

农业系统生态学

[英]剑桥大学T·P·Bayliss—Smith

申 曙 光 译

中国科学院《农业现代化探讨》编辑部

一九八六年元月

意。

*本书的翻译在导师章熙谷老师的指导下进行，并承黄小丹同志帮助。谨表谢意。

农业系统生态学

(英) 剑桥大学 T.P. Bayliss-Smith

* 申曙光 译

目 录

第一章	农业系统的生态限制因素..... (3)
	引言——几个定义——太阳能——植被对太阳辐射能的吸收——光合作用的效率——温度对作物功能行为的影响——降雨蒸发与土壤湿度——土壤养分的补充——氮素循环
第二章	农村社会之社会压力与农民的决策..... (10)
	生态压力与社会压力——人口压力——技术革新的推广
	社会组织的七个实例——社会准则与农民的目标
第三章	工业化前农业系统之一：新几内亚..... (14)
	新几内亚农业：石器时代的残余？——马里的环境
	马里农业：开发或是保护？——社会组织与定居方式——马里农业的目标——与欧州人的接触——农农业输入——农业输出——系统效率——对系统稳定性的威胁
第四章	工业化前农业系统之二：1820年代的威尔色..... (22)
	英国的工业化前农业——从自耕农到雇农——1826年的威尔色南部——M. L. 教区——羊—玉米农业的生态学——Fyfield采地农场农业输入：劳动——其它输入：马力——收割机——矿物燃料辅助能——外部劳动成本——输出：食物与饮料——富裕农场主与贫穷农场主——失业与暴乱——系统效率：能率——总能量生产率——剩余能量收入——能量产量——社会和生态稳定性
第五章	半工业化农业系统之一：玻利尼西亚的一个环状珊瑚岛..... (32)
	南海群岛：是神话还是陈规陋俗？——所罗门群岛中的O.J. 环状珊瑚岛——环状珊瑚群岛：是荒岛还是沙漠绿洲？——人口过剩的概念——原始的平等社会？——食物生产——外部辅助能——对椰子的依赖性——陆地及海域的能量产量——航海划子：能量奴隶——能率—总能量生产率——剩余能量收入——风暴：一种自然灾害——通货膨胀：一种经济灾难
第六章	半工业化农业系统之二：南部印度及其绿色革命..... (40)

	绿色革命：填满了半空的饭碗？——稻田生态系统——灌水所引起的土壤变化——南部印度：对灌溉的需求——1955年的旺格拉村——僵化的社会结构——一个中农的农场——旺格拉村自耕农的生产效率——自耕农农场的剩余能量收入——贱民的剩余能量收入——旺格拉村的二十年1975年的一个“中农农场”——绿色革命对社会的冲击	
第七章	全盘工业化农业系统之一：苏联的一个集体农庄…………… (48)	
	列宁所面临的问题：农村社会的不平等——斯大林的办法：集体化今天的苏联集体化农业——莫斯科州的土地利用状况——作物轮作制——肥料布局——集体农庄农业生产活动的安排——集体劳动与个体劳动——系统输出：个体经营的作用——总能量生产率——农庄工人的现金收入——剩余能量收入——能量产量：自留地生产——对集体利益的忽视？——辅助能——一个稳定的系统？	
第八章	全盘工业化农业系统之二：1970年代的威尔色…………… (57)	
	英国农村的工业革命——今日的M.L.教区的土地利用方式——人、畜与养分循环——一成不变的乡村？——英国南部一个典型的农场——能率——能量产量与劳动生产率——剩余能量收入——英国农业与欧州经济共同体	
第九章	结论…………… (62)	
	附图…………… (63)	
	附表…………… (76)	

一九八六年元月印

第一章 农业系统的生态限制因素

引言

本书主题是农业系统的生态学，即农业实践与承受这些实践活动的环境之间的关系。我探讨农业问题的方法不同于通常对气象、土壤和作物的研究，但我试图阐明形成农业地理差异的某些过程。限于篇幅，不可能将农业生态的每个方面都概括进来，只以连接农民及其作物、家畜的能量流为中心，讨论不同种植制度下能量流特征和流量的变化情况。

只是到了本世纪五十年代，生态学家才开始研究生态系统中的能量流。他们将生态系统定义为包含植物和动物的环境单元，其各组因相互依赖而结合成一个整体，并产生所谓的平衡性能。到了六十年代，学者们认识到，对农业系统也可以进行能量流分析。七十年代初，由于石油价格突然上涨，农业“先进”技术对矿物燃料能源的依赖性问题日益突出，这种分析工作得到了加强。显然，了解矿物燃料这种辅助性能源的限度对于将来应付能源危机是极其重要的。

与此同时，地理学家和人类学家在世界不发达地区所做的工作提供了较“古老”的食物生产系统中能量流的详细情况。对工业化前的农业技术与发达国家农民所采用的与之截然不同的方法进行一番比较是颇为得宜的。二者之间在效率、生产力及生态稳定性方面形成强烈的对比。在本书中，我以七种不同实例研究的方式，讨论这方面的一些工作。每一实例代表着一种与一整套社会及生态压力相适应的食物生产战略。第一章和第二章讨论这些压力的性质，第3—8章进行实例分析。

几个定义

每一学科都产生它自己的术语，农业生态学也不例外。我将尽量避免使用地理学家不甚熟悉的术语，但有必要先阐明一些在本书中重复出现的词语和短语的意义。

首先是“农业系统”(Agricultural System)。一个系统可以是任意大小，但我所考虑的食物生产系统都是小规模，可能是一个村庄、一个农场，甚至是一块地。“农业”包括动物性食物与植物性食物的生产。因此，我们的系统将包括小地理范围内人们与他们的食物生产资源之间的所有相互作用。

对这种资源的“生态学”研究意味着农业与环境(而不是政治，社会等)的关系将成为中心议题，而将着眼点放在农业系统能量流上，可以使人们很好地分析系统总体。

“能量”是指做功的能力，这是一个高度抽象的概念，可应用于一切现象。人们认识到了各种不同形式的能，如机械能、化学能、辐射能、电能和核能。能量既不能创造也不能消灭，只能由一种形式转化为另一种形式。在任何一种转化过程中，都有由有组织的形式向无规则形式的衰变，这种无规则形式的能叫热能。(后面这两点对于物理学家来

说是热力学的两条最初的定律)。例如,石油在引擎内燃烧或食物在人体代谢过程中分解时,都在进行化学能的转化,产生用来做功的机械能,并形成副产品——无规则形式的热。

农业系统的各种输入(inPut)——太阳辐射、手工劳动、机械做功、化肥和除草剂的应用——都可转换为能量值。同样,系统的各种输出(OutPut)——各种动植物产品——也可以能量值表示,尽管在人们对某一产品主观感觉到的价值,远远超过其实际能量值(例如,试比较草莓与马铃薯)的情况下,这种作法不能反映问题的实质。将系统的各种输入和输出都用能量值表示,我们就可以直接比较各种类型的农业,至少可以比较其精耕细作程度、产量、劳动生产率及其所能维持的“福利”(Welfare)水平。

但是,“福利”一词决非仅仅指收入高、肚子饱或舒适安逸。生活实际中,农业上的许多输出都不能简单地用一些科技术语或方法来衡量。农业专家评价和农业决策的许多方面同样难以捉摸。因此,不能不切实际地期望;如果某人分析了一个系统的能流,他就必然阐明了它作为一个食物生产系统而产生和存在的原因。要得到圆满的解释决不能只了解这个系统的功能——虽然,这种了解对于这样的解释极其重要。

太 阳 能

地球接收到的太阳光是一切生命能量的最终来源。不能自行调节体温的动物(如爬行动物、鱼类、无脊椎动物)直接利用太阳辐射,因为它们的体温取决于所处的环境。但是,和爬行动物不一样,人类不必直接暴露于太阳光下取暖。事实上,人体对食物的需要量在热天并不比冷天少。

和所有的动物特别是恒温动物一样,人体能量的基本来源是食物中的化学能。而食物的最终来源是植物物质,植物物质由小到在显微镜下才能看到的海藻到巨大的森林树木这样的生物所产生。之所以有这种初级生产,是因为植物能“固定”太阳能,合成化学物质。人类取食植物产品,或者取食那些本身也取食植物的动物,从而成为太阳能的间接利用者。

当然,不同地区接收到的太阳辐射量之地理差异极大(见图1—1,此处略)。这主要与三种因素有关:太阳高度、纬度、一年中不同时期的函数;日照长短,这在高纬度地区冬夏差异特别大;云层状态,它和太阳高度一样,决定了因为大气层所截获而不能达到地表的射线的比例。晴空万里时,达到大气外层的辐射有75%透过大气到达地面,但在阴天,这个比例降为25%左右。

太阳辐射是电磁波形式的能,其波长及频率有所差异。国际规定,各种能的基本单位是焦耳(J),这个单位很小。人们更熟悉的单位是营养学家使用的“卡”,一焦耳是0.239卡。本书中一般使用“百万焦耳(MJ)”及“兆焦耳(GJ)”;

$$1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J} = 239 \text{ 卡}$$

$$1 \text{ GJ} = 10^9 \text{ J} = 239,000 \text{ 卡}$$

为维持新陈代谢与组织替换,人体一般每天需要从食物中摄取10.5MJ(2,500卡)的能

量。

表1—1列出了世界上不同地区所能接收到的太阳辐射量，每平方厘米地表每年接收到的辐射，低到0.35MJ（在阴天多的寒温带气候下，例如威尔士的阿卑斯提斯地区），高到0.70MJ（在夏季干旱明显的亚热带地区，例如阿尔及利亚）。赤道地区常是多云天气，因此其辐射量远低于亚热带地区，这在多山地区尤为明显，除非是它处于雨云笼罩之下。例如，正好处于赤道上的厄瓜多尔布约地区，海拔高度为950米，每平方厘米地表每年接收到的幅射量为0.40MJ，比处于温带的英国也高不了多少。

表1—1资料也表明了辐射的季节性差异，特别是亚热带及温带地区。在新加坡（1°N）不同月份里云层状况接近，因此日照强度几乎相等，结果，每天的辐射量没有什么变异。在亚热带地区，最低辐射与最高幅射相差甚远，特别是在干旱季节，它与夏天的长日照是“孪生兄弟”，辐射强度是冬日的三倍。温带地区的这一差异增大9倍，在那里，冬天，由于昼长夜短，阳光缺少，即使在温室内栽培的作物也要借助昂贵的人工照明才会生长发育。

植被对太阳辐射能的吸收

某一地点所能接收到的太阳辐射量是限制植物光合作用的所有因素中最基本的因素，并且，农民对它又无能为力（除非是卖掉土地，移往阳光充足的地方）。但是，农民可以通过采取一定的措施来保证太阳辐射最大限度地为作物所吸收，进而转化为植物物质中的能量。

为了解太阳辐射这一因素的重要性，首先应当了解它到达地面后所发生的情况（图1·2）。即使在晴天，到达大气外层的辐射也只有1/3不被反射或再次辐射，穿过大气层到达地面而行使各种机能。在图1·2中，这种“净辐射”为每平方米每小时91焦耳，其中大部分通过水分蒸发作用而转化为潜热（每平方米每小时36焦耳），还有一些用来“加热”大气底层、植被及土壤表面（每平方米每小时6焦耳），只有很少一部分（每平方米每小时1焦耳）通过植物光合作用转化为化学能。

因此，光合作用在利用太阳辐射方面“天生”就是低效的。在上面的例子中只有0.8%的辐射能进入植物物质。如果地表没有完全为植被所覆盖，其效率还会更低。农民安排作物种植方式的目的是要使得叶片的空间排列最利于对光能的吸收。叶片的多少常以叶面积指数来衡量，它是指单位土地面积上的叶面积。对多种作物的试验证明，除非植物充分生长而完全覆盖住地表，否则将有大量的辐射落入叶与叶及植株与植株之间的空隙而浪费掉。但覆盖过重也有害处，因为繁多的叶片相互遮蔽而降低光合效率（图1·3）。

现以水稻为例来说明叶面积指数（LAI）应大小适当。在水稻的两种主要类型中，原南亚主栽品种（*Oryza indica*）为高秆多叶生长型，早期形成的侧穗多，它能很好地适应肥力低、灌水深的条件，但叶面积指数过高，原日本品种（*Oryza japonica*）为典型的矮秆健壮生长型，叶少，侧穗少，所形成的天蓬更为有效（即叶面积指

数大小适当)，植株对氮肥反应良好。

植物育种家最近已育成杂种水稻，他们希望这些杂种能兼具*O. japonica*的良好的叶丛特性、对肥料的良好反应能力以及*O. indica*的热带适应性。我们可以在第六章中看到，这种稻作上的绿色革命有其不利的副作用。

光合作用的效率

地面接收到的太阳辐射只有一半在对光合作用有效的可见光光谱范围内。其余的45%为红外线，70%为紫外线。这是指天空明净时的情况。一旦有云层存在，红外线和紫外线比例都要降低。

不同类型的植物通过光合作用将可见光光能同化进入碳水化合物的比例有所差异。叶面积指数、水分和养分供应，环境温度等因素的影响都能引起作物功能行为的差异，但即使所有这些条件完全相同，并都处于最佳状态，不同种类之间在光合作用效率方面还是有差异。这种生物性能的差异起因于利用 CO_2 的两条不同途径，即所谓的 C_3 途径和 C_4 途径。业已发现，热带或干旱地区起源的种类多为 C_4 途径，而温带起源的多是 C_3 途径。

人类的栽培植物来自这两种类型，它们在不同纬度所记录在案的最高产量形成一种有趣的对照（图1·4）。 C_4 种类包括玉米、甘蔗、高粱及饲料草（如百慕草和赖草），它们似乎在热带和亚热带地区占优势。至少是在一个短时期内如此。它们能将吸收的光能的3—5%转化成供植物生长的化学能，和低纬度地区的 C_3 作物相比，这是一个较高的比例。

产生这种高效率的一个原因是： C_4 种类能有效地利用一天当中强度最大时的日照。作物的直立生长（例如甘蔗）意味着叶片与太阳光线的夹角较小，因此，光照强度总是难以超过叶片光饱和点。 C_3 种类（例如水稻、油棕榈、木薯属植物）在热带的最高产量也常常是不理想的（当然，实际产量远低于图1·4中的数字，因为只有在实验农场里才可能使各种栽培因素保持最佳状态）

纬度越高越有利于 C_3 种类。玉米是 C_4 种类中唯一能在 40°C 以上的纬度下反应良好的作物，但在这样的高纬度下，即使是它也比不上小麦、糖用甜菜等 C_3 种类。在生长过程中， C_3 植物一般将3%的光能同化成化学能，但是，当然，只有一部分物质能为人类所食用。禾谷类作物干物质的50%存在于谷粒中，其余组成不能食用的根、茎、叶。

温度对作物功能行为的影响

对于植物生长，除太阳辐射、植物对它的吸收及光合转化效率外，还有三个重要的生态限制因素：不良温度、湿度负担、营养缺乏。

温度只是在它处于极端值时才显得重要。可以利用和图1·3的叶面积指数曲线一样的图表来表明每一特定作物在低温或高温时与正常温度下相比较的生长率的降低情

况。例如，温带地区的禾谷类作物（燕麦、黑麦、大麦、小麦等）在相对较低的温度下都有一定的生长，除非温度下降到 $0—5^{\circ}\text{C}$ ；它们的最适温度范围是 $25—31^{\circ}\text{C}$ （英国夏天的温度范围正是如此）；生长温度上限是 37°C ，北欧很少有这样的高温，但在地中海及亚热带气候条件下很常见。

另一方面，许多热带作物在温度低于 10°C 时完全死亡。例如，瓜类作物和高粱的生长温度下限为 $15—18^{\circ}\text{C}$ ，上限为 $44—50^{\circ}\text{C}$ ，最适为 $31—37^{\circ}\text{C}$ 。热带禾本科作物（如玉米、甘蔗）还能忍受更高的温度，在光照下甚至能在温度高达 55°C 时还进行光合作用，如果水分和养分充足的话。对自然，生态系统初级生产的研究表明，在年均温 $-10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度每升高 10°C ，植物生长率提高一倍。形成这种相关关系的一个重要原因是：年均温较低常与生长季节短相伴随，例如，在温带地区的冬天，不良温度频繁出现，有时还可能致作物于死地的霜冻，而且，接收的辐射量总是很低的。因此，尽管有可能在全球范围内建立植物生长率与一般温度的相关关系，而实际上并不存在这种因果关系，常常引起误解。

农学家们认为，一般情况下，若某一月份的平均温度超过 6°C ，则有适合某些作物生长的条件，家畜在这种温度下也不会发生什么问题。依据这一假设，可以计算出“热量生长季节”（thermal growing Season），它是指按以上尺度为准的“温暖”月份数。西欧气象站的资料表明，挪威热量生长季节为5个月，而西班牙北部沿岸及法国南部为12个月（图1·5，此处暂略）。在挪威那很短的生长季节中只能看到一些大麦抗寒品种，马铃薯和干草，因此，对农民来说，森林和永久性牧场远比作物重要。越往南，农民对作物种类的选择余地越大。在法国南部，如果有灌溉条件，每年能种植两季水稻，在冬天，如果保护得当，能种植很多种类的亚热带作物。

降雨、蒸发和土壤湿度

如果沿上面考虑的路线横向移到北非，则热量生长季节能沿热带一直保持在12个月（局部山区除外）。并且，象北非这样的地区常常晴空无云（特别是在夏日），接收的辐射量很大。尽管如此，这些地区的农业经营多局限于冬小麦等少数几种作物，大部分土地作为粗放性牧场。其原因很清楚，除局部灌溉区外，在一年当中温度最高、辐射最强的时候，土壤缺水。从温带到亚热带，降雨量代替温度而成为农业的主要生态限制因素。

计算出连续生长的植物每月所需的降雨量是很困难的，因为它在很大程度上取决于作物需求、蒸发水量（蒸发损失后需要降雨补给）、土壤结构以及降雨本身的特征。降雨强度和空间分布都很重要。如果一个月的雨水集中在一天内降下，那么，在以后的某一阶段必然会发生干旱，不管月降雨量从总体上看对作物是多么适宜。因为大部分降雨将会流失掉。相反，强度过低的降雨对植物也没有什么作用，因为大部分雨水为天蓬所截取，未能渗入土壤。常以降水量 5 mm 作为热带降雨有效性临界值，低于此值则基本上不能增加土壤贮水量，除非是集中在一分钟的时间内降下。

有多种方法计算一种气候是否会产生农业上的干旱问题，人们最熟悉的是索思维特

的“土壤潜在性水分蒸发蒸腾损失指标”(Potential evapotranspiration (PEP) index); 如果某一地点、土壤水分实际损失超过若在这里有植被而土壤总是湿润的时候可能的损失, 则认为降雨超过需要。

计算过程很复杂, 若要求不严, 可查阅有关资料所提供的近似值。在热带, 一般情形是: 月降雨量100mm (4英寸) 足够维持作物持续生长。但是, 一个较保守的数字是125mm。类似地, 温带地区的指标为75mm。在此基础上, 可计算出“水分生长季节”(hydrological growing Season), 它是指在没有灌溉的条件下一年中适宜于作物生长的月份数。在西非, 若以700mm为临界值, 则此指标为9—10个月, 尼日利亚为3—4个月, 而萨哈拉沙漠边缘为0—2个月(图1·5)。

同热量生长季节的长短限制了欧洲农民的活动一样, 水分生长季节决定了西非农民的农业劳动。除非干旱季节能进行灌溉, 除非有能够提供收入的非农业工作, 否则, 对于农民来说, 旱季难以度过, 在青黄不接时更是这样。在季节性强的萨喝地区(在卡那周围), 人们以从事畜牧业为主要谋生手段, 因为它比较可靠。有些农村人口, 特别是无地农民, 在旱季被迫向南迁移, 以求谋得临时工作, 为木本作物种植园园主干活(种可乐、油棕榈)或到城市去找事做。从事畜牧业以及进行季节性迁移都是对严酷的降雨季节性的适应。但是, 如果气候反常、旱季延长, 则这种“适应”也不能防止灾难的发生, 1973年4月的萨喝饥荒就是一个例证。

土壤养分的补充

来自土壤的无机养分只占植株干重的5—10%, 但它对植物的正常生长具有决定性的作用。最重要的无机养分有氮、磷、钾、钙和镁。营养缺乏是农业生产第四大生态限制因素, 在某种意义上也是最重要的因素。农民不能直接控制太阳辐射、温度和降雨, 他只能设法适应环境的这些特性, 他将它们看作可更新资源(而不是可更变资源)。但是, 另一方面, 同样不可避免的事实是: 土壤养分不能自我更新。

现在来比较两种不同植被(一为自然植被, 一为农业植被)一年中产生的化学组成, 以说明土壤的养分损失率。两种植被分别是美国北部草原(45°N)的温带草地和所罗门群岛的甜马铃薯地(9°S)(见图1·6), 二者的初级生产量大不相同, 分别为45克/m²(以草的干物重计)和1938克/m²(以甜马铃薯块茎和叶片计)。其总无机物含量也不同(分别为19克/m²、105克/m²), 但二者的无机物占干物重的比例却一样, 都是7.5%。

但最重要的差别在于两种生态系统土壤无机物的再利用方式。和所有的自然生态系统一样, 在草原上, 被植株吸收的养分并不是不可挽回的损失。冬天, 夏季生长的植物枯萎死亡, 在细菌和真菌的作用下, 养分由于死亡植株残体的分解而回到土壤。即使由于放牧, 草类被移出系统, 养分的绝大多数也以粪肥的形式返回土壤(当然, 这使得养分变得分散了)。在自然植被系统中, 养分就是这样不断地循环, 这意味着土壤养分由淋溶或流失造成的任何微小的损失都会轻易地由岩石风化或降雨所含的物质加以补偿。从

而，生态系统养分收支平衡。

但是，在任何农业系统中，情形都不是这样。不但土壤耕作及裸露地表的形成加速了养分淋溶和流失，而且作物产品移出系统外也干扰了养分的自然循环。在图1·6所示的甜马铃薯地里，至少有105克/m²的土壤养分随马铃薯叶、根和块茎移出系统，再加上所罗门群岛热带多雨气候造成的严重的土壤养分淋溶损失，结果，在同一块地里进行连续耕种变得不可能了，除非农民采取一定的措施，——进行枯枝残叶覆盖或施入有机肥、化肥——补充所损失的养分。

氮素循环

在氮、磷、钾这三种主要的植物营养中，氮通常是最重要的。氮在化肥中常以氨(NH₄⁺)的形式存在，它能被土壤细菌迅速分解成硝态氮(NO₃)。土壤中氮的自然来源主要是有机质(它又来自主要与豆科植物例如大豆、豌豆、三叶草共生的固氮生物)的分解，另外，还有死亡植株根茎叶的分解。

氮由植物根系从土壤中以氨或硝态氮的形式所吸收。在农业系统中，这种吸收使得农民必须补偿土壤氮的损失，因为作物产品移出了系统。另外，硝态氮还可随渗透水跑到根际区之外而损失掉。在英国的哈特夫雪莱肥沃土地上进行的研究(图1·7)表明，植物对氮的吸收为5.2克/m²，淋溶损失为5.6克/m²，还有硝态氮、氨态氮的气态损失，但这些损失相对较小，并且多能为降雨及固氮生物的活动所补偿。图1·7中值得注意的一点是：施入的化肥中的氮只有 $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{3}$ 为作物所吸收；土壤中存在的氮的1%为作物所吸收，大多数为不可吸收状态，除非为细菌所固定。

上述数字只是氮“流量”的平均值，不同年份及不同土地利用方式之间差异很大。淋溶损失取决于降雨量及降雨强度，而后者变异很大。同样，尽管在任何土地利用方式下固氮生物的活动都能增加一点土壤氮素，但与豆科植物(豌豆、大豆、三叶草、紫苜蓿)共生的Rhizobia菌的固氮率可高达10克/m²/年，即是说，它能增加的氮素与人工措施增加的相等。

欧洲发展的传统轮作制中通常都包括一种豆科作物，例如大豆或紫苜蓿(作饲料)，三叶草(与禾本科作物相间)。十八世纪英国诺福克的四茬轮作制是这样的：

	第一年 三叶草
三叶草和芜菁作为羊群等家畜的饲料，	第二年 小麦
这样又能得到粪肥施入土壤。象这样的	第三年 芜菁
轮作制使得农民无需农田休闲而连续耕	第四年 大麦

种。得到的产量按现代标准来看是很底的，但同时，其农业输入很少，能量和肥料资源都是就地取材。

本世纪五十年代和六十年代，发达国家农业的工业化进程很快。当时，石油价格低，经济增长快，对农业的影响日益加强。在英国的大部分农场，化肥的施用代替轮作制度而成为维持土壤肥力的主要手段。然而，不幸的是，化肥是一种耗油率高的产品；

施入土壤的每一吨氮素需要相当于1.8吨石油的能量。结果,人工施入氮肥以维持土壤氮素循环(当然,还有施入其它肥料以维持养分循环)成为工业化农业系统中能源消耗的主要项目。

在以下几章中,对七种不同的农业系统进行了比较。重点放在为克服本章所述的各种生态限制因素所采取的各种能量输入上。为方便起见,将这些农业系统按其对外部能源与市场的依赖程度而划分为三种类型:工业化前农业系统、半工业化农业系统、全盘工业化农业系统。历史上,工业化前农业向全盘工业化农业的转变被认为是不可避免的和深得人心的,但是,如果某些专家为能源危机而发愁,那么,这一结论就值得怀疑。在工业化国家里,对不是大规模地依赖外部能源的食物生长系统进行认真地分析研究,具有至关重要的意义。因为,对我们来说,一场真正的能源危机将会变成一场食物生产危机。

第二章 农村社会之社会压力与农民的决策

生态压力与社会压力

在对代表不同类型农业系统的七个实例进行讨论之前,有必要考察一下它们之间的关系。在上一章里我们已经看到,太阳辐射、作物类型与覆盖度、降雨、土壤养分有效性这几个主要的生态限制因素可以形成一整套不同的“排列组合”。正是由于这一点,若只从严格的生态学观点出发来考虑问题,就不能得到整理我们农业地理学思想的清晰思路。

某些生态压力之所以成为严格的限制因素是因为农民对它们完全无能为力。在另外一些情况下,农民可以作出积极的反应,他可以选择适宜的作物种类;可以改进栽培方法以提高产量;可以进行灌溉、地面覆盖、施肥、轮作、可以人工改良土壤。农民还可以役使动物或操作机器以投入自己的人力,或者通过各种方法投入他人的人力。这些反应从本质上来讲不是取决于自然环境,而是取决于农民所生存的社会。

本章讨论社会影响农民决策的四个方面,即:人口压力,技术革新,社会组织结构,农民进行决策时所必需遵守的社会准则。综合考虑这些因素,可以帮助我们理解现实世界中各式各样的农业实践措施。这些因素也始终贯穿于后面的七个实例分析之中。

人口压力

人口增长的后果可以在那些尚未很深地卷入产品——利润市场的农村社会里看得很清楚。这种社会的生产技术是工业化前型式的,因此总是碰到如何补充由于土壤侵蚀及作物产品的收获而损失的土壤养分的问题,解决这一问题的方法视土地养分缺乏的程度而异。(图2·1,此处略)

如果土地资源充足,而农民并不打算取得最大生产量,那么,最简便的方法不是连

续耕种土地（这需要花费大量劳力或资金补充土壤养分），而是实行土地休闲制——不需农民干涉，土壤肥力自行恢复。周期为一年以上的土地休闲制意味着农民的活动范围需要经常变动，因此，这种制度叫“轮垦制（Shifting cultivation）。”

在热带地区，周期为3—4年的休闲制叫“草本休闲制（grass fallow）”，因为在这种闲置地上，只有草本类植物和杂草能够侵入。“灌木型休闲制（bush fallow）”意味着休闲期长达5—8年，在这种情况下，在栽培作物之前，必须要清除那些乘机侵入而生长起来的小型灌木和幼树，但是，因为休闲期长，地力能得到很大的提高。“森林型休闲制（forest fallow）”意味着两个很短的耕种期相隔10年以上。在温带地区，也可进行类似的分类，但森林恢复期时间更长。

丹麦经济学家Ester Beserup调查了不同休闲制下进行作物生产所需的劳力。她发现，在非洲，生产单位重量的作物产品，以森林型休闲制需劳力最少，尽管进行森林清除不是一件容易的事。因为这种烧垦后的土地肥力高，无杂草。灌木型休闲和草本型休闲（特别是后者）后进行土地清理也需要相当多的劳动，而且作物产量较低。持续耕作制所需劳力最多，因为进行地面覆盖和除草需要花费极大的气力，而且作物产量并不总是理想的。来自热带其它地区，（例如新几内亚）的资料似乎都证实了这些见解（图2·2，此处略）。

依据这些事实，Beserup断定：如果没有人口压力，工业化前农业土地的耕种强度（intensity Of Cultivation）不会提高。除非农民愿意生产出超过维持生计所需的食物，除非农民乐意努力工作，否则，他不会用更精细的土地利用方式来代替轮垦制。这种替代需要更多的劳力，因此总是难以实现。但是，另一方面，人口增长意味着长期休闲这种“奢侈”是人们负担不起的。为养活增长着的人口，土地耕种强度越来越大。结果，新的生产技术和较大的经营单位成为必要。

在主要依靠手工劳动的地方，补充土壤养分所花费的成本部分地取决于“人/地比率”。此外，土地的固有肥力也有差异。即使在极端贫瘠的土地上也能得到一定的收获，但这要以大量的劳力投入（以进行耕翻、施肥、覆盖、施用石灰）为代价。在十四世纪初的英国，曾经有一段人口持续增长期，对许多贫瘠、高酸度的土壤都采用这种技术进行耕种。在1349年发生“黑色死亡”大灾难及接踵而来的流行病后，许多这样的边际土地（marginalland）被废弃了——既然花费同样的气力在一些土地上比在另外一些土地上能得到好得多的收成，那么，对于后者所作出的努力就是不必要的。

技术革新的推广

工业革命后，化肥作为有机肥的代用品而获得日益广泛的应用。这一革新有助于降低维持农业系统所需的劳力，但同时也陷入了对外部能源的依赖。人所共知，化肥来自完全依赖电力的工业，而获得电力需要消耗矿物燃料。工业上最重要的矿物燃料是石油，而石油，照目前这种消耗水平，很可能到本世纪末就会发生短缺。

化肥只是将农民从大自然的束缚下解放出来的一系列工业产品中的一种。我们可以

将任何系统的输入分为：(1) 手工劳动，直接作用于作物或通过役畜间接地起作用；(2) 辅助劳动的外部输入，例如机械及其能源、化肥、杀虫剂等。这些称为辅助能，因为它们的生产、销售和分配都要消耗矿物燃料能量，因此使社会产生了能量的成本问题。

这些技术革新是在特定时期特定的工业化社会里兴起来的。同样，早期的技术进步也可能有一定的地理起源。例如，栽培小麦起源于近东（公元前5000—6000年），风车起源于波斯（公元前600年），重犁起源于中欧（公元前500年）。这些革新最终传播到了世界各地，但离起源中心越近的地方受益越早。这种地理分布过程是形成农业系统间差异的原因之一。就全球范围来讲，无论何时，任何革新技术的传播都是不完全的。

然而，更为一般的情况是，新技术为人们所共知，但因被认为不适宜而不被采用。我们已经见到人口增长的压力是如何使得技术革新显示出它的优越性的。新技术不被采用决不仅仅是由于地理隔离。

本书着重研究的一个问题是，农民在多大程度上采用了工业革命的一般技术，这也就是“工业化前”、“半工业化”“全盘工业化”等的含义。这些类型的边界的划分是人为的，并取决于手工劳动为化肥、机械等辅助能所补充的程度。在工业化前农业系统中，矿物燃料能量输入为零或低于手工劳动总能量输入（不包括太阳能马力等）的10%；半工业化农业系统之矿物燃料能量输入为总输入的10—95%；全盘工业化农业系统之手工劳动能量输入低于5%或可忽略不计。

社会组织的七个实例

影响农业决策的第三大因素是社会组织的一般形式。本书中的七个实例展示了由最简单的工业化前形式向最复杂的工业化国家形式发展的七种可能途径（图2.3），（图2.4）列出了说明这些不同形式的七个实例。

实例A（新几内亚的一个村庄）（见第三章）所述系统是完全建立在工业化前技术基础上的轮垦制耕种者的自给自足系统。这种形式的农业存在于在现代越来越罕见的社会之中，但它实际上代表了所有农村社会发展的起点。直到现在还孤立于技术世界之外的少数几个地方一样，新几内亚还存在着“小型社会（Small-Scale Society）”，其生产是纯粹的自给自足性质，产品几乎全部立即消耗掉或相互交换，没有贸易。

随着人口的增长及与外界联系的加强，这种社会的规模扩大，逐步导致历史性的转变。贸易的影响越来越大，并加速了社会分化进程（形成贵族与平民、牧师与奴隶、婆罗门与贱民）。与平均主义趋向很强的小型社会不一样，这种“传统型农民社会（transitional Peasant Society）”里发生两极分化，地主与为他工作的人是不平等的，前者是“恩主”，而后者是“受庇护者”，而且，这种关系与地位具有继承性——代代相传。中世纪欧州的封建制度和印度的社会等级制度就是这样的。第六章将讨论的1955年前后印度南部的一个村庄（例B）代表着第三世界中那些至今尚未为工业革命所触动的农村社会，但是，尽管人口密度相当大，它还是生产了少量用来进行贸易的食物。

现代资本主义对这两种社会的冲击程度回然不同。由于同西方的接触，自给自足的

小型社会变成了“过渡型社会 (transitional Society)”，这种社会包含有与外部世界相适应的“现金成分 (Cash Sectors)”，与传统的以自给自足为基础的社会共存 (见例C, 第五章, O、J、环状珊瑚岛)。这种社会的进一步“现代化”产生与更封建的社会中所发生的绿色革命相似的变化——形成农场主雇佣工资劳动者并采用一些工业技术的对市场有依赖性的社会。其时，富裕农民与无地农民之间的差距更拉大了 (见例 D, 第六章, 1975年前后的南部印度)。这样的“现代自耕农社会 (modern Peasant Society)”代表着当今的第三世界国家的主流。

工业革命及与之伴随而来的社会变革导致了两种不同的农业系统的出现。在资本主义占优势的社会里，对农业生产资料的垄断形成了大规模的资本主义农场，这种农场直到二十世纪还是以工业化前生产技术经营着 (见例E, 第四章, 1826年前后的威尔色)。在最近几十年里，这种农场的手工劳动和马力已初步为工业技术所补充或替代 (见例 F, 第八章, 1971年前后的南部英国)。

另外，在其它地方形成了与英国模式完全不同的农民经济。在苏联及东欧的部分地区，共产主义政权强制实行集体化，结果产生了象例G那样的莫斯科地区的集体农庄型农业系统 (见第七章)，这一类型代表了对市场力量敏感是社会的一条可供选择的“进化”途径。

社会准则与农民的目标

本书涉及到的实例都是小范围的。正如前面所提到的，它们确实代表了农业经营的一般形式。但就其本身而言，每一实例的讨论范围只是几百人以及相当有限的土地。将注意力范围缩小的一个原因是；只有这样，才能得到详细的资料对系统的各种输入和输出作出精确的估计。

另外一个重要的原因是，我们在分析农业的地理差异时，必须考虑有关人们的目标及其社会准则。农民所遇到的生态问题 (例如干旱问题，土壤退化问题) 要求他们在一定程度上适应这种环境，但在同时，单从生态观点考虑，有时可能有几种同样有效的适应性措施 (例如，实行旱作农业或进行灌溉、轮垦或施肥)。最后，我们的论述还取决于我们对农民的一些决策的理解程度，这也要求我们将注意力集中在小范围内。如果我们试图在大规模 (例如美国的玉米带或亚州的季风气候区) 上进行概括，那么，我们就会难以理解农民的决策。

不能认为农民的决策单是基于经济上的考虑。当然，造成灾难性经济的决策 (例如选择栽培的作物不适应当地气候条件) 不会持久地支配土地利用方式。但是，由于各种实际原因，即使在那些可行的选择中也难以制订出“完全合理”、“最有经济效益”的方案。

相反，我们必须这样看待农民的决策，它在一个合理性有限的结构中产生，因为农民在决定他的活动时对情况的了解和进行有条理的思维的能力是有限的。不管是否愿意遵循合理经济的模式，农民都有可能陷入困惑之中。因为很显然，他 (以及其它决策者)

不能仅仅考虑如何取得最大的经济收入或安全感、舒适安逸或任何其它单独的经济利益。较为现实的想法应当是，农民企图在这样一些和那样一些经常相互矛盾的目标中求得平衡，获得满意的经济收入、安全感及舒适安逸，而不是只使某一单个目标达到最完美（而且，这将不可避免地导致失败）。

因此，我们可以认为农民的决策目标受三种完全不同的动机支配。

（1）满足生理需要。农民通过进行食物生产，或获得现金收入，或二者兼有而保证他自己和他的后代在当前及将来的需要。同时，要保证一定的休息娱乐时间。

（2）取得社会的承认。农民在他所生活的群体内获得一定的地位、得到别人的尊敬，或者具有影响力。

（3）遵守一定的社会意识形态准则，包括宗教信仰。人们所最接近的意识形态总是最难以认识的，但是，对于什么是“对”，什么是“错”，每人都有他自己的看法，这也影响着他的行为，正和经济及社会目标对他的更自觉的影响一样。

土地缺乏与否、可利用的技术、社会结构，这些因素迫使农民强调或忽略某一个或几个动机。农业生产，正和生活本身一样，是在相互矛盾着的目标中取得一种妥协方案，一个农民所采取的这个精确的方案代表着一种是如此复杂以至他自己也难以用理性思维去理解的决策。

第三章 工业化前农业系统之一：新几内亚

新几内亚农业：石器时代的残余

据估计，从人类出现至今的八百亿人中，有90%以上是狩猎者和采集者。确实，在占据地球以来的99%的时间内，人们未曾真正驯化过家畜和栽培植物，据人类学研究，这种驯化只不过是一万年以内的事，这意味着只有大约6%的人是农业人口，可能有3%的人生活于工业社会中。

从新几内亚的一个农村社会出发来研究农业，这离人类食物生产活动的起点相距十万八千里。新几内亚是澳洲北部的一个岛屿（图5.1，此处略）。常被看作是石器时代的最后残余。若单纯从技术观点看，确实如此（或者说，三十年前确实如此）。但是，另一方面，它的农业历史很长，可追溯到9000年以前。当欧洲刚刚在最后的冰期开始出现时，新几内亚平原就已有成群定居的游牧狩猎者和采集者，还有人种植作物，开挖沟渠，调控水流，饲养牲畜。

新几内亚出现的农业系统相当稳定。由于同世界农业革命潮流的隔离，它能延续至今，只有微小的变化。在最近，有一个较“大”的改变：开始栽培甜马铃薯。甜马铃薯是一种块根作物，起源于南美洲，于十六世纪从西班牙殖民地菲律宾传至新几内亚。沿岸人们与欧洲商人开始直接打交道是在十九世纪，结果，他们很快就卷入了市场经济，对他们来说，贸易就是以干椰肉（这对西方商人来说很是有利可图）等物品换得铁器工

具。但是，远离海岸的山区直到很久以后还未为外界所知。直到本世纪三十年代，欧洲人才开始到那些高原地区去“探险”，五十年代末，这些地区才归入澳洲的管辖范围。

约有200万自给自足的农业人口居住在海拔1500—2000米的高原上，他们种植咖啡和甜马铃薯。“发现”这些农业系统只是不久前的事。尽管在过去的三十年内发生了很大的变化，仍然存在着彻头彻尾的工业化前性质的食物生产系统，北部地区的一个约有7000人口的族群——马里就是这样—一个系统。人类学家R.罗波特及地理学家W.克拉克于六十年代初对马里农业进行了研究，这种研究提供了一个关于工业化前的食物生产模式的吸引人的实例分析。这个模式很好地适应了热带森林环境下的满足传统的自给自足的需要，但它在某些方面不大适应最近的新的农业目标。马里是对轮垦制具有一贯依赖性的热带国家农业的一个典型（见图2.1，此处略）。

马里的环境

罗波特的关于马里的资料取自才贝加。才贝加是一个约有200个人的小群社，其领土是多山地区，多在20度的山坡上耕种，大多数地方还要更陡峭，几乎所有地面都为森林所覆盖，森林类型从丘陵雨林（海拔700—1,200m）到山区森林（海拔1,200—1,800m），直到苔藓森林（海拔1,800—2,100m）（见图3.1）。

这些地区的土地多数是贫瘠的，只有一些表层土壤因林木枯枝落叶的腐解而富含有机质。正如可以预料到的那样，当清除森林树木后进行耕种时，由于降雨多，养分淋溶损失快，很难实行持续耕种，因此实行轮垦制。经过几个世纪，轮垦制已在一定程度上改变了植被。

才贝加小群社控制着823公顷土地，其中有38公顷在任何时候都是耕种着的，在丘陵雨林中，只有11公顷原始林，其余则由于过去的耕种而成为次生林。有些垦植过的土地因使用过度而成为无树草原（17公顷），以白毛草为优势种，在这种植被上很难重新造林，因为它经常被烧垦，可能是游猎时有意放火，也可能由于偶然的失火。大多数山区森林是原始林或迟次生林，至少有一半这样的土地因过于陡峭或沟谷纵横而从未成为过农用地。同样，所有的高山苔藓森林地都不可开垦，因为太潮湿或郁闭，其唯一的经济价值是供偶然的狩猎或采集。

马里农业：开发还是保护

在这种环境下，为在耕种后恢复地力，休闲周期很长：丘陵地需15—25年，山区森林需35年以上。而耕种只持续两年，其中85—90%的产量是在播种定植五个月以后的那一年收获的。

新几内亚森林里缺少动物，也没有大到可供猎取的鸟类；河流也太小，对捕鱼业没有什么意义，结果，养猪业举足轻重。它提供了食物蛋白和脂肪，否则，这两种东西都会短缺。主要食物都是缺乏蛋白质的块根类作物产品，芋、甜马铃薯、薯蓣、木薯，还

有一点香蕉、甘蔗等。这些作物一起栽种于清除了次生林并经过烧垦的土地上，这种清除和烧垦工作“消灭”了枯枝残叶，使释放出植物养分而为作物所吸收利用，这种田地叫swidden（这是一个古英语词，曾用来描绘撒克逊人的类似的农业生产活动）。

新几内亚的swidden以几种方式在多重及结构上模拟了自然森林的特征。正如罗波特（1971年）所描述的：

“随着作物的成熟，种植园层次更加分明，植株最大限度地利用了地表及垂直空间。这种间混套作不利于专一性害虫的活动，它利用了园地间轻微差异的优势，保护了瘦瘠的热带土壤，取得了很高的光合效率。”

马里的其它土地利用措施在其效果上也同样具有保护性；在易受坡洗的陡峭山坡上，识等高线堆放园木，这是一种保护土壤的简单办法。农民在swidden闲置后采取措施促进森林的重建，例如拔除杂草，保护和促进与作物同时生长的树苗，虽然这样形成了灌木，迫使他放弃这块耕地，但另一方面，森林的延续性得到了保证。如果土壤极端贫瘠，而侵入的灌木生长不良，则有形成白毛属草地的危险，这种植被在恢复地力方面效率极低，由于其根系很难烧垦掉，因而是一种很难清除的休闲型植被。

克拉克（1977）认为，马里土地利用方式的稳定性包含着很多合理性东西供“发达”社会学习，以鼓励“原始”的轮垦耕种者改变他们的方法。他说：

“马里石器时代的风俗习惯与技术延续了许多个世纪。其实，在他们那样的条件下，当工业世界的旧习俗旧技术体系土崩瓦解时，马里应当早已进入更先进的时代了。但是，当它仍处于一个相对稳定的生态系统中时，却已被外部世界的掠夺性经济的虚假面孔所欺骗和压迫着，这真是一个莫大的讽刺。”

在对马里经济进行更深入的研究之后，我们将在本章的后续部分回到这一点上来讨论。

社会组织与定居方式

正如通常的文盲社会一样，无法断定马里人在他们现在居住着的那块土地上已生活多久。当地的说法是：四代以前，他们的祖先赶走了操另外一种语言的部落而定居下来。罗波特所研究的才贝加小群社由三个氏族组成，每个氏族都有自己的领土。人人有权在群社内的任何地方进行狩猎、诱捕或采集活动，但是，使用氏族领土以外的农业土地则是不可想象的。

才贝加并不缺少土地。如图3.1所示，实际耕地只占曾被开垦利用过的土地的9%，此外，还有许多世代以来从未用作过农用地的原始雨林。罗波特估计，如果饲养较多的牲猪，才贝加的资源足够养活比1962年的实际数字大40%的人口，如果森林休闲期为最短的15年的话。

很可能是由于没有人口压力，支配土地利用方式的规则并不严格。一个人不能在其氏族以外的土地上从事农业活动，但实际上，氏族间经常进行土地转让。人们可以宣称他对他所耕种或曾经耕种过的土地拥有所有权，但是，如果他缺少土地，他只消请求他