



食物网

法比奥·达尔·索格利奥

2025-05-14

为了正确管理生态农业系统，我们有必要了解栖息在其中的不同本地及外来物种是如何获得养料的。所有生物的生长发育都需要物质与能量，以发育出结构，产生化合物、有机物质，并维持其生命支持系统的正常运转。这些能量和生命所需的营养物质都来源于养料。虽然有些物种可以利用现有的自由能和无机分子生产养料，其他物种却没有这种能力，只能依赖已经合成的养分。因此，每个生态系统都在不同层次，或称为营养级上，在能够自己生产养分的物种和依赖其他生物获取养分的物种之间建立了依赖关系。这就形成了基于养分的生态互动链，即食物链，也叫营养链 (*cadeia trófica*, 源于希腊语中的“*trophe*”一词，意为“食物”或“营养”)。

显然，物种之间的食物关系并不是以线性方式进行的，即植物被草食动物吃掉，草食动物又被掠食者捕食，而掠食者死后则被分解者处理。例如，有些掠食者会捕食其他掠食者来获取食物，某些真菌虽然在土壤中起着分解死亡有机物的作用，但一有机会也可能转变为植物的病原体，成为消费者。因此，食物之间的相互作用实际上是很复杂的，构成了一个由多条食物链交织而成的网络，即食物网，也称为营养网或营养关系网络，这也是本文所要探讨的概念。不过，由于“食物链”这一术语更宽泛也更便于应用，因此广为使用。



食物网中的营养级和能量流

生态系统中的不同物种可按其生产及消耗食物的能力被归类为不同的营养级。营养级包括:生产者,即能够自身合成养料的生物;消费者,即以其他活的或死的生物为食的生物;分解者,即通过分解复杂的死亡有机物将养分释放回环境中的生物。在整个食物网中,从初级生产者到分解者,营养级之间存在能量和养分的传递,即能量流和物质流。图1显示了这些不同营养级之间的相互作用和能量流。

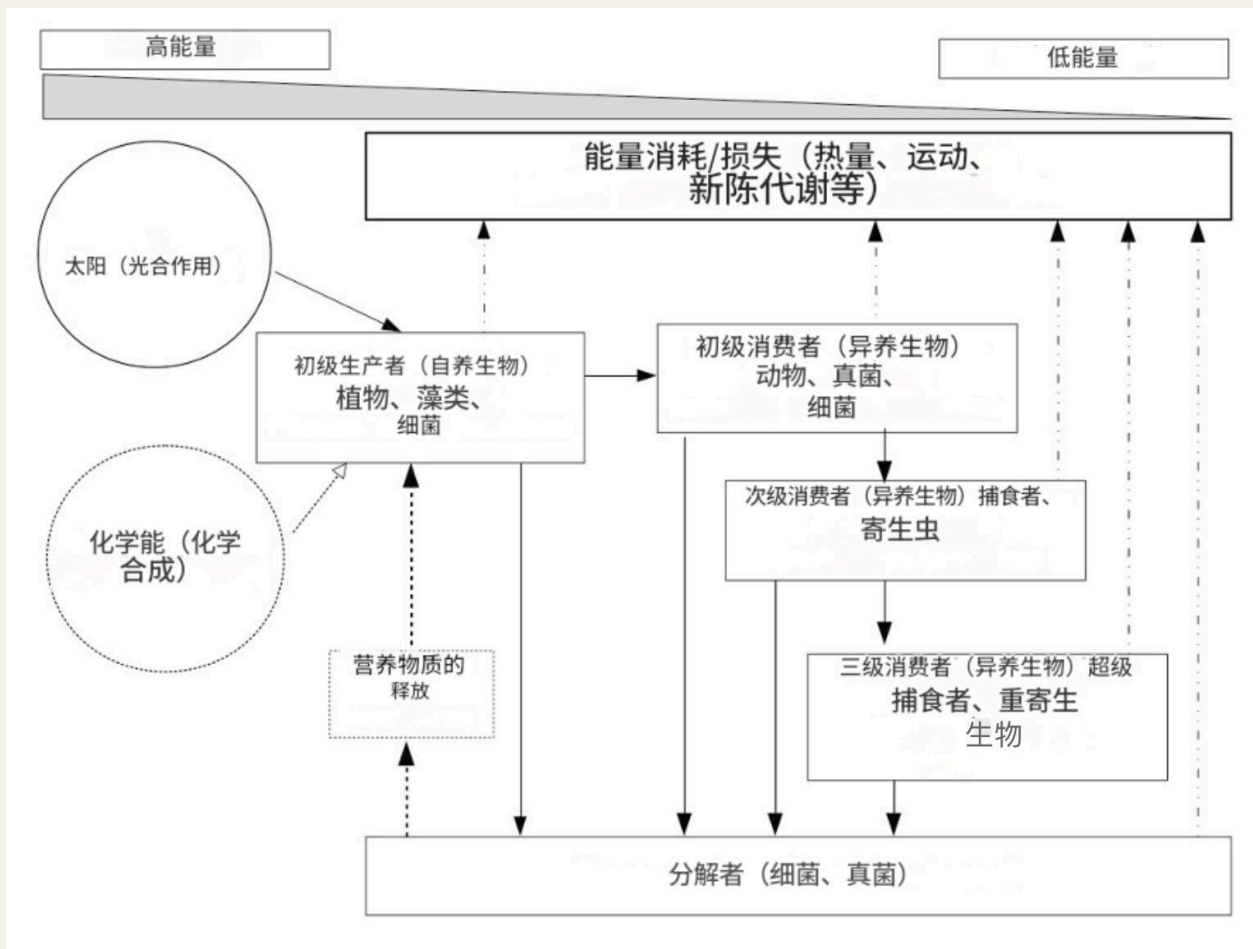


图1 - 食物网总览, 显示生态系统中食物的相互作用和能量流

初级生产者都是自养生物, 它们能够利用无机分子和能量合成如糖、脂类和氨基酸等的复杂有机分子。这种生物主要以二氧化碳和水等由碳、氢、氧组成的无机分子为养料。包括植物、一些藻类和细菌在内的含有叶绿素的自养生物会进行光合作用, 以阳光作为能量来源, 将二氧化碳和水分子转化为葡萄糖, 并释放出氧气。其他自养生物则通过化合作用中化学氧化反应释放能量, 合



成糖类。能进行化学合成的生物有：能氧化铁化合物的铁细菌；能氧化硫化氢等硫化合物的硫杆菌和硫小杆菌；以及能氧化氨或亚硝酸盐，产生作为植物氮源的硝酸盐的硝化细菌。

光合作用和化学合成过程中产生的糖类是植物的主要能量储备，必要时可通过氧化反应释放能量。对于好氧生物或有氧生物来说，这种氧化通过有氧环境的呼吸作用进行，糖类的分解释放出化学能、二氧化碳和水。对于厌氧菌或无氧生物来说，糖类的分解是在无氧环境中通过如某些氮化合物或硫衍生物这样的化合物和发酵进行的。发酵反应中，糖类没有被完全分解，而是产生了酒精等简单化合物(Lehninger; Nelson; Cox, 1993年)。某些真菌和细菌可根据所处环境进行有氧或无氧反应。糖类分解过程中释放的能量可供生物合成所需的其他有机分子或进行生命活动。能量由此转移到新形成的分子上，或在生命活动中或以散发热量的形式损失掉。

消费者不合成食物，因此被称为异养生物。它们有不同的获取和加工食物的方式，以获得生存所需的能量和营养物质。有好氧消费者、厌氧消费者和在有氧或无氧环境中都能生存的消费者。初级消费者只以初级生产者或其部分为食，比如反刍动物等食草动物，它们只吃植物。其他生物以其他消费者为食。当以初级消费者为食时，它们便可被称为次级消费者，如寄生在牛身上的蜱虫，或以兔子为食的小型捕食者。再下一级称为三级消费者，如顶级掠食者，也就是其他掠食者的捕食者，如以蛇为食的鹰；以及超寄生者，也就是寄生其他寄生虫的寄生虫，如攻击寄生植物上真菌的木霉属真菌。

尽管许多物种都只进行某一特定营养级的活动，但也有一些广食性物种，它们根据环境或生命阶段占据不同的营养级。以蚜蝇(一种小型苍蝇)为例，成虫以花蜜和花粉为食，是初级消费者，而幼虫则是植物上蚜虫的捕食者，即次级消费者(Silva 等人, 2013年)。

在某些生态互动中，如共生和互利共生，我们会发现一些物种虽然处于不同的营养级，但却互利互惠。莫雷拉和西凯拉(Moreira, Siqueira, 2006年)举了与豆科植物形成共生关系的根瘤菌属和慢生根瘤菌属固氮菌的例子。菌根真菌与大多数植物强制性互利共生。在这两种情况中，微生物为植物提供养分，并从植物那里获得糖分。奥杜姆(Odum, 1983年)以地衣为例说明。地衣是真菌与藻类或蓝藻等光合细菌之间的共生体，通常被认为是原始定殖者，生活在尚未风化的环境中。这种环境中，相关生物之间的互利关系十分紧密，甚至于一同繁殖。在这种共生关系中，藻类或蓝藻进行光合作用，因此是初级生产者；真菌为它们提供水分和保护，以此换取藻类合成的养料。

混合营养生物既是生产者又是消费者，比如肉食植物。虽然它们可以进行光合作用，但也以被捕获的昆虫为食。一些藻类，如眼虫属的藻类，既可以进行光合作用，也可以通过吞噬作用摄取有机化合物(Schmidt; Raven; Paungfoo-Lonhienne, 2013年)。

食物网的末端是分解者，它们回收死亡有机物。分解者通常是微生物，它们通过分解包括糖类、蛋白质、核酸和脂质在内的复杂有机化合物来获取能量，并释放出简单化合物当作初级生产者的养料，以重启食物网。在分解过程中，各种生物相继出现，各自适应不同的生态条件或专门分解某些有机化合物。有些生物在特定的环境条件下可以充当有机物的分解者，若条件改变，则会变成消费者。土壤中通常作为有机物分解者存在的各种微生物就属于这种情况，如果有机会，它们也可能成为病原体。



有些生物的食物来源更为多样,包括生产者、消费者,甚至分解者,它们因此被称杂食性生物。人类有一个适应性的消化系统可以处理多种食物,因此也是杂食动物。另一方面,像人类一样,许多生物的所需食物中不仅要含有碳分子和矿物质,还需要一些如维生素和氨基酸等的它们自身无法合成的复杂化合物。这些都需要从食物中获取。因此,即使是以多种生物为食的杂食性生物也可能需要某些特定营养才能圆满完成发育。

奥杜姆(1983年)表示,食物链中的能量流动是单向的,且逐级损耗。初级生产者从阳光等高能量来源获取能量,并将其储存在所合成的养料中并成为整个食物网的基础。这些养料中的一部分被生产者自己消耗,随后被消费者和分解者所使用。最初的能量维持着各种生物活动,或以热的形式逐渐散失,最终流向一个“能量汇”。在食物网中,能量每流经一个营养级都会大幅损失,每级的损失可高达90%(Odum, 1983年)。因此,按质量计算,生产者储存的能量比初级消费者多,初级消费者又比次级消费者多,以此类推。这也解释了为什么从能量角度来看,植物生产比动物生产更高效,也解释了我们不会将饲养肉食性动物作为畜牧业的主要选择。

食物网与生态农业系统管理

如我们所见,食物网与能量流动以及生态系统的生物量产出密切相关。这意味着,正确管理一个生态农业系统可以将能量流导向特定的生态功能,从而有利于农业所需的优先物种与相应的生态互动。虽然通用管理准则对保护土壤、水资源和生物多样性颇具参考意义,但若科学管理生态农业系统,就需要理解营养级网络的自然趋势,并考虑当地生态条件以及不同农业实践所带来的影响。

传统农业中常见的许多管理方法,如犁地、翻入作物残茬、施用农药及单一种植,都会破坏系统中的能量和有机质流动。例如,在热带土壤中,犁地会造成土壤板结,并将未分解的有机物深埋,从而增加土壤中的厌氧活动,释放出有毒的甲烷,而非二氧化碳(Primavesi, 2012年)。甲烷的温室效应潜在影响甚至高于二氧化碳(Forster, 2007年)。单一种植还会减少生物防治因子等可供不同功能群体维持其种群所需的食物来源,从而助长了有害生物种群的繁衍(Nichols, 2006年)。化学及生物农药也会干扰食物网,它们有意无意地改变了功能性生物多样性。不仅直接影响对活性成分敏感的物种,也会间接影响到依赖某些关键物种生存的其他物种。

不过,也是有对生态农业系统有益的做法的,它们可以增强能量捕获和生物量积累。例如,农林系统中的树木不仅增加了功能性生物多样性,为多个物种提供食物与庇护,还增强了系统的光捕获能力与生物量积累,从而改善了土壤结构与肥力(Coelho, 2012年)。植被防护带和防风林同样能改善生态农业系统中的小气候,干扰专性害虫或病原体,即只攻击某些植物的昆虫或病原体的传播,同时也为如蜘蛛和黄蜂等捕食者或能攻击其他微生物或使害虫致病的寄生虫这样的生物防治因子提供了庇护所,从而促进生物调控。

结论



我们可以通过多种方式管理生态农业系统中的食物网，从而提升农业生产力。然而，若要构建更加可持续的生态农业系统，我们必须在追求生产力的同时兼顾环境可持续性、自主性、公平性与稳定性等其他要素。由于每个生态系统中的食物网都有其自身特点，其运行模式也受到物理和生态特征影响。这些特征会随着时间（昼夜、季节）和、气候变化而波动，因此不同环境下食物网的运行方式也不同。

我们在管理土壤、水资源和生物多样性时可以借助一些通用原则，以及如何通过管理食物网来优化能量与生物量流动，但也必须结合每个生态系统中积累的经验与知识，因地制宜调整管理策略。此外，由于物种间的生态互动通常在节能与生物量生产方面更为高效，这样的效率是在长期共同进化中形成的，因此应优先选择惠及本土物种的管理方式。无论是人类管理的还是自然共存的物种都是如此。这往往能建立起更高效的食物网，促进能量的积累与生物量的持续增长。

本文摘录于《生态农业与教育词典》，原文为葡萄牙语，由ROOTS成员译为中文。原书内容详见：
<https://mst.org.br/download/dicionario-de-agroecologia-e-educacao/>

参考文献

- [1] COELHO, G. C. *Sistemas Agroflorestais*. São Carlos: Rima, 2012年。第 206页。
- [2] FORSTER, P. et al. *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: Solomon, S. et al. (eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. 剑桥大学出版社。2007年。
- [3] LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Principles of Biochemistry*. 2. ed. New York: Worth, 1993年。第1013页
- [4] MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2. ed. atual. Ed. ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006年。
- [5] NICHOLS, C. I. *Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas*. *Agroecología*, n. 1, 2006年, 第37-48页, 2006年。
- [6] ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1983年。第434页。
- [7] PRIMAVESI, A. *O solo: a base da vida em nosso globo*. São Paulo: Unesp, 2012. 13p. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/Osolo-AnaPrimavesi>. 摘录于2021年4月5日。
- [8] SCHMIDT, S.; RAVEN, J.A.; PAUN GFOO -LON HIENNE, C. *The mixotrophic nature of photosynthetic plants*. *Functional Plant Biology*, n. 40, 第425-438页, 2013年。
- [9] SILVA, A. C. et al. *Guia para o reconhecimento de inimigos naturais de pragas agrícolas*. Brasília: Embrapa, 2013年。

更多信息



GONÇALVES, P. A. S.; SILVA, C. R. S. Efeito de espécies vegetais em bordadura em cebola sobre a densidade populacional de tripes e sirfídeos predadores. *Horticultura Brasileira*, v. 21, n. 4, 第731-734页, 2003年。
