

农林复合系统中的科学

李秀彬 译

农林复合业是一种传统的种植方式,即农民从自身的利益出发,将树木与作物混种。根据孢粉分析,这种种植方式至少已有 1300 年的历史,而树木的驯化史则可能更久。农林复合业从农民的常识发展成为农业研究的前沿领域,则是近 20 来年的事情。这期间,它作为集农、林两业所长的一种持续发展的实践活动,被广泛地推广开来。将树木与作物混合种植或与畜牧业复合经营,目的在于提高作物的产量,保持土壤,增进养分的循环,同时提供燃料、饲料、水果和木材。人们对农林复合业潜力的认识,最初大都基于描述性的资料或传闻,而且多是在生产潜力较高的地区取得的。以往针对农林复合业的应用研究十分活跃,但有关其自然和社会经济过程的基础性研究工作却很少。

农林复合业目前还不成其为科学,其理论基础仍需以周密而严谨的治学态度加以发展。现在它还只能说是涉及到生态学、经济学、人类学、农学、林学、土壤学、动物学、树木遗传学、生物统计学及其它应用学科的一个研究领域,经过这个大熔炉的反复锤炼,它才能成为一门人们公认的科学。由于涉及到的交叉领域如此之广,未来的复合农林学极可能是一门十分诱人的学科。

目前,世界上许多研究机构正在对农林复合业的基本问题进行着深入的探讨。我们归纳了农林复合系统区别于农业或林业系统的两个基本属性,即竞争和复杂性。这两个性质又演绎出了农林复合系统的两个期望属性——盈利性和持续性。本文的目的就是要论述这些法则和属性,作为建立科学的复合农林学的一种尝试。

1 竞争

相邻生长的植物个体,其间的相互作用有些是积极的(互补),有些则是消极的(竞争)。从自然方面来讲,农林复合种植的关键是如何从农民的利益出发,调整好系统中树木组分与作物/牲畜组分之间在光、水和养分利用等方面的相互作用。从很大程度上说,最初激励农林复合系统研究热忱的是这样一种假定,即把树木与作物种在一起的时候,它们之间在生命元素摄取的关系上是互补的,而不是竞争的。

1.1 同时型与顺序型农林复合系统

农林复合系统指林、农/牧组分间相互作用形成的整体。时运用的是共同的方案:一个具有不变分维的大区域空间的确凿存在表明,无论在何时给系统增加轨道,都是使用的相同方案。根据这一观点,分析较为陈旧的数据,并检验随着时间的变化分维是否为一常数是颇有意义的。此项工作对于预测下一步轨道应该增加在何处是极为有用的。如果人们接受了分形行为的思想,则显然首先应当将轨道增加在任一密度较低的地区。类似地,在某个时候观察密集的内城区和分形的郊区区域之间的转换点如何随时间而变化,亦将是饶有趣味的。

译自《Geographical Analysis》,1991,23(4) 艾南山校

体,各组分在空间上不存在连续的界线,并以此区别于其它类型的土地利用系统。尽管农林复合系统的分类体系多种多样,但从功能上讲只有两大类,即同时型和顺序型。在同时型农林复合系统中,农、林组分的生长在时间上同时发生,在空间上足够接近,以致相互作用十分密切。属于这一类型的有篱笆间作、等高活篱笆、园地(parklands)、围篱(boundary plantings)、庭园种植以及几种林牧复合系统。

在顺序型农林复合系统中,作物和树木可能是同时种植的,在空间上两种组分也可能靠得很近,但它们的旺盛生长期却在时间上相互错开。属于这一类型的例子包括烧垦、改良的休闲耕作、唐亚系统(taungya)及某些多层种植形式。在顺序型农林复合系统中,由于作物与树木生长发育的时间差,两种组分间的相互作用被降低到最低限度。

1.2 篱笆间作的经验 篱笆间作是一种同时型的农林复合系统,系统中短生长期的粮食作物按一定的宽度呈条带状种植,其间为密植成篱笆的树木——主要是豆科植物。篱笆需要定期修剪,剪下的枝叶覆盖于地表,以增加土壤中的养分并控制杂草的生长。农、林组分间在空间上的这种布局形式使两者的相互作用达到了最高限度。篱笆间作不可与等高活篱笆相混淆,后者也是一种同时型的农林复合系统,但篱笆是在陡坡地上沿等高线种植的,篱笆带的间距并不固定,篱笆植物通常是不加修剪的草本和本木植物。

植物生态学家和农学家已分别对自然系统和作物间作系统中不同植物间的相互作用进行了深入的研究。针对以作物为唯一产品的同时型农林复合系统,翁(Ong)和布莱克(Black)提出了一个定量描述树木与作物相互作用的公式。经修改后,这个公式具有下面的形式:

$$I = F - C \quad (1)$$

其中:I为相互作用的总体效应,以复合系统中作物的产量与该作物单作时的产量的比率百分数表示;F为肥力效应,即因土壤肥力改良(如树木上修剪下的枝叶增加土壤养分,树冠的遮蔽作用使土壤蒸发减少和土表温度降低等)所造成的作物增产的百分比;C为竞争效应,即因树木争夺光照、水分和养分所造成的作物减产的百分比。上式中I的正值意味着树木与作物总体上是互补的关系;负值则表明树木对作物的总体效应为负影响。

公式(1)中两个参数的测定可以通过篱笆间作试验中的四种对照来完成:Co=作物单作;Cm=作物单作+用树木上修剪下的枝叶覆盖地表;Ho=作物+树木,但修剪下的枝叶取走;Hm=作物+树木,覆盖物保留的地表。F值可以由Cm-Co确定,这是从树木修剪下的枝叶覆盖地表改善农田气候,阻止杂草生长,以及在分解后增加土壤养分的效果。因此从广义上讲,F值代表了树木组分对于土壤肥力的效应,涉及到因残落物和人工覆盖物的增加而造成的土壤养分状况和物理性质两方面的变化。C值可以用Hm-Cm或Ho-Co来衡量,它是在土壤肥力效应之外树木对作物产量的影响。因此,我们可以得到具有可操作性的衡量篱笆对作物产量影响的运算公式:

$$I = (Cm - Co) - (Hm - Cm) \quad (2)$$

遗憾的是,在以往的篱笆间作试验研究中,妥善地安排好这四种对照以排除其间相互干扰的试验设计实属凤毛麟角。当试验地块面积很小时,作物单作的试验地块(Co)受到邻近的Hm与Ho地块树木根系的干扰,结果就会得出偏向于篱笆间作的结论。实际上,由于存在着植物对地下资源的竞争,在这方面考虑不周就出现了上述情况,即邻近地块的树木吸收了对照地中的水分和养分,因而降低了对照地中作物的产量。

翁、雷诺兹(Reynolds)信伍默尔(Woomer)等人分析整理了现存的有关篱笆间作的文献,收集了100多组试验数据。它们代表了各种类型的土壤以及从半干旱到湿润带的不同的气候

条件。在印度肥沃的半干旱淋溶土地地区的试验表明,篱笆间作具有强烈的负效应(-58%)。在这种环境条件下,篱笆植物产生了中等程度的肥力效应(+19%),但它们与作物间对水分的竞争作用却十分强烈(-77%)。来自其它方面的数据也表明,在水分短缺的半干旱地区,篱笆间作系统出现负效应的可能性很大。

热带半湿润地区的试验显示了中等程度的肥力效应和竞争效应。在尼日利亚伊巴丹进行的一个篱笆间作试验显示了很高的肥力效应(+58%),但遗憾的是,这个试验中并没有布设作物单作的对照,以致妨碍了对I值和C值的估计。根据邻近的国际热带研究所(HTA)的试验站中玉米单作产量数据推算出的C值为-54%,因而这个篱笆间作系统的总效应只有+4%。

最后,在水分不构成限制而养分往往不足的热带湿润地区,试验结果仍显示了较强的竞争效应,主要表现在光照和养分上面。来自哥斯达黎加图里亚尔瓦地区的数据表明,正负效应基本相抵(总体效应刺桐篱笆为-3%,篱巴格巴西木篱笆为+1%),那里的土壤发育在火山灰上,肥力较高。在秘鲁的尤里马瓜斯地区强酸性低肥力的土壤上进行的试验则显示了强烈的负效应(-30%),原因是篱笆植物对养分的竞争作用强烈。整个趋势中的一个例外是印度尼西亚北楠榜地区酸性老成土上的双翼豆-玉米篱笆间作,I值达到+32%。双翼豆这一非豆科植物形成的篱笆密集而低矮,它生产的覆盖物产量很高,而对作物的遮荫作用却很小。这一系统的F值不算很高(+58%),但其C值却比较低(-26%)。

篱笆间作系统的表现受到很多因素的影响,如树种和作物品种的选择、带宽、生物量、作物熟制、树木修剪的时间和次数、耕作、施肥及除草等,但最关键的因素看来还是植物的环境适宜性,它决定了篱笆间作这种农林复合形式只能在有限的区域范围内取得预想的效果。

关于篱笆间作的适宜地区,现在可以得出一个结论:即那些水分和养分比较丰富,也就是土壤肥沃且降水稳定的地区。紧接着人们就会问,篱笆间作是否就是这类优越环境下最好的种植方式呢?

要回答这一问题,还需从土壤保持和社会经济等方面进行考察。当篱笆间作在坡面上被用作等高活篱笆时,可以起到明显的减轻水土流失的作用。等高活篱笆保持土壤的作用将在后面的章节中讨论。然而可以肯定的一点是,只要活篱笆沿等高线生长起来,并形成连续的挡土带后,篱笆间作系统就会起到控制坡面流失的作用。某些情况下,这种水保作用属于优先考虑的因素,而竞争效应则可以忽略。

在肯尼亚西部地区进行的社会经济方面的研究表明,篱笆间作系统中的玉米产量必须比玉米单作时的产量高出18%,才能抵消因建立篱笆带所附加的劳动力投入。斯温克尔斯(Swinkels)和弗兰泽尔(Franzel)发现因树木修剪增加的劳动力需求只有5%。不过,在修剪用工方面也存在一些限制因素。例如,树木需要修剪的时候往往也是农活最为繁忙的时节,假如篱笆带不能得到及时的修剪,由于竞争作用的加强作物就会严重减产。在尼日利亚的调查发现,除非农民们对土地拥有所有权,否则他们不愿在篱笆带上种植很多树木。因此归纳起来,篱笆间作系统最容易成功的环境有以下几个方面的特点:①土壤肥沃,养分供给不构成限制因素;②作物生长季节降水充足;③土地为遭受侵蚀威胁的坡地;④劳动力资源丰富,同时土地资源贫乏;⑤土地所有制较为稳定。对篱笆间作这种农林复合技术的研究持续了15年之久,然而其竞争效应却没有得到应有的重视,这不能不说是一种遗憾。回顾一下,以往策略上的失误主要是将篱笆间作与一年生作物间的间作等同起来,形态差异较大的C₃和C₄植物的间作常常会促使作物增产。然而树木与短生命期的作物有两方面根本的差别:树木为多年生植物;其根系十分发达,当作物的根系刚开始发展时,树木根系就已经在吸收土壤中的养分和水分了。这

两个性质都为树木赢得了重要的竞争优势。

根据诺德韦克的遮荫—覆盖物模型,这种复合系统在任何情况下都需要精心的管理;以减轻植物间强烈的竞争作用。诸如带宽的设计、补充施肥以及在篱笆植物中避免速生树种的选择等,都不能掉以轻心。因此,篱笆间作对管理的要求过于严格,不太适宜大规模地向农民推广。如何从农民的利益出发针对树木内在的相对优势采取必要的管理措施,以缩小其影响,对农林复合技术的开发来讲是一个重要的课题。多数情况下,篱笆间作难以达到这一目的。

1.3 金合欢效应 从篱笆间作的经验中,我们得出了否定的结论,那么同时型的农林复合系统中到底还有没有成功的模式呢?回答是肯定的,撒哈拉地区的微白金合欢(*Faidherbia albida*)园地就是一个突出的例子。在这种金合欢成株周围 5 至 10 米的范围内,黍和高粱等作物的产量比作物单作的产量高出二三倍。若用树木—作物相互作用公式来衡量,这种复合系统的 I 值相当于 +100% 到 +150%,而且还不包括来自树木的其它两个重要的收益,即燃料和旱季饲料。

微白金合欢的生长发育显示出反物候现象(reverse phenology),它在旱季枝繁叶茂,而在雨季来临时却开始落叶。这种植物的主根能够深入地下 30m 深,在干旱季节可以吸收那里的水分,是水分和养分均很贫乏的环境中的一种适应性很强的植物。

在干旱季节,微白金合欢枝叶和荚果被用作反刍动物的饲料。各种动物都喜欢在这些合欢树下乘凉和排泄粪便。人们还发现,用这种植物喂养的羊只,其育肥速度跟用新银合欢、田菁(*Sesbania Sesban*)及紫苜蓿干草喂养的差不多。根据里德(Reed)的资料计算,微白金合欢残落物的木质素与氮的含量比(4:3)较低,而可溶多酚与氮的含量比(11:3)处于中等水平,说明其残落物在雨季开始后的分解速度会很快。由于这些过程的存在,一个个以树木为中心的“肥岛”随着合欢树的长大逐渐形成了。这种合欢存在着很多变种,但多数的生长速度都很缓慢,因而估计“金合欢效应”的形成至少需要 10 年时间。

此外,在落叶的树下,小气候也有所改善。树木的枝干为作物遮去了 50% 的阳光,因而降低了能够使谷物幼苗致死的过高的土表温度,同时在日间最炎热的时候还降低了叶面温度和蒸腾作用,而在其它时间又可透过全部的太阳辐射。因此,金合欢对作物小气候有着积极的影响。

对布基纳法索的两个金合欢园地的观测均显示出土壤有机质、全氮、有效磷和有效钾的含量有一定程度的增加,树下的高粱产量比树冠以外平均高出 2.1 倍。观察还发现,从热带半干旱到半湿润地区,金合欢效应逐渐减弱,直至最后消亡。这方面的工作目前严重缺乏定量化的数据。

1.4 南部非洲的轮作 南部非洲半湿润的高原地区为广袤的萨王纳草原。这里有着漫长的干季和一个 4~6 个月长的雨季。土壤中氮的缺乏是农业生产主要的限制因素,以农林复合技术来增加土壤氮的含量成为当地科研探索的目标之一。由于篱笆间作在这个地区的效果不佳,人们以一个顺序型的农林复合系统取而代之。田菁属于速生树种,在当地的土壤中有固氮作用,在参考了当地农业活动用工表并咨询了很多农民以后,一种玉米—田菁轮作形式被确定下来。

在这种间作系统中,玉米以常规的行株距按带播种,稍后田菁苗木也按带移栽。玉米生长很快,而田菁则发育缓慢,两者间的竞争不很明显。当第一季玉米收获以后,田菁才进入速生期。旱季的大部分时间是作物的休闲期,而田菁仍在迅速生长,因为这种植物的主根能够深入土壤下部吸收水分,并固定空气中的氮素。固氮的证据是根系上存在着健康的根瘤,赞比亚奇

帕塔地区的田菁,其根系在一年内达到地下 4m 的深度。在马拉维的松巴地区,田菁一年内的落叶为每公顷 1.7 吨,其中的养分含量非常高(3.6%的氮和 0.37%的磷)。旱季落叶对土壤的养分贡献,约合每公顷 80kg 的纯氮和 6kg 的纯磷。农民们每年收获的薪炭约为 1.7 吨/公顷。当第二个雨季来临时,玉米开始播种,田菁落地的种子也开始出苗或被重新栽种。这样周而复始,到目前已经过了五个周期。

田间试验包括两组对照;不施化肥的玉米—田菁间作与玉米单作;按经济上最佳氮磷比施肥的玉米—田菁间作与玉米单作。对第一茬作物来讲,产量上看不出多大差别,因为这时树木尚小,竞争和补偿作用都很弱。从第二年开始,无论施肥与否,间作玉米的产量都达到了单作的两倍。1992 年和 1994 年两年是南部非洲的严重干旱年,很多地区的作物都遭到了毁灭性的打击。即使是这样的年份,在未施化肥的对照中,间作玉米产量也相当于单作产量的两倍。

采用最佳施肥量的对照试验同样显示出田菁间作的正效应。种植田菁的地块五年内平均单产为 4.4 吨/公顷,而玉米单作的地块平均每公顷为 4.0 吨。当然,施肥单作在几种对照中仍是最经济的一种,但对那些买不起化肥的农民来讲,田菁间作不失为另一种选择,因为无论年景好坏,其产量都比单作高出一倍。

1.5 南部非洲的改良休闲耕作 在人烟稀少的萨王纳疏林地区,连续种植的玉米田与休闲 1~5 年的草地同时存在,耕地中的施肥量严重不足。在某种程度上讲,这是热带萨王纳草原上的一种轮垦方式。改良的策略是通过休闲期种植的豆科植物积累氮素,抑制杂草,并改善土壤物理性质。赞比亚奇帕塔地区的工作显示出,在两年的休闲期内种植田菁,玉米出现大幅度增产(与不施化肥的玉米单作相比)。试验期为 6 年,对休闲耕作来讲,前 2 年为玉米的休闲期,只有田菁生长。结果显示,休闲耕作的玉米产量是连续耕作的两倍。费用—效益分析的结果也表明,休闲耕作的 6 年累计净效益为连续耕作的两倍左右。

2 复杂性

农林复合业研究领域的各个方面都显示出错综复杂的特点。上文概略分析了其自然方面的复杂性,这种复杂性在其社会经济和生态方面也同样存在。

2.1 社会经济复杂性 从社会经济的角度研究农林复合业涉及到很多方面的问题。首先,农林复合系统具有时间和空间上的差异。在农民的耕地中,树木很少是有规则地分布的,它们通常占据着零散的地块,如庭园、休闲地及田边地埂等。农林复合系统常常是与单纯的农业系统及单纯的林业系统共存。某些顺序型的农林复合系统,在初期类似于农业系统,而在后期又象是林业系统。

其次,农林复合系统还受到尺度因素的影响,最小的尺度是农户,最大的尺度则是国际社会。在诸如江河湖海的淤积,生物多样性的丧失及二氧化碳的释放等问题上,国际社会可能会通过各种途径对各国政府施加压力,使国际问题内部化。在两者之间还存在着两个重要的尺度,一个是社区或流域尺度,另一个是国家尺度。在社区的土地利用问题上,社区中的长者往往最有发言权;而在国家的尺度上,政府政策的作用最为重要。各种不同尺度间的相互作用是真正复杂的问题,例如鼓励木材出口的政策可能会削弱社区在有关方面的传统权力。在综合与分析不同空间尺度的数据方面,地理信息系统不失为一种有效的手段。

另一个层次的复杂性源于农林复合业的产品和服务的多样性。这种产业的产品不仅有粮食,还有水果、饲料、薪炭、木材及药品;除此之外它还提供多项服务;如保持土壤和生物多样性等。多数产品都具有经济价值,而各项服务大都有环境意义,但不能用货币来衡量。

农林复合业所涉及的机构和组织庞杂多样,因而有关研究工作在操作上十分烦琐。这些组

织分别隶属于各种不同的部门,如农业、林业、环境及土壤保持等。在大学或研究所内部,农林复合系统研究又横跨许多学系或学科组。这也是自然资源管理领域研究工作的一个特色。

2.2 生态复杂性 尺度和时间因素同样也增加了生态学分析的复杂性。例如,从不同的空间尺度看待树木的生态作用,一块农田里的几棵树与整个流域里的成千上万棵树,其效果是完全不同的。生态问题的外在表现,反面的例子如河流的沉积,正面的例子如植物多样性的增加等,从较高的空间尺度上容易觉察到,而对一个农场来讲就谈不上。

特别需要指出的是,对不同的农林复合系统中病虫害与其天敌的相互作用机制目前还所知甚少。这种作用会影响到系统的食物链,最终可能会决定系统的可持续性。新银合欢木虱在整个热带地区的传播给这种植物带来了严重的打击。当一个外来生物种刚刚迁入时,其捕食者可能被留在了原产地,但后者最终会循迹而至,新的捕食者也会出现。农林复合系统的研究人员必须对此有所准备,一方面要增加和保护生物多样性;另一方面要与昆虫学家和病理学家加强联系。

2.3 研究方法的复杂性 方法的复杂性也是农林复合系统研究的一个特点。在保证精确性和可重复性的同时尽量简化研究方法,是这个领域中的一大难点。试验设计和统计分析尤其值得注意。然而过分简化的方法也会带来严重的问题。

最大的难题还是对地下部分的研究,目前仍然缺乏对土壤过程和根系相互作用的直接观测手段。对于低投入的系统,土壤氮磷供应的测定需要较为精密的仪器,常规的方法不能胜任。土壤有机质含量的变化,用全碳和全氮等常规手段也难以测定出来。此外土壤磷的有效性的测定也是一样。最近在土壤生物过程评价方面取得了许多进展。但某些参数仍缺乏临界指标。如微生物的生物量和不稳定生物磷等方面。从经济、社会及生态学角度评价农林复合系统的稳定性和持续性的方法仍待进一步探索。

3 盈利性

发展农林复合业的目的除了要保障粮食的稳定供给,提高土壤肥力,保持水土,增加饲料和燃料产量以外,还包括提高农民的收入水平。如果没有一定程度的盈利性,农林复合系统也不会达到持续发展。盈利性是持续发展的必要条件,但不是充要条件。事实上,许多经济效益很高的土地利用系统从农业、社会和生态的角度上讲并不具有持续性。但持续性的农林复合系统多数都是把具有较高经济价值的产品一如咖啡或可可一与较好的生态效益巧妙地结合起来的系统。在印度尼西亚发展起来的一些多层的农林复合系统就是其中的典型代表。这些系统的生物多样性水平接近于开垦之前的热带雨林生态系统,并通过橡胶、玳马树脂和水果等产品为农民提供了稳定的经济收入。由于这些产品都是量小价高的商品,因而能维持较大的市场优势,而且从土壤中带走的养分也微乎其微。提高农林复合系统盈利性有三个策略,即植物驯化、市场开拓及政策改革。

3.1 植物驯化 提高农林复合系统盈利性的第一个策略是通过驯化的方式,将那些长期以来被科学界所忽视的热带树种中的“灰姑娘”开发为新产品,其中包括野生果树及药材和高级木材树种。在农林复合系统中驯化野生树种的过程一般包括三个阶段。首先是通过社会经济评价和民族植物学调查鉴别出开发潜力较大的树种。其次为种质资源的保护、选优及种子或营养繁殖材料的准备。最后是将其结合进农林复合系统中去。用传统方法进行树木育种往往需要多年的时间,如今可以利用改良的营养繁殖和无性繁殖的方法加快这一过程,并且可以最大限度地保持尽量多的遗传属性,降低风险。

3.2 市场开发 成功的市场策略对野果等非木材林业产品的开发至关重要。开拓这类新产

品的市场,私人公司具有一定的优势,当然政府的扶植政策对某些障碍因素的消除也是必不可少的。市场开发的策略首先是发展现有的市场,同时把注意力放在那些可由非木材林业产品替代的传统商品上。首先是刺激需求,然后才是增加供给,这个程序不可倒置。为一种人们完全陌生的新产品一比如另一种猕猴桃一开辟国际市场,其可能性是存在的,但风险很大。此外,应当把那些作为其它商品的原料成分的产品开发放在优先地位。提高农林复合系统经济效益的长远战略是在当地发展与产品开发有关的加工和运输业,这样,当地农民才能从产品附加值中受益。

3.3 政策改革 技术进步是确保农林复合系统广泛推广的必要条件,但不是充要条件,而政策的导向却是最为关键的因素。因此,政策研究对一个成功的农林复合系统来讲是必不可少的。政策研究主要有两个方面的问题:哪些是对农林复合系统或土地持续利用有利的政策?如何改革现行的不合理的政策?土地和树木的所有权、在树木的营养期对农民的扶助以及对外在环境效应的估价是政策研究的三个主要课题。无论是土地还是树木,所有权必需稳定,这是决定农民是否愿意种植树木或对农林复合业投资的先决条件。在农林复合系统开始布设的最初三五年内,由于树木尚未形成产品,其经济效益是看不到的,生态效益也不明显。如何采取相应的政策来帮助农民度过这一困难阶段,是政策研究的一个主要课题。农林复合业的发展可以使整个社会得益,如水土流失被控制后的水质改善等。在这种情况下,社会往往倾向于大面积地推广农林复合系统,然而农民有时并不愿意这样做,这就产生了一对利益冲突。如何协调农民的个体利益与整个社会利益便成为政策研究的一个重要课题。

4 持续性

持续性的概念包含三个方面的内容:经济持续性、生产持续性及环境持续性,三者均有较强的时间尺度。效益好的农林复合系统,由于其产品的多样性和环境的正效应,相比其它系统来讲要稳定得多,不容易受到外界环境的干扰。在环境条件较好的地区,农林复合技术的引入确实增强了许多农业系统的稳定性,不过本文将要讨论的却是那些环境条件较差的地区。在这类地区,限制发展的因素较多,如降水变率较大、土壤贫瘠、地形复杂、耕地资源贫乏及资金短缺等。就环境持续性来讲,在这样的地区发展农林复合业才更有价值。从这个意义上说,持续性指保持土壤、增加生物多样性、保持陆地生态系统中的碳素以及增进植物对养分的吸收等。

4.1 保持土壤 土壤侵蚀的治理是持续发展的一个重要课题,其意义在于防止土地生产力的降低和减小对下游地区环境的破坏,如江河湖海的淤积、地表水体的富营养化以及近海海洋环境的污染等。坡地的治理策略正经历着许多方面的转变,加里蒂(Garrity)和诺德韦克将其归纳为三个方面:①以工程措施为主的治理策略已让位于以生物措施为主的策略;②着眼于流域的从上到下的治理策略正转变为着眼于农民或社区的策略;③以耐修剪的豆科树种为中心的等高篱笆间作措施演化出多种形式的等高活篱笆系统。

密植于坡面上的树木从两方面降低了水蚀作用:首先,树干、低位树杈、浅层根系及枯枝落叶起到阻挡地表径流的作用;其次,树下的土壤一般都具有较好的结构,因而水分的入渗速度也比较快。这方面的科学例证数不胜数。多数树木一旦长成以后,在发育健康且枯枝落叶层不被破坏的情况下,都会对土壤起到长期的保护作用,将树木的生物量向农田里的转移削弱了枯枝落叶对树下土壤的保护作用。此外,树木的根系是根围微生物碳基质的来源;微生物粘质具有将土壤颗粒结合为稳定的团聚体的作用,进而改善土壤结构。由于树木具有多年生的属性,这一重要的土壤过程在农林复合系统中是连续进行的,而在一年生作物的单作系统中则是断

续发生的。

有些树木,由于其本身的枯枝落叶层稀薄,对下层的植物的对等影响又比较强,实际上有加重侵蚀的作用。黑荆树(*Acacia mearnsii*)就是一个例子,坦桑尼亚的农民把它看作是诱发坡地侵蚀的因子之一。

树木通过阻挡作用,还有助于控制风蚀。因此在全球许多强风区,都设有防风林带。需要指出的是,树木的防风效果并不在树木栽种后即刻出现的,而在林带形成以后;其次抵御风蚀最关键的高度层次是地面以上0到1m的范围。有关科学试验证明,木本围篱在热带地区对减弱风蚀具有较好的效果。不过,假如树木的串根性比较强,防风林带就会影响邻近地块的作物产量。

活篱笆和篱笆间作系统能够有效地控制土壤侵蚀,这已是毋庸置疑的事实。除此以外,控制侵蚀还有一些其它手段,如在坡面上修建的梯田和沿等高线布设的草带和截流沟等。能够提供其它产品和服务是等高活篱笆的优势,其下层往往是可做饲料的木本或草本植物,上层则为生产水果、木材及其它产品的乔木树种。等高活篱笆的确需要一些必要的管理措施。但其维护费用肯定比土坎梯田低,除了能够保持土壤以外,这种措施的关键意义在于,它是农田生态系统中一个生产性的有机组分。

控制土壤侵蚀的生物措施还有另一方面的优势:随着时间的推移,篱间地的坡度会逐渐减缓,有些情况下甚至会变成水平梯田。这种“生物梯田”的形成实际上是篱间地的侵蚀与具有挡土功能的活篱笆共同作用的结果。这个过程包括两个方面,即篱间地上部表土的冲刷和下部的堆积。其结果也造成了篱间地各部位作物产量的不平衡,如何改变这种不平衡是有待研究的一个重点课题。

土壤侵蚀程度通常以产沙量来表示,其实侵蚀对土壤肥力的影响也是很大的。例如,卢旺达耕地氮素与磷素的流失有一半是侵蚀和径流造成的。可以说,以农林复合技术控制侵蚀是恢复退化坡地土壤肥力的先决条件。

4.2 增加生物多样性 比起作物单作和纯林地系统,农林复合系统的生物种类要复杂得多。不过,后者对保护植物和动物多样性的意义主要体现在它的预防作用上,即通过对烧垦耕作的替代作用来遏制热带森林生态系统的进一步破坏。生活在森林边缘的农民,当他们的土地丧失了生产力之后,就会毁林开荒。多层种植就是替代这种烧垦农业的土地利用形式之一。在这种系统中,一年生的粮食作物与多年生的树木混种,它们在空间上占据着不同的层次,并生产水果、树脂、药材及高级木材等价值较高的产品。发展一公顷多层种植,每年就可以从刀耕火种者的斧下救出几公顷的雨林。对这种替代作用难以进行精确的估算,但有些文献提出了1:7.1和1:11.5两个大致的估计数。

无论是在地上或地下,农林复合系统的生物多样性程度都比单作系统要高,至少在热带湿润地区是这样。在印度尼西亚苏门答腊地区以橡胶生产为主的农林复合系统中,植物多样性指标为每公顷300个植物种。这一数值虽远远高于橡胶单作系统(5),但仍低于当地未受破坏的森林生态系统(420)。在这个地区50年生的以生产玳马树脂为主的农林复合系统中,生活在当地原始雨林里的70%的鸟类和几乎所有的哺乳动物都可以见到。当然,不能指望那些种植时间不长、空间规模不大的农林复合系统也能达到这样高的生物多样性指标。

4.3 保持陆地生态系统中的碳素 农林复合系统在保持陆地生态系统中的碳素方面具有重要意义,因为这种土地利用方式在防止森林资源破坏方面起到积极作用,还增加了陆地生态系统(其中包括土壤)中的生物量。然而,农林复合系统在这方面的作用到底有多大,目前还缺

乏扎实可靠的数据。

土壤有机质既是植物碳素的一个来源,又是生态系统中碳素的储存库。其实热带土壤中的有机质总量与流行的说法正相反,并不是普遍偏低的。在热带雨林生态系统中,土壤中的碳素与地上部分的碳素含量相当,平均为每公顷 145 吨。森林砍伐后,地表温度上升,导致土壤矿化速度提高,从而加快了表土中碳素的释放。

4.4 增进植物对养分的吸收和保持土壤养分 土壤养分可以说是生态系统中缓冲能力最弱的组成部分。因此,补充土壤中因收获、径流、侵蚀、淋溶、反硝化等途径所流失的养分,是提高土地持续生产力的基本原则。农林复合系统在这方面能否发挥作用?初步的研究结果令人鼓舞,尤其是在氮素平衡方面。

树木通过两种过程增加生态系统中的氮素含量,即生物固氮和对深层养分的吸收。尽管定量地测定植物的固氮能力目前还没有很好的方法,但一些研究工作已为这种作用的存在提供了充足的证据。植物根瘤的存在及豆科中含羞草和蝶形花亚科植物对氮素的积累都说明,在磷素供应充足的土壤中,有固氮能力的树木可以通过枯枝落叶为作物提供大量的氮素营养。

所谓深层养分吸收指树木在作物根系活跃层以下的深度对养分元素的吸收作用。它可以被看成是农林复合系统多于作物单作系统的一个养分输入项。它是通过树木枯枝落叶的分解反映在土壤养分平衡中的。这一过程已在上文有关微白金合欢园地的讨论中涉及到。最近在肯尼亚西部对氮素缺乏的红壤(铁含量高的红色淋溶土和氧化土)土体下部的硝酸盐含量调查中有一个重要发现:在 50 至 200cm 的层次,每公顷含氮量为 120kg,而玉米没有能力利用这一层次的养分,但在田菁休闲耕作的土壤中发现,这个层次的氮素减少,说明田菁可以利用这部分资源。土体下部的硝酸盐来源于表土有机氮的矿化和淋溶,最后被带有正电荷的粘粒所吸附。从这个例子可以得出一个结论,即树木能大大地增加土壤可被作物利用的有效深度。

过去对固氮树种的宣传看来有些过头,特别是对苏木科的一些植物种。目前已有充分的证据证明,一些非固氮树种,包括决明属(*Cassia*)的若干种植物,其树叶中积累的氮素比豆科固氮植物要高,主要是由于这些树种有着发达的根系。

有了农林复合系统的生物固氮和深层养分的吸收作用,作物是否就不需要施用氮肥了呢?这主要决定于作物的产量水平。在上文谈到的赞比亚奇帕塔地区的田菁改良休闲耕作试验中,如果期望的玉米产量为中等水平(4 吨/公顷),那么就不需要施用无机氮肥,因为豆科树种生产的绿肥对土壤的氮素贡献可以满足作物所需。如果要求玉米的产量达到工业国家的水平(7 吨/公顷),就需要补充一部分无机肥,有机肥与无机肥间的相互作用在热带地区是有待进一步研究的课题。

摘译自《Agroforestry Systems》,1995,30(5)