

城市污泥土地利用研究

185-193 周立祥 胡霭堂 戈乃芬 胡忠明

(南京农业大学资源环境学院 南京 210095)

摘要 通过培养试验、盆栽试验和田间试验系统地研究了污泥的组分特征、性质及其农地和城市园林绿化地利用对作物或绿化灌木、土壤肥力及其环境的影响。结果表明,污泥富含有机质和氮磷养分,且养分当季有效性介于化肥与普通农家肥之间。施用污泥将明显提高土壤肥力,表现在改善土壤物理性质(土壤团聚体数量和结构系数提高,容重下降);增加土壤有机质和氮磷水平,并增加土壤生物活性。因此施用污泥的处理作物产量较高,并有利于后茬作物的稳健生长。但污泥施用也存在重金属、病原物等污染问题,在菜地上尤其明显,在园林地中大量施污泥还应谨防硝酸盐对地下水或地表水污染的问题。作者认为,污泥不宜直接在菜地上施用,在其他作物地上施用,应尽量使污泥卫生无害化,并控制重金属的带入量。并认为:污泥经堆肥化后,再与化肥复混制成有机-无机复混肥,因施用方便,经济效益高且对环境影响较小,而值得研究与开发。

关键词 污泥,农林地利用,成分,肥效,环境影响。

STUDY ON UTILIZATION OF MUNICIPAL SEWAGE
SLUDGE IN FARMLAND AND FOREST LAND

ZHOU Li-Xiang HU-Ai Tang GE Nai-Fen HU Zhong-Ming

(College of Resource and Environment, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095, China)

Abstract The composition of municipal sewage sludge and its effect on plant growth, soil fertility and agro-environments were studied by field, greenhouse and incubation experiments. The results showed that sewage sludge contained quite a lot of organic matter and plant nutrients such as nitrogen and phosphorous. Bioavailabilities of N and P of sludge origin were higher than those from ordinary farmyard manures. Sewage sludge significantly improved soil physical, chemical and biological properties by increasing soil waterstable aggregates, soil organic matter, humus, nitrogen and phosphorous contents, also enhancing soil respiration and the number of total microorganisms and lowering soil bulk density at the same time. Consequently, higher yield could be obtained owing to application of sludge. However, sewage sludge also contained pollutants such as heavy metals and pathogen. It was found that sludge-borne metals were easily accumulated in soil and plant, especially in vegetable soil and foliar vegetables. Besides, sludge had a pronounced effect in lowering soil pH which might affect the mobilization of heavy metals in soil. Generally speaking, it was feasible for municipal sewage sludge to apply on soil as fertilizer or soil amendent if the pollutant contents in the sludge and pollutant concentration in soil amended with sewage

收稿日期:1996-10-30,修改稿收到日期:1997-12-31。

sludge were under the upper limited value. But sewage sludge should be avoided to apply directly on vegetable soil. It was suggested that developing organo-inorganic compound fertilizer with sludge was a practical method to dispose sewage sludge on the farmland.

Key words sewage sludge, land utilization, soil fertility, agro-environment.

淡水资源的日趋短缺及其污染的加剧,是我国当前面临的重大环境问题之一。我国人均淡水约 2500m³,不到世界人均的 1/4,而到本世纪末,我国仅城市总用水量就将从现在的 360 × 10⁸m³ 增加至 850 × 10⁸m³,另一方面,全国每年共产生约 350 × 10⁸m³ 污水^[1],绝大部分未经任何处理便排入收纳水体,致使全国 82% 的江、河、湖泊受到不同程度的污染,2800 多公里河段鱼虾绝迹,25 万 km² 河流水质达不到渔业水质标准^[2]。给人们生产与生活带来严重影响,水污染的控制与水资源保护已是亟待解决的问题。

城市是用水排水最集中的地方,提高城市污水处理率是控制水污染的重要措施,目前我国已有 160 余座城市污水处理厂用以集中处理城市污水,年处理污水约 8.0 × 10⁸m³,城市污水处理率(指经城市污水处理厂处理的部分)约 4.5%^[3]。城市污水处理厂在净化污水的同时会不断产生新的废弃物——污泥,目前我国年产生污泥近 30 万 t(干物质计)。按《中华人民共和国国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》,我国城市污水处理率到本世纪末要提高到 25%,相应产生的污泥势必越来越大。

污泥含水量高,易腐败,有恶臭,并含有一些有机无机有毒物质和病原物,因此必须及时处置。国际上处置城市污泥主要有焚烧、卫生填埋、投海和土地利用^[4],也有炼制矿物油或做型煤配料的尝试^[5]。但基于经济和环境的压力以及资源化考虑,污泥土地利用在发达国家已成为一条重要的处置途径。在美国污泥农地利用量占污泥产出总量的 33%,英国占 55%,法国占 50%,葡萄牙高达 80%,在美国还专门制定了污泥土地利用法规(Act503)^[6],日本也成立了污泥还田指导委员会用以指导污泥在土地上合理利用^[6]。然而,在我国由于经费和技术的原因,目前污泥尚无稳定而合理的处置出路,许多污水厂污泥被任意堆放在污水厂周围或转运到其他地方存放,或被当地农民滥用在地里,成为了一种新的污染源,严重影响了污水处理厂净化环境功能的发挥,而另一方面,我国中低产土壤面积又相当大,据第二次土壤普查,全国缺乏有机质的耕地 3290.0 万 hm²,缺氮的耕地 3305 万 hm²,均大约占耕地面积的 35%;缺磷耕地 6726.6 万 hm²,占耕地面积的 70.7%,部分耕地缺锌、硼、钼等微量元素^[7],相当面积的土壤急需培肥。污泥中有机质、氮、磷养分丰富,是一种值得利用的肥源。以天津纪庄子污水厂为例,年排出的污泥约 1.4 万 t,其肥料价值相当于普通化肥(硫酸,普钙和氯化钾等)5600t,还包括 8500t 有机质,相当于 0.33 万 hm² 紫云英绿肥提供的干物质质量。因此,对于我国这样一个发展中的农业大国,污泥土地利用更具重要意义。然而,污泥中又含有各种各样污染物质,施用不当会造成农地和作物污染。展开污泥土地合理施用的研究十分必要。

本研究试图以天津纪庄子污水厂厌氧消化脱水污泥和苏州城西污水处理厂未消化未脱水的生活污泥为代表,探讨:1)我国城市污泥的供肥特征及有害物质组成;2)对作物产量、卫生品质及土壤肥力的影响;3)污泥土地利用对环境的潜在危害,并在此基础上提出污泥合理利用的一些建议,为污泥农业利用规范提供科学依据。

1 城市污泥中有益、有害成分及养分供应特性

1.1 污泥中有益、有害成分

城市污水处理厂接纳的污水有的全部为生活污水,有的则为生活污水和工业废水的混流物,两者产生的污泥在化学组成上有明显不同,后者通常含较多的污染物如重金属等。表 1 列出了天津纪庄子污水处理厂和苏州城西污水厂排出的污泥的组成成分,前者接纳的污水为混流污水(40%来自生活污水,60%来自工业废水),产出的污泥为厌氧消化污泥;后者接纳的污水为生活污水,产出的污泥未经消化处理,为剩余活性污泥。

可以看出,污泥除含较高量有机质外,还含大量的氮、磷养分,且远高于一般农家肥(猪厩肥干物质平均含氮 1.63%,含磷 0.30%;牛厩肥平均含氮 1.51%,含磷 0.31%^[8]),因此,污泥常被用来作肥料或土壤

改良剂,污泥中主要有害成分为重金属,如 Pb、Cd、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、及类金属 As 等。这些重金属的存在,与污水厂接纳的工业污水的数量与种类有关,如 Cd、Cu、Ni 大多来自锻造过程、合金生产、电镀操作中,Pb 和 Zn 来自于冶炼活化过程。显然,接纳有工业污水的混流污水污泥重金属含量(Zn 例外)远远超过生活污水污泥,但其含量仍未超出我国农用污泥污染物控制标准。污泥中另一有害物为病原物,包括病毒,病原菌和寄生虫。以粪大肠菌和蛔虫卵为监测指标,发现未消化的生活污水粪大肠菌达 $\times 10^7/\text{L}$ 污泥,蛔虫卵为 11 个/100ml 污泥,污泥经厌氧消化处理后病原物大幅度灭活,但对蛔虫卵致死效果较差,污泥直接农林地利用,需提高其卫生水平。

表 1 城市污泥基本组分^{*}

Table 1 Primary composition of municipal sewage sludge

元 素 Elements	混流污水污泥(厌氧消化) Anaerobically digested sludge		生活污水污泥(未消化) Undigested domestic sludge		农用污泥污染物控制标准 GB4284-84	
	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	Upper limited value of pollutants in sludge soil pH<6.5 pH≥6.5	
N%	2.4~7.3	3.6	1.48~7.47	4.80		
P%	1.2~1.9	1.48	0.50~2.91	1.31		
K%	0.37~0.43	0.40	0.18~0.61	0.44		
有机 C%	25.1~36.2	27.3	27.3~47.5	38.7		
Cd	2.3~6.0	3.8	0.38~9.40	1.26	5	20
As	9.7~22.5	16.2	—	—	75	75
Hg	4.6~8.7	6.60	—	—	5	15
Cu	277~415	341	56.4~135	88.8	250	500
Zn	800~1120	977	624~6928	1738	500	1000
Pb	295~605	468	48~81.2	61.6	300	1000
Cr	289~728	538	—	—	600	1000
Ni	—	—	3.0~41	18	100	200

* 取样与测定方法见参考文献[9,10]

Sludge sampling and the method of elemental determination are described in ref. 9 and 10.

1.2 城市污泥氮磷有效性

利用恒温淹水培养试验和好气培养-间歇淋洗法试验所得结果发现(见图 1 和图 2)生活污水有机氮矿化率第 3 周最高可达 70%,消化污泥矿化率相对较低,14 周平均为 42%。但两种污泥矿化率都始终高于同等条件下培养的农家肥猪粪和鸡粪的矿化率。这说明,污泥供应氮的能力较强,短期内较之农家肥可提供更多的有效氮,这与污泥 C/N 比较农家肥(15.0)低,尤其污泥中蛋白质态氮与可溶性氮化物占全氮比例较高有关^[9]。

土柱试验则比较了作物对当季施用的污泥氮磷与化肥氮磷利用率的状况(表 2)。结果表明,水稻对污泥中 N 及 P 的利用率均比化肥氮磷利用率低,前者分别只有后者的 60%和 58%左右,从培养试验和土柱试验所获结果分析,污泥对当季作物养分供应力介于化肥与普通农家肥(猪粪、鸡粪)之间。污泥养分供应力较强,一方面与污泥本身的性质密切相关。污水在曝气生化处理过程中有大量的细菌活体进入污泥,1g 活性污泥含细菌数可高过几亿个,这些微生物死亡后极易分解;另一方面如前所述污泥有机氮高,C/N 比低,也是污泥矿化迅速,肥效较高的重要原因。

2 污泥农田利用的肥效

2.1 对土壤培肥的影响

田间试验表明,污泥培肥土壤的效果非常显著。从表 3 中可以看出,与不施肥或施等量 N P K 的常规肥处理比较,施污泥处理的土壤机质,氮、磷水平明显增加;微生物数量及活性提高尤其显著,表明施用污泥能加速土壤生物物质循环;施用污泥还能改善作物的“居住”条件,使土壤容重下降,水稳性团聚体数量

增加,提高了土壤结构系数,从而有利于土壤保水保肥。显然污泥施入土壤后有机物分解的同时也部分形成土壤腐殖物质,以及因施污泥使土壤中具有庞大的微生物群系,是土壤结构得到改善的重要原因。

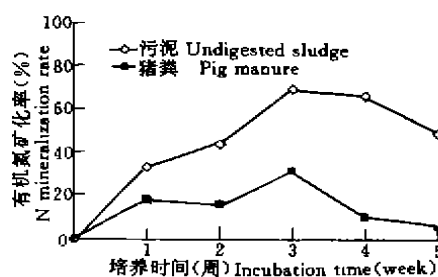


图1 恒温淹水培养(35℃)下污泥和猪粪有机氮矿化率的比较

Fig. 1 Comparison of mineralization rates of organic nitrogen between undigested sludge and pig manure by short-term incubation under waterlogged conditions

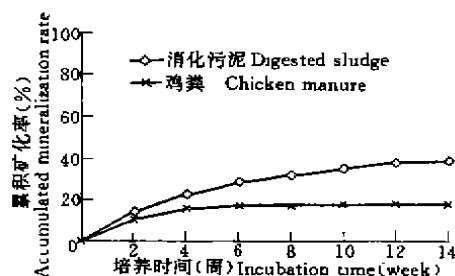


图2 好气培养-间歇淋洗法测定的污泥和鸡粪的有机氮矿化率

Fig. 2 Comparison of mineralization rates of organic nitrogen between anaerobically digested sludge and chicken manure

表2 水稻对当季施用的不同肥料中氮磷的利用率(%,土柱试验*)

Table 2 Utilization ratio of N and P from fertilizer and sludge by rice

	尿素 Urea	过磷酸钙 Superphosphate	污泥 Sludge
氮 Nitrogen	78.35±5.38	—	47.98±4.64
磷 Phosphorus	—	54.90±3.92	32.09±1.85

* 土柱试验设不施肥、施化肥和施污泥3处理,先后种植水稻和黑麦草,后两处理N、P、K施入量在各茬均为2.72、0.70和2.72g/柱。施化肥处理的N、P、K分别由尿素、过磷酸钙和硫酸钾提供,污泥处理的N、P完全由污泥提供、K不足则用硫酸钾补齐。其详尽设计见参考文献[14]

Soil column experiment was designed with three treatments including control (no fertilizer), applying fertilizer, and applying sludge. The application rates of N, P, and K for rice and rye in fertilizer and sludge treatments were 2.72g, 0.70g and 2.72g each column, respectively. N, P, and K in fertilizer treatment were supplied with urea, superphosphate, and potassium sulfate, and in sludge treatment N and P were derived from sludge, K was provided partially with sludge and partially with potassium sulfate. The details were given in ref. 14.

但也注意到,长期施用污泥会导致土壤酸化,在旱地比水田更为明显,土壤酸度的下降可能会影响到某些元素,尤其是重金属元素的活性。

2.2 对植株生长和产量的影响

土柱试验发现,由于污泥中91%以上的氮,95%以上的磷是以有机态存在,因此其速效养分供应在当季不如化肥高,其增产效果只有化肥处理的85%。但由于污泥能培肥地力,具有较好的后效,后茬作物即使全部应用污泥也能取得与等N、P处理的化肥相当的效果,若后茬栽培吸收养分能力强的禾本科牧草(如黑麦草),施污泥处理的产量甚至还要超过化肥(表4)。

田间试验也发现,在施污泥的处理中若能追施少量速效化肥,则增产效果完全可与常规施肥处理相当(表5)。

施污泥对作物营养品质的影响还有待研究。虽然从收集的资料来看,大多数污泥施用地未发现作物品质有所下降,但也的确有个别资料指出,长期施污泥的蔬菜比对照处理Vc含量有所下降^[11]。

表 3 施污泥对农地土壤肥力的影响(2a 田间试验后采样)

Table 3 Effect of sludge on soil fertility (field experiment for two years)

	菜地			粮田		
	Vegetable soil			Paddy soil		
	不施肥	常规施肥	施污泥	不施肥	常规施肥	施污泥
	Control	Routine	Sludge	Control	Routine	Sludge
有机质 Organic matter (c,g/kg)	18.4b	19.8b	21.7a	17.4b	18.3ab	19.7a
腐植酸 Humic acid (c,g/kg)	4.2c	5.6b	6.3a	4.8c	5.3b	6.0a
容量 Bulk density (g/cm ³)	1.04a	1.00ab	0.94b	1.02a	0.95ab	0.92b
结构系数 Structural coefficient (%)	77.0b	79.0ab	81.0a	79.2b	80.8b	83.5a
全 N Total N (g/kg)	1.6c	1.9b	2.3a	1.8b	1.9b	2.2a
全 P Total P (g/kg)	0.82b	0.95ab	1.10a	0.73b	0.83a	0.82a
速效 N Available N (mg/kg)	120.3c	159.3b	198.3a	130.0c	143.9b	153.6a
速效 P Available P (mg/kg)	26.3c	70.6b	86.0a	19.4c	34.5a	26.6b
微生物 Microbes ($\times 10^5$ 个/g)	219.6	278.8	1942.8	—	63.2	2805
土壤呼吸强度 Soil respiration rates (mg CO ₂ /100 $\pm$ 2d)	10.39c	17.84b	27.74a	18.18b	19.31	23.84a
pH	6.11a	5.11b	4.71c	6.17a	5.78b	5.60b

* 常规施肥为 3/4 化肥 N+1/4 农家肥 N,N,P 和 K 用量参考当地施用水平,化肥 N,P,K 分别由尿素、过磷酸钙和氯化钾提供,菜地和粮田所用农家肥分别为牛廐肥和猪廐肥,污泥处理为 3/4 污泥 N+1/4 化肥 N,N,P,K 用量与常规施肥处理一致,P 全部由污泥提供,1/4 化肥 N 由尿素提供,K 由氯化钾补齐。详见设计见参考文献[10]。

Of total N applied in routine fertilization, 25% of N was derived from common farmyard manure and 75% from chemical fertilizers. However, in sludge treatment 25% of N was derived from chemical fertilizers and 75% from sludge. Used chemical fertilizers included urea, superphosphate, and potassium chloride. There were same application rate of N, P, and K in the above two treatments. All phosphorous used in sludge treatment was supplied by sludge, 25% of N by urea, K partially by sludge and partially by potassium chloride. Details were shown in ref. 10.

表 4 施污泥和化肥对水稻和黑麦草产量(g/柱)的影响(土柱试验)

Table 4 Effects of sludge and chemical fertilizer on yields of rice and sequent rye

	不施肥 Control	化肥 Fertilizer	污泥 Sludge
第 1 茬水稻 Rice for first crop			
谷粒 Grain	65.46 $\pm$ 5.39	143.29 $\pm$ 15.49	121.37 $\pm$ 6.21
稻草 Stem and leaf	49.88 $\pm$ 1.19	125.05 $\pm$ 9.81	109.64 $\pm$ 9.35
合计 Total	115.34 $\pm$ 4.20	268.34 $\pm$ 25.3	231.01 $\pm$ 15.56
第 2 茬黑麦草 Rye for second crop			
地上部 Stem and leaf	6.10 $\pm$ 0.30	23.30 $\pm$ 3.63	24.85 $\pm$ 2.02
地下部 Root	4.75 $\pm$ 0.32	6.76 $\pm$ 1.80	10.08 $\pm$ 2.11
合计 Total	10.85 $\pm$ 0.02	30.06 $\pm$ 5.47	34.93 $\pm$ 0.085

表 5 污泥对作物产量的影响(t/hm²,田间试验)

Table 5 Effect of sludge on crop yield (field experiment)

作物	不施肥	常规施肥	80%污泥 N+20%化肥 N
Crops	Control	Routine	80% Sludge N+20% Fertilizer N
水稻,小麦(共 4 茬) ^①	15.85b	21.84a	22.01a
蔬菜(共 6 茬) ^②	64.67b	134.9a	136.00a

① Rice, Wheat (4 sequences); ② Vegetables (6 sequences)

由于城市污水处理厂往往位于或紧邻城市市区,因此,污泥就近施于不进入食物链的城市园林绿化地上,将是一个很好的处置办法。紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)是一种适应性极强的用于城市园林绿化的重要豆科落叶灌木。试验发现,用污泥作肥料来培育这种灌木幼苗效果较好。污泥用量越大,树苗生长越好;茎粗、生物量、株高都有明显增加(表6)。尤其污泥用量相当于 $900\text{t}/\text{hm}^2$ 干物质时,仍表现出旺盛的生长势头,而在农田上一般一次施用不允许超过 $30\text{t}/\text{hm}^2$,否则,养分供应过多,会导致作物贪青晚熟,同时也增加了重金属污染风险,在园林绿化地上则不存在这种问题,一次施用量可以很大,这对及时处置掉城市污泥无疑是很有利的。但应指出,未经堆腐等稳定化处理的污泥即使在幼苗林地上施用,一次施用量也不宜超过 $300\text{t}/\text{hm}^2$,否则前期因污泥有机物快速分解,破坏土壤通气性而会抑制树苗的正常生长。

表6 污泥对紫穗槐生长的影响(盆栽试验)

Table 6 Effect of sludge on growth of *Amorpha fruticosa* L. (pot experiment)

污泥用量 (t/hm^2) Sludge loading	株高 (cm) Plant height	茎粗 (cm) Stem thickness	生物量 (g/株) Biomass
0	60.0 ± 3.8	0.765 ± 0.102	21.32 ± 2.01
75	75.5 ± 8.1	0.906 ± 0.098	44.14 ± 4.15
150	78.0 ± 5.3	0.902 ± 0.087	35.07 ± 3.14
300	85.0 ± 10.2	0.981 ± 0.113	50.62 ± 2.18
600	80.0 ± 8.8	1.292 ± 0.132	72.75 ± 8.85
900	76.0 ± 4.5	1.364 ± 0.094	89.40 ± 10.12
与污泥用量相关性 r Correlation coefficient r	0.399	0.870*	0.939**

3 污泥土地利用的主要环境问题

3.1 重金属

重金属是限制污泥土地利用最主要的污染物。试验发现,施用污泥后重金属绝大部分在耕层累积,其中相当部分以与有机物结合的形态存在,但不同元素又略有不同(表7);Cd 往往以活性高的交换态和松结合有机态存在,而 Pb 这两形态所占比例最小。由于交换态最易被植物吸收利用,其次为松结合有机态,其他形态往往活性较低,因此从不同元素存在形态分析,污泥在 Cd、Zn 活性最高,Pb 活性最低,Cu 居中。随着土壤因污泥施用所带入的重金属量增加,势必增加重金属对作物污染的风险。以活性相对较强的 Zn 为例,研究了连续施用污泥 2a 后几茬作物体内重金属含量(表8)。结果发现,蔬菜,尤其叶菜类蔬菜富集重金属能力较强,而果实类蔬菜和大田籽粒作物施用污泥相对较安全。因为重金属即使进入植物体内,也主要分布在根系,其次才是茎叶,果实或籽粒内含量往往最低。

表7 污泥施入红壤后土壤中重金属各形态的分配系数(%)

Table 7 Distribution coefficient of heavy metal fractionations in soil amended with sludge

	交换态 Exch.	松结合 有机态 Wbo.	碳酸盐 结合态 Carb.	氧化锰 结合态 OxMn.	紧结合 有机态 Sbo.	无定形 铁结合态 AmorFe.	晶形铁 结合态 CoxFe.	残渣态 Res.
Cu	2.05	31.16	0.22	3.96	33.90	9.50	3.90	15.85
Zn	3.88	24.32	0.56	0.41	14.70	0.16	1.39	54.80
Cd	41.54	24.78	—	5.93	14.66	—	—	13.09
Pb	0.10	2.59	—	—	70.37	12.64	0.70	14.50

3.2 病原物

污泥中常浓缩有各种病原物。污泥经厌气消化处理,虽然能使病原物数量大大降低,但仍远远不能使其完全灭活,尤其包裹(有囊壁)和虫卵(有卵壳)对外界环境的抵抗力很强。因此,排出的污泥蛔虫卵寄生虫卵的活性依然较高。土壤是许多寄生虫的天然发育场所,例如一些绦虫和蛔虫在土壤中可发育成幼虫而感染人畜。试验发现,污泥施用 3~6 个月后,仍能从土壤检测到较多大肠菌(表 9),看来,污泥农用应特别注意卫生水平。菜地常因间歇性浇水,且荫闭度较大,土壤适宜虫卵的发育,其次在浇水或下雨时,沾有病原物的土壤可能会沾溅到叶面上,此外菜地农事操作多,人接触土壤或污泥机会也相应增大,因此,从防止病原物传播的角度看,除应提高污泥卫生水平外,最好不将污泥应用于菜地上。

表 8 不同作物对污泥中 Zn 的累积
(mg/kg DW, 田间试验)

Table 8 Zinc concentration in various tissues of crops grown in Sludge-treated soil

作物各部位		不施肥 Control	常规施肥 Routine	施污泥 Sludge
水稻 Rice	米 Grain	22.6a	22.6a	25.5a
	茎 Stem	66.2c	83.0b	113.1a
	根 Root	100.8c	163.2b	255.3a
辣椒 Pepper	果实 Fruit	13.8b	13.1b	16.9a
包菜 Cabbage	包球	47.7b	51.5b	117.6a
	Edible tissue			
	外包叶 n edible tissue	83.6b	86.1b	336.5a

表 9 污泥及施污泥后表土(0~10cm)大肠菌及蛔虫卵状况(田间试验)

Table 9 *E. Coli.* and ascard eggs in undigested sludge and top soil amended with sludge (field experiment)

	大肠菌 <i>E. Coli</i>			蛔虫卵 Ascard eggs	
	不施肥 Control	常规施肥 Routine	施污泥 Sludge	数量 Amount	死亡率(%) Mortality
菜地土壤 Vegetable soil	650 个/g 土	303 个/g 土	6390 个/g 土	—	—
粮田 Paddy soil	272 个/g 土	395 个/g 土	3610 个/g 土	—	—
污泥样品 1 Sludge 1	—	430 个/L	—	5 个/L	50.3
污泥样品 2 Sludge 2	—	7 × 10 ⁷ MPN	—	7 个/500g	—

3.3 氮磷过剩引起的问题

施肥带入的大量氮、磷在土壤中参与土壤物质循环,通过农田排水、雨水淋洗与冲刷、渗漏、地表径流等方式又被带入到地表水和地下水中,可能会成为污染水体的主要因子。污泥含较多的氮磷,污泥大量施用后就存在这种作用。这已为田间试验和土柱试验所证实^[14]。在林地中施用污泥,地下水 NO₃⁻ 含量的高低常常是人们监测污泥施用区环境质量的主要指标^[14,15]。

盆栽试验表明,污泥施用量越大,NO₃⁻ 产生越多,若裸露地施用污泥,则土壤中 NO₃⁻ 累积量还要显著高于有绿化灌木生长的土壤(表 10),因此在园林绿化地中施污泥时应避免将污泥大量施于没有植被覆盖的空地上。

表 10 植被覆盖状况对施污泥的土壤 NO₃-N 含量影响(mg/kg, 盆栽试验)

Table 10 Effect of vegetation cover on nitrate content in soil amended with sludge

污泥加入量 (t/hm ²) Sludge loading	1993-10-20 秋 Fall		1994-03-19 春 Spring	
	种紫穗槐 Covered	裸露地 Uncovered	种紫穗槐 Covered	裸露地 Uncovered
75	114.2 ± 18.4	211.9 ± 22.3	96.2 ± 15.4	332.7 ± 46.0
300	368.1 ± 40.8	673.6 ± 71.8	395.4 ± 80.9	1261.7 ± 200.4
900	112.9 ± 56.7	699.9 ± 89.4	962.5 ± 108	1355.3 ± 244

N、P 过多对农田的影响除上面述及的可能对水体环境的影响外,还可能会因作物 N、P 过剩而引起贪青晚熟,不抗病害,不耐贮藏等危害。

3.4 污泥的快速分解与恶臭

试验发现,一次性大量施用污泥,尤其是干化污泥,往往会因污泥短期内迅速分解,使土壤产生极端的厌气条件,严重影响幼苗的萌发与生长;同时又会因污泥的腐败而产生恶臭,在气温较高时,这种现象易于出现。因此污泥施用后不应立即播种或移栽幼苗,或者污泥在使用前作进一步稳定化处理。

4 污泥的合理施用

确定污泥在土地利用中施用通常遵循两条原则:①以作物对氮的需要量为污泥施用量限度;②污泥中重金属含量必须符合农用污泥标准以及污泥施用区土壤重金属含量不得超过允许标准。我国规定施用符合污染物控制标准的农用污泥每年每公顷不得超过 30t,连续施用不得超过 20a(GB4284-84)。此外还应加强污泥施用场地的管理:

(1) 污泥施用地的土壤质地以壤土至轻粘土为宜,农地应用时,坡度不应过大($<3\%$ 为宜),离家用井和表面水体较远,地下水埋深不宜过浅,在离居民区过近的土壤上应避免施用。

(2) 污泥最好不在蔬菜地上直接施用,在牧场上施用时第 1 个月内家畜不应在此放牧。

(3) 尽可能施用经过堆肥化的污泥,这既可减少病原物数量和恶臭,又便于操作。在施用脱水污泥和干燥污泥时,为了避免对发芽或幼苗生长产生不良影响,在施用与播种或移栽之间要有适当的间隔时期。

(4) 施用的污泥尽量与土壤充分混合。

5 讨论

试验证明,我国城市污泥有控制地用于农林地是可行的,符合我国的基本国情。然而污泥含量高,体积庞大,如湿污泥含水达 97%,呈流体状;脱水污泥含水 80%,呈胶泞状态,致使污泥运输和施用不便,这在很大程度上限制了污泥在较大范围内应用,同时由于污泥农用季节性较强,而污泥却需天天排放,因此对污水处理厂而言污泥也难得到及时处置。显然有必要继续摸索合理实用的污泥农用方法。

国外自 70 年代中期以来,就开展了污泥堆肥化试验,其成品含水量可低于 40%,结构疏松,恶臭减少,在堆制过程中还能大量杀死病原物而提高了污泥卫生水平,其产品常转赠附近农场和出售给高尔夫球场,80 年代中期美国就有 80 多个城市污泥堆肥厂在运行。我国高碑店污水处理厂和天津纪庄子污水处理厂虽也进行过类似的研究,但在我国至今没有投入正式运行的污泥堆肥厂,一方面是由于目前污水处理厂运转费用非常紧张,很难抽出资金来关注污泥处置问题;另一方面污泥堆肥虽具较多优点,但其养分含量毕竟远远低于化肥,因此单位养分的运输成本较高,农民购买的积极性不可能很高。

根据近十年来初步探索,认为要使污泥能真正推广农用,将污泥在堆肥化的基础上与化肥按一定比例复混制成有机无机颗粒复混肥,能达到预期目标,主要优点为:

(1) 大幅度提高了污泥有效养分含量,可使之作为商品肥纳入市场流通领域,不但可使污水处理厂污泥得到处置,而且可创造一定利润。

(2) 因产品养分浓度高,污泥实际用量可大大低于污泥直接(或污泥堆肥)农用数量,因此较之污泥直接(或堆肥)农用更加安全,单位面积土地使用年限可延长 20~30 倍以上。

(3) 污泥经高温堆腐后与化肥混匀后制粒,再进一步通过后续高温干燥工艺,可使污泥达到完全卫生无害化,并可消除恶臭,其产品易于运输和施用,也卫生安全。从而能做到长距离运输,使污泥能在更大范围内分散使用,因此,可更好地利用土壤的环境净化功能,降低污泥农用的污染风险。

(4) 制成有机-无机复混肥除含氮、磷、钾三要素外,还含钙、镁、硼、硫、锌等元素和有机质,不但可使供肥过程稳定、协调,取得较好的肥效,而且可不断培肥地力,符合持续农业的发展方向。

(5) 由于污泥含水量高、体积庞大、稳定性差,因此,其大量贮存往往是一个非常棘手的问题。如果用于制造污泥有机-无机复混肥则可实现周年生产,且成品的水分含量低,易贮存运输,又易销售,从而较好地避开了污泥贮存问题。

田间试验证明这种有机-无机复混肥的增产效果较好,可与普通复混肥相媲美,在污泥农林地利用中值得开发应用。但其中有关高效快速污泥堆肥化技术还有待先期解决。

参 考 文 献

- 1 中国环境年鉴编委会. 中国环境年鉴. 北京: 中国环境年鉴社, 1992~1995
- 2 中华人民共和国. 中国二十一世纪议程纲要. 北京: 人民出版社, 1994
- 3 邬杨善编著. 城市污水处理: 投资与决策. 北京: 中国环境科学出版社, 1992
- 4 McGrath S P, A C Chang, A L Page, *et al*. Land application of sewage sludge, scientific perspectives, of heavy metal loading limits in Europe and the United States, *Environ Res*, 1994, **2**: 108~118
- 5 Bridle T R. Sludge derived oil. *Environ. Tech. Letters*, 1982, **3**
- 6 日本污泥还田问题研究会. 王化信译. 关于污泥还田的问题. 国外环境科学技术, 1985, (5): 63~73
- 7 唐近春. 全国土地资源保护和利用的概况与对策. 见: 中国土壤学会编, 中国土壤学在前进: 中国土壤学会成立 50 周年纪念. 北京: 中国科学技术出版社, 1995
- 8 孙贇主编. 农业化学. 北京: 农业出版社, 1982
- 9 周立祥, 胡露堂, 胡忠明. 厌气消化污泥化学组成及其环境化学性质. 植物营养与肥料学报, 1997, **3**(2): 176~181
- 10 周立祥, 胡露堂, 戈乃珍. 苏州市生活污泥成分性质及其对蔬菜 and 菜地土壤的影响. 南京农业大学学报, 1994, **17**(2): 54~59
- 11 欧阳喜辉. 长期施用污泥对农田土壤和农作物影响的研究. 农业环境保护, 1994, **13**(6): 271~274
- 12 Riekerk H and Zasoski R J. Effects of dewatered sludge applications to a Douglas Fir forest soil on the soil, leachate, and groundwater composition. In Sopper W E and Kerr S (Eds), *Utilizations of municipal sewage effluent and sludge on forest and disturbed land*. The Pennsylvania State Uni. Press, Uni. Park, 1979, 33~45
- 13 Medalie L, Bowden W B, and Smith C T. Nutrient leaching following land application of aerobically digested municipal sewage sludge in a northern hardwood forest. *J. Environ. Qual.*, 1994, **23**: 130~138
- 14 周立祥, 胡露堂, 胡忠明. 城市污泥氮磷钾应用特性及其环境化学行为. 农村生态环境, 1995, **11**(4): 15~17