

# 若尔盖高原湿地土壤-植物系统 有机碳的分布与流动

田应兵 熊明彪 熊晓山 宋光煜

(西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

**摘要** 湿地碳素变化对全球气候变化的影响一直是国内外湿地研究的热点。国内对沼泽湿地碳循环的研究主要集中在三江平原, 其它地区则鲜见报道。若尔盖高原位于全球气候变化最敏感的区域之一——青藏高原的东北部, 冷湿的气候条件下沼泽十分发育, 泥炭贮量丰富, 沼泽面积和泥炭资源贮量均居中国首位。为了评估该区湿地在全球气候变化中的作用, 作者以该区分布最为广泛的3种沼泽植物群落——木里苔草 (*Carex muliensis*) 群落、乌拉苔草 (*Carex meyeriana*) 群落和藏嵩草 (*Kobresia tibetica*) 群落以及最为典型的3种湿地土壤——泥炭土、泥炭沼泽土和草甸沼泽土为对象, 采用田间腐解试验方法, 系统研究了高原湿地植物——土壤系统中有机碳的分布与流动, 其目的在于: 1) 探明该区湿地土壤有机碳的数量与分布状况; 2) 了解植物碳在向土壤流动过程中的消失与残留情况。结果表明, 若尔盖高原湿地土壤的有机碳含量一般较高且随土层加深而降低; 在植物由活体—立枯—残落物的不同阶段, 植物不同化学组分中碳的消失率各异, 其中易分解组分碳的消失率最大(3种群落分别为 61.37%、69.59% 和 66.34%), 木质素碳的消失率(44.53% ~ 52.98%) 略大于纤维素碳的消失率(38.23% ~ 43.86%), 3种群落植物碳的总消失率分别为 53.8%、60.03% 和 55.18%; 3种群落的植物残落物在土壤中分解一年和两年后的残留碳量分别为  $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $25.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 而植物残根的相应数值则分别高达  $179 \sim 223 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $161 \sim 208 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 说明若尔盖高原湿地生态系统中植物残根是形成土壤有机碳的主要来源。由于该区湿地的生物量较高, 有机碳的流动量也相应较大。

**关键词** 湿地 土壤-植物系统 有机碳 若尔盖高原

## THE ORGANIC CARBON DISTRIBUTION AND FLOW IN WETLAND SOIL- PLANT SYSTEM IN RUOERGAI PLATEAU

TIAN Ying-Bing XIONG Ming-Biao XIONG Xiao-Shan and SONG Guang-Yu

(College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

**Abstract** The effect of wetland carbon element change on the global climate change has been a focus in the world for a long time. Some works have been done in studying carbon cycles of marsh wetland at Sanjiang Plain in China, but little was reported on the same work in Ruoergai Plateau situated in north-east part of Qinghai-Tibetan Plateau, which is one of the most sensitive areas with respect to global climate change in the world. The cold climate and abundant water in this area, vast marsh area and rich reserves of the peat are all very specific in China and in the world. To evaluate the effect of wetland carbon cycles on global climate change, the author studied organic carbon distribution and flow from three kinds of plant (*Carex muliensis*, *Carex meyeriana* and *Kobresia tibetica*) communities to three kinds of soil (peat soil, peat bog soil and meadow bog soil) using a field decomposition approach. The purposes are as follows: 1) to investigate the amount and distribution of soil organic carbon and 2) to verify the amount of C lost and C retained in the wetlands in Ruoergai Plateau. The results showed that the content of soil organic carbon was high and decreased with the increase of the depth of the soil layer. The disappearing rate of the organic carbon was different in different chemical constituents at different stages of living plants, standing dead and litter. Among several chemical constituents, the disappearing rate of the easy-decomposing C was the highest and reached 61.37%, 69.59% and 66.34% respectively in the three marsh plant communities, while the disappearing rate of the lignin C (44.53% - 52.98%) was slightly higher than that of the cellulose C (38.23% - 43.86%). The total disappearing rates of the plant carbon were 53.8%, 60.03% and 55.18% respectively in the three communities. The amount of C retained in soil from litter after 1 and 2 years of decomposition was  $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  and  $25.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  respectively, while the amount retained in the residual roots was  $179 \sim 223 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  and  $161 \sim 208 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  respectively. These

results indicated that residual plant roots was the main source of soil organic carbon and the amount of organic carbon flow was large because of the higher biomass in wetland ecosystem in Ruogai Plateau.

**Key words** Wetland, Soil-plant system, Organic C, Ruogai Plateau

湿地因其独特的物理化学条件而具有“碳汇”的功能(马学慧, 1996)。湿地在化学元素循环尤其是 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 等温室气体的固定与释放中起着重要的“开关”作用, 因此湿地碳的循环对全球气候变化具有重要意义(孟宪民, 1999; 吕宪国等, 1995; Bruke *et al.*, 1990; Matthews & Fung, 1998)。

若尔盖高原位于青藏高原的东北部, 平均海拔为 3 400 ~ 3 800 m, 年均气温  $-0.7 \sim -1.1^\circ\text{C}$ , 年降水 650 ~ 750 mm, 湿润系数为 1.26 ~ 1.93, 冷湿气候条件下沼泽发育强烈, 泥炭储量丰富, 沼泽面积和泥炭资源储量均居我国首位(孙广友, 1992)。国内对沼泽湿地碳循环的研究多集中在三江平原地区(阎敏华等, 1997; 杨青等, 1995; 马学慧等, 1996), 有关若尔盖高原湿地碳的研究尚未见报道。本文系统地研究了该地区湿地土壤-植物系统中有机碳的分布及流动特征, 以期对该区湿地在全球气候变化中的作用评估提供和积累基础资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤与植物

选择在若尔盖高原沼泽区分布面积最大、最具代表性的木里苔草(*Carex muliensis*)、乌拉苔草(*Carex meyeriana*)和藏嵩草(*Kobresia tibetica*)等 3 种沼泽植物群落为研究对象。其中木里苔草群落以木里苔草和花葶驴蹄草(*Caltha scaposa*)为建群植物种, 前者株高 60 cm、盖度 60%, 后者株高 29 cm、盖度 15% ~ 25%。主要伴生种有矮泽芹(*Chamaesium paradoxum*)、藏嵩草、矮地榆(*Sanguisorba filiformis*)、侧茎垂头菊(*Cremanthodium pleurocaule*)、条叶垂头菊(*Cremanthodium lineare*)、葱状灯心草(*Juncus concinnus*)、华扁穗草(*Blysmus sinoc ompressus*)、海韭菜(*Triglochin maritimum*)、发草(*Deschampsia caespitosa*)等, 群落总盖度可达 65% ~ 75%; 乌拉苔草群落以乌拉苔草为建群植物种, 株高 60 cm, 盖度 80%。主要伴生种有华扁穗草、藏嵩草、花葶驴蹄草、矮地榆、条叶银莲花(*Anemone trullifolia*)等, 群落总盖度 70% ~ 85%; 藏嵩草群落以藏嵩草、线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)、无脉苔草(*Carex eneris*)、毛茛状金莲花(*Trollius ranunculoides*)等为建群植物种, 株高 26 ~ 50 cm, 盖度 > 80%。主要伴生种有矮地榆、矮泽芹、鹅

绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、木里苔草、云生毛茛(*Ranunculus nepheloge*)等, 群落总盖度 80% ~ 90%。

供试土壤分为泥炭土、泥炭沼泽土和草甸沼泽土 3 种类型。其中 1、5、9 号样点处于湖泊边缘, 微域地貌的影响加上近年旱化严重, 地表常有盐分积聚, 呈碱化趋势。

采集的植物样品经风干、剪碎后于  $85^\circ\text{C}$  烘干磨细并过 60 目筛。同时分层(0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm)采集同一部位的土壤样品, 风干磨细后过 20 目和 100 目筛。土壤理化性质及植物群落状况见表 1。

### 1.2 田间腐解试验

田间腐解试验于 2000 ~ 2001 年在四川省草原研究所(红原县)进行, 历时两年。采用塑料网袋法(文启孝, 1984)研究土壤中残落物和残根的分解。即将一定量的植物干样品装入细孔塑料网袋, 置于表土内(0 ~ 20 cm)腐解, 一年和两年后分别将供试样品烘干称重并进行灰分校正, 计算不同样品在不同时间内碳的分解量和残留量。

### 1.3 植物生物量的测定

参照陆地生物群落调查观测与分析标准方法(董鸣, 1996)进行。地上生物量在每年 7 月沼泽植物生长最旺盛时用收割法测定, 每个样点选取 5 个重复样方, 样方面积为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。地下生物量测定与地上测定同步进行, 样方面积  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ , 并按 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm 层次依次采取。

### 1.4 分析方法

植物和土壤中的有机碳采用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$  外加热法测定。植物化学组成按植物物质化学组成系统分析法测定(文启孝, 1984), 土壤其它理化性质测定按有关文献的方法进行(刘光崧, 1996; 李西开, 1983)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤有机碳的含量与分布

#### 2.1.1 有机碳在不同土壤中的分布与含量

土壤有机碳的含量见表 1。表 1 数据表明, 湿地土壤的有机碳含量一般都很高, 这主要是由于研究区域冷湿的气候条件决定的。由于海拔高、气温低、湿度大, 土壤微生物活动弱, 植物残体在土壤中分解缓慢, 并以有机质或泥炭的形式赋存积累。但

表 1 供试土壤的理化性质与植物群落  
Table 1 The physical and chemical properties of the soils used and plant communities

编号 No.	土壤 类型 Soil types	采样地点 Site	pH (H <sub>2</sub> O)	有机 C Organic C (g·kg <sup>-1</sup> )	全 N Total N (g·kg <sup>-1</sup> )	C/N	腐殖质组成(占有机 C%) Humus fractionation (% of the organic C)			植物群 落类型 Plant community types
							总量 Total	胡敏酸 Humic acid	富里酸 Fulvic acid	
1	草甸沼泽土 Meadow bog soil	花湖 Hua Lake	8.42	68.20	3.51	19.43	67.15	32.73	34.41	木里苔草 <i>Carex muliensis</i>
2	泥炭土 Peat soil	阿木柯 Amuke	6.16	248.55	11.88	20.92	83.08	52.92	30.16	木里苔草 <i>Carex muliensis</i>
3	泥炭沼泽土 Peat bog soil	瓦切 Waqie	6.00	170.02	7.08	24.01	86.59	37.07	49.52	木里苔草 <i>Carex muliensis</i>
4	泥炭土 Peat soil	军分区 Junfenqu	7.15	261.40	14.49	18.04	56.72	39.05	17.67	木里苔草 <i>Carex muliensis</i>
5	泥炭沼泽土 Peat bog soil	辖曼 Xiaman	8.29	116.90	7.76	15.06	94.44	49.01	45.43	乌拉苔草 <i>Carex meyericana</i>
6	泥炭沼泽土 Peat bog soil	达扎寺镇 Daza Temple	6.77	75.27	3.56	21.14	86.72	48.99	37.73	藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>
7	草甸沼泽土 Meadow bog soil	辖曼 Xiaman	6.58	49.35	2.13	23.17	63.95	27.24	36.71	藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>
8	草甸沼泽土 Meadow bog soil	邛溪镇 Qiongxi	6.66	31.53	1.62	19.46	71.30	30.69	40.61	木里苔草 <i>Carex muliensis</i>
9	草甸沼泽土 Meadow bog soil	麦溪乡 Maixi	8.67	52.94	3.40	15.57	54.40	19.78	34.62	乌拉苔草 <i>Carex meyericana</i>

土壤为亚类名称。理化性质取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 的平均值 Soil types are subgroup. Values are mean in three layers (0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm)

是,由于微域地貌和人类活动的影响,不同点位的土壤有机碳含量仍存在着较大的差别。如 7、8、9 号样点分别位于辖曼牧场、红原县邛溪镇、麦溪乡,这些地方自 1960 年以来曾大规模开沟排水,长期呈疏干状态且超载放牧严重,土壤有机质分解速度加快,其含量明显低于其它样点。

2.1.2 土壤有机碳的垂直分布

湿地土壤有机碳含量在垂直方向上的变化表现出一定的规律性(表 2),由表 2 可见除 4 号样点外,其它样点土壤的有机碳含量均表现出从表层到底层下降的趋势。其原因在于上部土层较下部土层的生物归还量大,土壤有机碳的积累量也相应较大。

2.2 植物碳在由活体—立枯—残落物过程中的流动

2.2.1 植物体在不同阶段的含碳量

植物活体经立枯阶段后,地上部分成为残落物

凋落于地表,地下部残根则留在土壤中。3 种群落植物的含碳量没有明显的差别,一般变化在 521.85~549.45 g·kg<sup>-1</sup> 之间(表 3)。但植物活体、立枯和残落物中以不同化学组分赋存的有机碳含量明显不同,其中易分解的水溶性物等组分中的有机碳占总碳量的百分数随活体、立枯、残落物的阶段不同依次降低,而纤维素碳和木质素碳则依次增加(表 4)。这表明,植物在活体—立枯—残落物的不同阶段中,其不同化学组分的消失速率是不一样的。

2.2.2 植物碳从活体向残落物的流动量

3 种植物群落的地上、地下生物量测定结果见表 5,结合表 3 和表 4 的含碳量和占总碳量的百分数,估算得植物碳由活体到残落物阶段中的流动量(表 6)。由表 6 可以看出,高原湿地植物碳由活体到残落物的流动过程中,植物不同化学组分中有机碳的消失量依次为:易分解组分碳>纤维素碳>木

表 2 土壤有机碳的垂直分布  
Table 2 The vertical distribution of organic C in soils (g·kg<sup>-1</sup>)

深度 Depth (cm)	有机碳 Organic C (g·kg <sup>-1</sup> )								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0~20	80.19	290.61	167.40	137.27	188.64	123.84	63.52	45.67	88.09
20~40	55.94	217.43	188.80	273.01	147.08	50.36	43.47	16.92	51.64
40~60	68.48	237.87	133.70	372.04	14.94	51.60	25.97	17.44	19.11

编号 1~9 同表 1 此处仅指表 1 中的土壤类型 See Table 1, No. 1~9 represent only soil types

表 3 不同阶段植物的含碳量  
Table 3 C content of plant in different stages (g·kg<sup>-1</sup>)

植物群落 Plant community	活体 Living plant	立枯 Standing dead	残落物 Litter	残根 Residual roots
I	528.83	533.35	528.62	536.46
II	521.85	525.40	534.75	544.45
III	538.13	543.05	549.45	534.76
I. 木里苔草群落 <i>Carex muliensis</i> community II. 乌拉苔草群落 <i>Carex meyericana</i> community III. 藏嵩草群落 <i>Kobresia tibetica</i> community				

表 4 不同阶段植物中不同组分碳含量的变化(占总碳量的百分数)  
Table 4 C content change of different constituents in different stages (% of the total C)

植物群落 Plant community	活体 Living plant	立枯 Standing dead	残落物 Litter
苯醇溶性碳 + 水溶性碳 + 半纤维素 Benzene-Alcohol C + Water C + Hemicellulose C			
I	53.2	41.6	48.2
II	50.0	46.1	39.2
III	51.3	47.2	38.4
纤维素碳 Cellulose C			
I	23.7	26.5	33.9
II	22.9	25.7	33.1
III	23.8	27.1	32.6
木质素碳 Lignin C			
I	15.8	16.6	18.4
II	15.3	16.4	18.5
III	15.9	16.4	19.6
I、II、III:同表3 See Table 3			

表 5 3种植物群落的生物量  
Table 5 Biomass of three plant communities (g·m<sup>-2</sup>)

植物群落 Plant community	地上部 Aboveground	地下部(0~60 cm) Underground	残落物 Litter
I	282.12	2 246.90	120.36
II	337.50	2 204.75	127.85
III	266.55	2 011.75	117.60
I、II、III:同表3 See Table 3			

质素碳。这种现象是由于植物从活体—立枯—残落物的不同阶段,各化学组分占总量的比例不同以及消失量不同所决定的。不同化学组成的消失率(消失量占活体中该组分含量的百分数),仍以易分解组分碳最高,其中木里苔草群落为 61.37%,乌拉苔草群落为 69.56%,藏嵩草群落为 66.34%;木质素碳的消失率略大于纤维素碳的消失率,这是由于植物中的木质素含量较多时,其本身往往和纤维素包裹在一起,从而增加了纤维素的耐分解性。

2.3 残落物和残根在土壤中的残留量

2.3.1 残落物和残根在土壤中的分解

由植物残体腐解试验得到的分解率(残留量占加入量的%)资料见表 7。从表 7 可知,在若尔盖高

原湿地自然条件下,植物残落物和残根在土壤中的分解量第一年比第二年要大得多。从 3 种群落植物来看,植物残落物在第一年的分解率差不多,分别为 I 号群落 51.1%、II 号群落 56.2%、III 号群落 55.5%,而第二年的分解率比第一年的要小得多,分别为 I 号群落 7.3%、II 号群落 5.25%、III 号群落 7.75%。同样,第一年残根在土壤中的分解率分别为 I 号群落 38.46%、II 号群落 42.35%、III 号群落 44.5%。第二年的分解率分别为 I 号群落 4.12%、II 号群落 3.85%、III 号群落 5.65%。与残落物相比,残根分解较慢,这是由于残根中耐分解的木质素含量比残落物高所致。

表 6 植物碳由活体向残落物的流动  
Table 6 Plant C flow from living plant to litter (g·kg<sup>-1</sup>)

植物群落 Plant community	活体 Living plant	残落物 Litter	消失量 Disappeared content
苯醇溶性碳 + 水溶性碳 + 半纤维素 Benzene-Alcohol C + Water C + Hemicellulose C			
I	79.34	30.65	48.69 (61.37%)
II	88.06	26.78	61.28 (69.59%)
III	73.61	24.79	48.83 (66.34%)
纤维素碳 Cellulose C			
I	35.36	21.54	13.82 (39.08%)
II	40.33	22.64	17.69 (43.86%)
III	34.08	21.05	13.03 (38.23%)
木质素碳 Lignin C			
I	23.57	11.68	11.89 (50.45%)
II	26.88	12.64	14.24 (52.98%)
III	22.84	12.66	10.17 (44.53%)

I、II、III:同表3 See Table 3 括号内数据为消失率 Values in brackets are disappeared rate

表 7 残落物和残根在土壤中的分解  
Table 7 Decomposition of litter and residual roots in soil

植物群落 Plant community	一年后 After one year		两年后 After two years	
	残落物 Litter	残根 Residual roots	残落物 Litter	残根 Residual roots
I	48.90	61.54	41.62	57.42
II	43.80	57.65	38.55	53.80
III	44.45	55.50	36.70	49.85

I、II、III:同表3 See Table 3

表 8 残落物在土壤中的残留碳量  
Table 8 C remained in soil from litter after one and two years decomposition (g·m<sup>-2</sup>)

植物群落 Plant community	一年后 After one year	两年后 After two years
I	31.11	26.48
II	29.94	26.36
III	28.72	23.71

I、II、III:同表3 See Table 3

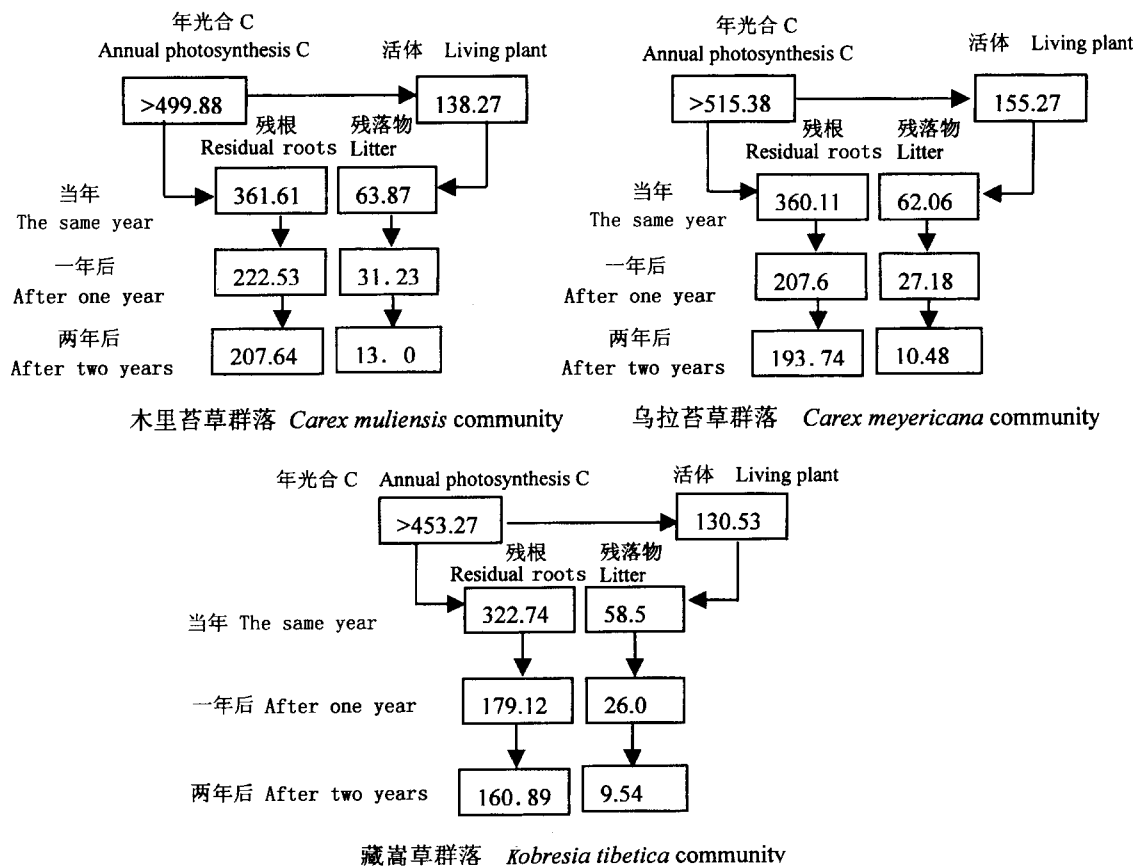


图 1 若尔盖高原湿地土壤-植物系统中植物碳的流动简图  
Fig. 1 Diagram of plant C flow in the soil-plant system ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )

表 9 植物残根输入土壤中的碳量及残留碳量(0~60 cm)  
Table 9 The amount of C input to soils from residual roots and C remained (0~60 cm) ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )

植物群落 Plant community	当年输入碳量 Annual C input	残留碳量 C remained	
		一年后 After one year	两年后 After two years
I	361.61	222.53	207.64
II	360.11	207.61	193.74
III	322.74	179.12	160.89

I、II、III: 同表 3 See Table 3

根据植物地下部的生物量及残根在土壤中的分解速率,并假设高原湿地土壤中植物根的年死亡率为 30% (Chapman, 1976),便可估算出残根碳在土壤中腐解不同时间后的残留量(表 9)。由表 9 可见,若尔盖高原湿地的 3 种群落植物残根向土壤中输送的碳量相当大,当年输入的碳量可达 322 ~ 361  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,分解一年后的残留碳量为 179 ~ 223  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ,两年后还高达 160 ~ 208  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。可见,高原湿地生态系统中植物残根碳是形成土壤有机碳的主要来源。

2.4 高原湿地土壤植物系统中有机碳的流动

如果把 3 种群落植物活体中的碳量与年死亡的根中碳量之和认为是其年净光合碳量,根据以上结果可以得出若尔盖高原土壤-植物系统中 3 种群落植物碳的流动简图(图 1)。由图 1 可见,在若尔盖高原湿地,当年以残根形式进入土壤中的碳约占净光合碳量的 69% 左右,是碳进入土壤的主要形式;残根在土壤中第一年分解较快,及至第二年其分解已相当慢。由于若尔盖高原湿地的生物量较大,因此,碳由植物向土壤中的流量也相应较大。

2.3.2 残落物和残根在土壤中的残留碳量

2.3.2.1 残落物在土壤中的残留碳量

根据残落物量、残落物的含碳量(表 3)及其在土壤中的分解情况(表 7),可计算得植物残落物在土壤中腐解后的残留碳量(表 8)。由于植物在由活体变为残落物的过程中,大量的植物碳已经消失,而残落物进入土壤后分解又较快,因此,土壤中来自植物地上部的残留碳量并不多。从 3 种群落植物来看,分解一年后的残留碳量在 30  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  左右,分解两年后为 25.5  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  左右。

2.3.2.2 残根输入土壤的碳量及残留量

### 3 结 论

1) 若尔盖高原湿地土壤有机碳含量一般较高且不同区域有所差别, 有机碳呈现出由表层到底层下降的趋势。

2) 植物由活体变为残落物的过程中, 碳的消失率因其化学组成的不同而有明显的差异。各组分碳的消失率大小顺序为: 易分解组分碳 > 木质素碳 > 纤维素碳。3 种植物群落植物碳的消失率不尽相同, 分别为 I 号群落 53.8%, II 号群落 60.03%, III 号群落 55.18%。

3) 3 种群落的植物残落物在土壤中分解一年和两年后的残留碳量分别为  $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $25.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 而植物残根的相应数值分别高达  $179 \sim 223 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  和  $161 \sim 208 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

4) 由于若尔盖高原湿地生态系统的生物量较大, 碳由植物向土壤的流动量也相应较大。

### 参 考 文 献

- Bruke, M. K., R. A. Houghton & G. M. Woodwell. 1990. Progress toward predicting the potential for increasing emissions of  $\text{CH}_4$  from wetland as a consequence of global warming. In: Bouwman, A. F. ed. *Soil and the greenhouse effect*. Chichester: John Wiley & Sons. 451 ~ 455.
- Chapman, S. B. 1976. *Methods in plant ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Dong, M. (董鸣). 1996. Survey, observation and analysis of terrestrial biocommunities. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- Li, Y. K. (李酉开). 1983. *Conventional analysis methods of soil and agricultural chemistry*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Liu, G. S. (刘光崧). 1996. *Soil physical and chemical analysis and description of soil profiles*. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- Lü, X. G. (吕宪国), Y. He (何岩) & Q. Yang (杨青). 1995. Carbon cycling in wetland and global environmental change. In: Chen, Y. Y. (陈宜瑜) ed. *Study of wetlands in China*. Changchun: Jilin Science and Technology Press. 68 ~ 72. (in Chinese)
- Ma, X. H. (马学慧). 1996.  $\text{CO}_2$  flow in marsh eco-system. In: Chen, G. Q. (陈刚起) ed. *Research of marshes in Sanjiang Plain*. Beijing: Science Press. 165 ~ 168. (in Chinese)
- Meng, X. M. (孟宪民). 1999. Wetlands and global environmental change. *Scientia Geographica Sinica (地理科学)*, 19: 385 ~ 391. (in Chinese with English abstract)
- Matthews, E. & I. Fung. 1998. Methane emissions from natural wetlands: global distribution, area and environmental characteristics of resources. *Global Biogeochemical Cycles*, (1): 61 ~ 86.
- Sun, G. Y. (孙广友). 1992. A study on the mineral formation law, classification and reserves of the peat in the Ruergai Plateau. *Journal of Natural Resources (自然资源学报)*, 7: 334 ~ 346. (in Chinese with English abstract)
- Wen, Q. X. (文启孝). 1984. *Research methods of soil organic matters*. Beijing: China Agriculture Press. 250 ~ 292. (in Chinese)
- Yan, M. H. (阎敏华) & X. H. Ma (马学慧). 1997.  $\text{CO}_2$  characteristic of close-ground atmosphere in Sanjiang Plain. *Scientia Geographica Sinica (地理科学)*, 17 (Suppl.): 434 ~ 440. (in Chinese with English abstract)
- Yang, Q. (杨青) & X. G. Lü (吕宪国). 1995. Study on  $\text{CO}_2$ -releasing of wetland soil in the Sanjiang Plain. In: Chen, Y. Y. (陈宜瑜) ed. *Study of wetlands in China*. Changchun: Jilin Science and Technology Press. 141 ~ 146. (in Chinese)

责任编辑: 董 鸣 责任编辑: 张丽赫