

# 毛果苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环特征

何池全<sup>1</sup>, 赵魁义<sup>2</sup>

(上海大学环境科学与工程系, 200072, 上海; 中国科学院长春地理研究所, 130021, 长春)

**摘要:**毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)湿地地上部分积累量小于地下部分的积累量,在地上几个构件中,叶片比叶鞘积累量大,而穗的积累量最小;地下部分中细根比根茎的积累量大。土壤分室营养元素贮量在系统的各分室中占绝对优势,毛果苔草湿地土壤中各种营养元素总贮量的顺序为:K>Fe>N>Ca>P>Mg>Mn>Zn>Cu;它们的吸收系数的排序是:Mn>N>P>Zn>Mg>Cu>Ca>Fe>K;几种营养元素的利用系数的排序是:Mn>N>P>Zn>Mg>Cu>Ca>Fe>K;几种营养元素的循环系数的排序为:Ca>K>Mg>N>P>Mn>Zn>Cu>Fe;因此,该系统中钙、钾的存留比例最小,而流动性较大,而铁则相反,存留比例大,流动性较小。

**关键词:**湿地生态系统;营养元素;毛果苔草;积累与分配;生物循环

## The accumulation, allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland

HE Chi-Quan<sup>1</sup>, ZHAO Kui-Yi<sup>2</sup> (1. Department of Environmental Science & Engineering, Shanghai University 200072, China; 2. Changchun Institute of Geography, the Chinese Academy of Science, Changchun 130021, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2074~2080.

**Abstract:** The accumulation quantity of overground part is less than its underground part in the *Carex lasiocarpa* wetland. In the component of the overground part, the accumulation quantity of leaf component is bigger than its sheath component, and the accumulation of the spike component is the least. In the component of the underground part, the accumulation quantity of redicula component is bigger than its rhizoma componen; The nutrient element storage of soil dispart is predominant among the different disparts. The order of storage quantity of the nutrient elements in the soil of *Carex lasiocarpa* wetland is as following: K>Fe>N>Ca>P>Mg>Mn>Zn>Cu. The order of the absorbance index of the wetland is Mn>N>P>Zn>Mg>Cu>Ca>Fe>K. The order of the utilization factor of this wetland is: Mn>N>P>Zn>Mg>Cu>Ca>Fe>K; The order of the cycle index of *Carex lasiocarpa* wetland is Ca>K>Mg>N>P>Mn>Zn>Cu>Fe. The remaining proportion of Ca, K in the ecosystem is the least, and its fluidity is bigger. The remain proportion of Fe in the ecosystem is bigger than other elements and its fluidity is small.

**Key words:** wetland ecosystem; nutrient element; *Carex lasiocarpa*; accumulation and allocation; biological cycle

文章编号:1000-0933(2001)12-2074-07 中图分类号:X171.1 文献标识码:A

化学过程是研究生物与环境中化学因子之间相互作用过程,主要是指化学物质在生态系统中的运移。

基金项目:中国科学院“九五”重大B研究(KZ951-B1-201),中国科学院百人计划项目(我国重要湿地的生态过程和生态管理)和上海市高等学校青年基金项目(01QN-68)资助

收稿日期:2000-07-21; 修订日期:2001-01-10

作者简介:何池全(1968~),男,江西九江人,博士,副教授。主要从事植物生态、污水的湿地生物修复技术研究。

转化及归趋与效应。其中,化学物质包括营养物质、污染物质和在生物与环境之间、生物与生物之间起交互作用媒介的次生代谢物质<sup>[1]</sup>。对于植物各不同组织营养成分的季节性变化研究多集中于叶子,叶子中养分含量的变化最为敏感,但对其他部分的研究则较少<sup>[2~4]</sup>,其实,分解过程并不是完全始于凋落物到达地面,在凋落前就受到渗滤、裂解和真菌的作用<sup>[5~8]</sup>;对于枯落物中的有机物质和营养物质浓度的认识可以预测枯落物的分解速率<sup>[9~11]</sup>。目前,湿地的研究偏重于资源的开发与利用,而对湿地生态系统的生态过程的定位研究较少,如林鹏对红树林营养元素循环的研究<sup>[12]</sup>、金泰龙则对湿地植物的元素化学特征、余国营等对滇池水-植物系统金属元素的分布特征开展了广泛的研究<sup>[13~14]</sup>,但湿地的相关研究同森林、草原相比,则存在着差距,特别是具有泥炭沼泽特征的植物,必须忍耐较寒冷、潮湿的环境条件,并适应根的介质中有效营养含量很低,通气不良以及高的酸度,有关毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)湿地的营养元素的积累、分配及其生物循环的工作尚未见报道。

## 1 研究方法

毛果苔草湿地的化学过程观测设在中国科学院三江平原沼泽湿地生态实验站内,本试验场内沼泽类型、植被类型和土壤类型,在三江平原均具有代表性,本区微地貌复杂,有各种洼地、低平地和平地组成,洼地常年积水,植物以毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)、漂筏苔草(*Carex pseudocuraica*)、狭叶甜茅(*Glyceria spiculosa*)等为主,低平地或平地以小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)等植被为主,构成本区特有的以苔草湿地植被占优势的景观。在1998~1999两年间,在实验区内选取典型的毛果苔草湿地植物分布均匀的样地,样地面积为 $200 \times 450 \text{m}^2$ ,在样地内分3个小区(生物量测定区、凋落物测定区、凋落物分解实验区),每小小区分别设置不同的样区,用以采样和观测试验,每年5~10月取样,每30d左右一次,样方面积 $1 \times 1 \text{m}^2$ ,2~3次重复。

### 1.1 植物样品的采集

在样地生物量测定小区内设置多个面积 $1 \times 1 \text{m}^2$ 的样方,每30d左右采集1次,每次2~3次重复,分别采集不同种植物和毛果苔草不同构件部分(叶片、叶鞘、根状茎、花序茎、穗、细根及立枯物)样品,于80℃烘箱中烘干,尔后装袋保存。

### 1.2 土壤样品的采集

土壤样品的采集与植物地上生物量取样同步进行,据土壤自身的分层结构特点,分别采集不同层次的土壤,一般选取3个点,尔后混合。样品置于实验室内阴干、风干后装袋保存。

### 1.3 水样样品的采集

大气降水用雨量收集器收集,在生长季中,每月按大、中、小雨分别收集水样,尔后加入少许稀盐酸固定,混合作为该月的降水分析样品。样品采集后及时带回实验室,置于冰箱内冷藏。

### 1.4 样品的测定

1.4.1 样品的测定项目 采集的植物、土壤及水样样品分别进行下列9种元素的测定,即大量营养元素N、P、K、Ca、Mg及微量元素Fe、Mn、Zn、Cu。

1.4.2 样品的测定方法 全氮的测定采用凯氏定氮法<sup>[22]</sup>;全磷的测定为钼蓝比色法,上海产7230分光光度计比色;矿质元素测定均采用原子吸收法测定,澳大利亚产GBC906型原子吸收分光光度计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物中营养元素的积累与分配

植物群落是生态系统中最活跃、最重要的亚系统,该亚系统所进行的初级生产既是能量固定过程,亦是营养元素的积累过程。植物群落中营养元素的积累与分配主要决定于植物生物量的积累(现存量)及其各组分中营养元素的含量。为了方便起见,将地上枯落物及死根中的营养元素的积累、分配及其动态过程一并讨论。由于同种生物在不同时期各构件的生物量现存量不同,可根据各构件营养元素的浓度以及相应时期的生物量现存量来求得各构件营养元素总量,如表1所示。

由于各构件现存量占总量的比率不同,某些构件含有某一元素的浓度虽然较高,但由于该构件现存量较小,则其所含某一元素的总量可能会少于其它构件。由表1可见,毛果苔草的不同构件营养元素的总量

存在着明显差异,其基本规律性如下:

- N:细根>根茎>穗>叶片>叶鞘>花序茎>立枯
- P:细根>根茎>穗>叶片>叶鞘>花序茎>立枯
- K:穗>细根>根茎>叶片>叶鞘>花序茎>立枯
- Ca:细根>根茎>叶片>穗>立枯>叶鞘>花序茎
- Mg:细根>根茎>叶片>穗>立枯>叶鞘>花序茎
- Cu:根茎>细根>穗>叶片>叶鞘>花序茎>立枯
- Zn:穗>花序茎>细根>叶片>根茎>立枯>叶鞘
- Fe:细根>根茎>穗>立枯>叶片>花序茎>叶鞘
- Mn:立枯>穗>叶鞘>叶片>根茎>细根>花序茎

表1 毛果苔草不同构件营养元素总量的比较

Table 1 The comparison of nutrient element gross in different component in *Carex lasiocarpa* (1998-06-25)

| 采样地点<br>Plot      | 生物量<br>Biomass<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 营养元素总量 The total content of nutrient elements(g/m <sup>3</sup> ) |         |         |         |         |          |          |         |         |
|-------------------|---------------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
|                   |                                       | N  | P       | K       | Ca      | Mg      | Cu       | Zn       | Fe      | Mn      |
| 立枯 Dead standing  | 26.98                                 | 0.18616  | 0.01694 | 0.17229 | 0.00735 | 0.00155 | 0.000055 | 0.00202  | 0.01496 | 0.02244 |
| 活叶 Leaf           | 113.94                                | 1.76607  | 0.12485 | 1.67499 | 0.02559 | 0.00300 | 0.000272 | 0.00919  | 0.01181 | 0.06561 |
| 叶鞘 Sheath         | 55.03                                 | 0.50628  | 0.09990 | 1.11507 | 0.00508 | 0.00077 | 0.000126 | 0.00328  | 0.00253 | 0.03126 |
| 花序茎 Inflorescence | 33.88                                 | 0.51498  | 0.06981 | 0.68889 | 0.00530 | 0.00064 | 0.000135 | 0.00284  | 0.00180 | 0.01072 |
| 根茎 Rhizoma        | 976.5                                 | 7.32375  | 1.02792 | 4.69485 | 0.34041 | 0.06691 | 0.003400 | 0.07548  | 0.00214 | 0.5612  |
| 细根 Radicula       | 2084.2                                | 20.42516   | 1.71523 | 5.92434 | 0.57015 | 0.14421 | 0.002060 | 0.16882  | 0.00228 | 0.6528  |
| 穗 Spike           | 3.8                                   | 3.52327  | 0.69524 | 7.96876 | 0.03532 | 0.00535 | 0.000877 | 4.52E-04 | 0.00026 | 0.0180  |

从以上可以看出,植物各构件营养元素总量的差异是与各构件的现存量和浓度所决定的。N、P、K、Ca、Mg、Cu 和 Fe 营养元素总量的分布大致的规律从大到小依次是细根、根茎、穗、叶片、叶鞘、花序茎,Zn 和 Mn 的规律性不明显。细根和根茎的营养元素含量高是与现存量较大有关,而穗的营养元素含量高是因为在生殖季节营养元素优先运往生殖构件而使之浓度较大有关。

2.2 土壤中营养元素的积累与分配

毛果苔草湿地土壤中营养元素所积累与分配规律如表2所示。由于土壤各层次的深度不一致,为了便于比较,分别取每层10cm厚度体积的浓度和容重及体积之积得出积累量(g/m<sup>3</sup>)。

表2 毛果苔草湿地土壤中营养元素积累与分配(1998-07-15,kg/m<sup>3</sup>)

Table 2 The accumulation and allocation of the nutrient element of the soil in *Carex lasiocarpa* wetland

| 层次<br>Layer | N       |       | P     |       | K      |        | Ca     |       | Mg    |       | Cu(g/m <sup>3</sup> ) |       | Zn(g/m <sup>3</sup> ) |       | Fe(g/m <sup>3</sup> ) |       | Mn(g/m <sup>3</sup> ) |       |
|-------------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
|             | 积累量 A   | 分配比 D | 积累量 A | 分配比 D | 积累量 A  | 分配比 D  | 积累量 A  | 分配比 D | 积累量 A | 分配比 D | 积累量 A                 | 分配比 D | 积累量 A                 | 分配比 D | 积累量 A                 | 分配比 D | 积累量 A                 | 分配比 D |
| SA          | 149.735 | 0.24  | 7.88  | 0.10  | 55.5   | 0.0154 | 44.59  | 0.10  | 2.31  | 0.03  | 30                    | 0.01  | 180                   | 0.02  | 19700                 | 0.01  | 1115                  | 0.08  |
| SB          | 111.120 | 0.18  | 8.11  | 0.10  | 148.7  | 0.0412 | 34.55  | 0.07  | 3.51  | 0.05  | 130                   | 0.06  | 310                   | 0.04  | 93080                 | 0.03  | 673                   | 0.05  |
| SC          | 212.050 | 0.34  | 24.48 | 0.30  | 893.0  | 0.2224 | 123.62 | 0.26  | 17.56 | 0.26  | 690                   | 0.27  | 2059                  | 0.24  | 61951                 | 0.19  | 3348                  | 0.23  |
| SD          | 94.930  | 0.15  | 17.43 | 0.21  | 958.8  | 0.2600 | 121.81 | 0.26  | 17.43 | 0.26  | 560                   | 0.25  | 2290                  | 0.27  | 79285                 | 0.24  | 3625                  | 0.25  |
| SE          | 52.530  | 0.09  | 24.56 | 0.30  | 1665.0 | 0.4611 | 144.92 | 0.31  | 27.38 | 0.40  | 920                   | 0.41  | 3819                  | 0.44  | 17929                 | 0.54  | 5778                  | 0.49  |
| 合计          | 620.360 | 1.00  | 82.45 | 1.00  | 3611.0 | 1.0000 | 468.48 | 1.00  | 40.61 | 1.00  | 2240                  | 1.00  | 8640                  | 1.00  | 33181                 | 1.00  | 14540                 | 1.00  |

A accumulate, D distribute ratio

从表2中可以看出,毛果苔草湿地土壤中氮的贮量主要集中在上层(A层、B层和C层),其贮量达4729.10 kg/m<sup>3</sup>,占土壤层总量的76%左右,优势非常明显;磷、钾的分布情况与氮不同,主要分布在下层(C层、D层和E层),其贮量分别达664.70 kg/m<sup>3</sup>和34067.10 kg/m<sup>3</sup>,占土壤层总量的81%和99%左右,

说明磷、钾元素在土壤中的淋洗作用较强,含量的分布随着土壤深度的增加而增加,这种格局是在一定程度上受到淋洗迁移的影响;钙、镁、铜、锌、铁、锰亦存在这种趋势,表现出明显的沉积现象。当然,这可能与土壤容重的差异有关,这种差异加大了这种趋势的强度。

表 3 毛果苔草湿地土壤容重、钙含量与积累量在各层间差异比较

Table 3 The variation comparison of soil volume weight, Calcium concentration and its accumulation in the different layer in *Carex lasiocarpa* wetland(1998-07-15)

| 土壤层次<br>Layer(cm) | 容重(g/cm <sup>3</sup> )<br>Volume weight | 指数<br>Index | 含量(mg/kg)<br>Content | 指数<br>Index | 积累量(g/m <sup>2</sup> )<br>Accumulation | 指数<br>Index |
|-------------------|---|-------------|----------------------|-------------|--|-------------|
| SA                | 0.0637                                  | 1           | 6998                 | 1.0000      | 445.9                                  | 1           |
| SB                | 0.0842                                  | 1.32114     | 3985                 | 0.5695      | 335.5                                  | 0.75241     |
| SC                | 0.3720                                  | 5.83854     | 3323                 | 0.4749      | 1236.2                                 | 2.77237     |
| SD                | 0.4315                                  | 6.77223     | 2823                 | 0.4034      | 1218.1                                 | 2.73178     |
| SE                | 0.6566                                  | 10.30519    | 2207                 | 0.3154      | 1419.2                                 | 3.25006     |

以钙为例,结果见表 3,表中各指数的计算均以第 1 层(SA)为参照(设为 1),相应层次各数均是同它相比所得的比值。从表 3 可以看出,随着土壤深度的增加,各层次从上至下土壤容重逐渐增大,第 5 层的容重指数达到 0.6566,而钙元素的含量指数为 0.2207,但钙元素的积累量指数为 3.25,毛果苔草湿地土壤各层次间积累量的差异主要是与土壤容重的差异有关,从而隐盖了土壤元素含量的差异。

毛果苔草湿地土壤中各种营养元素总贮量的顺序为:K>Fe>N>Ca>P>Mg>Mn>Zn>Cu,贮量最大的钾元素积累量是贮量最小的铜元素积累量的 1530 倍。

### 2.3 毛果苔草湿地生态系统中营养元素的总积累及其在各分室中的分配

毛果苔草湿地生态系统中营养元素的总积累及其在各分室中的分配状况见表 4。为了研究方便,将毛果苔草湿地生态系统分为以下几个分室,即地上部分(叶片、叶鞘、花序茎、穗)、地下部分(根茎、细根)、死亡部分(立枯、凋落物、死根)及土壤。由于生物亚系统诸分室的营养元素均有明显的季节性变化,为了简便地反映营养元素的贮量在毛果苔草湿地各分室中的分配情况,分别将生长初期(5 月上旬)、生长中季(6 月下旬即繁殖季节)及生长末期(9 月下旬)的系统各分室的营养元素贮量即积累量列于表中。此 3 次结果可代表春季、夏季、秋季 3 个季节营养元素的积累与分配状况。从表 4 中可以看出:地上部分积累量小于地下部分的积累量,在地上几个构件中,叶片比叶鞘积累量大,而穗的积累量最小;地下部分中细根比根茎的积累量大。土壤分室营养元素贮量在系统的各分室中是居绝对优势,且土壤分室是生态系统营养元素的主要贮藏库,在生态系统物质循环中起着十分重要的作用。尤其是在维持生态系统的平衡与稳定方面更具有特殊重要的意义。养分平衡是表示生态系统养分收支状况的特征量,为系统养分输入与输出的差值。输入主要源于大气,包括降雨、降雪、漂尘等,有时亦可由于生物固氮、地表径流等产生;输出的途径主要是有径流(地表径流及表层流)和淋溶等。

毛果苔草湿地生态系统的养分平衡主要受降水输入的影响,径流及淋溶等水文过程的影响较小,这是因为毛果苔草湿地具有发育良好的草根层及质地粘重的泥炭层和潜育层所致。草根层呈蓬松海绵状结构,孔隙大,透水性强,而居于其下的各层结构密实,渗透系数很小,可作为相对不透水层,这种剖面结构才能出现表面径流;而这种结构不易产生地表径流,这是由于较厚的草根层饱和含水量大,透水性强,补给水量必须同时满足草根层饱和含水量和最大表层流量,据测定,在三江平原湿地生态实验站,具有 17cm 草根层的毛果苔草湿地,降雨量必须达到 88mm 才能使草根层饱和,而三江平原象连续降雨量达 88mm 的情况是比较少见的<sup>[25]</sup>。

毛果苔草湿地远离工业区,植被覆盖率高,大气中的漂尘较少,由此而来的系统养分输入量亦很少,同时,通过挥发及生物固氮等途径而形成的养分输出、输入的量均较少且测量的难度较大,笔者均未予以考虑。

总而言之,毛果苔草湿地生态系统降水输入的营养元素的量即可近似地看作系统相应元素的养分平衡值。

表 4 毛果苔草湿地生态系统各分室中营养元素的积累量(g/m<sup>2</sup>)Table 4 The accumulation of the nutrient element in each dispart chamber in *Carex lasiocarpa* wetland ecosystem

| 系统分室<br>System<br>dispart | 采样部位<br>Plot            | 生物量<br>Biomass<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 营养元素的积累量 (g/m <sup>2</sup> ) The accumulation of the nutrient elements |         |          |          |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                           |                         |                                       | N  | P       | K        | Ca       | Mg      | Cu      | Zn      | Fe      | Mn      |         |
| 地上部分<br>Above<br>ground   | 活叶 Leaf(5)              | 43.8105                               | 119.603  | 7.8815  | 85.4743  | 1.1084   | 0.1462  | 0.0175  | 0.5783  | 0.6659  | 3.8553  |         |
|                           | 活叶 Leaf(6)              | 113.939                               | 176.607  | 12.485  | 167.499  | 2.559    | 0.3     | 0.0272  | 0.00919 | 1.181   | 0.06364 |         |
|                           | 活叶 Leaf(9)              | 59.7432                               | 50.722   | 4.6301  | 20.0857  | 1.6071   | 0.4003  | 0.0120  | 0.1016  | 0.1314  | 1.4040  |         |
|                           | 叶鞘 Sheath(5)            | 16.815                                | 31.275   | 3.6101  | 41.7794  | 0.5364   | 0.0353  | 0.0050  | 0.2993  | 0.1211  | 1.6260  |         |
|                           | 叶鞘 Sheath(6)            | 55.025                                | 50.628   | 9.99    | 114.507  | 0.508    | 0.077   | 0.0126  | 0.00328 | 0.253   | 0.03126 |         |
|                           | 叶鞘 Sheath(9)            | 37.532                                | 37.119   | 1.6289  | 6.9997   | 1.7565   | 0.3303  | 0.0113  | 0.0788  | 0.0961  | 1.7039  |         |
|                           | 花序茎<br>Inflorescence(5) | 3.92                                  | 11.016   | 0.8429  | 9.4387   | 0.0796   | 0.0094  | 0.0020  | 0.0400  | 0.0274  | 0.1890  |         |
|                           | 花序茎<br>Inflorescence(6) | 33.88                                 | 51.498   | 6.981   | 68.889   | 0.53     | 0.064   | 0.0135  | 0.00284 | 0.18    | 0.01072 |         |
|                           | 花序茎<br>Inflorescence(9) | 13.21                                 | 9.115  | 0.5984  | 3.3409   | 0.3289   | 0.1176  | 0.0026  | 0.0198  | 0.0211  | 0.3512  |         |
|                           | 穗 Spike(5)              | 0                                     | —  | —       | —        | —        | —       | —       | —       | —       | —       |         |
|                           | 穗 spike(6)              | 3.8                                   | 352.327  | 69.524  | 30.2814  | 3.532    | 0.535   | 0.0877  | 0.00045 | 0.026   | 0.018   |         |
|                           | 穗 Spike(9)              | 0                                     | —  | —       | —        | —        | —       | —       | —       | —       | —       |         |
|                           | 地下部分<br>Under<br>ground | 根茎 rhizoma(5)                         | 785.23   | 1209.25 | 83.470   | 248.682  | 8.5590  | 10.5221 | 0.4711  | 6.7530  | 283.625 | 82.3706 |
|                           |                         | 根茎 rhizoma(6)                         | 976.5  | 732.375 | 102.792  | 469.485  | 34.041  | 6.691   | 0.34    | 0.07548 | 0.214   | 0.5612  |
|                           |                         | 根茎 rhizoma(9)                         | 784.21   | 284.668 | 66.7363  | 97.0852  | 28.3100 | 11.4495 | 0.5490  | 3.6858  | 82.3121 | 17.1742 |
| 细根 radicula(5)            |                         | 1928.56                               | 3355.69  | 150.43  | 316.09   | 180.13   | 21.5999 | 1.3500  | 8.6785  | 938.244 | 92.9566 |         |
| 细根 radicula(6)            |                         | 2084.2                                | 2042.52  | 171.523 | 592.434  | 57.015   | 14.421  | 0.206   | 0.16882 | 0.228   | 0.6528  |         |
| 细根 radicula(9)            |                         | 2064.72                               | 1162.44  | 163.113 | 236.6169 | 117.0696 | 29.5255 | 1.4453  | 10.9430 | 410.053 | 66.6905 |         |
| 死亡部分<br>Dead<br>part      | 立枯 dead standing(5)     | 7.964                                 | 0.000  | 0.0000  | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |         |
|                           | 立枯 dead standing(6)     | 26.98                                 | 18.616   | 1.694   | 17.229   | 0.735    | 0.155   | 0.0055  | 0.00202 | 1.496   | 0.02244 |         |
|                           | 立枯 dead standing(9)     | 83.18                                 | 29.0287  | 4.4916  | 12.0440  | 5.3649   | 1.2227  | 0.0250  | 0.4991  | 0.9399  | 3.6598  |         |
|                           | 死根 dead root(5)         | 205.28                                | 289.44   | 12.933  | 342.612  | 4.5162   | 2.2581  | 0.0821  | 0.6774  | 61.9946 | 5.9737  |         |
|                           | 死根 dead root(6)         | 248.96                                | 453.11   | 37.84   | 68.46    | 34.61    | 12.95   | 0.05    | 0.47302 | 8.1410  | 0.05051 |         |
| 死根 dead root(9)           | 508.96                  | 1140.07                               | 62.6021  | 40.2078 | 566.472  | 18.3226  | 0.4581  | 1.2724  | 170.501 | 6.3111  |         |         |

#### 2.4 营养元素生物循环特征

生物循环是生态系统内部(主要是植物群落和土壤之间)的元素循环。目前主要有两种计算生物循环的方法。一种是 Albert (1930) 在研究西欧森林生态系统时提出的生物循环概念,其平衡方程为:

$$\text{吸收} = \text{存留} + \text{归还}$$

存留是指多年生植物构件在一年当中元素增加的数量;吸收元素的一部分则以枯落物的残落与分解、雨水自植物群落的淋失以及根的解吸、外渗、分泌等方式归还给土壤。

通过上述方法计算毛果苔草湿地生态系统营养元素生物循环的各项指标:吸收,是指毛果苔草净初级生产力之值乘以净初级生产力诸分量的营养元素含量(浓度)所得之积;存留是指地下净初级生产力诸分量营养元素携带量之和;归还是指地上净初级生产力诸分量携带营养元素之和。当然,按此法计算所得的归还量是未能考虑根枯死分解、根分泌和外渗等途径归还给土壤的养分量,因而比实际归还量偏低。

从表 5 中可以看出,氮的年吸收量最大,其次是铁,它们年吸收量的顺序是:

$$N > Fe > K > P > Mn > Ca > Mg > Zn > Cu$$

年存留量的顺序为:

$$N > Fe > K > P > Mn > Ca > Mg > Zn > Cu$$

年归还量的排序是:

$$N > K > P > Ca > Mn > Mg > Fe > Zn > Cu$$

表 5 毛果苔草湿地生态系统营养元素生物循环的基本特征

Table 5 The basic characteristic of the nutrient biocycle in *Carex lasiocarpa* wetland ecosystem

|                                       | N       | P      | K      | Ca     | Mg    | Cu    | Zn    | Fe     | Mn     |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 吸收(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Absorb     | 2575.78 | 290.09 | 678.59 | 138.82 | 44.28 | 0.90  | 19.79 | 685.29 | 118.79 |
| 存留(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Accumulate | 2274.07 | 258.19 | 524.28 | 107.74 | 38.90 | 0.88  | 18.62 | 683.59 | 137.02 |
| 归还(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Restore    | 297.01  | 31.25  | 148.87 | 31.02  | 5.38  | 0.02  | 1.11  | 1.63   | 11.33  |
| 吸收系数 Absorb<br>coefficient            | 0.415   | 0.352  | 0.020  | 0.030  | 0.109 | 0.040 | 0.229 | 0.021  | 0.796  |
| 利用系数 Utilization<br>coefficient       | 0.926   | 0.924  | 0.467  | 0.538  | 0.724 | 0.611 | 0.909 | 0.534  | 0.979  |
| 循环系数 Cycle<br>coefficient             | 0.115   | 0.108  | 0.219  | 0.223  | 0.121 | 0.025 | 0.058 | 0.002  | 0.076  |

生态系统的养分循环的特点可以通过吸收系数、利用系数及循环系数来表征<sup>[21-24]</sup>。吸收系数是指单位时间、单位面积植物所吸收的某种元素的量与土壤中相应元素总量之比;利用系数为单位时间、单位面积植物所吸收的某种元素的量与存在于植物现存量中相应元素总量之比;而循环系数则是单位时间、单位面积植物归还量与相应吸收的量的比。其可表示为:

$$\text{吸收系数} = \text{某元素吸收量} / \text{表土层某元素总量}$$

$$\text{利用系数} = \text{某元素吸收量} / \text{现存量中某元素总量}$$

$$\text{循环系数} = \text{某元素归还量} / \text{某元素的吸收量}$$

按上述公式分别计算出毛果苔草湿地生态系统几种营养元素的 3 个数(参见表 5)。从表 5 中可以看出,毛果苔草对锰的吸收系数最大,为 0.796,其次是氮,为 0.415,远远大于小叶章草地氮的吸收系数为 0.023;吸收系数最小的是钾,为 0.02,这是由于下层土壤对钾的大量沉积有关,其吸收系数的排序是:

$$\text{Mn} > \text{N} > \text{P} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Cu} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{K}$$

几种营养元素的利用系数,以锰为最大,其次是氮和磷,说明这 3 种元素在植被中有比较高的周转速率,由于毛果苔草有比较发达的根状茎及细根,且它们中各种元素的含量均较高,故毛果苔草的利用系数均比三江平原的小叶章高,其排序是:

$$\text{Mn} > \text{N} > \text{P} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Cu} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{K}$$

几种营养元素的循环系数,钙最大,其次是钾,以铁为最小。它们的排序为:

$$\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{N} > \text{P} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Fe}$$

循环系数反映了元素在循环过程中的存留量大小,循环系数越大,系统中存留量的比例就越小,反之亦然。因此,系统中钙、钾的存留比例最小,而流动性较大,而铁则相反,存留比例大,流动性较小,特别是根系中铁的含量很高。

由于毛果苔草湿地养分的生物地球化学循环过程较复杂,有关这方面的问题有待于进一步研究。

### 3 结论与讨论

(1) 湿地土壤剖面中营养元素分布特点为:氮、磷、钙、锰是随着土壤剖面加深而含量减少,极大值出现在第 1 层(SA);钾、锌、铁、铜的分布恰恰相反,是随着土壤剖面加深而含量增加,极大值出现在第 5 层(SE);铜、镁的极大值出现在第 3 层(SC),而第 1 层(SA)、第 5 层(SE)的含量较低。

(2) 湿地土壤中氮的贮量主要集中在上层(SA 层、SB 层和 SC 层),其贮量达 4729.10 kg/m<sup>2</sup>,占土壤层总量的 76%左右,优势非常明显;磷、钾的分布情况与氮不同,主要分布在下层(SC 层、SD 层和 SE 层),其贮量分别达 664.70 kg/m<sup>3</sup> 和 34067.10 kg/m<sup>3</sup>,占土壤层总量的 81%和 99%左右,毛果苔草湿地土壤中各种营养元素总贮量的顺序为:

$$\text{K} > \text{Fe} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$$

(3) 由于植物的选择性吸收,不同的营养元素在植物体中的含量存在不同程度的相关关系;地上部分

积累量小于地下部分的积累量,在地上几个构件中,叶片比叶鞘积累量大,而穗的积累量最小;地下部分中细根比根茎的积累量大。土壤分室营养元素贮量在系统的各分室中是居绝对优势,且土壤分室是生态系统营养元素的主要贮藏库,在生态系统物质循环中起着十分重要的作用。

(4)毛果苔草对锰的吸收系数最大,其次是氮,吸收系数最小的是钾。由于毛果苔草有比较发达的根状茎及细根,且它们中各种元素的含量均较高,故毛果苔草的利用系数均比三江平原的小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)高;循环系数反映了元素在循环过程中的存留量大小,循环系数越大,系统中存留量的比例就越小,反之亦然。因此,该系统中钙、钾的存留比例最小,而流动性较大,而铁则相反,存留比例大,流动性较小。

#### 参考文献

- [1] 何池全,赵魁义,余国营,等. 湿地生态过程研究进展. 地球科学进展, 2000, **15**(2): 165~171.
- [2] Alban, D H. Seasonal changes in nutrient dynamics of *Solidago eltiissima* (composite). *Bulletin Torrey Botanical Club*, 1985, **111**: 414~420.
- [3] Chapin F S. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 1980, **11**: 233~260.
- [4] Tukey H B J. The leaching of substances from plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1970, **21**: 305~324.
- [5] Jensen V. Decomposition of angiosperm tree leaf litter. In: Dickinson CH, Pugh G. J. F. eds. *Biology of plant litter decomposition*. New York: Academic Press, 1974.
- [6] Morris J T and Bowden W B. A mechanistic, numerical model of sedimentation, mineralization, and decomposition for marsh sediments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, **50**: 96~105.
- [7] Anderson J P E and Domsch K H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.*, 1980, **130**: 211~216.
- [8] Staaf H. Plant nutrient changes in beech leaves during senescence as influenced by site characteristics. *Oecol. Plant*, 1982, **17**: 161~170.
- [9] David J C. Water and soil chemistry, floristics, and phytosociology of the extreme rich high creek fen, in South Park, Colorado, USA. *Can J Bot*, 1996, **74**: 1801~1811.
- [10] Enriques S, Duarte C M and Sand-Jensen K. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. *Oecologia*, 1993, **94**: 457~471.
- [11] Edmoords R L. Litter decomposition and nutrient release in Douglas fir, red alder, western hemlock and Pacific silver fir ecosystem Washington. *Can. J. For. Res*, 1980, **10**: 327~337.
- [12] 林 鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 1997, 232~250.
- [13] 何池全,赵魁义. 植物的生化他感效应及其在湿地研究中的应用. 生态学杂志, 1999, **18**(4): 46~51
- [14] 何池全,赵魁义,余国营. 湿地克隆植物的繁殖对策及其适应性. 生态学杂志, 1999, **18**(6): 38~46
- [15] 金泰龙. 三江平原沼泽生态系统的化学特征. 中国沼泽研究. 北京: 科学出版社, 1987, 145~152.
- [16] Scott K, Gleeson, David tilman. Allocation and the transient dynamics of succession on poor soil. *Ecology*, 1990, **71**(3): 1144~1155.
- [17] 何池全,叶居新. 石膏蒲克藻效应的研究. 生态学报, 1999, **19**(5): 754~758.
- [18] 黄建辉. 溪流两边的湿地对其含氮量的贡献(In English). 植物生态学报, 1996, **20**(4): 289~302.
- [19] 余国营,张晓华. 滇池水-植物系统金属元素的分布特征和相关性研究. 水生生物学报, 2000, **24**(2): 172~177.
- [20] 田均良. 西藏高原土壤-植物系统元素分布特征研究. 环境科学学报, 1996, **16**(1): 37~44.
- [21] 陈灵芝, Lindley D K. 英国 Hampsfe 的蕨类草地生态系统的营养元素循环. 1983, 植物学报, **25**(1): 67~74
- [22] 李西开,等. 土壤农业化学常规分析方法, 中国土壤学会农业化学专业委员会, 北京: 科学出版社, 1989.
- [23] 陈刚起. 三江平原沼泽径流的实验研究. 见: 黄锡畴主编. 中国沼泽研究. 北京: 科学出版社, 1989, 120~125.
- [24] 林 鹏,卢昌义. 海南岛的红树群落. 厦门大学学报(自然科学版), 1985, **24**(1): 117~123.