

新技术带来新机会



激光同位素分析仪应用简介

朱湘宁
2019-08-06

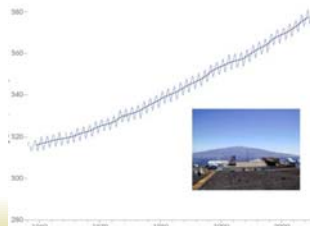
前言



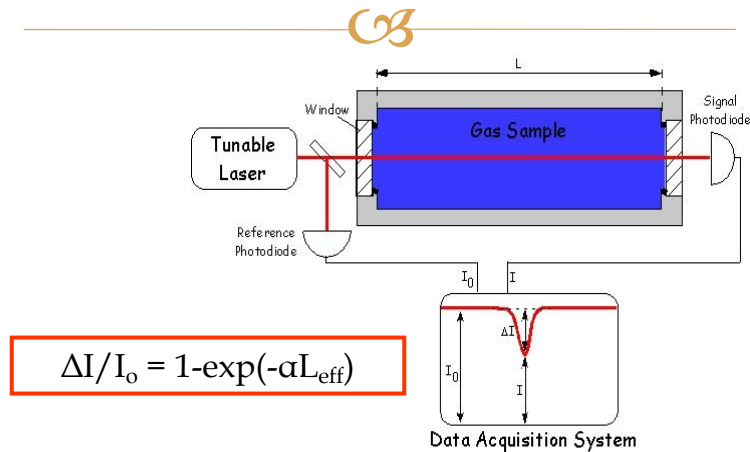
色谱 vs. 红外分析仪	
成熟方法	新方法
准确度高	温度干扰大
精度高	精度低一些
间断测量	连续测量
慢速	快速
取样测量	原位测量



- Charles D Keeling也使用了稳定性同位素技术，以 $\delta^{13}\text{C}$ 证明， CO_2 的升高主要来自化石燃料的燃烧。

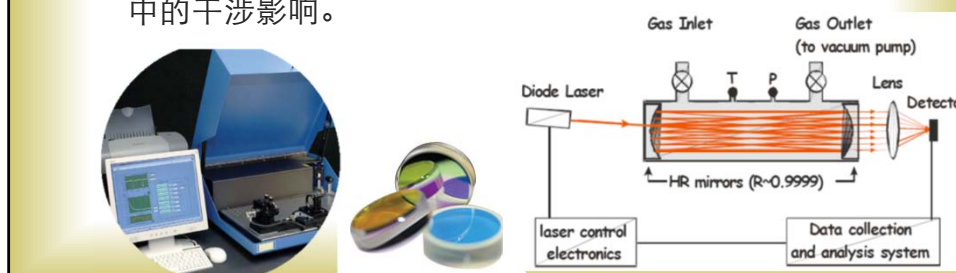


测量原理 Beer-Lambert定律

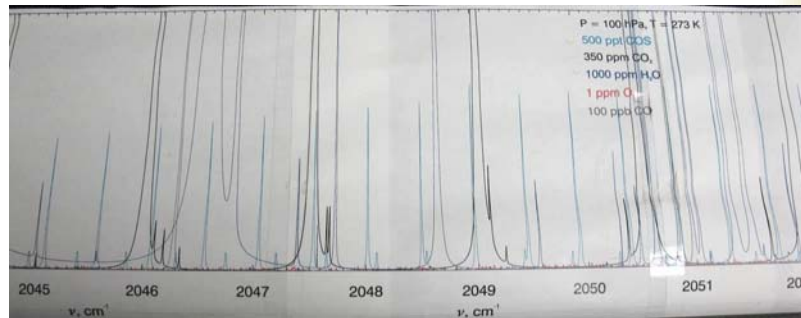


测量原理

- ❧ LGR利用两个高反射镜面制造一个光腔，使激光在两个镜面间进行大量反射，增加吸收强度，进而可以测量含量很低的物质浓度；
- ❧ 光的干涉作用，会造成一定程度的噪音；
- ❧ 利用LGR离轴入射专利技术（OA-ICOS），消除了光腔中的干涉影响。

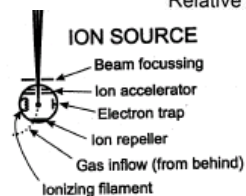
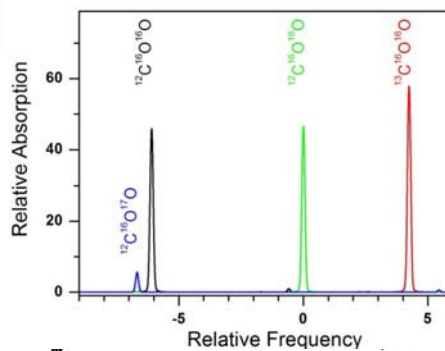


测量原理

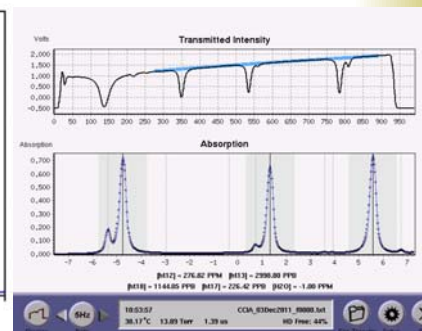


- 应用激光吸收光谱，在极窄波长范围内，特定的气体也会有很多个吸收峰。
- 吸收峰组合，应该是干扰少且吸收强。

如何测量稳定性同位素？

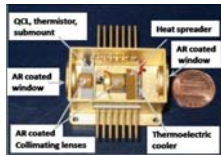


Ratio output



性能提高

- 随着激光器行业的飞速发展，设备的性能有极大的提升。



CH₄、N₂O、CO₂、NH₃、
HF、HCl、OCS、NO₂

¹³C、²H、¹⁷O、¹⁸O、
¹⁵N

1.6μm → 2.05μm → 4.6μm → 9.6μm
CH₄ (1ppb) N₂O (0.1ppb)



测量结果(per mil),.

样品名字	Delta D	Delta D 标准差	Delta ¹⁸ O	Delta ¹⁸ O 标准差	Delta ¹⁷ O	Delta ¹⁷ O 标准差
1.	-44.89	0.05	-5.87	0.02	-3.04	0.06
2.	-32.80	0.39	-3.93	0.10	-1.90	0.08
3.	-42.01	0.10	-5.28	0.02	-2.72	0.04
4.	-32.72	0.11	-3.72	0.05	-1.92	0.02
5.	-57.04	0.15	-8.02	0.04	-4.38	0.02
6.	-57.07	0.16	-8.12	0.03	-4.32	0.04
7.	-56.80	0.06	-7.96	0.07	-4.29	0.07
8.	-56.99	0.14	-7.85	0.05	-4.38	0.09
9.	-30.46	0.14	-3.11	0.05	-1.68	0.09
10.	-30.56	0.26	-3.35	0.02	-1.79	0.08
11.	-23.66	0.04	-2.30	0.02	-1.21	0.04
12.	-46.99	0.14	-6.15	0.02	-3.04	0.11
13.	-47.18	0.10	-6.11	0.02	-3.14	0.04
14.	-47.42	0.20	-6.12	0.05	-3.29	0.08
15.	-47.42	0.25	-6.50	0.01	-3.47	0.04
16.	-47.21	0.14	-6.55	0.05	-3.56	0.05
平均精度		0.15		0.04		0.06

质控数据(per mil),.

样品名字	Delta D	Delta D 标准差	Delta ¹⁸ O	Delta ¹⁸ O 标准差	Delta ¹⁷ O	Delta ¹⁷ O 标准差
LGR4B	-51.94	0.09	-8.03	0.03	-4.21	0.03
LGR4B	-52.11	0.06	-8.07	0.03	-4.04	0.08
平均值	52.03		-8.05		-4.13	
控制真值	51.80		-8.02		-4.17	
与真值差异	0.23		0.03		0.04	

CO₂同位素分析仪



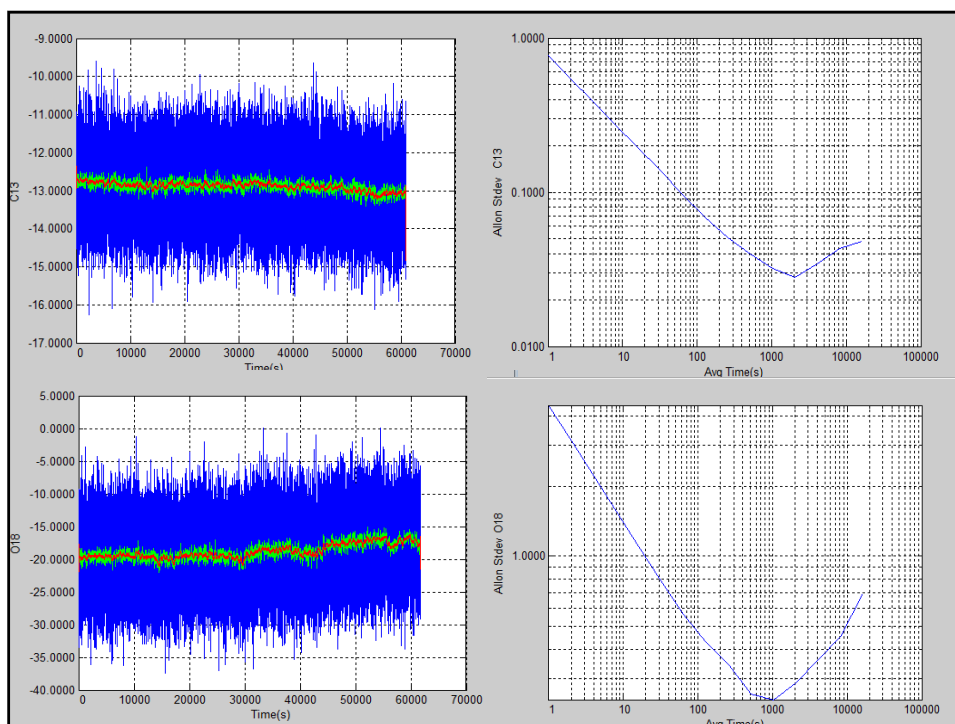
location, location, location

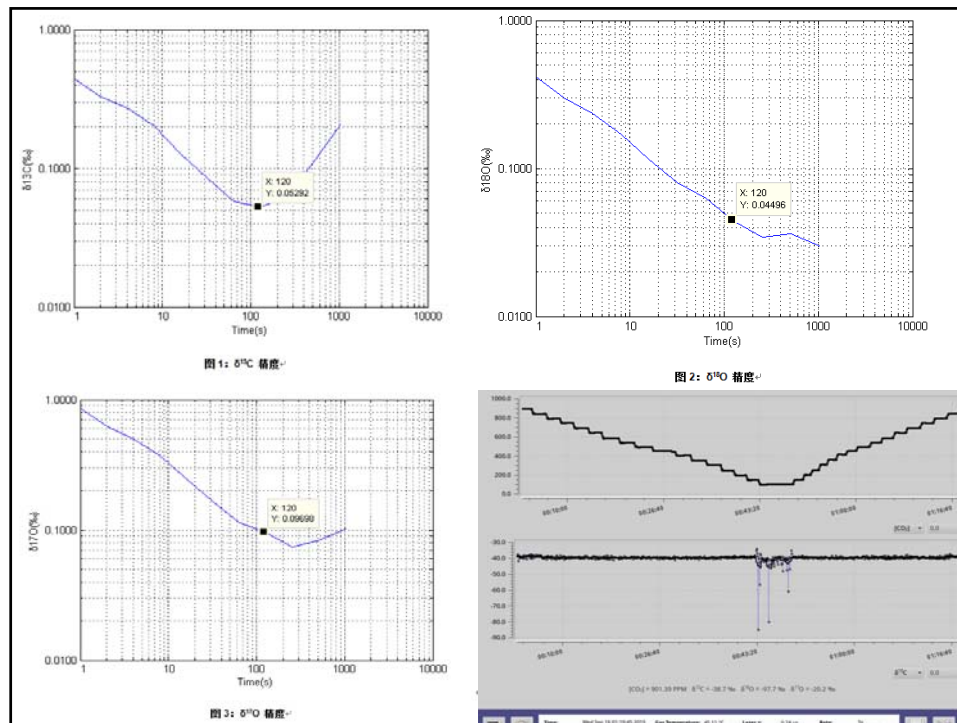


CCIA-38: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, CO_2 , H_2O
With batch injection



CCIA-48: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$, CO_2 , H_2O





N₂O同位素分析仪与CH₄同位素分析仪



N₂OIA: $\delta^{15}\text{N}^{\alpha}$, $\delta^{15}\text{N}^{\beta}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$,
N₂O, H₂O



$\delta^{13}\text{C}$, CH₄, H₂O

新的应用可能



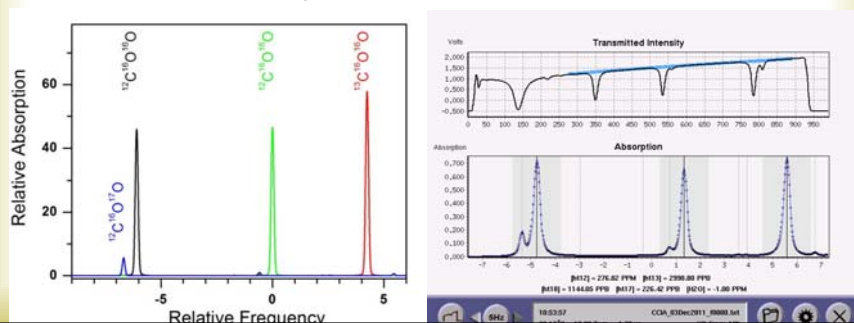
Novel Instruments Provide New Opportunities!

1. 简化某些参数的测量

a. 无同分子量分子影响

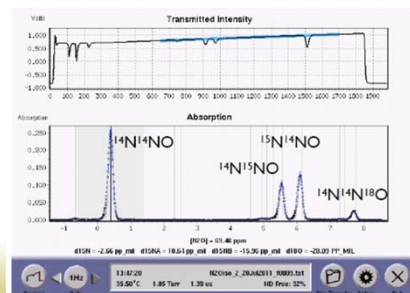


- 比如 N_2O 和 CO_2 ，同为分子量是44的分子，在使用质谱仪测量时，相互干扰。
- $^{13}\text{CO}_2$ 和 ^{17}OCO ，分子量同为45，一般情况下只能忽略 ^{17}OCO 这个误差。

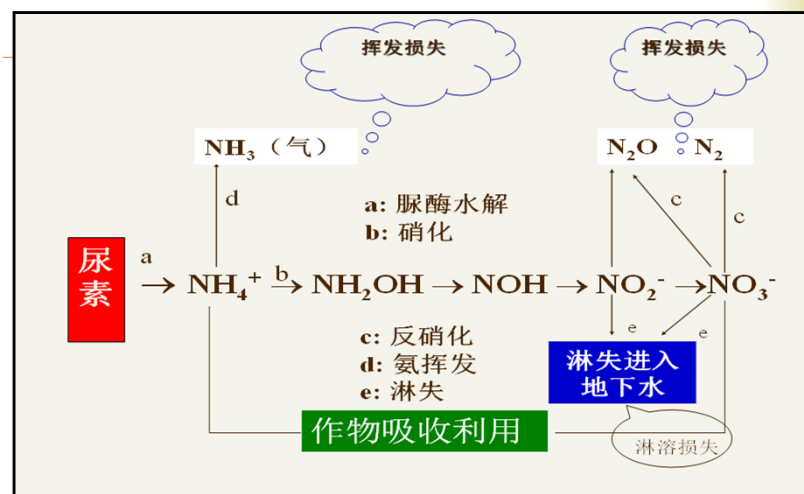


b. 区分同位素异位体

- N_2O 的分子排列为N-N-O，有两种同位素异构体。
- $\text{N-}^{15}\text{N-O}$ ($\delta^{15}\text{N}^\alpha$)和 $^{15}\text{N-N-O}$ ($\delta^{15}\text{N}^\beta$)
- 应用质谱测量同位素异构体，过程复杂；
- 但是对于OA-ICOS技术而言，比较简单。



■ 氮素的硝化作用和反硝化作用



兰 婷：水稻土氮转化过程速率及其生产与环境效应。2013年博士论文

优势位点



硝化作用

- ★ 由羟胺氧化作用 (*hydroxylamine oxidation*) 产生 N_2O 的
优势位点: $33.5 \pm 1.2 \text{ ‰}$;
- ★ 由欧洲亚硝化单胞菌 (*Nitrosomonas europaea*) 和亚硝化螺杆菌 (*Nitrosospira multiformis*) 产生 N_2O 的
优势位点: $32.5 \pm 0.6 \text{ ‰}$;
- ★ 由发孢甲基弯曲菌 (*Methylosinus trichosporium*) 产生 N_2O 的
优势位点: $35.6 \pm 1.4 \text{ ‰}$;

反硝化作用

- ★ 由 *N. multiforum* 硝化细菌的反硝化作用产生 N_2O 的
优势位点: $0.1 \pm 1.7 \text{ ‰}$;
- ★ 由 *Pseudomonas chlororaphis* 脱氮菌的亚硝酸还原作用产生 N_2O 的
优势位点: $-0.6 \pm 1.9 \text{ ‰}$;



- ★ 由 (*Pseudomonas aureofaciens*) 反硝化细菌亚硝酸盐还原作用产生的 N_2O 的
优势位点: $-0.5 \pm 1.9 \text{ ‰}$;
- ★ 由硝酸盐还原作用产生的 N_2O 的
优势位点: $-0.5 \pm 1.9 \text{ ‰}$;
 $-0.5 \pm 0.6 \text{ ‰}$;
- ◆ $\sim 33 \text{ ‰}$ 和 $\sim 0 \text{ ‰}$ 分别是硝化作用和反硝化作用的特征性的优势位点值。这些数值可作为定量地区分 N_2O 来源的基点。

C. 用质谱不容易测量的

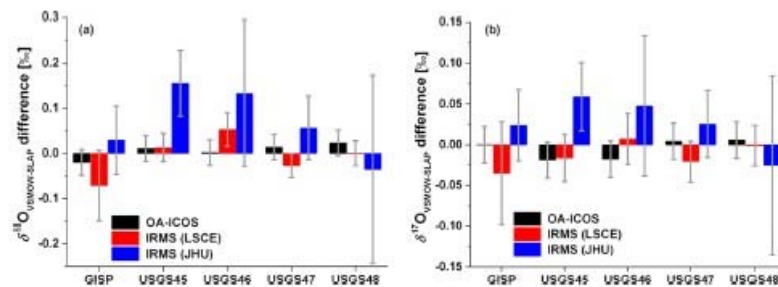
^{17}O 的，因为测量的原因，以往只是估算，现在随着仪器的成熟，目前有些用户开始关注 ^{17}O 盈余。



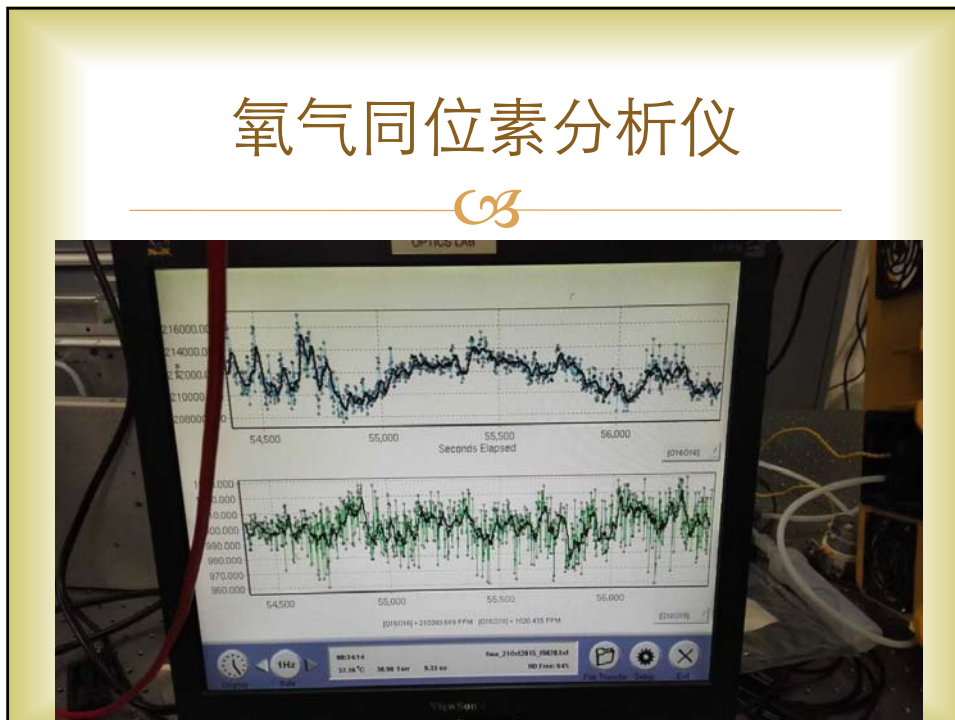
analytical
chemistry

Article
pubs.acs.org/ac

Measurement of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$, and ^{17}O -excess in Water by Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy and Isotope Ratio Mass

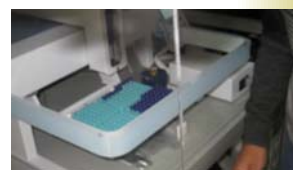


氧气同位素分析仪



2. 无需转化过程

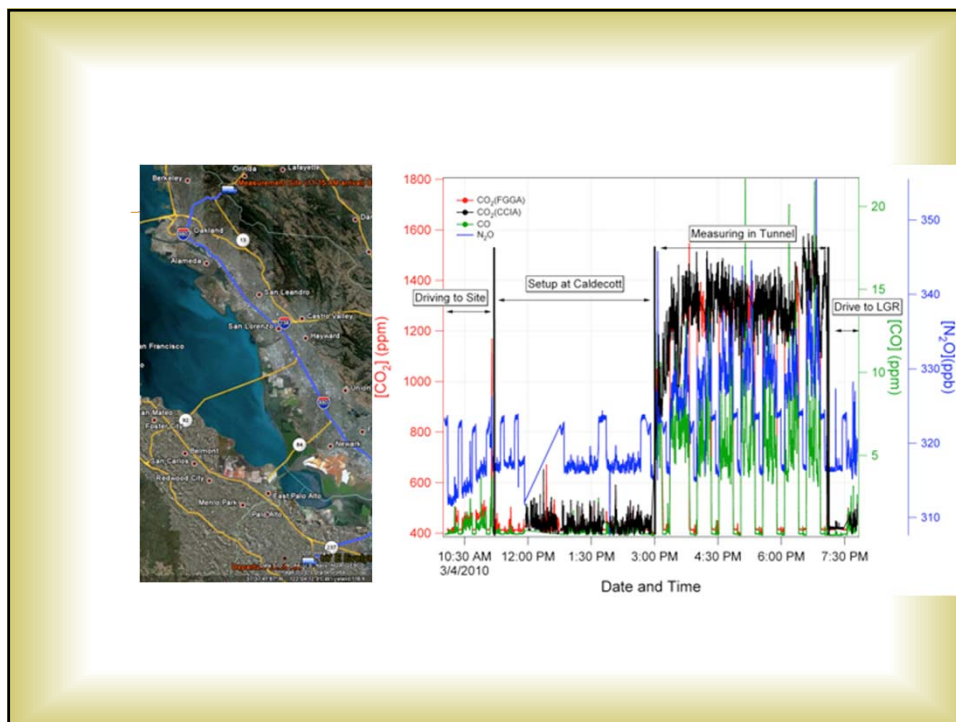
- ❧ 无需将水裂解或者置换（比如使用同位素质谱仪测量水中氢氧同位素，需要将 H_2O 转化为 H_2 , CO 等再测量），减少此过程的误差。
- ❧ 对于含有其他大分子有机物的溶液，转化过程会带来非常大的误差，而OA-ICOS技术可以比较方便的解决此类问题。（比如血液中水的同位素测定，具体细节参照专利<http://www.faqs.org/patents/app/20120021526>）



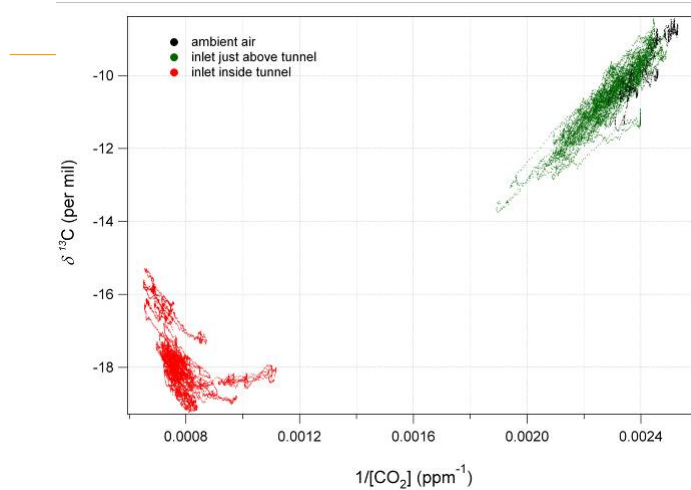
3. 原位测量

- ❧ 机载、无人机、舰载、深水机器人、车载、单人携带

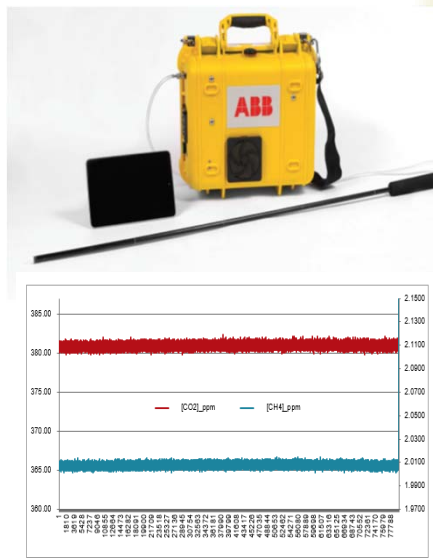




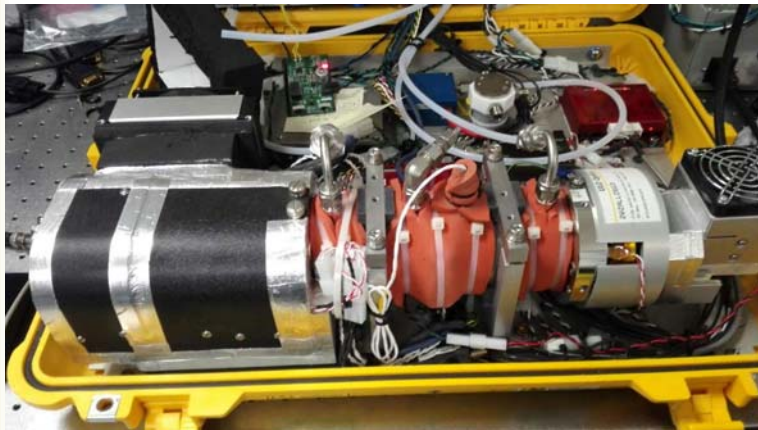
隧道内外的CO₂来源



超便携温室气体分析仪(CH₄, CO₂, H₂O)



便携式N₂O分析仪

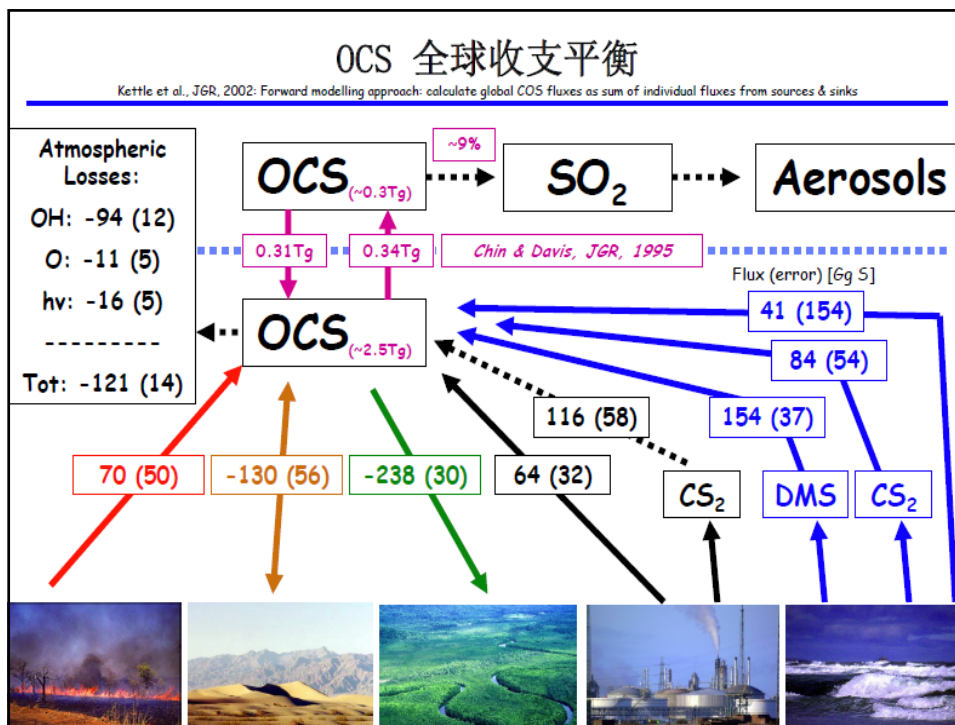


OCS



- ❧ OCS是非常有效的总光合作用指示剂
- ❧ 植物会吸收也会释放CO₂，但是只吸收OCS但是不会释放。
- ❧ 植被不释放OCS，因此可以作为研究总光合的研究工具，耦合OCS和CO₂的测量可以提供深入研究生态系统对环境变化响应的机制。
- ❧ 以往由于缺乏高频设备，只能采取弛豫涡度相关法

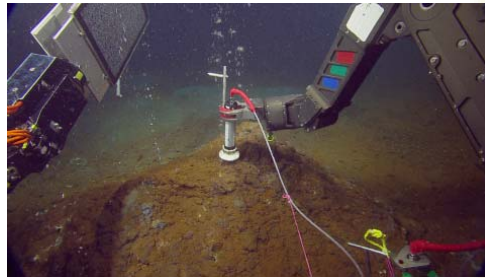
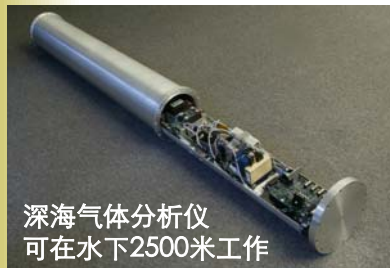




溶解气体分离系统



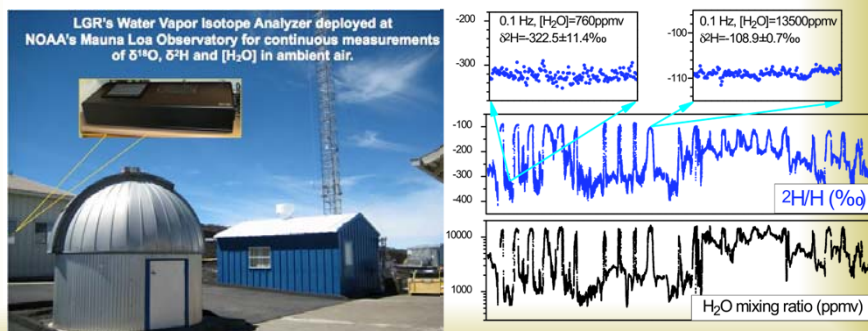
深海气体及同位素分析仪



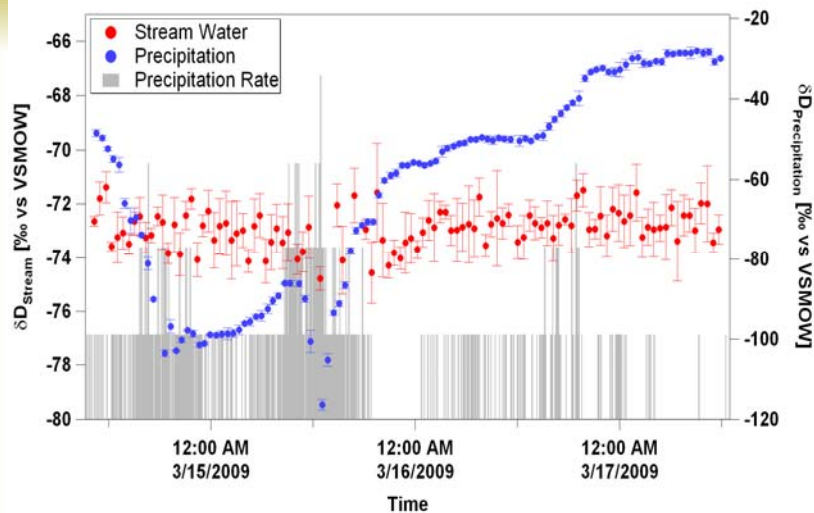
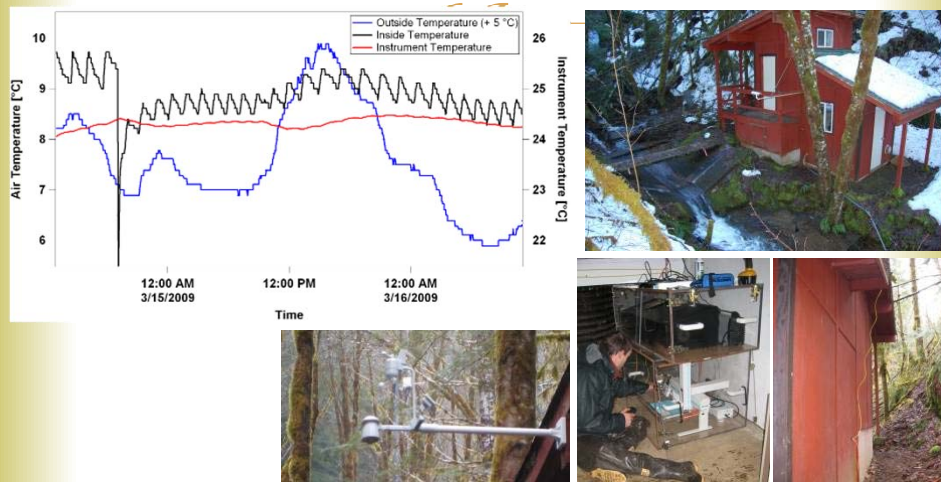
4.连续高频数据



- OA-ICOS技术测量同位素，在保持精度的基础上，有着极高的测量频率，最新的设备甚至可以达到5Hz的输出。
- 因此，可以方便用于高频变化的监测，获得更小的时间分辨率。



连续高频测量



Manish Gupta, Elena Berman, Chris Gabrielli, Tina Garland, J. McDonnell

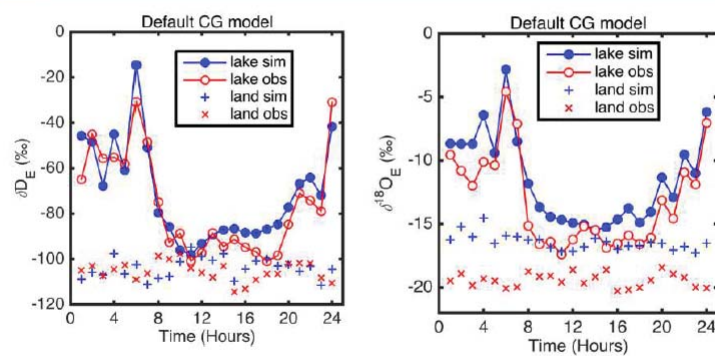
High-Frequency Field Deployable Isotope Analyzer for Hydrological Applications

Water Resource. Research, doi:10.1029/2009WR008265, in press

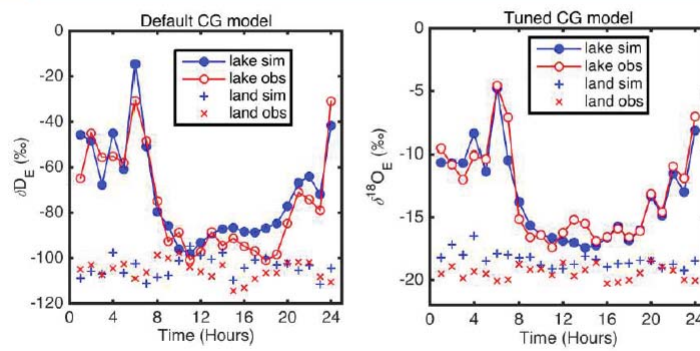
在线测量蒸发的同位素



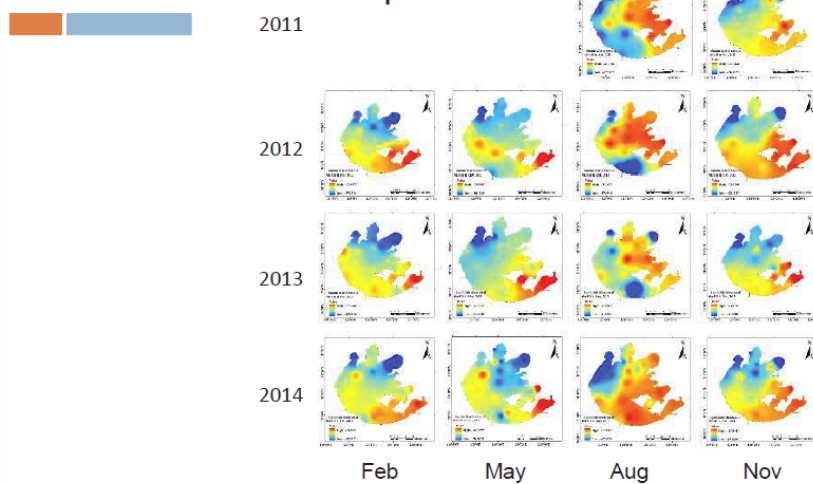
Isotopic compositions of lake evaporation



Isotopic compositions of lake evaporation



Temporal and spatial variations in lake water D composition



Validation and Application of Cavity-Enhanced, Near-Infrared Tunable Diode Laser Absorption Spectrometry for Measurements of Methane Carbon Isotopes at Ambient Concentrations

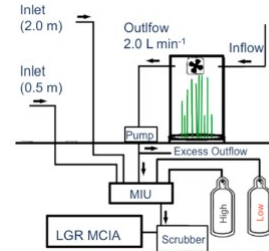
Behzad Mortazavi,^{1,2,*} Benjamin J. Wilson,^{1,2} Feng Dong,³ Manish Gupta,³ and Doug Baer³

¹Department of Biological Sciences, University of Alabama, Box 870344, Tuscaloosa, Alabama 35487, United States

²Dauphin Island Sea Lab, 101 Bienville Boulevard, Dauphin Island, Alabama 36528, United States

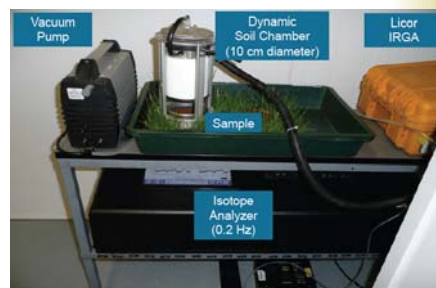
³Los Gatos Research (LGR), 67 East Evelyn Avenue, Mountain View, California 94041-1529, United States

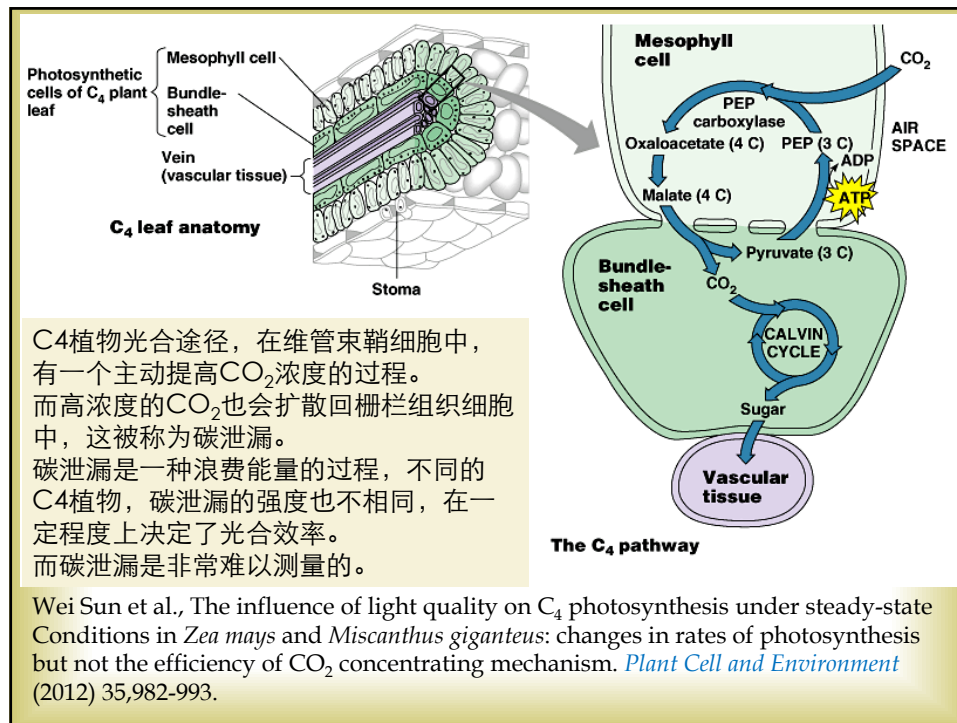
ABSTRACT: Methane is an effective greenhouse gas but has a short residence time in the atmosphere, and therefore, reductions in emissions can alleviate its greenhouse gas warming effect within a decadal time frame. Continuous and high temporal resolution measurements of methane concentrations and carbon isotopic ratios ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$) can inform on mechanisms of formation, provide constraints on emissions sources, and guide future mitigation efforts. We describe the development, validation, and deployment of a cavity-enhanced, near-infrared tunable diode laser absorption spectrometry system capable of quantifying $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ at ambient methane concentrations. Laboratory validation and testing show that the instrument is capable of operating over a wide dynamic range of methane concentration and provides a measurement precision for $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ of better than $\pm 0.5\text{‰}$ (1σ) over 1000 s of data averaging at ambient methane concentrations. The analyzer is accurate to better than $\pm 0.5\text{‰}$, as demonstrated by measurements of characterized methane/air samples with minimal dependence ($<1\text{‰}$) of measured carbon isotope ratio on methane concentration. Deployment of the instrument at a marsh over multiple days demonstrated how methane fluxes varied by an order of magnitude over 2 day deployment periods, and showed a 17 ‰ variability in $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ of the emitted methane during the growing season.



利用甲烷同位素分析仪进行开路法通量测量，分析甲烷通量和甲烷来源。

5.更便于应用于植物生理研究





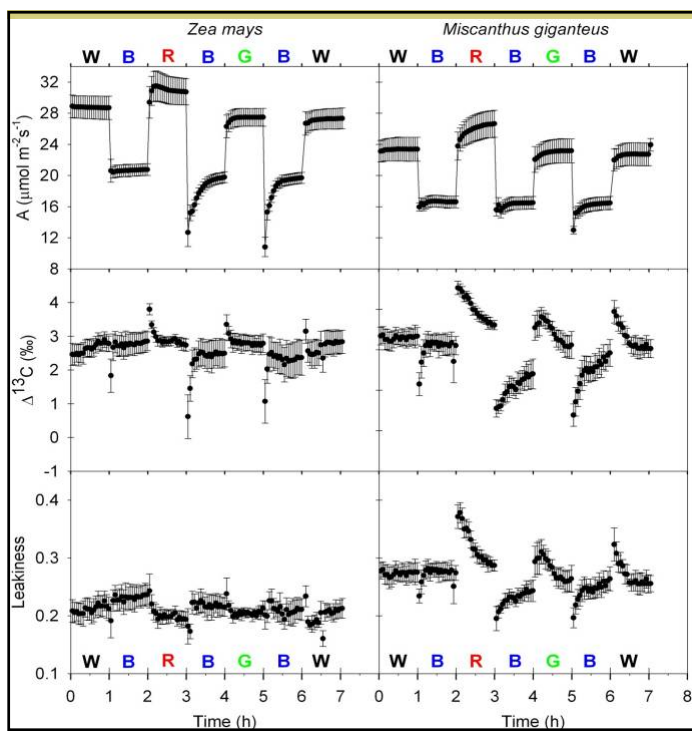
Farquhar关于碳泄漏的模型

$$\Delta^{13}C = \frac{a(C_a - C_i)}{C_a} + \left[\frac{b_4 + \phi \left(\frac{b_3 C_s}{C_s - C_i} - s \right)}{1 + \frac{\phi C_i}{C_s - C_i}} \right] \times \left(\frac{C_i}{C_a} \right)$$

$$\phi = \frac{(C_s - C_i) \times [b_4 C_i - C_a \Delta^{13}C + a(C_a - C_i)]}{C_i \times [C_a \Delta^{13}C - a(C_a - C_i) - C_s(b_3 - s) - s(C_s - C_i)]}$$

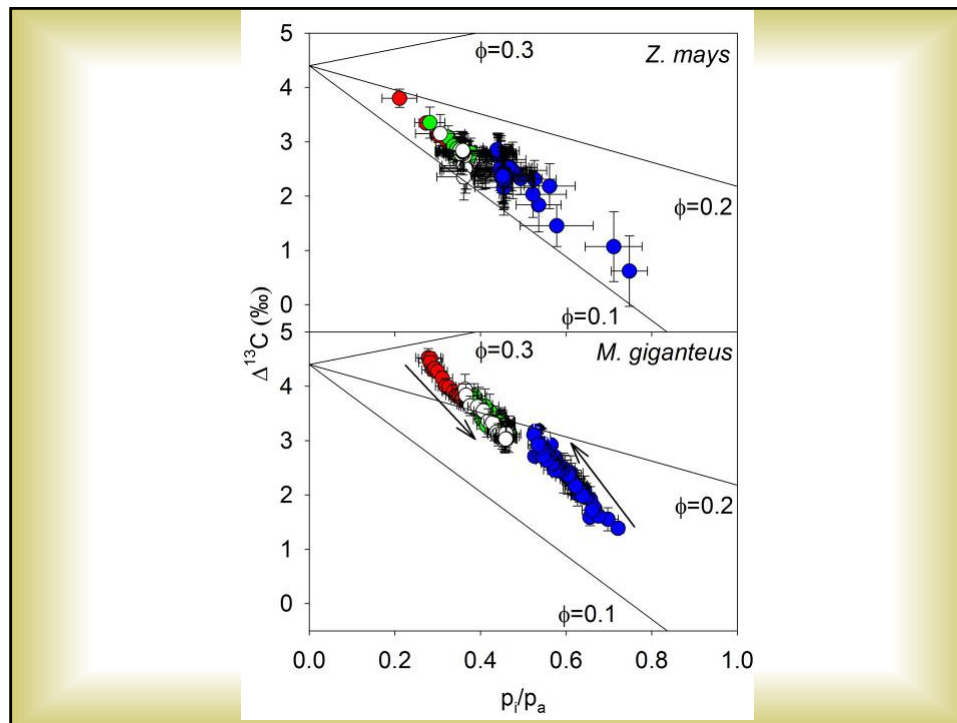
Farquhar 1983

在线光合碳同位素判别测量



光质变化的影响

植物会调整回稳定的碳泄露值



箱室法碳氧同位素土壤通量

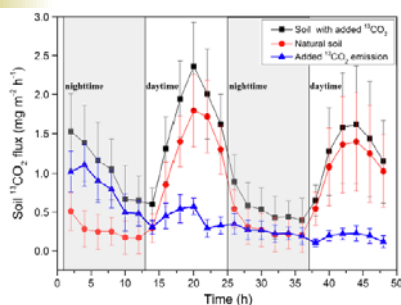


Figure 2. Temporal variations in soil $^{13}\text{CO}_2$ fluxes of soil with added $^{13}\text{CO}_2$ and natural soil within 48 h after addition of $^{13}\text{CO}_2$ (mean $\pm$ standard deviation (SD), $n = 21$). Added $^{13}\text{CO}_2$ emission is the difference between soil with added $^{13}\text{CO}_2$ and natural soil. The shadow and white areas in the figure represented the nighttime and the daytime, respectively.

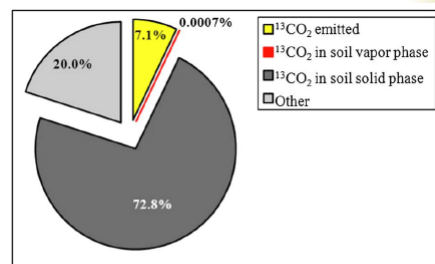


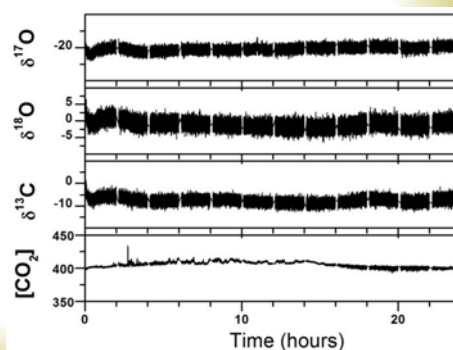
Figure 4. Distribution of adsorbed $^{13}\text{CO}_2$ in the soil phases. (Other represents added $^{13}\text{CO}_2$ that was not accounted for in our study.)

Liu, J., K. Fa, Y. Zhang, B. Wu, S. Qin, and X. Jia(2015),
Abiotic CO₂ uptake from the atmosphere by semiarid desert soil
and its partitioning into soil phases, Geophys. Res. Lett., 42, 5779–5785.

连续高频测量



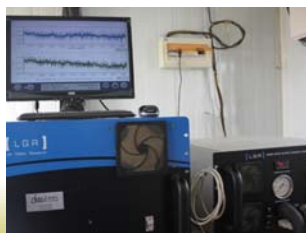
最新的CO₂同位素分析仪可以达到5Hz的测量频率，未来有望进行涡度相关的测量。



6. 与浓度同步测量进行通量拆分



- 激光同位素分析仪可以同时输出气体浓度和同位素丰度，这对于使用 Keeling Plot方法进行通量拆分，无疑方便了很多；
- 而且由于激光分析仪连续测量的特点，在通量拆分的使用中，可以尝试一些新的方法。



一个生态入侵的例子



<http://plants.usda.gov>

3800万公顷草原，被牧豆树不同程度的入侵。



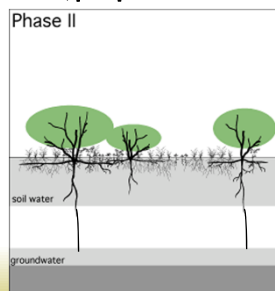
牧豆树是深根植物，可以利用深层的地下水，而C4植物的草本植物是不能利用深层地下水的。



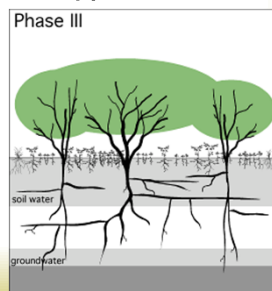
草地



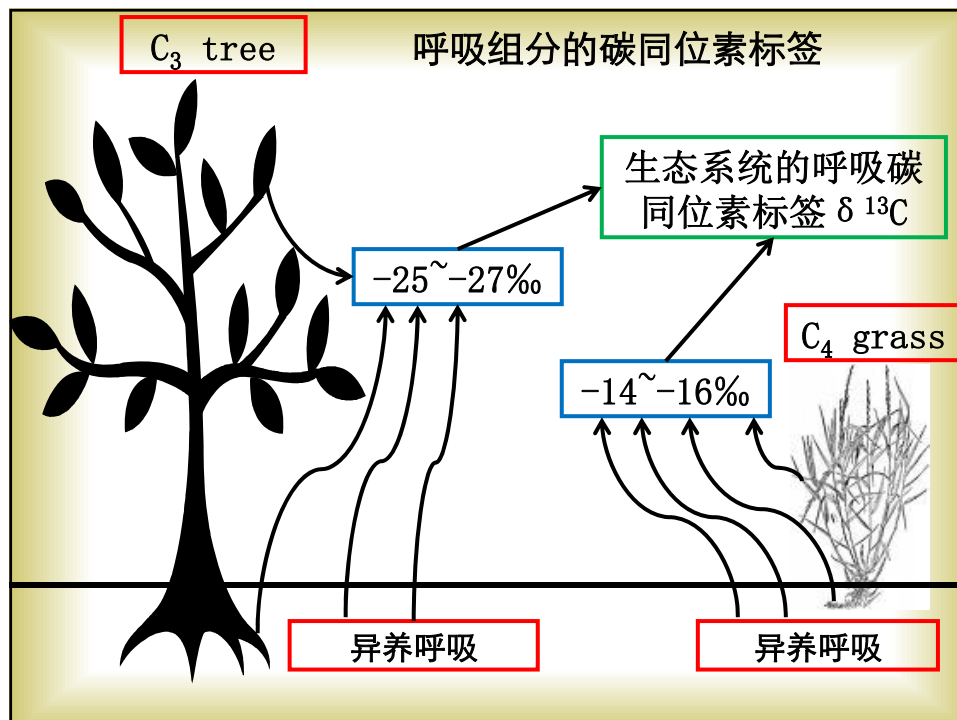
灌木地

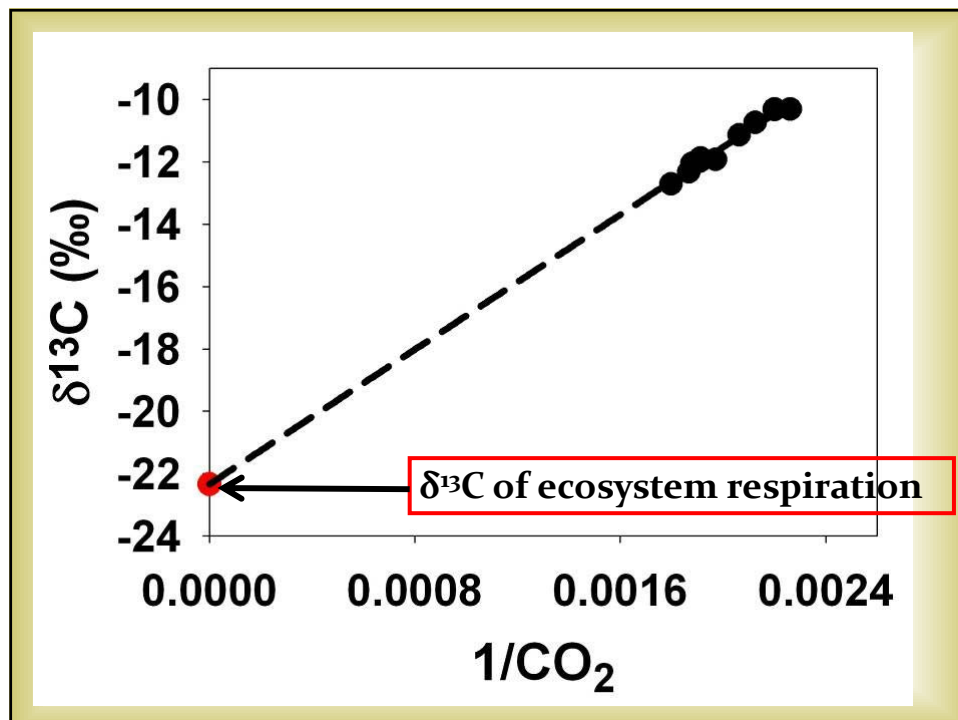
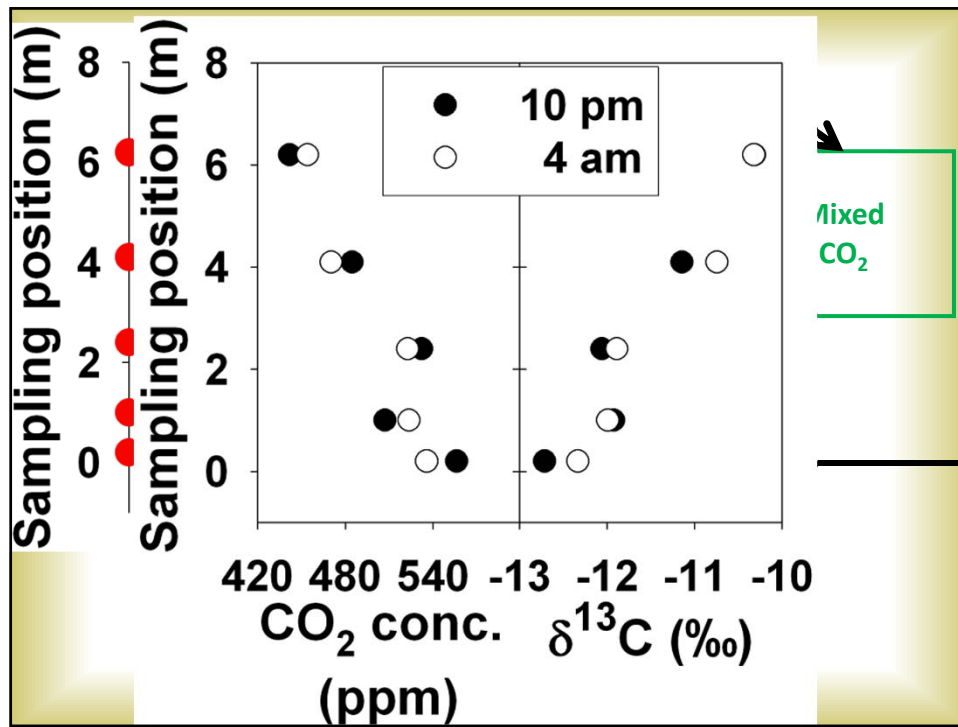


林地



分别在草地、灌木地和林地中利用涡度相关法测量NEE（净生态系统交换），利用晚上的NEE分别代表群落的呼吸值。





灌木地林草组分呼吸碳同位素标签的确定

$$\text{Ecosystem respiration } (R_{\text{shrubland}}) \\ = \text{grass patches } (R_{\text{grass}}) + \text{tree patches } (R_{\text{tree}})$$

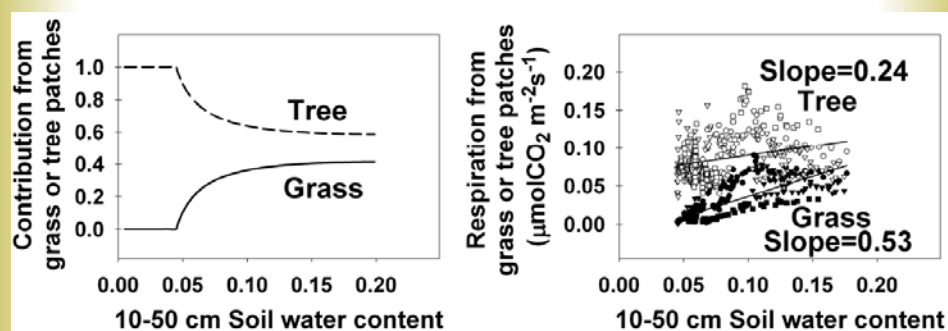
$$R_{\text{shrubland}} \times \delta^{13}\text{C}_{R\text{-shrubland}} = R_{\text{grass}} \times \delta^{13}\text{C}_{\text{grass}} + R_{\text{tree}} \times \delta^{13}\text{C}_{\text{tree}}$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{grass}} = \delta^{13}\text{C}_R \text{ in the grassland}$$

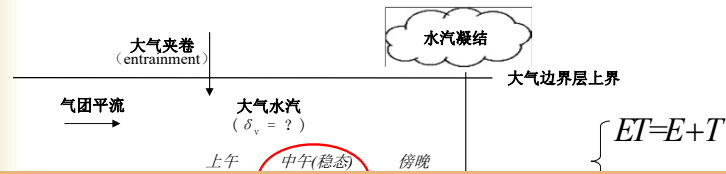
$$\delta^{13}\text{C}_{\text{tree}} = \delta^{13}\text{C}_R \text{ in the woodland}$$



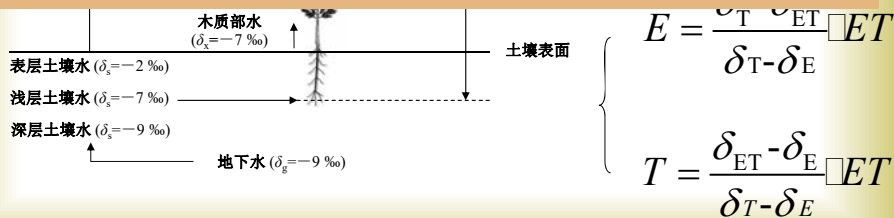
在灌木地呼吸中林草组分的贡献度



区分蒸腾和蒸发



但是通过传统方法获得蒸发和蒸腾的同位素标签 (δE 、 δT) 却是既困难有麻烦。



估算 δ_T 和 δ_E



土壤蒸发的同位素标签 (δ_E) 和植物蒸腾的同位素标签 (δ_T) 通过 Craig-Gordon 方程 (1965) 计算得出

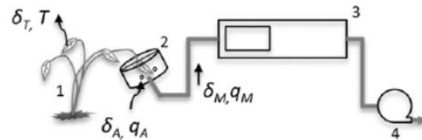
$$\delta_E = \frac{\delta_e / \alpha^* - h\delta_v - \varepsilon_{eq} - (1-h)\varepsilon_k}{(1-h) + (1-h)\varepsilon_k / 1000}$$

$$\delta_T = \frac{\delta_{L,e} / \alpha^* - h\delta_v - \varepsilon_{eq} - (1-h)\varepsilon_k}{(1-h) + (1-h)\varepsilon_k / 1000}$$

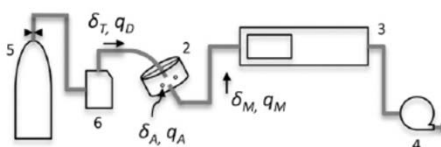
需要抽提设备得到土壤水和植物水，需要冷阱得到大气水；
间断数据，破坏样品；
只适用于短暂的时间。

区分蒸发和蒸腾

(a) Field Measurement Setup



(b) Laboratory Validation Setup



- 1: Sample plant
- 2: Transpiration chamber
- 3: OA-ICOS
- 4: Pump
- 5: High purity nitrogen tank
- 6: Dew Point Generator
- 7: Inset picture of setup

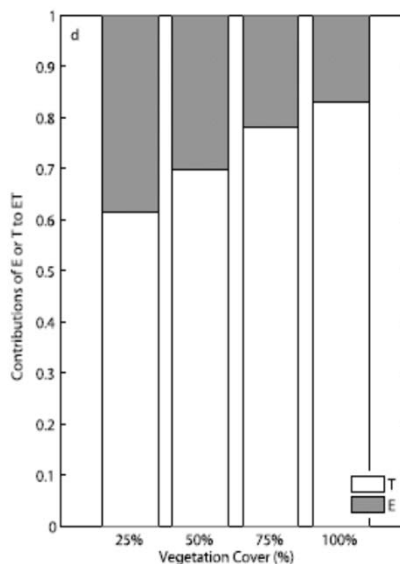
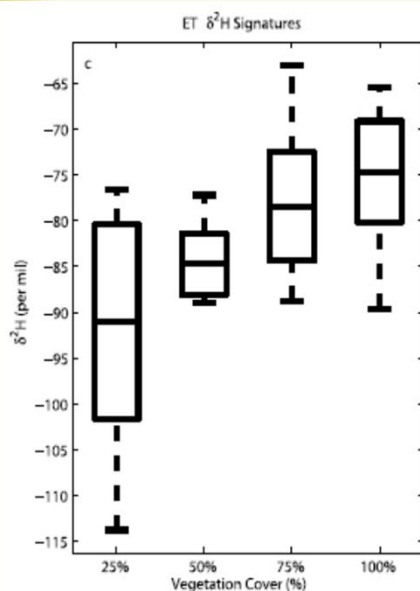
在生物圈2号中进行的可控实验；

以已知同位素丰度的水灌溉， δE 可以计算出， δT 采用在叶室中通入已知同位素丰度的空气测量得到， δET 采用梯度廓线法测量，通过 Keeling Plot方法计算。

所有的数据都是实时，连续，高频的。

这是一种新的尝试，而且更简单！

on across gradients of woody
chnique. *Geophysical Research*
228, 2010



Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural and Forest Meteorology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

Partitioning oak woodland evapotranspiration in the rocky mountainous area of North China was disturbed by foreign vapor, as estimated based on non-steady-state ^{18}O isotopic composition

Shoujia Sun^a, Ping Meng^{a,*}, JinSong Zhang^a, Xianchong Wan^b, Ning Zheng^a, Chunxia He^a

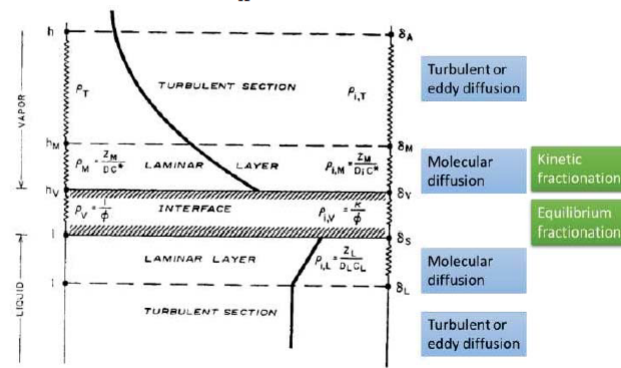
^a State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Table 4
Fractional contribution of transpiration to total ET using isotopic partitioning ($\delta^{18}\text{O}$).

DOY	Time	δ_{EUL}	δ_{TUL}	δ_{ETUL}	$F_T(\%)$
254	8:00–10:00	-29.81 ± 0.26	-0.57 ± 0.34	-2.03	91.44 ± 6.01
	10:00–12:00	-30.60 ± 0.68	2.23 ± 0.54	-0.79	91.19 ± 4.86
	12:00–14:00	-30.73 ± 0.92	2.81 ± 0.36	-0.31	88.05 ± 2.06
	14:00–16:00	-31.55 ± 0.04	4.13 ± 0.84	-1.64	83.82 ± 2.27
	16:00–18:00	-32.24 ± 0.44	8.62 ± 1.43	-10.10	51.11 ± 3.70
257	8:00–10:00	-29.10 ± 0.75	0.58 ± 0.62	-6.86	74.93 ± 5.95
	10:00–12:00	-26.20 ± 1.97	1.06 ± 0.46	-2.70	86.30 ± 3.52
	12:00–14:00	-27.92 ± 0.19	5.10 ± 0.31	-0.33	83.03 ± 2.80
	14:00–16:00	-28.11 ± 0.16	8.40 ± 0.54	-1.60	72.52 ± 1.41
	16:00–18:00	-28.68 ± 0.74	12.65 ± 1.39	-7.19	52.59 ± 3.62
260	8:00–10:00	9.25 ± 1.38	7.51 ± 1.21	-15.52	*
	10:00–12:00	-1.67 ± 0.37	6.52 ± 0.64	-3.54	*
	12:00–14:00	-7.18 ± 0.15	2.67 ± 0.68	-16.72	*
	14:00–16:00	-11.83 ± 2.54	9.55 ± 0.77	-18.47	*
	16:00–18:00	-8.41 ± 0.23	11.43 ± 0.57	-18.45	*
263	8:00–10:00	-18.84 ± 1.47	0.88 ± 0.84	-4.66	70.70 ± 7.92
	10:00–12:00	-21.27 ± 0.38	2.76 ± 0.03	-1.19	85.37 ± 6.87
	12:00–14:00	-23.37 ± 0.93	4.10 ± 0.80	-0.98	81.49 ± 1.54
	14:00–16:00	-24.21 ± 0.10	5.28 ± 0.77	-1.95	75.54 ± 4.21
	16:00–18:00	-25.18 ± 1.05	8.23 ± 1.49	-6.59	50.84 ± 3.12

对经典Craig-Gordon模型的修正

$$\delta_E = \frac{\alpha_{eq}^{-1} \delta_{L,e} - h \delta_V - \varepsilon_{eq} - (1-h) \varepsilon_K}{(1-h) + 10^{-3} (1-h) \varepsilon_K}$$



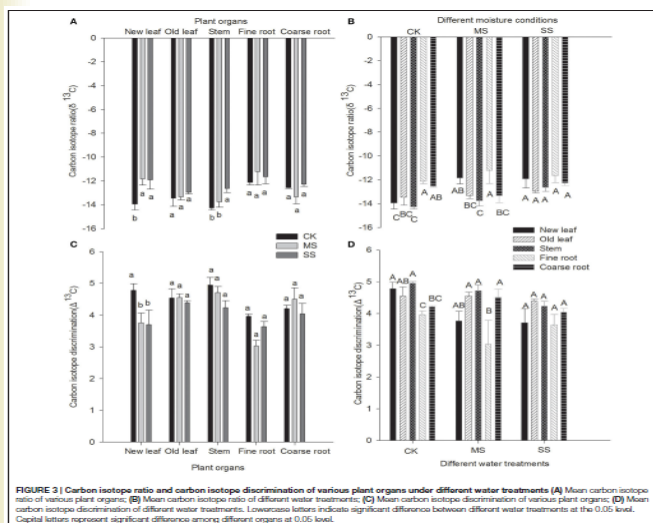
7. 成本



- 较低的成本和维护成本可以让更多的科学家拥有同位素测量设备。
- 低廉的使用成本可以保证做更多的测量，从这个角度来说，在同样的成本下，每一个实验都可以被重新设计一下。



Growth, Morphological, and Physiological Responses to Drought Stress in *Bothriochloa ischaemum*
Ying Liu^{1, 2}, Peng Li^{1, 2*}, Guo Ce Xu^{1, 2}, Lie Xiao^{1, 2}, Zong Ping Ren¹ and Zhan Bin Li²



白羊草在干旱胁迫下每个器官的 $\delta^{13}\text{C}$ 和同位素判别总结如图3，随着干旱胁迫的加剧，每个器官的 $\delta^{13}\text{C}$ 表现出上升趋势。

白羊草 $\Delta^{13}\text{C}$ 值在不同湿度处理条件下随着干旱胁迫的增强呈现下降趋势。

LICA配套产品



新一代植物土壤水分抽提系统



1. 经典真空抽提模式
2. 创新性设计
3. 无需液氮
4. 快速电制冷和加热
5. 抽提效率大大提高 >180样品/24小时
6. 可靠的自动控制和检测系统
7. 简化操作经验要求
8. 可接受的价格
9. 目前世界上唯一一款全自动抽提系统
10. 应用于, IRMS和LGR的水同位素样品制备



传统抽提设备

Contents lists available at ScienceDirect
Science of the Total Environment

Seasonal variation in water uptake patterns of three plant species based on stable isotopes in the semi-arid Loess Plateau

Jun Wang^{a,b}, Bojie Fu^a, Nan Lu^{a,c}, Li Zhang^c

^a State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10008, China
^b University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China
^c State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

HIGHLIGHTS

- Seasonal variations of water uptake patterns were determined by dual stable isotopes ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) and MIXSIAR model.
- Soil water in the 0–120 cm depth could not meet the needs of the root water uptake in the growing season.
- Three species displayed large degree of ecological plasticity to switch water between shallow and deep soil layers.
- Functionally dissimilar root systems were related to flexible water uptake pattern.

GRAPHICAL ABSTRACT

ORIGINAL ARTICLE

Preliminary research on hydrogen and oxygen stable isotope characteristics of different water bodies in the Qilian Mountains, northwestern Tibetan Plateau

Xue Qiu¹, Mingjun Zhang¹, Shengjie Wang¹

Water in soil and plant samples was extracted with a cryogenic vacuum distillation apparatus (LI-2100, LICA United Technology Limited, China). After the heated

August 12, 2019 Slide 4

生态学报 Chinese Journal of Ecology 2016, 35(11):2942–2951 DOI: 10.13292/j.1000-4890.201611.005

兰州城区绿化植物稳定氢氧同位素特征

周盼盼 张明军* 王圣杰 王 杰 赵培培 刘雪梅
(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

1.3 样品分析

将冷冻的样品解冻后放入 LI-2100 全自动真空冷凝抽提系统提取植物叶片水以及木质部水分, 提取的水分用孔径为 0.45 μm 、直径为 13 mm 的针筒式滤膜过滤器过滤后装入 2 mL 的样品瓶中待测。本次实验中所有的水样采用美国 Los Gatos Research 公司研发的 DLT-100 型液态水同位素分析仪进行同位素测定。其中, δD 值的测试误差不得超过 $\pm 0.6\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值的测试误差不得超过 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

August 12, 2019 Slide 4

水汽同位素样品收集系统



1. 利用经典的冷阱法，收集水汽
2. 便携式设备
3. 四通道同时收集
4. 目前世界上唯一一款商业化同类设备

土壤通量

- 随着，能够快速测量痕量气体的分析仪的出现。研究人员自然而然的想到要将这种分析仪应用于土壤箱室法通量测量中去。
- 最初有部分研究人员使用自制的通量箱。
- 同时市场上没有商品化的设备。
- 2009年理加公司应中国水利水电科学院的要求加工了第一套土壤通量系统。





PS-3000便携土壤温室气体通量系统



文献

生态环境学报 2019, 28(4): 803-811
Ecology and Environmental Sciences

<http://www.jeesci.com>
E-mail: editor@jeesci.com

隆宝滩沼泽湿地不同区域的甲烷通量特征及影响因素

何方杰^{1,2}, 韩辉邦³, 马学谦³, 张劲松^{1,2}, 孙守家^{1,2*}

1. 中国林业科学研究院林业研究所/国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;
2. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 3. 青海省人工影响天气办公室, 青海 西宁 810001

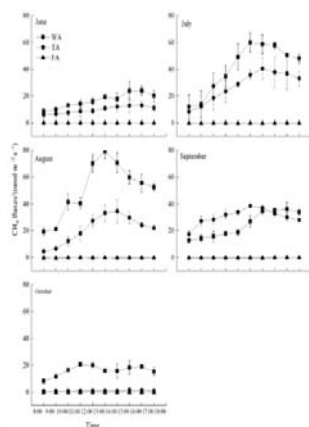


图3 隆宝滩湿地不同区域的CH₄通量日变化特征

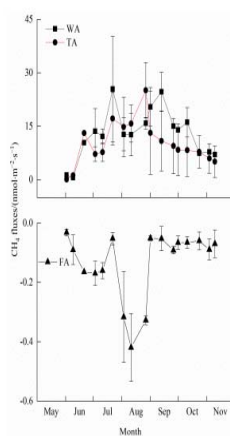


图4 隆宝滩湿地不同区域的CH₄通量季节变化

第43卷第10期
2015年10月

东北林业大学学报
JOURNAL OF NORTHEAST FORESTRY UNIVERSITY

Vol.43 No.10
Oct. 2015

利用SF-3000发表的文献

华北低山丘陵区土壤 CH₄ 通量对脉冲降雨的响应¹⁾

庄静^{1,2} 张劲松^{1,2*} 孟平^{1,2} 郑宁^{1,2} 王凤芹¹ 贾长荣¹ 李建中¹

(¹ 林木遗传育种国家重点实验室(中国林业科学研究院林业研究所),北京,100091) (² 河南农业大学) (³ 濮阳市国有大内河林场)

摘要 基于激光法的 CH₄ 通量自动观测系统(SF-3000)研究脉冲降雨对华北低山丘陵区刺槐人工林土壤 CH₄ 通量连续变化的影响。同步观测试验点地表以下 5 cm 深度处土壤温度(TS)及其土壤含水量(S5),林内大气温度(T_a)和相对湿度(H_a)以及总辐射(R_t)等气象因子。结果表明:降雨显著抑制了土壤 CH₄ 通量,这种抑制作用一般能维持几天左右。在降雨前,刺槐人工林土壤 CH₄ 通量的日变化表现出“V”型结构;而在降雨后,则较复杂,呈“W”和“V”型两种结构。在不同降雨强度影响下,土壤 CH₄ 通量在不同时期的差异显著,但各气象要素在不同时期差异不显著。

关键词 脉冲降雨;土壤 CH₄ 通量;刺槐人工林;瞬态变化

分类号 S718

Response of Soil CH₄ Fluxes on the Pulse Precipitation in Low Hilly Land of North China//Zhuang Jing, Zhang Jingsong, Meng Ping, Zheng Ning/State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P. R. China; Wang Fengqin(Henan Agricultural University); Jia Changrong, Li Jianzhong(Dagube National Forest Farm)//Journal of Northeast Forestry University,2015,43(10):72-78.

林业科学研究 2016,29(2):274~282
Forest Research

非生长季刺槐林土壤 CH₄ 通量变化特征及其影响因子

庄静^{1,2}, 张劲松^{1,2*}, 孟平^{1,2}, 郑宁^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院林业研究所,国家林业局林木培育重点实验室,北京 100091; 2. 南京林大江苏南京 210037; 3. 濮阳市国有大内河林场,河南 濮阳 45465)

文章编号:1001-1498(2016)02-0274-09

图4 典型天气条件下土壤 CH₄ 通量的季节变化规律

第38卷第4期
2016年4月

北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

Vol.38, No.4
Apr., 2016

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150431

小兴安岭典型温带森林土壤呼吸对强降雨的响应

刘博奇^{1,2} 牟长斌¹ 邢亚娟² 韩士杰³ 姜恩领² 王庆贵^{1,2}

(1 东北林业大学生态研究中心 2 黑龙江大学农业资源与环境学院 3 中国科学院沈阳应用生态研究所)

摘要:森林土壤呼吸是全球碳循环的重要组成部分,其对降雨格局的变化如何响应,是当前全球变化研究中的热点问题。本研究以小兴安岭地区原始温带森林(云冷杉红松林)为研究对象,使用 SF-3000 土壤气体通量自动监测系统,对雨季不同时期 4 次强降雨前后的土壤呼吸速率、土壤呼吸的组分和相关环境因子进行了连续观测。结果表明:1)土壤温度和含水量协同影响土壤呼吸强度。降雨是影响甚至改变控制土壤呼吸(R_a)的关键环境因子,强降雨使土壤含水量激增,并对土壤温度也有不同程度的影响。雨季后期强降雨对 R_a 的扰动作用相对较小,雨季后期强降雨可抑制 R_a,在雨季后期强降雨可促进 R_a。2)在雨季不同时期的强降雨均不同程度的影响了土壤异养呼吸(R_h)与土壤呼吸的比例(R_h/R_a),相对于土壤自养呼吸(R_a),短时段强降雨对 R_h 的抑制作用更强。3)加入水分修正系数 c 的 R_a 与 T_s、W_s 指数关系模型可更好的表征土壤含水量和土壤温度对土壤呼吸的影响,不同雨季时期的强降雨均对土壤的温度敏感系数(Q₁₀)有着显著的影响。强降雨使得土壤对水分的敏感性降低,处于雨季不同时期的土壤水分敏感性表现为:在雨季的开始和结束时,土壤呼吸的水分敏感性较高,而雨季后期的水分敏感性较低。

关键词:小兴安岭;强降雨;土壤呼吸;云冷杉红松林

中图分类号:S718.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2016)04-0077-09

LIU Bo-qi^{1,2}; MU Chang-ben¹; XING Ya-juan²; HAN Shi-jie³; JIANG Si-ling²; WANG Qing-gui^{1,2}. Effect of strong rainfalls on soil respiration in a typical temperate forest in Lesser Xing'an Mountains, northeast China. Journal of Beijing Forestry University (2016)38(4) 77-85 [Ch,44 ref.]

1 Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150040, P. R.

图中深色阴影表示强降雨时间 Deep shadow indicates the duration of the strong rainfalls

图2 土壤自养呼吸、异养呼吸对强降雨的响应

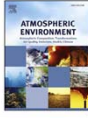
Fig.2 Change of soil autotrophic respiration and heterotrophic respiration with the duration of strong rainfalls

Atmospheric Environment 144 (2016) 160–167

Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Non-growing season soil CO₂ efflux patterns in five land-use types in northern China

CrossMark

Zhanlei Pan ^{a, b}, Douglas A. Johnson ^c, Zhijun Wei ^a, Lei Ma ^{b, d}, Yuping Rong ^{b, *}

^a College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, 010018, China
^b Beijing Key Laboratory of Grassland Science, Animal Science and Technology College, China Agricultural University, Beijing, 100193, China
^c USDA-ARS Forage and Range Research Lab, Utah State University, Logan, UT, 84322-6300, USA
^d State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry (LAPC), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, 100029, China

Table 3
Cumulative soil CO₂ efflux (Fc) (mean ± standard error) (g C m⁻²) for the ungrazed (UG), moderately grazed (MG), heavily grazed (HG), perennial pasture (PP) and cropland (CL) land-use types for three periods during the non-growing season.

Period ^a	2012–13					2013–14				
	UG	MG	HG	PP	CL	UG	MG	HG	PP	CL
I	48 ± 2	46 ± 2	51 ± 1	86 ± 3	64 ± 1	243 ± 7	211 ± 6	205 ± 6	256 ± 6	220 ± 10
II	11 ± 1	7 ± 1	2 ± 1	4 ± 0	4 ± 1	16 ± 1	15 ± 1	12 ± 1	21 ± 0	15 ± 2
III	31 ± 1	35 ± 2	24 ± 3	46 ± 1	47 ± 2	265 ± 8	169 ± 7	126 ± 7	336 ± 9	264 ± 15
Total ^b	90 ± 4c	89 ± 3c	77 ± 4c	136 ± 3a	116 ± 4b	524 ± 14b	394 ± 12c	343 ± 10d	612 ± 14a	499 ± 25b

^a I = Autumn freeze-thaw period (30 Sept.–30 Nov.), II = Winter permanently frozen period (1 Dec.–28 Feb.), III = Spring freeze-thaw period (1 Mar.–30 Apr.), Total = I + II + III (non-growing season).
^b Data followed by a different letter indicates significance at P < 0.05 during 2012–13 and 2013–14, respectively.

Atmospheric Environment 144 (2016) 160–167

Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Methane uptake by four land-use types in the agro-pastoral region of northern China

CrossMark

Yuping Rong ^{a, *}, Lei Ma ^a, Douglas A. Johnson ^b

^a Grassland Institute of Animal Science and Technology College, China Agricultural University, Beijing 100193, China
^b USDA-ARS Forage and Range Research Lab, Utah State University, Logan, UT 84322-6300, USA

Acta Ecologica Sinica

Contents lists available at ScienceDirect

Acta Ecologica Sinica

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chnaes



Effects of various stocking rates on grassland soil respiration during the non-growing season

CrossMark

Zhanlei Pan ^a, Zhijun Wei ^a, Lei Ma ^b, Yuping Rong ^{b, *}

^a College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China
^b College of Animal Science & Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China



Annual methane budgets of sheep grazing systems were regulated by grazing intensities in the temperate continental steppe: A two-year case study

Lei Ma^{a,b,1}, Mengying Zhong^{a,1}, Yuhao Zhu^a, Helong Yang^a, Douglas A. Johnson^c, Yuping Rong^{a,*}

^a Grassland Department of Animal Science and Technology College, China Agricultural University, No. 2 Yuanmingyuan West Road, Haidian District, Beijing 100193, PR China
^b State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, PR China

^c USDA-ARS Forage and Range Research Lab, Utah State University, Logan, UT 84322-6300, USA

碳氮同位素自动测量装置



- ☞ 全自动化设备，无中途人为操作需求；
- ☞ 自动稀释至理想的浓度；
- ☞ 自动校准与重计算，自动数据整理和质控；
- ☞ 不局限于与TOC联用
 - ☞ 包括培养样品的，基于自动进样器自动测量；
 - ☞ 基于自动进样器，酸解碳酸盐的自动测量

一点体会



- ❧ 关注新技术，新功能，保持好奇心，可能性优先；
- ❧ 积累是基础，引入新技术；
- ❧ 多交流，多动手，拿来主义。

谢谢大家！ 敬请指正！

