

## 芒萁群落中营养元素的循环特点\*

陈 建

(贵州师范大学生物系, 贵阳)

钟章成

(西南师范大学生物系, 重庆)

## 摘 要

本文研究了广泛分布于亚热带地区的芒萁群落营养元素循环特点, 并提出了氮、磷、钾、钙、镁、铝、锰7种元素动态循环模型。结果表明: (1) N、P、K、Al 4种元素以活根茎中积累最大, 一方面体现了芒萁以根茎繁殖的特点, 另一方面也体现了芒萁富集元素的特点。Ca、Mg、Mn 3种元素以羽叶中积累最大, 体现了3种元素与叶及叶绿素构成有关的生理特点。(2) N、P、K 3种元素含量随时间推移而下降, 表现出“稀释效应”。Al正相反, 表现出“浓缩效应”。Ca、Mg含量在生长初期的5月及生长高峰期的9月最高, Mn含量在6—9月较稳定, 以后3种元素含量逐步下降, 7种元素含量序列为N>K>Al>Ca>Mg>P>Mn。(3) 芒萁明显富集Al, 而富集Mn不明显。(4) 芒萁群落各元素循环特点表明芒萁对环境资源的利用能力有限, 应适当加以改造。(5) 建立了芒萁-土壤系统中7种元素循环模型。

关键词: 芒萁, 营养元素, 循环, 氮, 磷, 钾, 钙, 镁, 铝, 锰。

## 一、前 言

芒萁(*D. dichotoma*)广泛分布于长江以南中亚热带、南亚热带和北亚热带1000m以下的酸性土上, 多为森林经反复砍烧或农田废弃后所形成的次生类型, 常在疏林下或山坡酸性土上生长并形成单优势群落。芒萁是亚热带酸性土的指示植物之一, 又是富集元素Al和Mn的主要种类, 因此, 对这种群落进行营养元素循环特点的研究, 可提供一些灌草丛生物矿质循环的资料, 也为合理利用自然资源, 改造荒山荒地提供依据。

## 二、自然环境及样地概况

四川缙云山位于北纬29°49', 东经106°25', 海拔800m左右。地层构造主要是三叠纪砂岩为母质发育的酸性黄壤。气候温暖湿润, 四季分明。年均温18.2°C, 全年≥10°C积温5956°C, 无霜期年均334天, 年降水量1143.1mm, 年均相对湿度80%, 全年日照1288.1小时。

研究样地在缙云山海拔600m左右, 样地面积约为20×25m<sup>2</sup>。测定该芒萁群落土壤pH为4—5, 土壤含水量16—18%, 且年变化不大。群落土层厚约60cm, 其中A<sub>0</sub>层12cm左右, A层20cm左右, B层约30cm。0—20cm土层土壤容重为1.09g/cm<sup>3</sup>。样地内芒萁四季常绿, 形成纯群。芒萁优势度约95%, 盖度约90%, 芒萁群落组成相当单纯, 仅有极少数樟树(*Cinnamomum camphora*)幼苗、马尾松(*Pinus massoniana*)幼苗、槭木(*Lorapetalum chinese*)、菝葜(*Smilax china*)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiuculum*)和芒(*Miscanthus sinensis*)零星分布于群落中。由于芒萁在群落中占绝对优势, 因而研究对象以芒萁为

\* 本研究为国家自然科学基金资助项目。  
本文于1990年5月13日收到。

主, 其他种类未计入内。

### 三、研究方法

#### 1. 生物量和净生产量测定

地上部分采用收割法, 地下部分采用挖掘法。挖掘深度 0—20cm, 因为芒萁根茎分布在 0—15cm 土层中。样地面积 1 m<sup>2</sup>, 5 个重复。测得地上部分羽叶、叶柄鲜重。地下部分挖出后洗净, 风干并称重。地下部分只取地下横走茎及其上所附须根, 挖掘造成的部分须根损失不计在内。将各部分取样带回室内于 85℃ 下烘干至恒重, 然后推算出各部分干重。由于芒萁地上部分年度间无物质存留, 因而地上部分当年生物量最大值即为当年地上部分净生产量。地下部分年度间有物质存留, 因而地下部分生物量最高值与最低值之差即为当年地下部分净生产量。

取样时间为 1988 年的 5、6、8、9、10、12 月及 1989 年的 1、2、4 月。每次相隔 40 天。

#### 2. 凋落物、死根茎、雨水、土壤的收集

由于芒萁灌丛中不好设置凋落物收集器, 因此采样的同时于每个样地中收集枯枝落叶并测其湿重。地下部分死根茎挖出后与活根茎分开、洗净, 风干并称重。将枯枝与死根茎一起于室内烘干求其干重。相邻两月枯枝重量之差即为该月凋落物量。在芒萁群落内外收集雨水测定淋溶量。每于 5 个样地内取土样 1 kg 回室内烘干至恒重。

#### 3. 化学分析

土壤、植物、枯枝、死根茎烘干后磨碎, 与雨水一起进行化学分析。氮用高氯酸-硫酸消化法, 磷用钒钼黄比色法, 钾用火焰光度法, 钙、镁、铝、锰用原子吸收光谱法。

### 四、结果与分析

#### 1. 芒萁-土壤系统中各元素贮量与分布

芒萁群落土样分析结果表明土壤中各元素含量一年中的变化不明显(见表 1)。这表明芒萁群落的吸收作用甚微, 土壤中各元素含量并没有随着植物的吸收利用而表现出明显消长。0—20cm 土壤层是各种元素的一个巨大贮存库, 它提供了植物生长所需要的各种元素。根据土壤中各元素浓度和 0—20cm 土层的土壤容重, 可推导出 0—20cm 土层中各元素贮量。从表 1 可知, 各元素贮量顺序为 Al>K>N>Ca>P>Mg>Mn, 可见该处土壤 Al 含量极高, 甚至高出植物生长所需要的大量元素 N、P、K, 相比之下, Mn 贮量最低。

根据芒萁群落各组分的生物量及各元素含量可推导出植物体各部分对各种元素的贮量。

表 1 样地 0—20cm 土层中各元素含量(%)与贮量(kg/ha)  
Table 1 The concentration(%) and total amount (kg/ha) of seven elements at the depth of 0—20cm

元素	N	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	总计
平均含量	0.0622	0.0256	1.1030	0.0464	0.0631	7.470	0.0044	—
标准差	0.008	0.009	0.101	0.091	0.004	0.413	0.012	—
贮量	$1.35 \times 10^5$	$5.52 \times 10^4$	$2.39 \times 10^6$	$1.01 \times 10^5$	$1.37 \times 10^4$	$1.82 \times 10^7$	$9.63 \times 10^3$	$1.89 \times 10^6$

从表2可知, 芒萁群落对7种元素的贮量顺序为  $N > K > Mg > Ca > Al > P > Mn$ 。但是, 植物体的不同部位对各元素的贮量是不同的, 显示出芒萁群落特有的生物学特性。在芒萁中, 以活根茎中的总贮量最大, 特别是N、P、K 3种植物生长所需的大量元素在活根茎中贮量均大于植物体其他部位中的贮量。此外, 元素Al在活根茎中贮量也最大, 可见芒萁根部是营养元素的主要贮存与富集器官, 这与芒萁为多年生植物, 靠根茎繁殖的特点分不开。在根茎中不仅贮存大量营养物质有利于次年生长, 而且富集了大量Al, 体现了芒萁的富集特点。羽叶中的总贮量仅次于活根茎。其中, Ca、Mg、Mn 3种元素在羽叶中的贮量大于在其他部位中的贮量。Ca主要存在于植物的叶部, 它是构成植物细胞壁的成分之一<sup>[6]</sup>。镁是叶绿素的直接组成部分, 并参与光合作用<sup>[6]</sup>。锰对叶绿素的合成和碳水化合物的运输都有相当的影响, 缺少了锰, 叶绿素就不能形成<sup>[6]</sup>。可见三种元素在羽叶中贮量大的原因与它们在植物体内

表2 芒萁群落中各元素贮量(kg/ha)

Table 2 The total amount (kg/ha) of seven elements in fern community

元素 项目	N	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	总计
羽叶	24.91	1.05	14.84	6.13	1.35	2.43	0.47	51.18
叶柄	8.97	0.35	5.14	0.53	0.30	1.72	0.08	12.08
活根茎	25.12	1.21	21.95	4.00	0.25	4.44	0.11	57.08
枯枝	1.28	0.05	0.34	0.62	0.11	0.56	0.06	3.02
死根茎	8.3	0.01	0.66	0.23	0.07	0.68	0.006	4.96
总计	68.58	2.67	42.93	11.51	12.97	9.83	0.726	128.33

的生理功能有关。叶柄中元素总贮量位居第三, 其中以K、N贮量为最大。枯枝及死根茎中元素总贮量最低, 尽管如此, 它们却是生物循环中不可缺少的一部分。

从表1、表2可看出, 在芒萁-土壤系统中, 0—20cm 土层中贮存了绝大部分的元素量。7种元素总贮量在该层土壤中占了99.99%, 芒萁群落中仅占0.001%左右。这主要是0—20cm土层土壤容量极大, 因而对各元素的贮量也相应地大, 即使在生长高峰期, 芒萁从土壤中吸收的元素量相对其土壤中的含量是微不足道的。因此, 芒萁这种低产量的灌草丛群落, 对土壤中各元素的利用率极为有限, 从某种程度上讲, 是对丰富亚热带水热条件及土壤条件的一种浪费。

## 2. 芒萁群落营养元素含量分布与变化

芒萁的元素含量因植物器官及生长季节不同而变化(见图1)。总的来说, 7种元素一年间的平均含量为  $N > K > Al > Ca > Mg > P > Mn$ 。其中, 对于N、P、K 3种植物生长所需的大量元素, 其含量分布为羽叶 > 叶柄和活根茎 > 枯枝和死根茎。活物质中N、P、K 3元素含量较高, 特别是5月的羽叶中, 3种元素含量极高, 因为5月的羽叶生命力活动极为旺盛, 不仅要从老枝叶及地下部分吸取大量物质供幼羽叶生长, 还要通过光合作用积累物质为进一步的生长与繁殖作准备。以后含量逐步下降, 表现出明显的“稀释效应”<sup>[9]</sup>, 即植株在生长过程中虽然积累N、P、K, 但其积累速率赶不上它们积累光合产物的速率, 于是3种元素含量随时间推移而下降。对于Ca、Mg、Mn 3种元素, 其含量分布均为羽叶 > 枯枝 > 活根茎及叶柄 > 死根茎。羽叶及枯枝中3种元素含量较高是由于这3种元素是叶及叶绿素的结构物质, 它们更多的是参与结构的建成, 因而在凋落前未将这3种元素转移给其他部位。一

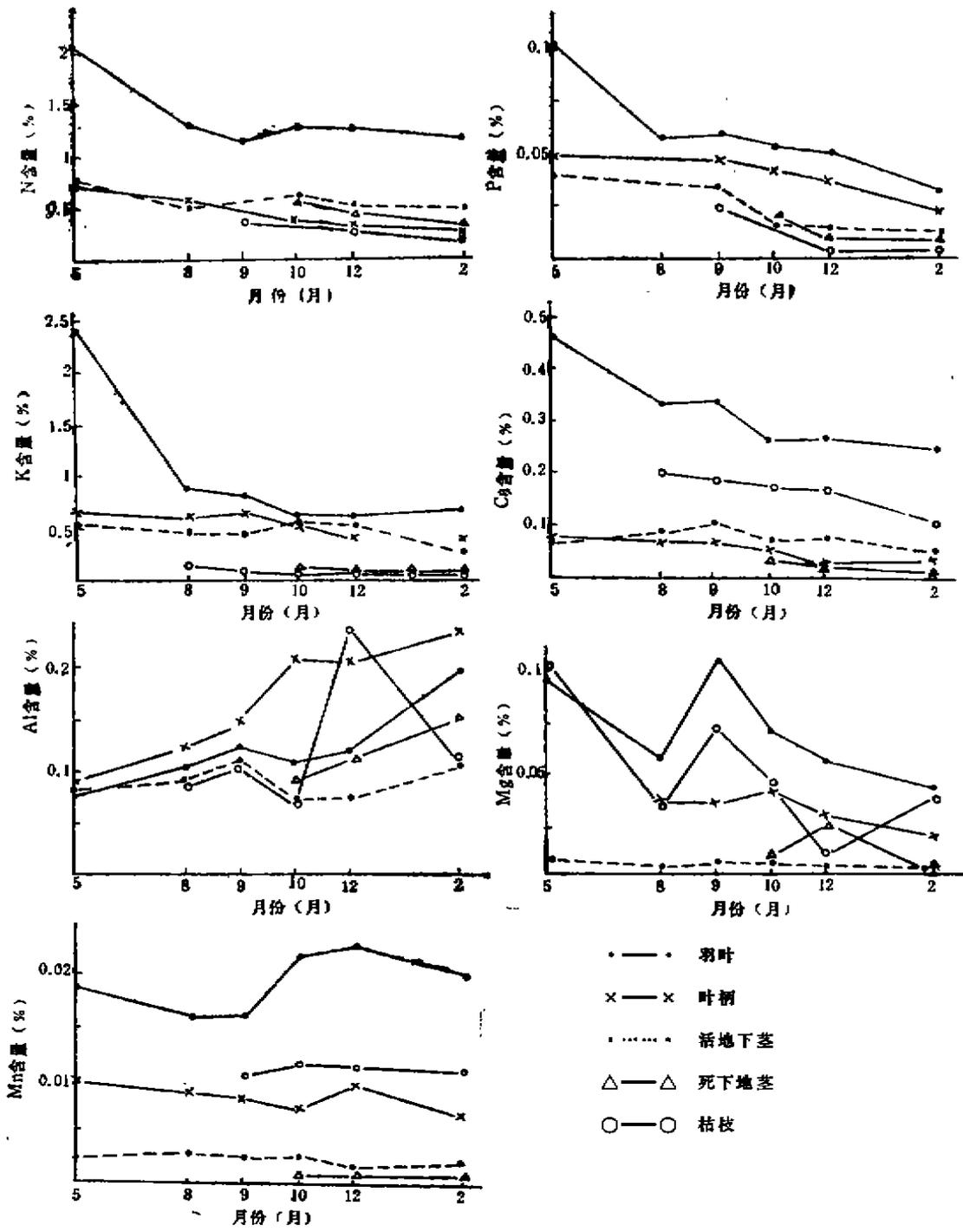


图 1 芒萁各元素含量的季节变化  
Fig.1 The variation of concentration of seven elements in fern community

年中, 活物质中 Ca、Mg 2 元素在 5 月和 9 月含量较高, 5—9 月间有一低谷阶段, 9 月以后逐步下降。活物质中 Mn, 在 5—9 月含量变化不太明显, 9—12 月有一上升阶段。元素 Al 的含量分布为叶柄 > 枯枝 > 死根茎 > 羽叶 > 活根茎。一年中活物质内 Al 含量呈上升趋势, 次年 2 月达最大值。从图 1 可知, 含 Al 量与活物质年龄成正比, 表现出明显“浓缩效应”, 即植株富集元素的速率大于其积累光合产物的速率。死物质各元素含量变化也由图 1 示出。

作为强酸性土上的植物, 芒萁群落平均含 N、P、K、Ca、Mg 量与侯学煜所论述的一致。对于植物生长需求量大的元素 N 和 P, 其浓度显得较低, 这是由于酸性土壤溶液中 Al、Mn 有效度极高, 不仅将 N、P 2 元素淋溶掉, 而且 P 与 Fe、Al 结合形成不溶性的磷酸铁 ( $\text{FePO}_4$ ) 和磷酸铝 ( $\text{AlPO}_4$ ) 造成的<sup>[1]</sup>。此外, 酸性土壤对硝化细菌、共生和非共生的固氮细菌的不适宜, 使土壤及植物体中 N、P 含量较低。K、Ca、Mg 3 种元素中, K 含量相对较高, 仅次于 N 含量, 这与土壤中含 K 量高有关。低 Ca、Mg 含量与亚热带酸性土特点一致。酸性土中代换性阳离子 Ca、Mg 总量极低, 由于化学风化强烈, 因而土壤溶液中阳离子元素 (Na、K、Ca、Mg) 迁移十分强烈<sup>[1]</sup>。作为酸性土上元素 Al、Mn 的富集者, 该芒萁群落 Al、Mn 含量均在侯学煜所论述的范围之内。由于该群落所在酸性土中 Al 的含量较高, 因而芒萁富 Al 现象明显, 即 Al 含量在 0.105—0.730% 之间。含 Mn 量 > 0.100% 的植物可作为富 Mn 的标志, 由于该芒萁群落平均含 Mn 量 < 0.100%, 因而富 Mn 作用表现不明显。这与该土壤中 Mn 含量较低有关。

影响植物元素成分含量高低的因素, 不外两种: 植物本身的选择吸收与气候和土壤条件。在相同气候条件下, 没有一定土壤, 不会出现富集一定元素的植物, 同科植物富集量因不同属、种而不同, 同一元素含量因具体生境和土壤也不同<sup>[1]</sup>。可见, 植物化学元素含量不仅取决于植物种类, 还与气候、土壤等综合因素有关。

### 3. 芒萁群落的生物循环

芒萁群落地上部分净生产量为 4295 kg/ha·a, 其中羽叶有 2972 kg/ha·a, 叶柄有 1323 kg/ha·a。地下部分净生产量为 4863 kg/ha·a。枯枝凋落为 2930 kg/ha·a, 死根茎为 2367 kg/ha·a。因而芒萁群落年净生产总量为 9158 kg/ha·a。

生态系统的生物循环遵循“吸收 = 存留 + 归还”这一原则。在此文中, 存留量指每年净积累在植物体内的元素量, 归还量指每年通过枯枝、死根茎及雨水淋溶归还给土壤的元素量。

从表 3 可知, 芒萁群落每年从外界吸收了 96.77 kg/ha 的 N, 3.86 kg/ha 的 P, 62.45 kg/ha 的 K, 22.92 kg/ha 的 Ca, 5.92 kg/ha 的 Mg, 17.50 kg/ha 的 Al, 1.08 kg/ha 的 Mn。其中 N、P、K 3 种元素吸收量之比为 25:1:16。Ca、Mg、Mn 3 元素吸收量之比为 21:5:1。Al 与 Mn 2 元素吸收量之比为 16:1。可见作为植物生长的大量元素 N、P、K 来说, 芒萁对 P 的吸收极少。作为叶的结构物质来说, 芒萁对 Ca 的吸收量较大。作为酸性土上芒萁富集的元素 Al、Mn 来说, 对 Mn 的富集远远低于对 Al 的富集。这些特点与外界环境, 特别是土壤中各元素含量紧密相关。

在生物环境中, 各元素有自己的循环特点, 这可通过周转期、利用系数、吸收系数及循环系数表示<sup>[2]</sup>。从表 3 可知, 芒萁对 7 种元素的吸收率均很低, 说明芒萁群落对环境的利用能力有限。Ca、Mg、Al、Mn 较 N、P、K 循环得快, 且较 N、P、K 利用系数大。

### 4. 芒萁群落营养元素动态系统分析

表 3 芒萁各元素生物循环特点  
Table 3 Biological cycle character of seven elements in fern community

元 素 项 目	N	P	K	Ca	Mg	Al	Mn
归还 (kg/ha·a)	25.27	0.59	8.86	9.50	3.20	6.88	0.43
存留 (kg/ha·a)	71.50	3.27	55.79	13.42	2.72	10.62	0.95
吸收 (kg/ha·a)	96.77	3.86	62.45	22.92	5.92	17.50	1.08
周转期 (年)	2.90	5.78	10.10	2.57	1.41	1.43	1.70
利用系数	1.65	1.45	1.46	1.83	2.85	1.78	1.89
吸收系数	$7.17 \times 10^{-4}$	$8.99 \times 10^{-4}$	$2.61 \times 10^{-5}$	$2.69 \times 10^{-4}$	$4.32 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-5}$	$1.43 \times 10^{-4}$
循环系数	0.26	0.15	0.11	0.41	0.54	0.39	0.31

系统各分室( $x_i, i=1,2,\dots,n$ )元素状态方程可表示为:

$$dx_i/dt = (U_{0,i} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n F_{i,j}) - (\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n F_{j,i} + V_{i,0})$$

其中,  $U_{0,i}$ 及 $V_{i,0}$ 分别为外界进入系统及系统流出的元素量,  $F_{i,j}$ 及 $F_{j,i}$ 分别为分室*i*流入分室*j*和分室*j*流入分室*i*的流通量。

由于  $F_{i,j} = a_{i,j} x_j, F_{j,i} = a_{j,i} x_i$

其中 $a_{i,j}$ 和 $a_{j,i}$ 分别为分室*i*流入分室*j*和分室*j*流入分室*i*的流通率, 因此, 状态方程也表示为:

$$dx_i/dt = (U_{0,i} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n a_{i,j} x_j) - (\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n a_{j,i} x_i + V_{i,0})$$

根据表 4 及图 2 可见, 将芒萁-土壤系统分为 3 个分室: 地上部分、地下部分、土壤, 由此计算出各元素的 $a_{i,j}$ 和 $a_{j,i}$ , 从而得出该系统中各元素动态数学模型。

表 4 芒萁群落各元素循环状态  
Table 4 Cycling state of seven elements in fern community

元 素 项 目	N	P	K	Ca	Mg	Al	Mn
$x_1$	40.32	2.34	33.40	11.08	3.58	6.38	0.68
$x_2$	38.4	2.72	37.16	8.63	0.43	9.02	0.22
$x_3$	$1.35 \times 10^5$	$5.52 \times 10^4$	$2.39 \times 10^4$	$1.01 \times 10^5$	$1.37 \times 10^4$	$1.62 \times 10^7$	$9.63 \times 10^3$
$F_{1,2}$	25.87	1.80	28.59	2.27	0.69	2.51	0.27
$F_{2,1}$	69.29	2.64	39.2	18.93	5.68	12.88	1.26
$F_{1,3}$	淋溶	5.10	0.13	2.41	4.63	1.72	—
	枯枝归还	9.35	0.41	2.40	4.18	1.17	0.41
$F_{2,3}$	10.82	0.05	1.85	0.89	0.31	3.01	0.017
$F_{3,1}$	96.77	3.86	62.45	22.92	5.92	17.5	1.38

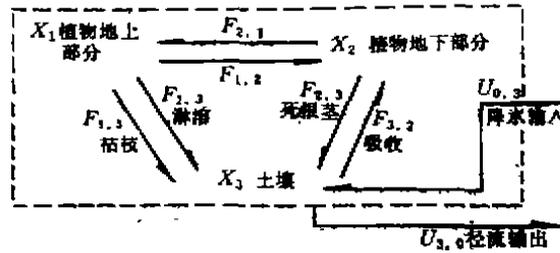


图 2 芒萁群落元素动态循环方框图

Fig.2 Dynamic flow diagram of seven elements in fern community

① 氮循环方程

$$\begin{cases} dx_1^N/dt = 1.8x_2 - x_1 \\ dx_2^N/dt = 0.64x_1 - 2.08x_2 + 7.17 \times 10^{-4}x_3 \\ dx_3^N/dt = 0.36x_1 + 0.28x_2 - 7.17 \times 10^{-4}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

② 磷循环方程

$$\begin{cases} dx_1^P/dt = 0.97x_2 - 0.28x_1 \\ dx_2^P/dt = 0.05x_1 - 0.99x_2 + 6.99 \times 10^{-5}x_3 \\ dx_3^P/dt = 0.23x_1 + 0.02x_2 - 6.99 \times 10^{-5}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

③ 钾循环方程

$$\begin{cases} dx_1^K/dt = 1.05x_2 - 0.85x_1 \\ dx_2^K/dt = 0.71x_1 - 1.10x_2 + 2.61 \times 10^{-5}x_3 \\ dx_3^K/dt = 0.14x_1 + 0.05x_2 - 2.61 \times 10^{-5}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

④ 钙循环方程

$$\begin{cases} dx_1^Ca/dt = 2.19x_2 - 0.86x_1 \\ dx_2^Ca/dt = 0.06x_1 - 2.27x_2 + 2.77 \times 10^{-4}x_3 \\ dx_3^Ca/dt = 0.80x_1 + 0.08x_2 - 2.27 \times 10^{-4}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

⑤ 镁循环方程

$$\begin{cases} dx_1^{Mg}/dt = 13.2x_2 - 0.83x_1 \\ dx_2^{Mg}/dt = 0.02x_1 - 13.92x_2 + 4.32 \times 10^{-4}x_3 \\ dx_3^{Mg}/dt = 0.81x_1 + 0.72x_2 - 4.32 \times 10^{-4}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

⑥ 铝循环方程

$$\begin{cases} dx_1^{Al}/dt = 1.43x_2 - 0.67x_1 \\ dx_2^{Al}/dt = 0.06x_1 - 1.76x_2 + 1.08 \times 10^{-5}x_3 \\ dx_3^{Al}/dt = 0.61x_1 + 0.33x_2 - 1.08 \times 10^{-5}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

⑦ 锰循环方程

$$\begin{cases} dx_1^{Mn}/dt = 5.37x_2 - 0.07x_1 \\ dx_2^{Mn}/dt = 0.01x_1 - 5.49x_2 + 1.43 \times 10^{-4}x_3 \\ dx_3^{Mn}/dt = 0.60x_1 + 0.08x_2 - 1.43 \times 10^{-4}x_3 + U_{0,3} - V_{3,0} \end{cases}$$

## 参 考 文 献

- [1] 侯学煜, 1982, 《中国植物地理及优势植物化学成分》, 第236—241页, 第380—384页, 科学出版社。  
 [2] 林 鹏、林光辉, 1985, 九龙江口红树林研究Ⅱ——秋茄群落的氮、磷积累和循环, 植物生态学与地植物学丛刊 9(4): 21—29。  
 [3] 湛小勇、潘维铸, 1989, 杉木人工林生态系统中氮素的动态特征, 生态学报 9(3): 201—206。  
 [4] 谭云峰、黄建旗等, 1989, 油茶林生态系统中营养元素循环的研究, 生态学报 9(3): 213—200。  
 [5] 中国科学院南京土壤所, 1983, 《土壤理化分析》, 第365—374页, 上海科技出版社。  
 [6] John, N.R., 杰弗斯, 1983, 《系统分析及其在生态学上的应用》, 第87—70页, 科学出版社。

## CHARACTERISTICS OF NUTRIENT ELEMENTS CYCLING IN FERN COMMUNITY

Chen Jian

(Department of Biology, Guizhou Normal University, Guiyang)

Zhong Zhang-Cheng .

(Southwest Normal University, Chongqing)

The characteristics of nutrient elements cycling in *D. dichotoma* community have been studied. The cycle process of nutrient elements in this community was analysed and some dynamic models of elements N, P, K, Ca, Mg, Al and Mn were established. The results are as follow: (1) The storages of N, P, K, and Al were the highest in live rhizomes. This shows that the rhizomes are reproduction organ and concentration organ. The storages of Ca, Mg, and Mn were the highest in pinnules because these elements are structure matters of chlorophyll. (2) The concentration of N, P and K decreased with time because of "dilution effect". Al concentration increased with time because of "concentration effect". The concentrations of Ca, Mg and Mn decreased after September. The concentrations of seven elements were in the following order:  $N > K > Al > Ca > Mg > P > Mn$ . (3) The community enriched Al but did not enrich Mn. (4) The total amount of the seven elements were located largely in soil and very little in community. This shows that the community has little ability to conserve and utilize the elements. (5) Cycling dynamic models of the seven elements have been established.

**Key words:** *D. dichotoma* community, nutrient elements, cycle, N, P, Ca, Mg, Al, Mn.