

热带环境与混农林业制

李良政 编译

华南热带作物科学研究院科技情报研究所

一九八六年八月

热带环境与混农林业制

一、热带环境

就地理来说,赤道南、北纬 23.5° 之间的地带为热带。热带占地球总面积的38%,其人口占世界人口的45%(约18亿,1975年)。大部分发展中国家都在热带,而热带又没有什么发达的国家,因此热带就成为“发展中地区”的同义语。此外,有些国家如印度、孟加拉、墨西哥和巴西虽然已超越地理热带的界限,但在气候上一般仍认为是热带国家。

1. 气候特征

温度和雨量是决定一个地区气候特征的最重要的两个参数。一般说,热带地区冷、热季的平均月温度变化值为 5°C 或低于 5°C ,在总温度低的热带高地也是这样。在热带,海拔高度每增加100米,平均年温度即降低 0.6°C 。因此,如在海平面的平均年温度为 26°C ,那末,海拔1000米高原的平均年温度则为 20°C ,海拔2000米高原的,为 14°C 。

就年雨量说,热带各个地区的差异很大,在0—10,000毫米之间。雨量过高或稀少都会影响热带植物的生产。然而,对植物生长说,雨量的分布比总雨量更为重要。一个地区在一个时期的平均降水量如超过蒸散量,就称那个时期为湿季。根据干季(月雨量少于100毫米为干月)的长短分成不同的气候区,热带可分成四个主要气候区(表1)。

表1 热带主要气候区的分布(百万公顷)

(根据 Landsberg—Troll的分类)

气候	湿润月份	占优势植被	热带美洲	热带非洲	热带亚洲	总数	%
多雨气候	9.5—12	雨林和森林	646	197	348	1191	24
季雨气候	4.5—9.5	稀树草原或落叶林	802	1144	484	2430	49
干燥气候	2—4.5	多刺灌木和乔木	84	486	201	771	16
沙漠气候	0—2	沙漠和半沙漠灌丛	25	304	229	558	11
总数			1557	2131	1262	4950	100

热带接受的太阳辐射取决于雨量的分布形式，因而也有季节性的变化。一般说，热带的平均太阳辐射为400兰/日（langleys/day，1兰=卡/平方厘米）。在雨量分布均匀的地区，太阳辐射没有什么季节性的变化；反之，在显然有多雨季和干季的地区，太阳辐射却有巨大的季节性差异。例如，在菲律宾的 Los Banos，一月的平均太阳辐射为295兰/日，而在五月则为439兰/日。这些差异对植物的生长有巨大的影响。De Wit 根据太阳辐射和生长季的长短，估计了作物在不同纬度地带的潜在产量。根据他的数据进行计算的结果表明，在“光合工厂”能够保持全年操作的热带，可获得极高的单位面积产量。因此，热带土地利用的目的，应当是获得单位面积的最高总产量，而不是获得一年中一特殊季节作物的最高产量。

2. 气候图

Walter (1973) 从生态学的观点来考虑气候的问题，制定了气候图，这种图可提供某一地点在一年过程中的平均温度和降雨量资料，也可显示相对湿润和干燥季节的发生、长短和强度。部分热带地区的气候图见图1。

气候图的横坐标表示北半球1—12月份和南半球7—6月份，因此暖季总是在图的中部。纵坐标表示月平均温度和降水量，每一单位为 $10^{\circ}\text{C}=20$ 毫米，但月降水量超过100毫米时，则每一单位为 $10^{\circ}\text{C}=100$ 毫米。微曲线表示温度，不平坦曲线表示降水量。在图例 $10^{\circ}=20$ 毫米时，降水量曲线低于温度曲线，这就是干季，图中这部分用点表示。月降水量超过100毫米为湿季，图中的这部分涂黑。垂直线部分表示较湿润季。

根据当地的气象资料可以很容易地绘制这种气候图，由此可知一个地区气候干旱和潮湿的期间和严重程度。Ellenberg (1979) 根据这些气候图制备了潮湿和干旱天然生态系统系列图，并将其分为八级（图2）。

3. 植被类型

热带气候分类系统应用不同热带气候区占优势的植被类型命名。一般分为五类，即稀树干草原和其他草原（占热带面积的43%），阔叶常绿雨林（占30%），半落叶林和灌丛（占11%），落叶林和灌丛（占11%），荒漠灌丛和草地（占7%）。稀树干草原包括纯粹的草原到有乔木和灌丛的草原，这一类型植被面积在热带美洲占28%，在热带非洲占57%，在热带亚洲和太平洋地区（主要为澳大利亚）占34%。热带雨林的特点是具有多层树冠和落叶树所占的比例较低，它的面积在热带美洲占52%，在热带非洲占12%，在热带亚洲和太平洋地区占38%。落叶林和半落叶林位于季雨和有显著干季的地区，占热带面积的15%，主要分布于亚洲和非洲。这些森林有一部分已因游垦而沦为稀树干草原。荒漠和半荒漠灌丛约占热带面积的7%，分布于极端干旱的地区。热带略有5%的面积没有任何植被。

关于各种热带植被的干物质产量，现有几种估计数值。Golley和Leith (1972) 的净初级生产力图提出平均干物质产量的年增长数值（吨/公顷，括号内的数值为变异幅度）如下：热带雨林20（10—35），热带落叶林15（6—35），温带落叶林10（4—25），热带稀树干草原7（2—20），作物地6.5（1—40）。

4. 地 形

热带面积的77%为海拔900米以下的地带,称为低地。海拔900—1800米的地区约占20%,海拔1800米以上的地区约占3%。

5. 土 壤

由于气候、植被、母质、地貌和年龄不同,热带土壤的性质有巨大的差异。以前称为“砖红壤”的高度风化和淋溶的土壤在热带占51%,其余为砂质、浅层、盐基含量高、冲积和轻度淋溶等土壤。表2按热带气候列出土壤的分布,表3列出主要土纲在三个热带大陆的范围。

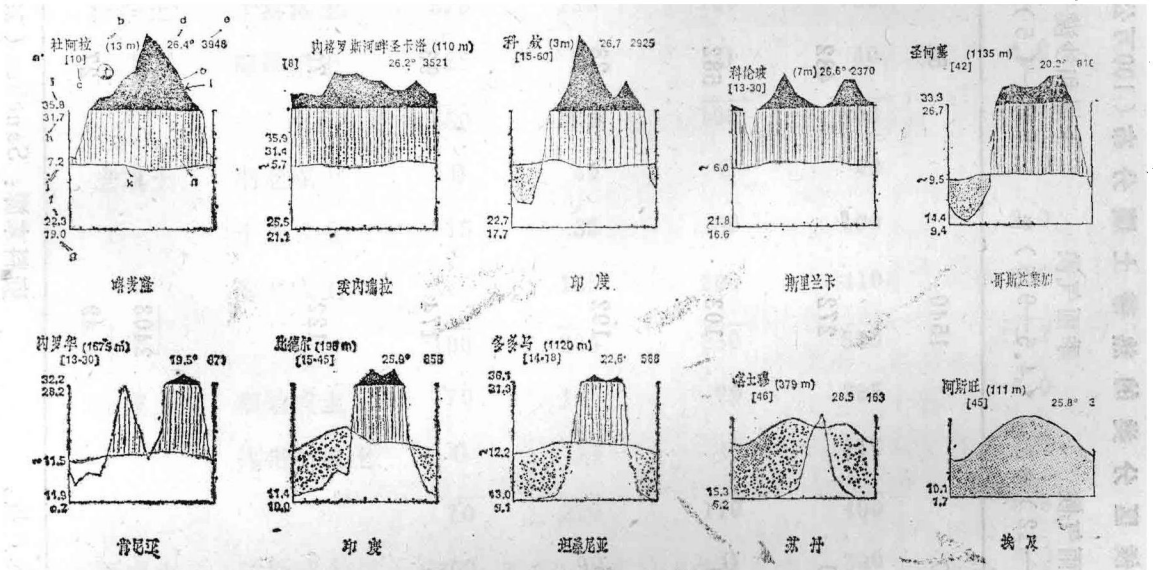


图1 一些热带地区的气候图

注:横坐标表示月份(北半球为1—12月份,南半球为7—6月份),纵坐标表示月平均温度和降水量,每一单位为 10° 或20毫米, a = 气象站, b = 海拔高度, c = 观察年限(第一个数字为记录温度的年限,第二个数字为记录雨量的年限), d = 年平均温度($^{\circ}\text{C}$), e = 平均年降雨量(毫米), f = 最冷月份逐日最低温度平均值, g = 记录的最低温度, h = 最暖月份逐日最高温度平均值, i = 记录的最高温度, j = 平均日温度变化, k = 平均月温度曲线, l = 平均月雨量曲线, m = 相对干旱期(画点部分), n = 相对湿润季(画垂直线部分), o = 平均月雨量 >100 毫米(涂黑部分,标度缩小为原标度的1/10)。有些数值因气象站资料不全而空缺(仅周日型气候记录才列出h—j的数值)。

表2 按气候区分类的热带土壤分布(100万公顷)

土 类 (相应的土壤分类)	多雨气候 (9.5—12) *	季雨气候 (4.5—9.5) *	干燥和沙漠气候 (0—4.5) *	总数	占热带面积百分数 (%)
1. 高度风化、淋洗的土壤(氧化土、老成土, 淋溶土)	920	1540	51	2511	51
2. 干燥砂土和浅土(砂新成土和石质土类)	80	272	482	834	17
3. 淡色、富盐基土壤(旱成土和干燥土类)	0	103	582	685	14
4. 冲积土 (潮始成土、冲积新成土和其他)	146	192	28	366	7
5. 暗色、富盐基土壤(变性土, 软土)	24	174	93	291	6
6. 中度风化和淋洗的土壤 (火山灰始成土、热带始成土和其他)	5	122	70	207	5
总面积	1175	2403	1306	4894	100
占热带面积百分数(%)	24	49	27	100	

* 括弧内数字指平均雨量大于100毫米的月数。

资料来源: Sanchez (1976)。

表3

热带主要土壤亚纲的大约分布范围

土 纲	亚 纲	非 洲	美 洲	亚 洲	总面积	%
氧化土	正常氧化土	370	380	0	750	15.0
	干氧化土	180	170	0	350	7.0
		550	550	0	1100	22.5
旱成土	全 部	840	50	10	900	18.4
淋溶土	干淋溶土	525	135	100	760	15.4
	湿淋溶土	25	15	0	40	0.8
		550	150	100	800	16.2
老成土	潮老成土	0	40	0	40	1.0
	干老成土	15	35	50	100	2.0
	湿老成土	85	125	200	410	8.2
		100	200	250	550	11.2
始成土	潮始成土	70	145	70	285	6.0
	热带始成土	0	75	40	115	2.3
		70	220	110	400	8.3
新成土	砂新成土	300	90	0	390	8.0
	潮新成土	0	10	0	10	0.2
		300	100	0	400	8.2
变性土	干变性土	40	0	60	100	2.0
软 土	全 部	0	50	0	50	1.0
	“山地”	0	350	250	600	12.0
总 数		2450	1670	780	4900	100.0

6. 土地利用

前面对热带主要植被类型已作了概括的叙述, 据此, 森林约占热带植被的40%。农业是主要的经济活动, 但用于农业的土地仅约占总面积的10%。牧场和草地占20%, 但这些地区许多都未充分利用。据美国总统科学顾问委员会(1967)的估计, 热带有可耕地约17亿公

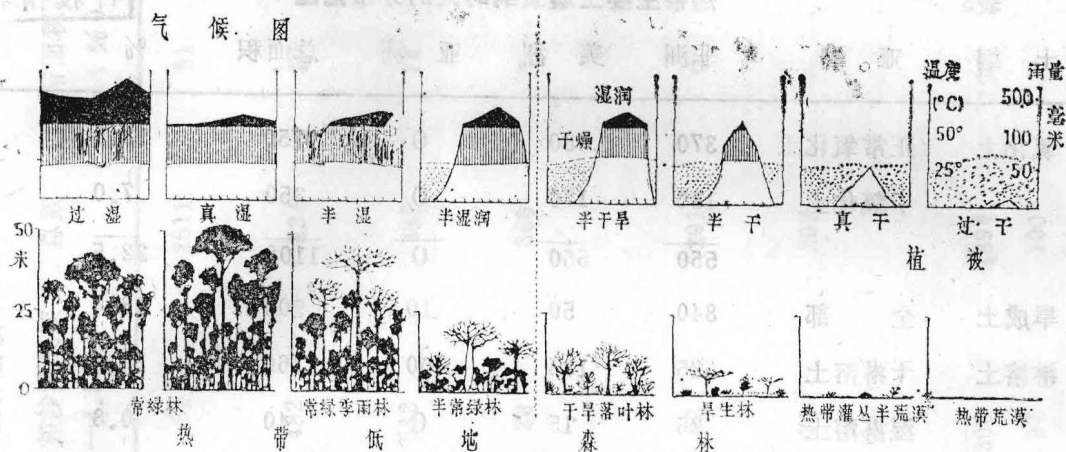


图2 秘鲁和厄瓜多尔热带低地天然生态系统的气候图和植被剖面

顷，现在利用的仅约5亿公顷。然而，需要指出的是，潜在可耕地和放牧地的标准是根据发达国家农业技术的平均水平确定的。热带美洲、热带非洲以及热带亚洲和太平洋地区（不包括澳大利亚）每人占有的耕地面积分别为0.35、0.60和0.26公顷。

热带的耕作制也因种植的作物、人口密度、土地类型、资源多寡等的不同而有巨大的差异。一般说，热带的耕作制度可分为以下的五类，即：撩荒轮垦（占农作面积的45%），定居的自然农业（17%），游牧（14%），畜牧农场（11%）和种植园（4%）。在所有热带地区都盛行撩荒轮垦制，如西非、中非、亚马孙流域、中美洲等地以及东南亚的山坡地都是这样。所谓撩荒轮作制（即人们常说的刀耕火种）就是把树木砍倒、焚毁后，耕作一至数年，然后撩荒休闲一个时期，任其生长树木或灌丛，以后再重复这一过程。通常是在不发达地区采用这种耕作制，但是赖此为生的人口在2亿5千万以上。近年来由于人口增多，扩大耕地面积，不得不缩短休闲期，因此招致土壤的严重退化。种植园农业的土地利用制度则比较合理，土壤通常都得到较好的管理和保护。

二、热带森林

1. 热带森林的特点

热带郁闭林50%以上位于中、南美洲，30%位于亚洲、澳大利亚和大洋洲。疏林约64%位于非洲。

热带森林可分为以下三个主要类型

（1）多刺丛林和极干燥林 这类林区的年雨量在250—1000毫米之间。季节性下雨和漫长干季是极严重的限制植物生长的因素。这些旱生林通常比较稀疏，植物种较少，主要由小乔木和灌木组成，如非洲的早熟稀疏落叶林（miombo）和稀树干草原，巴西的早熟落叶

林 (Caatinga), 秘鲁中部安第斯山的森林。由于洪水有季节性和缺乏粮食, 过去人类只在这些林区短暂拓居。只有能提供水源、特别是供水可用于灌溉的地方, 才适于人类定居。

(2) 干燥林和湿润林 林区年雨量在 1000 毫米到 4000 毫米之间。这些森林是郁闭林, 含有落叶树种和常绿树种, 例如亚洲的季雨林, 巴西的密林 (Campos cerrados) 以及亚马孙和刚果的大部分森林。树种极多, 有些树种是极有商业价值的木材, 如柚木和桃花心木等。

在热带森林中, 干燥林和湿润林区在历史上最广泛地为人类所利用。在土壤冲刷不严重的非山岳地区, 这些森林地的土壤往往能维持集约的固定农业。因此, 适于人类定居, 大面积的森林被伐除。在这里, 燃料的供应不象干旱地区那样紧张, 固为森林的蓄积量较高, 而且再生也比较迅速。正是在这种环境下, 热带森林种植园取得极大的成功。

(3) 潮湿林和雨林区 这类林区的年雨量在 4000 毫米以上, 其特点是雨水过多。这里, 植物生长牢、养分再循环和受干扰后的恢复都达到最高水平 (Lugo et al, 1973)。例如印度尼西亚加里曼丹、哥伦比亚的太平洋海岸、哥斯达黎加的加勒比海岸、泰国缅甸边境、厄瓜多尔和秘鲁安第斯山东坡等地区的森林就属于这类森林。这些林区土壤的养分量一般都较低, 但在未受干扰的条件下, 它是世界上植物和动物种类最繁多的地区 (Lugo et al, 1973)。印度尼西亚低地雨林的树种在 3000 种以上, 马来半岛的树种在 2500 以上。新几内亚和马来西亚的种子植物超过 20,000 种 (Curry-Lindahl, 1972)。相形之下, 北美温带郁闭林的树种就很少了。

热带潮湿林和雨林区由于土壤瘦瘠、伐除森林后土壤迅速被侵蚀以及植物病虫害和人畜病害都很严重等原因, 不大适于人类定居。至今为止人类对大部分这些森林的利用还限于狩猎、伐取薪材、采摘果实和烧垦, 所有这些都属于粗放的利用。这里定居的人极少, 但是, 这些脆弱的生态环境已因人口的日益增加而受到压力。

热带森林生态系统远比温带森林生态系统多样和复杂, 只有充分考虑这种多样性和复杂性, 才能对热带森林进行有效的保存、保护和管理或开发利用。

2. 热带森林的价值

热带森林环境对人类的生存有极为重要的关系。森林提供粮食、纤维、饲料、燃料、建筑材料和药物; 森林不但是当地人民生息之所, 也为野生动物提供栖息地; 森林通过调节水流和使土壤免受侵蚀而起着重要的保护作用。此外, 由于热带森林可提供国际贸易中重要的商品以及可调节或影响一个地区乃至全球的环境, 即使远离热带生态系统的地方也受到这种资源存在和完整与否的影响。

热带社会尽力开发森林的木材资源, 现在, 世界森林提供的木材有三分之一来自热带, 每年在 10 亿立方米以上 (FAO, 1979b)。热带木材 80% 用作燃料, 主要满足大部分热带国家人民炊事的需要 (Eckhol, 1975b)。由于缺乏代替薪材的能源, 热带薪材的消耗将随着人口的增长而同步增长。目前, 热带地区薪材用量按平均个人计每年约增长 3%。这些情况表明, 热带国家愈来愈有赖于本地的森林资源。

维持热带近 20 亿人民生活的粮食供应都是开垦的森林地生产的。热带森林可加速土壤生

成、延缓侵蚀和淤积、调节水流、创造适宜的土壤结构和贮藏可用于粮食作物生产的养分。目前，在热带连续或定期作农用的这种土壤面积大约相当于美国和加拿大两国的面积，但其中的六分之一需要休闲，以期再生森林，恢复生产力。

热带的淡水供应，无论取自河流还是凿井，在绝大部分情况下都有赖于森林地。由于能稳定土壤，可最大限度地接受雨水和保持有效的无机质，热带森林有助于调节可用水的数量和质量。热带水稻和其他灌溉作物的生产特别有赖于森林调节的水供应。近十年间，热带的灌溉农业每年扩大2—3%，这表明正愈来愈多地依赖可用水资源以生产粮食。

热带森林是地球上生物种类最多的地方，动、植物达3百万种以上。这种多样性是对当地和世界人民都有价值的众多产品的来源。此外，水生和陆生动物都有赖于健全的森林生态系统。例如，在一些亚马孙河的支流，许多重要食用鱼都依赖漫滩树木落下的果实作食料。分水岭森林植被完整与否，与下游港湾、红树林沼泽和近海岸珊瑚礁（许多重要商品鱼类的主要鱼苗区）的功能都有极密切的关系。

森林除了提供当地利用的产品外，还生产一些出口产品，为许多热带国家提供大量的收入。目前，从热带森林砍伐的木材供出口的还不到6%，但每年的总出口值达47亿美元。

现在，出口的热带木材70%以上产自亚洲和太平洋，其余主要产自非洲。主要产品为制材原木和单板原木，大部分均由东南亚运销日本、我国台湾省和南朝鲜加工，或由非洲运往欧洲。锯材由东南亚运销各个温带国家，由非洲运销欧洲和由巴西运销北美洲。在七十年代，热带木材出口量每年增长7.1%，出口值每年增长17%。热带木材的出口情况有显著的地区差异，最引人注目的是，拉丁美洲本来就少的出口量有下降的趋势。七十年代，在热带加工后运出的木材量（锯材和木板）由14%增加到19%，总值由33%增长到43%，这表明热带区木材加工业有所发展，因而就业机会也增多了。

按现在国际市场价格估计，巴西亚马孙蓄积的硬木值10,000亿美元以上，这说明了热带森林具有极大的经济潜力。

直接或间接产自热带森林的其他产品也大有助于出口贸易。其总值还不清楚，但种类繁多，如橡胶、树胶、香精油、药品、坚果、观赏植物等。这类产品的需求有增长之势，前景喜人。美国科学院筛选了尚未充分开发利用的400种植物，并鉴定了其中具有特殊经济价值的36种。该院也在继续寻求新的药用植物。此外，还有一些出口的农产品，大都有赖于森林发育的土壤和供水、或在林地开垦的作物地。现在，热带区出口的农产品总值约360亿美元，显然，这是热带发展中国家由当地产品所得的最大的一笔财源。

从世界范围来说，热带森林在科学和教育方面具有无可比拟的价值。热带森林的复杂性多年来吸引了许多科学家和学者去探索有关生命过程的基本问题的答案。地球上其他地区都不可能提供这样多的研究材料。热带森林组成成分的相互作用、特别是观察到的哺乳、鸟类、昆虫等动物的生活性状，具有重大的科学和教育价值。

热带森林对气象和气候的影响至今还未充分了解。然而，它除了对当地气候的影响外，可能还有稳定地球气候的作用。茂密的热带森林植被截留大量的太阳能，从而调节了太阳能被地球表面的反射作用。森林也有助于调节地面的湿度和大气的湿度。象亚马孙的广大森林区可能由于蒸腾作用而成为地区的重要雨源。

三、热带森林的滥伐

关于世界热带郁闭森林消失的速率，说法不一。据1980年美国全国科学院估计，热带雨林受破坏的面积每年达2000万公顷。1982年联合国粮农组织和联合国环境规划署发表的一份报告，估计1976—1980年每年减少的热带雨林面积为710万公顷。上述的估计数字差别较大，这主要是由于判断的标准不同。对生物学家来说，雨林破坏不仅指发展农业、畜牧及种植园所引起的原森林的改变，也包括择伐及轮作引起的生物枯竭所带来的变化。对森林保护者来说，破坏雨林就是砍伐森林、即砍去所有树木。

尽管A. Sedjo等学者认为当前的毁林速率对全球环境并没有严重的破坏影响，但近年来个别国家的森林迅速消失，却引起人们的惊惧。如泰国的森林在十年中消失了四分之一，象牙海岸的森林在八年中消失了三分之一，菲律宾的森林在五年中砍伐了约七分之一，哥斯达黎加的森林在十年中砍伐了三分之一。

此外，世界热带稀疏林总面积约8亿1千万公顷，据联合国环境规划署的估计，世界每年约有5百万公顷的热带稀疏林被毁掉。砍伐热带稀疏林是招致沙漠化的一个诱因。世界有些热带森林尚未受到严重的破坏威胁，但应承认，某些国家或地区的毁林问题确比较严重。

(一) 毁林的原因

1. 开垦森林地以发展农牧业 在世界的绝大部分热带地区，都在大面积发展农牧业，甚至不能维持永久耕作或永久放牧的边际效用区或陡坡地，也被开发利用了。

烧垦是许多热带森林损失的重要原因之一。烧垦一般都开垦高地，种植几年后即让其休闲。如休闲期够长而开垦的面积又较小，这种耕作制对生态环境不会有明显的影响。然而，许多地方休闲期太短，不足以恢复垦地的肥力。休闲期太短的根本原因是人口的压力。据估计，世界上有2亿5千万人靠烧垦耕作为生，包括休闲地在内的烧垦地面积达36亿公顷。约五分之一的热带湿润森林地用于烧垦(Sommar, 1976)。

开辟大规模牧场也是热带森林、特别是较湿润森林损失的重要原因之一。在有些情况下，在森林地开辟的牧场并不能持久，但由于国际市场上牛肉紧俏，价格坚挺，毁林畜牧极为有利，甚至在土壤迅速退化而几年后就要抛荒的地区也是有利的。在1950—1975年间，中美洲人工牧场面积增长了一倍，这些牧场几乎全是开垦湿润原生林地建立的。1966—1978年间，在巴西马孙区域开垦80,000平方公里森林地，建立了336个牧场，牧牛600万头。此外，还建立了约20,000个规模大小不等的家庭畜牧农场(N. Myers, 1980)，由此可见毁林面积之大了。

2. 伐取薪材 伐木作薪材是另一毁林的原因，在有些地方是毁林的重要原因。热带地区每年伐木10亿立方米以上，其中多少是枯立木，多少取自郁闭林，多少取自稀疏林，多少取自灌木林，还不清楚，但每年伐取的木材至少有五分之四用作薪炭材(8亿2千5百万立方米)，其余作建材和供出口。

有些地方伐木烧炭出口，如肯尼亚烧炭运销南非和波斯湾沿岸国家，泰国利用沿海红树林烧制木炭外销。

3. 工业集材 工业用材（即用于建筑、制备纤维和制造家具等）占热带森林采伐总面积的五分之一。其中四分之一、即占总采伐材积的6%左右出口。热带伐木大部分都是按树种和大小择伐的，但用重型机具采伐木材会附带造成巨大的损失。例如，据估计，在马来西亚采伐羯布罗香雨林时，仅采伐10%的直径0.1米以上的树，但在操作中其余55%的树都受到严重损伤或被摧毁，33%的树保持完好。这样，仅留下残林，比伐光略胜一筹而已。

连根集材和就地锯木片等新技术的利用，使热带地区更普遍地采用皆伐制度。在有些皆伐迹地，森林不会自然更新，因此，如果采伐迹地不迅速种植适当的树种，这些新的技术可能导致资源的损失。但是，在工业集材、甚至在皆伐后造林的并不普遍。

（二） 森林损失的后果

森林具有长期的价值，这包括很难定量的环境效益、科技效益以及较容易确定的持久生产木材和森林产品的利益。

开垦森林成为永久生产的作物地或牧场，可能是必要的，但如毁林会引起流域水文的破坏，或毁掉具有多种植物品种的森林而致损失无法补偿的生态价值，那末，这显然是不合理的。

在湿热带的热带林地，骤雨引起土壤侵蚀，而地面的高温又有抑制种子萌芽和幼苗成长的趋势。在土壤不能保持养分和肥力严重退化的采伐迹地，禾本草和恶草可能成为永续的植被。据报道，印尼就有这样的土地196万公顷。这种草地有些可种植豆科植物加以改造，有些可能发育成次生林。

在山地斜坡毁林和过度放牧会加剧土壤侵蚀、洪泛、河流和灌渠淤积。近年来南亚和东南亚常发生洪泛，一般都归咎于皆伐和间伐高地的森林。

半干旱区稀疏林砍伐后很难天然更新。地中海盆地的旱生林在耶稣纪元前砍伐后就未能更新。

热带大规模毁林还会引起地方小气候环境的变化，区域的雨量型也可能受到影响。

热带森林是丰富的植物和动物品种宝藏。美国科学院热带生物学优先研究委员会的一份预测报告认为，由于滥伐热带森林，在本世纪可能有三分之一的热带有机体约100万种绝灭，在下一世纪可能另有100万种绝灭。在这种潜在的损失是难以估计的。目前世界各地都在竭力建立国家公园和自然保护区，但其面积仅占热带森林的2%。据许多专家的意见，如果要广大范围的野生动物种和植物基因资源得到保护，就须采取有效的措施，将10—20%的热带森林划为自然保护区。（UNEP, 1980）。

四、适于热带的一种土地利用制度——混农林业制

上面的叙述表明：1. 热带生态系统比较脆弱，生态平衡失调后较难恢复；2. 热带地区由于人口激增，不得不开垦森林地来生产粮食，有些国家为了出口农、畜产品，也大力开发森林作农作物地和牧场；3. 热带有多达2亿5千万的人民依赖传统的游垦耕作为生，每年要烧毁大量的热带森林。因此，热带森林仍在不断减少，生态环境遭到严重的破坏。

为了有效营造人工林,同时发展农业生产,以减轻毁林的势头和改善生态环境,科学家们提出在热带推行“混农林业”(Agroforestry)的土地利用制度。为此,1978年在肯尼亚首都内罗毕成立了“国际混农林业研究委员会”(The International Council for Research in Agroforestry)(ICRAF)。

(一) 混农林业的概念

“混农林业”是新创的一个名词,表示一种土地利用制度。这种制度打破了农业和林业的界限,一方面保护生态系统,一方面生产粮食和木材。King和Chandler(1978)认为:混农林业是一种持久的土地经营制度。这种制度可提高土地的总生产力,即在同一块土地上同时或相继地综合进行作物与林木的生产和/或饲养牲畜,并用符合当地实际的措施进行经营。

混农林业制是一个总称,它有各种各样的形式,主要有以下四种:

- (1) 农林制 同时生产粮食和林产品。
- (2) 林牧制 综合经营林业和牧业,在林内放牧。
- (3) 农、林、牧制 同时生产粮食和林产品并饲养牲畜。
- (4) 多用途的森林生产制。

林场能生产木材以及可供食用与兼作饲料的叶和果、或仅供作饲料的叶和果。

所有这些制度的基本原则是:耕作制应当最适地综合生产一种农作物和一种林木作物,同时能保护和改进生境。

(二) 混农林业概念的合理性

一种土地利用制度概念正确和合理与否,取决于它的大田成效。根据大田结果可对概念加以修正和对制度进行适当的改进。然而,在大田试验证明其适用之前,概念所根据的前提及其可能性的迹象,仍可作为其具有合理性的有力依据。

混农林业概念所根据的前提是生物学和社会经济现况。生物学的前提是森林对土壤和环境都起着有利的作用,如封闭的和有效的养分循环、有机质的保持、径流和土壤侵蚀的防止、小气候的调节和树木对于土壤的适应等。证明混农林业潜在价值的社会经济因素是:发展中国家的农民在人口剧增、挣扎生存的情况下,被迫利用生产力本来就低的土地耕作,而且采用落后的土地利用制度,从而招致诸如毁林、沙漠化、土壤退化、洪泛等灾难性的后果。这些农民应当采用综合经营农业和林业的土地经营制度,以提供粮食和木材,而又不会引起生态系统恶化。

表明混农林业制的可行性和适宜性的实践例子很多,国际混农林业研究委员会在1978年进行调查的结果表明,几乎所有发展中国家都盛行某种形式的混农林制。著名的一种制度是1856年起源于缅甸的“汤加制”(Taungya),后来,这种耕作制传播到亚洲、非洲和拉丁美洲。Taungya为缅甸语,原为“山地栽培”的意思。热带、特别是亚洲和非洲的许多林场都是实行“汤加制”营造的,这表明农作物和树木可以种在一起,至少在建立林场的初期是这样。混农林业的第二个令人信服的例子是热带的宅基农园。热带人口密集地区的小农园通常采用高度有效的土地利用制,综合经营果树、其他园艺作物和一年生农作物。中美洲的

农民在不同的生境种植不同的作物，同时采取混交林的层状构型，营造多样结构和树种的热带林。此外，由一年生作物混作累积的经验及其优点，在一定程度上也适用于混农业制。因此，认为混农林业制是适于脆弱生态系统的能持久应用的土地利用制度，是有充分根据的。

（三）混农林业制的研究

至今为止，对混农林业制几乎还没有进行过什么研究。之所以如此，可能有两个原因：第一、农业科学一向着重资本密集型和资源密集型农业制度的研究，那些主要在生产力有限和为科学所忽视的地区盛行的传统耕作制度并未得到这些农业研究和革新的好处；第二、过去，农业和林业各自独立地发展，各有确定的领域，因而忽略了象混农林业之类的边缘学科。

Nair (1980) 指出，混农林业学科与其有关学科的区别在于：它是一种综合性科学，它不只是包括自然科学，也包括社会科学。它是一门整体性科学，它综合不同的学科来处理群体组织，如一个植物群落、大田、农庄、村落、生态系统等等。本质上它是有目的的科学，针对一定的目标、效果和社会目的。再者，从发展和应用来说，混农林业学科的特点是，它起源于热带和亚热带，因此，它涉及连续生长和非季节性生产的循环。估计它的价值，不单是用产量作标准，也须从社会效益和经济效益来衡量。它既然是边缘学科，混农林业研究工作者就须放弃他们的传统产品研究和改变他们的学科方针。

由于实际上还没有进行改进混农林业制的研究，需要研究的问题很多，必须对研究工作作适当的规划，并确定优先的研究项目。象检验各种农作物品种的耐荫性，鉴定可保护土壤的和容许林下作物生长的林木树种，确定树种和作物品种的植距和管理规划，都是需要立即考虑的问题。此外，混农林业制中养分的动态、植物品种间的互补作用和相互作用以及发展适于混农林业制的树木和农作物的基因型品种等等，也需要进行研究。混农林业制具有地域性，因此，在一个广大区域和地带推荐统一的混农林业操作措施和研究规划可能太冒昧了。然而，每一个区域和地带可能都有其共通的问题。Nair (1980) 曾提出各种混农林业制的少数共通的问题以及这些地区的优先研究项目。如在稀树干草原，可种植多用途树种、牧草和粮食作物和饲养家畜，应优先研究：1. 混农林业制与水的利用效率；2. 生产粮食、饲料、燃料、木材的有效耕作制。在湿润低地，可稀疏地植树、间作农作物和饲养牲畜，应优先研究：1. 能保持土壤的混农林业制；2. 适用于小庄园的生产技术和混农林业制。在高山和高地生态系统，建议1. 在植树区放牧；2. 沿等高线植树以保持土壤。应优先研究：1. 探讨可改进退化地区的混农林业制；2. 混农林业制的土壤保持作用。在一年生农作物区，建议：1. 在堤岸和沿灌溉渠植树；2. 在空地地带植树木。应优先研究：1. 树木在稳定生态系统中的作用；2. 作物与树木的相互作用。在树本经济作物园，建议：1. 间作；2. 混作；3. 多层栽培；4. 综合经营。应优先研究：通过多种植物群落提高土地的利用效率。

（四）混农林业制与脆弱的生态系统

讨论混农林业制时，通常都着重考虑在盛行投入低的土地利用制度的、生产力低的地区采用这种耕作制。因此，人们往往提出混农林业制是否仅限于这样地区的问题。没有理由说

一定如此，但普遍的看法是：混农林业制可能最适于脆弱生态系统和环境恶化的地区。一般认为，大部分热带地区都不适于高产谷类作物的生长和生产以及应用其他先进的农业技术。再者，在这些地区进行定居的农业，往往造成生态平衡失调和引起环境退化。这些地区有的已因自然资源的过度开发、未充分利用和滥用、或管理疏忽而沦为荒地。King 和 Chandler (1978) 把这类地区分作以下四种主要的生态地带：

- (1) 干旱和半干旱地带；
- (2) 热带酸性稀树草原；
- (3) 热带高原和其他山地生态系统；
- (4) 撩荒轮作地区。

据国际混农林业研究委员会估计 (King, 1979)，世界热带有49亿公顷或65%的土地属于上述的所谓“荒地”或脆弱生态系统。而混农林制却是可以防止这些生态系统进一步恶化和可使之保持生产力的土地利用制度。

在干旱和半干旱地带，多伐除具有保护作用的乔木和灌木作建材和燃料，然后在不适于农业的土壤上耕作。再者，采用一些集约耕作措施虽在短时期获得了高产，也使土壤更易遭受侵蚀和加速沙化。混农林业制在维持和改进这些干旱地带经济方面应着重：(1) 薪炭材的集约生产；(2) 综合经营林木和畜产；(3) 综合经营林木和粮食；(4) 经营多用途的林木。

瘦瘠的酸性稀树草原主要位于热带美洲低地，广表达3亿公顷，其特点是有显著的干季和湿季，年雨量相当高(1000—3000毫米)，呈单峰分配形式。现在，稀树草原的人口还很少，但正在逐渐增多。这些地区的经济基础为畜牧业，但土地的载畜量很低，8—16公顷养一头牛，牧民通常在干季轮烧老熟的牧草。土壤极为瘦瘠，而且易遭侵蚀。在这些脆弱的生态系统，混农林业制的重点是在适于自然放牧的地区综合进行牧场和农业的改进。改进计划应当包括：多用途饲料作物品种的选汰试验，引种优选的抗火木本饲料树种，建立活篱笆以便轮牧，监测选择的荫蔽树对土壤肥力和饲料质量的影响。

热带高原生态系统由于人口急增，正遭受与日俱增的破坏。不合理的土地利用使这些生态系统极为脆弱的地区的森林植被遭到滥伐，招致土壤冲刷、河流和水库淤积、洪泛和干旱等灾害，这不仅影响高原地区，也影响远离高原的谷地和平原。最令人触目惊心的例子是印度次大陆因毁坏喜马拉雅山区森林而一再发生的洪泛和干旱。在这些山地生态系统中，混农林业制改善土地利用所起的作用，在于耕作制度中有效地综合利用适宜的树种，从而有助于保持土壤、提高土壤肥力以及提供木材、燃料和饲料。

撩荒轮作制引起的问题的严重性和对生态环境的危害，前面已经提到。现在，人们逐渐认识到，混农林业制可代替撩荒轮作制，以改善依靠这种落后耕作方式生计的千千万万人民的生活。探讨混农林业制的计划应当包括以下的项目，即：(1) 阐明传统的撩荒轮作制及其对土壤的影响；(2) 进行控制植物组成的林木休闲地的试验；(3) 进行与农作物混作的树木植距试验；(4) 多层的连作制度；(5) 通过综合的土地利用制度改善退化的土壤。

当然，混农林业制并不是可以医治热带土地经营弊病的万应灵药，也不是唯一的或最可取的土地利用制度。看来，它只是有利于和适于特定脆弱生态环境的一种耕作制。

(五) 混农林制中的物种混合

前面已谈到混农林业制的主要组成和类型，但在选择适当的品种和决定把这些品种种在一起所采用的方法等实际工作方面，却存在着困难，而这却是制定混农林计划的最重要的一个步骤。由于计划的复杂性和长期性、可变的因子繁多、生境的差异、选用的林木与农作物品种对环境要求的差异以及牵涉的其他因素，需要考虑的问题很多。遗憾的是，现在还没有由实际研究得到的大田资料，需要进行长期的工作才能获得这样的资料。因此，对混农林业新计划的建议、甚至对现有近似混农林业土地利用制改进的建议，不得不以有关土地利用制度研究的现有资料为根据。

物种混植的方法取决于植物品种本身、环境条件、计划的最主要目的以及管理水平。国际混农林业研究会在混农林业研究规划中提出适于几种生态系统的设计。这些设计限于混农林制，而且也仅是一个大略的轮廓，至于每种设计中的品种及其栽培和管理则是这些计划中的研究课题。

(1) 林木与一年生农作物间作，林木和农作物同时（或在同一季节）种植。林木的植距视各种生态因素而定。一般说，在干燥地区植距较宽。这一设计也适用于橡胶、油棕之类经济作物园。

(2) 在原生林或次生林开垦一米宽的带地，按适当植距种植可可之类耐荫的多年生作物。随后，在种植的作物成长时，有选择地疏伐森林，在约五年中，就可具有由多年生作物和选留的森林树种组成的2—3层的树冠层。

(3) 在现有的林场采取疏伐和修枝的措施，让较多的阳光透入林地，然后在树行间种植优选的农作物。疏伐或修枝的程度取决于林木密度、树冠层结构等等。

(4) 在斜坡地带，横过斜坡沿等高线成行地种植选择的树种，可采取不同的排列形式（单行，双行，单双行交替），在株间等高种植可固持土壤的禾木草，在树行间种植农作物。

(5) 在农田小区周围密植多用途的树种。树木成长后成为树篱和防风林，可提供饲料和薪材，并作为农田的疆界标志。这种设计特别适于粗放利用土地的地区。

(6) 在集约经营的农业区规划地或随意地散植树本作物。亚洲和太平洋、非洲和南美洲的小农庄盛行这种耕作制。在一块小面积的土地上可看到种了农作物、园艺作物和林木的田块。

(7) 采取某种形式带植乔木、灌木和草本植物。各种植物种植带的宽度须小，以便相邻植带能在各自一半以上的面积上起某种相互的作用。这种措施特别适于半干旱区综合经营灌木和一年生农作物的耕作制。这样，灌木带可提供材料，用作农作物植带的死覆盖，从而可减少进行整地。

五、适于混农林业制的植物种类

决定混农林业制成败的最重要因素是选用适于一起种植的经济植物种类或品种。通常认为这类植物种主要分属两大类，即农作物和森林作物（暂且不谈园艺作物之类的其他作物），

这种分类虽然没有什么明确的标准作根据，但两类作物间确有明显的区别。然而，也有少数次要的和尚未充分利用的植物不能明确地分属于农业品种或森林树种。如果回顾一下农学和林学的发展历史，就会注意到精心栽培、管理的和每隔一定时期收获其最重要的经济产品的大部分品种，都属于农业品种。在谈到农业品种时，通常都意味着这个标准。然而，这里所要求的是决定适于混农林业的植物种，而不管它是否属于习用的农作物、森林作物和其他类植物。

如前所述，选用适当的农作物和森林作物品种很重要，但是，当前混农林业亟需解决的问题，看来是在现有的天然林地和人工林地以及已有某种类型天然森林植被的“边际效用地区”（单纯农业经济效益不高的地区）引种寻常所谓的农作物，而不是在计划的新农园引种农作物。在这种情况下，经营混农林业时要保存原有的森林树种，这样，就无需选择森林树种了。即使是新建的农园，在实施规划前，已决定了树种或多年生作物种。因此，在经营混农林业时，最主要的是选择能在短期内产生经济效益的适当品种。

（一）适于混农林业要求的物种的性状

至今为止，还没有显然可归类为混农林业的物种，也没有关于作物在和混农林业制相似条件下的性能方面的资料，只知道像小豆蔻和香草兰之类植物种在树荫下生长良好。再者，几乎所有重要的农作物都是用于单作的，作物的改进和选种计划大多着重选育可使品种最适于单作的性状。因此，适于混农林业的物种究竟应具何种性状，在目前还只是设想而已。

在传统的树本作物的间作中，已有人提出选择副作物的一些标准。Allen（1955）指出，在树下或树行间种植的副作物应当能耐部分的荫蔽，而且：（1）不会跟主作物长得一样高，其根系应当利用不同的土层；（2）不会比主作物更容易感染共同的病害；（3）收获或进行其他操作时不会损害主作物，或招致土壤的侵蚀，或破坏土壤的结构；（4）经济寿命不比主作物的长。

Harteley（1977）又加上：（1）土壤应适于主、副作物；（2）两种作物的总产值应比单种主作物的高；（3）副作物的生产结束后，主作物产量的经济水平不因有副作物而受到影响。

然而，从农林间作和其他形式的农林综合经营所得的经验表明，综合经营的成功不一定需要实现所有这些严格的条件（Nair，1977）。从“汤加制”和其他混农林业制都得到相似的经验。根据不同类别植物，尤其是个别种或栽培品种的生态生理学方面的要求，可以相当准确地预测它们达到最适生长所需的最适条件。因此可能列出决定品种适于混植及其在光照和养分都受到削弱的林下条件下而能具有适当产量的生理和农业性状。再者，从实践着眼，关于作物种的管理难易，对恶劣气候和粗放管理的耐力、对投入低的耕作制和边际效用地区的适应性以及销售和当地利用情况等等，都是需要考虑的问题。但是，事实上目前还没有适于混农林业的物种的明确分类，也缺乏重要作物栽培种在近似混农林业制下的性能方面的资料，因此就必须探索可能适于混农林业制的作物种性状，同时利用在混农林业制中可能有前景和具有经济价值的次要作物品种。在评价作物品种在混农林制中的潜力时，必须考虑这些问题。

（二）普通作物应用于混农林制的可能性

一种作物能否应用于混农林业制，可根据它在不同混农林业制中的生长和生产能力予以评价和确定。在大部分的情况下农作物都不能达到它们的最适生产能力。作物潜力能否发挥，取决于环境条件，在混农林业制的情况下，这些条件不是一致的，各农庄之间有巨大的差异。而且，作物种的选择取决于农民的经营和饮食习惯以及当地的社会经济条件。一般来说，上层树种的冠层密度、不同植物种的生根型式，物候期和分枝习性等是有关的重要性状。在一定的土壤和气候条件下，其中的某种性状，如冠层密度可能取决于管理，但某些性状却受遗传的制约，很少因环境和管理条件而改变。因此，在为混农林业制选择物种时，必须按照以下的步骤，即：评价物种最适生长的生态生理要求，检验它们在通常栽培条件下的生长习性，评价它们在混农林制中应用的可能性，将可能应用的各种耕作制与在相似条件下获有成效的耕作制进行比较。

（三）作物对环境的适应性

所谓适应性是指作物能在不同环境下生存和再生产的能力。如前所述，在混农林业制中，环境不仅涉及气候和生态生理参数，而且牵涉到限制某些生长参数的养分供应，因而，不可能具有适于某些作物和栽培品种最适生长的理想条件。作物品种对环境适应性的差异，有利于选择适于不同环境的作物。就某些作物、特别是像玉米、木豆之类一年生作物对环境的要求来说，许多热带地区一年中至少有一部分时间是适于它们生长的。另一方面，其他一些品种，如可可和除虫菊之类作物对环境的要求却比较严格，因此，它们只能适应于热带内有限的区域。这样，地区的一般环境条件将决定作物的适应与选择。为了帮助选择适于特定环境的作物，P·K·R·Nair根据各种作物对热带不同生态区的适应性对它们进行了大致的分类（表4）。

对于个别作物品种必须考虑的一点是：在混农林制下在多大的程度上能满足其最适生长的要求，以及因施行混农林业制而改变的环境对作物的生长和生产力有什么影响。严重影响林下作物生长的一个因素是光照，因此，作物生长习性对光照要求的程度，是决定它能否适应混农林制条件的最重要因素。植物的哪一部分有经济效益也有关系，譬如生产谷粒和豆粒的谷类和豆类作物，就需要充足的光照才能发挥最适的生产能力。另一方面，已知有几种能适应或能耐不同程度荫蔽的作物，它们显然适用于混农林业制。就喜阳植物来说，它们因荫蔽而致减产的程度也是需要考虑的一个重要因素。

适于混农林制的另一类作物是与其他品种有相互作用的作物，如需要支柱的蔓性或攀援植物。这类作物大都能适应光照较少的环境，胡椒、薯芋以及葫芦科的一些种就是这样。在这方面的另一重要生长习性是具有适宜的生根型式。然而，适宜性的标准却取决于环境，如取决于伴生作物的生根型式、环境条件等等。在某些情况下，以铺展面最小的、浅生或范围有限的根系为最理想；而在其他情况下（如较干旱地区），则以伸展的根系为宜。

根据上述，一个适应当地气候的品种是否适于混农林业制，主要取决于它对荫蔽的适应性、在非最适条件下具有适当的产量以及跟其他作物一起种植所必需的特殊生长习性。