

干热河谷罗望子人工林凋落物分解及养分释放^{*}

杨艳鲜^{1,2}, 冯光恒³, 潘志贤¹, 沙毓沧¹, 刘祖涵⁴, 纪中华¹

(1. 云南省农业科学院热区生态农业研究所, 元谋 651300; 2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205;
3. 云南省农业科学院, 昆明 650205; 4. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

提 要: 通过长期野外监测和分析, 研究了金沙江干热河谷罗望子人工林凋落物分解和养分释放动态。结果表明: 经过 420d 分解期, 林地 A 和林地 B 的凋落物残留率为 42.57% 和 29.22%, 半衰期为 0.87a 和 0.75a, 周转期为 4.81a 和 3.61a; 养分迁移方式, K 元素是淋溶-富集-释放; N、Ca、Mg、Cu 元素是富集-释放, Fe 元素是富集, P 元素在林地 A 和林地 B 中迁移方式略有差异; 养分释放特征, P、Ca、Mg 元素表现为净释放, 七种元素释放率大小, 林地 A 和林地 B 均为: Ca > K > P > Mg > N > Cu > Fe; P、K、Ca、Mg 元素易分解和循环, 返回林地时间较短, 易被林木吸收。罗望子林凋落物的分解总体特征符合亚热带气候的地带性特点, 受气温和降雨量影响较小。

关键词: 罗望子人工林; 凋落物; 分解; 养分释放; 干热河谷

中图分类号: S718.55

文献标识码: A

凋落物与土壤和植被一样, 在生态系统中起着举足轻重的作用^[1]。森林生态系统从环境中吸收的养分, 通过凋落物的形式归还给林地系统, 凋落物通过分解, 逐渐向土壤和空气中释放营养元素, 凋落物分解是森林生态系统能量转换与物质循环的主要途径, 对维持系统土壤肥力、物质循环和养分均衡、保持植物再生长等发挥着重要的作用^[2,3]。研究估计, 植物凋落物分解过程中每年释放的营养元素可满足 69% ~ 87% 的森林生长需量^[4]。森林凋落物分解研究, 从 1876 年, 德国学者 Ebermayer 研究凋落物在养分循环中的作用后^[3], 国外学者 Berg, Singh 等^[5,6], 国内学者田大伦、郭忠玲等^[7,8] 对世界不同范围森林凋落物的分解及养分释放做过大量报道。

罗望子(*Tamarindus indica* Linn.) 又称酸角、罗晃子、酸梅(海南)、“木罕”(傣语), 苏木科 Caesalpiniaceae 罗望子属 *Tamarindus*, 原产非洲, 抗旱、耐瘠、适宜各类土壤, 宜栽培管理, 是热带亚热带常绿乔木型果树。其果可作为酸角糖、汁等的原料, 也可直接食用, 有营养、药用、避暑等功效, 市场开发前景较好。目前, 国内外学者对罗望子人工林的水分生理、水土保持效益、自然资源利用效率、栽培等研究较多, 但对凋落物的相关研究未见报道, 作者曾对林地凋落量和养分归还特征^[9] 进行报道, 文中继续探索该人工林凋落物分解及养分释放特征, 旨在为人工林系统物质循环规律和自肥机制的研究提供理论基础, 最终达到科学管理林地土壤养分, 指导生产的目的。

1 试验地概况

试验地位于金沙江干热河谷元谋县云南省农业科学院热区生态农业研究所生态恢复试验区, 年均气温 21.9℃, 终年基本无霜, 年降雨 623.95mm, 集中在 6 ~ 10 月份, 占年降雨量的 90%, 年蒸发量 3507.2mm, 为降雨量的 5.6 倍, 干燥度 2.8。罗望子林地 A 和 B 种植年限均为 15 年, 株行距均为 6m × 8m, 林地 B 于 2003 年留主干 1.2m 重新嫁接成林, 建林前 12 年, 林下套种牧草等适宜作物, 林地条件(表 1)。凋落物分解期内试验区月平均气温、降雨量(图 3)。

* 收稿日期: 2011-12-30; 修回日期: 2012-5-9。

基金项目: 十二五国家支撑项目“2011BAC09805”和云南省攻关项目“2011CA009”和所长基金项目 RQS2009-3 资助。

作者简介: 杨艳鲜(1977-), 女, 助理, 主要从事生态农业和水土保持相关研究工作。E-mail: yyyx99@163.com

通讯作者: 纪中华(1963-), 女, 研究员, 主要从事生态农业研究及生态恢复工作。E-mail: rjsjzh@tom.com

表 1 试验地概况
Tab. 1 General information of the study sites

样地	林分特征			年凋落物		土壤性质(0-40cm)							
	树高	地径	冠幅	总量	容重	孔隙度	有机质	全 N	全 P	全 K	水解 N	有效 P	有效 K
	(m)	(cm)	(m×m)	(t·hm ⁻²)	(g·cm ⁻³)		(%)					(mg·kg ⁻¹)	
A	7.72	31.4	6.4×7.1	9.61	1.59	40.00	0.92	0.05	0.03	0.68	27.91	6.54	122.34
B	3.50	25.6	2.9×3.2	3.44	1.53	42.30	0.33	0.02	0.01	0.41	10.72	1.66	60.45

2 研究方法

2.1 凋落物的收集及处理

在罗望子人工林内,按对角线法设凋落物收集器 15 个,分别按林冠下、林隙边缘和林隙中心 3 个微环境层次进行收集,每个层次 5 个重复,每月定期收集 1 次,共 12 个月,每次凋落物均带回室内除杂,在 80℃ 下烘干至恒重后留用,最后,将每次收集的含叶、枝、花、果各组分的凋落物充分混匀,一部分留作分解前养分测定,另一部分用做林下分解试验。

2.2 凋落物林下分解试验

凋落物分解速率研究采用分解袋法。用精度 0.001g 电子天平称取混匀留用且恒重的凋落物 90 份,每份 50g,分别装入孔径 1mm,规格 25cm×40cm 的尼龙分解袋内,将分解袋按对角线法随机埋置于罗望子林冠下、林隙边缘和林隙中心 3 个微环境层次,每个层次埋置 30 份,埋置时与自然分解状态接近。林地 A 和 B 埋置方法一致。取样品袋时间为分解后 0d(预留样)、45d、120d、180d、240d、340d、420d,在 3 个层次的 5 个不同埋置点取样 15 个,去杂后用烘干法测定凋落物残留量,凋落物分解动态采用失重率法。对每次取回处理好的样品进行养分测定。

2.3 养分测定与数据分析

养分测定由云南省农业科学院昆明诚尔信农业分析测试技术有限公司进行。全 N 用半微量凯氏法测定,全 P 用钼锑抗比色法测定,全 K、Ca、Mg、Fe、Cu 用火焰光度法测定。数据应用 Excel2003、SPSS 17.0 进行分析。

2.4 失重率和养分释放率

(1) 凋落物失重率: $D_{w1} = (\Delta W / W_0) \times 100$

式中: D_{w1} 为失重率(%) ; ΔW 为每次分解时间所取样品的失重量(g) ; W_0 为投放时分解袋内样品的重量(g) 。

(2) 凋落物分解期失重率(每一个分解阶段的失重率): $D_i = (\Delta W_i - \Delta W_{i-1} / W_0) \times 100$

式中: D_i 为第 i 分解期的失重率(%) ; ΔW_i 为第 i 分解期所取样品的失重量(g) ; W_{i-1} 为 i-1 个分解期样品的失重量(g) 。

(3) 凋落物养分释放率: $\Delta e_i = ((e_{i-1} - e_i) / e_0) \times 100$

式中: Δe_i 为第 i 月养分释放率(%) ; e_{i-1} 为第 i-1 月养分残留量(mg) ; e_i 为第 i 月养分残留量(mg) ; e_0 为凋落物初始养分含量(mg) 。当 Δe_i 为正时,养分元素表现为净释放,为负时表现为净富集。

3 结果分析

3.1 凋落物的分解

3.1.1 凋落物的失重率

森林凋落物的分解是生态系统物质循环和能量转换的主要途径,既有物理过程,又有生物化学过程,一般由淋溶、自然粉碎、代谢等作用共同完成^[4],不同分解阶段失重的快慢有较大差异。由图 1 和图 2 可知:林地 A 和 B 凋落物的分解失重率随时间的推移而不断增大。在 0-45d 内,林地 A 和 B 失重非常明显,失重率林地 A 达 31.84%,林地 B 达 28.76%,分解期失重率在整个分解期内也最高,林地 A 和 B 分别为 21.23%和 19.19%;第 45 至 120d,林地 A 和 B 分解期失重率明显降低至 0.76 和 2.48%;120-240d,失重率平稳提高,240-340d 再次下降;340-420d 再次明显提高,且林地 B 的失重率 24.78%明显大于林地 A 的 8.73%。总体上,林地 A 和林地 B 月失重率出现 45-120d 和第 240-340d 两个低谷,分解期失重率最低,失重较缓慢,凋落物分解呈现快-慢-快规律。分解初期"快"是因为水热同期和降水淋溶作用,

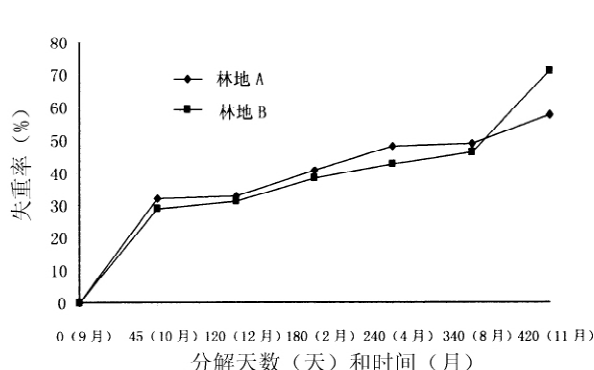


图 1 凋落物失重率(%)的时间变化

Fig. 1 Temporal change of
litter decomposition rate

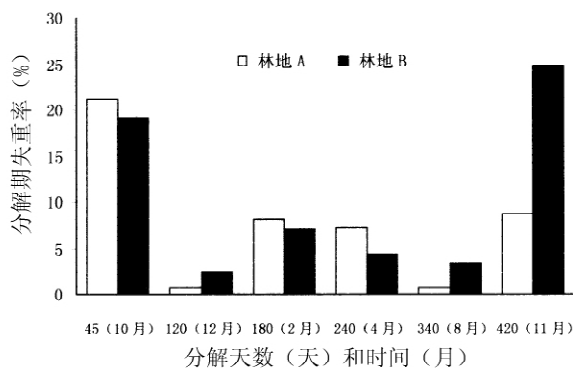


图 2 凋落物不同分解期失重率(%)的时间变化

Fig. 2 Temporal change of litter decomposition rate
in different decomposition date

使凋落物中的有机酸、糖类、蛋白质等可溶性有机物和 K、Ca、Mg 等无机成分受淋溶损失所致, 后来速度减慢则是因为难分解的纤维素和单宁等物质的积累所致。再经过一年的物理、化学、气候等作用, 凋落物中难分解物质出现了第二次分解速度的高峰。

3.1.2 分解期失重率与气象因子的关系

影响凋落物分解速率大小的因子主要有凋落物特性、气候、微生物和土壤动物及环境条件等^[5 6], 不同气候条件或分解阶段, 各因子的重要性也不同。通过对林地凋落物分解期失重率与气象因子的相关性分析可得: 林地 A 和 B 分解期失重率与分解期平均气温的相关系数分别是 0.0746 和 0.1655, 与分解期降雨量的相关系数分别是 0.1659 和 0.1707。结合图 2 和图 3 可见, 平均气温和降雨量对两林地凋落物分解速度的影响不明显, 相关性较低。

3.1.3 凋落物分解速率模型

表 2 不同林分下调落物分解模型

Tab. 2 Litter decomposition models in different forests

林分	回归方程	相关系数 R^2	$T_{0.5}$ (月/年)	$T_{0.95}$ (月/年)
林地 A	$y = 0.83445e^{-0.0016t}$	0.8476	10.44/0.87	57.72/4.81
林地 B	$y = 0.91272e^{-0.0022t}$	0.8192	9.0/0.75	43.37/3.61

凋落物年分解动态可用 Olson 指数衰减模型 $y = ae^{-kt}$ ^[10] 来拟合, 并估算出凋落物的半衰期 $t_{0.5}$ (凋落物分解 50% 时所需年限) 和周转期 $t_{0.95}$ (凋落物分解 95% 时所需年限), 模型中 y 为凋落物月残留率%, a 为拟合参数, t 为分解时间(月); k 为凋落物分解系数, k 值越大, 凋落物分解速度越快。由表 2 可知, 经过模型拟合, 林地 A 和 B 的相关系数 R^2 均达到显著水平, 拟合效果良好, 平均分解速率林地 B 略大于林地 A。根据模型计算林地 A 的半衰期为 10.44 个月, 与图 1 中试验结果约 11.5 个月对应, 说明 Olson 指数衰减模型估算的半衰期基本符合实际情况, 但林地 B 的半衰期为 9 个月, 与试验结果约 12 个月出入略明显, 主要是因为试验过程中林地 B 的凋落物在分解约 11.3 月后, 表现出较快的分解速度, 影响了拟合模型中的 k 值, 从而从总体上提高了林地 B 的分解速率, 致使林地 B 的理论半衰期比试验结果小。由于凋落物完全分解所需时间较长, 根据此次试验数据无法判断用 Olson 模型估算的凋落物周转期所需年限是否符合实际情况, 有待进一步验证。

从分解速率来看, 在凋落物分解约 50% 之前, 林地 A 的分解速率始终高于林地 B, 但经过约一年的分解期后, 林地 B 分解速率明显提高, $t_{0.95}$ 周转期仅 43.37 个月, 比林地 A 的 57.72 个月提前 14.35 个月, 是否因林地 B 的郁闭度 0.3 低于林地 A 的郁闭度 0.91, 使其风吹日晒充足而加快了后期的分解速率, 还有待进一步验证。

3.2 凋落物养分释放

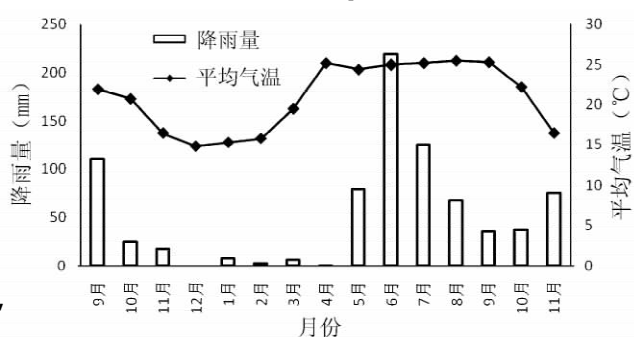


图 3 凋落物分解期内气候因子时间变化

Fig. 3 Temporal change of meteorological factor
in decomposition date

3.2.1 凋落物分解过程中养分含量变化

凋落物分解过程中营养元素会发生迁移,不同物种、生态系统和元素,表现特征不同,主要迁移模式有^[11]:1)淋溶-富集-释放;2)富集-释放;3)直接释放。N、P 等元素,在植物落叶前易转移再利用,造成凋落物中的低浓度^[3]。淋溶作用也会使 N、P 等元素浓度降低,养分含量不能满足微生物需要时,微生物会固定养分,造成养分富集^[12]。养分富集也可能和物理吸附有关,凋落物中养分含量能满足微生物需要时,这些元素会随枯落物分解,直接被释放^[13]。由图 4a、4b 和 4c 可知,林地 A 和 B 凋落物分解过程中, N、Ca、Mg 元素浓度在前 240d 内先升后降,属富集-释放迁移模式; K 元素浓度在 45d 内先下降,45-180d 弱上升,之后又下降,属淋溶-富集-释放迁移模式; Fe 元素总趋势是富集; Cu 元素浓度在 120-180d 内有微弱上升,呈现富集-释放迁移模式。林地 A 中 P 元素浓度一直下降,属直接释放。林地 B 中 P 元素浓度在 120d 内微弱上升,可能与凋落物中养分释放速率小于干重损失,或富集了土壤动物、微生物、降雨等的元素有关,属富集-释放迁移模式。

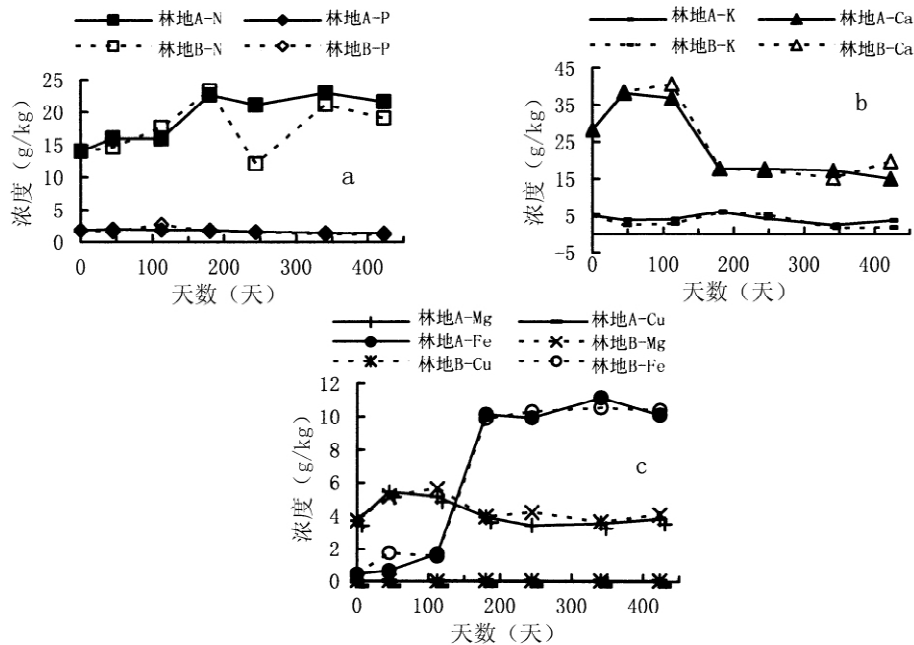


图 4 凋落物分解过程中养分元素含量变化

Fig.4 Temporal change of nutrient contents in litter decomposition process

3.2.2 凋落物养分元素释放率

由图 5 可知,七种元素在林地 A 和 B 中的释放规律基本一致,表现出相同的变化趋势。在 420d 的分解期内, P、Ca、Mg 元素的释放速率均为正,为净释放, P 元素的释放高峰期在 0-120d 内,45d 时最高释放率达 36.12%, Ca 和 Mg 元素的释放高峰期均在 120-240d 内,180d 时最高释放率达 59.88%。N 元素在 120、180 和 340d 时,表现为净富集,净富集率最低 5.92%,最高为 32.5%; K 元素在 120 和 180d 时,表现为净富集,净富集率最低 2.43%,最高为 33.84%; Cu 元素在 180d 时,表现为净富集,净富集率高达 268.75%; Fe 元素在 45、120 和 180d 时,表现为净富集,净富集率高达 1159.86%。七种元素释放率大小均为: Ca > K > P > Mg > N > Cu > Fe。总体上, P、K、Ca、Mg 元素在林地 A 和 B 中的养分释放率已达到 59%-90%,大部分养分已被释放,表明这些元素易分解和淋溶,循环周期短,能较快返回林地供林木生长。

4 讨论

金沙江干热河谷属于亚热带地区,郭剑芬^[3]等研究表明亚热带凋落物年分解速率一般为 40-70%,罗望子林地 A 和 B 凋落物年分解速率约 50%,在亚热带凋落物年分解速率范围内。两种林地凋落物分解失重率均出现先快后慢的变化规律,这与梁宏温^[14]和邱尔发^[15]等的研究结果相似。平均气温和降雨量对罗望子凋落物分解失重率影响较小,这与李海涛^[2]、郭剑芬^[3]等研究的温度是影响凋落物分解速度主

导因子,水分通过淋溶作用和影响分解者活性而影响凋落物分解速率的结论相反,还需进一步探讨。

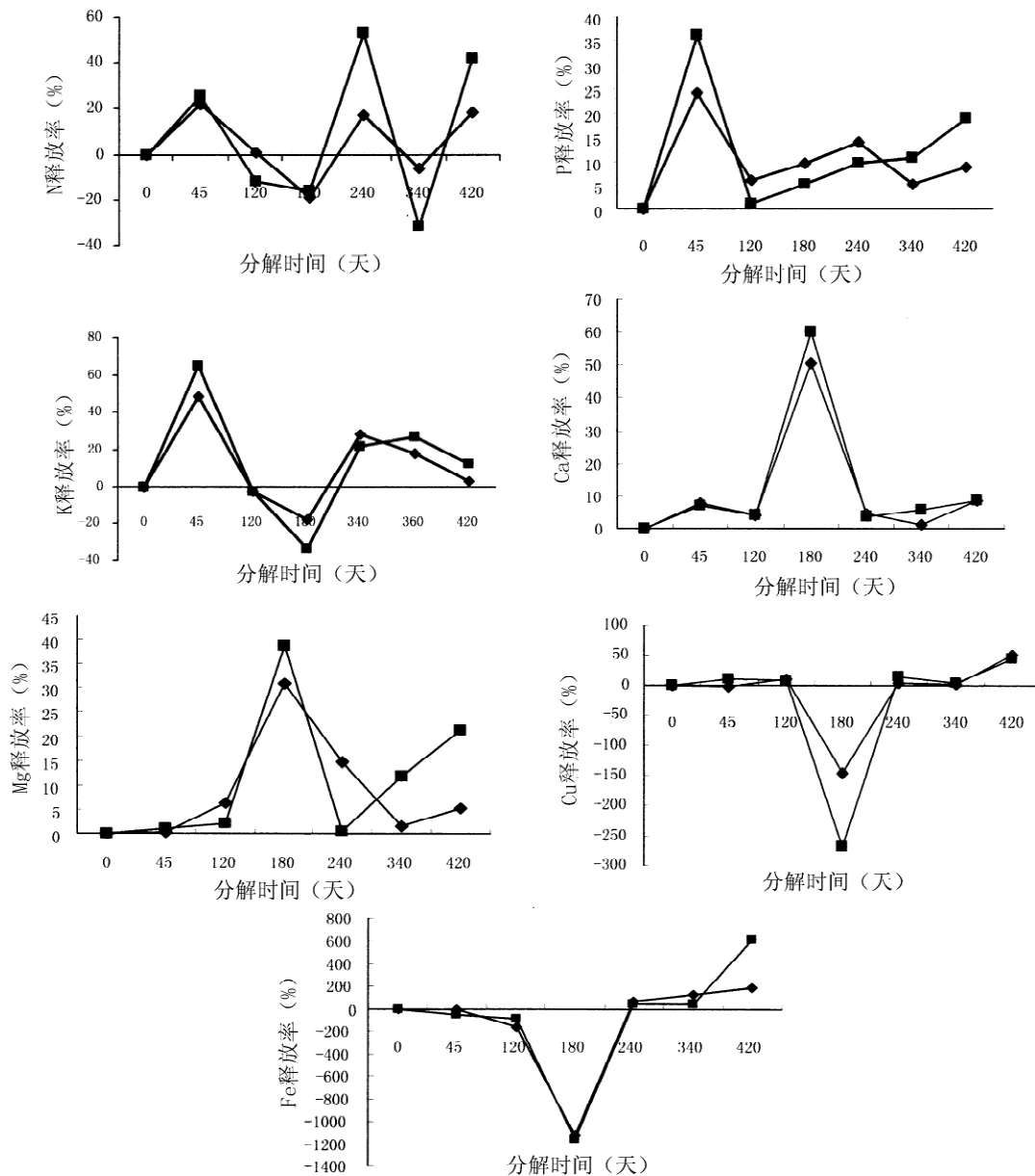


图 5 不同林分凋落物养分元素释放率的时间变化

Fig. 5 Temporal change of litter nutrient elements release rate in different forests

注: 图 5 中菱形方块曲线代表林地 A, 正方形方块曲线代表林地 B。

罗望子林地 A 和 B 凋落物分解半衰期为 0.87a 和 0.75a, 周转期 4.81a 和 3.61a。刘文飞等^[16]研究的亚热带桉树人工林周转期为 3.03a - 4.66a。李海涛等^[2]研究的亚热带马尾松林、混交林、湿地松林和杉木林人工林周转期为 4.49a、5.78a、7.50a、6.09a。亚热带季风区的鼎湖山地凋落物周转期为 2 - 8a。文中结果与同属亚热带气候的各类人工林研究结果相似, 符合凋落物分解的气候特点。罗望子凋落物分解初期 N 出现富集, 验证了某些森林枯落物分解过程中可能会有自生固氮菌的侵入, 使分解前期产生 N 富集现象^[2]。

5 结论

罗望子人工林凋落物年分解速率约 50%, 平均气温和降雨量不是影响凋落物分解的主导因子。林地 A 和 B 凋落物半衰期为 0.87a 和 0.75a, 周转期为 4.81a 和 3.61a。凋落物养分分解特征, K 元素表现淋溶 - 富集 - 释放迁移方式, N、Ca、Mg、Cu 元素表现富集 - 释放迁移方式, Fe 元素总趋势是富集。P 元素在林

地 A 中直接释放,在林地 B 中表现富集 – 释放,七种元素释放规律表现出相同的变化趋势,释放率大小均为 $\text{Ca} > \text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{N} > \text{Cu} > \text{Fe}$ 。P、K、Ca、Mg 元素易分解循环,可被罗望子林短时间内重复利用。

参考文献

- [1]王永明,王忠武,韩国栋,等. 典型草原不同放牧强度凋落物的持水能力[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(9):155–159.
- [2]李海涛,于贵瑞,李家永,等. 亚热带红壤丘陵区四种人工林凋落物分解动态及养分释放[J]. 生态学报,2007,27(3):898–908.
- [3]郭剑芬,杨玉盛,陈光水,等. 森林凋落物分解研究进展[J]. 林业科学,2006,42(4):93–100.
- [4]Warning R H, Schlesinger W H. Forest Ecosystems: Concepts and Management[M]. New York: Academic Press, 1985: 181–210.
- [5]Berg B, Berg M P, Bottner P. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality[J]. Biogeochemistry, 1993, 20: 127–153.
- [6]Singh K P, Singh P K, Tripathi S K. Litterfall, litter decomposition and nutrient release patterns in four native tree species raised on coal mine spoil at Singrauli, India[J]. Biology and Fertility of Soil, 1999, 29: 371–378.
- [7]田大伦,朱小年,蔡宝玉,等. 杉木人工林生态系统凋落物的研究 II: 凋落物的养分含量及分解速率[J]. 中南林学院学报,1989,9(增):45–55.
- [8]郭忠玲,郑金萍,马元丹,等. 长白山各植被带主要树种凋落物分解速率及模型模拟的试验研究[J]. 生态学报,2006,26(4):1037–1046.
- [9]杨艳鲜,潘志贤,冯光恒,等. 罗望子人工林凋落量及养分归还特征[J]. 福建林学院学报,2010,30(4):320–326.
- [10]Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems[J]. Ecology, 1963, 44(2):322–331.
- [11]王瑾,黄建辉. 暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较[J]. 植物生态学报,2001,25(3):375–350.
- [12]李志安,邹碧,丁永祯,等. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展[J]. 生态学杂志,2004,23(6):77–83.
- [13]章志琴. 杉木与阔叶树凋落物分解特征的比较及其混合分解研究[D]. 福建农林大学,2005.
- [14]梁宏温. 田林老山中山杉木人工林凋落物及其分解作用的研究[J]. 林业科学,1993,29(4):355–359.
- [15]邱尔发,陈卓梅,郝郁善,等. 麻竹同地笋用林凋落物发生、分解及养分归还动态[J]. 应用生态学报,2005,16(5):811–814.
- [16]刘文飞,樊后保,沈芳芳,等. 连续年龄序列桉树人工林凋落物分解的研究[J]. 水土保持学报,2010,24(6):132–136.

Decomposition dynamics and nutrient release of litters of *Tamarindus indica* Linn. artificial forests in dry – hot valley, China

YANG Yanxian^{1,2}, FENG Guangheng³, PAN Zhixian¹, SHA Yucang¹, LIU Zuhan⁴, JI Zhonghua¹

(1. Institute of Tropical Eco – Agricultural Sciences, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou 651300, P. R. China;

2. Agricultural Environment and Resources Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, P. R. China;

3. Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, P. R. China;

4. Key Laboratory of Geographic Information Science Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, P. R. China)

Abstract: Based on field investigation and lab analysis, the decomposition dynamics and nutrient release of litters of *Tamarindus indica* Linn artificial forests were studied in Dry – Hot valley. The results showed that after 420 days of decomposition, the litters remaining rate in the two sites were estimated to be 42.57% and 29.22%, respectively. Derived from Olson equations, the 50% and 95% decomposition times for forest A and B were 0.87a and 0.75a, 4.81a and 3.61a, respectively. The elements of K consistently showed the decomposition pattern of eluviation – enrichment – release. The elements of N, Ca, Mg and Cu consistently showed the decomposition pattern of enrichment – release. The element of Fe consistently showed the decomposition pattern of enrichment. The decomposition pattern of P was different in forest A and B. The elements of P, Ca and Mg consistently showed the nutrient release characteristics of simple release. The order of releasing speeds of elements from litter was $\text{Ca} > \text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{N} > \text{Cu} > \text{Fe}$. The decomposition and cycle process of P, K, Ca and Mg were easy, and the four elements would be absorbed by trees easily. The decomposition characteristics of litters conformed the decomposition features of litters in subtropical climate. Temperature and rainfall couldn't effect on the decomposition of litters very good.

Key words: *Tamarindus indica* Linn artificial forest; litters; decomposition; nutrient release; dry – hot valley