

## 九龙江口红树林研究II. 秋茄群落的钾、钠累积和循环\*

林 鹏 苏 麟 林庆扬\*\*

(厦门大学生物系)

### 摘 要

本文是福建九龙江口红树林生态系统研究的一个部分,主要讨论20年生秋茄群落的钾、钠的含量及其生物循环。试验结果表明:秋茄群落现存量中,含有钾、钠总量分别为531.97和2100.36公斤/公顷;其中地上部分分别为296.49和742.91公斤/公顷;地下部分分别为235.48和1357.45公斤/公顷。该群落钾、钠生物循环中年吸收量分别为109.15和353.50公斤/公顷·年,归还量分别为59.37和160.18公斤/公顷·年。存留量为49.78和193.32公斤/公顷·年。它的钠含量比钾含量大,周转期钾需9年比钠需13年为快。

红树林是热带亚热带海岸潮间带的木本植物群落(林鹏,1981)。它是海湾河口地区生态系统最重要的第一性生产者,对维护海湾河口地区的生态平衡起着十分重要的作用。

红树林适应生长在滨海盐滩上,因此,它是热带、亚热带海岸最特殊的木本植物群落。对生活在富含氯化钠的海滩上的红树植物,研究其对钠的吸收与分布,具有重要的意义。钾是植物生活必需的大量元素,在红树植物生活中也是不可缺少元素之一。

国内外对红树植物的分析仅见到对叶中的钾、钠含量(陈明义,1982)为多。因此,本文拟从红树群落中钾、钠的生物循环来探索,为红树林生态系统物质循环提供理论和生产实践上的依据。

### 一、自然条件和群落特征

本文选择在福建省龙海县浮宫镇草埔头村堤外的20年生秋茄群落为工作样地。位于北纬 $24^{\circ}24'$ ,东经 $117^{\circ}55'$ 。属南亚热带海岸气候,年平均气温 $21^{\circ}\text{C}$ ,最低月均温 $12.2^{\circ}\text{C}$ ,年平均雨量1365.1毫米,年平均相对湿度81%,年较差为 $16.7^{\circ}\text{C}^{1)}$ 。林地沼泽土壤是沉积的淤泥,表土灰褐蓝色,含盐量为13.55%,富含水分(干重60—90%)并带有 $\text{H}_2\text{S}$ 臭味,没有结构。土壤性质见表1。

该处红树林沿九龙江南岸呈带状分布,滩面林宽40—50米。林中样地离岸27米左右,为人工种植的20龄秋茄(*Kandelia cardel*)纯林,林缘有少量桐花树(*Aegiceras corniculatum*)和白骨壤(*Avicennia marina*)伴生。林相整齐,郁闭度0.9,林高约5米,叶面积指数

\* 本文分析过程中得到杨孙楷副教授和陈荣华、林光辉同志的帮助,谨表谢忱。本工作得到科学院基金委员会的部分资助。

\*\* 厦门大学环境科学研究所工作。

1) 气象资料引自龙海县气象站(1961—1980)20年平均值

1.7, 密度208株/100米<sup>2</sup>。

## 二、材料和方法

在秋茄群落的中滩选择两个样方, 共砍伐13株, 并分层挖出根系, 求算生物量。标准木材积采用每隔2米收集一个圆盘的方法, 求出秋茄树干的材积和形数 ( $f$ )。另测定林内100米<sup>2</sup>的树木的胸高直径和树高。根据标准木测定, 求得其连年生长量和平均生长量。依  $V = f \cdot g_{1.3} \cdot H$  公式求得1982年主干的净第一性生产量; 并求得各树材积, 再依次求出各组的比值 (式中  $V$  为材积,  $f$  为形数,  $g_{1.3}$  为胸高断面面积;  $g_{1.3} = \frac{\pi d^2}{4}$ , 其中  $\pi$  为圆形率,  $d$  为胸高直径) (林鹏、卢昌义等, 1985)。

分析用样品, 分别两个样方标准木中对各组分进行采样, 随机采取秋茄的叶、幼枝、多年生枝 (2年生以上)、枯枝果 (胚轴)、树干皮、树干材和根等样品。每份混合采样各500克, 同时在样方附近同样随机取白骨壤、桐花树的各组分的样品, 作为对照。鲜样在80℃烘干24小时, 用植物样品粉碎机磨成粉末, 干燥后贮于试剂瓶内备用。每层土样分别采样, 自然风干后捣碎, 过筛, 收集瓶内备用。并于表土采得残留物样品。

植物各组分的钾、钠含量分析。植物样品用干灰化法。土壤样品采用铂坩埚高氯酸-氢氟酸处理。各种样品均采用原子吸收分光光度法测定 (南京土壤所, 1978)。本试验使用仪器为310型原子吸收分光光度计。土壤含盐量采用硝酸银滴定法; pH值采用电位法, 本试验应用821型pH/离子计测定。

## 三、结果和讨论

### 1. 秋茄及其伴生红树各组分的钾、钠含量

红树林生长在高盐度、钾、钠含量较高的环境中, 它们对氯化钠的忍耐程度, 及其各组分中钾、钠的分布, 在国内外尚为鲜见。本实验对4种红树的根、茎、叶、花、果各组分的钾、钠含量进行测定。结果见表2。

从表2看出, 同种红树植物, 各组分的钾、钠含量各不相同, 而不同种之间差别也较大, 但有一个总的趋势。

一般看来, 茎木质部和多年生枝较低, 因为它们多为坚硬的木质化部分, 大多是植物体非生活部分, 钾、钠不易富集, 只是起输导作用及少量停留, 所以显出含量较低。

表 1 秋茄林土壤的理化性质 (1983)

Table 1 Some physical and chemical features of soil in *Kandelia candel* forest

| 土壤深度<br>cm | pH <sup>1)</sup> | 盐度<br>‰ | 容重<br>g·cm <sup>-3</sup> | 土重<br>t·ha <sup>-1</sup> | 全钾量<br>kg·ha <sup>-1</sup> | 全钠量<br>kg·ha <sup>-1</sup> |
|------------|------------------|---------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0—30       | 6.99             | 13.55   | 0.77                     | 2310                     | 47,817                     | 27,951                     |
| 30—60      | 6.91             | 19.55   | 0.95                     | 2850                     | 57,570                     | 32,775                     |
| 总 计        |                  |         |                          | 5160                     | 105,587                    | 60,725                     |

1) 测定时, 水土比为5:1, 室温25℃。

表 2 九龙江口四种红树植物各组分含钾、钠量 (干重%)<sup>1)</sup>

Table 2 The concentrations of K, Na in the different samples from four mangrove species in estuary of Jiulongjian River (dry wt.%)

| 植物种类 | 果  | 花    | 叶    | 幼枝   | 多年生枝 | 树干材  | 树皮   | 根    |
|------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 秋 茄  | K  | 1.21 | 1.10 | 0.89 | 0.71 | 0.37 | 0.22 | 0.34 |
|      | Na | 1.59 | 1.64 | 1.80 | 1.40 | 1.06 | 0.54 | 1.23 |
| 桐花树  | K  |      | 1.08 | 0.87 | 1.32 | 0.69 | 0.28 | 0.65 |
|      | Na |      | 0.94 | 0.99 | 1.20 | 0.81 | 0.39 | 0.64 |
| 白骨壤  | K  |      | 1.15 | 1.96 | 1.14 | 0.54 | 2.23 | 1.03 |
|      | Na |      | 2.46 | 1.73 | 0.85 | 0.57 | 1.54 | 1.50 |
| 老鼠簕  | K  |      | 1.96 |      |      |      | 1.75 | 1.66 |
|      | Na |      | 2.11 |      |      |      | 0.99 | 1.34 |

1) 采样时间: 1983年3月。

钾是植物体的十分重要的常量元素,繁殖体的形成,植物生长和新器官形成皆需要钾的存在(曹宗翼、吴相钰,1979)。因而,在秋茄红树中,花、果(胚轴)、幼枝、叶子等组分都有较高的钾含量。但是,钠在花、果中不是必需的常量元素,虽有一定富集,但相对来说,比叶子、幼枝、根等为少。

秋茄各组分的钾、钠含量变化呈如下顺序:

K: 果>花>叶>幼枝>树干皮>多年生枝>根>树干材(经检验:除相邻组分外,其余之间基本上达到差异显著 $P<0.05$ 或差异极显著 $P<0.01$ )(见表3)。

表 3 秋茄各组分钾含量间差异显著性检验表

Table 3 Significance tests of K content between different samples in *Candelia candel*

|      | 果      | 花      | 叶      | 幼枝     | 树干皮   | 多年生枝 | 根    |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|------|------|
| 花    | 0.11   |        |        |        |       |      |      |
| 叶    | 0.32** | 0.21   |        |        |       |      |      |
| 幼枝   | 0.50** | 0.39*  | 0.18   |        |       |      |      |
| 树干皮  | 0.79** | 0.68** | 0.47** | 0.29*  |       |      |      |
| 多年生枝 | 0.84** | 0.73** | 0.52** | 0.34** | 0.05  |      |      |
| 根    | 0.87*  | 0.76** | 0.55** | 0.37** | 0.08  | 0.03 |      |
| 树干材  | 0.99** | 0.88** | 0.67** | 0.49** | 0.20* | 0.15 | 0.12 |

\*  $P<0.05$ 表示差异显著

\*\*  $P<0.01$ 表示差异极显著,表4同。

Na: 根>叶>花>果>幼枝>树干皮>多年生枝>树干材(经检验:除相邻组分外,其余之间基本上达到差异显著 $P<0.05$ 或差异极显著 $P<0.01$ )(见表4)。

表 4 秋茄各组分钠含量间差异显著性检验表

Table 4 Significance tests of Na content between different samples in *Kandelia candel*

|      | 根      | 叶      | 花      | 果      | 幼枝     | 树干皮    | 多年生枝   |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 叶    | 0.16   |        |        |        |        |        |        |
| 花    | 0.32*  | 0.16   |        |        |        |        |        |
| 果    | 0.37** | 0.21   | 0.05   |        |        |        |        |
| 幼枝   | 0.56** | 0.40*  | 0.24   | 0.19   |        |        |        |
| 树干皮  | 0.73** | 0.57** | 0.41*  | 0.36*  | 0.17   |        |        |
| 多年生枝 | 0.90** | 0.74** | 0.58** | 0.53** | 0.34   | 0.17   |        |
| 树干材  | 1.42** | 1.26** | 1.10** | 1.05** | 0.86** | 0.69** | 0.52** |

值得指出的是:为什么红树植物的根系中含钠量较高,而含钾量则相对地偏低。这与红树植物处于海水泥滩生境中对钾的选择吸收;而对钠被动吸收有关。正如Teas(1979)工作表明,氯的含量在根系中较高,并未必把氯吸入根中,因为“根系对元素吸收的分离膜约在内皮层凯氏带之内,因而根的皮层中含有大量的元素可能是被动吸收的结果”有相似的效应。

比较不同地区不同种类树木各组分的钾、钠含量(表5、表6)得知:红树林的含钠量,远较陆生植物为高,甚至高出两个数量级。据陈明义(1982)报道:白骨壤叶可高达50.6%,红茄苳(*Rhizophora mucronata*)叶达22.8‰,榄李(*Lumnitzera racemosa*)43.1‰;足见红树植物已适应海滩高浓度钠离子的生境,这是它们能够与其他植物竞争而在盐渍滩涂生存下来而不受盐害的重要原因。即使在滩涂上生存的芦苇,也没有达到这样高的含钠量。

表6表明:红树植物与其他陆生植物的含钾量差别较小,但与我国亚热带地区的常见的

表 5 红树植物与陆生植物各组分含钠量的比较 (mg/g)

Table 5 The comparison of Na content between the samples of mangrove and terrestrial species (mg/g)

| 植物种类       | 果实    | 叶     | 幼枝    | 多年生枝  | 木材  | 树皮    | 根    | 资料来源                      |
|------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------|---------------------------|
| 秋茄         | 15.9  | 18.0  | 14.0  | 10.6  | 5.4 | 12.3  | 19.6 | 本 文                       |
| 白骨壤        |       | 24.0  | 17.3  | 8.5   | 5.7 | 15.4  | 15.0 |                           |
| 桐花树        |       | 10.0  | 12.0  | 8.1   | 3.9 | 6.4   | 11.2 |                           |
| 白橡树        | 0.048 | 0.041 | 0.063 | 0.056 |     | 0.053 | 0.08 | Woodwell<br>et al. (1975) |
| 北美油松       | 0.032 | 0.14  | 0.181 | 0.089 |     | 0.119 | 0.04 |                           |
| 芦苇 (红树林泥滩) |       | 2.5   |       |       |     |       | 6.5  | 陈明义 (1982)                |

表 6 红树植物与陆生植物各组分含钾量的比较 (mg/g)

Table 6 The comparison of K content between the samples of mangrove and terrestrial species (mg/g)

| 植物种类 | 果    | 叶    | 幼枝   | 多年生枝 | 木材  | 树皮   | 根    | 资料来源                      |
|------|------|------|------|------|-----|------|------|---------------------------|
| 秋茄   | 12.1 | 8.9  | 7.1  | 3.7  | 2.2 | 4.2  | 3.4  | 本 文                       |
| 白骨壤  |      | 11.5 | 19.6 | 11.4 | 5.4 | 22.3 | 10.2 |                           |
| 桐花树  | 10.8 | 8.7  | 13.2 | 6.9  | 2.8 | 7.9  | 6.5  |                           |
| 白橡树  | 7.77 | 7.04 | 3.95 | 2.43 |     | 1.82 | 2.42 | Woodwell<br>et al. (1975) |
| 北美油松 | 0.49 | 3.19 | 3.61 | 1.13 |     | 1.23 | 2.79 |                           |
| 杉*   |      | 4.0  |      | 2.9  | 0.5 | 0.7  | 3.3  | 冯宗炜 (1982)                |
| 马尾松* |      | 4.2  |      | 1.4  | 0.5 | 1.32 | 0.66 |                           |
| 苦槠*  |      | 4.7  |      | 2.0  | 0.5 | 2.0  | 1.99 |                           |

\* K含量由K<sub>2</sub>O换算而得。

森林树种比较差别较大, 约高一倍左右。这也说明红树植物对河口海岸汇集来的大量钾元素还是能充分利用的。特别值得注意的是, 白骨壤可以较大量的富集钾, 其中以树皮、叶、幼枝等最多, 这与我国沿海农民利用白骨壤作绿肥而获得丰产, 提供了有效的科学依据。

## 2. 秋茄群落钾、钠的总含量及其分布

根据秋茄群落各组分的生物量及其钾、钠含量可推算出现存在于各组分内的钾、钠元素的含量以及群落总含量及其分布 (见图 1)。

从图 1 中可以看到, 地上部的含钾总量为 296.49 公斤/公顷, 比地下部含量 235.48 公斤/公顷为多; 而地上部的含钠量为 742.91 公斤/公顷, 比地下部含量 1,357.45 公斤/公顷却为少。九龙江口 20 年生的秋茄群落现存量总含钾量为 531.97 公斤/公顷, 总含钠量为 2100.36 公斤/公顷。从中表明, 生活于海滩生境的秋茄

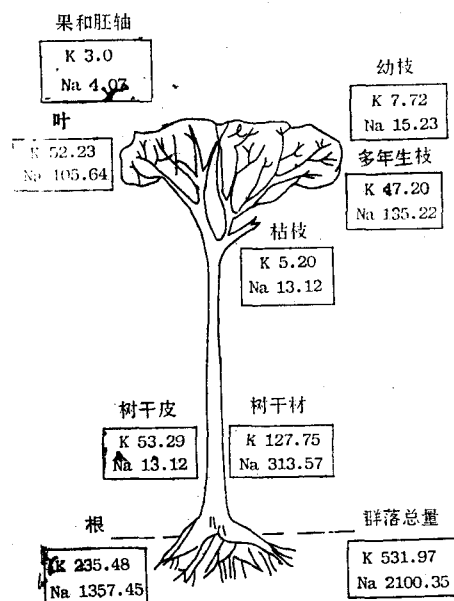


图 1 秋茄群落各组分钾、钠含量的分布 (公斤/公顷)

Fig.1 The distribution of K and Na in each module of *Kandelia candel* community (Kg·ha<sup>-1</sup>)

群落, 不论地上部或地下部各组分的含钠量都高于含钾量, 而总含钠量远高于总含钾量近 3 倍。如同上节所述, 钾是植物必需的常量元素, 而钠对于红树植物来说, 是对海水环境的适应, 尤其是根系, 钠多贮于凯氏带之外的皮层中, 因而这是对钠的被动吸收的表现。

### 3. 秋茄群落中钾、钠的生物循环

#### 1) 钾、钠元素的循环

(1) 秋茄群落钾、钠的年存留量: 年存留量是指一年内群落净累积在植物体内元素的总重量。这里秋茄群落的存留量是从测定生物量和年变化 (1982 年净增长量) 和构成生产的不同器官和组织等组分中包含的化学元素量所获得的资料来推算的。结果见表 7。

表 7 秋茄群落钾、钠的年存留量 (1982)  
Table 7 Annual retention of K, Na in *K. candel* community (1982)

| 组 分         | 幼 枝     | 多年生枝    | 树干皮     | 树干材     | 根       | 总 计      |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 年增长率*       | 1087.50 | 1156.99 | 1150.76 | 5266.84 | 6281.66 | 14943.75 |
| 钾含量 (dw.%)  | 0.71    | 0.37    | 0.42    | 0.22    | 0.34    |          |
| 钾总量 (Kg/ha) | 7.72    | 4.28    | 4.83    | 11.59   | 21.36   | 49.78    |
| 钠含量 (dw.%)  | 1.40    | 1.06    | 1.23    | 0.54    | 1.96    |          |
| 钠总量 (Kg/ha) | 15.23   | 12.26   | 14.15   | 28.44   | 123.12  | 193.32   |

\* 林鹏、卢昌义等, 1985.

从表 7 看到 1982 年第 20 龄的秋茄群落年存留钾、钠量分别为 49.78 和 193.32 公斤/公顷; 钠的存留量为钾量的 3 倍多。

(2) 秋茄群落钾、钠的年归还量: 年归还量这里仅指通过掉落物<sup>1)</sup>归还土壤的元素总量。秋茄群落 1982 年的归还量是用收集网收集全年掉落物, 并分别各组分抽样分析钾、钠含量推算而得 (见表 8)。这里因没有测定林内, 外降水和化学成分的差异, 因而对淋洗量和根的枯死, 分泌量均未估计在内。通过掉落物钾的年归还量为 59.37 公斤/公顷, 钠的年归还量为 160.18 公斤/公顷。钠的年归还量约为钾年归还量的 2.7 倍。

(3) 秋茄群落钾、钠的年吸收量及其在生物循环上的特点: 生物循环, 这里主要是指植物和土壤之间的元素循环。它包括如下一些过程: 吸收 = 存留 + 归还 (Durigneaud 等, 1970)。依此式我们推算九龙江口 20 龄秋茄群落 1982 年的钾、钠的年吸收量分别为 109.15 公斤/公顷和 353.50 公斤/公顷。由于红树林沼泽中难于估测通过根系分泌和腐烂所释放出来的矿质元素的数量。因此, 这里估测转换中钾、钠的吸收量可能略有偏低。

综上钾、钠元素在秋茄群落中的存留, 归还和吸收量的情况见图 2。试与世界各地其他森林类型的比较 (表 9)。

从而可以看出, 九龙江口秋茄群落的钾元

表 8 秋茄群落钾、钠年归还量 (1982)

Table 8 Annual returns of K, Na in *K. Candel* community (1982)

| 组 分      | 掉落物量*<br>(Kg/ha) | 钾含量<br>(dw.%) | 钾总量<br>(Kg/ha.) | 钠含量<br>(dw.%) | 钠总量<br>(Kg/ha) |
|----------|------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| 果 (包括胚轴) | 945.4            | 1.21          | 11.44           | 1.59          | 15.03          |
| 叶        | 5668.5           | 0.66          | 37.41           | 2.24          | 126.97         |
| 枝        | 1223.8           | 0.21          | 2.57            | 0.53          | 6.49           |
| 花        | 679.6            | 1.17          | 7.95            | 1.72          | 11.69          |
| 总计       | 8517.3           |               | 59.37           |               | 160.18         |

\* 林鹏、卢昌义等, 1985.

<sup>1)</sup> 红树林年掉落的物质, 包括大量的活的胚轴, 本文不用凋落物, 故采用掉落物一词。

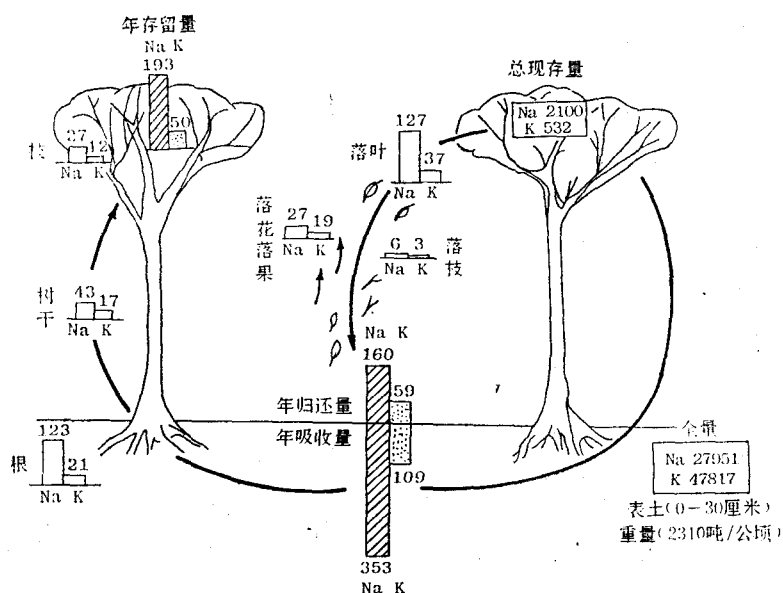


图 2 九龙江口20龄1982年秋茄林钾、钠元素的年循环 (公斤/公顷)

Fig.2 Annual cycle of K and Na in 20-year-old *Kandelia candel* community in Jiulongjiang river estuary, China (1982) ( $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )表 9 几种森林中钾、钠元素循环的比较 ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ )Table 9 The comparison of K,Na elements cycling in some forests ( $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ )

| 国家  | 森 林    | 林 龄   | K     |       |        | Na     |        |        | 资 料 来 源                         |
|-----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|
|     |        |       | 存 留   | 归 还   | 吸 收    | 存 留    | 归 还    | 吸 收    |                                 |
| 中国  | 红 树 林  | 20    | 49.78 | 59.37 | 109.15 | 193.32 | 160.18 | 353.50 | 本 文                             |
| 比利时 | 橡树混交林  | 30—75 | 16    | 30    | 46     |        |        |        | Duvigneaud <i>et al.</i> (1974) |
| 美国  | 星毛柞林   |       | 19.2  | 62.4  | 81.6   |        |        |        | Johnson <i>et al.</i> (1974)    |
| 日本  | 冬青等阔叶林 |       | 34.1  | 64.5  | 98.6   |        |        |        | Tsutsumi (1971)                 |

素之存留量、归还量及吸收量绝对值都较各地陆生或淡水沼泽中的森林群落为高。这可能与河口海滩接受大陆不断随河流携带来的大量钾元素<sup>1)</sup>在泥滩土壤累积有关。植物吸收大量钠元素也说明红树植物已经适应海水高盐分的生境。

## 2) 秋茄群落钾、钠元素生物循环的比较

掉落物是生物循环的一个重要环节，它可以作为衡量植被生物量中养分储藏量的利用，消耗的循环速度的指标。因此，某元素在植被中的周转期是指储存在现存量中的元素与每年掉落物中的元素的比率 (Golley, 1975)。表10看出陆生常绿阔叶林 (河岸林、热带雨林) 钾的循环周期较长，而落叶林循环则较快，而红树林和竹林虽是常绿林，但叶子更换快，如秋茄林的叶龄约4个月就更换了。因此循环周期较短，这与落叶的热带季雨林 (干性落叶阔叶林) 有相近的特征。

## 3) 钾、钠元素的几种流动系数

在秋茄群落钾、钠元素的生物循环中，可采用利用系数，吸收系数和循环系数来说明各

<sup>1)</sup> 1983年5月下旬小潮时测定红树林地海水含钾量为6.15—19.3ppm,

元素在对应植物体或其生境中相对的循环指标。

可以从元素的吸收量、归还量、现存量以及土壤元素含量来求出该群落（本试验为第20龄的秋茄林）的吸收系数和利用系数（陈灵芝等，1983）以及循环系数（拉夏埃尔，1975）（表11）。

表11列出钾、钠两元素的利用系数分别为0.205和0.168；吸收系数分别为

表10 几种森林中的钾、钠元素周转期的比较（年）

Table 10 Comparison on recycle period of K, Na elements between some forests (yr.)

| 地 点  | 植被类型     | K  | Na | 资料来源          |
|------|----------|----|----|---------------|
| 中国福建 | 红树林（秋茄）  | 9  | 13 | 本 文           |
| 巴拿马  | 红树林（大红树） | 8  |    | Golley (1975) |
| 巴拿马  | 热带雨林     | 37 |    |               |
| 巴拿马  | 河岸林      | 93 |    |               |
| 泰 国  | 热带季雨林    | 6  |    |               |
| 緬 甸  | 竹 林      | 3  |    |               |

表 11 秋茄群落钾、钠元素的利用系数、吸收系数和循环系数

Table 11 The Utilization coefficient, the absorption coefficient and the cycling coefficient of K, Na in *Kandelia candel* community

| 项 目 | 现存量<br>(Kg/ha.) | 吸收量<br>(Kg/ha) | 归还量<br>(Kg/ha) | 表土全量<br>(Kg/ha) | 吸收系数 <sup>1)</sup> | 利用系统 <sup>2)</sup> | 循环系数 <sup>3)</sup> |
|-----|-----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| K   | 531.97          | 109.15         | 59.37          | 47817           | 0.205              | 0.0023             | 0.544              |
| Na  | 2100.35         | 353.50         | 160.18         | 27951           | 0.168              | 0.0127             | 0.453              |

1) Absorption coefficient: Ratio of element absorption amount on unit time and unit area to total amount of that element in soil (soil depth 0—30cm).

2) Utilization coefficient: Ratio of element absorption amount on unit time and unit area to total amount of that element remaining in standing crop.

3) Cycling coefficient: Ratio of the amount of element returned to environment to the uptake amount of that element on unit time and unit area.

0.0023和0.0127以及循环系数分别为0.544和0.453。从中看出秋茄群落对钾的利用系数和循环系数略大于钠，而吸收系数来看，钠却比钾大六倍左右。足见红树植物处于海滩上对钠的适应性强，与上述指标结果一致。

#### 4) 元素的富集率

富集率 (Enrichment ratios) 是指净第一性生产量中元素的平均浓度与群落生物量中的对应元素的平均浓度的比值 (Woodwell 等, 1975)。九龙江口20龄秋茄群落生物量的钾、钠平均浓度分别为： $531.97/162626.25^{1)} = 0.33\%$ 和  $2100.36/162626.25 = 1.29\%$ ；而1982年净第一性生产量中钾、钠的平均浓度分别为  $109.15/23461.05^{1)} = 0.47\%$ 和  $353.50/23461.05 = 1.51\%$ ；从而计算出钾、钠的富集率分别为1.42和1.17。可见两者的富集率均大于1，说明1982年净第一性生产量中钾、钠平均含量均高于现存量中的平均浓度。这表明20年生的秋茄林由于其当年新生的花、果、叶等代谢活跃部分占有较大的份量，有较强的富集作用，同时也表明该群落未达到稳定群落，尚在不断富集有关矿质元素，以利群落向前发展。

#### 5) 元素的迁移

红树林是处于海水沼泽滩涂上生长，秋茄林还是中年的群落，多数潮汐均可进入滩面。虽然掉落物不少（1982年达8.5吨/公顷）。但在这种开放性生态系统中掉落物输出和上游有

1) 见参考文献：林鹏、卢昌义等，1985。

机物的输入也较频繁，分解后的生物碎屑和矿物元素极易被海水带走。因此其生物分解率特别大，较之云南陆生热带雨林大 1.5 倍。但因海滩土壤富集较多的钾元素，生物吸收率较低。而残留物元素含量易被海水带走，因而这里计算的生物归还率比实际情况可能偏低（表 12）。

表 12 秋茄林和热带雨林的钾、钠元素迁移和生物循环

Table 12 Biological cycle and movement of K, Na in *K. candel* forest and tropical rain forest

| 项<br>目<br>元<br>素 | 化学成分 (%) |      |      |      | 生物吸收率<br>(BAR) <sup>1)</sup> | 生物分解率<br>(BDR) <sup>2)</sup> | 生物归还率<br>(BRR) <sup>3)</sup> | 地点和资料来源                 |
|------------------|----------|------|------|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
|                  | 鲜 叶      | 掉落物  | 残留物  | 表 土  |                              |                              |                              |                         |
| K                | 0.89     | 0.81 | 0.25 | 2.07 | 43                           | 356                          | 12                           | 福建红树林<br>(本文)           |
| Na               | 1.80     | 1.52 | 1.36 | 1.21 | 149                          | 132                          | 112                          |                         |
| K                | 0.48     | 0.52 | 0.35 | 0.18 | 267                          | 137                          | 194                          | 云南热带雨林 (南京土壤所, 1978, b) |

$$1) \text{ BAR} = \frac{\text{Chemical composition of fresh leaf}}{\text{Chemical composition of surface soil}}$$

$$2) \text{ BDR} = \frac{\text{Chemical composition of fresh leaf}}{\text{Chemical composition of residues}}$$

$$3) \text{ BRR} = \frac{\text{Chemical composition of residues}}{\text{Chemical composition of surface soil}}$$

综上所述，地处太平洋西海岸红树林分布偏北缘的九龙江口秋茄林。在钾、钠的累积和生物循环上，表现出与陆生森林的明显不同的特性。对其他生态系统的特点，尚待进一步逐项深入研究。

### 参 考 文 献

- 中国科学院南京土壤研究所 1978a 土壤理化分析，第360—361页，上海科学技术出版社。  
 ———— 1978b 中国土壤，第499—622页，科学出版社。  
 陈灵芝, D.K. Lindley 1983 英国Hampsfell的蕨类草地生态系统的营养元素循环。植物学报 25(1):67—74。  
 陈明义 1982 红树林之特性。中华林学季刊 15(3):17—15。  
 林鹏 1981 中国东南部海岸红树林的类群及其分布。生态学报 1(3):283—289。  
 林鹏、卢昌义等 1985 九龙江口红树林研究 I. 秋茄群落的生物量和生产力。厦门大学学报(自然科学版) 24(4): 508—514。  
 冯宗炜、陈楚莹等 1982 湖南省会同县两个森林群落的生物生产力。植物生态学与地植物学丛刊 6(4):251—266。  
 拉夏埃尔 1975 (李 博等译, 1982) 植物生理生态学。第159—161页，科学出版社。  
 曹宗巽、吴相铨 1979 植物生理学(上册)。第163页，人民教育出版社。  
 Durigneaud, P. 和 S. Denaeys-De smet, 1970 (彭克明译, 1974) 温带落叶林矿质元素的生物循环。植物生态学译丛，第一集，科学出版社，72—99。  
 Golley, F.B. 1975 (李文华译, 1982) 热带森林的生产量和矿质循环。植物生态学译丛，第四集，科学出版社，124—134。  
 Johnson, F.T. and Risser, P.G. 1974 Biomass, Annual Net Primary Production, and Dynamics of Six Mineral Elements in a Post Oak-Blackjack Oak Forest. *Ecol.* 55(6):1246—1258。  
 Teas, H.J., 1979 Silviculture with Saline Water, In the Biosaline Concept (ed. by A. Hollaender), Plenum Publishing Corporation, 117—161。  
 Tsutsumi, T., 1971 (陈佐忠等译, 1982): 森林生态系统中营养元素的积累和循环。植物生态学译丛，第四集，科学出版社，171—180。  
 Woodwell, G.M., R.H. Whittaker and R.A. Houghton 1975 Nutrient Concentration in Plants in the Brookhaven Oak-Pine forest. *Ecol.* 56(2):318—322。

## STUDIES ON THE MANGROVE ECOSYSTEM OF JIULONG RIVER ESTUARY IN CHINA II. ACCUMULATION AND BIOLOGICAL CYCLE OF POTASSIUM AND SODIUM ELEMENTS IN *KANDELIA CANDEL* COMMUNITY

Lin Peng Su Lin Lin Qingyang  
(Department of Biology, Xiamen University)

This paper deals with the accumulation and biological cycle of potassium and sodium elements of artificial 20-year-old *Kandelia candel* community in Jiulong river estuary of Fujian province, China.

The main results of the measurements are as follows:

1. The amounts of potassium and sodium elements in standing crop of this community were respectively 531.97 kg/ha and 2,100.36 kg/ha, in which the amounts of two elements in aerial part of biomass were(kg/ha) 296.49 for K and 742.91 for Na, and that of below ground biomass were(Kg/ha) 235.48 for K and 1,357.45 for Na.

2. In biological cycle of potassium and sodium of this stand, the values of vegetation mineral uptake were (kg/ha.yr) 109.15 for K and 353.50 for Na, of its return were (kg/ha.yr) 59.37 for K and 160.18 for Na and of its retention were (kg/ha.yr) 49.78 for K and 193.32 for Na.

3. The speed of potassium recycling period (9 yrs.) is faster than that of sodium (13yrs), while the Na content of the mangrove forest is larger than that of other terrestrial forests. These characteristics of mangrove forest are concerned in the habitat of the interface between land and sea.