

# 我国有机肥料研究及展望

杨玉爱

(浙江农业大学环境与资源学院, 310029)

## 摘 要

本文简要回顾 80 年代以来,我国对有机肥料资源、结构组成、营养功效、改土作用机制及改善农作物产品品质作用等方面的一些研究;讨论了有机无机肥配合施用这一施肥制与持续农业发展和建立良好生态环境生态农业的关系。展望今后有机肥料的研究和发展方向,应尽可能利用有机肥料资源,投入农田参与养分再循环的研究,结合食物链和壤养分库,提高肥料利用率,减少农业非点源污染。重点研究有机肥料循环过程中,碳、氮、磷和微量元素的循环和再利用,以维护环境质量和促进农业生态系统中的养分平衡。

**关键词** 有机肥料,养分循环,食物链,持续农业

利用有机肥料参与农业生态系统的养分循环、再利用和培肥土壤是中国农业特色之一。我国农业部科技司在“六五”、“七五”和“八五”期间,始终把有机肥料的研究列为部级重点科研内容,使我国对有机肥料的营养功效、改土作用、改善(或提高)农产品品质及有机肥的利用技术等方面的研究均有较大的进展,对有机肥在促进我国农业发展中的作用已有进一步的共识。

## 1 有机肥料的资源及结构组成

我国古代农业直至本世纪 50 年代初,农业生产上所用的肥料主要靠有机肥料养分的循环和再利用,基本保持水稻和小麦单位面积产量的稳定,并有缓慢的增加<sup>[1]</sup>。1989—1992 年农业部有机肥研究协作组分别在河南新乡、河北邢台、辽宁省、上海市、浙江省杭州市和龙游县的定点肥源结构调查表明,邢台地区 3 年平均有机肥占肥料总量的 45.7% (其中有机氮平均占氮肥总量的 36.7%、有机磷占磷肥总量的 36.2%、有机钾占 89.5%);新乡有机肥占总量的 57.2% (其中有机氮占氮肥总量的 43.5%、有机磷占 54.2%、有机钾占 95.3%);其他调查区也有类似情况,靠近城郊地区有机肥养分约占农田总投入养分的 1/3,而农村约大于 50%。各地有机肥内部结构和数量虽有很大的差异,但牲畜粪尿仍是有机肥料的主体;绿肥比重显著下降;城市垃圾及粪便数量很大,但收集量和农利用率很低,仅占总量的 1.6—40%<sup>[2]</sup>。

解放后,我国化肥工业有很大的发展,但有机肥在农业生产中仍占重要的比重,据

1990 年的统计,全国农田养分总投入中,有机肥提供的氮(N)占氮肥总量的 23.8%,提供的  $P_2O_5$  占 31.1%、 $K_2O$  占 79.3%,其比例为 1 : 0.52 : 1.25<sup>[3]</sup>。据中国农科院化肥试验网 1993 年的统计,我国农田有机肥和化肥的养分总投入量为 4782 万吨,其中化肥占总量的 65.9%、化肥提供的 N 占 77%、 $P_2O_5$  占 74.7%、 $K_2O$  占 26.6%。化肥施用的 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$  = 1 : 0.45 : 0.133;有机肥+化肥施用的 N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$  = 1 : 0.46 : 0.38。化肥的产投比,1978 / 1952 年度平均粮肥比为 16.1;1984 / 1978 年度为 12.0;1994 / 1984 年度为 2.4。根据浙江省近两年初步调查,有机肥提供的 N 约占 N 肥总量的 30%, $P_2O_5$  约占 50%, $K_2O$  占 70%左右。

有机肥料除含有 N、P、K 和有机 C 养分外,还可提供相当数量的中量、微量元素和氨基酸、核酸、糖、维生素等有机营养成分<sup>[4, 54]</sup>。施用有机肥料可部分解决我国农业生产上缺磷少钾及微量元素不足的问题。

## 2 有机肥料的增产效应和对农作物产品品质的影响

施用适当配比的化学肥料在短时间内能获得作物的高产和优质。但从长远的持续农业观点,有机与无机肥配合施用是合理利用资源、更好地提高土壤肥力和保持作物高产、稳产、优质和高效的施肥体制<sup>[5, 6]</sup>。

### 2.1 有机肥与无机肥配合施用的增产效应

近年,我国 100 多个 5 年以上的定位试验研究表明,施用有机肥与不施有机肥比较,平均增产率为 12.8%<sup>[3]</sup>。彭琳等(1983)在西北黄土地区进行 20 组有机肥与化学氮肥配合施用的试验证明,产生正效应的有 14 组<sup>[7]</sup>。刘经荣(1990)证明,在新辟红壤稻田上,有机肥与化肥配施处理,5 年水稻平均产量比化肥处理增产 7.8—12.0%;8 年的定位试验证明,头两年处理间的产量差异表现不明显,但后 6 年处理间差异均达显著或极显著水平<sup>[8]</sup>。孙羲等(1990)在杭州和东阳地区稻、麦、棉和麻的多种作物的试验证明,等量的化肥与猪粪配合施用的处理产量最高;有机肥有促进氮的同化,提高叶绿素含量和 ATP 贮量的作用<sup>[9]</sup>。曾木祥等(1992)的定位试验表明,尽管几年受气候的影响,小麦和玉米的产量不同年间差异较大,但有机肥与无机肥配合施用的处理区产量均明显高于单施无机肥的处理<sup>[10]</sup>。李实焯(1991)在总结吨粮田肥力特征时指出,连续 17 年(1974—1990)吨粮田能够维持养分平衡的关键之一,在于采用有机肥和化肥相结合施用,并在化肥中再进行 N、P、K 适当配比的施肥制;种植大麦、双季稻的有机肥与化肥的最佳配比(以 N 素为基础)为 4 : 6,如有机肥高于此配比,产量无明显差异,低于这个配比,则产量显著下降<sup>[11]</sup>。何电源和沈其荣(1994)研究证明,有机肥与化肥配合施用可提高化肥利用率<sup>[12, 13]</sup>。

### 2.2 有机肥料对作物产品品质的影响

有机肥与化肥配合施用,可通过改善植物营养和生长条件对其产品品质产生良好的影响<sup>[14—18]</sup>。1985—1990 年,中国农科院、湖北、浙江、黑龙江等省农科院和浙江农业大学比较研究了有机无机肥配施与化肥、有机肥等不同配方对农作物产品质量影响的试验,经粮、油、果、菜、烟、茶等 20 多种作物 30 多项有关品质指标的分析研究表明,有机肥与化肥养分平衡配合施用都不同程度地提高所有供试作物产品的品质,如小麦、玉米籽粒的蛋白

质可增加 2.0—3.5%、小麦面筋增加 1.4—3.6%，8 种必需氨基酸增加 0.3—0.48%；大豆粗脂肪增加 0.56%、亚油酸和油酸分别增加 0.31 和 0.92%；啤酒大麦胚乳粉粒和必需氨基酸分别增加 30% 和 5.7%；烤烟上等烟率提高 7.3~9.8%；日本黄瓜正品率提高 5.8—8.0%；特别是提高生育后期的正品率；芦笋正品率提高 6.0—9.0%；西瓜和葡萄糖度增加 0.8—1.2 度，单果重增加 4.2—13.1%；蔬菜和果品中维生素 B 和 C 均有不同程度的增高，并可提高蔬菜的耐贮藏性。施用有机肥料能明显降低白菜和菠菜中可食部分的硝酸盐含量。上述说明有机肥与化肥合理配合施用在改善不同农作物产品的营养品质、食味外观和调节产品的加工品质等方面有积极的影响。

### 3 有机肥料与土壤肥力

#### 3.1 对土壤养分贮量及有效性的影响

3.1.1 氮 据浙江省、上海市、辽宁和江苏省各地<sup>15</sup>N 标记肥料的试验表明，在水稻吸收的氮素中，大约 59.8—84.1% 来自土壤<sup>[19]</sup>。土壤有机氮是土壤有机质的重要组分，施入有机肥是保持和提高土壤有机氮和氮贮量的有效措施，主要表现在氮的残留量上。黄东迈等(1982)的研究表明，有机肥(怪麻)的氮残留量比硫酸铵高，在稻麦轮作中，第一季化肥区的残留氮为 19—26%，而有机肥区的残留量为 47—62%，有机肥与无机肥配合区为 40—44%，而且有效持续时间长，肥效可延续到 3—4 季作物<sup>[20]</sup>。

3.1.2 磷 莫淑勋等(1991)研究 8 种有机物料的含磷量及转化时指出，动物排泄物中的磷，有 55—80% 呈无机态，其有效性与化学磷肥基本相当<sup>[21]</sup>。有机肥对土壤磷库的贡献已有不少研究。彭琳<sup>[7]</sup>(1983)研究表明，施用有机肥可使土壤有效磷从 33mg/kg 提高到 48mg/kg。姚喜源等经 9 年定位试验证明了单施化肥或有机肥会使土壤有效磷出现亏缺，而有机肥与化肥配施则可使土壤有效磷出现盈余<sup>[22]</sup>。王永和等研究指出，施用猪粪可显著提高土壤中  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$  的含量。土壤磷的吸附与解吸、沉淀与溶解是土壤磷转化的重要化学过程，施用有机肥料能提高磷有效性的机理，多数学者认为是有机肥影响土壤磷的吸附和解吸特性而起作用的。

3.1.3 钾 我国农田作物所需要的钾，主要依靠有机肥中钾的循环和再利用，据南方 13 个省、市、区的统计，以有机肥方式施入土壤中的  $\text{K}_2\text{O}$  达 353 万吨，占当年施钾总量的 95% 左右。

生物钾肥的利用是近年研究和推广的农技之一。所谓生物钾肥系指吸钾力强、耐贫钾环境、高钾含量的植物或秸秆的农业利用。大量研究表明，施用生物钾肥或秸秆还田可有效提高作物植株中的含钾量，并有效提高土壤速效钾含量和增加作物产量。一般在 N、P 化肥的基础上，稻秆还田，可增加土壤速效钾 8.3—44mg/kg，稻谷增加 11.0—175 公斤/亩；油菜秸秆在稻田上施用，可增产稻谷 8—12%<sup>[28]</sup>。富钾植物的筛选和应用已日益受到重视，研究内容包括不同环境介质条件下，对钾吸收积累能力强的植物品种的筛选、筛选指标、生长习性及应用技术等。目前报道比较多的富钾植物有水稻秸秆、油菜秸秆、水花生(空心莲草)、满江红及各种绿肥等。王先乐等(1986)在广西的 37 种绿肥和野生绿肥中选出的小葵子，其  $\text{K}_2\text{O}$  含量可达 0.79—1.15%<sup>[29]</sup>。胡笃敬等<sup>[30]</sup>(1983)通过野生

和水生等 68 种植物的测定比较,筛选出水花生、水鳖、虾藻、金渔草、菊芋、商陆等多种富钾植物。

**3.1.4 微量元素** 有机肥料含有丰富的微量元素。近来已有不少施用有机肥对土壤微量元素有效性影响的研究<sup>[4, 31, 32, 38]</sup>。杨玉爱等(1990)研究施用有机肥料对连续种植多季作物和土壤中 Zn, Mn 有效性的影响,试验表明有机肥是提供作物 Mn、Zn 营养的良好肥源;施用有机肥可提高土壤 Zn 和 Mn 的有效性,但有机肥提供 Zn 和 Mn 的速度和强度不同,在第 3 季晚稻上土壤锌开始出现亏缺,亏缺程度随有机肥用量的减少而增加。林荣新等(1985)研究证明,在缺硼土壤上施有机肥与单施化肥比较,施有机肥可提高油菜植株中的含硼量,并降低 N/B、Ca/B 比值,减轻油菜缺硼症状,但在等量施用有机肥和化肥的基础上,再配施少量的硼肥,有助于进一步提高油菜籽产量。

### 3.2 有机肥对土壤有机质及结构的影响

浙江省 12 个县的调查测定表明,施用有机肥,使麦—稻—稻吨粮田的土壤有机质从 7 年前的 2.36—2.68% 提高到现在的 2.81—2.89%。施用有机肥通过形成有机无机复合体和微团聚体既提高了土壤有机质的数量,又能更新和活化老的有机质,改善腐殖质品质,从而全面提高土壤肥力<sup>[33—37]</sup>。袁可能(1981)研究指出,培肥与不培肥土壤中所形成的大团聚体的复合体的腐殖质组成不同,培肥差的土壤主要为比较陈老的腐殖质。汪寅虎等(1994)在 17 年 35 季作物连续进行秸秆还田的试验表明,秸秆还田适当配施化肥,有利于降低土壤容重和增加非毛管孔隙度。魏朝富(1995)的定位试验证明,无机和有机肥配合施用与单施化肥区比较,土壤中有有机质含量提高 11.8—16.5%,松结态腐殖质含量和松结态/紧密态腐殖质比值前者高于后者;有机肥的作用首先是通过改善 <0.002mm 复合体的腐殖质品质,从而改善和更新整个土壤腐殖质的活性。窦森和陈恩凤等人(1995)通过胡敏酸光学性质的研究证明,施用有机肥使胡敏酸的结构变的简单、木质素和脂族结构比例增加,而氧化度、缩合度和芳香度下降,使胡敏酸朝向年轻化方向发展。

### 3.3 有机肥料对土壤酶活性的影响

土壤中的生物化学反应,几乎都是在酶的参与下进行的。土壤酶活性是土壤肥力的重要指标。大量的土壤酶活性研究表明,有机肥料含有许多酶,畜禽粪和厩肥中的酶活性比土壤中的酶活性高几十至几百倍;试验表明,施用有机肥可提高土壤中的转化酶、蛋白酶、淀粉酶、蔗糖酶、磷酸酶、脱氢酶、ATP 酶等多种酶的活性,因此对土壤中养分的转化、有效性的提高和能量代谢均有密切的关系<sup>[38, 39, 54]</sup>。

## 4 有机肥料的有机营养作用

有机肥料的特点在于含有各种含碳有机化合物,如纤维素、半纤维素、淀粉、糖类、蛋白质、氨基酸、DNA、RNA、磷脂、脂肪;各种有机酸、维生素、酶系统和激素等,并同时还存在有机化合物矿化后的无机态养分等,因此有机肥料具有养分全面和“完全肥料”的美称。

### 4.1 作物对有机氮、磷、糖的吸收及营养作用

孙羲等(1986)研究指出,畜禽粪中有机态氮占总氮量的 80% 以上,有机磷占 45—70%,

可溶性糖占 0.31—1.35%。森敏(1979)的试验表明,在温度 20℃ 的光照或暗的条件下,大麦均优先吸收有机态氮,吸收的顺序是<sup>14</sup>C 谷氨酸 > 3H 精氨酸 > <sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> [52, 53]。综合 Shimoda(1960)和孙羲等的研究,在无菌培养条件下,按等 N 量计算,甘氨酸、天冬酰胺、丙氨酸、丝氨酸和组氨酸的营养效果优于硫酸铵;天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸和赖氨酸的营养效果虽不及硫酸铵但超过尿素肥料;而蛋氨酸对作物有抑制作用,这是由于蛋氨酸抑制天冬氨酸激酶活性所产生的反馈抑制作用<sup>[54]</sup>。王熹等(1975)研究表明,喷施 RNA 降解产物和用嘌呤或嘧啶核苷酸浸种有促进水稻增蘖增穗的作用,其与 NH<sub>4</sub>-N 配合施用,营养效果超过等氮量的 NH<sub>4</sub>-N<sup>[40]</sup>。金子渔(1976)和孙羲等通过<sup>14</sup>C 标记核苷、核苷酸和葡萄糖的灭菌研究,均证明这些有机生物物质均能很快被水稻吸收并转运到穗部<sup>[41, 54]</sup>。

孙羲和张旭东(1989)的研究,说明施用有机肥对土壤有机态养分均有明显的影响。有机肥所提供的上述各种有机生物物质,多是植物代谢过程中的中间产物,其对植物的营养作用,既可减少植物代谢过程所需的养料,又可减少植物因转化吸收这些养分所需能量的消耗,故其营养效果优于无机肥料<sup>[42, 54]</sup>。

#### 4.2 腐殖质组分的营养作用

植物不仅能吸收小分子的有机化合物,如葡萄糖、氨基酸等,同时还能吸收较高分子化合物如核酸、溶菌酶、血红蛋白等。近年腐殖质对作物生长的促进作用也有许多报道<sup>[4, 43]</sup>。王凯荣(1991)指出,水稻喷施 FA 使幼苗体内磷、钾、可溶性糖和磷脂的浓度增加,移栽后,作物发根快,返青早,产量比对照增加 20 公斤/亩。刘占朝(1991)证明黄腐殖酸沾根可提高造林成活率。杨玉爱等(1987—1994)经多种作物试验表明,有机肥经酸化腐解后提取的腐殖和非腐殖物质有螯溶微量元素和生物增效反应。许旭旦(1984)用 3H 标记腐殖酸研究表明,小麦叶片能迅速吸收腐殖酸,并在 24 小时内转运到植株的其他部位。

#### 4.3 其他有机化合物的营养作用

前苏联在 50 年代的研究指出,维生素参与植物的呼吸作用并促进植物的生长<sup>[44]</sup>。藤井(1972)研究证明,低级脂肪酸、草酸、柠檬酸、抗坏血酸等有机酸具有促进植物生长和提高小麦、玉米籽粒产量及蛋白质含量等的作用,但国内这方面的研究,特别是结合有机肥料营养作用的研究较少。

### 5 有机肥料与作物抗逆性

罗宗洛在 1955 年就指出,施用厩肥、绿肥和喷洒黄腐殖酸或拌种能提高作物的抗寒能力。张学明(1991)证明,在干旱胁迫年份,施用粪肥和喷施 FA 能增强小麦抗干热能力并提高产量。章永松和秦遂初等研究认为,厩肥能减轻麦子氨毒和铝毒的作用。金维续(1985)证实,施用有机肥有降解蔬菜和玉米重金属(镉)污染的特殊作用。俞仁培(1991)证明,施用有机肥既可防盐治碱,更能培肥土壤。杨玉爱等(1994)的研究证明,有机与无机肥配合施用,能有效降低蕃茄的乌心果和青枯病的发病率;并具有减轻日本黄瓜早衰的作用。

## 6 秸秆还田及商品有机无机肥料的研究

### 6.1 秸秆还田

秸秆还田的方式很多,主要有过腹还田、堆沤还田、直接返田(包括直接翻压返田、覆盖还田和高留茬还田)等。秸秆直接还田由于成本低、省劳力、肥源广、可就地取材等优点,这几年发展很快。经研究表明,秸秆还田后,其在土壤中的分解快慢、养分释放及其还田效益除与秸秆本身性质、土壤中微生物状况密切相关外,还与秸秆还田方式、材料用量、粉碎程度、翻压时间、深度、土壤肥力水平、水分条件、碳氮比值、翻压机具和病虫害等许多因素都有密切的关系。“八五”期间,中国农科院、山西省农科院和江苏、浙江、湖北省农科院分别研究和制定了我国北方小麦、玉米秸秆和南方稻区水稻秸秆还田的规程—包括还田的适宜方式、秸秆用量、粉碎程度、还田时间、田间含水量、N、P 化学肥料用量及其他辅助配套技术等。湖北省农科院还研究了秸秆中有机态硅的有效化条件及增产效果<sup>[48]</sup>。

### 6.2 商品有机肥料

商品有机肥料的研制是有机肥再利用技术的重要内容。中国农科院(1991—1994)在总结我国鸡粪利用及国外鸡粪处理方法的基础上,通过研制和田间试验相结合的方法,提出了鸡粪配方发酵、搅拌和干燥、造粒及适合于国情的机械设备等技术和工艺指标,并生产出批量的鸡粪商品肥料。江苏省农科院也对鸡粪进行膨化和加添加剂等试验,探索有机肥料干燥和去异味等技术。湖北、山西省农科院亦对有机肥料的高温发酵因素(包括温度、pH、水分、发酵物配料、通气条件)的动态变化和商品肥料工艺,肥效试验等进行了系统的研究。浙江农大土化系利用新鲜猪粪经酸解矿化后提取的有机生化成分和微量元素螯合而成的天然螯合微肥,经 1989—1993 年先后在黄瓜、葡萄、蕃茄、油菜等多种作物上施用,证明能促进作物对其他养分的吸收,并明显提高产量,改善品质,并具有不同程度提高作物的抗病能力<sup>[18, 47]</sup>。商品有机肥料的研制和试验,为今后我国利用畜禽粪生产商品有机肥和开拓有机肥利用途径提供了依据。

## 7 对今后有机肥料研究的展望

利用有机肥料既是农业自身物质和能量的循环,又是净化人类生态环境、资源有效的再利用,是实现“高产、优质、高效益”农业的重要措施。我国有机肥料养分循环与再利用的 10—20 年的长期定位试验、吨粮田的肥力特征研究以及国外不同国家的长期定位试验都证明,有机肥与无机肥适量配合施用,对作物产量和对土壤生态系统的养分平衡供应是有益的,有助于最终达到良性环境持续农业发展的目标<sup>[49, 50, 54, 55]</sup>。为满足日益增长人口对优质农、畜产品和保证人类健康的需要,今后对有机肥料的研究,除继续结合不同地区环境气候、不同种植制度和不同土壤条件研究其在作物—土壤生态系统中养分转化、循环和平衡外,更应该结合土壤—植物—动物食物链养分平衡的研究,充分发挥和利用土壤养分资源及有机肥对提高肥料利用率关系的研究。

随着化肥工业的发展和施用量的不断增加,不适当的施肥不但使化肥利用率降低,肥

料经济效益下降、甚至带来生态环境问题,据报道<sup>[51]</sup>,我国主要的20个湖泊水库,处于富营养化和朝向富营养化方向发展的已占总量的85%。特别是在长江中下游密集型农业区,相关分析表明,田间渗漏水中硝态氮含量与前季稻的氮化肥的施用量呈极显著相关;农田磷的排出负荷量随稻田磷肥施用量的增加而增加。此外,一些重金属和微量元素也随着农药、化肥、饲料添加剂而带入土壤和环境中,从而影响农业生态环境中养分的平衡。不同地区由于微量元素的失衡而造成食物链链节中的元素失调而导致动物、植物减产和品质下降,甚至使人类出现地方性病害也屡见不鲜。大量研究证明,有机肥料除本身含有丰富的营养成分外,而且其分解所产生的各种有机酸、糖类、酚类及含氮、硫的杂环化合物,具有活性基团,很容易作为配位体与重金属和微量元素等络合或螯合而改变微量元素和重金属的行为及有效性,从而降低重金属的毒害或提高微量元素的有效性。因此,利用有机肥料资源,结合食物链和土壤养分库,进一步深化研究有机肥料循环过程中C、N、P、K和微量元素的循环和作用,提高化肥利用率和活化土壤中的潜在养分,将是建立良性环境生态农业的重要途径。

此外,有机肥料的有效施用技术及商品有机肥的研制仍是今后研究的重要课题。

### 参 考 文 献

1. 余也非,1980:中国古代粮食年均产考略。重庆师范学院学报,第3期,20页。
2. 杨玉爱、柯福源、赵学蕴等,1994:《有机肥料循环与利用研究》专辑。土壤通报,第25卷7期。
3. 林葆,1991:充分发挥我国肥料的增产效果,《中国土壤科学的现状与展望》。中国土壤学会主编,29—36页,江苏科学出版社。
4. 杨玉爱、王珂、叶正钱等,1994:有机肥料资源及其对微量元素螯溶和利用研究。土壤通报,第25卷7期,21—25页。
5. 文启孝,1989:我国土壤有机质和有机肥料研究现状。土壤学报,第26卷3期,255—261页。
6. 刘更另主编,1991:《中国有机肥料》。157—194页,农业出版社。
7. 彭琳,1983:黄土区有机肥与化肥配施效果。土壤肥料,第5期,26—28页。
8. 刘经荣,1990:水稻土有机、无机肥料配合施用的效应。江西农业大学学报,第12卷1期,37—42页。
9. 孙羲,1990:有机肥料在现代农业中的作用。自然科学年鉴(2)31—39页。
10. 曾木祥,1992:从长期定位试验看有机-无机肥料配合施用的优越性。土壤肥料,第1期,1—6页。
11. 李实烨,1991:吨粮田土壤肥力特征及其形成的机理,《吨粮田的地力建设与施肥技术》,浙江土壤肥料学会主编,6—9页。
12. 何电源、廖先苓、周卫军,1994:<sup>15</sup>N标记绿肥喂猪后的转化和效益的研究。土壤学报,第31卷3期,277—286页。
13. 沈其荣、余玲、刘兆普等,1994:有机无机肥料配合施用对滨海盐土土壤供氮特征的研究。土壤学报,第31卷3期,289—294页。
14. 沈中泉、郭云桃,1988:有机无机肥料配合施用对烟草品质的影响。烟草科技,第6期,27—31页。
15. 严道明、祖守先、周美芳等,1992:有机肥对密植速成茶园高产优质的效应。中国茶叶,第5期,4—8页。
16. 金维续,1991:提高农作物产品品质的施肥技术。土壤肥料,第4期。
17. 赵学蕴,1990:有机无机肥料配合施用对地黄品质的影响。土壤肥料,第6期。
18. 杨玉爱、叶正钱、陈峰等,1992:有机肥料延缓日本黄瓜早衰作用的研究。土壤学报,第29卷4期,447—450页。
19. 鲁如坤、史陶钧编,1982:《农业化学手册》,41页,科学出版社。
20. 黄东边、朱培立,1982:有机无机态肥料氮在水田和旱地的残留效应。中国科学(B辑),第10期,907—912页。
21. 莫淑助,1991:猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用研究。土壤学报,第28卷3期,309—316页。
22. 姚喜源,1989:有机肥和无机氮肥配合施用对调节土壤磷素平衡的影响。土壤肥料,第1期,5—9页。
23. 鲁如坤,1992:水稻土的磷素研究,《李庆远与我国土壤科学的发展》,中国科学院南京土壤研究所编,江苏科学出版社,100—104页。
24. 鲁光海,1985:湖南省主要水稻土磷素状况及其吸附特征的研究。土壤通报,第2期,75—76页。

25. 何念祖, 1981: 热带土壤的磷吸附作用. 土壤学进展, 第5期, 33—39页。
26. 何振立, 1990: 有机阴离子对磷酸根吸附的影响. 土壤学报, 第27卷4期, 377—384页。
27. 赵晓齐、鲁如坤, 1991: 有机肥对土壤磷吸附的影响. 土壤学报, 第28卷1期, 7—13页。
28. 农业部科技司主编, 1991: 《中国南方农业中的钾》, 农业出版社, 86页。
29. 王先乐, 1986: 富钾绿肥—小葵子的筛选和利用. 土壤通报, 第17卷2期, 64—67页。
30. 胡笃敬、董任瑞、葛旦之著, 1983: 《植物钾营养的理论与实践》, 湖南科技出版社, 242—251页。
31. 林荣新、杨玉爱、何念祖, 1985: 有机肥防治油菜缺硼效果的研究. 浙江农业科学, 第2期, 88—91页。
32. 杨玉爱、薛建明, 1986: 有机肥料含硼量及其对土壤硼的影响, 《微量元素肥料研究与应用》, 农牧渔业部农业局编, 湖北科技出版社, 297—306页。
33. 陈恩凤编著, 1990: 《土壤肥力物质基础及其调控》, 科学出版社, 38—54页。
34. 袁可能, 1981: 土壤有机矿质复合体研究Ⅱ. 土壤学报, 第18卷4期。
35. 汪寅虎, 1994: 长期定位条件下, 秸秆还田的综合效应研究. 土壤通报, 第25卷7期, 53—56页。
36. 魏朝富、陈世正、谢德体, 1995: 长期施用有机肥对紫色水稻土有机无机复合性状的影响. 土壤学报, 第32卷2期, 159—166页。
37. 窦森、陈恩凤、须湘成, 1995: 施用有机肥料对土壤胡敏酸结构特征的影响——胡敏酸的光学性质. 土壤学报, 第32卷1期, 41—49页。
38. 杨玉爱、何念祖、叶正钱, 1990: 有机肥料对土壤锌、锰有效性的影响. 土壤学报, 第27卷2期, 196—201页。
39. 关松荫, 1989: 土壤酶活性影响因子的研究I——有机肥料对土壤中酶活性及氮、磷转化的影响. 土壤学报, 第26卷1期, 72—78页。
40. 王焱、孙玉昆, 1975: 核酸降解产物在水稻生产上的应用及其作用机理研究. 生物化学与生物物理学报, 第7卷1期, 31—40页。
41. 金子渔, 1976: 水稻对<sup>14</sup>C-核酸降解产物的吸收和运转. 生物化学与生物物理学报, 第8卷1期, 35—49页。
42. 张旭东, 1989: 施用猪粪培肥土壤后, 土壤氨基酸含量的变化. 土壤通报, 第20卷6期, 260—262页。
43. 许旭旦, 1984: 3H-FA叶面饲喂后在小麦幼苗体内吸收和运转的研究. 植物生理学报, 第10卷3期, 291页。
44. K.E. 奥夫恰罗夫著(金成宗等译), 1962: 《维生素在植物生活中的作用》, 科学出版社。
45. 金维续, 1985: 厩肥与氮肥配施对蔬菜品质影响的研究. 中国农业科学, 第3期, 52—56页。
46. 俞仁培, 1991: 我国北方中低产地区土壤盐渍化的防治, 《中国土壤科学现状与展望》, 中国土壤学会主编, 江苏科学出版社, 193—198页。
47. 杨玉爱、王珂、叶正钱, 1995: 有机无机螯合微肥增效作用及生物效应研究, 《现代农业中的植物营养与施肥》, 中国植物营养与肥料学会编, 中国农业科技出版社, 188—191页。
48. 曾木祥整理, 1995: 秸秆直接还田技术规程. 土壤肥料, 第4期, 1—7页。
49. 黄东迈, 1994: 有机肥料养分循环与利用研究回顾. 土壤通报, 第25卷7期, 2—3页。
50. 金维续, 1989: 有机肥料研究四十年. 土壤肥料, 第5期, 35—40页。
51. 彭近新、陈慧君, 1988: 《水质富营养化与防治》. 中国环境科学出版社, 180—181页。
52. 森敏, 1979: 有机态室素C无机态室素の共存条件下での、植物の室素吸收能にていつ(第一报). 日本土壤肥料学杂志, 50(1), 40—48。
53. 森敏, 1979: 有机态室素C无机态室素の共存条件下での、植物の室素吸收能にていつ(第二报). 日本土壤肥料学杂志, 50(1), 49—54。
54. Sun X. 1986: Effects of organic manure on soil fertility and crop production. Current progress in soil research in P. R. China, p197—206.
55. M. C. Sarker. 1990: Effect of fertilizers on soil ecosystem. Fertilizer News. Vol. 35. No.12. p81—85.
56. M. Su Zuki. 1990: Effect of 60-year application of organic or chemical fertilizers on soil fertility and rice yield. "Transactions of 14th ICSS" plenary paptrs, p14—19.

## PERSPECTIVES OF ORGANIC FERTILIZER RESEARCH IN CHINA

Yang Yuai

(*College of Environmental Science and Natural Resources Zhejiang Agricultural University, 310029*)

### Summary

In this paper, the research work concerning the resources, structure, composition and nutritional functions of organic fertilizer, and the mechanisms of organic fertilizers in improving soil fertility and enhancing the quality of crop products, done in China since 1986 are reviewed. The relationship between the combined application of organic fertilizers with chemical fertilizers and the development of sustainable agriculture and the establishment of optimum environmental ecology are discussed. The perspective of future research on organic fertilizers should be the utilization of organic fertilizer resources as much as possible, put them into agricultural fields and let them join in the nutrients recycling in agricultural system. The cycling and re-utilization of carbon, potassium, and micronutrients would be the major research targets of cycling of organic fertilizers, so as to protect environmental quality and improve nutrient balance in food chain as well as agroecological system.

**Key words**     Organic fertilizer, Nutrient cycling, Food chain, Sustainable agriculture