

刘瑞显,李国锋,徐立华,等. 棉花生产技术创新系统的耗散结构分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):8-10.

# 棉花生产技术创新系统的耗散结构分析

刘瑞显<sup>1</sup>,李国锋<sup>1</sup>,徐立华<sup>1</sup>,承泓良<sup>2</sup>

(1. 江苏省农业科学院经济作物研究所/农业部长江下游棉花与油菜重点实验室,江苏南京 210014;

2. 江苏省农业委员会,江苏南京 210036)

**摘要:**作为系统论的新发展,耗散结构理论主要研究一个系统从无序向有序、从低序向高序转化的机理、条件和规律。在简要介绍耗散结构理论的基础上,分析了棉花生产技术创新系统所具备的耗散结构特征,讨论了耗散结构理论对实施棉花生产技术创新的启示。

**关键词:**棉花;生产技术创新系统;耗散结构

**中图分类号:** S562.04      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2014)01-0008-03

技术创新是人类财富之源,是推动经济增长的根本动力。棉花生产技术创新的目的就是要不断提高棉花生产系统的有序性,实现棉花生产整体功能的可持续发展,满足市场对棉花的需求和促进棉农的增收,而耗散结构理论作为系统论的新发展,主要研究一个系统从无序向有序、从低序向高序转化的机理、条件和规律。因此,探讨耗散结构理论在棉花生产技术创新系统中的应用具有时代和现实意义。

收稿日期:2013-05-29

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)3034];江苏省农业三新工程专项资金[编号: SXGC(2012)S321400-1];江苏省农业综合开发科技推广项目(编号:2013KJ-37)。

作者简介:刘瑞显(1980—),男,山东潍坊人,博士,副研究员,主要从事棉花栽培技术及生理研究。E-mail:liuruixian2008@163.com。

## 1 耗散结构理论的基本原理

“耗散结构”理论是1977年诺贝尔化学奖得主普里戈金(Prigogine)教授经过20多年对非平衡热力学的潜心研究而创立的。该理论认为,一个开放系统(可以是物理的、力学的、生物的、化学的系统)在达到远离平衡态的非线性区时,一旦系统的某个参量的变化达到一定阈值,通过涨落,系统可能发生突变,由原来的无序的混乱状态转变到一种时间、空间或功能有序的新状态,这种有序状态需要不断地与外界交换物质和能量才能保持,并保持一定的稳定性,不因外界的微小扰动而消失。普里戈金把这种在远离平衡态的非线性区域形成的新的稳定有序结构称为耗散结构<sup>[1]</sup>。耗散结构理论指出,系统从无序状态过渡到这种耗散结构必须具备4个条件。

- [32] Banik J J, Brady S F. Cloning and characterization of new glycopeptide gene clusters found in an environmental DNA megalibrary[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(45): 17273-17277.
- [33] Sivonen K, Leikoski N, Fewer D P, et al. Cyanobactins - ribosomal cyclic peptides produced by cyanobacteria[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2010, 86(5): 1213-1225.
- [34] Long P F, Dunlap W C, Battershill C N, et al. Shotgun cloning and heterologous expression of the patellamide gene cluster as a strategy to achieving sustained metabolite production[J]. ChemBiochem, 2005, 6(10): 1760-1765.
- [35] King R W, Bauer J D, Brady S F. An environmental DNA - derived type II polyketide biosynthetic pathway encodes the biosynthesis of the pentacyclic polyketide erdacin[J]. Angewandte Chemie, 2009, 48(34): 6257-6261.
- [36] Rath C M, Janto B, Earl J, et al. Meta - omic characterization of the Marine invertebrate microbial consortium that produces the chemotherapeutic natural product ET - 743[J]. ACS Chemical Biology, 2011, 6(11): 1244-1256.
- [37] Grindberg R V, Ishoev T, Brinza D, et al. Single cell genome amplification accelerates identification of the apratoxin biosynthetic pathway from a complex microbial assemblage[J]. PLoS One, 2011, 6(4): e18565.
- [38] Brady S F, Clardy J. Cloning and heterologous expression of isocya-

nide biosynthetic genes from environmental DNA[J]. Angewandte Chemie, 2005, 44(43): 7063-7065.

- [39] Lim H K, Chung E J, Kim J C, et al. Characterization of a forest soil metagenome clone that confers indirubin and indigo production on *Escherichia coli*[J]. Applied and Environment Microbiology, 2005, 71(12): 7768-7777.
- [40] Jeon J H, Kim J T, Kim Y J, et al. Cloning and characterization of a new cold - active lipase from a deep - sea sediment metagenome[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 81(5): 865-874.
- [41] Voget S, Steele H L, Streit W R. Characterization of a metagenome - derived halotolerant cellulase[J]. Journal of Biotechnology, 2006, 126(1): 26-36.
- [42] Beloqui A, Pita M, Polaina J, et al. Novel polyphenol oxidase mined from a metagenome expression library of bovine rumen: biochemical properties, structural analysis, and phylogenetic relationships[J]. Journal of Biological Chemistry, 2006, 281(32): 22933-22942.
- [43] Rashamuse K, Magomani V, Ronneburg T, et al. A novel family VIII carboxylesterase derived from a leachate metagenome library exhibits promiscuous beta - lactamase activity on nitrocefin[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 83(3): 491-500.
- [44] Suenaga H, Ohnuki T, Miyazaki K. Functional screening of a metagenomic library for genes involved in microbial degradation of aromatic compounds[J]. Environmental Microbiology, 2007, 9(9): 2289-2297.

### 1.1 开放性

经典力学把各种系统分为孤立系统、封闭系统和开放系统。所谓开放系统就是与外界既有物质又有能量交换的系统,对于生物和社会系统而言,还包括信息交换。而同外界只有能量而无物质交换的系统称为封闭系统,同外界无物质和能量交换的系统称为孤立系统。按照热力学第二定律,孤立系统的自发演化趋势是熵逐渐增大、活力逐渐减少。要形成耗散结构,系统必须开放,因为开放系统能与外界进行物质、能量和信息的交换,才能维持其生命,并且只有当系统从外界引入的物质、能量和信息的“负熵流”的绝对值大于系统内的熵增量时,系统才能向熵减方向(即有序方向)演化。

### 1.2 非平衡性

非平衡是有序之源。这里所说的非平衡是指系统远离平衡态的状态,平衡态和近平衡态被排除在外。因为在平衡态和近平衡态系统要素间关系可以近似地用线性关系表示,其涨落是衰减的,系统不会产生质变形成新的有序结构。正是这种非平衡才能使系统产生和具备与外界进行物质、能量和信息交换的要求和势能,这就是非平衡是有序之源的根本含义。

### 1.3 涨落有序

涨落是指一些微小的扰动,随机涨落是有序的契机。经典物理学中的涨落是指平衡态系统仍可能发生离开平衡的微小偏差。涨落形成是一个随机过程。从来源看,可以把涨落分为 2 类:一类是系统自身产生的,称为内部涨落;另一类是由外部引起的,称为外部噪声。当系统处于远离平衡的非线性区域时,随机涨落可以通过非线性的相互作用和连锁效应迅速扩大,形成宏观整体上的“巨涨落”,从而导致系统发生突变,形成一种耗散结构。在远离平衡的非线性区,涨落对耗散结构的形成起触发和激化作用,是耗散结构得以形成的“触发器”。

### 1.4 非线性作用

线性是指系统各部分产生内在联系的那些因素之间的定量关系,它可以转化为 1 个或 1 组线性方程,包括二元一次方程和多元线性方程等。非线性是指系统各部分产生内在联系的那些因素之间的定量关系,可以化为 1 个或 1 组非线性方程或方程组,包括代数方程、微分方程和差分方程等。所谓非线性作用,就是指非线性关系系统中要素间存在的作用方式,由于描述这种相互作用的方程至少是非线性方程或方程组,故称这种作用为非线性作用。非线性作用在耗散结构形成和演化过程中产生相互效应和协同作用,是推动系统向有序发展的内部动力,是耗散结构形成的主要机理和必要条件。

## 2 棉花生产技术创新系统耗散结构特征

### 2.1 棉花生产技术创新系统是一个开放系统

棉花生产技术创新系统是一个复杂的巨系统。它可以由技术创新主体系统、技术创新对象系统和技术创新支持系统相互作用构成。技术创新主体系统的核心是技术研发机构,其他部分包括技术推广、涉棉相关企业、棉农和政府相关部门等。技术创新对象系统主要是指产品创新系统和过程创新系统。技术创新支持系统是指信息支持系统、相关技术支持、技术创新政策、法律支持系统、金融支持系统和中介支持系统等。

棉花生产技术是一门包括生物学、植物生理学、生态学、

遗传育种学(包括现代生物技术)、植物保护学、农业化学、农业信息学、农业技术推广学、农业经济学和管理科学等多种学科内容的交叉学科,它需要借助其他学科领域的研究成果,吸收其理论和科研成果并为己所用。同时,棉花生产技术的发展也影响棉花科学技术的研究范围和科研取向。棉花生产技术充分吸收前沿科学的方法论精华,利用众多的现代科技成果,借助、吸收、整合其他领域的资源并对其进行再开发和利用,使棉花生产技术趋于系统化和科学化,从而形成自身的理论体系,为棉花生产现代化发展提供理论指导和技术支撑。

棉花生产技术是社会发展的产物,它的发展必然与社会分工和社会需求之间存在交换。棉花生产技术从社会发展和进步中吸收营养,促进自身的发展,同时,棉花生产技术的进步又可以促进棉花生产的发展,满足市场发展的需求,从而充分发挥其社会效益。

### 2.2 棉花生产技术创新系统是远离平衡态的系统

棉花生产技术创新系统中各子系统之间、各子系统与其外部环境之间均进行广泛的物质、能量和信息交换,使系统的所有组成之间都不断地发生着运动和变化,这样就可以通过增大系统内部的势能差,将系统推向远离平衡的状态。当棉花生产技术创新系统远离平衡态时,各个子系统及其构成元素之间的相互作用和相互影响的关系是不可能用线性关系来表示的。

### 2.3 棉花生产技术创新系统存在非线性相互作用机制

棉花生产技术作为一门交叉学科,可以说从它诞生之时就具有非线性的诸多特征。从空间维度看,棉花生产技术创新系统这个人与自然的复合系统比自然系统更为复杂。一方面,棉花生产技术的功能指向根据人的需要而预设,并在活动过程中予以评价、改造。因此,棉花生产技术的结构与功能关系不是单向的因果关系,而是动态双向影响的因果反馈环节。另一方面,棉花生产技术整体功能发挥是在各部分之间的相互作用中形成,而这种相互作用也产生相互制约,导致某些性质被突出,或某些性质被屏蔽。这说明从棉花生产技术内部看,生产技术整体功能与其组成部分之间也存在以动态双向影响为基础的因果反馈环节。在上述 2 个因果关系反馈环节中,更多的是非线性关系,而不是可以准确考察和预见的线性关系。从时间维度看,棉花生产技术的发展过程也具有非线性特征。棉花生产技术的发展过程是一个动态演进的过程,具有多种可能性存在,这种发展过程包含着各种内外因素带来的无法在事先精确预见的随机性和偶然性。棉花生产的推进就是在多种可能性中作出选择,使新的状态不断生成,并影响下一代的发展过程。

### 2.4 棉花生产技术创新系统中存在涨落因素

开放性、远离平衡主要是指有序结构的外部条件,而系统演化要真正达到质变,还需要其内部条件,即涨落。所谓涨落是指系统中某个变量的行为与平均值发生偏离,使系统离开原来的状态轨道。系统在演化过程中面临多种多样的选择,某个元素的微小偏离有可能被反馈放大为“巨涨落”,从而导致系统从不稳定状态跃迁到一个新的有序状态,即耗散结构。因此,任何一种稳定有序的状态都可以看做是某种无序状态失去稳定而使涨落放大的结果。棉花生产技术创新系统中普遍存在涨落。一方面存在内部涨落,如转基因抗虫棉花品种替代常规品种在棉花生产上的成功应用,节省棉花生产成本,

保护棉田生态环境,推动植棉技术的进步,就是涨落导致系统有序的典型案例。外部涨落的因素更多,典型的是天气的影响,尤其是国家涉棉政策的变化导致棉田面积的显著波动,这也说明了外部涨落的巨大威力。

### 3 耗散结构理论对实施棉花生产技术创新的启示

#### 3.1 开放是棉花生产技术创新系统生存和发展的基础

开放是系统进化的基础,对于一个孤立系统,随着时间的推移,系统的熵值必然增至极大值,即其演化结果必然是达到无序的平衡状态。开放系统之所以能形成耗散结构,主要是因为开放系统能够与外界进行熵的交换。“熵”的概念来源于热力学,是 1856 年由克劳修斯创立的,其物理涵义是内部分子热运动混乱度的度量。系统越混乱,熵就越大;系统越有序,熵就越小<sup>[2]</sup>。熵的概念有着丰富的内涵。随着科学技术的不断发展,熵的概念在现代技术中的应用越来越广泛,已经由热力学拓展到包括社会经济在内的多个领域。将熵的概念引入到棉花生产技术创新系统,用熵来衡量棉花生产技术创新系统的有序度:熵值越大,说明棉花生产技术创新系统越杂乱无章;熵值越小,说明棉花生产技术创新系统越有序。

根据耗散结构理论,开放系统的熵变  $dS$  由熵产生  $diS$  与熵流  $deS$  2 个部分组成。根据热力学第二定律, $diS$  总是正的, $deS$  在封闭系统中不存在,在开放系统中可以为正,也可以为负。根据以上分析,可以构造一个棉花生产技术创新系统的熵变数学模型:

$$dS = diS + deS;$$

$$deS = deS^+ + deS^-.$$

式中: $dS$  是整个系统的熵变, $diS$  为系统内的熵产生, $deS$  为系统与外界交换带来的熵流; $deS^+$  为系统与外界交换带来的正熵流, $deS^-$  为系统与外界交换带来的负熵流。当  $dS < 0$  时,系统不但能维持且能够形成新的耗散结构,意味着系统运行越来越有序;当  $dS > 0$  时,系统不能维持耗散结构而面临瓦解。很明显,棉花生产技术创新系统要有序地运作,不仅要保持系统开放引入负熵流,而且要防止引入正熵流,减缓系统内的熵产生,以确保引入的负熵流的绝对值大于引入的正熵流与系统内的熵产生之和。

#### 3.2 非平衡是棉花生产技术创新系统的有序之源

根据“非平衡是有序之源”这一原理,一个内有动力和外在活力的棉花技术创新系统必定是一个有差异的非均匀、非平衡的系统。因为如果一个系统处于无差异的平衡态,就意味着系统内部不存在势能差。而耗散结构理论认为,无势能差的平衡系统服从势能最小原理,必然是一个低功能系统<sup>[3]</sup>。棉花生产技术创新系统一旦进入这种“死”结构的平衡态,便维持这种状态不变,任何涨落在平衡态附近都是衰减的,因而难以促进棉花生产技术创新系统的发展和创新。

要提高棉花生产技术创新系统的创新能力,就要打破平均主义,尊重知识,尊重人才,引入竞争和激励机制,树立创新理念,营造创新文化,设法加大系统内部的势能差,造成非平衡态。但是,长期以来,人们头脑中存在一种思维定式:认为平衡就是好的象征,是井井有条的体现;而不平衡就是混乱,要千方百计去打破、扭转它,以恢复平衡。实际上这种表面上的平衡恰恰使技术创新系统陷入死气沉沉的境地,是技术创

新管理之大忌。总之,棉花生产技术创新系统必须摆脱僵化的平衡模式进入非平衡或远离平衡态达到动态平衡,才能形成技术创新系统的耗散结构。

#### 3.3 涨落是棉花生产技术创新系统质变的触发器

“涨落导致有序”强调了在非平衡棉花生产技术创新系统具备形成耗散结构的客观条件时,涨落对客观有序起决定作用。例如,一条科技情报的获取、一位创新人才的引进、一项技术发明的成功,都会对棉花生产技术创新系统的存续和有序发展产生重要影响,甚至成为棉花生产技术创新系统实现飞跃的重要力量。把涨落机制应用到棉花生产技术创新系统中,要采取一些变革措施或分段创造小涨落,通过非线性使这些涨落由小到大,由局部到整体,发展成巨涨落,促使棉花生产技术创新系统跃迁到一种生机勃勃的有序状态,发生结构功能突变,促成棉花生产技术创新系统耗散结构的形成。在这一过程中应注意掌握和驾驭涨落的客观规律,如在棉花生产技术创新系统处于发生质量转变的临界点之前,要创造条件,促进和扩大某种涨落,有意识地使系统发生暂时的失稳,为打破旧的体制和结构、建立新的秩序创造条件和时机。当棉花生产技术创新系统处于关键的临界点和转折点时,要因势利导,及时控制参量的变化,使棉花生产技术创新系统通过涨落向着人们所期望的分支跃进,朝着创新功能完善的方向发展。在实现这一跃进后,通过非线性作用机制的调节和自组织效应达到稳定有序状态。

#### 3.4 非线性作用是棉花生产技术创新系统演化的动力

非线性的相互作用是技术创新系统形成有序结构的内部原因和内在动力。在非线性相互作用中,根据整体性原则,系统元素间的势能差会逐渐放大,由于系统内元素间的相互制约、相互协同、相互融合或放大的耦合关系,而最终形成一种整体上完全不同于原先各部分的组合,即崭新的整体效应<sup>[4]</sup>。技术创新系统要达到高度有序,必须通过技术创新系统内部非线性机制的调节以获得自生长、自创性、自激荡、自完善甚至混沌运动等非平衡行为,并在非线性相互作用下产生相互效应和协同动作来实现。因此必须强化以下 2 种协同:一是强化棉花生产技术创新系统结构的协同。系统论认为,系统整体功能与系统的结构密切相关,即结构决定功能。强化结构协同就是要合理配置棉花生产技术创新系统诸元素,使之综合利用,发挥整体最优。二是强化棉花生产技术创新系统各子系统各种行为的协同。这需要尽量避免各子系统行为之间的矛盾和冲突,从整体优化出发,消除各自为政、各行其是、互不关联的状况,用棉花生产技术创新系统的整体目标来整合各子系统的行为。

#### 参考文献:

- [1]伊·普里戈金,伊·斯唐热. 从混沌到有序[M]. 曾庆宏,沈小峰,译. 上海:上海译文出版社,1987.
- [2]湛星华,沈小峰. 普利高津和耗散结构理论[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1982.
- [3]王继明. 创新的耗散结构探析及其意义[J]. 系统科学学报, 2006,14(2):108-112.
- [4]贾风亭. 技术系统复杂性研究探析[J]. 系统辩证学学报,2004, 12(2):57-59.