

劣质水农业高效安全利用技术的研究现状及其展望

单 婕,邵孝侯

(河海大学现代农业工程系,江苏 南京 210098)

摘要 :总结了我国劣质水回用于农业灌溉方面的研究现状,对本领域最新的研究动态及其今后的发展前景进行了展望。我国劣质水用于农业灌溉的研究工作正在逐步开展,微咸水与再生水中 N、P、COD、可溶性盐分和重金属在土壤、作物及水体中的迁移转化规律等方面的研究已取得一定成果。把劣质水、土壤、农作物、地下水作为整体进行综合性机理研究,将节水灌溉技术与劣质水的安全高效利用结合起来的纵深性研究等将成为今后研究工作的重点。

关键词 :劣质水 ;农业灌溉 ;微咸水 ;污水处理 ;灌溉技术

中图分类号 :S273.5 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2006)01-0019-04

Status and prospects of high-efficient and safe utilization of poor quality water for agriculture

SHAN Jie, SHAO Xiao-hou

(Department of Agriculture Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract :Basis on a review of the application of poor quality water in agriculture irrigation, the up-to-date research results and prospects of further investigation were presented. Some achievements on the research of the regularities about movement and transformations of N, P, COD, dissolvable salts, and heavy metals, which are contained in brackish water and regenerated water, in soil, crops and waters have been obtained. The comprehensive mechanism study with the poor quality water, soil, crop and groundwater taken as a whole and the combination of water-saving irrigation technology with high-efficient and safe utilization of poor quality water would be emphasized in further research.

Key words :poor quality water ; agriculture irrigation ;brackish water ; wastewater treatment ; irrigation technology

1 劣质水农业灌溉利用研究现状与进展

1.1 劣质水资源状况

劣质水主要包括微咸水(矿化度 2~5 g/L)和各类废污水(包括生活废水、工业废水和城市废水)。据《2000 年中国环境状况公报》统计,我国污水排放量已达 415 亿 m³。另据预测,到 2030 年,我国污水排放量将达 850~1060 亿 m³[1]。同时,我国目前可利用的微咸水资源为 200.0 亿 m³/a,微咸水开采资源为 130.0 亿 m³/a^[2]。将这些劣质水资源加以充分利用,将大大缓解我国淡水资源缺乏的现状。

1.2 劣质水用于农业灌溉的必要性与意义

将劣质水用于农业灌溉首先将缓解水资源短缺现状,其次可以充分利用养分,减少化肥用量。据统计,利用污水灌溉旱田一般情况下可增产 50%~150%,水稻可增产 30%~50%,水生蔬菜可增产 50%~300%^[3,4]。我国的宁夏、河北、山东、天津等地在利用微咸水对小麦、大麦、棉花等农作物进行灌溉后作物产量明显增加。如河北沧州地区自 1976 年开始利用矿化度小于 5 g/L 的咸水灌溉小麦,与旱地种植相比增产幅度一般在 10%~30%,最高可达 49%^[5]。

此外,劣质水灌溉还能起到净化水质以及改善土壤结构的作用,污水中的有机质具有一定的粘着

性和吸附性,可使黑土层加厚,砂土变紧,黏土变松,达到改良土壤、节省劳力的功效。

1.3 劣质水高效安全利用的研究状况

污水用于污水灌溉,必须事先处理并达到农田灌溉水质要求。我国对劣质水用于农业灌溉的研究工作开始于20世纪80年代,目前在许多方面取得了一定的理论成果和实践经验,其中对于污水灌溉主要研究成果集中在五个方面。

a. 污水灌溉对农作物的影响。作物需水贯穿其整个生育过程,污水灌溉将对农作物产生直接而深入的影响。具体包括如下两个方面:①污水灌溉对农作物产量的影响。研究证明,污水灌溉对农作物种子发芽率、霉变率,幼苗叶绿素水平、根系发育状况、植株的叶面积指数、株高、果实的生物量、干物质量以及农作物的总产量等产生一系列影响。如江苏丰县复兴河污水灌区对小麦(冀5418)、水稻(杂交稻)进行了污灌影响试验,结果发现水稻种子发芽试验中前3天污水灌溉发芽率较井水组提高27%~41%,小麦栽培试验2年试验结果显示,污灌组较井水组穗粒增加0.6~1.6粒,干粒重增加0.5~1.5g,提高了农作物的产量^[6]。②污水灌溉下有害元素在作物体内的转化和累积程度及对作物品质的影响。污水中重金属元素、酚、氰化物、氨氮、有机氯化物等物质通常超标,对灌溉后的农作物品质产生不良影响。重金属元素和类金属元素经农作物吸收后,富集于农作物的根、茎、叶、籽中,如果可食用部分有害物质含量超标则会对人类健康产生危害,极大地降低了农产品质量。目前,对于重金属元素在水稻、小麦、玉米等粮食作物中的累积和在蔬菜水果作物中的富集规律等已展开了一定的研究。大同市对其污灌区内玉米幼苗、籽粒以及不同品种蔬菜中重金属污染的研究发现:玉米中以铅的污染最严重,全部超标,6种蔬菜中以铅的超标率最大,其最大超标倍数达8.14,汞、砷、镉也都有不同程度的超标^[7]。

b. 污水灌溉对土壤的影响。土壤作为一个多元生态系统,对污水中有害物质具有很强的降解和吸持能力,但如果过度采用污灌形式则会对土壤产生不良影响。根据GB15618—1995《土壤环境质量标准》,可以对污水灌溉后农田土壤质量进行评价,可采用单项污染指数法、综合污染指数法、样本超标率、质量分级等。沈阳市2003年对2个污水灌溉区的上、中、下游土壤中重金属采样分析研究表明:污灌后2个灌区土壤镉、汞、锌和镍均已超标,用土壤环境质量综合污染指数法评价,灌区1上、中、下游均为重度污染,灌区2上、中、下游均为中度污染^[8]。

c. 污水灌溉对地下水的影响。污水中重金属离子、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、有机质的含量较高,灌溉后污水在重力作用下沿土壤和地层的孔隙进入含水层,使地下水中的相关离子含量普遍升高,导致地下水水质恶化。研究表明,污水灌溉不仅使地下水中的硝酸盐含量升高,同时也导致地下水中其他离子含量的相应增加。而亚硝酸盐是致癌物亚硝酸胺的前体,长期饮用将危害人类健康。在进行污水灌溉时应考虑地下水埋深和土壤质地因素,在浅层地下水地区、沙土地区不宜进行污灌。

d. 污水灌溉中的重金属元素和其他有害物质在水—土壤—植物系统中的迁移转化规律。污水灌溉过程中所发生的重金属、氨氮等物质的转化和迁移过程是一个复杂的生物化学和物理过程,目前对重金属元素在农作物中吸收分布及累积规律,污水灌溉下氮、磷、砷、铅、镉等元素在土壤的空间变异特征,氮化物在水—土壤—植物系统中转化形式和迁移规律等方面已进行了初步的研究和探索,取得一些理论成果。研究证明:污灌初期,土壤中积存的 NO_2^- 、 NO_3^- 易随水的淋溶作用向下迁移,引起地下水污染。污水中的 NH_4^+ -N主要被土壤胶体所吸附,当农田土壤中 NH_4^+ -N含量高时,一方面,交换性 NH_4^+ -N含量增加,易随农田排水进入池塘、湖泊、水库等水体中,引起地表水的污染;另一方面,土壤中的 NH_4^+ 离子会发生硝化作用,其最终产物 NO_3^- 离子会在短期内加重地下水的污染^[9]。另据研究发现,水稻和小麦等各器官对镉、铅、和砷的富集规律为根>茎叶>籽粒。而污灌区重金属在蔬菜中的含量依次为叶菜类>根茎类>瓜果类。

e. 污水灌溉对食品安全和公共健康的影响。采用未经处理或处理程度不高的污水灌溉农田,则会造成污水中携带的重金属元素和其他有害物质以及病原体(包括病毒、细菌、寄生虫等)在灌溉过程中进入土壤和作物表面及地下水层,造成对农产品的污染,以及危害居民饮用水安全,损害人类健康。

微咸水作为劣质水的重要组成部分,用于农业灌溉已逐渐得到重视,展开的研究工作也取得了一定成果。主要包括以下几个方面:

a. 微咸水灌溉的适应性研究。综合考虑自然和生产条件、土壤特性、灌水方法、耕作措施及作物品种等因素,对灌溉咸水中盐分的含量及组成提出要求 and 标准。

b. 微咸水灌溉技术的研究。根据当地的气象、土壤、水源等条件及作物的耐盐能力,开展直接用咸水灌溉、咸水和清水混灌或轮灌的灌溉方法和灌溉

制度。

c. 微咸水灌溉对作物、土壤、环境的影响研究。分析了微咸水中的盐分在土壤中的累积、迁移转化规律及对地下水源、作物和土壤生态环境的影响。

2 污水处理工艺及灌溉技术措施

2.1 污水处理工艺

我国工业污水和城市生活污水逐年增加,很多污水并未经过严格处理,达不到国家排放标准。这些污水不能直接用于农业灌溉,须经过预处理并结合科学的灌溉技术。

a. 处理工艺。对于高浓度污水、酸性或碱性污水、高温废水等采用稀释、中和、冷却等方法进行水质调节。悬浮物含量超标的污水采用格栅、筛网、石英砂、帆布等对污水进行过滤,降低其悬浮物含量。含氰、硫、酚等有毒物质废水,采用漂白粉、液氯和臭氧等氧化剂处理废水中的有毒物质并除臭、脱色、杀菌,降低 COD 含量。

b. 建立生物氧化塘或污水库。氧化塘具有一定面积和深度,污水在氧化塘中经过长时间的氧化,利用水中微生物和藻类共生系统的分解和吞食、土壤的吸附、沉降,可将水质大大改善。据研究,酚和氰、苯并芘都能为土壤所净化。1 hm² 干燥土壤中微生物的分解净化能力,相当于 400 m³ 的活性炭净化曝气池的处理水平。如天津市大港区中塘乡利用窑厂取土形成的洼地,改造氧化塘面积 55 965 m²,水深 0.7~1.5 m。天津石化公司炼油厂的含油污水和厂区生活污水全部进入污水氧化塘净化,结果显示:氧化塘出水水质除 pH 值、含盐量、氯化物三项指标外全部符合农田水质灌溉标准,大安村用氧化塘出水灌溉,1 hm² 小麦产量平均增加 1 500 kg 左右。试种的 33 hm² 水稻全部获得丰收,1 hm² 产量高达 8 250 kg^[10]。

c. 人工湿地处理。人工湿地是指通过模拟天然湿地的结构功能,选择一定的地理位置与地形,人工建造的工程化的沼泽地。湿地的净化机理为一方面土壤基质通过沉淀、过滤和吸附以及离子交换、螯合作用等去处污染物,另一方面通过湿地植物、微生物和藻类对污染物进行固定、吸收和降解。常用水生植物有芦苇、凤眼莲、灯心草、香蒲、水葱等。据报道,凤眼莲能吸收污水中的重金属,1 hm² 水面的凤眼莲每 4 天就能从污水中吸出银 1 125 g,同时还能吸收金、汞、铝、铬、镉和锌等。芦苇、浮萍等都能吸收和积累砷,浮萍对吸收镉效果更明显。如位于河西走廊的张掖地区造纸厂,用芦苇氧化塘和木本植物——杨树及沼泽地综合治理造纸废水已示范成功,使废水的 COD 浓度下降 55.2%,SS 下降

54.5%,TN 下降 18.6%,NH₃-N 下降 84.2%,已基本达到排放标准^[11,12]。将人工湿地净化后的污水用于农业灌溉,目前我国各地都已有此做法,其灌溉机制和技术有待深入研究。

d. 膜过滤生活污水直接灌溉农田技术。选择合适膜孔径的超滤或微滤膜过滤污水,去除细菌和病毒及一定盐分后直接用于农田灌溉。实验表明,对比现行的 GB5084—92《农田灌溉水质标准》,膜直接过滤后的污水完全可以满足旱作作物灌溉水质需要,甚至有可能用于水稻等作物和蔬菜种植^[13]。

e. 改进取水装置。即对渠道结构加以改进,以适应污水灌溉防污的要求。目前,多采用底孔排污、侧向中孔引水、表层溢污的结构。利用缓流池使悬浮物集中浮在水面,定期通过上部排污口排入污水库,沉淀物则沉入缓流池池底,再定期由底层排污口冲走,灌溉水则利用中层清水引出。

f. 微生物处理。即采用人工措施创造有利于依赖有机物生活的微生物生长的环境,使其大量繁殖,从而提高对污水的有机物氧化降解效率,达到净化水体的作用。其中 EM 复合菌在污水处理中的应用研究方兴未艾。EM(effective microorganisms)用于污水灌溉的预处理,降解有机物和净化水质的效果显著^[14,15]。

2.2 灌溉技术措施

除了对污水进行适当的处理外,可通过实施灌溉技术和灌溉制度达到对劣质水的高效安全利用。

a. 污水灌溉制度。冬小麦:播前水、冬灌水、返青水、拔节水均可用污水进行灌溉,灌浆水则不能。夏玉米和谷子:播前水、拔节至抽穗期可以用污水灌溉。

b. 灌水方式。采用清、污轮灌或混灌方式,减少污灌次数和污灌量。

c. 污灌作物品种选择。污水中有害物质在作物中的富集程度呈根、茎、叶、籽粒果实递减规律,因此食用根、茎、叶的蔬菜和薯类等应杜绝污灌,水稻、小麦、玉米、谷子、棉花等作物可适量引污灌溉。

微咸水的灌溉技术有:①改良灌溉水质,包括混灌、轮灌,施改良剂等;②加强盐渍农业管理,包括灌溉管理、淋洗管理、排水管理以及作物品种与栽培管理。

2.3 劣质水农业灌溉存在的问题及对策

a. 污水灌溉对农作物生长发育影响的机理研究有待加强,许多试验大都停留在对比分析,如污水灌溉对植物生理性状的危害程度,未能指出是由于哪种污染元素的作用或哪几种元素的联合作用,同时对这些元素的毒害原理和作用机制也缺乏相关研

究。对于不同污水水质灌溉下的不同农作物,可以有针对性地去除对作物生长危害严重的污染物质,设定合理的污水稀释比例,制定科学的污水灌溉制度和清、污轮灌制度,在实现污水灌溉利用价值最大化的同时达到食品安全和环境保护的要求。

b. 污水处理的工程技术措施仍存在许多不足和问题。氧化塘和人工湿地一般占地面积较大,单位面积净化负荷水平较低,污水停留时间长。同时,污水中的有害物质对周围环境和地下水资源安全存在一定威胁,因此氧化塘和人工湿地的防渗及周围隔离带的设立工作必需加强。另外,氧化塘和人工湿地可能散发臭气和有毒气体,因此应定期清淤并对污水进行预处理。

c. 污水灌溉的污染风险及评价体系和评价指标有待确立。劣质水灌溉对土壤—植物—地下水系统的危害程度缺乏定量化研究,其安全控制标准有待建立。

3 今后的研究方向和工作重点

微咸水和再生水用于农业灌溉是开发利用劣质水资源,推进节水农业和保护水体环境的重要途径,亦是实现社会、经济、环境持续协调发展的根本保证。因此,应对劣质水农业高效安全利用技术加以更加广泛和深入的研究,保障劣质水农业灌溉利用的可持续发展。

微咸水灌溉的过程中出现的土壤盐渍化、盐碱化一直是国内外生态环境研究的重点,因而目前微咸水的利用研究应集中在几个方面:

a. 微咸水地面灌溉和微灌条件下的盐分分布迁移特征和调控模式研究。主要包括不同灌溉定额和不同滴头流量条件下保护地经济作物微咸水膜下滴灌的盐分迁移规律、分布特征研究;微咸水地面控制灌溉条件下主要农作物(水稻、小麦)不同灌溉定额、不同农业措施等多因素影响下的盐分迁移规律、分布特征和土壤水盐综合调控技术体系研究及微咸水滴灌及地面灌溉对作物品质的影响研究。

b. 主要农作物微咸水灌溉控制水质标准、节水控盐灌溉制度和灌溉技术研究。包括微咸水灌溉对土壤环境和作物生长的影响研究;主要农作物地面灌溉和微灌条件下的节水控盐灌溉制度和微咸水农业灌溉的水质标准确定及指标体系研究;混灌与轮灌的应用技术研究等。

c. 土壤盐分平衡规律研究。即对不同咸水灌溉条件下盐分离子的转移与平衡规律进行系统研究,从而为确定适宜的咸水灌溉技术提供科学依据。

d. 微咸水灌溉后土壤盐离子对作物生理的影响研究。研究不同微咸水灌溉后土壤盐离子对作物出苗、干物质积累、光合速率、蒸腾速率、气孔阻力、根系活力、叶绿素含量及产量的影响,有助于微咸水灌溉技术体系的形成。

另一方面,污水的安全高效利用的研究包括:不同污水类型的成分分析及其污水灌溉水质标准;污水中的有害元素在土壤—水—植物系统的运移、转化与积累规律以及系统对有机物和有害物质的安全承受量;不同类型污水,在不同灌溉定额条件下对作物生长发育状况、作物产量及品质变化、土壤理化性质和微生物活动的影响;污水灌溉农田水土环境评价指标体系及其检测技术手段。

参考文献:

- [1] 张乃明,张守萍,武丕武,等.污水灌溉的生态效应与损益分析[J].农业环境保护,1999,18(4):185-188.
- [2] 郭永杰,崔云玲,吕晓东,等.国内外微咸水利用现状及利用途径[J].甘肃农业科技,2003(8):3-5.
- [3] 程先军.污水资源灌溉利用分析[J].中国水利,2003(6):35-37.
- [4] 杨飞,蒋丽娟.浅议污水灌溉带来的问题及对策[J].节水灌溉,2000(2):23-41.
- [5] 王卫光,王修贵,沈荣开,等.微咸水灌溉研究进展[J].节水灌溉,2003(2):9-11.
- [6] 于启秀,张昌连,尚韬,等.复新河水质污染对农田灌溉的试验研究[J].江苏环境科技,1993(2):4-6.
- [7] 杨红霞.大同市污水灌溉对农作物影响的研究[J].农业环境与发展,2003(4):18-19.
- [8] 刘韬.污水灌溉对沈阳市农田土壤中重金属含量的影响[J].环境保护科学,2003(3):51-52.
- [9] 姜翠玲,夏自强,刘凌,等.奎河污灌区的氮、磷污染[J].环境科学,1997(3):24-25.
- [10] 傅柏基.氧化塘处理外排污水试验[J].石油化工环境保护,1994(2):17-19.
- [11] 彭清涛.植物在环境污染治理中的应用[J].环境保护,1998(2):24-27.
- [12] 杨继富.污水灌溉农业问题与对策[J].水资源保护,2000(6):4-8.
- [13] 郝晓地,VANDERGRAAF J H J M.污水资源化新途径——直接膜过滤用于农业灌溉[J].给水排水,2003(6):27-29.
- [14] 邵孝侯,刘德有,朱亮,等.有机污水回用于农业灌溉的EM处理技术展望[J].水利水电科技进展,2001,21(1):16-17.
- [15] 邵孝侯.农业环境学[M].南京:河海大学出版社,2005:42-51.

(收稿日期:2004-09-16 编辑:傅伟群)