

农业系统论初探

崔世友 徐守铭 编著

南京大学出版社

1993 · 南京

(苏)新登字 011 号

农业系统论初探

崔世友 徐守铭 编著

*

南京大学出版社

(南京大学校内 邮编 210008)

江苏省农业科学院印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 5 字数 111 千

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1000

ISBN7-305-02568-2/S·13

定价 3.00 元

(南大版图书若有印、装错误可向承印厂退换)

前 言

本世纪以来,系统论、信息论、控制论等横断学科的蓬勃兴起,大大改变了当今世界科技发展的格局,这就是,科技的发展在高度分化或专门化的同时,开始出现了强烈的综合趋势。整体的观点、系统的观点充斥着各个学科的研究领域,农业科学领域也不例外。最近,我们有幸承担了江苏省科委及省资源局分别下达的两项研究开发课题,一项题为“沿江高沙土培肥及多熟种植试验示范基地建设”;另一项为“高沙土综合开发实验区建设”。这两项研究课题的实施环境,为我们在农业实践中检验系统论提供了绝好的机会。

本文正是在上述背景条件下,试图将系统论的基本原理(包括耗散结构理论和协同学原理)与农业科学研究的成果作一有机结合,以研究农业系统的整体性问题,提出农业系统论的初步构想。内容涉及农业系统有序结构的形成及其演化,农业系统的基本规律、非平衡自组织的现象及控制,能量、信息与农业系统有序结构的关系,等等。

在本书的写作过程中,尽管作者曾翻阅参考过大量有关文献,但是由于系统理论本身还属于新拓的领域,加上我们自己也并不是专门从事系统论研究的,理论基础较为薄弱,对许多问题的理解和研究还不够透彻,故将此书取名为“农业系统论初探”,其意只在抛砖引玉。行文之中,若有所不当,敬请各位专家、学者及读者朋友们指正。

本书第一部分至第十部分由崔世友同志撰稿;第十一、十二

两部分由徐守铭、崔世友合作完成；另顾国华、陈伯森同志参与了本书的部分写作。

还应提及的是，韩世杰副研究员曾对本书的写作给予了热情的指点和帮助，南京大学出版社和江苏沿江地区农科所的同志们为本书的出版提供了机会和条件。在此我们一并表示感谢！

最后引用普里高津和维纳的两段话，就算作该书的写作动机吧。

在一定意义上说，我们已从对封闭的宇宙——其中现在完全决定未来——的认识，走向对开放宇宙——其中有涨落、有历史的发展——的认识，这将是西方科学和东方文化对整体性、协和性理解的很好结合，这将导致新的自然哲学和自然观。（普里高津语）

在科学发展史上，可以得到最大收获的领域是已经建立起来的部门之间的被人忽视的无人区。（维纳语）

作 者

1993年8月1日于南通

目 录

前言	(i)
一 耗散结构理论与协同学概述	(1)
§ 1 耗散结构理论	(1)
§ 2 协同学	(6)
§ 3 理论的应用现状及前景	(10)
二 农业系统	(12)
§ 1 农业系统的概念	(12)
§ 2 农业系统综合研究的兴起	(13)
§ 3 农业系统的结构	(18)
§ 4 农业系统与耗散结构	(20)
§ 5 农业系统论系统观	(26)
§ 6 农业系统论的研究内容	(29)
三 农业系统有序结构的形成特点及规律	(33)
§ 1 农业系统有序结构的形成	(33)
§ 2 耗散结构农业系统的功能放大作用	(36)
§ 3 农业系统耗散结构的特点	(39)
§ 4 农业系统的基本规律	(41)

四	生态平衡及农业系统的调控	(47)
§ 1	农业系统耗散结构的稳定性.....	(47)
§ 2	生态平衡是非平衡条件下的稳态.....	(50)
§ 3	农业系统耗散结构的调控.....	(53)
五	非线性与农业系统	(62)
§ 1	系统非线性机制的解释.....	(62)
§ 2	二个实例——光合作用和施肥试验.....	(64)
§ 3	农业系统与非线性思想.....	(66)
六	熵的概念与农业系统熵	(69)
§ 1	熵的概念.....	(69)
§ 2	熵与农业系统.....	(71)
§ 3	农业系统熵——一个新的农业系统观.....	(75)
七	农业系统的能量转换	(79)
§ 1	能量产投分析.....	(79)
§ 2	农业系统能量产投分析的程序.....	(82)
§ 3	提高农业系统能量转换效率的途径.....	(87)
八	农业系统自组织及其控制	(90)
§ 1	自组织与自组织控制.....	(90)
§ 2	农业系统自组织.....	(92)
§ 3	农业系统自组织控制.....	(95)
§ 4	原理应用一:作物育种技术原理新论	(97)
§ 5	原理应用二:农村分工分业的自组织控制.....	(101)

§ 6	原理应用三:粮食问题·····	(106)
九	信息与耗散结构农业系统·····	(110)
§ 1	信息与现代农业系统·····	(110)
§ 2	农业信息·····	(111)
§ 3	农业信息系统·····	(115)
十	农业系统的演化·····	(119)
§ 1	系统演化·····	(119)
§ 2	农业系统的演化·····	(122)
十一	中低产田改造——以高沙土为例·····	(131)
§ 1	土体—植物—环境的整体功能性与高沙土改良 ·····	(131)
§ 2	开放自组织与高沙土培肥·····	(134)
§ 3	反馈控制与高沙土改良·····	(137)
十二	生态农业——我国农业的发展方向·····	(140)
§ 1	对石油农业的基本认识·····	(140)
§ 2	生态农业的内容及其特点·····	(142)
§ 3	生态农业耗散结构概论·····	(145)

一 耗散结构理论与协同学概述

开放系统理论(Open system theory)又称自组织理论或非平衡系统理论,它是论述系统有序结构发生和演化的理论群,目前国际上主要有三大学派:一是比利时的布鲁塞尔学派,以普里高津(I. Prigogine)为首,创立了耗散结构理论(Dissipative structure theory)^[1],耗散结构理论以研究系统从混沌向有序转化的机理、条件和规律为目的;二是西德著名物理学家哈肯(H. Haken)创立的协同学(Synergetics)^[1],它是一门专门研究完全不同学科存在着共同本质特征的横断学科;三是西德生物学家艾根(M. Eigen)于1971年提出的超循环理论(Hypercycle theory)^[1],目的在于解释生物变化和遗传变异过程,它的问世丰富了生命科学的理论宝库。这里仅简单介绍一下耗散结构理论和协同学。

§ 1 耗散结构理论

概述

在日常生活中,人们会经常看到:在清水中滴入墨水会自动扩散,最后达到平衡;一滴香水在室内会自动扩散,以至最后香溢全室。从这些现象中可以看出一个规律,就是分子运动总是趋于混乱、均匀。混乱度可用熵(Entropy)表示。克劳修斯(R.

Clausius)的巨大贡献在于把这类现象归结成热力学第二定律(熵增原理),但后来他将这一定律延伸到整个宇宙,作出了“热寂说”的推论^[2],终于走上唯心主义道路。

与此相反,世界上还有许多“有序”(Order)现象,如天上的虹,松花皮蛋的花纹,物理学中的班纳德(Benard)花样和激光现象,化学中的李西根环(碘化钾加硝酸银形成碘化银沉淀环)和丙二酸溴化(铈催化),土壤中的锰环等。从宏观意义上说,天体演化、太阳系形成、生命起源、生物圈进化等等都是有序现象。社会的发展也是这样,从无序(Inorder)到有序,从较低程度的有序到较高程度的有序,分工组织越来越严密。这一系列现象都是与熵增现象背道而驰的,这样就形成了“负熵论”。

长期以来在科学家和哲学家之间争论着一个十分重要的问题:达尔文的进化论与克劳修斯的热力学第二定律间的矛盾如何统一解决?根据热力学第二定律,世界是朝着消灭信息,产生混乱增熵的方向发展的^[2];可是按达尔文的进化论,世界是朝着由简单到复杂,由低级到高级,由信息量少到信息量多,即朝着产生信息,产生有序,减熵的方向发展的^[2]。现在普里高津提出的耗散结构理论使这个“扰人而又似是而非”的问题获得了基本解决,把两者统一在更为广泛、更为普遍的理论之中^[3]。

耗散结构理论是普里高津在1969年召开的“理论与物理生物学”国际会议上提出的^[1],由于该理论在化学、生物学等研究领域取得了成功,被誉为70年代化学的辉煌成就之一,他本人也因此而荣获1977年诺贝尔化学奖。可以通过一些简单的例子来阐释普里高津有关无序向有序转化现象的思想。比如,班纳德花样的形成过程就是这样,从下面加热静止的液体,起初只有热传导存在,当上下温差达到一定值后,液体的定态不稳定了,突然出现许多规则的六角形对流花纹。班纳德花样是大量的分子

在温度梯度的驱动下表现出宏观尺度上的一致性结果,是在一定条件下系统远离平衡状态而“自己组织起来的”的。

至于耗散结构,普里高津指出:在一个远离平衡的开放体系(力学的、物理的、化学的、生物的)中,当外界条件达到某一阈值时,系统即可通过与外界交换能量和物质等而从原来的无序状态转变为一种时空或功能上的有序状态,此即耗散结构^[1]。

耗散结构理论的提出使得“熵增论”和“负熵论”在科学的基础上得到了较好的统一。普里高津认为,系统总熵变由两个部分组成^[1]:

$$dS = d_i S + d_e S$$

其中 $d_i S$ 是系统本身由于不可逆过程引发的熵变,永远为正; $d_e S$ 是系统与外界交换能量、物质而引起的熵变,可正可负亦可为零; dS 为系统总熵变。如果 $d_i S + d_e S < 0$,即 $-d_e S > d_i S$, dS 为负。所以耗散结构的形成必须输入负熵流使体系熵减少。因 $d_i S$ 永远为正,这与热力学第二定律是一致的。

耗散结构理论从广义热力学概念出发,论证了开放系统(Open system)与外界环境进行物质和能量交换产生负熵流的数学形式;解释了非平衡系统通过自组织(Self-organization)过程产生新的有序结构的条件;并以数学分支点理论描述了演化的一般模式。

两个概念——开放系统与非平衡

1. 开放系统 耗散结构理论的主要研究对象是开放系统。开放系统是一种与外界有物质和能量(及信息)交换的系统。例如城市就是一个典型的开放系统,人、食物、燃料、建材及各种信息等不断地进入城市,同时人、各种制成品及废料等又会离开城市。与开放系统相对应的还有孤立系统(Isolated system)以

及封闭系统(Closed system)。孤立系统是外界既没有物质又没有能量(和信息)交换的系统,严格地说,世界上没有真正的孤立系统。封闭系统是外界有能量交换(因而也有信息交换),但没有物质交换的系统。如果把人类和地球看成一个复合体,那么这个系统就可以近似地看成一个封闭系统。

2. 非平衡 平衡与非平衡的概念,涉及到语义学问题,不同学科往往同名不同义。根据现代非平衡系统理论,如果将平衡理解成平均、相等、无差别、无选择性,并将其作为追求的目标,那么,认为平衡即有序则是错误的。这样的平衡就是非平衡系统理论中的平衡,是没有发展生机的。但如果将平衡理解为协调、成比例、适应等,这样的平衡实际上指的就是非平衡系统理论中的非平衡,它能使系统处于发展状态。根据非平衡系统理论,系统处于平衡态是不会发展的,“非平衡是有序之源”^[1]。

耗散结构的形成条件

普里高津认为耗散结构的形成必须具备以下几个条件:

(1)系统必须开放。耗散结构顾名思义是通过耗散物质、能量和信息而形成的结构。如班纳德花样的形成,必须从流体下面不断供给能量;激光的形成必须由外界提供泵浦压。死的晶体结构可以保持有序,但活的生物体保持有序不吃东西绝对不行,生命活动只有在开放条件下方能维持。耗散结构是一种“活”的结构,必须进行新陈代谢。

(2)系统必须远离平衡态。班纳德花样形成的一个条件是流体层上下温差必须超过某一阈值才能形成,温差反映了温度分布的不平衡性。普里高津有一个著名的论断:非平衡是有序之源。即非平衡可导致有序,它改变了我们对平衡态的全部看法。在远离平衡的条件下,分子可在宏观尺度上互通信息,它与平衡

态形成鲜明的对比,在平衡态附近每个分子只能和自己的近邻交换信息,而在远离平衡态的条件下,每个分子能和周围极大数量的分子发生联系。

(3)组成因素的非线性作用。耗散结构是不能用线性方程 $y = a + bx$ 来描述的。线性关系只有叠加量变,不可能有质变。在非线性和相互作用下,子系统(Subsystem)在某种程度上丧失了独立性而表现相干性,即相互制约耦合而成为按一定方式进行的大范围协调运动,这种协调运动支配着系统并表现出超过子系统的整体功能。正是由于这种非线性作用,才使得氢氧原子不同于水;细胞功能之和不等于生物功能;社会也不等于家庭之和。

(4)涨落导致有序。涨落(Fluctuation)是指系统中某个变量或行为偏离平均值,它使系统离开了原来的状态或轨迹。涨落对于自组织过程之所以重要,在于它在一定条件下会破坏原有状态,使原有状态出现某种对称破缺(Symmetry breaking),从而形成新的有序结构。对称破缺是系统各部分之间或系统与环境之间本质差别的表现,并由此产生系统的复杂行为。耗散结构理论认为,在线性非平衡区,系统可在负熵流的支持下维持定态,但无法由此产生自组织的演化。系统只有在涨落的激发下,才能出现新的有序,在平衡态附近的涨落,服从于涨落回归原理,不会过分偏离,又回到原来的状态;而在远离平衡的状态下才可能呈现非线性的反常涨落,从小范围到大范围,从而产生新的结构。

总之,系统满足开放、远离平衡态和系统内部要素间的非线性相互作用三项条件,就有可能成为耗散结构,但只有通过涨落才能成为现实的耗散结构,这就是耗散结构形成的条件。

耗散结构的特点

(1)开放性。耗散结构产生于远离平衡态的开放系统中,它要靠外界不断提供物质、能量和信息才能维持。如班纳德花样只有当外界不断提供能量才能维持。

(2)突变性。只有当控制参量达到一定阈值时新的有序结构才能突然出现,如班纳德花样只有当上下层温差达到一定阈值时才能形成。

(3)低对称性。耗散结构具有一定的时空结构,对称性低于达到阈值前的状态,这一点容易理解,因为有序结构只有在非平衡条件下才能形成,此时对称性必然降低。

(4)高稳定性。耗散结构虽然是旧状态不稳定的产物,但它一旦形成就具有相当高的稳定性,不被任何小的扰动所破坏。这服从于惯性原理或涨落回归原理。

耗散结构理论以开放系统作为研究对象。因为耗散结构只有通过于外界交换能量、物质和信息才能维持。生命结构之所以能维持,也正在于不断地与外界环境进行物质、能量和信息交换。

§ 2 协同学

概述

协同学是哈肯于 1977 年提出的^[5]。与耗散结构理论相似,它的研究对象也是开放系统,但与耗散结构理论相比,理论上更为严密。钱学森曾明确指出:“普里高津学派的耗散结构论不够深刻,不如哈肯的协同学^[6]。哈肯本人也一再表示不能将协同学与耗散结构论混为一谈。协同学是一门研究完全不同的学科中

存在着共性的横断学科,是研究和比较不同领域中多元系统元素间合作效应(Cooperative effect)的理论。首先,协同学以无序到有序的转变为主要内容,不仅包括非平衡态中的相变,也包括平衡态中的相变;其次,普适性更强,协同学的数字模型和处理方案根本不受热力学概念的限制,它可以应用到没有热交换的相当宽广的领域。它并不是传统的统计物理理论在其它学科中的应用,而是在各学科类似现象的类比中采用了统计学的方法。协同学运用子系统之间或大量粒子之间的协调和同步作用,阐明了开放系统形成新的有序结构的原因和条件,揭示了协同和有序的因果关系,并对受多种因素影响的复杂事物的发展过程作出了明确的数学描述。

协同学的研究内容及协同自组织理论

1. 研究内容 热力学第二定律研究了系统从有序转向无序的演化规律。耗散结构理论着重研究了远离平衡态的开放系统从无序到有序的演化规律。协同学比前两者更进一步,它不仅研究系统从无序走向有序的演化规律,也研究从有序转向无序的演化规律,第一次真正地将无序和有序统一起来。这里主要介绍有序结构的形成。

2. 协同学自组织理论 协同学认为,系统有序结构的出现,关键不在于热力学平衡与否,也不在于远离平衡多远(这与耗散结构论的观点不同),而是在一定条件下,由于子系统或要素间的相互作用或协同,使系统形成时空的或功能的有序结构。协同学自组织理论认为,系统的开放性是产生有序结构的必要条件,而非线性则是产生有序结构的基础,因此只有子系统间的协同性才是产生有序结构的直接原因。协同是有序的原因,有序是协同的结果。

由此我们可以认为协同学是研究一个与外界有物质、能量和信息交换的开放系统,由于系统内部子系统间的相互作用,在外界控制参量达到一定阈值时,通过子系统间的协调作用和相干效应,从无规则混乱状态形成宏观尺度上的时空和功能上的有序状态的机理和特点。

协同学的基本原理和方法

1. 基本原理——协同原理 协同学认为,无论是在平衡相变还是非平衡的由无序到有序的转变,都与子系统的性质无关,而是受同一原理支配的,这就是协同原理(Coordinate principle)。

根据协同原理,处于平衡态的开放系统在一定条件下,由于子系统间的协同作用,可以产生有序结构。当今世界上竞争激烈的超导体的研究就是这样,如合金 SnNb_3 可看成是由大量原子组成的系统,平时导电能力不强,当温度低于临界温度(转变温度)18.2 K 时,电阻突然变为零,出现超导现象。

在我们现实生活中,出现最多的还是非平衡态的开放系统出现有序结构的情形。哈肯最喜欢举的范例——激光就是一个典型的非平衡开放系统,只有外界泵浦功率达到一定值的时候,激光才会出现。

非平衡态开放系统的有序结构和平衡态开放系统所出现的有序结构是不同的,不能通过降低温度来实现。为了区别,把非平衡态开放系统中所出现的有序结构称为“活”的有序结构,而将平衡态开放系统中所呈现的有序结构称为“死”的有序结构。不过我们最关心并试图探索的是“活”的有序结构。

2. 自组织的形成——支配原理 对于一个系统来说,有序自组织结构的形成出现在临界点附近。哈肯通过研究明确了

不同状态变量在临界点处的情况,绝大多数变量在临界点附近阻尼大,衰减快,对变相的整个进程没有明显的影响;只有一个或极少数几个变量既不衰减,而且始终左右着演化进程。哈肯将前者称为快弛豫变量(Fast decline variable)或快变量(Fast variable),将后者称为慢变量(Slow variable)。并认为慢变量支配着快变量,这就是支配原理(Slaving principle)¹¹。这里的“支配”是作为科学术语使用的,而不能从普通意义上去理解。慢变量也叫序参量(Order parameter),它主宰着系统演化的整个进程,并决定着演化中所产生的系统结构和功能。例如一个企业的发展好坏可以用许多指标来衡量,这些指标形成一个庞大的指标体系,计算起来十分复杂。但是在决定企业是发展还是倒闭的相变过程中,我们只需抓住企业发展的序参量——利润就行了,研究利润的变化情况,就可以分析企业的相变规律。

3. 协同学的研究方法 协同学不仅揭示了各子系统之间的协同作用在有序结构形成中的意义和作用,而且对系统从无序到有序的演化规律作了严格的定量描述。协同学通过一组一阶微分方程描述了每个子系统和其它子系统的相互作用,通过动力学和统计学两方面的考察,建立了一套从无序到有序转变所应遵循的共同的数学模型。

描述开放系统有序状态的序参量随时间演化的方程,既有确定性的驱动力,也有随机性的涨落力,一般可写为¹⁶:

$$\dot{q} = N(q, \nabla, \alpha, \gamma, t) + F(t)$$

式中 N 是非线性驱动力; F 是涨落力。 N 中的 α 是控制参量(外参量),在外参量的作用下,系统远离平衡态; q 为序参量,用它来表示系统的有序性; ∇ 表示微分算子; γ 表示空间向量; t 是时间。

在不同的系统中,序参量的意义是不同的,比如由激活原子

和光场构成的激光系统,光强是它的序参量,又如在化学反应中,浓度或粒子数可看作序参量。如果方程仅含有一个序参量,当序参量为零时,系统处于无序状态,随着外界条件的变化,当接近临界点时,序参量急剧增大,通过序参量的主导作用使系统协调一致,形成稳定有序结构;如方程中含几个序参量,由于序参量的变化而引起的协作与竞争必将导致系统产生协同效应,使系统呈现有序状态。为了描述系统的序参量,首先要找出描述系统的各个状态参量,然后在其中找出哪些是快变量,哪些是慢变量,并利用支配原理消去快变量留下慢变量作序参量,这样就把多自由度的问题简化为只有少数几个自由度的问题了,应该说,协同学的绝妙和独到之处正在于此。

§ 3 理论的应用现状及其前景

耗散结构论和协同学是现代非平衡系统论中两个重要的分支理论,现已被广泛应用于许多研究领域。不过由于它们问世时间不长,而人们接受并应用它们又更晚,因此目前多用于定性研究,很少进行定量分析。但尽管如此,仍有不少的理论和实际工作者致力于耗散结构理论和协同学在各学科中的推广应用。如胡传机等(1986年)将两个理论引入经济学的研究,提出开放经济理论(耗散结构经济论和协同发展经济论)^[7];陈清硕等人(1983年)将耗散结构理论引入农业(田)系统和土壤肥力的研究,提出农业系统熵的新概念和土壤肥力的新观点^[3];聂华林等(1983年)应用耗散结构理论研究生态平衡,提出生态平衡的热力学判据……^[18]。尽管有些理论、概念还有待进一步完善,但其发展势头已经初露端倪,令人刮目相看。

耗散结构理论和协同学以其有力的论述、简洁的数学表达