
Eco-Cell 生态仓观测控制实验系统

设计 方案 案

一、系统应用

农业、林地、淡水等生态系统的服务功能因气候变化、生物多样性减少及土地使用改变面临威胁，为了保护或改善生态系统服务功能，需要了解和预测生态系统对目前和未来变化的反应，如新的措施和潜在的环境转变点。没有充分了解生态系统和环境之间的敏感依存关系，将无法评估影响、控制风险或有效利用生态系统结构和功能的预期变化带来的收益。

Eco-Cell 生态仓观测模拟系统提供的重复实验单元可内置特定的生态系统，在环境因子可控的条件下，实时、在线测量生态系统过程。



Eco-Cell 因提供精确的环境控制和在线测量各种尺度的生物、生态系统的状态及活动 (flux)，该设施在复杂的自然状态研究和简化的实验室试验之间搭建了桥梁。因将生态系统内置在一个实验箱中，它可以利用这个限制优势，精确地测量不同生态系统单元中的分子交换信息，包括和大气的交换信息。

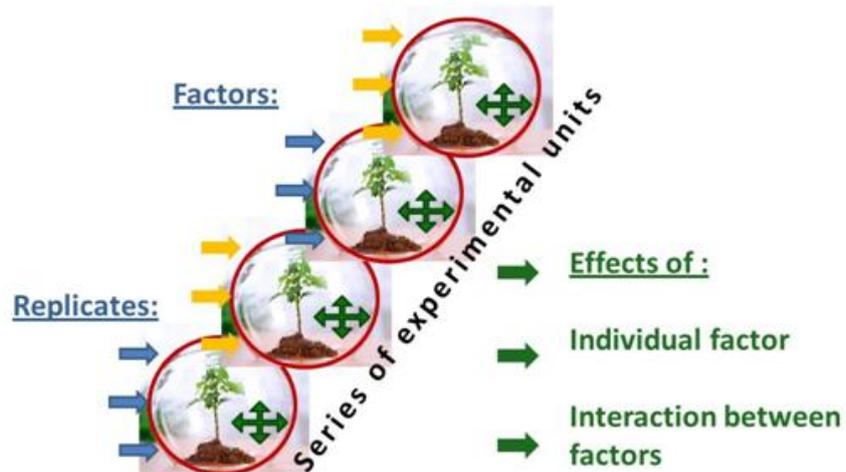
该系统常用于研究生态过程及其机理。可实现对多种痕量气体在生态系统和大气中的交换过程的连续监测和采样。此外，还可监测土壤和水的其它参数。配合其复杂的土壤灌溉和大气环境分析系统，可控制 CO₂、温度、RH 等，同时连续监测土壤中生物质循环和微生物过程。

还用于监测温室气体平衡，大气中温室气体的增加被认为是全球变暖的主要原因。减缓全球变暖的趋势，首先需要研究和控制温室气体的排放和吸收。

二、系统功能

（一）系统设计

Eco-Cell 生态仓观测模拟系统一般由 12 个重复的实验单元组成，可实现 2 个因子、2 个梯度水平的平行实验，一般有 3 个重复。也可以有更多实验单元，完成更多的平行实验。



每个实验单元由圆锥状的环境控制生长箱和蒸渗仪组成。生长箱用于控制作物生长的环境条件，如空气温度、RH、光照、降雨、气体浓度等，蒸渗仪用于控制土壤水分、地下水位等，并可计算土壤水分通量，还可收集土壤溶液，用于分析土壤养分淋溶等。



每一个实验单元的环境参数可以调整至与外界环境一致。数据可自动无线传输。

（二）系统功能

1、总体结构

建筑总长 100 米。12 个实验单元，2 个边缘隔离单元组成。用于环境控制和陆地生态系统过程测量。地上实验仓的尺寸依据生态样本确定。蒸渗仪高 0.5-2 米，面积 0.25、1、2、4 平方米，可以是圆形或方形。



2、环境控制

生态仓内的大气温度、大气湿度可连续、自动控制。自动灌溉系统可控制土壤水分在预设值。生态仓上部的透明罩需要让阳光大部分透过，而且光谱范围与自然光基本一致，不影响生态系统的光合作用。也可以全部遮挡，采用人工光源。

控制方法：

a. 土柱体温度控制

温度控制范围 $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$

温度控制精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$

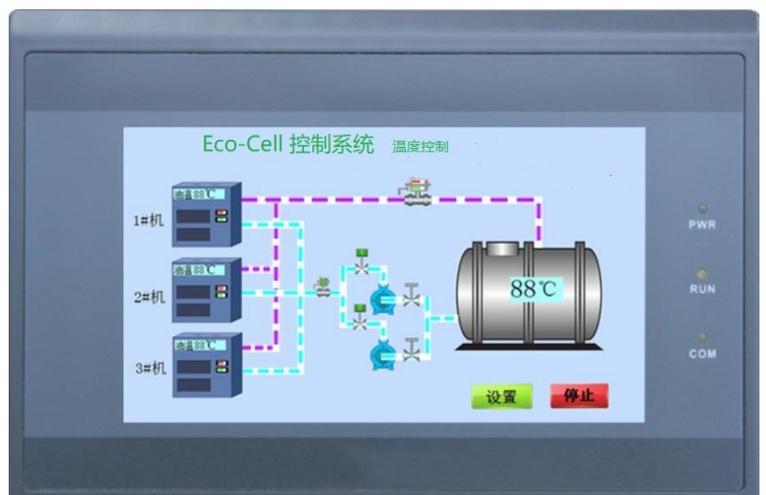
温度测量分辨率 0.1°C

控制系统采用 PID 变频控制系统，可以在操作界面任意设定目标温度
整个土柱可以分段控制（分成 2-3 段）

b. 透明罩体内环境温度控制

温度控制范围 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$

温度控制精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$



温度测量分辨率 0.1℃

使用热泵空调原理直接气体热交换，风扇搅拌

控制系统采用 PID 变频控制系统，可以在操作界面任意设定目标温度

c. 湿度控制

湿度控制范围 30~95℃

湿度控制精度 ±3%RH

湿度测量分辨率 0.1%RH

采用冷却凝结的方法去除环境空气中的水分，降低空气湿度（冷凝式抽湿机）

高压雾化增湿系统

控制系统采用 PID 变频控制系统，可以在操作界面任意设定目标湿度，通过我们专门研发的温度湿度解耦算法，最大限度的节省电力消耗。

d. 自动灌溉控制

灌溉方式：

电动阀控制自动滴灌系统

灌溉控制方式：

1. 可以手动设置灌溉量
2. 可以根据土壤耗水量定时自动补充灌溉
3. 可以根据土壤含水量恒定控制灌溉（动态跟踪）

3、大气化学控制

生态仓内 CO₂ 浓度水平在白天和晚上可控制预定水平。可通过注入 ¹³CO₂ 得到 ¹³C 富集。

内置的可调谐红外双激光直接吸收光谱仪可同时测量 CO、CO₂、O₃、N₂O、H₂O、NH₃ 等六种痕量气体，实现 <1s 的时间分辨率及 <1ppb（1s）的灵敏度，对于粘性气体如 NH₃ 有钝化采样系统。

该光谱仪不同的配置，还可以测量 ¹³C、¹⁵N、¹⁸O、¹⁷O 等同位素。

控制方法：

补偿 CO₂ 浓度范围：400~5000ppm

控制精度±50ppm

测量分辨率 1ppm

CO₂ 气体采用工业 CO₂ 气，由电磁阀通断控制 CO₂ 释放，多点喷射，风扇搅拌混合均匀，CO₂ 分析仪实时监测，结合 PID 控制器，根据设定值与实测值的比较，输出控制电磁阀的信号。

其他气体控制方法也是类似。

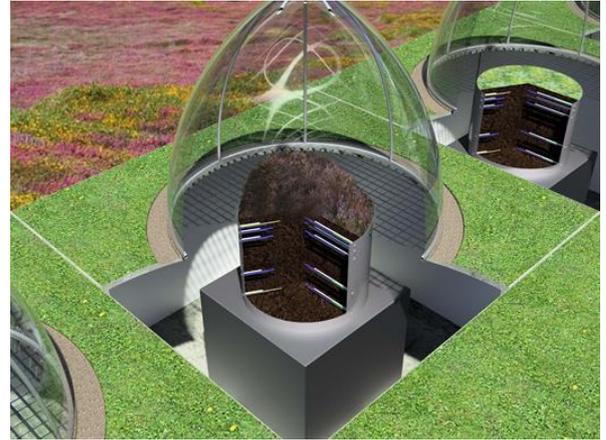
4、在线测量

可实时、在线测量蒸散量、生态系统 CO₂ 净交换量、净 CH₄ 交换量、净 N₂O 交换量。

每个生态仓可测量净 CO₂ 通量中的 ¹³C，或 N₂O、NH₃ 中的 ¹⁵N。

若几个生态仓同时测量，测量频次可按比例递减。

土壤剖面水分、温度、电导率、热通量、CO₂ 等。随季节不同，蒸渗仪内的温度控制单元可调整土壤温度，确保热通量与野外情况相符。



三、系统组成

Eco-Cell 生态仓观测模拟系统分土建工程及科学研究设备 2 部分。土建部分的建造需要有国家建筑资格证的单位设计、建造，其中水、电、气的设计需要满

足科学实验的要求，本文造价不含土建部分。

科学研究设备部分由如下组成：

1、生态仓顶部

生态仓顶部圆锥型高 3-4 米，直径 3.2 米。
采用透明材料，带遮光系统及气体注入回路。



2、生态仓下部

2.1 生态仓下部的房间，16 平米，高 3.3 米的土建工程由用户负责，需要配置水、电、照明系统。

3、环境控制设备

生态仓中的大气温度、湿度能够控制在设定值，CO₂可设定在需要的浓度。若需要¹³C₂浓度设定，可注入¹³C₂气体。人工光源的光谱范围与日光类似。土壤水分由滴灌设备控制。风速可自动设定。

4、蒸渗仪系统

直径 2 米，高 1.5 米或 2 米(或用户自定义尺寸)。最好采用原状土。6 层 AIM-TDR 传感器测量土壤水分、温度、电导率，6 层土壤水势传感器。6 层土壤溶液取样。每分钟测量一次重量。

6 层土壤 CO₂、N₂O、NH₃测量可以获取土壤硝化、反硝化过程中的参数，研究土壤氮循的过程，及土壤温室气体排放过程。

5、在线测量仪器

调谐红外双激光直接吸收光谱仪测量生态系统 CO₂、N₂O、NH₃气体交换，若需要区分冠层和土壤排放，需要 2 套装置。

光合荧光仪同时测量生态仓内的 CO₂ 交换和荧光。



iChamber 自动冠层箱和调谐红外双激光直接吸收光谱仪连接，自动测量土壤或冠层的温室气体交换量，如 CO_2 、 N_2O 、 NH_3 。

生态仓内的光照、温度、湿度、风速可自动在线测量。

6、数据采集和设备监控

在线监测设备，实时采集数据。

7、数据管理和监控

Eco-Cell 生态仓观测控制实验系统的数据平台可实时检查数据质量，管理数据平台的使用。

8、公用测量设备

生态仓、冠层或土壤的 CO_2 、 N_2O 、 NH_3 气体交换、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{18}O 气体同位素测量可公用。植物生态参数如叶面积、冠层结构、植物水势也可采用公用设备。

四、工程应用

目前国际上有 2 个这种生态模拟控制实验设施。最早是法国建造的，目前还在使用，另外一个比利时 Hasselt 大学建造的，总结了法国系统的优点，2018 使用。

Eco-Cell 生态仓观测控制实验系统集合了法国和比利时系统的设计思路，并在测量技术上采用了目前更先进的仪器，弥补了国外 2 套系统的不足。

其中温室气体 CO_2 、 N_2O 、 NH_3 和同位素测量采用了更先进的技术，测量精度和分辨率远远高于国外系统采用的设备。

土壤 CO_2 、 N_2O 、 NH_3 、 HONO 等含氮气体的剖面测量是国外系统没有实现的，这对研究土壤硝化、反硝化过程提供直接的帮助，将填补生态系统氮循环过程研究手段的空白。