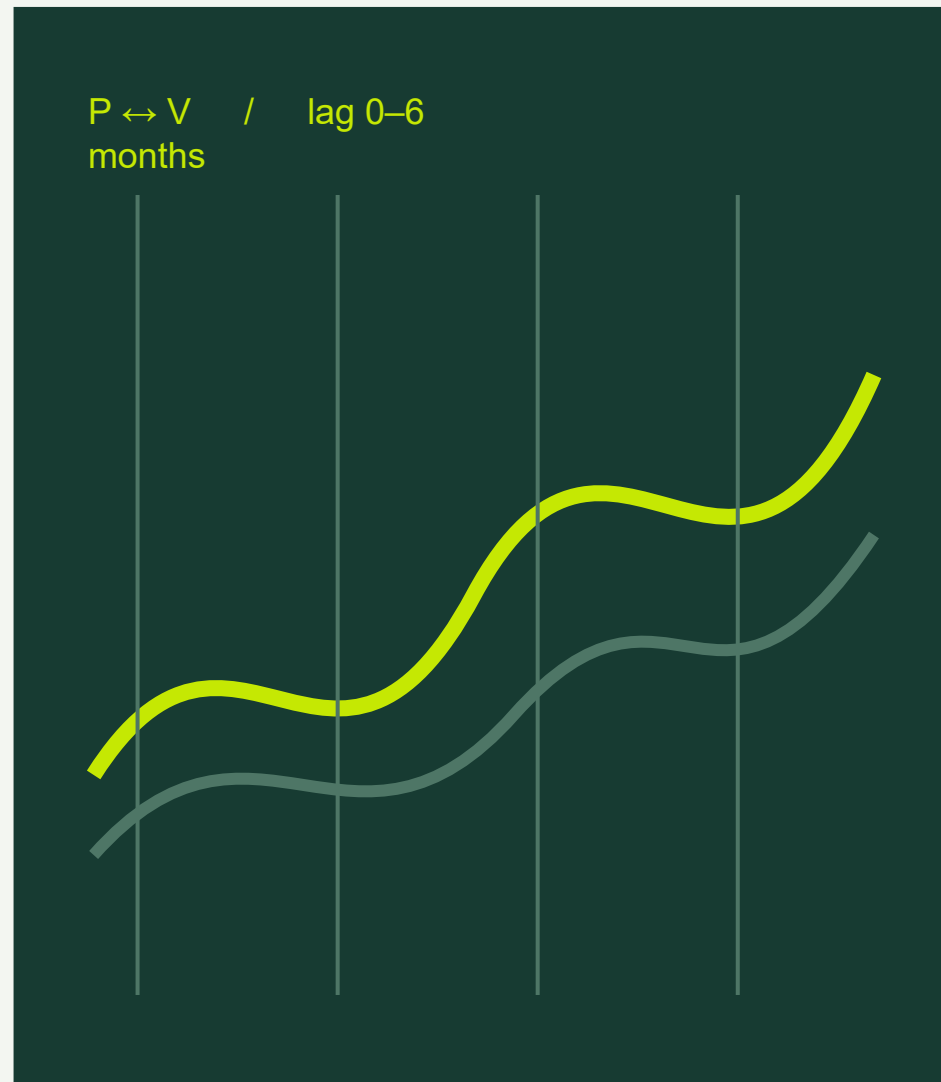


气象干旱到植被 异常的空间响应时滞

月异常 × 滞后相关 × bootstrap 区间

降水异常领先几个月最明显？
不同网格的最佳滞后是否一致？

Notebook 当前结果：固定种子的合成月度网格
CHIRPS + MOD13Q1：提供真实数据接入入口



本案要回答三个问题

先对齐月份，再问降水领先植被多久。

1

怎样去掉月份季节性？

对降水和植被分别按月份减去气候平均值。

2

降水领先几个月最相关？

逐像元计算 $k=0-6$ 的 Pearson 相关。

3

相关关系有多稳定？

对预先选定的 $k=2$ 做移动块 bootstrap 区间。

这次教学输入

48 个月 × 18×24 格

合成降水与植被异常

滞后 0–6 个月

正 k 表示降水领先植被

$k = 2$

预选 bootstrap 区间

从“干旱会不会影响植被”到可计算的问题

先把变量、月份、网格和滞后方向写清楚。

环境问题

降水变化何时传到植被？

月份本来有季节循环；
先做月异常，再比较滞后。

相关不等于因果。

分析对象

time × row × col

48 个月合成序列

18×24 教学网格

P_t 与 $V_{(t+k)}$

分析输出

异常波动幅度

最佳滞后 k 与最大 r
区域相关曲线 + 区间
滞后频数分布

正滞后 k 表示 P_t 领先 $V_{(t+k)}$ ；图中只有合成网格行列号，没有真实经纬度。

数据先认清：真实产品与课堂输入分开

下载入口、许可状态和当前 Notebook 使用的数据不是同一件事。

01 降水产品

CHIRPS v2.0

高分辨率降水数据

入口：<https://chc.ucsb.edu/data/chirps>

接入时核对 NoData、单位、
时间覆盖与下载版本。

真实文件按数据清单登记。

02 植被产品

MOD13Q1 v061

16 日合成

NDVI

入口：lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v061/

真实接入需按 QA 解码，
并应用比例因子和有效值规则。

许可与再分发以清单为准。

03 当前 Notebook 实际输入

合成月度数组

固定种子教学基线

48 个月 × 18×24

格与 V 已按月份对齐

`data_status = synthetic_demo`

不代表真实干旱或植被响应。

报告必须同时写出：产品入口、许可 / 下载证据、当前输入和未实现的真实接入步骤。

分析流程： 每一步都留下可检查的结果

从月份对齐到滞后解释，学生能在目录里找到对应证据。



本案的关键边界

bootstrap 只针对预先选定的 $k=2$ ；最佳滞后地图没有显著性检验，相关关系也不能直接写成因果。

动手前先做数据质量检查

只有时间、空间和变量真正对齐，滞后才有意义。

当前数组摘要

48 × 18 × 24

月份 × 网格行 × 网格列

降水 P 与植被 V 同步生成

months = 1...12, 重复 4

年
月异常后做线性去趋势

`data_status = synthetic_demo`

五个 QC 问题，逐项打勾

- ✓ P 和 V 是否同一月份、同一格网?
- ✓ 每个月是否有 4 个年度样本?
- ✓ NoData 与有限值是否分开?
- ✓ 单位、CRS、时间覆盖是否登记?

真实 CHIRPS/MOD13Q1 接入后，还要记录版本、QA、缩放和哈希。

算法第一步：先去掉月份季节平均

让一月和一月比、七月和七月比，减少固定季节循环的影响。

输入

$x[t, \text{row}, \text{col}]$

P：降水

V：植被指标

两组数组同月同网格



按日历月求异常

$$x'[t] = x[t] - \mu_{\text{month}}(t)$$

每个月用 4 个年度样本

NaN 保持为

NaN

当前运行 `detrend=True`



输出

月异常 P' 、 V'

可直接进入滞后分析

线性去趋势逐像元拟合

不等于检验趋势显著性

核对代码

`monthly_anomaly(values, months, detrend=False)` 可选去趋势；本 Notebook 明确传入 `True`。去趋势在去季节平均之后进行。

算法第二步：滞后相关与最佳月份

对每个格网把 $k=0-6$ 逐一算完，再取相关系数最大的 k 。

逐像元滞后相关

$\text{corr}(P'_t, V'_t+k)$

$k=0$ ：同月同步

$k=1$ ：降水领先 1 个

月

$k=6$ ：降水领先 6 个月

有效配对不足 3 个或无方差时返回 NaN。

Pearson r 是相关描述，不是因果证明。

取最大值形成地图

$\text{best_lag} = \text{argmax}_k r_k$

输出 1：每个格网的最佳滞后 k

输出 2：该 k 对应的最大相关 r

代码没有做显著性检验，也没有多重检验控制。

地图颜色只表达 k 或 r 的大小。

不能写成“显著滞后区”。

Bootstrap 区间：只看预选的 $k=2$

移动时间块保留短程连续性；这不是“最佳滞后”的置信区间。

当前 Notebook 参数

预选 lag = 2 个月

移动块长度 block = 3 期

重抽样次数 n_boot = 200

固定随机种子 seed = 2026

配对方式：P[t] 对 V[t+2]

越界的未来植被值会丢弃，不会补造。

区间应怎样读？

**重抽样相关系数的
第 2.5 与 97.5 百分位**

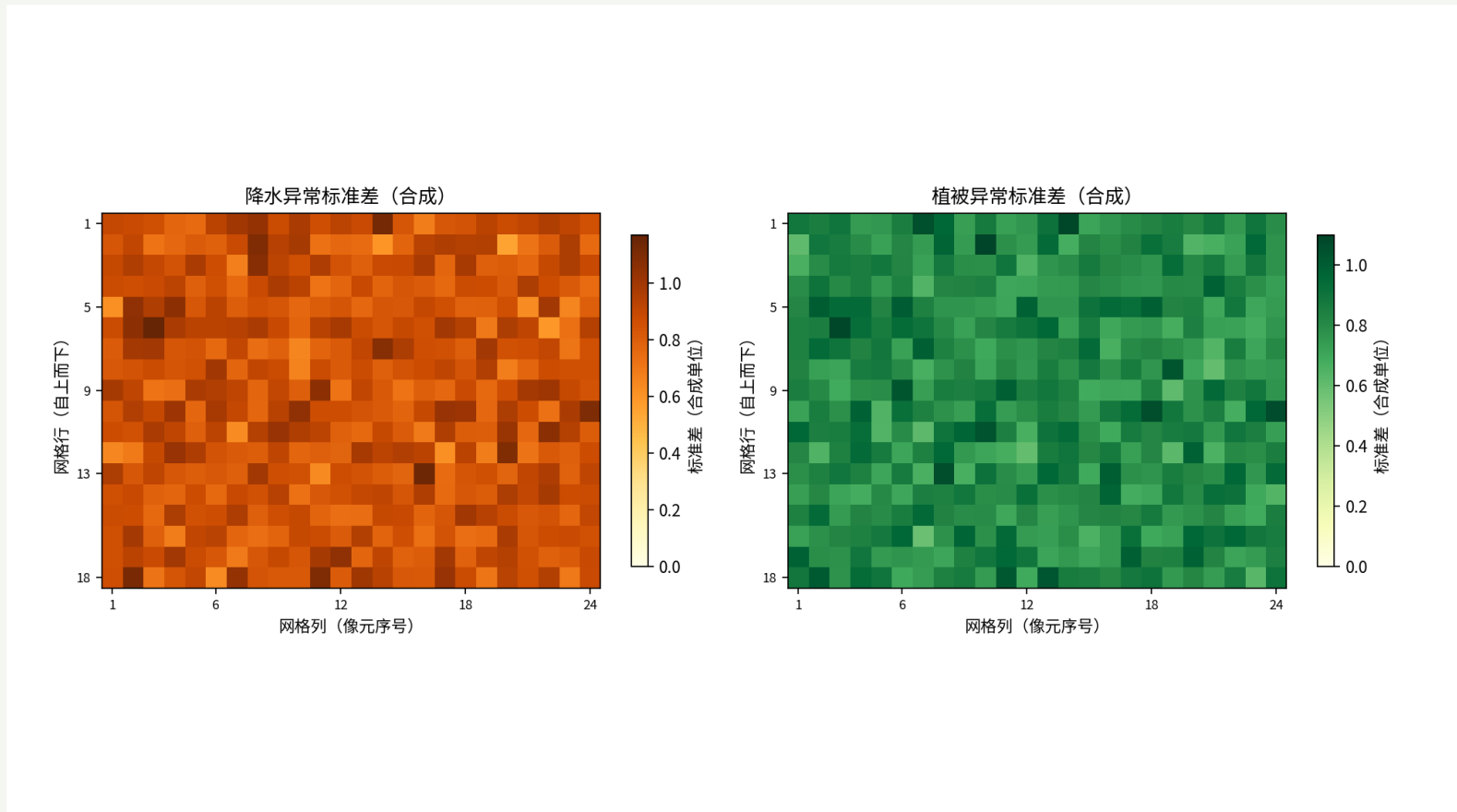
表示在当前重抽样设定下的区间。

当前运行结果约为 $[-0.37, 0.29]$ 。

不能替代最佳 lag 的不确定性，
也不能当作因果效应区间。

结果一：降水与植被异常波动幅度

标准差表达 48 个月异常序列的波动幅度，不是异常均值或实测干旱强度。



怎么读

左图 降水异常标准差

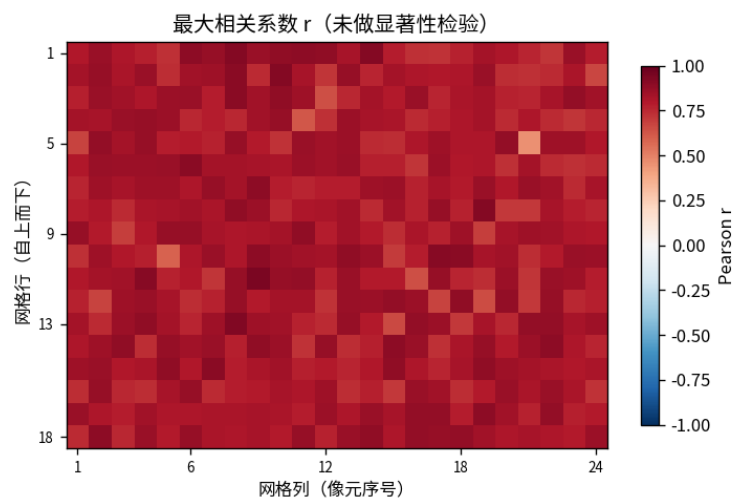
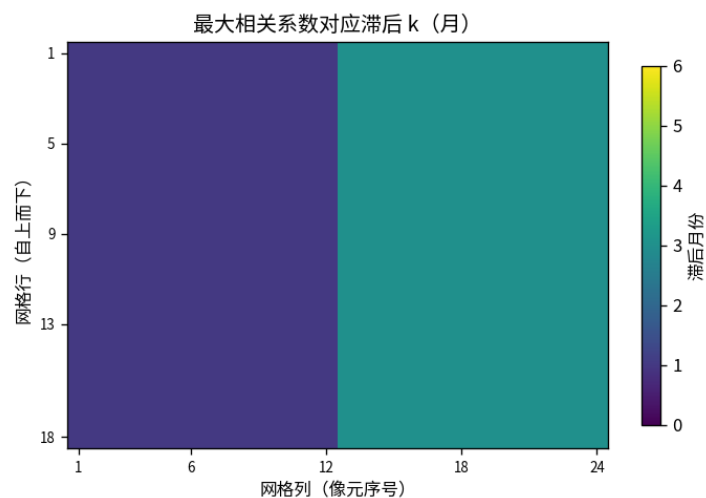
右图 植被异常标准差

数值越大，只说明波动更大。
当前没有真实经纬度和区域名。

图源：01_anomaly_maps.png

结果二：每个格网的最佳滞后与最大相关

左图给出 k ，右图给出对应的 Pearson r ；两图都没有显著性检验。



读图三步

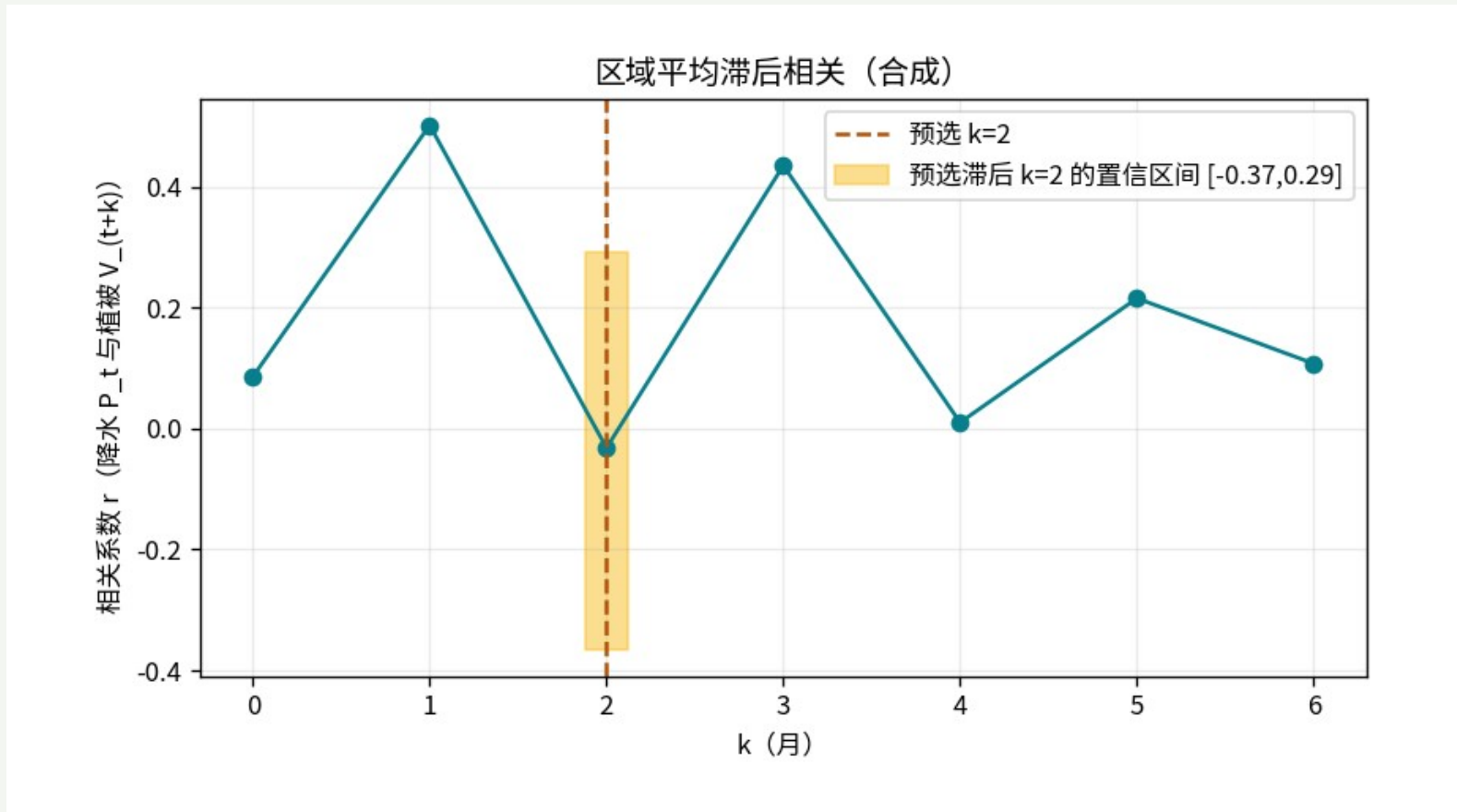
- ① 看 正值表示降水领先 k
- ② 看 颜色表达相关强弱 r
- ③ 看限制 做显著性与多重检验

不要写成“显著滞后区”。

图源：02_lag_maps.png

结果三：区域平均滞后相关与区间

曲线展示 0–6 个月的区域平均相关；阴影只对应预选 $k=2$ 。



图中证据

曲线 区域平均 Pearson r

虚线 预选 $k=2$

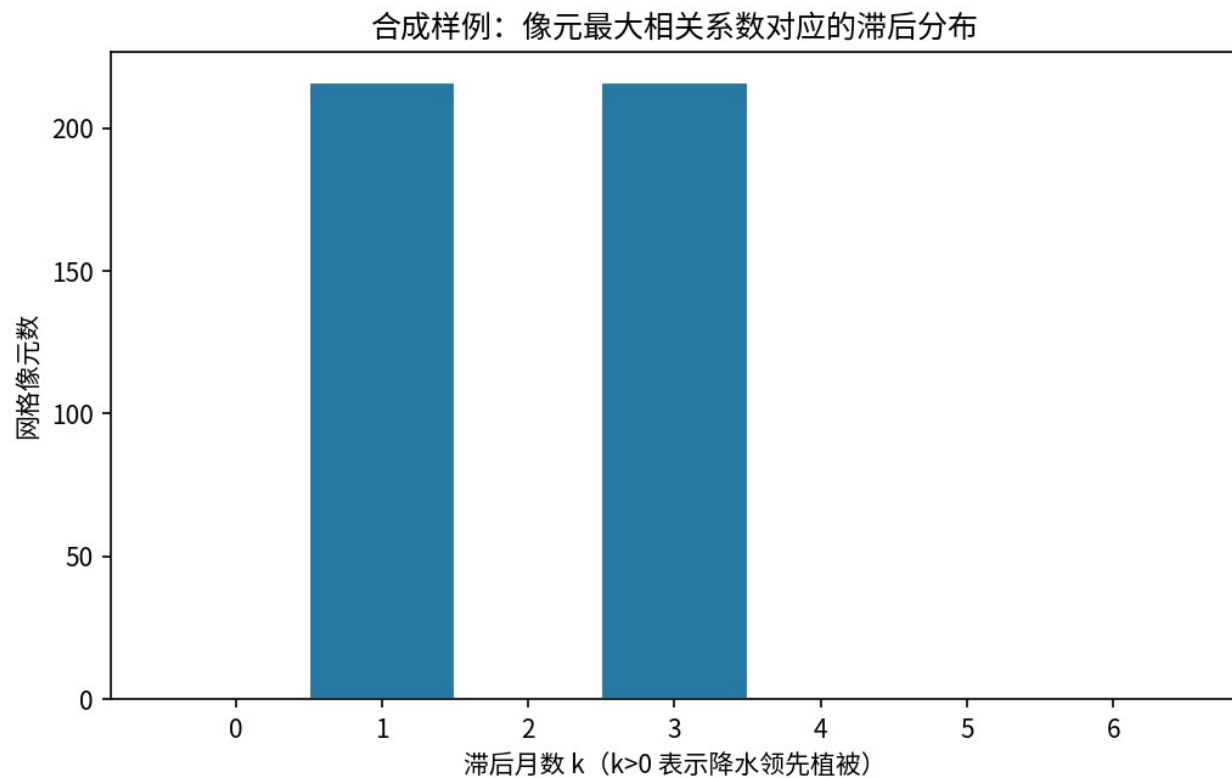
阴影 $k=2$ 的移动块区间

当前区间约 $[-0.37, 0.29]$ 。

图源：03_lag_curve_ci.png

结果四：最佳滞后月份的频数分布

每个像元先取最大相关对应的 k ，再统计 k 的频数；这不是敏感性图。



怎么读

横轴 滞后月份 k

纵轴 网格像元数量

本合成示例中， $k=1$ 和 $k=3$ 占据主要频数。

图源：04_best_lag_distribution.png

结果可以怎样解释，哪些话不能说

结论必须跟着当前代码实际做过的检验走。

可以说

某些格网的 r 在某个 k 较大

这是当前合成序列的相关描述。

$k=2$ 的预选区间跨过 0

当前 bootstrap 区间约为 $[-0.37, 0.29]$ 。

频数图主要集中在 $k=1$ 和 $k=3$

只对这组教学数据成立。

不能说

降水导致植被变化

相关不能单独证明因果。

这些格网是显著滞后区

最佳滞后地图没有显著性检验。

该区植被真实响应 2 个月

当前数据是合成的，格网无真实坐标。

遇到问题时按“现象—核对—处理”排查

定位数据对齐、算法参数还是图件口径。

现象	先核对	处理
滞后图出现空白 长度、月份、有限值	确认 P/V 同形状、months 长度 48 , 每个 k 至少有 3 个有效配对。	修正对齐或缺失处理后从头运行, 不要只换一张结果图。
最佳 k 与预期不符 去趋势、滞后方向、随机种子	核对 detrend=True 、 corr(P_t,V_(t+k)) 、 SEED=2026 和 max_lag=6 。	在报告中保留新的参数记录, 不要凭直觉改成目标答案。
标题与图件不符 FIGURE_TRACEABILITY.csv	确认图名、含义、学生输出路径, 不要把分布图写成敏感性图。	修正来源或说明后重新导出, 并复核页码和讲稿。

提交哪些东西，教师怎样验收

每个提交物都必须回到代码、图件或数据清单。

提交物	学生要交什么	教师核对什么
Notebook	从头运行后的核心算法代码 .ipynb	月异常、去趋势、 k=0–6 相关
四张图	异常波动、滞后地图、曲线区间、频数分布	图名、单位、颜色和追溯表匹配
表格与记录	summary_synthetic.csv 、参数与数据状态	48 个月、 SEED=2026 、 synthetic_demo
文字解释	写一条有证据的观察和一条限制	不写因果、不写显著滞后区

验收标准：数据状态、算法方向、图件含义、路径和结论边界必须互相对得上。

论文桥接：干旱时间尺度与植被响应

公开论文校准研究背景；本案只做教学迁移，不复现论文研究。

公开全文核心论文

Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes

Vicente-Serrano et al. · PNAS · 2013

DOI: 10.1073/pnas.1207068110

CC BY 3.0 ES · 全文已随案例包登记

全文: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3538253/>

机构库 PDF: https://zaguan.unizar.es/record/60898/files/texto_completo.pdf

本地: 论文资料 / 开放全文 / P06_Vicente-Serrano_2013_Drought_Vegetation_CC_BY_3.0.pdf

论文与本案的关系

论文研究

多时间尺度干旱与不同生物群系响应。

本案实现

合成月异常、0–6 月滞后相关。

不能照搬

论文数据、尺度、生态区结果和因果解释。

任务：比较论文时标与本案固定 0–6 月窗口。