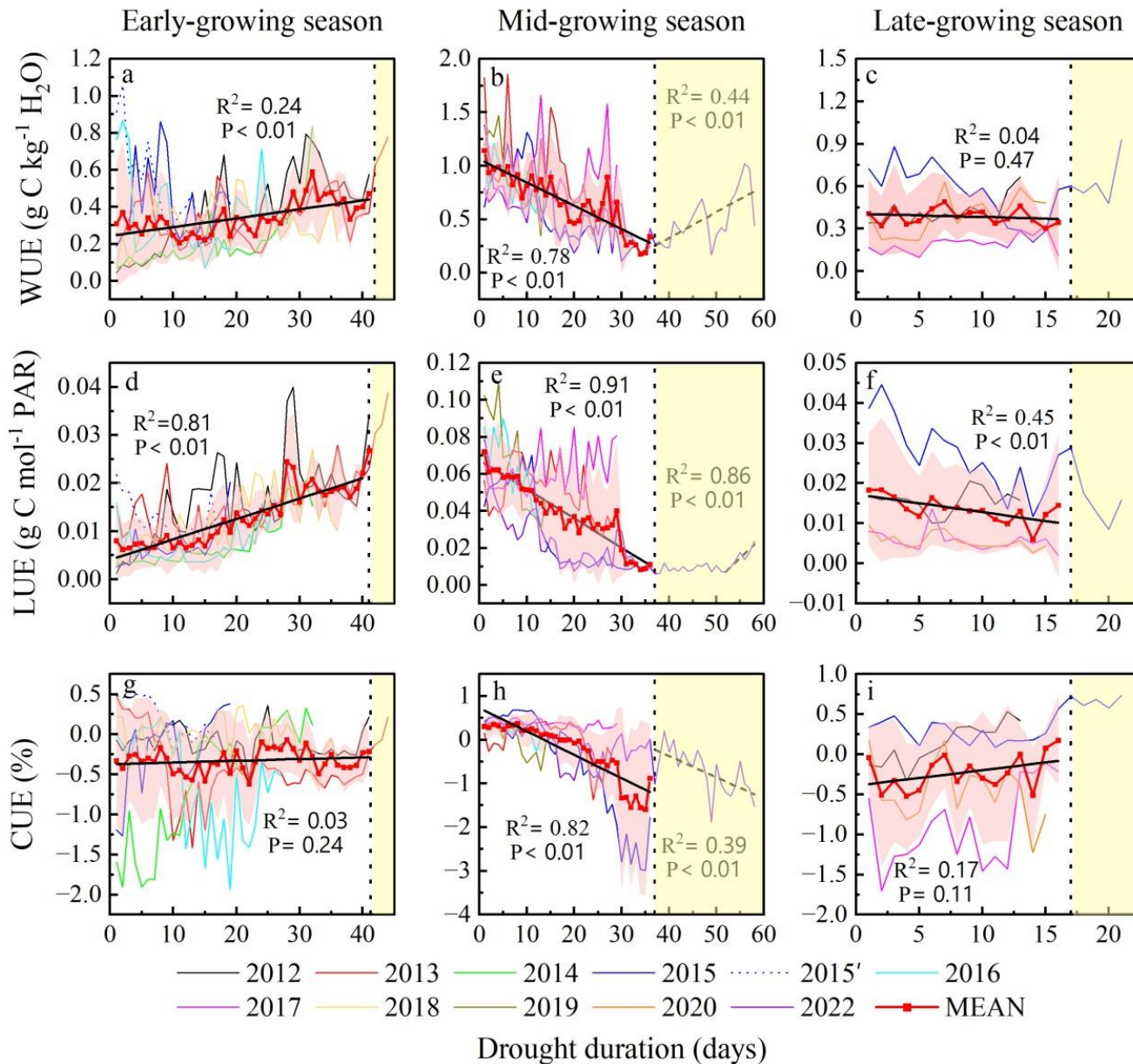


意义：揭示了干旱对高寒草甸生态系统水分利用效率的影响机制

主要发现：

- 干旱改变GPP和ET对驱动因子的响应特征，从而改变碳水耦合，影响WUE。
- 生长盛季WUE主要受水分条件调控，干旱导致WUE迅速下降。
- 而LAI则是在整个生长季过程中对WUE均有显著影响。
- 通常长期干旱使WUE降低、短期干旱使WUE升高。
- 然而，在该高寒生态系统中，相比于干旱持续时长，干旱发生时间可能对WUE起着更为决定性的作用。

干旱对高寒草甸生态系统资源利用效率的影响



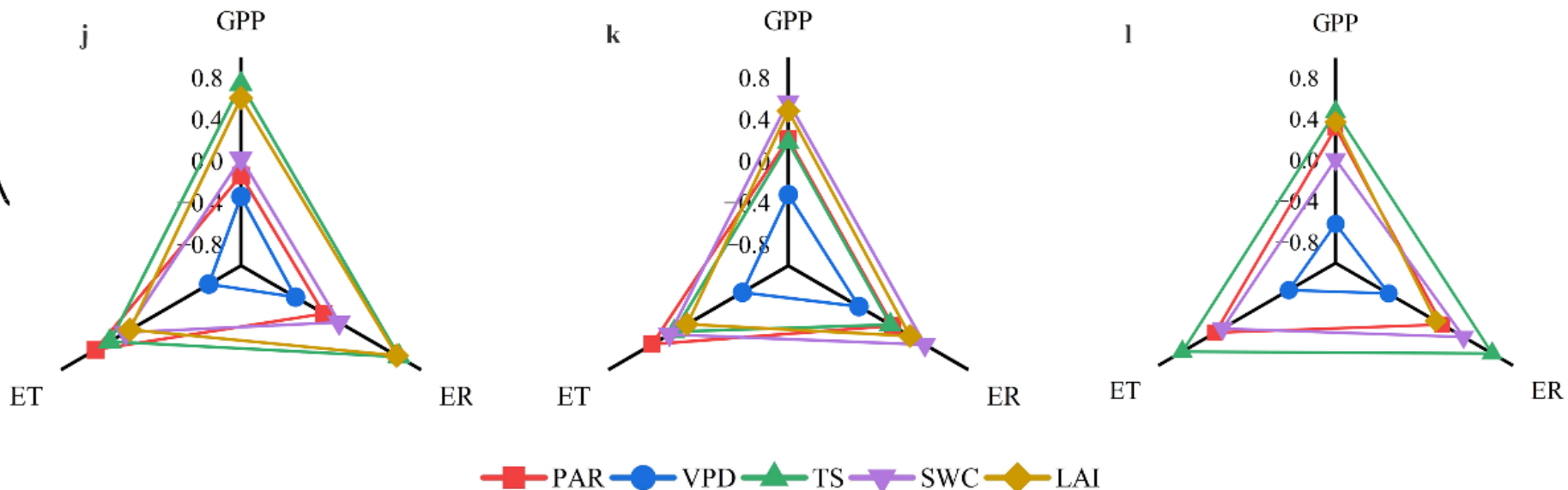
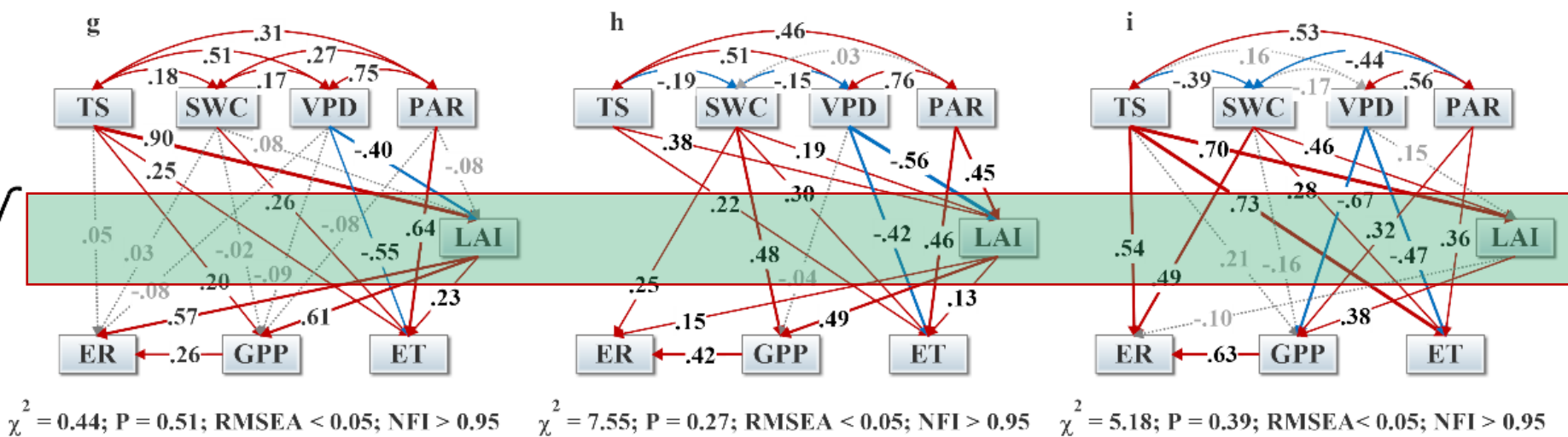
☁ 生长季初期干旱期间：WUE和LUE显著升高，CUE变化不显著。

☁ 生长盛季干旱期间：WUE、LUE和CUE均显著下降。

☁ 生长季末期干旱期间：仅LUE显著下降，WUE和CUE无显著变化。

干旱对高寒草甸生态系统资源利用效率的影响

Drought



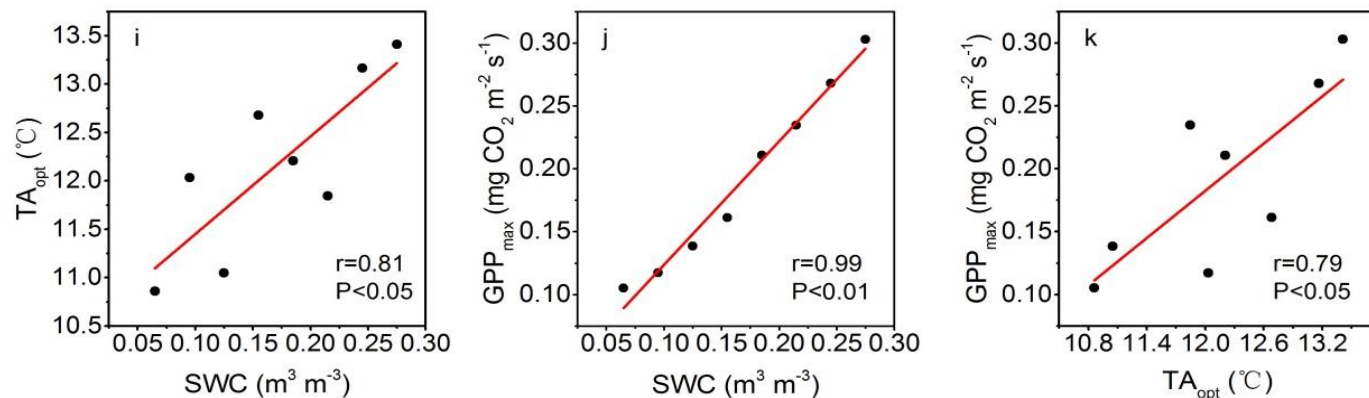
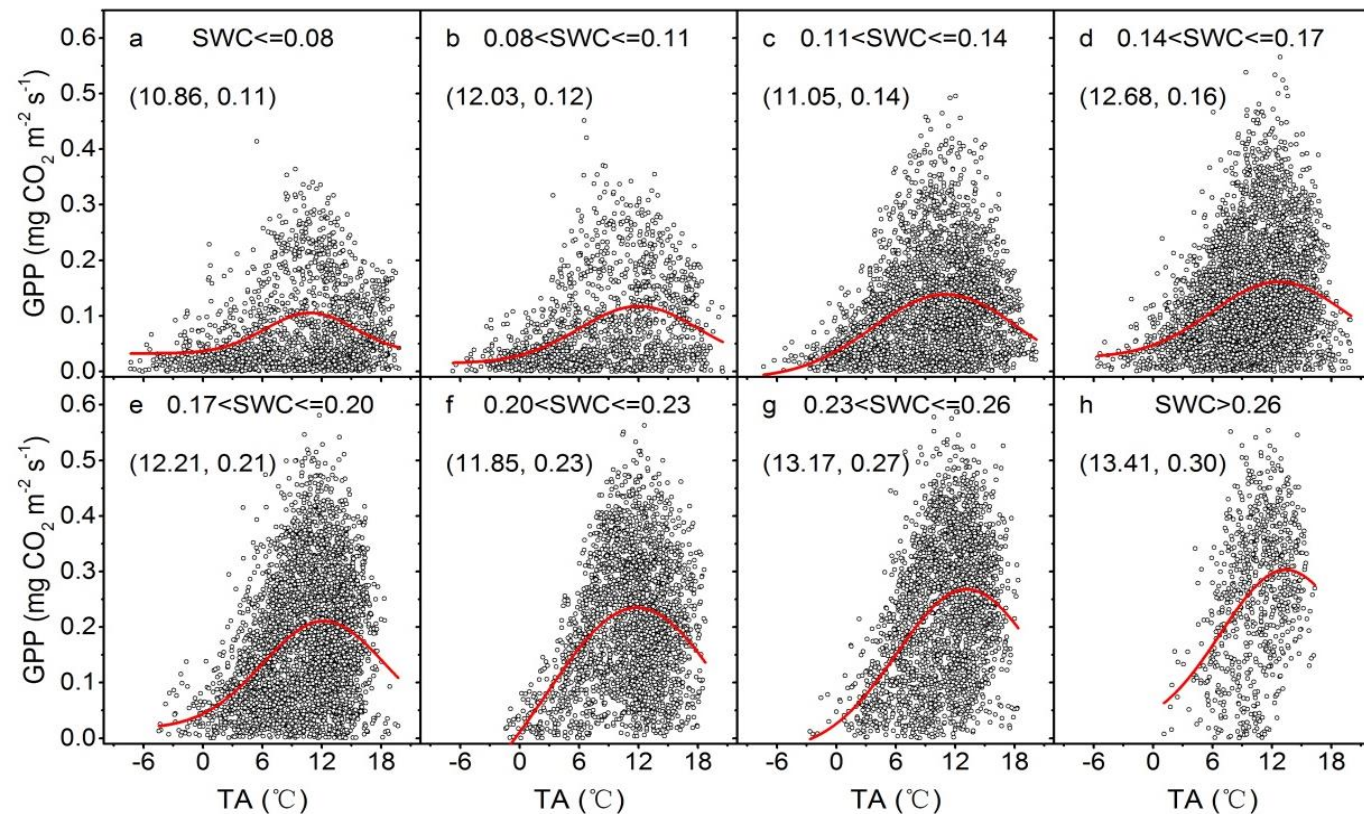
干旱可改变环境主控因子，影响环境因子和生物因子的驱动方式。

干旱提升了LAI的控制作用。

植被生理活性强时，环境胁迫有可能将气象因子主控转为生物因子主控。

光合能力主导资源利用效率。

土壤水分决定最大光合能力



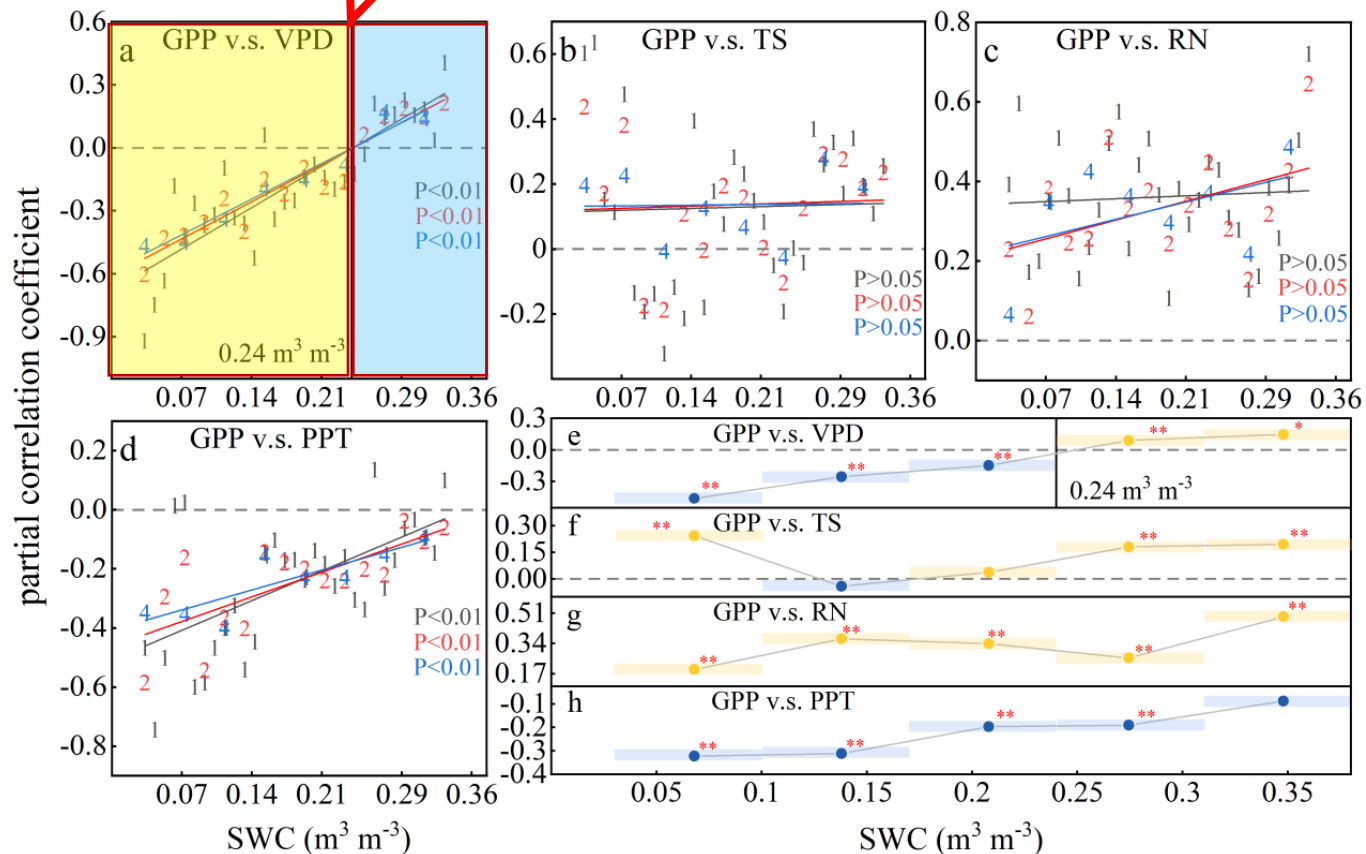
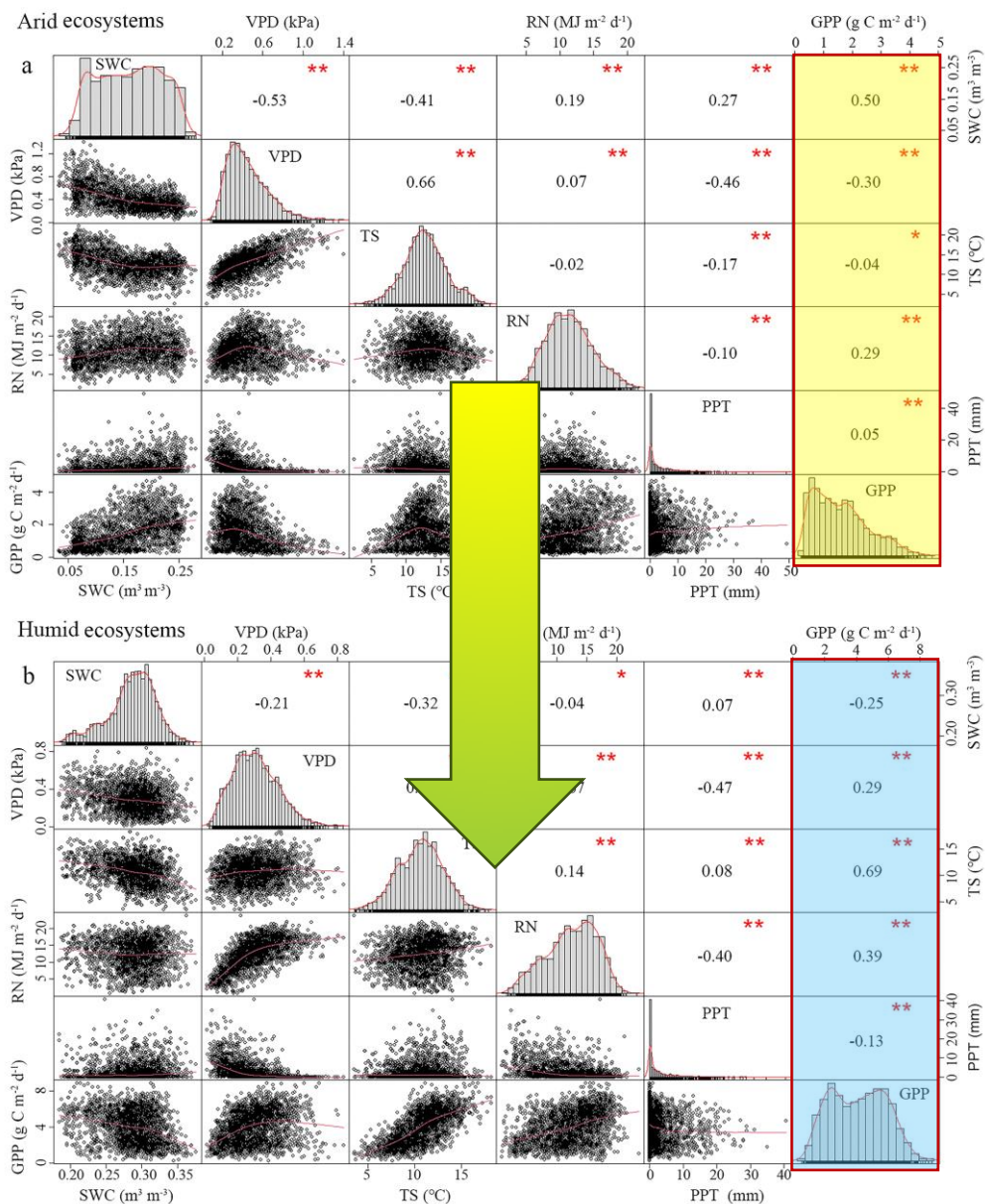
该高寒草甸生态系统在实际中所能达到的最适光合环境为：
 $\text{SWC}-0.28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; $\text{TA}-13.41 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{VPD}-0.61 \text{ kPa}$; $\text{RN}-411.53 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

SWC是高寒草甸生态系统能否达到最大 GPP_{max} 的关键。

在保证SWC供应充足的情况下，适当高点的温度和VPD会提高高寒草甸生态系统的碳汇能力。

土壤水分的关键阈值

0.24 m³ m⁻³

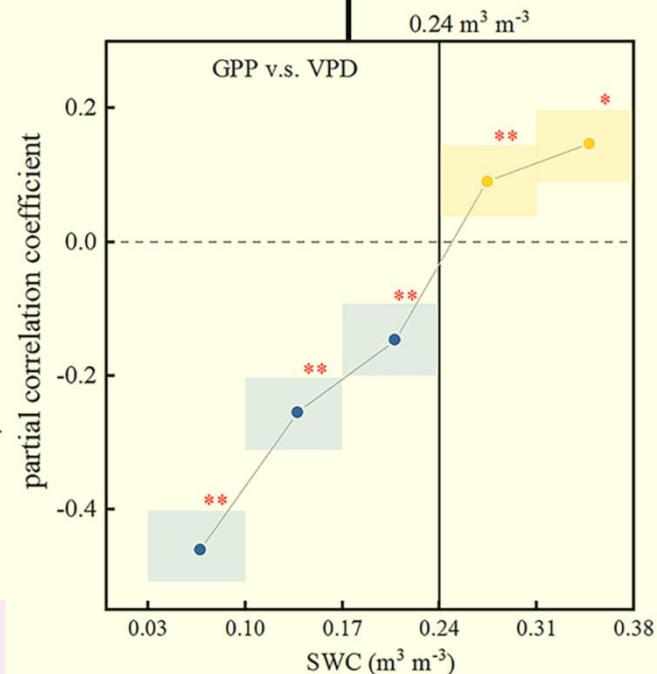
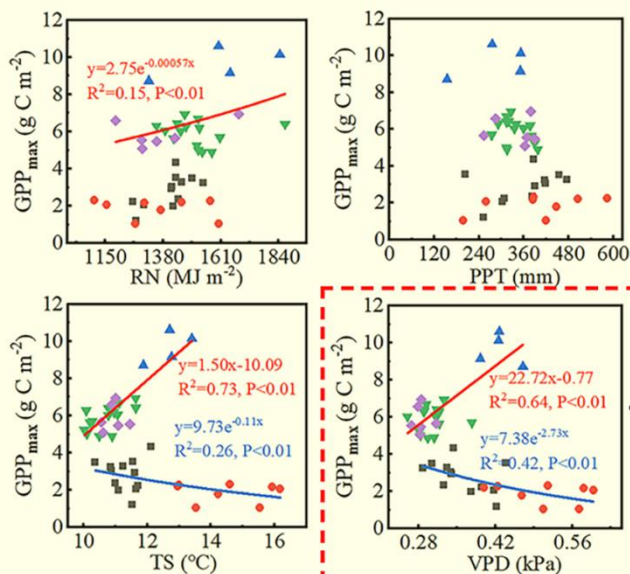
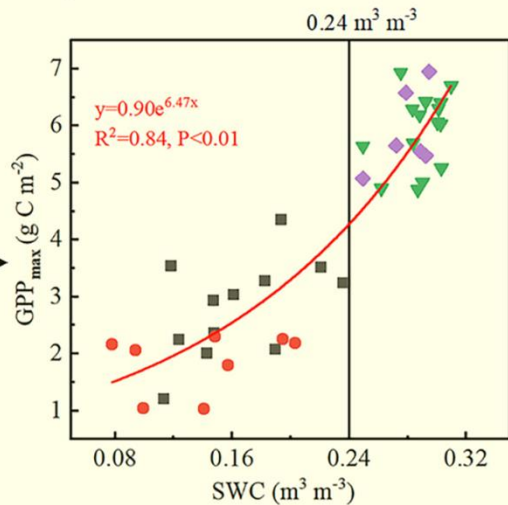


- 干旱型→湿润型，GPP对环境因子响应发生转变。
- 利用偏相关分析进行逐因子检验，当SWC < 0.24 m³ m⁻³，VPD的升高对GPP有抑制作用，当SWC > 0.24 m³ m⁻³，VPD的升高对GPP有促进作用。

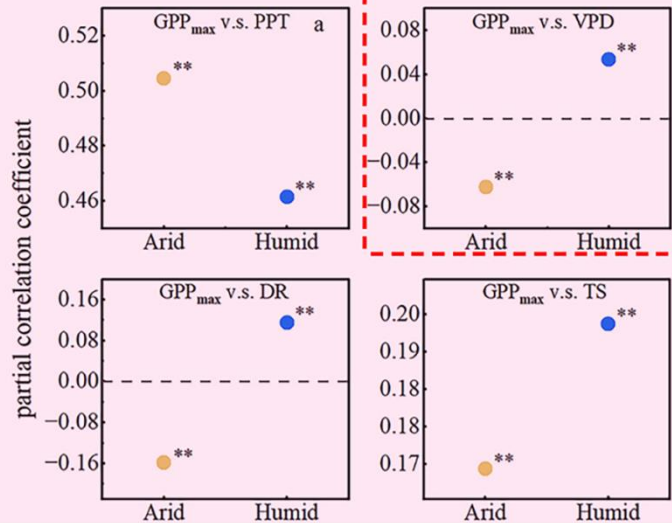
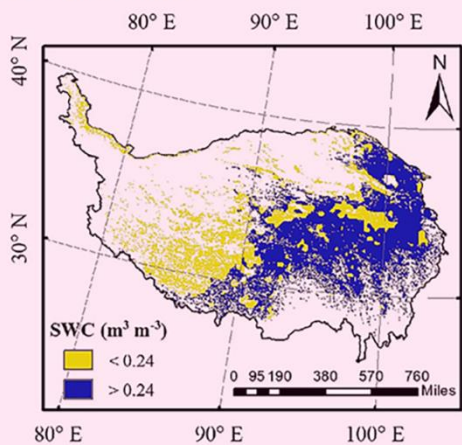
土壤水分的关键阈值

$0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$

Eddy covariance data

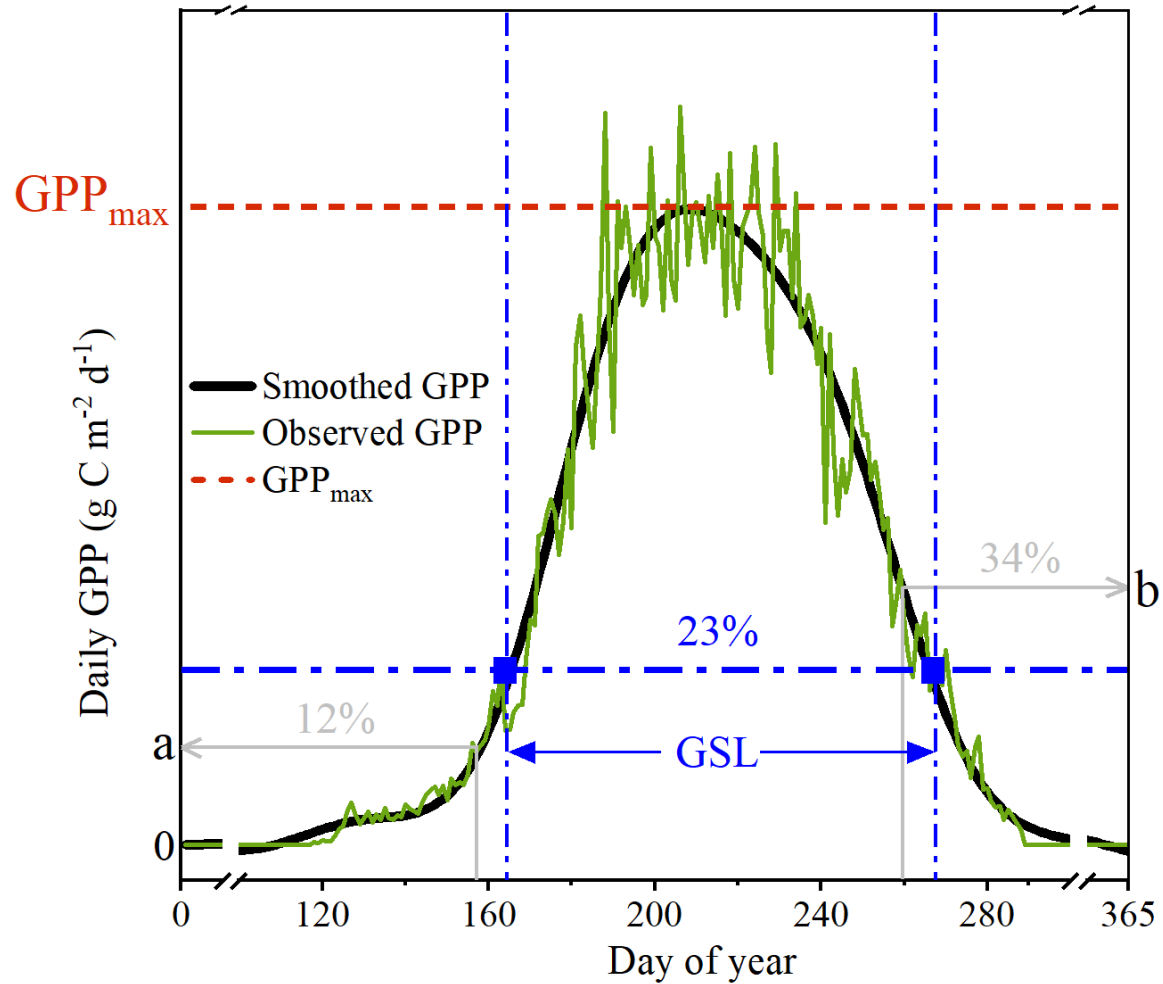
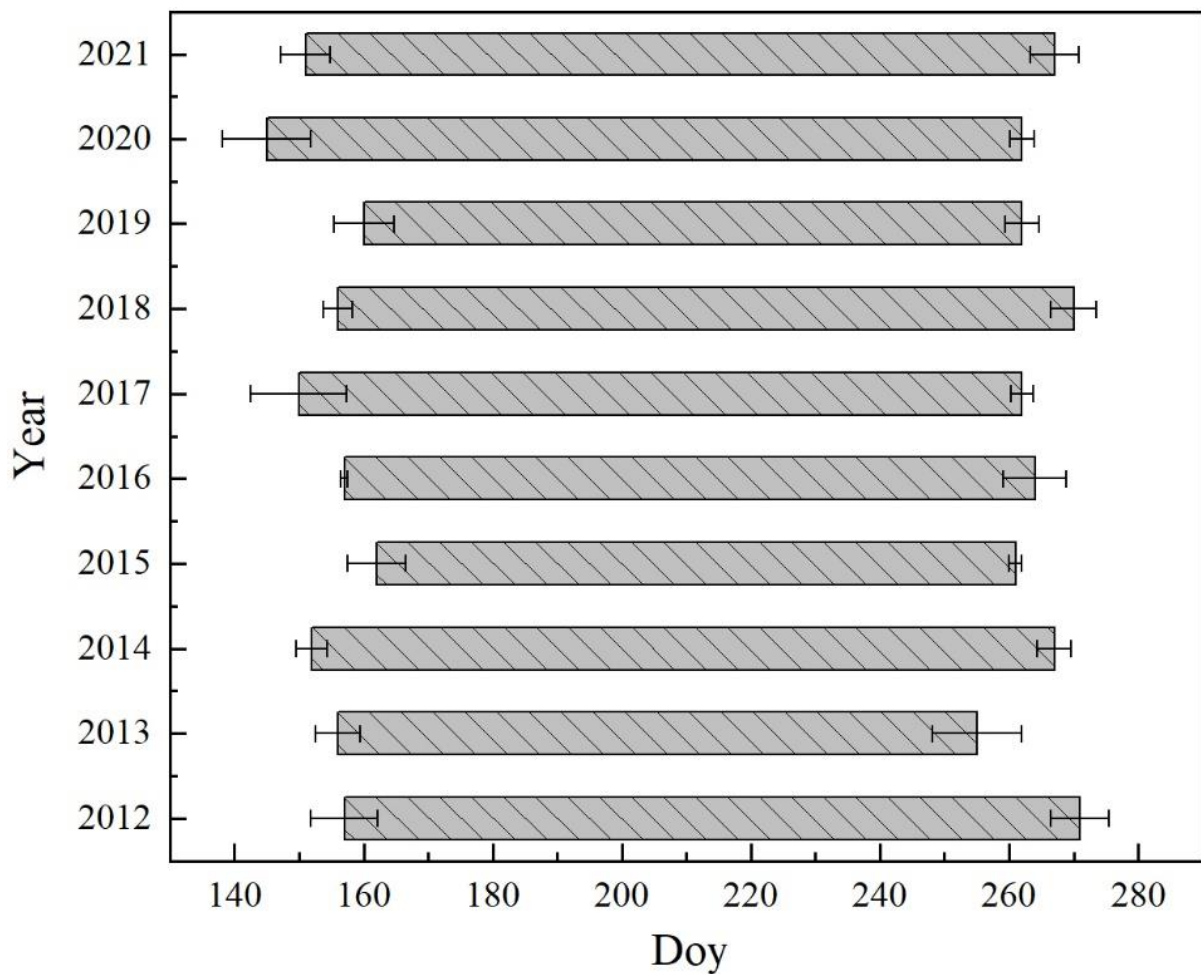


Satellite data

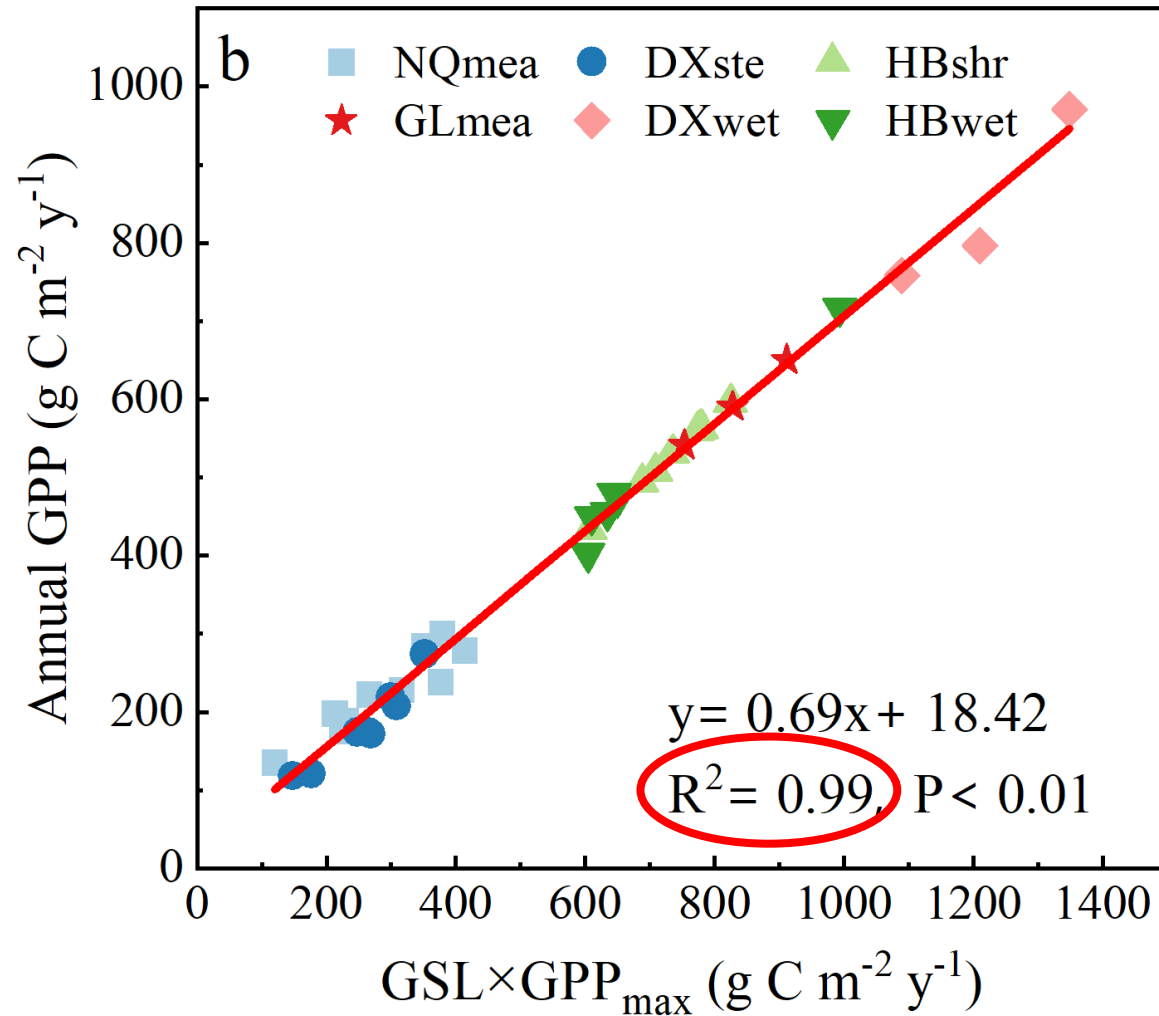
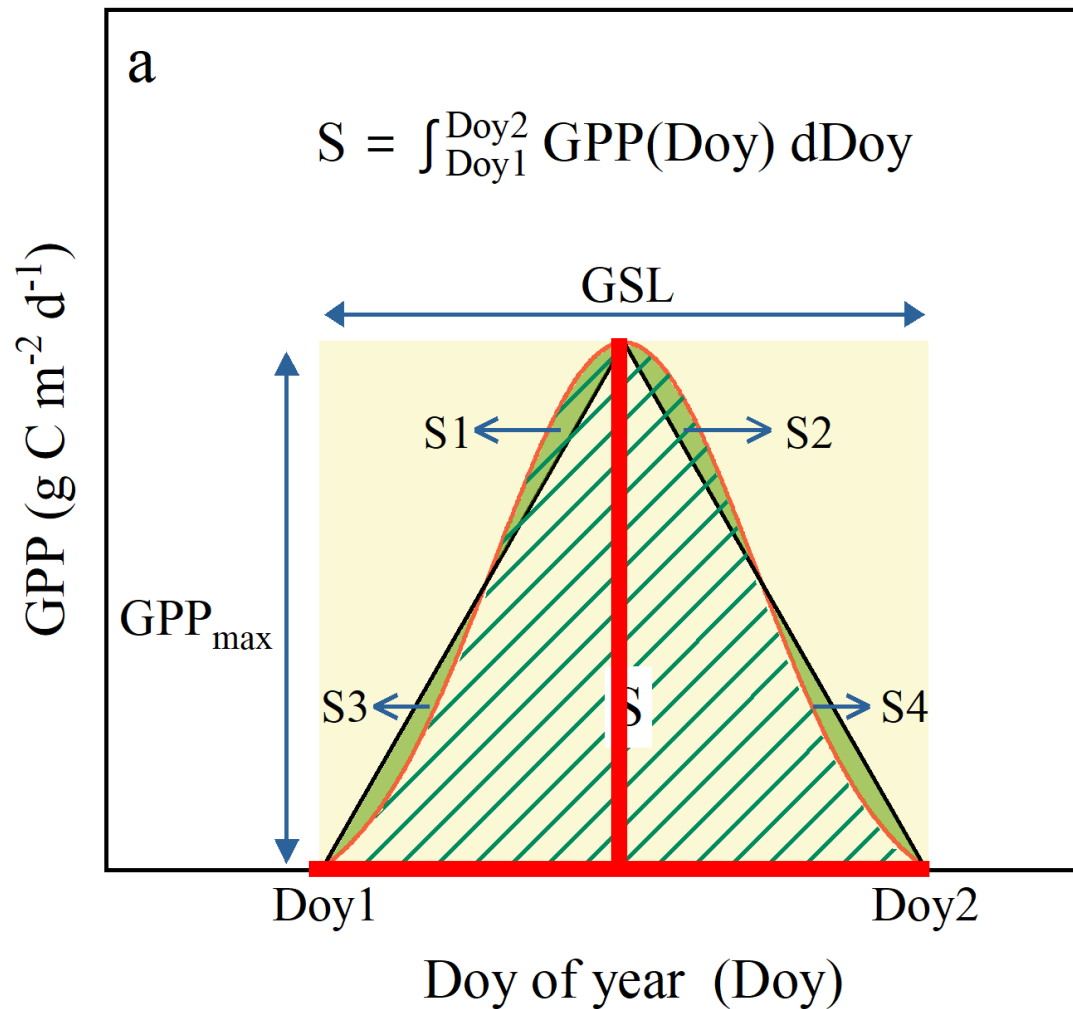


The SWC threshold of $0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ shifted the response of GPP to VPD from negative to positive.

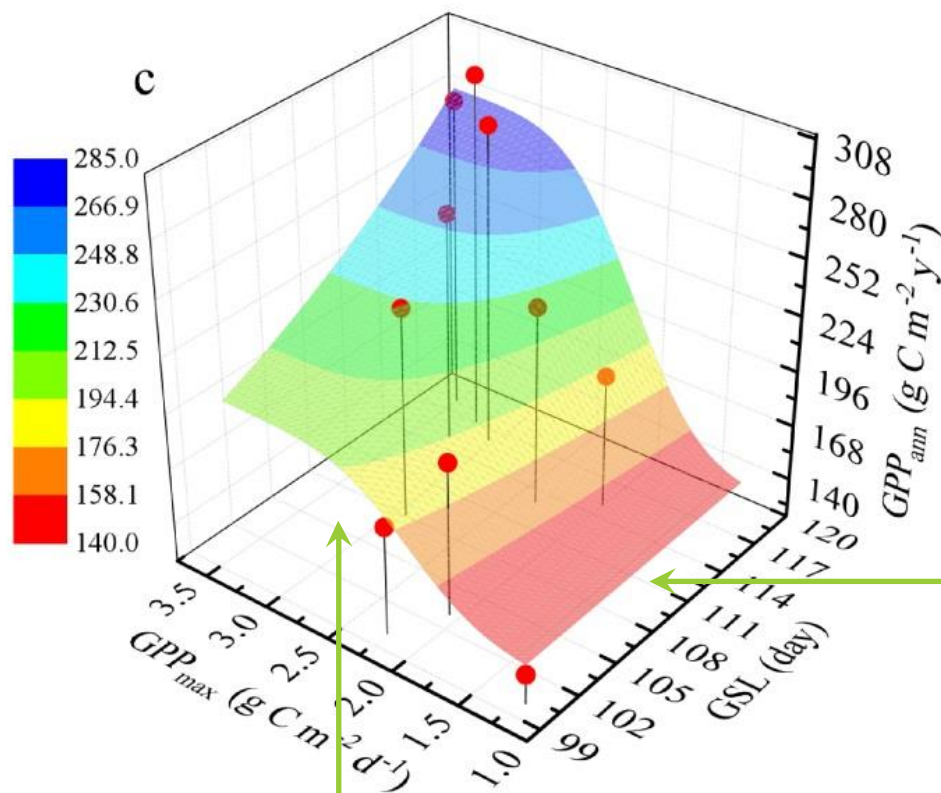
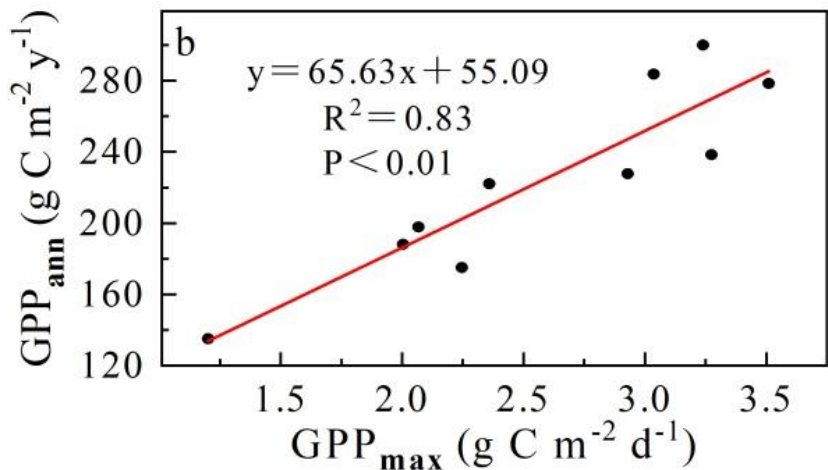
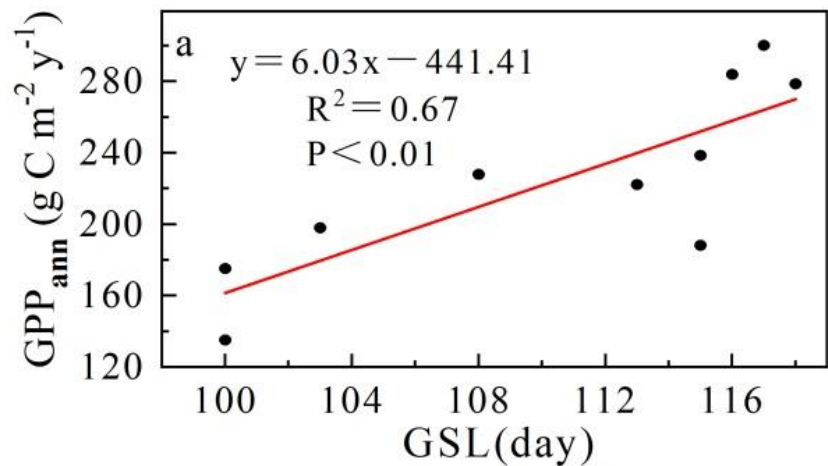
土壤水分影响高寒草地碳汇功能



土壤水分影响高寒草地碳汇功能



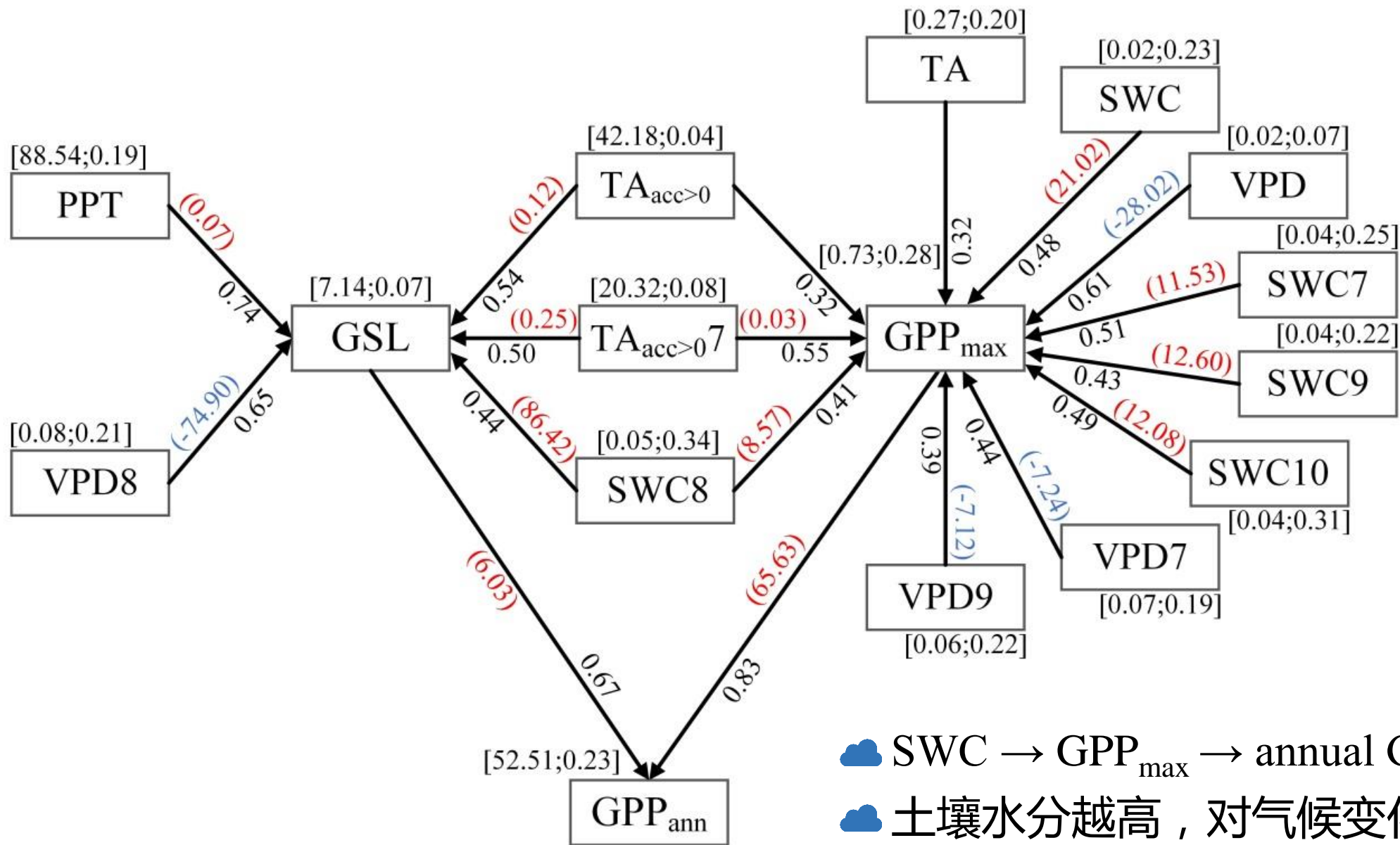
土壤水分影响高寒草地碳汇功能



☁ 当GPP_{max}很低时，GSL的增加，并不能使GPP_{ann}显著增加。

☁ 当GSL很短时，GPP_{max}的增加可使GPP_{ann}有明显升高。

土壤水分影响高寒草地碳汇功能



☁ SWC → GPP_{max} → annual GPP
 ☁ 土壤水分越高，对气候变化适应性越强。



中国科学院地理科学与资源研究所

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS



沈阳农业大学

SHENYANG AGRICULTURAL UNIVERSITY



敬请各位老师、
同学批评指正！

