别再道听途说 EM 菌(3)-专业研究综述

综述：EM 及其对蔬菜生产的影响

本文综述了有效微生物(EM)的性质及其对蔬菜生长、产量、品质和保护的影响。EM 由一种混合物组成，该混合物是从肥沃土壤中分离的微生物的天然培养物，它可用于改善作物生产。EM 技术是 40 多年前由日本的 Tero Higa 博士开发的。EM 在土壤-植物环境中是如何发挥作用和相互作用的-抑制植物病虫害，节约能量，溶解土壤矿物质，帮助土壤微生物平衡和生态，提高光合效率和生物固氮-都已经被描述。在 70%的已发表的研究中，得出的结论是 EM 对蔬菜的生长有积极的影响，而在另外 30%中，它们没有显著的影响。在本研究中，22 篇有关 EM 对蔬菜产量影响的报道中，84%为正效应，4%为负效应，12%无显著影响。结果表明，EM 可通过降低蔬菜病虫害和杂草的发生，提高蔬菜的品质和产量，从而促进可持续农业的发展。

有效微生物(EM)由微生物的活体培养物的混合物组成，这些微生物是从自然肥沃的土壤中分离出来的，EM 在作物生产中是有益的(Mohan,2008)。EM 的主要作用似乎是增加土壤微生物区系的生物多样性，从而提高作物产量。据报道，EM 的主要成分光合细菌与其他微生物协同工作，支持植物的营养需求，减少病原微生物的发病率(Condor et al., 2007)。

Subadiyasa(1997)将 EM 技术描述为一种支持自然农业的技艺。EM 背后的理论基础是，将有益微生物的混合培养物接种到土壤中，以创造一个更有利于植物生长和健康的环境。EM 可与土壤-植物生态系统相互作用，以抑制植物病原体和其他致病因子，溶解矿物质，保存能量，维持土壤微生物和生态平衡，提高光合效率，并固定生物氮(Subadiyasa, 1997)。

本文旨在说明 EM 的性质，并描述 EM 如何影响主要温带蔬菜作物的生长、产量、品质和保护。

EM 菌发展历史

EM 技术最早开发于 1970 年代(Higa,2012)。最初，来自不同生态系统的微生物被分离，然后再混合。然而，由于反复的失败，一些微生物被淘汰，较简单的

混合物在植物上进行了试验。最后，在 20 世纪 70 年代末，人们研制出一种以乳酸菌、光合细菌和酵母菌为主的、pH 保持在 3.5 的混合物。这个概念最早是 1986 年在 IFOAM 会议上提出的(Higa,2012)。当时，极大的兴趣促使 EM 开发人员更广泛地推广这项技术。九井自然农业和 EM 技术之间的有益商业合作很快在日本的生态系统中产生了积极的影响(Higa,2012)。1989 年，九生自然农业第一次会议在泰国孔景举行，之后每两年在巴西、美国、法国、泰国和南非召开一次会议，涵盖了五大洲，然后是大洋洲和太平洋国家。迄今为止，已有 100 多个国家采用了 EM 技术，不仅用于试验，还用于商业生产和环境管理(Higa, 2012)。EM 包含有益的自然产生的微生物，如光合细菌(如沼泽红假单胞菌，球形红杆菌)、乳酸菌(如植物乳杆菌，干酪乳杆菌，乳酸链球菌)、酵母(如酵母类)、放线菌(链霉菌类：Javaid,2010)。Condor 等(2007)对这些微生物的描述如下：光合细菌(光养细菌)是独立的自养微生物，它们合成氨基酸、核酸、生物活性物质和糖，利用来自根分泌物的物质、有机物(碳)、阳光和土壤中的地热能作为能源。与植物不同的是，它们利用太阳辐射的红外波段(700-1200 纳米)产生有机物，从而提高了植物的生长效率。产生的代谢物可以被植物直接吸收，也可以作为其他细菌的底物，从而增加了土壤微生物区系的生物多样性。

在土壤中添加光合细菌会强化其他 EM 菌。例如，由于光合细菌分泌后作为底物的含氮化合物(氨基酸)的有效性，根际泡丛菌根(VAM)水平得到提高(Condor et al.，2007)。VAM 增加了土壤中磷酸盐的溶解度，从而为植物提供生物有效磷。VAM 可以与固氮细菌 Azotobacter 共存，增强豆科植物的固氮能力(Condor et al.，2007)。

乳酸菌从糖中产生乳酸。乳酸可以土壤消毒，抑制有害微生物，并增加有机物的分解(Condor et al.，2007)。乳酸菌增强了木质素和纤维素等有机物的分解，使这些物质发酵得更快。乳酸菌具有抑制镰刀菌--一种在连作期间引起病害的有害微生物-的生长。在适当的条件下，镰刀菌引起有害线虫的增加。随着乳酸菌抑制镰刀菌的生长，线虫逐渐消失(Condor et al.，2007)。

酵母通过光合作用细菌、有机物和植物根部分泌的氨基酸和糖来合成抗微生物物质，这些物质也能促进植物生长。酵母产生植物激素、酶等生物活性物质能

促进活性细胞和根的分裂。这些分泌物也为 EM 提供有用的底物，如乳酸菌和放线菌(Condor et al.，2007)。

放线菌的结构介于细菌和真菌之间，通过光合细菌分泌的氨基酸和土壤有机质产生抗微生物物质。这些物质可以抑制有害的真菌和细菌。放线菌可以与光合细菌共存。因此，两者都可以通过增加土壤的抗微生物活性而协同作用，提高土壤环境质量(Condor et al.，2007)。

人们已经描述了 EM 的下列有益影响(Anon,1995)：

EM 促进植物的发芽、开花、结果和成熟。

EM 改善了土壤的物理、化学和生物环境，抑制了土传病虫害。

EM 增强了作物的光合能力。

EM 保证了种子的萌发和植株的建立。

EM 增加了有机质作为肥料的功效。

由于 EM 的有益作用，可以提高作物的产量和品质。EM 不被归类为杀虫剂，也不包含可被视为杀虫剂的化学物质。EM 是一种微生物接种剂，作为生物控制剂，通过将有益微生物引入植物-土壤环境来抑制和/或控制害虫。害虫和病原体受到 EM 接种剂中存在的微生物的竞争和/或拮抗活性的抑制或控制。

EM 的概念

EM 在土壤-植物环境中作用和相互作用的机制见表 1。

土壤微生物可以广泛地分为分解微生物和生物合成微生物。分解微生物又进一步细分为进行氧化分解和发酵分解的类群。发酵组进一步分为有益发酵(简称发酵)和有害发酵(腐败)。生物合成微生物可细分为具有通过光合作用将大气氮固定为氨基酸，和/或将二氧化碳固定为简单有机分子的生理能力的类群。图 1 显示了土壤微生物催化的有机物质转化的简化流程图，这些转化可导致发展成致病、抑制疾病、发酵或合成土壤(Higa 和 Parr,1994 年)。

研究表明，EM 必须与有机质一起应用。它们可以作为液体使用，也可以与富含营养的有机物混合制成发酵堆肥(日语称为 Bokashi)。施用 EM 加有机质的好处在于 EM 能使有机质发酵，释放营养物质和富含营养物质的有机酸，供植物利用。EM 的衍生物-叶子材料，特别是来自香料或药用植物的叶子的微生物发酵液-被声

称可对植物提供额外的预防好处(Higa, 2012)。EM 也可以直接应用于农作物上。研究表明，这样做可以增强生理性参数，如光合作用，从而提高作物产量，这是有机农业的一个关键因素(Higa, 2012)。

表 1.影响土壤质量、作物生产和植物健康的有益和有害土壤微生物的功能(Higa

有益作用	有害作用
有机废物和残留物的降解	植物病害的诱导、
植物营养的循环与有效性增加	刺激土居病原体
抗生素的和其他活性化合物的产生	植物养分的固定化
络合限制植物吸收的重金属	种子萌发的抑制
产生多糖改善土壤团聚体	植物生长、发育的抑制
固定大气氮	植物毒性物质的产生
抑制土传病菌	
有毒化合物包括农药的降解	
植物可吸收简单有有化合物的产生	
不溶性矿物营养的溶解化	

和 Parr,1994 年)

作物生产中的 EM 菌

EM 的最初应用是在农业上（Sangakkara,2012a)。EM 首先被用于提高有机或自然农业系统的生产力。EM 可直接应用于要添加到地里的有机物料中或堆肥中，从而减少了制备这种生物肥料所需的时间。EM 也可以 Bokashi 的形式添加（一种以稻壳、木屑等废弃物制成的堆肥作为载体）或者与富含氮的大米、玉米、麦麸、鱼粉、油饼等混合。EM 的益处应该归功于很多因素。这包括用 EM 堆肥时有机物质释放出更多的营养物质，以及/或提高光合作用和蛋白质合成活性。研究还发现，施用 EM 后，土壤和植物对水分胁迫的抵抗力更强，碳的矿化率更高，土壤性质更好，植物根系的渗透性更好(Sangakkara,2012a)。许多国家也报道了 EM 通过控制或抑制病虫害促进植物生长的影响(Sangakkara, 2012a)。

多年来，土壤微生物学家和微生物生态学家根据土壤微生物的功能以及它们如何影响土壤质量、植物生长和产量以及植物健康来区分有益或有害的土壤微生物。如表一所示(Higa 和 Parr,1994 年)，有益微生物是能够固定大气氮、分解有机废物和残留物、解毒农药、抑制植物病害和土传病原体、促进营养循环、产生维生素、激素和酶等刺激植物生长的生物活性化合物的微生物。研究还表明，土壤/植物生态系统接种 EM 培养物，可以改善土壤质量和土壤健康。改善土壤质量通常以增加渗透、通气、聚集和有机质含量，以及减少堆积密度、压实、侵蚀和结壳来阐明(Higa 和 Parr,1994 年)。

目前还没有关于在土壤中施用 EM 后监测有益微生物的混合培养物定值的可靠试验报告。只有 EM 在土壤中定植、占主导地位并保持稳定和活性后，预期的效果才会出现。在某些土壤中，单次接种 EM 可能就足以产生预期的结果，而在其他土壤中，即使重复使用 EM 似乎也不起作用。反复施用，特别是在第一个种植季节，可以促进引入的 EM 提前建立(Higa 和 Parr,1994)。

EM 的应用

根据 Ncube (2008)， EM 在作物生产过程中是有效的，对环境也是安全的-来自全球 40 个国家用本地微生物的分离物生产的、不同商业品牌和剂型的 EM 的总结。EM 用于不同的领域，包括农业和园艺种植、环境管理、动物生产和水产养殖(Ncube, 2008 年)。不同的剂型的 EM 以不同的方法在这些领域应用，下列各小节分别讨论：

1. EM 接种到土壤：在作物生产过程中，不同的 EM 制剂既可以作为土壤灌溉剂施用，也可以直接施用于作物上。接种到土壤时，按 1:500 倍用水或 FKG(发酵厨房垃圾)稀释 EM。在发酵鱼渣中使用 EM 或在发酵鸡粪中使用 EM 时，建议稀释 1:300 倍。多达 2.5 公吨(MT)/公顷的 Bokashi（堆肥）通常用于土壤。大于 2.5 MT /ha 的剂量对植物有害，因为高浓度的有机酸会损害植物的根系。Bokashi（堆肥）通常在种植前 10-14 天施于土壤中，放置在离根部 10-15 厘米的地方(Ncube,2008)。
2. 叶面喷施 EM：植物叶面喷施 EM 可作为防病防虫的一种药物。喷洒通常在生长季节早期就开始，一直持续到收获。建议按 1:1000 倍将 EM 或 EM-6 稀释在水

中(Agri Partners OU,artu，爱沙尼亚)，或不同 EM 配方的混合物，1:500 或 1:2000 稀释也可以使用(Ncube, 2008 年)

3. EM 浸种：播种前，可将种子浸泡在 0.1% (w/v)的 EM 悬浮液中。小的种子浸泡大约 30 分钟，大粒种子 4 -6 小时。浸种后，种子在阴凉处晾干，以减少粘在一起的机会(Ncube, 2008)，然后播种在地里。
4. EM 灌溉(施肥)：EM 或其他剂型 EM 通常用水稀释后，通过灌溉水施用于土壤。EM 在水中的释度从 1:1000 到 1:5000，或使用 EM 发酵的植物提取物。
5. 昆虫防治:通过将有益微生物引入种植环境,EM 也可作为生物防治剂抑制和控制害虫。EM 散发的气味可驱赶有害昆虫和/或用作预防性喷雾剂。用 EM 发酵的植物提取液（FPE）或 EM-5 已被用作驱虫剂，并且对瓢虫、蜘蛛、蜻蜓或青蛙无毒(Ncube, 2008)。EM 吸引果蝇，主要影响后来雌性不育的(Ncube, 2008)。通过增加 EM 接种剂中微生物的竞争和拮抗活性，害虫和病原体通过自然的过程得到抑制或控制(Ncube, 2008)。

EM 在蔬菜作物上的使用剂量

根据将废弃物转化主腐殖质的数量和土壤真菌病害的严重程度，EM 菌的使用剂量为：EM-NA 20-40l/ha 或 EM-5 1-3 l/ha（译注：2 个品种浓度差别很大），EM 制剂用犁翻入土壤中。最小春季喷洒剂量为：EM-NA 20l/ha 或 EM-5 1l/ha。这些剂量的目的是对抗土壤病原体和向土壤接种 EM。如果土壤中含有高水平的未分解有机物，则 EM 的剂量再增加 20l。当土壤温度超过 6 摄氏度(通常 3 或 4 月初)时,通过耙耕将 EM 制剂混入土壤这样的处理是最好的。在测试的 EM 制剂之间，active-EM 和 EM-5 与的混合物，在加速土壤中有机质的分解和矿化方面被证明是最有效地(Zydlik Zydlik, 2008)。

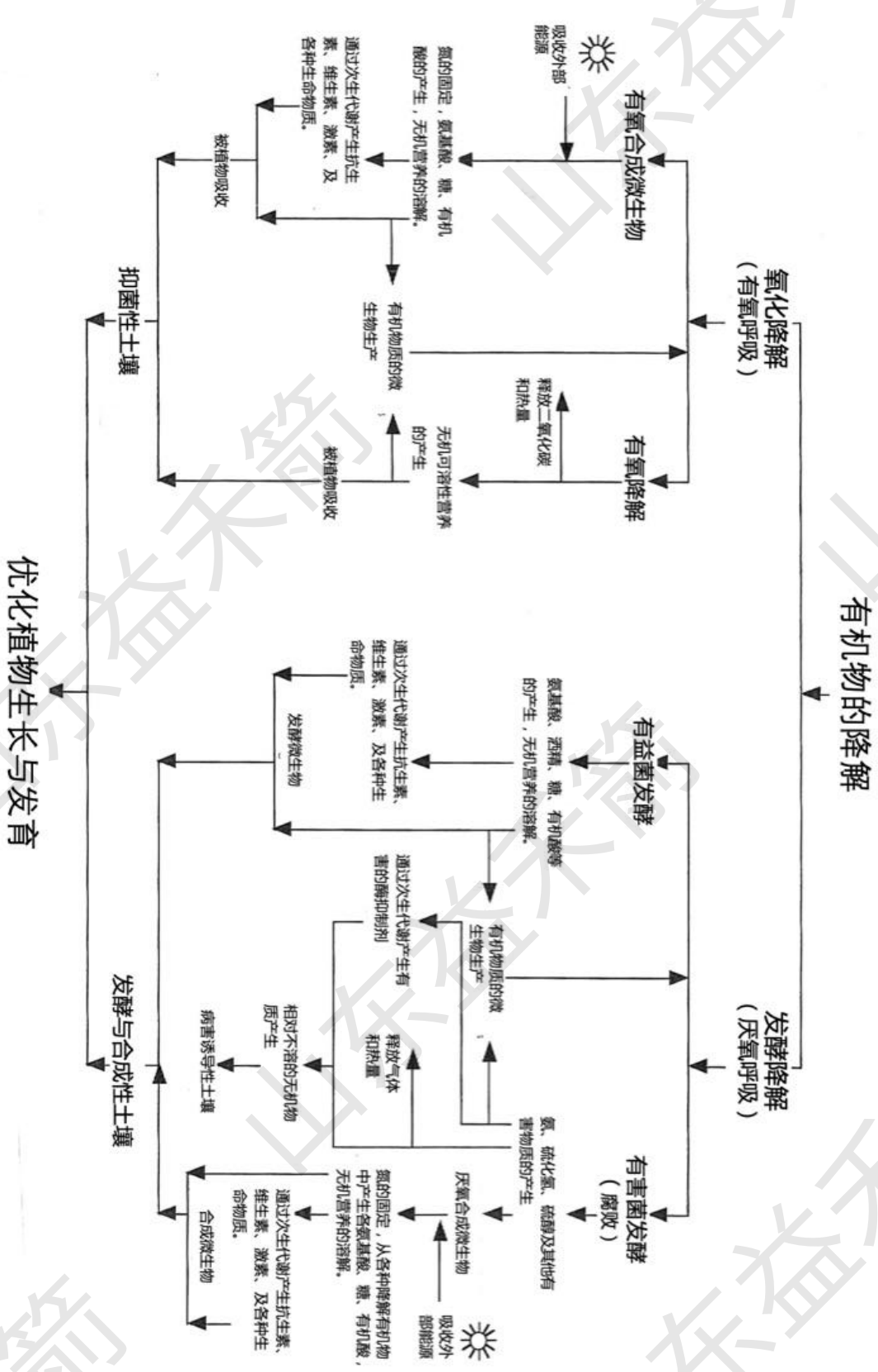

图 1. 土壤微生物对土壤有机质的转化导致了致病、抗病、产酶(发酵)或合成土壤的形成(Higa 和 Parr， 1994 年)。