

# 榕树叶片分解过程物质与能量动态变化研究<sup>\*</sup>

丁印龙 向平 谭忠奇 林益明<sup>\*\*</sup>

(厦门市园林植物园 厦门 361003) (厦门大学生命科学学院 厦门 361005)

**摘要** 对榕树叶片分解过程中物质与能量动态变化研究结果表明,叶片分解过程中干物质质量呈下降趋势,半分解期的理论值为101d,且与实测值十分接近。叶片分解过程中C含量前5个月变化较小,随后呈下降趋势;N含量升高,C/N值下降。分解初期单宁含量迅速下降,而分解后期其含量相对稳定;随榕树叶片分解可溶性糖含量下降而粗蛋白质含量呈上升趋势;分解过程中可溶性糖含量与单宁含量均遵循指数方程变化( $P < 0.01$ )。榕树落叶分解的前2个月其干物质热值略下降,之后2个月其干物质热值开始上升,特别是在分解的第4个月其干物质热值迅速上升并达最大值,之后干物质热值开始迅速下降。分解的第1个月去灰分热值略下降,第2个月开始上升,至第4个月达(半分解期)最高值,之后去灰分热值呈下降趋势。

**关键词** 榕树叶片 分解 热值 物质

**Study on the dynamics of matter and energy during the decomposition of *Ficus microcarpa* leaves.** DING Yin-Long (Botanical Garden of Xiamen City, Xiamen 361003), XIANG Ping, TAN Zhong-Qi, LIN Yi-Ming (College of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005), *CJEA*, 2005, 13(1): 53~56

**Abstract** The dynamics of matter and energy during the decomposition of *Ficus microcarpa* leaves are discussed in this paper. The results show that the dry matter of leaves declines during the decomposition of leaf, the theoretical value half-time of leaf decomposition is 101d, it is similar to the tested value; in the first 5 months, the C content changes little, then declines; N concentration increases and the ratio of C/N decreases; the tannin content rapidly decreases at the beginning of decomposition and then keeps stable in the later stage; the soluble sugar content decreases and the crude protein content increases during the decomposition; somewhat the gross caloric value decreases at the beginning of decomposition and then increases at the third and 4th month, and then decreases; the ash free caloric value increases with increasing degree of decomposition and then decreases.

**Key words** *Ficus microcarpa* leaf, Decomposition, Caloric value, Matter

凋落物分解是生态系统结构与功能研究的重点内容之一,目前对榕树凋落物分解研究尚未见报道。本试验研究涉及榕树凋落叶分解过程干物质质量、营养元素、有机化合物及能量变化的规律与特征,为有效管理与保护榕树提供理论依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

研究地位于厦门市园林植物园,该地年均气温21.1℃,年降雨量1036mm,为南亚热带季风性气候,土壤类型为砂质壤土,表层腐殖质较少。榕树落叶分解实验于2002年3~11月进行,用收集框收集一定量榕树落叶,采用尼龙网袋法每袋装落叶45g,网眼孔径5mm,网袋面积40cm×25cm(相当于落叶逐一紧挨平展所占面积),随机置于榕树林下。每月收集1次落叶,每次随机收集3袋,清除杂物后60℃烘干研磨过60号筛贮存备用。并取小样105℃烘干至恒重求其干物质质量。用干灰化法(即样品在550℃马福炉下灰化5h)测定其灰分含量。以 $K_2CrO_7$ 容量法测定C含量,用钠氏试剂比色法测定N含量,以钼蓝比色法测定P含量,用Folin-D法测定单宁含量<sup>[1]</sup>,以蒽酮比色法测定可溶性糖含量,用6.25×N%测定粗蛋白质含量。样品热值以干物质热值(每克干物质在完全燃烧条件下所释放的总热量,简称GCV)和去灰分热值(AFCV)表示,用长沙仪器厂生产的GR-3500型微电脑氧弹式热量计测定其热值含量,测定环境为空调控温20℃左右,每份

<sup>\*</sup> 福建省建设厅及厦门市园林局项目(YK2000-14)共同资助

<sup>\*\*</sup> 通讯作者

收稿日期:2003-11-28 改回日期:2003-12-31

样品多次重复,重复间误差控制在  $\pm 0.2 \text{ kJ/g}$ ,每次实验前用苯甲酸标定。样品去灰分热值计算公式为:

$$\text{去灰分热值} = \text{干物质量热值} / (1 - \text{灰分含量}) \quad (1)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 榕树叶片分解过程干物质量与灰分含量的变化

榕树叶片分解过程干物质量变化见表 1,随榕树叶片分解其干物质量呈下降趋势。Olson 提出凋落物分解失重最佳指数衰减模型:

$$W_t / W_o = e^{-kt} \quad (2)$$

式中,  $W_t$  为分解后的残余干物质量(g),  $W_o$  为初始干物质量(g),  $k$  为腐解率,  $t$  为分解天数<sup>[2]</sup>。对式(2)取自然对数得方程:

$$\ln W_t / W_o = -kt \quad (3)$$

将分解试验数据代入公式进行拟合,得方程:

$$Y = 0.1113 - 0.0041t \quad (r = 0.970, P < 0.01) \quad (4)$$

令  $\ln W_t / W_o = Y = \ln 0.5$ ,代入所得分解速率方程,求得榕树叶片半分解期理论值为 101d 且与实测值十分接近,表明 Olson 指数衰减模型适于榕树落叶分解的失重过程。

表 1 榕树叶片分解过程干物质量、灰分含量及其化学组分的变化

Tab. 1 Dry weight, content of ash and chemical constitute during the decomposition of *F. microcarpa* leaves

分解天数/d	干物质量/g	灰分含量/g kg <sup>-1</sup>	C/g kg <sup>-1</sup>	N/g kg <sup>-1</sup>	P/g kg <sup>-1</sup>	C/N	N/P
Decomposition days	Dry weight	Ash content					
0	45.00	166.7	456.7	7.7	0.82	59.31	9.39
30	40.28	159.0	447.7	11.0	0.71	40.77	15.46
60	36.94	171.7	454.1	9.4	0.73	48.31	12.88
90	29.32	167.2	452.8	13.3	0.70	34.05	19.00
120	23.05	163.9	454.1	16.0	0.72	28.38	22.22
150	18.17	178.6	457.2	16.1	0.85	28.40	18.94
180	9.25	151.8	421.5	17.6	0.83	23.95	21.20
210	8.67	110.3	407.9	13.5	0.79	30.21	17.09

灰分指植物体矿物元素氧化物的总和,不同植物以及不同发育期其含量不同,落叶分解过程中其含量也发生变化。榕树落叶分解前 5 个月灰分含量变化较小,之后 2 个月灰分含量迅速下降(见表 1)。落叶化学组分直接影响其分解过程,高 N 含量、低 C/N 值及木质纤维含量有利于落叶快速分解,分解过程及其速率相当程度上取决于分解初始化学组成。由表 1 可知叶片分解过程 C 浓度前 5 个月内变化较小,

随后呈下降趋势;但 N 浓度前 6 个月内趋于渐升,C/N 值呈下降趋势。凋落物分解过程中 N 浓度提高、C/N 值下降国内外已有广泛报道<sup>[3,5]</sup>,N 浓度提高的原因一是非氮化合物比含氮化合物分解快,从而相对提高分解残留物的 N 浓度。二是由于微生物迅速繁殖及其生物量提高所致,微生物对维管植物物质的利用和改造作用显著,腐叶或碎屑微生物生物量的增加会提高腐叶或碎屑的 N 含量。三是微生物对周围媒介 N 的固定化作用,如固 N 作用。而许多研究表明,分解物中与微生物生物量直接相关的 N 仅占总 N 的小部分。N 在分解残留物中存在的主要形式有植物蛋白、微生物蛋白和植物成分与微生物成分结合而成的复杂含 N 缩合物。近年一系列研究表明缩合物在分解物 N 含量提高中起重大的作用,凋落物分解中 N 含量提高是一种生物理化过程,微生物产生胞外酶,引起诸如多酚化合物和木质纤维等大分子降解,降解后部分产物如“反应性酚类物质”与含 N 化合物(主要来自微生物)缩合,这种降解-缩合过程贯穿于整个分解期,最终形成富含 N、稳定而不易被分解的大分子化合物,从而提高分解残留物中 N 含量的相对量或绝对量<sup>[5]</sup>。Bradley R. L.<sup>[6]</sup> 等研究认为,缩合单宁通过结合和隐蔽有机氮而减少了矿化氮的非生物循环。Odum 等研究发现,陆地、淡水和河口维管植物分解叶总 N 中 30% 的 N 为非蛋白 N,并认为这些 N 以难分解、稳定的几丁质或腐殖酸类化合物形式存在。Bradley R. L. 等研究表明缩合单宁对腐殖质中 N 循环起负效应。本研究认为 N 含量与单宁含量存在显著的线性负相关,其相关方程为:

$$y = -3.5005x + 58.085 \quad (r = 0.798, P < 0.05) \quad (5)$$

N 含量与可溶性糖含量存在极显著线性负相关,其相关方程为:

$$y = -2.7163x + 53.322 \quad (r = 0.872, P < 0.01) \quad (6)$$

## 2.2 榕树叶片分解过程有机化合物的变化

有机化合物的变化是凋落物分解失重的重要原因,对异养食碎屑动物而言,植物碎屑中可利用的有机化合物含量直接影响动物的摄食水平。单宁是水溶性有机化合物,是酶抑制剂和抗菌物质,抑制细菌、真菌在叶表面的繁殖,它和可溶性糖是构成可溶性有机物质的重要成分。表 2 表明随分解的深入,腐叶中单宁含量变化大致分 2 个阶段,一是快速淋溶阶段,叶片分解第 1 个月,单宁含量由 46.9(±1.2)g/kg 降至 19.0(±0.5)g/kg,下降 59.5%,分解第 4 个月单宁含量降至 5.2(±0.2)g/kg,下降 88.9%。前人研究也发现,海草和红树植物分解初期均存在 1 个快速淋溶阶段,与本研究结果一致。二是相对稳定阶段,叶片分解第 5 个月单宁含量由 2.9(±0.1)g/kg 降至 1.8(±0.1)g/kg,单宁含量相对稳定。Benner 等研究表明,高浓度单宁抑制微生物对植物物质的利用。本研究榕树叶片单宁含量遵循指数方程变化,其方程式为:

$$y = 32.068e^{-0.0148x} \quad (r = 0.981, P < 0.01) \quad (7)$$

植物落叶中可溶性糖含量均较低,本研究榕树落叶可溶性糖含量为 37.8(±1.8)g/kg,随分解的深入,可溶性糖含量下降。分解过程中可溶性糖含量也遵循指数方程变化,其方程式为:

$$y = 77.73e^{-0.2544x} \quad (r = 0.959, P < 0.01) \quad (8)$$

分解中溶出的可溶性糖和单宁极易被微生物利用,从而使其中的溶解碳(DOC)转化为颗粒碳(POC)进而形成沉积,成为较高营养价值的动物食物。与单宁、可溶性糖含量变化不同,随榕树叶片的分解,粗蛋白质含量有逐渐升高趋势。植物凋落物中可溶性糖和单宁可通过微生物转化而被动物利用,分解残留物中的粗蛋白质是动物易利用的营养物质。因此随榕树叶片的分解,高浓度单宁消除,粗蛋白质含量提高,榕树叶片更易被林下无脊椎动物和小型动物利用。

## 2.3 榕树叶片分解过程干物质质量热值与去灰分热值的变化

榕树鲜落叶(未分解)干物质质量热值为 18.96kJ/g,低于亚马逊地区森林落叶干物质质量热值 21.48kJ/g,略低于福建九龙江口红树植物秋茄鲜落叶的 19.36kJ/g<sup>[4]</sup>,高于广西红树植物红海榄(*Rhizophora stylosa*)落叶干物质质量热值 17.673kJ/g<sup>[2]</sup>,而与澳大利亚大红树黄叶干物质质量热值 19.01kJ/g 相近。图 1 表明榕树落叶分解前 2 个月干物质质量热值略下降,由初期的 18.96kJ/g 降为 18.78kJ/g 和 18.76kJ/g,之后 2 个月干物质质量热值开始上升,特别是分解的第 4 个月干物质质量热值迅速上升,达最大值 19.75kJ/g,比分解初期提高 0.79kJ/g,之后干物质质量热值又开始迅速下降。榕树鲜落叶(未分解)去灰分热值为 22.75kJ/g,明显高于福建九龙江口秋茄落叶 21.55kJ/g,稍高于福建和溪南亚热带雨林落叶 22.29kJ/g。分解第 1 个月其去灰分热值稍微下降,第 2 个月开始上升,至第 4 个月(120d,半分解期期间)升至最高值 23.62kJ/g,比分解初期高 0.87kJ/g,之后去灰分热值下降。落叶分解过程中热值提高也报道于其他植物中。Cundell 等将大红树黄叶在海水分解 70d 后,去灰分热值由鲜

黄叶的 21.74kJ/g 上升至 22.69kJ/g,提高 4.37%。Bocok 认为分解初期凋落物热值提高是失去相对低能有机化合物的结果。King 和 Health 研究发现,淋溶可提高分解过程中凋落物的热值。一般而言分子量越大、结构越复杂的化合物所含能量越大。研究表明,榕树落叶平均含量单宁为 46.9(±1.2)g/kg,可溶性糖为 37.8(±1.8)g/kg,它们在分解初期很

表 2 榕树叶片分解过程中单宁、可溶性糖与粗蛋白质含量的变化  
Tab. 2 Changes of tannin, soluble sugar and crude protein contents during the decomposition of *F. microcarpa* leaves

分解天数/d Decomposition days	单宁/g·kg <sup>-1</sup> Tannin	可溶性糖/g·kg <sup>-1</sup> Soluble sugar	粗蛋白质/g·kg <sup>-1</sup> Crude protein
0	46.9	37.8	48.1
30	19.0	25.8	68.6
60	10.6	25.6	58.8
90	8.1	14.2	83.1
120	5.2	13.9	100.0
150	2.9	8.9	100.6
180	2.4	10.2	110.0
210	1.8	6.1	84.4

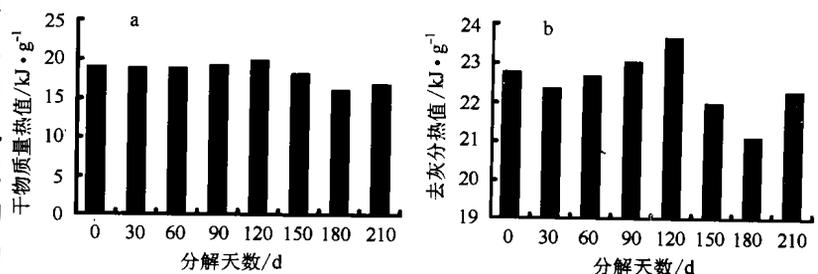


图 1 榕树叶片分解过程干物质质量热值(a)与去灰分热值(b)的变化

Fig. 1 Changes of gross calorific value(a) and ash free calorific value(b) during the decomposition of *F. microcarpa* leaves

快被淋溶,可提高大分子难分解有机物在腐叶中的相对浓度。

### 3 小 结

随榕树叶片分解干物质量呈下降趋势,半分解期理论值为 101d,与实测值十分接近,表明 Olson 指数衰减模型适于榕树落叶分解的失重过程。榕树叶片分解过程 C 浓度前 5 个月变化较小,但 N 浓度前 6 个月趋于渐升,C/N 值呈下降趋势。分解初期榕树叶片单宁含量迅速下降,分解第 1 个月单宁含量下降 59.5%,分解第 4 个月后单宁含量下降 88.9%,分解第 5 个月后单宁含量相对稳定;随榕树叶片分解,可溶性糖含量下降,粗蛋白质含量呈上升趋势,分解过程中可溶性糖含量与单宁含量均遵循指数方程变化( $P < 0.01$ ),N 含量与单宁含量存在显著线性负相关( $P < 0.05$ ),N 含量与可溶性糖含量存在极显著线性负相关( $P < 0.01$ )。榕树落叶分解的前 2 个月干物质量热值略下降,由初期的 18.96kJ/g 降为 18.78kJ/g 和 18.76kJ/g,之后 2 个月干物质量热值开始上升,特别是在分解的第 4 个月干物质量热值迅速上升,达最大值 19.57kJ/g,比分解初期提高 0.79kJ/g,之后干物质量热值开始迅速下降。榕树叶片分解第 1 个月去灰分热值略下降,第 2 个月开始上升,至第 4 个月升至最高值 23.62kJ/g,比分解初期高 0.87kJ/g,之后去灰分热值下降。

### 参 考 文 献

- 1 石 碧,狄 莹.植物多酚.北京:科学出版社,2000
- 2 尹 毅,林 鹏.广西红海榄红树群落能量研究.厦门大学学报(自然科学版),1993,32(1):100~103
- 3 卢昌义,尹 毅,林 鹏.红海榄林下落叶分解的动态.厦门大学学报(自然科学版),1994,33(增刊):56~61
- 4 范航清,林 鹏.秋茄红树植物落叶分解的碎屑能量研究.植物学报,1994,36(4):305~311
- 5 Hernes P.J., Benner R., Cowie G.L., et al. Tannin diagenesis in mangrove leaves from a tropical estuary: A novel molecular approach. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65(18):3109~3122
- 6 Bradley R.L., Titus B.D., Preston C.P. Changes to mineral N cycling and microbial communities in black spruce humus after additions of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  and condensed tannins extracted from *Kalmia angustifolia* and balsam fir. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32:1227~1240

## 国家环境保护总局采取 5 项措施 加强未成年人生态环境素质教育

为推动以创建绿色学校、绿色社区及开展环境教育基地活动为载体,加强未成年人的生态环境素质教育和道德建设,国家环境保护总局 2004 年 9 月下发的《关于加强未成年人生态环境道德观和价值观教育的通知》提出 5 项措施要求:一是各级环境保护部门要高度重视未成年人环境教育工作,全面推进环境保护系统精神文明建设,“一把手”亲自抓,把加强未成年人环境道德建设纳入环境保护中心工作统一部署,全盘考虑;二是要加强与社区管理部门的合作,推动未成年人积极参与“绿色社区”创建活动,培养未成年人从身边做起、从自己做起、热爱自然、热心环境保护、积极参与环境保护实践活动的环境意识;三是要加强与教育部门的合作,积极开展“绿色学校”创建活动,从教学改革、实践活动和学校管理等多方面推进环境教育的开展,培养学生环境意识和环境保护行为,引导师生参与全社会的环境保护行动;四是积极动员全社会为未成年人提供丰富多样的环境教育资源,建立形式多样、生动直观、便于参与的环境教育基地,为未成年人提供接触自然、接触社会、接触科学、接触环境保护工作的实践场所;五是加强交流,及时总结,积极探索对未成年人进行环境教育的有效途径,注重调研,及时发现和推广典型,不断把环境保护系统精神文明建设推向新阶段。国家环境保护总局提出的加强未成年人生态环境素质教育 5 项措施,从意识形态领域而言,是保护和改善环境、提高全民族的生态环境保护意识一项治本之策。观念和意识决定了人们的行为。在生态环境保护和污染治理方面,我们强调从被动的末端治理转向源头控制,从治标转向治本。而要想真正持续有效地使我们生活的环境得到改善,仅靠对现有污染的治理是远远不够的,那只是治标。关键还要对人们的意识进行“治理”,要提高人们的生态环境素质,让人们观念、意识和行为符合生态文明的要求,这才是治本。而抓住了孩子,抓住了未成年人的生态环境素质教育和道德建设,就是抓住了这种“治本”的源头,也就抓住了未来,拥有了建设生态文明社会的坚实基础,拥有了实现人与自然和谐的不竭动力,也就拥有了中华民族可持续发展的光辉明天,因此它是一项治本之大策。