

河流地貌模拟

袁小平

中国地质大学（武汉）地球表层系统科学系

南华讲坛

2021年9月3日，秭归

青藏高原三江流域演化的模拟研究

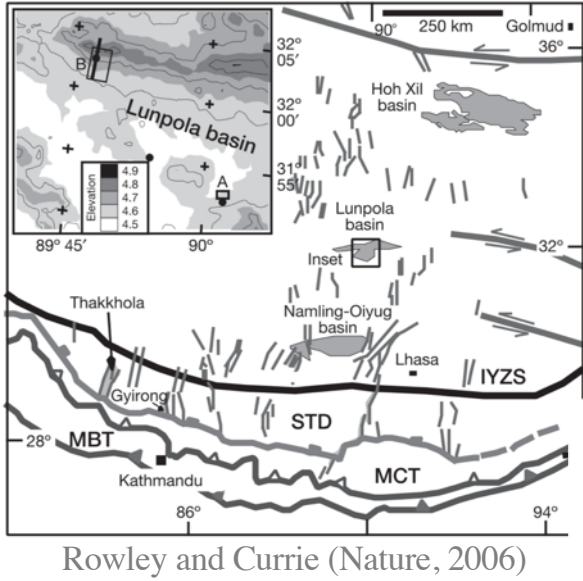


印度和欧亚板块碰撞
(Scotese, 2014; PALEOMAP Project)

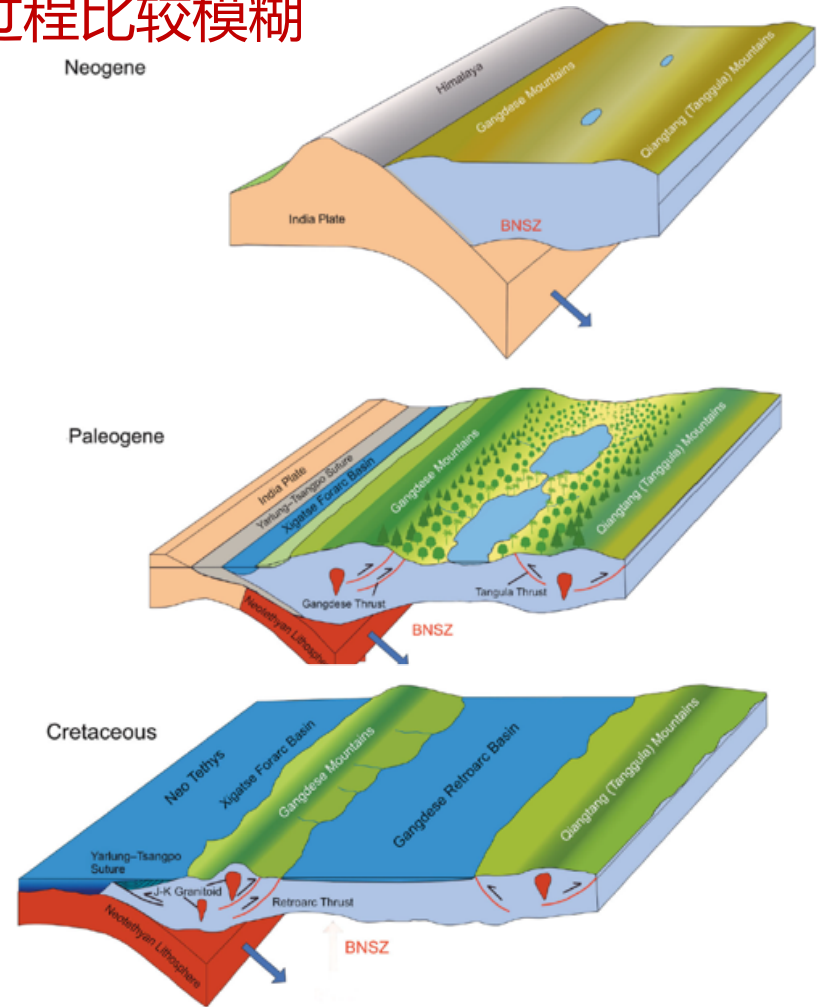
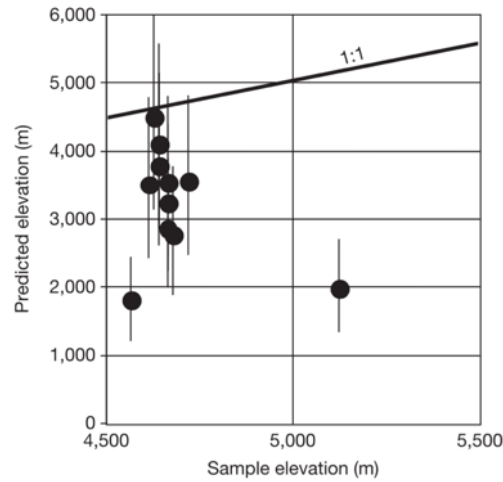


长时间尺度的三江流域演化过程比较模糊

青藏高原中部Lunpola盆地的古高度



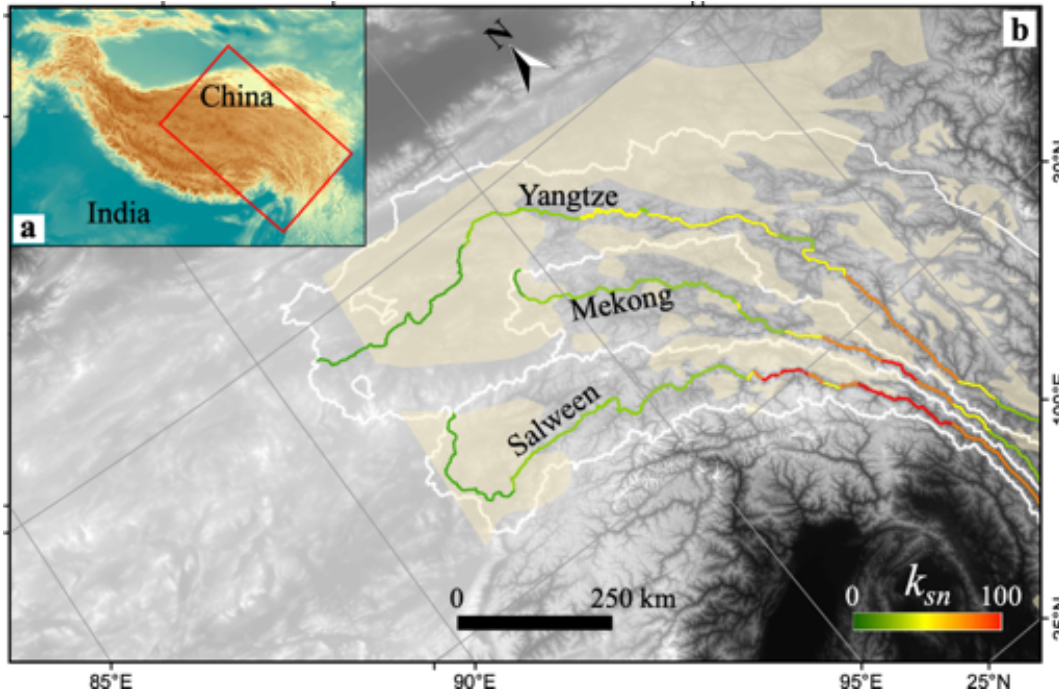
Eocene >4000 m



Ding et al. (2014, EPSL); Su et al. (2019, SA; 2020, PNAS); Xiong et al. (2020, EPSL); Fang et al. (2020, SA); Spicer et al. (2021, NSR)

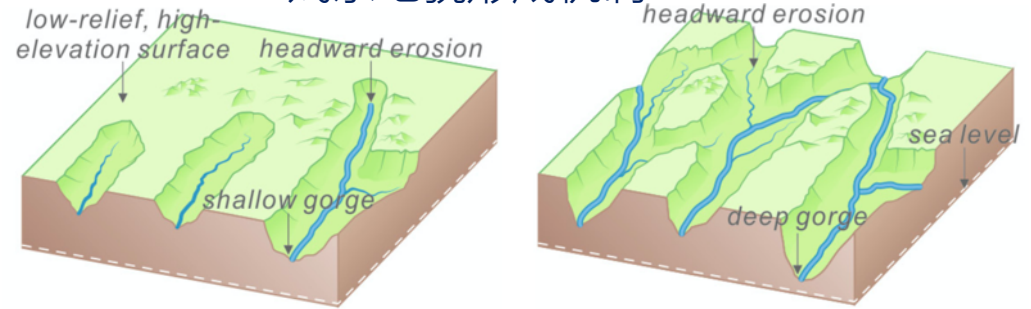
高海拔-低起伏面的形成机制很有争议

低起伏面广泛存在于三江流域的上游，
和深切河谷上方的分水岭



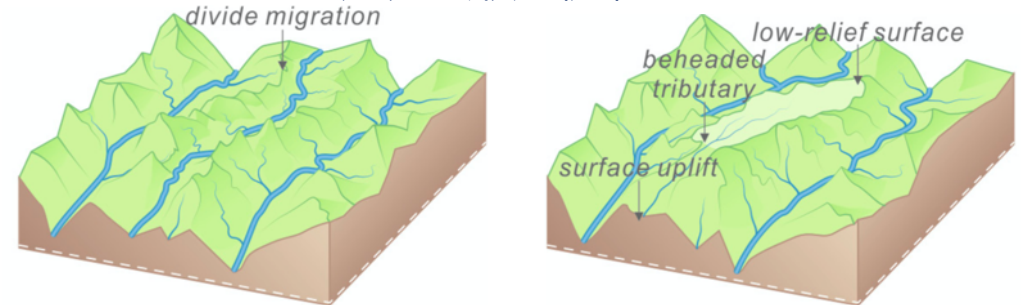
Low-relief surface area (Clark et al., 2006)

残余地貌形成机制



Clark et al. (2006, JGR); Whipple et al. (2017, Geology)

河流袭夺形成机制

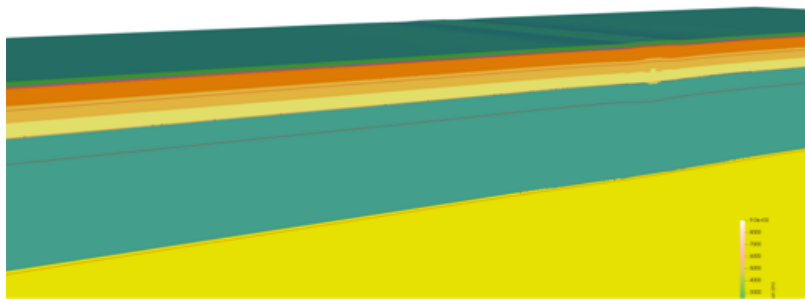


Yang et al. (2015, Nature)

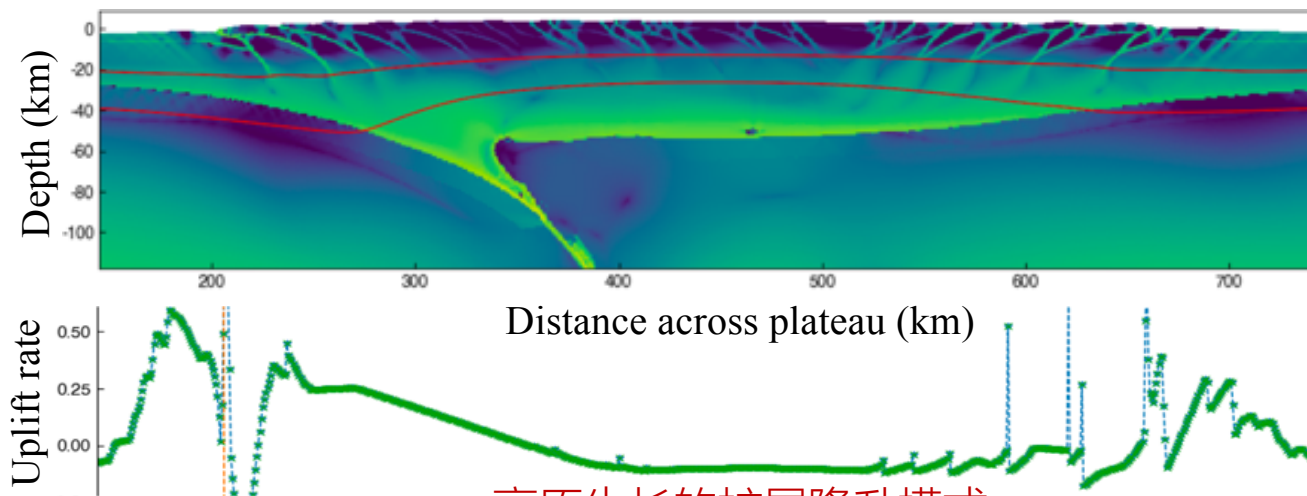
2.2 Myrs

高原生长模式(Mountain growth)

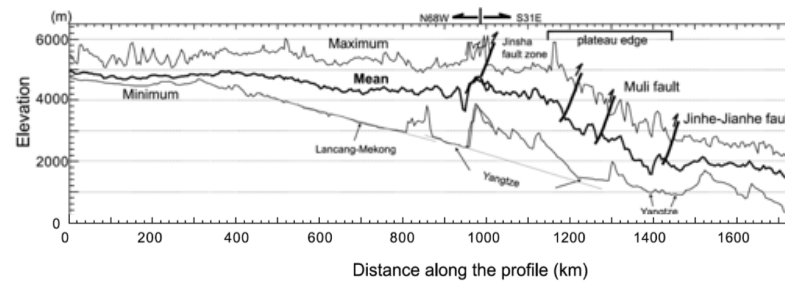
大多数造山带先隆升到一定高度，然后通过断层逐渐向外横向生长；在高原边缘，抬升速率高



Wolf S, Huismans R, Braun J, Yuan XP (Nature, in revision)



高原生长的扩展隆升模式
(Propagating uplift)



Liu-Zeng et al. (2008, JGR)

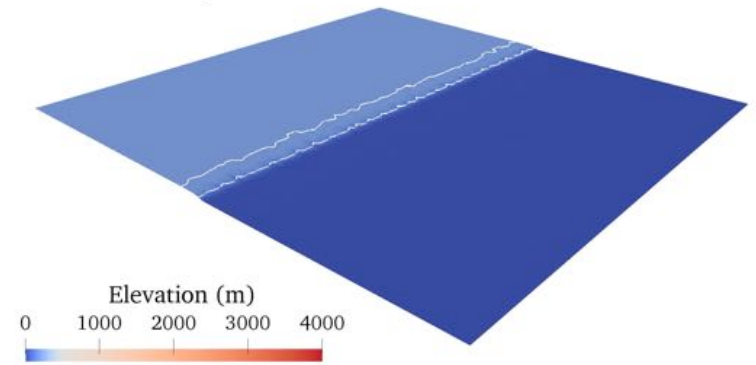
关键的科学问题：

- (1) 长时间尺度的三江流域演化过程是什么？
- (2) 高原生长的扩展隆升模式是否控制低起伏面的形成？

地表过程模拟青藏高原三江流域的演化过程

优势: 直观的演化过程; 地表观测数据检验

Time: 0.2 Myr

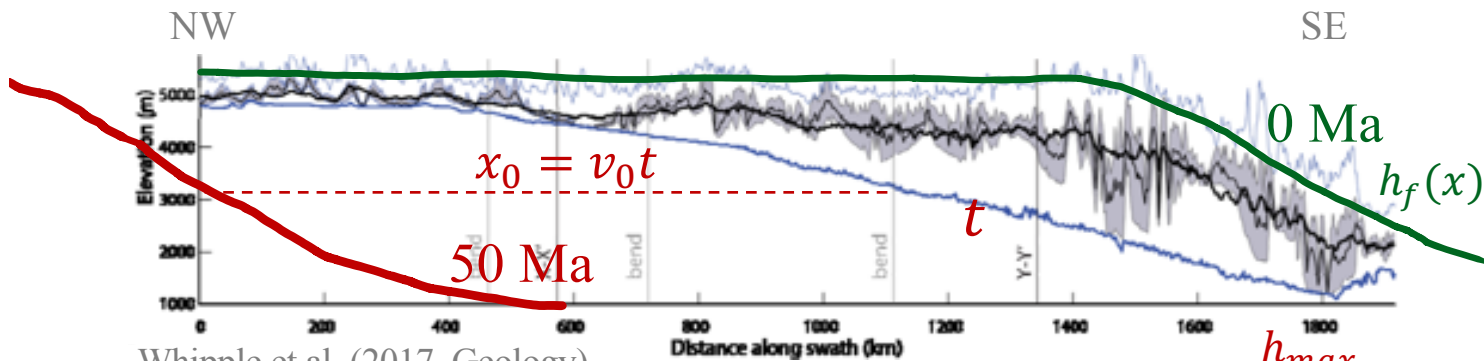


高原生长扩展隆升的时空函数

$$U(x, t) = \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} = \frac{h_{max} v_0 \exp((x - x_0)/W)}{W[1 + \exp((x - x_0)/W)]^2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = U - K_f \bar{p}^m A^m S^n + \frac{G}{\bar{p}A} \int_A \left(U - \frac{\partial h}{\partial t} \right) dA$$

(Yuan et al., 2019, JGR)



Whipple et al. (2017, Geology)

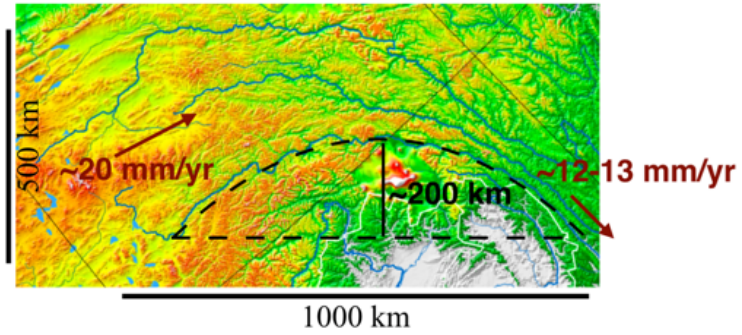
$$h_f(x) = \frac{h_{max}}{1 + \exp((x - L)/W)}$$

$$h(x, t) = \frac{h_{max}}{1 + \exp((x - x_0)/W)}$$

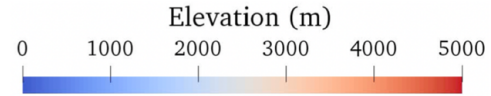
6

Yuan et al. (Geology, *in press*)

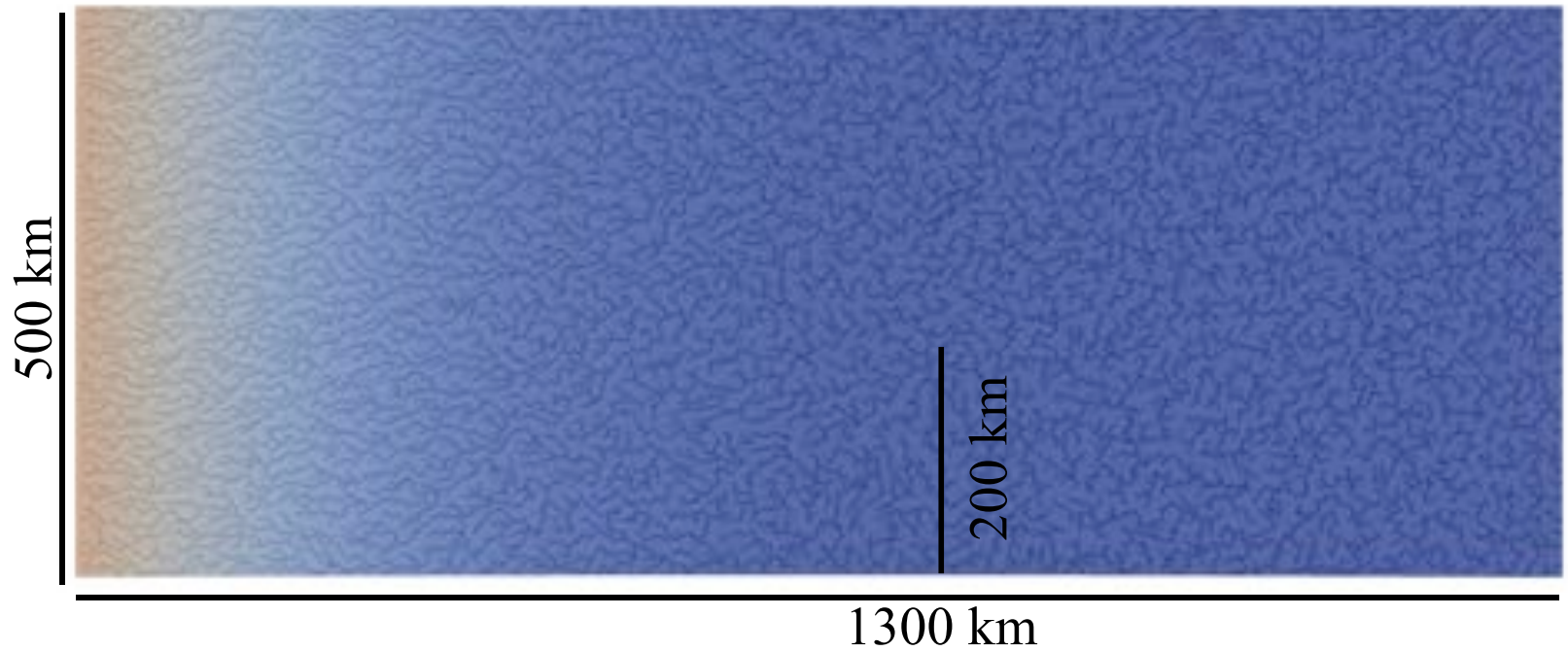
长时间尺度的三江流域演化过程，
受控于高原的扩展隆升模式



GPS data (Liang et al., 2013)



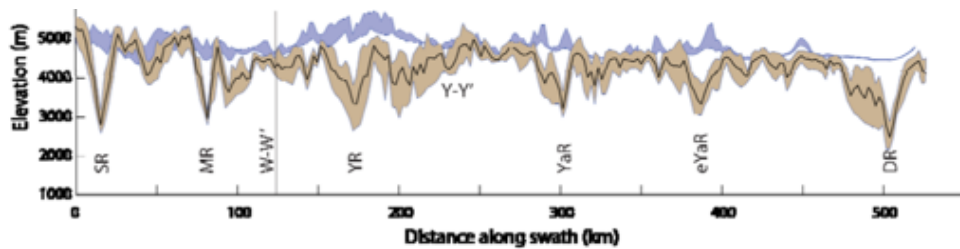
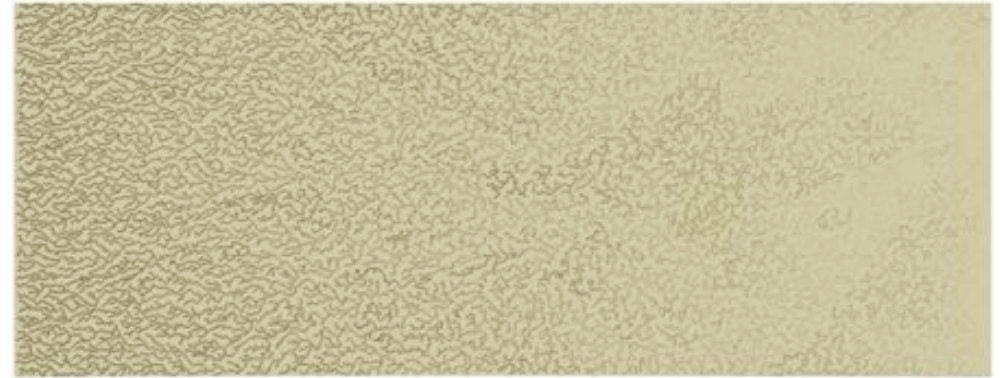
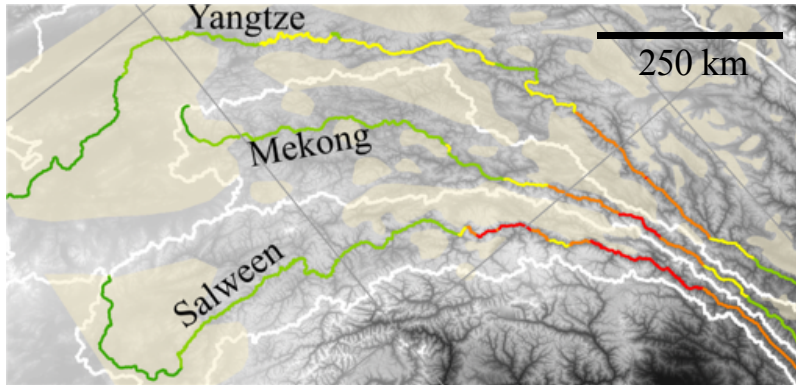
Time: -50 Ma



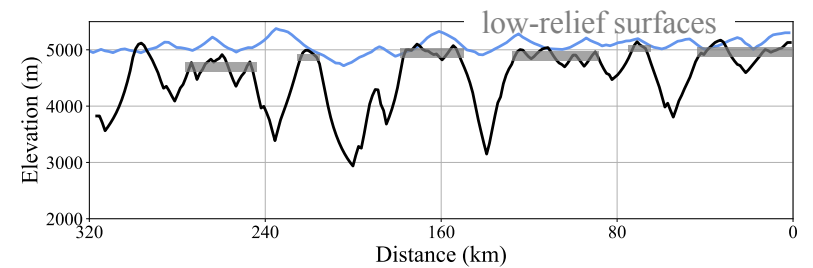
$$h(x, t) = \frac{h_{max}}{1 + \exp((x - x_0)/W)}$$

模拟的低起伏面与观察结果接近

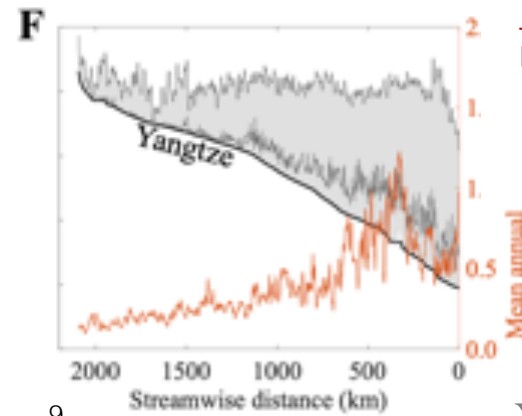
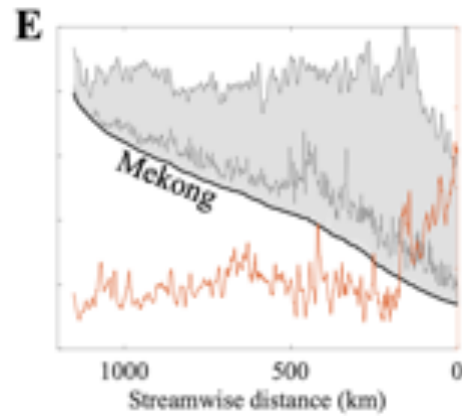
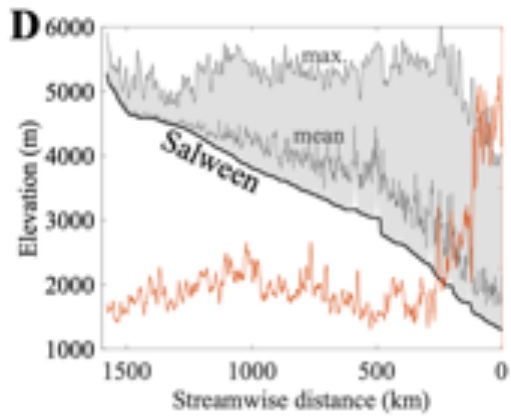
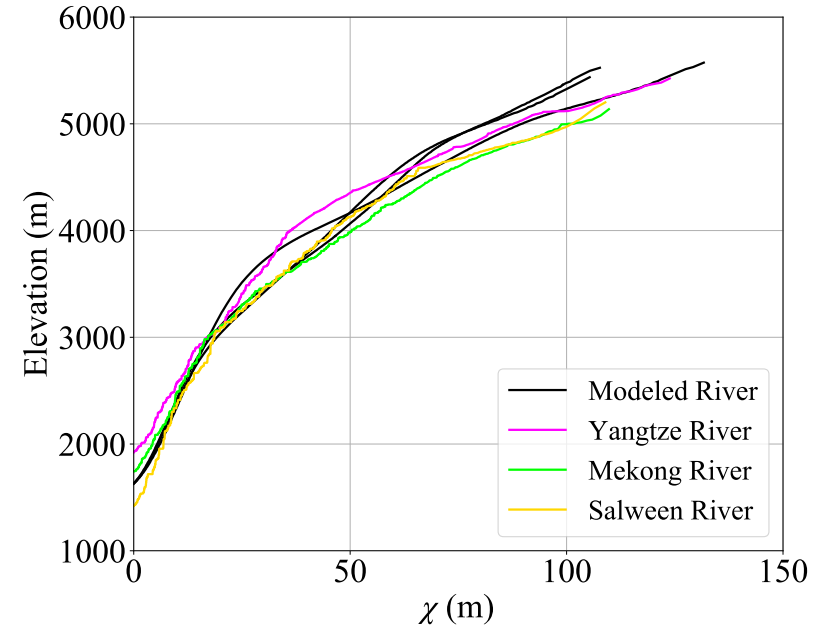
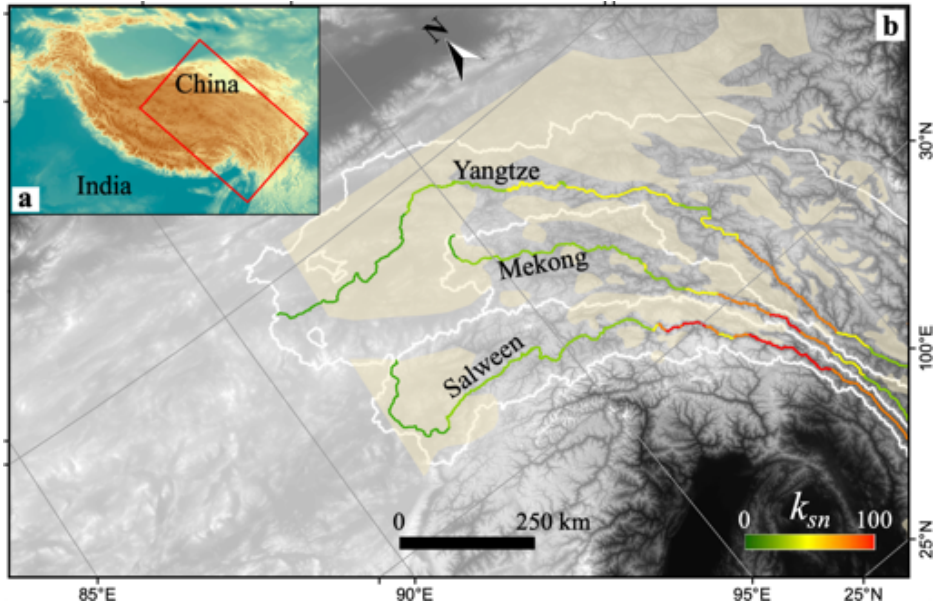
低起伏面在三江流域上游和深切河谷上方的分水岭；低起伏面在上游共面，在高原边缘高程缓慢下降



Whipple et al. (2017, *Geology*)



三江流域地表数据(观测和模拟)



高海拔-低起伏面可能是高原
扩展隆升的自然结果，并不
需要特殊的形成机制！

感谢各位老师和同学的时间，请批评指正!

结 论

- (1) 地表过程模拟定量恢复长时间尺度的青藏高原三江流域的演化过程，受控于高原生长的扩展隆升模式。
- (2) 青藏高原东南部广泛的高海拔-低起伏面可能是高原自然生长的结果，不需要特殊的形成机制。
- (3) 高原生长的扩展隆升模式能产生与观测相匹配的河流剖面。
- (4) 通过2万个模拟结果与地表数据对比，发现高原的始新世(50 Ma)高程<500米。