稳定同位素与生态系统碳水交换研究

林光辉
lingh@tsinghua.edu.cn

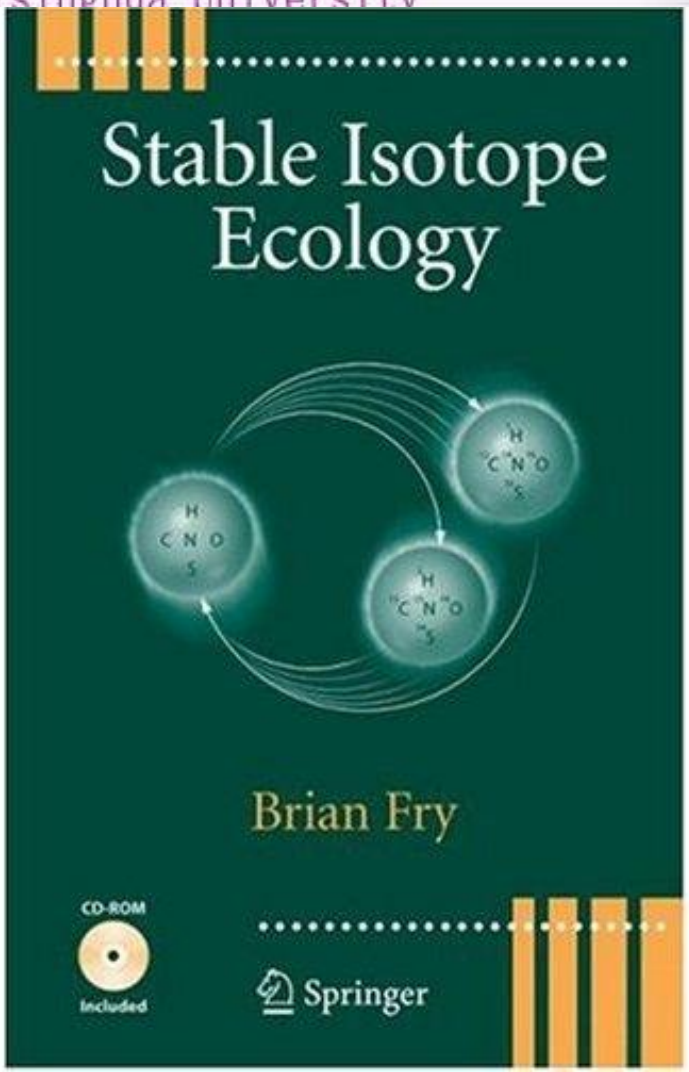
2016-10-19 南京信息工程大学

汇报提纲

- 稳定同位素生态学学科发展史与现状
- 稳定同位素与生态系统碳交换研究
- 稳定同位素与生态系统水分关系研究

稳定同位素生态学：新学科

Tsinghua University



2006

植物生态学报 2010, 34 (2): 119–122
Chinese Journal of Plant Ecology
doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2010.02.001
http://www.plant-ecology.com

稳定同位素生态学：先进技术推动的生态学新分支

林光辉[1,2*]

[1]福建厦门生态系统教育部重点实验室(厦门大学)，福建厦门 361005；[2]中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室，北京 100093

Stable isotope ecology: a new branch of ecology resulted from technology advances

LIN Guang-Hui[1,2*]

[1]*Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems (Xiamen University), Xiamen, Fujian 361005, China; and* [2]*State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China*

稳定同位素技术因具有示踪(tracers)、整合(integration)和指示(indicators)等多项功能，以及检测快速、结果准确等特点，在生态学研究中日益显示出广阔的应用前景。近年来，由于生态学研究问题更趋复杂化和全球化，多学科的交叉综合研究已成为本学科发展的新的生长点。以稳定同位素作为示踪剂研究生态系统中生物要素的循环及其与环境的关系、利用稳定同位素技术的时空整合能力研究不同时间和空间尺度生态过程与机制，以及利用稳定同位素技术的指示功能揭示生态系统功能的变化规律，已成为了解生态系统功能动态变化的重要研究手段之一。稳定同位素技术逐渐成为进一步了解生物与其生存环境相互关系的强有力的工具，使现代生态学家能够解决用其他方法难以解决的生态学问题(Rundel *et al*., 1989; Ehleringer *et al*., 1993; Yakir & Sternberg, 2000; Dawson *et al*., 2002; Maguas & Griffiths, 2003; Fry, 2007)。例如，在植物生理生态学方面，稳定同位素技术使我们能从新的角度探讨植物光合途径、植物对生源元素吸收、水分来源、水分平衡和利用效率等问题。生态系统生态学家则利用稳定同位素技术研究生态系统的气体交换机制、生态系统功能动态变化及其对全球变化的响应模式等。在动物生态学方面，稳定同位素也已广泛地应用于区分动物的食物来源、食物链、食物网和群落结构，以及动物的迁移活动等方面的研究。总之，稳定同位素技术在生态学中的应用已引起了生态学家广泛的注意，逐渐成为现代生态和环境科学研究中最有效的研究方法之一。

物学领域的发展所产生的重大影响一样，稳定性同位素技术已对现代生态学的发展产生积极的影响。稳定同位素信息使我们能够洞悉不同空间尺度上(从细胞到植物群落、生态系统或某一区域)和时间尺度上(从数秒到几个世纪)的生态学过程及其对全球变化的响应(Ciais *et al*., 1995; Zanden *et al*., 1999; Lin *et al*., 1999; Battle *et al*., 2000; Bowling *et al*., 2001; Yepez *et al*., 2003; Bukata & Kyser, 2007; Kosiba *et al*., 2007)。由于众多同位素化学家和地球化学家前期的开拓性研究工作，我们已经对稳定性同位素在生态系统和生物地球化学循环中的特性有了深入的了解(Farquhar *et al*., 1989)。随着同位素研究技术与方法的日趋完善，稳定同位素技术在那些需要深入研究的现代生态学领域中的应用前景将更加广阔。例如，通过稳定同位素的分析，不仅可以追踪重要元素如碳、氮和水等的地球化学循环过程，还可诊断病人的代谢变化及其原因，估测农作物施肥的最佳配方和时间，研究动植物对环境胁迫的反应及相互关系，追踪污染物的来源与去向，推断古气候和古生态过程，甚至还可用来了解农、林产品的组成成分、原产地及掺假可能性等等(Yakir & Sternberg, 2000; Dawson *et al*., 2002; Maguas & Griffiths, 2003)。总之，稳定同位素技术的应用所提供的信息，大大加深了我们对自然环境下生物及其生态系统对全球变化的响应与反馈作用等方面的认识，拓展了生态学研究和应用的发展空间。美国Brian Fry专著《*Stable Isotope Ecology*》在2007年的正式出版，标志着稳定同位素生态学作为

2010

生态学研究常用的稳定同位素

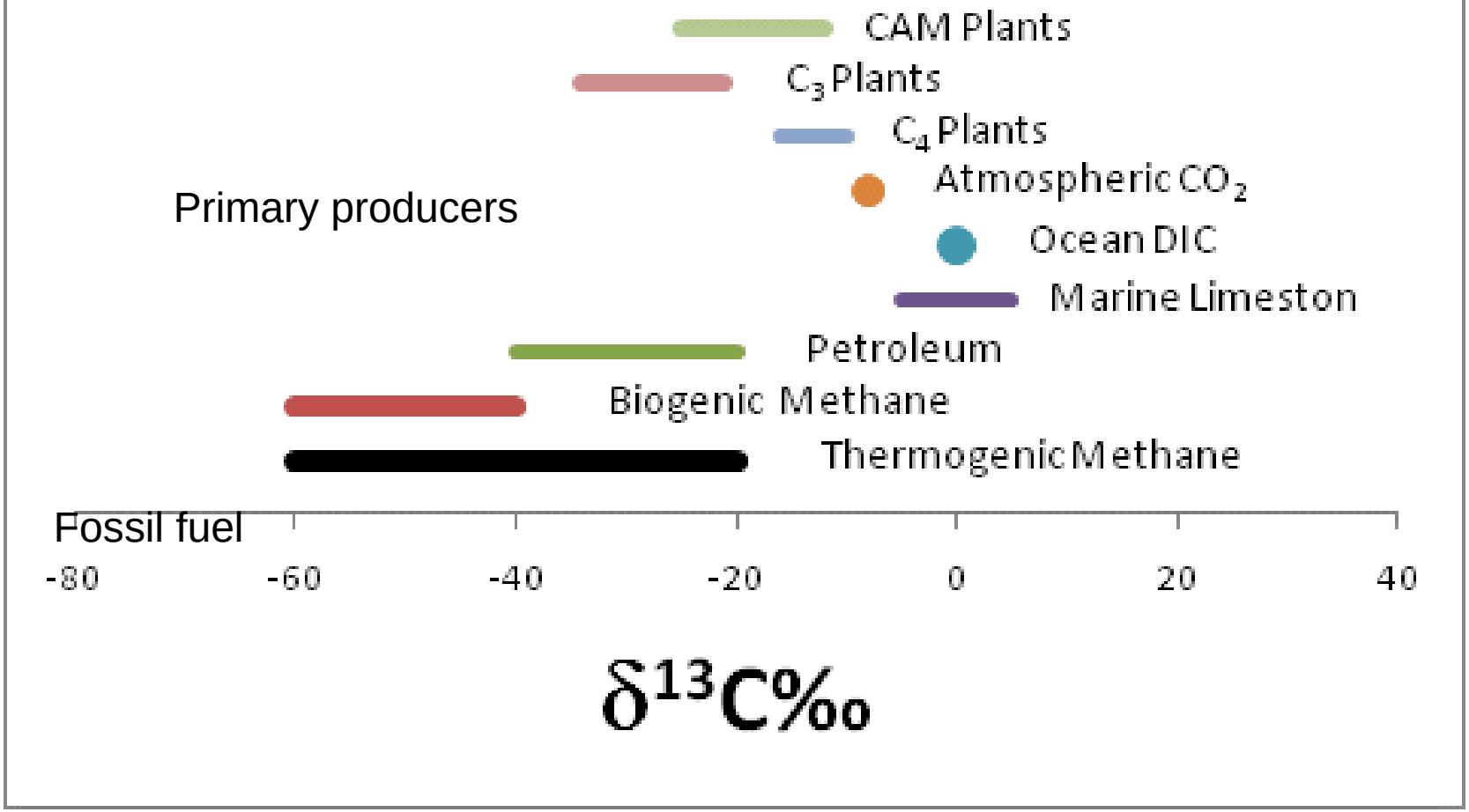
元素	同位素	丰度（%）
氢	^{1}H	99.985
	^{2}H	0.015
碳	^{12}C	98.89
	^{13}C	1.11
氮	^{14}N	99.63
	^{15}N	0.37
氧	^{16}O	99.759
	^{18}O	0.204
硫	^{32}S	95.02
	^{34}S	4.21

还有B、Sr、Pb、Ca等非传统元素的同位素！

同位素比值

- *同位素比值（δ值，简读为“delta”值）；*
- *McKinney et al. （1950）首次提出；*
- *样品中两种同位素比值相对于某一标准对应比值的相对千分差。*

$$\delta(‰) = \left(\frac{[R_{样品}]}{[R_{标准}]} - 1 \right) \times 1000$$


CAM Plants
C3 Plants
C4 Plants
Atmospheric CO2
Ocean DIC
Marine Limeston
Petroleum
Biogenic Methane
Thermogenic Methane
Primary producers
Fossil fuel
-80
-60
-40
-20
0
20
40
δ13C‰

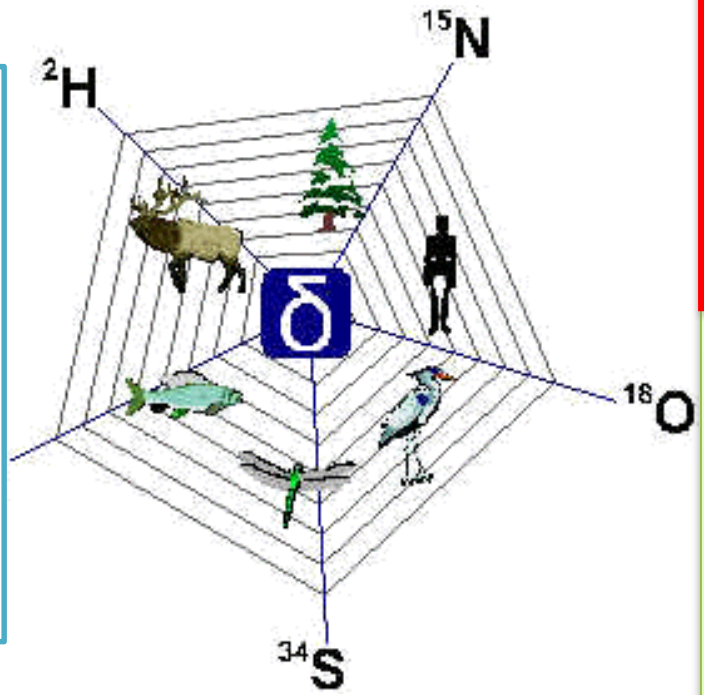
稳定同位素的应用
Applications of stable isotopes

三大功能：

✓示踪Tracers

✓指示Indicators

✓整合Integrators



应用领域：

✓植物碳-水关系

✓碳、氮、水循环

✓种间相互作用、食物网

✓动物迁徙路径

✓温室气体源汇关系

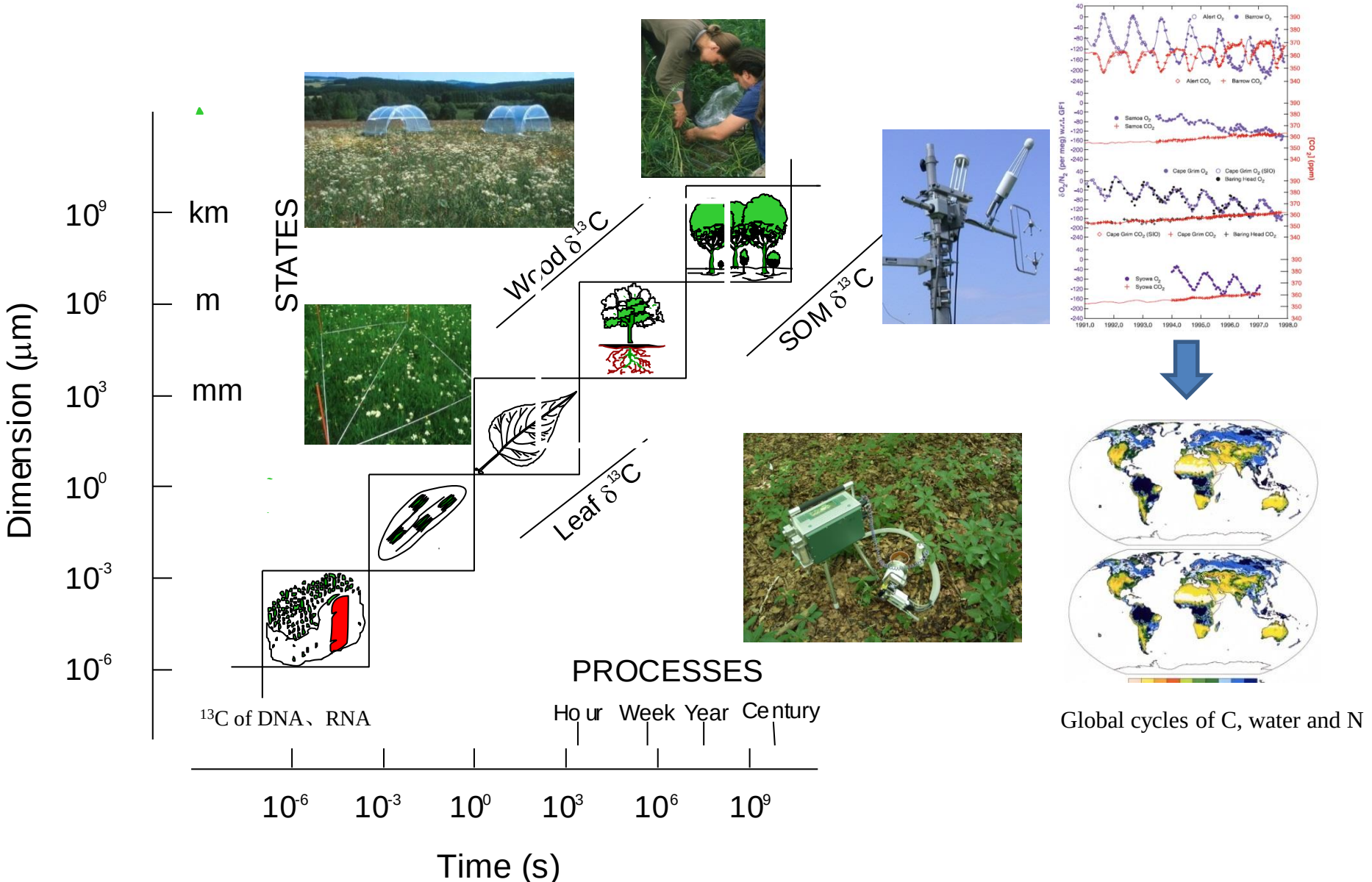
✓全球变化及其效应

✓污染物追踪

✓食品溯源与刑侦

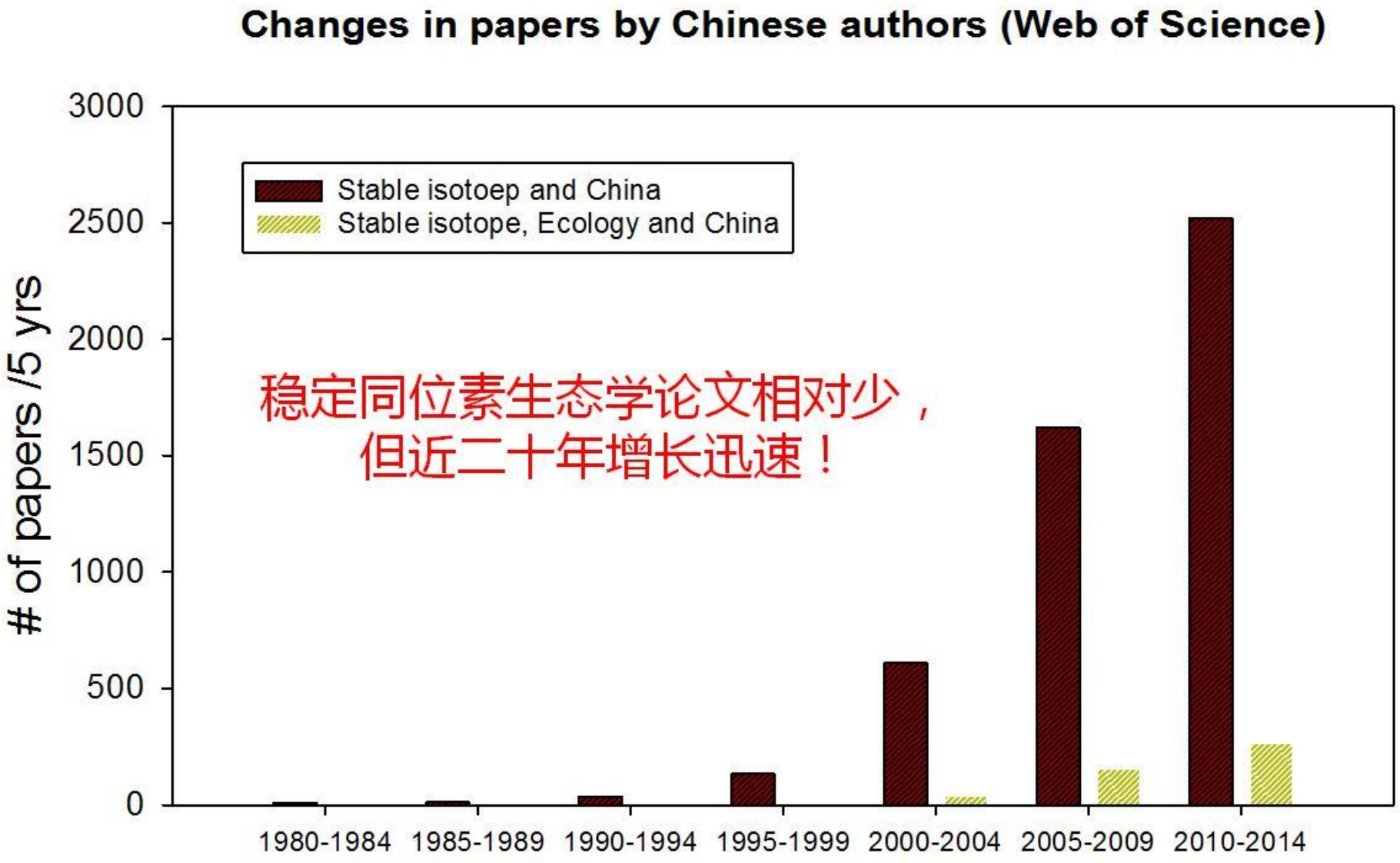
✓古气候、古生态重建

稳定同位素在生态学不同时空尺度研究中的应用

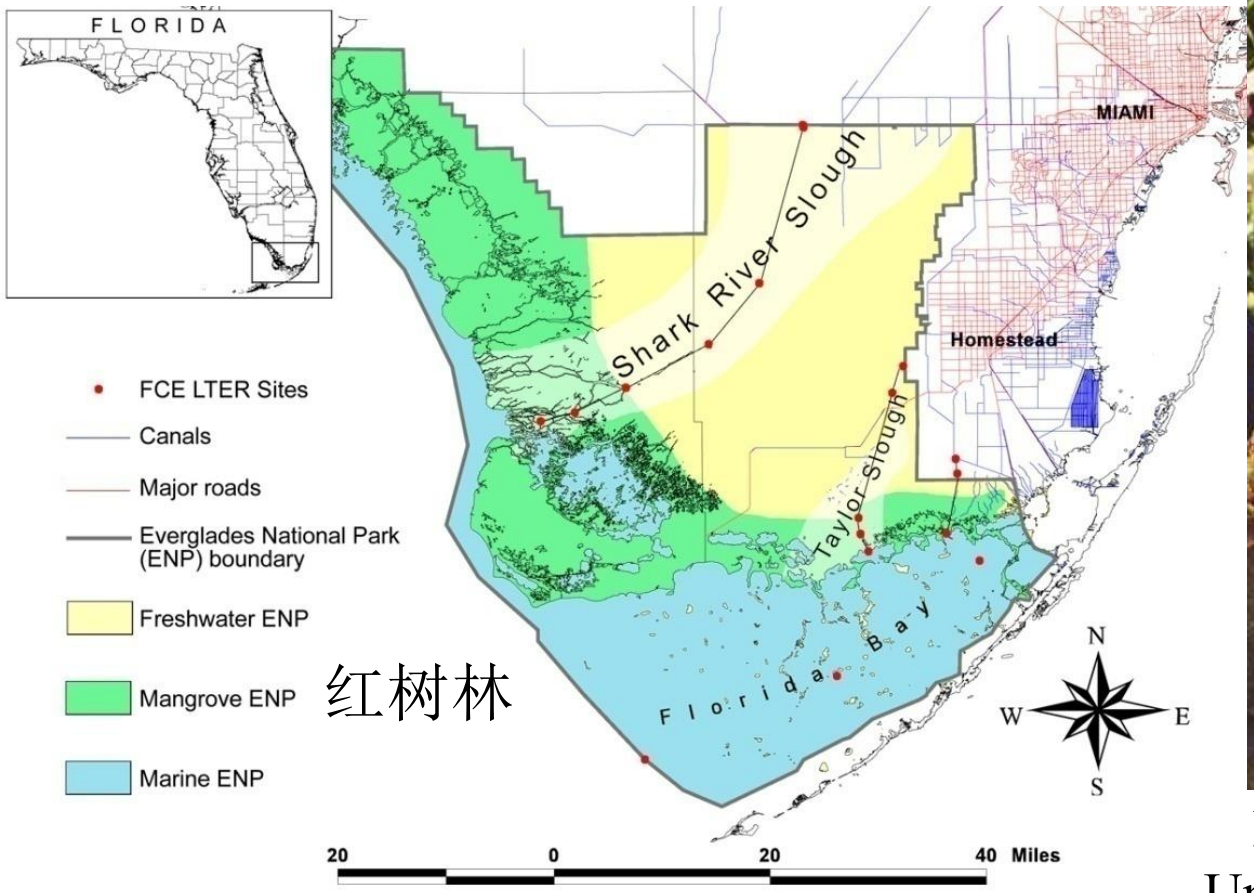


Global cycles of C, water and N

中国作者论文发表数量的变化



博士研究生(1988-

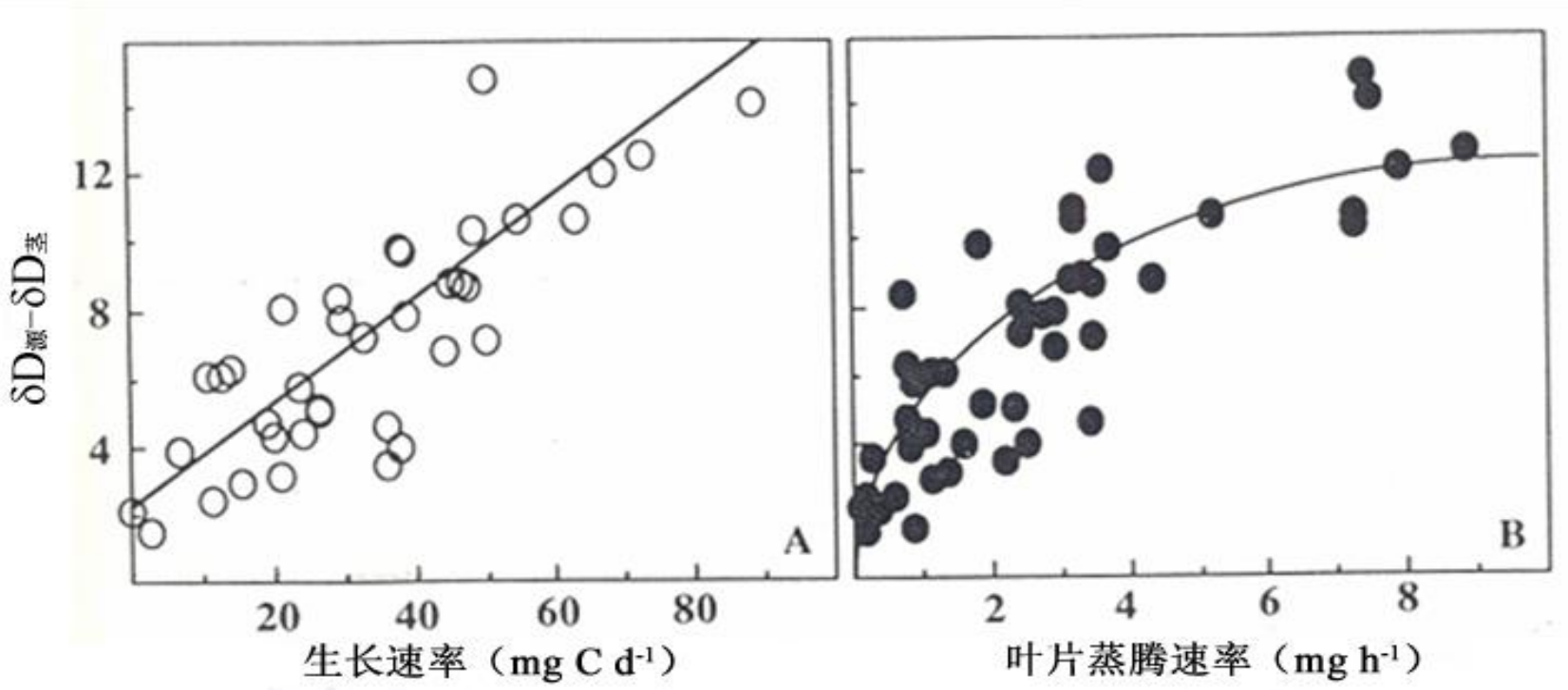


红树林

Leonel Sternberg教授
University of Miami, USA

稳定同位素

盐生植物水分吸收过程的氢同位素分馏现象



不同生长条件下 **R. mangle** 幼苗茎水氢同位素分馏程度与 **A**：植物生长率的关系；**B**：叶片蒸腾速率的关系 （**Lin and Sternberg，1993**）

Lin, G., and L.da S.L. Sternberg. 1993. Hydrogen isotopic fractionation during water uptake in coastal wetland plants. Pp. 497-510. In **Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations** (J. Ehleringer, A. Hall and G. Farquhar, eds.). Academic Press, San Diego

等了15年...

Plant Soil (2007) 291:93–107
DOI 10.1007/s11104-006-9177-1

ORIGINAL PAPER

Hydrogen isotope fractionation during water uptake by woody xerophytes

Patrick Z. Ellsworth · David G. Williams

很早的一篇中文综述论文

罗耀华　林光辉

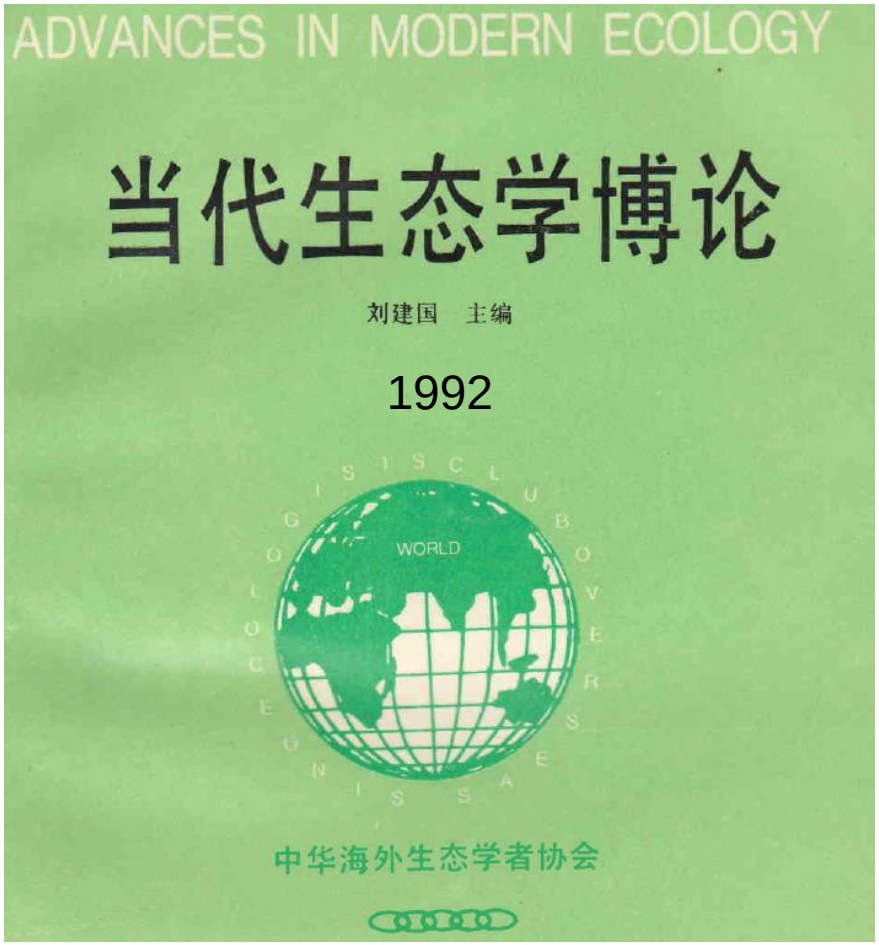
稳定同位素分析及其在生态学研究中的应用

摘　要

在现代生态学研究中，稳定同位素技术已日益显示出广阔的应用前景，它从新的角度探讨了生物的生理代谢过程以及生命系统与非生命系统之间的物质流动。我们在本文中首先简要介绍三种主要同位素效应（即平衡效应、动力学效应和磁效应）及其表示方法，接着阐明碳，氢，氧，氮和硫等重要元素的稳定同位素分析原理及方法，然后讨论代谢过程中同位素比率变化的生理生化机制，最后通过一些实例详细说明稳定同位素技术在生态学不同领域（如动植物生理生态学，生态系统食物链关系，固氮作用，环境污染以及土壤有机质转化等）研究中的应用。

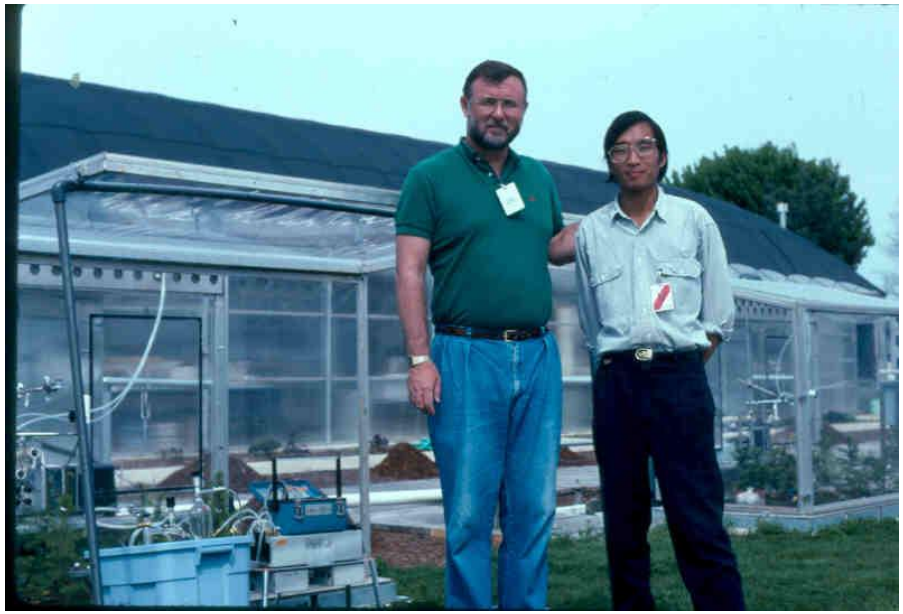
引　言

构成物质基本单位的原子的总合为元素。同一种元素中所有原子均具有相同数目的质子及原子序数，但是原子之间常有不同数目的中子及原子质量，这些质量不同的原子即互为同位素。质子和中子是形态不同的同种粒子，因而两者之间可以相互转化，如果这种转化在一个原子中瞬间发生，那么它们就是放射性同位素，或非稳定同位素，反之，则为稳定同位素。具有生物学意义的元素均有二种或二种以上稳定同位素。因为元素的化学性质是由原子中电子数所决定的，因此，物质中的某一元素并不会因其同位素组成有差别而改变本身的化学性质。然而，不同的同位素之间的物理化学性质（如在气液相传导速率，键能强度等）因有微小差别，而导致物质反应前后在同位素含量上的差异。这一特性为生物学的深入研究提供了一条重要途径。在生物化谢过程中，如果参与某一反应的同位素受环境因素的制约（例如不同的同位素参与反应速率，在气液相中的传导速率，键能强度等随温度而改变），产物同位素含量可能产生变化。这一性质使稳定同位素技术成为生态学研究的崭新方法。



博士后(1992-1994)

犹他大学
James Ehleringer教授



EPA的CO_2升高+增温实验系统（TERACOSM）

植物暗呼吸过程不存在或很少发生碳同位素分馏

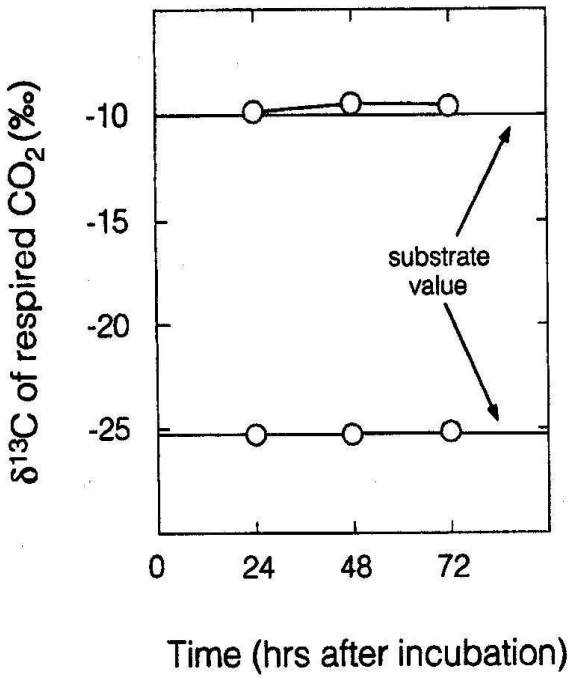


Figure 1. Time course of the carbon isotope ratio of the respired from corn mesophyll protoplasts after incubation with C_3- and derived Suc at 25°C and at a pH value of 6.9.

Table II. Δ_m *of Suc, Glc, and Fru protoplasts of bean and corn leaves*

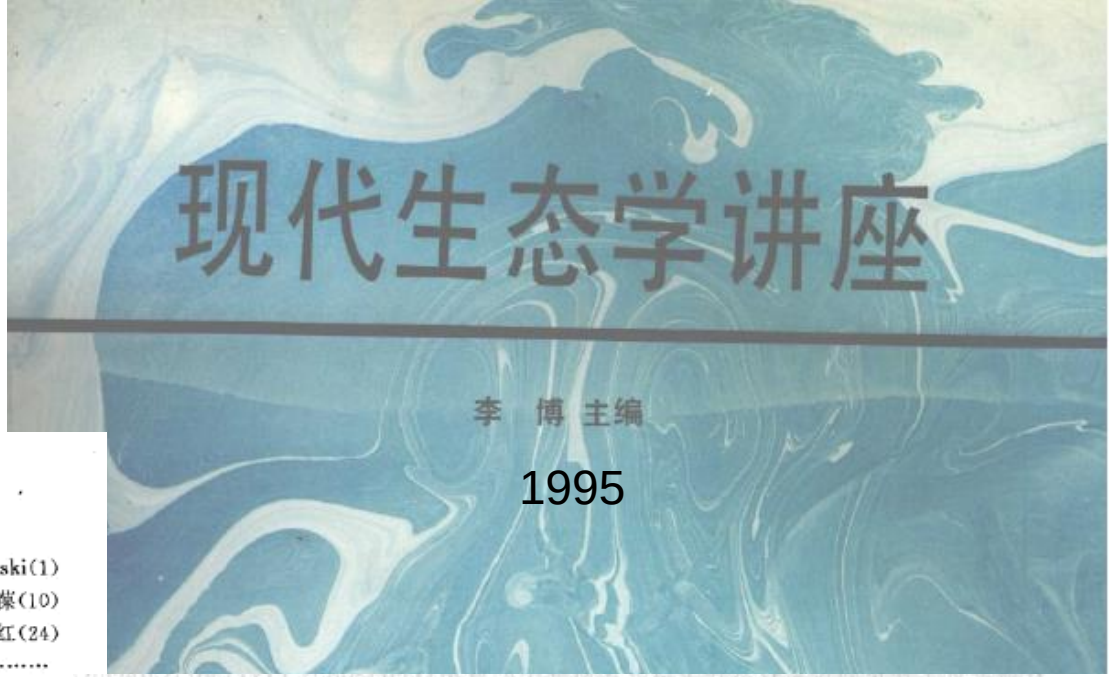
Data are means ± 1 SD, with the sample size shown in parentheses.

Substrate	Discrimination by Bean Protoplasts	Discrimination by Corn Protoplasts
	‰	
C_3 Suc	−0.1 ± 0.2 (12)	0.2 ± 0.2 (12)
C_4 Suc	−0.6 ± 0.8 (9)	−1.4 ± 0.2 (9)[a]
C_3 Glu	0.3 ± 0.2 (12)	0.0 ± 0.3 (12)
C_4 Glu	−1.2 ± 0.3 (12)[a]	−0.0 ± 0.4 (12)
C_4 Fru	0.6 ± 0.8 (12)	−0.1 ± 0.3 (12)

[a] Significantly different from 0 at the $P < 0.05$ level.

Lin, G. and J.R. Ehleringer. 1997. No carbon isotopic fractionation during dark respiration in C_3 and C_4 plants. *Plant Physiology*, 114: 391-394.

综述论文2



目 录

前 言
生态学中的格局与尺度——可塑性面积单元问题 …… 邬建国 Dennis Jelinski(1)
植物对于水分胁迫的适应性反应及其生态学意义 …… 高玉葆(10)
泥炭地和泥炭地生态学 …… 李燕红(24)
美洲马鹿(*Cervus elaphus nelsoni*)的饥饿与昼夜采食活动节律的仿真分析……
…… 蒋志刚 R. J. Hudson(36)
北方野生有蹄类动物摄食量与生长的季节性节律——来自美洲马鹿(*Cervus elaphus nelsoni*)的研究报告 …… 蒋志刚 R. J. Hudson(55)
分形理论与生态学 …… 祖元刚 马克明(65)
卡森堡植被演替趋势分析——超球面模型应用实例 ……
…… 白·图格吉扎布 郝敦元 特·塔拉(73)
草原生态系统持续管理原则：生物多样性与生产力的维持 …… 李永宏(79)
物种多样性研究的现状及趋势 …… 郭勤峰(89)
景观生态学的基本原理及其在生态系统经营中的应用…… 陈吉泉(108)
全球变化研究中的生物圈模型 I ——初级生产力模拟 ……
…… 齐 晔 Charles A. S. Hall(129)
全球变化研究进展与新方向…… 林光辉(142)
稳定同位素技术与全球变化研究…… 林光辉 柯 渊(161)

稳定同位素技术与全球变化研究

林光辉 柯 渊
（美国空间生物圈研究开发科学研究部）

一、前 言

全球变化作为现代生态学研究的重要内容之一，已受到各国生态学者的高度重视。由于研究对象和内容的缘故，全球变化研究不仅需要不同学科之间、各国之间的协作，而且也需要各种新技术的引进和应用。在众多发展迅速的新技术中，稳定同位素技术就是其中之一，这种技术利用自然界物质间同位素组成的微小差异研究生物和地球化学过程及其与环境因子之间的关系。由于这种技术利用的是无放射性、稳定的同位素，它具有安全、准确及不干扰自然等优点。另外，这种技术还具有综合长期生物和地球化学过程和联系不同系统成分的能力，起着在时间、空间上联络的作用。这种技术虽然起源于地球化学，经过近20年的发展，已经成为现代生态学研究的一种新方法(Randel et al., 1988; Lajtha &

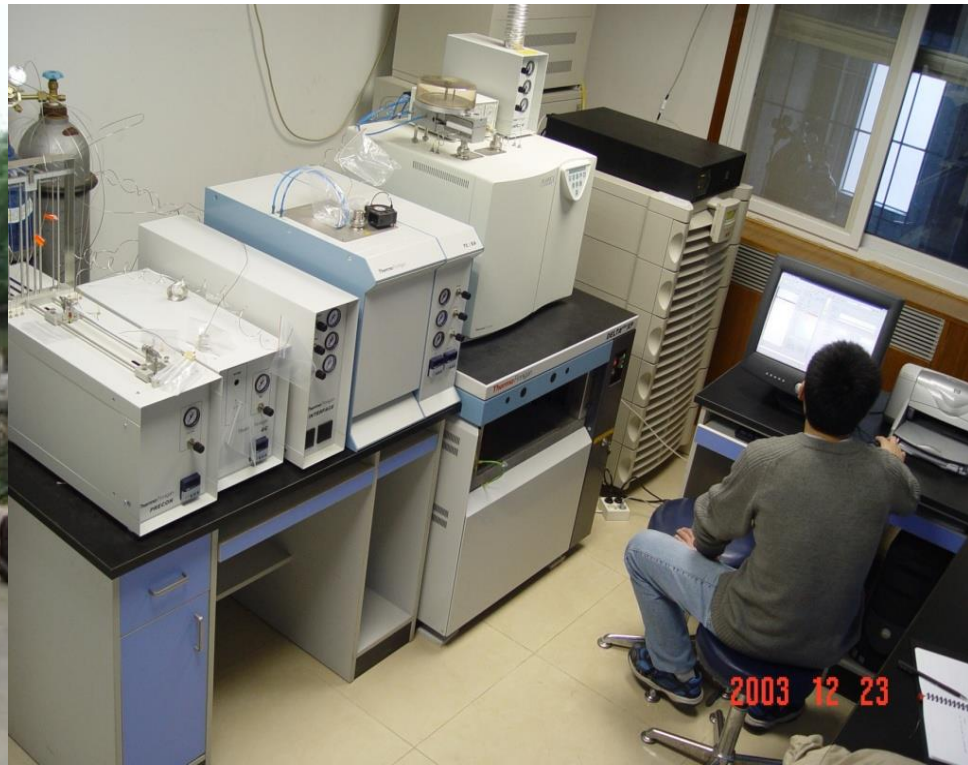
科学出版社

IB-CAS

科学院植物研究所
植物生态与生物多样性保育研究中心

实验室建设
（2003–）

生态与环境科学稳定同位素实验室
Stable Isotope Lab for Ecological and Environmental Research (SILEER)



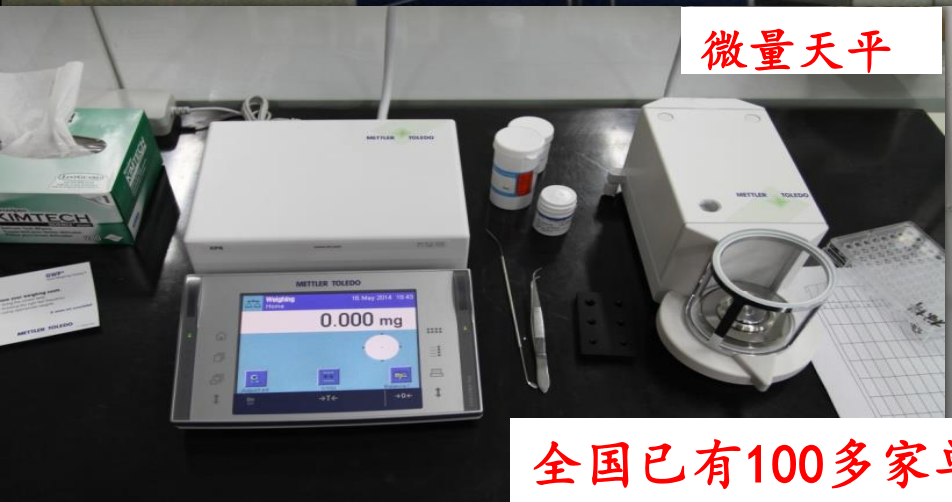
第一届全国稳定同位素生态学研讨会（香山， 2008）

中科院植物所与中国林科院合办

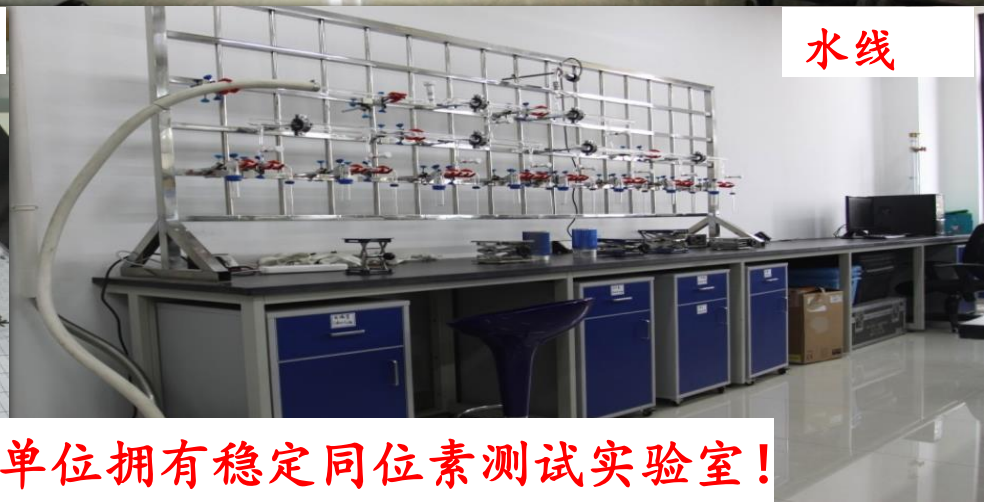
清华大学稳定同位素生态学实验室 （2014–）

实验室主要设备：

- ✓MAT253同位素比率质谱仪
- ✓Flash-2000HT元素分析仪
- ✓GasBench-Ⅱ多用途样品制备装置
- ✓样品水分真空抽提系统
- ✓Mettler百万分之一微量电子天平



微量天平



水线

全国已有100多家单位拥有稳定同位素测试实验室！

专著 Reference books

2014.5.19 · 北京

200多人参加了研讨会+技术研修班！

倡议筹建“中国生态学学会稳定同位素生态专业委员会”

第三届全国研讨会与研修班暨2016年会

- 时间：2016年11月28日-12月1日

- 地点：深圳南山区西丽大学城清华校区

- 内容：（1）研讨会：2天的学术交流；

（Farquhar、Ehleringer、Berry等院士做大会特邀报告）

（2）研修班：2天的技术培训

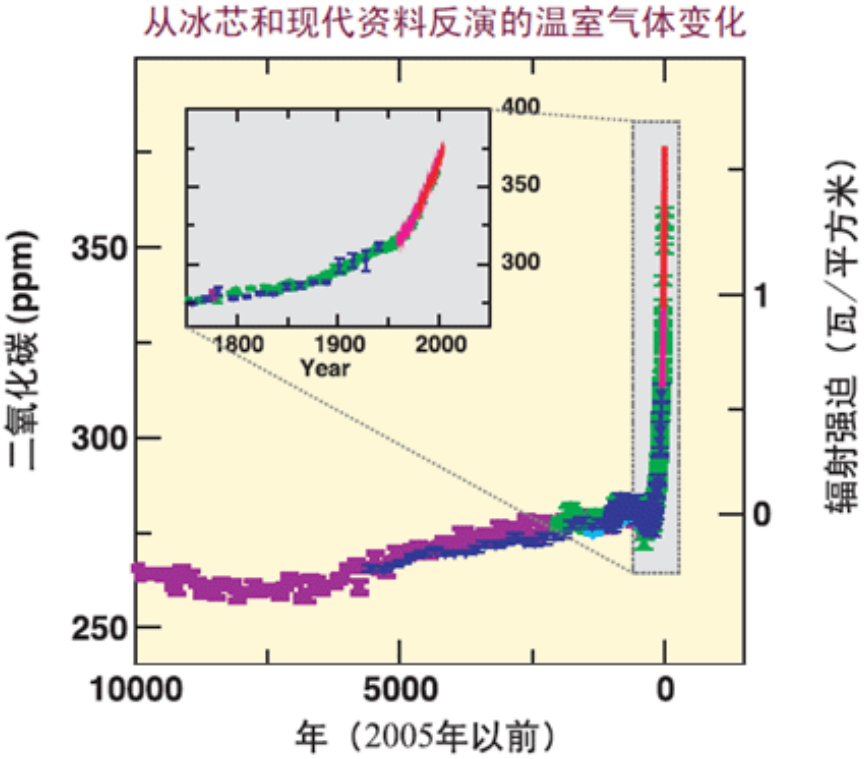
（曹亚澄、方运霆、温学发等具有实战经验的老师）

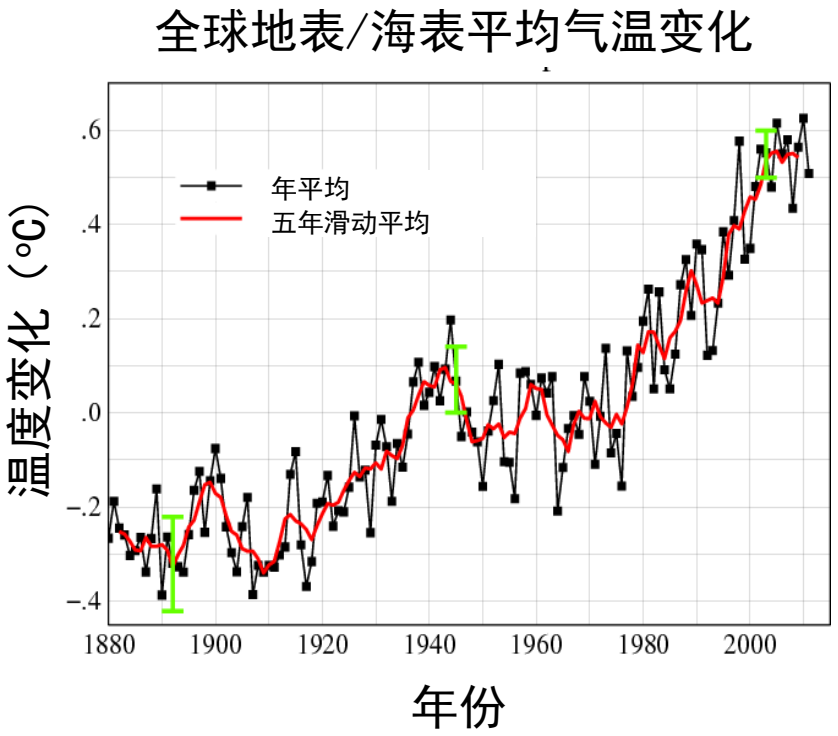
已有200多名提交了回执，超过前2届的总和！

汇报提纲

- 稳定同位素基本概念与学科发展史
- **稳定同位素与生态系统碳交换研究**
- **稳定同位素与生态系统水分关系研究**

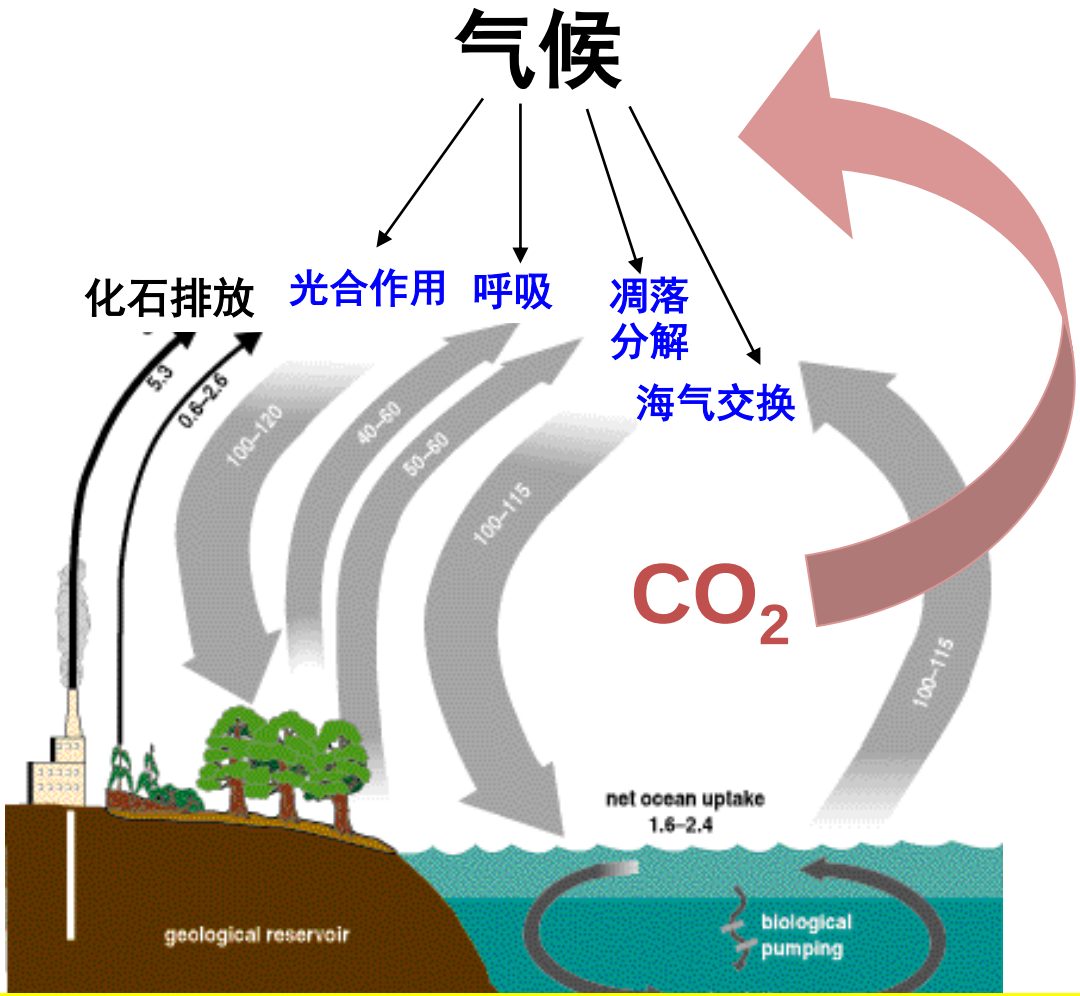
气候变化是21世纪最大的挑战之一





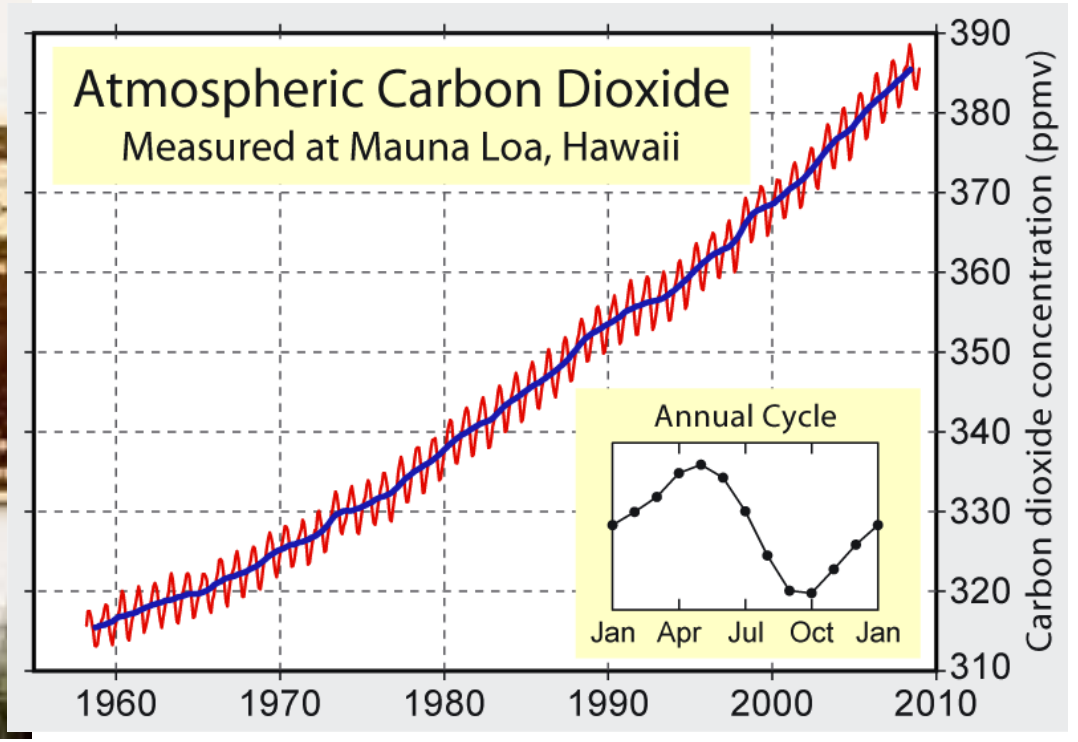
以CO_2为主的温室气体在大气中迅速增加，是导致全球气候变化的最可能因素

碳循环与气候系统的相互作用



碳循环过程与气候系统具有复杂的相互作用

Charles Keeling（1928-2005）
CO_2 monitoring and isotopic studies



Scripps Institution of Oceanography, USA

"Keeling plot" Approach

Farquhar 模型

$$\delta^{13}C_{plant} = \delta^{13}C_{air} - a - (b-a)C_i/C_a$$

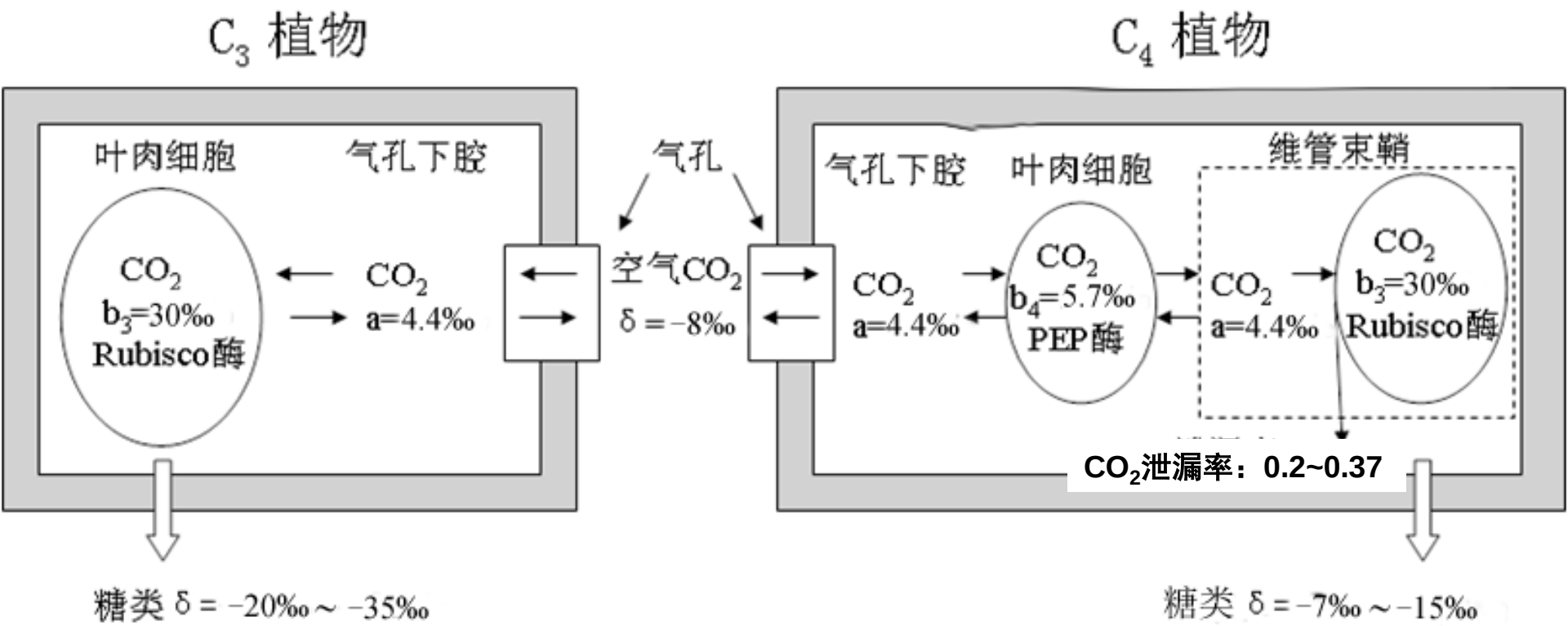
where b = 27 ‰

a = 4.4 ‰

C_i/C_a: ratio of intercellular to atmospheric CO_2 concentration

$$\Delta = \delta^{13}C_{air} - \delta^{13}C_{plant}$$ (Discrimination)

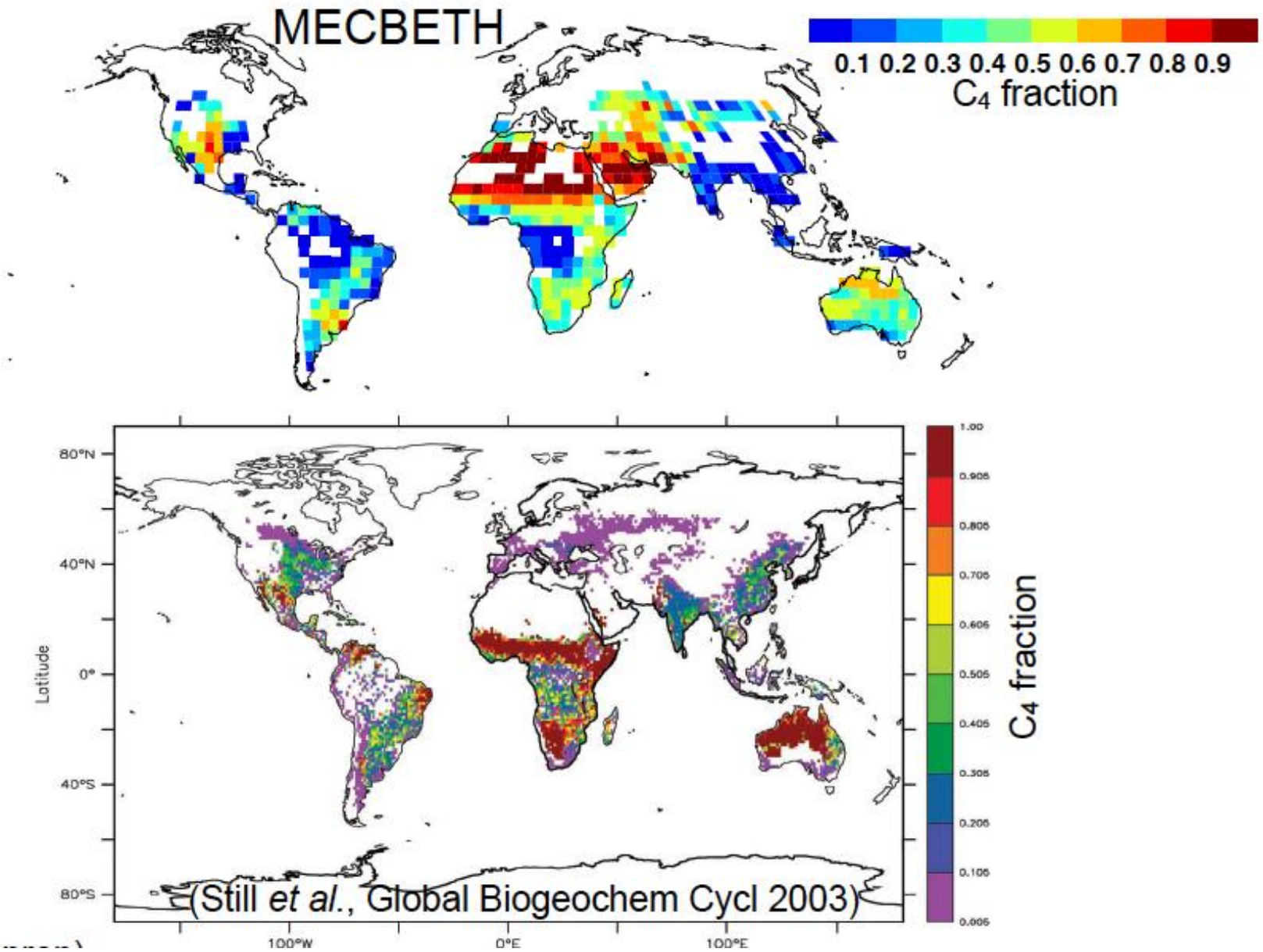
Farquhar et al. 1982. *Australian Journal of Plant Physiology*. (cited >3000 times)



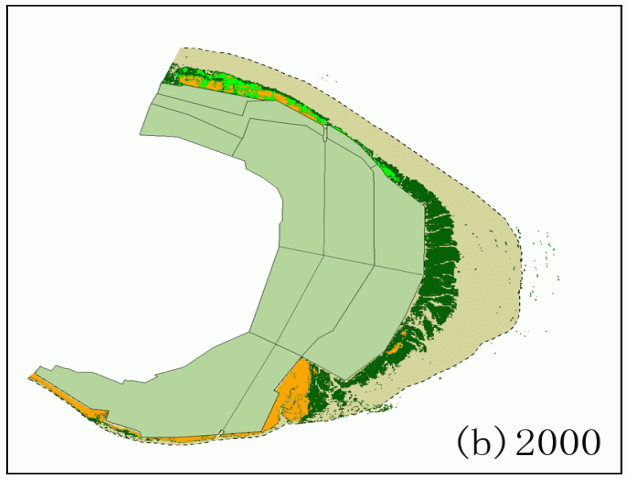
$$\delta^{13}C_{plant} = \delta^{13}C_{air} - a - (b-a)\frac{C_i}{C_a}$$

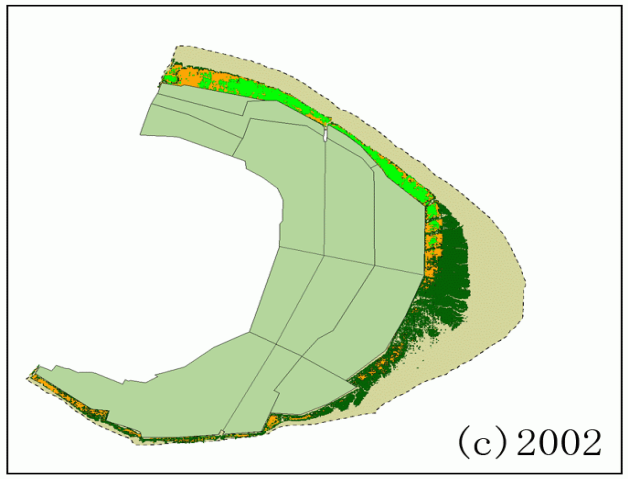
$$\delta^{13}C_{plant} = \delta^{13}C_{air} - a - (b_4 + b \times f - a)\frac{C_i}{C_a}$$

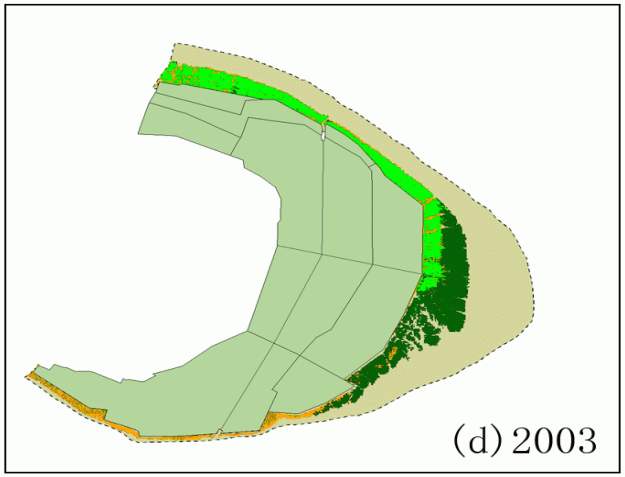
C_4 fraction

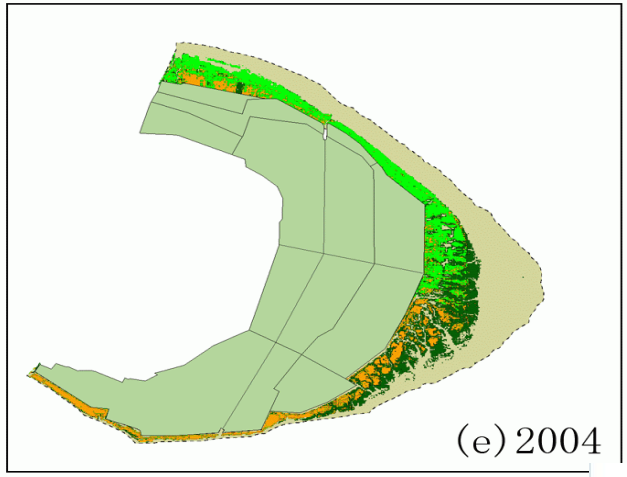

MECBETH
0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9
C4 fraction
80°N
40°N
0°
40°S
80°S
Latitude
100°W
0°E
100°E
1.00
0.905
0.805
0.705
0.605
0.505
0.405
0.305
0.205
0.105
0.005
C4 fraction
(Still et al., Global Biogeochem Cycl 2003)

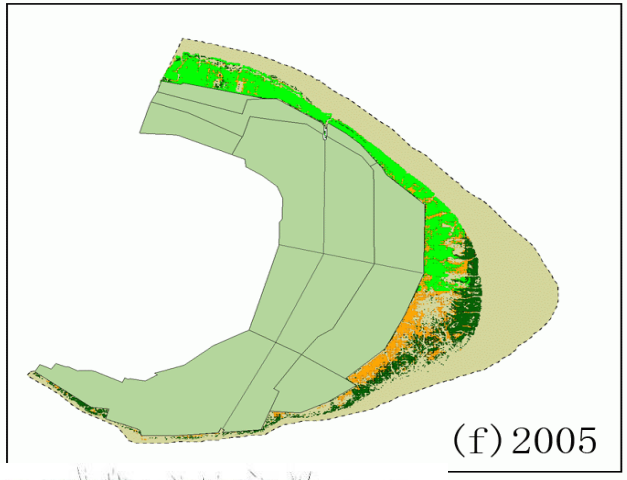
互花米草大举入侵中国滨海湿地：上海崇明岛东滩











海三棱藨草
Scirpus mariqueter

芦苇
Phragmites australis

互花米草
Spartina alterniflora

围垦区

光滩

道路或堤坝

km

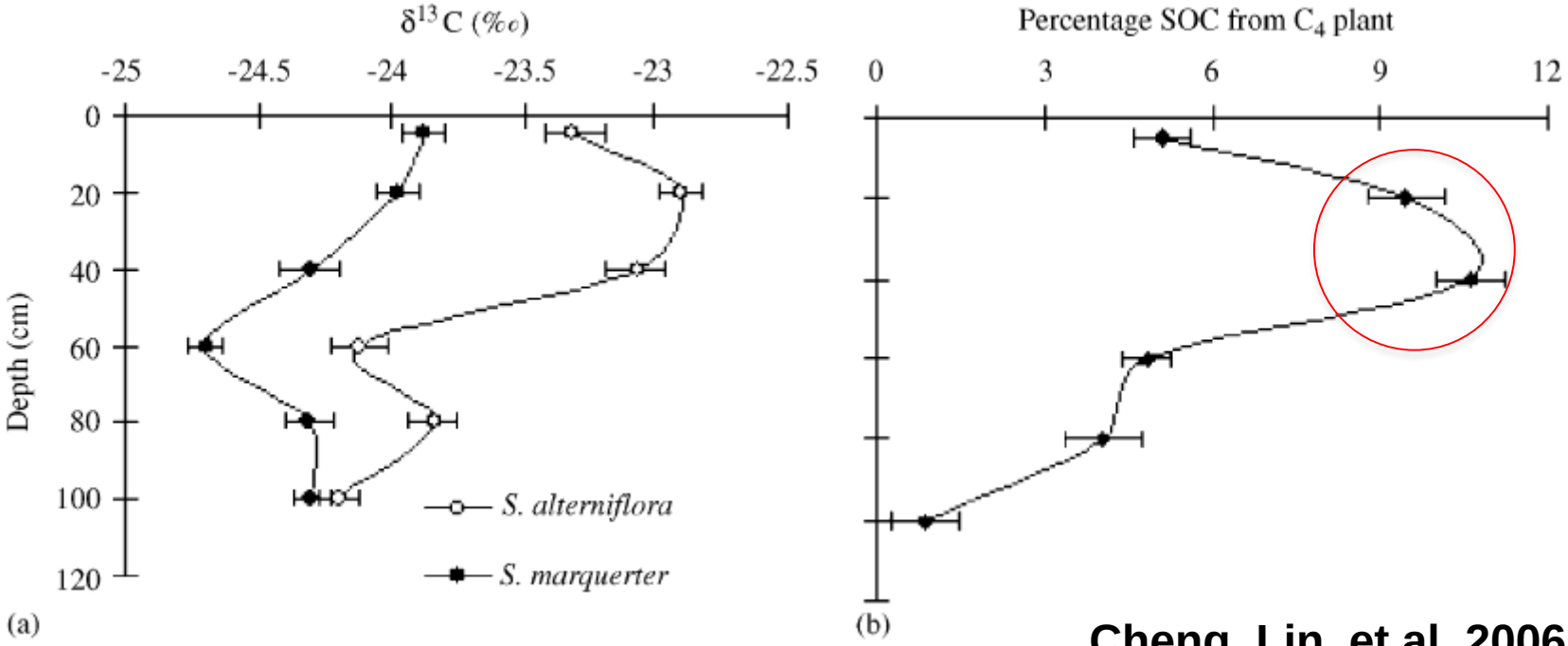
Table 2
Stable carbon isotopic composition ($\delta^{13}C$) and C:N ratio of C_3 and C_4 plants in Jiuduansha wetlands in the Yangtze River estuary, China

Species		$\delta^{13}C$ (‰)	C:N ratio
Spartina alterniflora (C_4)	Leave	-12.8 ± 0.3^{a}	32.7 ± 1.8^{a}
	Litter	-13.4 ± 0.3^{a}	34.9 ± 2.5^{a}
	Root	-13.1 ± 0.3^{a}	32.1 ± 0.8^{a}
Scirpus mariqueter (C_3)	Leave	-26.7 ± 0.3^{b}	26.3 ± 2.7^{b}
	Litter	-27.9 ± 0.3^{b}	31.7 ± 1.6^{b}
	Root	-26.6 ± 0.2^{b}	27.2 ± 1.1^{b}

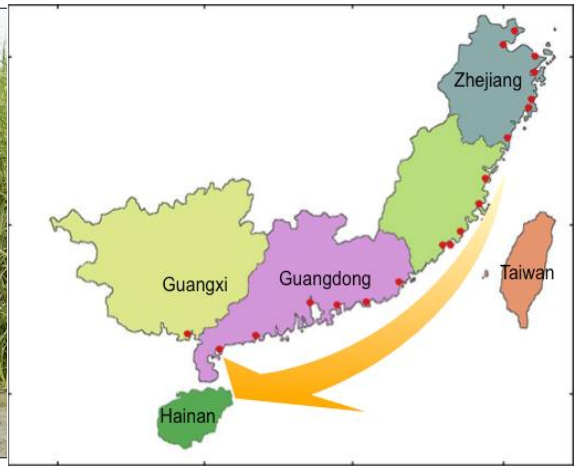
Values are mean ($n = 6$) with standard error. The superscript letters indicate significant differences between two species (t-test, $P < 0.05$).

Cheng, Lin, et al. 2006 SBB

互花米草入侵中国滨海湿地固定了大量的碳



Cheng, Lin, et al. 2006 SBB



互花米草入侵我国红树林

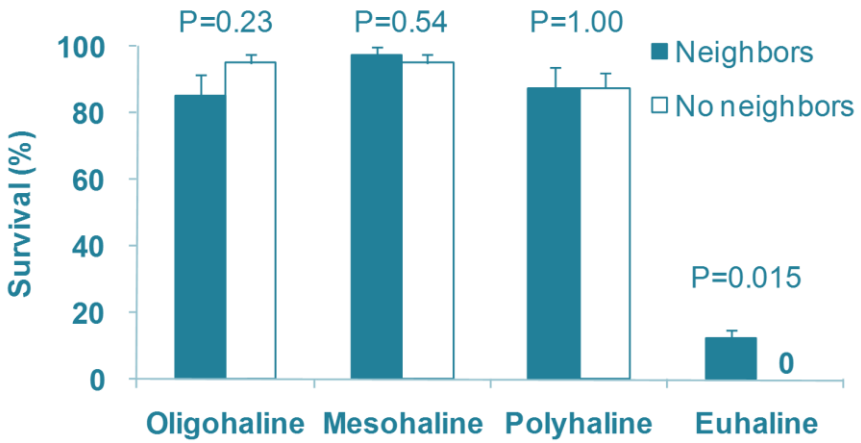
广东珠海

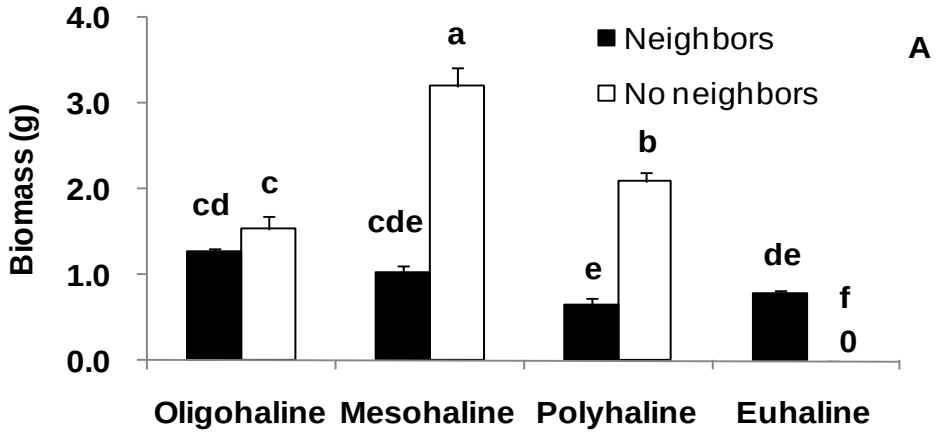
福建宁德

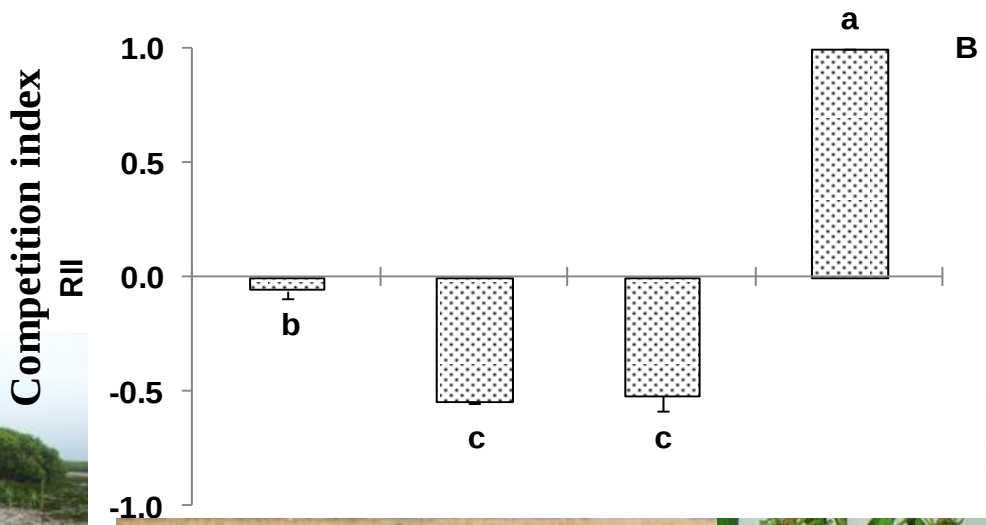
广西北海

在广西北海市铁山港区营盘镇青山头村海域，渔民在互花米草中穿行（7月21日摄）。

Human disturbances facilitate invasion of cordgrass!



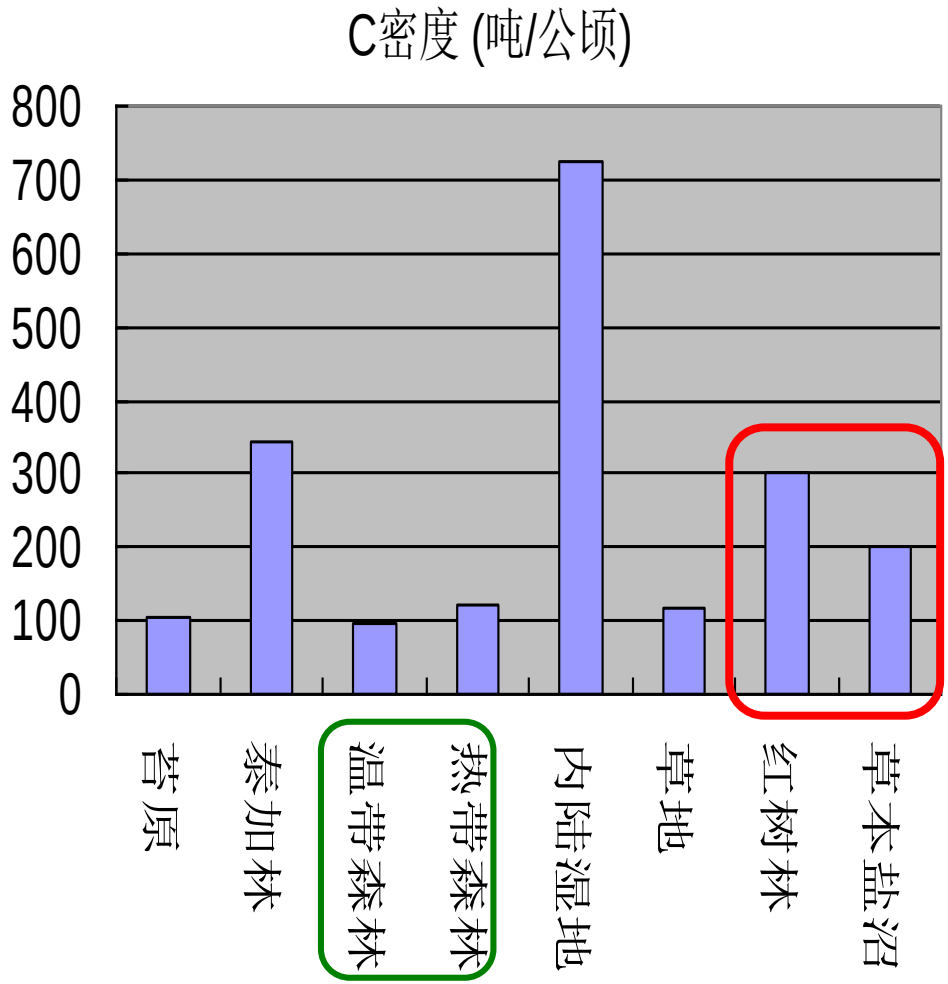


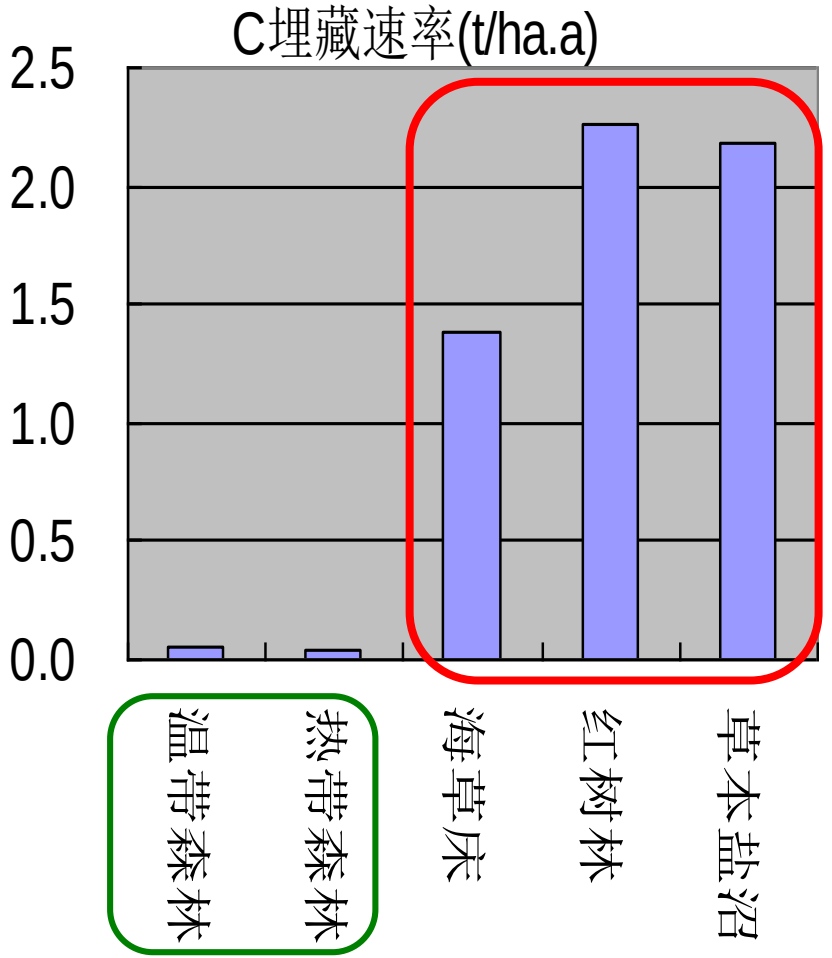


Zhang, Lin, et al. Ecology 2012

世界不同植被土壤碳密度与碳埋藏速率

(Schlesinger 1997; Chmura等2003; Duarte等2005; Lal 2005; Fang等2010)





COASTAL BLUE CARBON

methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows

the BLUE CARBON initiative

CONSERVATION INTERNATIONAL

IUCN

UNESCO

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

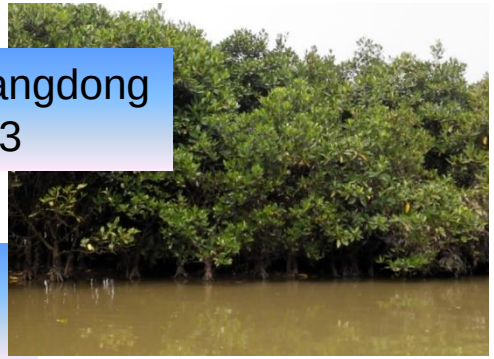
Intergovernmental Oceanographic Commission

中国红树林群落调查

Dongzhai, Hainan
5.11~5.17, 2013

Yunxiao, Fujian
7.22~8.01, 2013

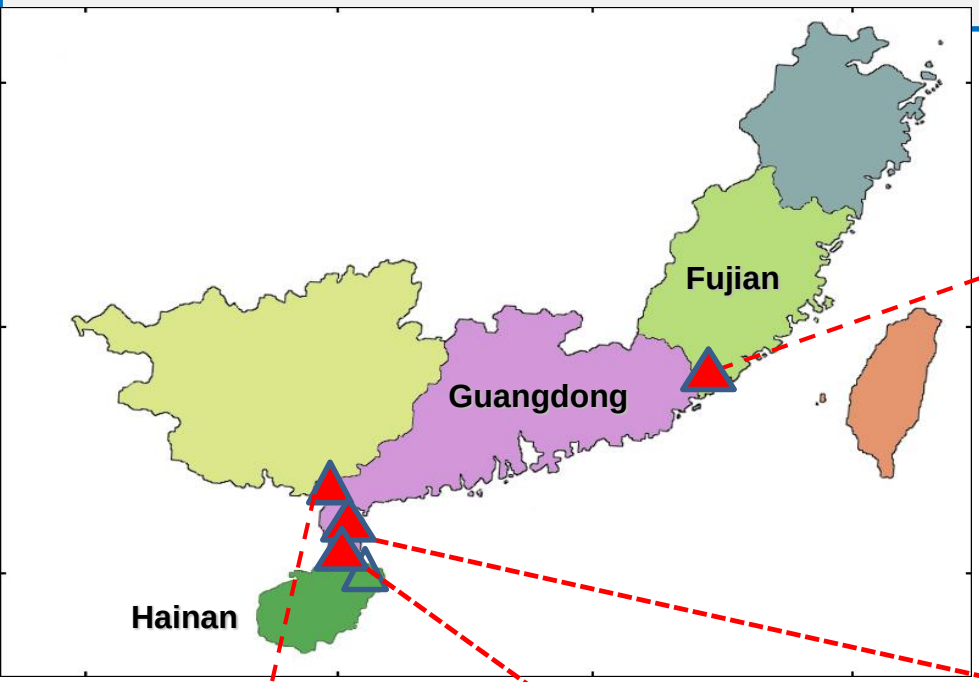
Shenzhen, Guangdong
8.27~8.31, 2013



Wenchang, Hainan
12.11~12.15, 2013

Yunxiao, Fujian
5.12~5.18, 2013

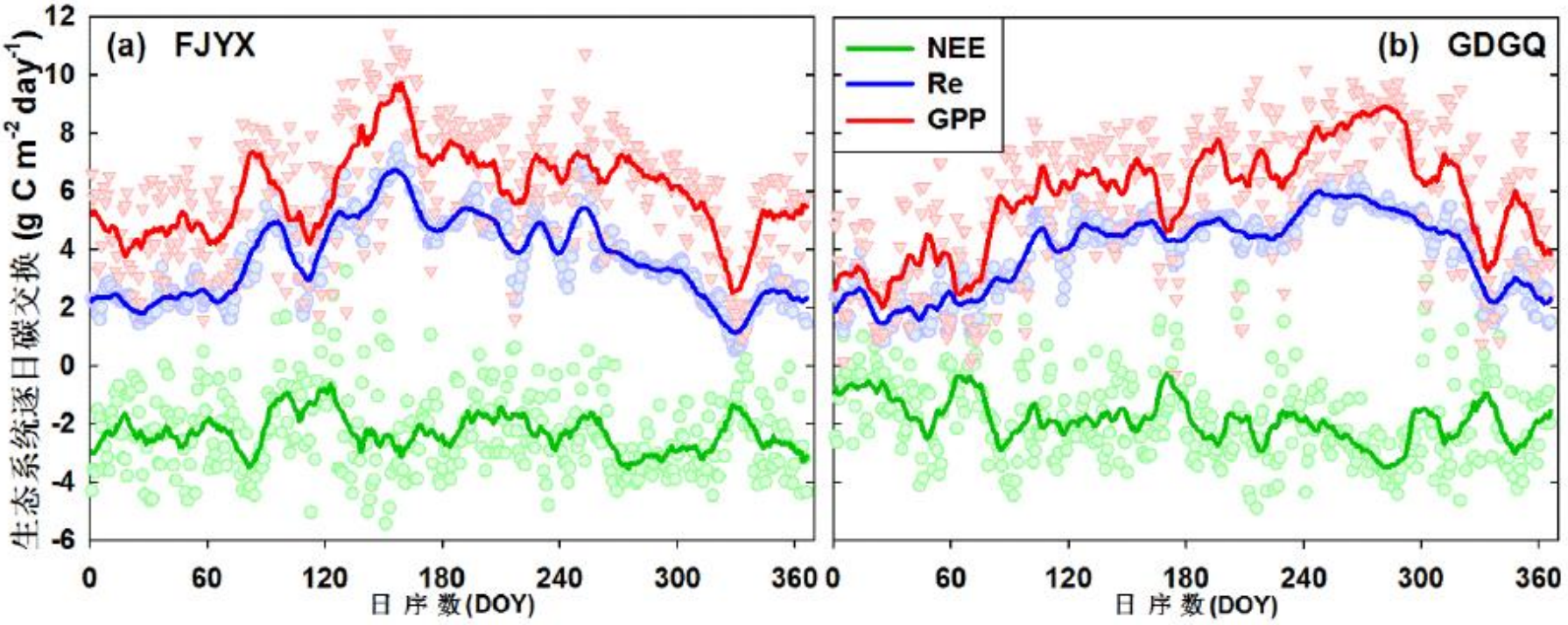
红树林通量观测网



湛江雷州

鱼塘（2015-）

中国红树林冬季碳净交换能力不减！



Agricultural and Forest Meteorology 182–183 (

Contents lists available at Scien

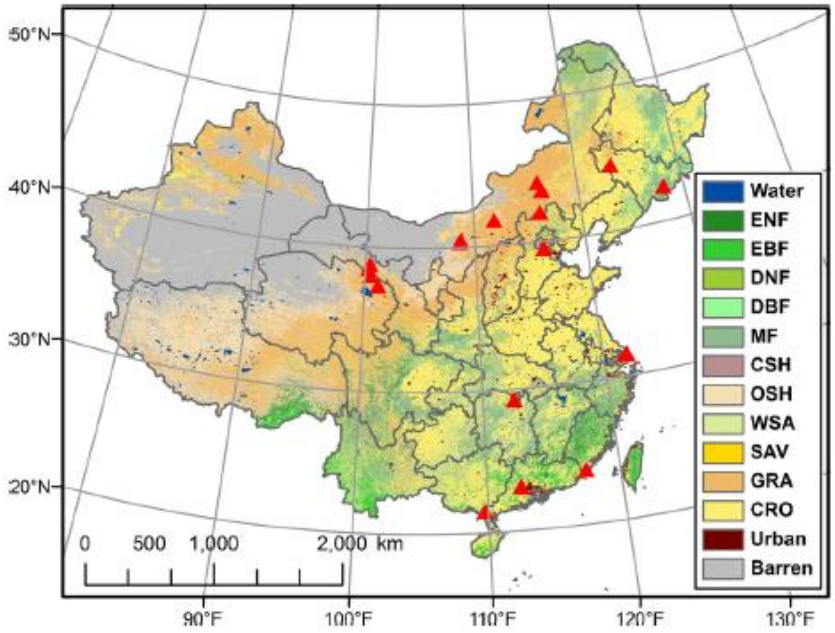
Agricultural and Forest M

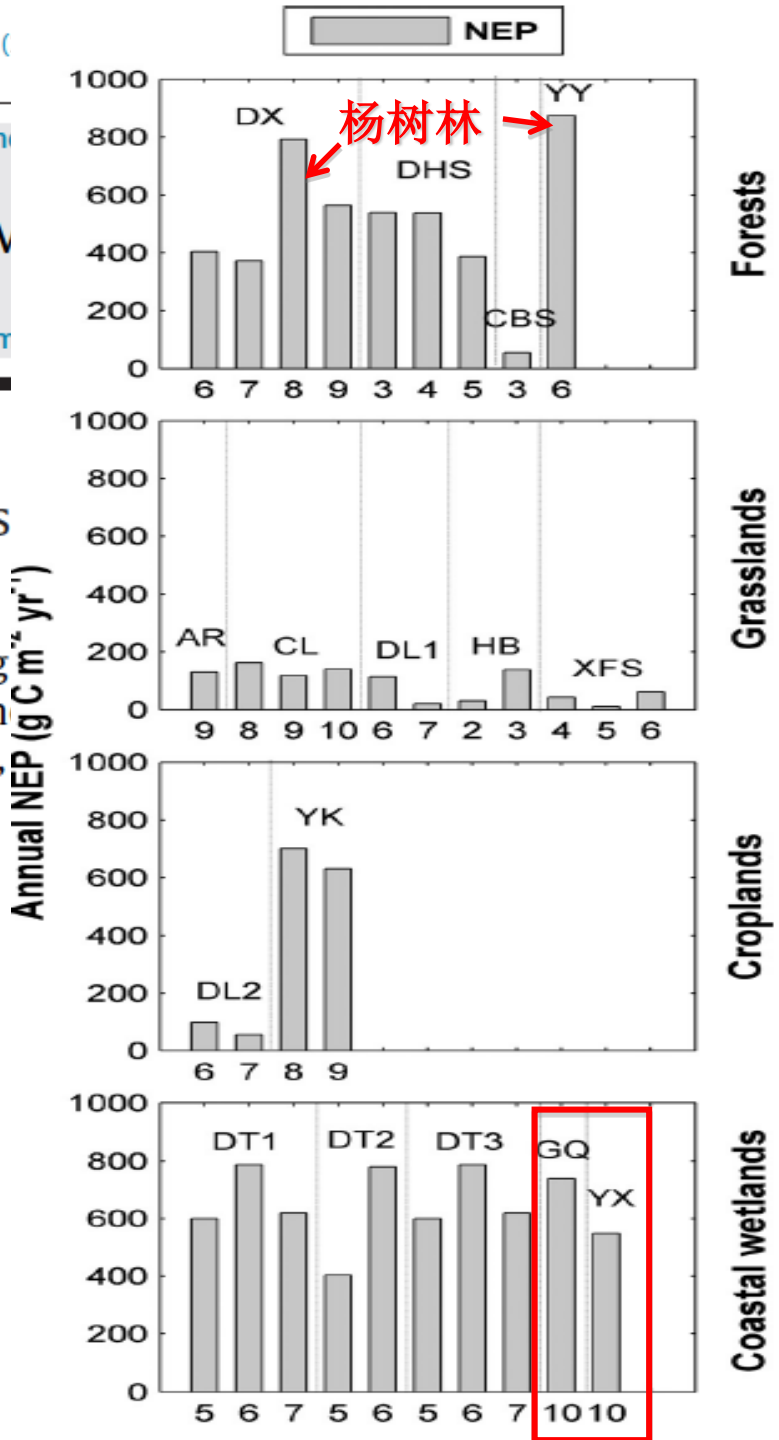
journal homepage: www.elsevier.com

与中国其他生态系统的比较

Carbon fluxes, evapotranspiration, and water us terrestrial ecosystems in China

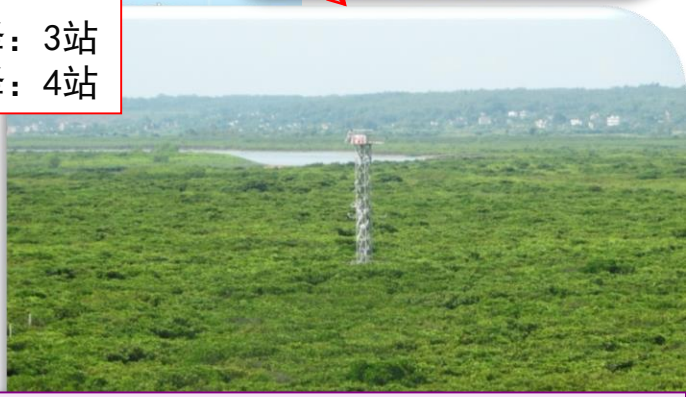
Jingfeng Xiao[a,*], Ge Sun[b], Jiquan Chen[c,d], Hui Chen[e], Shiping
Shenghua Gao[h], Haiqiang Guo[i], Jixun Guo[j], Shijie Han[k], Tom
Guanghui Lin[n], Weizhi Lu[e], Mingguo Ma[o], Steven McNulty[b],





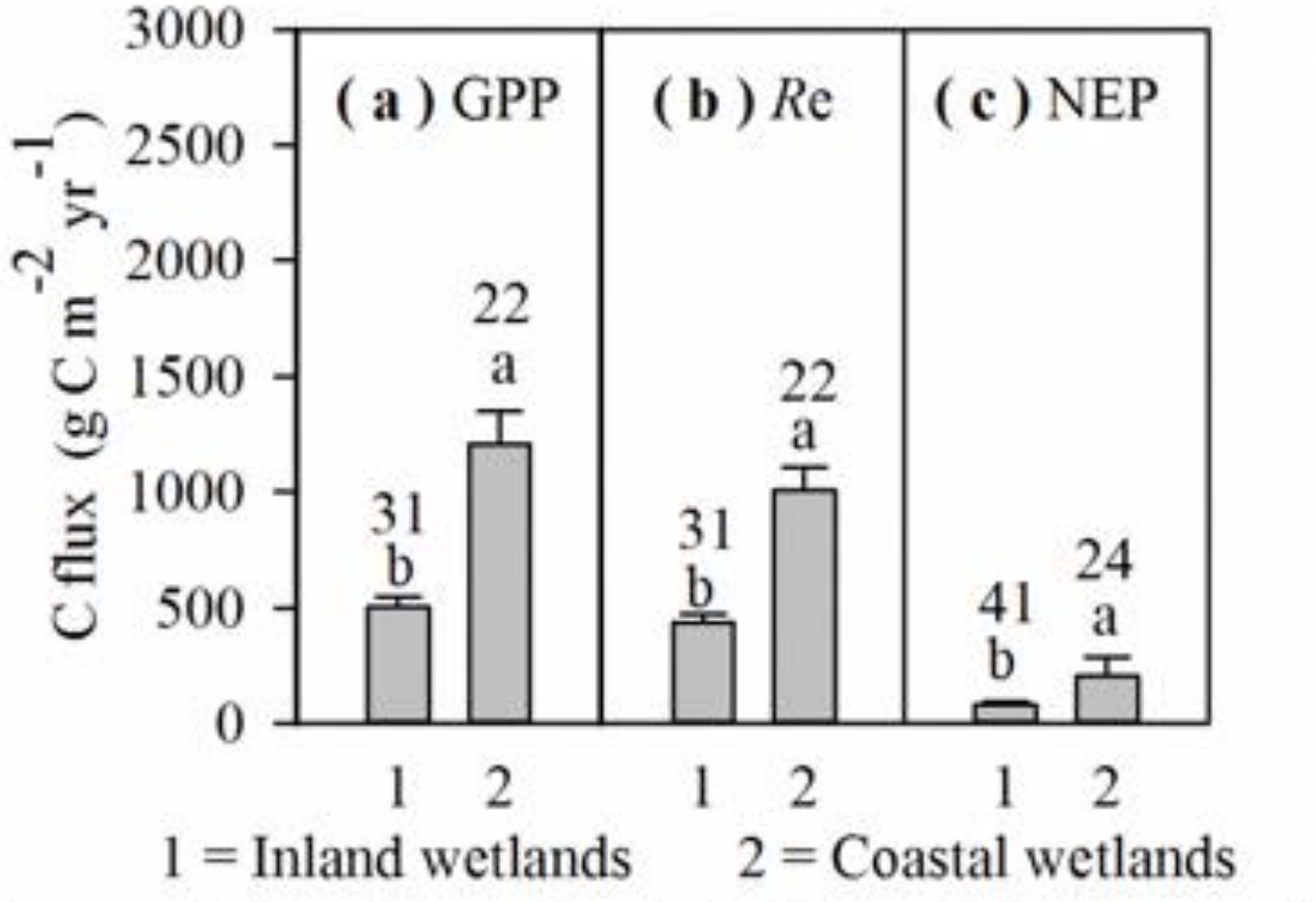
全球滨海湿地数据收集

红树林：4站
盐沼：9站
河口淡水沼泽：3站
河口森林沼泽：4站



收集了全球3大类滨海湿地碳库、碳通量数据

滨海湿地碳交换能力显著高于内陆湿地！



Lu, Lin, et al. *Global Change Biology* (in press)

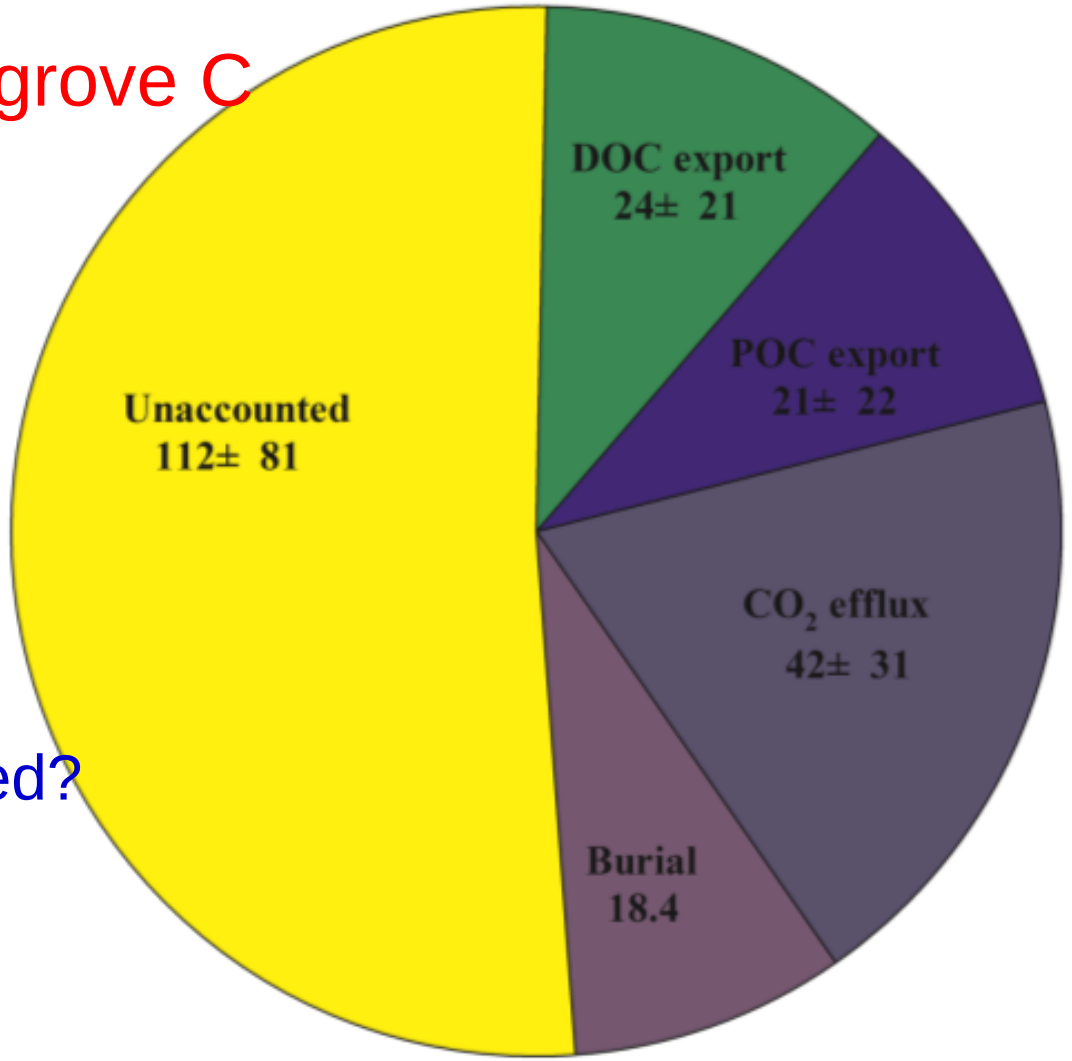
Missing Carbon in Mangrove

About 50% of mangrove C unaccountable!

Hypothesis:

DIC export or
Burial C underestimated?

DIC: Dissolved Inorganic C
DOC: Dissolved Organic C
POC: Particular Organic C



Bouillon et al. 2008

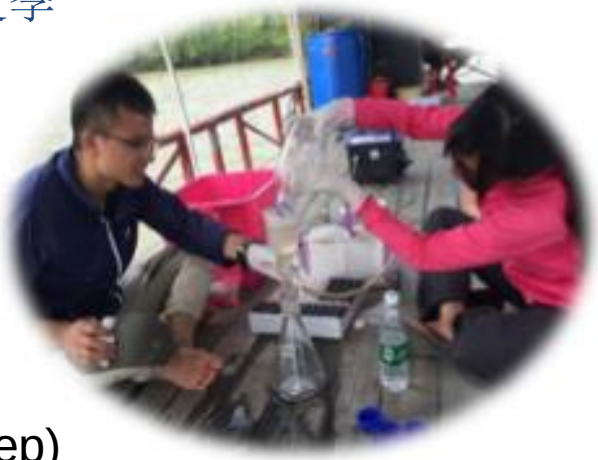
利用稳定同位素量化河口湿地碳的横向交换

湛江英罗湾河口

2014年冬季

湛江南渡河河口

2015年夏季



Li et al. 2015; Gan et al. 2015 (in prep)

全球尺度的碳循环研究也需要稳定同位素技术

$$\frac{dc_a}{dt} = \sum_i F_i$$

$$\frac{dx_a}{dt} = \sum_i \Delta_i F_i$$

c_a atmospheric CO_2 conc.

F_i CO_2 gross flux (density)

x_a other atmospheric gas

Δ_i ~const

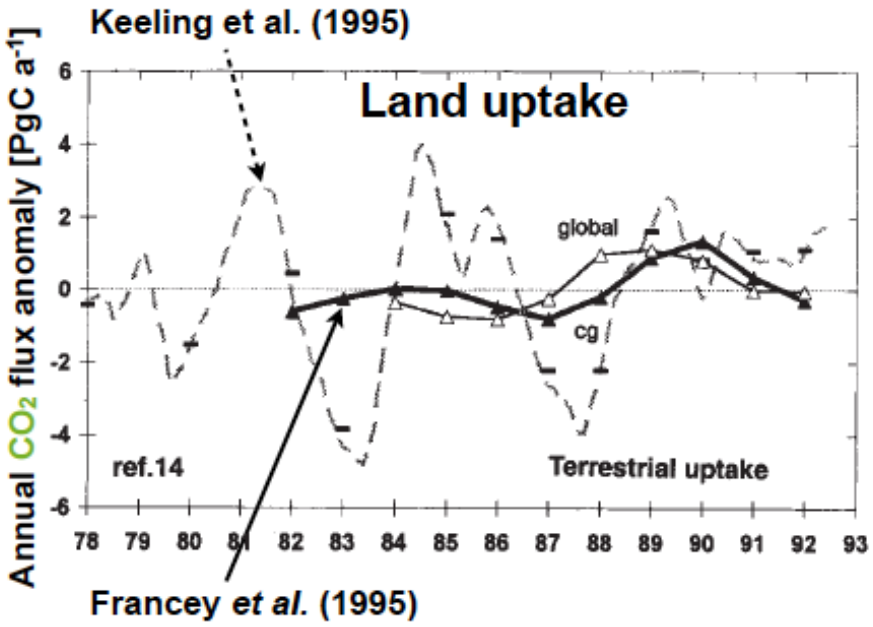
➡ Ocean vs. land

e.g. IPCC (2001, 2007)

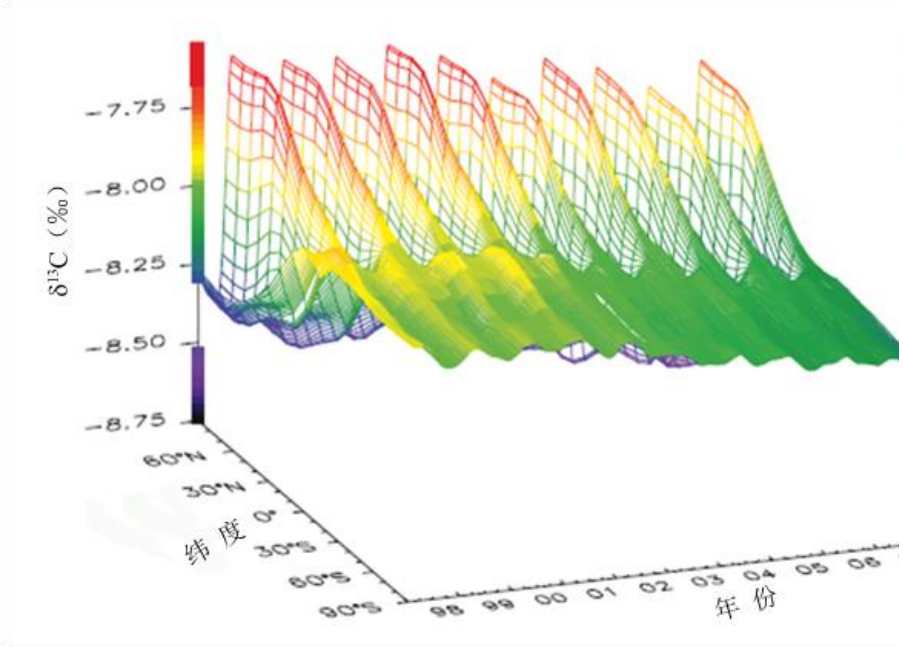
$x_a = O_2$

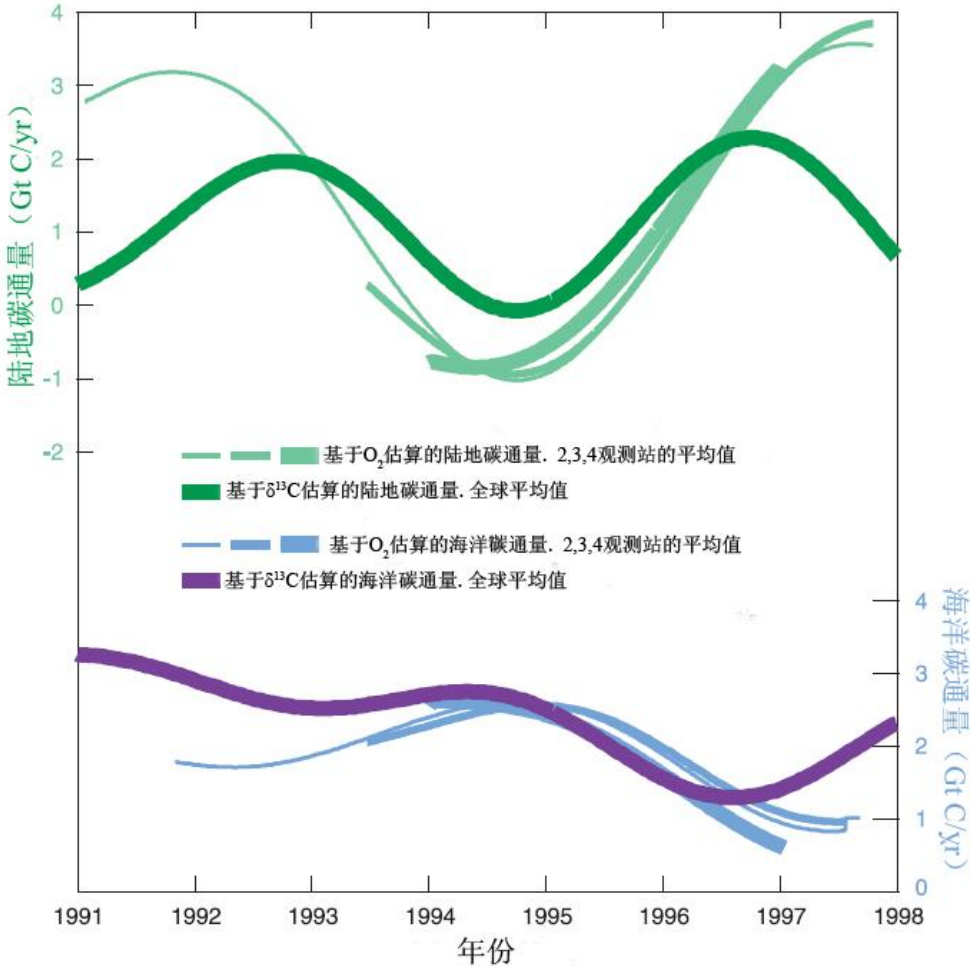
e.g. IPCC (1995, 2007)

$x_a = {}^{13}CO_2$



大气CO_2同位素时空分布与全球陆海碳汇变化



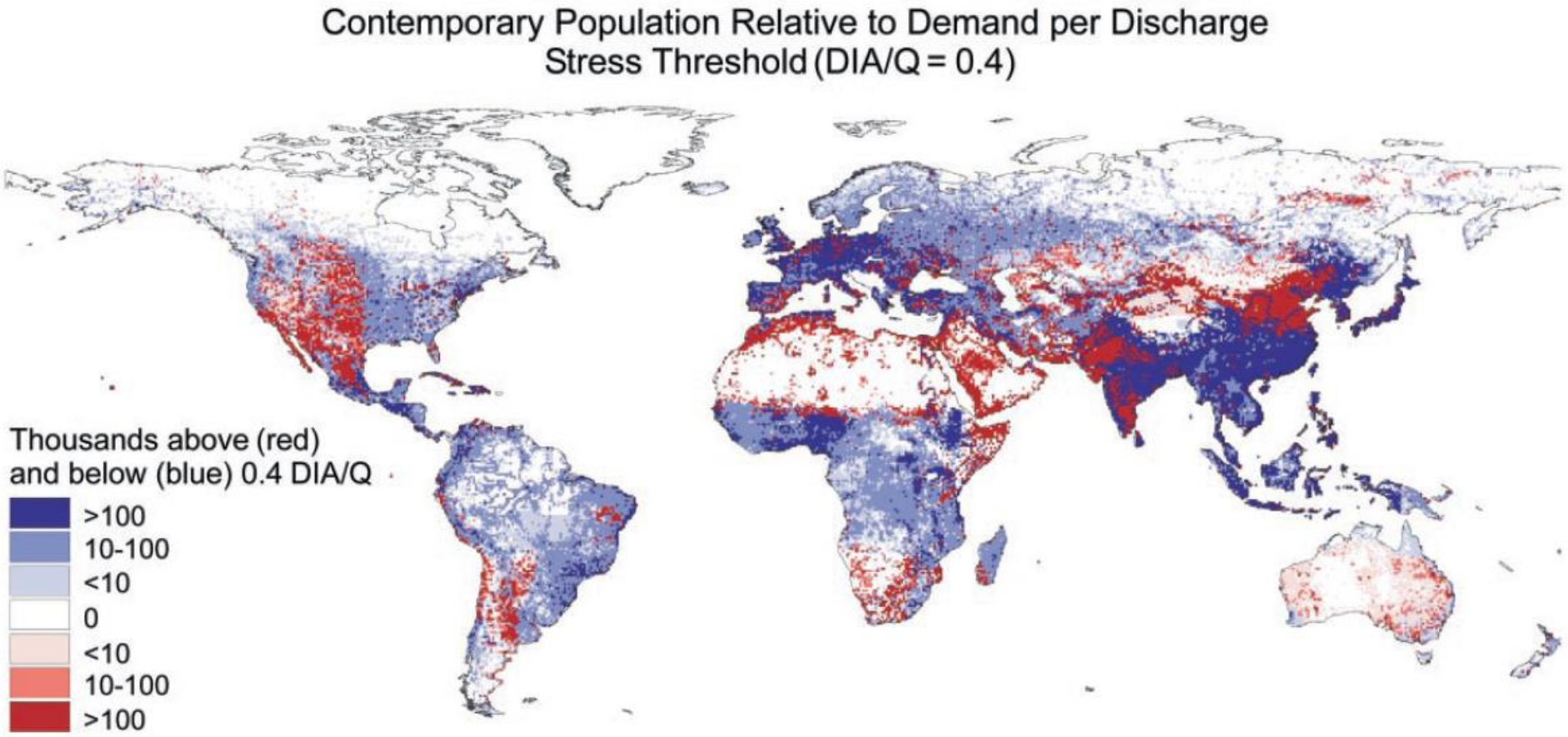


Battle *et al.*，2000 Nature

汇报提纲

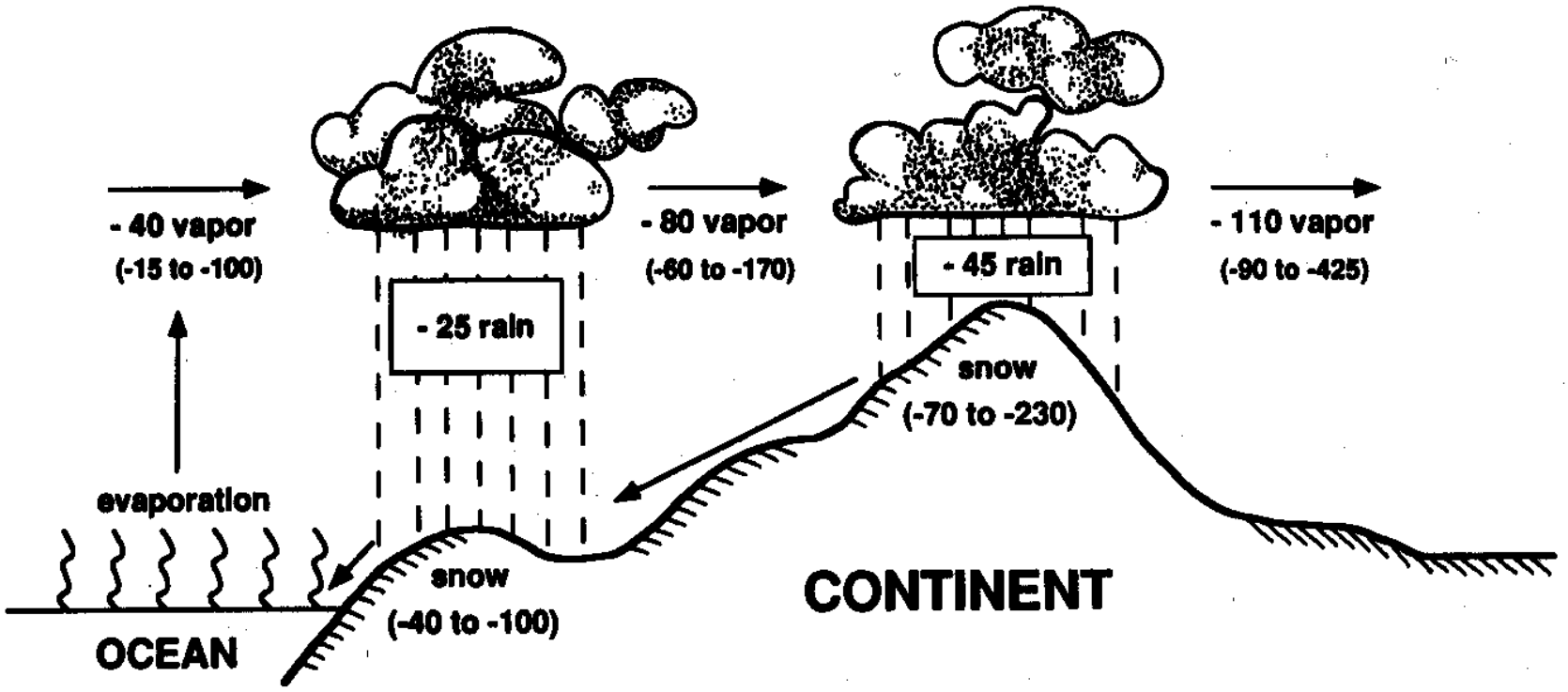
- 稳定同位素基本概念与学科发展史
- 稳定同位素与生态系统碳交换研究
- **稳定同位素与生态系统水分关系研究**

Human welfare demands sustainable water

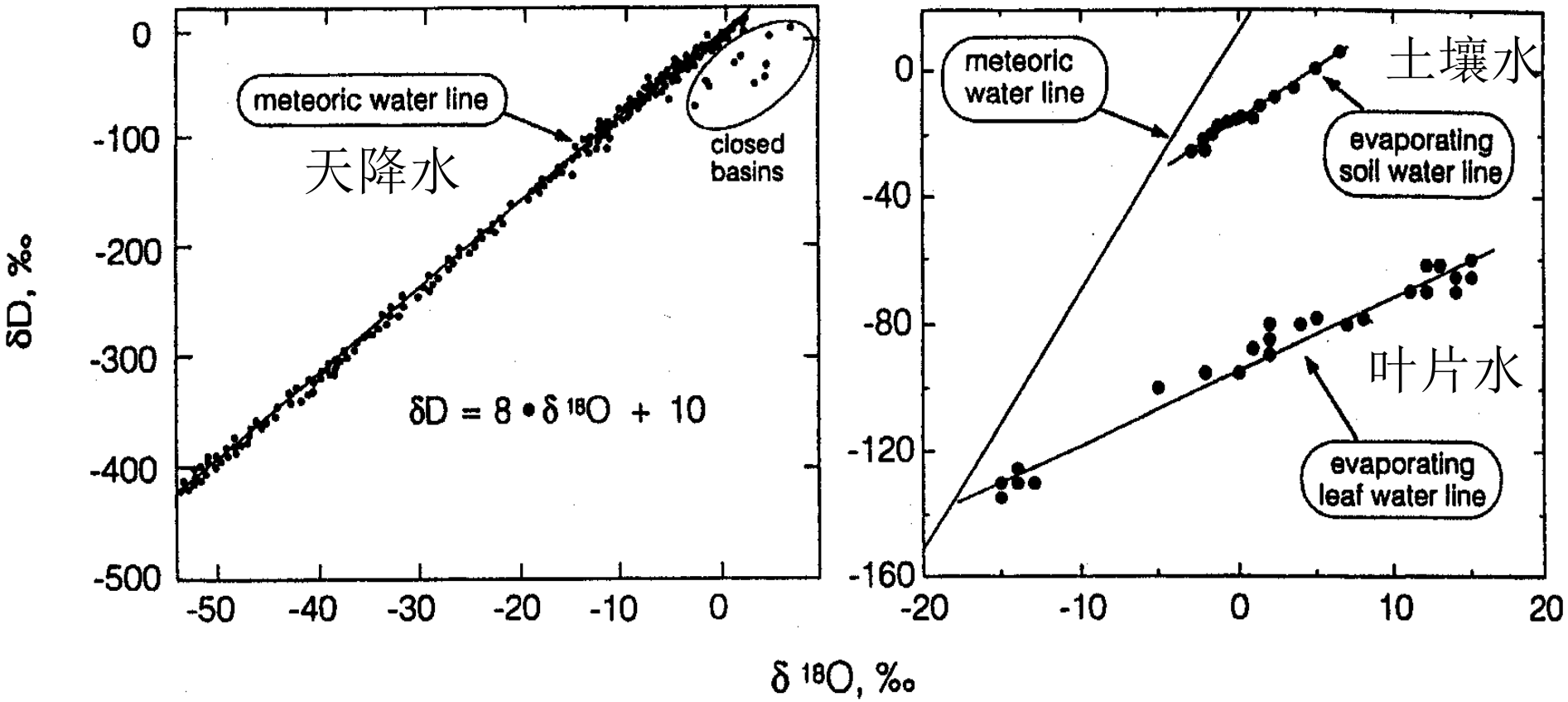


Vörösmarty et al., *Science*, 2000

水循环过程中氢同位素分馏

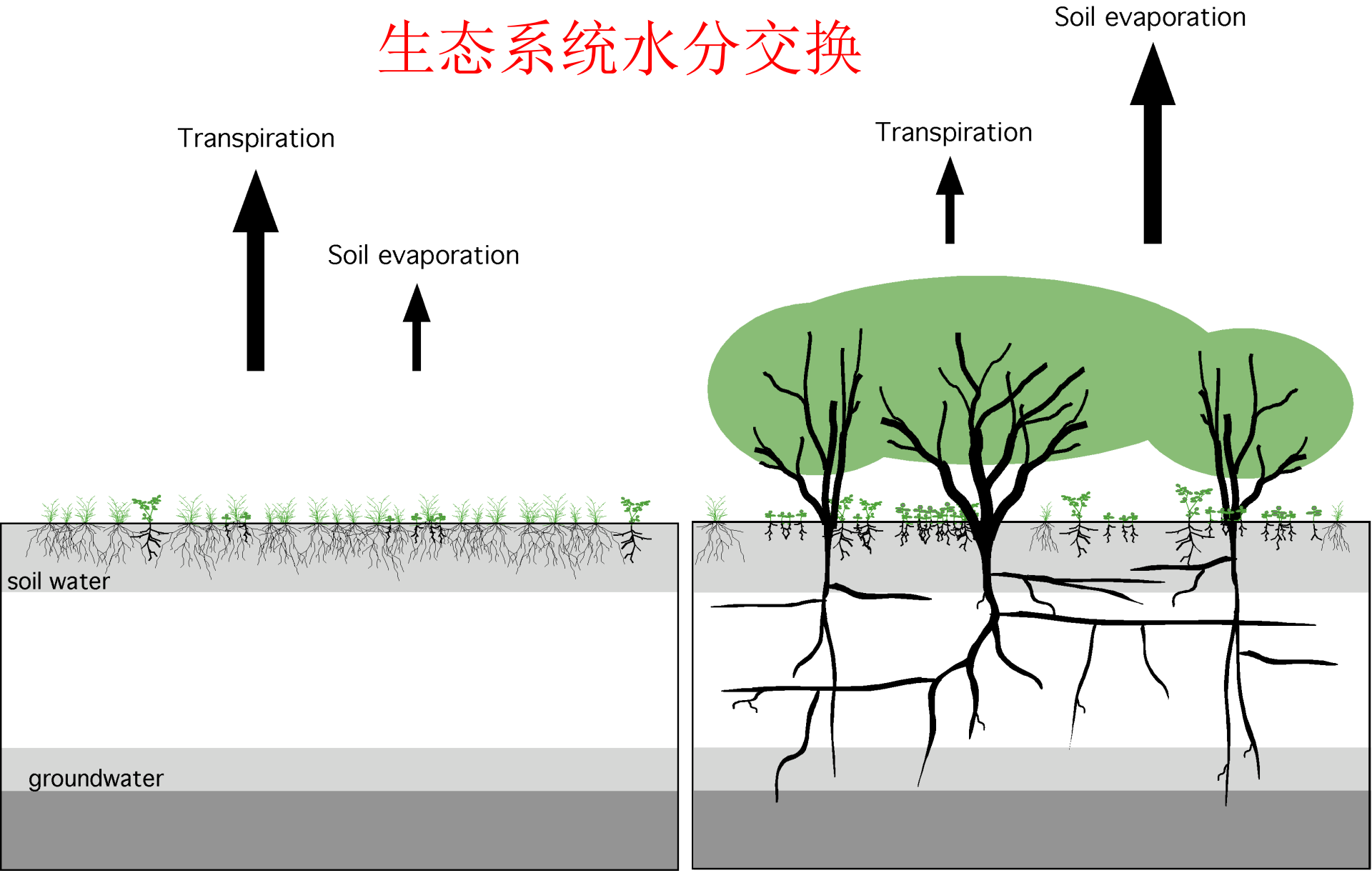


不同水的氢氧同位素特征

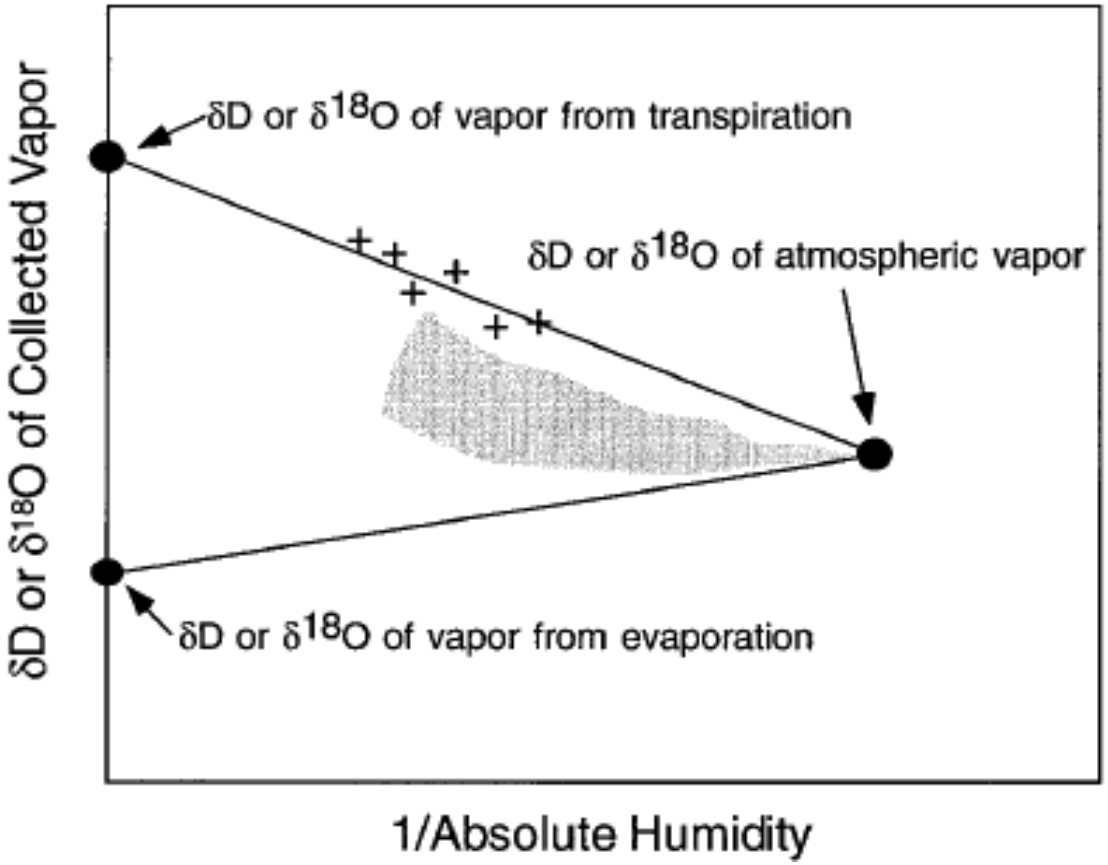


Fate of summer precipitation pulse

生态系统水分交换



ET同位素拆分的原理



measured unknown

$$ET = E + T$$

$$\delta_{ET} ET = \delta_E E + \delta_T T$$

estimated estimated

$$F_T(\%) = \frac{\delta_{ET} - \delta_E}{\delta_T - \delta_E}$$

生态系统ET同位素拆分的研究案例

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE DIRECT®

Agricultural and Forest Meteorology 119 (2003) 53–68

AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY

www.elsevier.com/locate/agrformet

Partitioning overstory and understory evapotranspiration in a semiarid savanna woodland from the isotopic composition of water vapor

Enrico A. Yepez [a,*], David G. Williams [a,1], Russell L. Scott [b], Guanghui Lin [c]

[a] *School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA*

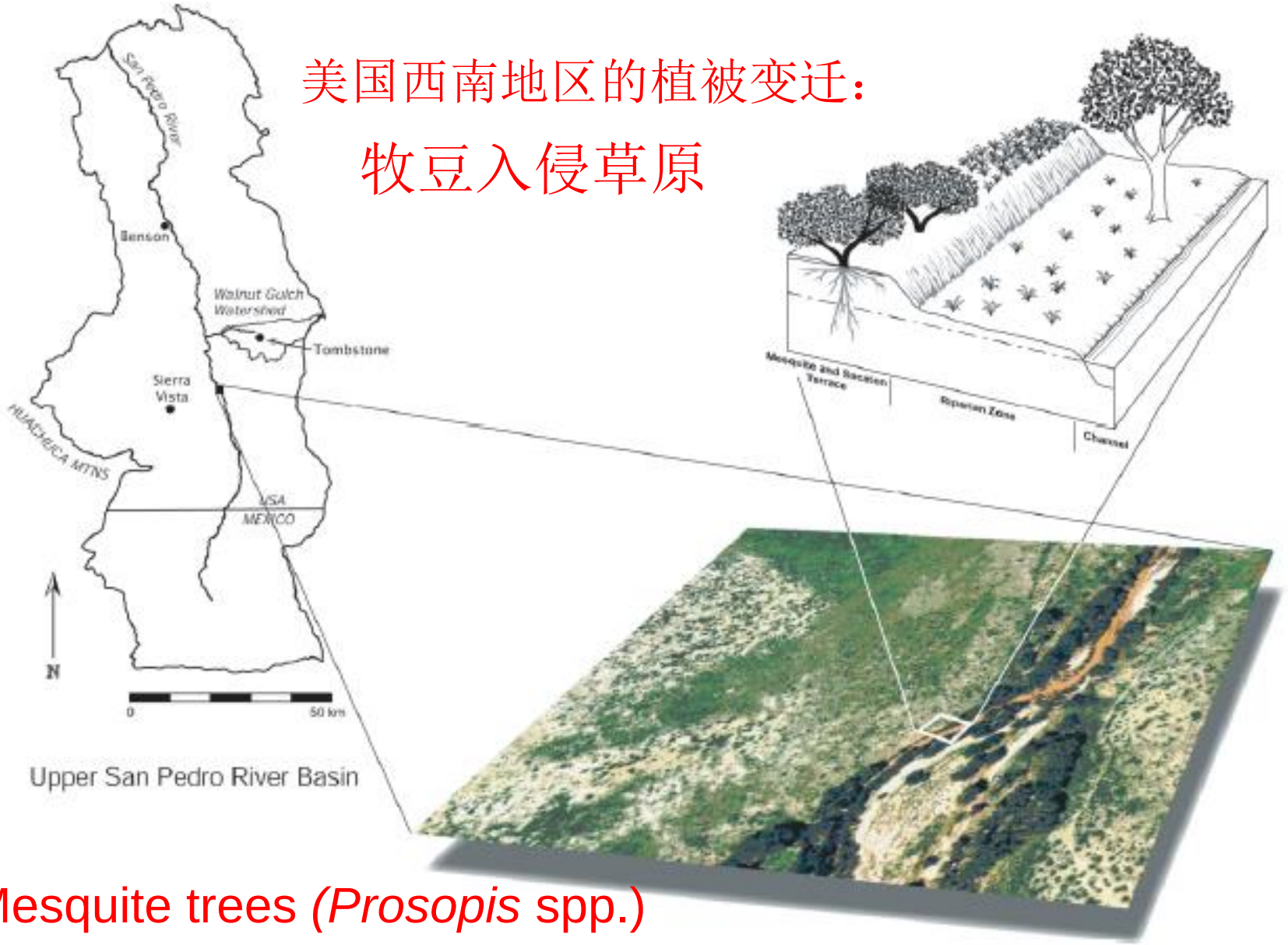
[b] *Southwest Watershed Research Center, USDA-ARS, Tucson, AZ 85719, USA*

[c] *Biosphere-2 Center, Columbia University, Oracle, AZ 85623, USA*

Received 15 January 2003; received in revised form 16 April 2003; accepted 29 April 2003

美国西南地区的植被变迁：

牧豆入侵草原



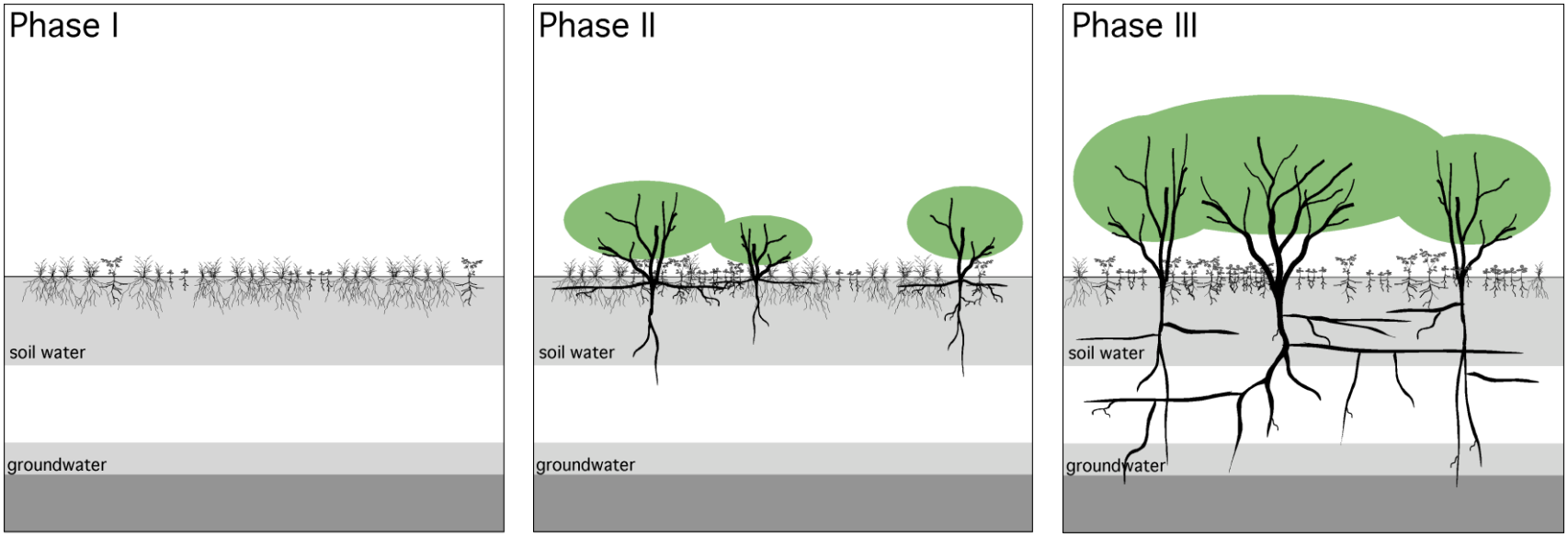
Mesquite trees (*Prosopis* spp.)

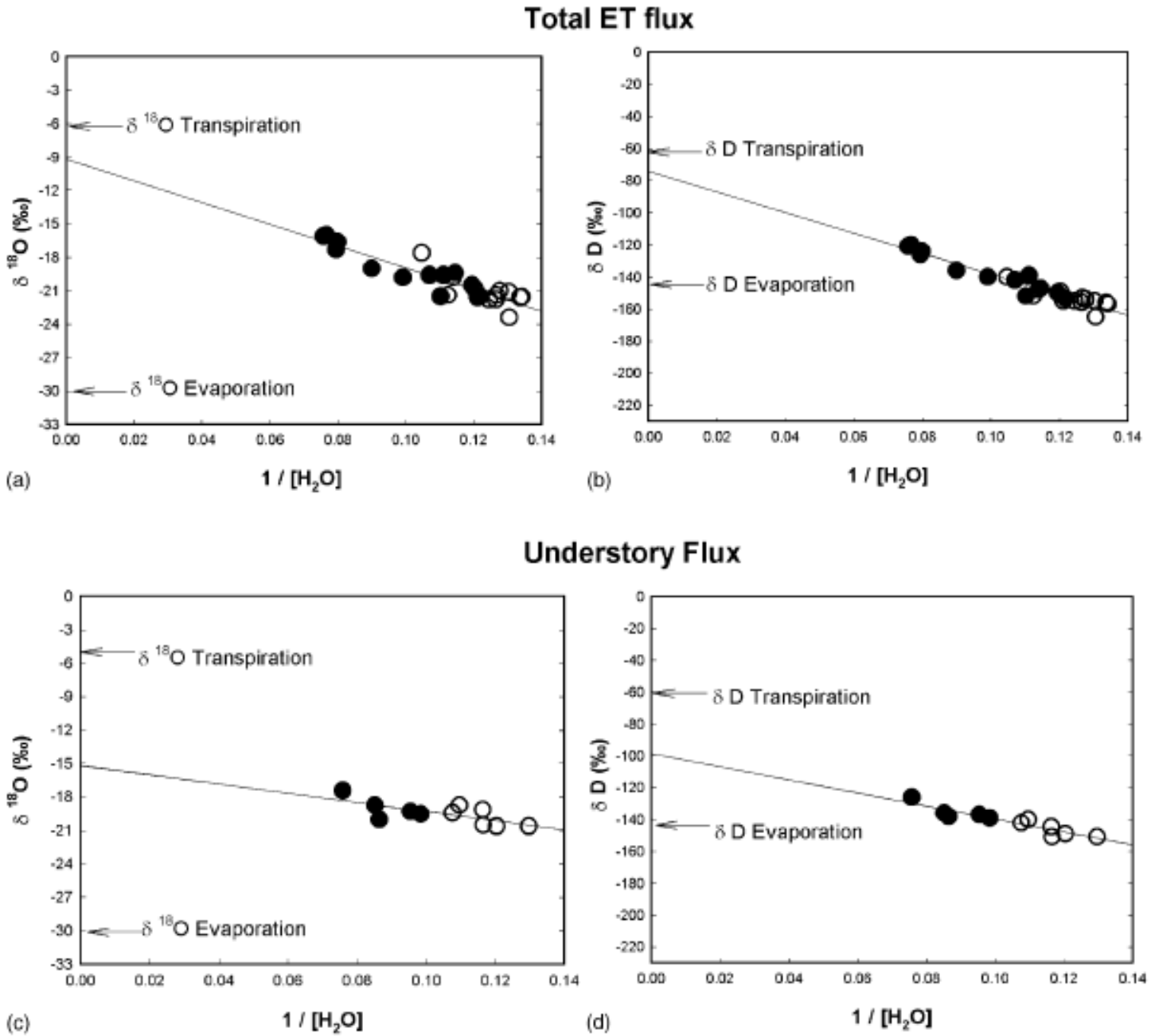
Figure 1. Location of research area on the Upper San Pedro River and representation of pre-entrenchment floodplain terrace supporting sacaton (*Sporobolus* spp.) grassland and mesquite (*P. velutina*) woodland, and streamside riparian forest dominated by cottonwood (*P. fremontii*)

Vegetation cover change

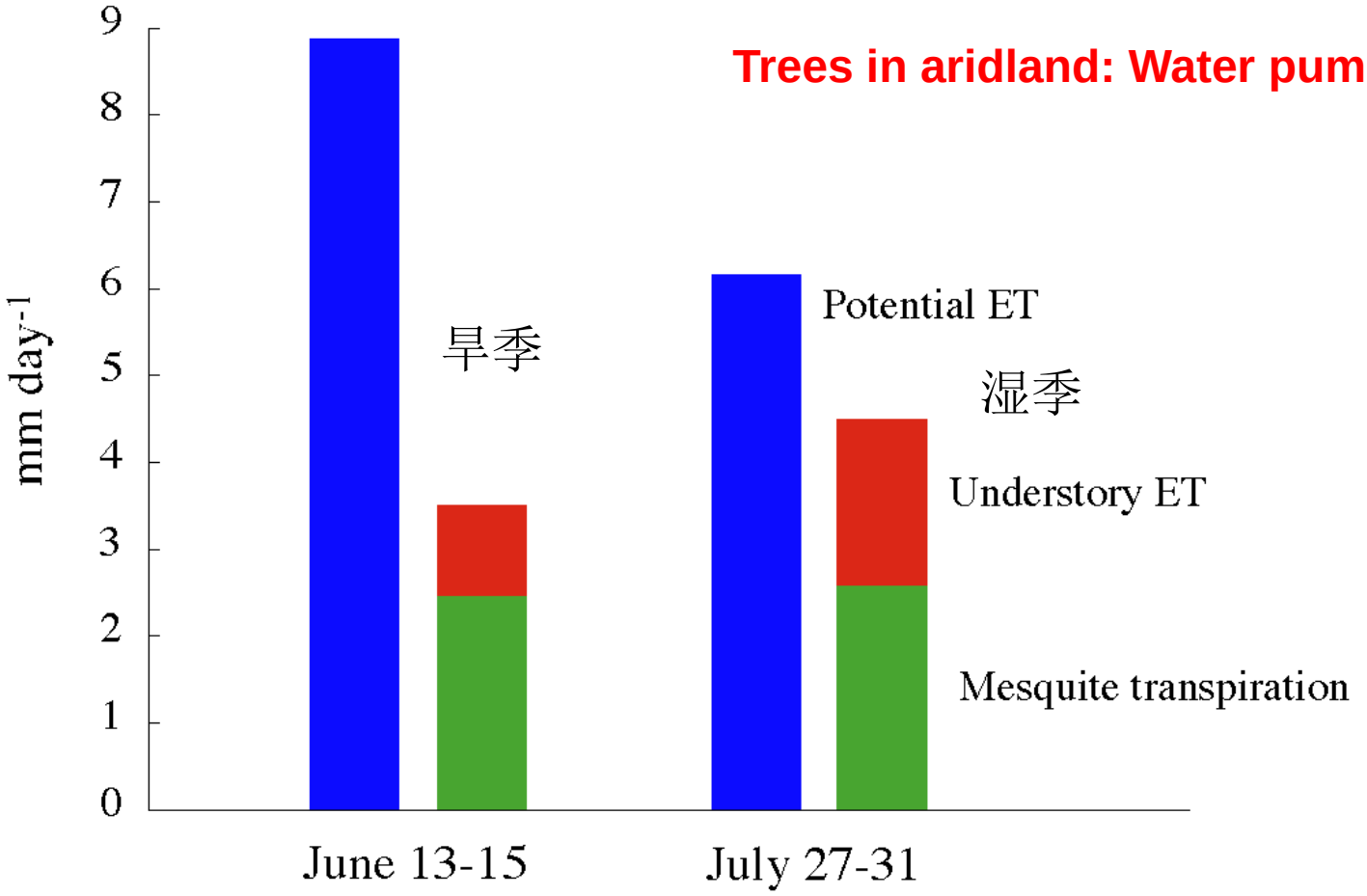
Woody plant encroachment into grassland

grassland → **shrub savanna** → **woodland**




Total ET flux
δ 18O Transpiration
δ 18O Evaporation
δ 18O (‰)
1 / [H2O]
(a)
δ D Transpiration
δ D Evaporation
δ D (‰)
1 / [H2O]
(b)
Understory Flux
δ 18O Transpiration
δ 18O Evaporation
δ 18O (‰)
1 / [H2O]
(c)
δ D Transpiration
δ D Evaporation
δ D (‰)
1 / [H2O]
(d)

沙漠种树 ➔ 安装小抽水机！



Yepez et al. 2003, AFM
Williams etal., 2004, Hydrol. Process
（USDA Secretary Award for Excellency, 2002）

Agricultural and Forest Meteorology

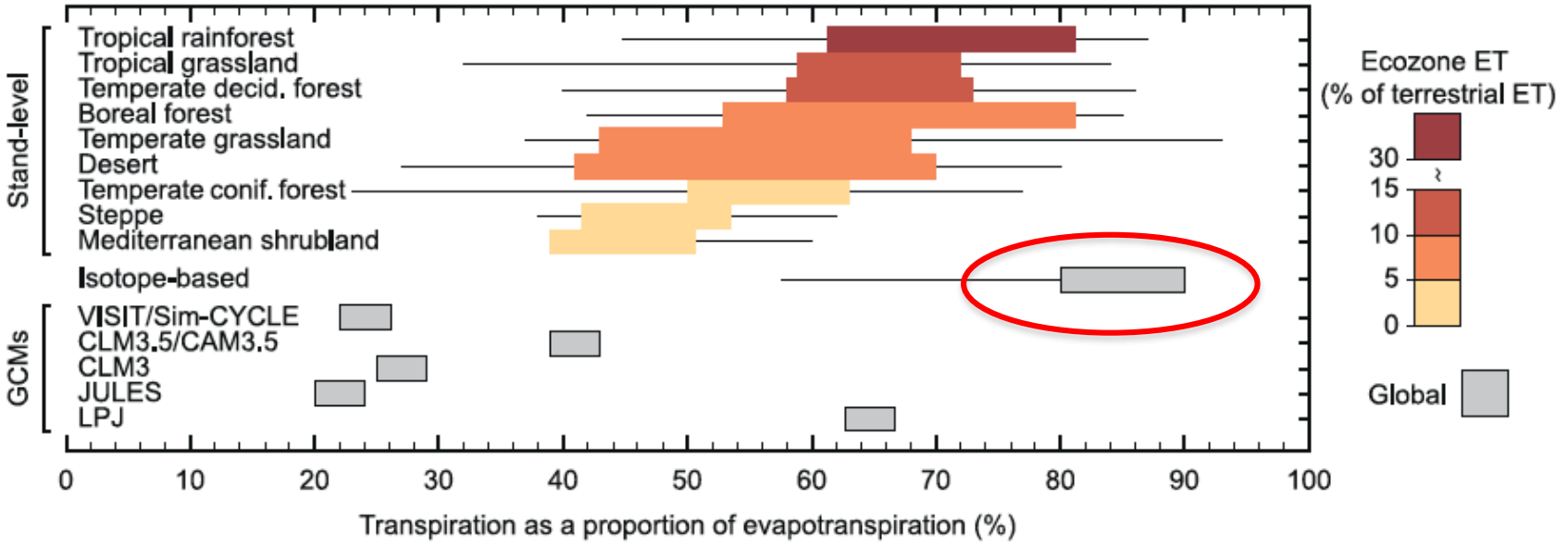
journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

Short communication

Transpiration in the global water cycle

William H. Schlesinger[a,*], Scott Jasechko[b]

同位素ET拆分结果挑战了传统认识！



LETTER

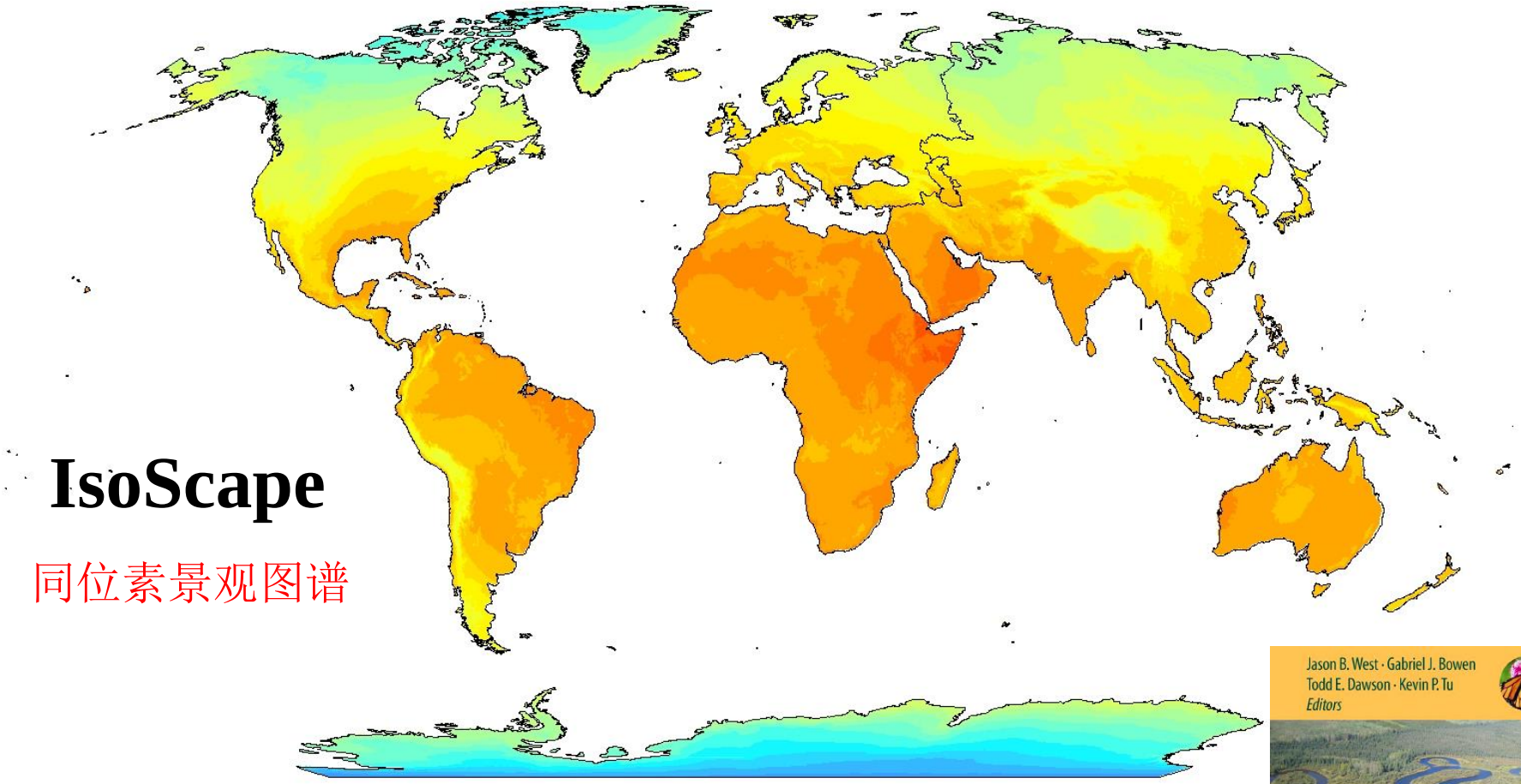
doi:10.1038/nature11983

Terrestrial water fluxes dominated by transpiration

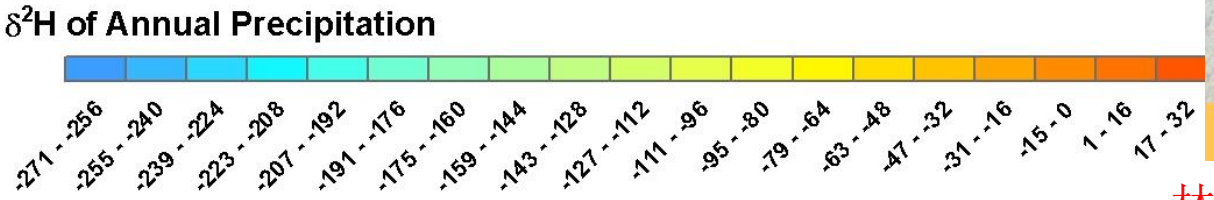
Scott Jasechko[1], Zachary D. Sharp[1], John J. Gibson[2,3], S. Jean Birks[2,4], Yi Yi[2,3] & Peter J. Fawcett[1]

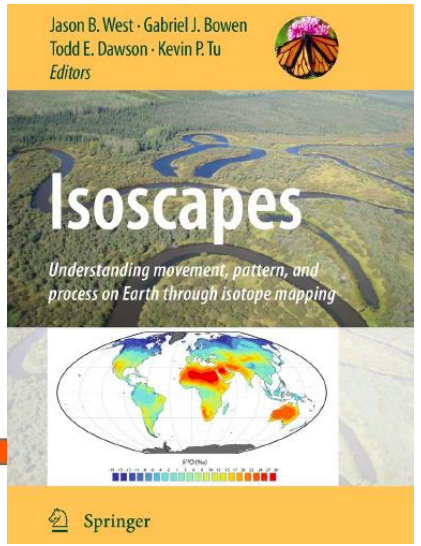
IsoScape

同位素景观图谱



West et al.



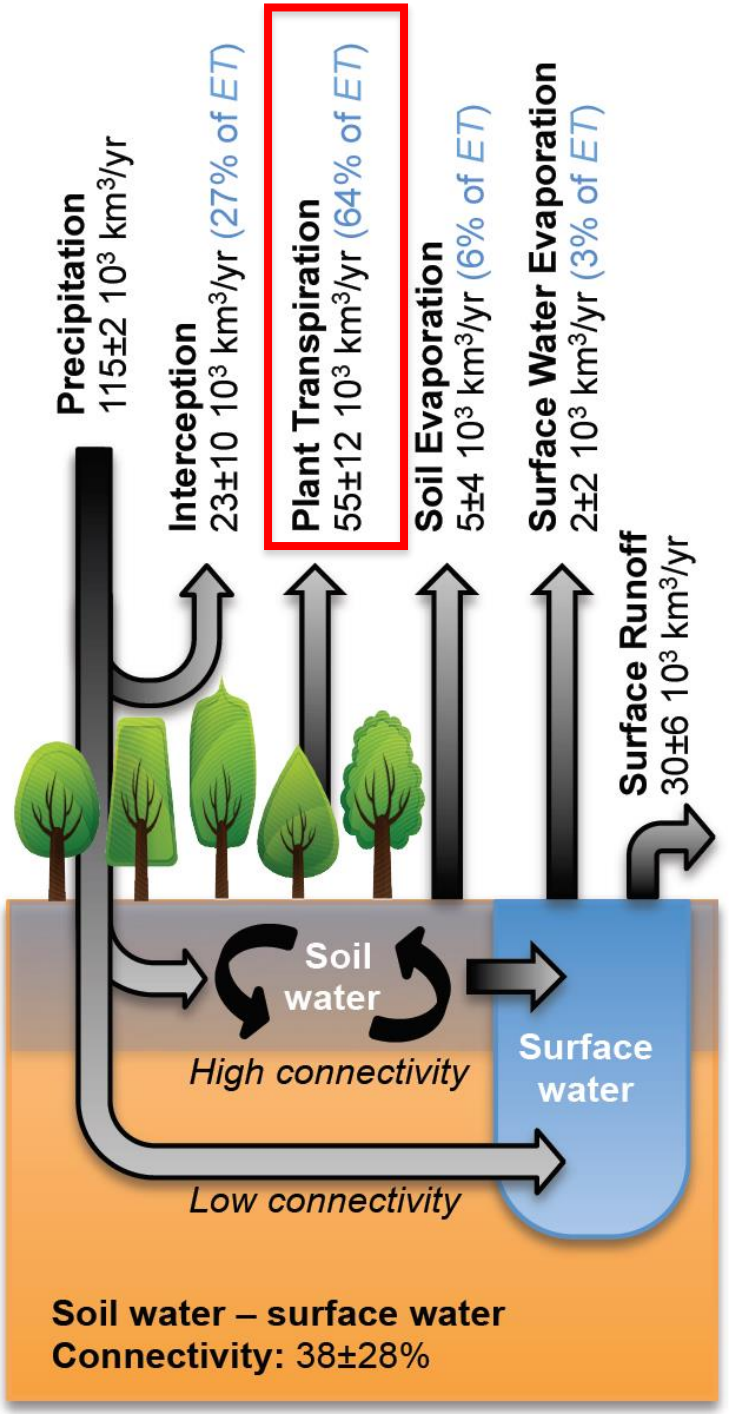


林光辉等译（2016）

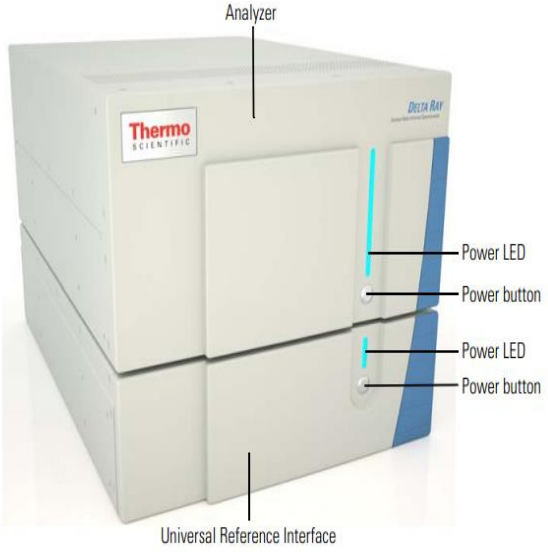
全球水循环同位素估算

- Globally, transpiration accounts for the majority of ET （~64%）；
- Low connectivity of soil and surface waters suggests dominance of preferential flow.

Good, Noone and Bowen, 2015, *Science*



同位素检测新仪器



光谱同位素仪

新一代同位素比率质谱仪

《美国科学院院刊》2015年1月20日在线发表

PNAS

Microbial denitrification dominates nitrate losses from forest ecosystems

Yunting Fang[a,b], Keisuke Koba[b,1], Akiko Makabe[b], Chieko Takahashi[b], Weixing Zhu[c], Takahiro Hayashi[b], Azusa A. Hokari[b], Rieko Urakawa[d], Edith Bai[a], Benjamin Z. Houlton[e], Dan Xi[a], Shasha Zhang[a], Kayo Matsushita[b], Ying Tu[a], Dongwei Liu[a], Feifei Zhu[a], Zhenyu Wang[a], Guoyi Zhou[f], Dexiang Chen[g], Tomoko Makita[b], Hiroto Toda[b], Xueyan Liu[b], Quansheng Chen[a,h], Deqiang Zhang[f], Yide Li[g], and Muneoki Yoh[b]

[a]State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; [b]Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo 1838509, Japan; [c]Department of Biological Sciences, Binghamton University, The State University of New York, Binghamton, NY 13902; [d]Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 1138657, Japan; [e]Department of Land, Air, and Water Resources, University of California, Davis, CA 95616; [f]Key Laboratory of Vegetation Restoration and Management of Degraded Ecosystems, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; [g]Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; and [h]State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Edited by Sarah E. Hobbie, University of Minnesota, St. Paul, Saint Paul, MN, and approved December 10, 2014 (received for review September 1, 2014)

Denitrification removes fixed nitrogen (N) from the biosphere, thereby restricting the availability of this key limiting nutrient for watershed mass balance techniques are nonintrusive and can provide larger scale insights into gaseous N losses, this approach relies

四、扩展稳定同位素生态学的应用领域

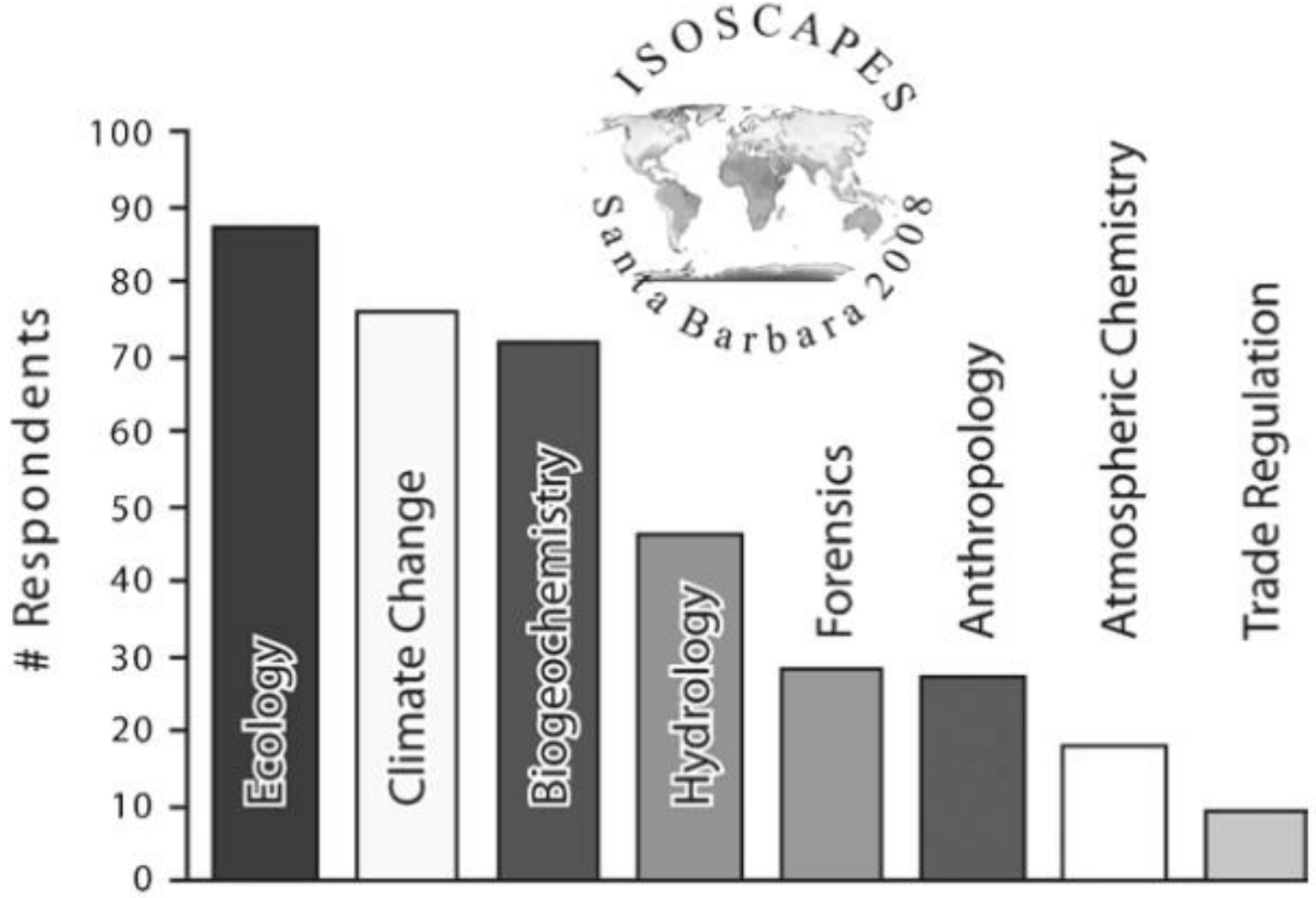
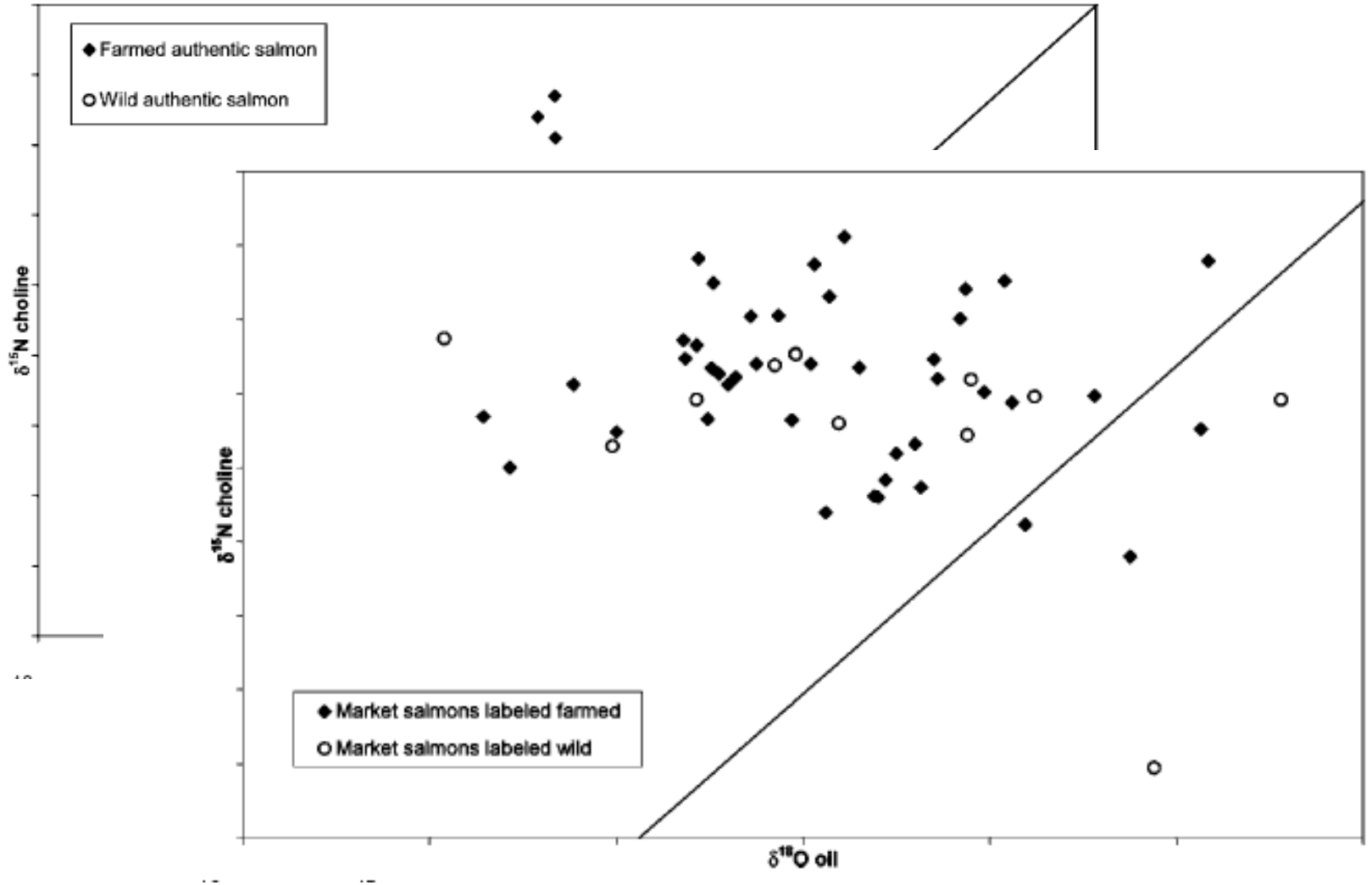


Fig. 1 Areas of research interest represented at the Isoscapes 2008 conference. Registrants (N = 124) were asked to indicate one or more primary areas of research interest

West et al. 2010

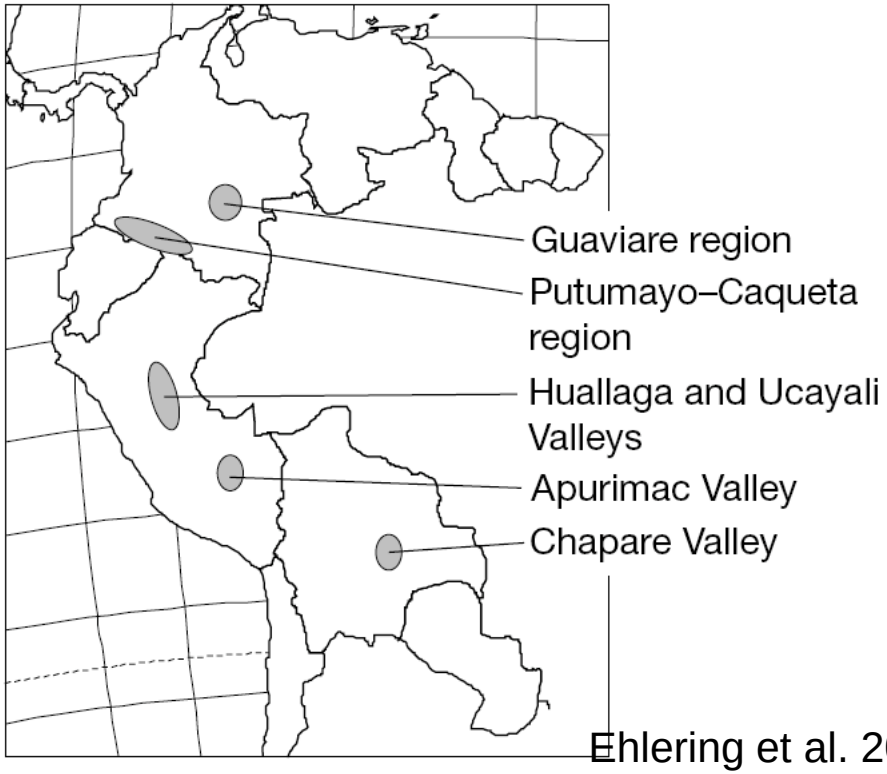
野生还是人工养殖的水产品?

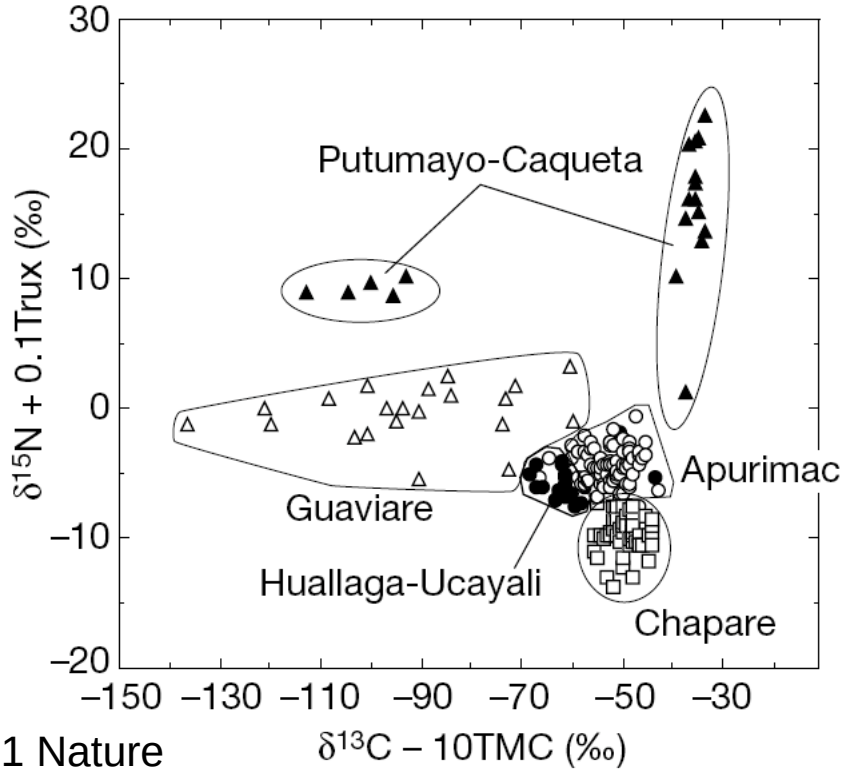


Telltale Isotopes in Marijuana Are Nature's Tracking Devices

Gary Kazanjian for The New York Times

毒品来源鉴定与缉毒





Ehlering et al. 2001 Nature

总　　结

- 稳定同位素生态学是分析化学新技术进步催生的新分支学科，过去30年国内外发展迅速；

- 稳定同位素可以指示和整合生态学不同时间尺度（小时至千万年）、空间尺度（分子、个体、群落、生态系统、全球）的过程，在生态系统碳水交换等研究中发挥了重要作用；

- 稳定同位素生态学的研究成果已推广应用到食品产地溯源、刑侦、缉毒、防恐等民生领域，具有广阔的应用前景。

清華大學
Tsinghua University

谢谢！

★ 项目资金支持：973项目（2013CB956601）、海洋公益性专项（201305021）和重点自然基金（30930017）；

★ 合作者：科研助理、博士后和研究生和国内外合作者等。