

农业生态学

(世界食物生产系统的分析)

上册

G.W. 攷 克 斯
M.D. 阿 特 金 斯
王 在 德 卣 纯 儒
刘 含 莉 龙 静 宜
王 在 德

著
译
校

北京农业大学农学系耕作组印

一九八二年

前 言

农业传统是与自然保持一致的传统。大约在一万二千年前，散居在地球各地的人类逐渐开始从简单的狩猎和采集进到主要从事农牧业生产。他们的技术经受了生存法则的严格考验，那些通过考验的技术，得到强有力的生态学原理的支持。几千年来农业的进化一直采取着这种方式。每经过一个生长季节，原有的措施都受到新的考验，而新的改进办法又要在自然界的竞争中加以筛选。作为事物发展的结果。今天我们周围的作物和家畜体系，不仅有实践上的重要性。而且还有巨大的理论意义。这些体系构成农业进化与生物进化共同作用的最复杂实例之一，是人类与其周围的生物所特有的一个自然过程。这些体系也证明应用生态学与理论生态学实际的统一。

这种统一由于近代科学人为的不断分支，而受到错误的对待。尽管科学家之间的交往并没有形成绝对的障碍，但是某些重大的脱节已经出现。在文理科综合性大学里，自然科学家往往偏重于研究与自然界和生物界有关的理论性课题，通常都回避应用性课题。在生物科学方面，植物学家、脊椎动物学家，昆虫学家，遗传学家和生态学家把学科划分得更细。在农业院校，则以应用性较强的教学和研究大纲，去解决现实世界的问题，藐视象牙塔式的研究。在社会科学方面，考古学和社会人类学甚至更加脱离实际，因而常被其它领域的科学家看成是一种古怪的活动，既无理论意义，又无实用价值。

理论与应用的这种分离方式，已使人类生态学的统一丧失殆尽。我们确信，各学科间协作研究农业科学的时机已经成熟。每

一个涉及农业科学的主要领域，对其邻近领域中的活动与发展，正表现出日益增长的重要意义。昔日的理论今日正在得到应用。应用研究的计划，日益成为新理论见解的源泉。考察过去和现在的人类文化可以发现，在一度认为可随意进行的人类活动中，存在着引人注目的生态学基本道理。

为了促进这些领域的相互结合，我们着手编写这本教科书。学生们对这个学科间论题的兴趣，使我们的努力得到巨大的支持。对他们来说，这是一种富有意义而又令人信服的探讨，并且，他们很快就能解释产生这种感觉的理由。农业生态学具有坚实的理论基础，但又极富有实践性；它研究自然界的变化的过程，而又把这些过程与人紧密联系起来；它集中探讨科学方面的现象，但又注意到与经济、政治及人类活动的其他领域的联系。学生们的这些反应激励着我们完成这项工作。

我们感谢许多人士的帮助和提供资料。在圣迭戈州立大学，好几位同事和我们一起开设了农业生态学的正式课程，我们大量采纳了他们的意见和资料。因此，我们非常感谢 *James Alexander* , *Charles F. Cooper* , *Donald Eidemiller* , *Albert W. Johnson* , *Calvert Norland* , *Ron Monroe* , 以及 *Joy* 和 *Paul Zedler* 。本校的另一些同事提供了很有帮助的想法和资料，并对各章的初稿提出了批评意见。他们是：*Adela S. Baer* , *Boyd D. Collier* , *David Farris* , *Warren Johnson* , *Philip Miller* 以及前述参与建立课程的几位同事。路易斯安那州立大学 *James W. Avault* , 密苏里大学 *Harold Breimyer* , 康奈尔大学 *Gary W. Fick* 和密苏里州哥伦比亚城的 *James D.*

McQuigg等审阅了原稿的主要部分，我们非常感谢他们的宝贵意见。还有非洲埃塞俄比亚的斯亚贝巴国际家畜中心的 Solomon Bekure，以色列耶路撒冷希伯来大学植物系的 Michael Evenari，埃塞俄比亚的斯亚贝巴联合国儿童基金会 (UNICEF) 和联合国发展计划的 Roger 和 Cecile Hay，智利圣地亚哥天主教会大学的 Ernst Hajek，以色列海法技术中心的 Zev Navah，美国巴尔的摩约翰斯霍普金斯大学的 Dwain Parrack，美国费城宾夕法尼亚大学的 Robert Ricklefs，以及英国哥伦比亚大学动物资源生态学研究所的 William G. Wellington，用各种方式提供了帮助。我们尤其要感谢 W. H. 费里曼公司前任编辑 Harvey C. McCaleb，感谢他的宝贵意见，在编辑方面的有效帮助和鼓励。并感谢我们的妻子 Darla G. Cox 和 Elinor Atkins，感谢她们耐心搜集资料和帮助 we 准备手稿。我们向 Donnie Bocko，Kristine Creed，Jackie McClanahan 和 Ann Smith 等打字员准确而有效的工作，致以衷心的感谢。

我们特别要感谢美国圣迭戈州立大学和智利圣地亚哥天主教会大学的学生们对农业生态学教科书的热情鼓励！

George W. Cox

Michael D. Atkins

1979年2月

绪 论

在接近地球三分之一面积的陆地土地上，人类的农业活动已成为优势的生态力量。其余的陆地环境正在越来越多的用于开采矿物，集约经营林地，旅游事业以及流域治理，因而人类迅速地增进到对地球陆地三分之二的面积的直接控制。在水生环境中，许多科学家确认的一个主要部分，就是渔业已获得持续高产，而且这些系统特别是海洋系统已经被看做是一个未来的巨大能源和矿物资源。人上升到具有优势生态影响的地位后，就成为一种重要的地球化学因素。人利用着矿质元素，使物质从一种化学形式转变为另一种化学形式，使化学物质通过环境的流动加强，改变大气圈和水圈的成分，并且促进大陆的地质侵蚀作用——所有这些过程的规模都不亚于自然过程。这些作用的有意或无意的后果，都对人类绝对依赖的粮食生产活动带来有利或有害的影响。

随着人类活动规模的扩大，人对这些活动成败的依赖性变得更大和更加复杂了。人类现已超过40亿的人口，每年正以2%左右的比率增长。按这个比率继续增加，就意味着到2,000年将再增加30亿人，这个粗略的数字和1960年地球上的总人口数相等。为养活这些人口而建立的粮食供应系统，其短期成效和长期的供应能力，将决定人类未来的许多进程。

人类的各种农业系统，其特点是十分不同的，也许这种不同在现在和人类历史上任何时候都一样。永久性的作物栽培系统，包括从几乎完全依靠人力、畜力的系统，到依靠大量投入燃料和人造农用化学品的高度机械化的集约系统。在热带地区，有各种非永久的系统，包括烧垦系统和游牧系统。实行这种系统的有上

亿人口。所有这些系统都是在殊情的文化和经济情况下产生，了解这些情况，对改善或改进这些系统的任何尝试来说，都是十分重要的。

人类的耕作方式也是变化的，变化的速度必然要加快。未来的趋势在很大程度上会影响机械化农业发展的方式。我们粗略估计：世界上40%的作物栽培系统，现在是采用比较集约的机械化技术，其余的60%大约是非机械化的永久性栽培系统和烧垦系统各占一半。在不久的将来会不断发展集约的机械化栽培，这是历史的必然；这种发展将取代集约程度较低的系统 and 现在被永久牧场或自然植物群落占据的可耕地。很可能受到影响的自然群落大多是热带森林和热带稀树干草原，温带疏林和高草原，以及经过灌溉的荒漠。随着作物栽培进一步侵占牧场和自然群落，集约经营的牧场会进一步被迫扩大到天然草原上，包括当地牧民现在占有的干旱热带稀树草原的广阔地区。这种“多米诺效应”（连锁反应）不仅会扩大与集约农业有关的地区性和全球性生态失调，而且还会引起耕作栽培方式的严重剧变。从事自给农业的人的生活方式，直接与他们采用的农业技术有关。机械化农业既可以取代这些人，又可以瓦解长期建立的氏族以及他们已经成功地适应环境的宗族社会的组织形式。

所有这些农业类型，都在全球生态系统的范围内产生作用。空间常常不连续的农业系统，分散在自然生态系统中，它们与自然生态系统密切相连。这些农业系统不仅按照相同的自然规律和控制周围自然系统的生态原理发生作用，而且还对边缘的生态系统和遥远的生态系统给予重大的生物影响和物理影响。

人类的耕作制度是生态结构内耕作栽培演进的产物。当人类

开始生活在地球表面上时，人对环境的影响并不比任何其他杂食性物种的影响大或小。随着人类获得了火和改进了狩猎技术，人的影响就扩大了。通过不断的琢磨和运用先天的智能，人类不断发展他们利用环境的才能。环境中的生物资源和物质资源不断影响人类文化演进的方向和范围。在不同的情况以不同的速度发生变化。在某些环境中，人类除狩猎和采集以外，进展很小；在其它地区，人类从猎人——采集者发展为半定居的牧民或定居的农民。人类在气候资源和生物资源有益于植物集落和长期栽培作物的地方发展了伟大的文化。

早期的耕作制度是由人类促进进一步的文化演进而创造的。人类栽培植物和驯养动物扩大了对简单工具的需要。对这种需要反应着变革的开端。即在地球上改变人类与环境相互作用的性质。在开始，当人类依靠简单的工具和他们自己的劳动时，人类的生存与他们的作物和畜群密切相联。人们收获和消费农产品，把废物归还产地环境中。在人类改进技术并利用畜力、水和风（用于农业劳动）之后，人类在空间活动的紧张状态得到缓和。人类在乡村和城市聚居就有可能。最初，由于村民们每天外出耕种周围的田地，人们聚居主要是为了警戒。后来，个体农民生产粮食的能力超过口粮的水平，就解放出部分人口去从事其他活动，例如大部分在扩大的城市区从事专门职业。在不同的封建制度下最初划分出来的生产区和消费区长期存在，后来就形成全世界殖民制度的基础。

上述事物的发展，形成具有现代农业显著特征的开端：农产品从产地输出而在别处消费。最小量的废物归还土地。这种方式随着工业革命而得到充分发展。在可以得到较多能源和原料的地

区，工业化迅速促进城市化。除了使大量人口从粮食产地分散出去，工业革命还可生产功效大的农业工具，就有可能使人口总数增加的少些而满足城市人口对粮食和纤维不断增长的需要。现代社会形式的特点是：在农村地区生产粮食，而在相隔很远的城市区消费，污水粪便排入远离生产现场的下水道系统，因而呈固定的形式。

通过工业化和城市化创造的社会形式 对于农业有重要的经济影响和政治影响。农民的生活已经达到依靠在城市区大量建立的供求方式。政府关于农业的政策强烈地影响人口大量离开农业，使得他们毫不了解政策是如何奏效的。事实上连农民也感觉到制定什么合理的农业措施，已经常受到集中在城市地区的工、商业利益的影响。

可是，并不是一切社会都已发展到生产和消费这样的绝对分离。农业集约机械化以前所有的各种耕作方式在今天都是存在的。澳大利亚土著居民的某些氏族和南非卡拉哈里沙漠地区游牧部落的居民，至今仍然从事狩猎和采集；非洲和亚洲的许多民族相应地从事原始的游牧，烧垦（刀耕火种）仍是整个热带自给农业的一种主要形式。在非洲、亚洲和南美洲各种永久耕作制度大部分仍以人、畜劳动为基础。在一些地区，例如墨西哥山谷和中东地区，昔日特殊耕作制度的遗迹仍有残存。这样，就为生态学家和农学家研究和评定各种食物生产和供应制度提供机会。

已经进行的许多研究，证明某些非机械化的制度具有广泛的生态学合理性基础。昔日的某些特殊耕作制度现已消失，这表明不是由于生态的破坏。然而，环境的破坏是由过去和现在不合理的农业措施引起的，这是有确切证据的。仔细考查某些耕作制度

长期成功和某些耕作制度失败的生态学基础，可以帮助我们在农业上发展生态学合理的方法。

这些问题直接与人口和粮食资源之间的不平衡有关。尽管许多国家制定了计划生育方案，但总的趋势还是人口迅速增长。除非粮食生产大幅度增长，否则这种趋势只会使许多人因营养不良而遭受损害。在某些地区面临饥饿。

如果没有充分认识生态与社会的相互作用，就企图通过发展机械化农业使粮食生产大幅度增产，即使情况最好也是不能达到的。现代的农业技术还没有经受过时间的考验，甚至在一些地区大大地提高产量也已带来明显的不良影响。我们可以合乎情理地肯定说明，集约的机械化农业正在引起某种程度长期的生态损害。我们不应该盲目地指望用现行的农业技术去迅速解决人口过剩和生产不足的问题。我们的目标应该是利用潜力达到生态学上合理的解决，符合世界人口稳定的长远需要。

我们已经认识到一些国家，如美国，由于农业机械化所产生的某些问题。土壤的精耕细作，食物链分解者的破坏，土壤有机质的耗尽。天然养分库的耗竭以及土壤表面暴露于阳光和降水等因素已导致土壤结构和土壤肥力的严重恶化。在许多场所与灌溉结合，大量地增施高度可溶性的化学肥料，已使养分从栽培面积上的流失量增加，并引起邻近水生生态系统的富营养化。在大面积上同时单一种植遗传学上相同的作物，已使作物对病虫害大发生的易损性增加，因而导致在某些作物上大量使用农药。在很多情况下，这种作物保护的策略已产生事与愿违的恶果。由于不仅杀死害虫，而且杀死益虫，化学杀虫剂经常促进害虫迅速恢复活动，并促进第二代害虫大发生。在种植制度中，这种不稳定性

增加，对遥远的生态系统还带来农药污染。

输出商品的机械化耕作制度更多地依赖能量、养分和水分的不断输入，因此有助于资源利用和补给问题的解决。在有些制度中，输入矿物燃料的总卡数（用于制造和开动农业机械，生产和使用合成的肥料和农药，控制灌溉用水，以及加工和销售农产品）大大超过作物收成的热量，很多生产活动的成本增加。需要磷补充耗尽的养分库，但在高磷酸盐岩石大量补给磷后又构成严重的损害。生产氮肥，近来依靠既作为原料又作为能源的天然气，产品变得更加昂贵。在干旱地区大量灌溉有助于解决地区性水分供给的不足，但只能满足主要小区间水分的转移，并增加能量费用。

人类已讨论防止饥饿和减少营养不良问题。现代农业过去的成就对这个目标已作出重大的贡献，至少使我们面对不断增加的人口，能够维持住生存所需的营养水平。即使这是一项巨大的艰巨任务，也要继续地去做。联合国粮农组织（FAO）在1969年的一个报告中推断：不发达国家到1985年粮食生产可以增加80%，仅能维持现在的营养水平，如果这些国家要满足人民对粮食的更大需要（这与粮食更加丰富和为他们规划更大的购买力有关），那么粮食生产必须增加140%，伴随着全世界资源开发指数的增加。工业化变得更加富裕，在粮食方面的一个主要因素是不发达国家与发达国家需要平衡。原料生产者新发现的资源带有比一般需要更好的养分，造成世界市场上更多的农产品竞争，并使价格更高。因而，这就提高了世界市场上粮食竞争的能力，减少不发达国家某些地区人口过剩的忧虑。

需要显然是庞大的。这种需要不仅涉及农业，而且还涉及到人类与得到粮食和纤维的各种制度之间的全面关系。为了满足这

种需要，我们必须大大地整顿我们在若干领域中的思想。我们必须认识地球对人类的负载能力，但我们必须采取谨慎的行动，使人口不超过这种负载能力。我们也必须承认耕作制度和生态系统一样，必须运用生态学上合理的农业技术去提高产量，否则，从长远来看就会毁坏农田或破坏全球生态。此外，我们还必须认识到耕作栽培和经济的关系会发生变化。不发达世界一些地区单作经济的弱点，以及绿色革命近来所受到的社会政治挫折，都证实忽视这种关系的危险性。

人类的农田策略，应该是设法避免各种严重降低土地生产能力的可预见的天灾。发达国家处于能够主宰这种关系的位置。这些国家提出的策略不仅应该在生态学上是合理的，而且还必须考虑到不发达国家经济上和社会问题上的影响。

在下面各章中，我们将探讨所有这些意见。我们希望下面的内容不仅会激发人们对农业生态学的兴趣，而且将揭示过去和现在耕作制度的生态适应性，作为今后农业上发展生态学上合理方法的根据。

龙静宜 译

王在德 校

第一章 世界食物平衡.....	1~3 9
第二章 生态系统的概念.....	2-1~3 2
第三章 农业系统的演进.....	3-1~2 9
第四章 驯化生态.....	4-1~4 5
第五章 自给农业.....	5-1~3 8
第六章 集约农业的生态特点.....	6-1~2 5
第七章 气候与农业.....	7-1~4 1
第八章 农业生态系统的生物气候学.....	8-1~4 1
第九章 土壤形成和结构.....	9-1~3 6
第十章 土壤的水分和养分.....	10-1~3 3
第十一章 耕种和放牧对土壤的影响.....	11-1~3 6
第十二章 灌溉和施肥的影响.....	12-1~4 1
第十三章 土壤微生物学和植物微生物学.....	13-1~3 8
第十四章 土壤生态系统的保持.....	14-1~3 5

第一章 世界食物平衡

在本世纪中，世界上最受影响的国家都由受农村状况和价值观念支配的社会，变成具有各种不同价值体系的城市工业社会，这种变革主要是由于技术革命引起的，这种革命已影响到人类活动的一切领域：生产、运输、交通和卫生。更为特别的是，由于更有效的新能源的利用，已提高了人类劳动的生产率，即提高每个工人所提供的商品量和服务量，使社会变革得到加强。

通过工业和商业，能量集约技术给世界上一部分人创造高度的物质生活水平，为在其他领域努力实现人类创造性的潜力增加机会。城区最容易得到这种利益，这种利益对于农村居民起着磁铁一般的吸引作用。在农村地区由于应用机械化技术、控制灌溉、浓缩化肥以及许多其他的工业技术成就提高劳动生产率。许多农民移居城市，甚至被迫迁入城市。

这些变革已被看作人类通向不依赖自然的台阶。事实上，正好相反。人类对自然界的依赖比以往任何时候都更大和更多，而对环境的影响也更剧烈和更多样化。一百年以前无价值的原料现在可以投入工商业衰退的国民经济。一个场所产生的污染物质可进入全球性的大气和水分循环系统中以意想不到的方式再出现。这种与自然的相互影响在粮食供应系统中更为明显。尽管农业也需要良好的经营管理，需要利用各种各样的工业产品。但基本上还是一种生态企业。农业是自然生态系统的一种直接影响气候基质和野生动植物的活动能力，使自然生态系统发生改变。提高人类所希望的粮食和纤维产品的产量。自然系统中盛行的基本类型结构和功能的改变越大，人类维持农业生态系统必需作出的努

力也越大 (Cox 和 Atkins 1976 年)。

技术革命的影响，在发达国家是强大的，但在全世界其他地区则很不平衡。也并不都是有益的。不可更新资源的迅速耗尽，人口增长的加速，以及工业高度发达的社会对未工业化民族的文化 and 环境的破坏性影响，以致世界上大多数人口不能享受这种革命的全部好处。通过详细地研究这种矛盾我们将讨论农业生态学。这是主要的推动力，不仅为了这本书。而且为了人类粮食生产问题而探讨任何有关的生态的推动力。

人口与食物需要

世界食物平衡与食物的需要和满足需要的供应量有关。这个需要量本身是人口数和人均需要量的一个函数。

截止 1976 年初，世界人口已增至 42 亿，但还在不断剧增。表 1—1 表明，这种增长的程度背离了人类历史上长期以来的模式。大约在公元前 8,000 年农业革命前，每百年的人口增长率至多不过千分之一，不管这个时期的实际情况如何，人类几乎从非洲扩散到地球上的一切地区。在人类开始从事农业之后，彻底改变了人类与粮食资源的关系，世界人口加速增长，但只按每百年 5—6% 的比率增长。直到工业革命人口才开始剧增。从 1750 年到 1975 年，人口平均按每百年 110% 的比率增长。但是，按 1975 年实际的增长率为，每百年增长将超过 800%。

各地区的人口数、年龄结构和增长率变化很大 (表 1—2)。北美洲、欧洲和苏联现在的人口增长率每年为 1.0% 或小于 1.0%。这个增长率高于全人类历史的水平，但低于其他地区当前的比率。

表 1—1 人类历史上的人口总数和每百年的人口增长率

时 期	估计的人口总数	每百年的增长百分率
公元前 4000,000 年	50,000 (?)	0.1 ↓
公元前 8000 年	5,000,000	5.3 ↓
公 元 1 年	300,000,000	5.7 ↓
公元 1 7 5 0 年	79 1,000,000	110.1 ↓
公元 1 9 7 5 年	4,147,000,000	

表 1—2 1 9 7 5 年世界人口统计数字 (估计数)

地 区	人 口 (百万)	年增 长率 (%)	出生 率 1000/年	死亡 率 (%)	城市人 口百分 率 (%)	15 岁 以下百 分率 (%)
北 美 洲	242.2	1.0	15.0	9.1	76.5	27
拉丁美洲+加勒比海	327.6	2.9	38.0	11.0	60.4	43
欧 洲	474.2	0.8	15.4	10.4	67.2	26
苏 联	254.3	0.9	18.2	8.7	60.5	29
非 洲	420.1	2.8	47.0	21.0	24.5	44
亚 洲	2407.4	2.5	39.0	14.0	—	—
大 洋 洲	20.9	2.1	23.0	9.7	71.6	33
全 世 界	4146.9	2.2	35.0	13.0	39.3	37

这些人口数值的特点，不但有低出生率和低死亡率，而且低出生率已长期盛行，足以使人口的年龄结构在15岁以下的人口百分率最小。相反，拉丁美洲的增长率最高，每年2.9%。这个数字相对地反映了高出生率和低死亡率，事实上大多数人口是青年，年龄在15岁以下的占43%。最后的这个事实意味着在这个地区有一个人口增长要素，也就是说，即使许多家庭决定少要孩子。但有效育龄或接近有效育龄的人口占很大百分比。这就会长时间迫使人口继续增长。至于亚洲，可以说情况几乎相同，现在全世界人口大约60%居住在那里。

非洲的模式稍有不同。因为非洲是世界上出生率最高的地区，15岁以下人口百分率最大，年增长率接近于拉丁美洲，所以从未来的增长来说，非洲是一个强大的要素。然而，非洲的死亡率也比其他大陆任何地区高。在出生率下降前，死亡率也很可能会下降，其结果很可能成为人类历史上最高的人口增长率。

从这一论述可以清楚地看到：在世界上的一些地区——拉丁美洲、亚洲和非洲，存在着最高的人口增长率，在那里粮食和人口已发生最大的不平衡。按当前的比率，这些地区粮食的年生产量虽已提高2.5—3.0%，但仅能维持能够生存的营养水平。

但是，人口迅速的增长不只是一个主要趋势。人口爆炸（*Population explosion*）还伴随着人口爆聚（*Population inpllosion*），迅速提高城市居住人口的百分率（表1—3）。尽管最初的城市大约在5500年以前就出现在中东的底格里斯河和幼发拉底河流域（*Sjoberg 1965*），但是直到公元十九世纪，人类居住在城市的仍然很少。举例来说，近代到1850年，居民5000以上的城市人口仅占人口的6.4%

(Davis 1972)。这就是说，确实直到近代，大多数人都在农村居住劳动，依靠他们自己的努力，供给大多数人的粮食。

表 1—3 世界人口都市化的过去和未来趋势
(估 计 数)

	年							
	1850		1950		1970		2000	
	数	%	数	%	数	%	数	%
世界人口(百万)	1262		2502		3628		6335	
农 村	1181	93.6	1796	71.8	2229	61.4	2797	44.2
都 市	281	6.4	206	28.2	1399	38.6	3538	55.8
城市(>10万)	29	2.3	406	16.2	864	23.8	2399	37.9
城市(>100万)	13	1.0	182	7.3	448	12.4	1497	23.6

资料来源: Davis 1972

随着十九世纪的工业革命，都市化始于西欧和北美(Davis 1965年)。英国是第一个都市化的国家。在1800年英国大约有19%的人口居住在10万人以上的城市；到1900年首先由于农村向城市迁居，城市人口增加到40%左右，居住在至少有5000人的城市人口超过70%。就在这时，城市成为对居民健康有害的地方，死亡率通常超过出生率。在欧洲这种迁居极为普遍，以致农村人口绝对下降，也就是说，实际数象总人口百分数一样。这种情况已在所有的工业化国家出现包括美国。