

# 植物篱枝叶有机碳分解研究\*

孙 辉<sup>1,2</sup> 唐 亚<sup>2</sup> 赵其国<sup>1</sup> 张炎周<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

**摘 要** 研究植物篱枝叶的分解和养分矿化过程对该模式下养分的有效利用具有重要意义。在金沙江干热河谷坡耕地上利用分解袋法对新银合欢、山蚂蝗等 6 个植物篱树种枝叶的分解进行了研究。结果显示山蚂蝗和新银合欢分解最快, 前 2 个星期有机碳分解了 48.6% 和 50.0%; 山毛豆和云南合欢次之, 前 4 星期有机碳累积分解量为 51.5% 和 45.6%; 圣诞树和黑荆树分解最慢; 将枝叶埋入土壤中比覆盖地表分解快。有机碳的分解规律可以用单指数模型  $C_1 = C_0(1 - e^{-kt})$  和双指数模型  $C_1 = C_{01}(1 - e^{-k_1t}) + C_{02}(1 - e^{-k_2t})$  拟合(式中,  $C_1$  为有机碳累积分解量占全碳百分数,  $C_0$ ,  $C_{01}$  和  $C_{02}$  分别为易分解有机碳和难分解有机碳百分数,  $k$  和  $k_1$  分别为易分解有机碳分解常数,  $k_2$  为难分解有机碳分解常数), 双指数模型更具合理性。研究表明有机碳的累积分解量与枝叶初始 C/N 比呈负相关, 枝叶分解速度可用有机碳(或易分解有机碳)半减期来衡量。

**关键词** 等高固氮植物篱, 枝叶, 有机质, 分解

中图分类号 S153.621

等高固氮植物篱间作(Contour N-fixing hedgerow intercropping)是一种特殊农林复合经营模式, 即在坡地上每隔 4~8m 沿等高线培植与作物种植带相间的固氮植物篱, 植物篱之间为作物种植带, 用于种植农作物。植物篱的主要功能是水土保持和土壤培肥, 植物篱生长到一定高度要刈割, 以避免与农作物争光, 同时作为绿肥或地表覆盖物, 进行土壤培肥和水土保持。国外用于植物篱的树种多限于新银合欢(*Leucaena leucocephala*)、墨西哥丁香(*Gliricida sepium*)和南美朱樱花(*Calliandra calothyrsus*)等几种<sup>[1,2]</sup>。中国科学院成都生物研究所宁南县山区持续发展实验站自 1991 年开展等高固氮植物篱模式的研究以来, 一直重视植物篱树种的多样性, 以增加系统的抗风险能力和便于农民进行多种经营, 经过对 30 余个固氮树种的选择试验, 已筛选出 6 个较适合当地环境的固氮植物篱树种, 并对等高植物篱培肥土壤和水土保持效果进行了研究<sup>[3,4]</sup>。

将刈割的植物篱枝叶作绿肥来改善土壤肥力是等高植物篱模式的主要功能之一。在植物残体分解过程方面, 国内外进行了较多研究。Lupwayi 等用指数模型很好地拟合了新银合欢有机碳分解过程<sup>[5]</sup>; Bross 等研究了洋槐和苜蓿枝叶覆盖在地表和埋入土中两种方式对分解的影响, 并分析了木质素对分解的影响<sup>[1]</sup>。国内的研究多以农作物秸秆和绿肥

\* 国际山地中心(ICIMOD)ATSCFS 项目(1991~2001)、四川省青年科技基金和中科院成都地奥科学基金资助

† 现为中国科学院南京土壤研究所和成都生物研究所联合培养博士研究生

收稿日期: 2000-08-16; 收到修改稿日期: 2001-02-11

如紫云英、绿萍、稻草和水葫芦等<sup>[6-8]</sup>草本植物或枯枝落叶为实验材料,用砂滤管法对植物残体分解速率及残体化学组成、气候和土壤性质等因素对分解的影响作了研究。除新银合欢外,国内外对可用于植物篱的其它木本固氮植物新鲜枝叶分解过程方面的研究不多,而研究木本固氮植物新鲜枝叶分解过程对该模式中养分有效利用具有重要意义。本文报道对6个固氮植物篱树种枝叶有机碳分解过程的研究结果。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验地点

实验区位于四川省宁南县六铁乡马桑坪的中国科学院成都生物研究所宁南县山区持续发展实验站内。实验区海拔1400~1485m,坡向西南,坡度 $18^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ;属于金沙江干热河谷气候,旱季雨季明显,年降雨量660~1140mm,平均915.1mm,5~10月的雨季降雨量占全年的87.9%;实验小区土壤为褐红壤,坡度 $18^{\circ}$ ,表土有机质 $15.01\text{g kg}^{-1}$ ,全氮 $0.92\text{g kg}^{-1}$ ,有效磷 $2.7\text{mg kg}^{-1}$ ,速效钾 $383.2\text{mg kg}^{-1}$ ;实验期间7月、8月、9月平均气温分别为 $24.1^{\circ}\text{C}$ 、 $23.3^{\circ}\text{C}$ 和 $22.6^{\circ}\text{C}$ ,降雨量分别为153.4mm、110.1mm和153.0mm。

### 1.2 试验方法

实验采用分解袋法(Litterbag method)<sup>[2,9]</sup>,从1999年7月10日到10月2日历时12个星期。实验用植物篱树种有任氏山蚂蝗(*Desmodium rensonii*)、山毛豆(*Tephrosia candida*)、云南合欢(*Albizia yunnanensis*)、圣诞树(*Acacia dealbata*)、黑荆树(*Acacia mearnsii*)和新银合欢。将实验树种的新鲜枝叶分别切成长约2cm的小段,混合均匀后装入60目锦纶网袋中,并作上标记。网袋尺寸为 $15\text{cm} \times 20\text{cm}$ ,每袋装入的新鲜枝叶量和网袋重量在实验开始时准确称量,并取样烘干换算为干物质量。新鲜枝叶量为30~50g,随不同树种而异,相当于不同植物篱树种时每公顷坡耕地的枝叶使用量。实验分为三组进行:不同植物篱枝叶埋入土壤中的分解情况;新银合欢枝叶置于地表和埋入土壤中的分解情况;新银合欢叶和新银合欢枝叶在埋入土壤条件下分解的差异,均为3次重复。埋入土壤中的网袋均与水平面成 $45^{\circ}$ 角,上面覆盖15cm厚的土壤,在网袋埋设位置上标记以便取样;置于地表的网袋均水平置于地表。取样时间依次为第0、1、2、3、4、6、8、10、12(星期)。每次采集的网袋在 $60^{\circ}\text{C}$ 烘干称重,有机碳用丘林法测定。数据用EXCEL2000软件统计分析和规划求解。

## 2 结果与讨论

### 2.1 植物篱枝叶有机碳的分解

2.1.1 不同植物篱树种枝叶中有机碳的分解 不同植物篱枝叶有机碳累积分解量如图1所示。可以看出,山蚂蝗和新银合欢枝叶埋入土壤处理在前2个星期分解最快,分解量也是6个树种中最高的,分别达48.6%和50.0%;山毛豆和云南合欢枝叶次之,前2个星期分解量分别为30.4%和31.9%;圣诞树和黑荆树枝叶分解最慢,累积分解量最低,到12个星期有机碳累积分解量才43.1%和35.5%。除圣诞树外,5个树种枝叶前4个星期累积分解量占12个星期累积分解量70%以上,因此植物篱枝叶在这期间分解最快。

不同树种枝叶的有机碳分解速率与枝叶组成有关<sup>[7,9]</sup>。在雨季,山蚂蝗、新银合欢、云南合欢等生长迅速,生物量大,木质化程度低,分解较快;而圣诞树和黑荆树枝条木质化程度较高,单宁含量也较高(黑荆树还是优良的栲胶树种),有机碳分解很慢。另外,枝叶

碳氮比也影响有机碳的分解, 图 2 为 6 种植物篱枝叶或叶埋入土壤中 12 个星期累积分解量与其初始 C/N 的关系, 表明有机碳累积分解量与初始 C/N 比呈负相关, 枝叶的初始 C/N 比越高, 12 个星期累积分解量就越低。

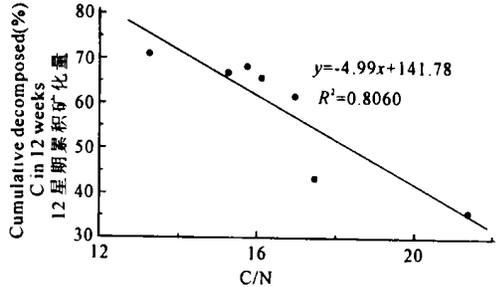
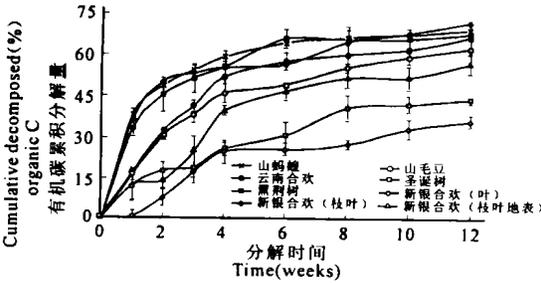


图 1 不同植物篱枝叶埋入土壤中或覆盖地表有机碳累积分解量

图 2 枝叶 C/N 与 12 星期枝叶有机碳累积分解量的关系

Fig.1 Cumulative decomposed organic C in prunings from different hedgerow species

Fig.2 Relationship between organic C decomposed in the first 12 weeks and initial C/N ratio of different prunings

2.1.2 新银合欢枝叶有机碳不同处理下的分解 新银合欢枝叶埋入土壤中有机碳分解在 6 个星期内差不多已达到稳定, 明显比置于地表快; 而覆盖地表的枝叶除在第 2~ 4 星期分解稍快外, 其分解速率缓慢而平稳, 有机碳累积分解量到第 8 个星期才达到 50.8%, 仅与埋入土壤处理前 2 星期的分解量相当。可见植物篱枝叶覆盖地表相比, 埋入土壤中可促进分解。

2.1.3 枝叶不同部分中的有机碳分解 枝叶中枝条、叶和叶柄的比例不同, 分解速度也不同, 同时对其它养分的分解亦有影响<sup>[2]</sup>。将新银合欢叶埋入土壤中, 与枝叶混合的处理相比, 在前 2 个星期分解速率不及枝叶混合施用, 其机理有待进一步研究。叶中有机碳在前 2 个星期可分解 45.1%, 二者的分解量在第 8 个星期时相近, 此后枝叶混合处理的累积分解量缓慢上升, 叶的累积分解量则趋于平缓。

2.2 枝叶有机碳累积分解量的拟合模型

2.2.1 单指数模型 枝叶有机碳累积分解量可以用单指数模型<sup>[5]</sup>很好地拟合:

$$C_t = C_0(1 - e^{-kt})$$

式中,  $C_t$  为  $t$  时刻有机碳累积分解百分数,  $C_0$  为易分解有机碳百分数,  $k$  为分解常数。

表 1 是对不同枝叶的分解过程用该模型通过规划求解所得的参数。从表中可看出, 不同植物篱枝叶的易分解有机碳百分比相差甚远。任氏山蚂蝗、山毛豆、云南合欢和新银合欢枝叶中易分解有机碳比例较高, 均在 60% 以上, 圣诞树和黑荆树枝叶中易分解有机碳比例较低。新银合欢叶与新银合欢枝叶混合施用相比, 易分解有机碳比例有所升高, 分解速度则明显降低。山蚂蝗和新银合欢枝叶在埋入土壤处理时  $k$  值最大, 山毛豆和云南合欢枝叶有机碳分解速度次之, 圣诞树和黑荆树枝叶分解常数最小; 同一树种枝叶是否埋入土壤中, 分解常数的差异也很大, 如新银合欢枝叶置于地表时, 其分解常数仅为埋入土壤中时的 27%。

表 1 单指数模型拟合的枝叶有机碳分解过程参数

Table 1 Parameters of prunings organic C decomposition fitted by model  $C_t = C_0(1 - e^{-kt})$ 

植物篱树种 Hedgerow species	$C_0$ (%)	$k$ (week <sup>-1</sup> )	$R^2$
任氏山蚂蝗	66.39	0.6736	0.9820
山毛豆	60.75	0.3240	0.9949
云南合欢	69.90	0.3178	0.9596
圣诞树	48.25	0.1928	0.9835
黑荆树	41.67	0.1541	0.9557
新银合欢	63.78	0.7017	0.9773
新银合欢(叶)	65.67	0.5711	0.9921
新银合欢(地表)	63.23	0.1894	0.9701

2.2.2 双指数模型 如果将单指数模型加以改进, 加上难分解有机碳的部分<sup>[10]</sup>, 对枝叶有机碳分解过程和分解速率有更恰当的理解, 可改写为双指数模型:

$$C_t = C_{01}(1 - e^{-k_1 t}) + C_{02}(1 - e^{-k_2 t})$$

式中,  $C_t$  为有机碳累积分解百分数,  $C_{01}$  为易分解有机碳百分数,  $k_1$  为易分解有机碳分解常数,  $C_{02}$  为难分解有机碳百分数,  $k_2$  为难分解有机碳分解常数。

不同枝叶的双指数模型参数列于表 2。与单指数模型所得的参数相比, 易分解有机碳比例  $C_{01}$  比  $C_0$  均有所降低, 而易分解有机碳的分解速率  $k_1$  则有所上升, 这是由于单指数模型在拟合时未区分难分解有机碳的分解量, 这也是单指数模型下易分解有机碳比双指数模型高的原因; 双指数模型考虑了难分解有机碳, 更符合实际情况。

表 2 双指数模型拟合植物篱枝叶有机碳分解过程的相关参数

Table 2 Parameters of prunings organic C decomposition fitted by  $C_t = C_{01}(1 - e^{-k_1 t}) + C_{02}(1 - e^{-k_2 t})$ 

植物篱树种 Hedgerow species	$C_{01}$ (%)	$k_1$ (week <sup>-1</sup> )	$C_{02}$ (%)	$k_2$ (week <sup>-1</sup> )	$R^2$
山蚂蝗	53.73	1.0481	46.27	0.0327	0.9961
山毛豆	43.36	0.4683	56.64	0.0320	0.9971
云南合欢	47.00	0.4975	53.00	0.0458	0.9679
圣诞树	11.29	1.2679	88.71	0.0412	0.9858
黑荆树	30.66	0.1913	69.34	0.0102	0.9551
新银合欢(枝叶)	45.19	1.4553	54.81	0.0504	0.9968
新银合欢(叶)	54.68	0.7728	45.32	0.0295	0.9947
新银合欢(枝叶地表)	62.07	0.1920	37.93	0.0020	0.9700

### 2.3 植物篱枝叶有机碳半减期

在植物篱模式下枝叶主要用途之一是供给种植带农作物养分, 因此需要根据枝叶分解速度和农作物长势来决定植物篱枝叶的使用时间, 提高农作物对枝叶的利用率。用枝叶的半减期可以很好地衡量枝叶分解速度和短期内向农作物养分供给的能力, 在实际生

产中也有很强的操作性。枝叶半减期即枝叶全部干物质(或有机碳)分解一半所需要的时间,不同植物篱枝叶全碳半减期和易分解有机碳半减期列于表 3。从表中可看出,在单指数模型中山蚂蝗和新银合欢枝叶的全碳半减期最短,山毛豆、云南合欢枝叶和新银合欢枝叶作地表覆盖物时半减期较长,但不能确定圣诞树、黑荆树枝叶的全碳半减期。

双指数模型中易分解碳半减期比单指数模型所得结果大为缩短,全碳半减期变化不大且与实测结果极为相近。双指数模型可确定圣诞树和黑荆树全碳半减期,分别为 97.3 天和 229.7 天,这对于确定分解缓慢的枝叶的半减期十分重要。

表 3 两种模型下植物篱枝叶有机碳半减期

Table 3 Half life of prunings organic C(OC) and decomposable organic C(DOC) fitted by the two models(d)

植物篱树种 Hedgerow species	$C_t = C_0(1 - e^{-kt})$		$C_t = C_{01}(1 - e^{-k_1t}) + C_{02}(1 - e^{-k_2t})$	
	全碳半减期	易分解碳半减期	全碳半减期	易分解碳半减期
	Half life of OC	Half life of DOC	Half life of OC	Half life of DOC
任氏山蚂蝗	14.5	7.2	14.0	4.6
山毛豆	37.4	15.0	40.4	10.4
云南合欢	27.7	15.3	28.8	9.8
圣诞树	—	25.2	97.3	3.8
黑荆树	—	31.5	229.7	25.4
新银合欢(枝叶)	15.2	6.9	16.7	3.3
新银合欢(叶)	17.5	8.5	17.5	6.3
新银合欢(枝叶地表)	57.8	25.6	57.9	25.3

在实际应用中可根据枝叶有机碳半减期控制施用枝叶的时间,使其供肥效果最好。如新银合欢植物篱模式下,可在农作物需肥高峰时间来临之前 2 个星期将枝叶施入作物种植带并用土壤掩埋,以满足作物生长所需养分,使枝叶养分释放与农作物需肥同步。同样,如果在农作物生长初期植物篱需要,而农作物需肥水平又较低时,则应将枝叶用于覆盖地表来抑制杂草和防治土壤侵蚀,同时又可达到控制其分解和养分释放速度的目的。

### 3 结 论

1. 植物篱枝叶有机碳累积分解量随时间增加,可用单指数模型  $C_t = C_0(1 - e^{-kt})$  和双指数模型  $C_t = C_{01}(1 - e^{-k_1t}) + C_{02}(1 - e^{-k_2t})$  拟合,后者更符合实际情况。通过拟合参数可确定不同枝叶易分解有机碳比例及分解常数。

2. 不同枝叶有机碳累积分解量差异很大,6 种植物篱枝叶埋入土壤中 12 星期的累积分解量与枝叶的初始 C/N 比成负相关。

3. 植物篱枝叶的分解速度各不相同,可用枝叶中全部有机碳(或易分解碳)的半减期来衡量,山蚂蝗和新银合欢枝叶中全碳半减期最短,仅为 14 天和 16.7 天,黑荆树最长达 229.7 天。

4. 新银合欢植物篱枝叶使用方式影响其有机碳分解速度, 枝叶埋入土壤中比枝叶覆盖地表分解快, 易分解有机碳分解常数增大。枝叶不同部分分解速度不同, 新银合欢枝叶中有机碳比新银合欢叶中有机碳分解快, 但易分解碳比例降低。

### 参 考 文 献

1. Bross E L, Gold M A, Nguyen P V. Quality and decomposition of black locust and alfalfa mulch for temperate alley cropping systems. *Agroforestry Systems*, 1995, 29(3): 255~ 264
2. Xu Z H, Saffigna P G, Myers R J K, Chapman A L. Nitrogen cycling in leucaena alley cropping in semi-arid tropics. I Mineralization of nitrogen from *leucaena* residues. *Plant and Soil*, 1993, 148(1): 63~ 72
3. 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱改善坡耕地土壤养分状况的研究. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(5): 473~ 477
4. 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 固氮植物篱防治坡耕地土壤侵蚀效果研究. *水土保持通报*, 1999, 19(6): 1~ 5
5. Lupwayi N Z, Haque I. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands: I. Deposition and nutrient release. *Soil Fertil. Soils*, 1999, 28: 182~ 195
6. 程励励, 文启孝, 吴顺龄, 等. 植物物料的化学组成和腐解条件对新形成腐殖质的影响. *土壤学报*, 1981, 18(4): 360~ 367
7. 林心雄, 程励励, 徐宁, 等. 田间测定植物残体分解速率的砂滤管法. *土壤学报*, 1981, 18(1): 97~ 102
8. 林心雄, 文启孝, 徐宁. 广州地区土壤中植物残体的分解速率. *土壤学报*, 1985, 22(1): 47~ 55
9. Marianne Sarrantonio. Methodology for Screening Soil-improving Legumes. Kutztown, USA: Rodale Institute Research Center, 1991. 191~ 193
10. 孙波, 林心雄. 土壤有机质的生物学稳定性及其转化模型. *土壤学进展*, 1994, 22(1): 18~ 25

## ORGANIC CARBON DECOMPOSITION PATTERNS OF HEDGEROW PRUNINGS UNDER CONTOUR HEDGEROW SYSTEM

Sun Hui<sup>1,2</sup> Tang Ya<sup>2</sup> Zhao Qi-guo<sup>1</sup> Zhang Yan-zhou<sup>2</sup>

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

2 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041)

### Summary

Contour hedgerow system has been promoted for soil conservation and soil fertility improvement through the use of prunings for the system as mulch green manure. However, decomposition process of organic C in the prunings is a key factor affecting nutrient release of prunings. Organic C decomposition of prunings from six species of hedgerows was studied by the litterbag method. The results indicated that most of the decomposable organic C decomposed within the first 2 weeks in the prunings from *Desmodium rensonii* and *Leucaena leucocephala*, within 4 weeks from *Tephrosia candida* and *Aldizia yunnanensis*, and more than 8 weeks from *Acacia dealbata* and *Acacia mearnsii*. Organic C of prunings incorporated into soil decomposed faster than that used as mulch. Cumulative percentage of decomposed organic C could be fitted well by exponent models  $C_t = C_0(1 - e^{-kt})$  or  $C_t = C_{01}(1 - e^{-k_1 t}) + C_{02}(1 - e^{-k_2 t})$  (where  $C_t$  represents organic C by time  $t$ ,  $C_0$  and  $C_{01}$  represent the decomposable fractions of organic C,  $C_{02}$  is the resistant fraction of organic C in the prunings, and  $k$ ,  $k_1$  and  $k_2$  are the rate constants of  $C_0$ ,  $C_{01}$  and  $C_{02}$ , respectively), and the latter model seems to be more reasonable. The results also indicated that initial C/N ratio was negatively correlated with percentage of C decomposed during the first 12 weeks. It was recommended that half life of prunings organic C could be used as a criterion for their nutrient availability to crops in short period under contour hedgerow intercropping.

**Key words** Contour hedgerow system, Prunings, Organic matter, Decomposition