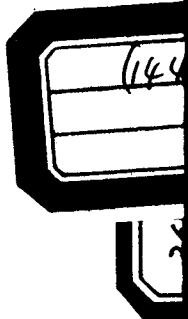


国外污泥在农业上的利用

上海科学技术情报研究所

(144)



国外污泥在农业上的利用

*

上海科学技术情报研究所出版
新华书店上海发行所发行
上海科学技术情报研究所印刷厂印刷

*

开本, 787×1092 1/16 印张, 2.75 字数, 68,000
1977年10月第1版 1977年10月第1次印刷
印数, 1—4,100
代号, 151634·380 定价, 0.35元

(限国内发行)

前 言

污泥是污水处理过程中产生的。它含有需氧有机物、植物营养素等多种污染物及90~99%的水份。污泥经适当处理后还需最终处置以防止环境污染。国外常采用填埋、投海、焚烧和农田施肥等处置方法,这些方法都各有优缺点,其中污泥作为农田施肥,既利用了土壤自净能力,进一步净化污泥,又利用了污泥中的水、肥供农业生产之需,一举两得,所以开始受到国外重视,并积极开展调查研究。如美国芝加哥市从1967年开始一直在进行污泥施肥的试验研究;日本土木学会从1972年到1974年在五个城市组织调查污泥施肥的情况。污泥施肥的实际应用近年有所增加,但目前国外污泥施肥的总量还不很多,美国约有25%,日本约有10%的处理厂的污泥用于农田,瑞典约有1/3的污泥用于农田,这与污泥施肥所存在的一些问题有关。污泥中不但含有氮、磷、钾、有机物等农作物必需的物质,还含有农作物不需要甚至对作物食用者有害的一些物质,其中主要是病原微生物和重金属,但目前对重金属尚无妥善解决方法。此问题是影响污泥施肥的关键,也是国外讨论研究的重点。有人认为多数污水处理厂的污泥在普通土壤中,限定时间内,用作农肥并没有因重金属污染而使农作物的产量和质量下降,也没有使食用作物者受到危害,所以适当施用污泥是可行的。但如连续长期施用污泥时,积存于耕作层的重金属将有可能危害农作物,

甚至经食物链而使食者受害。此外，污泥施肥还可能使地面水或地下水受重金属污染，所以在污泥施肥时必须谨慎，并选择一些必要的条件。

结合我国国情，污泥施肥的方法是符合“综合利用，化害为利”方针的，同时也为了进一步贯彻中央关于“各行各业都要支农”的精神，我们选编了国外污泥在农业上利用的资料，主要介绍日本、美国等一些城市有关污泥施肥的实例，如施用污泥后作物的生长情况，重金属的分析，污泥的施用量、施用时期以及施用污泥应注意的事项和条件等，供有关方面参考。

本书承上海市农业科学院土肥植保研究所有关同志审阅，特此致谢。

上海科学技术情报研究所

1977年9月

目 录

下水污泥农田利用的可能性和问题.....	1
日本横滨市下水污泥的农田利用.....	13
日本福岡市脱水污泥在农业方面的利用.....	25
生活污水液状污泥的农地施用.....	31
下水污泥在农业上利用应注意的问题.....	37

下水污泥农田利用的可能性和问题

一、序 言

目前,随着城市下水道的普及,也就联系到下水污泥清理的问题,如果任意用焚烧、填平等方法把有肥料价值的屎尿废弃,这是一种浪费。特别是日本缺乏磷和钾的资源,要从国外输入,因而最重要的是,通过土壤→植物→动物的系列,使这些资源不足的肥料成份在自然界中再次循环。为了达到土壤团粒化,需要土壤中生物的帮助,通过以有机物为食饵的蚯蚓以及微生物的作用而产生的胶质物可促进土壤的团粒化。土中的微生物活动旺盛,就需要补给有机物以促进土壤的团粒化。

为了使作物健全地生长、除了补给作物所需要的养分外,同时要施用有机物使土壤中的生物活动旺盛,以保持土壤处于良好的物理状态。以人的屎尿为主的下水污泥中含有大量肥料养分和有机物,它维护土壤的生命是极为有效的。因此,下水污泥还原到农田中去,这已是最近世界的趋势,今后在农业上必须认真重视这一课题。

二、污泥还原于农田的近况

表1表示污泥向农田还原的现状,由此明显地看出,日本在这方面已落后于别国。这是因为,第一,“污泥”这个概念给农民有一种肮脏的感觉,故农民使用不积极,而且不易弄到手,质量又不稳定。第二,从肥料的观点来说,现在已可完全依靠化学肥料了。另外也归咎于城市和农业机构对这方面宣传不够,同时双方的技术交流不能密切配合,故污泥向农田还原尚未普及。

表 1 污泥的处理量(1974年3月)

处 理 方 法	处 理 量 (1,000米 ³ /年)	(%)
填平(陆地、海面)	1,108.5	64.5
污泥场内处理	158.9	9.3
海洋投弃	175.2	10.2
农田还原	158.2	9.2
其 他	110.2	6.5
合 计	1,710.8	100

三、下水污泥的肥料成分

由于污泥生产时的砂土混入率、消石灰等凝固剂的种类、添加量以及尿尿混入率的不同,从处理场出来的污泥肥料成分有2~5倍的差别。即使在同一处理场的肥料成分也会有季节性的变动,不过它的幅度还小,而且比较稳定。可是扩大了排水区域,在尿尿投入量有显著变化的城市来说,波动的幅度是相当大的。一般地说,污泥性质是随着人们的饮食而变化的,大概今后是蛋白、脂肪成分有所增加,而碳素等糖质、纤维成分将有所减少,同时由于提高了道路的铺设率,看来在合流式下水道内,砂土的混入率也可以减少了。表2所示为美国在1951~1955年与1931~1935年污泥的肥料成分比较,由于合成洗涤剂的使用量增加等而引起了含酸量增加。表3表示微量元素的含有率。其浓度的变化,因下水道工场排水的流入而变动范围很大。表5是表示向土壤补给的腐殖质(有机物通过微生物变质,化学上缩聚的高分子胶质物)的含有量,但也表示用一次处理是不能全部处理有机物的。

作为肥料成分来看,污泥中含有过剩的微量元素时,是有效的肥料成分,而且某些有机物残存下来,作为土壤改良剂也是适宜的。

表2 活性污泥和消化污泥的肥料成分比较(1931~35年和1951~55年)

项 目		活 性 污 泥		消 化 污 泥	
		1931~35	1951~55	1931~35	1951~55
氮 (%)	最 小	4.4	4.8	1.3	1.8
	平 均	6.0	5.6	2.2	2.4
	最 大	6.4	6.0	3.0	3.1
磷 (%) (P_2O_5)	最 小	2.0	4.0	0.8	0.9
	平 均	3.2	5.7	2.1	2.7
	最 大	3.8	7.4	3.8	5.0

表3 活性污泥和消化污泥的微量元素比较(单位: ppm)

污 泥 的 种 类			铜	锌	硼	锰	钼
活性污泥	最 小		385	950	6	65	6
	平 均		916	2,500	33	134	16
	最 大		1,500	3,650	74	190	45
消化污泥	最 小		315	1,350	4	30	2
	平 均		643	2,459	9	262	6
	最 大		1,980	3,700	15	790	12

表 4 试验用污泥的化学成分

污水处理厂名	试 样 采 取 日 (年/月/日)	试样 含水率 (%)	化学成分(干燥物的平均构成比率%)										
			总 氮	其 中 氨 氮	其 中 硝 酸 氮	总 碳 素	C/N 比	总 磷 酸 P ₂ O ₅	钾以 K ₂ O 计	钙以 CaO 计	镁以 MgO 计	硅 以 SiO ₂ 计	总 硫
札幌 伏古川 真驹内	70/5/10	70.2	2.68	0.08	微量	23.0	8.6	2.5	0.34	10.8	2.14	36.8	—
	70/5/10	73.7	2.66	0.09	微量	25.3	9.5	2.3	0.11	10.0	1.37	17.2	—
仙台南蒲生	70/4	52.9	1.98	—	—	25.6	12.9	1.8	0.22	2.2	0.69	31.1	—
	70/5	60.8	2.23	—	—	29.4	13.2	1.7	0.18	1.9	0.71	28.5	—
川越潼之下	70/	6.1	2.65	—	—	22.2	8.4	2.0	—	19.0	1.53	—	—
霞箇关第一	70/	7.2	3.53	—	—	18.2	5.2	2.8	—	1.3	0.56	—	—
长野川合新田	70/5/20	30.5	3.38	—	0	22.0	6.5	0.6	0.26	1.74	1.51	29.5	—
富山 牛岛	70/3/30	25	2.18	0.24	0	—	—	0.3	0.23	0.02	0.02	39	—
福 井 境	69/8/20	69	2.13	0.10	微量	—	—	4.4	0.08	0.87	0.31	—	—
	70/4/2	—	3.72	0.05	—	67.0	—	0.9	0.15	0.23	0.14	—	—
	70/8/13	58	12.04	0.00	0.001	54.6	—	2.7	0.07	0.28	0.32	—	—
川崎 生田		35	2.08	(0.69)	—	23.8	11.4	1.9	0.07	1.09	0.70	62.1	—
		33	2.15	(0.71)	—	—	—	2.0	0.07	1.02	0.63	—	—
农桥羽根井 野 田		55	2.6	—	—	23.3	9.0	1.4	0.20	1.20	0.28	30.2	—
岐阜 中部	69/10/23	52	1.9	0.02	0.001	28.9	—	1.5	0.18	0.71	0.54	38.7	0.25
	70/4/27	50	2.0	0.02	0.004	30.4	15.0	1.5	0.19	0.79	0.56	37.5	0.23
鹿儿岛 锦江	70/5/30	23	2.8	0.14	0.01	19.4	7.0	1.3	0.09	0.87	0.26	51.7	—
	70/6/1	30	2.6	0.20	0.014	10.5	4.1	1.7	0.13	0.42	0.33	—	—

表 5 各种下水污泥中的腐殖质含量

污 泥 型	腐 殖 质 含 量 (%)
生 污 泥	33
消 化 污 泥	35
活 性 污 泥	41
撒水滤床污泥	47

四、污泥中的微生物

污泥中几乎包括了所有代表性的微生物,除了一般微生物外,还有病原微生物也是很重要的。

卫生学上重要的细菌是沙门氏菌属,其中最重要的属类——肠伤寒及副伤寒的病原体就存在于污泥中。其他还有大肠菌。这些病原体通过下水的二次处理被去除的程度,见表6。室温在20℃,室外温度在7℃下,其中99%在12天内死亡。但有机物食饵丰富的话,也可使沙门氏菌增殖,可是由于微生物也同时与其竞争阻止其增殖而使它死亡。与沙门氏菌竞争的土壤微生物,可用消毒或其它方法来去除它,但也有沙门氏菌于其后侵入而活到20个月之久。另一方面,密布于地表的污泥受紫外线照射,其中的细菌已遭致命性的打击,大肠菌在pH2.5的酸性水溶液中接触24小时后,其中99%就会死亡。因此,事实上已有室外温度,紫外线,以及与细菌竞争土壤的微生物的作用,故不认为还原于农田的污泥中的流出物中,还继续有病原体的生存。很多报告也证明,在污泥还原土壤后,立即对污泥流出物加以检查,并没有发现大肠菌。

作为原虫类的病原体,有赤痢阿米巴,但它在干燥时的生命力是微弱的,故只要将污泥散布后使其干燥就能消灭它。但赤痢阿米巴的带菌者超过10%时,就必须注意将引起赤痢阿米巴的传染问题。

下水中也有蛔虫,蛲虫、绦虫等寄生虫,要使其杀死率达90%,必须要在29℃下,经过15天,所以要考虑到这些寄生虫对环境是具有抵抗力的。

下水中还含有病毒,可用活性污泥法来去除98%。活性污泥中也会发现三鞭虫,假丝酵母、霉菌等。从上可以看出,土壤在施用后,存在于污泥中的病原体能长久生存的是病毒和分枝杆菌。可是,在地表下30厘米左右的表土上,生息着大量的微生物,故大部分的病原体由于土壤的吸附现象,pH、水分、温度等的环境因素而在表土就被消灭,不致污染地下水。故希望施用污泥时,应尽量将其与表土相混合。因为将污泥与土壤混合后,就能产生去除这些病原体的作用。

表 6 通过二次处理去除的细菌

细 菌	污 水 中 的 细 菌 数 (数/毫升)	生物处理的去除率 (%)
大 肠 菌	$0.5 - 1 \times 10^6$	90.99
链 球 菌	$5 - 20 \times 10^3$	84.94
志贺氏杆菌	有	90-99
沙门氏杆菌	4 - 12	70
总 数	$3 - 18 \times 10^6$	90-99
产气假杆菌	7×10^3	99
产气荚膜杆菌	507	90-99
结核分枝杆菌	有	66-88(或95)

五、对农作物的施用效果

曾于1969~1971年,在十个城市用了三年时间,对水稻、蔬菜、牧草、果树等进行污泥对农作物施用效果鉴定的苗圃试验。

一般来说,施用下水污泥对所有作物,大致上都有良好作用,从生长不良的例外事例来看,首先,施用的污泥对作物初期的生长不良,其原因是,由于污泥的物理性能不良而引起部分土壤过湿、过干或者由于一时的土壤异常还原,污泥中盐类过剩会引起浓度影响,以及污泥中的碳素过剩会使土壤中的氮进入微生物体内,结果使作物缺乏氮,一般地说,这种初期生长不良情况不久即可恢复,很多场合表明,在到达生长的中期和后期,它们长得都很旺盛。这一部分原因是由于土壤的条件影响作物生长,并不涉及表土。

污泥施用量过多时,如生长被过份抑制,可引起发育不良或枯死。其原因是由于施用污泥的盐类浓度影响和土壤pH的剧烈上升或下降造成的。但也可偶然由于过干或过湿而引起的。下水污泥中的可溶性盐类浓度可以用水洗处理,但仍然是相当高的。丰桥市的调查中,在5倍量水中悬浮时的电传导度为2,500微姆左右,这种浓度明显地对作物有损害,仅在污泥中播种时,就看到显著的发芽障碍和生长阻碍。可是并不是说,盐类浓度越低越好,从污泥中养分含量的观点来说,还是不要太低为佳,总而言之,这是关系到施用量是否恰当。因为不论多么有效的肥料,如施用过多,同样会引起浓度影响。在土壤中施用盐类浓度高的污泥时,盐类能被土壤吸附,从而显著地减少了浓度影响的程度。土壤的一种极大的特点就是具有降低这种浓度影响的缓冲力。只有下水污泥,其组成成分是形形色色的,所以由浓度而引起的生长障碍也各不相同,主要是有无使用石灰凝聚剂,从而对pH的影响也就不同,所以关于引起损害的限度不能一概而论,必须根据各自的情况加以判断。

能使作物在污泥中很好生长的因素很多,而污泥中氮的效果最易显出,也可以说凡是对氮需要量多的作物,污泥施用的效果最易显示出来。

六、对作物收获量的效果

作物根据其种类不同,其收获的部位也不相同,凡是地上部分生长良好的,很多未必产量高。一般产子实的作物,要做到营养生长和生殖生长(子实生产)的平衡是困难的,营养生长好的,不一定收获量高,相反,以收获营养器官为目的的作物(叶菜类),它们的生长好,直接联系到产量增加。果菜类因为营养生长和生殖生长是同时进行的,所以必须要维持长时间的良好发育。但仍然要求在开花或结果上有良好的平衡。以收获碳水化合物化合物的贮藏器官为目的的作物(芋类),也是如此,营养器官过份发育,反而使产量有降低的倾向。根菜类虽类似叶菜类,但以主根肥大作为收获目的,故茎叶过份繁盛并不理想。

下水污泥的施用,对于各种作物收获量的效果,以氮成份的影响最为突出。对上述作物的发育效果,存在着下水污泥施用量的极限问题,但对收获量效果来说,这种限度已进一步被缩小,同时与作物本身的特性有很大的关系。

由上可见,施用下水污泥对收获量效果最能起作用的作物,以叶菜类为主。果菜类也容易见到施用污泥的效果,这是因为,一则,污泥中的氮长期被果菜所利用,对茄子、黄瓜来说,其效果特大。稻科作物对污泥中的氮养分非常适应,但以子实生产为目的的稻和麦子,如果茎叶中过份吸收氮的话,就容易倒伏,反而会抑制子实生产。也就是说,对这样的作物,污泥施用的量应该是非常低的。对不以子实生产为目的的青饲料作物,使用污泥就易于增加收获量。相反,根菜类并不象叶菜类那样大量要求氮,所以施用污泥后,在收获上较难显出效果。特别是甘薯,施用污泥后,地面上部过份繁茂,反而减少产量,目前青芋也有这种倾向。

七、对作物质量的效果

如果污泥对水稻的施用量过多时,可引起结实不良,增加不适于作米饭的碎米,而且质量也会降低。施用量适当时,也可看到结实良好的例子。小麦和水稻一样,施用量过多就会降低质量,所以要适量施用。

关于叶菜类,虽未对质量进行调查,但是由于生长良好而获得高产来看,它的各个部份都很茁壮,而且又大,所以可说其质量是很优的。另外有报告说,能增加卷心菜的甜味,还能改善由于白菜缺乏硼而引起的质量降低等情况。根菜类方面,如果对胡萝卜施用过量污泥时,会使颜色发黑,增加分枝根和裂根,从而引起质量下降,但施用适量时,在同一地点照样能长出色、味均佳的胡萝卜,据报告,它与别的城市用堆肥作比较,分枝根和裂根较少,而且质量也有所提高。但是也有报告说,用污泥虽能增加产量,但色泽不好,质量也降低,故对根叶类的质量要进一步加以研究讨论。一般地说,对于根菜类,包括萝卜在内,施用有机物后,分枝根反而比主根生长得快,尤其是施用污泥时,特别是块状的污泥,易抑制主根的正常生长。因而对根菜类施用污泥时,要将污泥充分弄碎,或者将污泥施用在田间畦沟内,不让主根与污泥接触。通过这种办法,有很多例子中证明胡萝卜减少了分枝根和曲根。

关于果菜类,对以质量为主的甜瓜来说,施用污泥后,果实变大,外形和内部都生长良好,果肉和糖份也很好。另外,报告中也提到,它能使茄子的果肉鲜嫩,外形美观,使质量有很大的提高。总之,对果菜类来说,一般在施用污泥后能产生效果,增加产量和提高质量。

八、施用污泥对土壤的影响

1. 对土壤物理性的影响

关于施用污泥对土壤物理性效果方面的研究还是不完善的,但通过施用下水污泥能明显增加耐水性团粒(见表7),同时降低了固、气、液三相分布的固相率,增大了孔隙量。污泥施用量多的话,耐水性团粒就会增加到粒径1.0毫米或2.5毫米以上的大团粒,施用量少,就显著地增加粒径1.0毫米以下的团粒。

表 7 添加污泥后形成的耐水性团粒(单位: %)

处 理 \ 粒 径 (毫米)	2.5以上	2.5~1.0	1.0~0.5	0.5~0.3	0.3~0.1	0.1以下
无有机物区污泥(对 干土添加干燥物1/50)	0 6.1	3.8 29.3	13.9 23.2	16.5 15.7	31.3 15.4	34.5 10.3
污泥(对干土添加干 燥物1/10)	14.4	42.0	14.9	6.8	8.1	13.8

报告中提到, 每作施用下水污泥100公斤/公亩左右, 连续施用数作后, 就可使过去很难使用农具耕作的粘质土壤, 变成能很好耕作的土壤了。施用污泥后, 对土壤物理性具有良好的影响, 这是无可否认的事实。

2. 对土壤化学性的影响

表8、9表示土壤的化学性能, 以对土壤的pH的影响为最大, 但这次的调查, 施用下水污泥后, 土壤pH有上升的、也有降低的, 总之没有大差别, 其结果并不一律, 也没有一定的倾向。

水田的污泥施用量并不太多, 在灌水条件下, 由于起了相当的缓冲作用, 故 pH 的全面性变动很少。下水污泥中含有硫, 如硫超过需要时, 在旱田的好气条件下, 经六周左右, 硫化物就氧化为硫酸根, 在雨水浸透的同时, 在土层下部将碱溶去, 使表土酸化。pH的上升, 是由于污泥脱水过程中, 使用了消石灰作为凝聚剂的缘故。

通过污泥的施用, 能增加土壤的全碳和全氮含量, 但碳氮比无明显变动。其他, 无机态氮含量, 电导度, 可给态磷酸含量, 盐基置换量, 如氧化镁含量等也有增加, 但石灰和钾含量, 有的稍为减少, 有的增加, 并无一定的倾向。

从以上结果, 可看出施用下水污泥, 大致能使土壤化学性能良好, 土壤肥沃, 对生长和产量有良好的效果, 但根据污泥的种类, 有各成分之间的平衡, 特别在碱的补充上(污泥中钾较少)和污泥中没有加石灰时, 必须注意对石灰的施用。

表 8 贫瘠地土壤的化学性(北海道火山性土)

区 名		成 分	pH		酸 度	T-C	T-N	C/N
			H ₂ O	KCl	Y ₁	(%)	(%)	
栽 培 前			6.02	5.19	1.10	1.85	0.19	10
栽 培 后	原 土 区		6.05	5.02	0.65	2.16	0.21	10
	堆 肥	200公斤区	6.10	5.12	0.56	2.20	0.23	10
		400公斤区	6.19	5.28	0.52	2.22	0.25	9
	污 泥	真驹内200公斤区	6.30	5.26	0.40	2.28	0.23	10
		400公斤区	6.50	5.59	0.36	2.56	0.29	9
		800公斤区	6.53	5.81	0.27	2.67	0.34	8
		伏古川400公斤区	6.45	5.52	0.40	2.45	0.26	9

表 9 贫瘠地土壤的化学性(神奈川火山灰土)

处 理 区 名		pH		Y ₁	EC (毫姆欧/厘米)	T-C (%)	T-N (%)	C/N
原 物	干物 (公斤)	H ₂ O	KCl					
1.不使用消化污泥	0	5.93	5.21	0.38	0.32	1.86	0.196	9.5
2.施用消化污泥2,000公斤	1,360	5.62	4.96	0.38	0.58	2.08	0.203	10.2
3.施用消化污泥4,000公斤	2,720	5.55	4.81	1.09	0.25	2.52	0.268	9.4
4.施用消化污泥6,000公斤	4,080	5.34	4.70	1.13	0.31	2.62	0.279	9.4
5.施用消化污泥8,000公斤	5,440	5.10	4.35	2.20	0.20	2.62	0.288	9.1

3. 对土壤微生物的影响

在污泥中因能利用微生物含有的有机物,故与施用其他有机物一样,当接连施用污泥后,就能使微生物增加活动,从而控制了土壤的病原菌,使作物生长良好。

污泥中有氮,可引起土壤中氮的有机化(图1)。对干土,如施用污泥1/50的比例后,污泥的碳氮比为20左右,如碳氮比大的合成堆肥那样,不引起土壤无机态氮的有机化和固定化,无机态氮能牢固地在土壤中生长,并且,在八周内的无机化率约为30%,比大豆渣显著小,但比麦秆堆肥和合成堆肥大,也就是说,以污泥中的氮作肥料是有相当效果的。

此外,随着施用污泥,也可增加将氨氧化为硝酸的硝酸菌,土壤中的硝酸就容易积压。旱田作物吸收硝酸比氨多,所以对旱田作物的生长是适合的,但是要注意雨水溶解的硝酸容易引起由于土壤酸性和氮造成的地下污染。

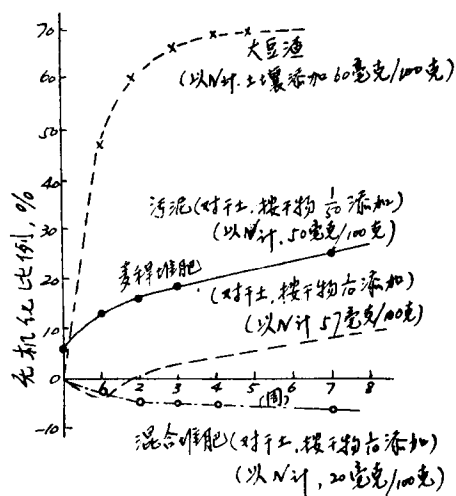


图 1 土壤中氮的无机化比例

九、施用效果的持续性

下水污泥的施用效果不是在当年的一作上就消失的,而在第二作之后仍能维持其余效。因此连续使用下水污泥时能累积其效果。前作留下的下水污泥肥效比当初施用的效果要小得多,但已证实对水稻,卷心菜,萝卜,牛蒡,黄瓜等作物有很好的效果。另外,还证明施用量越多,则其余效越大。当施用污泥250公斤/公亩以及500公斤/公亩后,有三年余效,使白菜能增产6%及12%,如果施用800公斤/公亩时,能使4年8作的作物增产10%,但施用量为100公斤/公亩,则3年6作后,其效果几乎消失的情况也是有的。总而言之,下水污泥的余效,必须根据污泥的施用量、土壤的种类、地区、不同的作物对象作进一步的分析。

十、下水污泥的施用量

关于下水污泥的适当施用量，必须根据作物的不同种类加以研讨。

首先是对水稻的施用量，当施用标准化学肥料时，下水污泥的适当施用量可定为40~80公斤/公亩。可是以40~50公斤/公亩作为施用限度的较多，故从全面来说，以干物计，可施用40公斤/公亩作为安全施用量（以下，污泥施用量，全部按干物来表示）。但是连用2年时，其限度为20~30公斤/公亩。另一方面，如果减少化学氮肥的施用量，就可增加污泥的施用量，然而从提高产量的观点来说，最多不能超过60公斤/公亩。在不施化肥的情况下，能施用到120~150公斤/公亩，但是这易于引起还原障碍等情况，所以与化肥同时使用时，下水污泥的施用量应该减少，以求安全。

另外，在温暖地区的粘质土壤要比寒冷地带的砂质土壤能提高施用量，在品种方面，对氮耐受性大的品种比对氮敏感的品种能增加施用量。关于作期方面，早植的水稻比晚植的能增加下水污泥的施用量。

对旱田作物的施用量限度比水稻高，但也要根据各作物对氮成份的敏感性来规定要求量，大概可划分为以下三个阶段。

1. 要求氮最小的作物：氮施用量1.0公斤/公亩以下的，如甘薯，豆类等。
2. 要求氮量中等的作物：氮施用量1.0~2.0公斤/公亩的，如麦类，很多的根菜类，马铃薯等。
3. 要求氮最大的作物：氮施用量2.0~3.0公斤/公亩或超过此值的，如很多的叶菜类、果菜类、饲料作物等。

一般，对第1组来说，在单作作物上，施用100公斤/公亩左右是适当的。但连用时，在06公斤/公亩3作作物上，就稍觉过多，在5作作物上则明显地是过剩了，故以50公斤/公亩左右为适当。

对第2组，单作可施用150公斤/公亩，连用时以80公斤/公亩为适量。

对第3组来说，也有施用600公斤/公亩左右而获得高产的例子，但从全面来看，还是以250公斤/公亩左右为适量，连用时以100公斤/公亩为佳。

可是，普通旱田作物的种植体系并不一定，在某些情况下，能引起1、2、3组复杂交错的种植场合，故必须考虑到种植体系后，方能定出标准。以种植蔬菜为中心的旱田作物，以100公斤/公亩连用，为大致的标准。在这种场合，化肥是根据对各作物估计所需要的标准施肥量，所以根据作物，有氮过剩的话，就必须减少氮的施用量。

对果树来说，桔子的苗圃不过是一个例子，并不明显，但以单作施用400公斤/公亩，2年连用为200公斤/公亩，但长期连用时，可按一般旱田作物，以100公斤/公亩作为安全标准。

十一、不同污泥种类的施肥效果

对各种污泥的施用效果有很多尚待探讨，一般地说，关于作物的施用效果，以用微生物处理的污泥及消化污泥比化学处理的污泥的效果要大得多，另外，屎尿污泥又比下水消化污

泥的效果大。

十二、施用下水污泥应注意的问题

1. 要确定污泥的基本施用法是否卫生或有否肥效, 以及避免浓度影响, 勿使过湿、过干, 应将污泥与作土充分混和使用, 因此, 要求污泥具有能和土壤很好混和的形状。对根菜类可用侧状沟的方式来施用。

2. 氮肥效的调节

施用污泥后, 土壤中积累了作物所需要的养分, 特别是氮的积累, 因此必须对作物相应地调节化肥的施用量。

3. 调整土壤的pH及补充碱。

大量连续施用下水污泥后, 会使土壤的pH降低, 碱流失, 所以要增加石灰、氧化镁等补充碱。但污泥中过多地使用消石灰作为凝聚剂后, 相反地会使pH升高, 故充分掌握污泥这种特性是十分重要的。

4. 养分的平衡

污泥肥料成分中最缺少钾, 在未加石灰的污泥中, 因石灰、氧化镁不足, 可补充这些成分。未耕地, 矿砂土等, 磷酸不足的土壤, 污泥中又缺少磷酸, 所以要补充磷酸。

5. 污泥的臭味和植物种子的混入

大量施用污泥后, 污泥的臭味会散发出来, 影响周围环境, 污泥中残留的种子有时在施用后发芽, 这些问题都必须加以研究而消除之。

表 10 供试污泥中的重金属含量(单位: ppm)

城 市 名	镉	锌	铜	铁	镍	锰	铬
A	11.7	7,740	1,821	—	—	—	—
B	6.53	3,731	1,875	26,500	100	198	1,440
C	2.40	1,376	200	23,000	56	—	140
D {	机械脱水	5.05	1,507	171	2,811	54.4	296
	日光干燥	2.47	976	96.4	2,607	11.3	177

表 11 在A市污泥中重金属含量(单位: ppm)

采 样 日 期	镉	锌	铜
73年 5 月	9.40	4,500	1,175
7 月	5.25	3,125	850
10月	5.80	3,400	813
74年 1 月	5.25	3,400	813
2 月	3.50	2,875	650

表 12 植物体中的重金属含量(单位: ppm)

城 市	作 物	项 目 部 位	施用量 (公斤/公亩)			镉			锌			铜		
			0	100*	200	0	100*	200	0	100*	200	0	100*	200
A	水 稻	麦 秆	0.14	0.22					34.5	40.0		5.6	12.3	
		稻 壳	0.04	0.09					20.2	23.8		3.5	4.1	
		糙 米	0.02	0.06					23.8	23.8		3.9	3.9	
B	胡 萝 卜	地上部	1.33	1.34	1.55	103.0	136.2	170.8	10.6	10.9	11.4			
		地下部	0.86	1.17	1.44	72.5	103.0	125.6	11.3	12.1	11.8			
C	莴 笋		2.12	2.38	2.24	23.4	19.7	24.2	10.9	11.8	12.9			
	卷心菜**	内 叶	0.18	0.24	0.21	27.4	51.8	46.2	1.69	2.15	2.06			
		外 叶	1.43	1.34	1.55	94.8	131.3	132.5	2.13	1.99	2.23			
D	机 械 脱 水	小 芜 菁	叶	0.21	0.15	0.15	62.8	95.3	103.7	9.8	10.7	7.2		
			根	0.32	0.23	0.29	58.0	82.9	100.0	1.8	6.0	5.0		
	日 光 干 燥	小 芜 菁	叶	0.22	0.20	0.18	56.8	165.7	327.2	5.6	4.3	5.7		
			根	0.22	0.23	0.23	61.2	123.0	170.5	5.9	6.6	5.4		

*施用于A市的量为90公斤/公亩。

**为第2作作物、连用污泥时的数值。

表 13 瘠土土壤中的重金属含量(单位: ppm)

城 市	作 物	项 目	施用量 (公斤/公亩)			镉			锌			铜		
			0	100	200	0	100	200	0	100	200	0	100	200
A	水 稻		0.34	0.43	0.47	147.0	216.2	244.1	25.9	41.4	40.5			
B	胡 萝 卜		0.14	0.16	0.19	43.6	69.5	89.5	14.5	26.4	35.7			
C(第1作)	莴 笋		0.54	0.61	0.69	126	14.0	155	25.0	26.2	29.4			
D(机械脱水)	小 芜 菁		0.25	0.28	0.29	41.1	54.4	63.6	17.2	16.4	18.8			

6. 污泥中的重金属问题

当污泥还原到农地时, 由于污泥中含有各种金属, 因此会污染农地。这个问题需研究解决。表10表示4个城市污泥中的重金属含量, 不同城市, 各重金属含量显著不同, 除机械脱水污泥外, 日光干燥污泥的重金属含量比较多。表11为A市的重金属含量, 可以看出, 不同时期污泥中金属含有率的变化幅度, 特别是镉含量明显较大, 但是从1974年起, 由于工厂排水

规定的加强和浓缩锅循环方法的改善等,各重金属含量显著降低。表12表示,植物体中的重金属含量,水稻、糙米的污泥施用量为100公斤/公亩时,镉含量虽然增加,但却比规定标准0.4 ppm少。表13表示瘠土土壤的重金属含量,并不由于污泥施用量增加,瘠土土壤的镉、锌、铜含量显著地增加。

表14表示美国环境保护所规定的,1974年在美国耕地上污泥还原时,污泥中重金属最大允许含量。可看出镉之含量为10ppm,而表10中日本4个城市的污泥中的镉含量,除A市外都低于美国的规定标准值。此外,污泥中之锌/镉比,在美国必须为100以上,而上述4个城市都超过100。美国的这个标准值,规定过于严格。目前,在日本,也着重对农耕地上长期连用污泥时的重金属含量,以及土壤-植物-水系中的平衡加以周密的考虑。

表 14 污泥还原至农地时的重金属最大允许量

元 素	干污泥最大含量 (毫克/公斤)
镉	10
铜	1,000
汞	10
镍	200
铅	1,000
锌	2,000

译自(日本)下水道协会志特集《下水污泥の绿农田利用》

1976年,第13卷,第142期,52~60页