

浙江大學  
ZHEJIANG UNIVERSITY



# 生态学基础及实验

## 实验报告

实验名称 生态系统过程模型原理及操作

实验地点 生物实验中心 312

姓 名

学 号 \_\_\_\_\_

实验日期 December 6, 2024

指导老师 蒋明凯

# 浙江大学实验报告

专业：生物科学  
姓名：  
学号：  
日期：December 6, 2024  
地点：生物实验中心 312

课程名称：生态学基础及实验 指导老师：蒋明凯 实验类型：软件实验  
实验名称：生态系统过程模型原理及操作 成绩： 签 名：

## 一、实验目的

1. 学习生态系统过程模型的基本原理
2. 掌握生态系统过程模型 GDAY 的基本操作方法

## 二、背景知识及实验原理

### 1. 过程模型

生态系统过程模型描述了生态系统中的主要库（pool）和通量（flux）以及调节这些变量的因素。这是基于过程的对生态系统动态及其与环境关系进行分析的模型。有助于人们理解生态系统中光合作用产生的能量多少、能量或物质如何流动、营养元素在系统中的回收速度有多快、生态系统作为一个整体是如何运作的、系统是如何构造的等重要问题。

### 2. 生态系统的定量描述

描述生态系统的模型需要具有以下核心要素：系统边界、状态变量、模型结构、参数、输入变量、初始条件、模型输出等。具体而言，可以考虑的有生态系统的演变模型（如生态位竞争分化理论）、种群的出生率死亡率、 $CO_2$  吸收量、释放量、各种元素在生物体内的转运量等等。如 Fig.1.

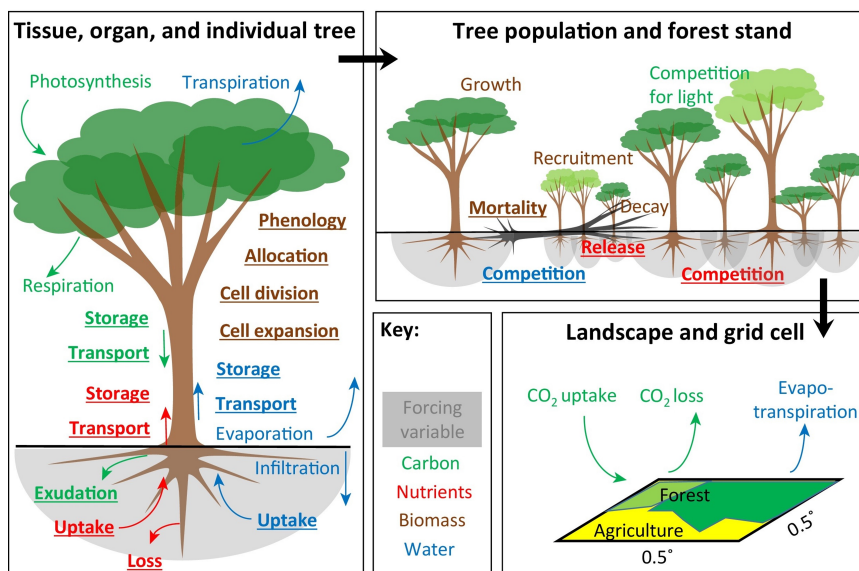


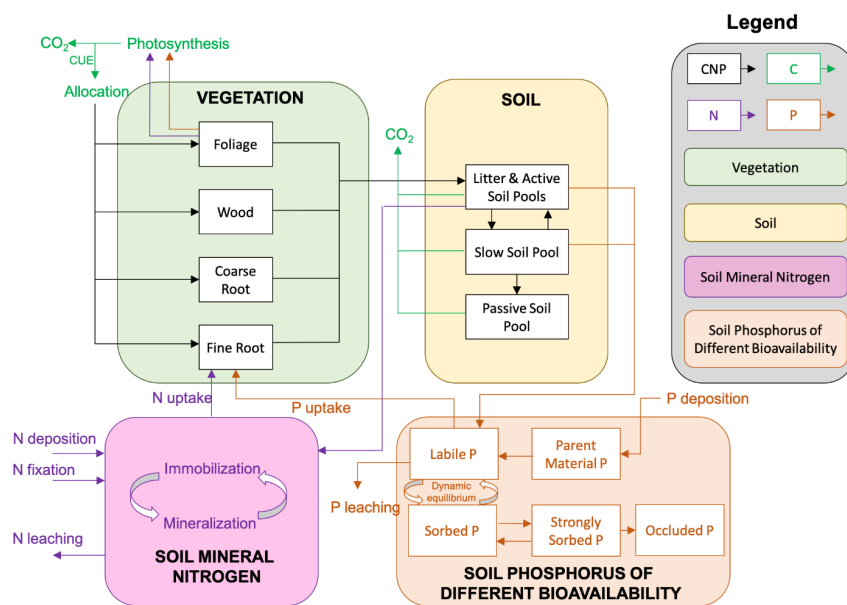
Fig. 1: 模型结构的定量描述

### 3. GDAY 模型简介

Generic Decomposition And Yield (GDAY) 是一款简单的生态系统模型，由林分生长模型 (McMurtrie and Wolf, 1983;McMurtrie,1985,1991) 和土壤降解模型 CENTURY (Parton et al.,1987,1988,1989;Schimel et al., 1990) 组合而来

可以用于模拟林分规模上的碳、氮、磷（CNP）和水动态。该模型可以按日时间步长或 30 分钟时间步长运行。当模型以 30 分钟时间尺度运行时，光合作用使用两叶（阳光照射/阴影）近似值计算（de Pury 和 Farquhar,1997; Wang 和 Leuning,1998），否则光合作用按照 Sands（1995;1996）方法计算。

目前的模型考虑了光合作用和气孔导度、光合作用的营养限制、碳分配、土壤碳动态、生物量化学计量比生物量周转率、土壤激发效应等理论或参数。模型的总体结构如 **Fig.2**所示。



**Fig. 2:** GDAY 模型的结构

## 三、 运行环境与主要工程文件

### 1. 运行环境

- Windows11 系统
- R 语言

### 2. 主要工程文件

- Run\_ programs\_ Windows.R: 运行脚本
- \output: 输出结果
- \data\forcing: 原始观测数据
- \simulation: 存放模拟数据
- \imulation\par.cfg: 模型运行模式、参数

## 四、 模型操作方法

### 1. 预处理

- a 准备输入数据和校准数据
- b 设置模拟环境和条件
- c 约束模拟参数：采用哪一款异速生长模块、是否模拟落叶林、是否开启根系分泌物模块、是否开启磷循环等等
- d 准备输出变量及其单位

### 2. 初始调控

- a 初始化模型
- b 调控未受约束的参数：文件名与路径 files、状态量 state、控制量 control、输出量 print(都在 par.cfg 中)

### 3. 正式模拟

- a spin-up
- b 模拟 historic transient 和 future transient

### 4. 结果分析验证

- a 质量平衡检查
- b 参数敏感性检查
- c 与验证数据拟合对比
- d 分析结果

## 五、 实验内容

### 1. 增加 $CO_2$ 浓度时生态系统植被碳库的响应

- a 加载所需模块
- b 准备气象数据（正常  $CO_2$  浓度 *aCO<sub>2</sub>.csv* 和  $CO_2$  浓度升高一倍 *eCO<sub>2</sub>.csv*）
- c 修改模型初始参数并 spin-up
- d 分别读取 *aCO<sub>2</sub>.csv* 和 *eCO<sub>2</sub>.csv* 跑模型
- e 数据分析：质量守恒检查、 $CO_2$  响应幅度分析、数据比对

### 2. 减少降水时生态系统植被碳库的响应

- a 准备降水升高一倍的气象数据（正常  $CO_2$  浓度 *rain\_rev\_aCO<sub>2</sub>.csv* 和  $CO_2$  浓度升高一倍 *rain\_rev\_eCO<sub>2</sub>.csv*）
- b 无需重新 spin-up, 直接分别读取 *rain\_rev\_aCO<sub>2</sub>.csv* 和 *rain\_rev\_eCO<sub>2</sub>.csv* 跑模型
- c 数据分析：质量守恒检查、 $CO_2$  响应幅度分析、数据比对

### 3. 固定叶片碳氮比时生态系统植被碳库的响应

- 将 `par.cfg` 中的 `fixleafnc=true` 修改为 `false`, 重新 spin-up
- 分别读取 `aCO2.csv` 和 `eCO2.csv` 跑模型
- 数据分析：质量守恒检查、 $CO_2$  响应幅度分析、数据比对

## 六、实验结果及数据分析

### 1. 增加 $CO_2$ 浓度时生态系统植被碳库的响应

由 **Fig.3a** 可知, 环境二氧化碳浓度升高之后, 植物叶片、根、茎的生物量与正常二氧化碳浓度相比, 都有显著的升高。正常二氧化碳浓度下, 叶片与根的生物量都在一定范围内周期性波动, 较为稳定; 茎的生物量则缓慢波动上升。升高二氧化碳浓度后的一年内, 叶片与根的生物量快速上升, 对二氧化碳浓度的变化快速做出响应, 而后上升变慢, 开始在一定范围内波动, 且波动幅度比正常情况大; 茎的生物量则一直波动上升。

由 **Fig.4a** 可知, 环境二氧化碳浓度增加后, 植被碳库的总量呈现一定程度的增加。在植物的器官层面, shoot (地上部分)、branch (枝干)、root (根系)、croot (粗根) 的碳库在二氧化碳浓度增加后都比环境浓度略高; stem (主干) 的碳库则明显增加, 表明二氧化碳升高显著促进了主干部分的碳积累; 而 croot (粗根) 没有明显的变化, 且总量极小, 后续均不考虑粗根的影响。

由 **Fig.5a** 可知, 生态系统的碳通量在改变二氧化碳浓度后也有明显的变化。生态系统总初级生产力 GPP 和净初级生产力 NPP 均显著提高, 生态系统净生产力由原先接近零少量提高。

综合上述结果推测, 二氧化碳浓度升高直接增加了植物光合作用的底物浓度, 促进光合作用速率提高。特别是对于 C3 光合植物, 这种影响更为显著, 导致碳固定增加, 从而积累更多的碳。这些碳被分配到结构性生物量 (如主干) 中, 因为这些部位的生物量能更有效地长期储存碳。这解释了主干部分碳库的显著增加。

### 2. 减少降水时生态系统植被碳库的响应

由 **Fig.3b** 可知, 在减少降雨情景下, 升高二氧化碳浓度后叶面积、根、茎的变化与默认不改变降水时的变化趋势基本一致, 均为先快速上升再趋近于某一个值, 在其附近波动。

而观察 **Fig.4b** 可知, 减少降水后, 无论是否升高二氧化碳浓度, 总碳库的量都明显减少。这表明水分是限制植被碳库储量的一个重要因素。且总碳库减少主要是主干部分的碳库减少造成的, 说明水分对主干生长至关重要。

**Fig.5b** 表明, 在减少降水情景下, 升高二氧化碳后生态系统的 GPP 和 NEP 要显著低于正常降水升高二氧化碳时的 GPP 和 NEP (注意 a 图和 b 图纵坐标不同)。推测原因是降水量减少会抑制植物的蒸腾作用, 从而降低水分和养分运输效率, 导致光合作用速率下降, 最终减少碳固定。即在水分限制条件下,  $CO_2$  升高的正面效应无法完全发挥, 因为光合作用对水分也有依赖性。此时植物可能减少对主干和根系的碳分配, 将资源优先用于维持生命活动的基本需求。

### 3. 固定叶片碳氮比时生态系统植被碳库的响应

观察 **Fig.3c,4c,5c** 不难发现, 在固定叶片碳氮比的情况下, 模型运行结果与默认参数时的结果基本一致。原因是模型本身的特性限制。在不固定碳氮比时, 叶片碳氮比被限制在一个范围内, 在模型运行过程中, 会不断调整, 寻找合适值。固定碳氮比就直接使用边界值。而该模型模拟了近两百年的变化, 即使不固定叶片碳氮比, 也会在运行一段时间后收敛到边界条件, 故而与固定碳氮比的结果基本一致。

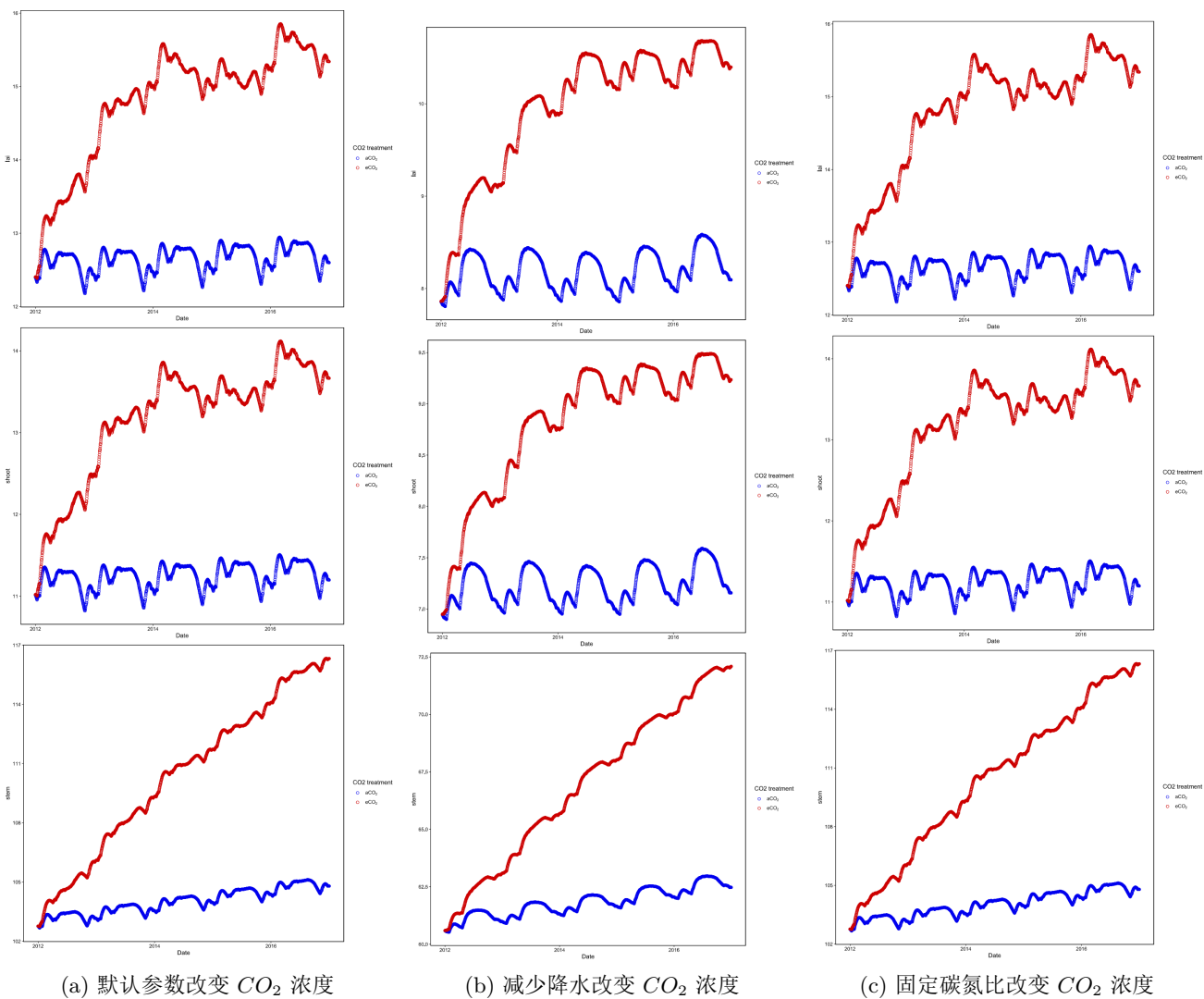


Fig. 3: 不同条件下叶、根、茎生物量的响应

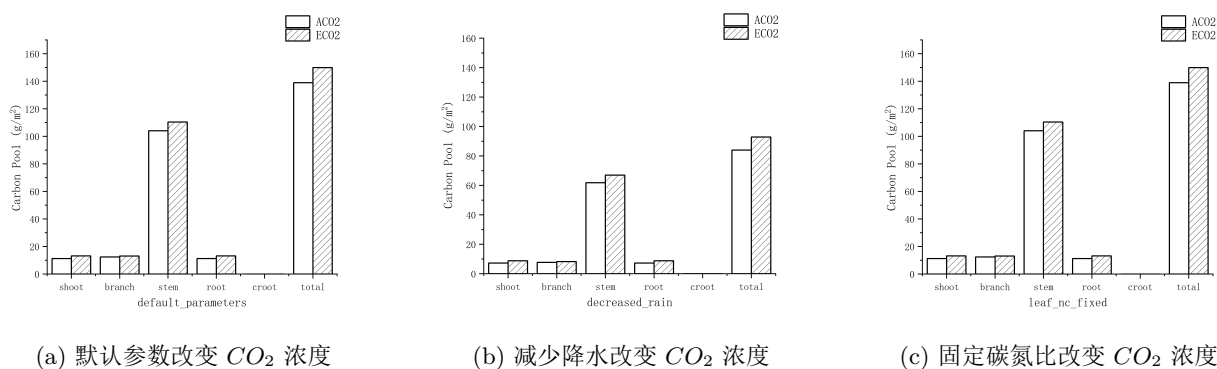


Fig. 4: 不同条件下生态系统碳库

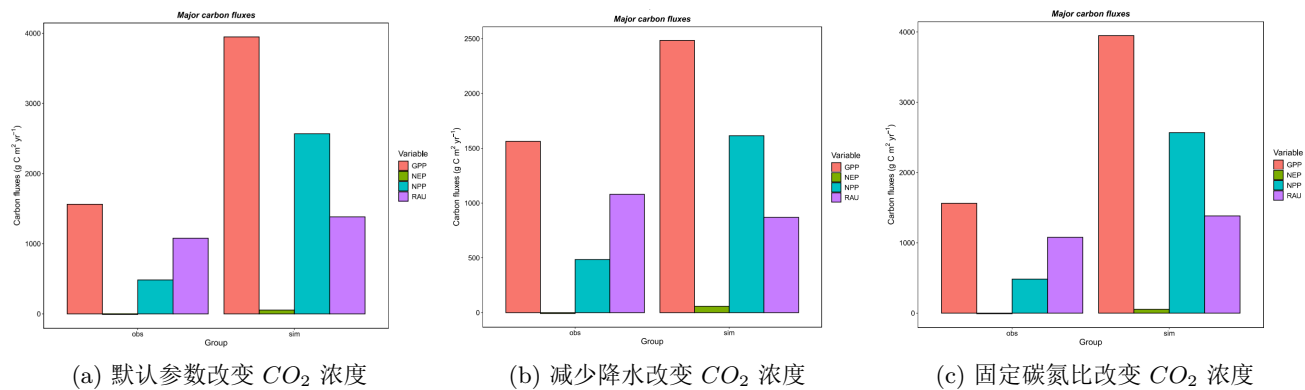


Fig. 5: 不同条件下生态系统碳通量 (obs: 观测值, sim: 模拟值)

七、 附录

碳库原始数据见 Tab.1.  $\text{H}_2\text{O}$  质量检查补充图见 Fig.6,7,8. 碳元素质量检查补充图见 Fig.9,10,11.

Tab. 1: 碳库原始数据

condition	leaf_nc_fix		decreased_rain		default_para	
	ACO2	ECO2	ACO2	ECO2	ACO2	ECO2
shoot	11.24877	13.17711	7.245537	8.823153	11.24877	13.17711
branch	12.41872	13.14249	7.684375	8.269407	12.41872	13.14249
stem	104.0232	110.4116	61.82404	66.95677	104.0232	110.4116
root	11.24877	13.17711	7.245537	8.823153	11.24877	13.17711
croot	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
total	138.9405	149.9093	84.00048	92.87348	138.9405	149.9093

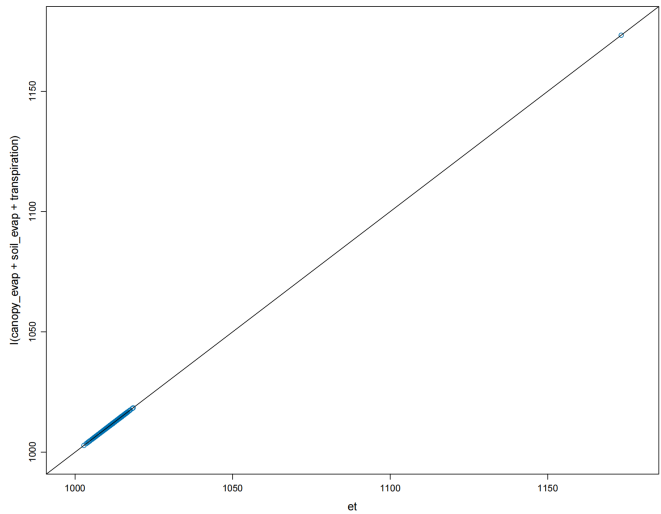


Fig. 6: 实验一  $\text{H}_2\text{O}$  质量检查

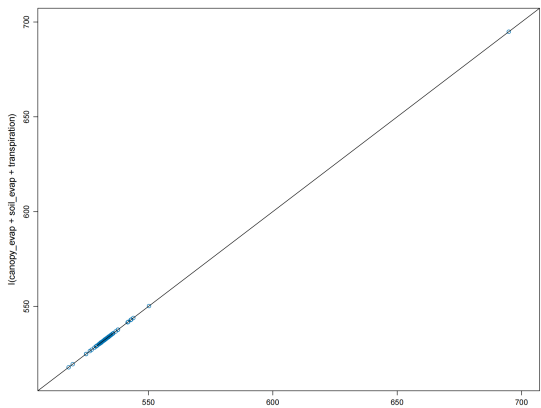


Fig. 7: 实验二  $H_2O$  质量检查

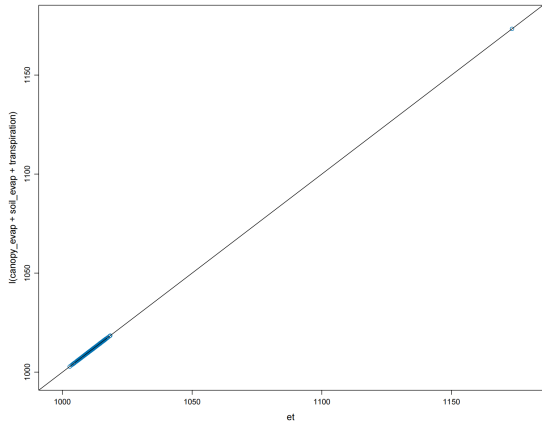


Fig. 8: 实验三  $H_2O$  质量检查

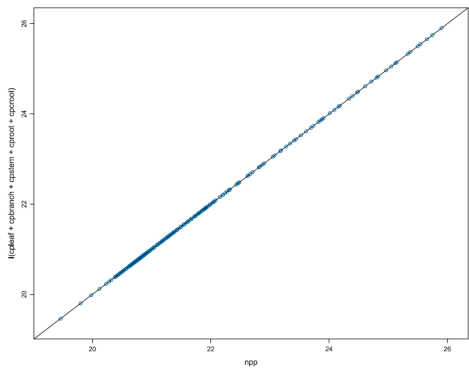
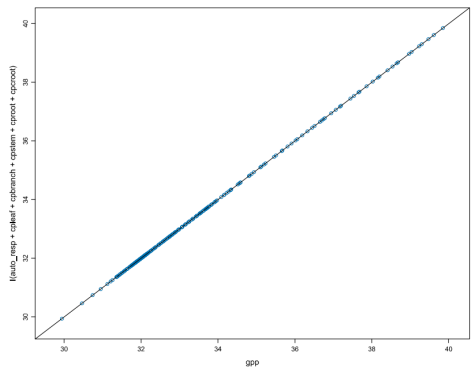
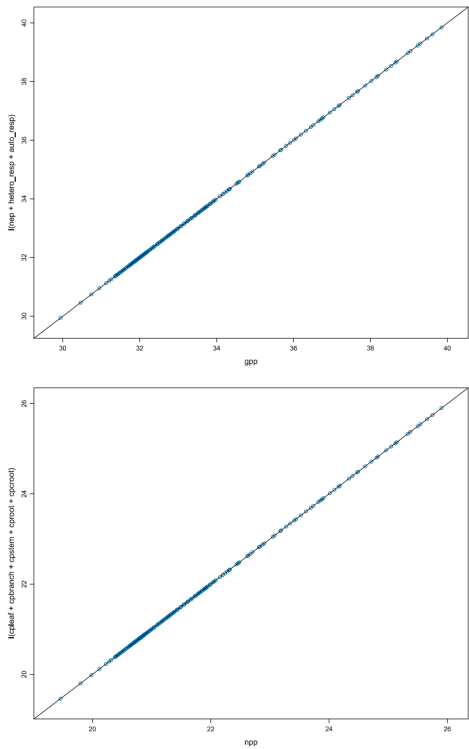
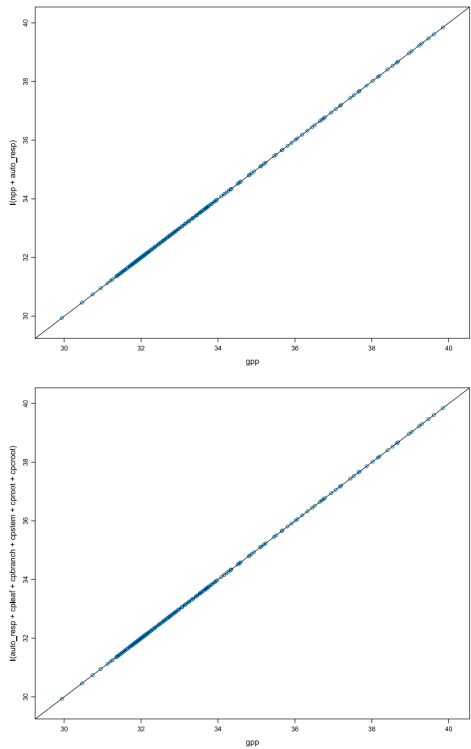


Fig. 9: 实验一碳元素质量检查



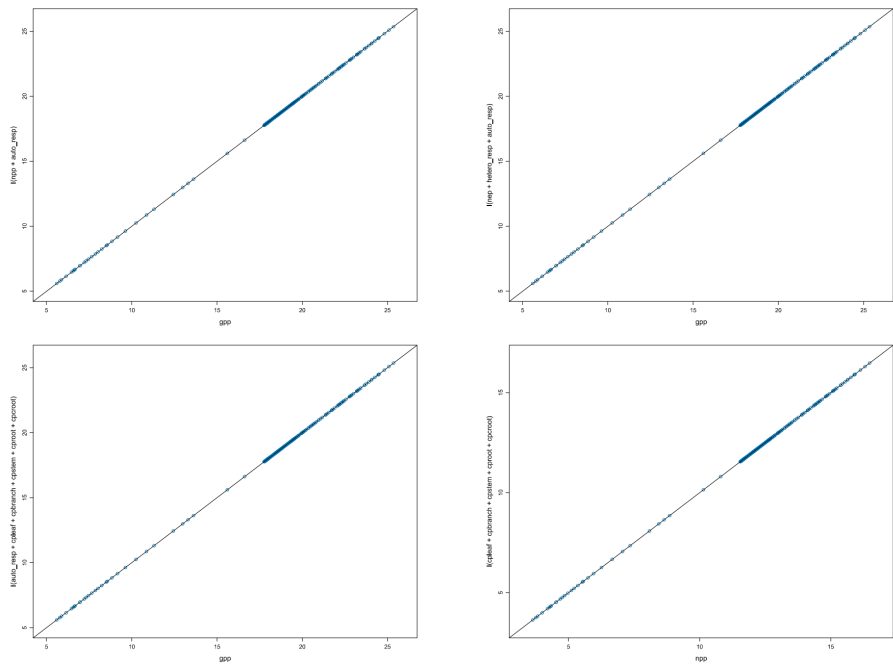


Fig. 10: 实验二碳元素质量检查

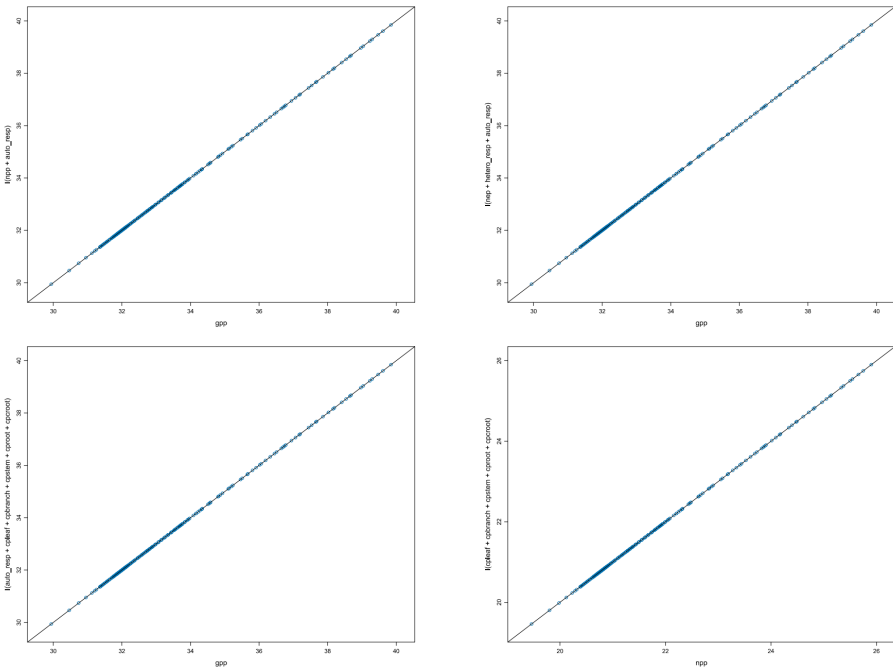


Fig. 11: 实验三碳元素质量检查