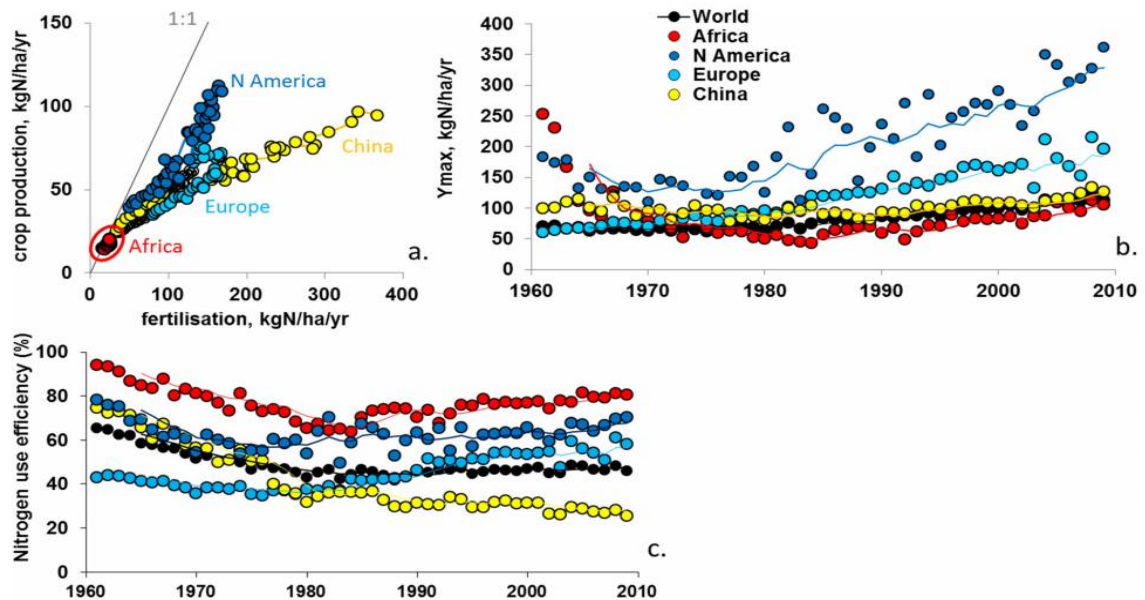


从有效微生物理论谈绿生农法之应用

星野忠义(Tadayoshi Hoshino)、原 EM 中心高级研究员

崔硕、明志科技大学环境与安全卫生工程系

农业的发展为人类的生存基础，为了生产更多的粮食，农民使用大量的肥料。然而最近的研究指出，中国地区的氮肥使用效率却是逐年降低，从 1960 年代的 75%左右，下降到 1975 年到 40%，到了 2010 年甚至只略高于 20%，是全世界恶化最严重的地区；相对的，非洲地区虽然有最高的氮肥使用效率，但是由于投放的肥料少，单位面积的作物收成量却是最低的(Lassaletta et al., 2016)。虽然添加大量的氮肥短时间内仍可稳定的维持粮食的生产，但是过量的使用氮肥不但会造成土壤恶化，使得所生产的作物品质无法获得提升，甚至低的氮肥使用效率将造成环境污染以及气候变迁的持续恶化(Lassaletta et al., 2014; Zhang et al., 2015)，而使得农业发展无法永续。



▲ 全球的肥料使用效率(Lassaletta et al., 2016)

有学者对不同的农业耕种系统进行研究，提出人类还是有机会藉由科技的发展，有效的减少外部资源的输入却仍持续的维持粮食的生产，而关键的技术则在于**土壤微生物**的应用(Muller et al., 2012)。不过，能否藉由植物益生菌长时间的维持正面的效果，目前的科学研究尚未达到共识。

微生物在农业上的应用，主要有以下的益处：(1)某些微生物能提高作物对养分的使用效率；(2)某些微生物能分泌多种植物生长激素，有利作物成长；(3)某些微生物可帮助作物对抗环境逆境；(4)某些微生物能生产天然抗生素，有助于作物对抗病虫害(Garcia-Fraile et al., 2015)。有助于植物生长的微生物在学术上最早称为促进植物生长之根圈微生物(Plant growth-promoting rhizobacteria; PGPR)，不过后来发现有益微生物除了可减少化学肥料与农药的使用，并可修复土壤的结构及促进土壤有机质的生成，同时扮演多种促进作物生长的角色，因此被统称为生物肥料(biofertilizer) (Vessey, 2003)。有益微生物依据是否与作物根部行共生作用，可分为内生菌(endophytes)与在作物根部群聚的游离微生物(Vessey, 2003)。

在生物肥料的学术研究上，不少学者倾向使用筛选过的纯菌(Sethi and Adhikary, 2012; Garcia-Fraile et al., 2015; Kumar et al., 2017)，主要的原因是避免过多的杂菌影响生物肥料的效力，也可确保所使用微生物的活性。生物肥料常见的功能包含有固氮（包含共生性固氮菌、协生性固氮菌、与非共生固氮菌）、溶磷、溶钾、溶硅、分解有机质促进营养传输、吸附或固定植物生长必需元素、促进植物生长根圈菌、生产植物荷尔蒙、帮助植物抵抗环境逆境、分泌抗生素对抗病菌等(郑, 2012; Garcia-Fraile et al., 2015; Kumar et al., 2017)。

虽然使用纯菌可以较为准确地知道生物肥料所可能带来的益处，不过其效果的展现，却仍然受到许多环境因子的影响，比方说土壤的 pH

值不宜太酸或太碱、土壤中需要有适合的湿度、需要有适合微生物生长的载体或养分，需要注意使用有益菌的菌数与活性、避免与农药混合使用等(覆土后可使用农药)、且土壤中不可有过多的养分等(杨，1995)。除此以外，长期使用纯菌可能使生物肥料的效用逐渐的变差，因此有学者提出使用混合菌可能优于使用纯菌的看法(Higa and Parr, 1994)。

日本琉球大学的比嘉照夫(Teruo Higa)教授将土壤微生物分为三大类：正向微生物(positive microorganisms)、负向微生物(negative microorganisms)、以及观望微生物(opportunist microorganisms)，这三类微生物在自然界中会维持着一定比例的平衡(Higa and Parr, 1994)。如果将大量筛选过的纯菌添加到土壤中，初期或许可明显见到有益菌所发挥的正向效果，但是微生物间为了回复自然界的平衡比例，土壤中的负向微生物也将慢慢的演化而抵销正向微生物的作用，使得长期使用筛选过的微生物肥料，可能会出现效果逐渐递减的情形。

由于土壤中观望微生物所占的比例最高，为了让正向微生物能在环境中持续地发挥功效，合理的作法是让正向微生物与观望微生物能彼此的共生合作，进而可抑制负性微生物的活性，此为有效微生物(Effective Microorganisms; EM)的基础理论之一。由于观察到发酵食品较能够长时间保存而不易腐败，再加上实验室与田间实验证实发酵型土壤有助于提高作物的产量，因此在比嘉照夫教授提出的有效微生物理论中，即以乳酸菌与酵母菌作为混合菌液中主要的正向微生物，而光合菌则扮演的主要观望菌角色，虽然光合菌同时具有正向微生物的功能，如：固氮、固碳、溶磷、生成植物生长荷尔蒙、合成营养物质、去除土壤有害物质如硫化氢等功能(郑，2012)。

有文献指出大约有 70%的研究数据显示有效微生物对作物生长有正面的效果，但是仍有 30%的研究认为有效微生物对作物的生长无明显的帮助(Olle and Williams, 2013)，即使比嘉照夫教授也指出有效微生物理论主要的限制是缺乏可重复性与一致性(Higa and Parr, 1994)。然而经过

进一步的探讨，仍然可分析出造成有效微生物没有明显效果的可能原因。

首先，比嘉照夫教授提出有效微生物是以光合菌、乳酸菌、酵母菌、放线菌、丝状菌(曲菌)为主的混合菌群。但是进一步测试，发现菌液中含有这些混合微生物并不一定就具有促进作物生长的功能，其主要的考虑因素除了菌液的浓度与活性外，更重要的是这些微生物菌群是否能有效的协同合作。举例而言，有助于植物生长的光合细菌以红假单胞属(*Rhodospseudomonas*)为主，其适合生长的 pH 值在中性环境，且 pH 值会随着培养时间愈来愈高，因此如何使光合细菌与喜欢酸性环境的乳酸菌、酵母菌有效的协同合作，为使用混合微生物菌液所需要考虑的因素之一。

其次，比嘉照夫教授根据主要土壤微生物的特性，将土壤分为腐败型(disease-induced soil)、净菌型(disease-suppressive soils)、发酵型(zymogenic soils)、以及综合型(synthetic soils)等四大类土壤(Higa and Parr, 1994)。**腐败型土壤**为常见的惯行农法，藉由大量使用化肥、农药，才能维持田间的收成，由于破坏土壤的有机质，所以腐败型土壤的肥料使用效率会逐渐的降低；**净菌型土壤**如森林的土壤，或是高温的好氧堆肥，土壤的微生物以放射菌为主，净菌型的土壤对致病菌有较佳的抵抗力，但是农作物的收成通常会较惯行农法差；**发酵型土壤**的微生物以乳酸菌、酵母菌为主，能维持土壤的高产量，若是将有机质肥料添加在土壤中，土壤不易发臭，但是厌氧发酵容易产生硫化氢、硫醇等有害还原态物质；而**综合型土壤**则是在厌氧发酵过程中，藉由添加光合菌可进行对有害还原物质的代谢，并产生有利作物生长的二次代谢产物。如果土壤长时间的使用化肥与农药，土壤微生物将以腐败型微生物为主，此时若添加有效微生物的用量与浓度不足以使有益菌占主导地位，也就无法明显观察到有利于作物生长的情形。

第三、生物肥料虽然可以帮助作物有效吸收土壤中的肥力，然而微

生物主要是扮演催化剂的角色，协助将营养转化传输，但往往无法产生足够的养分供作物生长。因此，常常可以观察到在田间使用生物肥料的前一、两年，由于微生物能有效的释放累积在土壤中的养分，而使得作物生长良好，但是如果不能持续补充足够的肥份，则作物反而容易在后期出现养分不足且生长不佳的情形。因此生物肥料通常需要搭配有机质肥料或是化学肥料一起使用，不过由于大量的使用化肥，一来容易使土壤中的腐败菌占优势，二来化学肥料的肥力释放速率较快，所以为了让生物肥料的使用能够达到持续的效果，通常还是会建议搭配有机质肥料较为恰当。不过所使用的有机质肥料，仍然必须注意其品质，否则搭配生物肥料使用，有可能还是会达不到预期的效果。比如说如果有机肥料是以厩肥或厨余当作起始原料，但是并未经充分的好氧翻堆发酵，无法利用堆肥过程所产生的高温将腐败菌破画，则所使用的有机肥可能还是以腐败菌为主，而容易造成栽种作物病虫害的问题更为严重。为了避免好氧堆肥腐熟度不足的问题，比嘉照夫教授参考了民间制作不需要翻堆的有机肥堆置方法，将有效微生物与有机资材一起厌氧发酵，所制备的生物肥料称为博卡西(bokashi)。由于博卡西中的微生物菌相是以有效微生物为主，因此将博卡西肥料施用在田间，更容易让作物吸收使用。

第四、使用有效微生物有使用上需要留意的技巧，例如有效微生物应避免与农药一起使用，以避免农药影响微生物的活性。此外，如果使用的是博卡西肥料，由于博卡西是厌氧发酵的产品，施用在田间接触到空气，容易再次发酵放热而影响植物根部的生长，所以需要等到施肥几天后，才开始进行作物的拔种或移植。虽然使用博卡西肥料在操作上需要等待较长的时间，但是由于施肥时有助于杂草种子的萌发或破坏，所以在播种或移植作物后，能减少杂草的生长竞争，而有利于有机的耕种方式。

虽然市面上有许多标示为有效微生物的产品，但是菌液的品质却参差不齐。旭惠生物科技公司的星野忠义先生在有效微生物的理论基础

上，结合了土壤腐植酸的生成理论，于台湾筛选了本土的乳酸菌与酵母菌，以及分开培养了光合成菌，并使用特别的配方，使得所培育的不同有益菌种在混合后可以有效的共生合作。为了区别市售的有效微生物，星野先生将台湾培育的菌种称为绿生菌，而所开发的农业技术，则称为绿生农法。

除了培育特殊的菌种外，星野先生与日本 HADO 能量学大师山梨皓利博士合作，开发了特殊的绿生博卡西配方。不同于一般肥料的传统观念，只是偏重于提供高比例的巨量营养素(氮、磷、钾)，绿生博卡西的目的不仅需要提供作物均衡的营养，同时也要能促进绿生菌的活性，因为绿生农法相信作物的健康不单单仅是依靠外在营养源的多寡，同时也须要提升作物自身吸收转化营养源的能力。此外，根据土壤腐植酸生成理论，绿生博卡西强调有机硅对作物生长的重要性，此点与生物动力学农法 (biodynamic agriculture) 观念相似。由于观察到竹子是自然界中生长最为快速的植物，因此绿生农法建议在取得方便的情况下，尽可能的使用竹粉使其与其它博卡西成分共同发酵。而大蒜具有天然的驱虫效果，所以绿生博卡西中也会添加发酵过的大蒜精，作为绿生博卡西中的天然驱虫成分。本着遵循着自然的法则，绿生博卡西已被证实为具有多种功能的优质生物肥料。

除了绿生博卡西的使用外，绿生农法也强调土壤有机质的重要性，而建议可以利用绿生菌将不同的农业废弃物或厨余制成厌氧堆肥。相较于好氧堆肥，厌氧堆肥具有操作容易、简省能源、以及保存有机资材中养分等优点。但是由于厌氧堆肥无法借着好氧堆肥过程中的高温消除资材中的有害菌，因此需要注意有机资材的来源与品质。利用经绿生菌发酵过的饲料养殖禽畜，有助于促进养殖生物的肠胃道健康，提高饲料利用率，并可改善所排放厩肥的恶臭，而适合作为厌氧堆肥的原料。除了直接利用绿生菌将有机农业废弃物共发酵以制备成绿生堆肥外，也可以将发酵后的农业废弃物，用于养殖黑水虻或蚯蚓以生产高蛋白饲料，而所产生的排泄物可用做土壤改良剂，促进作物的生长。利用

绿生资材所种植出的作物具有生长快速、植株强健，保存期限长、以及具有特殊口感等特点。

秉持着让好菌与观望菌协同作用，即可有效抑制环境中坏菌的活性。绿生农法不仅在乎有益菌的选择使用，同时也理解品质优良的肥料对作物生长的重要性，而开发特殊的博卡西配方。利用绿生资材用于农作物的栽种，由于可帮助植株强健的生长，而非常适合推广用于有机农业的栽种方式，且实验结果证实，作物的收成量不输给使用化肥的收成量。此外，经 HADO 能量仪测试，长时间搭配绿生博卡西资材所栽种出的作物，作物品质有助于提升人体的免疫力，而具有食疗即药疗的功效。而使用绿生的厌氧发酵堆肥方式，能有效的将农业废弃物转制成高品质的有机肥料与饲料，若能将利用废弃物所生产的绿生堆肥再用于农业系统，可达到资源永续的目的，对于循环经济的展现，将具有示范性的效果。

参考文献

Garcia-Fraile, P., Menéndez, E., Rivas, R. 2015. Role of bacteria biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioeng.* 2(3):183-205.

Kumar, R., Kumawat, N., Sahu, Y.K. 2017. Role of biofertilizer in agriculture. *Popular Kheti* 5(4):63-66.

Higa, T., Parr, J.F. 1994. *Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment.* International Nature Farming Research Center, Atami, Japan.

Lassaletta, L., Billen, G., Garnier, J., Bouwman, L., Velazquez, E., Muller, M.N.D., Gerber, J.S. 2016. Nitrogen use in the global food system: past trends

and future trajectories of agronomic performance, pollution, trade, and dietary demand. *Environ. Res. Lett.* 11:1-14.

Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., Foley, J.A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490:254-257.

Olle, C., Williams, Y. 2013. Effective microorganisms and their influence on vegetable production – a review. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 88(4):380-386.

Sethi, S.K., Adhikary, S.P. 2012. Cost effective pilot scale production of biofertilizer using *Rhizobium* and *Azotobacter*. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 13490–13493.

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and soil* 255(2):271.

Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P., Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528:51-59.

杨秋忠 1995 微生物肥料的应用。花莲区农业专训 12:7-8。

郑启德 2012 台大农业推广通讯双月刊 96: