

科学全面地应对我国土壤环境恶化问题

白清云

农业部环境保护科研监测所

[摘要]: 由于我国重金属镉在食品中限量标准设置偏严, 导致我国土壤中重金属镉最大允许浓度设置偏低, 进而造成目前对我国土壤污染程度估计过高。实际上, 目前我国面临最大的环境问题是由于集约化农业导致全国范围土壤退化, 而不只是污染。由于全国范围内土壤退化严重, 造成沙尘暴频发、地下水污染、地表水富营养化严重、淡水资源日益短缺、农业生态系统功能日益弱化、初级农产品安全不断等一系列严重环境、社会、经济问题。要科学地应对这一环境问题, 就要通过全面提高农业生态系统生物多样性来稳步增加土壤中有机质含量, 进而改善土壤的物理、化学、生物性性质来逐步提高土壤的功能来遏制直至解决我国土壤环境恶化问题。

[关键词]: 标准、土壤退化、土壤污染、生物多样性、环境功能

Abstract: It is reasonable to focus on deterioration of soil environment as soil plays an extremely important role in both environmental protection and sustainable agriculture. Soil, as non-renewing resources, and interface between environment and agriculture, is an integration of atmosphere, hydrosphere, lithosphere and biosphere, and makes multi-functions including guarantee of air and water quality as well as health for human being and animals. In comprehensive view point, we are facing soil degradation other than only soil pollution as whole in China. Contamination of soil by some heavy metals, especially, by cadmium is likely overestimated, due mainly to that the maximum permissible levels in foods and soil for the metal set are too strict. To remedy soil degradation, enhancement of biodiversity in agroecosystem consists of addition of manure, controlling soil erosion, reduce of tillage, cover crops, as well as rotation and intercropping.

Keywords: Criteria, soil degradation, soil pollution, biodiversity, environment, function

最近几年, 我国科技界、农学界以及国家有关环境保护和农业部门对我国土壤环境问题给予了极大的关注。土壤的环境问题受到极大关注, 理所当然, 因为土壤是集岩石圈、水圈、大气圈和生物圈为一体的生态体系, 是环境科学研究的主体; 同时土壤是不可再生或再生极为缓慢的宝贵资源, 土壤又是农业与环境的界面, 应为土壤质量的高低, 与人类呼吸的空气质量、人类离不开的水源质量和人类食品安全密不可分, 土壤功能的强化与削弱直接与人类切身利益息息相关。然而, 目前我国土壤环境问题的主要焦点是什么, 是土壤受到污染? 还是土壤退化? 如何科学全面地应对我国目前土壤的环境问题, 是致力于土壤污染的修复? 还是立即行动起来, 遏制日益恶化的全国范围内土壤退化? 无疑是我们科技界、环保界、农学界必须明确回答的问题。

一、我国目前土壤污染问题的透视

在过去的十几年, 我国对土壤污染的确十分重视。早在上世纪 90 年代中期, 国家环保总局就通过立法, 以国家标准的形式颁布了土壤环境质量标准 (GB15628-1995)。此后, 国家许多行政部门对土壤受到污染, 特别是受到重金属污染给予了高度重视。主要表现在: 1、国家投入相当大的资金对全国范围土壤中重金属含量进行了检测、调查初步掌握了我国土壤受重金属污染的概况。2、国家 973、863、科技攻关等科研项目对土壤受重金属污染和土壤修复研究给予了比较大的支持力度。目前许多数学者认为: 我国土壤被污染总面积高达 2000 万公顷 (1), 也就是 3 亿亩。甚至有人认为我国土壤污染面积高达 6000 万公顷 (2)。另根据中国科学院生态所孙铁珩院士称, 目前我国受镉、砷、铬、铅等重金属污染耕地面积近 2000 万公顷, 约占耕地总面积 1/5; 其中工业“三废”污染耕地 1000 万公顷, 污水灌溉的农田面积已达 330 多万公顷 (3)。

根据这些学者的看法, 国家有关部门也积极行动起来, 准备应对我国的土壤污染问题。据称, 环保总局与国土资源部将联合投入 10 亿元, 用三年半时间, 进行全国土壤污染状况调查, 并以此完善中国的土壤污染防治工作。因为根据估算, 全国每年因土壤重金属污染而造成污染的粮食达 1200 万吨, 造成的直接经济损失超过 200 亿元 (4)。

表一 食品中有关重金属镉最大允许限量的 CAC/FAO 标准与我国标准比较

(毫克/公斤)

食品名称	CAC/FAO	中国
大米	0.4	0.2
小麦	0.2	0.1
谷物、豆类、豆科蔬菜	0.2	0.1
茎、根来蔬菜	0.1	0.1

叶菜	0.2	0.2	
土豆	0.1	0.05	
其它（食用菌、番茄除外）	0.05		
水果	0.1	0.05	
小水果、草莓、葡萄	0.2		
果汁	0.05		
牛奶	0.02		
酒	0.2		
芸苔	0.3		

如上所述的近 2000 万公顷土壤受重金属污染可能不符合实际，因为，判断土壤是否污染必须有一个标准，这个标准就是土壤中某种毒物最大允许浓度（maximum permissible concentration）！不能认为土壤只要含有有毒化合物就认为该土壤一定存在污染！判断土壤是否受重金属污染当然也要有一个标准，一般来说，国际上通用的土壤中重金属最大允许浓度是比较合理的、比较科学的。例如，对于土壤中重金属镉，就需要一个科学依据充分的标准，究竟土壤中重金属镉的限量数值设置多高合理？WHO 的专家根据大量研究，利用数学模拟，提出了建议数值，认为 4 毫克/公斤比较合理，整整比我国颁布的标准宽松了一个数量级（5）！此外，荷兰环保学者通过对 100 多种包括重金属、化学农药、氰化物、多环芳烃类、多氯联苯类等潜在毒物的毒理学和生态毒理学数据综合评估，推演出了这些化合物在土壤、水和沉积物中最大允许浓度（6），其结果与 WHO 的专家的结果基本上类似。

与国际组织和大多数国家相比，我国标准 GB15618-95 界定土壤中重金属镉限量标准是依据土壤 pH 值不同分别界定为 0.3-0.6 毫克/公斤。平心而论，这一标准对于除了镉和汞外其他重金属限量数字还是比较切合实际的，但是对于镉和汞，无疑是世界上目前最严格数值，要严于其它任何发达国家诸如美国、日本、欧盟，我国台湾等（参看表三）。假设我国把土壤重金属镉限量设定为 1 毫克/公斤，估计受“污染”土壤大概不到 100 万公顷；如果设定为 2 毫克/公斤（采用大多数发达国家标准），估计还有 10 万公顷；如果采纳 WHO 推荐的标准，设定为 4 毫克/公斤，估计只有 1 万公顷土壤可以看作是受到污染。至于说到土壤受有机物、化学农药污染，目前尚无科学依据，因为土壤是大多数污染物的归宿。再说，有机化合物毕竟是可以降解的，而且目前大多数国家还没有制定土壤中农药或其它有机污染物残留限量标准，也没有证据表明土壤中重金属或其它所谓污染物一定能与初级农产品污染成比例地挂上钩（7）。土壤含有重金属是正常现象，生命代谢需要重金属，不能认为凡是土壤中的重金属一定是污染；当然，也不能认为凡是普通金属元素就不是污染物。因此，那些惊呼土壤中重金属检出率 100% 的来证明土壤受污染严重的说法是没有道理的。事实上，重金属锌、铬、钴、镍等已经被公认为是人类营养元素，甚至砷也是生命代谢必须元素。最近更有报道认为重金属镉、铅也可能是某些生命活动需要的元素（8）。还要说明的是，每年由于土壤污染而出现受重金属污染粮食 1200 万吨，也是子虚乌有！因为判断初级农产品污染，同样也需要有一项科学依据充分的标准。关于食品中重金属镉最大限量标准，我国又是世界上数值设定最严格的国家（参看表二），例如，大米中设定为 0.2 毫克/公斤，这个数字连日本人也认为不合理，建议为 0.4 毫克/公斤。而美国人到目前连这个标准也懒得设置，因为重金属镉一般不会对食品安全造成威胁。FAO/WHO 的 CCFAC 的 27 例会决定对水果、猪、牛、羊、马肉、中药材、食用菌、块茎芹、大豆、花生等中的重金属镉设置限量标准的工作不再继续，因为有证据表明人类经这些食物对镉的暴露微乎其微。所有这些信息在互联网上稍微用用心，不难找到。还要说明，我国卫生部调查的数据也证明我国居民受到重金属镉暴露也不比其它国家人群高！特别要指出：刚刚在今年 7 月 7 日结束的 CAC/FAO/WHO 第 29 次例会已经发布了文件，根据大多数国家意见，决定把重金属镉在大米中最大残留限量设置为 0.4 毫克/公斤。这样一来，我国设置的 0.2 毫克/公斤显然是不科学的，而且也是不符合国情的。如果用 0.4 毫克/公斤来作为标准判断，我国每年决没有 1200 万吨受污染的粮食之说。更何况初级农产品污染也不能完全与土壤中重金属污染挂钩，因为大气飘尘，也可能是初级农产品中重金属来源之一。与重金属镉有相同命运的还有重金属汞！与国外大多数国家或者国际组织相比，我国对该元素在土壤中限量设置偏紧。

我国土壤重金属限量标准制定的主要是依据大米中重金属镉限量为 0.2 毫克/公斤，因为水稻对重金属镉的强富能力最强，而且通过盆栽实验得到数据而制定的。如果我们采用 CAC/FAO/WHO 推荐的标准，那么 GB15618-95 所界定的土壤中重金属镉限量就是没有科学依据的。而用这个缺乏科学依据的标准判断我国土壤受到重金属污染的说法也是站不住脚的。但就是这项不合理的标准，整整统治了我们十几年，迫使大量国力、财力投入用在防止重金属镉对土壤的污染上，而忽视了我国全国范围内土壤已经大幅度退化的严峻现实。

表二 某些国家颁布的食品中重金属镉最大限量（毫克/公斤）

国家名称	所设置的标准值	食品种类
孟加拉	6.0	所有食品

巴西	1.0	除了饮料外所有食品
哥伦比亚	5.0	所有食品
香港	2.0	鱼与鱼制品
印度	1.5	所有食品
南韩	3.0	所有重金属
马来西亚	1.0	所有食品
巴基斯坦	6.0	所有食品
西班牙	1.0	甲壳类动物
乌拉圭	5.0	所有食品

回顾起来，由于一项食品安全标准设置不合理，导致土壤重金属限量设置不合理，进而导致我国环境保护政策和农业发展政策不科学，我们国家、我们民族为此付出了巨大沉重代价，这是无法用经济数字计算的！

另一方面，土壤污染不仅在我国，而且在外国的确存在，的确也是环境保护中遇到的问题。但是土壤污染是环境污染的下游，是污染链条的末端，如果要防止土壤受到污染、要治理土壤污染，必须从源头抓起。例如，采取严格措施防止大气污染、严格防止污水排放、防止工业废渣乱堆放等，否则，土壤一旦受到污染，特别是土壤受重金属污染目前在国内外基本上无法治理，或者治理成本奇高。还要指出，土壤中许多污染物，又是跨国界的，例如，许多持久性有机化合物诸如二恶英、多氯联苯、有机氯化学农药等，就是跨国界的污染物。在这里，不妨回顾一下我国的土壤受重金属污染的历史。在上世纪 70 年代，我国一批学者不顾基本科学原理，大力鼓吹利用氧化塘处理工业污水，闻名中外的武汉鸭儿湖被作为范例，然而重金属污染是无法用氧化塘除掉的，结果，不仅没有解决我国工业污水问题，而且又引进了外来入侵物种-水葫芦。如果说目前我国尚有土壤受到重金属污染，恐怕与氧化塘处理工业污水思路有关。

表四 WHO 推荐的土壤中某些金属元素和有机化合物控制限量

无机元素	最大允许限量	有机化合物	最大允许限量
	(mg kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)
Ag	3	爱氏剂	0.48
As	8	苯	0.14
B*	1.7	多环芳烃PAH (以苯并[a]花计)	16
Ba*	302	氯丹	3
Be*	0.2	氯代苯	211
Cd	4	氯仿	0.47
F	635	二氯苯	15
Hg	7	2,4-D	0.25
Mo*	0.6	DDT	1.54
Ni	107	狄氏剂	0.17
Pb	84	七氯	0.18
Sb	36	六氯苯	1.40
Se	6	花类化合物	41
Tl*	0.3	林丹	12
V*	47	甲氧氯	4.27
		五氯苯酚	14
		多氯联苯类 (PCBs)	0.89
		四氯乙烷	1.25
		四氯乙烯	0.54
		甲苯	12
		毒杀芬	0.0013
		2,4,5-T	3.82
		三氯乙烷	0.68
		邻苯二甲酸酯类	13,733
		苯乙烯	0.68
		二恶英	0.00012

表三 有关国家与地区颁布的土壤中重金属最大允许限量(毫克/千克)

	德 国	法 国	英 国	美 国	澳大 利亚	加 拿 大	荷 兰	日 本	台 湾	范 围	我国土壤中重金属限量标准					
											自然 背景	<6.5	6.5~7.5	>7.5	>6.5	
As	20	20	10	56	20	12	55	15	20	5.6-55	(水田)	15	30	25	20	30
											(旱地)	15	40	30	25	40
Cd	3	3	3.5	2		1.4	12	1	4	1-12		0.2	0.3	0.6	1	
Cu	100	100	140	45	60	63	190	125	150	45-190	(农田)	35	50	100	100	400
											(果园)		150	200	200	400
Cr	100	100	600	212	50	120	380		200	50-600	(水田)	90	250	300	350	400
											(旱地)	90	150	200	250	300
Hg	2	1	1			6.6	10		2	1-10		0.15	0.3	0.5	1	1.5
Ni	50	50	35	31	60	50	210			31-210		40	40	50	60	200
Pb	100	100	550	68		70	580		100	68-580		35	250	300	350	500
Zn	300	300	280	50	200	200	720		300	50-720		100	200	250	300	500

二、全国范围内土壤退化---中华民族再也无法承受的切肤之疼

目前我国土壤环境问题的焦点在那儿? 大量的事实表明: 是全国范围内土壤退化!

根据国家环保总局公布的数据, 我国目前水土流失面积高达356万平方公里, 其中水蚀面积为165万平方公里, 风蚀面积191万平方公里, 而受到土地侵蚀强度在重度以上的面积也在114万平方公里(9)。我国现有的4亿公顷草原中, 由于过度放牧, 大约总面积的90%存在着不同程度退化(9)。另外, 根据1998年国家土壤普查结果(10、11), 全国有50%以上的农田土壤中的有机质含量低于1%, 这可是一个再也不能危险的数字了。从人造卫星甚至民航客机向下鸟瞰华夏大地, 黄灿灿、金光闪闪! 全国范围内土壤退化造成的环境后果是灾难性的, 也是可怕的:

*由于土壤退化, 导致农田, 特别是土壤中生物多样性大幅下降, 进而导致农业生态系生态效率下降, 农民对农业的投入(主要是化肥与农药)得不到应有回报, 生产成本上涨, 种地失去利润;

*由于土壤退化才导致病虫害频繁发生, 农民必须大量使用农药, 这不仅加大农业生产成本, 而且也造成初级农产品安全问题无法从根本上解决;

*由于土壤退化才导致土壤中某些污染物(例如重金属)由结合态变成游离态, 由于退化的土壤中生物活性大幅度下降, 有机污染物难以降解, 各种污染物更加容易通过土壤-植物生态系统发生转移, 进而对初级农产品造成污染;

*由于土壤退化才导致土壤对水分的保持能力下降, 造成地表径流系数增加, 导致我国的绿水/蓝水比例下降, 许多河流干枯或成为季节河流, 进而造成我国淡水资源短缺、紧张, 事实上, 我国目前北方干旱、半干旱地区许多河流已经成为季节河, 与区域土壤退化有密切关系;

*由于土壤退化才导致土壤的物理、化学、生物性质恶化, 导致土壤非常容易受到侵蚀, 土壤对硝酸盐的保持能力大幅度下降, 进而造成我国北方干旱、半干旱地区沙尘暴频发和南方大面积水域富营养化、沿海赤潮不断, 对饮用水污染加剧。

我国目前在全国范围内出现的北方沙尘暴频繁大发生和南方出现的大面积水域富营养化就是农业导致的环境问题中的两个孪生怪胎。这才是目前我国环境保护要解决的迫在眉睫的问题, 也是我国目前农业发展首先要解决的问题。

我们应该明白: 土地退化的主要原因是由农业本身造成的(12-14)。目前, 由于对土壤质量的内涵基本上没有清楚的认识, 不理解土壤质量的重要性, 已经导致我国农业发展政策出现不应有的失误。我们应该探究土壤中常量元素, 诸如碳、氢、氧、氮、磷、钾的生物地球化学循环出现的紊乱而对农业生态系造成的严重环境、生态后果, 而且这种后果要远远大于土壤受重金属或其它有机物的污染的环境、生态后果。土壤有机质含量低下, 导致土壤生物多样性低下, 进而导致土壤质量下降, 进而导致土壤物理、化学、生物性质下降, 进而造成整个农业生态系脆弱, 病虫害频繁发生, 甚至导致我国淡水资源短缺, 这是造成我国农业生态效率下降、初级农产品安全长期得不到解决以及南方水域富营养化和北方沙尘暴频繁发生的内在原因(15-17)。全国范围内土壤退化已经是中华民族的

切肤之痛，已经表明我们民族患上了皮肤癌。而土壤中存在有重金属是正常现象，不值得大惊小怪！因此，我们只能要求土壤中重金属有一个合适的含量即可，而不必苛求土壤中绝对不含有这些重金属元素。至于土壤中重金属的含量水平多高能对人类食物安全造成威胁，我们应该与世界公认的准则接轨（18-20）！否则，片面制订、颁布一个过度严格的控制指标那是没有科学依据的。如果参照国际标准，可以得出初步结论：在整体上看，我国土壤目前基本上是干净的，至少不能得出2000万公顷土壤已经受到污染这一不科学结论！

另一方面，“土壤退化是全球范围内环境问题”已经成为FAO、UNEP、UNDP、world Bank等国际有关组织和世界许多发达、发展中国家政治家、科学家、政策制定者的共识！如果我们忽视我国土壤逐年退化的严峻现实，人为地制造出天文数字的土壤污染，沉溺于土壤中重金属污染修复，而不尽快地调整我国的农业发展政策，至少要陷入“捡了芝麻，丢了西瓜”之尴尬！

表五 我国土壤有机质含量状况 (X1000公顷, %)

级别	一级	二级	三级	四级	五级	六级
含量范围	>40*	30-40	20-30	10-20	6-10	<6
水田	2,734.6	5,418.7	10,386.2	7,950.2	717.1	213.9
	8.95**	17.74	34.00	26.02	2.35	0.70
旱田	10,658.7	6,511.4	12,712.7	37,215.8	24,545.9	6,181.1
	10.57	6.46	12.61	36.91	24.34	6.13
非耕地	166,515.8	54,157.7	73,675.5	98,753.6	63,979.2	139,125.4
	23.28	7.57	10.3	13.81	8.95	19.45

*土壤中有有机质含量(克/公斤)，**所占土地量的百分比；资料来源：全国土壤普查办公室编，中国土壤，北京：中国农业出版社，1998年，P877。

三、全面提高农业生态系的生物多样性---修复土壤退化、治理土壤污染的灵丹妙药

我国农业总产值每年大约3万亿元，约占国民生产总值的13%；我国总人口70%从事农业活动，而农业活动占据国土面积的60%以上，因此，农业活动对我国环境特别是土壤的影响是巨大的。我国目前土壤环境的受到农业活动主要负面影响的标志是造成了全国范围土壤退化。由于全国范围内土壤退化，正如上述，我国旧有的农业发展模式已经成了我国最大的环境污染源（16）。

我们必须抛弃原有的农业发展思维，彻底改变旧有的农业发展模式，扬弃就污染论污染。农业环保绝不是要求种庄稼的那块土地上空气要新鲜、灌溉水要干净、土壤中重金属含量要低就完事。农业环保是要规范农业活动，保证农业不对环境造成污染。至于如何做到这一点，追根溯源，主要内容就是要规范农业活动，保证农业活动不造成土壤退化、保证农业少释放温室气体。只有土壤不退化，农业的各项功能才能得到充分发挥，否则，片面地指责农民乱用化肥、农药，才造成污染是不公正的。而且试图制定数不清的规范、标准来控制所谓的污染的企图也是不能奏效的，更解决不了我国目前的环境问题！我们要克服把对农业环境保护与农业发展对立起来的思维逻辑，要弄清楚环境保护与农业环境保护二者之间的区别与内在联系，认真地构建我国农业发展的新型战略。

既然我国目前环境最大的问题是全国范围内土壤退化，而土壤退化的内在原因是土壤缺乏有机质。因此，提高土壤中有有机质含量已经成为环境保护的主要任务。大量国内外实践证明，要稳步提高土壤中有有机质，必须通过全面提高农业生态系生物多样性来实现(16,22)。另一方面，可以认为，土壤污染只是土壤退化的一个组成部分，对土壤污染的治理离不开对土壤退化的治理。事实上，只要土壤有机质含量提高了，土壤中生物多样性就丰富；土壤生物活性就能够得到提高，就能使土壤中重金属污染钝化加快，就能使土壤中许多有毒有机物分解加快。一言以蔽之，要利用土壤中生物多样性来“吃掉”土壤有害有机物，“屏蔽”掉土壤有害无机物来消除土壤中污染。而土壤中有有机质含量的提高又必须通过整个农业生态系生物多样性的提高来实现，因此，毋庸置疑，全面提高农业生态系的生物多样性(22)是修复土壤退化、治理土壤污染的灵丹妙药。

如何才能稳步提高土壤中有有机质含量？如何才能稳步提高土壤生物多样性？

1、促进土壤中有有机质含量逐步提高，稳步保持或提高土壤健康性。

土壤中有有机质是土壤中生物多样性的物质基础，其含量高是土壤质量高低最简单、最直接的表达指标之一。根据国内外经验，土壤中有有机质含量一般应该在3%以上，3-5%是比较理想的。因此任何维持和稳步提高土壤中有有机质含量的农业实践是最重要的实际措施。

要促进土壤中有有机质含量上升，首先要向土壤多施用有机物，其次是保护，避免有机质氧化损失。这些措施包括：

- ◆ 提倡多施堆肥、农家肥、沼气发酵液残渣、各种家畜粪便、污泥等，提倡秸秆覆盖、秸秆还田；
- ◆ 实行作物轮作、间作、套种，广种绿肥、草皮植物等地表覆盖作物，防止土壤裸露；
- ◆ 避免对农田进行深度翻耕，逐步推广少耕法、免耕法，避免土壤中有有机质氧化为二氧化碳释放；
- ◆ 对于草原，要坚决防止过度放牧，保证草原任何时候有足够的植被覆盖；

- ◆ 对土壤进行综合管理,防止富含有机质的表层土壤经侵蚀作用而流失;
- ◆ 对于地下水位浅的土壤,采取各种措施,作好排水处理,严防土壤出现盐渍化。

2、优化和稳步提高农田生态系统生物多样性。

农田生态系的质量也同样是由该系统的生物多样性决定,为了全面提高农田生态系质量,应该从时间上,空间上,设计好、调整好种植业结构,强烈推荐:

◆ 在时间上,大力推广农作物轮作,逐步改变我国许多地区目前年复一年的单调的种植业模式。例如华北地区的小麦-玉米-小麦-玉米,这种禾本科内数十年不变的连作模式;南方地区的水稻属种内半个世纪不变的连作模式;

- ◆ 在空间上,在注意多种农作物可能产生化感作用的前提下,大力提倡间作、套种;
- ◆ 注意推广跨科之间的农作物的轮作、间作、套种。例如:提倡禾本科的农作物与豆科牧草之间的轮作、间作、套种,豆科作物与禾本科牧草之间的轮作、间作、套种,谷物与棉花之间的轮作、间作、套种等;
- ◆ 有条件时,可以大力推广混林农业,提倡灌木、乔木与草本的农作物轮作、间作、套种。

3、做好有机废弃物的资源化。

大量证据表明:向土壤添加有机物进而增加土壤中有机质是最符合目前我国实际的做法,但是,我们到那儿挖掘有机物?事实上,我国每年有机废弃物的产生数量大约为30亿吨,其中畜禽粪便约18亿吨,作物秸秆7亿吨,城市有机垃圾和工业有机废弃物5亿吨,此外还有13亿人口所排泄的人粪尿。这些有机废弃物中大约含有6000多万吨的农作物必须营养成分氮、磷、钾元素,也就是说这些有机废弃物中的氮磷钾成分总量甚至比目前我国化肥总产量还要高。此外,更重要的是还有大约6亿吨目前我国土壤急需的有机碳。因此,搞好有机废弃物处理与回用农业的生态、环境和社会效益不可低估。如果每年有50%的上述有机废弃物能得到合适的处理并有效地回用到农田,那么我国农田中有机质含量可以提高0.3个百分点(23)。长期坚持下去,何愁我们整体上环境得不到改善?

参考文献:

1. <http://env.people.com.cn/GB/1073/4123856.html>
2. <http://www.cas.ac.cn/html/Dir/2006/07/18/14/21/21.htm>
3. <http://www.chinanewsweek.com.cn/2005-07-11/1/6020.html>
4. http://www.dzwww.com/xinwen/guoneixinwen/200607/t20060719_1616700.htm
5. http://envisci.ucr.edu/downloads/chang/WHO_Draft_2002%20final.doc
6. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701020.pdf>
7. M.L.Azevedo Silvera et al. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola* 60:No4. P793-806 (2003).
8. F.H.Nielsen. Evolutionary events culminating in specific minerals becoming essential for life. *Eur J.Nutr.* 39:62-66.(2000).
9. http://www.yuanfeimiao.com.cn/index/di_qiu/zghj.htm
10. http://www.fao.org/ag/agl/swlwpnr/reports/y_ea/china/e_soils.htm
11. 中国土壤质量,全国土壤普查办公室,中国农业出版社,(1998) p878 页
12. 白清云: 农业对环境污染的起因、后果与控制战略对策. 2005年环境科学学术年会论文集,(下卷) p2075-2078, 2005, 6月, 北京
13. Matson P. A. et al: Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *SCIENCE* (1997), 277, p504-509.
14. Mader P. et al: Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *SCIENCE*, (2002), 296, p1694-1697.
15. 白清云: 我国加入WTO后农业可持续发展机遇与挑战的展望。 <http://www.worldthesis.com/2002/zrkc/hjbh/0002.htm>
16. 白清云: 如何实现我国农业产业由目前的线性模式向循环模式转变. 2006年中国农学会年会论文集, vol 22, p82-87, 2006, 4月北京
17. 白清云: 农业生态系质量、食物安全与农业可持续发展, 首届中国可持续消费与生产国际论坛及中国环境科学学会2003年学术年会论文集, p360-365, (2003), 12, 长沙
18. P. M. Chapman et al. Conducting Ecological Risk Assessments of Inorganic Metals and Metalloids: Current Status. *Human and ecological risk assessment.* 9: No4. P641-697 (2003),
19. http://envisci.ucr.edu/downloads/ chang/WHO_Draft_2002%20final.doc
20. <http://www.scielo.br/pdf/sa/v60n4/a29v60n4.pdf>
21. G.W.J. van Lynden et al. The Quantitative assessment of soil degradation, AGL/MISC/36/2004, FAO/UN, Rome (2004)
22. 白清云: 全面提高农业生态系的生物多样性—我国农业的唯一出路《发现》, 2005, 增刊, P214-216
23. 白清云: 推进有机废弃物资源化, 改善农村卫生环境、促进农业可持续发展“两岸四地环境论坛---共同关心的环境问题与对策”何建宗、周志中编, ISBN-962-85019-4-4 香港, p177-182 (2004)