

“十一五”国家重点图书

生态农业与农业生态丛书

农业生物多样性利用 的原理与技术

NONGYE SHENGWU DUOYANGXING LIYONG DE YUANLI YU JISHU

骆世明 主编



化学工业出版社

“十一五”国家

S18
T986

生态农业与农业生

农业生物多样性利用 的原理与技术

NONGYE SHENGWU DUOYANGXING LIYONG DE YUANLI YU JISHU

● 骆世明 主编



化学工业出版社

·北京·

目 录

第一章 农业的生物多样性及其保护与利用	1
第一节 农业生物多样性的概念	1
一、自然界的生物多样性形成历程	1
二、农业生物的多样性形成历程	5
三、农业生物多样性的概念	7
四、生物多样性的作用	9
第二节 农业生物多样性受到的威胁	13
一、自然界生物多样性受到的威胁	13
二、农业生物多样性受到的威胁	14
第三节 农业生物多样性的保护	19
一、直接保护生物多样性的方法	19
二、农业生物多样性的保护	21
第四节 生物多样性农业利用的生态学原理	26
一、个体生态学原理	26
二、种群生态学原理	28
三、群落生态学原理	29
四、生态系统生态学原理	30
五、景观生态学原理	31
第五节 农业生物多样性利用的基本方法	32
一、生态农业模式与生物多样性	32
二、在景观布局中利用和保护生物多样性	35
三、在循环体系建设中利用生物多样性	45
四、组建多样化的生物关系	47
第六节 农业生物多样性保护与利用的政策与行动	54
一、从工业化模式向生物多样性模式的转换	55
二、农业生物多样性保护的生产者和消费者行动	56
三、农业生物多样性保护的政府和国际社会行动	56
参考文献	58
第二章 农业的遗传多样性利用	60
第一节 农业生物的遗传多样性	60
一、水稻的遗传多样性	60
二、小麦的遗传多样性	63
三、玉米的遗传多样性	64
第二节 遗传多样性在农业中的应用	67
一、作物遗传多样性在育种中的利用	67

二、作物遗传多样性在栽培中的应用	73
第三节 遗传多样性优化品种搭配的应用	81
一、品种可搭配的遗传学基础	81
二、品种的农艺性状选配基础	85
三、品种的时空搭配模式	86
四、品种搭配的技术参数	88
五、利用水稻遗传多样性控制稻瘟病实例	89
六、利用小麦遗传多样性控制小麦病害实例	91
第四节 遗传多样性优化群体种植模式的应用	94
一、空间上利用遗传多样性——作物空间布局	94
二、时间上利用遗传多样性——作物时间布局	95
三、时间与空间上同时利用遗传多样性——多品种混合间栽	99
第五节 遗传多样性保障粮食安全和生态安全的作用机制	99
一、遗传多样性控制病害的病理学基础	99
二、遗传多样性控制病害的生态学基础	109
三、遗传多样性控制病害的营养学和生理学基础	122
四、遗传多样性控制病害的物理阻隔基础	127
五、遗传多样性控制病害的化感基础	128
第六节 农林业生产中对农业生物遗传多样性的其他利用方式	129
一、林业中遗传多样性的利用	129
二、畜禽业中遗传多样性的利用	130
三、渔业中遗传多样性的利用	131
参考文献	133
第三章 农业的物种多样性利用	143
第一节 农区物种的多样性	143
一、农区物种多样性的特点与组成	143
二、农区物种多样性受威胁状况	147
第二节 物种多样性在农业中的应用	148
一、物种多样性在病虫害和杂草防治中的应用	148
二、利用物种多样性充分利用光水资源	156
三、物种多样性在土壤良好性状维持和作物养分供应中的应用	160
四、物种多样性在保持水土和侵蚀土壤退化修复的应用	165
五、物种多样性在消除环境污染中的应用	169
六、利用物种多样性提高水体养殖系统的资源效率	171
七、通过放养多样性的草食物种提高草原放牧效率及轮牧	173
八、农区畜禽养殖的物种多样性利用	174
第三节 物种多样性对食品安全和生态安全的作用机制	175
一、作物物种根系相互作用与土壤养分利用	175
二、生物之间的化学联系相互作用与病虫害控制	176
三、物种之间的正相互作用机制与退化环境修复	180

第四节 农业活动对物种多样性的影响及物种多样性的保持与管理·····	183
一、农业活动对农业系统中物种多样性的影响·····	183
二、农业系统中物种多样性的保持与管理·····	186
参考文献·····	190
第四章 农业的生态系统多样性利用·····	198
第一节 农业生态系统多样性的构成、类型与基本规律·····	198
一、农业生态系统多样性的基本内涵·····	198
二、农业生态系统的基本类型·····	199
三、农业生态系统空间组合的基本类型·····	202
四、农业生态系统时间组合的基本类型·····	202
五、农业生态系统多样性形成与发展的作用机制·····	203
第二节 农业生态系统多样性的应用·····	207
一、丘陵坡地农业生态系统多样性的利用模式·····	207
二、平原区农业生态系统多样性的利用模式·····	213
三、低洼地农业生态系统多样性的利用模式·····	216
四、湿地农业生态系统多样性的利用模式·····	218
五、干旱区农业生态系统多样性的利用模式·····	223
第三节 农业生态系统多样性利用格局变化的生态学效应·····	225
一、土地利用格局变化的环境生态效应研究进展·····	225
二、土地利用格局变化对温室效应的影响·····	227
三、土地利用格局变化对小气候的影响·····	233
四、土地利用格局变化对碳氮循环过程的影响·····	235
五、土地利用格局变化对作物有害生物的影响·····	240
六、土地利用格局变化对环境污染控制的影响·····	243
七、土地利用格局变化对农业生物多样性保护的影响·····	246
参考文献·····	249

第一章 农业的生物多样性及其保护与利用

在自然森林里我们可以看到不同的乔木、灌木、草本植物、地衣等植物共同生长在一个群落中，森林里还有很多看得见的昆虫、飞禽、走兽，以及隐蔽着的蚯蚓、微生物、小型动物等。这些生物共同支撑起一个稳定和繁茂的森林生态系统。在实现了工业化农业的大农场里我们看到了另外一番景象，整齐划一的大片玉米地、大豆田或棉田几乎一望无际，就像工厂一样，一方面投入大量的化肥、农药、薄膜、农机、灌水、人力，另一方面产出大量的粮、棉、油产品满足社会需求，但同时在排水中含有相当高的氮、磷等养分和农药等化学品。这是两个非常不同的生态系统，自然森林生态系统生物多样性丰富，不需要人类的调控和额外的投入，自身维持着一种内在的稳定和平衡，但是对人类社会提供很少直接使用的产品。工业化农场输入和输出都大，靠人类的调控维持系统的单一生物组成，生态系统对资源的消耗大，对环境的污染往往也比较大。能不能在农业中也利用自然界生物多样性的原理，设计出产量高一些、消耗少一些、环境好一些的农业生态系统呢？回答是肯定的。让我们先看看自然界的生物多样性和农业的生物多样性，然后看看如何在农业中利用生物多样性。

第一节 农业生物多样性的概念

目前地球上的生物是经过数亿年的生物进化逐步形成的。在生物进化过程中，不仅环境影响了生物的进化方向，而且生物也深刻地影响了地球的环境，逐步形成一个互相依赖的共同体。

一、自然界的生物多样性形成历程

在热带雨林中看到的繁多的生物都有一个共同的特点，就是由通过基因把自身的性状遗传到下一代。基因由存在于细胞中的双链去氧核糖核酸（DNA）上的四种碱基的顺序所决定。DNA 的双链上含的四种碱基为腺嘌呤（A）、胸腺嘧啶（T）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）。两条 DNA 链上的碱基总是腺嘌呤与胸腺嘧啶结合（A=T）、鸟嘌呤总是与胞嘧啶配对（G=C）（图 1-1）。根据遗传的中心法则，DNA 每三个碱基就像一个密码，通过一系列翻译和转录决定了一个氨基酸结构，因此碱基顺序在往后的生物化学过程中就决定了蛋白质中氨基酸类型和排列顺序。由于蛋白质在生命体中除了作为肌肉、种子等机体的组成部分外，往往还是催化生物化学过程的酶，因此对新生命体的性状起着决定性的作用。各种生物种的 DNA 由众多的碱基组成。由于外界辐射、高温等物理作用，或者酸碱、氧化还原等化学作用以及有性繁殖等生物学过程都有可能促使这些碱基的排列循序发生突变。突变概率对于单一碱基的典型概率为百万分之一。由于一个生物体的碱基数量众多，加上种群的个体数量众多，因此发生随机突变的个体还是很多的。很多生物的 DNA 上碱基数量都在百万以

上，人类染色体 DNA 上就大约含 3×10^9 个碱基。以百万分之一的概率计算，每个人的基因产生突变的碱基数量就可能达到 3×10^3 。全球约 60 亿人的突变数量就可想而知了。很多生物物种的个体数量都相当大，很多微生物物种的个体的数量超过了人类数量亿万倍。因此生物物种的基因突变总的来说是经常发生的。很多基因突变是中性的，对后代的表現型影响不大。对于能够影响到后代生存能力的突变，环境的选择压力成为关键的因素。达尔文“物竞天择、适者生存”的进化理论起着关键作用。由于生命数量巨大，由于突变经常发生，由于生态环境的千差万别，由于进化时间的漫长，造就了生物的多样性。从高温的硫黄泉边到辐射强烈的高山顶上，从深海底部到干旱大漠中心都可以找到生物的踪影。在温度、湿度、养分适中的区域生物更是多姿多彩。

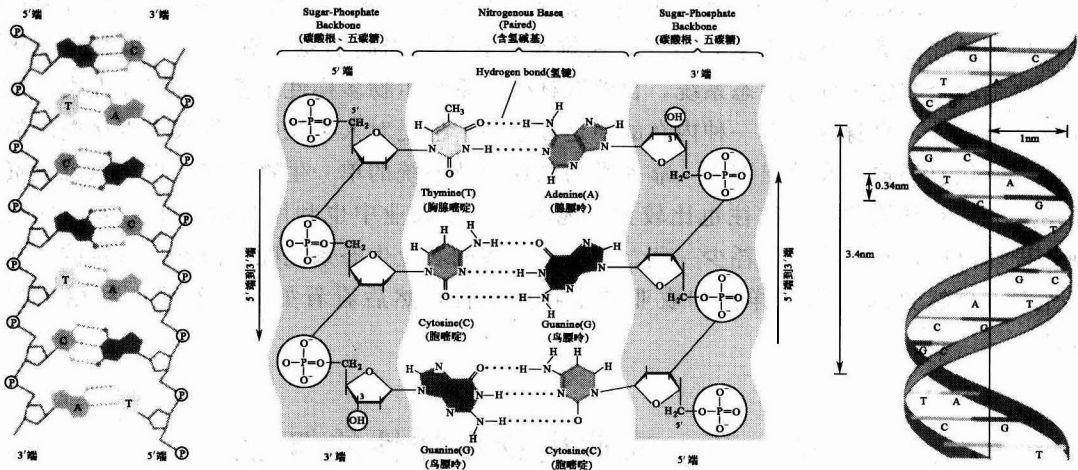


图 1-1 生物的基因由双螺旋结构的 DNA 组成

来源: <http://www.forshang.org/009humanlifescience/dnastructurecl.jpg>

最初的蛋白质和最初的 DNA 是如何形成的有很多假说，也是目前研究的一个热点。俄国生物化学家奥巴林和英国生物学家哈尔达内在 20 世纪 20 年代提出一个假说：在地球形成的初期，地球充满了还原性的气体，如 CH_4 、 CO 、 CO_2 、 NH_3 、 N_2 、 H_2 等，在闪电、强烈紫外线辐射、高温等物理因素的作用和重金属及黏土吸附的催化作用下，形成简单的有机化合物，再聚合成为生物大分子。在 20 世纪 50 年代美国芝加哥大学的米勒在电火花的诱导下，在还原气体和存在甲烷、氨、氢的条件下用实验方法从无机混合物中产生了 20 种有机物，其中包括 11 种氨基酸，其中 4 种为生物所必需，此外还有氰化氢和甲醛等。后来进一步的研究证实更多生命必需氨基酸都可以通过类似的方法产生。一旦最初的生物形态形成后就走上了一条漫长而波澜壮阔的进化历程。

在约 50 亿年前地球形成到约 25 亿年前这段时间，称太古代，当时地球大部分为海洋所覆盖，大气是还原性的，海洋也是还原性的，缺乏氧，频繁的火山活动使大气储备了大量的水蒸气和 CO_2 。目前找到的最早生物合成有机碳的证据是距今 38 亿年在格陵兰石英岩中的有机碳。在澳大利亚发现 35 亿年前的单细胞原核生物化石，形态和现代蓝藻很相似，这是太古代晚期。低等蓝藻开始能够同化二氧化碳制造氧气。

距今 25 亿年到 21 亿年的元古代初期，蓝藻大量繁殖，大气逐步从还原状态转为氧化状态。在大约 10 亿到 8 亿年前，地球发生过一次强烈的造山运动，称“格林威尔造山运动”

(Grenville Orogenesis)。这一过程释放的大量 CO_2 ，形成温室效应，地球升温。大约在 8 亿到 6 亿年前，地球进入“瓦伦格冰期”(Varanger Glaciation)，平均温度逐步下降到 -50°C 以下，海洋被 2~3 公里的冰层覆盖。地球上的一般生物仅能够在一些有火山喷发和地热上升的“热点”存活下来，另外也有一些特别抗寒的藻类会生存下来。

在 5.4 亿年前早古生代的寒武纪初期，冰川结束，气候转暖。这时由于大量降雨引起化学剥蚀作用，海洋中的钙、磷等元素增加，结果促进藻类的增长。由于藻类的增加使大气中氧气水平进一步提高。生物越来越大的个体也需要骨骼支撑。在 20 世纪 80 年代我国云南澄江县帽天山发现大量寒武纪的生物群，如奇虾、微网虫等，证实当时海洋已经建立起了由食物链系统构成的复杂生态系统。早古生代的奥陶纪末，距今约 4.6 亿年到 4.4 亿年前，大冰期又一次来临，发生过一次生物的大灭绝过程。到了志留纪中期气候逐步转暖，似苔藓植物广泛分布在世界各地。在志留纪中期，最早的陆生维管植物出现。当大气臭氧层形成，阻挡了杀伤力强的紫外光，维管束植物在陆地大量出现，生物开始大规模“登陆”。

晚古生代开始于 4.1 亿年前，其中的泥盆纪，生物进化到有脊椎的鱼类出现。在石炭纪出现两栖类动物和裸蕨。裸蕨在地球上存在时间大约 8 千万年，对以后的植物进化起过重要作用。在石炭纪末发生过对南半球影响比较大的约 5 千万年的冰期。北半球的植物陆续形成了煤田。晚古生代的二叠纪末裸子植物出现。晚二叠纪地球上发生过大规模的火山喷发，全球气温上升，海洋退却，全球干旱，又一次出现了生物大灭绝事件，海洋无脊椎 50% 以上的科、80% 以上的属、95% 以上的种消失，三叶虫也在这个时期灭绝。

中生代从 2.25 亿年前的三叠纪起开始。三叠纪气候持续温暖，在泥盆纪就开始出现的蕨类植物分布广泛，种类丰富。裸子植物也大量繁衍。最重要的生物进化是大型爬行动物——恐龙的出现。三叠纪末由于海洋退却，发生过一次生物灭绝事件。中生代在距今约 6500 万年前的白垩纪末期，发生了恐龙的灭绝事件。关于灭绝的原因有很多假说，如气候变化、太阳耀斑强烈或者超新星爆发、地壳剧烈运动、火山爆发等。目前比较成熟的是关于直径约 10 公里的小行星或彗星撞击地球的假说。由于撞击，全球产生大火、浓烟和扬尘，对太阳辐射的遮挡达到数月之久，恐龙赖以生存的食物链被破坏，恐龙走上灭绝。1980 年发现恐龙灭绝时期黏土样本含的铱浓度特别高，这和陨石含铱量通常比较高相符。1988 年，发现含铱地层上面覆盖一层煤灰，与全球性大火的现象吻合。1999 年在墨西哥湾发现 6500 万年前形成的、直径达到 180 公里的大型环形结构和相关的海啸证据。关于小行星或彗星撞击地球的假说得到了直接的证实。我国辽宁省凌源县新发现了 1.3 亿年前中生代白垩纪的攀援始祖兽化石，最近被确认是世界最早的有胎盘类哺乳动物化石。这为真兽类（有胎盘）哺乳动物的起源和最早期演化提供了新的化石证据。始祖兽身体长约 14cm，估计体重在 200~250g 之间，是善于在崎岖地面攀爬和灌木树丛中活动的小型哺乳动物，生活在河湖岸边的矮小树丛中。其它哺乳动物还有张和兽、热河兽和爬哺兽。产出始祖兽的著名辽西热河生物群还有多种精美的长羽毛的恐龙和原始鸟类、两栖动物、爬行动物、鱼类及大量植物化石。1996 年的“中华龙鸟”就是在这个地区发现的。

新生代在距今 6500 万年后开始。在第三纪早期经过大灭绝后的生物再次得到大发展，植物进化到被子植物阶段，动物进入哺乳动物阶段。在晚第三纪后期，距今约 300 多万年前，出现人类的祖先——早期猿人。进入第四纪后，地球发生过周期性的多次大规模冰川运动。最寒冷的时候，全球大陆的 30%~40% 被冰川覆盖，主要影响北半球，其中最重要的 Riss 冰期，斯堪的纳维亚冰盖到达北纬 50° ，北美的苏伦冰盖延伸到北纬 38° 附近，对生物

区系的分布产生巨大的影响。地质年代与生物进化见表 1-1。

表 1-1 地质年代与生物进化简表

宇	代	纪	世	距今年数	生物的进化
显生宇	新生代	第四纪	全新世	1 万	人类与现代动植物时代
			更新世	200 万	
		第三纪	上新世	600 万	被子植物和兽类时代
			中新世	2200 万	
			渐新世	3000 万	
			始新世	5500 万	
	中生代	白垩纪		1.37 亿	裸子植物和爬行动物时代
				1.95 亿	
				2.30 亿	
	古生代	二叠纪		2.70 亿	蕨类和两栖类时代
				3.50 亿	
		石炭纪		4.05 亿	裸蕨植物与鱼类时代
				4.40 亿	
		志留纪		5.00 亿	真核菌类与无脊椎动物时代
				6.00 亿	
元古代	震旦纪		13.0 亿	原始菌藻类和原始动物时代	
			19.0 亿		
			34.0 亿		
			45.0 亿		
			>50 亿		
太古代				地球形成与化学进化期	
				太阳系行星系统形成期	

在生物发展的历史中，尽管经历过一次又一次的大灭绝，但是生物种类和生物总体数量都在不断增加（图 1-2）。Kevin J. Gaston (2000) 对目前地球上的生物多样性格局研究表明，生物多样性与温度、湿度关系密切的纬度、高度、降雨关系密切，一个地点的生物多样性也受到区域内生物多样性的影响并与之呈线性关系（图 1-3）。生物多样性也与区域的能

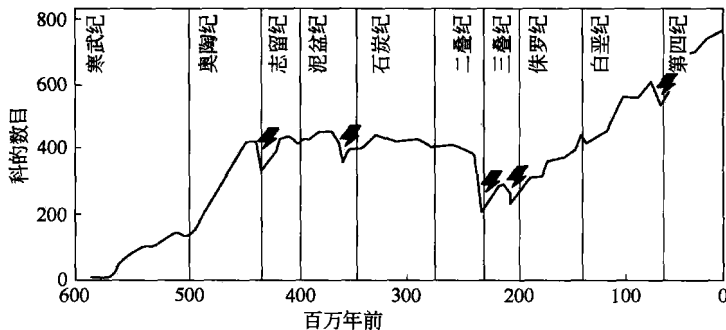


图 1-2 在生物进化过程中的物种数量变化

(Edward O. Wilson, 2004)

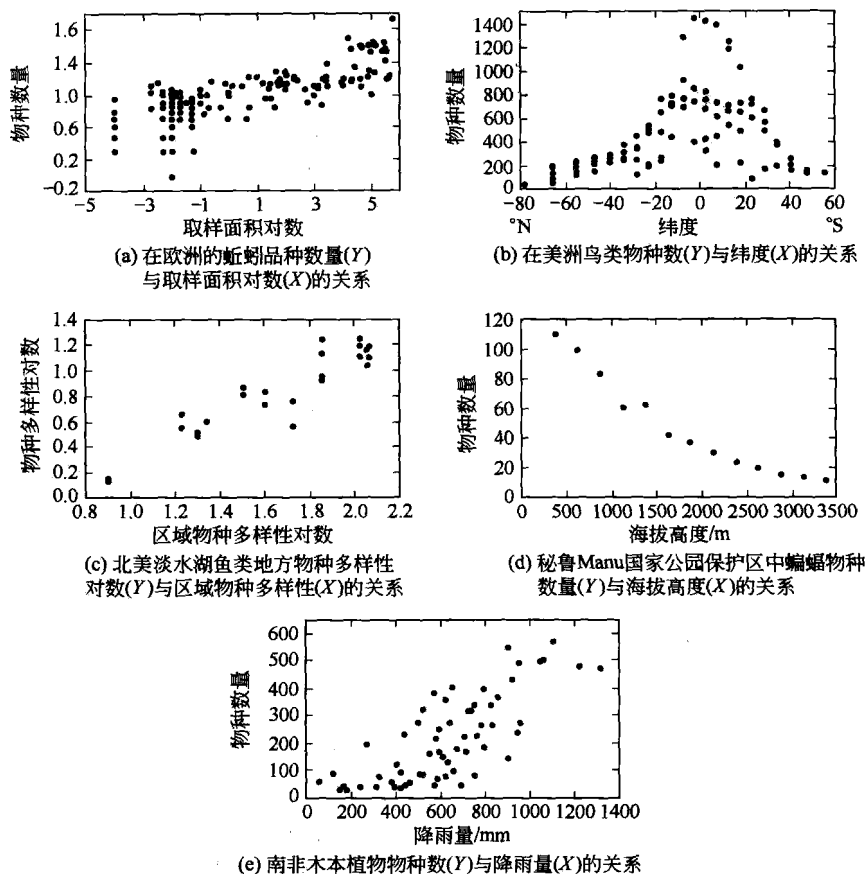


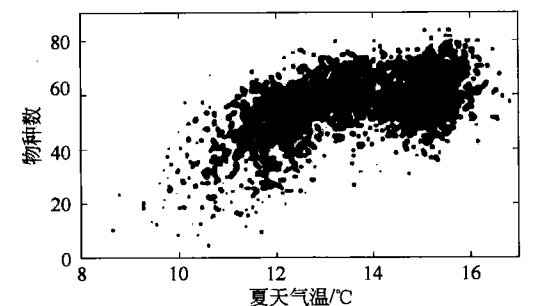
图 1-3 生物多样性格局与环境因素的关系 (Kevin J. Gaston 2000)

量状况关系密切 (图 1-4)。

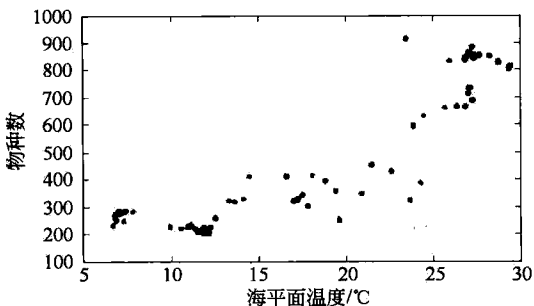
从生物的进化历史看, 地球生物的出现需要有很特殊的宇宙环境和星球条件。生物的出现又对大气的成分产生重大的影响。由生物和地学原因出现的大气组成的不断变化又促进了生物的进一步发展。然而地球气候每经过一次大的变化, 生物都会发生大的灭绝, 但是经历过一段漫长的时间之后, 总会有更多新物种产生, 甚至产生新物种的爆发。在生物的进化历程中, 生物和其生存环境形成了一种互为因果的紧密关系。

二、农业生物的多样性形成历程

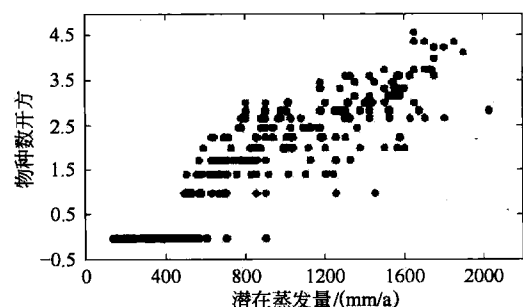
在大约一万年最后一次冰河期结束后, 冰川退却, 大地回暖, 那些躲过了寒冷, 并且进入了新石器时代的人们开始大量繁衍。在半干旱到干旱的过渡地带, 由于气候的不稳定, 经常出现饥荒现象, 迫使人们寻求更加稳定的食物供应来源。于是从偶然采集植物的种子萌发到有意识的人工种植植物, 从偶然人工圈养捕猎回来的野生动物到有意识的人工繁殖动物, 人类大量驯化各种生物, 逐步走向了农业的道路。在大约一万年几乎同时在世界的几个半干旱地点, 人类开始了对野生生物的驯化过程。目前知道的中国黄河上游, 中东伊拉克的底格里斯河和幼发拉底河流域, 中美洲的墨西哥西南部和南美洲的秘鲁安第斯山脉都是重要的农业生物起源地。这些地方的气候都属于半干旱区域。在中国出现了小米、大豆、水



(a) 英国繁殖鸟的物种数(Y)与夏天月平均温(X)的关系



(b) 东太平洋海螺(腹足动物)物种数(Y)与海平面年平均温(X)关系



(c) 北美大气潜在蒸发量(X)与甲虫物种数开方(Y)的关系

图 1-4 物种数与能量参数的关系 (Kevin J. Gaston, 2000)

稻、茶叶、蚕桑、狗和猪等。在中东出现了大麦、小麦、燕麦，山羊、绵羊等。在中南美洲则出现了玉米、花生、西红柿、棉花、木薯、甘薯、辣椒、烟草、驼羊等。在起源地培育的农业生物随着人类的迁移、流动、交流而逐步扩散，驯化的方法也在其他地区被采用。在热带湿热区域也培育出果树、瓜豆、蔬菜等农作物品种和其他动物品种（图 1-5）。

在人类对物种的驯化过程中，人类不仅为生物创造了不同于野生条件下的生存条件，而且提供了一个不同于自然的选择标准。“我们的家养族确实不是适应动物或植物自身的利益，而是适应人的使用与爱好，这就是我们的家养族最显著的特色之一。”（达尔文，1872）在人类的驯化压力下，水稻的脱粒性得到了改善，稻穗更大了，米粒更加饱满，稻秆高度下降，叶片倾向直立。水稻被驯化过程产生的不少性状是为了人类利益的目标，其实并不利于水稻在自然条件下与其他物种开展竞争。野鸭在人工驯化后变成家鸭，产肉率上升，但却丧失了飞行能力。一般来说，人类利用部分的生物量上升，而非利用部分的生物量下降。人类喜欢的成分强化，人类

厌恶的成分减少。例如粮食作物普遍出现穗部增大、落粒减少、秸秆变矮、根系变小、叶片不披散，有利于群体生产和籽粒收获。果蔬的味好的糖类增加，而味苦的生物碱减少，而且因为很多生物碱与植物抗性有关，因此有常常伴随植物的抗性下降。饲养动物的肉、蛋、奶、毛增加，但是活动性能和竞争性能却减弱了。

对于已经被驯化了的物种，人工的驯化和定向培育过程也在不断继续之中。例如当水稻在不同的生态环境条件下种植，就分化产生了粳稻和籼稻，水稻和陆稻，早稻和晚稻等不同的生态型。小麦在不同的越冬条件下种植就分化产生了对低温要求不同的各种冬小麦和春小麦生态型。各地农民对农业生物的长期利用和不断改良后就形成了各地多种多样的农家品种或者地方品种。在近代育种技术条件下，根据遗传理论进行常规育种和品种对比研究，育出了很多现代高产品种。在高肥水栽培条件下选育的很多作物品种对高肥水条件有严重的依赖性。在工厂化饲养条件下选育的动物品种离不开工厂化条件。

人类对野生物种的驯化和利用过程就一直没有停顿过。在需求增加和稳定供应的驱动



图 1-5 由俄罗斯瓦维诺夫 (N. I. Vavilov) 在 1926 年提出的作物起源的 8 个中心
(K. V. Krishnamurthy, 2006)

- 1—中国中心；2a—印度中心；2b—印度-马来西亚中心；3—亚洲内部中心；
4—中东中心；5—地中海中心；6—阿比西尼亚中心；7—墨西哥南部-中美洲中心；
8a—南美中心（秘鲁、厄瓜多尔、玻利维亚）；8b—巴西-巴拉圭中心；8c—智利中心

下，大量中草药正在从野生改变为人工栽培。红豆杉由于抗癌药物的需要被人类积极驯化过程中。由于生物能源的需求，麻风树等植物也正在被利用和改造。在被人类利用作为食用菌生产的真菌名录还在增加之中。由于蚯蚓的利用价值，目前也被有目的地进行选育。

另外一个值得注意的过程是与驯化相反的野生化过程。农业生物逃逸后，就有可能进入野生化过程。例如在我国南方作为食用品种引入的福寿螺和克氏原螯虾和作为花卉引入的加拿大一支黄花在逃逸后都成为很棘手的有害生物。

自然生物是农业生物的来源。这个过程至今一直在延续着。农业生物进化发展方向与人类提供的培育条件及预期的培育目标密切相关。传统农业条件下培育条件的多样性，促使农业生物多样性的形成。在高投入条件下培育出来的农业生物，需要依赖高投入条件。

三、农业生物多样性的概念

物种是生物多样性的基础。同一个物种内每个个体之间都存在大量的遗传变异。物种在长期进化过程中又与其生存的外界环境形成了一个不可分割的整体。因此，生物多样性可以分为遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性三个层次。地球上所有生物及其依存环境构成了生物多样性的总体。1992年《生物多样性公约》中定义：“‘生物多样性’是指所有来源的形形色色生物体，这些来源除其他外包括陆地、海洋和其他水生生态系统及其所构成的生态综合体；这包括物种内部、物种之间和生态系统的多样性。”

生物多样性又可以分为组成 (composition) 的多样性、结构 (structure) 多样性和功能 (function) 的多样性。组成多样性是指一个生态系统中生物种类的构成。结构多样性是指

各个组成成分在时间、空间和相互关系的格局。功能多样性是指生物活动中实现的各种能量和物质转化功能（图 1-6）。

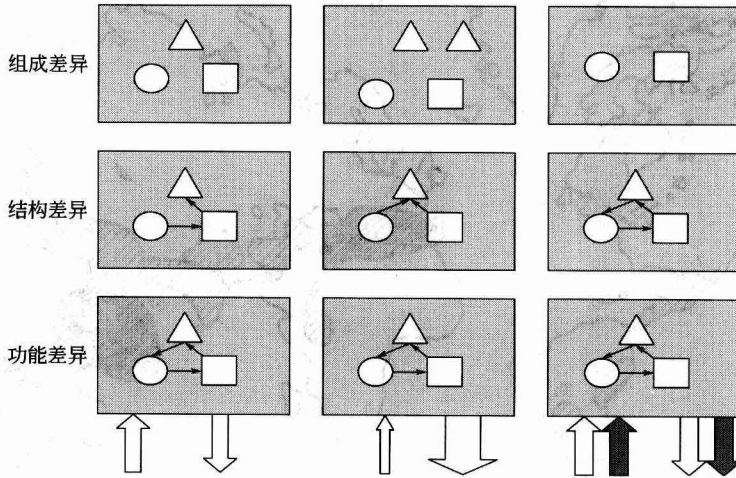


图 1-6 组成多样性、结构多样性和功能多样性概念

农业生物多样性可以分为狭义的农业生物多样性与广义的农业生物多样性。狭义农业生物多样性包括农业生物的遗传多样性、农业生物的物种多样性和农业生态系统的多样性三个层次。广义的农业生物多样性则指与农业生产相关的全部生物多样性（表 1-2）。

表 1-2 农业生物多样性的内涵

多样性层次	狭义的基本范畴	广义的拓展范畴
农业生物遗传多样性	仅仅含农业生物本身的遗传多样性,如各种水稻的传统农家种和现代高产种,包括杂交稻	农业生物相关的近缘种、野生种以及有潜在转化利用可能的其他生物基因。如野生稻、Bt 抗虫基因、抗除草剂基因等
农业生物物种多样性	目前农业生产用的目标物种,如稻、麦、棉、豆、牛、羊、鸡、鸭	农业生产关联物种,以及可能利用的潜在物种,如病虫害及其天敌、土壤生物、中草药、野菜、自然水产资源
农业生态系统多样性	农业生产涉及的生态系统,如农田、鱼塘、牧场生态系统。农业生产体系的布局,如农田、果园、菜地、鱼塘的布局	涉及农业流域的天然林生态系统、自然水域生态系统,农业流域从上游水保林到下游出海口富营养化污染区的整体格局

农业生物遗传多样性方面，以水稻为例，狭义的农业生物遗传多样性仅仅考虑水稻不同品种间的遗传变异，然而在广义的农业生物多样性考虑的范畴就包括野生稻等野生近缘种。杂交水稻的不育基因就是在野生稻中发现的，通过杂交育种，转移到了现代品种中。在利用生物技术能够实现不同物种间基因转移的条件下，理论上所有生物基因及其变异都有可能通过转基因技术引入农业生物体内，例如苏云金杆菌的杀虫蛋白基因（简称 Bt）已经导入到玉米、棉花、大豆等作物，并且已经进行商业化生产。实际上，Bt 基因也已经成功转入水稻。因此广义的农业生物的遗传多样性包括农业生物物种的遗传多样性、农业生物近缘野生种的遗传多样性，以及有转入农业生物潜力的其他物种的遗传多样性。

农业生物的物种多样性方面，以植物生产为例，狭义的农业生物物种多样性仅仅考虑农业种植的植物物种，然而广义的农业生物物种多样性还考虑潜在可以成为农业生产对象的植物物种资源。很多中草药物种日益成为栽培对象，园林绿化中改造和利用的物种越来越多。

为了防治农作物的害虫，害虫的天敌生物物种成为利用对象，例如利用赤眼蜂防治水稻螟虫，利用白僵菌防治松毛虫等。农田土壤中的各种微生物、蚯蚓、蚂蚁、白蚁、线虫等生物物种对农作物生产起到重要的作用。园艺作物经常需要依赖授粉动物，包括蜜蜂、苍蝇、飞蛾、蝴蝶、甲虫、蝙蝠、蜂鸟等。又如在渔业方面，无论是淡水养殖还是海产养殖被人工养殖的物种越来越多，例如鳄鱼、鲟鱼、龙虾、鲍鱼都成为了养殖对象，捕捞的物种就更多了。因此广义的农业的生物物种多样性不仅包括已经被驯化了的生产目标物种，也包括农业生产中的各类关联物种。无论是目标物种还是关联物种的名录都在急剧扩展之中。

农业生态系统多样性方面，狭义的农业生态系统多样性仅仅考虑开展农业生产的生态系统，例如农田生态系统、放牧生态系统、农牧结合生态系统、淡水养殖生态系统等，广义的农业生态系统多样性还需要考虑生产以外的区域，以农田为例，田埂和周边的植被往往成为作物天敌的繁殖和栖息场所，对农田害虫的控制至关重要。农田灌溉水往往来自上游的水土保持林或者天然林，而农田的排水则会影响到河流下游甚至出海的海口。因此广义的农业生态系统多样性包括以农业生产体系为核心的整个相关区域或流域的相互关系和整体格局。

四、生物多样性的作用

自然界生物多样性对于稳定地球和地区的环境起着重要的作用。在农业生态系统中，还对人类生存及农业可持续发展起着重要的作用。

(一) 自然界生物多样性的作用

在 35 亿年以来，太阳的辐射增加了 30%，地球平均温度尽管有波动，却一直被稳定在 15℃ 左右。地球的自养生物出现以后，大气的氧含量也一直稳定在 21% 左右。地球的历史上曾经受过 30 次左右特别巨大的陨石冲击。每次释放的能量大约相当于全世界核武器能量的一千倍以上。尽管地球环境发生了巨大的变化，但是总能够恢复到生物能够繁衍的程度。到底是什么稳定机制使地球能够经受了如此巨大的和长时间的外部条件和内部条件变化，从而保持比较稳定的地球表面环境呢？英国科学家 J. Lavelock 于 1965 年提出关于地球表面温度和化学组成受地球表面生命总体调控的假说。因为该假说借用了希腊神话中的大地女神 GAIA 来命名，因此又称“大地女神假说”。他的研究表明，如果地球没有生物，其平衡状态的大气状况就像火星和金星的大气一样，主要由 CO₂ 组成，氮和氧的含量会很低。正是地球表面的生物对地球环境的稳定和调节起到了关键的作用。

在自然生态系统中，生物多样性增加是否会增加系统的稳定性，一度是争论的热点之一。争论的主要原因在于关于稳定性的定义，以及系统多样性除了组成多样性以外，还需要有结构和功能方面的规定。因为定义和规定的不同，得到的结论会有比较大的差异。近年一些模型和实验性的研究出现了一些积极的成果。1999 年，

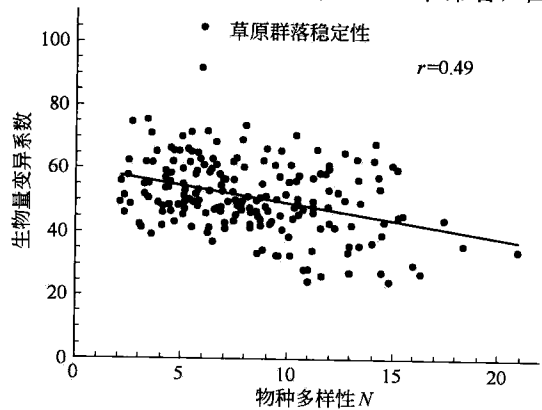


图 1-7 美国 Cedar Creek 森林定位站物种多样性与群落生物量的变异系数之间的关系表明物种数量增加的结果导致群落总生物量的波动下降 (Robert Wager, 2009)

David Tillman 建立资源竞争模型表明增加生物多样性引起群落的稳定性增加，但是种群稳定性下降。这个结论为 Cedar Creek 长期定位研究所证实（图 1-7）。该长期定位的研究表明生物多样性增加引起的资源覆盖度增加，以及生态位分化都有利于更加好地利用属于限制因子的资源，也因此能够减少需要这些资源的物种的入侵可能（图 1-8）（Robert Wager, 2009）。

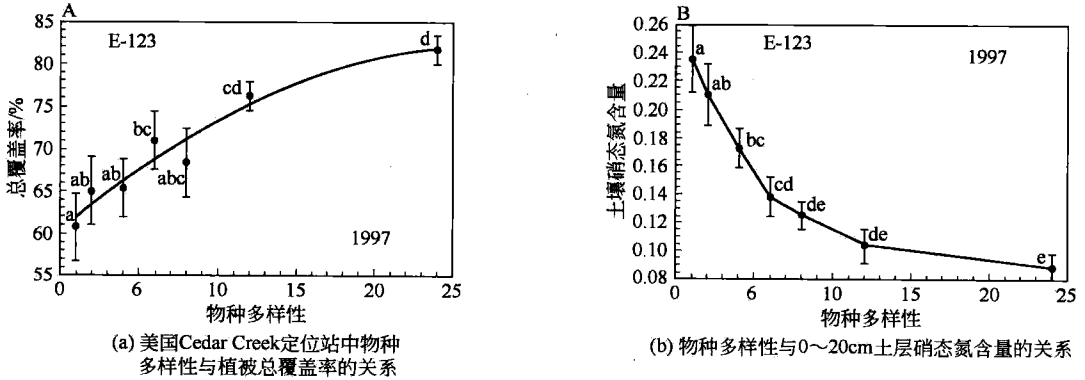


图 1-8 物种多样性高可以提高系统对有限资源的利用效率 (Robert Wager, 2009)

自然杂志 (Nature) 2000 年一篇回顾性文章 (Kevin Shear McCann, 2000) 的总结中指出：“近年的进展表明，一般来说，多样性会导致生态系统的稳定性。这种稳定性不是由于多样性本身引起，而是由于群落中不同种群分化成为有不同响应能力的功能群。现实的食物网由复合的能量通道构成，能够缓冲剧烈的种群波动。如果生态系统大多数联系通道由弱相互作用构成，就能够缓冲少数几个由消费者及其资源间强相互作用引起的波动。” M. Loreau 等 (2001 年) 在 Science 上发表文章的结论也表明在试点区域生物多样性对生产力的变化有稳定作用 (图 1-9)。从功能角度看，物种的性状以及它们之间的关联对保持生态系统的功能和生物地球化学循环至关重要。在稳定的环境下要生态系统发挥稳定的功能需要一个最小数量的物种数，在变化的环境下需要的物种数要更大一些。长远来说，多样的生物能够为未来生态环境的各种可能变化提供更多的机会与选择。就像在恐龙被灭绝的中生代中白垩纪，以张和兽为代表的一些不起眼的小型哺乳类动物逐步获得进化优势，并成为了新生代的主角。David Tilman (2000) 在 Nature 上的文章总结了自然界生物多样性对生态系统作用的有关研究成果，认为生物多样性导致：①高的植物生产力；②生态系统高的养分留存；③高的生态系统稳定性。

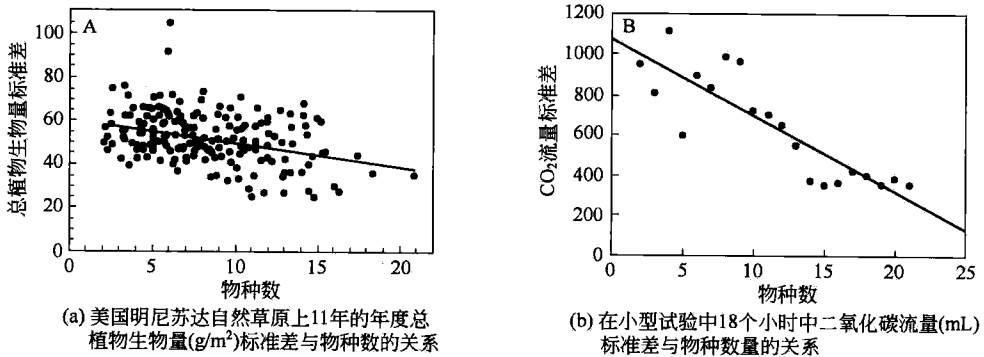


图 1-9 物种数增加生态系统过程的波动性下降 (M. Loreau et al. 2001)

生物多样性提供的生态服务很多，折算成经济价值的数值相当大。据中国生物多样性国情研究报告编写组（1998）进行的估算表明，中国生物多样性可以提供生物资源产品的直接使用价值为 1.02×10^{12} 元，通过维系有机物生产、固定二氧化碳、释放氧气、实现养分循环、降解污染物、涵养水源等方式提供的间接使用价值为 37.31×10^{12} 元，间接使用价值是直接使用价值的 35 倍以上。物种保留的潜在选择价值和潜在保留价值的估计为 0.22×10^{12} 元，约为直接使用价值的 1/5。

（二）农业生物多样性的作用

在农业生态系统中也有多样性导致稳定性的研究结果。James M. Bullock 等（2001）报道在英国南部通过 7 个地点进行不同数量牧草物种种植实验，经过 4 年的结果表明物种数多的小区产量高，而且形成线性关系（James M. Bullock, et al., 2001）（图 1-10）。事实上由于农业是经过人类驯化了的自然生态系统，因此生物多样性还能够对产出、收入和社会发生重要作用。农业生态系统中，生物多样性对于提供生态系统服务是十分重要的，例如在养分循环、微气候调节、区域水文过程控制、抑制有害生物、分解有害化合物、增加土壤肥力有重要作用。生物多样性对于农民和社会还有重要的社会效益和经济效益，农业生物多样性有利于提供多样化的产品，以满足社会的现实需求和未来的需求，有利于实现提高农业生产效率、增加生产稳定性、提高现金收入、改善产品营养价值、保障食物和生活均匀供给等（Miguel A. Altieri 1999）。总之，农业生物多样性的合理利用有利于提高农业的社会效益、经济效益和生态环境效益（表 1-3）。

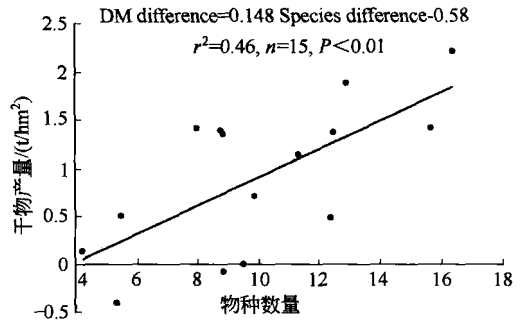


图 1-10 英国南部草本植物物种数量 (X) 与草地干物产量 (t/hm²) (Y) 之间的关系 (James M. Bullock 等 2001)

表 1-3 农业生物多样性的作用

生态功能	通过固定二氧化碳,减少温室气体,减缓全球变化 通过水源林和植被结构,调节流域水文过程,稳定水源供应 通过防护林、风障、沙障、植物篱减少风害、沙害、盐碱、海潮等灾害 通过生物覆盖减少水蚀、风蚀和水土流失 通过植被结构及其相互关系调节和改善农田小气候和生产环境 通过动物和微生物促进初级生产的转化和分解,维系系统养分循环过程 通过有机质和腐殖质生产、固氮、解磷、溶钾、松土、促成土壤团粒等生物作用提高土壤肥力 通过生物之间的相互作用控制有害生物猖獗 通过提供各种种质资源广泛适应各种土壤、气候和生物逆境以及全球变化 通过对污染物的吸收、分解净化环境
经济功能	通过利用不同季节和不同资源开展多种产品生产,有利于规避自然风险 通过提供多样化的产品,分散市场风险 通过最大限度利用各类资源和提高资源利用效率,提高生产者和经营者的收益 利用生物调节作用替代人工商业品投入,降低农业成本
社会功能	提供多种食物来源,改善营养状况,减少营养不良或者饥荒 提供多种种植、养殖、加工等灵活多样的工作内容和生产方式,有利于个人的兴趣选择和优势的发挥 促进形成基于多样化农业结构的丰富多样的社会文化 丰富的生物资源为满足社会现实和未来的各种需求(医药、能源、建材、纺织、食品)提供选择的可能和基础 形成良好的乡村人居环境和城市居民出游休闲环境 教育和审美功能

(三) 土壤生物多样性的作用

Amber Dance (2008) 综述土壤生物多样性的研究表明：1990 年第一篇关于土壤 DNA 分析的文章估计每克土壤有 4000 个以上的不同微生物基因组，近期 Triplett 的研究表明这个数值为 10000~50000 个。一个在消毒土壤上分别接种 1~43 个不同类型微生物的实验表明，多样化体系有机质分解比较快。生物多样化的土壤生物有可能在暴风雨、大火、或者其他干扰的极端情况时让土壤较快恢复稳定。土壤是重要的碳库，保存 1.5 万亿吨的碳，比大气和植物保存的总量还大。据估计土壤生物为世界提供的服务达到每年 1.5 万亿美元。以土壤微生物为例，土壤中自养产酸细菌可以把土壤难溶性磷转化为可溶性磷。硅酸盐细菌可以分解土壤中云母、长石、磷灰石等，使难溶的钾转化为有效钾。根瘤菌与固氮菌能够固定大气中的氮。固氮螺菌、假单胞杆菌、黄单胞菌以及根瘤菌能够产生促进植物生长的生长素吲哚乙酸 (IAA)。根际微生物能够促进土壤锰的还原，从而促进植物对土壤锰的吸收。多种微生物产生的乙烯、核酸、维生素都对植物产生多方面的影响。芽孢杆菌产生脂肽抗生素和多种细菌素，能够对不少真菌和细菌具有强烈拮抗作用，从而抑制这些微生物的致病性。荧光假单胞杆菌 (FP) 在低铁条件下分泌结合 Fe^{3+} 的假单胞菌素，限制了病原菌对铁の利用，并抑制其致病。一些细菌能够产生几丁质酶和 β -1,3-葡萄糖聚酶，可以分解病原真菌的细胞壁，还有些可以产生卵磷脂酶 C，通过影响植物细胞膜的通透性，从而提高植物的抗病性 (陈秀蓉, 南志标, 2002)。菌根菌能够与很多类型的植物根系形成互利共生关系，扩大植物根系吸收范围，并且能够激发植物的诱导抗性，提高植物对干旱、瘦瘠、污染和病害的抗性和耐受性 (表 1-4)。当然土壤微生物中也有动植物病原菌，硝化与反硝化菌会引起氮损失，通过生物化学反应促进形成亚硝酸、亚硝酸胺、氮氧化物、硫化氢等污染物 (陈秀蓉, 南志标, 2002)。土壤微生物以外的其他生物也产生非常重要的作用 (表 1-5)。

表 1-4 土壤和根际微生物的有益作用 (Miguel A. Altieri, 1999)

分解植物组织、粪便和有机废物	腐殖质合成 有机 N、S、P 的矿化 改善土壤团粒结构
增加土壤植物营养的可利用性, 如 P、Mn、Fe、Zn、Cu	菌根共生结构 产生有机螯合物 氧化还原反应
促进植物生长: 种子萌发、根茎生物量、花的发育	产生植物激素 拮抗根际病原菌和假病原菌 提高养分利用效率
控制土壤线虫和昆虫	
生物控制杂草, 例如生物除草剂	
生物分解合成农药和工业污染物	提高植物的耐旱能力

表 1-5 土壤生物区系对生态系统土壤过程的影响 (Hendrix 等, 1990, 引自 Miguel A. Altieri 1999)

项 目	养分循环	土壤结构
真菌、细菌、放线菌等微生物	分解有机质、矿化养分、固定养分	产生有机成分、促进团聚体形成、菌丝把土壤颗粒结合在一起
小型动物(螨目, 弹尾目)	调节细菌和真菌种群数量, 改变养分分解速率	可能通过对微生物的影响而作用到土壤团粒结构