

浙江大学

ZHEJIANG UNIVERSITY



生态学基础及实验 实验报告

实验名称	校园植被温室气体通量的观测
实验地点	生物实验中心 312
姓 名	郑嘉乐
学 号	3230100881
实验日期	November 5, 2024
指导老师	胡亮亮、何磊

浙江大学实验报告

专业: 生物科学
姓名: 郑嘉乐
学号: 3230100881
日期: November 5, 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: 胡亮亮、何磊 实验类型: 观测
实验名称: 校园植被温室气体通量的观测 成绩: 签名:

一、实验目的

1. 了解温室气体通量和全球增温潜势的概念
2. 了解静态箱法的工作原理
3. 掌握静态箱-气相色谱法观测温室气体通量的方法

二、背景知识及实验原理

1. 全球变暖 (Global Warming)

目前, 全球气温比工业化前提高了约 1.0°C , 若保持当前的增长速度, 全球增温在 2030-2052 年间将达到 1.5°C , 届时将造成灾难性的后果。

2. 温室气体 (Greenhouse Gas, GHG)

温室气体通过吸收和释放红外热辐射能, 将地表平均气温维持在 15°C 左右。如果没有温室气体, 地表平均气温约为 -18°C 。但是过多的温室气体会导致地表气温上升。

温室气体主要包括水蒸气 H_2O 、二氧化碳 CO_2 、甲烷 CH_4 、一氧化二氮 N_2O 、臭氧 O_3 、氯氟烃、氢氟烃、碳氟化物等。其中对全球增温贡献最大的是二氧化碳和甲烷。

3. 全球增温潜势 (Global Warming Potential, GWP)

GWP 被用于衡量温室气体的增温能力, 即温室气体在一定时间范围内吸收的热量与相同质量二氧化碳的比值。

4. 二氧化碳当量 (CO_2 Equivalent)

计算公式如下:

$$(\text{CO}_2)_{eq} = mass_{GHG} \times GWP_{GHG} \quad (1)$$

5. 碳通量 (Carbon Flux)

计算公式如下:

$$NEE = GEP - ER \quad (2)$$

NEE: Net ecosystem exchange 生态系统净碳排放通量

GEP: Gross ecosystem production 生态系统总生产力

ER: Ecosystem respiration 生态系统呼吸量

$NEE > 0$ 表示生态系统排放碳, $NEE < 0$ 表示生态系统固定碳。

6. 温室气体通量 (GHG Flux)

(1) 定义

特定的下垫面（地表、水面等）上，单位面积和时间内温室气体的净释放/吸收量。呈净吸收的下垫面称为汇 (sink)，呈净释放的下垫面称为源 (source)。对于全球而言，有 $\Sigma sink = \Sigma source$ 。

(2) 观测方法

- a 涡度相关法 (Eddy Covariance)：类似一个自动气象站，可以连续观测，适合大尺度的测量，但是容易受天气影响且不便携。
- b 静态箱法 (Static Chamber)：在一个箱子的范围内观测，测量结果稳定，便携，适合小尺度的观测，但是测量的频率较低。

(3) 静态箱法的数据分析

气体通量可以通过静态箱内单位时间气体浓度的变化计算得到。气体浓度变化符合时间-气体浓度的线性回归 (见 Fig.??)，回归线的斜率可以指示气体通量的大小。通过回归线斜率计算气体通量的数学模型为下述方程：

$$F = \rho \times \frac{273^{\circ}\text{C}}{273^{\circ}\text{C} + T} \times H \times \frac{dC}{dt} \quad (3)$$

F: 气体通量 ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$) ρ : 气体 0°C 的标准密度 (mg/m^3)

H: 静态箱体高度 (m) $\frac{dC}{dt}$: 气体浓度的变化速率，即为回归方程斜率 (ppm/min)

T: 箱体内温度的平均值 ($^{\circ}\text{C}$)

三、 实验设备和材料

1. 工具和仪器

- 气体收集：亚克力板透明圆柱罩 ($\Phi = 29.5\text{cm}, h = 30\text{cm}$)、针筒、橡胶管、集气袋、小风扇、三通阀、温度计
- 气体测定：Agilent 8868 GC 气相色谱仪

四、 实验步骤

1. 观测点选择

- 两组合作，各组选择一个地点，两个地点应存在水分或植被或光照上的差异，差异越大越好
- 如果是草坪，不能是近期修剪过的

2. 气体采集

- 第一轮光照条件下采气：罩上静态箱，打开内部的悬挂风扇，连续抽取 3 个 20ml 的气体样本，间隔 3min，分别注入气体收集袋
- 打开静态箱，回复气体流通 30 秒，令采样区微环境恢复到与周围一致

- 第二轮**黑暗**条件下采气：罩上静态箱和遮光罩，打开风扇，连续抽取 3 个 20ml 的气体样本，间隔 3min，分别注入气体收集袋

3. 辅助操作

- 辅助信息记录：记录采样时间、位点、天气、环境气温、光照强度、静态箱有效高度
- 植被生物量取样：在静态箱中划定 1 个 10cm x 10cm 的样方，剪下样方内所有植物的地上部分，放入信封，65℃ 烘干
- 土壤理化性质测定：使用土壤速测仪，测定土壤含水量、土壤温度、土壤含盐量、N、P、K

4. 气体浓度测定

- 使用气相色谱仪测定样品中温室气体的浓度

五、 实验结果及数据分析

1. 采样环境

下表 (Tab.1) 为采样当天的基本环境.

Tab. 1: 采样环境

数据组	采样时间	采样地点	天气	环境温度/℃	光照强度/lx	静态箱有效高度/cm
Site 1	2024/10/28	生物实验中心后方草坪	多云转阴	21.8	79.5	26.2
-From Group3	15:08-15:25	30°18'00"N,120°4'39"E				
Site 2	2024/10/28	生物实验中心后方林下	多云转阴	19.8	157.3	26.0
-From Group4	14:59-15:15	30°18'00"N,120°4'39"E				

2. 土壤条件

下表 (Tab.2) 为采样地点的土壤条件.

Tab. 2: 土壤条件

数据组	土壤水分	土壤温度/℃	土壤盐分/ $mg \cdot cm^{-1}$	氮含量/ $mg \cdot kg^{-1}$	磷含量/ $mg \cdot kg^{-1}$	钾含量/ $mg \cdot kg^{-1}$
Site 1	28.30%	21.3	0.1	9	8.3	22.1
-From Group3						
Site 2	14.61%	21.5	0.02	2.2	2.1	5.5
-From Group4						

3. 数据分析

以采样时间为横坐标 (每次采样间隔均为三分钟), 待测气体浓度为纵坐标, 绘制散点图, 并进行线性拟合, 结果见 Fig.1. 再使用线性拟合, 可得各组数据的浓度变化率 $\frac{dC}{dt}$ (拟合结果见附表 Tab.6), 带入公式:

$$F = \rho \times \frac{273^{\circ}C}{273^{\circ}C + T} \times H \times \frac{dC}{dt}$$

(4)

即可求出各组的气体通量（取 $\rho = 1.29 \times 10^6 \text{mg/m}^3, T_1 = 21.8^\circ\text{C}, T_2 = 19.8^\circ\text{C}, H_1 = 0.262\text{m}, H_2 = 0.260\text{m}$ ）. 计算结果见 **Tab.3**.

再绘制光照和黑暗条件下各气体通量的对比柱状图，结果见 **Fig.2**.

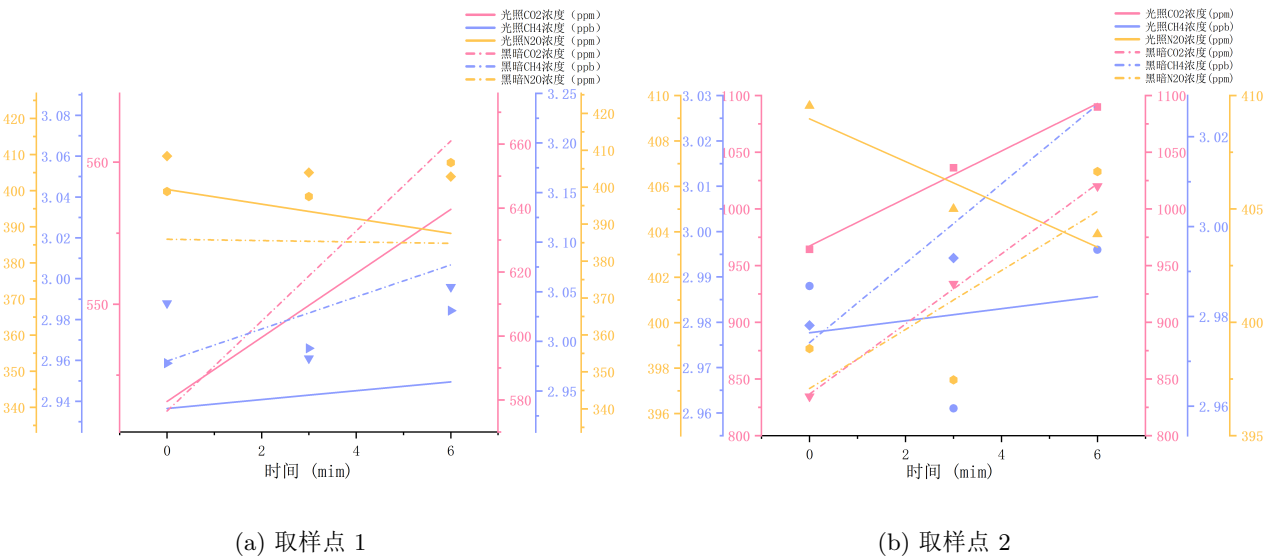


Fig. 1: 静态箱内气体浓度随时间变化图

Tab. 3: 气体通量测定结果（单位： $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ）

样本编号	小组编号	光			暗		
		F_{CO_2-L}	F_{CH_4-L}	$F_{\text{N}_2\text{O}-L}$	F_{CO_2-D}	F_{CH_4-D}	$F_{\text{N}_2\text{O}-D}$
site 1	group 3	0.708054	0.000681	-0.000637	4.417418	0.005073	-5.772×10^{-5}
site 2	group 4	6.566992	0.000417	-0.000295	9.702885	0.002770	4.103×10^{-4}

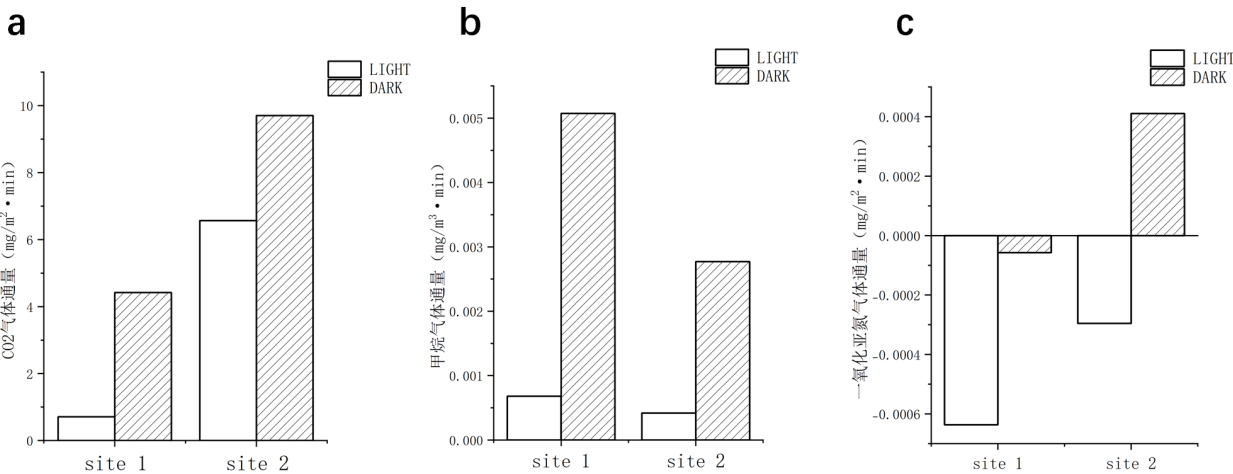


Fig. 2: 光照与黑暗条件下气体通量对比柱状图。(a) 二氧化碳，(b) 甲烷，(c) 一氧化二氮

由 **Fig.2**可知：对于二氧化碳通量，两个采样地点都是黑暗状况下大于光照状况，说明植被在光照条件下进行光合作用，吸收了部分二氧化碳，与预期结果初步符合；对于甲烷通量，两个采样地点都是光照条件下远远低于黑暗条件，推测土壤中存在产甲烷细菌，且在黑暗条件下代谢强于光照条件；对于一氧化二氮通量，两地光照条件下为负值，黑暗条件下一地接近于 0，另一地为正值，推测采样系统中存在少量的固氮细菌，在光照条件下能够利用一氧化二氮，但由于该气体含量极低，也推测为是测量误差导致。

现对采样点的温室气体通量构成进行分析，根据公式：

$$NEE = GEP - ER$$

(5)

狭义的 NEE 即为光照条件下二氧化碳通量，狭义的 GEP 即为光照和黑暗条件下二氧化碳通量之和，狭义的 ER 即为黑暗条件下二氧化碳通量。广义的 NEE 需要考虑甲烷和一氧化二氮的排放，使用二氧化碳当量进行换算，1 当量甲烷相当于 28 当量二氧化碳，1 当量一氧化二氮相当于 265 当量二氧化碳，修正后的 NEE 和 ER 表达式为：

$$NEE = F(CO_2 - L) + 28 \cdot F(CH_4 - L) + 265 \cdot F(N_2O - L)$$

(6)

$$ER = F(CO_2 - D) + 28 \cdot F(CH_4 - D) + 265 \cdot F(N_2O - D)$$

(7)

再带入 (5) 式即可求出广义的 GEP. 计算结果见下表 (**Tab.4**) . 绘制 GHG 构成的柱状图，见 **Fig.3**. 由上述计算结果可以看出：(i) 广义的 GHG 通量与狭义的 GHG 通量相差不大，只有微小的下降，说明在草坪、人工林生态系统中，甲烷与一氧化二氮等气体对 GHG 的影响可以忽略不计，即可以忽略土壤中产甲烷菌、固氮菌的影响；(ii) 在当天的测量中，两地的总碳通量均为正值，说明测量的系统净排出碳，我们认为原因是当天天气状况为阴天，光强较弱，植物的光合强度小于呼吸强度；(iii) 对比取样地 1 与取样地 2 的 GHG，发现 1 地的总生产量、呼吸量、净碳通量都低于 2 地，推测是 1 地的生物量要小于 2 地，1 地均为草本，2 地存在一些灌木，1 地生命活动更弱，从土壤环境来看，1 地的土壤盐分较高，土壤腐殖质少，可能会抑制植被、微生物的各项生理活动。

Tab. 4: 系统 GHG 通量分析 (单位: $mg/(m^2 \cdot min)$)

采样点	狭义（只考虑 CO_2 ）			广义（考虑 CO_2 CH_4 N_2O ）		
	NEE	GEP	ER	NEE	GEP	ER
site 1	0.708	5.125	4.417	0.558	5.103	4.544
site 2	6.567	16.270	9.703	6.500	16.390	9.889

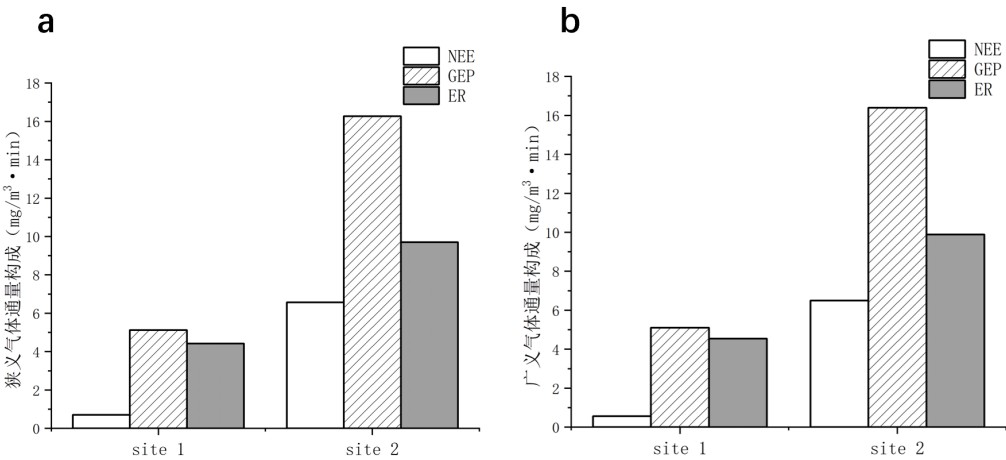


Fig. 3: GHG 构成柱状图. (a) 狭义 GHG 通量, (b) 广义 GHG 通量

六、 附录

原始数据见下表.

Tab. 5: 气相色谱测定气体浓度

采样点	LIGHT			DARK		
	CO_2 /PPM	CH_4 /PPM	N_2O /PPB	CO_2 /PPM	CH_4 /PPM	N_2O /PPB
site 1	543.028	2.930	408.944	579.787	2.997	385.905
	550.135	2.956	377.078	612.205	2.995	385.359
	556.570	2.943	396.769	664.278	3.094	384.799
	964.309	2.988	409.553	834.490	2.978	398.835
site 2	1036.303	2.961	405.009	933.827	2.993	397.460
	1089.910	2.996	403.904	1020.069	3.031	406.646

Tab. 6: 气体浓度变化速率（拟合直线斜率）（单位：(ppm(CO_2 and CH_4) or ppb(N_2O))/min）

采样点	LIGHT			DARK		
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2	CH_4	N_2O
site 1	2.257	0.00217	-2.029	14.081	0.01617	-0.184
site 2	20.933	0.00133	-0.9415	30.929	0.00883	1.308