

福建秋茄红树林碳氢氮素的动态研究*

郑文教 薛雄志 林 鹏

(厦门大学环境科学研究中心, 厦门, 361005)

摘 要 本文主要探讨了福建九龙江口 20a 生人工秋茄红树群落 C、H、N 素的含量、贮备及年动态。结果表明: (1) 秋茄植物体不同组分 C、H、N 素含量有一定差异, 含量范围分别为: C 43.81%—51.22%, H 4.50%—5.68%, N 0.23%—1.80%, 组分间差异程度顺序为 C < H < N。原子数率为 C(1)H(1.11—1.48)N(0.004—0.034)。 (2) 群落 C、H、N 素现存总库量分别为 7457.53g/m², 837.48g/m² 和 73.61g/m², 其中地上部分分别占 59.31%, 58.40% 和 59.54%, 地下部分分别占 40.69%, 41.60% 和 40.46%。 (3) 群落年净固定 C 素、结合 H 素和吸收 N 素分别为 1113.41g/m², 124.37g/m² 和 16.83g/m², 其中用于群落自身增长而存留的分别为 684.88g/m², 77.15g/m² 和 6.65g/m², 经凋落物年输出的分别为 428.53g/m², 47.22g/m² 和 10.18g/m²。 (4) 群落年能量净固定量为 43544kJ/m², 年 O₂ 净释放量为 2969g/m²。

关键词: 红树林, 秋茄, 碳氢氮素动态。

红树林是热带、亚热带海岸河口生态系统的主要初级生产者, 是世界上生产力较高的自然群落类型之一^[1,2], 其初级生产维持着大量的消费者^[3,4], 特别对促进近海渔业和水产养殖业的发展和稳定河口区生态平衡起重要作用^[4,5]。红树林的研究一直受到国际国内生态学的高度重视, 在红树林的物质生产和营养元素(主要在无机元素)的循环方面做了大量的工作^[7-11]。但对生命有机结构性元素, 特别是 C 素尚未见报道。作者在红树林生物量和生产力研究的基础上, 进行了不同地理位置 3 种红树群落结构性元素的测定、分析及对比研究。本文是其中的一部分, 主要揭示亚热带地区秋茄(*Kandelia candel* (L) Druce) 红树林 C、H、N 素的组分含量、群落的现存总库量与分布及年动态, 并对群落年能量固定和 O₂ 的释放量进行估算。

1 自然条件及群落特征

工作样地位于福建九龙江口龙海县浮宫镇草埔头村的河口滩, 北纬 24°24', 东经 117°55', 属亚热带气候, 年平均气温 21℃, 最冷月平均气温 12.2℃, 年平均较差 16.7℃, 平均年降雨量 1365.1mm, 年平均相对湿度 81%。林地土壤为粉泥沉积物, 无结构, 表土含盐量 13.6‰, pH7.0。林地受潮汐周期淹浸。

该群落为 20a 生人工种植的秋茄纯林, 林缘伴生有少量桐花树(*Aegiceras corniculatum* (L) Blanco.) 和白骨壤(*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.); 林高 5—6m, 林带宽 40—50m, 沿九龙江南岸呈带状分布, 林相整齐, 深绿色, 植株胸高直径 5—10cm, 密度 208 株/100m²; 群落叶面积指数 1.7, 郁闭度 0.9。该群落是目前我国红树林保护较完好的秋茄纯林, 具有代表性。

2 材料与方法

样地是人工栽培的秋茄纯林, 树木分布较均匀。在林内中滩选择 2 个标准样地, 砍伐 13 株

国家自然科学基金资助项目。本单位徐立博士协助做元素分析, 在此谨表谢忱!

收稿日期: 1993 10 12, 修改稿收到日期: 1994 01 23。

和挖出根系, 求算生物量, 并测定林内 100m² 中 208 株植物的胸高直径和树高, 求取平均木, 根据标准木解析^[12], 计算年增长量。分别按叶、幼枝、多年生枝、枯枝、果(包括胚轴)、树干材、树干皮和根各组分计量。同时分别取样测定含水量和样品分析样。花组分别在花季补采作组分分析。

分析样品经 80℃ 烘干、磨成粉样后, 直接用 PE240C 型元素分析仪同步测定 C、H、N 素含量。另取 80℃ 烘干分析样品经 105℃ 烘干至恒重, 以换算各组分 C、H、N 素的干重含量(其中 80℃ 样品于 105℃ 烘干后所含水中的 H 量亦予以扣除)。

3 结果与讨论

3.1 秋茄植物各组分 C、H、N 素含量及其组成

根据不同组分样品的分析结果, 秋茄植物体各组分 C、H、N 素含量及其原子数率见表 1。从表 1 可以看出, 秋茄植物体不同组分间 C、H、N 素的含量各有一定的差异, 含量范围分别为 C 43.81%—51.22%、H 4.50%—5.68%、N 0.23%—1.80%(N 素组分的含量值比用钠氏试剂比色法测定 N 含量值^[10]略低, 因而下述群落各环节 N 素统计量均比钠氏试剂比色法测定统计的量略低, 这主要是分法方法不同所致), 其大小排序为:

表 1 秋茄植物不同组分 C、H、N 素含量(% dw)

Table 1 C, H and N contents in various fractions of *Kandelia candel*

组 分	Fraction	C	H	N	原子比率 Atom ratio
叶	Leaf	44.97	5.54	1.80	C(1)H(1.48)N(0.034)
花	Flower	49.52	5.68	1.38	C(1)H(1.38)N(0.024)
果	Fruit	47.34	5.29	1.20	C(1)H(1.34)N(0.022)
幼枝	Twig	44.91	4.91	1.31	C(1)H(1.31)N(0.025)
多年生枝	Perennial branch	46.48	4.92	0.60	C(1)H(1.27)N(0.011)
枯枝	Dead branch	48.52	4.50	1.42	C(1)H(1.11)N(0.025)
树干材	Trunk wood	47.11	5.37	0.23	C(1)H(1.37)N(0.004)
树干皮	Trunk bark	51.22	5.05	0.55	C(1)H(1.18)N(0.009)
根	Root	43.81	5.03	0.43	C(1)H(1.39)N(0.008)
平均	Mean	47.10	5.14	0.99	C(1)H(1.31)N(0.018)

C 素: 树干皮 > 花 > 枯枝 > 果 > 树干材 > 多年生枝 > 叶 > 幼枝 > 根。

H 素: 花 > 叶 > 树干材 > 果 > 树干皮 > 根 > 多年生枝 > 幼枝 > 枯枝。

N 素: 叶 > 枯枝 > 花 > 幼枝 > 果 > 多年生枝 > 树干皮 > 根 > 树干材。

即 C 素以起输送光合物质的树干皮和繁殖体花、果以及含较高机械成分(纤维)的树干材及多年生枝含量较高, 而叶、幼枝及根较低; H 素以花、叶、树干材及果含量较高, 根及枝含量较低; 而 N 素则与组分代谢活动密切相关, 即代谢旺盛的叶、花、果及幼枝含量显著地高于其他组分(而枯枝含 N 偏高, 原因不详)。组分间的差异程度 $C < H < N$, 如最高含量的组分与最低含量的组分相比, C、H、N 素最低含量的组分分别是最高含量组分的 85.53%、79.23% 和 12.78%。

从表 1 也可看出, 各组分的原子比率各不同, 范围为 C(1)H(1.11—1.48)N(0.004—0.034), 平均为 C(1)H(1.31)N(0.018), 这体现了组分物质组成上的差异。据此, 可推断: 叶、花、果及幼枝组分的物质构成以富 H 富 N 的物质较多; 树干材和根则含富 H 寡 N 的物质较多; 树干皮为寡 H 寡 N 的物质较多。

3.2 秋茄群落 C、H、N 素现存总库量及其分布

群落 C、H、N 素现存总库量是指特定时间内贮备在现存生物量中的元素量,其体现了河口区生态系统秋茄初级生产者这一环节中,C、H、N 素的库存量,由群落各组分 C、H、N 素含量结合生物量来推算,结果列于表 2。由表 2 可知,20a 生秋茄群落 C、H、N 素现存总库量分别为 7457.53g/m² 和 837.48g/m² 和 73.61g/m²。与我国其他港湾红树群落相比*,秋茄群落 C 素、H 素和 N 素的现存总库量分别比海南东寨港 55a 生海莲(*Bruguiera sexangula* (Lour.) Poir.) 群落低 63.32%、60.86%和 68.48%,分别比广西英罗湾 70a 生红海榄(*Rhizophora stylosa* Griff.) 群落低 47.18%、42.10%和 53.56%。群落元素现存总库量的大小,与群落特性及所处环境条件有关,并与群落的年龄(即元素累积年限)密切相关。秋茄群落为 20a 生,则现存总库量中平均年积存地 C、H、N 素量分别为 372.88g/m²、41.87g/m² 和 3.68g/m²,其中 C 素、H 素的平均年积存量分别高于海莲林的 0.86%和 7.63%、分别高于红海榄林的 84.88%和 102.27%,N 素则低于海莲林的 12.38%,而高于红海榄 60.00%。

表 2 20a 生秋茄群落 C、H、N 素现存量及其分布(g/m²)

Table 2 Total amount and distribution of C、H and N elements in 20-year-old *Kandelia candel* community

项目 Item	叶 Leaf	果 Fruit	幼枝 Twig	多年枝 Perennial branch	枯枝 Dead branch	树干材 Trunk wood	树干皮 Trunk bark	根 Root	地上部 Aboveground part	地下部 Underground part	总计 Total
生物量 Biomass	586.88	25.63	108.75	1275.62	247.50	5806.87	1268.75	6925.75	9320.00	6925.75	16245.75
C	263.92	12.13	48.84	592.91	120.09	2735.62	649.85	3034.17	4423.36	3034.17	7457.53
%	3.54	0.16	0.66	7.95	1.61	36.68	8.71	40.69	59.31	40.69	100.00
H	32.51	1.46	5.34	62.76	11.14	311.83	64.07	348.37	489.11	348.37	837.48
%	3.88	0.18	0.64	7.49	1.33	37.23	7.65	41.60	58.40	41.60	100.00
N	10.56	0.35	1.42	7.65	3.51	13.36	6.98	29.78	43.83	29.78	73.61
%	14.35	0.47	1.93	10.39	4.77	18.15	9.48	40.46	59.54	40.46	100.00

该群落 C、H、N 素在群落中的分布:地上部分分别为 4423.36g/m²、489.11g/m² 和 43.83g/m²,各占现存总库量的 59.31%、58.40%和 59.54%;地下部分分别为 3034.17g/m²、348.37g/m² 和 29.78g/m²,各占现存总库量的 40.69%、41.60%和 40.46%。即结构性元素 C、H、N 均为地上部的分布量高于地下部的分布量,这与该群落无机盐元素 Cl、Na 地上部的分配量只分别占 33.3%和 35.4%^[10]不同。该群落现存 C 素在组分间的分配量,除根系占比例最大(40.69%)外,其次是树干材为 2735.62g/m²(占 36.68%),再者多年生枝和树干皮也具有一定的分配量(分别占 8.71%和 7.95%),其余组分占很小的比例。组分间 H 素的分配量所占的比例与 C 素相似;但 N 素的分配量,除根系仍占有总 N 库的 40.46%外,树干材所占的分配量降低,仅占 18.15%,而叶则占有 14.35%(C 素仅占 C 总量的 3.54%)。总之,组分间分配量的大小,既取决于生物量的大小,也取决于组分元素含量的高低。

3.3 秋茄群落 C、H、N 素的年动态

3.3.1 群落 C、H、N 素的年存留量

* 海莲林 C、H、N 及红海榄 C、H、N 元素动态(待发表)。

年存留量是指一年内群落净增长生长所存留的 C、H、N 素量,由测定群落年增长生物量和测定各组分元素含量来推算,结果列于表 3。从表 3 可知,20a 生秋茄群落年 C、H、N 素的存留量分别为 684.88g/m^2 、 77.15g/m^2 和 6.65g/m^2 。其中,C 素 H 素分配量较大的组分有根和树干材,其余的组分占较小的比例;N 素分配量最大的是根组分占 40.60%,其次是幼枝和树干材,多年生枝和树干皮占较小的比例。叶、花、果为年生长与凋落达动态平衡,净存留量为零。

表 3 20a 生秋茄群落 C、H、N 素年存留量(g/m^2)Table 3 The yearly retention of C, H and N elements in 20-year-old *Kandelia candel* community

项目 Item	幼枝 Twig	多年枝 Perennial branch	树干材 Trunk wood	树干皮 Trunk bark	根 Root	总计 Total
生物量 Biomass	108.75	115.70	526.68	115.08	628.17	1494.38
C	48.84	53.78	248.12	58.94	275.20	684.88
%	7.13	7.85	36.23	8.61	40.18	100.00
H	5.34	6.12	28.28	5.81	31.60	77.15
%	6.92	7.93	36.66	7.53	40.96	100.00
N	1.42	0.69	1.21	0.63	2.70	6.65
%	21.35	10.38	18.20	9.47	40.60	100.00

3.3.2 群落 C、H、N 素的年凋落输出量

群落 C、H、N 素的年凋落输出量是指一年内经由凋落物途径输出的元素量。从测定群落年凋落物量(此处采用的是 1982—1984 年 3a 的平均值)和测定凋落物各组分 C、H、N 素的含量来推算,结果见表 4。凋落物量是建立收集网全年收集,收集网网孔 1.5mm、网口面积 1m^2 ,于样地随机设置 10 个网,悬挂于不受潮汐影响高度的植株丛间^[10]。由表 4 可知,20a 生秋茄群落年经凋落物形式输出而进入河口区和近海水域的 C、H、N 素量,分别为 428.53g/m^2 、 47.22g/m^2 和 10.18g/m^2 。其中,C、H、N 素 3 者均以落叶组分输出居主要,分别占各自总量的 68.97%、70.27% 和 65.72%。

表 4 20a 生秋茄群落 C、H、N 素年凋落输出量(g/m^2)Table 4 The yearly litter export of C, H and N in 20-year-old *Kandelia candel* community

项目 Item	落叶 Fall leaves	落花 Fall flowers	落果 Fall fruits	落枝 Fall branches	总计 Total
凋落物量 Litter fall	643.08	37.45	96.58	142.19	919.30
C	295.56	18.09	45.89	68.99	428.53
%	68.97	4.22	10.71	16.10	100.00
H	33.18	2.14	5.50	6.40	47.22
%	70.27	4.53	11.65	13.55	100.00
N	6.69	0.46	1.01	2.02	10.18
%	65.72	4.52	9.92	19.84	100.00

3.3.3 群落年净固定 C 素、结合 H 素和吸收 N 素量

这里由群落 C、H、N 素的年存留量和年凋落输出量之和来计算(未把被消费者直接啃食和死根以及分泌物形式输出的量估计在内,因而结果会略有偏低)。据此,20a 生的秋茄群落年

净固定 C 素为 $684.88 + 428.53 = 1113.41 \text{ g/m}^2$ 、结合 H 素和吸收 N 素分别为 $77.15 + 47.22 = 124.37 \text{ g/m}^2$ 和 $6.65 + 10.18 = 16.83 \text{ g/m}^2$, 其中用于群落自身增长而年存留的分别占 61.51%、62.03% 和 39.51%, 经凋落物年输出而进入河口区的分别占 38.49%、37.97% 和 60.49%, 即分配量为 C 素 H 素存留大于输出, 而 N 素则为输出大于存留 (见图 1)。

不同的气候条件、不同的植被类型具有不同的 C 素净生产率。年 C 素净固定量: 热带雨林为 $1-2 \text{ kg/m}^2$ 、中纬度森林为 $0.2-0.4 \text{ kg/m}^2$ ^[13]。可见, 地处南亚热带气候的秋茄红树林年净固定 C 素为 1.11 kg/m^2 , 是世界上自然群落 C 素净生产力较高的群落类型之一。与不同港湾红树群落相比: 秋茄群落年 C 素净生产率, 比广西英罗湾红海榄林 (0.80 kg/m^2) 高 38.75%, 但比海南东寨港海莲林 (1.47 kg/m^2) 低 24.49%。

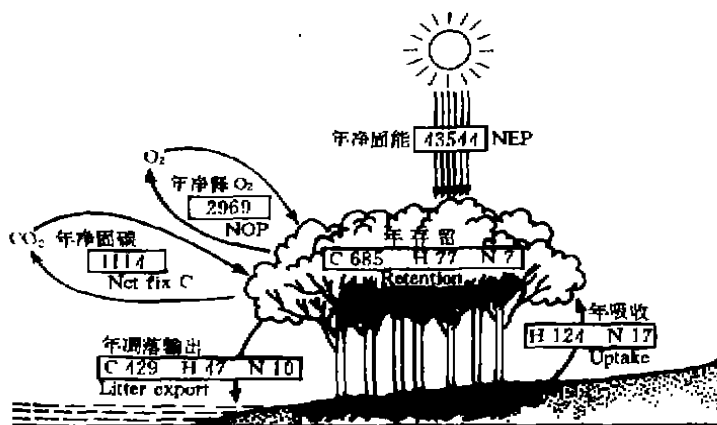


图 1 20a 生秋茄群落 C、H、N 素的年动态 (g/m^2) 和年能量 (kJ/m^2) 及年 O_2 (g/m^2) 的净生产量

Fig. 1 The yearly dynamic of C H N elements (g/m^2) and yearly net energy production (NER kJ/m^2) or net O_2 production (NOP g/m^2) in 20-year-old *Kandelia candel* community

3.4 秋茄群落年能量净固定量和年 O_2 净释放量

生态系统初级生产者 C 素的固定是与能量的固定和 O_2 的释放相伴随的。根据高等植物光合过程中, 每固定 1 mol 的 CO_2 (12 g C 素) 就伴随固定 469.3 kJ 的自由能和释放出 32 g O_2 值计算, 并设群落自身呼吸耗 C 耗能与光合固 C 固能的关系量为等值及呼吸商 $RQ=1$ 来估算。秋茄群落年净固定 113.41 g/m^2 的 C 素, 则该群落年能量的净固定量为 $1113.4 \times 469.312 = 43544 \text{ kJ/m}^2$ (这一数字与当年各组分热量实测值统计的年净能量固定量 43777 kJ/m^2 极为相近); 年 O_2 净释放量为 $1113.41 \times 32/12 = 2969 \text{ g/m}^2$ 。这表明了秋茄红树林, 在河口海湾生态系统中, 在物质的生产、能量的固定和氧气的释放以及维护 CO_2 的平衡 (年净吸收 CO_2 $1113.41 \times 44/12 = 4083 \text{ g/m}^2$) 均起着重要的作用 (见图 1)。

参 考 文 献

- 1 Larcher W. Physiological plant ecology. Berlin: Springer-Verlag, 1975, 150—157
- 2 Lugo A E and Snedacker S C. The ecology of mangrove. Annual Review of Ecology Systematics, 1974, 5: 39—64
- 3 Odum W E and Heald E J. The detritus food web of an estuarine mangrove community. Estuarine Research, Vol. 1 (Cronin L E ed), New York: Academic Press, 1975, 256—286
- 4 林鹏. 红树林. 北京: 海洋出版社, 1984, 30—33, 99—102

- 5 Macintosh D J. Fisheries and aquaculture significance of mangrove swamps, with special reference to the Indo-west Pacific region. *Recent Advances in Aquaculture* (Muir J F & R J Roberts eds) Colorado, Westview Press, 1982, 3—85
- 6 Teas H J. Silviculture with saline water. *The Biosaline Concept* (Hollaeader A ed). New York, Plenum Publishing Corporation, 1979, 117—161
- 7 陈明文. 红树林之特性. 中华林学季刊(台北), 1982, 15(2): 17—25
- 8 郑文教, 林鹏. 广西红海榄红树群落的氯钠动态. 植物学报, 1992, 34(5): 378—385
- 9 Twilley R R, Lugo A E and pallerson-Zucca C. Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology*, 1986, 67: 670—683
- 10 林鹏. 红树林研究论文集(1980—1989). 厦门: 厦门大学出版社, 1990, 100—180
- 11 林鹏. 红树林研究论文集(1990—1992)第二集. 厦门: 厦门大学出版社, 1993, 145—150
- 12 林鹏, 郑文教. 中国红树植物秋茄、海莲的生长量研究. 植物学报, 1986, 28(2): 224—228
- 13 云南大学生物系编. 植物生态学. 北京: 人民教育出版社, 1980, 109—110

STUDIES ON DYNAMICS OF CARBON, HYDROGEN AND NITROGEN ELEMENTS FOR *KANDELIA CANDEL* MANGROVE COMMUNITY IN FUJIAN, CHINA

Zheng Wen Jiao Xue Xiongzhi Lin Peng

(Research Center for Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, 361005)

The paper deals mainly with the contents, pool amounts and annual dynamics of C, H and N elements in 20-year-old *Kandelia candel* mangrove community in Jiulongjiang River Estuary of Fujian, China. The results showed that:

1. The C, H and N contents (%dw) in the various fractions of the plant were different. The range of content was: C 43.81%—51.22%, H 4.50%—5.68% and N 0.23%—1.80%, with atom ratio $C < 1 > H < 1.11—1.48 > N < 0.004—0.034$.

2. In the standing crop of the community, the pool amounts of C, H and N were 7457.53g/m², 837.48g/m² and 73.61g/m² respectively, among which the aerial part and underground part held 4423.36g · C/m², 489.11g · H/m², 43.83g · N/m² and 3034.17g · C/m², 348.37g · H/m², 29.78g · N/m² respectively.

3. The annual dynamics of C, H and N for the community were annual net fixing 1113.41g · C/m², net binding 124.37g · H/m², and 16.83g · N/m²; annual retention 684.88g · C/m², 77.15g · H/m² and 6.65g · N/m²; annual litter exporting 428.53g · C/m², 47.22g · H/m² and 10.18g · N/m².

4. For the community, the annual net energy production was about 43544kJ/m² and net O₂ giving out was about 2969g/m².

Key words: mangrove, *Kandelia candel*, C, H and N dynamic.