

江苏中部典型农区耕地环境质量评价及应用研究

——以海安县为例

巫建华¹ 许学宏¹ 陈斌² 纪从亮¹ 邹凤珠¹ 季应明² 王红慧¹ 高芹¹ 周健¹ 邵劲松¹

(1 江苏省农产品质量检验检测中心 南京 210036; 2 海安县土肥站 海安 226600)

摘 要 通过对苏中典型县—海安的土壤环境质量的监测,对照 GB/T18407.1-2001《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》、DB32/T343.1-1999《江苏省无公害农产品(食品)产地环境条件要求》及《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)标准,分别采用 Nemerow 综合指数法进行评价。结果表明:全县 5.30 万 hm^2 耕地土壤符合国家及地方无公害农产品(蔬菜、粮油)产地环境要求,占 97.7%;以 GB/T15618-1995 中土壤自然背景值评价,全县综合污染指数为 0.86,属尚清洁,其中 1 级土壤(清洁)占 79.3%,土壤中污染因子分担率依次为 $\text{As}>\text{Cr}>\text{DDT}>\text{Hg}>\text{Cu}>\text{Pb}>\text{Cd}>\text{六六六}$,主要是少部分老棉区受农药(DDT、Hg、As 制剂)轻污染,与 70~80 年代耕地利用方式及农民的用药有密切的关系,总体表现为里下河>沿海>沿江。通过研究提出了土壤利用与修复的规划。

关键词 耕地;污染;监测;评价;利用

中图分类号 S156

现代工业及城市的发展,工业“三废”、城镇生活废弃物大量增加,农药、肥料等农用投入品的不合理使用,导致农业生态环境污染加重,从而影响了农产品的清洁生产,对人类健康构成了极大的威胁,国内学术界由此开展了耕地与农产品安全的研究^[1,2]。2001 年我们在省政府“江苏省农产品清洁生产创新研究与实施”项目的资助下,对我省中部典型农区海安县进行了耕地环境质量本底调查。海安县位于苏中东部里下河、沿江、沿海三农区交汇处,土壤类型有沿江、沿海潮土及潮盐土、里下河水稻土等,是我省较为典型的种植业、养殖业农业生产县。近 20 年来,该县种植结构、肥料结构、农药使用及耕作方式等都发生了较大变革,曾组织过二次耕地土壤肥力普查,本次为海安全县首次开展耕地环境质量的调查。经过两年来野外调查、采样、检测、评价,取得了初步结果。

1 环境调查范围和内容

1.1 调查范围及采样方法

本次调查在海安全县耕地范围内,总面积为 5.43 万 hm^2 ,由省农产品质检中心、海安县土肥站组织县、乡有关农技人员按统一产地环境采样技术

规程,以前两次全省土壤普查农化样取样田块为基点,选择代表性田块,按“S”型采集耕层(0~20cm)土壤混合样,全县共采集耕层土样 88 个,且均采用 GPS 定位,蔬菜基地约 100 hm^2 耕地采一个样,面上大田约 1000 hm^2 耕地采一个样,均用 PVC 管采集。

1.2 土壤样品检测项目及方法

分析项目为 Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、As、六六六及 DDT,检测方法^[3]按 GB/T18407.1-2001《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》及 DB32/T343.1-1999《江苏省无公害农产品(食品)产地环境条件要求》标准进行。

2 结果与讨论

2.1 土壤环境中各污染因子实测结果分析

全县耕层土壤样品按相关标准检测,土壤中 6 种重金属及六六六、DDT 2 种农药残留检测结果及分布见表 1。pH 均在 7.5 以上。与 GB/T18407.1-2001 及 DB32/T343.1-1999 中控制指标比较仅有 1 个点 DDT 超标。含量为 0.57 mg/kg ,属里下河老棉区,代表面积在 1235 hm^2 。

表 1 海安县不同区域及土壤重金属及农药残留含量 (mg/kg)

Table 1 Heavy metals and pesticide residues in agricultural soil of Haian(mg/kg)

类 别	n	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	As	六六六	DDT
土壤自然背景		< 0.20	90	35	35	0.15	15	0.05	0.05
控制指标		< 0.60	250	100	150	1.0	25	0.50	0.50
里下河水稻土	32	0.062	61.4	24.6	17.5	0.15	5.96	0.001	0.089
沿海潮土	43	0.039	53.0	18.4	13.5	0.088	4.48	0.0004	0.045
沿江潮土	13	0.051	51.9	19.2	14.3	0.072	6.66	0.0002	0.014
大 田	49	0.051	56.1	21.0	15.2	0.11	5.78	0.0005	0.048
基地及园区	39	0.046	55.4	20.4	14.9	0.11	4.81	0.0006	0.065
最小值	1	0.024	34.5	7.4	10.5	0.022	3.36	ND	0.003
最大值	1	0.10	74.3	35.7	23	0.96	8.31	0.004	0.57
平 均	88	0.049	55.8	20.7	15.1	0.11	5.35	0.0006	0.056

注：控制指标按 GB/T18407.1-2001，Cu 按 DB32/T343.1-1999，均以土壤 pH>7.5 计；土壤自然背景指标按 GB15618-1995；土类均按农区划分；大田指面上大面积非示范性农田，一般种植粮油作物；ND 为未检出，六六六检出限为 0.00005 mg/kg；n 为样点数。

2.2 土壤环境质量评价方法

2.2.1 评价模式 对检测结果按农业部《农田土壤环境监测技术规范》(NY/T395-2000)进行统计分析、评价。环境质量评价采用指数法^[3]，指数法分单项污染指数法和综合污染指数法。

(1) 单项污染指数法：

$$P_i = C_i / S_i$$

式中： P_i 为环境中污染物 i 的单项污染指数； C_i 为环境中污染物 i 的实测数据； S_i 为污染物 i 的评价标准； $P_i > 1$ 为污染。

(2) 综合污染指数法：

$$P_{\text{综}} = \sqrt{((C_i/S_i)^2 \max + (C_i/S_i)^2 \text{ave}) / 2}$$

式中： $P_{\text{综}}$ 为综合污染指数； $(C_i/S_i)^2 \max$ 为土壤所有污染物中单项污染指数最大值平方； $(C_i/S_i)^2 \text{ave}$ 为土壤所有污染指数的平均值平方。

2.2.2 评价标准与等级划分 分别采用《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》(GB/T18407.1-2001)、DB32/T343.1-1999《江苏省无公害农产品(食品)产地环境条件要求》和《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中土壤自然背景值标准进行评价。按综合污染指数划分等级(表2)。

表2 土壤环境质量等级

Table 2 Grades of soil environment quality

等级划定	综合污染指数	污染等级	污染水平
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安 全	清 洁
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警 戒 限	尚 清 洁
3	$1 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻 污 染	土壤污染物超出标准,视为轻污染,作物开始污染
4	$2 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中 污 染	土壤、作物受中度污染
5	$P_{\text{综}} > 3$	重 污 染	土壤、作物受污染已相当严重

2.3 评价结果与分析

2.3.1 以无公害农产品产地环境相关标准作评价分析 全县不同地区土壤环境以《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》(GB/T18407.1-2001)为控制指标，其污染指数分析结果见表3中 $P_{\text{指标1}}$ ，全县各农区综合污染差异不明显，分布区间为0.19~0.25，以里下河农区最高，比全县平均值高16%以上。分别比较各点的结果表明，全县仅有1个点 DDT 残留超标(0.57 mg/kg)，该点 DDT 单项污染指数为1.14，综合污染指数为0.85，其它各点单项污染指数均<1，综合指数均<0.7。全县综合污染指数为0.21，达到安全、清洁的水平。按表2土壤等级及各点综合指数划分，全县1级土壤面积为5.30万 hm^2 ，占97.7%，2级土壤面积为1235 hm^2 ，占2.3%，如表4所示。按单项指数判定，海安县5.43万 hm^2 耕地重金属含量符合国家无公害蔬菜产地环境要求，占100%；5.30万 hm^2 耕地农药残留符合国家无公害蔬菜产地环境要求，占97.7%。综合评定，全县5.30万 hm^2 耕地符合国家无公害农产品产地环境条件要求，占97.7%。

《江苏省无公害农产品(食品)产地环境条件要求》(DB32/T343.1-1999)指标与GB/T18407.1-2001相比，主要是增加了Cu指标，评价结果见表3的 $P_{\text{指标2}}$ 。由表3显示，Cu单项污染指数均未超过1，表明无超标现象，总体与国家GB/T18407.1-2001标准一致。因此，全县的耕地对照无公害农产品产地环境质量是清洁的，按照无公害农产品相关生产规程操作可以生产出安全的产品。

表 3 全县不同区域环境质量单项与综合污染指数

Table 3 Environment quality single and integrated pollution indexes of different regions in the county

地区及土类		Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	As	六六六	DDT	平均指数	综合指数
里下河水稻土	P 指标 ₁	0.10	0.25	—	0.12	0.15	0.24	0.002	0.17	0.15	0.24
	P 指标 ₂	0.10	0.25	0.25	0.12	0.15	0.24	0.002	0.17	0.16	0.21
	P 自然	0.31	0.68	0.70	0.50	1.02	0.40	0.02	1.73	0.67	1.31
沿海潮土	P 指标 ₁	0.08	0.21	—	0.09	0.09	0.18	0.001	0.09	0.10	0.19
	P 指标 ₂	0.06	0.21	0.18	0.09	0.09	0.18	0.001	0.09	0.11	0.17
	P 自然	0.19	0.59	0.52	0.39	0.59	0.30	0.01	0.90	0.44	0.71
沿江潮土	P 指标 ₁	0.08	0.20	—	0.09	0.07	0.26	0.0003	0.03	0.10	0.19
	P 指标 ₂	0.08	0.21	0.19	0.10	0.07	0.27	0.0003	0.03	0.12	0.20
	P 自然	0.25	0.56	0.53	0.40	0.47	0.44	0.003	0.29	0.37	0.47
大 田	P 指标 ₁	0.09	0.22	—	0.10	0.11	0.23	0.001	0.10	0.12	0.22
	P 指标 ₂	0.09	0.22	0.21	0.10	0.11	0.23	0.001	0.10	0.13	0.19
	P 自然	0.26	0.62	0.60	0.43	0.71	0.38	0.01	0.96	0.50	0.78
基地及园区	P 指标 ₁	0.08	0.22	—	0.10	0.11	0.19	0.001	0.13	0.12	0.20
	P 指标 ₂	0.08	0.22	0.20	0.10	0.11	0.19	0.001	0.13	0.10	0.21
	P 自然	0.23	0.61	0.58	0.43	0.73	0.32	0.01	1.30	0.53	0.99
全县平均	P 指标 ₁	0.08	0.22	—	0.10	0.11	0.21	0.001	0.11	0.12	0.21
	P 指标 ₂	0.08	0.22	0.21	0.10	0.11	0.21	0.001	0.11	0.13	0.18
	P 自然	0.24	0.62	0.59	0.43	0.73	0.36	0.01	1.11	0.50	0.86

注：P 指标₁ 按 GB/T18407.1-2001 标准评定；P 指标₂ 按 DB32/T343.1-1999 标准评定；P 自然 按 GB15618-1995 中土壤自然背景值评定。

2.3.2 以《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 标准评价分析 以 GB15618-1995 标准中的自然背景值为控制指标，全县面上大田中 Hg 有 4 个点、DDT 有 10 个点有不同程度的超标，其它未有超标现象。Hg 的背景值为 0.15 mg/kg，各点单项污染指数区间为 0.2~6.4。DDT 的背景值为 0.05 mg/kg，单项污染指数区间为 0.1~11.4，方差分析表明各点之间差异显著。由此反映了至目前工农业的发展对土

壤已造成了不同程度的污染影响，主要是 Hg、DDT 超标。

全县各采样点综合指数区间为 0.3~8.2，总体平均为 0.86，表明全县处于 2 级土壤等级水平。按各点污染物综合指数及代表面积进行了等级划分(表 4、图 1)，海安全县 1 级土壤(清洁)占 79.3%，2 级土壤(尚清洁)占 9%，3 级土壤(轻污染)占 2.0%，4 级土壤(中污染)占 1.56%，5 级土壤(重

表 4 全县耕地按不同标准划分等级(万 hm²)

Table 4 Grading of farmland of the county according to different standards (10⁴ hm²)

类 别	1 级 (清洁)	2 级 (尚清洁)	3 级 (轻污染)	4 级 (中污染)	5 级 (重污染)
按无公害农产品产地环境标准 (GB/T18407.1-2001) 划分面积	5.3	0.1235	0	0	0
按土壤自然背景 (GB15618-1995) 划分面积	4.3	0.493	0.107	0.085	0.443

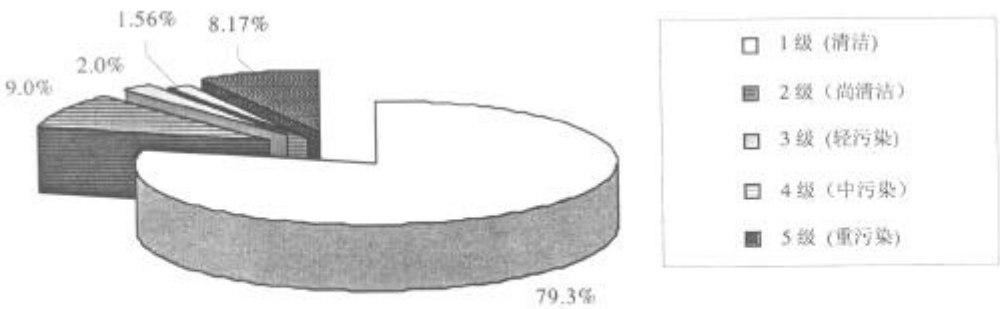


图 1 按国家标准 (GB15618-1995) 耕地自然背景值划分比例 (%)

Fig. 1 Grading of soils on the basis of background value by the national standard(GB15618-1995) and their proportions (%)

污染)占 8.17%。总体看海安耕地环境质量较好, 79.3%的耕地基本未受多年来工农业的污染, 处于自然清洁水平, 符合国家绿色食品环境质量指标要求。仅有 8.17%受工农业 DDT、汞污染较重。面上 Hg 有 4 个点 $P_i > 1$, DDT 有 10 个点 > 1 。全县综合污染指数为 0.86, 为尚清洁水平, 其中里下河地区 > 1 , 沿江地区 < 0.7 。主要是由于 DDT 和 Hg 与自然背景值相比偏高。

2.4 土壤中主要污染因子的演变分析

2.4.1 不同农区及利用方式各项污染指数差异分析

从图 2 分析, 对照 GB/T18407.1-2001 标准的各农区污染综合指数表现为里下河略高于沿江、沿

海, 且三农区均低于 0.25, 差异不显著。按 GB15618-1995 标准中土壤自然背景值则表现为里下河 $>$ 沿海 $>$ 沿江。分析各因子数值表明沿海以 Cr、As、DDT 污染为主, 沿江以 As、Cr 为最高, 里下河以 Cr、As、DDT 三者为主。各农区污染因子分担率次序: 沿海为 Cr、As、DDT、Hg, 沿江为 As、Cr; 里下河为 Cr、As、DDT。总体污染因子分担率依次为 $As > Cr > DDT > Hg > Cu > Pb > Cd >$ 六六六。我们通过实测值分析了蔬菜与粮油种植区各污染值的差异, 发现两者各污染因子差异不显著。经调查发现海安现有规模蔬菜种植区均为种植年限较短, 差异主要是地区之间土壤及长期耕种的影响。

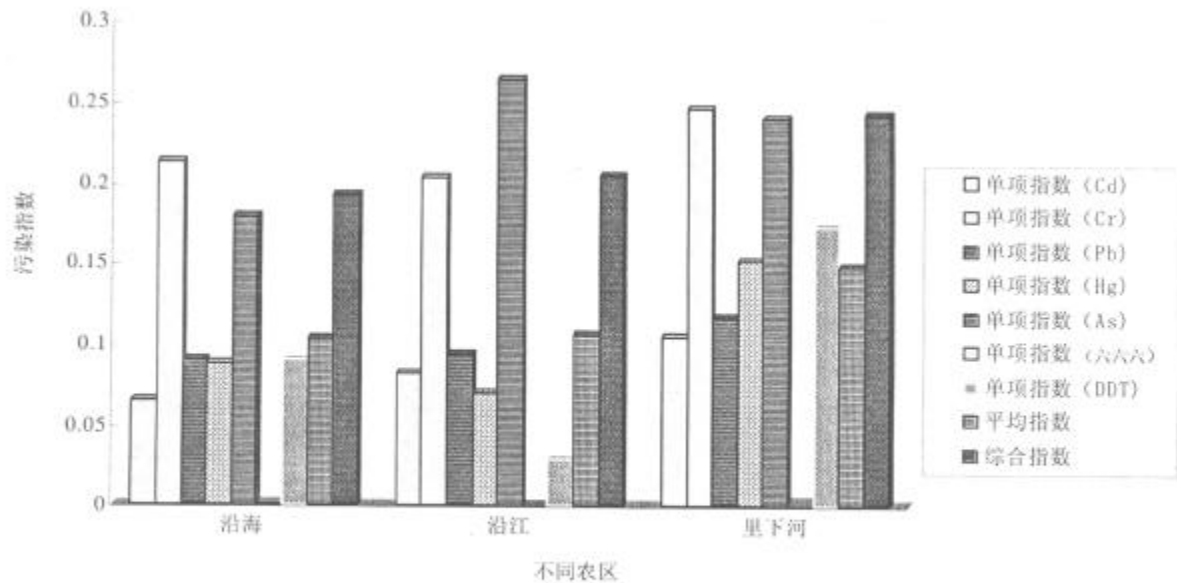


图 2 各农区污染指数比较 (GB/T18407.1-2001)

Fig. 2 Comparison of various agricultural areas in pollution index (GB/T18407.1-2001)

2.4.2 土壤中主要污染因子农药残留分布规律分析

从以上各污染指数结果表明, 各农区间污染物以 DDT、Hg 差异较大, 特别是有机 Cl 农药残留较高的点大部分属里下河农区, DDT 残留量如图 3 所示。六六六在各农区含量均较低, 但也表现为里下河 (0.001mg/kg) $>$ 沿海 (0.0004mg/kg) $>$ 沿江 (0.0001mg/kg)。我们查阅了有关农业志, 作了详细调查, 综合分析认为, Hg 和 DDT 与农药的使用有关。Hg 和 DDT 偏高的点都是该县的老棉区。50~70 年代, 棉种处理以含 Hg、As 的“赛力散”、“西力生”拌种, 含 Cl 的六六六、DDT 也普遍大量使用, 尤其是 DDT 一直应用到 80 年代初。在 70 年代, 该县的农药年销售量在 3×10^6 kg 左右, 以含 Cl 农药为主,

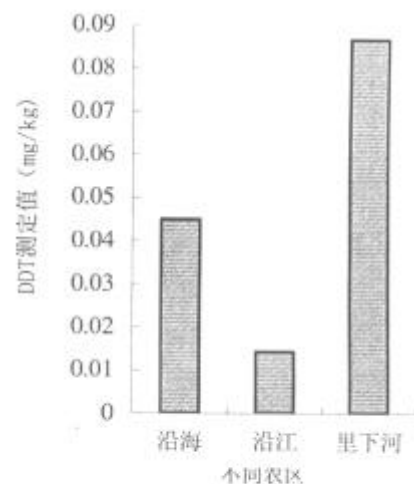


图 3 不同农区 DDT 农药残留量比较

Fig. 3 Comparison of different agriculture areas in pesticide residue

至80年代末农药年销售量已降到 $2 \times 10^6 \text{kg}$ 以下,以有机P农药为主。随着农药用量的下降,土壤中的残留也逐步下降。

3 结论与利用对策

(1) 苏中海安县土壤环境以GB/T18407.1-2001(国家无公害农产品土壤指标)为控制标准,全县综合污染指数分布区间为0.17~0.21,平均为0.18,达到一级土壤即安全、清洁的水平,全县有5.30万 hm^2 耕地,符合国家无公害农产品产地环境条件要求,占总面积97.3%。全县的耕地土壤环境质量是清洁的,按照无公害蔬菜生产规程操作可以生产出安全的产品。

(2) 以GB15618-1995标准中的自然背景值为指标,全县面上大田存在Hg、DDT不同程度的超标现象。其中Hg单项污染指数区间为0.2~6.4,DDT单项污染指数区间为0.1~11.4,方差分析表明各点之间差异显著。全县各采样点综合指数区间为0.3~8.2,也反映了至目前工农业的发展对土壤已造成了不同程度的污染影响。总体平均为0.86,表明全县处于2级土壤水平,即尚清洁水平,少部分地区重污染,占8.17%。综合污染表现为里下河>沿海>沿江。

(3) 苏中土壤中平均各污染因子分担率依次为 $\text{As} > \text{Cr} > \text{DDT} > \text{Hg} > \text{Cl} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{六六六}$,主要是少部分老棉区受农药(DDT、Hg、As制剂)轻污染,与70~80年代耕地利用方式及农民的用药有密切的关系。

(4) 根据耕地环境质量调查与评价结果,应分类建立适宜种植区。一是对于清洁、尚清洁且符合无公害农产品产地环境要求的田块,可建立产地质

量档案,并认定为无公害农产品生产基地,形成品牌。根据农业部《无公害农产品管理办法》及江苏省《无公害农产品产地环境认定办法》,进行耕地质量的评价,形成不同地区环境质量状况评价报告,建立产地质量档案,认定一批无公害农产品生产基地,制定相关耕地农产品安全生产技术规范,设立监测点。通过认定形成品牌产品,为当地农产品销售发挥重要作用,其社会效益极其显著。二是根据评价结果提出综合利用与污染治理发展规划,指导全省种植业结构调整。依据不同类型污染的程度,提出综合利用与发展规划。对农业生态环境较好、基本没有污染的1~2级土壤地区,要实行严格的保护,大力开发有机食品、绿色食品及无公害农产品;对一些2~3级微或轻污染土壤地区,要科学治理,防止发生新的污染,应用生物技术(包括微生物、植物)进行修复,降解残留农药、重金属,可间作或隔年种植一些食用作物;对一些4~5级土壤且化工企业比较密集、污染比较严重的地区,要加快控制和治理步伐,实施退耕还林、还草或者种植非食用农产品,也可按照作物的选择性吸收机理,合理采用不同的种植模式,逐步修复土壤。

参考文献

- 1 赵其国,周炳中,杨浩,刘世亮.中国耕地资源安全问题及相关对策思考.土壤,2002,34(6):293~302
- 2 赵其国,周炳中,杨浩.江苏省环境质量与农业安全问题研究.土壤,2002,34(1):1~8
- 3 刘凤枝主编.农业环境监测实用手册.北京:中国标准出版社,2001,3~32

ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT OF FARMLAND IN CENTRAL JIANGSU AND ITS APPLICATION—A case study of Hai'an

Wu Jianhua¹ Xu Xuehong¹ Cheng Bin² Ji Congliang¹ Zou Fengzhu¹
Ji Yingming² Wang Honghui¹ Gao Qin¹ Zhou Jian¹ Shao Jingsong¹

(1 Jiangsu agro-product quality inspection and testing center, Nanjing 210036;

2 Haian county soil and fertilizer technique extension station, Haian 226600)

Abstract In this paper presented are results of a study on quality and pollution of soil environment by monitoring in Hai'an county, which is located in Central Jiangsu province. The present situation of the soil environment quality and pollution are evaluated by Nemerow integrated index method and standards such as GB/T18407.1-2001, (下转第407页)

application, the annual growth rate of soil organic matter is the highest in the farmyard manure treatment, followed by the green manure treatment and the straw treatment. The relation between accumulation of organic matter and quantity of organic manure applied is $Y=Ae^{bx}$, where Y stands for content of organic matter in the soil and X for quantity of organic manure applied. The primary factors affecting the accumulation rate are quantity and C/N of the organic matter applied. C/N of the organic matter has a major effect on the accumulation coefficient of organic matter of different organic manure source(kg OM/kg fertilizer).

The most important problems affecting increasing content of organic matter in red soil through application of organic manure are sources and transportation of organic manure, especially in hilly red soil areas. The results of the experiment indicate recycling straw as manure in the plots yet slightly increases organic matter content in the red soil, and also brings back most part of the potassium (>60 percent) absorbed by the crop to the soil, but at a low rate. Thereby, this measure can be taken as solution to the above-mentioned problems in farming practice.

Key words Organic matter , Organic manure , Long-time experiment , Upland of red soil

(上接第 386 页)

ADVANCE IN MOLECULAR BIOLOGY OF HETEROTROPHIC NITRIFIER

Wang Yiming Peng Guanghao

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008)

Abstract Nitrification is an important part of N cycle in nature. Besides the well known autotrophic nitrifiers belonging to the *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* groups, there are some heterotrophic microorganisms and methanotrophic bacteria that are able to do the job. Advance in molecular biology of heterotrophic nitrifier is reviewed in this paper.

Key words Nitrification, Heterotrophic nitrifier, Molecular biology

(上接第 391 页)

DB32/T343.1-1999 and GB15618-1995. The county has a total of 5.30×10^4 hm² of farmland, or 97.7% of the county's total, in compliance with the national and local environmental norms for production of non-hazard agricultural produce (vegetables, grain, cooking oil); With the standard (GB/T18407.1-2001) as the norm for assessment of the natural background value of the soil, the integrated pollution index of the county is 0.86, falling into the category of "clean". About 79.3% of the soil is of Grade One (clean), Factors contributing to the soil pollution are in the order of As>Cr>DDT>Hg>Cu>Pb>Cd> benzene hexachloride, which is mainly the result of some traditional cotton fields having been slightly contaminated with agro-chemicals (DDT, Hg, Arsenic products) and the patterns of land use and pesticide utilization in the 70-80s. In terms of regions and severity of pollution, the Lixiahe Region > coastal region > the Riverside region. Based on the research results, strategies for utilization and remediation of the soils are brought forth.

Key words Farming soil, Pollution, Monitor, Evaluate, Use