

鄱阳湖不同湿地植物群落光合碳储量及分配

纪昌品, 张晓平

(东华理工大学, 南昌 330000)

摘 要:稳定性碳同位素自然丰度(^{13}C)表征生态系统碳循环关键过程,为了追踪陆地生态系统碳的动态及其分配,通过采用 ^{13}C 脉冲标记对不同植物光合碳分配及其向地下输入特征进行研究,探讨鄱阳湖不同湿地植物群落(藜蒿群落、水蓼群落、苔草群落和芦苇群落)连续 4 年(2015—2018 年)光合碳储量及分配及其相关影响因素。结果表明:(1) 2015—2018 年土壤有机碳含量和有机碳储量平均值均呈一致的变化规律,其中以表层土壤最高,随土层深度的增加逐渐降低,20—40 cm 以下土壤有机碳含量变化范围相对较小;60—80 cm 土壤有机碳含量最低;土壤 ^{13}C 含量随土层深度的增加呈逐渐增加趋势,其中不同土层大致表现为藜蒿群落>水蓼群落>苔草群落>芦苇群落。(2) 2015—2018 年不同湿地植物群落土壤养分含量、地上和地下生物量平均值呈一致的变化趋势,均表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,不同植物群落差异均显著($p<0.05$);而全磷含量呈相反的变化趋势,不同植物群落差异均显著($p>0.05$)。(3) 脉冲标记当天不同植物 ^{13}C 值均表现为叶>茎>根>土壤,具体表现为藜蒿群落>水蓼群落>苔草群落>芦苇群落,这表明不同植物根部对光合固定新碳的富集程度较大。标记当天,不同植物地上 ^{13}C 固定百分比例较高,说明标记的效率较高且分配差异较大;脉冲标记 21 d 后, ^{13}C 值下降,固定的光合碳转移到土壤中的含量显著增加。(4) 标记后植物-土壤系统各组分固定 ^{13}C 量占净光合 ^{13}C 总量分配比例呈现茎>叶>根>土壤的趋势,光合碳在不同植物各部分以及土体中都有所增加,主要集中在地上部分。(5) 相关性分析结果表明,地上生物量与茎叶 ^{13}C 含量显著正相关($p<0.05$),地下生物量与根和土壤 ^{13}C 含量显著正相关($p<0.05$);由此说明地上和地下生物量对光合碳的分配起着主导作用,有利于对地下碳平衡过程和固碳减排的理解。

关键词:鄱阳湖;植物群落;土壤有机碳;光合碳

中图分类号:S718.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)03-0121-07

Photosynthetic Carbon Storage and Distribution in Different Wetland Communities in Poyang Lake

JI Changpin, ZHANG Xiaoping

(East China Institute of Technology, Nanchang 330000, China)

Abstract: The natural abundance of stable carbon isotopes (^{13}C) characterizes key processes in the ecosystem carbon cycle and is used to track the dynamics and distribution of carbon in terrestrial ecosystems. The ^{13}C pulse marker of different plants and photosynthetic carbon distribution to underground input characteristics had been studied for four consecutive years (2015—2018) to explore different Poyang Lake wetland plant community (plant artemisia community, water smartweed community, carex community, reed community) photosynthetic carbon reserves and distribution and its related influencing factors. The results showed that : (1) both soil organic carbon content and organic carbon storage showed consistent change patterns, among which the topsoil was the highest; with the increase of soil depth, the soil organic carbon content below 20—40 cm had a relatively small change range, the soil organic carbon content of 60—80 cm was the lowest; the content of ^{13}C in soil gradually increased with the increase of soil depth, among which the different soil layers showed roughly plant artemisia community > water smartweed community > carex community > reed community; (2) the soil nutrient content and aboveground and underground biomass of different wetland plant communities showed consistent variation trends, which were all manifested as plant artemisia community <

收稿日期:2020-04-25

修回日期:2020-05-26

资助项目:国家自然科学基金(41961032);东华理工大学博士基金科研项目(DHBK2019191)

第一作者:纪昌品(1977—),男,湖北十堰人,博士,讲师,主要从事土地生态经济、资源与环境评价。E-mail:Jichang_pinn@163.com

通信作者:张晓平(1982—),男,江西吉安人,博士,副教授,研究方向为土地整治以及土地生态经济。E-mail:200560007@ecut.edu.cn

water smartweed community < carex community < reed community, and the differences among different plant communities were significant ($p < 0.05$); the total phosphorus content showed an opposite trend, and the difference among different plant communities was significant ($p > 0.05$); (3) on the day of pulse labeling, all the ^{13}C values of different plants showed the order: leaves > stems > roots > soil, and plant artemisia community > water smartweed community > carex community > reed community, indicating that the roots of different plants had greater enrichment of photosynthetic fixation new carbon; on the day of marking, the fixed percentage of ^{13}C on the ground of different plants was higher, indicating higher efficiency of marking and greater distribution difference; after pulse marking for 21 days, the ^{13}C value decreased and the amount of fixed photosynthetic carbon transferred to the soil increased significantly; (4) after labeling, the proportion of fixed ^{13}C in each component of plant-soil system in total net photosynthetic ^{13}C showed a trend of: leaves > roots > soil, and photosynthetic carbon increased in different parts of plants and soil, mainly in the aboveground part; (5) the correlation analysis results showed that the aboveground biomass was significantly positively correlated with the ^{13}C content of stems and leaves ($p < 0.05$), and the underground biomass was significantly positively correlated with the ^{13}C content of roots and soil ($p < 0.05$), suggesting that the aboveground and underground biomass plays a leading role in the distribution of photosynthetic carbon.

Keywords: Poyang Lake; plant community; soil organic carbon; photosynthetic carbon

土壤碳库对于整个全球生态系统碳平衡具有重要的影响,其轻微的变化将会影响整个碳平衡发生变化,尤其是在碳固持方面。地上植被受土壤质量的制约,同时又会对土壤产生反馈影响^[1-3],连续输入的碳影响着土壤碳的动态平衡;此外,微生物呼吸也对土壤碳平衡也具有重要的影响,调节着土壤碳平衡。对于植被而言,在光合作用下^[4-5],空气中的二氧化碳被大量吸收利用,从而形成光合碳,经过植株器官传输,最终通过根系进入土壤,微生物作用下被分解,最终形成 CO_2 或 CH_4 等,一部分被固化至土壤,一部分被释放至大气,从而形成尤为明显的植物碳循环,这在土壤碳平衡过程中发挥着不可或缺的角色^[6-7]。国外对于碳平衡的研究相对较多,对其定量分析常采用同位素示踪技术,尤其是对其地下植株部分的分析研究更侧重于量化分析,该量化分析常运用于小麦及牧草碳循环研究中^[8-14]。

对于植物—土壤系统而言,其碳循环具有突出的复杂性,且影响因素多样,尤其是在光合作用的参与下,一方面其碳分配作用机理并不完全明晰^[15-16],另一方面,其转化效率受到多方面因素制约,难以进行充分的量化研究,因为对于传统的有机碳测定而言,并不能对其开展有效的量化分析。基于此,为了深入开展植被碳平衡作用机理及量化分析^[17-18],目前倾向于采取稳定同位素示踪技术 ^{13}C 分析法,不仅从植株碳输入的角度分析碳转移及分配,而且对根际土壤碳平衡作用机理进行量化分析。对于 ^{13}C 而言,其具有突出的稳定性特点,借助于多种脉冲标记,能够对植株不同生长期的碳输入进行量化分析,因此在碳平衡

研究过程中运用广泛。为了探究湿地植被光合碳的作用机理,本研究借助于 $^{13}\text{CO}_2$ 脉冲标记法,一方面探究新碳的流动作用机理,另一方面分析不同植株器官的碳差异,最终分析植被—土壤碳平衡作用机理,为合理利用碳循环提供有益参考和借鉴。

1 材料和方法

1.1 采样点分布

本试验所选区域为江西省永修县吴城镇,属于鄱阳湖的典型洲滩($29^{\circ}14' \text{ N}$, $116^{\circ}01' \text{ E}$,海拔 334 m),其西南方向是赣江流域,该地受到明显的河水冲刷,地势具有一定的坡度,海拔相对较高,东北方向紧挨鄱阳湖的主湖面,湖边地势相对低缓。因其所处地理位置及湖泊的影响,该地区属于典型的亚热带季风气候,夏季多雨高温,平均年气温在 17.6°C ,高温集中在 7 月(近 30°C),而降雨多发在每年的 4, 5, 6 3 个月,年降雨量达到 1 450~1 550 mm;而冬季天气干燥严寒,较冷月出现在 1 月(月均气温 5.1°C)。该地区湿地面积 2 698 km^2 ,占湖水正常水位下的全湖面积的 82%,湿地以粉砂土为主,植物群落从湖心到滩地呈现典型的带状分布,植物优势种主要有蘆草(*Phalaris arundinace*)、蒺藜(*Cynodon dactylon*)、苔草(*Carex cinerascen*)、芦苇(*Phragmites communis*)、稗草(*Echinochloa crusgalli*)、狗牙根(*Artemisia selengens*)等(表 1)。

1.2 脉冲标记

为深入分析植被—土壤碳平衡作用机理,尽可能将试验误差降到最低,本研究采取 3 次重复试验的方

法,首先对植被进行分组,分为 3 组,同时采取设置间隔行的方法最大程度地降低污染。在进行脉冲标记之前,首先进行柱状标室的设置,其内高、内径分别达到 0.4,1 m,考虑到雾化情况,本研究采取将雾化剂涂至内壁的方式,之后将其买入土壤中,要求深度达到 5 cm;考虑到根系对试验的干扰,本研究采取尼龙网眼孔覆盖的方式进行处理,从而更大程度上降低根系影响,同时保障了植被正常的水分交换,以及养分交换。本研究从 2015 年 8 月 1 日开始进行标记试

验,开始时间为当天上午 11 点,第一步是将高纯度¹³C 的 CO₂置入高压瓶,借助于连接管将其与标计室联通,进而将¹³CO₂置入,要求容量为 10 L,在此处理下,对于标记室而言,其气体量出现明显的上升,最终达到了 3.18%,之后需要进行顶膜密封处理,同时进行标记处理,持续 40 min 后停止,接下来进行长达五小时的密封处理。在内置风扇的作用下,能够保障正常的空气流通,当二氧化碳浓度处于很低的状态下,将标记室移走。

表 1 典型洲滩湿地植被的优势种及伴生种

植被群落	水岸带距离/m	优势种	伴生种	物种数
藜蒿群落	200	藜蒿 <i>Cynodon dactylon</i> 、苔草 <i>Carex cinerascen</i>	藪草 <i>Phalaris arundinace</i> 、灯芯草、稗草	9.3±3.2
水蓼群落	150	水蓼 <i>Persicaria hydropiper</i> 、藪草 <i>Phalaris arundinace</i>	苔草、藜蒿、芦荻、下江委陵菜	11.7±3.1
苔草群落	100	苔草 <i>Carex cinerascen</i> 、狗牙根 <i>Artemisia selengens</i>	水蓼、藪草、芦苇、水田碎米荠	13.5±2.8
芦苇群落	50	芦苇 <i>Phragmites communis</i> 、藪草 <i>Phalaris arundinace</i>	藜蒿、芦苇、刚毛荸荠	15.7±3.4

1.3 样品采集与制备

在样品采集过程中,首先进行 15 株植物随机取样,并将其根系进行逐一编号,保存于实验室内,接下来进行清理处理,待其干净后进行烘干处理,要求时间持续 48 h,温度保持在 70℃,称重后进行记录。之后对样品进行粉碎处理,过 2 mm 筛,对 δ¹³C、全 C 进行测量后记录。为尽可能将试验误差降到最低,本研究采取三次重复试验的方法,同时对土壤容重加以测量,要求土层深度达到 10 cm。

1.4 样品测定与分析方法

接下来进行新鲜土样采集,要求重量达到 20 克,并将其放置在白色平板,将其细根进行挑拣处理后,置于去离子溶液中,要求溶液达到 100 ml,之后进行长达半小时的振荡处理,待其达到充分溶解状态即可。静置处理后将其上清液取出;为了排出水溶性有机碳,本研究采取 HCl 冲洗的方法。首先将上清液置入烧杯,将 HCl 溶液加入其中;为了有效将可溶性碳酸盐进行去除,采取调整 pH 低于 3 的方法;接下来将 50 mlHCl 溶液加入沉淀物中,从而有效去除碳酸盐,净化沉淀物。经过长达 2 d 的反应处理后,采取蒸馏水进行净化处理,待其达到中性即可,清夜倒出后进行烘干处理,研磨后过筛 0.15 mm。

本研究过程中采取 EA-IRMS 分析仪,该测定仪器既能够开展元素分析,又能进行同位素比率质谱分析。首先将样品进行高温燃烧处理,在这一过程中借助于元素分析仪,之后借助于质谱仪开展比率监测,尤其是对二氧化碳中的¹³C,¹²C 分别进行对比,对比物为国际标准物,本研究采用的是 PDB,接下来进行 δ¹³C 比率计算,这就是其作用原理。研究中要求 δ¹³C 的误差在 0.1‰。

光合固定¹³C 会进入不同的植株器官部位,尤其是根、茎、叶部位,在不考虑呼吸损失的情况下,对其各组分固定¹³C 量进行计算^[19-20],即 $^{13}C_i = (F_1 - F_2)/100$ 。其中不同组分的碳含量用¹³C_i表示,F₁,F₂分别代表标记组、非标记组的¹³C 丰度。¹³C_i分配比例=¹³C_i/¹³C×100。

此外,2016—2018 年重复上述试验,所有值为 4 a 的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同湿地土壤有机碳含量及储量

表 2 显示了不同湿地植物群落土壤有机碳含量和有机碳储量,由表可知,土壤有机碳含量和有机碳储量均呈一致的变化规律,其中以表层土壤最高,随土层深度的增加逐渐降低,其中 20—40 cm 以下土壤有机碳含量变化范围相对较小;60—80 cm 土壤有机碳含量最低。随剖面深度的增加,土壤有机碳储量逐渐降低,以表层土壤(0—20 cm)有机碳储量最高,芦苇群落、苔草群落、水蓼群落、藜蒿群落土壤有机碳储量分别占土壤剖面总有机碳储量的比例为 31.23%,33.45%,31.25%,32.78%;60—80 cm 土壤有机碳储量最低。由表还可知,土壤¹³C 含量随土层深度的增加逐渐增加趋势,其中不同土层大致表现为藜蒿群落>水蓼群落>苔草群落>芦苇群落。

2.2 不同湿地植物群落土壤养分含量

由图 1 可知,不同湿地植物群落土壤养分含量呈一致的变化趋势,其中全氮、碱解氮和速效磷含量均表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,不同植物群落差异均显著($p<0.05$);而全磷含量大致表现为藜蒿群落<水蓼群落<芦苇群落<苔草群落,不同植物群落差异均不显著($p>0.05$)。

表 2 不同湿地土壤有机碳含量及储量垂直分布

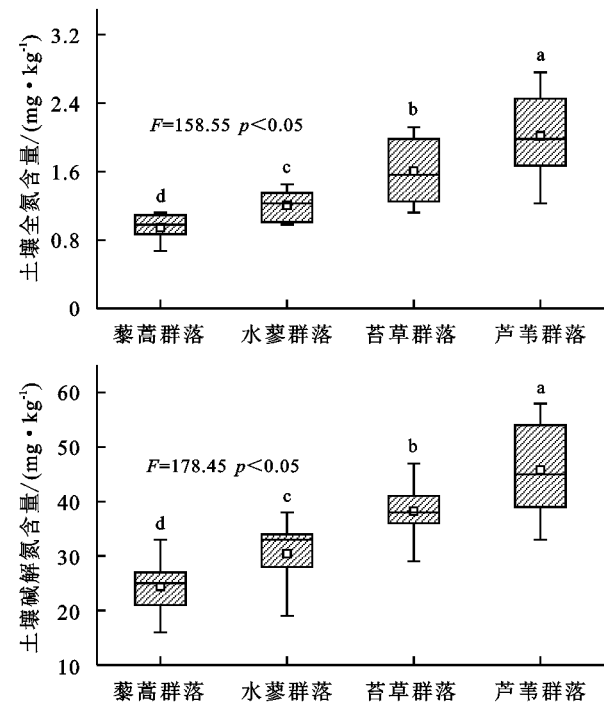
群落	土层深度/cm	自由度/个	¹³ C/‰	有机碳/(g·kg ⁻¹)	有机碳储量/(Mg C·hm ⁻²)
藜蒿群落	0—20	27	-26.13	26.08±2.11	26.13±2.17
	20—40	27	-22.23	22.22±1.23	24.55±1.66
	40—60	27	-19.15	19.45±1.65	16.09±1.43
	60—80	27	-15.27	15.26±1.17	13.61±1.25
水蓼群落	0—20	27	-31.66	31.15±3.08	27.14±1.67
	20—40	27	-26.53	26.67±2.15	26.43±1.89
	40—60	27	-21.24	21.35±1.22	17.25±2.02
	60—80	27	-18.45	18.17±1.35	15.18±1.33
苔草群落	0—20	27	-36.19	36.47±3.19	35.33±2.14
	20—40	27	-32.06	32.08±2.25	31.76±2.27
	40—60	27	-26.17	26.26±2.19	25.87±2.11
	60—80	27	-21.08	21.15±1.25	20.25±3.54
芦苇群落	0—20	27	-39.35	39.33±2.77	36.33±1.32
	20—40	27	-35.21	35.27±2.78	33.79±1.76
	40—60	27	-25.43	25.16±1.15	22.14±2.65
	60—80	27	-21.65	21.06±1.23	21.10±1.14

2.3 不同湿地植被地上和地下生物量

由图 2 可知,不同湿地植物群落地上和地下生物量呈一致的变化趋势,其中大致表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,不同植物群落地上和地下生物量差异均显著($p<0.05$)。

2.4 不同湿地植物群落叶¹³C 丰度

由图 3 可知,藜蒿群落、水蓼群落、苔草群落、芦苇群落叶片碳含量有明显的差异,其中叶片碳含量具体表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,其中不同湿地植物群落叶片碳含量差异均显著($p<0.05$)。不同湿地植物群落叶片¹³C 含量有明显的差异,其中叶片¹³C 含量具体表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,其中苔草群落和芦苇群落差异不显著($p>0.05$)。



注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

图 1 不同湿地植物群落土壤养分含量

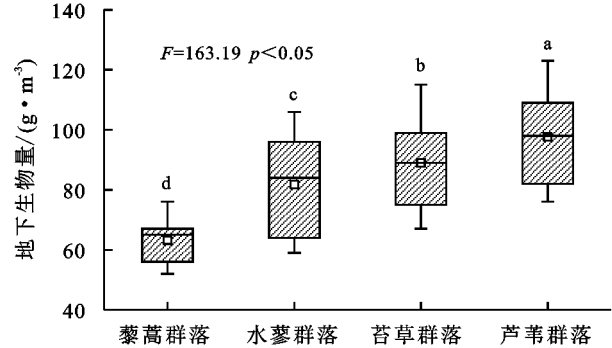
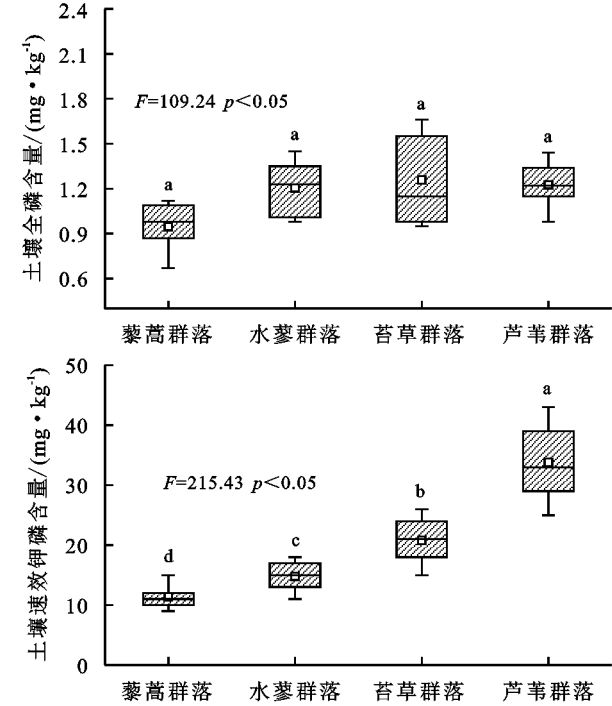
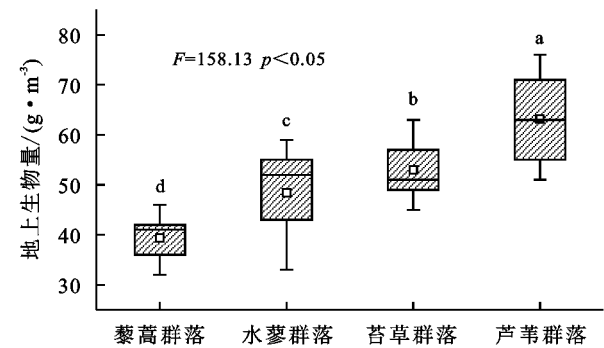


图 2 不同湿地地上和地下生物量

2.5 不同湿地植物群落茎¹³C 丰度

由图 4 可知,藜蒿群落、水蓼群落、苔草群落、芦苇

群落茎碳含量有明显的差异,其中茎碳含量具体表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,其中不同

湿地植物群落茎碳含量差异均显著($p<0.05$)。不同湿地植物群落茎 ^{13}C 含量有明显的差异,其中茎 ^{13}C 含量具

体表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,其中苔草群落和芦苇群落差异不显著($p>0.05$)。

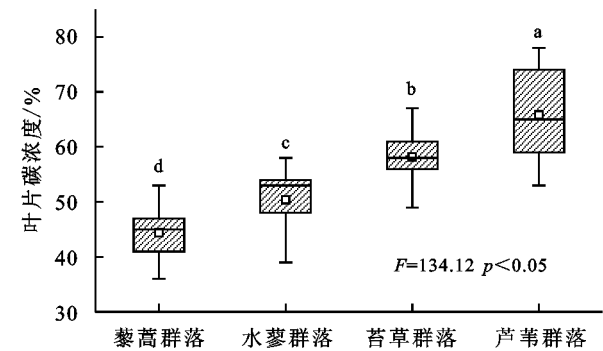


图 3 不同湿地植物群落叶 ^{13}C 丰度

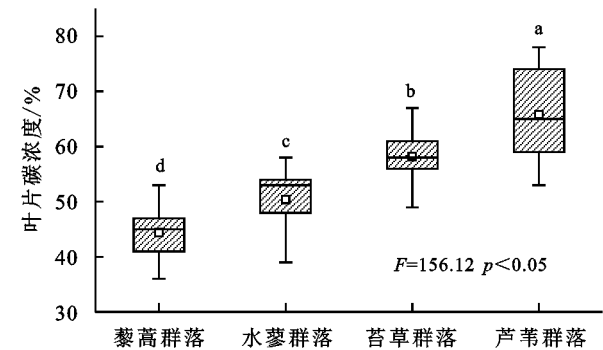
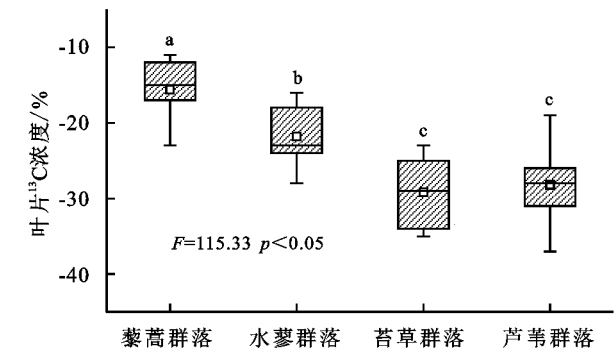
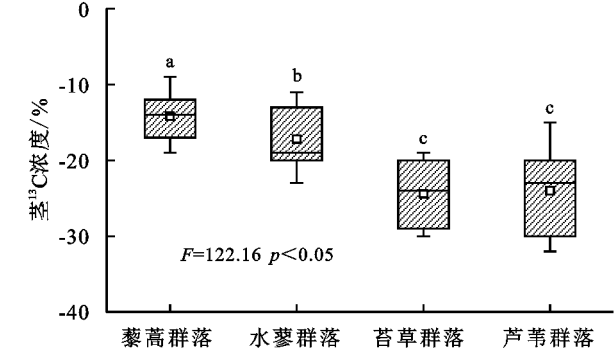


图 4 不同湿地植物群落茎 ^{13}C 丰度



2.6 不同湿地植物群落根 ^{13}C 丰度

由图 5 可知,藜蒿群落、水蓼群落、苔草群落、芦苇群落根碳含量有明显的差异,其中根碳含量具体表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,其中不同湿地植物群落根碳含量差异均显著($p<$

0.05)。不同湿地植物群落根 ^{13}C 含量有明显的差异,其中根 ^{13}C 含量具体表现为藜蒿群落<水蓼群落<苔草群落<芦苇群落,其中不同湿地植物群落根 ^{13}C 含量差异均显著($p<0.05$)。

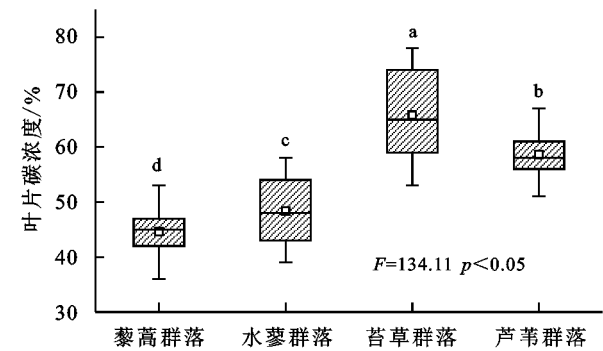
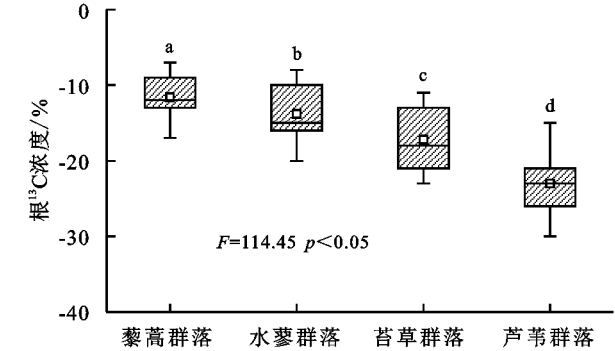


图 5 不同湿地植物群落根 ^{13}C 丰度



2.7 不同湿地植物群落地下各组分的碳分配

对于植被—土壤系统而言,其碳平衡作用机理较为复杂,且存在明显的动态变化性,尤其是新固定 ^{13}C 方面,具体见表 3,本研究在对 ^{13}C 固定量对比分析过程中以单位面积为计算标准,对于其分配比例的计算亦是如此。在开展标记初期,经过测定分析得知,不同植被具有较大差异的叶片 ^{13}C 含量,其中最高的是藜蒿,其次是水蓼,而芦苇最低。对于不同植被茎而言,其 ^{13}C 含量低值为 31.34,高值为 44.15,其中藜蒿

最高,其次是水蓼;对于植被根系而言,其 ^{13}C 含量低值为 17.78,高值为 30.21,其中藜蒿最高,其次是水蓼;对于植被土壤而言,其 ^{13}C 含量低值为 5.66,高值为 10.65,其中藜蒿最高,其次是水蓼。进行长达 21 d 的标记之后发现,虽然植被不同,且根、茎等器官存在较大差异,其 ^{13}C 含量变化依然与最初标记阶段表现一致。通过对表 4 的分析不难得知,对于标记当天而言,其同化 ^{13}C 更多地分配于茎叶,而土壤最低;进行长达 21 d 的标记之后发现, ^{13}C 更多地分配于根系部

位,其次是茎叶,而土壤最低。

表 3 不同湿地植物群落地下各组分分配

mg/m ²					
时间	群落	叶	茎	根	土壤
标记当天	藜蒿群落	84.14	44.15	30.21	10.65
	水蓼群落	82.43	41.34	28.76	8.33
	苔草群落	75.12	35.87	19.43	7.17
	芦苇群落	65.67	31.34	17.78	5.66
标记 21 d	藜蒿群落	38.33	32.16	17.09	9.09
	水蓼群落	35.15	27.76	15.25	6.15
	苔草群落	32.78	19.10	9.65	4.54
	芦苇群落	26.77	15.35	7.11	2.22

2.8 光合碳的影响因素

通过对表 5 分析得知,经过相关分析发现,光合同化碳在地上、土壤的分布虽然有所不同,但不仅受到地上、地下养分的制约,同时受到土壤养分的制约。对于茎叶、根¹³C 含量而言,其不仅与地上、地下生物

表 4 标记后不同湿地—土壤系统各组分¹³C 的分配

%						
时间	群落	¹³ C 分配比例				¹³ C 固定百分比
		叶	茎	根	土壤	
标记当天	藜蒿群落	117.34	73.23	35.54	8.45	42.56
	水蓼群落	109.21	70.67	32.78	7.68	45.98
	苔草群落	95.45	66.98	27.09	5.09	33.34
	芦苇群落	88.22	61.34	22.14	3.34	34.66
标记 21 d	藜蒿群落	96.54	75.15	36.33	9.56	21.07
	水蓼群落	94.67	73.32	32.76	7.68	32.34
	苔草群落	87.13	70.66	28.89	6.81	15.25
	芦苇群落	79.65	63.16	24.15	4.62	12.11

量呈现突出的正相关,而且与有机碳、全氮的正向关系突出,对于碱解氮和速效磷来说亦是如此。对于土壤¹³C 含量而言,其碱解氮和速效磷之间的相关性显著,而与其他因素的正相关达到极显著水平。

表 5 光合碳的影响因素

项目	叶 ¹³ C 含量		茎 ¹³ C 含量		根 ¹³ C 含量		土壤 ¹³ C 含量	
	F	p	F	p	F	p	F	p
地上生物量	256.23	0.000 **	245.98	0.000 **	298.09	0.034 *	148.90	0.042 *
地下生物量	153.25	0.018 *	178.67	0.025 *	145.88	0.000 **	267.88	0.000 **
有机碳	153.26	0.011 *	165.26	0.014 *	178.24	0.006 *	215.34	0.001 **
全氮	198.12	0.020 *	134.03	0.021 *	135.67	0.012 *	224.87	0.001 **
全磷	59.33	0.069	54.14	0.065	86.23	0.075	69.09	0.069
碱解氮	123.14	0.031 *	145.05	0.033 *	122.45	0.014 *	105.74	0.031 *
速效磷	132.29	0.044 *	127.44	0.041 *	156.18	0.023 *	113.18	0.015 *

注: * 表示 $p<0.05$; ** 表示 $p<0.01$ 。

3 讨论

通过连续性试验对比分析得知,对于植株地上部分而言,其在光合作用下具有良好的固碳效应,尤其是在¹³C 方面,主要原因在于根系的碳活力尤为突出,有利于碳素的转运,便于输入到植株其他器官^[12-14]。而对于地下部分而言,其光合碳的分配呈现尤为突出的差异,无论是玉米、大麦,还是水稻,随着生长发育期的推进,碳素更多地集中于植株地上部分,而牧草则不明显^[21-23]。无论是芦苇还是苔草,其均有叶面积指数较大的群落特点,具有较强的光合作用效果,得益于这一特性,因此呈现较强的光合碳固定能力,进而造成了植被在自养呼吸方面较弱,这有利于植被碳的积累^[24-25]。对于藜蒿和水蓼叶片而言,其氮浓度水平并不高,且光合作用效果较弱,只有在长时间光合作用下方可达到有效的碳平衡。

对于传统的有机碳测定而言,并不能对其开展有

效的量化分析。基于此,目前倾向于采取稳定同位素示踪技术¹³C 分析法,不仅从植株碳输入的角度分析碳转移及分配,而且对根际土壤碳平衡作用机理进行量化分析^[19]。对于¹³C 而言,其具有突出的稳定性特点,借助于多种脉冲标记,能够对植株不同生长期的碳输入进行量化分析,因此在碳平衡研究过程中运用广泛。为了探究湿地植被光合碳的作用机理,本研究借助于¹³CO₂ 脉冲标记法,通过连续对比分析得知,虽然植被有所不同,但是对于其叶、茎、根及土壤而言,其¹³C 固化能力较强,这也印证了该方法的有效性。受不同植被特性的影响,其¹³C 丰度方面呈现较大差异,而对于同一植被而言,其不同器官的¹³C 丰度也存在尤为突出的差异,其中含量最高的是茎部,而最低的是根系^[20],这与光合碳的传输密切相关。

通过对脉冲标记的对比分析得知,在光合作用下,植被能够对¹³C 进行有效的存储,进而通过植株部分进行地上、地下植株部位的传输。通过长达 21 d

的 ^{13}C 标记得知,其值出现了较为明显的下降,更多的光合碳转移至地下部分,尤其是土壤。进行长达21 d的标记之后发现,虽然植被不同,且根、茎等器官存在较大差异,其 ^{13}C 含量变化依然与最初标记阶段表现一致。对于标记当天而言,其同化 ^{13}C 更多地分配于茎叶,而土壤最低;进行长达21 d的标记之后发现, ^{13}C 更多地分配于根系部位,其次是茎叶,而土壤最低。对于根系生长而言,必要的碳元素发挥着无可替代的作用,在此过程中更倾向于以沉积物的形式加以利用,此外,根系呼吸也会将一部分 ^{13}C 进行释放^[22]。通过相关分析得知,地上生物量与茎叶 ^{13}C 之间的正相关关系尤为突出,而对于地下生物量而言,其与根、土壤 ^{13}C 的正相关通过了0.05检验;说明生物量在光合碳分配方面具有突出的制约效应。

参考文献:

- [1] 孙昭安,陈清,韩笑,等. ^{13}C 脉冲标记法定量冬小麦光合碳分配及其向地下的输入[J].环境科学,2018,39(6):2837-2844.
- [2] 孙海岩,安婷婷,谢柠桢,等.地膜覆盖与施氮肥对光合碳在玉米-土壤系统分配的影响[J].土壤通报,2018,49(4):21-25.
- [3] 陈锦,宋明华,李以康. ^{13}C 脉冲标记揭示放牧对高寒草甸同化碳分配的影响[J].植物生态学报,2019,43(7):576-584.
- [4] 徐隆华,姚步青,张春辉,等.3种类型高寒草地内甘肃马先蒿的光合碳分配[J].生态学杂志,2016,35(3):668-674.
- [5] 王莹莹,肖谋良,张昀,等.水稻光合碳在植株-土壤系统中分配与稳定对施磷的响应[J].环境科学,2019,40(4):1957-1964.
- [6] 任逸文,肖谋良,袁红朝,等.水稻光合碳在植物-土壤系统中的分配及其对 CO_2 升高和施氮的响应[J].应用生态学报,2018,29(5):1397-1404.
- [7] 王婷婷,祝贞科,朱捍华,等.施氮和水管理对光合碳在土壤-水稻系统间分配的量化研究[J].环境科学,2017,38(3):1227-1234.
- [8] 邓扬悟,唐纯,袁红朝,等. ^{13}C 脉冲标记法:不同生育期水稻光合碳在植物-土壤系统中的分配[J].生态学报,2017,37(19):23-26.
- [9] 王群艳,祝贞科,袁红朝,等.不同生育期光合碳在水稻-土壤系统中的分配及输入效率[J].环境科学研究,2016,29(10):1471-1478.
- [10] 王毛兰,赖建平,胡珂图,等.鄱阳湖湿地土壤有机碳氮同位素特征及其环境意义[J].中国环境科学,2016,36(2):500-505.
- [11] 金奇,吴琴,钟欣孜,等.鄱阳湖湿地水位梯度下不同植物群落类型土壤有机碳组分特征[J].生态学杂志,2017,36(5):1180-1187.
- [12] 柳开楼,韩天富,黄庆海,等.鄱阳湖流域长期施肥下双季稻田的土壤基础地力[J].应用生态学报,2019,30(1):209-216.
- [13] 江玉梅,胡琳玉,林娣,等.鄱阳湖湿地4种植物群落土壤碳含量和酶活性[J].湿地科学,2017,15(6):802-808.
- [14] 聂兰琴,吴琴,尧波,等.鄱阳湖湿地优势植物叶片凋落物-土壤碳氮磷化学计量特征[J].生态学报,2016,36(7):1898-1906.
- [15] 冉珊珊,时宇,黄黄,等.用 ^{13}C 脉冲标记法研究互花米草光合碳的分配[J].生态环境学报,2019,28(2):270-275.
- [16] 时宇,黄黄,冉珊珊,等.氮磷添加对互花米草-土壤系统碳分配的影响[J].生态与农村环境学报,2019,35(5):627-633.
- [17] 赵会杰,张皓帆,李华,等.种植密度对烤烟叶片碳同化能力及同化产物分配的影响[J].河南农业科学,2017,46(11):35-41.
- [18] 李新乐,鲍芳,吴波,等.荒漠植物白刺新固定碳在植物-土壤系统中的分配[J].草业学报,2019,28(2):33-40.
- [19] 魏明月,云菲,刘国顺,等.不同光环境下烟草光合特性及同化产物的积累与分配机制[J].应用生态学报,2017,28(1):159-168.
- [20] Cummins P L, Babu K, Gready J E. Directions for optimization of photosynthetic carbon fixation: RuBis CO's efficiency may not be so constrained after all[J]. Frontiers in Plant Science, 2018,9(10):183-189.
- [21] Roitman S, Hornung E, Flores-Urbe, et al. Cyanophage-encoded lipid desaturases: oceanic distribution, diversity and function[J]. ISME Journal, 2018,12(2):343-355.
- [22] Townsend A J, Retkute R, Chinnathambi K, et al. Suboptimal acclimation of photosynthesis to light in wheat canopies[J]. Plant Physiology, 2018,3(15):12-15.
- [23] Haoran, Zhou, Brent R, et al. C4 photosynthesis and climate through the lens of optimality[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018,5(13):546-549.
- [24] Xu Q, Jin J, Wang X, et al. Susceptibility of soil organic carbon to priming after long-term CO_2 fumigation is mediated by soil texture[J]. Science of the Total Environment, 2019,657(20):1112-1120.
- [25] Xiao M, Zang H, Liu S, et al. Nitrogen fertilization alters the distribution and fates of photosynthesized carbon in rice-soil systems: A ^{13}C - CO_2 pulse labeling study[J]. Plant and Soil, 2019,5:15-20.