

淋溶在红树植物秋茄落叶分解失重 中的潜在作用*

范航清 林鹏

(厦门大学生物学系, 厦门 361005)

提要 于1986年冬—1989年秋在福建省九龙江口, 连续3年分季节进行红树植物秋茄落叶在林地滩面的分解实验, 并在室内测定其落叶和腐叶的可溶性物质含量, 定量探讨淋溶在落叶分解失重中的潜在作用。结果表明, 可溶性物质平均占落叶干重的27.26%, 这些可溶性物质中的87%在分解初期的快速淋溶阶段迅速损失, 可导致落叶初始干重损失24%。快速淋溶阶段持续时间平均分别是, 春季36d; 夏季, 13d; 秋季, 17d; 冬季, 56d; 大约相当于5/7的落叶半分解时间。淋溶速率随温度的上升而显著提高。这些说明, 淋溶不仅引起秋茄落叶在分解初期失重快, 而且也引起季节间分解速率的差异, 即在分解初期季节间差异大, 后期差异小。

关键词 红树林 秋茄 落叶 分解 淋溶 失重

由于海水引起的生境潮湿, 可溶性物质的淋溶过程在海洋高等植物死体或凋落物的分解失重中起重要作用 (Harrison et al., 1975; Cundell et al., 1979; Valiela et al., 1984; Camilleri et al., 1988)。至今国内尚缺这方面的研究, 国外的报道多限于泛论, 没有实地分解实验与室内测定相结合起来的定量研究。本文在研究秋茄落叶林地分解失重的某些特征规律的基础上, 定量探讨淋溶在分解失重过程中的潜在作用, 为深入了解和开发红树林生态系统提供理论依据。

1 材料与方 法

将12—2月, 3—5月, 6—8月和9—11月划分为冬、春、夏、秋4季。分解样地设于福建省龙海市浮宫镇草埔头村1962年营造的秋茄 (*Kandelia candel* (L.) Druce) 林内 (24°54' N, 117°23' E)。该地自然条件和红树群落的概况见卢昌义等文(1988)。研究工作分为实地分解实验和室内模拟测定两部分。

1.1 实地分解实验 实地分解实验从1986年冬—1989年秋, 共进行12次。每季实验开始时模拟自然风摇取刚脱落的衰老黄叶作落叶样。分解采用尼龙网袋法 (Fell et al., 1984)。每网袋盛落叶50g (鲜重), 网眼为5mm, 面积为30cm × 26cm (相当于50g落叶逐一紧挨平展所占的面积)。网袋随机平置于林下滩涂分解, 每隔7d收取一次, 每次3—6

* 国家自然科学基金资助项目, 4870293号。范航清, 男, 出生于1966年6月, 现在广西红树林研究中心工作, 广西北海 536000。

收稿日期: 1991年6月22日, 接受日期: 1994年7月12日。

袋。所得腐叶冲洗,烘干称重,研磨并过 60 号筛,备用。具体操作见卢昌义等(1988)。分解实验期间,每隔 3d 测日间最低潮时滩涂表层土(0—5cm)温,其平均值为该季节表层土均温。

1.2 室内淋溶实验 采用测定脂类的小纸包法进行(中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983)。小纸包由已知干重的滤纸折成。每包盛粉样约 0.7g,于 105℃ 烘干和灭菌 12h (Harrison et al., 1975), 称重。所得样包投于含 12ppt NaCl 的蒸馏水中(相当于分解林地河口水体的平均盐度)。水体在生化培养箱内恒温,用电动发泡器搅动,水量约为所投包内植物样总重量的 150 倍,每天更换鲜水 3 次。淋溶一定时间后取出,于 105℃ 烘至恒重,称重,求得失重百分率。每样品做 3 次平行测定。

在探讨水温对淋溶速率影响时,采用 10, 25 和 40℃ 水温梯度处理,所投样包分别于淋溶 1, 3, 5, 12, 18, 24, 31, 35, 48, 60h 时取出。其余淋溶测定条件均为 25℃, 60h。

2 结果与讨论

2.1 淋溶对落叶分解失重的影响

2.1.1 季节不同落叶的分解失重速率也不同 由网袋中落叶的初始干重和腐叶的残余干重可建立秋茄落叶分解失重的速率方程。Olson (1963) 提出的凋落物分解失重最佳指数衰减模型为:

$$W_t/W_0 = e^{-kt} \quad (1)$$

式中, W_t 为经 t 天分解后的腐叶残余干重(g); W_0 为落叶初始干重(g); k 为腐解率 [$g/(g \cdot d)$]; t 为分解天数(d)。对(1)式取自然对数得

$$\ln(W_t/W_0) = -kt \quad (2)$$

用(2)式分别对 12 次分解实数据进行拟合,求得分解速率方程。令 $\ln(W_t/W_0) = Y = \ln 0.5$, 代入所得方程,解得干重减半所需时间(半分解时间),见表 1。结果表明,春、夏、秋、冬的各季秋茄落叶的平均半分解间分别是 46, 20, 25 和 71d; 分解速率是夏>秋>春>冬;高的表层土温(见表 1)会加快分解过程。这一季节分解差异特征与卢昌义等(1988)的研究结果是相一致的。

2.1.2 季节不同落叶分解失重的过程也不同 平均分解率(MRD),反映分解失重过程的整体速率特征,其计算公式为:

$$MRD = \frac{W_0 - W_t}{W_0 \cdot t} \times 1000$$

式中,MRD 的单位为 $mg/(g \cdot d)$; W_t 为经 t 天分解后的残余干重(g); t 为分解天数(d); W_0 为初始干重(g); 1000 为克到毫克的转换系数。3 年间同季节 MRD 的均值显示,分解初期的失重快于后期,季节间分解失重速率的差异也最明显地出现于分解初期,而后随分解时间的推移差别越来越小。见图 1。导致如此分解失重特征规律的原因是多方面的,根据前人的研究和推测(Harrison et al., 1975; Cundell et al., 1979; Valiela et al., 1984; Camilleri et al., 1988),淋溶作用是一重要因素。

2.2 淋溶在分解失重过程中的效应

2.2.1 水温不同淋溶速率也不同 落叶的淋溶分解失重过程可用最大值理论方程来描述: $Y = X/(a + bX)$, 式中, Y 为干重损失百分率(%DW); X 为淋溶时间(h); a 和 b

表 1 各季节分解速率方程、半分解期、快速淋溶阶段持续时间和表层土均温

Tab. 1 Equation of the seasonal decomposition rates, half-time of decomposition, duration time of fast leaching stage and the mean temperature of topsoil during the period of three years from 1986 to 1989 in Jiulongjiang River Estuary, Fujian

季 节	年 份	分解速率方程 ¹⁾	相关系数 ²⁾	半分解时间 (d) ³⁾	快速淋溶阶段 (d) ³⁾	表层土均温(°C)
春	1987	$Y = -0.074 - 0.012t$	-0.9861	51.6	39.2	20.7
	1988	$Y = -0.062 - 0.017t$	-0.9905	37.1	28.4	18.6
	1989	$Y = 0.007 - 0.014t$	-0.9954	50.1(46.2)	39.4(35.7)	18.8
夏	1987	$Y = -0.249 - 0.021t$	-0.9513	21.1	14.1	28.2
	1988	$Y = -0.142 - 0.026t$	-0.9676	21.2	15.5	29.5
	1989	$Y = -0.379 - 0.018t$	-0.9874	17.5(19.6)	9.2(12.9)	29.4
秋	1987	$Y = -0.129 - 0.021t$	-0.9706	26.9	19.8	25.2
	1988	$Y = -0.291 - 0.018t$	-0.8898	22.3	14.1	20.1
	1989	$Y = -0.312 - 0.014t$	-0.9618	27.3(25.4)	16.6(16.8)	24.1
冬	1986	$Y = -0.037 - 0.011t$	-0.9403	66.4	52.9	14.6
	1987	$Y = -0.019 - 0.010t$	-0.9919	67.4	52.6	17.5
	1988	$Y = 0.028 - 0.009t$	-0.9909	80.1(71.3)	63.6(56.4)	13.0

1) $Y = \ln(W_t/W_0)$, 详见正文。 2) $P < 0.01$ 。 3) 括号内数据为 3 年平均值。

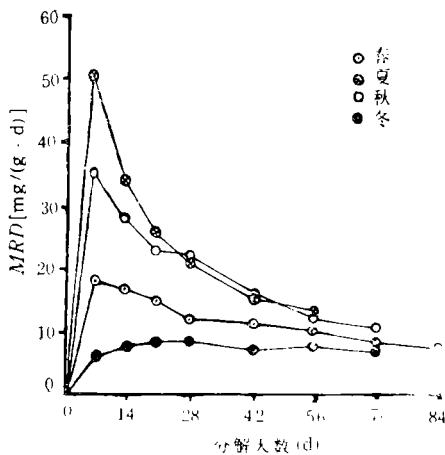


图 1 不同季节分解时的平均分解率(每点代表 3 年间同季节的平均值)

Fig. 1 Mean rates of decomposition for different seasonal decompositions during the period of three years from 1986 to 1989 in Jiulongjiang River Estuary, Fujian (Each dot represents the mean of values measured in the same season)

为拟合常数。对收集于 1990 年 1 月的秋茄落叶在 10, 25, 40°C 3 种温度的水体中淋溶不同时间后所得的数据进行拟合, 得到拟合方程和理论最大值(表 2)。拟合方程表明, 淋溶初期失重快, 后来越来越慢; 淋溶失重率随水温的提高而增大。这意味着自然分解中环境温度(尤其是水温)将直接影响落叶分解淋溶失重的快慢。

1990 年 1 月的秋茄落叶淋溶 60h 后, 其失重实测值与回归方程理论极大值相当接近(表 2)。说明用小纸包法室内淋溶 60h, 可溶性物质几乎全部溶出, 因而用小纸包法在 25°C, 60h 实验条件下测定落叶和腐叶可溶性物质含量的方法是合适的。

2.2.2 季节不同落叶中可溶物质的含量变化不大 在 25°C, 60h 时测得不同季节落叶中的可溶性物质(表 3)表明, 落叶中可溶性物质含量越高, 淋溶在分解失重中潜在的作用越大。虽然可溶性物质具有季节差别, 但总的看差别不大,

平均为落叶干重的 27.26%, 低于大红树 (*Rhizophora mangle*) 落叶中的可溶性物质含量 (32.4%) (Camilleri et al., 1986)。冬季可溶性物质含量较高, 这可能是秋茄的一种抗寒生理生态适应。

表 2 落叶在室内不同水温淋溶失重的拟合方程,失重率(%干重)的实测值跟理论最大值的比较
(落叶收集于 1990 年 1 月)

Tab. 2 Simulated equations, comparisons of the percent losses of dry weight between the measured and the theoretical maxima for the fallen leaves collected in January 1990 and leached at different water temperatures in laboratory

水温(°C)	10	25	40
拟合方程	$Y = X/(0.3789 + 0.0349X)$	$Y = X/(0.2396 + 0.0323X)$	$Y = X/(0.1348 + 0.0322X)$
相关系数	0.9882	0.9948	0.9882
<i>n</i>	10	10	10
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01
理论最大值	28.65	30.92	31.06
实测值(淋溶 60h)	27.60	29.60	32.29

表 3 3 年间不同季节落叶中的可溶性物质含量(%干重)

Tab.3 Contents of soluble matter(% dry weight) in the seasonally fallen leaves during the period of three years from 1986 to 1989

年 份	春	夏	秋	冬	总均值
1986	—	—	—	27.97	
1987	27.20	25.83	27.81	29.03	
1988	27.44	25.95	25.25	30.03	
1989	29.25	24.31	27.93	—	
平均值±SD	27.96±1.12	25.36±0.91	26.70±1.51	29.01±1.03	27.26

2.2.3 腐叶中可溶性物质浓度随分解程度的增强而下降 随机抽取 3 年中不同季节腐叶样品,测其可溶性物质含量变化同分解程度(以失重率表示)间的关系(见图 2)。可以看出,不同季节数据跟分解程度有很好的统一关系。随着分解的深入,腐叶中可溶性物质含量下降,变化的过程大致可分为 3 个阶段。

快速淋溶阶段 分解初期,可溶性物质浓度迅速下降,至落叶干重损失 42% (即残留干重 58%) 时,可溶性物质浓度约为 6%,即落叶中原有可溶性物质总量的 87% 已失去,可引起约 24% 的落叶初始干重损失,所以这一时期是淋溶最主要的阶段。据报道,海草 (Harrison et al., 1975)、盐沼植物 (Valiela et al., 1984) 和大红树落叶 (Cundell et al., 1979) 的分解初期都是一个快速淋溶阶段,本研究与之相同。

相对稳定阶段 落叶分解失重 42%—67% 之间,腐叶中可溶性物质浓度稍有上升,但仍维持于 6% 左右,相对稳定。这一现象可能是微生物大量繁殖产生的可溶性物质质量与淋溶量相近所致。

深入淋溶阶段 落叶分解失重超过 67% 之后,可溶性物质浓度再次下降,最低为 2.63%。随着分解的深入,一方面大分子难分解的纤维素、木质素成为腐叶的主要成份,微生物将这些大分子降解成小分子,产生可溶性物质的过程更加缓慢 (Maccubin et al., 1980; Melillo et al., 1982); 另一方面,这一阶段腐叶的破碎,使分解表面积增大,这会促进可溶性物质的进一步损失 (Harrison et al., 1975)。由于可溶性物质生成少而损失多,从而导致腐叶中可溶性物质浓度的再次下降。

2.2.4 季节不同落叶分解过程中快速淋阶段的持续时间也不同 上述结果已表明,落

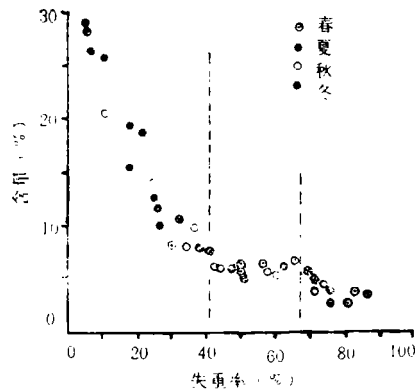


图2 不同分解程度中(以失重百分率表示)腐叶中可溶性物质含量的变化

Fig. 2 Content variations of soluble matter in decomposing leaves at different decomposition degree expressed as a percent loss of the initial dry weight during the period of three years from 1986 to 1989 in Jiulongjiang River Estuary, Fujian

叶失重 42% 之前为快速淋溶阶段, 即有 $(W_0 - W_1)/W_0 = 42\%$, 于是 $W_1/W_0 = 0.58$, 将之代入表 1 各季节分解速率方程, 解得各季快速淋溶阶段持续时间, 见表 1。结果表明, 不同季节快速淋溶阶段的持续时间明显不同, 春、夏、秋、冬的 4 季节各自平均值分别是 35.7d, 12.9d, 16.8d 和 56.4d, 相当于 5/7 的落叶半分解时间。这说明, 快速淋溶过程发生于落叶半分解时间内, 淋溶引起的干重损失是分解初期落叶分解失重的重要原因之一。经统计, 快速淋溶阶段持续的天数 (Y) 跟分解滩面表层土温 (T) 之间存在极显著的负相关关系: $Y = 93.13 - 2.89T$ ($r = -0.8788$, $P < 0.01$), 可见温度的上升会显著地提高淋溶速率。

3 结论

综上所述, 1) 秋茄落叶在林地滩面的分解速率都是分解初期快, 后期慢; 不同季节的分解速率是夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。这些特征均是在分解初期最为明显。2) 淋溶作用主要发生于落叶分解初期的快速淋溶阶段(大致 5/7 落叶半分解时间内), 可引起落叶约 24% 的干重损失, 而且淋溶速率显著地随温度的上升而提高。所有这些特点均说明: 淋溶不仅是引起秋茄落叶在分解初期失重快的重要原因, 而且也是引起秋茄落叶季节间分解速率的差异在分解初期大、后期小的重要原因。

参 考 文 献

- 中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983, 土壤农业化学常规分析方法, 科学出版社(北京), 257—271。
 卢昌义、林鹏, 1988, 两种红树植物落叶分解速率的研究, 厦门大学学报(自然科学版), 27: 679—683。
 Blum, L. K. et al., 1988, The abundance of bacteria and fungi in sea grass and mangrove detritus, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 42:73—78。
 Camilleri, J. C. and Ribi, G., 1986, Leaching of dissolved organic carbon (DOC) from dead leaves, formation of flakes from DOC, and feeding on flakes by crustaceans in mangrove, *Mar. Biol.*, 91:337—344。
 Cundell, A. M. et al., 1979, Microbial degradation of *Rhizophora mangle* leaves immersed in the sea, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 9:281—286。
 Fell, J. W. et al., 1984, *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*, ed by Snedaker, S. C. et al.,

UNESCO (Paris), pp. 239—251.

- Harrison, P. G. and Mann, K. H., 1975, Detritus formation from eelgrass (*Zostera marina* L.): the relative effects of fragmentation, leaching, and decay, *Limnol. Oceanogr.*, **20**:924—934.
- Maccubbin, A. E. and Hodson, R. E., 1980, Mineralization of detrital lignocelluloses by salt marsh sediment microflora, *Appl. Environ. Microbiol.*, **40**:735—740.
- Melillo, J. M. et al., 1982, Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics, *Ecology*, **63**:621—626.
- Newell, S. Y. et al., 1987, Rapid and pervasive occupation of fallen mangrove leaves by a marine zoospore fungus, *Appl. Environ. Microbiol.*, **53**:2 463—2 469.
- Olson, J. S., 1963, Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems, *Ecology*, **44**:322—331.
- Valiela, I. et al., 1984, Importance of chemical composition of salt marsh litter on decay rates and feeding by detritivores, *Bull. Mar. Sci.*, **35**:261—269.

POTENTIAL ROLE OF LEACHING IN WEIGHT LOSS DURING THE DECOMPOSITION OF MANGROVE *KANDELIA CANDEL* LEAF LITTER

Fan Hangqing[†], Lin Peng

(Department of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005)

ABSTRACT

The 1986—1989 seasonal *in situ* decomposition of mangrove, *Kandelia candel* (L.) druce, leaf litter in Jiulongjiang River Estuary, Fujian, was observed. The content of soluble matter in freshly fallen and decayed leaves was measured. In order to quantitatively evaluate the potential role of leaching in the process of weight loss during decomposition of leaf litter.

The results showed that there was a mean of 27.26% DW of soluble matter in the freshly fallen leaves, which was rapidly leached out during the early stage of decomposition. The process of leaching could be divided into three stages: fast stage, relatively stable stage and extensive stage. In the fast leaching stage, about 87% of original soluble matter was lost, giving rise to a loss of 24% of the initial leaf dry weight. The duration of the fast leaching stage, which considerably decreases with increasing water temperature, was average of 36d in spring, 13d in summer, 17d in autumn and 56d in winter, roughly equivalent to 5/7 of the half-time of leaf decomposition. Therefore, leaching was evidently responsible for both the rapid loss of leaf dry weight and the most significant differences between seasonal decomposition rates in the early decomposition stage.

Key words Mangrove *Kandelia candel* Leaf litter Decomposition
Leaching Weight loss

[†] Now working at Guangxi Mangrove Research Center, Beihai, Guangxi, 536000