

給水排水类	专 題 情 报 資 料	第6357号 (水 003 号)
-------	-------------	---------------------

国外城市污水污泥在农业 方面的利用

建 筑 工 程 部 技 术 情 报 局 合 編
 建筑工程部建筑科学研究院市政研究所

· 內 部 資 料 ·

建 筑 工 程 部 技 术 情 报 局

1 9 6 3 年 12 月

前 言

利用城市污水灌溉农田有悠久的历史。如在五百年前，意大利米兰就利用稀释的污水灌溉农田。到18世纪中叶，在英、法、德等国家的许多城市中，广泛建造了处理污水的市政灌溉田，并在其中附带种植各种农作物。后来由于城市扩大、污水量增加，建造处理污水的市政灌溉田很不经济，同时污水灌溉不卫生，不能满足农业的要求，故自19世纪初期出现人工生化处理构筑物以后，便渐被淘汰。

在市政灌溉田的淘汰过程中，德意志民主共和国改用以农业为主的低负荷农业灌溉田，积累了许多实践经验，并在七年计划(1959~1965)中规定，要继续扩大20,000公顷面积的污水灌溉田。苏联、波兰、捷克斯洛伐克等国亦先后提出了扩大污水灌溉田面积的计划，例如波兰在1959年增加了1,000公顷的污水灌溉面积，并计划在1960以后的15年内将污水灌溉面积扩大到2,400,000公顷。

我国在1958和1959年两次全国污水灌溉、工业废水处理和污水综合利用现场会议的推动下，各地都普遍开展了污水灌溉的试验研究和推广工作，帮助解决了城市郊区农田缺水缺肥的困难，获得了粮食、蔬菜一般增产20~50%的效果，同时使污水得到净化，减轻了对河湖水体的污染。1961年建筑工程、农业、卫生三个部还联合公布了“污水灌溉田卫生管理试行办法”。目前污水灌溉已成为城市支援农业的重要措施之一。但是，由于污水灌溉技术远较清水灌溉复杂，许多问题尚待研究解决。为此，我们编译了这本国外污水灌溉论文资料。

本资料收集了15篇编译、摘译文献和182条国外文献索引，共分为四部分。第一部分共4篇，论述农业利用污水、污泥的必要性和使用情况；第二部分共5篇，阐述农业用水的水质问题，以及对作物产量、作物化学成份、土壤和地下水污染的影响；第三部分共6篇，讨论污水灌溉田以及污水、污泥的处理构筑物设计使用问题；第四部分，即关于农业利用城市污水、污泥的国外文献索引。

这些文献，对我国的污水灌溉农田的试验研究工作是很有参考价值的。

建 筑 工 程 部 技 术 情 报 局

建筑工程部建筑科学研究院市政工程研究所

目 录

一、污水、污泥的农业利用

1. 污水在农业方面的利用.....(1)
2. 污泥肥料的利用问题.....(6)
3. 波兰的污水农业利用概况.....(12)
4. 污水的卫生状况和有关在农田中净化与利用污水的建议.....(18)

二、污水对作物的产量、作物化学成分, 土壤、地下水的影响

1. 农业用水及其水质标准.....(22)
2. 经不同处理程度的污水对各种农作物的增产效果.....(26)
3. 污水和清水灌溉田农作物的化学成分的特性比较.....(34)
4. 柏林和巴黎在污水灌溉田衰退中微量元素的影响.....(37)
5. 细菌和化学污染质的地下流动.....(41)

三、污水灌溉系统和预处理构筑物的设计使用问题

1. 适应污水灌溉特点的污水厂设计.....(45)
2. 梅明根市的污水农业灌溉田.....(50)
3. 新型沉淀池——匀流池.....(52)
4. 附有转动配水与集水设备的新型辐射式沉淀池.....(59)
5. 美国污水稳定塘的经验.....(62)
6. 不预热露天消化池.....(64)

四、有关城市污水、污泥农业利用方面的国外文献索引

污水在农业方面的利用

一、緒 言

污水和某些工业废水可以通过很多途径应用于农业：直接用于灌溉作物，放入养鱼池以提高鱼的产量，或者间接地用于灌溉，即把污水补充地下水或排入河流，然后再取出用来灌溉土地。同样，在农业上可利用污水和某些工业废水的肥份以及可能获得的腐殖质，作为土壤改良剂。污水利用具有两面性，如果用得恰当，能够增加作物的产量和贮存水量，因而带来很大的益处，可以繁荣国民经济和提高人民生活水平，但如果做得不恰当，不但无益，反而增加了发病率甚至死亡率，要用较多的国民经济收入来医治疾病，还损害了作物，并使土壤结构受到破坏等等。

二、对公共卫生的危害性

污水和普通水的不同，生活污水一般约含水99.9%。污水中仅有很小一部分是固体，一般小于0.1%。在这部分固体中有很小一部分是有机物，使污水具有讨厌的特性。众所周知，污水中的有机物按碳、氮和硫的循环而分解。这种分解大部分是由种类繁多的细菌和它们的酶完成的。如果缺乏充足的氧，这种过程将由厌气菌来进行，把蛋白质分解成氨基酸，再纵氨基酸形成氨、有机酸、二氧化碳和沼气。在这些条件下将产生粪臭素(β -甲基氮杂蒽)、胺基质和硫化氢等有臭味的气体。污水在某些条件下产生臭气的特性是在发酵池中的情形一样的。的确，这个因素与污水灌溉田的位置，喷灌或沟灌方法，污水的预处理程度等有很大的关系。

无论如何，在设计污水利用的方案时，如果考虑到这个因素，就不会构成对公共卫生的重大危害。污水的气味，尤其对于卫生工程师，不是那么可怕的东西。在某些搞得比较好的国家里，设计者将灌溉田的位置放得远些。但是真正对公共卫生的危险，不是由污水所带来的不好的臭味，而是有引起疾病的微生物和亚微生物存在。

人的排泄物能传染的疾病有：霍乱、杆菌赤痢、高热伤寒、腹泻(所有这些疾病是由细菌引起的)、由一种单细胞原生虫引起的阿米巴痢疾和由蠕虫(如线虫、钩虫、和鞭毛虫)引起的疾病。

传染性肝炎和小儿麻痹症的病毒已在患者的大便里发现，因而也存在于污水中。

公共卫生工程师应了解传染病传播的途径，以便进行预防。的确，污水用于农业时，采用正确的技术措施，实际上有可能防止传染病的传播。

用污水处理方法去除病菌的程度，当然取决于处理的工艺。各种处理方法去除细菌的一般效果示于下表：

必须记住，即使在液体中保持原来细菌数的百分之一，其数量仍然很大。例如耶路撒冷的生活污水(与其他典型城市下水道中的浓污水相似)每毫升含有1,000,000~10,000,000个大肠杆菌(大肠杆菌标志着病菌的存在)。即使取其下限，即1,000,000个/毫升，按百分之一计算每毫升中有10,000个，每一百毫升中有1,000,000个。如把它和饮用水中每100毫升有2个大肠杆菌的标准比较，可清楚地看到，即使在完全处理之后再加氯消毒，液体中大肠杆菌的数量还比饮用水大500,000倍。

处 理 工 艺	细菌去除的百分率 (%)
粗格栅	0~5
细格栅	10~20
沉砂池	10~25
沉淀	25~75
化学混凝沉淀	40~80
高负荷菌滤池	80~90
低负荷菌滤池	90~95
活性污泥法	90~98
间歇砂滤池	95~98
原污水或沉淀后的污水加氯消毒	90~95
生物处理后的污水加氯消毒	98~99

在使用污水处理方法去除原生动物和蛔虫(及虫卵)方面,也曾做了大量的試驗。这些工作是在南非的約翰內斯堡进行的。例如,在污水经过格栅、沉淀池、滴滤池、最后沉淀池和曝气池之后,仍然发现能引起阿米巴痢疾和致病原生动物的孢子以及蛔虫、钩虫和牛的絛虫(它能从牛傳到人体)的卵。在世界其它地方也曾得到类似的結果。我們可以认为,虽然经过处理减少了原生动物和蛔虫(以及它們的卵)的数量,然而它們并没有完全去除。慢砂滤池則是例外。

由于病毒极小(0.1~0.01微米),甚至能通过慢砂滤池,所以不能被去除;然而,可用加氯的办法,用0.1~0.2毫克/升游离的剩余氯经过10~30分钟的接触将其杀死。

应当指出,氧化塘的进出水中的細菌数量有显著的降低。在一些著作中談到,氧化塘出水中大腸杆菌的指数經常是低的,而且常常呈阴性(完全没有),这可能是由于藻类在池中放出有毒物质或由于停留時間长的緣故。在每人污水量小,即濃度較大的情况下,可以使用这个办法。由于氧化塘一般是以每英亩的生化需氧量負荷来設計的,因此,对于高生化需氧量的廢水需要很長的停留時間。

三、污水处置与污水利用的关系

許多工程师在这方面意見不一致,因此希望澄清这些流点。

污水“处置”和“利用”这两个名詞有不同的含义。例如,污水灌溉农田沒有解决雨季污水处置的問題,作物在雨季不需要水,还須另外寻求滿意的污水处置途徑。

設計者一般面临着如何进行各个季度的污水处置,并使其适应利用要求的問題。当然,如果能够終年利用污水灌溉,用其它方法处置污水的問題就不存在。理想的解决办法是通过利用手段更經濟地处置污水。

假設城市在雨季能把原污水排入河流,但在干旱季节,在河流流量低时原污水就需要完全处理,因此假如在干旱季节对部分处理过的污水加以回收利用,不仅对农业有利,而且使城市节省了修建第二阶段处理构筑物的費用。

应注意到在已有現成的污水系統及处理设备的地方和缺乏这些设备的地方之間的巨大差別。在有处理设备的地方,存在着全部或部分利用处理厂的出水問題,处置問題已得到解决。按灌溉需要来制定利用污水的計劃,让多余的污水流入已有的污水处理和处置厂,这是比較容易的。在下雨天灌溉用的泵不运轉。如果对利用的那部分污水需要处理时,設計处理厂的最經濟办法是让原污泥回流至下水道中,这样就不需要修建污泥消化池和处置构筑物,因而获得很大节约。

在沒有下水道的城鎮里,設計者可以在处置方案里把許多利用途徑結合起来,比較各种裝置的費用,在相互影响的利用和处置二者之間,找出最佳的方案。

四、污水用于灌溉时需要的处理程度

原污水是否可以用于灌溉的問題立即提到日程上来了,因为这样做,可节约处理費用,并保留更多的肥份。

但是,使用原污水与公共利益的利益有矛盾,因为污水含有未破碎的粪便和其它污秽固体,施用到土地以后会引来大量的蒼蝇。蒼蝇吃人的排渣物,并在上产卵,这样就大量繁殖起来。蒼蝇的脚和翅膀帶着粪便、污秽物和数以百万計的病菌,从污水灌溉田飞到附近的家庭厨房内,这些病菌不断地引起流行病发生甚至人的死亡。

在干燥的时候細菌死亡很快,太阳光和干燥能大量减少細菌的数量。但是,大部分的粪便不是完全干燥的,因此即使表面是无菌的,内部却可能含有大量能繁殖的微生物。另一方面,污水经过沉淀,只有一小部分污秽物随出水流走,当它們投加到田地上时,分解和干燥就快得多,与原污水相比,大大加速了細菌的死亡。蒼蝇問題也不那么严重。而且去除能沉淀的物体本身就去除了很多病菌。同样道理,对于在灌溉田上赤脚工作的劳动者來說,用原污水时蛔虫的傳染比用沉淀后的污水更加显著。

使用原污水还会产生恶臭,也不美觀,并且污泥在配水系統中易于淤积堵塞水流。

由于上述理由,不允許用原污水灌溉。

从預防疾病方面来看,要鉴定污水灌溉的作物是否能供給食用,而且,作物是熟吃还是生吃,也有很大的

差別。

最妥當的，當然是種植工業加工的作物，如：麻類、棉花、甘蔗等，或苗圃的樹苗。很明顯，污水在灌溉這些作物前的預處理不需要象污水用於灌溉蔬菜時那麼嚴格，進行簡單的處理就足夠了。對最低限度的預處理的規定，因各國的情況不同而有差異。例如，以色列規定最少的沉淀時間為1~1/2小時，或在能獲得相同處理效果的化糞池中加以處理。在美國得克薩斯州的某些城鎮，用唯一的污水塘預處理的污水灌溉 菜花 苜蓿、玉米、棉花、谷物、牛食用牧草。在澳大利亞的墨爾本，污水在灌溉牛、羊食用的水草之前不經處理或經過污水塘處理。西柏林污水在利用之前要在土池中沉淀。

因此可以說，在沉淀池中，足夠體積的化糞池中或在原污水塘（也稱腐酵塘）中進行預處理，可以得到很好的出水，滿足不供人食用的作物生長要求。這種處理可以作為灌溉用污水最低限度的處理。

關於供人食用的作物要求何種污水處理的程度，才適用灌溉的問題，在美國一些州，特別是加利福尼亞，不允許使用經初步處理的污水，甚至不允許使用經濟濾池和曝氣池及部分消毒的污水來灌溉，包括灌溉煮熟食用的蔬菜在內（這個規定不適用於留種的蔬菜）。

這個規定似乎不夠靈活。以色列規定，可以用污水（經最低限度預處理以後）灌溉煮熟食用的蔬菜。作者認為，在落後的國家編制規定前要慎重考慮，如果斷定所有作物都不能灌溉，這對農民將是一個打擊。

關於污水用來灌溉生吃的蔬菜要求何種處理程度的問題，在美國加利福尼亞州是要求污水進行完全處理。達到這樣程度的處理是不容易的，費用是較高的。為了達到這個標準，出水必須投加大量的氯進行消毒，增加了整個處理所需的費用。

這樣，設計者應如何評價各種方法的經濟性，是使用最低限度處理污水並限制所灌溉作物的種類呢？還是污水按高標準處理，並實行“無限制灌溉”呢？這種評價大部分是成本分析的問題，在討論利用和處置的關係時，應考慮其他的各種因素。

另外，有這樣的一種觀點，經合理設計和運轉得好的氧化塘的出水，去除細菌的效果是很好的，至少在熱帶國家可以把這種污水安全地應用於無限制的灌溉，而不用加氯消毒。經初步處理構築物之後再流經氧化塘的流程，可以較少的基建投資和運轉費用，有達到灌溉各種蔬菜的要求，這通常是深受農學家歡迎的。

最後，應該談談在污水灌溉田上牧牛的危險，以及人食用牛奶和牛肉的危險。一般認為污水中沒有含對牛有毒的物質。這種論點已被用污水廠出水喂牛的試驗所証實。同樣地，在南非的試驗也指出，使用污水廠的出水灌溉牧草對牛是無害的。但是主要的衛生危險，在於污染了奶牛的乳房。以色列與美國很多州同樣規定，當污水灌溉田還是潮濕的時候，禁止放牧奶牛，以防止污染奶牛的乳房。

五、魚塘對污水處理程度的要求

污水放入魚塘，是為了增加有機物的含量和不斷地生長藻類、植物和浮游生物，使魚的重量迅速增加。在那些有半生吃魚習慣的國家里，原污水不能放入魚塘。在另一些地方，魚塘中保持用以維持魚類生活足夠的溶解氧是不足的。因為大量污水的排入將影響池塘水的生化需氧量，使溶解氧缺乏，危害魚的生存。以色列規定，最低限度的預處理僅僅是去除漂浮物或將污水中的雜質粉碎。

在有吸血蟲病流行的地方應提出附加的要求。

六、補充地下水所需的處理程度

補充地下水以回收污水是一個間接的，但却是重要的利用方法。公共衛生最主要的顧慮是地下水在細菌和化學方面，有可能被污染。在加利福尼亞曾進行了較深入的研究，以確定這種危險的程度。在洛奇細士地區，沉淀過的污水或最終出水至少經過4英尺土壤的過濾，在去除微生物方面是安全的。消除了病菌。在化學方面，通過土壤很少發生變化。可以認為，除污水含有毒物質或高濃度討厭的物質如氯化物、硫酸鹽、鈉、鎘等，回流補充地下水是可以的。研究得出結論，從公共衛生考慮，不限制污水直接補充入砂含水層。

無論如何，其他公共衛生問題是與管理有關，因為很明顯，污水可能產生的討厭的臭味，要擴散到很大的面積範圍內。同樣，由於污水澆灌水田，蚊子的問題必須解決。至於臭味方面，在適當選擇地點和重視蚊子繁殖的條件下，沉淀過的污水與最終處理的出水沒有多大的區別但二者之間的选择，主要不是從公共衛生方面考

虑，而是从单位面积的渗透速度来决定所需的面积。最终处理出水的渗透速度比沉淀过的污水要高，因此从所需的土地来看，使用高级处理的出水是比较经济的。

就污水直接灌注入含水层来回收水而言，污水厂的出水应有较高的质量，否则将会发生堵塞，因此，沉淀后的污水不能进行直接灌注。

利用污水补充地下水的优点是不需要修建贮存回收污水的大容积构筑物，因为含水层本身就是贮存的水器。

七、公共卫生方面对污泥利用的要求

污泥经适当的处理后用作肥料以及土壤改良剂，已为大家所公认。但是，从公共卫生的观点来看，原污泥和未经消化的污泥不能作为肥料施于正在生长的蔬菜或果树，因为污泥含有和污水相同的病菌。消化过程在很大程度上消灭了病菌，若消化的周期很短，那么湿污泥可能含有很多病菌。让每一个国家去规定是否使用原污泥和最低限度消化的要求。作者认为，因为干化污泥运转的费用很高，在湿的状态也是可以处置的。最好是规定“合理的消化处理”，例如“污泥应该是无臭味、容易脱水和挥发性固体不超过总固体物的50%”。

总而言之，应该承认空气干化的污泥比湿污泥安全，而热干化的污泥又比空气干化的安全。热干化的污泥虽然安全，但不经济，因为在敞开的干化床里消化得好的污泥从卫生观点来说也是安全的。

必须观察一下应用原污泥和人类尿作混合肥料的情况。只要作混合肥料时不产生苍蝇，只要污泥和人类尿在好气条件下可获得高温，公共卫生机关是允许的。但是，这二个条件多数是做不到的。首先，如在印度班加罗尔和因多尔，普通的施肥方法不是在好气条件下进行的，肥堆中心所产生的热量不足以保证完全杀死病菌。其次苍蝇和蛆是存在在肥堆内或肥堆附近，容易把病菌从作混合肥料的地方带进附近的房屋。

作者坚信：在不履行上述二个条件的地方，应停止使用加有原污泥和人类尿的混合肥料，无论何人粪尿和原污泥都应该用卫生的方法加以处理。

八、污水用作灌溉水

生活污水和某些工业废水除了水以外还含有一些有益的成分，如氮、钾碱、磷以及微量元素、刺激素和腐殖质，因而是良好的土壤改良剂。

根据 Snell 的资料，下表示 1930 年美国每人每日的排渣物数量：

物 品	每日重量	灰 份	有机物	氮	磷 酸	钾	氮	磷 酸	钾
	(克)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(克/每人)		
粪便	86	22.8	19.8	1.00	1.10	0.25	0.86	0.95	0.21
小便	1.055	3.7	2.4	0.60	0.17	0.20	6.33	1.79	2.11
总排渣物	11.41	5.15	3.7	0.63	0.24	0.20	7.19	2.74	2.32

由于体重较轻和食品中蛋白质较少，在印度每人每日排渣物中含4.3克氮、1.4克磷酸和1.4克钾。在沉淀池中去除了部分污泥，但在污水中仍然发现了大量有益的肥料。如果换算为商品肥料的价格，污水与普通灌溉水比较，它的增产价值就很明显。

不幸的是污水同样含有一些不适宜的成分，如果这部分的数量很多，可能损害植物和破坏土壤的结构。例如：大量的氯化物、硼或硫酸盐虽然有肥料成分存在，可能使出水不适宜于灌溉。

在污水用作灌溉水的评价中，根据其极限含量，可分类如下：

类别	% Na Na×100 Na+Ca+Mg+K	硼 (毫克/升)	氯化物 (Cl) (毫克/升)	硫酸盐 (SO ₄) (毫克/升)	K×10 ⁵ 在 25°C的导电率 (电离子浓度)	总盐量 (毫克/升)
I	小于30~60%	小于0.5毫克/升; 有耐药力的植物在 1.0~1.5毫克/升时不会被损坏	小于70~200	小于200~250	小于100	至700左右
II	30~75%	0.5~2.0; 但对于耐药力的植物, 水 中含硼达3.35毫克/升仍可以适应	70~575	200~1000	50~300	350~2100
III	大于70~75%	高于2.0毫克/升; 对于敏感的植物, 水中的含量高于1.0毫克/升已不适用	大于200~575	大于600~1000	大于250~300	大于 1750~2100

上述分类:

第一类: 最好的, 或在大部分条件下, 适宜于大多数植物。

第二类: 从适宜到有害, 在某些土壤、气候、操作的条件下是有害的。

第三类: 有害的, 在多数条件下不适宜。植物对硼敏感的, 例如檸檬、橙、蘋果、梨。比較耐硼的植物, 如番茄、玉米、豌豆、棉花、馬鈴薯、向日葵。耐硼的植物, 如胡蘿卜、萵苣、捲心菜、大头菜、洋葱、蚕豆、棕櫚、枣棕櫚。

显然, 污水的水质取决于供水条件。例如, 如果水中含有大量的溶解固体, 则原污水中含量将更高。

在主要的工业城市里, 无机物的增长可能是很显著的, 致使污水厂出水不适宜于灌溉。

通常, 生活污水属于第一类或第二类。

这里应強調每人用水量对含量(毫克/升)增加的影响。显然, 假如在二个用水定額不同的城市里每人每日排入下水道的盐分(按重量計)是相同的, 那末用水較少时盐类含量(毫克/升)就較高。

結 束 語

污水回收利用于农业具有重要的意义。它能給人民带来根本的利益。但是从公共卫生和純粹农业的观点来看, 它也具有某些危险性。公共卫生工程师設計污水回收方案时, 必須彻底了解所有限制因素, 以使其获得成功。在这里也要依赖于其他专业, 如: 化学家、細菌学家、昆虫学家、动物学家、流行病学家和医学公共卫生管理者的帮助。因此, 为了利用污水計劃的成功, 卫生工程师是需要的, 但不能单靠他的努力, 而重要的是靠联合的力量。

(郑元景摘譯自 «Sewage utilization for Agriculture» 联合国报告, 1956年8月8日原作者: A. Amramy 校者: 秦裕珩)

污泥肥料的利用問題

一、污泥肥料利用的发展情况

污泥当作有机肥料或土壤改良剂在农业上的利用,国外已有多年历史。远在1934~1936年苏联农学家斯万斯卡娅(А. П. Иванская)以白菜和馬鈴薯进行

的污泥肥效試驗[1],就已証实施用污泥肥料可以增加产量。其試驗結果見表1。施用污泥不仅可以增产,还可以提高土壤肥力,所以它在农业上的利用愈来愈广泛。莫斯科市1954年用作肥料的污泥为2万9千立米,1958年就增至17万7千立米,而1959年又增至29万7千立米,五年之内增加了10倍[2]。

表1

試驗項目	白 菜		馬 鈴 薯			備 注
	收 获 量 (100公斤/公頃)	收获增加率 (%)	收 获 量 (100公斤/公頃)	收获增加率 (%)	淀粉含量 (%)	
无肥区	312	—	226	—	17.1	
无机肥料	460	+47	269	+19	13.5	
厩肥	439	+41	297	+31	15.8	
原污泥	408	+31	298	+32	16.0	
消化污泥	434	+39	275	+22	15.5	
原污泥+鉀	396	+27	281	+24	14.7	
消化污泥+鉀	372	+19	287	+27	14.6	

注:1.厩肥和污泥施肥量为30吨/公頃。

2.无机肥料按每公頃有效量計为:对于白菜氮120公斤、磷80公斤、鉀120公斤;对于馬鈴薯氮90公斤、磷60公斤、鉀90公斤。

3.污泥补充鉀为60公斤/公頃。

利用污泥作肥料在美国也是比較早的,密尔瓦克(Milwaukee)市污水委员会1927年就开始生产热干燥活性污泥肥料,并以“Milorganite”作为商标,部分还包装成袋。几十年来“Milorganite”已成为国内外著名的污泥肥料,1953年产量已近7万吨[3][4]。美国在1930~1957年污泥的肥料利用情况可从表2見

其概貌。在英国污泥利用作肥料历史也很久,19世紀初就已开始,根据1954年資料估計,仅英格兰和威尔士每年用于农田的污泥为35万吨[5]。

二、污泥的肥料性质及其肥料价值

污泥的肥效主要取决于污泥的組成和性质。要研究污泥的肥料利用,也就必須首先了解污泥的組成和性质。现将苏联、美国、英国的有关污泥的主要肥料性质归纳列于表3。綜合表中資料来看,可以获得一个污泥肥效的概念:含氮量较大为2~5.96%,磷次之为1.16~4.02%,鉀最少为0.2~0.41%,有机质含量很丰富,达40%以上。由此可见,若从肥料三要素来权衡污泥的肥效,主要是利用其氮肥,其次为磷肥。鉀肥的利用价值則很小。

对污泥进行化学組成全面分析,有助于更全面的掌握污泥的性质。从美国污水协会所列举的資料(表4)[3],可知污泥的成份仅无机元素就达22种以上,有

表2

	干活性污泥		干消化污泥	
	单独使用	作混合肥料	单独使用	作混合肥料
1930	14852	17811	—	—
1940	26307	78992	23000	3000
1945	29261	61306	30374	5791
1950	63366	59965	30738	6581
1953	69494	—	36719	—
1957	93152	—	35577	—

注:1.单位为吨 2.資料来自参考文献14。

表 3

污 泥 种 类	主 要 肥 料 成 份			灰 分	有 机 质
	全 氮 (N)	磷 (P ₂ O ₅)	钾 (K ₂ O)		
原污泥	%	%	%	%	%
苏联 莫斯科	3.5	1.7	0.2	10.1	
消化污泥					
苏联 莫斯科	3.2	2.1	0.3	25.5	
美国 华盛顿	2.06	1.44	0.14	52.83	
英国	2.59	2.17	0.38		43.7
双层沉淀池消化污泥					
美国 洛捷斯特(Rochester)	2.54	1.16	0.29	42.79	
活性污泥					
苏联 莫斯科	3~4	2~3	0.3~0.4	25~35	
美国 智尔瓦克(Milwaukee)	5.96	3.96	0.41	27.73	

注: 1. 苏联、美国、英国的资料来自参考文献[1][5][6]。

污泥的化学成份(干物质的百分率) 表 4

化 学 成 份	化学符号	消化污泥	活性污泥
硅	SiO ₂	15.6	8.452
铁	Fe ₂ O ₃	5.43	7.142
铝	Al ₂ O ₃	6.8	3.211
钙	CaO	6.64	1.675
镁	MgO	1.83	1.810
钾	K ₂ O	0.42	0.862
钠	Na ₂ O	—	0.988
钛	TiO ₂	—	0.083
锰	MnO	0.78	0.0327
铜	CuO	1.0	0.0465
硼	B ₂ O ₃	—	0.00426
钡	BaO	0.06	0.0611
锌	ZnO	1.24	0.01627
铅	PbO	0.81	0.225
镍	NiO	—	0.00561
钴	CoO	—	0.0002
硫	SO ₃	8.12	2.908
氯	Cl ₂	—	0.501
铬	Cr ₂ O ₃	0.37	0.219
砷	As ₂ O ₃	0.13	0.1347
碘	I	—	0.00113
磷	P ₂ O ₅	2.02	3.089
灼 失	—	44.4	68.55
总 计		95.65	99.9036

注: 资料来自参考文献[3]。

些作物所需其中的营养元素如硫、铜、镁、铁、锰、硼、钙、锌等。科学研究已证实硼、锰、钼、铜、锌等微量元素在农业增产上有重要作用,并且有这些微量元素的肥料在生产中使用。也有无益于植物生长的铝、铬、钛、硅、等多种元素。由此可见,对污泥中微量元素的分析和研究是十分重要的。安德逊(M.S.Anderson)对不同地区不同污泥中的微量元素作了较全面的分析,其结果列于表5(6)。表5说明了污泥中含有植物所需的微量营养元素,同时,更重要的,是指出微量元素的含量因地区不同(污水来源不同)变化幅度很大,铜的含量相差最大的近20倍,最高可达2000P.P.M,锌相差达7倍,最高含量达3650 P.P.M。哈尔伯梯(A.L.Herbert)的金属离子毒性试验说明过量的铜和锌会危害作物生长。表5还指出,在一般情况下污泥中大量的有机质可以缓冲金属离子的毒性[7]。至于危害作物生长的浓度极限值,至今还未获得[6],这是今后值得注意的问题。

污泥含有多种作物养份,氮和磷的含量比较丰富,这已是无可置疑的。但是若就其氮、磷、钾等主要肥份含量与化学肥料相比,是很少的,这一点可从表6中清楚地看出。活性污泥的含氮也仅为硫酸铵的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$,磷、钾比之还更少。但是,污泥的有机质却高达40%以上。因此,许多专家认为污泥的肥料价值,主要应以有机肥料来衡量。现将污泥与其他有机肥料的肥效比较列于表7。从表7中可以清楚地看出,污泥的氮、磷肥份一般都比农家有机肥料要高,活性污泥甚至高达4倍以上,可是污泥的钾肥却要低50%以上。消化污泥的有机质比有机肥料的低,其他

表5

	CaO	MgO	S	Fe ₂ O ₃	Cu	Zn	B	Mn	Mo
	氧化鈣	氧化鎂	硫	氧化鉄	銅	鋅	硼	錳	鉬
活性汚泥	%	%	%	%	P.P.M.	P.P.M.	P.P.M.	P.P.M.	P.P.M.
芝加哥(Chicago)	1.63	0.82	0.76	13.87	385	3300	6	190	45.4
芝加哥(Chicago)	2.22	1.03	1.14	7.41	1225	3050	67	135	6.5
哈斯顿(Houston)	1.26	0.50	1.06	4.36	1035	950	8	65	6.7
麦克斯波尔(Meckorport)	2.52	1.43	0.98	7.09	1500	3650	74	150	6.0
密尔瓦克(Milwaukee)	1.64	0.93	0.95	7.13	435	1550	8	130	13.5
消化汚泥									
毕尔威尔(Beltsville)	2.22	1.01	1.17	3.37	480	2050	4	790	6.8
格南拜耳(Greenbelt)	1.91	0.28	0.61	1.53	360	1450	8	120	2.1
华盛顿(Washington)	2.38	0.60	0.89	4.41	435	2200	8	140	5.4
双层沉淀池汚泥									
毕尔威尔(Beltsville)	0.69	0.44	0.33	2.18	100	610	3	130	118.0
洛德斯特(Rochester)	2.14	0.87	0.91	3.15	1980	3400	12	60	5.1

注：資料来自文献〔6〕。

表6

肥 料 的 种 类	氮(N)	磷(P ₂ O ₅)	鉀(K ₂ O)
活性汚泥	%	%	%
苏联 莫斯科	3~4	2~3	0.3~0.4
美国 密尔瓦克 (Milwaukee)	5.96	3.96	0.41
化学肥料			
硫酸銨(NH ₄) ₂ SO ₄	20~21		
过磷酸鈣 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·2CaSO ₄		14~19	
硫酸鉀K ₂ SO ₄			50

注：1. 汚泥的資料来自文献〔1〕〔6〕。

2. 化学肥料来自文献《中国肥料概論》。

表7

肥 料 种 类	氮 (N)	磷 (P ₂ O ₅)	鉀 (K ₂ O)	有机质
苏联	%	%	%	%
消化汚泥	3.2	2.4	0.2	
牛馬糞廐肥	2.02	0.98	1.85	
馬糞廐肥	2.39	1.08	3.04	
美国				
活性汚泥	5.6	5.6	0.4	
消化汚泥	2.0	1.1	0.2	
农家肥料	1.2	0.6	1.5	
英国				
消化汚泥	2.59	2.17	0.38	43.7
农家廐肥	2.23	1.60	1.87	65.8

注：苏联、美国、英国資料来自文献〔1〕〔5〕〔6〕。

表8

項 目	对 照 (未施汚泥)	新哈弗汚泥 (Now Haver)		达銳頓汚泥(Torrington)	
		16.6 (立米/公頃)	332 (立米/公頃)	166 (立米/公頃)	322 (立米/公頃)
土壤含水率 %	24.4	25.1	25.8	27.2	29.9
比較	100	103	106	112	123
非毛细孔孔隙度%	25.3	27.7	28.5	30.0	27.6
比較	100	109	112	119	109
离子交换能力	11.15	11.99	12.35	11.8	12.12
比較	100	107	111	106	109
比重(水=1.0)	1.13	1.09	1.07	1.05	0.99
比較	100	96.2	95	92.5	87.5

注：資料来自文献〔7〕。

种污泥则基本上相当。由此可见污泥是一种优质的有机肥料。

污泥同其他有机肥料一样不仅能供给作物无机营养元素，还能供给一些有机营养元素，同时还可以改良土壤提高土壤肥力。哈尔伯梯(A.L.Herbert)的试验说明施用污泥肥料对土壤的物理化学性质确有改善[7]，其试验结果见表8。污泥中有机物质的组成，柯洛里柯夫的分析(见表9)虽然是粗略的[1]，

表9

纤维素	12.3%
腐植质	16.4%
灰分	33.1%
氮	3.5%
总计	65.3%
未分析化合物	34.7%

注：资料来自文献[1]。

但是仍可以告诉我们一个重要的结果，污泥中腐殖质达14%。腐殖质在培肥土壤中的作用，土壤微生物学专家瓦克斯曼(S.A.Waksman)曾作了如下的分析：

“1.物理性质：能改变土壤的颜色、质地和结构以及土壤含水量和通气情况。2.化学性质：影响某些土壤矿物的溶解度，与某些元素(如铁)形成化合物，使之更易于被植物生长利用，并且能增加土壤缓冲性。3.生物性质：作为微生物发育的能量来源，使土壤成为高等植物生长的较高培养基，供给其需要的某些营养元素和化合物。”[8] 由此可见施用有机肥料可使土壤的单独微粒形成团聚体，构成团粒结构，阻止土壤于化时变坏，湿时免成泥潭，从而使土壤结构和耕性变好，既能保水、通风又能保肥，并可提高土壤温度，减少土温变化幅度，因而有利于作物生长发育。

污泥是污水在处理过程中分离出来的固体物质，污泥的肥料性质自然也受污水性质的影响。安德逊(M.S.Anderson)的资料[9]说明(表10)，由于工业废水的增加，合成洗涤剂的广泛使用，和磨碎垃圾大量的排入下水道，在20年时间内，污泥的磷肥增加了。另外，在前面讨论微量元素时就已经提出，污泥中金属离子量因地区不同变化幅度极大，如锌的含量最高相差达7倍，这主要也是受工业废水的影响。工业废水除了可能带来金属离子外，还可能带来其他一些危害作物生长的物质如氰化物、酚类等。在英国仅英格兰和威尔士两地由于工业废水的影响，危害作物的污泥量达40,000吨/年[5]。由此可见工业废水的排入就可能增加污泥的肥份，也可能带来有害的因素。所以

这是污泥肥料利用中的一个重要问题，值得十分重视。

表10

项 目	活性污泥		消化污泥	
	1931~35	1951~55	1931~35	1951~55
氮 (%)				
最低	4.4	4.8	1.3	1.8
平均	6.0	5.6	2.2	2.4
最高	6.4	6.0	3.0	3.1
磷(P_2O_5)(%)				
最低	2.0	4.0	0.8	0.9
平均	3.2	5.7	2.1	2.7
最高	3.8	7.4	3.8	5.0

注：资料来自文献[9]。

三、处理方法对污泥肥料性质的影响

不同的污水污泥处理方法，对污泥的肥料性质影响很大，这可以从表11中清楚地看出。活性污泥不仅含氮量为消化污泥的2倍左右，而且硝化能力还高3倍，总起来说，活性污泥的氮肥效，为消化污泥的6倍。显然，研究处理方法与污泥肥效的关系十分重要。

不同污泥的含氮及硝化性能的比较 表11

项 目	氮 (N)	于不同时期中氮硝化 为硝酸盐的百分率 (30°C)	
		4 星期	12 星期
活性污泥	%	%	%
芝加哥(Chicago)	5.6	42	51
密尔瓦克(Milwaukee)	5.96	49	57
消化污泥			
华盛顿(Washington)	2.06	14	18
洛捷斯特(Rochester)	2.34	15	23
硫磺氮	20.5	89	90

注：资料来自文献[14]。

1.活性污泥法：莫尔曼(F.W.Mohlman)的试验(表12)说明曝气对提高污泥肥效效果十分显著。第一，由于污泥在曝气过程中，吸附了污水中固体、胶体和水溶的含氮、磷物质，提高了氮、磷的含量近1倍。第二，妨碍土壤颗粒吸附养分的脂肪类物质减少了一半以上。第三，污泥的碳氮比降低了，因为一方面碳份在减少，另一方面含氮量在增加。一般说来，有机肥料的碳氮比低一些是有利于肥效的发挥。

表 12

曝气天数	干 固 体 的 %				投 配 总 次 数	曝 气 时 间 (小时)	空 气 M ³ /M ³
	氮(N)	磷(P ₂ O ₅)	脂 肪	碳			
1/4	2.94	1.70	22.9	44.2	1	5.0	8.61
1	4.29	2.27	—	43.8	5	4.4	10.50
4	4.41	2.66	18.1	42.4	14	6.5	12.75
5	5.03	2.77	16.4	40.1	18	4.5	9.00
6	5.08	3.32	14.6	40.0	22	4.5	12.00
7	5.57	3.46	13.0	40.9	26	4.5	12.60
8	5.66	3.33	11.4	40.4	30	4.5	15.0
11	4.93	2.77	13.0	38.6	35	6.2	17.4
12	5.30	2.88	12.1	39.0	39	4.5	11.6
13	5.13	3.03	10.9	—	43	4.5	17.4
14	5.52	3.11	9.6	—	47	4.5	15.9

注：資料来自文献[3]。

2. 污泥消化：污泥经过消化之后性质变化见表13。消化后总氮减少30%以上，同时有机质也损失40%左右(灰份增加约40%)，所以污泥的肥效是降低了。但是，在目前消化还是污泥处理中重要的一环。因为它具有以下四个优点：(1)可以除去致病菌和寄生虫卵，高温消化可以作到完全卫生的要求[10]。使污泥无害，保证社员和居民的健康，是污泥肥料利用中极为重要的问题。(2)减少了脂肪类物质，从表13可知原污泥经过消化之后，脂类减少达50%。原

表 13

项 目	原 污 泥	部份消化 污 泥	消化污泥
氮	%	%	%
总氮	4.81	3.98	3.55
不溶解的	4.14	3.61	3.41
溶解的	0.67	0.37	0.14
以NH ₃ 计	—	—	0.09
溶解的有机氮	—	—	0.05
活性不溶解的	0.98	1.89	1.57
非活性不溶解的	1.16	1.71	1.84
非活性不溶解的氮占 总氮%	24.0	43.0	52.0
脂类(乙醚抽取)	15.11	7.79	6.83
粗纤维	6.01	5.55	5.50
灰份	25.7	37.90	42.62

注：資料来自文献[3]。

污泥中脂类高达15.11%，如不经处理去除一部分，显然是会危害作物和土壤的。(3)可以减弱污泥中某些不利于作物生长物质的影响，如某些工业废水中的有害成份、合成洗涤剂。(4)比热处理运转费用要

经济。至于，原污泥经过消化之后，所余下的有机物大都比较稳固，它们在土壤中为微生物分解时，会不会利用土壤中的硝酸盐作为氮源，从而会减少土壤中的硝酸盐含量？弗勒和乔登(J. E. Fuller & G. W. Jourdain)对此进行了试验研究，结果表明，使用干消化污泥作肥料，不但不会减少土壤中的硝酸盐，还有一些增加[11]。换句话说，使用干消化污泥作肥料，不但不会降低土壤肥力，反而还会有所增加。综合上述分析来看，原污泥经过消化作肥料是利多弊少。所以，消化还是目前比较经济有效的处理方法。然而，肥份损失是这个方法存在的根本性的问题，因为在消化过程中，微生物活动和生化反应的结果，必然会消耗氮源和分解有机物。

3. 热干燥：污泥经过热干燥，水份可降至10%，重量和体积大为缩小(重量减少约80%)，运输和使用都很方便。热干燥的污泥无须经过消化，也可以完全保证卫生安全。因为干燥温度达300~400°C，这时致病菌和寄生虫卵都已被杀灭。肥份损失也比较少。

4. 机械脱水：污泥经过机械脱水，含水率可降至75%左右，使用方便运输量大为减少。对污泥的其他肥料性质影响不大。但是若用真空过滤法脱水，由于过滤时要使用化学凝固剂如三氯化铁(FeCl₃)，脱水的污泥会呈酸性，一般PH为4~5。

5. 天然干化(晒泥场)：污泥在晒泥场上自然干化，可以减少污泥水份，含水率能降至65~70%，而便于使用和运输。但是在晒干过程中氮肥要损失，同时容易孳生蚊蝇，臭味较大，影响环境卫生。

污泥的处理方法，对保证使用的安全卫生，污泥的肥效和生产运转费用，都有直接的影响，这从上面

的討論中可以清楚的看出。所以，污泥处理是污泥肥料利用的一个关键。

四、污泥的种类及其肥料利用

污泥从其性质来分，有原污泥、消化污泥和活性污泥。其肥料利用的形式有湿污泥（流态的含水达95~99%），脱水污泥（含水60~75%），及干燥污泥（含水10%）等。现分别叙述如下：

1. 原污泥：

任何形式的原污泥都不宜作肥料〔3〕，主要的原因是：（1）带有大量的致病菌和寄生虫卵，并有恶臭，卫生条件很坏。（2）原污泥中一些有害的工业废水成份和合成洗涤剂物质，直接危害作物的生长和土壤肥力。而经过消化之后，这些不利影响可以大为减弱。（3）脂肪类物质含量较高，一般达13.1~27.4%〔12〕，很不利于土壤吸收养分。（4）在土壤中发酵分解时，容易“烧坏”作物。

2. 消化湿污泥

消化湿污泥由于体积庞大，不便于运输和使用，受气候条件限制大和影响环境卫生，只适宜在小型处理厂应用〔13〕，而且多用于白地施肥。

3. 脱水消化污泥

无论是原污泥或是活性污泥或二者的混合，在消化之后脱水，而且不论是机械脱水还是天然干化，都是目前比较普遍的污泥肥料。这种污泥肥料主要有以下几个优点：（1）除去了致病菌和寄生虫卵，臭味也很少。（2）油脂含量低，不及原污泥的一半。（3）体积小（约为原污泥的1/5）便于运输和使用，节约了运输和劳力。显然，在施肥方面节约劳力对提高农业劳动生产率作用是很大的。（4）可以减弱工业废水等物质的有害影响。

4. 热干燥消化污泥

污泥经过热干燥后，体积更小，卫生条件更好，但是由于热干燥费用较高，消化污泥的肥份又比较低，所以国外一般采用较少。莫斯科近代化的库里扬诺夫污水厂，是用消化活性污泥脱水后再热干燥制成肥料，在菜园、果园、花园中应用效果良好，1959年

产量已达5930吨。〔2〕

5. 热干燥活性污泥

热干燥活性污泥是目前肥效最高而又最卫生的污泥肥料。美国著名的“Miloaganite”污泥肥料，就属于这种污泥肥料。它具有以下优点：（1）氮肥效应最高，磷肥含量也最高。（2）有机质比消化污泥丰富。（3）容积很小便于运输使用。（4）病菌和寄生虫卵基本上已除去，臭味极少。（5）可以节省运转比较麻烦的消化设备。

美国污泥肥料的施用量 表14

作物	施用量
果树	20.8立米/公顷
草地	19~38 "
花和蔬菜	38~114 "

苏联污泥肥料的施用量

作物	施用量
块根植物	30 吨/公顷
白菜	40~65
马铃薯	20
牧场木料植物	12
牧草	30~40

污泥肥料主要应用于郊区农田，所以大多用作菜园、果园及花园的肥料，近年来莫斯科在公园里施用热干燥污泥肥料日益广泛。关于污泥肥料的施用量，必须根据土壤肥力、作物品种以及气候条件等来确定，很难确定一个普遍适用的数据。兹列举美国和苏联的污泥肥料施用量供作参考（表14）。

（许译美编写）

参 考 文 献

- 〔1〕 A. B. Евахинович:《污水沉渣的排除处理利用》，建筑工程出版社，1957年。
- 〔2〕 A. A. Кухаренко:《Осадок очистки сточных вод ценное органическое удобрение》Городское хозяйство Москвы 1961, 5. p. 34~36.
- 〔3〕 Federation of sewage & industrial wastes associations: Utilization of Sewage Sludge as Fertilizer. Chawpaign, Ill. 1946.
- 〔4〕 J. F. Thomson & J. M. Morgan:《Conservation Potential of Sewage Sludge》Water & Sewage

波兰的污水农业利用概况

一、前言

本文介绍波兰污水农业利用的概况；它是一篇全面叙述高负荷灌溉田(年负荷1200毫米以上)和低负荷灌溉田(年负荷1200毫米以下)的文章。

波兰城市污水农业利用的情况由地图(图1)表示。

目前利用的高负荷灌溉田总面积 2197公顷

目前不利用的高负荷灌溉田总面积 152公顷

低负荷灌溉田的总面积 4952公顷

共计 7301公顷

此外，工业污水灌溉的草原和农田尚有大約 700 公顷，所以，总的污水灌溉面积約为8000公顷。

(一)灌溉田的土壤

在波兰，只有很少一部分灌溉田面积为粘质土(約3%)。亚粘土所占的比重較大，約为城市污水灌溉田总面积的14%。粗砂-碎石混合土和砾石-粘质土所占比重最大，为污水灌溉总面积(7300公顷)的60%。砂土約占16%。約有70%的灌溉田面积是有机土，其中主要是低泥炭土。用污水灌溉的泥炭土的收成不亚于附近的矿物质土。灌溉草原时所用的是淹沒灌溉法，灌溉渠与排水沟平行布置相隔15米。在灌溉

渠上每隔50~60米設置閘門。

(二)污水灌溉田的水分

调节污水灌溉田中的水量，对于其收成有很大影响。如果灌溉量过大，特别是地下水位过高，那末土壤的湿度太大而阻碍空气的流通，影响大部分土壤微生物的生长。这时便会出现有机物厌氧分解的条件，产生沼泽化过程，只有一部分有机物得以分解和矿化，其余部分則变为貧瘠的泥炭化物质。例如，主草旦斯克-桑基的灌溉田中，由于年负荷量高和土壤湿度大，使酸性腐植质聚积，使这些土地的产草量不能提高。干草收获量同地下水位高度之关系，可以用 Neru 盆地的污水灌溉田来说明：当地下水位約为0.6米时，干草收获量較低，約为每公顷 60 公担，并且草的质量很差；当水位为 1 米时，收获量增加到每公顷100公担，而水位在 1.2~1.5 米时，干草收获量每公顷达到高于 125 公担。同时，干草质量也很好，因为在植物組成中主要是优质的草种。

在波兰的灌溉田上，用排水来降低地下水位。排水管的深度是在1~2米的范围内，渗滤器間的距离通常是12米，10米和 8 米。渗滤器的直径为5~8厘米。但在罗兹·巴比亚尼采等許多城市的污水灌溉的农田

Works Dec. 1955, p 532~535.

- [5] A. R. Stone:《Disposal of Sludges on land》The Institutes of Sewage Purification 1962, part 5, p 428~430.
- [6] M. S. Anderson:《Sewage Sludge for Soil Improvement U. S. Department of Agriculture》, 1955.
- [7] A. L. Herbert:《Sludge as a Soil Improver》Water & Sewage Works 1955 Ref. number, P. R 304~R 307.
- [8] S. A. Waksman: 土壤微生物学, 科学出版社, 1960年.
- [9] M. S. Anderson:《Comparative Analyses of Sewage Sludge》Sewage and Industrial Wastes Feb. 1956, p 132~135.
- [10] 貝柯夫: 在工业廢水与城市污水综合利用武汉現場会議上的报告(1959).
- [11] J. E. Fuller & G. W. Jourdan:《Effect of dried Sludge on Nitrification in Soil》Sewage and Industrial Wastes Feb. 1955, p 161~165.
- [12] H. Heukelekien: Basic Principles of Sludge digestion Biological treatment of sewage & Industrial wastes 1956, vol. 2, p.25~43.
- [13] Subcommittee on Sludge Disposal of the Committee on Sewerage and Sewage Treatment:《Advances in Sludge Disposal in the Period from Oct. 1, 1954, to Feb 1, 1960.》Journal of the Sanitary Engineering Division vol. 88 No. SA 2 March 1962 parts 1~2, 13~40.
- [14] M. S. Anderson:《Fertilizing Characteristics of Sewage Sludge》Sewage & Industrial Wastes June 1959 678~682.

和牧場是沒有排水設備的。

污水灌溉的土地是否需要排水，取決於土壤的種類和物理性質、降雨量、地下水位高度以及灌溉量。地下水位應當通過排水管或普通排水溝降低到這樣的深度，以便植物能夠利用同地下水有聯系的毛細水。在滲透性小的土壤中，如果地下水位降得太低，便會因缺少毛細水而妨礙植物的生長。

(三)土壤的衰退及其再生

當使用高負荷的和經常的灌溉時，特別是在地下水位較高時，土壤便發生衰退。衰退現象是為使土壤成為不毛之地，雜草叢生，或顯著降低單位面積的產量。如果是利用未經處理的污水，土壤的衰退現象很明顯。在這種情況下，土壤發生不利的變化：在上層土中發生油脂化和肥皂沉澱，減小通氣度。使用經過初步淨化的污水時，土壤的衰退現象較緩和，主要是在污水負荷較大的地勢低洼處。

在波蘭的十餘處灌溉田上，土壤的衰退程度各不相同。最明顯的是革旦斯克灌溉田，由於只經過簡單處理的污水負荷過高，以及過大的土壤濕度、過高的地下水位，收穫量是不高的。土壤的衰退現象有時是隱蔽的：表面上看，收成不錯，但是在施用石灰以後，收穫量可以增加一至二倍。

波蘭對於土壤衰退的原因和防治方法尚無系統研究。奧爾貝爾茨和其他幾位專家在柏林進行了幾年的研究，得出了一系列有敏感的植物受土壤衰退的影響；同時指出，施用高泥炭土或低泥炭土幾乎沒有取得任何結果，但施用由麥稈和化肥組成的混合肥料，能大大增加產量。施用礦物肥料，只能稍稍消除土壤衰退。施用適量的石灰，能促使土壤再生。使用含毒氰化物的氮肥，能產生意外的好作用。氰亞鐵酸鉀($K_4[Fe(CN)_6]$)的作用很好，能使得土壤再生。

(四)淨化污水的理想條件

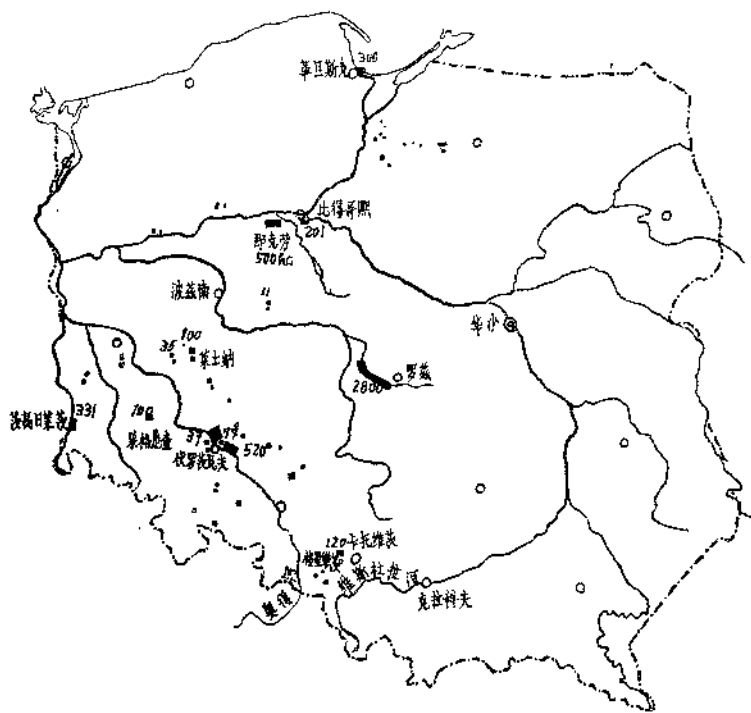


圖1 波蘭城市污水的農業利用。圖例：■表示200公頃的灌溉田面積

經過農田利用的污水，不一定都淨化得很充分。在許多場合下，這一淨化程度同初步淨化相仿。

當使用高負荷時(年負荷在2500毫米以上，一次負荷為250~300毫米)，不復蓋草皮植物的土壤，在雨季中飽和着水分，污水沒有經充分淨化即通過排

水管排出。如果使用低灌溉標準(年負荷為800毫米，一次灌溉量最大為80毫米)，以及灌溉田表面復蓋着草皮植物並將排水管道盡可能埋深(1.15~1.25米)，便能在不利條件(雨季和低溫)時，保證良好的淨化效果。土壤種類的不同對淨化效果的關係也很大，在礫

石土和粗顆粒砂土中，淨化可能是不充分的。

採用人工降雨法的灌溉田，可以獲得最好的污水淨化效果。使用低的灌溉量(20~30毫米)和1、2星期至4星期的間歇，可以使全部的污水量留在土壤的上層，使之自行蒸發或通過植物蒸發，或被植物的器官(根、莖、葉和果實)所吸收。

因此，污水充分淨化的基本條件，是使用低灌溉量(用人工降雨法灌溉時為20~30毫米，用壟溝和淺壟溝灌溉時為60~80毫米)，使用較長的灌溉間歇期(10~30天)以及低的年負荷量(在壟溝灌溉中不超過800毫米)。

(五)增加農業生產的理想條件

用污水灌溉植物，在或大或小的程度上促進其生長。這要求保持下列一些條件：

1. 首先，灌溉量應當符合植物對於水分和肥料的要求。例如，為了提高牧草產量，每公頃需要灌溉6000立方米的水，即600毫米；在這樣的條件下，污水中所含的養分是足夠維持較高產量的。灌溉量太低或過高都會降低收成。

2. 夏季污水的稀釋也很重要。因為當土壤的水份很少時，如果灌溉較濃的污水，是害多益少的。在夏季將污水稀釋，還有其它的優點。例如，可以更好地適應植物生長期對於水分的不同需要，可以促進污水中有机物更快地礦化；污水中常見的有毒物質經過稀釋以後不會危害植物；將污水稀釋，可以暫時減少生化需氧量，延長污水的好氣分解時間，可以將污水保存一定時間而並不損失其肥力。

3. 在灌溉無效時，特別是对作物有害的時期，應當停止灌溉。這首先是指雨季。因為，當土壤水飽和時，灌溉只能對作物有害。在嚴寒季節進行灌溉，也會降低全年的收成。春灌需要特別慎重，因為，在春季促進植物生長的最重要因素，能使土壤迅速干燥和提高溫度。

4. 適當調節土壤中的水分情況，而尤其是地下水位，對於植物生長有很重要作用。

5. 採用適當的農田管理技術，可以顯著提高污水灌溉作物的產量。在牧場和草原方面，這些技術包括：地面滾壓、滅鼠、除草、施用石灰和化學肥料等。在農業耕地方面，包括：深耕，使土壤形成團狀結構的整地措施，生長季節的其他維護工作等。

(六)灌溉的最理想技術和經濟條件

人工降雨是用污水灌溉農作物的最好方法，它有

很多優點。例如：使污水氧化，可以適用於任何地區(平地、丘陵地和山地)，灌溉均勻，可以使用低灌溉量(10, 15~20毫米)，不需要修築堤、溝等防碍耕作和農業機械化並且占用大量非生產用地的設施。這些是人工降雨灌溉的最重要的優點。此外，它也有一定的缺點：修建費用和經營費用高，不能在寒冷天氣和刮大風的天氣進行灌溉，以及污水的水滴能被風吹送到較遠的距離等等。由於人工降雨灌溉的最后一个缺點，在蘇聯和美國已不用這種污水利用方式。但在德意志民主共和國，差不多所有較新式的污水農業利用設施都是採用人工降雨灌溉。重力灌溉的面積只占很小一部分(約15%)。

使用較小壓力工作的噴雨器(噴嘴內的壓力為2.5~3大氣壓)，可以大大降低經營費用。這些噴雨器的耗電量，同過去使用的、在6大氣壓下工作的噴雨器相比，能夠減少50%。這種噴雨器在德意志民主共和國被稱為“和緩噴雨器”(Langsamregner)，它在目前已得到廣泛的應用。西德從1954年起開始使用的新式噴雨器其工作原理是依靠水沖击同水流成45°角布置的一塊小片。

這種噴雨器很快得到了推廣。它的噴射範圍為16米(當噴嘴中的壓力為3大氣壓時)，噴嘴直徑為10毫米。由於壓力不大，不會產生水霧，風力最多只能將水滴吹送到十餘米至數十米的距離。因此，當使用這種人工降雨灌溉法時，衛生上的危害性大為減小。

壟溝灌溉、分段灌溉和淺壟溝灌溉也能產生很好結果。如果土地經過了適當平整和準備，這三種方法能以較小的經常費用進行灌溉，並可通過作業的機械化使修建費用也比較低。

漫灌法的應用範圍已越來越小，因為它能使土壤產生不良的變化。在不能向其它田地排放污水時，可以用漫灌法澆灌林木。

地下灌溉有許多優點：目前在德意志民主共和國已得到進一步的改進，同時使用了新的材料(主要是維杜塑料和玻璃棉)和機械敷設地下灌溉管道，這樣就有可能在大面積上應用這種方法。K. 斯台因工程師在德里茨試驗站對礫石和瀝青多孔滲濾管進行的研究，以及H. 揚耐特教授在格萊福華試驗站對維杜塑料和玻璃棉滲濾管所作的研究，都是有成效的，根據他們的研究結果，可以作這樣的估計，即：地下灌溉將在污水農業利用中占有重要地位，甚至可能壓倒其它的方法。

為使灌溉達到最理想的經濟條件，需要使用合理、節約人力、實現工作機械化、良好地組織收割以及採