

全国第一次生态
经济讨论会材料

分析高产高效的农业生态系统结构特征
探讨调整生产结构的生态经济效益问题

孙鸿良

1982年11月

中国农业科学院作物所 孙鸿良

中国农业科学院印
1982年11月

目 录

一、前言	1
二、高产高效农业生态系统结构的特征	2
1、食物链传递的营养结构网络多样化	2
2、植物种群立体发展的空间结构镶嵌化	4
3、配置作物演替的时间结构合理化	5
4、农业生态系统中层状生产生态	
结构完善化	9
三、调整生产结构与生产潜力	10
1、调整各业产值比例与生产潜力	10
2、调整农、林、牧土地构成与生产潜力	11
3、调整种植业制度与生产潜力	14
4、调整生物能高效利用结构与生产潜力	16
四、结束语	18
主要引用资料来源	20

一、前 言

农业生态系统是人工模拟自然界生物群落的形成与发展规律而建立起来的生态系统，是自然资源与社会资源共同作用下的产物。生态系统结构以营养结构为基础。结构与功能是矛盾的统一体，结构决定功能，功能反过来也作用于结构；一般来说，合理的结构导致表现正常的功能。人们如果安排农业生物使其与周围环境之间的能流物流关系转运正常，输入与输出关系平衡，信息传输迅速，便能从生态系统中获取高额、高效而稳定的产品。农业生产结构与布局是人们控制农业生态系统的核心所在，对其安排合理与否取决于对生态结构认识的深度，与对经济结构、技术结构结合的程度。完整的农业生产结构应是生态经济结构模式，即生态、经济、技术三者相互渗透的综合体。

调整生产结构、挖掘生产潜力是主要依靠科学技术水平而不需花多少资金的增产手段，但过去对这方面研究不多，将其理论指导生产的更甚微，基本上处于群众自发的朴素的经验阶段。虽然我国勤劳的广大农民中早已卓有成效地涌现了丰富多采的生产结构形式，但过去从经济学方面研究的多，很少提炼到生态经济学的理论高度来总结。只有随着现代生态学的发展，人们对举世瞩目的生态学原理有所认识和对生态平衡问题的密切注意，加上近代经济数学的理论所提供的计算手段，以及三中全会以来农村出现的新气象，共同

• 本文承华南农学院农业生态室薛德榕热情提供桑基鱼塘等资料，特表谢意。

汇合成了时代的要求，农业生产的生态经济结构问题的研究才应运而生，越来越受到重视。

笔者曾参与综合考察过我国东北粮仓的松嫩平原，水土流失严重但充满希望的西北黄土高原，具有农业重要战略地位的黄淮海平原，具有服务首都特色的北京郊区农业。以及还参观了生机盎然的新疆石河子绿洲农业等，亲眼看到群众在调整生产结构作为摆脱贫困的突破口所取得奇迹般的成绩。他们都不同程度地达到如下三项目的：稳步地提高了生态系统整体生产力，富裕农民，也贡献了国家；改善生态环境，促使生态平衡。因此，研究与应用农业生态经济结构理论与方法是现阶段全面开创社会主义现代化建设新局面的需要，是80年代农业发展的标志，是指导当前生产的重要战略思想。

由于笔者过去不懂经济学，现刚刚开始结合，故本文仍着重在生态结构问题上讨论，试图从一些高产、稳产、高效率的农业生产事例来分析农业生态系统中合理的生产结构的特征。以说明生态学与经济学研究相互渗透的必要性及获取生态经济效益的重要性。

二、高产高效的农业生态系统结构的特征

1、食物链传递的营养结构网络多样化

生态系统是自然界的基本机能单位，其结构由生产者，消费者与分解者所组成。具独立机能的每一生态系统至少由两类生物组份所组成：生产者与分解者，其中存在着一系列的消费者。农业生态系统的特征是具有鲜明目的性的，不仅要求第一性生产者的生产力

高，还要求一系列消费者尽量转成第二性生产者也为人类服务。作为第一性生产者的绿色植物为人类提供了直接利用的粮食与经济产品，也为畜、禽、鱼提供了饲料。一般来说，营养级每升高一级，净生产量要损失10%左右的能量，食物链的传递关系成金字塔式的收缩，消费者营养级不超过4~5级的原因便在于此。饲养家畜只能获取牧草能量的5~20%，而食肉动物（包括人）又只能转化食草动物能量的3~15%。

对农业生产而言，提高生态系统内食物链上每一营养级的转化效率及生物能的多层性、多途径性利用，调整食物链网络的复杂多样化，是提高系统生产力最经济有效的途径。因为上述各级所丢失的能量一方面用于各级生物呼吸作用的消耗，另一方面存在着未被利用的能量（贮存或输出，如枯枝落叶）和排泄物（未被消费者同化的能量，如畜粪），而后一方面是可以再度被饲用的。非反刍动物较反刍动物利用纤维素的效率为低，猪禽由于难以消化纤维素而基本为食粮动物，加之食物链的单一化，这在过去造成很大浪费。

食物链网络多样，生物能多次利用，不仅能直接获取较多的农畜产品，而且有助于生态系统结构稳定，从而表现生态平衡自我调节能力强，抗灾能力强，与再生产的生命力强。

桑基鱼塘⁽²⁾就是一种“种桑养蚕，蚕沙养鱼，鱼粪肥塘，塘泥肥桑”的生物能多次利用的生态系统。其特点在能量传递上是

“自生自养”形式，前一消费者的排泄物是后一消费者的食物，营养物质被利用充分，在物质循环上呈“半封闭式”，除去输出的产品，很少丢失在生态系统之外。但上述模式还属单链式的，如在这基础上加以稻、糠谷、青草等养畜禽，畜禽粪再养鱼，鱼的食饵不单

一，食物链就开始纵横交错了。如再加上象菲律宾马雅农场那样将各种畜粪加稻秆先沤制沼气，沼气渣经过分离后制成干体再反回来喂猪（这时易于消化了），猪粪再沤沼气，沼气液先养鸭、鱼最后塘水才肥田，这样的食物链错综复杂，生物能才得到最充分利用，所得到农畜产品将是如此的丰富还获取了农村生活能源，何乐而不为呢？

事实上自10世纪前后珠江三角洲的冲积平原便有桑基鱼塘的雏形，16世纪以来发展到桑基鱼塘，一直沿革至今经久不衰，而且更加完善化，近来更发展到蔗基鱼塘、稻基鱼塘，塘外六畜兴旺，塘内鱼鸭成行，生产结构越来越迸发异彩。

2、植物种群立体发展的空间结构镶嵌化

农业上植物种群的立体结构主要是指作物（高秆矮秆与匍匐）、林木（乔木与灌木）、果树（直立与蔓生）牧草等所构成的农、林、牧各业在用地上的空间立体结构，亦即多种群的镶嵌式结构。其目的是使种群之间组成相互有利的关系（如上层喜阳、下层耐荫），有助于相互促进达到高产稳产；二是尽可能地扩大光能利用面积，提高光能利用效率，达到最大的土地报酬。

我国劳动人民在乔、灌、草三结合方面所创造的多种镶嵌式一向受到国外赞赏，其优越性是机械化作业的单种群结构所难以比拟的。乔木可以是防护林，也可以是果树；灌木主要用作护渠及利用田间道，提供薪炭林来源；草本主要为作物，也包括牧草、绿肥作物。

北京十三陵公社的柿粮间作一向素有盛名，还有粟粮间作，桃粮间作等，其价值远超过粮食单作。河南商丘地区⁽³⁾与周口地区

群众所普遍建立的桐（泡桐）粮间作，桐花（棉花）间作表现了改善农田小气候、增产粮食，又获得珍贵木材的经济效益。在一亩地平均有3~4株桐树间作的情况下风速平均降低1倍，地面温度降低 $0.9 \sim 2.7^{\circ}\text{C}$ ，土壤含水量高于对照5~10%，对小麦平均增产6~7%以上，对玉米带间增产18.1%，还每年生产0.1方木材。

应当强调，乔木与作物结合还有一个很大的优点是乔木能把作物根系所吸收不到的营养物质吸收上来，然后通过落叶而返回地表。在河南商丘地区黄河故道沙地⁽⁴⁾，群众所搞的乔、灌、草结合的模式真是千变万化，如泡桐+白腊条+花生，刺槐+白蜡条+沙打旺，泡桐+双花+小麦、葡萄+双花+花生等等，提高了生产，又起了固沙改土作用。在我国南方，人多地少、气候条件优越的地区，立体农业⁽⁵⁾更为广大群众所早有创造，如春种花生，夏种番薯，收完花生又套种甘蔗，在一块地上高秆与矮秆、矮秆与蔓生、禾本科与豆科、深根与浅根皆相互镶嵌。北京郊区的三种三收已相当稳定，在冬小麦未收时套作玉米，小麦收后又套作绿豆。

镶嵌化结构必须立足于各类作物之间确实互利及提高光能率确实有效上，反映在各种群之间必须有一定的比例关系，同时必须探求一系列尚未被人们了解的一些种群格局关系。上述泡桐在农田上能安居，基于其在春季先开花后吐叶，叶出后也较稀，所以对冬小麦基本上没有“协地”影响问题。现群众还在河塘建立立体饲养业，是令人饶有兴味的，桑基鱼塘的鳊、鳊、鳊、鳊、鲤、鲫诸种鱼大致分层结构，塘底还有塘虱与泥鳅。

3、配置作物演替的时间结构合理化

时间结构是种动态配置结构。其结构合理化一方面反映在通过不同抗性的作物来改善盐碱、沙、涝、薄等逆境生态条件时做到人工模拟种群自然演替的特征，而加以及时更换作物配置的形式与内容；另方面反映在一年四季作物的配置密切配合水热条件组合的变化与土壤肥力状况而相应地在时间推移上及时安排适宜的作物上。前者例如利用生物措施改造逆境，上述的黄河故道沙地，当固定程度差时安排固沙能力极强的白蜡条与沙打旺；几年之后即可安排具有一定耐沙埋能力的刺槐、双花（金银花）、及适于沙地生长的葡萄与花生，再过一个阶段才可安排泡桐与小麦等。后者例如培肥土壤的倒茬轮作制度与旱农生产上因时制宜的耕作制度⁽⁶⁾。因时制宜是将作物发育节律中不同阶段需水的要求与降水分配规律协调起来，例如山西省在高海拔丘陵旱地上利用七、八、九月雨水偏多条件进行小麦夏播⁽⁷⁾，夏播小麦比当地冬小麦增产20%以上，这种改制创新促使了旱农生产力的稳定与提高。该省大部分丘陵地区过去种春小麦亩产才100斤，甚而30~50斤，以致收不回种子，主要在春旱问题上没有做到逃旱，避旱之故。又如河南省宁陵县⁽⁴⁾从实践中探知红薯要在收获前两个月的生长期中，降雨量达400mm最为合适，这正基本符合该县7月为高温多雨的规律，因此秋粮中红薯最为合适，同时待薯块形成时要求适当低温与干燥，这又符合雨季以后逐渐少雨的规律，有利于薯块迅速增大。花生也是要求降水条件的两头少中间多，又正符合该地区降水分配规律。抗旱不只着眼于保墒，或发动群众性挑水救灾，更为有效地是调整耕作制度从作物演替的时间结构合理化入手。

由于降水的年度波动很大，灌溉条件也有年度差异，必须加强

降水墒情、灌溉水量及降水生产潜势等等的预测性，以探求种植业制度应变式的多种模型，及时选择应用，才更有把握。例如北京市大兴县⁽⁸⁾在种植业安排上首先考虑水资源的变动而制订几种模型，便于在不同水源情况下应变应用。由于水资源是北京市工农业发展的重要限制因素，过去大量动用静储量已使地下水位下降需考虑控制使用问题，而农业用水量又最大占大兴县总用水量的85~90%。分析作为水资源来源的降水，指标供水、地下水、污水、拦蓄水的5个部分中，以降水和指标水最不稳定最需预测，也最需经济合理使用。经初步计算提出根据旱年丰水年及有无指标水的情况用水分区与分配次序最优方案。经初步预测该县如果1985年是平水年，在按区分配次序下使用水可使粮食总产34203.7万斤，将避免不按这种用水方案减少241.4万斤的损失，如果85年是枯水年，又无指标水按应变择优布局用水亦可产24516.1万斤。又比非择优布局夺取粮食692.9万斤。

综上所述，我们要千方百计地使种植业结构适应自然条件在空间、时间上的特点，省钱又省事，合理而高产，反之如要自然条件适应主观安排的生产结构，此路早已行不通，过去高产穷队的教训，不能再蹈覆辙了。

4. 农业生态系统中层状生产生态结构完善化

农业生态系统的结构具有层状结构的特征。最高层是农、林、牧、副、渔的五业结构，其合理性主要体现在用地构成（包括水面）的比例，劳动力分配及各业产值比例上；次一层是种植业内部结构，体现在复种指数，粮、经、油比例，夏粮和秋粮比例及具体种类的比例上；第三层为同一块农田中多种群或单种群及其密度、种群格局

的状况与结构，体现在间、套作、混作，林粮间作上，由各种群各自营养面积，截光面。本身生态生物学特性及遗传学特性等所反映。各层结构皆要完善化才能获取系统生产力的高水平。

各层结构彼此相关，抓上层结构是抓战略方向，抓下层结构是抓战术措施。上层对下层的作用是大局⁽⁹⁾，但下层生产潜力不能发挥也影响到上层的稳定，因此在抓结构时不能只抓某一层，应层层抓，创造一个整体关系。

研究与制定层状生产结构时既要研究各业之间、各类作物之间、及各种群之间内在的有机联系关系，还要研究如何将输入的各项附加能量、物质与技术要素有效地结合起来，以取得最大的效益。结构调整好了是打了地基与骨架，丰富多彩的产品还需一系列生产技术来促成。所以在制定最优化生产结构时不仅同时需要考虑生产技术结构的渗透，使其完善化，而且当调整与建立新结构后更要步步依靠生产技术，使其更有生命力，发挥我国群众的智慧经验作用与现代化生产技术的威力。所以调整生产结构一开始是控制生态系统功能运动的方向，调整过程中输入足够的生产技术与一定的能量是现实高额产品的手段与保证。

过去农村五业产值中，普遍以农为过高，例如80年河南商丘地区农业产值占总产值的81.8%，陇东平凉泾川县农业占78.2%，宁夏固原地区曹堡大队为82.6%。农业广种薄收，一遇灾害还大幅度减产。历史时期一定的森林复被率与草被对地理环境的能量与物质的转换、迁移、循环过程起着制动作用，后耕地面积过大生态平衡失调，低产、抗灾能力差是必然的结果。如这种不合理的生产结构用大量投资的办法来解决，即使花费很大也难摆

脱困境。近两年他们皆开始走五业综合发展的道路实为大势所趋，群众所望。

现阶段部分群众“大包干”后，调整生产结构的现实意义就更大了。一方面需善加引导，使他们不要把注意力过多集中在某一业现得利上，因为如某一业过份膨胀，各结构组成畸轻畸重，皆会造成对整体生产力的压抑，得利也不会长久，也许还会牵涉到大包干后新的生产责任制形式巩固的问题。另一方面农田分散种植，往往各行其事，整个单位与地区必须在统一布局下进行。“我国农村的未来，将是有利于因地制宜地发扬优势，有利于大规模采用先进生产措施，形式多样的更加完善的合作经济”。“正确贯彻计划经济为主，市场调节为辅的原则，是经济体制改革中的一个根本性问题。”因此首先还要引导农民纳入计划经济的轨道，使他们要有长远观点，生态经济效益概念，与改善生态环境的战略思想。

要注意的是农业生态系统是一个庞大的复杂体系，不象机器失调那样易于识别与杆修，其生态后果更非一时所能辨识，人们应及早防微杜渐作出正确决策与区划。但人们不可能也不必要过细地一个个去“规划”，甚至把某些功能如自组织能力也纳入规划中，就人为性太大，反会弄巧成拙了，而且束缚了群众创造性的多种形式的结构出现，也不便相互比较、择优推广。人们要干的任务是通过调整生产结构达到疏通信息、传输渠道、控制功能运动的方向，保持系统与自组织能力的作用，最终促使生态系统的进化与发展。

合理的结构导致功能正常的结果。生产结构既然由人来安排的，决策人指挥得好坏是人们运用现代科学技术与生态经济学原理为农业服务的深度标志，是主宰农业生态系统能否起到提高生产富裕农

民和生态环境良性循环的试金石。

三、调整生产结构与生产潜力

1、各业产值合理的比例建筑在对自然资源与劳动力的充分利用，又能保持各种平衡关系的基础上。单一经营种植业表面看来有时也会出现一些高产典型，但成本高，并非具有普遍性，仅为“卫星田”，难以推广，也不持久。多业综合发展必然导致总产量与总收入的提高，调整各业产值比例，将可导致生产潜力化为现实生产力。

建立五业数学模型主要以价值量与劳动力分配来表示。例如北京郊区青云店公社（·8）的五业收入结构81年的情况是：种植业占36%，林业1.5%，牧业1.6%，工副业62.9%，具有畸轻畸重问题。为增加收入，“以副养农”，工副业比重较大，林、牧则明显太低。如果结构不调整发展趋势到1990年各业收入将分别占27.5%，1.7%，2.3%，68.4%，亦即尽管林、牧也稍有上升仍然甚微，群众生活将进一步提高，但生态环境恶化，农业生态系统生态结构不稳定，种植业也难以持续增产。根据“服务首都，富裕农民并提高社会效益，充分利用自然资源，维护生态平衡”四大目标所制定的方案如果实现后至1990年将农业收入占24.5%，林3.6%，牧3.7%，工副业68.2%，劳力分配将是林业由1%提高到2.3~3.2%，牧业由3.1%提高到5.0~7.3%，种植业下降到54.5%，工副业提高到28.6~36%（并已考虑1990年将存8%的劳力待业）那么，看来种植业收入比重下降，但其它各业上升，总收

入上升，预计至1990年比不调整的情况将多收入237.8万元，可见调整五业生产结构对释放生产潜力的重要意义。

珠江三角洲桑基鱼塘的形式是五业结构最优化的基础与典范。桑基鱼塘结构在面积上是基与塘之比为5:5或6:4。“基”是指将鱼塘的泥坑挖出填高旁边的田基，使其高出0.5~1米，与塘构成一个农、鱼、牧、副（桑蚕）的生态系统整体。适宜的塘面积为5~8亩，深2~2.5米，约在300~500亩之间设一水渠，宽3米左右，便于排水和水上运输。

基塘生态系统具有较大的生产潜力。例如广东斗门县昆潭大队过去的低沙田，存在内涝，排水负担重，生产力低的问题，每年每亩电排要花10元左右。建立基塘结构后不用排水，节省电费，并且收入成几倍地提高（详见下表）

广东斗门县昆潭大队低沙田整治前后的生产变化状况（引自薛德榕）

项目	水稻 斤/亩	甘蔗 吨/亩	塘鱼 斤/亩	养猪头数 (头)	电排 成本(元)	人均 收入(元)
1975年	866.4	1.9	252	160	11,000	101
1980年	1274	7.2	538	585	3163	370.5
效益(元)	+407.6	增5.3吨	+268	+425	节约7837元	+269.5

又如广东新会县三角公社1980年冬改建的鱼塘，第一年亩产500斤（成本约40%），两年后亩产700斤（成本降至30%），这时每亩纯收入1200元。他们在塘基种甘蔗、花生、水稻等，亩产分别为8.9吨，350斤，800斤，分别增产3

倍多，2.5倍，1.7倍。增加了收入，并且电排水费由原来每亩8~9元降至现时的4元左右，节约了投资。现他们还发展到塘边养猪，塘里放养水浮莲和水葫芦，实行种蔗、养鱼、养猪三结合。广东肇庆地区发展水库养鱼，水库附近养鸡、猪、奶牛、山坡种植青饲料与牧草。这种经营方式很适当我国南方人口密度大、劳力资源丰富，自然水源丰富，改造利用潜力大的特点，将会更完善并巩固下去。

2. 调整农、林、牧土地构成与生产潜力

调整农、林、牧土地构成是提高系统整体生产力的核心。但目前无论农区或适于农牧并举的半农半牧区，耕地面积的比例皆过大。

对农区来看，例如京郊青云店公社土地利用现状⁽⁸⁾见下表。

京郊青云店公社土地利用现状(1980年)

	总面积	总耕地	自留地	林地	建筑用地	其它
面积	532429	43572	2875	1184.3	5152.8	
%	100	81.84	5.4	2.2	9.68	2.2

可以看出京郊生产用地分配的不平衡不合理的现状。青云店公社属产稻区，收益大，因此耕地面积比重大，但林地则太少，低于森林法要求平原地区复盖率不低于10%的要求，更距京郊应担负绿化首都、优美环境的任务很远。此外建筑用地也较多，这在黄淮海平原农区来看，也有类似问题。例如河南商丘地区在道路、村庄占地上即占土地面积的20.8%，而商丘县的河道渠沟就占土地面积的4.54%，在两边大力造林种草，既护路固渠又提高森林复盖率是方向之一。

对半农半牧区来说，一般处于森林草原地带内，大多为旱农农业生产不大稳定。更需农牧结合，农林牧综合发展，但目前大多仍是耕地面积过大，同时非生产占地也多。按处于西北黄土高原的陕北米脂县泉家沟、高家沟的土地实测（据黄土高原综合治理试验站），农用地占土地总面积的55.4%，林果灌丛占地12.6%，人工草地3.9%，非生产用地28.1%（包括荒地、道路、村庄等）。

西北黄土高原的大面积水土流失追其原因一方面由于垦殖指数高（50~70%），农业生态系统中输出的能量又常大于输入量，土壤肥力衰竭，能流物流转运的关系不畅，生态系统自我调节能力削弱，抗灾能力衰退，生态平衡失调，另一方面由于群众生活燃料的严重不足，便上山打柴搂草，以至发展到现阶段的挖草根，破坏了已存不多的天然植被，使水土流失面积扩充到全局性所致。据考察，一个五口之家，由于秸秆燃料只够3个月之需，尚有4个月的燃料来自采伐薪材，现薪材干草已枯竭化，不得不挖草根。定西地区每户平均要为之破坏16亩天然植被。但从农林牧土地构成调整上入手的一些社队，则出现了另一景象，那里是林茂草丰庄稼壮。例如就在上述米脂县内的高西沟大队，20多年来注意造林，现林地覆盖率已达25%，既改善了环境又解决了燃料更增加了收入。农田以大部分还牧还林而缩小成原来的1/3，总产反成倍提高。全县在农林牧用地构成上为1:0.29:0.13，而高西沟已调整至1:1.12:0.75，故已接近三三制。其生命力在于已基本符合半湿润区向半干旱地区过渡的气候区域内的自然资源特点的，79年粮食单产500斤，人均分配115元，燃料饲料均解决。

还应指出，合理的农林牧结构与布局促使农田产出一投入能量的比值提高。（其计算方法是将投入的附加能量与输出产量用千卡来折算，前者包括人力畜力、有机肥无机肥、灌溉动力、农机动力与折旧、农药等；后者包括粮食作物籽粒与稻稈、其它作物各种产品等）。得出的规律是凡是具有较高森林覆盖率及农林牧配置合理且结构比例适宜的先进典型其产投比效率就高。详见西北黄土高原农田产投比表。⁽¹¹⁾（据沈亨理计算）

单 位	平均单产 斤/亩	产投比 效率	单 位 (先进典型)	单产 斤/亩	产投比 效率
定西县	12.7	0.74	高西沟大队	435	1.2486
会宁县		0.624	小寺沟生产队	400	1.417
固原县		0.506	范家庄生产队	360.7	
黄陵县		1.0727	宁县		1.25
榆林县		0.927	延安市		1.014

上述先进典型每个劳动力创造的能量收入也较高。高西沟、小寺沟、范家庄分别为648万，818.9万，1015万千卡。

按黄土高原综合治理站研究，米脂县桥河岔公社按生产率与盈利率来计算，水浇地玉米最高，旱梯田种苹果次之，旱梯田种马铃薯更次之。未筑梯田的旱坡地则以种植紫花苜蓿养细毛羊最高，旱坡地马铃薯但前茬为草木犀次之，种谷子更次之，而旱坡地种小麦则为负值。

3、调整种植业内部结构与生产潜力

调整种植业内部结构要考虑自然—社会经济各方面因素，主要是土地资源条件、复种指数上限、因地因时制宜、具体作物经济效