

土壤微生物研究工作的回顾*

——为庆祝建国40周年而作

郝文英

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文对中国科学院南京土壤研究所土壤微生物研究室在土壤微生物生态及微生物在土壤物质转化中的作用方面的研究成果进行了概括性的总结。

如果将根瘤菌共生固氮作用和自生固氮菌的发现,以及土壤硝化作用和硝化微生物的研究报告的发表作为土壤微生物学诞生的标志的话,那么,土壤微生物学迄今已有100多年的历史。但是,国内把土壤微生物学作为土壤学科的一个独立的分支学科则是建国以后的事情。30多年来,我所土壤微生物研究工作主要围绕土壤微生物的分布及其生存条件;微生物在土壤物质转化中的作用及其与植物生长和环境保护的关系等问题进行的。大致可以概括为:从广域分布的微生物向微域(根际)内微生物研究;从微生物群体生态向个体生态研究;从微生物作用过程向作用机理研究的方向发展的。

一、土壤微生物生态研究

(一)土壤微生物生态分布

建国初期,我所土壤微生物研究着重于土壤微生物的数量、种类及其分布。由于土壤是一个不均匀的自然体,为各种微生物提供了生存条件,但微生物在土壤中的消长则受各种生态因子影响,因此,不同的土壤条件下微生物数量组成不尽相同。50年代,苏联学者根据不同地带土壤中芽孢杆菌分布的资料,提出了土壤微生物分布具有地带性规律的观点。我国地域广阔,有从寒温带到热带亚热带地区的各种土壤类型,因而对我国主要类型土壤中微生物的分布及其规律性进行了研究。结果表明,土壤中绝大多数是腐生性微生物——依赖于土壤中的有机物质作为能源和营养物质的微生物。它们在土壤中的分布状况在很大程度上取决于植被及其残落物,而土壤有机质含量、土壤酸度、湿度及通气条件等对微生物分布也有直接影响。从微生物总数来看,以黑土、草甸土、磷质石灰土等有机质含量高的土中较多,在干旱、半干旱地区的栗钙土、棕钙土及红壤、砖红壤等土中较少;以林地中较多,草地中较少;耕种土壤中较多,荒地土壤中较少;中性或微碱性土壤中较多,酸性土中较少;从利用方式来看,以水田中较多,旱地中较少,荒地中更少。从种类分布和区系组成来看,虽然不同生

* 李良谟、顾宗霖两同志为本文提供了资料,谨表谢意。

境下各种微生物的相对数量不完全相同,但绝大多数种类的微生物是广域分布的[1, 2, 3]。例如,在地势低洼的渍水型水稻土中具特征性的翅孢壳霉(*Emericellopsis*)、小威氏曲霉(*Westerdykella*)、蠕形青霉(*Penicillium vermiculatum*)及坚硬芽孢杆菌(*Bacillus firmus*)等,从东北渍水型水稻土、苏北沔田及苏南潜育性水稻土到华南红树林沼泽、西沙群岛磷质石灰土及塘泥中都有出现,有的甚至出现机率很高[1,4,5,6,7]而在苏北地区的滨海盐土中,拮抗性放线菌的数量却因含盐量的增加而下降,优势种群的出现机率也各异[8]。这些结果表明,微生物的分布与土壤类型或土壤地带性之间并无直接相关,也就是说,在不同地区只要具有相同的生态条件都可能出现同样的微生物。此项研究为了解我国主要类型土壤中微生物分布提供了大量资料,填补了国内空白。

(二)对某些微生物个体生态的研究

1. 根瘤菌。根瘤菌与豆科植物的共生固氮作用是生物固氮作用中固氮效率最高的一类,其固氮量约占地球上每年由生物固定氮素的二分之一。为提高豆科绿肥的产量和质量提供有效根瘤菌菌种和创造良好的生态条件,我们除对豌豆族和三叶草族根瘤菌进行筛选外[9, 10],还针对根瘤菌应用中的问题开展了生态学研究。

(1) 根瘤菌对在同一互接种族或同属寄主植物有一定的专一性,而且在结瘤和固氮效益上也有所表现。我们用根瘤菌Wu95和T36分别接种绛三叶草和白三叶草,增产效率大不相同。用耐药性标记的豌豆根瘤菌S-7130与具菌落特征的6034混合接种的试验也表明,它们在不同品种的苕子、箭舌豌豆和豌豆上的结瘤率很不一样,说明不同菌系根瘤菌对寄主入侵结瘤有明显的竞争性。我们根据根瘤菌对寄主的专一性,竞争结瘤能力,以及固氮效力等先后筛选了苕子和三叶草根瘤,并在田间获得一定增产效果[11, 12]。

(2) 在多年种植豆科植物的土壤中接种根瘤菌,常因土著根瘤菌的存在而影响接种效果。但用耐药标记菌株和具特殊菌落特征的菌株试验结果表明,它们的回收率均随土著菌数量的减少而增加。因此,在多年栽种同一互接种族豆科作物的土壤上,要通过根瘤菌提高产量就必须加大根瘤菌的接种量[1]。

(3) 在脱离寄生植物的情况下,根瘤菌在土中存活受各种生态因子影响。土壤水分严重影响根瘤菌在土中存活的数量,一般在湿度大的土壤中存活较好。根瘤菌宜于在中性或微碱性环境中生存,当土壤pH低于5.2时,死亡率达65%;pH低于4.5时则难以存活,但耐酸菌株在酸性土中存活率较高。根瘤菌是豆科植物根际的共生菌,有明显的根际效应,但非豆科植物对根瘤菌在土中存活与繁殖也有刺激和保护作用[12]。

(4) 磷素对根瘤菌结瘤、固氮都有直接影响,在豆科植物接种根瘤菌时若能配施适量磷肥对发挥固氮效益有明显效果。氮肥施用过量能抑制共生固氮作用,但在缺乏有效氮的土壤中施少量氮肥能起壮苗作用,有助于作物与根瘤菌建立共生关系。各种肥料的最适用量则因土壤和作物品种而不同[13]。

2. VA菌根真菌。VA菌根真菌是目前所知道的土壤真菌中寄主范围最广的一类,它能侵染多种植物形成菌根共生体。在入侵根部以后产生的根外菌丝扩大了根的吸收范围,有增进植物对在土中移动缓慢的营养元素,如磷、锌、铜、钙等吸收的功能,是土壤中一种有价值的生物资源。

(1) VA菌根真菌在土中普遍存在,这些土著VA菌根真菌的侵染速率和侵染程度直接影响接种的效果。为此,我们首先对红壤(广东、江西)及黄潮土(河南)这两类缺磷土壤中土著

VA菌根真菌对接种的VA菌根菌侵染的影响进行研究,以试探在此两类土壤上应用VA菌根真菌获得效益的可能性。结果表明,这些土壤中土著菌侵染多半有不同程度的滞后期或侵染率不高的现象,接种以后加速了苗期侵染,基本消除了滞后期,侵染率也普遍提高。而且,随着侵染率的提高,植株生长量也较未接种的对照植株有明显增加,其差异达极显著水平。在接种菌根菌而未施磷肥的处理中,植株干重与未接种而施入相当于每亩施8—16斤 P_2O_5 的过磷酸钙处理中植株干重相近。说明在接种与未接种植株达到相同生长量情况下,由于菌根增加了对磷的吸收而节省了磷肥用量〔14, 15〕①。

(2) 土壤有效磷量对VA菌根菌侵染有直接影响。含磷量过高或过低都不利于侵染。从试验结果看来,在河南封丘黄潮土中VA菌根菌侵染的最适磷量为每亩8斤 P_2O_5 ,江西第四纪红色粘土母质上发育的红壤为每亩16斤 P_2O_5 ,在这样的磷肥水平下侵染率最高〔16〕。

(3) 菌根对植物虽然没有严格的专一性,但各种植物因根的形态特征和需肥特性等不同对菌根的依赖性表现不一。我们针对黄淮海地区适种植物对菌根的依赖性进行试验研究,结果表明,多种植物对VA菌根表现有依赖性,接种菌根菌后有不同程度促进植物生长的效果,其中又以葡萄、月季、白三叶草和芦笋对菌根的依赖性更为明显〔17, 18〕。

以上结果说明,在这两类土壤上应用菌根菌都有增产前景。

3. 溶磷细菌。土壤中的磷素大部分为难以被植物直接吸收利用的固定态磷酸盐类。从小麦和水稻根系表面分离的细菌中约有70%在纯培养中具有溶磷作用。它们大部分为无芽孢细菌,在其代谢过程中产生的有机酸在微域环境中能使部分难溶性磷酸盐溶解成为可利用态磷酸盐。以小麦进行的砂培和土培试验结果表明,接种溶磷细菌后能促进根系发育,植株苗期生长量和含磷量都有所增加②,③。但细菌代谢过程中产生的酸,是必须以提供大量可资利用的碳水化合物为前提的。因此,只有在植物根际以及在根际微区内可以起溶磷作用,而在一般土壤中是难以满足这种条件的。而且,这些细菌又多半能产生生长素类物质,对植物生长有一定刺激作用,因此,其作用机理系刺激作用或溶磷作用尚有待肯定。

4. 自生固氮菌。土壤中普遍存在着自生固氮菌,从固氮量较高的园褐固氮菌分布来看,只有在耕作土壤中才出现,尤以在水稻土中为多,荒地土壤不论其自然肥力的高、低或有机质含量的多、寡,都未检测出它们的存在④。在耕地土壤中出现机率又与土壤pH有明显相关,在pH5.5以下出现机率很低〔19〕。在酸性土中接种以后,其菌数消长与土壤pH、有效磷含量及有机肥料的施用有密切关系。在江西甘家山第四纪红色粘土母质上发育的红壤中加石灰后,可使固氮菌在土壤中存活一段时间,若同时加入磷肥,在短期内其数量还有所增加,但一个月后,菌量则下降,而在此基础上若又加入有机肥料以提供可利用碳源后,则可在相当长的时间内保持一定菌量〔20, 21〕。看来,自生固氮菌虽具有固定氮素的功能,但必须是在适宜的环境中并有足够可资利用的碳水化合物的情况下才有可能发挥作用。因此,它的应用受到一定限制。

5. 尖孢镰刀菌。尖孢镰刀菌是一种能寄生于植物而引起多种病害的土传植物病原真菌,又是能在土中长期存活、蔓延的常见腐生真菌。由于它能以多种途径生存,在防治上造成很

① 郝文英、林先贵、顾希贤、牛家琪,几种土壤的VA菌根效应及其应用前景,第五届全国菌根会议交流资料,1982年,南京。

② 尹瑞龄,太湖地区水稻土中的溶磷细菌,太湖地区科学讨论会论文摘要集,74页,1982。

③ 尹瑞龄,磷细菌的筛选及其增产效果的研究,江苏省高产稳产农田建设的土壤问题,84—92页,1978。

④ 樊庆笙、黄有馨、郝文英,固氮菌的有效应用问题,中国微生物学会第二次代表大会交流资料,1959年,北京。

大困难。我们研究了该菌在土中的存在状态与菌量消长的关系^[22]及其在土壤中竞争腐生定殖与腐生活^[23]等生态学问题。结果表明,该菌菌丝体内或菌丝顶端在有氧条件下,很容易产生厚垣孢子而在土中长期生存,即使是在渍水条件下160天以后仍有少量存活,一旦有新鲜有机物质时即恢复活性而侵染寄主植物。该菌在土壤中对多种有机残体的竞争腐生定殖能力很强,这是它能在土中长期存活的又一原因。淹水种稻条件下,尖孢镰刀菌的存活率明显降低。但是,淹水以后由于水中含溶解氧,土壤表面的氧化层就成为该菌残存的场所。研究还阐明了稻、棉轮作可减轻棉花枯萎病发生、发展的程度,及防病效果不彻底的原因。提出了在渍水条件下施用绿肥等新鲜有机肥料使氧化层还原以消除残存中病菌的建议,为制定综合防治措施提供了科学依据。

二、微生物在土壤物质转化中作用的研究

(一)微生物在土壤氮素转化中的作用

硝化和反硝化作用是自然界氮素循环的重要环节,与土壤中氮素损失和环境污染密切相关,一直受到国内外的广泛重视。我们对土壤氮素损失原因及其防治以及某些土壤中的反硝化作用特点进行了如下研究。

1. 根据不同土壤中氮素损失量各异的报道,我们首先对水稻土氮素损失机理进行研究。初步证明水稻土中生物脱氮主要是由氧化层中的硝化作用引起的,氧化层、还原层分异是造成水稻土氮素损失的主要原因^[24],^①。由于水稻根系具有排氧功能,因而对反硝化菌有明显的根际效应^[25],并对反硝化作用有刺激效应^[26],这是水稻土氮素损失的又一原因。值得提出的是,在既无根系影响又无氧化层、还原层分异的情况下,仍然有约13%氮素未能回收。针对这一情况,我们又对水稻土中存在的大量无定形金属氧化物是否可以作为电子受体而导致氮素损失的问题作了研究,结果表明,无定形氧化铁确实可以作为铵氧化时的电子受体而导致脱氮^[27],对水稻土氮素损失提出一个新的途径。

2. 对太湖地区主要类型土壤中的硝化和反硝化作用及有关微生物的研究表明,土壤质地、pH、电位和透水性都影响硝化作用强度。其中以pH和<0.001mm粘粒含量的影响最为明显,土壤硝化率与pH呈显著正相关,与粘粒含量呈负相关^[28]。而反硝化势的高低则与土壤利用方式和耕作措施有关^[29]。在这一地区不同类型土壤中具 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ 酶活性的菌数占细菌总数50~80%, $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$ 及 $\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ 酶活性的分别占供试菌的67%和56%,使 $^{15}\text{NO}_3^-$ 异化还原为 $^{15}\text{NH}_4^+$ 的硝酸还原菌占供试菌株90%。此外,还对土壤—根际优势菌反硝化菌的生态效应及反硝化细菌的生态分布等^[30]进行了研究。

3. 红壤因pH偏低,硝化活性一般均弱,在施用硫酸时除旱作土壤及桔园土壤硝化活性稍高外,其他利用方式的土壤均在5%以下,甚至无硝化活性。施用尿素后由于土壤pH值上升硝化活性明显增强。不同利用方式下红壤性土壤中 NO_3^- 还原为 N_2O 的酶活性顺序为:水稻土>桔园土>茶园土>冷浸田>旱地、紫色土^[31]。

4. 用硝化抑制剂抑制硝化作用是防止土壤脱氮导致氮素损失的一项有效措施。盆栽、 ^{15}N 微区及田间小区试验对国产的几种硝化抑制剂比较试验表明,以西吡效果最佳,其选择抑制作用强,施用后土壤中亚硝酸菌数量显著减少,硝化率降低,减少了氮素损失,但对其

^① 阮妙培等,硝化菌的需氧特点与水稻土生物脱氮的关系(摘要),土壤微生物专业会议论文集,1964。

他土壤微生物无不良影响〔32-34〕。

5. 值得强调的是, 由于方法上的限制, 在相当长的时期内对于反硝化作用只能用比色定性的方法间接检测; 对由反硝化作用导致的氮素损失量只有用 ^{15}N 标记法通过 ^{15}N 平衡进行估算。近年来, 我们采用国产SP-501型气相色谱仪直接检测反硝化菌的 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$ 酶活性及 $\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ 酶活性〔35〕, 为研究反硝化作用及反硝化菌生态提供了方便。在此基础上, 又初步建立了土壤原位条件下收集气体的装置和检测 N_2O 通量的方法①, 研究了在淹水条件种稻和不用乙炔抑制条件下, 囊水型乌栅土和壤质潮土的 N_2O 通量。一般认为, 在淹水条件下反硝化损失的氮以 N_2 形态为主, 而我们的结果表明, 在淹水条件下亦有较大的 N_2O 通量, 这一结果值得重视。

(二) 微生物对土壤中合成化合物的降解

随着我国工农业发展、化学合成农药的广泛使用以及工业废水及废弃物的日益增多, 必将导致环境污染。为此, 我们对下列问题展开研究并取得相应的结果。

1. 研究了666农药的降解。结果表明, 666在渍水土壤中, 100天内大部分能被微生物降解。以在湖南的试验为例, 666的4个异构体在渍水土壤中28天内就有90.6%被降解, 84天有98.4%被降解; 而在非渍水的湿润土壤中84天只降解了43.5%〔36〕。并分离到三株降解 γ -36能力较强的细菌, 其降解产物有 γ -PCCH和二种未鉴定的化合物〔37, 38〕。

2. 针对苏南地区乡镇企业发展过程中引起的环境污染问题, 我们采用氧化塘藻菌混生系统, 净化化工染料废水, 污水经净化后, 达到了国家染料污水排放标准。并分离了11株能强烈降解对氨基苯甲醚(一种毒性强的染料)的细菌, 其降解率 $>97\%$ 〔39〕。

3. 运用发光细菌的发光度作为监测环境总体生物毒性的指标。实验证明, 发光细菌的发光度与多种毒性金属离子、有机分子浓度呈线性关系, 从而建立起用于监测水质、土质毒性的方法〔40, 41〕。同时研制并三次更新了与之配套的仪器。数字显示便携式毒性测定仪已被全国20多个环境研究、测试单位采用。

利用微生物对土壤重金属的效应可能是确定土壤环境容量标准(临界值)的一种途径。研究证明, 用发光细菌确定土壤重金属的临界值的方法较用其它微生物测试方法的灵敏度更高。根据测试结果, 确定的临界值与国家粮食卫生标准确定的土壤金属环境标准基本相符。此法还可用以预测土壤中可提取性镉、砷、铅的环境标准和净容量〔42〕。

4. 对用土壤酶活性确定土壤重金属环境标准的可能性进行了研究。我们对多种酶与重金属浓度相关性进行了比较。但目前尚未找到一种对土壤镉、砷、铅均显示敏感、且酶活性与金属浓度均呈显著负相关的酶〔43〕。

上述研究结果有的已在生产中起了一定作用, 有的在研究水平上已接近当时的国际水平。此外, 我们还编写了《土壤微生物研究法》一书〔44〕。但是, 我们的工作与现代化建设的还要求不相适应。进一步总结土壤微生物学的现代成就以及借鉴其它有关学科的经验, 是我们面临的一项迫切任务。

参 考 文 献

〔1〕 郝文英、曹正邦、范力敏, 土壤微生物, 《中国土壤》, 科学出版社, 第二版, 537—556页, 1987。

①李良谟、伍期途、李振高、潘映华, 原位土壤中 N_2O 释放量的测定方法, 第二届分析微生物学学术讨论会交流资料, 1987年, 武汉。

- 〔2〕 曹正邦、郝文英、游长芬、顾希贤,水稻土的微生物学特性 I、华东、华中地区主要类型水稻土中微生物数量及其活性研究。土壤学报, 7(3-4):218—224页, 1959。
- 〔3〕 郝文英、曹正邦、游长芬, 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。土壤学报, 9(1-2):1—8页, 1961。
- 〔4〕 郝文英、姚惠琴、许月蓉, 溆田型水稻土真菌生态的研究, 土壤学报, 17(4):346—355页1980。
- 〔5〕 Yin Ruiling and Hao Wenying, Investigation on Ecological Distribution of Bacteria in Paddy Soils. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. oct. 19-24, Nanjing, China, Institute of Soil Science, Academia Sinica (ed), Science Press, Beijing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, p. 369-374, 1980.
- 〔6〕 Hao Wenying, Yao Huiqin and Xu Yuirong, Investigation on Ecological Distribution of Fungi in Paddy Soils. 同上, p. 323-329. 1980.
- 〔7〕 中国科学院南京土壤研究所西沙群岛考察组, 西沙群岛的土壤和鸟粪磷矿, 科学出版社, 1977。
- 〔8〕 游长芬、施亚琴、周德智, 苏北滨海盐渍土中颍抗性放线菌的分布, 土壤学报, 19(3):264—272, 1982。
- 〔9〕 中国科学院南京土壤所微生物室, 苕子根瘤菌优良菌株的筛选, 土壤, 17(4):205—209页, 1985。
- 〔10〕 曹景勤、陈碧云、姚惠琴, 三叶草根瘤菌耐药突变菌株共生固氮有效性的研究, 土壤, 20(2):75—78页, 1988。
- 〔11〕 姚惠琴、曹景勤、陈碧云, 某些生物因子对苕子根瘤菌剂和土著根瘤菌竞争结瘤的影响, 土壤学报, 20(1):85—91页, 1983。
- 〔12〕 姚惠琴、曹景勤、陈碧云, 三叶草的接种效果和根瘤菌的存活条件, 土壤, 23(3), 1989。
- 〔13〕 Yao Huiqin, Cao Jingqin and Chen Biyun, sesbania rosteata as green manure for amelioration of salt affected soils. Symposium on Sessbania rostrata Fundamental Reaearch and Agricultural Applicatio-ns. jan. 5-8 ,1988, Dakar Senegal p. 16.
- 〔14〕 顾希贤、林先贵、郝文英 封丘县主要类型土壤中VA菌根调查, 土壤, 19(4):205—208页, 1987。
- 〔15〕 林先贵、郝文英, 在不灭条件下施用磷肥对VA菌根效应的影响, 土壤学报, 26(2), 1989。
- 〔16〕 Hao Wenying and Lin Xiangui, Effect of Phosphorus Fertilization on Mycorrhizal Response under Un-sterilized Soil condition. Proceedings of the 7th North American Conference on Myocorrhizae. May 3-8, 1987, Gainesville, Florida, USA. p. 22.
- 〔17〕 Lin Xiangui and Hao Wenying, Effects of VA Mycorrhizal Inoculation on Growth of several Kinds of plants. Programme and Abstracts of the First Asian Conference on Mycorrhizae. Jan. 29-31, 1988 Ma-dras, India, p. 18.
- 〔18〕 林先贵、郝文英, 不同植物对VA菌根的依赖性, 植物学报, 待刊, 1989。
- 〔19〕 郝文英、曹正邦, 红壤中的微生物, 《中国红壤》, 科学出版社, 128—134页, 1983。
- 〔20〕 曹正邦、樊庆笙, 施用肥料对于红壤中微生物区系影响的初步分析, 土壤学报, 5(3):206—214页, 1957。
- 〔21〕 曹正邦, 红壤中的微生物学性质, 江西农业科技, 10期28—29页, 1979。
- 〔22〕 戴丽莉、顾希贤、林先贵、郝文英, 尖孢镰刀菌专化型在土壤中的存在状态与菌量消长的关系。土壤学报, 18(4):368—375页, 1981。
- 〔23〕 郝文英、顾希贤、戴丽莉、林先贵, 尖孢镰刀菌在土壤中的竞争腐生定殖与腐生生活, 土壤学报, 21(3):284—290页, 1984。
- 〔24〕 李良漠, 我国土壤硝化—反硝化作用研究概况与展望, 《我国土壤氮素研究工作的现状与展望》, 中国土壤学会土壤农业化学专业委员会及土壤生物和生物化学专业委员会主编, 科学出版社, 68—81页, 1986。
- 〔25〕 李振高、万焕楣、吴松松、乔凤珍, 水稻根际反硝化细菌生态分布的研究, 土壤学报, 24(2):120—124页, 1987
- 〔26〕 李良漠、周秀如、潘映华、臧双, 水稻根系对氮素损失的影响, 土壤, 16(1), 5—10页, 1984。
- 〔27〕 李良漠、潘映华、伍期途等, 无定形氧化铁作为嫌气下氧化时电子受体研究, 土壤学报, 25(2):184—190页, 1988。
- 〔28〕 李良漠、潘映华、周秀如等, 太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其影响因素, 土壤, 19(6):289—293页, 1987
- 〔29〕 伍期途、潘映华、李振高、李良漠, 太湖地区主要类型土壤的反硝化势, 土壤20(6):325—327页, 1988。
- 〔30〕 李振高、潘映华、伍期途、李良漠, 太湖地区主要类型土壤中优势反硝化细菌的数量、组成及酶活性。土壤学报 26(1):79—86页, 1989。

- [31] 潘映华、李良谟、伍期途、李振高, 不同利用方式下红壤的硝化和反硝化活性研究, 土壤, 20(4):184—197页, 1988。
- [32] 臧双、周秀如、潘映华、李良谟, 硝化抑制剂西吡对水稻的增产作用, 土壤, 第4期, 139—142页, 1980。
- [33] Li Liangmo et al., Effect of Nitrapyrin on the Inhibition on the Inhibition of nitrification in some Paddy Soils of China. Proceeding of Symposium on Paddy Soil. oct. 19—24, Nanjing, China Institute of Soil Science, Academia Sinica (ed), Science Press. Beijing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New Yor.p. 837—844. 1981.
- [34] 李良谟、潘映华、周秀如、臧双, 西吡对抑制硝化过程和其他微生物活性的影响, 土壤学报, 18(1):58—70页, 1981。
- [35] 李良谟、伍期途、周秀如、潘映华、李振高, 气相色谱测定 N_2O 的方法及其应用, 《分析微生物学专集》, 科学出版社, 172—176页, 1988。
- [36] 顾宗濂、吴留松、谢思琴、张水铭, 湘江流域农田土壤微生物群体降解666的能力及其调节, 生态学报, 6(3):197—204页, 1986。
- [37] 顾宗濂、谢思琴、张水铭, 旱地加水可促进微生物对666的降解, 土壤学报, 18(3):273—280页, 1981。
- [38] 谢思琴、张水铭、顾宗濂、吴留松, 土壤中-666的微生物代谢产物初步研究, 土壤, 15(5):185—187页, 1983。
- [39] 顾宗濂、谢思琴、吴留松等, 藻菌混生系统净化乡镇工业污水试验研究, 农村生态环境, 1(1):27—32页, 1985。
- [40] 顾宗濂、谢思琴、吴留松等, 用生物发光计测定污染水体生物毒性, 环境科学, 4(5):30—33页, 1983。
- [41] 吴留松、顾宗濂、谢思琴, 应用发光细菌监测重金属污染土壤和底泥的总体生物毒性, 土壤, 19(3):145—147页, 1987。
- [42] 顾宗濂、谢思琴、吴留松、周德智等, 土壤中镉、砷、铅的微生物效应及其临界值, 土壤学报, 24(4):318—324页, 1987。
- [43] 谢思琴、顾宗濂、吴留松、镉、砷、铅对土壤酶活性的影响, 环境科学8(1):19—23页, 1987。
- [44] 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著, 《土壤微生物研究法》, 科学出版社, 1985。

(上接第184页)

肥熟化、作物耐盐度、根瘤菌与菌根, 农业生态环境信息系统建立等应用研究取得重大进展; 碳铵粒肥深施技术、放淤种稻技术、地膜覆盖技术、优良品种引进与繁育、先进农业技术推广、计算机化大面积配方施肥咨询等开发性研究取得显著的社会、经济效益。在多学科综合研究基础上, 形成区域综合治理开发配套技术体系。该项综合研究成果达到国内领先水平。潘店万亩示范区内实行井、沟、渠、路、林、电配套, 初步建成旱涝保收、稳产高产的农田生态系统, 为黄淮海平原同类型地区的治理与开发作出了可行性示范。并在封丘试区工作的基础上, 组建了“中国科学院封丘农业生态实验站”, 对国内外同行实行开放, 以共同研究黄淮海平原农业生态系统的结构、功能及系统中物质循环与能量转换的特点, 探索生物与环境之间的互相作用及调控, 建设良性的人工生态系统, 并进行农业高技术开发。

6. 对黄淮海平原中低产地区进行综合治理与农业开发。这项任务是由中国科学院提出的。根据院部部署, 并经与有关省政府协商, 决定以我所为牵头单位, 负责豫北片的新乡市和濮阳市; 淮北片的亳州、涡阳、蒙城、怀远4个县; 苏北片的泗洪县的盐碱土、风沙土、砂姜黑土和涝洼地的综合治理与农业开发科技承包。一年多来, 以豫北片为重点, 正进行4个层次的工作, 即: (1) 中低产田的综合治理; (2) 农业商品基地的建设; (3) 科技开发; (4) 农业发展战略研究。这些工作均已取得不同程度的进展, 预期将获得较大的社会、经济和生态效益, 为本世纪末实现黄淮海平原农业开发的“五二二二”宏伟工程作出贡献。