

热带农田林业系统：近期发展及研究成果

汉斯·约希姆·韦代尔特（德）

树木和每年粮食状况具有密切相关性，这被认为是热带土地利用系统的一个特点。所有热带区域的例子表明，作为传统轮垦制的一部分，农民们将树木从其原生地移入农田以保护土壤或生产林果产品。这种方式已在现代农田林业中不断发展着。

农田林业因此与树木与田地作物结合有关。这两者或同时或前后连贯，互相影响着。

在传统轮垦制中，树木只是偶尔成活，树木与农田作物的结合并不稳定；而在混农作业法中，树木则是有目的地种植。这种种植或与农田垦作同步，或迟于农田垦作2—3年时间。

古典混农作业法，最早是19世纪后半期由白兰迪斯（Brandis）在英国殖民地印度发展起来的，之后在非洲和亚洲的广大热带区域扩散开来。在该作业法中，树木被认为是最为重要的部分。因此，在爪哇塔姆旁撒里（Tumpangsari）制（为混农作业法的变体）中，在2—3年混合农作之后，为80—100年的纯林业（柚木）轮作期。其中，仅有3—4%的区域用于农业。

在人口稠密区，我们发现在政治影响下适宜农业区域的土地利用形式不断多样化。不断增长的人口、食物的缺乏、农业区土地退化以及柴林的短缺

均要求土地利用形式更密切地与人们的需求相一致。在现在产出水平上，到2000年117个发展中国家中将会有64个不能保证食物自给。因此，通过热带地区树木与食物生产过程的结合，以利用生物自然有利条件，发展适当的土地利用形式，将成为现代林民和农民面临的一大急需解决的问题。

马朗（MaLang）和马吉朗（MageLang）制这个方向上最早的工作，是17世纪末在爪哇东部引入马朗和马吉朗制，当地称作“马—马制”。这里，人们不用柚木作为林业轮作期树种，而是采用短期轮作的多用途树种，以固定空气中的氮。表1为该农林制的时间尺度概要。

表1 爪哇东部的马朗和马吉朗农林制（4个带状变异）

带	1—5年	6—10年	11—15年	16—20年
I	农业作物	松 属	松 属	松 属
II	朱缨花属	农业作物	金合欢属	金合欢属
III	金合欢属	金合欢属	农业作物	金合欢属
IV	松 属	松 属	松 属	农业作物

朱缨花属 *Calliandra Calothyrsus* 种 轮作期：5年
早叶相思树 轮作期：10年
南亚松 轮作期：15年

表2 爪哇东部普章的马—马制中林带种植（6个带状变异）

带	1—5年	6—10年	11—15年	16—20年	21—25年	26—30年
I	松 属	松 属	松 属	农业作物	松 属	松 属
II	合欢属	合欢属	农业作物	松 属	松 属	松 属
III	朱缨花属	农业作物	松 属	松 属	松 属	松 属
IV	农业作物	松 属	松 属	松 属	松 属	松 属
V	松 属	松 属	松 属	松 属	松 属	农业作物
VI	松 属	松 属	松 属	松 属	农业作物	松 属

苏门答腊松 轮作期：15年
朱缨花属 *Calliandra Calothyrsus* 种 轮作期：5年 } 仅在早期阶段
马刺甲合欢 轮作期：10年 }

满足需要。我相信，全球经济比较地理学应成为我们未来的重要部分，它必须被赋予大量特殊文化模型，其中每个的经济结构和增长的后果互不相同。在每个这种模型中，行为将嵌入文化中并产生图案重复——结构，它既强化文化又是经济地理学的本

质，它又被根除功能失调的强有力的负反馈强化，而且经由正反馈补偿力能够变化。世界经济地理的差异中有丰富的认识要发展。这种差异的文化基础的辩证是朝向重构经济地理概念核心的第一步。

郑长德译自1989年第1期英文《经济地理学》。

表 2 为 6 个带状变异的实践。该例子位于爪哇东部的普章 (Pujon) 山区, 在它早期阶段引入了可改善土壤的豆科树种, 其它阶段仅种植苏门答腊松。农田周围植以浓密黑荆树和银合欢, 形成与山坡等高线平行的树篱, 以此可促使自然梯田形成。马朗和马吉朗农林制及其变形仍处于试验阶段, 因此, 并不能通过该例归纳出什么结论。梅茨纳 (Metzner) 指出在这个转化中存在一些问题。

在塔姆旁撒里制中, 96~97% 的地面被植以柚木; 而在马-马制中, 林木的种植面积已经减少到 75~85%。

行道树-农作制 (AC 制) 近 10 年来发展起来新型农林制, 考虑了正日益增长的人口压力, 仅把树木保护土壤肥力的作用放在次要地位, 代之以强调农业生产。行道树农作法 (AC) 便是如此。该方法是尼日利亚热带农业国际研究所 (IIIA) 正从事的专门研究的主题。

行道树农作法的原理是以对空间的严格管理为基础。在该方法中, 树木被行隔 4—6 米种植, 两行树间为农业作物。树木以其环境特定要求而被截去树梢。树叶通过深层循环过程供应土壤养分, 改善土壤结构并保护土壤免遭侵蚀 (图 1)。如果采用可通过根瘤菌固化大气中氮元素的树种, 生态系统中氮的富集过程将随之产生。人造肥料也可应用。某些条件下, 树叶可用于喂养奶牛, 但是这可导致 AC 生态系统中养分的损耗。

行道树农作制中的基本变量包括: a) 采用树种的生物量生产、固氮和水分需求的差异状况; b) 农作生产类型的需求和要素差异; c) 树木和农作间面积分区, 树行间距; d) 通过增施肥料的特定养分输入; e) 通过取用柴林和树叶饲料的特定养分输出; f) 区位条件;

这些要素的结合提供了一个无边无际的研究领域。现在造林研究所正从事行道树农作制的多种调查研究, 有的正在规划, 有的已经开始 (如危地马拉、斐济、印度和中国等)。

行道树农作制中树的选择 在 AC 制中的理想树种必须符合以下基本要求: a) 可便于通过播种、移栽或插枝造林; b) 疏开的树冠; c) 根网深下 (上吸养分、减少根部与农作物的竞争); d) 易构成灌丛; e) 固氮能力 (根瘤菌或放线菌类共生); f) 快速成长, 高生物量生产; g) 多用途 (柴火、饲料等); h) 良好的纤维分解力, C: N 比适中。

关于在 AC 制中的树种, 曾经进行过一系列的试验。湿润一半湿润热带低地区, 银合欢属和墨西哥丁香属生长良好, 其它适宜的树种见表 3。直到目前, 适宜干旱区和海拔较高的热带区的树种仍十分少。就高海拔热带区而言, 也许桉木属树种和洋槐可以适宜, 但需要进一步研究。至今在这方面发表的成果仍十分有限。此外, 适宜酸性土壤的树种也十分缺乏, 银合欢属 *Leucaena leucocephala* 种和墨西哥丁香根本不能茁状成长。

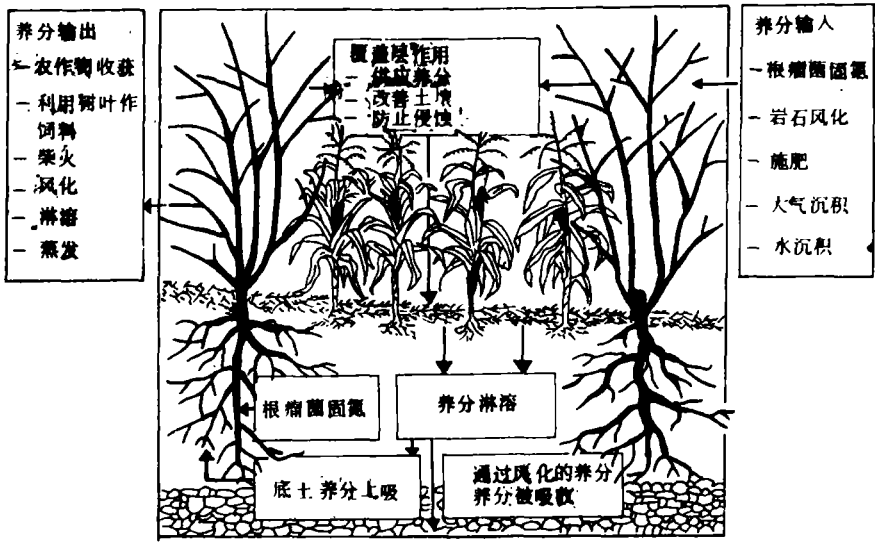


图 1 行道树农作制生态系统的效果

当选择 AC 适宜的树种时, 生物量产量和树叶养分含量十分重要。表 4 概要展示这种情况。

据报告, 最高的生物量生产是铁刀木, 它和苏木属一样, 没有根瘤菌, 然而通过其高生物量生产,

表 3 行道树农作制中适宜 (或潜在适宜) 树种及其场地需求条件的初步分类

树 种		湿润/半湿润低地	半干旱/干旱区干	高度 > 1000	适宜酸
		干早期 < 5 个月	早期 > 5 个月	米 (海拔)	性土壤
木 豆		×	×	×	×
田 菁属	Sesbania 种	×	×	×	
千斤拔		×	×	×	
铁刀木		×	(×)	×	
银合欢属	Leucaena leucocephala 种	×	(×)	×	否 (!)
墨西哥丁香	Gliricidia sepium 种	×	(×)		×
山麻杆属	Alchornea cordifolia 种	×			×
木田菁		×			
Acioa barteri		×			×
短萼灰毛豆		×			×
银合欢属	Leucaena colinsii 种			×?	
银合欢属	Leucaena esculenta 种			×?	
银合欢属	Leucaena diversifolia 种			×?	
桤 木属	Alnus nepalensis 种			×?	×
桤 木属	Alnus jorullensis 种			×?	×
洋 槐				×	

表 4 行道树农作制中不同树种的生物量和养分产量 (树行间距 4 米)

树 种		树叶干重	养分 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)				
		($1 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)	N	P	K	Ca	Mg
铁刀木		21.8	373	39	199		
银合欢属	Leucaena leucocephala 种	7.4	247	20	181	98	16
墨西哥丁香属	Gliricidia sepium 种	5.5	169	11	149	104	18
山麻杆属	Alchornea cordifolia 种	4.0	85	6	48	42	8
Acioa barteri		3.0	41	4	20	15	5
铁刀木			15.0	g N/kg		树叶干重	
墨西哥丁香属	Gliricidia sepium 种		30.7	g N/kg		树叶干重	
银合欢属	Leucaena leucocephala 种		33.4	g N/kg		树叶干重	

以较高的 N、P、K 通过循环过程供应土壤。

然而, 该树种木很少被用作 AC, 因为其生长旺盛, 压抑农作物生长。银合欢属的 *Leucaena leucocephala* 种是至今为止行道树农作中采用的标准树种, 就其生物量生产来说, 也位居第二。

在选择树种时, 考虑其对大气中氮的固化作用极为重要。我们发现, 蝶形花科和风蝶科、豆类其它亚科和桤木属的固氮能力很强。表 5 列出了一些树种对大气固氮的情况。其中, 银合欢属的

leucaena leucocephala 种的固氮作用最为突出。就固氮产量来说, 灌木丛类树种所高干品更为优越。

树木剪修的时间与方法 当树篱建立起来后, 便要进行第一次修剪。在时间上可为种植后的 6 个月到 2 年之间 (表 6)。为了吸收氮和给农作物以足够光照, 应该剪去树顶, 既在农作物播种或种植之前应作剪顶工作。在离地 1 米高度处将树顶齐齐剪去; 如果剪去更低, 树的发芽会减少。一些生产

表 5 树状植物固氮量估计 (以单种计)

树 种	N_2 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)
银合欢属 <i>Leucaena leucocephala</i> 种	500 ~ 600
黑 莉 树	200
刺 桐 属 <i>Erythrina poeppigiana</i> 种	60
因 加 属 <i>Znga jinicuil</i> 种	40
墨西哥丁香属 <i>Gliricidia sepium</i> 种	13

表 6 在湿润气候条件下第一次修剪的时间

树 种	树 龄
木 豆	8 ~ 9 月
朱 缨 花 属 <i>Calliandra calothyrsus</i> 种	1 年
铁 刀 木	4 年 (?)
千 斤 拔	4 ~ 6 月
墨西哥丁香属 <i>Gliricidia sepium</i> 种	6 ~ 24 月
银 合 欢 属 <i>Leucaena leucocephala</i> 种	6 ~ 24 月

旺盛的树种（如铁刀木、银合欢属和墨西哥丁香属），在树木生产季节的这种修剪必须适宜的气候条件下重复进行，比如可每隔 4 ~ 6 周一次。安排适当剪顶可防止树木长出不需要的种子。这些种子可以派生令人麻烦的杂草。

表 7 尼日利亚阿尔非索尔行道树农作中树篱行间距离及树种对生物量生产的影响

树篱	<i>Acioa barteri</i>	山麻杆属 <i>Alchornea cordifolia</i>	墨西哥丁香属 <i>Gliricidia sepium</i>	银 合 欢 属 <i>Leucaena leucocephala</i>	平 均
距离 (m)	(t · ha ⁻¹ · a ⁻¹)	(t · ha ⁻¹ · a ⁻¹)	(t · ha ⁻¹ · a ⁻¹)	(t · ha ⁻¹ · a ⁻¹)	(t · ha ⁻¹ · a ⁻¹)
2	2.64	1.16	5.85	9.14	5.44
4	1.50 (-13%)	3.37 (-29%)	4.51 (-11%)	8.13 (-11%)	4.23 (-22%)
平均	2.07	3.77	5.18	8.64	

最小显著性差异
P = 0.05

树种平均生物量
1.52t · ha⁻¹ · a⁻¹

平均树篱距离生产量
0.60t · ha⁻¹ · a⁻¹

属两树种 2 ~ 4 米树篱间距对树叶生产的影响则较小。

表 8 表明在不同树篱间距下生物量产量和玉米产量的相对作用。在 2 米间距下，玉米产量减少，而树篱生物量则较大，间距增加 1 倍，玉米平均产量增加 20%。然而，究竟 4 ~ 5 米间距下的较高玉米产量是否比 2 米时距下的较低玉米产量更稳定持久，还需要进一步研究证实。

表 8 树篱行间距离对生物量和玉米生产的影响

	2 m	1 m	
树叶生物量*	5.6	4.5	(-20%)
玉米产量	2.83	3.41	(+20%)

* 以表 7 中的 1 种种平均计

现在所采用的树篱行间距多为 4 ~ 5 米。至于最佳间距以树种、农作种类以及它们对光线和水分的需求不同而异，而当地的环境条件也对此施以影响。在每行树篱中的棵距多在 0.5 m 左右。如果树篱行间距为 4 米，每一树篱宽约 1 米，农田中大

在树篱种植、修剪以及树叶散盖等的劳动需求，也为农民带来了相当大的额外负担。根据在尼日利亚的研究，这种工作可比常规轮耕方法多需 58% 的劳动投入。

树行间的宽度 如果树行间的宽度太窄，可导致生物量和养分产量的增加，但农业生产将会不断下降；反之，如果树行间的宽度太宽，这种

生态系统的维持将十分危险。

表 7 表明树篱间距离的变化对不同的树种生物量生产的影响。从表中可以看出，随着树篱间距的扩大，生长较为缓慢的树种（如 *Acioa* 和山麻杆属）的生物量生产急剧下降；而银合欢属和墨西哥丁香

约 25% 的土地将被树木占据。

行道树农作对农业产量的影响 行道树农作

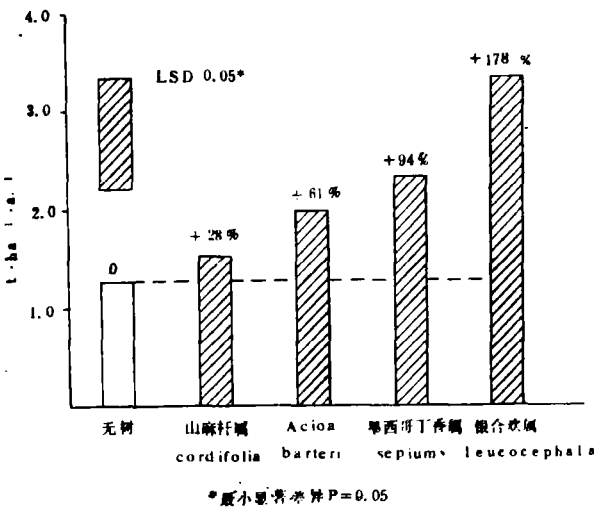


图 2 行道树农作中不同树种对玉米产量的影响
(尼日利亚阿尔非索尔土质)

对农业产量的影响；可以农作种类和树种的不同结合而有很大不同。

图2清楚表明与4种不同种树结合而带来的玉米产量的增加,最高产量是玉米与银合欢属的结合。通过植树,地表的农作生产不仅能够补偿树木所占土地的产量,而且可以不植树的农田高出178%的农作产量。

行道树农作对红豆属产量的影响实例结果,则表明出十分明显的差异。仅仅以农作和Acioa barteri的结合带来农产的増加;而农作与墨西哥丁香属和银合欢属的结合则导致农作产量的下降(图3)。这种状况可能与红豆属生产高度较低有关,它们可争夺农作的阳光。

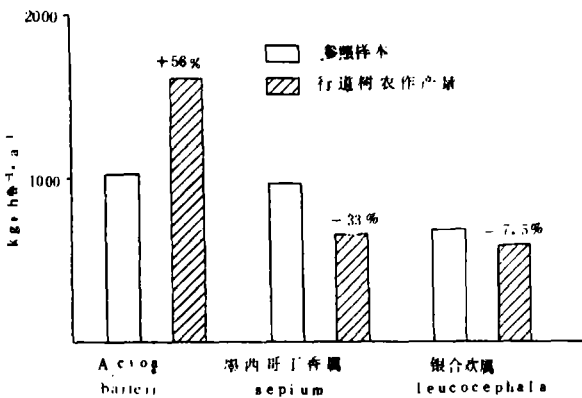


图3 行道树农作中不同树种对红豆属产量的影响 (尼日利亚)

尽管行道树农作并不是在所有的农作物和树种结合情况下均促使农产量增加,但是一般而论,这种方法是可以带来农产量相当比例的增加的。

行道树农作制的持久维持能力 由于热带土壤的交换能力一般较低,热带的树木和灌木植被作为土壤养分再生的虹吸管和储存器,对农业起着十分重要的作用。在传统和现存的轮垦制中,一般农作2~3年之后要有休闲10~20年周期,因此为了维持这种生态系统,地表的75~90%必须用于灌木植被及林木生长。

在行道树农作制中,人们曾设想仅管理约25%的林木区域,因为在其系统运行中可通过引入和种植最适宜产生肥力的树种可维持土壤。现在关键问题是这种比例是否为保证农业生产长期维持下去的充分条件?人们对此的观点呈现分歧。康(Kang)等人的研究表明,玉米和银合欢属结合进行6年的行道树农作,并未发现土壤养分明显减少,仅仅土壤含镁(Mg)量有所降低(表9)。

赫克斯利(Huxley)1983年提出的模式却得出完全不同的结论。这个三维空间模式(图4)表明土壤肥力的变化,根据时间尺度上的树木和农作相对比而异。

该模式归纳的结论为,在每平方米树木比例低于60%的情况下,土壤肥力退化。因此,在行道树农作制中,25%的树篱比例,将不能长期维持下去。尽管这种农作制将肯定比通常的轮垦法(长期耕作和短期休闲)可持续更长时间。

如上所说,行道树农作方法是促进和维持农

表9 银合欢属和玉米/红豆属作物轮作的行道树农作制6年之后土壤养分的变化

	pH	有机C (%)	K	CC (mvd/100g)	Mg	P (ppm)
初 始	6.2	0.98	0.25	2.63	1.02	25
6年以后	6.0	1.07	0.28	3.45	0.50	26

业生产的可行之路,其中树木仍只是起着次要功能。这个农作法,对于保护热带区域森林带也具有重要作用。它可以阻止或减缓轮垦地作向森林的推进。

王才安译自 Agroforestry Systems in the Tropics, Recent Developments and Results of Research, 载《Applied Geography and Development》Vol. 41, 1993. 李小建校。

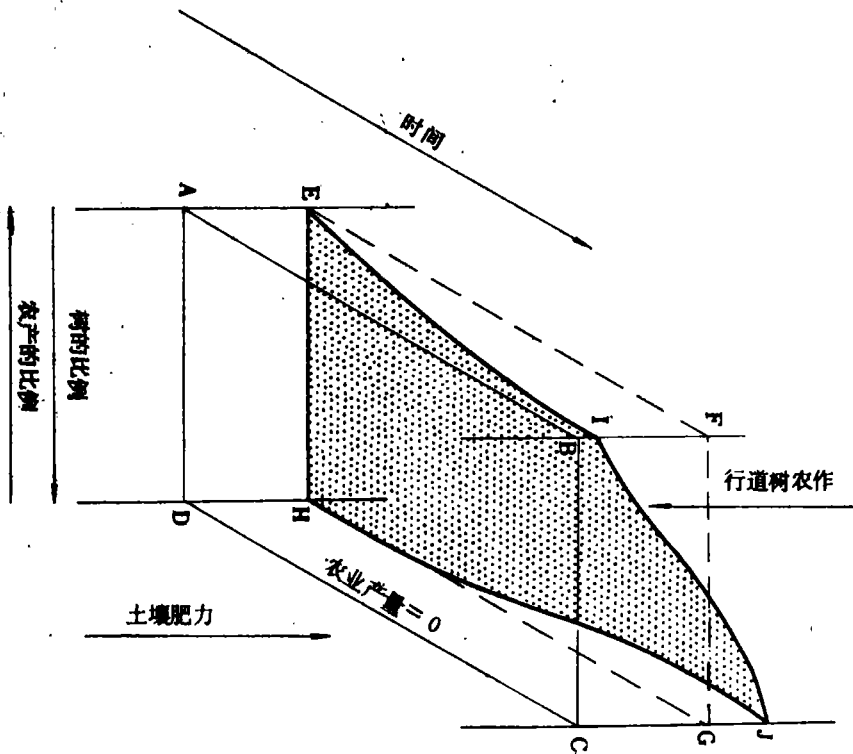


图4 树和农作年产比例对土壤肥力的影响模式

注：水平面ADCB——农产为0时的土壤肥力

水平面EHGF——现存土壤肥力

面 EHJI——由于不同树木和农作年产比例所引起的土壤肥力变化