

水稻土的微生物学特性

(II) 水稻土微生物区系及其与土壤肥力的关系

郝文英 曹正邦 游長芬*

(中国科学院土壤研究所)

微生物和高等植物一样,它們的生命活动与其生存环境有密切联系。土壤肥力因素非但直接影响作物产量,同时也綜合地反映在土壤微生物的組成及其生理作用上。前人資料指出,只有在含氮有机物丰富的土壤中才有旺盛的氨化作用^[1],才具备硝化細菌和纖維分解菌的存活条件。在通气良好、富含水溶性有机质的土壤中才有毛霉菌目真菌出現^[8,9],以及土壤水分是固氮菌生存的限制因子之一等等^[10]。E. H. 米苏斯金(Мишустин)等的工作又指出,甚至同一种微生物在不同的生态条件下也会发生显著的变异^[5]。

一定的土壤条件可以促进或抑制某些微生物发育,而微生物对环境条件也有相当的适应性和选择作用。因此,各种土壤均具有不同的微生物区系。微生物的組成以及各类微生物在土壤中的密度及其生理作用等能够綜合地反映土壤状况,直接或間接地說明土壤肥力水平和土壤有机质矿化速度。因而,利用微生物作为土壤肥力指标是有一定的科学意义的。而且,查明各种土壤中微生物区系組成及其生化作用与土壤肥力的关系,及农业措施对各种微生物的影响,是有助于达到調节土壤条件控制微生物活动以利农业生产的目的。

一、水稻土微生物区系特征

水稻栽培过程中,有較长的灌水时期,在淹水情况下水稻土氧的含量极低,氧化还原势下降,又因受水的影响土温也較低。因此,水稻土中有机质的分解比較緩慢,再加上連年施肥的关系在水稻土中积存着較多的易分解而又未被完全分解的有机物。这些物质为多数微生物发育提供了营养条件。因而在水稻土中微生物总数較相应的旱地或荒地均多。旱地及荒地表层土壤中有机质好气性分解較为強烈,經分解余留下来的有机物质多半是較难分解部分,芽孢杆菌及放綫菌对于有机质分解具有較强的能力,因此在荒地及旱地土壤中它們的数量相对較多^[7]。

在水稻土脱沼泽化过程中(例如江苏里下河地区由一熟漚田改为稻麦两熟田的土壤)由于通气条件改善,微生物得以大量繁殖,各类微生物的数量均随着改旱时间的增加而漸增。也正因为土壤条件的改变,促进了微生物的活动而导致土壤中強烈的有机质矿质化过程。与上述結果相同,在矿质化过程进行強烈的土壤中芽孢杆菌和放綫菌数量就愈多,

* 本所束中立、姚德琴、許月蓉、施亚琴、陈寬楼、薛志英及唐志蓮等同志参加分析及菌种鑑定工作。部分真菌菌种由北京中国科学院微生物研究所真菌室协助定名,均此致謝。

表 1 不同土壤在不同耕作情况下土壤微生物的数量

采土地点 及土壤	耕作情况	微生物总数 (万/1克干土)	細菌 (%)	各类細菌占細菌总数%		放綫菌 (%)	真 菌 (%)
				无芽孢杆菌	芽孢杆菌		
江苏南京(由 下蜀系黄土发 育的黄褐土)	荒地	579	47.8	—	—	45.4	2.4
	旱地	1,167	88.0	14.9	81.9	11.0	1.0
	水田	1,456	88.0	24.7	67.7	13.6	1.1
江西进賢(由 紅色粘土发育 的紅壤)	荒地	1,654	93.2	39.0	61.0	3.2	0.7
	旱地	1,927	96.1	42.0	58.0	2.3	0.6
	水田	2,559	97.0	41.7	53.4	2.5	0.4
广东湛江(由 玄武岩发育的 砖紅壤)	荒地	383	80.9	—	—	16.9	2.1
	旱地	211	91.7	—	—	4.8	3.7
	水田	278	92.4	—	—	5.2	2.4

表 2 江苏里下河地区溇田及改旱土壤有机質含量与微生物数量
(万/1克有机質)

土 壤	耕作年限	利用情况	有机質 (%)	微生物 总数	細菌数量	占細菌总数%		放綫菌 数量	真菌数量
						无芽孢 杆菌	芽孢杆菌		
荒草滩*	0	未 耕	12.37	8,036	6,590	70	30	1,330	6.5
黑洪土*	2—3	一熟水田	8.14	35,845	33,350	93	7	2,370	45.0
黑洪土	10	一熟水田	5.96	40,088	38,050	46	54	2,750	37.0
黄粘土*	40	稻麦两熟田	2.31	42,323	39,300	31	30	2,900	27.0
黑烧土*	100年以上	稻麦两熟田	2.88	147,015	143,000	20	80	3,650	135.0

* 荒草滩是湖边的沼泽土。黑洪土是由沼泽土发育的潛育性水稻土。黄粘土和黑烧土是由潛育性水稻土发育成的腐育性水稻土。

而无芽孢細菌則逐年相对減少。

除各类微生物的相对数量外,水稻土在人为耕作影响下,其中微生物的組成也发生显著变化。芽孢杆菌中 *Bac. subtilis-mesentericus* 随水稻栽培时间的增加显著減少,而 *Bac. idosus* 及 *Bac. megatherium* 則逐漸增加, *Bac. mycoides* 及 *Bac. cereus* 在水稻土中很少出現(表 3)。

表 3 不同熟化程度水稻土中芽孢杆菌組成的变化(%)*

土 壤	芽孢杆菌总数 (千/1克干土)	<i>Bac. idosus</i>	<i>Bac. mega- therium</i>	<i>Bac. subtilis- mesentericus</i>	<i>Bac. mycoides</i>	<i>Bac. cereus</i>	其 他
旱 地	81	17.3	21.0	55.5	0	0	7
新稻田	40	22.5	25.0	52.5	0	0	0
老稻田	32	49.6	22.5	15.9	1.9	0.8	9.3

* 江西新建第四紀紅色粘土上发育的紅壤性水稻土, 1959 年分析資料。

在各地区水稻土中 *Bac. idosus* 及 *Bac. megatherium* 的数量一般地占芽孢杆菌总数的 20—50%, *Bac. subtilis-mesentericus* 在多数标本中則仅占 10% 以下, 而 *Bac. mycoides* 及 *Bac. cereus* 出現机率很少, 数量也少, 均占 5% 以下, 此与陈华癸等的結果^[2]略有不同, 可能是因为所采用的方法不一或由于当地土壤条件上的差別所致。

根据芽孢杆菌生理特性的研究结果^[4], *Bac. mycoides* 及 *Bac. cereus* 不善于利用矿质态氮,而以有机含氮物为氮素营养, *Bac. idosus*、*Bac. megatherium* 及 *Bac. subtilis-mesentericus* 等则能很好地利用铵盐和硝酸盐,由此也反映出在水稻土中矿质态氮素含量比旱地或荒地较高。

在真菌组成上绝大多数水稻土均具有共同的特性。水稻土中除具有旱地土壤中常见的青霉、曲霉和镰刀菌外^[6], 还有一般土壤中所罕见的 *Tuberculina*、*Emericellopsis* 及 *Sporormia*(?) 等特殊种类(表 4)。

表 4 各地水稻土、旱地及荒地中各属真菌占真菌总数%
(%平均值)

菌名	地区			地区			地区		
	耕作情况			耕作情况			耕作情况		
	荒地	旱地	水田	荒地	旱地	水田	荒地	旱地	水田
<i>Aspergillus</i>	30.1	35.5	2.5	60.8	46.5	8.2	38.2	35.4	18.3
<i>Penicillium</i>	15.3	41.8	18.4	26.0	40.0	20.5	9.9	35.4	16.5
<i>Fusarium</i>	3.6	3.3	5.2	0	1.5	5.1	0	0	0
<i>Trichoderma</i>	3.9	1.3	4.5	0	0	0	0	6.2	5.4
<i>Mucorales</i>	1.3	0.4	0.8	0	+	0	0	1.6	0.9
<i>Coniothyrium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	6.0
<i>Mycelia sterilia</i>	14.5	0.4	16.2	0	0	4.1	35.6	6.2	0
<i>Chalara</i>	0	0	0	0	4.3	+	0	0	0
<i>Tuberculina</i>	0	0	17.6	+	0	19.8	0	0	0
* <i>Emericellopsis</i>	0	0	(5.51)	0	+	(5.4)	0	0	(58.5)
<i>Sporormia</i> (?)	0	0	5.0	0	0	3.5	0	0	(66.0)
									50.7

* 江苏南京为死、黄、黑馬肝土(发育于下蜀黄土性母质的潜育性水稻土)中 *Emericellopsis* 的平均值,江西仅在黑畝田中发现,广东玄武岩母质上发育的水稻土中未发现,但在珠江冲积的黃泥田积水田中該菌数量均占真菌总数半数以上。

Tuberculina 在水旱輪作的水稻土中分布极为普遍,在东北沈阳辽河冲积物上发育的水稻土,江苏丘陵地区的各种馬肝土及紅沙土,江苏及湖北长江冲积物上发育的馬肝土、白善土(潜育性水稻土),江西紅色粘土、花崗岩冲积物及贛江冲积物上发育的水稻土中均有該菌出現,而在广东三季稻地区水稻土中出現机率很少。*Emericellopsis* 属真菌則多分布于地势低洼长期漬水或地下水位較高的土壤中,如江苏常熟和无錫一带的豎头烏山土(发育于湖积物上的潜育性水稻土)、灰炉底、狗皮青泥土(两者都为潜育性水稻土)等,南京附近的死馬肝土,里下河地区漚田中,江西黑畝田,广东的积水田中等。在长江新冲积土中也較为普遍。

从上述真菌在低氧条件下的生长势看来,大多数真菌当空气中氧含量仅为 1% 时均能生长,但 *Sporormia*(?) 及 *Emericellopsis* 則对低氧环境較之其他属真菌有較大的适应性(表 5)。它們在漬水土壤中出現机率較多,可能是与其耐低氧的能力有一定关系。

在放綫菌組成上水稻土也与旱地不同,水稻土中最常出現的是白色及黄色放綫菌。

此外,水稻土中固氮菌及硝化細菌的数量也不少(表 6),由此看来,它們的存活与氧的分压的直接关系很小。

表5 水稻土中主要真菌在低氧环境中的生長勢

属 名	菌 落 直 径 (厘 米)		
	对 照	含 氧 量 1 %	差 值
<i>Emericellopsis</i>	1.21	0.72	0.49
<i>Sporormia</i> (?)	0.80	0.70	0.10
<i>Tuberculina</i>	2.56	1.39	1.17
<i>Coniothyrium</i>	2.40	1.28	1.12
<i>Penicillium</i>	2.54	1.29	1.25

表6 各地土壤中硝化細菌及固氮菌的数量
(硝化菌万/1克干土,固氮菌个/1克干土)

土 壤	江苏南京 黄褐土		江西进贤 紅壤		广东湛江 砖紅壤	
	硝化菌	固氮菌	硝化菌	固氮菌	硝化菌	固氮菌
荒 地	1.2	0	0.04	0	4.7	0
旱 地	6.3	0	0.3	2.8	16.7	357
水 田	14.8	15600	1.5	190.0	20.9	731

从以上資料看来,水稻土即或是在漬水情况下氧的含量虽然很低,但对于一般微生物来说似乎并不足以致死,而且較多的可利用态有机物质和矿质养分以及充足的水分条件均有利于微生物的发育。因而水稻土中微生物的数量一般均不低于旱地。由于較长时间的漬水,水稻土中有机质分解进行得較为微弱,由水稻土芽孢杆菌中以 *Bac. megatherium* 和 *Bac. idosus* 为主,而 *Bac. subtilis-mesentericus*、*Bac. mycoides* 和 *Bac. cereus* 罕见的結果看来,芽孢杆菌的組成与土壤有机质的分解似乎有明显的关系。在真菌区系方面,虽然水稻土中也拥有大量旱地土壤中占优势的青霉、麴霉等菌,然而在特殊的耕作条件下发育着能适应低氧环境的 *Emericellopsis* 及 *Sporormia* (?) 等菌。由此可以看出,水稻土微生物区系具有一般肥沃耕作土壤的特点,同时也含有在水耕条件下发育的特殊类羣。微生物区系在地区上的差异虽不及各地理带自然土类間明显,但从各类微生物的相对数量以及麴霉、镰刀霉等菌的南北分布上看来,生态地理因子对耕作土壤微生物区系的影响似不可完全忽視。

二、微生物区系与土壤肥力

水稻土的微生物区系虽具一定的共性,但因施肥、灌溉、耕作方法及其他农业措施各异,在同地区水稻土中也会造成土壤熟化程度、耕作性能及其他肥力因素上的差别,使土壤微生物受肥力因素的影响产生数量、种类、生理作用及生化强度上不等的现象。大量标本的分析結果表明,各地水稻土中微生物数量及生化强度均与肥力水平呈正相关,但是在高肥与低肥的水稻土中,微生物数量的比值和强度比值亦有不符的情况,前文已指出^[1]这种现象可能与微生物区系間的差异和各种微生物生理作用的强弱有密切关系。

根据各組青霉菌生理作用强度的初步測定表明,不对称組青霉菌的氮化作用及纖維分解强度均較单輪生組为大(表7),而不对称組青霉菌在肥力高的土壤中数量亦較多(表8)。

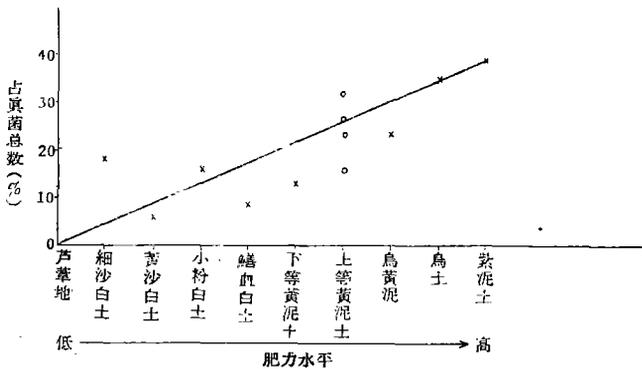
表 7 各組青霉菌的生理作用强度

	培养基	作用强度	占供試菌株数%	
			不对称組	单輪生組
氨化作用	蛋白胨培养液	强	26.7	9.1
		中	26.7	0
		弱	13.4	27.3
		无	33.4	63.5
	尿素培养液	强	56.7	18.2
		中	16.7	36.4
		弱	20.0	27.3
		无	6.7	18.2
纖維分解作用	赫欽松琼脂	菌落直径(厘米)	3.44	2.15

从青霉菌属中各个組在各种水稻土中的相对数量看来，它們的分布与土壤肥力之高低似有明显的相关性。在荒地及肥力較低的耕作土中青霉菌单輪生組 (Monoverticillata) 較多，随着土壤肥力增高而逐漸减少或完全消失，而不对称組 (Asymmetrica) 則增加。(双輪对称組的作用强度和数量均介于二者之間，且与土壤肥力間沒有直接关系，故表中均未列入)

若以各地区土壤中各組青霉菌相对数量的平均值来看：无錫地区水稻土中不对称組青霉菌占 68.3%，江西第四紀紅色粘土母質上发育的水稻土中为 54.2%，花岗岩冲积物上发育的水稻土为 48.3%，广东玄武岩母質上发育的水稻土为 28.2%，而各地区冲积性水稻土則不論其相对肥力如何，不对称組青霉菌均占青霉菌总数的 100%。

除青霉菌外，从水稻土中普遍存在的 *Tuberculina* 属真菌在各种水稻土中的相对数量看来，似乎也有与肥力高低呈正相关的趋势。

图 1 *Tuberculina* 属真菌的相对数量与土壤肥力的关系

在細菌方面，我們还未能証明区系組成与土壤肥力的直接关系。前文^[1]指出，用牛肉膏蛋白胨琼脂測得的細菌数量和土壤的氨化强度均与土壤肥力高低呈正相关；然而它們在高肥与低肥土壤中的比值却并不相当，据初步試驗看来，这种現象可能与各土壤中具氨

表 8 肥力水平不同的土壤中各組青霉菌的相对数量(%)

地 点	土 名	母 质	耕作及肥力状况	各組青霉菌占青霉菌总数%	
				单輪生組	不对称組
广东湛江	赤土田	玄武岩	荒地 肥力低	100	0
”	半赤土	”	旱地 ↓	100	0
”	赤土	”	水田 ↓	0	0
”	半采土	”	” ↓	0	40
”	紅采土	”	” 高	0	100
广东南海	崗地土	珠江冲积物	荒地 低	0	100
”	积水田	”	水田 ↓	0	100
”	泥骨田	”	” ↓	0	100
”	泥肉田	”	” 高	0	100
江西南昌	紅壤	第四紀紅色粘土	荒地 低	24	76
”	紅壤	”	旱地 ↓	100	0
”	結畝田	”	水田 ↓	54	23
”	紅土田	”	” ↓	0	57
”	黄畝田	”	” ↓	54	47
”	黄畝田	”	” ↓	32	68
”	黑畝田	”	” ↓	25	63
”	潮泥田	”	” 高	0	100
江苏无錫	黄沙白土	太湖湖积物	水田 低	60	20
”	細沙白土	”	” ↓	7	72
”	小粉白土	”	” ↓	0	56
”	鱗血白土	”	” ↓	0	91
”	黄泥土	”	” ↓	0	92
”	紫泥土	”	” 高	0	100
江苏江阴	死黄泥	长江冲积物	水田 低	0	33
”	沙土	”	” ↓	0	100
”	沙夹黄	”	” ↓	0	100
”	沙夹黄	”	” ↓	0	100
”	黄夹沙	”	” ↓	0	100
”	黄夹沙	”	” ↓	0	100
”	小粉白土	”	” ↓	0	100
”	黄泥白土	”	” 高	0	100

化作用的細菌百分率有密切关系(表 9)。

我們认为, 由于微生物区系組成不同而引起的生理作用类型和作用強度上的差异是导致土壤中物質轉化速度不等的主要原因之一。

水稻土中具有反硝化作用的細菌菌株数虽較具氨化作用者少, 但一般也占細菌总数的 50—70%, 它們的多寡与土壤肥力似乎并无明显的关系。在純培养中大多数的反硝化細菌使硝酸还原成亚硝酸或氨, 而轉化为游离态氮导致氮素損耗的菌株只是极个别的。看来, 土壤中具反硝化作用的細菌在氮素轉化中并不都是有利的。

水稻土中具有矿化有机磷化物的細菌数量不多, 它們多分布于潛在肥力較高的土壤中, 如江苏里下河地区漚田、常熟一带的烏山土等, 其他如无錫黄泥土、南京的馬肝土中亦

表 9 土壤氮化强度与氮化菌率的关系

标本号	地点	土名	肥力水平	高肥与低肥土壤的比较					
				氮化菌数量		氮化强度		氮化菌率	
				万/1克 干土	比值	NH ₄ -N毫克/ 百克干土/1天	比值	%	比值
25-1	江西进贤	青格田	高	1130	1.02	8.14	1.08	99	1.10
23-1	”	黄格田	低	1110		7.56		90	
30-1	江西资溪	乌沙土	高	775	2.77	14.98	1.29	100	1.04
31-1	”	白沙土	低	280		11.58		97	
34-1	江苏南京	马肝土	高	1310	0.93	7.52	1.41	87	1.36
35-1	”	马肝土	低	1410		5.33		64	
116	”	青马肝	高	1909	1.58	37.00	1.48	87	1.15
118	”	黄马肝	低	1210		24.94		76	

有,红壤性水稻土及苏北新稻区几乎完全未见到这类细菌。稻田中的这类细菌多属 *Bac. megatherium* 及 *Bac. mycoides*, 其次为无芽孢短杆菌,大杆菌和球菌为数极少。

放线菌在某些土类中也反映出肥力上的差异,例如,在江西红色粘土母质上发育的肥力较高的水稻土中灰色放线菌较多,而粉红色放线菌则随着肥力的增高有减少趋势。

此外,纤维分解菌的组成与土壤肥力似乎也有一定关系,凡是肥力高的水稻土中,分解纤维素的微生物多以粘细菌为主,而肥力较差的土壤中则以暗色真菌和放线菌较多。

根据上述结果,同一类型的水稻土受不同的耕作施肥等措施的长期作用造成肥力上的差异,在肥力因素的综合作用下可能促使土壤中微生物区系发生改组,从而直接影响土壤中物质转化的速度。看来,通过一定的措施改变微生物组成及活性以调节土壤养分的转化是有可能的。

摘 要

1. 水稻土中各类微生物数量比例和区系组成与旱地或荒地土壤有较明显的区别。芽孢杆菌中以 *Bac. idosus* 及 *Bac. megatherium* 为主,而 *Bac. subtilis-mesentericus* 等较少,此与水稻土的有机质状态似有一定关系。真菌中除一般土壤中均有的青霉、链霉等菌外,常见的有 *Tuberculina*、*Emericellopsis* 及 *Sporormia*(?) 等特殊种类,它们对低氧环境似有较大的适应性。

2. 肥沃水稻土中除微生物数量和生化强度较高外,微生物区系与土壤肥力水平似有一定的相关性。肥力高的土壤中不对称组青霉菌含量较高,该组青霉菌的氮化作用及分解纤维素的能力均较强;同时,在肥力高的土壤中具有氮化能力的细菌数量也较肥力低者为多。

3. 初步结果指出,提高土壤肥力的人为措施具有改变微生物区系的可能性,然而生态地理因素对耕作土壤微生物区系仍有一定的限制作用。

参 考 文 献

- [1] 曹正邦等:水稻土的微生物学特性(I) 华中华东主要类型水稻土中微生物数量及其活动性的研究. 土壤学报, 1959, 第7卷3—4期, 218—226页.
- [2] 陈华癸:1957. 水稻田土壤中占优势的微生物种类. 土壤学报, 第5卷第1期, 111—115页.
- [3] 中国科学院林业土壤所微生物室主编:土壤微生物分析方法手册. 87页, 科学出版社, 1960年.
- [4] Мишустин, Е. Н.: Микроорганизмы и плодородия почвы. АН СССР Москва, 1956, с. 246.
- [5] Мишустин, Е. Н.: Эколого-географическая изменчивость по почвенным бактериям. АН СССР Москва, 1947, с. 325.
- [6] Мишустин, Е. Н., Пушкинская, О. Н.: Эколого-географические закономерности в распространении почвенных микроскопических грибов. Известия АН СССР, Серия биологическая 1960, № 5, 641—660.
- [7] Федоров, М. В.: Почвенная микробиология. 1954, Советская наука, Москва.
- [8] Martin, T. L., Anderson, D. A. and Rex Goates: Influence of the Chemical composition of organic matter on the development of mold flora in soil. *Soil Sci.* Vol. 54:297—303, 1942.
- [9] Jenson, H. L.: The fungus flora of the soil. *Soil Sci.* Vol. 31:123—158, 1931.
- [10] Мишустин, Е. Н.: Эколого-географическое распространение азотобактера в почвах СССР. Тр. ин-та Микробиология III, 81, 1954.

THE MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF PADDY SOILS

(II) THE RELATIONSHIP BETWEEN MICROFLORA AND SOIL FERTILITY

HEN WEN-YIN, CHAU CHENG-PONG AND YOU CHONG-FAN

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

(ABSTRACT)

1. The relative number of microorganisms and microflora in paddy soils is quite different from that in cultivated upland soils and idle field. Among the sporogenous bacteria, *Bac. idosus* and *Bac. megatherium* are the predominant species, while *Bac. subtilis-mesentericus* is comparably less.

2. *Penicillium*, *Aspergillus* and other genera of fungi are usually present in paddy soils, and *Tuberculina*, *Emericellopsis* and *Sporormia* (?) are the special genera also frequently occurred. Perhaps these fungi have a better adapt ability to live under a less aerobic condition.

3. The composition of soil microflora varies according to soil fertility. Fertile soils have a relatively high percentage of *Penicillium*—*Asymmetrica*, and the rate of ammonification and cellulose decomposition are much intense than the *Monovercillata* series.

4. The distribution and activity of ammonifying bacteria in paddy soils have the same tendency as fungi.

5. From the above results it was found that although ecological factors play an important role in soil microflora, improving soil fertility through proper management, yet enable to alter their composition.