



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116840366 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 03

(21) 申请号 202310646963.8

(22) 申请日 2023.06.01

(71) 申请人 中国科学院华南植物园

地址 510650 广东省广州市天河区兴科路
723号

(72) 发明人 王法明 周金戈 甘淑钗 卢哲
覃国铭 张靖凡 李应文 李泳兴

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

专利代理师 林德强

(51) Int. Cl.

G01N 30/02 (2006.01)

G01N 1/02 (2006.01)

G01N 1/04 (2006.01)

G01N 33/24 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法

(57) 摘要

本发明属于环境监测领域,公开了一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法,具体公开了一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法,包括以下步骤:(1)沉积物样品的采集;(2)沉积物样品中生物标志物含量的测定,所述生物标志物包括正构烷烃和氨基糖;(3)根据步骤(2)的测定结果,分析植物碳来源和微生物碳来源对土壤有机碳的贡献。本发明通过将正构烷烃和氨基糖两种生物标志物结合,基于不同标志物及总碳量,提出了计算流程,实现了对湿地植物来源(草本植物、藻类植物、木本植物和水生植物)和微生物来源碳(真菌残体碳和细菌残体碳)共计6种生物来源碳输入的分析和比较,从而在不同维度实现了碳源追溯。

1. 一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法,包括以下步骤:
 - (1) 沉积物样品的采集;
 - (2) 沉积物样品中生物标志物含量的测定,所述生物标志物包括正构烷烃和氨基糖;
 - (3) 根据步骤(2)的测定结果,分析植物碳来源和微生物碳来源对沉积物有机碳的贡献。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述正构烷烃包括C7~C40;和/或,所述氨基糖包括氨基葡萄糖和胞壁酸。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述分析植物碳来源和微生物碳来源对沉积物有机碳的贡献包括计算草本植物、木本植物、水生植物、藻类植物在植物来源碳输入中的所占比例、草本植物碳输入含量、木本植物碳输入含量、水生植物碳输入含量、藻类植物碳输入含量以及真菌残体碳含量和细菌残体碳含量。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述草本植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:草本植物 = $(C_{31}+C_{33}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$;和/或,所述木本植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:木本植物 = $(C_{27}+C_{29}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。
5. 根据权利要求3或4所述的方法,其特征在于,所述水生植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:水生植物 = $(C_{21}+C_{23}+C_{25}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$;和/或,所述藻类植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:藻类植物 = $(C_{15}+C_{17}+C_{19}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。
6. 根据权利要求3或4所述的方法,其特征在于,所述真菌残体碳含量和细菌残体碳含量通过以下计算公式计算得到,真菌残体碳含量 = $F-GluN \times 9$,细菌残体碳含量 = $MurN \times 45$,其中,所述F-GluN为指征真菌微生物残体碳的氨基糖,MurN为胞壁酸。
7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述F-GluN通过以下计算公式计算得到: $F-GluN = total\ GluN - 2 \times MurN \times (179.2/251.2)$,其中,GluN为氨基葡萄糖。
8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述植物碳输入含量通过以下公式计算得到,不同植物碳输入含量 = $(沉积物有机碳含量 - 微生物残体碳含量) \times 植物在植物来源碳输入中所占比例$,其中,微生物残体碳含量 = 真菌残体碳含量 + 细菌残体碳含量。
9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,(1)中所述沉积物样品包括盐沼湿地、红树林、森林、草地中任一种中的沉积物;优选地,所述沉积物样品的采集过程中避开生物洞穴、挑选无明显生物扰动的土壤样品;优选地,采用气相色谱/质谱法测定沉积物样品中正构烷烃的含量,采用高效液相色谱法测定沉积物样品中氨基糖的含量。
10. 权利要求1~9中任一项所述的方法在生态系统碳循环过程研究中的应用。

一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法

技术领域

[0001] 本发明属于环境监测领域,具体涉及一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法。

背景技术

[0002] 生物标志物是环境和地质体中有着特定的生物来源并在沉积过程中保持着原始生物母质分子结构信息的有机化合物,因其长久稳定性被广泛用于识别碳来源。常用的生物标志物种类包括氨基酸、碳水化合物、烷烃类脂物和氨基糖等。

[0003] 常见的类脂类分子有脂肪酸、甾醇和正构烷烃等,其中正构烷烃广泛分布于低等藻类与高等植物等不同类型的生物体中,是一种在沉积物研究中运用较为广泛的生物标志物。不同生物体来源的正构烷烃,碳数组成与分布特征不同。一般认为, C_{20} 以下的正构烷烃主要来源于低等生物,例如细菌、藻类和海洋浮游生物,以 C_{15} 和 C_{17} 为主峰且没有明显的奇偶优势。而 $C_{21} \sim C_{25}$ 的正构烷烃主要来源于苔藓和水生植物。长链正构烷烃($C_{26} \sim C_{33}$)具有明显的奇碳数优势,主要由陆生高等植物表层蜡质降解产生,以 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 和 C_{33} 最丰富,其中木本植物的主要指征峰为 C_{27} 和 C_{29} ,草本植物的主要指征峰为 C_{31} 和 C_{33} 。作为有机质中植物母质来源的表征物,一般来说,正构烷烃中的长链($C_{31}+C_{33}$)是来自于草本植物的标志性指标, ($C_{27}+C_{29}$)是来自于木本/落叶植物的标志性指标,中链主要由苔藓、浮水植物、沉水植物等水生植物产生,短链主要来自于浮游植物、藻类等。

[0004] 正构烷烃主要表征的是有机质的植物母质来源,而氨基糖是土壤中微生物残体的主要生物标志物。将氨基糖含量进行换算之后可以得到微生物残体碳含量及其对土壤有机碳的相对贡献。氨基糖是微生物细胞壁的重要成分,相对于其他细胞质成分,氨基糖在土壤中能长久稳定存在更长时间,这使得氨基糖被广泛应用于研究微生物残体对土壤有机碳和各种微环境流通量的贡献。土壤中常见的氨基糖包括氨基葡萄糖、氨基半乳糖、甘露糖胺和胞壁酸,占土壤有机碳含量的2%~5%;其中土壤中的胞壁酸只来源于细菌,而氨基葡萄糖则主要来自真菌,因此常用GluN/MurN评价真菌和细菌残体在土壤有机质转化过程中的相对贡献。

[0005] 盐沼湿地因其所处环境的特殊性,按照其碳来源可分为内源性碳和外源性碳:内源性碳指的是由盐沼湿地生态系统内的植物或其它光合生物进行光合作用,将 CO_2 固定转换成生物有机碳,因周期性的潮汐运动而分解缓慢,成为稳定储存在沉积物中的有机碳,这部分碳的产生与沉积位置相同;除了内源性碳,由于盐沼湿地经常受到海岸洋流、潮汐以及地表径流等水文过程的扰动影响,来源于近海或临近陆地生态系统的沉积物和有机碎屑被盐沼湿地湿地中的植物冠层或根系捕获并固定,沉积成为滨海湿地碳库的一部分,这部分产生和沉积位置不同的碳被称为外源性碳。内源性和外源性碳的共同输入,使得盐沼湿地比陆地生态系统拥有更丰富的碳来源,因此盐沼湿地成为地球上的高密度碳汇之一。盐沼湿地沉积物中有机碳的不断累积,及受到抑制的 CH_4 产生与排放,有助于减缓全球气候变暖的严峻形势。然而现有的对盐沼湿地碳来源的追溯方法主要是基于稳定同位素和N/C比值

的示踪,进行陆源、植源(内源)和海源碳来源的区分和定量,更为细致的碳来源追溯和定量缺乏理论和实践基础。

发明内容

[0006] 本发明第一方面的目的,在于提供一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法。

[0007] 本发明第二方面的目的,在于提供本发明第一方面的方法在生态系统碳循环过程研究中的应用。

[0008] 为了实现上述目的,本发明所采取的技术方案是:

[0009] 本发明的第一个方面,提供一种对湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法,包括以下步骤:

[0010] (1) 沉积物样品的采集;

[0011] (2) 沉积物样品中生物标志物含量的测定,所述生物标志物包括正构烷烃和氨基糖;

[0012] (3) 根据步骤(2)的测定结果,分析植物碳来源和微生物碳来源对沉积物有机碳的贡献。

[0013] 优选地,所述正构烷烃包括C7~C40;进一步为C15、C17、C19、C21、C23、C25、C27、C29、C31和C33。

[0014] 优选地,所述氨基糖包括氨基葡萄糖和胞壁酸。

[0015] 优选地,所述分析植物碳来源和微生物碳来源对沉积物有机碳的贡献包括计算草本植物、木本植物、水生植物、藻类植物在植物来源碳输入中的所占比例、草本植物碳输入含量、木本植物碳输入含量、水生植物碳输入含量、藻类植物碳输入含量以及真菌残体碳含量和细菌残体碳含量。

[0016] 优选地,所述草本植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:草本植物= $(C_{31}+C_{33}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。

[0017] 优选地,所述木本植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:木本植物= $(C_{27}+C_{29}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。

[0018] 优选地,所述水生植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:水生植物= $(C_{21}+C_{23}+C_{25}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。

[0019] 优选地,所述藻类植物在植物来源碳输入中所占比例的计算公式为:藻类植物= $(C_{15}+C_{17}+C_{19}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。

[0020] 优选地,所述真菌残体碳含量和细菌残体碳含量通过以下计算公式计算得到,真菌残体碳含量= $F-GluN \times 9$,细菌残体碳含量= $MurN \times 45$,其中,所述F-GluN为指征真菌微生物残体碳的氨基糖,MurN为胞壁酸。

[0021] 优选地,所述F-GluN通过以下计算公式计算得到: $F-GluN = total\ GluN - 2 \times MurN \times (179.2/251.2)$,其中,GluN为氨基葡萄糖。

[0022] 优选地,所述植物碳输入含量通过以下公式计算得到,不同植物碳输入含量=(沉积物有机碳含量-微生物残体碳含量)×植物在植物来源碳输入中所占比例,其中,微生物残体碳含量=真菌残体碳含量+细菌残体碳含量。

[0023] 优选地, (1)中所述沉积物样品包括盐沼湿地、红树林、森林、草地中任一种中的沉积物。

[0024] 优选地, 所述沉积物样品的采集过程中避开生物洞穴、挑选无明显生物扰动的沉积物样品。

[0025] 优选地, 所述沉积物样品包括光滩、互花米草、盐地碱蓬和芦苇四种湿地类型中至少一种湿地类型的沉积物样品。

[0026] 优选地, 采用气相色谱/质谱法测定沉积物样品中正构烷烃的含量, 采用高效液相色谱法测定沉积物样品中氨基糖的含量。

[0027] 优选地, 所述湿地为盐沼湿地。

[0028] 盐沼湿地是一类特殊的滨海湿地生态系统, 因其处于陆海交互带上而具有丰富的碳来源输入, 其碳埋藏速率因此远高于陆地生态系统。而正是因为其碳来源组成复杂, 现有的碳来源溯源方法和体系只能粗略地区分盐沼湿地不同的碳来源, 本发明提供的方法, 有助于对盐沼湿地碳来源进行准确且细致的区分。

[0029] 本发明第二个方面, 在于提供本发明第一方面的方法在生态系统碳循环过程研究中的应用。

[0030] 本发明的有益效果是:

[0031] 过去的方法单独使用正构烷烃/氨基糖来指示生态系统某一类特定的碳来源输入, 并且往往是从定性比较的层面对其碳来源进行追溯。同时由于盐沼湿地(乃至滨海湿地)生态系统的特殊性, 其处于水陆交互界面, 同时具有陆源和海源的碳输入, 需要对其陆源和海源的同时比较。此外由于陆源碳输入的复杂性, 过去并没有合适的方法来对其进行区分溯源。为全体系覆盖滨海湿地复杂多源的碳输入端元, 本发明通过将正构烷烃和氨基糖两种生物标志物结合, 实现了对盐沼湿地植物来源(草本植物、藻类植物、木本植物和水生植物)和微生物来源碳(真菌残体碳和细菌残体碳)共计6种生物来源碳输入的分析 and 比较, 并且发现木本植物可以一定程度上指征陆源的有机碳输入, 藻类植物可以一定程度上指征海源的有机碳输入。从不同维度实现了复杂多源的碳输入追溯。

[0032] 利用稳定同位素的方法只能粗略地将盐沼湿地碳来源分为海源、植源和陆源有机碳来源, 本发明的方法在植物碳来源和微生物碳来源的分类基础上, 进一步细化了盐沼湿地碳来源的细分: 将植物碳来源分为藻类植物、水生植物、草本植物和木本植物, 将微生物碳来源分为真菌残体碳来源和细菌残体碳来源。

[0033] 本发明提供的全体系溯源的方法, 首次实现了对滨海湿地生态系统的藻类植物来源碳输入对土壤有机碳贡献的定量, 这在以往的研究方法是无法准确实现/误差较大的, 通过更细致且精准的藻类植物碳来源输入量计算, 有助于对我国赤潮等藻类异常活动的影响提供理论上的方法进行监测。同时, 这也为我国蓝碳生态系统碳循环过程研究提供了新的方法和思路。

[0034] 本发明提供的方法不仅适用于滨海湿地生态系统, 理论上来说, 湖泊、沼泽乃至森林、草地生态系统均可以使用, 实现对不同碳来源输入的定量及其进一步的细分。

附图说明

[0035] 图1为对盐沼湿地有机碳来源进行全体系溯源的方法的技术路线图。

[0036] 图2为正构烷烃定量得到的相关指征与稳定同位素定量的结果进行线性回归结果。

具体实施方式

[0037] 现结合具体实施例对本发明进行详细说明,但不限制本发明的范围。

[0038] 本实施例中所使用的材料、试剂等,如无特别说明,为从商业途径得到的材料和试剂。

[0039] 实施例1

[0040] 本研究采集了我国两大典型盐沼湿地—黄河口盐沼湿地和盐城盐沼湿地的土壤沉积物,带回实验室进行了生物标志物(正构烷烃+氨基糖)的测定,通过将这两种生物标志物结合,实现对盐沼湿地植物来源和微生物来源碳(图1)输入的定量分析和比较。同时,结合稳定同位素和端元混合效应模型的结果对该分类方法来进行验证。具体如下:研究区域

[0041] 黄河口盐沼湿地位于山东省东营市垦利区的黄河三角洲国家级自然保护区(37°45'50"N,118°59'24"E),该地属暖温带半湿润大陆性季风气候区,四季分明,雨热同期。该区域地势平坦,无自然屏障,土壤质地以轻壤土和中壤土为主,土壤类型以潮土和盐碱土为主。该研究区多年平均气温为12.9℃,全年气温变化大,无霜期约占全年的2/3;多年平均年降水量为556.1mm,其中70%降水集中于生长季,年蒸发量为1962mm。

[0042] 盐城盐沼湿地位于江苏中北部,东临黄海,区域地理坐标为32°34'-34°28'N,119°27'-121°16'E。该区域地跨东台市、大丰市、亭湖区、滨海县及响水县,海岸线绵延,沿海滩涂长达445km²,是我国最大的连续潮间带湿地生态系统。地处暖温带与北亚热带的过渡区域,主要受海洋性和大陆性季风气候的影响,年平均气温13.8℃,降雨量1023.8mm。

[0043] 采样方法

[0044] 采集上述两大典型盐沼湿地—黄河口盐沼湿地和盐城盐沼湿地的土壤沉积物,在采样过程中避开生物洞穴、挑选无明显生物扰动的样品并记录剖面的形态特征。在两大盐沼湿地均采集了光滩、互花米草、盐地碱蓬和芦苇四种湿地类型的土壤样品,在每一种类型的盐沼湿地间隔至少2m以上进行重复样品采集。采集的样品于-20℃冷冻保存,封存于聚乙烯塑料袋中,具体的土壤沉积物样品采集地理位置信息如表1。

[0045] 表1黄河口和盐城盐沼湿地不同湿地类型的采样信息

	区域	湿地类型	柱高 (cm)	经度 (E)	纬度 (N)
[0046]	黄河口 盐沼湿地	光滩	100	119.2941	37.7425
		芦苇	100	119.1567	37.7624
		互花米草	100	119.1705	37.7981
		盐地碱蓬	100	119.1601	37.7822
[0047]	盐城 盐沼湿地	光滩	100	120.0764	34.3903
		芦苇	100	120.0790	34.3845
		互花米草	100	120.0741	34.3877
		盐地碱蓬	100	120.0732	34.3890

[0048] 实验测定

[0049] 正构烷烃的测定:

[0050] 将采样得到的土壤沉积物样品进行风干干燥后,称取干燥土壤沉积物样品5.0g于50mL离心管中,加入50mL二氯甲烷和甲醇的混合溶液(9:1)进行超声提取10min(32kHz:32000次/分钟),提取后以3500rpm的速度离心10min,将上清液倒入50mL玻璃小瓶中用氮吹仪以40℃的水浴加热开始氮吹。单个样品重复超声提取、离心和氮吹三次,三次的提取物均吹至接近干燥后。将提取混合物溶解于10mL的己烷中;振荡均匀后,再次氮吹至剩余2mL左右液体。剩余液体转移至10mm×20cm层析柱中(里面装配100~200目的活性硅胶,顶层加入10mm的活性铜粉),用正己烷将其洗脱至玻璃小瓶中。将洗脱液氮吹至1mL左右,转移到储存瓶中,继续氮吹至100μL左右保存在-20℃备用。使用气相色谱/质谱仪测定的所有正烷烃的单体,使用的标准品为Sigma公司的C₇~C₄₀。根据真实标准品的保留时间来鉴定正构烷烃单体,并根据各相应标准品的标准校准曲线计算各正烷烃单体的浓度。

[0051] 作为有机质中植物母质来源的表征物,一般来说,正构烷烃中的长链(C₃₁+C₃₃)是来自于草本植物的标志性指标,C₂₇+C₂₉是来自于陆源木本/落叶植物的标志性指标,中链(C₂₁+C₂₃+C₂₅)主要由苔藓、浮水植物、沉水植物等水生植物产生,短链(C₁₅+C₁₇+C₁₉)主要来自于浮游植物、藻类等。

[0052] 利用下列公式计算草本植物、木本植物、水生植物、藻类植物在植物来源碳输入中的所在比例:

[0053] 草本植物在植物来源碳输入中所占比例:

[0054] 草本植物 = $(C_{31}+C_{33}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$;

[0055] 木本植物在植物来源碳输入中所占比例:

[0056] 木本植物 = $(C_{27}+C_{29}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$;

[0057] 水生植物在植物来源碳输入中所占比例:

[0058] 水生植物 = $(C_{21}+C_{23}+C_{25}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$;

[0059] 藻类植物在植物来源碳输入中所占比例:

[0060] 藻类植物 = $(C_{15}+C_{17}+C_{19}) / (C_{15}+C_{17}+C_{19}+C_{21}+C_{23}+C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})$ 。

[0061] 氨基糖的测定:

[0062] 沉积物氨基糖的提取采用酸式水解法进行,具体如下:准确称取0.50g过0.15mm筛的风干后的土壤于50mL的四氟防爆管中,使用瓶口分液器加入10mL浓度为6M的盐酸溶液,涡旋震荡均匀。在烘箱中105℃下水解6h。待水解液冷却至室温后,摇匀溶液并静置30min。移取0.5mL上清液于玻璃试管中纯氮吹干,随后加入0.5mL超纯水溶解,涡旋震荡均匀,继续置于氮吹仪上吹干。最后再次加入2mL超纯水溶解,涡旋震荡均匀,用孔径0.45μm、直径13mm的针式过滤器过滤,滤液储存于液相进样小瓶,4℃冰箱中保存,使用高效液相色谱法测定,得到氨基糖含量。

[0063] 得到氨基糖含量之后,按照如下公式计算指征真菌微生物残体碳的氨基糖(Fungal derived Glucosamine, F-GluN):

[0064] $F-GluN(\mu g g^{-1}) = total\ GluN(\mu g g^{-1}) - 2 \times MurN(\mu g g^{-1}) \times (179.2/251.2)$ 。

[0065] 通过系数换算,按照如下计算公式计算出真菌残体碳(Fungal Necromass Carbon, FNC)、细菌残体碳(Bacterial Necromass Carbon, BNC)和总的微生物残体碳(Total Necromass Carbon, TNC):

[0066] $FNC(\mu g g^{-1}) = F-GluN \times 9$;

[0067] $\text{BNC}(\mu\text{g g}^{-1}) = \text{MurN} \times 45;$

[0068] $\text{TNC}(\mu\text{g g}^{-1}) = \text{FNC}(\mu\text{g g}^{-1}) + \text{BNC}(\mu\text{g g}^{-1}).$

[0069] 结合稳定同位素和端元混合效应模型进行验证

[0070] 土壤有机碳及其稳定同位素的测定:

[0071] 土壤中稳定碳同位素的测定过程如下:用锡纸将已去除无机碳的样品包好,用Flash EA1112型元素分析仪(EA)和MAT253同位素比值质谱仪进行测定,连续流接口为ConFlo III,以上仪器配置均为美国Thermo Finnegan公司产品。土壤样品中的碳被氧化为 CO_2 后释放出来,产生的混合气体通过卤素吸收管和干燥管除去杂质气体,得到纯净 CO_2 气体。通过红外检测器检测,测定得到土壤样品中总碳的含量。仪器相关配置为:EA炉温为 950°C ,柱温为 50°C ;ConFlo III氦气压力 120kPa , CO_2 压力 150kPa ;IRMS真空度为 $2.6 \times 10^{-8}\text{kPa}$,发射电流 1.5mA ;测定 $\delta^{13}\text{C}$ 时,IRMS监测离子(m/z)为44、45、46。同位素的结果的计算式如下:

[0072] $\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = (R_{\text{样品}}/R_{\text{标准}} - 1) \times 1000(\text{‰});$

[0073] 其中标准物质为国际标准物质PDB(Pee Dee Belemnite)。

[0074] 为了定量计算土壤沉积物中不同来源的碳输入情况,发明人使用R语言中的MixSIAR包估算了内源性和外源性碳输入的贡献。该模型基于以下公式:

[0075] $\delta^{13}\text{C}_{\text{sample}} = f_{\text{plant}} \times \delta^{13}\text{C}_{\text{plant}} + f_{\text{terrestrial}} \times \delta^{13}\text{C}_{\text{terrestrial}} + f_{\text{marine}} \times \delta^{13}\text{C}_{\text{marine}};$

[0076] $\text{N/C}_{\text{sample}} = f_{\text{plant}} \times \text{N/C}_{\text{plant}} + f_{\text{terrestrial}} \times \text{N/C}_{\text{terrestrial}} + f_{\text{marine}} \times \text{N/C}_{\text{marine}};$

[0077] $f_{\text{plant}} + f_{\text{terrestrial}} + f_{\text{marine}} = 1;$

[0078] $f_{\text{plant}} = f_{\text{autochthonous}};$

[0079] $f_{\text{terrestrial}} + f_{\text{marine}} = f_{\text{allochthonous}};$

[0080] 通过该模型计算得到的内源性、海源性和陆源性碳来源输入占比,乘以土壤有机碳含量之后可转化为定量的碳来源输入。

[0081] 结果分析

[0082] 通过对土壤沉积物中正构烷烃以及氨基糖的含量测定,得到各类型植物碳来源比例以及各类型微生物碳来源的具体含量,进而定量各类型植物碳来源(利用测得的土壤沉积物有机碳含量减去氨基糖指征的微生物残体碳含量,剩余部分的有机碳我们认为均是植物来源的碳来源输入,即各部分植物碳输入含量(g kg^{-1}) = (土壤沉积物有机碳含量 - 微生物残体碳含量) × 各部分植物在植物来源碳输入中的占比),得到各植物碳来源含量及其对土壤沉积物有机碳的贡献以及微生物碳来源含量及其对土壤沉积物有机碳的贡献(图1)。

[0083] 具体到黄河口盐沼湿地和盐城盐沼湿地,经过测定分析结果如下:黄河口盐沼湿地和盐城盐沼湿地的不同类型植物碳输入在植物碳来源的占比如表2所示,两大盐沼湿地的植物碳主要来源于水生植物(占比大于30%),藻类植物和木本植物次之,草本植物相对较少。黄河口盐沼湿地和盐城盐沼湿地两大区域的不同类型微生物碳来源含量如表3所示,两大盐沼湿地的微生物碳主要来源于真菌残体碳。进一步经过计算,得到黄河口盐沼湿地和盐城盐沼湿地两大区域的不同类型植物碳来源含量(表4)。一般认为,在盐沼湿地中,海洋来源的有机碳输入主要由海洋藻类植物所贡献,陆地来源的有机碳输入主要由陆生的木本植物所贡献。因此,发明人将正构烷烃定量得到的相关指征与稳定同位素定量的结果进行线性回归,发现它们之间存在着显著的正相关关系(图2),这反应了通过将正构烷烃以及氨基糖这两种生物标志物结合,实现对盐沼湿地植物来源和微生物来源碳输入的定量分析

的科学性。

[0084] 综上,通过将正构烷烃以及氨基糖这两种生物标志物结合,实现了对盐沼湿地植物来源和微生物来源碳输入的定量分析和比较,并且发现木本植物可以一定程度上指征陆源的有机碳输入,藻类植物可以一定程度上指征海源的有机碳输入。过去利用稳定同位素的方法只能粗略地将盐沼湿地碳来源分为海源、植源和陆源有机碳来源,而通过将正构烷烃以及氨基糖这两种生物标志物结合的方法,在植物碳来源和微生物碳来源的分类基础上,进一步将植物碳来源分为藻类植物、水生植物、草本植物和木本植物,将微生物碳来源分为真菌残体碳来源和细菌残体碳来源。

[0085] 表2两大区域的不同类型植物碳输入在植物碳来源的占比

区域	湿地类型	草本植物 百分比(%)	木本植物 百分比(%)	藻类植物 百分比(%)	水生植物 百分比(%)	
[0086]	黄河口	光滩	9.62±2.37	22.2±3.71	24.0±3.28	44.1±4.58
	盐沼湿地	芦苇	10.6±2.71	17.5±3.44	28.7±5.06	43.3±4.07
		互花米草	19.0±2.14	24.4±2.61	21.3±2.32	35.3±3.04
		盐地碱蓬	19.8±2.73	19.9±2.56	18.3±2.05	42.0±3.99
盐城	光滩	10.5±2.29	21.5±2.61	32.5±3.18	35.5±3.20	
	盐沼湿地	芦苇	12.3±1.17	25.6±2.32	24.9±2.01	37.2±2.61
		互花米草	7.92±1.67	26.2±2.25	29.8±2.94	36.1±3.72
		盐地碱蓬	5.49±1.39	21.8±1.89	29.4±3.07	43.3±1.56

[0087] 表3两大区域的微生物碳来源含量

区域	湿地类型	真菌残体碳定量 (g kg ⁻¹)	细菌残体碳定量 (g kg ⁻¹)	
[0088]	黄河口盐沼湿地	光滩	0.68±0.06	0.08±0.01
	盐沼湿地	芦苇	0.89±0.14	0.14±0.02
		互花米草	0.57±0.07	0.08±0.01
		盐地碱蓬	0.37±0.03	0.05±0.01
盐城盐沼湿地	光滩	0.80±0.16	0.09±0.02	
	盐沼湿地	芦苇	1.97±0.17	0.28±0.03
		互花米草	0.71±0.07	0.10±0.02
		盐地碱蓬	0.57±0.03	0.05±0.01

[0089] 表4两大区域的植物碳来源含量

区域	湿地类型	草本植物定量 (g kg ⁻¹)	木本植物定量 (g kg ⁻¹)	藻类植物定量 (g kg ⁻¹)	水生植物定量 (g kg ⁻¹)	
[0090]	黄河口	光滩	0.65±0.19	1.39±0.23	1.54±0.25	2.65±0.23
	盐沼湿地	芦苇	0.64±0.24	0.78±0.15	1.36±0.25	2.15±0.30
		互花米草	1.89±0.21	2.40±0.24	2.14±0.22	3.71±0.50
		盐地碱蓬	2.05±0.35	2.13±0.35	1.79±0.21	4.08±0.38
盐城	光滩	0.62±0.13	1.29±0.24	1.86±0.28	1.95±0.26	
	盐沼湿地	芦苇	1.08±0.12	2.31±0.30	2.25±0.28	3.27±0.30
		互花米草	0.46±0.11	1.60±0.25	1.89±0.41	2.14±0.32
[0091]	盐沼湿地	盐地碱蓬	0.37±0.09	1.41±0.11	1.93±0.22	2.83±0.15

[0092] 上面结合附图对本发明实施例作了详细说明,但是本发明不限于上述实施例,在所属技术领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。此外,在不冲突的情况下,本发明的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

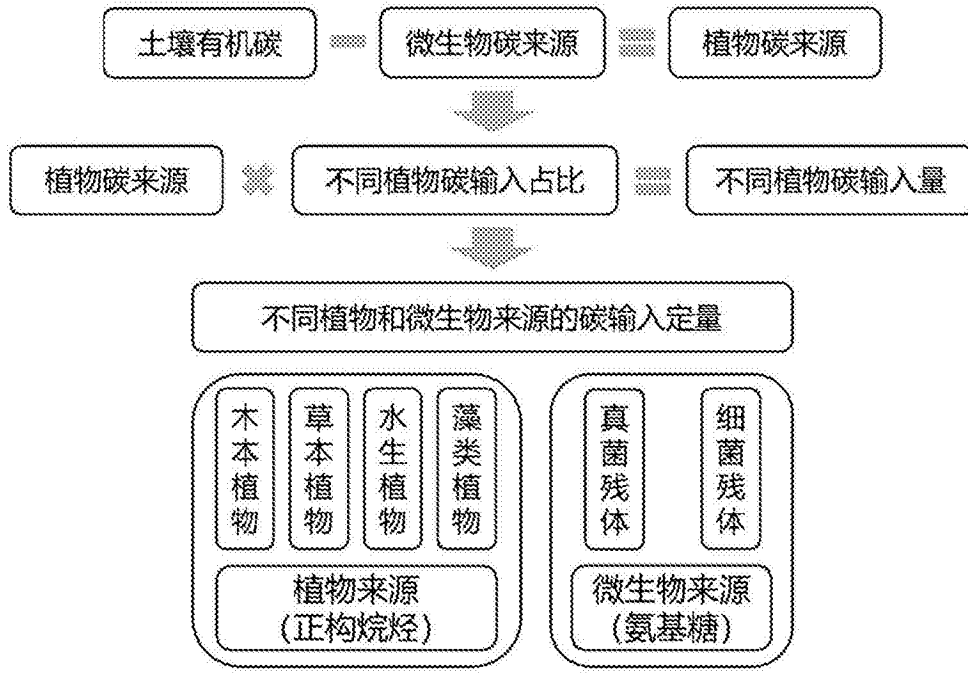


图1

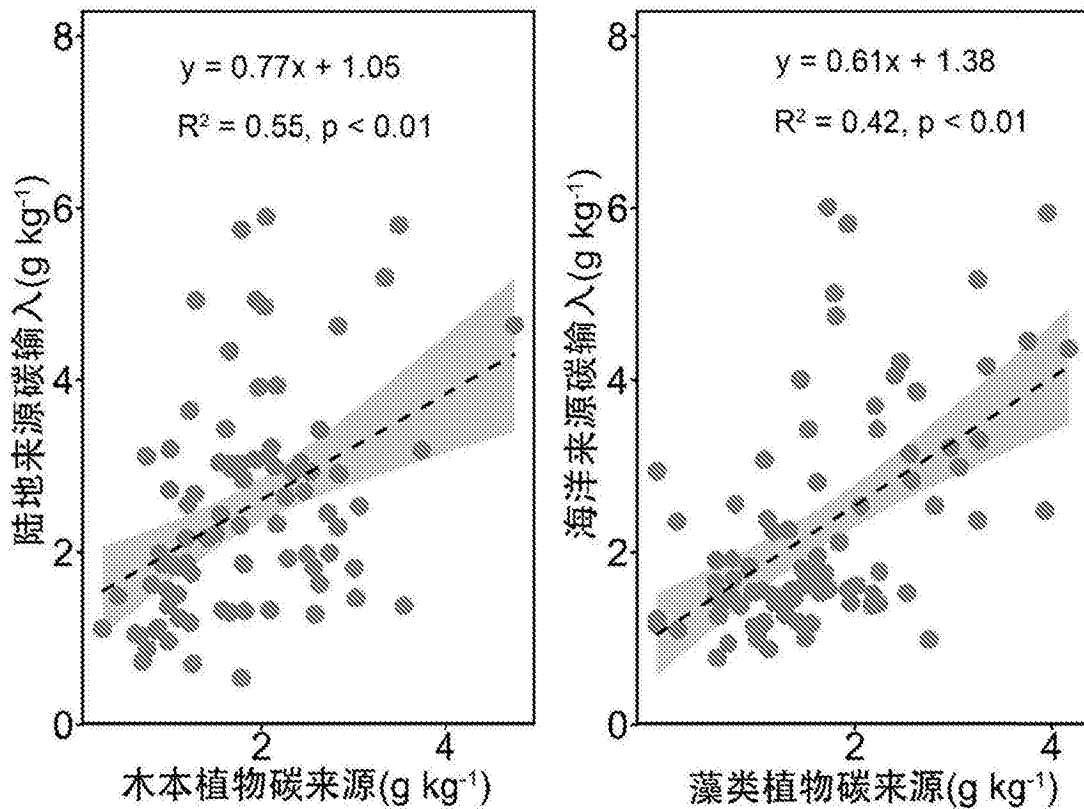


图2