文章编号:1672 - 3317(2018)08 - 0032 - 07

再生水和清水不同灌水水平对土壤理化性质及病原菌分布的影响

韩 洋[1,2], 齐学斌[1,3*], 李 平[1,3], 常 迪[1,2], 李中阳[1,3], 崔丙健[1,3], 严徐善[1,2]

(1.中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453002; 2.中国农业科学院 研究生院, 北京 100081; 3.中国农业科学院 农业水资源高效安全利用重点开放实验室, 河南 新乡 453002)

摘 要:【目的】探讨再生水和清水不同灌水水平对土壤理化性质和指示性病原菌粪大肠菌群数量分布的影响。【方法】采用室内土柱试验,研究了不同水质、不同灌水水平下土壤理化性质和粪大肠菌群的分布规律。【结果】相比清水灌溉,再生水灌溉下土壤有机质量(OM)、总氮量(TN)、总磷量(TP)、电导率(*EC*)显著提高,土壤pH值略微下降,且再生水充分灌溉处理的表层0~20 cm土壤有机质量(OM)、总氮量(TN)、总磷量(TP)均高于非充分灌溉处理,电导率(*EC*)则相反;再生水灌溉下,土壤中粪大肠菌群数量显著提高,各土层粪大肠菌群数量均显著高于清水灌溉,再生水充分灌溉下表层0~20 cm土壤粪大肠菌群数量显著高于非充分灌溉;土壤粪大肠菌群数量与OM、TN、TP量和*EC*均正相关,与土壤pH值、含水率负相关。【结论】再生水灌溉能够在一定程度上提高土壤肥力,合理控制再生水灌水水平可有效阻控土壤病原菌的污染;土壤养分量越高,越有利于粪大肠菌群的生长繁殖。

关 键 词:再生水; 灌水水平; 理化性质; 粪大肠菌群

中图分类号:X144; X172 **文献标志码:**A doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0677

韩洋,齐学斌,李平,等. 再生水和清水不同灌水水平对土壤理化性质及病原菌分布的影响[J]. **灌溉排水学报,** 2018,37(8):32-38.

0 引 言

水资源危机已成为制约我国农业发展的重要因素[1]。再生水作为一种潜在的替代性水资源,具有量大(预测2030年将达到850亿~1 060亿m^3)、面广等特点[2]。和海水淡化、跨流域调水相比,具有明显的优势;将其用于农田灌溉对于缓解我国农业用水短缺矛盾具有重要的现实意义[3]。然而,再生水虽是污水经过一系列再生工艺处理后得到的水[4],却仍含有少量危害生态环境的物质,尤其是病原菌,其不仅会导致土壤环境急速恶化、农业生产力下降,影响作物品质和生态环境,而且还会通过食物链对人畜健康构成潜在威胁。一旦与人体接触,极易导致肠道线虫类疾病、腹泻、痢疾、伤寒、肠胃炎、肝炎等流行性疾病的传播[5],危害人畜健康。Armon等[6]通过进行地表与地下滴灌的对比试验发现,灌溉方式对病原菌的分布范围影响很大,灌溉方式不同,病原菌在土壤中的分布范围不同;地表滴灌后病原菌大部分分布于表层土壤,地下滴灌后病原菌大部分分布于地表以下40 cm范围内。英格兰通过污水灌溉的研究发现,经污水灌溉后的植物叶表面上发现有病原菌的累积现象,而在作物果实表面未发现有累积[7]。研究[8-9]表明分根区交替灌溉技术能通过对作物根区土壤的交替干旱作用,降低病原菌在土壤中的存活数量。李平等[10]研究表明,再生水灌溉前增加消毒处理可大大降低病原菌对作物和土壤的污染风险。病原菌在土壤中的数量分布和迁移行为受到土壤水分状况、温度状况、养分状况以及土壤酸碱度等土壤特性的影响[11];当土壤水分、养分等条件达到最适宜病原菌生长的状态时,病原菌会在土壤中迅速繁殖扩散,从而使土壤成为疾病传播的发源地;轻则影响作物品质,

收稿日期:2017-11-08
基金项目:国家自然科学基金项目(51679241);国家重点研发计划课题(2017YFD0800403); 中央级科研院所基本科研业务费专项(FIRI2017-13)
作者简介:韩洋(1993-),男。硕士研究生,主要从事非常规水资源安全高效利用研究。E-mail: 1515507632@qq.com
通信作者:齐学斌(1963-),男。研究员,主要从事水资源与水环境研究。E-mail: qxb6301@sina.cn

重则甚至会使地下水体受到污染，对人类健康构成严重威胁。目前国内外关于再生水不同灌水水平对土壤中病原菌的分布影响研究甚少；兹通过土柱灌溉试验，以粪大肠菌群作为环境污染指示菌，探讨再生水不同灌水水平对土壤理化性质和病原菌分布的影响。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与试验用水

供试土壤采自中国农业科学院河南省新乡市农业水土环境野外科学观测试验站周边0~20 cm的耕层土壤，土壤质地为砂壤土。试验站位于北纬35°19"，东经113°53"，海拔73.2 m，年均气温14.1 ℃，年均降水量约588.8 mm，无霜期210 d，日照时间2 398.8 h。土样经自然风干，剔除肉眼可见的动植物残体、细根和石块，然后过5 mm筛，混合均匀后取部分土样带回实验室分析化验基础指标，其余土样用于装填土柱，供试土壤基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性质

质地	干体积质量/(g·cm^{-3})	pH值	*EC*/(dS·m^{-1})	OM量/(g·kg^{-1})	TN量/(g·kg^{-1})	TP量/(g·kg^{-1})	粪大肠菌群总数/(MPN·g^{-1})
砂壤土	1.42	8.56	150.00	8.560	0.199	0.376	16

试验用再生水取自河南省新乡市骆驼湾污水处理厂，污水来源主要为城市生活污水，污水处理工艺为A/O反硝化生物滤池和臭氧氧化组合工艺，再生水常规水质指标符合农田灌溉水质标准（GB5084－2005）、再生水水质标准（SL368－2006）和城市污水再生利用农田灌溉用水水质标准（GB20922－2007）的规定，出水水质详见表2。

表2 试验用再生水及清水水质

项目	再生水	清水
pH值	7.64	7.90
总氮量/(mg·L^{-1})	25	7.3
总磷量/(mg·L^{-1})	1.84	0.23
总含盐量/(g·L^{-1})	2.64	0.62
粪大肠菌群总数/(MPN·L^{-1})	4 300	＜300

1.2 试验设计

试验使用清水和再生水进行灌溉，设置充分灌水（土壤含水率保持在田间持水率的90%）和非充分灌水（土壤含水率为充分灌水量的70%）2种灌水水平，交互组合共4个处理：清水非充分灌溉（CKDI）、清水充分灌溉（CKFI）、再生水非充分灌溉（RWDI）和再生水充分灌溉（RWFI），每个处理3个重复。试验用土柱为硬质PVC管材，外径40 cm，高70 cm，壁厚0.98 cm，底部设置3 cm反滤层和排水孔，用于收集尾水。柱体上方布设管道式灌水系统，每个土柱均在土面上方插入4个滴头，以保证灌水均匀、稳定。将负压计插入距土表40 cm处，用于监测土壤水分。供试土壤经自然风干、筛分后，按体积质量1.40 g/cm^3，以5 cm厚度为一层分层装入土柱，每层均振捣、压实及表面刮毛，共12层，土体高度60 cm。共填装土柱36根，采取批量报废的形式，即每取1批土样则废弃土柱12根。试验前，使用清水灌溉15 d，待土壤形成稳定的结构后开始试验。充分灌溉处理每次灌水量为9.72 L，非充分灌溉处理每次灌水量为6.80 L。在试验开始后的第1天、第21天、第41天灌水，并在第21天、第41天灌水前及第61天分层取0～10、10～20、20～30、30～40、40～60 cm土样，分析各土层土壤化学性质并定量分析粪大肠菌群数量。

1.3 测定方法

采用PHS-1型酸度计测定pH值；采用电导法（DDB-303A型便携式电导率仪，上海雷磁）测定土壤可溶性盐；采用铝盒烘干称质量法测定土壤含水率；采用重铬酸钾容量法-外加热法测定有机质量；采用流动分析仪（德国BRAN LUEBBE AA3）测定土壤全氮、全磷量；采用多管发酵法测定粪大肠菌群数量。

1.4 数据分析

应用EXCEL 2003和SAS 9.2进行数据的方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 再生水不同灌水水平对土壤理化性质的影响

表3、表4分别为不同处理下土壤化学性质、*EC*及含水率情况。与清水灌溉相比，再生水灌溉第60天0～60 cm各土层土壤有机质（OM）、全氮（TN）、全磷（TP）量和土壤*EC*均有所提高，土壤pH值下降。RWDI和RWFI处理各土层OM、TN、TP量和*EC*均显著高于CKDI和CKFI处理，而土壤pH值显著低于CKDI和CKFI处理。说明再生水灌溉显著提高了土壤肥力和土壤盐分，降低了土壤pH。一方面，再生水富含有机

质、氮素和磷素成分，灌溉时养分随水源进入土壤，一定程度提高土壤肥力；另一方面，再生水含有大量真菌、细菌和放线菌等，其种类丰富、组成结构多样、活性较强，这些微生物参与土壤C、N、P等元素的循环，将土壤中有机物转化为养料，从促进土壤有机质、总氮和总磷量的提高[12]。

表3 不同土壤样品化学性质

指标	处理	0~10 cm土层	10~20 cm土层	20~30 cm土层	30~40 cm土层	40~60 cm土层
OM量/(g·kg^{-1})	CKDI20	8.694a	8.568a	7.212a	7.832b	7.859b
	CKDI60	8.774a	8.730a	8.336b	7.820b	7.764b
	CKFI20	8.250a	8.769a	7.057a	6.932a	7.096a
	CKFI60	8.508a	8.819a	7.241a	7.178a	7.061a
	RWDI20	10.214b	10.485b	8.902c	8.261bc	8.691cd
	RWDI60	11.063c	10.772bc	9.229cd	8.820d	8.865d
	RWFI20	10.624bc	10.824bc	9.229cd	7.995b	8.550c
	RWFI60	11.175c	11.171c	9.517d	8.662cd	8.894d
TN量/(g·kg^{-1})	CKDI20	0.205b	0.194a	0.175b	0.168a	0.169a
	CKDI60	0.190a	0.192a	0.156a	0.173a	0.164a
	CKFI20	0.187a	0.194a	0.165ab	0.164a	0.167a
	CKFI60	0.198ab	0.199a	0.160a	0.165a	0.172a
	RWDI20	0.268c	0.282b	0.236d	0.201b	0.204b
	RWDI60	0.272c	0.305c	0.296e	0.222c	0.202b
	RWFI20	0.301d	0.301c	0.243d	0.236d	0.208bc
	RWFI60	0.353e	0.361d	0.303e	0.257e	0.223c
TP量/(g·kg^{-1})	CKDI20	0.354a	0.349a	0.368a	0.372a	0.363a
	CKDI60	0.466c	0.469c	0.478c	0.468c	0.470c
	CKFI20	0.405b	0.409b	0.413b	0.427b	0.416b
	CKFI60	0.508d	0.500d	0.499cd	0.491cd	0.494cd
	RWDI20	0.519de	0.512d	0.528de	0.554e	0.511d
	RWDI60	0.557f	0.550e	0.559ef	0.559e	0.571ef
	RWFI20	0.532e	0.530de	0.541e	0.521d	0.543e
	RWFI60	0.587g	0.594f	0.583f	0.593f	0.592f
pH值	CKDI20	8.60d	8.55b	8.59d	8.54bc	8.56a
	CKDI60	8.52b	8.58b	8.60d	8.55cd	8.57a
	CKFI20	8.57c	8.56b	8.55bc	8.55cd	8.55a
	CKFI60	8.54bc	8.58b	8.62d	8.55cd	8.54a
	RWDI20	8.52b	8.51b	8.56c	8.59d	8.57a
	RWDI60	8.35a	8.37a	8.48a	8.39a	8.53a
	RWFI20	8.56c	8.55b	8.54b	8.54bc	8.55a
	RWFI60	8.31a	8.39a	8.48a	8.49b	8.52a

注 不同字母之间表示不同数值之间存在显著性差异$P<0.05$；英文字母后数字表示不同时间，下同。

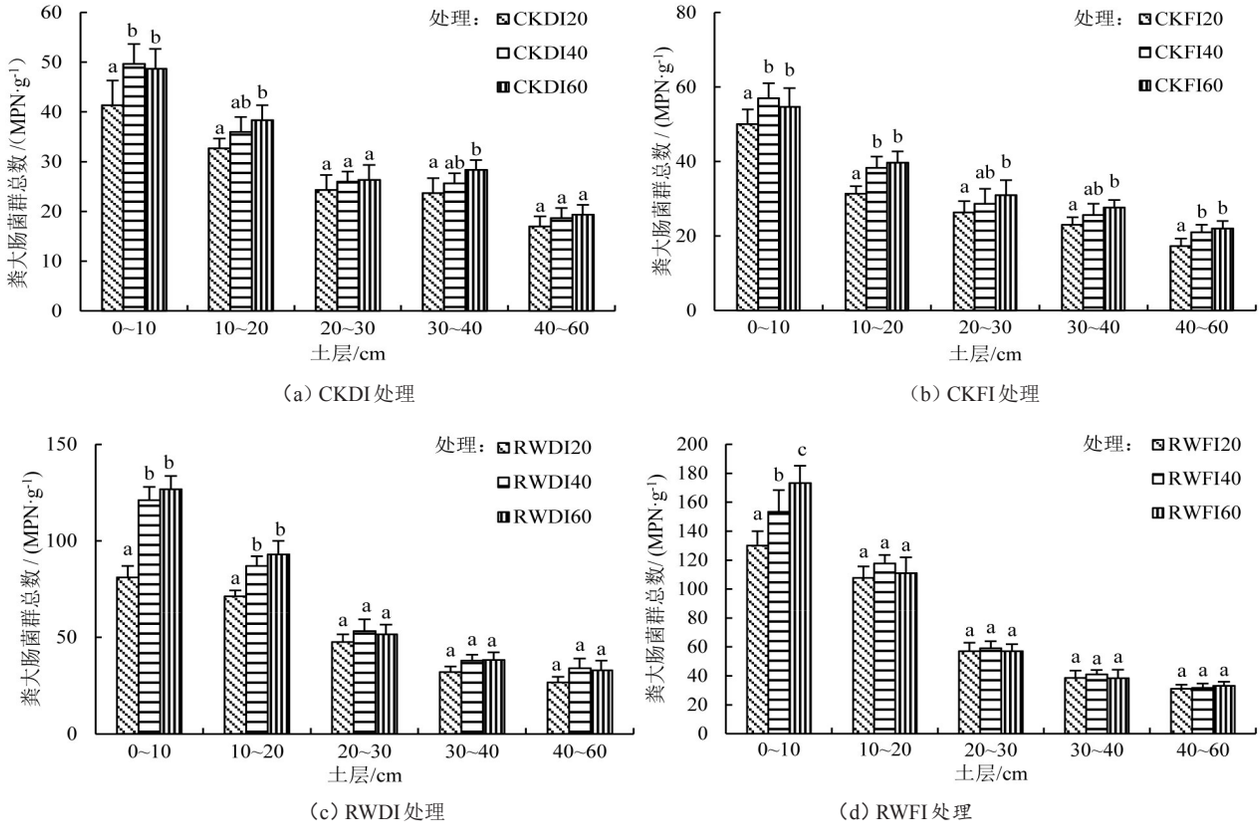
通过对再生水灌溉下2种灌水水平的对比分析可知，灌溉60 d后，相比RWDI处理，RWFI处理的土壤OM、TN和TP量均有所提高；表层（0～20 cm）土壤*EC*降低，深层（20～40 cm）土壤*EC*提高；土壤pH值无显著差异。RWFI处理0～30 cm土层OM量略高于RWDI处理，但差异不显著。RWFI处理0～20、30～60 cm土层TN量显著高于RWDI处理；20～30 cm土层，RWFI处理略高于RWDI处理，但差异不显著。RWFI处理0～20 cm、30～40 cm土层TP量显著高于RWDI处理；而在20～30、40～60 cm土层RWFI处理略高于RWDI处理，但差异不显著。RWFI处理0～20 cm土层*EC*显著低于RWDI处理；而在40～60 cm土层，RWFI处理却显著高于RWDI处理。除30～40 cm土层外，RWDI和RWFI处理的其他土层土壤pH值均无显著差异。说明相比非充分灌溉，再生水充分灌溉能够在一定程度上提高土壤肥力，但对土壤pH值无显著影响。这可能是由于在较高的灌水水平下，随水分进入土壤中的营养物质相对更高，且充足的土壤水分环境更有利于刺激土壤微生物及土壤酶活性的提高，从而使土壤肥力得到提高。

表4 不同土壤样品*EC*及含水率

理化指标	土壤样品	0~10 cm土层	10~ 20 cm土层	20~30 cm土层	30~40 cm土层	40~60 cm土层
EC/（dS·m^{-1}）	CKDI20	148.63ab	134.03a	121.10a	104.84a	112.22a
	CKDI60	155.53b	146.63cd	145.01c	135.67c	124.20b
	CKFI20	145.55a	138.58ab	122.57a	122.83b	127.73b
	CKFI60	148.89ab	142.00bc	129.24b	137.61c	134.45c
	RWDI20	240.77d	177.47e	161.00d	146.67d	137.88cd
	RWDI60	332.67f	250.00g	188.52e	221.36f	203.67f
	RWFI20	213.28c	174.39e	164.18d	166.76e	142.68d
	RWFI60	297.67e	225.41f	253.26f	230.44f	271.12g
含水率/%	CKDI20	18.27b	18.63b	19.38b	20.64b	21.78b
	CKDI60	26.26d	26.89d	27.81d	29.05d	31.14d
	CKFI20	19.02c	19.88c	20.74c	21.89c	21.77b
	CKFI60	26.96ef	27.55e	28.14e	29.61e	31.29d
	RWDI20	18.24b	18.34b	19.13b	19.58b	21.61b
	RWDI60	26.47de	26.81d	27.85de	29.29de	30.89d
	RWFI20	19.28c	19.83c	21.06c	21.67c	23.14c
	RWFI60	27.47f	28.18f	29.12f	30.99f	32.35e

2.2 再生水不同灌水水平对土壤粪大肠菌群分布的影响

各处理的土壤粪大肠菌群分布情况见图1。CKDI、CKFI、RWDI、RWFI 4个处理土壤粪大肠菌群数量均随土层深度的增加而呈递减趋势。一方面，粪大肠菌群在土壤中的迁移速度非常缓慢，在水体中营养物质迁移速度也比较缓慢，不能为深层土壤微生物提供良好的生存环境；另一方面，可能是土柱装置本身的封闭性造成了深层土壤的缺氧和密闭环境，粪大肠菌群属于兼性好氧菌，虽然在有氧和无氧环境下均能生存，但在有氧环境下可进行有氧呼吸并大量繁殖，在无氧环境下进行无氧呼吸仅能维持生存，一般不会繁殖。4个处理的土壤粪大肠菌群数量分布表现为：0～10 cm＞10～20 cm＞20～30 cm＞30～40 cm＞40～60 cm，这说明空气流通、氧气和营养物质充足的表层土壤更有利于粪大肠菌群的生长繁殖。

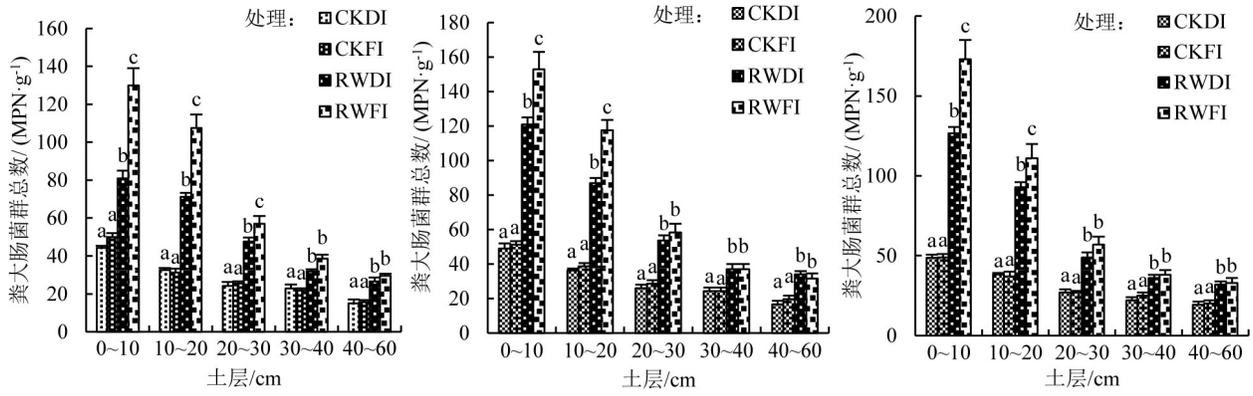


（a）CKDI处理　（b）CKFI处理

（c）RWDI处理　（d）RWFI处理

图1 土壤粪大肠菌群分布

由图2可知，同种灌水水平不同灌溉水质下，再生水灌溉各层土壤粪大肠菌群数量均显著高于清水灌溉。其中，60 d后RWFI处理0～60 cm各土层土壤粪大肠菌群数量分别是CKFI处理的3.53、3.10、2.11、1.64、1.65倍；60 d后，RWDI处理0～60 cm各土层土壤的粪大肠菌群数量分别是CKDI处理的2.63、2.45、1.78、1.62、1.68倍。说明相比清水，再生水灌溉可显著提高土壤粪大肠菌群数量。原因可能是再生水本身所含有的粪大肠菌群数量较高，灌溉过程中随水分进入土壤中的粪大肠菌群数量相对更多；此外，再生水中含有相对丰富的氮、磷和有机质等营养物质，有助于提高土壤养分和土壤性能、改善土壤微环境，灌溉后水分进入土壤孔隙中，加之适宜的土壤温度，给粪大肠菌群提供了一个良好的生长繁殖环境，促进其代谢繁殖。



（a）20 d后　（b）40 d后　（c）60 d后

图2 不同处理灌溉20、40、60 d后土壤粪大肠菌群的分布

同种灌溉水质不同灌水水平下，CKDI处理0～60 cm各土层土壤粪大肠菌群数量与CKFI处理之间差异均不显著。RWDI处理的表层0～20 cm土壤粪大肠菌群数量显著低于RWFI处理，经灌溉60 d后，RWFI处理0～10、10～20 cm土层粪大肠菌群数量分别是RWDI处理的1.38、1.23倍，20～60 cm土层二者之间差异不显著。说明再生水灌溉条件下，0～20 cm土层粪大肠菌群数量受灌水量的影响较大。灌水量越大，粪大肠菌群数量越高；另外，由于土壤的吸附性，使粪大肠菌运移缓慢，在表层0～20 cm土层聚积。

2.3 土壤理化性质与粪大肠菌群数量之间的相关性分析

土壤理化性质与粪大肠菌群数量之间相关性见表5。OM、TN、TP、pH值和*SWC*（含水率）之间均负相关，OM与TN、OM与TP、TN与TP之间均极显著正相关。*EC*与OM、TN、TP、*SWC*均正相关，与pH值负相关。粪大肠菌群总数与OM、TN、TP、*EC*显著正相关，与pH和*SWC*之间显著负相关。粪大肠菌群总数与OM、TN的相关系数较高，可见有机质量和含氮量较高的土壤更有利于粪大肠菌群的生长和繁殖。

表5 土壤理化性质与粪大肠菌群数量之间的相关性

指标	OM	TN	TP	pH值	*EC*	*SWC*	*FDC*
OM	1.000	-	-	-	-	-	-
TN	0.899**	1.000	-	-	-	-	-
TP	0.691**	0.655**	1.000	-	-	-	-
pH值	-0.642**	-0.698**	-0.529**	1.000	-	-	-
EC	0.764**	0.761**	0.691**	-0.798**	1.000	-	-
SWC	-0.488*	-0.393	-0.111	-0.084	0.322	1.000	-
FDC	0.873**	0.849**	0.484*	-0.673**	0.731**	-0.455*	1.000

注 *表示$P<0.05$，**表示$P<0.01$；*FDC*为粪大肠菌群总数。

3 讨 论

土壤有机质、氮、磷是作物生长发育的重要成分[13-14]。再生水灌溉显著提高了土壤有机质、全氮和全磷量。这与已有研究[12,15]结果相似，这主要是因为再生水中碳、氮和磷等营养元素量高于清水。但也有研究[16-17]指出，再生水灌溉对土壤全氮和全磷量无显著影响，这可能是因为不同地区再生水在处理过程中对氮、磷等元素的去除力度存在差异。此外，水质变异性、作物种植情况和灌溉条件等因素都有可能导致试验

结果存在差异性。合理的养分输入可提高土壤肥力，促进作物生长发育，而过高的养分则会降低土壤质量，阻碍作物正常生长。因此，在再生水处理过程和灌溉过程中，有必要合理控制氮、磷量和灌溉水量。

灌溉水中大肠杆菌浓度的高低将直接影响土壤中大肠杆菌的分布和累积[18]，本试验再生水中粪大肠菌群数量高于清水，显著提高了土壤粪大肠菌群数量。此外，不排除再生水中含有能与粪大肠菌群协同生长的病原体、真菌和细菌等微生物的可能性，其本身所带有的负电性可能使其与粪大肠菌群及其他病原菌存在吸附和协同生存的作用。合理控制再生水灌水水平可以有效阻控表层土壤中粪大肠菌群数量，从而大大降低再生水灌溉下土壤病原菌的污染风险。

土壤理化性质和粪大肠菌群数量的相关性分析表明，粪大肠菌群总数与OM、TN、TP、*EC*正相关。原因可能是随着灌溉量的增加，再生水中的有机质、氮和磷等营养物质在土壤中逐渐累积，从而改善土壤环境，提高土壤肥力，为粪大肠菌群创造了一个良好的生存环境，加速了粪大肠菌群的生长繁殖；同时粪大肠菌群在土壤中的繁衍过程也间接刺激了土壤当中营养物质的循环和转化。但从长远角度讲，粪大肠菌群在土壤中的过度繁殖会造成土壤环境急速恶化，严重危害作物品质和人畜健康。因此，在再生水回用前期有必要加强对诸如粪大肠菌群等一系列病原菌的去除力度，提高并完善再生水处理过程中的过滤和消毒工艺；另外，在灌溉过程中还应合理把控再生水灌水水平，保证再生水回灌过程中的安全性和高效性。

4 结 论

1）再生水灌溉能够在一定程度上增加土壤养分，提高土壤肥力；灌水水平越高，土壤肥力提高越显著。

2）再生水灌溉提高了土壤粪大肠菌群数量，且灌水量越高，土壤表层受病原菌污染相对越严重。

3）土壤OM、TN、TP、*EC*均与粪大肠菌群数量呈正相关，土壤pH值、*SWC*与粪大肠菌群数量负相关。

参考文献:

[1] 代志远, 高宝珠. 再生水灌溉研究进展[J]. 水资源保护, 2014, 30(1): 8-13.

[2] 吴文勇, 刘洪禄, 郝仲勇, 等. 再生水灌溉技术研究现状与展望[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 302-306.

[3] 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等. 再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 163-172.

[4] 金建华, 孙书洪, 王仰仁. 再生水灌溉的研究进展[J]. 节水灌溉, 2009 (5): 30-34.

[5] 周利霞. 污水处理水灌溉后土壤中病原菌的代谢与传输[D]. 保定：河北农业大学, 2010.

[6] ARMON R, GOLD D, BRODSKY M, et al. Surface and subsurface irrigation with effluents of different qualities and presence of Cryptosporidium oocysts in soil and on crops[J]. Water Science and Technology, 2002, 46(3): 115-122.

[7] AYRES R M, STOTT R, LEE D L, et al. Contamination of lettuces with nematode eggs by spray irrigation with treated and untreated wastewater[J]. Water Science and Technology, 1992, 26(7/8): 1 615-1 623.

[8] LOVEYS B R, DRY P R, STOLL M, et al. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops[J]. Acta Horticulturae,2000, 537(1): 187-197.

[9] STIKIC R, POPOVIC S, SRDIC M, et al. Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit[J]. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 2003, 29(3/4): 164-171.

[10] 李平, 樊向阳, 齐学斌, 等. 加氯再生水交替灌溉对土壤氮素残留和马铃薯大肠菌群影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(7): 82-87.

[11] REDDY K R, 冯克亮. 在施放有机废物的土壤中病原微生物和指标微生物的生存和迁移[J]. 环境科学研究, 1984 (3): 28-38.

[12] 龚雪, 王继华, 关健飞, 等. 再生水灌溉对土壤化学性质及可培养微生物的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(9): 3 572-3 579.

[13] 周媛, 齐学斌, 李平, 等. 再生水灌溉对作物生长及土壤养分影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 247-251.

[14] 张作新, 刘建玲, 廖文华, 等. 磷肥和有机肥对不同磷水平土壤磷渗漏影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2015(4): 91-97.

[15] 郑顺安, 陈春, 郑向群, 等. 再生水灌溉对土壤团聚体中有机碳, 氮和磷的形态及分布的影响[J]. 中国环境科学, 2012, 32(11): 2 053-2 059.

[16] 韩烈保, 王昌俊, 苏德荣, 等. 不同水质灌溉下绿地养分积累及其比较[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(6): 62-66.

[17] 张娟, 王艳春. 再生水灌溉对植物根际土壤特性和微生物数量的影响[J]. 节水灌溉, 2009 (3): 5-8.

[18] VERGINE P, SALIBA R, SALERNO C, et al. Fate of the fecal indicator Escherichia coli in irrigation with partially treated wastewater[J]. Water Research, 2015, 85: 66-73.

Effects of the Amount of Irrigation with Reclaimed Wastewater on Soil Properties and Distribution of Pathogenic Bacteria

HAN Yang [1,2], QI Xuebin [1,3*], LI Ping[1,3], CHANG Di[1,2], LI Zhongyang[1,3], CUI Bingjian[1,3], YAN Xushan[1,2]

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;
3. Key Laboratory of High-efficient and Safe Utilization of Agriculture Water Resources,
Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China)

Abstract:【Objective】Reusing reclaimed wastewater for irrigation can relieve demand for freshwater and reduce its discharge into watercourse, but it could risk pathogenic spreading. The purpose of this paper is to investigate the impact of the amounts of irrigation with treated municipal wastewater on physical and chemical properties of soil, as well as the distribution of fecal coliforms.【Method】The experiments were conducted in soil columns irrigated with reclaimed wastewater taken from a local wastewater treatment plant. In the experiments, we measured change in the physical and chemical of the soil, as well as the distribution of fecal coliform bacteria under different irrigation rates and water qualities. The control was irrigation with tap water.【Result】Compared to the CK, irrigating with the treated wastewater increased soil organic matter (OM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and electrical conductance (*EC*), whereas reduced soil pH slightly. The OM, TN and TP in the topsoil (0~20 cm) were higher under sufficient irrigation than under insufficient irrigation, as opposed to EC. It was found that irrigation with the reclaimed wastewater significantly increased the number of fecal coliform bacteria in the soil, especially in the topsoil (0~20 cm). The number of fecal coliform bacteria was positively correlated with the contents of OM, TN, TP and *EC*, and negatively correlated with soil pH and soil water content.【Conclusion】Irrigation with reclaimed wastewater can improve soil fertility; appropriately controlling the irrigation amount can effectively reduce pollution of pathogenic bacteria. Increase in soil nutrients favors growth and spreading of fecal coliform bacteria in soil.

Key words: Reclaimed wastewater; irrigation level; physical and chemical properties; fecal coliform bacteria

责任编辑:赵宇龙