

开拓农业科学的崭新领域
大农业发展与水土保持

中国科学院农业现代化研究委员会
杨 挺 秀

战略教研室资料
第 号

全国经济地理科学与教育研究会
经济地理教学研究班

1982年7月 日

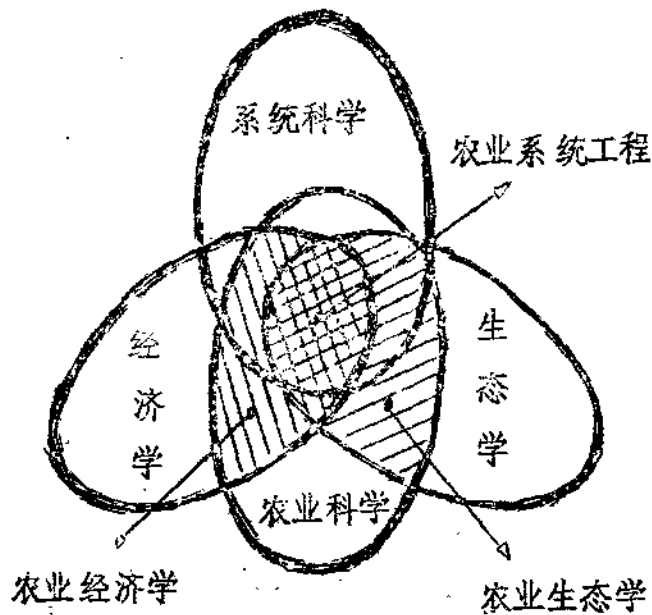
开拓农业科学的崭新领域

杨 挺 秀

(中国科学院农业现代化研究委员会)

当代科学技术的发展,有两个重要趋势,一是向纵深发展,学科日益分化,一是向整体化发展,搞横向综合。农业现代化的实践证明,只搞单项、单科研究不行,搞多学科、多专业的简单相加也不行,必须开展综合研究。因此,在传统的农业科学技术之外,迫切需要开拓一门农业科学的新领域,这就是农业系统工程。

农业系统工程是一门杂交科学。它是由农业科学、系统科学、生态科学、经济科学杂交而成。图解如下:



如列成方程式则是：农业系统工程 = 农业科学 $\cap$ 系统科学 $\cap$ 经济科学 $\cap$ 生态科学（ $\cap$ 代表交运算）

这是一种新的科学思维，新的科学思想，新的科学方法，它与传统的农业科学技术有着本质的区别。

新的思维

农业系统工程与传统的农业科学技术的区别在于，它是一种新的科学思维，具有三大特征：

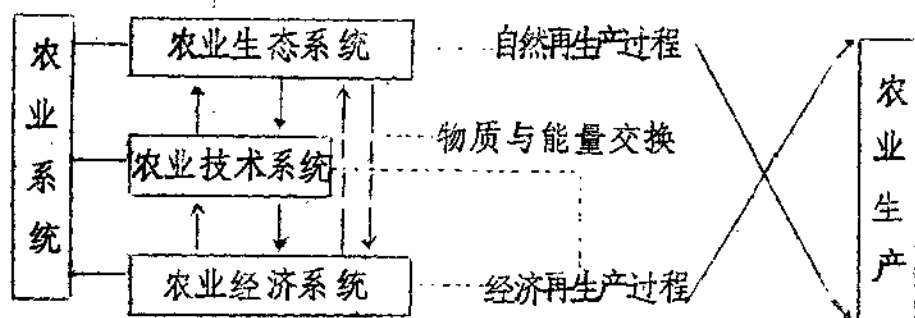
一、整体论

整体论，是一般系统论的创始人奥地利理论生物学家 L·V·贝塔朗菲，针对机械论简单分解和简单相加的错误观点（即：整体 = 局部 + 局部…… + 局部），提出的一个著名定律“非加和原则”，整体大于各孤立部分的总和（即：整体 > 局部 + 局部…… + 局部）。即系统的整体功能不是各组成部分功能简单相加的总和。因此，它既把整体作为研究的出发点，又把整体作为研究的落脚点和归宿。它不是把一个整体事物切割开来，研究每一个具体事物的运动规律，而是从事物的整体出发，全局考虑，研究整体的结构与功能。具体讲，有如下六点：

一是系统论。所谓“系统”，贝塔朗菲的定义是：“处于一定相互联系中的发生关系的各组成部分的总和”。因此，可以认为，自然界一切均为系统，一切都有系统性，任何研究对象都可以看成是一个系统。系统是一个相对的概念，为了研究方便，把现实世界中的某些部分划一条界线，界限之内的一切事物都属于这个系统。它与单科（或单元）研究不同，其一是，它不是竖切一条而是横切

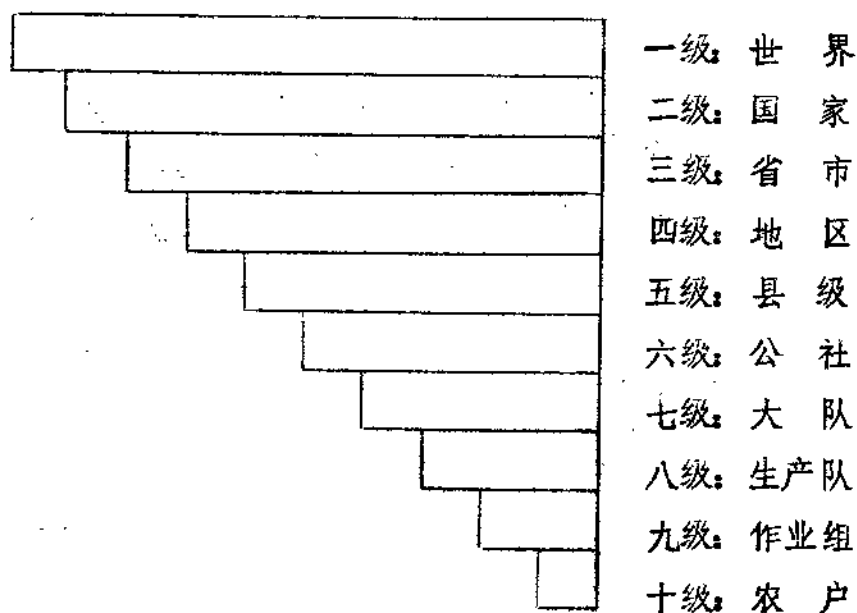
一块；其二是，它不切断事物之间的联系，也不切断系统与环境之间的联系而孤立的研究。为了便于研究，它把任何一个事物看成是一个相对独立存在的闭路反馈系统。这个系统内部，由很多因子组成，相互联系，相互制约，具有反馈作用。这个系统与外界环境的关系，既有输入，也有输出，也是相互联系的，但可相对独立地存在；其三是，系统是输入和输出的“转换器”，它与周围环境不断进行着物质和能量的交换。从这个意义上讲，任何农业系统都是开放的。

农业系统，是由农业生态系统、农业技术系统和农业经济系统等三个子系统所组合而成的综合大系统。农业是一个自然再生产过程和经济再生产过程交织在一起的物质生产部门。农业生态系统，既是农业生产的环境，又是农业生产的“工厂”，进行着自然能量与物质的转换和生产。其中，植物是第一性生产，动物是第二性生产。绿色植物吸收大气中的二氧化碳和土壤中的水分和养分，通过光合作用，将太阳能转变成化学能，使无机物转变成有机物，这是自然再生产过程。人类为了获取更多的产品，通过自己的劳动和智慧，即通过农业技术系统和农业经济系统投入更多的物质和能量，并加入科学技术这个生产力，不断促进和提高农业生态系统中各种生物体的转化效率，从而使这个自然再生产过程又和经济再生产过程结合起来。图示如下：



二是等级论。农业是一个“自然环境—生物—人类社会”相互交织在一起的十分庞大复杂的大系统。为了便于研究，农业系统是分等级的，某一等级的系统，是上一等级系统的子系统，是下一等级系统的母系统。每一等级的系统，都是上一等级系统的组成部分，相互之间，都有联系和制约。

按照国外系统科学工作者的通常观念，多级系统与层次结构的概念大同小异，没有区分“等级”与“层次”的必要，似乎用“层次”的概念就足够了。根据农业系统的需要，笔者认为增加一个“等级”的概念，有利而无害。因此，整个农业系统，为了便于研究，可分为如下十个等级：



三是层次论。系统内是有层次的，层次之间又相互联系制约。层次是无限的，人工系统是研究有限层次的。对于农业这个复杂的大系统来说，没有层次结构的概念，是无法入手的。举例图解如下：

- 第一层次：农业经济：农工商等
 第二层次：农村生产：农林牧副渔等
 第三层次：种植业：粮食作物与经济作物、绿肥、牧草等
 第四层次：粮食作物：稻麦豆谷等
 第五层次：小麦生产：水土光热，品种，施肥、灌溉、植保、耕作等
 第六层次：肥料：有机肥、化肥等
 第七层次：化肥：N、P、K、S、Ca 及微量元素等
 第八层次：

四是因子论。系统内的任何层次上，都是有很多因子所组成的。因此，一要研究因子构成，二要研究因子联系，三要研究因子制约，四要研究限制因子等。

例如确定一个地区的双季稻栽培面积，就涉及到很多因子：从自然因素看，热量、水资源、地力够不够，从社会因素看，劳力够不够，能负担多少面积；从产量看，是真增产还是假增产，甚至假增产真减产；从经济效益看，有无利润还是赔本买卖。如热量不够，就是限制因子。如水资源不足，就是制约因子，只能由它决定双季稻面积发展多少。如果自然条件三个因素都够，但劳力紧张，双抢期间拖长，到立秋迟插不上秧，劳力就制约了热量，使“长线”变成了“短线”，劳力就变成了制约因子，一切由它决定了。如前面四个因子都能满足需要，还要进行单、双季稻产量比较。看产量不能被表面现象所迷惑，要分析真增产还是假增产，甚至假增产真减产。产量的临界限公式是：

$$\frac{\text{双季稻亩产} - \text{单季稻亩产}}{\text{双季稻多用种量} + \text{秧田损失} + \text{历年平均早稻烂秧损失} + \text{出米率少损失}} > 1$$

计算结果，如 > 1 ，则为真增产， < 1 则为真减产。如果考虑到经济效益，根据公式，当双季稻产量为单季稻产量的 1.5 倍时，经济上才划算。

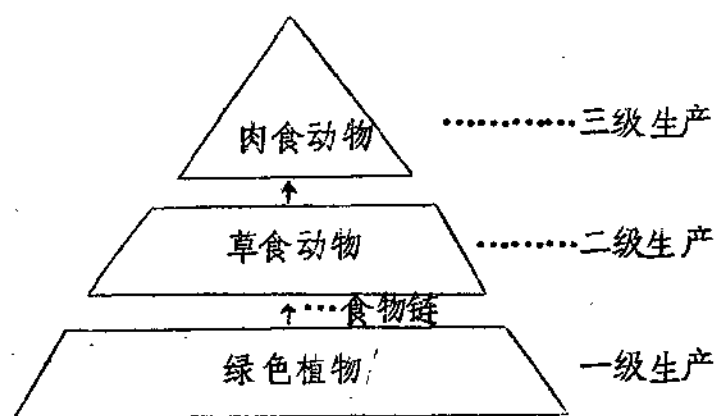
$$\text{即：} \frac{\text{双季稻亩产}}{\text{单季稻亩产}} \geq 1.5 \text{ (经验公式)}$$

五是结构论。结构理论是系统思想的核心。凡系统必有结构，有结构必有关系。系统结构，是研究系统内部各构成部门或因子之

间的量比关系（数量比例关系）。

农业系统是由农业生态结构、农业技术结构和农业经济结构交织而成的多维结构。农业结构的复杂性在于，每个子系统都是一个多级结构。以农业生态结构为例，既有森林、草原、农田、水域等组成结构，草原生态中又有个草畜平衡问题，牧畜中又有不同的畜禽种类结构，同一种牧畜中又有个畜群结构……等，排列组合起来，就十分复杂了。

农业系统是个有序结构。凡系统都有秩序，无序不成其为系统。农业系统内各因子是按严密的等级和层次有秩序地构成的。如绿色植物是一级生产者，草食动物是二级生产者，肉食动物是三级生产者，三者之间形成一条食物链。物质和能量沿着这条食物链转换，有一定的数量比例关系，一般来讲，后一级生物产量为前一级生物量的十分之一。这就是通常所说的“生产率金字塔”（见下图），也称为“十分之一定律”。



农业系统是个耗散结构。它能产生负熵，制造“势差”。物质

守恒，能量守恒，人类既不能生产物质也不能生产能量，而只能利用能量的“势差”，有人称作“能源的质量”。能来源于太阳的高质量能。一切绿色植物都能固定太阳来的高质量的能。煤、石油、天然气等，都是历史上绿色植物固定的太阳能。目前每年固定的太阳能而转变成的食物能，更是人类赖以生存的物质基础。一切生命过程，所有经济活动，都在消耗着这种高质量的能，把一部分能量转变成了高级产品，并且抛弃了其余低级热量。当能源通过一种经济系统时，其质量由高向低退化，这就代表了实际的和永久性的价值损失。唯有绿色植物可以不断固定这种高质量的能，制造“势差”，供人类利用。

系统的结构有水平结构和垂直结构两个方面。水平结构，是指各种因子在空间中的数量和排列。如农林牧渔的总体布局，各种农作物的布局，等等。垂直结构，是指诸因子在时间上的数量与序列。如各种作物的轮作倒茬，不同作物的套种和复种等，既有严格的时间序列，也有一定的数量比例。

六是功能论。任何科学都要研究物质的结构与功能，但农业系统工程与传统农业科学的单科研究的不同之处在于：其一，研究系统的整体功能。不仅要看某一项生产的产量高低，而且要看总的生产能力，不仅要看粮食产量数量，而且要看质量和总的生物产量，还要看产值、利润等经济效益。总之，要建成一个高产、优质、低消耗的农业生产系统。其二，研究系统的生态功能。它不仅着眼于当年高产，而且要考虑生态平衡，着眼于长远增产，并且要使产出越来越多，系统的功能越来越高。因此，它不搞掠夺式经营，而要种地养地结合，搞投入—产出平衡。它不搞恶性循环，而搞良性循环。总之，要建立一个高效的、合理的农业生态系统。其三，研究如何促使系统“经济目标”与“生态目标”的统一。从根本上讲，

两者是一致的，但在实践中又经常发生当前经济目标与长远生态目标的矛盾，只有在结构上想办法，使两者统一起来，才能使系统具有更好的整体功能。例如四川南充地区蓬安县清溪公社十三大队七队，原来是个光山秃岭的穷地方，丘陵上水土流失严重，山沟里是低产的烂泥田，平均亩产只有242斤，人均分配收入43元，人均口粮200多斤。一九六四年以来，他们没有只顾当前，先填饱肚子，而是利用丘陵斜坡、台地岩坎、村庄周围的鸡啄地大种柑桔7500多株，实行桔粮并举，立体布局，在有限的耕地上把当前经济目标与长远生态目标统一起来。十七年后的一九八一年，面貌大变，还是215亩土地，但林木覆盖率已达30%，粮食平均亩产530斤，人均分配收入460元，人均口粮500斤。仅柑桔就总产60多万斤，收入10万多元。还是同等数量的自然资源，由于采用了桔粮立体布局的最佳结构，新系统比原系统的整体功能大大提高了，从经济收入上看，由一九六四年的9,674元增长到一九八一年的114,714元，提高了11倍之多。

二、联系论。

钱学森和王寿云同志在《系统思想和系统工程》一文中指出：“十五世纪下半叶，近代科学开始兴起，力学、天文学、物理学、化学、生物学等科目逐渐从混为一体的哲学中分离出来，获得日益迅速的发展。近代自然科学发展了研究自然界的独特的分析方法，包括实验、解剖和观察，把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究。这种考察自然界的方法移植到哲学中，就成为形而上学的思维。形而上学的出现有历史根据的，是时代的需要，因为在深入的、细节的考察方面它比古代哲学是一个进步。但是，形而上学撇开总体的联系考察事物和过程，因而它就‘以这些障碍

堵塞了自己从了解部分到了解整体、到洞察普遍联系的道路”。

传统的农业科学技术的发展历史与上述情况相同，为了分门别类的深入研究，只好从总体中分离出来，切断与周围事物的“普遍联系”，孤立地去研究某一事物的局部和细节，以求深入。这是十分必要的。但是，农业本身却是一个“自然环境—生物—人类社会”相互交织在一起的十分复杂的大系统。因此，单科研究不能全部解决农业生产中的问题，特别是一遇到综合问题就往往无能为力。为了比较真实地研究事物的本来面目，还必须开拓农业科学的新领域，即农业系统工程。这样，农业科学就可从单科研究一条腿走路，变成单科研究和综合研究两条腿走路，从而加快其发展速度。

农业系统工程与传统的农业科学技术的区别在于：它不是从纵向深入来研究，而是从横向综合来研究。它是一种“横断科学”；它不是切断事物与整体的“普遍联系”，而恰恰着重于研究这种“普遍联系”，正如恩格斯称之为的“伟大整体的联系的科学”。因此，从这个意义上讲，农业系统工程是研究事物之间相互联系、相互制约的“关系学”的。联系论，也可以称之为“关系学”。

农业系统工程的任务，就是研究这种“普遍联系”的“关系学”。首先，要弄清诸因子之间的关系，以及与层次、等级、系统的关系，系统与环境之间关系；其次，要研究与系统目标是什么样的关系，是正相关还是负相关；再次，要定量化，弄清量比关系。这样，就可以建立起系统模型。模型有两种，既可是图解模型，也可是数学模型。前者反映定性关系，后者则可进行定量分析，更深刻、更本质地反映事物相互联系制约的关系。

农业是动态联系的科学。世界上的一切事物，都处于永恒的运动之中。农业是和活的有生命的动物、植物、微生物打交道，而一

一切生命现象都是从生长到死亡的运动过程，因此，我们不能静止地研究联系，要在运动中把握联系，在联系中研究运动。例如，畜禽的不同生育阶段对营养物质的需要是不同的，因而需要研究不同的全价配合饲料配方；作物不同的生长发育阶段对光、热、肥、水的需要也是不同的，只有满足其需要才能获得丰收。

三、装配论。

农业系统工程与传统农业科学技术的第三大区别是，它主要不搞具体的“硬件”，不研究“硬技术”或“硬科学”，如培育新品种、试制新农药等，而主要是研究“软件”的，如同计算机的“程序设计”，属于“软科学”或称“软技术”。“软科学”，是一种“大科学”。打个比方，单科研究犹如制造电阻、电容等硬件，农业系统工程则是研究把这些电阻、电容等零部件如何串连起来的“线路”，从而形成一个有结构的有机整体，并发挥其整体功能。零件和线路，单科和综合，二者缺一不可，相辅相成。

装配论，或称组装论、集总论、综合论等，意思是搞“总体设计”。西方称为“系统分析和设计”，日本称为“系统开发”。目的是为了改造自然，重新设计一个最佳结构，人工创造一个高产、优质、低消耗的农业产生系统和合理的、高效的农业生态系统。要改造客观世界，首先要认识客观世界，这就是弄清楚普遍联系的关系学。在此基础上，充分利用国内外的一切现成的单项和单科研究成果，围绕系统的多目标需要，结合当地的具体情况，从中挑选出适合当地的“适用技术”，组装起来，配套成龙。这种总体设计，既包括因子设计，也包括结构设计。目的是创造一个高效能的新系统。

例如海伦基地县的农业发展模式，为了使人工设计的新系统实

现生物产量高、营养价值高、经济收入高，地力不断提高，在五区轮作中，一方面减少劣质玉米的比例，增加优质大豆的比例，改变了作物的结构，另一方面加进了一区豆科牧草秣食豆等，以发展畜牧业，增加收入。为了使4/5粮食面积超过原来5/5的粮食总产，就得不断培肥地力以提高单产。为了作到农牧融合，挑选的作物品种都是活秆（绿秆）成熟的良种，既考虑人吃的粮食，也考虑牧畜吃的饲料，还要考虑种地养地。只有地力越种越肥，产出才能越来越高，走向良性循环。围绕多种目标，利用现有成果，挑选“适用技术”，装配成龙，形成新的农业系统。从而使生物量产出、经济收入、生态系统（地为等）都优于原来的系统。

以上三大特征，足见农业系统工程与传统农业科学技术的根本区别，也充分说明开拓农业科学新领域，建立农业系统工程的必要性。

新的观点

研究农业系统工程，必须抓住农业生产的特点和本质，而这些特点和本质也正是系统科学的核心思想（整体论、联系论、装配论等），因此，它的指导思想也有别于单科（单元）研究。

一、大农业、大粮食观点。

大农业、大粮食观点，是针对小农业、小粮食观点提出来的，是系统科学思想的体现，是符合我国国情的农业战略思想。大农业，是指农、林、牧、付、渔、微、虫、工、交、商等一切农业生产领域。大粮食，是建立在营养科学基础上的，是指根据人体营养所需要的全部食物，既包括粮、豆、薯、菜，也包括肉、蛋、奶、鱼，还包括糖、果、酒、茶，等等。总之，不仅要满足人体所需的热量

营养，而且还要满足人体所需要的植物蛋白和动物蛋白营养，以及各种维生素和矿物质等营养。

大农业、大粮食观点与小农业、小粮食观点的根本区别是：一是有没有整体观点。小农业只看到局部，看不到整体，眼睛只盯在1.5亿亩耕地上，而大农业则从整体出发，放眼全部国土资源，不仅要搞好1.5亿亩耕地，而且要开发9.60万平方公里，把14.4亿亩国土和2.2亿亩大陆架海面全部利用起来。二是有没有结构概念。小农业只知到种植业，只看到粮食生产，不懂得农林牧渔全面发展，不懂得只有建立起合理的结构，才能有好的总体功能，才会生产出更多的物质财富。三是目标选择。一个是单打一，粮食一口咬，一个是多目标，满足人民的多样化需要。四是有无生态观点。小农业是“以粮为纲，全面扫光”，到处毁林开荒，劈山种地，围湖造田，破坏生态平衡，造成水土流失，四川水灾就是大自然的惩罚。对耕地实行掠夺式经营，使有机质减少，地力普遍下降。大农业着眼于生态平衡，认为农业基本建设的重点在于山区种树种草，增加耕地有机质，而不在于平原耕地黄土搬家。根治海河的“根”，不在于平原的“排”，而在太行山区的“蓄”，即种树种草，建立“绿色水库”。五是有无经济观点，小农业观点只求温饱，不及其余。典型的说法是“粮食不过关，其他顾不上”。大农业观点，充分发挥我国劳力资源丰富的优势和国土资源的潜力，大搞多种经营，发展家庭副业，使农民尽快富裕起来。

二、联系的本质是转换循环流。

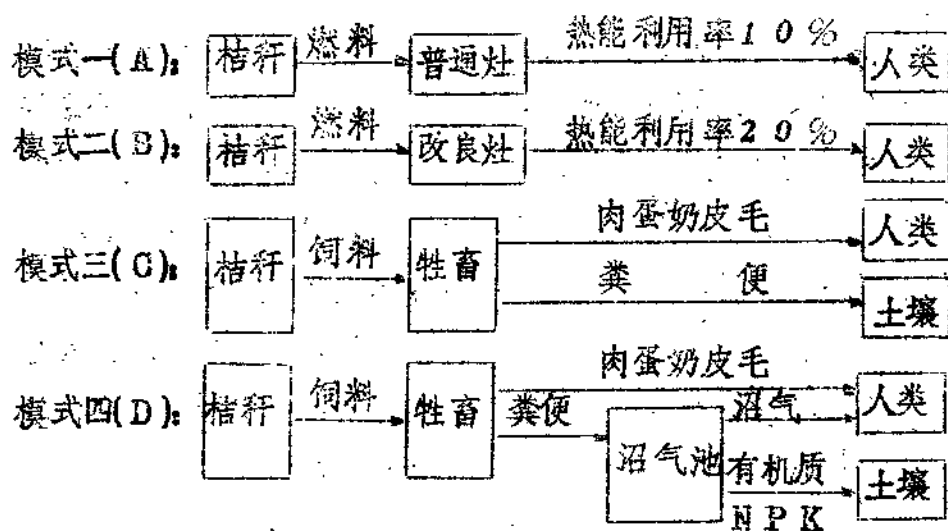
农业生产的本质，实际上是一个物质循环与能量转化的过程。是一个自然再生产和经济再生产交织在一起的物质生产过程。农业系统工程是研究事物普遍联系的，但联系是看不见摸不到的，因此

必须抓住这些联系的表现形式。它又是些什么呢？我认为联系的本质，就是五个转换循环流：

一是物质流。或称物流。农业生产，就是人类利用和促进绿色植物的光合作用，从空气中吸收 CO_2 ，从土壤中摄取水分和氮磷钾等营养物质，在太阳光的作用下，将无机物变成有机物，将太阳能转化为化学能。这是农业的第一性生产。是人类和动物赖以生存的物质和能量的基础，是真正的“源”。有了“源”才有“流”，源大才能流多。因此，任何荒山秃岭和裸露的耕地，都是对太阳能的白白浪费；任何低生物产量的作物和林木，也都是对太阳能的一种浪费，是一个低效的转换系统。人类为了获得更多的“产出”，便向农业生产系统“投入”更多的物质，以扩大物质的循环流；另外，通过农业技术子系统，加入科学技术这个生产力，以提高物质的转换效率和利用率，从而进一步加大物质的转换循环流。

二是能量流。或称能流。为了进行农业生产，要投入人、畜力和种子等，可视作生物能；投入的化肥、水利、机械、农药等，可视作矿物能。绿色植物留在土壤中的根茬、落叶、地上部分的桔秆和籽实，三部分之和为总生物产量，可视为产出的生物能。投入与产出能量之比例，代表一个系统的转换效率，是衡量一个农业系统总体功能好坏的客观标志。

产出物如何利用，能流物流的运动方向，又和系统的结构与功能有关。以植杆为例，可有多种利用模式，模式不同，物质利用率不同，能量转化率有大有小，物流和能流的循环也不同。



需要指出的是：桔杆中既含有热能，也含有营养物质（如粗蛋白、糖类）、NPK和有机质等，不同的利用模式，利用情况大不相同。

利用模式	热能利用率	营 养 物	NPK	有 机 质
A	10%	0	仅K	0
B	20%	0	仅K	0
C	0	利用	利用	利用
D	60%	利用	利用	利用

可见，从能流、物流看，A是最小的，D是最优的，即使改一下灶，能量利用就能提高一倍，每年节省出几亿吨桔杆柴草，农村燃料问题是造成我国生态破坏、地力下降的根本原因，使物流、能流循环圈变小，是造成恶性循环的关键，农牧结合是客观规律，应天然地融合一体，没有畜牧业的农业是不完全的“跛足农业”，是

贫穷落后的病根。

三是信息流。信息包括的内容很多，这里主要指科学技术。根据热力学第一定律，物质和能量是守恒的，既不能创造，也不能消灭。人们只能利用其“势差”。但在农业生产中加入科学技术这个生产力后，可以提高物质的利用率和能量的转化率。现代农业，是“应用科技力量耕作的时代”，科技这个信息流就显得尤为重要。例如畜牧业生产，采用优良种畜种禽，并根据其营养需要，输入全价配合饲料，饲料报酬可提高一倍。换句话说，由于饲料转化效率的提高，同样数量的饲料，可使畜产品产出量增加一倍。

要想使科学技术这个“知识形态”上的生产力，真正变成现实的生产力，必须建立健全完整的科学技术体系，使知识的信息流能够通畅地流到生产第一线，才能转变成物质财富。正如美国福斯特博士所说：“没有第一流知识的农民，就没有第一流的农业”。

四是经济流。也可称“财流”。现代化农业是大生产，已不再是自给自足的小农经济，而是商品生产，因此，必须研究财流，降低成本，增加收入，使农民尽快富裕起来。如海伦县的“种养加一条龙”，农户家庭副业养奶牛，一天收入一张“大白边”（十元人民币），为了促进奶牛业的发展，划给饲料地解决“种”的问题，有了饲草才能发展“养”。另外县里改建了一个奶粉加工厂，有了“加”又促进了“养”，牛奶才能变成商品，日收入10元才能由可能变成现实。

五是劳力流。也可称为“人流”。农业生产是人类社会赖以生存的基础。在一定的生产力水平下，一定的资源只能养活一定的人口，否则就会超越土地的负担极限，破坏生态平衡，陷入恶性循环。有计划，按比例，人与资源的平衡是最根本的比例。在农业系统中，