

# 污水灌溉的现状与展望

宰松梅<sup>1,2</sup>, 王朝辉<sup>1</sup>, 庞鸿宾<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学资环学院, 陕西杨凌 712100; 2 中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南新乡 453003)

**摘要:** 水污染问题是当前农业发展亟待解决的问题。利用污水进行污水回灌农田是一种低费用、低能耗的污水处理途径, 也是保障水资源可持续利用的有效措施之一。本文在简要回顾国内外污水回用灌溉农田的历史和发展现状的基础上, 总结了污水灌溉在理论研究、技术研究等方面取得的主要成果, 并针对我国污水灌溉中存在的问题, 指出了目前和未来该领域研究的重点, 以期推动污水灌溉的规范化、科学化、健康化发展。

**关键词:** 污水; 灌溉; 农田

**中图分类号:** S273.5

人口、资源和环境已成为当今世界面临的 3 大问题。我国作为一个人口大国, 农业是立国之本。灌溉在我国农业生产中历来占有特殊的重要地位, 在约占全国耕地面积 45% 的灌溉面积上生产了约占总产量 70% 以上的粮食、80% 以上的棉花和 90% 以上的蔬菜。但随着工业化、城市化和农业现代化发展, 水资源“农转非”现象越来越严重, 缺水、水污染和农业用水生产率偏低等问题相互交织, 且在短时间内不可能有根本性改变。水资源危机已成为农业发展的重要制约因素。

污水经过无害化处理后作为灌溉的替代性水源, 对缓解我国农业水资源危机具有重要意义。2002 年全国废污水排放总量 631 亿  $m^3$  (不包括火电直流冷却水)<sup>[1]</sup>, 污水处理率 20% 左右。预计到 2030 年, 全国污水排放量将达 963 亿  $m^3$ , 污水处理率为 80%; 到 2050 年, 污水排放量将达 1370 亿  $m^3$ , 污水处理率为 95%, 按照回用率 50% 计算, 则可替代的水资源量为 650 亿  $m^3$ , 基本上与黄河的年径流量相当。污水用于农业灌溉, 总结起来具有以下几方面的优点: ①水量较稳定, 受季节、雨量、丰水枯水年的影响小, 保证率高; ②不必去除污水中 N、P、K、Ca、Mg 等污染物, 需要的投资和运行费用也较低, 同时起到增水增肥的作用; ③需水量大, 能够形成规模效益; ④经过土壤-植物的过滤、吸收、吸附、生物净化作用, 可去除污水中的有害物质,

减轻排放后对水体的污染。因而, 城市污水经处理后用于农田灌溉是最佳出路。但由于城市污水排放与灌溉需求间存在时空上的矛盾, 且因为成份复杂, 易造成重金属累积。灌溉土壤一旦被污染, 将难以治理, 也会带来一系列的水土环境、生态安全等问题。因此, 建设资源节约型、环境友好型社会, 不得不重新审视污水灌溉这一问题, 能否应用污水进行灌溉, 怎样进行合理的污水灌溉, 已成为当今又一研究热点。

## 1 污水灌溉的发展现状

污水资源化是解决农业灌溉水源不足的一项重要而有效的措施。我国利用生活污水和人畜粪尿灌溉农田的历史悠久。局部地区小规模利用城市工业和生活污水灌溉农田也有近百年的历史。1958 年我国的城市污水处理与利用被列入国家科研课题, 自此开始了规模化的引污灌溉。首先在青岛、大连、太原、北京、天津、西安、石河子等一些北方缺水的大城市相继开展了城市污水回用试验研究。由于当时我国城市污水的水质成分相对单一, 污水灌溉的节肥、增产效益显著。随着农业可用水资源量的减少, 污水灌溉面积逐年扩大。张展羽等<sup>[2]</sup>把我国污水灌溉的发展划分为起步、稳定发展和快速发展 3 个阶段。第一个阶段是从 20 世纪 50 年代末至 60 年代初。当时国内对环境问题认识不深刻, 普遍认

①基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (40201028)、国家自然科学基金面上项目 (30370843)、国家自然科学基金重点项目 (30230230) 和农业部“948”重大研究项目 (2003-Z53) 共同资助。

作者简介: 宰松梅 (1970—), 女, 河南人, 博士研究生, 副研究员, 主要从事区域综合治理、节水灌溉理论研究。E-mail: zsm@firi.org.cn

为污水灌溉既可为农业增肥,又可给工业废水找到出路,应当大力发展。由于当时废污水排放量不大,到 1963 年全国污水灌溉面积仅有 4.2 万  $\text{hm}^2$ ,污水灌溉对农村水环境影响并不明显。第二个阶段是从 20 世纪 60 年代后期到 70 年代初中期。这个时期环境问题逐步引起了社会的关注,人们开始普遍对污水灌溉造成的水、土、粮污染产生怀疑。但由于废污水排放量日益增多,以及农业用水日渐紧张,许多大中城市近郊和工矿区附近的农田越来越多地利用污水灌溉,到 1976 年全国污水灌溉面积已增加到 18 万  $\text{hm}^2$ 。第三个阶段开始于 20 世纪 70 年代后期。随着国民经济快速增长、城市及工业规模迅速扩大,污水成分也发生了显著变化。1980 年全国污水灌溉面积已达 133.3 万  $\text{hm}^2$ ,1991 年发展到 306.7 万  $\text{hm}^2$ 。由于大部分废污水未经处理直接用于灌溉,不仅造成了部分农田严重污染,而且对农村水环境构成了威胁。截止 2004 年,全国的污水灌溉面积已达 361.84 万  $\text{hm}^2$ ,占灌溉总面积的 7.33%,其中 90% 左右分布在水资源严重短缺的黄、淮、海、辽四大流域<sup>[3]</sup>。另外,随着城市化进程的加快,城市污水排入河、渠,致使多数灌区水源污染,间接的污水灌溉也无处不在。

从世界范围来看,污水灌溉不仅是水资源匮乏国家开辟第二水源的重要途径之一,也是发达国家治理污染的一个重要方向。美国是世界上较早进行污水灌溉的国家之一,到 1977 年,美国有 357 个城市实现了污水处理后再利用,其中回用于农业占 58.3%,回用于工业占 40.5%。目前美国 50 个州中有 45 个州采用处理后的污水进行灌溉,60% 的再生水用于农业灌溉<sup>[4]</sup>。在加州的 200 个污水回用处理厂中,42 个厂的处理污水被用于绿地灌溉(公园、高尔夫球场、高速干道绿地)与农业灌溉(玉米、苜蓿、棉花、大麦、甜菜等作物),占总水量的 1/4。以色列是个严重缺水国家,也是世界上污水利用程度最高的国家,每年大约用 3 亿  $\text{m}^3$  处理过的污水用于农业灌溉,占总用水量的 1/6,污水总量的 46%。全国有 28500  $\text{hm}^2$  的棉花全部用处理后的污水进行灌溉,城市园林 80% 以上是采用处理后的污水结合现代灌溉技术进行灌溉<sup>[5]</sup>。日本的节约用水一直受到全社会的关注,早在 20 世纪 70 年代,污水回用工程已初见规模。日本的城市污水回用工程,以有较多的“中水道”供生活杂用而著称,约占污水回用总量的 40%。从 1997 年开始实行农村污水处理计

划,到目前为止,已建成约 2000 个污水处理厂,多数采用日本农村污水处理协会研制的 JARUS 小型污水处理系统,处理后的污水水质稳定,多数被引入农田进行水稻或果园灌溉。

相对于经济发达的工业国家来讲,发展中国家在大面积污水灌溉方面起步较晚。但随着城市规模和工业生产的不断扩展,也越来越重视污水灌溉。如埃及、突尼斯、沙特阿拉伯、阿曼、科威特、巴林、摩洛哥、伊朗、苏丹等国都曾利用污水灌溉公园、绿地、谷物、防护林,甚至有的国家用污水灌溉蔬菜。印度是实行城市污水资源化比较早的国家之一。而拉丁美洲的墨西哥、智利、秘鲁等国家,由于气候干燥,污水灌溉也开展得比较好。

## 2 国内外主要研究进展

西方发达国家的污水灌溉研究起步较早。在污水灌溉的经济可行性比较、痕量污染物在土壤与地下水中的运移、病菌在土壤与地下水中的存活与传播规律等方面开展了深入的研究<sup>[6]</sup>,已积累了比较成功的经验。我国自 1958 年开始有计划地进行污水灌溉试验研究,在污水灌溉机理、相应的作物灌溉制度、田间利用工程规划和运行管理方式等方面进行了大量的研究工作,已初步掌握了污水灌溉的机理,污水灌溉技术体系已初步形成,对污水灌溉的负效应也有了一系列的防治措施。

### 2.1 污水灌溉对环境的影响

土壤-植物系统对污水中的污染物具有较强的净化作用,在一定限度或痕量范围内不会造成环境污染。但长期进行超标污水灌溉,在土壤中的有机污染物及重金属含量大大超过土壤吸持及作物吸收能力时,必然造成土壤污染。污灌对环境的影响主要表现在污染物在土壤中的残留、累积和对地下水的污染方面。

Feigin 等<sup>[7]</sup>发现,利用二级处理的污水进行灌溉,灌水量为 350、440 和 515 mm 时棉花的产量与相应数量的淡水再分别加 N 150、180 和 230  $\text{kg}/\text{hm}^2$  的效果相当。李恋卿等<sup>[8]</sup>在石灰性褐色土上连续进行了 9 年的污水灌溉试验,结果发现,土壤有机质、速效养分含量明显增加,土壤孔隙度降低,体积质量(容重)增加,表层土壤全盐量达到 1  $\text{g}/\text{kg}$  以上,发生了次生盐渍化。李法虎等<sup>[9]</sup>也认为长期的劣质水灌溉将导致土壤潜在的次生盐碱化。尉元明等<sup>[10]</sup>研究发现处理后的污水外排时,会对地表水造

成影响,但利用污水灌溉,对地下水无影响。刘凌等<sup>[11-12]</sup>则认为污灌易造成地下水中  $\text{NO}_3^-$  污染。Abdel Sabour MF<sup>[13]</sup>研究认为污水灌溉导致了埃及尼罗河平原表层土壤中 Co 元素累积。张乃明等<sup>[14]</sup>认为污灌水中重金属 Hg、Cd、Pb 含量的高低与相对应的灌区土壤中重金属的累积量的多少基本一致,对土壤 Cd 累积影响最大的是污水灌溉,对土壤 Hg 累积影响最大的是大气沉降,污灌与大气沉降对土壤 Pb 累积影响作用相近。段飞舟等<sup>[15]</sup>对沈阳市西郊张士污灌区城市污水灌溉的调查结果表明,经过 10 年左右的停灌和灌渠改造等措施,该区污灌稻田土壤表层 Cd 含量仍然处于较高的水平,土壤 Cd 含量水平仍然对环境和人体健康具有潜在的危害。

污水灌溉中污染物对环境的影响还表现在对生物群落的影响上。袁耀武等<sup>[16]</sup>通过对污水灌溉地域土壤微生物分析,发现其中细菌、放线菌及真菌等各微生物类群的数量与非污水灌溉区土壤并无明显差异,土壤中一些有特定作用的微生物如自生固氮菌、硝化细菌等的数量也无明显差异。江云珠等<sup>[17]</sup>则认为污水灌溉造成稻区水栖无脊椎动物的生物多样性降低、生态平衡破坏。李慧等<sup>[18]</sup>认为含油污水灌溉刺激了土壤中好氧异养细菌(AHB)和真菌的生长,土壤脱氢酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶活性与土壤中总石油烃(TPH)含量呈显著正相关,而土壤脲酶活性与土壤中 TPH 含量呈显著负相关。

## 2.2 污水灌溉对作物的影响及其机理研究

污水灌溉对作物的影响研究主要包括污灌对作物品质、生态指标以及作物体内叶绿素含量、酶活性的影响以及污染物在作物体的积累等方面。

关于污灌对农作物品质的影响,目前看法不一。一种是污灌降低了麦稻蛋白质含量,而且随着污灌年限的增加,麦稻品质逐年下降;另一种看法是,在一般情况下污水灌溉后粮食内蛋白质增加。只有在田间管理不当或污水水质较差的情况下可能引起蛋白质下降。研究表明,灌溉时气体中的病菌含量是污水浓度的函数,用一级出水地面灌溉果园、牧草、纤维、籽种类植株,对健康没有任何有害的影响<sup>[8]</sup>,病菌不会进入果实,除非果皮被破坏<sup>[10]</sup>。冯绍元等<sup>[19]</sup>研究了污水灌溉对冬小麦生长和产量的影响,结果表明污水灌溉对冬小麦茎叶的生长发育有一定的促进作用,并能使产量提高 17.6%~31.1%。夏伟立等<sup>[20]</sup>认为生活污水对大白菜和菠菜的生长、

品质以及养分吸收没有明显的负面影响。黄冠华等<sup>[21]</sup>研究认为,灌水量、灌溉水质、施肥量对冬小麦株高的影响很小。查贵锋等<sup>[22]</sup>研究发现,N 的利用效率仅与灌溉水质有关,与灌水量和施肥无关,且污水灌溉 N 的利用效率高于清水灌溉 N 的利用效率。谢深喜等<sup>[23]</sup>研究表明:处理后的生活污水对柠檬树体生长和柠檬产量及品质的影响与对照无显著差异,但果实着色较差。齐广平<sup>[24]</sup>用经过处理后的生活污水与黄河水作对照进行茄子灌溉试验,结果表明,生活污水灌溉可使茄子总根数增加 12%,根长增加 13%,株高、叶长、叶宽无明显变化,单株果数增加 2 个,果径增加了 1.5 cm,单株产量增加了 0.9 kg,增产 60%。

张永清等<sup>[25]</sup>利用水培方式研究了污水直接灌溉和净化处理后灌溉对小麦根系及幼苗生长影响,发现未处理污水浇灌的小麦幼苗与对照组相比:植株矮小、根短、根数少,茎、叶、根的干重、鲜重均明显降低,污灌胁迫加速了小麦幼苗绿叶和根系的衰亡,并使根系活力明显下降。赵少婷等<sup>[26]</sup>在石灰性褐土上用不同浓度的三氯乙醛溶液灌溉盆栽小麦幼苗,发现三氯乙醛浓度越大,对小麦幼苗毒害作用越强。刘登义等<sup>[27]</sup>利用水培的方式研究了污水灌溉对小麦幼苗生长及活性氧代谢系统的影响。结果表明,经污水浇灌的小麦幼苗与对照组相比,植株矮小、根短、根数目少,茎、叶、根的干重、鲜重和可溶性蛋白含量均明显减少,并出现叶尖枯黄,叶片色素含量下降,MDA 水平上升,SOD、POD 和 CAT 活性显著下降。孟雷和左强<sup>[28]</sup>利用田间小区栽培试验,研究了污水灌溉条件下冬小麦根长密度分布和相对根长密度分布的变化规律,发现采用二级处理污水对冬小麦实施灌溉,在近地表处的根长密度有所增加,而下部土层中的根长密度分布则变化不大,污水灌溉能显著降低冬小麦的平均根系吸水速率。李德伟<sup>[29]</sup>研究发现,污水灌溉小麦幼苗的长势、地上部分高度、根数、根系体积及各部分的鲜重与干重等测试指标小于清水灌溉;对于同一成分的污水,随着浓度的增加,各测试指标呈减小的趋势。齐志明等<sup>[30]</sup>在北京东郊进行田间试验。结果表明,污水灌溉抑制了夏玉米的生长发育,使夏玉米株高和叶面积指数受到影响,产量和干物质质量明显减少。王友保等<sup>[31]</sup>研究了污水灌溉对绿豆和萝卜生长与活性氧清除系统的影响,发现与非污灌组相比,污灌作物生长受阻,叶片色素含量降低,叶

组织膜结构损伤, 电导率增大, SOD、POD、CAT 活性表现不同程度降低, MDA 含量显著上升。同时还发现, 不同作物对污水胁迫的反应并不一致, 叶片色素含量对污水胁迫的反应尤为明显。

关于污水灌溉重金属在植物体内累积的看法也很不一致。周纪侃等<sup>[32]</sup>测定了 4 种不同水质灌溉的 14 种蔬菜中 N、Fe、Zn、Mn 的含量。结果表明, 水质对蔬菜含 N 量有明显影响, Fe、Zn、Mn 的含量则主要取决于蔬菜品种。黄俊友等<sup>[33]</sup>研究了污水灌溉条件下, 小麦、水稻、蚕豆和油菜 4 种作物果实吸收重金属的差异, 发现使用污水灌溉对 4 种作物吸收重金属的能力不产生显著影响, 而不同作物种类间的吸收能力却表现出显著差异, 水稻吸收重金属的能力较强, 蚕豆较弱, 各作物吸收土壤中 Cd、Cu、Zn 较容易, 对 Pb、Cr 的吸收能力相对较弱。冯绍元等<sup>[34]</sup>认为污水灌溉会导致重金属 Pb、As 和 Cd 在小麦植物体中残留, 其残留量因部位不同而有差异, 总的分布趋势是小麦根部的重金属累积量最大, 依次为根>茎叶>穗。

### 2.3 污染物在土壤中的迁移转化规律

污染物在土壤-作物系统的迁移、转化规律研究, 是污水灌溉的基础, 也是国内外污水灌溉研究的重点。学者们对此进行了大量的研究工作, 尤其是 N、P、有机物和重金属在土壤-作物系统的吸附、迁移、转化、归宿和分布规律等方面。

N 是植物重要的营养元素之一, 利用污水中含有的 N 素, 是污水灌溉的初衷之一。污水中 N 的迁移转化是污水灌溉研究的重点之一。最初的研究结论多是集中在污水灌溉提高土壤肥力, 改善土壤结构方面。党西胜等<sup>[35]</sup>指出, 城市混合污水平均含  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  8.1~19.6 mg/L、 $\text{P}_2\text{O}_5$  3.0~4.0 mg/L, 工业废水平均含  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  14.1 mg/L、 $\text{P}_2\text{O}_5$  4.0 mg/L。如果每年每公顷灌污水 7500  $\text{m}^3$ , 相当于 187.5 kg 尿素和 157.5 kg 过磷酸钙用量, 作物产量通常比清水灌溉增加 10%~20%。

近年来,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  污染环境越来越受到关注, 污水灌溉研究方向又转向  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  淋溶对地下水的影响。土壤中发生  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  淋洗必须满足两个基本条件: 一是在土壤中大量存在硝酸盐; 二是土壤水分运动。姜翠玲等<sup>[36]</sup>认为污灌以后, 随土壤含水量、氧化还原电位和 pH 值的变化, 氨化作用、硝化作用和反硝化作用依次成为 N 素转化的主要机制。污灌 10 天之内, 由于淋溶和硝化作用产生的

$\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  会造成浅层地下水的严重污染。黄冠华等<sup>[37]</sup>研究了污水灌溉对草坪土壤与植株 N 含量影响。结果表明, 采用污水灌溉草坪草根层系 (0~30 cm 土层) 土壤中的全 N、速效 N 和  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量低于清水灌溉, 但根层系及其以下土层  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量明显高于清水灌溉, 草坪草植株中全 N 的含量比清水灌溉植株平均高 48%, 污水渗灌的土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的含量显著高于污水滴灌的情况。刘凌等<sup>[38]</sup>利用地中蒸渗仪, 研究污灌过程中 N 化合物在土壤及地下水中迁移转化规律, 发现污灌对下层土壤及地下水中  $\text{NH}_4^+$  浓度影响较小, 但对  $\text{NO}_3^-$  浓度影响较大, 通过稳态数学模型对污染结果进行模拟, 认为污灌造成的地下水  $\text{NO}_3^-$  污染的风险很大。万正成等<sup>[39]</sup>认为污水灌溉促进了土壤中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的淋溶。史崇文等<sup>[40]</sup>也对污灌土壤中的氨氮转化及其转化速率进行了模拟实验研究。结果表明, 随污灌进入土壤中的氨氮迅速转化为硝酸盐氮和气态氨, 气温、土壤 pH 值和土壤通气条件是影响其转化速率的主要因素。

相对 N 素而言, P 素在土壤中的运移、转化方面的研究较少, 针对污水灌溉 P 素在土壤中的运移研究更少。土壤中 P 的含量主要与土壤的吸附量、作物提取量及污水带摄入量密切相关<sup>[41]</sup>。吴岳<sup>[42]</sup>在青铜峡县河西七条沟利用从水体取样分析的办法对灌溉条件下 N、P、K 随水流失污染水体进行了研究。吕家琰等人<sup>[43]</sup>也对土壤中 P 的运移进行了研究。王亚男等<sup>[44]</sup>对含 P 污水淋滤条件下土壤中 P 迁移转化进行了模拟试验, 认为可溶态 P 进入土壤后, 主要随水分作溶质迁移, 在迁移的同时, 不断转化为吸附态 P 和各种沉淀态 P; 吸附态 P 由可溶态 P 生成, 并与可溶态 P 一起发生化学沉淀反应生成沉淀态 P, 但固着于土壤颗粒上, 不发生迁移; 沉淀态 P 由可溶态 P 和吸附态 P 生成, 在土壤中主要参与化学转化, 并随水分迁移。杨金忠等<sup>[45-46]</sup>通过试验, 研究了污水灌溉系统中 N、P 转化运移, 分析了试验过程中的水分平衡, 污水灌溉过程中各种污染物的变化、积累和运动。万正成等<sup>[39]</sup>的研究结果发现, 污灌后土壤水中的全 P 含量明显小于清灌含量, 最大值均出现在 0.60~0.90 m 处, 且随污灌次数增多土壤水中全 P 含量越来越小。

重金属的迁移、转化一直是污水灌溉研究的热点。目前研究比较深入的有 Hg、Cd、Pb、As、Cr、Cu、Zn、Se、Ni 等, 由于它们各具不同的特性, 其迁移、转化的特点以及造成的污染危害也不尽相同。

聂永丰<sup>[47]</sup>用数值模拟的方法研究了污染物在下包气带非饱和水条件下的迁移转化问题。王德厚<sup>[48]</sup>对新疆城市废水处理进行了探讨,认为污灌区与清灌区重金属含量无明显差异。申屠超等<sup>[49]</sup>采用室内盆栽试验研究生活污水灌溉对大白菜体内金属元素和土壤重金属元素的含量与积累的影响,认为生活污水灌溉与清水灌溉相比对大白菜金属营养元素和重金属元素的吸收、土壤重金属全量和有效态含量的影响差异甚微,生活污水短时间用于农业灌溉是安全的。王春等<sup>[50]</sup>调查了会理县铅矿污灌区内水、土、作物的重金属污染状况,认为污灌区内土壤、作物受重金属 Cd、Zn、Pb 的污染严重;作物中 Cd 含量与距污染源距离呈负相关;Cd 在水稻植株各部位的分布,以根系含 Cd 量最高,茎叶次之,谷粒最少;水稻的污染较玉米严重,Cd 已对人体健康构成潜在危害。郑鹤龄<sup>[51]</sup>认为长期污水灌溉对作物、蔬菜均会造成不同程度的污染。在粮食作物中,以大米污染最为严重,糙米中 Cd、Zn、Cu 等重金属含量均显著高于对照区;果、叶类蔬菜中,多项指标超过国家规定的食品卫生标准。张乃明等<sup>[52]</sup>研究认为污灌区耕层土壤重金属 Pb、Cd 累积量随着污灌时间的推移而呈增加趋势,Cd、Pb 的年累积增加量分别为 0.023 mg/kg 和 0.67 mg/kg。段飞舟等<sup>[53]</sup>研究了灌溉水质对鞍山宋三污灌区稻田土壤重金属含量的影响,结果表明土壤重金属 Cd 和 Hg 分别超标 1.8 倍和 2.2 倍,6 种重金属污染物空间分布的峰值均出现在工业废水进行灌溉的区域。冯绍元等<sup>[54]</sup>进行了重金属在夏玉米植株体内残留特征的田间试验,发现夏玉米植物生理特性对重金属 As、Cd 和 Pb 在植物体中不同部位残留含量的影响要明显大于不同灌溉水质和不同灌水量的影响。污水灌溉处理中重金属 As、Cd 和 Pb 在夏玉米作物体内的残留含量因部位不同而有差异,As 和 Pb 在夏玉米体内的残留含量分布为花>根>叶>茎>籽,Cd 的分布则为花>叶>根茎>籽。污水处理小区 As 和 Cd 残留量较清水处理小区高,中等灌水量的污水处理小区植株 Cd 和 Pb 含量低于其他灌水处理。在植物体内 Pb 的含量最高,As 次之,Cd 含量最低。杨红霞<sup>[55]</sup>研究了大同市污水灌溉对农作物的影响,发现玉米中以 Pb 的污染最严重,全部超标;6 种蔬菜中也以 Pb 的超标率最大,其最大超标倍数达 8.14,Hg、As、Cd 也都有不同程度的超标。张乃明等<sup>[56]</sup>通过田间取样,研究了太原污灌区土壤重金属和盐

分含量的空间变异特征,测定了耕层土壤中重金属 Hg、Cd、Pb、盐分、Cl<sup>-</sup> 含量及 pH 值,发现 Pb 和盐分服从正态分布,Cl<sup>-</sup> 服从对数正态分布;并拟合得到 Hg、Pb、盐分的半方差函数模型为指数型,Cd 和 Cl<sup>-</sup> 为球型,pH 为高斯型。小麦盆栽模拟研究表明,Hg 对土壤酶活性及小麦生长的抑制作用也增强。长期利用污水灌溉,土壤中 Hg 会下移,从而对浅层地下水造成污染。

污水中有机物的主要成分是 C、N、S 和 H 等,在土壤微生物作用下,有机物中的 N 被氧化成 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,C 被氧化成 CO<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub> 会侵蚀土壤中的矿物质如 CaCO<sub>3</sub> 等转化成 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,S 生成 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,大量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子存在,会使土壤发生一系列的物理、化学和生物变化,使土壤中原本不溶解于水中的物质开始溶解。如 CaCO<sub>3</sub> 生成 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup>,Ca<sup>2+</sup> 与土壤中的 Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 发生离子交换,从而使地下水中阳离子含量增加,造成地下水污染。高洪阁等<sup>[57]</sup>的研究表明,污灌区地下水中的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 含量的相关系数是 0.913。

## 2.4 污水灌溉技术研究

### 2.4.1 灌水技术研究

为了安全高效地将污水回用于农业,避免负面影响,国内外针对污水灌溉技术,开展了一系列研究工作。赵菲佚等<sup>[58]</sup>研究表明,污灌条件下土壤水渗透特征发生了变化,土壤含水率增高,有效孔隙率和非饱和导水率下降,因而在选用灌水技术时应考虑这一点。发达国家在污水安全高效灌溉技术研究方面取得了不少研究成果,污灌技术已基本成熟。美国 Gushiken 教授<sup>[59]</sup>研究了通过地下滴灌回用污水,该方法同喷灌、地面滴灌、漫灌等相比,可减少对健康危害的风险、恶臭、径流等。据报道,美国堪萨斯州已将地下滴灌作为利用污水进行大田作物灌溉的一种主要灌水技术<sup>[60]</sup>。加拿大 McGill 大学的 Kaluli 等人<sup>[61]</sup>研究表明,与地面灌溉相比,地下灌溉可减少硝酸盐淋失率达 70% 以上。澳大利亚科学家研究提出的 FILTER (filtration and irrigated cropping for land treatment and effluent reuse) 系统,使用高污染物含量的生活污水进行地面灌溉,通过土壤过滤汇集到密集的地下排水系统,然后排放到地面沟渠或其他地表水体或者二次利用,具有较高的污水处理能力,是一种具有灌溉与除污功能的新型污水灌溉技术<sup>[62]</sup>。国内杨金忠等<sup>[45]</sup>通过试验证明,利用 FILTER 系统,增大土壤的排水量,配以高强度的作物种植,

可以处理高负荷的污水。另外在污灌具体应用中,国外较多采用滴灌或地下滴灌技术。国内由于经济技术等条件限制,目前的污水灌溉多采用清、污混灌的地面灌水技术。

**2.4.2 灌溉制度研究** 污水灌溉制度在满足作物需水量的基础上,应当充分考虑污水灌溉对土壤-水-作物系统的环境影响。黄爽等<sup>[63]</sup>采用不同的灌水技术,利用环境容量法,分析预测了在不同条件下土壤和作物中重金属和石油类浓度的发展以及相应污、清水的灌溉需水量。余国英等<sup>[64]</sup>认为制定污灌定额,根据小麦需水情况、灌区气候、土壤条件以及污水中污染物含量,制定清、污灌溉定额,实行清、污混灌和轮灌。胡焱<sup>[65]</sup>提出了不同作物的污水灌溉制度,如冬小麦的播前水、冬灌水、返青水、拔节水均可用污水进行灌溉。玉米和谷子的播前水、拔节至抽穗期也可以用污水灌溉。董亚楠等<sup>[66]</sup>分析了开封市惠济河流域水质污染状况以及污水灌溉的不良影响,指出制定合理的灌溉制度、调整作物种植结构和建立完整的污水灌溉管理监测体系等措施,能充分利用污水中的水肥资源,加速污水资源化和改善开封市水资源匮乏的现状。周艳丽等<sup>[67]</sup>认为污水灌溉的灌水量、灌水次数及灌水时期不能像清水灌溉那样根据作物需水量来决定,应当充分考虑水质、土壤环境状况及作物种类等;根据北京污灌区(大部分是清、污混合性灌区、轮灌或间歇污灌区)的试验研究成果,提出小麦每年污灌 2~4 次,污灌水量  $11.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 占总灌水量的 35% 比较适宜。

### 3 存在问题与工作展望

综上所述,对于污水灌溉适宜性研究缺乏系统性,研究方法手段需要改进;对污水的资源化以及污水灌溉对土壤及植物的影响讨论较多,但并没有揭示污水中各成分与植物生长的关系;对主要常规水质指标灌溉适应性的研究较多,对于区域污水水质的时空变化规律以及污水对土壤生态毒性效应的研究较少,还未发现污水灌溉对农产品品质与产量的系统研究报道;污水灌溉对地下水的影响还主要侧重于土柱淋洗试验,多是对单一污染物的分散而零碎的研究,重复性较多,缺乏生态系统观念,对地下水影响的野外可控试验研究较少;国外有关污水灌溉技术相对成熟,但是国内对于污水灌溉技术方面的研究报道还很少,距离指导实践还有一定

的距离。

因此,笔者认为,应当从污水灌溉的适应性评价、污水灌溉对农产品质量的影响、污水灌溉对地下水的影响以及污水灌溉技术等几个方面丰富与完善符合我国国情的污水灌溉利用技术体系。首先应该从宏观政策上加强调控,另一方面还应该加强技术研究与应用,具体还需作好以下几个方面的工作:

#### 3.1 健全管理体制,从宏观政策层面上做好规划和引导

现阶段,我国的污水灌溉涉及农业、水利和环保等各部门,而且又是上述各部门的边缘性工作,可管可不管,污水灌溉大部分都处于放任自流的状态。很有必要健全管理体制,结合各地区经济发展情况,从立法、政策、宣传、管理、经济等各方面进行统筹考虑,建立一套完整的污水灌溉管理体系。

**3.1.1 必须做好污染源控制** 有关部门要严格控制城市和工业废污水超标排放,严格执行国家颁布的农田灌溉水质标准,从源头上严格控制污水水质达标排放。建议由水利部门牵头,环保和农业等部门配合,建立联合会议、联合监督等机制,切实可行地做好污水灌溉的管理工作,使其有章可循,有据可依,尽可能做到最小量的污染、最大量的治理和最充分的使用。

**3.1.2 制定全面系统的污水灌溉规划** 我国大部分污灌区缺乏全面系统的规划管理,存在乱截乱灌现象,因此需要对污灌水源、水质、污灌面积、灌溉作物及污水灌溉方式等进行一次全国性的调查,以便弄清全国污水灌溉的实际状况。在此基础上,以流域为研究对象,做好灌区水量调配规划、排灌工程规划及远期规划,从总体上保证污灌区水土环境平衡。

**3.1.3 完善经济补偿机制** 我国现行水价总体上过低,使得污水回用没有价格优势。另外,国家对污水资源化并没有任何经济上、政策上的优惠措施,很难将污水资源化广为推行。因此国家应该从政策上给以重视,充分利用经济杠杆,发挥市场导向作用,严格执行谁污染谁治理,甚至可以施行上游排污企业对下游灌区一定的经济补偿政策。

#### 3.2 深入开展污水灌溉理论与技术的科研工作,从技术研究与利用层面提供保证

**3.2.1 污水灌溉水质标准** 目前,我国污水灌溉中存在的首要问题是灌溉水质严重超标。为了控制污水灌溉引发一系列环境问题的进一步恶化,制定

污水灌溉用水水质标准是十分必要的。在制定灌溉水质标准时,应从灌水后对土壤、作物及环境卫生的影响3大方面去考虑;要同时考虑作物种类、土壤类型(包括土壤质地和耕作方式)、土壤水分状况(如地下水深度)、气候条件(主要指降水)、灌溉水量、灌溉方式等因素;制定农业灌溉水质标准应包括悬浮物含量、有机污染物含量、重金属含量、病原微生物数量、盐分含量、营养物质(包括微量元素)含量等项目。由于我国幅员辽阔,仅仅依靠一套水质标准是不现实的,各地区还应该针对自己的实际情况制定相关的补充标准,对于不同的作物如粮食作物、经济作物,还应分别制定不同的标准,为污水灌溉的管理提供更多的依据。

**3.2.2 污水灌溉的环境容量研究** 污水灌溉对环境的影响是长期积累的过程,为了实现土壤的可持续发展,不仅要强调达标排放,还应考虑水体、土壤的承载能力。需要环保部门和农业部门加强合作,定期监测各排污点的废水总量、污染物种类及浓度,测试污灌区土壤的背景值,对照监测结果,计算农田的环境容量,然后再制定污染物目标总量,确定主要污染物的种类和消减指标,并分配到各排污点中去实行,以减少污染物的排放总量。

**3.2.3 污染物在土壤及植物体中转移研究** 设置长期定位观测试验,研究不同污水类型灌溉对作物生长、土壤理化性质和微生物活动的影响;进一步模拟污染物在土壤中的积累、运移规律;研究有害物质在植物产品(人们所利用的根、茎、叶、果实)中的转移、分配和累积的规律,选育(转基因培育)耐污植物品种,尝试利用生物生态修复技术解决污水灌溉所引发的环境问题。

**3.2.4 污水灌溉技术规范** 污染物在土壤中的迁移、转化、积累机理非常复杂,作物不同生育阶段对重金属反映的敏感性也不同,给污水灌溉规范的制定带来难度。开展不同污水类型、不同土壤条件下,主要农作物的污灌方式、次数、最佳灌溉时间及灌溉定额研究,建立包括污灌区的选址、灌溉系统的布置、灌溉制度、灌水技术、作物种植比、灌区管理、灌区环境评价及预测等一系列内容的污水灌溉技术体系。

**3.2.5 污水处理及环境检测技术研究** 研究不同污水水质的处理方法和工艺及与污水灌溉相适应的污水处理技术,污水灌溉农田水土环境评价指标体系及其监测技术手段。建立健全污水灌溉的监测

系统,包括城镇排放监测、排污小流域水质断面监测、河道污水监测及污灌区土壤、作物及地下水监测。

**3.2.6 检测土壤、植株、水质的仪器设备研制** 主要研制污水水质,污灌后土壤、植株中污染物含量的快速测定仪器与设备。

总之,污水灌溉是解决农业灌溉水源不足和治理环境污染的一项重要而有效的措施。虽然污水灌溉面积在我国灌溉农田中目前所占的相对比例不大,但污水的总量在增加,污水灌溉在水资源配置中的地位也愈显重要。加强污水灌溉相关理论和技术的研究,对构建适合我国国情的污水灌溉技术体系,对污水灌溉的规范化、科学化、健康化发展,建设资源节约型、环境友好型社会,都将是一个有力的推动。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 2002年全国水资源公报. 2003
- [2] 张展羽,吕祝乌. 污水灌溉农业技术探讨. 人民黄河, 2004, 26(6): 21-22, 30
- [3] 曾德付,朱维斌. 我国污水灌溉存在问题和对策探讨. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 221-224
- [4] 乔丽,宫辉力,赵文吉,宫兆宁. 再生水农业灌溉的研究. 北京水利, 2005, 4: 13-15
- [5] 彭世彰,丁加丽. 国内外节水灌溉技术比较与认识. 水利水电科技进展, 2004, 4: 49-53
- [6] Pettygrove GS, Asano T. Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater—A Guidance Manual. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers Inc., 1985
- [7] Feigin A, Vaisman I, Bielorai H. Drip irrigation of cotton with municipal effluents: II. Nutrient availability in soil. J. Environ. Qual., 1984, 13(2): 234-238
- [8] 李恋卿,杜慧玲,冯两蕊,冯向阳,梁斌. 不同年限污水灌溉对石灰性褐土理化性质的影响. 山西农业大学学报, 2000, 21(1): 73-75
- [9] 李法虎, Benhur M, Keren R. 劣质水灌溉对土壤盐碱化及作物产量的影响. 农业工程学报, 2003, 19(1): 63-66
- [10] 尉元明,康凤琴,朱丽霞. 干旱地区城市污水回用对地下水及地表水的影响. 干旱区资源与环境, 2003, 17(3): 85-89
- [11] 刘凌,王瑚,王则成. 污水灌溉过程中离子交换问题的研究. 河海大学学报, 1996, 24(3): 88-93

- [12] 刘凌, 夏自强, 姜翠玲, 王磊, 万正成. 污水灌溉中氮化合物迁移转化过程的研究. 水资源保护, 1995 (4): 40-45
- [13] Abdel Sabour MF. Impact of wastewater reuse on cobalt status in Egyptian environment. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, 15 (3): 388-395
- [14] 张乃明, 陈建军, 常晓冰. 污灌区土壤重金属累积影响因素研究. 土壤, 2002, 2: 90-93
- [15] 段飞舟, 何江, 高吉喜, 张青新, 胡月红. 城市污水灌溉对农田土壤环境影响的调查分析. 华中科技大学学报 (城市科学版), 2005, 22 (增刊): 181-184
- [16] 袁耀武, 张伟, 李英军, 马雯. 污水灌溉对土壤中不同微生物类群数量的影响. 节水灌溉, 2003, 6: 15-17
- [17] 江云珠, 汤圣祥, 金田彰二, 林希一郎, 张本郭, 余汉勇. 灌溉水质对稻田沟渠水栖无脊椎动物多样性的影响. 浙江农业学报, 1998, 10 (2): 71-74
- [18] 李慧, 陈冠雄, 杨涛, 张成刚. 沈抚灌区含油污水灌溉对稻田土壤微生物种群及土壤酶活性的影响. 应用生态学报, 2005, 16 (7): 1355-1359
- [19] 冯绍元, 齐志明, 黄冠华, 王亚平. 清、污水灌溉对冬小麦生长发育影响的田间试验研究. 灌溉排水学报, 2003, 22 (3): 12-15
- [20] 夏伟立, 罗安程, 周焱, 郭宗楼. 污水处理后灌溉对蔬菜产量、品质和养分吸收的影响. 科技通报, 2005, 21 (1): 79-83
- [21] 黄冠华, 查贵锋, 冯绍元, 齐志明. 冬小麦再生水灌溉时水分与氮素利用效率的研究. 农业工程学报, 2004, 20 (1): 65-68
- [22] 查贵锋, 黄冠华, 冯绍元, 齐志明. 夏玉米污水灌溉时水分与氮素利用效率的研究. 农业工程学报, 2003, 19 (3): 63-67
- [23] 谢深喜, Lovatt CJ, 张秋明. 处理后的生活污水对柠檬生长及果实的影响. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2004, 30 (6): 542-544
- [24] 齐广平. 生活污水灌溉对茄子生长效应的影响. 甘肃农业大学学报, 2001, 36 (3): 329-332
- [25] 张永清, 苗果园, 张定一. 污灌胁迫对春小麦抗氧化酶活性及根系与幼苗生长的影响. 农业环境科学学报, 2005, 24 (4): 662-665
- [26] 赵少婷, 杨忠义, 张永清. 三氯乙醛污水灌溉对小麦幼苗及土壤磷酸酶活性影响的研究. 山西农业大学学报 (自然科学版), 1997, 17 (1): 16-20
- [27] 刘登义, 王友保, 张徐祥, 司琴. 污灌对小麦幼苗生长及活性氧代谢的影响. 应用生态学报, 2002, 13 (10): 1319-1322
- [28] 孟雷, 左强. 污水灌溉对冬小麦根长密度和根系吸水速率分布的影响. 灌溉排水学报, 2003, 22 (4): 25-29
- [29] 李德伟. 污灌对小麦幼苗生长及活性氧代谢的影响. 宿州师学报, 2004, 19 (3): 31-32
- [30] 齐志明, 冯绍元, 黄冠华, 查贵锋. 清、污水灌溉对夏玉米生长影响的田间试验研究. 灌溉排水学报, 2003, 22 (2): 36-38
- [31] 王友保, 刘登义. 污灌对作物生长及其活性氧清除系统的影响. 环境科学学报, 2003, 23 (4): 555-557
- [32] 周纪侃, 席玉英, 宋良汉, 陈月开, 乔晓改. 污水灌溉对蔬菜中 N, Fe, Zn, Mn 含量的影响. 山西农业科学, 1997, 25 (4): 55-58
- [33] 黄俊友, 胡晓东, 俞青荣. 污灌条件下作物对土壤重金属吸收特征比较. 节水灌溉, 2005 (5): 5-8
- [34] 冯绍元, 邵洪波, 黄冠华. 重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究. 农业工程学报, 2002, 18 (4): 113-115
- [35] 党酉胜, 黄钟, 张伯鸣, 杨万善, 杨和荣, 陈中豪. 污水土地处理的研究现状及发展趋势. 陕西环境, 2002, 9 (5): 17-19
- [36] 姜翠玲, 夏自强, 刘凌, 赵胜领, 王磊, 万正成, 郑文兰. 污水灌溉土壤及地下水三氮的变化动态分析. 水科学进展, 1997, 8 (2): 183-188
- [37] 黄冠华, 杨建国, 黄权中. 污水灌溉对草坪土壤与植株氮含量影响的试验研究. 农业工程学报, 2002, 18 (3): 22-25
- [38] 刘凌, 陆桂华. 含氮污水灌溉实验研究及污染风险分析. 水科学进展, 2002, 13 (3): 313-340
- [39] 万正成, 李明武, 王磊. 城市污水灌溉对地下水水质的影响分析. 江苏环境科技, 2004, 17 (1): 29-31
- [40] 史崇文, 盛若红, 李肃民. 污灌土壤中氮氮转化及其转化速率研究. 中国环境监测, 1996, 12 (1): 7-8
- [41] Ryden JC, Pratt PE. Phosphorus removal from wastewater applied to land. *Hilgardia*, 1980, 48:1-36
- [42] 吴岳, 郭天玲, 白建华, 赵惠平. 灌溉条件下氮、磷、钾随水流失污染水体的试验初报. 农业环境科学学报, 1986 (5): 42-43, 41
- [43] 吕家珑, 张一平, 张君常, 苏仕平. 土壤磷运移研究. 土壤学报, 1999, 36 (1): 75-82
- [44] 王亚男, 王红旗, 舒艳. 含磷污水淋滤条件下土壤中磷迁移转化模拟实验. 环境科学学报, 2001, 21 (6): 737-741
- [45] 杨金忠, Jayawardane N, Blackwell J, 陆垂裕. 污水灌

- 溉系统中氮磷转化运移的试验研究. 水利学报, 2004, 4: 72-79
- [46] 陆垂裕, 杨金忠, Jayawardane N, Tan Y, Biswa T. 污水灌溉系统中氮素转化运移的数值模拟分析. 水利学报, 2004, 5: 83-88, 93
- [47] 聂永丰, 刘兆昌, 李亚东. 污染物在下包气带非饱水条件下迁移转化的研究. 环境科学, 1989, (2): 2-6
- [48] 王德厚. 新疆城市废水处理方案的探讨. 干旱环境监测, 1994, 8 (1): 49-52
- [49] 申屠超, 夏伟立, 周焱, 罗安程. 污水灌溉对大白菜金属元素吸收与积累的影响. 浙江农业学报, 2003, 15 (5): 297-301
- [50] 王春, 杨德芬, 袁绍明. 会理污灌区重金属污染的调查、评价及防治对策. 四川环境, 1998, 17 (3): 41-46
- [51] 郑鹤龄. 污水资源化利用及对环境的影响. 天津农业科学, 1999, 5 (1): 13-15
- [52] 张乃明, 李保国, 胡克林. 太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征. 环境科学学报, 2001, 21 (3): 349-353
- [53] 段飞舟, 高吉喜, 何江, 张清新, 吴月红. 灌溉水质对污灌区土壤重金属含量的影响分析. 农业环境科学学报, 2005, 24 (3): 450-455
- [54] 冯绍元, 齐志明, 黄冠华, 查贵锋. 重金属在夏玉米作物中残留特征的田间试验研究. 灌溉排水学报, 2003, 22 (6): 9-13
- [55] 杨红霞. 大同市污水灌溉对农作物影响的研究. 农业环境与发展, 2002, 4: 18-19
- [56] 张乃明, 张守萍, 武丕武. 山西太原污灌区农田土壤汞污染状况及其生态效应. 土壤通报, 2001, 32 (2): 95-96
- [57] 高洪阁, 高宗军, 李白英, 陈丽惠. 污灌区与非污灌区的地下水主要水质指标变化趋势及对比研究. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3 (6): 25-28
- [58] 赵菲佚, 翟禄新, 张明泉, 陈荃. 污灌条件下土壤水渗透特征初探. 兰州大学学报 (自然科学版), 2003, 39 (5): 88-91
- [59] Gushiken EC. Irrigating with reclaimed water through permanent subsurface drip irrigation systems // Microirrigation for a Changing World. Proc 5th. Int. Microirrigation Congress. St Joseph, MI: ASAE, 1995: 269-274
- [60] 李光永. 世界微灌发展态势. 节水灌溉, 2001, (2): 24-27
- [61] Kaluli WJ. Water table management and cropping systems for intensive corn production. (Ph.D. thesis). Montreal: McGill University, 1996
- [62] 李萃青. FILTER 系统运行试验研究 (硕士学位论文). 合肥: 合肥工业大学, 2004
- [63] 黄爽, 张仁铎, 程晓如, 邵东国. 石家庄污灌区污水灌溉技术的研究. 灌溉排水学报, 2003, 22 (5): 29-34
- [64] 余国英, 徐冰, 郭克贞, 赵培成. 呼市农田污水灌溉资源开发利用研究. 内蒙古水利, 2005, 2: 95-97
- [65] 胡焱. 污水灌溉对土壤环境的污染及对策. 山西水利科技, 2005 (2): 59-61
- [66] 董亚楠, 哈欢, 汪鹏, 李坤. 开封市惠济河流域污水灌溉研究. 中国农村水利水电, 2005, 6: 22-23
- [67] 周艳丽, 刘昕宇, 穆伊舟, 周文娴. 黄河流域污水灌溉存在的问题与对策. 河南农业, 2003 (1): 29

## Situation and Prospect of Sewage Irrigation in Agriculture

ZAI Song-mei<sup>1,2</sup>, WANG Zhao-hui<sup>1</sup>, PANG Hong-bin<sup>2</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453003, China)

**Abstract:** Water pollution has been a serious strain to agriculture production in China for a long time. Sewage irrigation is not only a low cost and low energy-consuming way in dealing with polluted water, but also an effective way for sustainable utilization of water resource. In this paper, the history and current situation of sewage irrigation in the world were reviewed and analyzed, the main achievements in theories and techniques of swage irrigation were summarized, the current and future research emphases were disclosed according to problems of swage irrigation in China. It is hoped to promote the development of swage irrigation in China in a standard, scientific and healthy way.

**Key words:** Sewage, Irrigation, Crop land