

暗管排水对土壤-番茄系统的影响及其综合效益评价

闫玉民¹, 李 凯^{2,3}

(1. 沈阳农业大学 高等职业技术学院 水利系, 辽宁 沈阳 110122; 2. 沈阳水文局水情科,
辽宁 沈阳 110015; 3. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为寻求防治设施土壤次生盐渍化的最优暗管布局方案, 设计不同暗管埋设排水处理(CK: 不埋设暗管, T1: 埋深 0.6 m、间距 4 m, T2: 埋深 0.8 m、间距 4 m, T3: 埋深 0.6 m、间距 6 m, T4: 埋深 0.8 m、间距 6 m), 研究不同暗管埋设排水处理对土壤化学性质、番茄产量及品质的影响; 同时引入投影寻踪分类模型, 对不同暗管埋设排水处理的综合效益进行分析和评价。结果表明: 暗管排水处理对土壤化学性质影响显著, 耕层土壤电导率(EC)和有机质、速效养分含量均呈下降趋势, 其中 T1 处理下降幅度最大; T2 和 T3 处理番茄产量处于较高水平, 分别为 142.58 t/hm² 和 137.99 t/hm², 两者差异不显著; T4 处理番茄的综合品质最优, T2 相对较差, 而 T3 和 T1 差别不大; T3 处理综合效益最优, 投影值达到 1.747 5, T4 次之, T2 最差, 投影值仅为 0.251 8。综上, 暗管埋深 0.6 m、间距 6 m 可用作设施农田最优的暗管布局方案。

关键词: 暗管排水; 土壤; 化学性质; 番茄; 产量; 品质; 投影寻踪

中图分类号: S276 S153 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)11-0049-04

Effect of Subsurface Drainage on Soil-Tomato System and Its Comprehensive Benefit Evaluation

YAN Yu-min¹, LI Kai^{2,3}

(1. Department of Water Conservancy, Higher Vocational Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110122, China; 2. Department of Water Regime, Hydrological Bureau of Shenyang, Shenyang 110015, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To explore the best arrangement scheme of subsurface drainage pipes, different drainage treatments were designed (CK: no drainage pipes; T1: 0.6 m depth and 4 m space; T2: 0.8 m depth and 4 m space; T3: 0.6 m depth and 6 m space; T4: 0.8 m depth and 6 m space), and the effects of subsurface drainage systems on soil chemical properties, tomato quality and yield were studied; meanwhile, the projection pursuit model was introduced to evaluate the comprehensive benefits of different treatments. The results showed that subsurface drainage had significant effects on soil quality, the surface soil EC, organic matter and available nutrients content presented a decline trend, especially T1 treatment; tomato yields of T2 and T3 treatment were higher, and there was no difference between them, the yields were 142.58 t/ha and 137.99 t/ha, respectively; tomato comprehensive quality of T4 treatment was best, T2 treatment was the poorest, and there was no significant difference between T1 and T3 treatment; comprehensive benefit of T3 treatment was

收稿日期: 2014-04-19

基金项目: 江苏省创新工程基金项目(CXZZ13_0266)

作者简介: 闫玉民(1963-), 辽宁昌图人, 副教授, 本科, 主要从事水利工程基础研究和水利工程质量检测研究。

E-mail: yanyumin196309@126.com

the highest, projection value of which reached 1.747 5, followed by T4 treatment, and T2 treatment was the poorest with projection value of 0.251 8. Therefore, 0.6 m depth combined with 6 m space could be recommended as the optimal arrangement scheme of subsurface drainage pipes.

Key words: subsurface drainage; soil; chemical property; tomato; yield; quality; projection pursuit

我国是设施栽培面积最大的国家,现有设施栽培面积占世界总设施栽培面积的 70%,设施栽培为我国现代农业发展作出了突出贡献。然而,设施农业在带来巨大经济和社会效益的同时,也改变了土壤的生态环境^[1]。其中,设施土壤的次生盐渍化已经严重限制了土地资源的可持续利用。因此,研究次生盐渍化土壤的修复方法,为设施蔬菜的生产提供技术保障势在必行。

早在 1950 年,芬兰南部 80% 的栽培土壤就利用暗管排水技术来降低地下水位^[2],改善土壤条件。暗管排水已被证明在涝地和盐渍地区具备相当的应用价值和经济可行性。暗管排水对滨海盐土、低产田、涝地的改良效果及对土壤盐分、作物产量和品质的影响也一度成为研究热点^[3-7]。然而,暗管排水在设施农田中的应用还不多见,关于分析和评价暗管排水综合效益的报道则更为匮乏。为此,以番茄为试材,设计不同暗管埋设处理,研究暗管排水对土壤化学性质及番茄产质量的影响;同时引入投影寻踪分类模型,对暗管排水的综合效益进行评价,旨在为暗管排水的理论研究和田间工程的优化设计提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验于 2013 年 5 月在江苏省靖江市新桥镇同里农业生态园中的设施大棚中进行。靖江市地处东亚季风盛行区,气候湿润,雨量充沛,具有明显的海洋性、季风性和过渡性气候特点。气温最高在 7 月,最低在 1 月,冬季与夏季靖江市南北部的温差不大,年均气温介于 14.4~15.1℃,年均降水量为 1 037.7 mm,年均降雨天数为 113 d,但受季风的影响,降水变率较大。试验所在地土壤为黄棕壤,0~40 cm 土层土壤经翻匀处理,土壤化学性质为有机质 15.21 g/kg、速效氮 119.32 mg/kg、速效磷 19.58 mg/kg、速效钾 176.84 mg/kg、电导率(EC) 4.88 mS/cm, pH 值 5.47。

1.2 试验设计

在考虑试验地土壤化学性质和地下水位的基础上,以不埋设暗管处理为对照(CK),设计 T1、T2、T3、T4 暗管埋设处理,每个处理埋设 3 根暗管。其

中,T1 处理暗管埋深 0.6 m、间距 4 m,T2 处理暗管埋深 0.8 m、间距 4 m,T3 处理暗管埋深 0.6 m、间距 6 m,T4 处理暗管埋深 0.8 m、间距 6 m。不同处理之间用 1 m 深的竖向防渗膜来阻止灌溉水分的侧渗,暗管材质为塑料波纹管,管外用无纺布包裹。

试验所选植物材料为番茄品种大红宝,种植密度为 4.17×10^4 株/hm²,于秧苗五叶一心时定植。各处理均匀施入复合肥 1 500 kg/hm²,其中 N:P₂O₅:K₂O=15:15:15。

1.3 方法

1.3.1 土壤化学性质测定 耕层(0~20 cm)土壤 EC 采用英国 DELTA-T 公司生产的 HH2/WET 土壤参数测定仪直接测定,测定位置为暗管正上方距出水口水平距离 1 m 处。土壤有机质含量采用 K₂Cr₂O₇-H₂SO₄ 稀释热法测定^[8]。土壤速效养分含量采用侯彦林等^[9]改进的新速测法测定。

1.3.2 番茄产量和品质测定 各处理随机取 4 株番茄进行观测,每个植株按照上、中、下 3 个部位随机选取 3 个果实测定单果质量、糖酸比及可溶性固形物、总酸、维生素 C 含量。可溶性固形物含量采用日本 ATAGO 公司生产的 ACT-1E 数字折射仪测定,总糖含量采用斐林试剂滴定法测定,总酸含量采用 NaOH 滴定法测定,维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[10-11]。

1.3.3 暗管排水工程主要经济指标计算 经济内部收益率(EIRR)、经济净现值(ENPV)、经济效益费用比(EBCR)按照《水利建设项目经济评价规范》(SL72-94)和《建设项目经济评价方法与参数》进行计算与评价^[12]。

1.3.4 暗管排水工程的综合效益评价 采用投影寻踪分类模型对暗管排水工程的综合效益进行评价。由于投影寻踪分类模型在效益评价中的算法已经相对成熟,此处不再赘述,详细建模步骤参见文献[13-14]。利用 matlab 7.1 对所选评价指标建立投影寻踪分类模型。在 RAGA 优化过程中选定父代初始种群规模为 $n=400$,交叉概率 $P_c=0.8$,变异概率 $P_m=0.8$,优秀个体数目选定为 20 个, $\alpha=0.05$,加速 20 次。

1.4 数据处理

番茄品质的主成分分析采用 SPSS 17.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 暗管排水对土壤化学性质的影响

由表 1 可以看出,采用暗管排水后,土壤 EC 较 CK 显著下降,尤其是 T1 处理,降幅达 28.15%,其次依次为 T2、T3、T4,这说明采用暗管排水有利于土壤盐分的去除,尤其是 T1 处理;土壤有机质含量也较 CK 显著下降,降幅为 8.08%~16.82%,其中 T1 处理土壤有机质含量最低,T2、T3 处理和 T4 处理差别不大;土壤速效养分含量总体上较 CK 处理显著下降,尤其是 T1 处理,这可能是由于暗管排水条件下部分养分被带至深层土壤,或通过暗管随水排走。综上,采用暗管排水虽然去除了土壤盐分,但同时也造成了养分的流失,尤其是 T1 处理。

表 1 暗管排水对土壤化学性质的影响

处理	EC/ (mS/cm)	有机质/ (g/kg)	速效氮/ (mg/kg)	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)
CK	4.37a	14.98a	128.33a	22.91a	197.63a
T1	3.14d	12.46c	117.21c	19.99c	179.93b
T2	3.49c	13.75b	120.98b	20.67bc	182.86b
T3	3.65bc	13.68b	121.33b	21.25b	184.58b
T4	3.87b	13.77b	126.42a	21.48b	189.92ab

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

2.2 暗管排水对番茄产量和品质的影响

2.2.1 番茄产量 由图 1 可以看出,CK 处理番茄产量最低,仅为 115.96 t/hm²;T2 和 T3 处理番茄产量处于较高水平,分别为 142.58 t/hm² 和 137.99 t/hm²,两者差异不显著,但均显著高于其他处理;T1 与 T4 处理番茄产量相差不大,均显著高于 CK 处理。这说明,暗管的布局对番茄产量有一定程度的影响,暗管埋深 0.8 m、间距 4 m 对提高番茄产量最为有利。

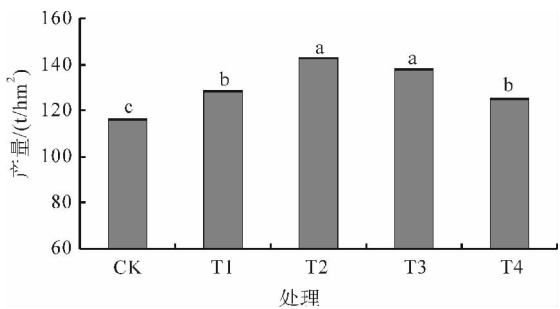


图 1 暗管排水对番茄产量的影响

2.2.2 番茄品质 从表 2 可以看出,采用暗管排水后,单果质量以 T2 处理最高,达到 128.32 g,T3 次之,CK 最小,仅为 104.36 g;番茄可溶性固形物含量

较 CK 处理增减不一,其中 T4 处理最高,为 5.81%,其次是 T1 处理,两处理均高于 CK,但差异不显著,T2、T3 处理均低于 CK;总酸含量较 CK 处理显著增加,以 T2 处理最高,达到 67.2 g/kg,其次依次为 T1、T3、T4 处理;维生素 C 含量较 CK 增减不一,T3、T4 处理高于 CK,其中以 T4 处理最高,为 133.4 mg/kg,T1、T2 处理低于 CK;糖酸比较 CK 显著下降,表现为 CK>T4>T3>T1>T2。

由于番茄品质是一个综合概念,包含指标众多,评价难度较大^[15]。因此,为了明确不同处理对番茄综合品质的影响,本研究采用主成分分析法对番茄品质指标进行主成分提取,提取原则为“特征值>1,累积贡献率>80%”^[16];并计算各处理番茄品质综合主成分值,综合主成分值越高,说明番茄综合品质越佳。T1、T2、T3、T4 处理综合品质分别为 1.45、1.00、1.49、2.26,由此可以看出,T4 处理番茄的综合品质最优,T2 相对较差,而 T3 和 T1 处理差别不大,这说明 T4 处理更有利于番茄养分的平衡吸收和综合品质的提高。

表 2 暗管排水对番茄品质的影响

处理	单果 质量/g	可溶性固形 物含量/%	总酸含量/ (g/kg)	维生素 C 含 量/(mg/kg)	糖酸比
CK	104.36c	5.42ab	58.8c	128.7b	9.21a
T1	115.78b	5.64ab	65.4ab	115.4c	8.21bc
T2	128.32a	5.26b	67.2a	123.1bc	7.94c
T3	124.19a	5.28b	64.5ab	129.5b	8.37b
T4	112.48b	5.81a	60.3b	133.4a	8.55b

2.3 暗管排水工程的经济投入评价

如表 3 所示,将暗管排水工程的投资项目划分为建筑工程、机电与金属、临时费用、独立费用 4 部分,其中建筑工程投资最多,介于 20 067.30~28 404.75 元/hm²,总投资为 28 833.30~38 722.80 元/hm²,T3 处理投资最少。此外,计算经济评价指标 EIRR、ENPV 和 EBCR(表 4,项目年运行费按项目总投资的 5%进行计算),根据 EIRR、ENPV 和 EBCR 越高越优的原则,T3 处理经济指标最优。

表 3 暗管排水工程的投资概算 元/hm²

处理	建筑工程	机电与金属	临时费用	独立费用	总投资
T1	24 664.20	6 518.85	548.40	2 493.60	34 225.05
T2	28 404.75	6 876.30	620.40	2 821.35	38 722.80
T3	20 067.30	6 203.25	462.00	2 100.75	28 833.30
T4	22 869.90	6 414.60	514.95	2 341.80	32 141.25

表 4 暗管排水工程的综合效益评价

处理	番茄品质综合主成分值	产量/(t/hm ²)	EC 下降率/%	有机质含量下降率/%	EIRR/%	ENPV/元	EBCR
T1	1.45	128.64	28.15	16.82	13.9	977.4	1.34
T2	1.00	142.58	20.14	8.21	13.0	924.6	1.28
T3	1.49	137.99	16.48	8.68	14.6	1 054.9	1.42
T4	2.26	124.98	11.44	8.08	14.2	1 011.4	1.39

2.4 暗管排水工程的综合效益评价

表 4 为选取的综合效益评价指标及指标值。其中,番茄品质综合主成分值、产量、土壤 EC 下降率、EIRR、ENPV 和 EBCR 为“越高越优”指标,土壤有机质含量下降率为“越低越优”指标。从表 4 可以看出,T4 处理番茄综合品质最佳,耕层土壤有机质含量下降率最低,经济指标也处于较优水平,但番茄产量较低,盐分去除效果不佳;T2 处理虽然番茄产量最高,但品质不佳,且投资额度较大,主要经济指标值并不理想。

采用投影寻踪分类模型对暗管排水工程的综合效益进行评价,得出最大投影指标值为 0.355 5,最佳投影方向 $a_{(j)}^* = (0.634\ 9, 0.039\ 5, 0.102\ 4, 0.161\ 5, 0.406\ 9, 0.402\ 0, 0.481\ 2)$,CK、T1、T2、T3、T4 4 个处理的投影值依次为 $z_{(i)}^* = (0.935\ 4, 0.251\ 8, 1.747\ 5, 1.542\ 1)$,依据投影值越大综合效益越优的准则,T3 为综合效益最佳的处理,T4 次之,T2 最差。

3 结论与讨论

本研究表明,暗管排水对土壤化学性质影响显著,其中耕层土壤 EC 值和有机质及速效养分含量均呈下降趋势。总体来看,暗管排水在降盐的同时,会造成耕层土壤速效养分的流失,在耕田中应用暗管排水技术时,应根据实际情况适当增施肥料,保证作物的养分供应。此外,不同暗管埋设条件下作物的肥料施用量及施用时间有待深入研究。

对不同处理的番茄产量及品质进行分析发现,T2 和 T3 处理番茄产量处于较高水平,分别为 142.58 t/hm² 和 137.99 t/hm²,两者差异不显著但均显著高于其他处理;T4 处理番茄的综合品质最优,T2 相对较差,而 T3 和 T1 差别不大。

对不同处理暗管排水工程的投资估算结果表明,建筑工程投资最大,介于 20 067.30~28 404.75 元/hm²,总投资为 28 833.30~38 722.80 元/hm²。从 EIRR、ENPV 和 EBCR 来看,T3 处理经济指标最优。

对不同暗管埋设处理综合效益的评价结果表明,T3 为综合效益最佳的处理,投影值达到 1.747 5;T4 次之;T2 最差,投影值仅为 0.251 8。投影寻踪

分类模型的引入,避免了传统评价方法过度依赖主观权重的局限,使得评价结果更为科学、合理。

参考文献:

- [1] 徐光明,项永祥,单东方.设施蔬菜大棚灌水高温闷棚技术[J].现代农业科技,2012(22):195.
- [2] Ritzema H P,Satyanarayana T V,Raman S,*et al.* Sub-surface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95 (3):179-189.
- [3] Mathew E K,Panda R K,Nair M. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil [J]. Agricultural Water Management, 2001, 47(3):191-209.
- [4] Quinton W L,Gray D M,Marsh P. Subsurface drainage from hummock-covered hillslopes in the Arctic tundra[J]. Journal of Hydrology, 2000, 237(1/2):113-125.
- [5] 邵孝侯,王靖波,朱成立,等.暗管排降对小麦养分、干物质、籽粒产量及品质的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2000,28(5):16-20.
- [6] 王修贵,张明柱,彭先传,等.岩溶山区泉渍低产田暗管排水试验研究[J].灌溉排水,1993(3):6-10.
- [7] 王雪,李凯,侯毛毛.农田暗管排水的经济与生态效益分析[J].江苏农业科学,2013,2(2):373-375.
- [8] Asghar H N,Setia R,Marschner P. Community composition and activity of microbes from saline soils and non-saline soils respond similarly to changes in salinity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 47(4):175-178.
- [9] 侯彦林,曾文,宋建国,等.土壤速效氮、磷、钾速测方法的改进 I. 新速测方法的建立[J].土壤通报,2000,6 (5):238-240,242.
- [10] 王峰,杜太生,邱让建.基于品质主成分分析的温室番茄亏缺灌溉制度[J].农业工程学报,2011,27(1):75-80.
- [11] Shao X H,Hou M M,Chen J N. Effects of EM-calcium spray on Ca uptake, blossom-end rot incidence and yield of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) [J]. Research on Crops, 2013, 14(4):1159-1166.
- [12] 闫玉民,王玉书,侯毛毛.烟草田低压管道建设工程的经济效益分析[J].江苏农业科学,2013,41(3):395-396.
- [13] 封志明,郑海霞,刘宝勤.基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[J].农业工程学报,2005,21(3):66-70.
- [14] Hou M M,Shao X H,Chen L H,*et al.* Study on fertilizer N leaching, accumulation, and balance in tobacco fields with N-15 tracing technique[J]. J Food Agric Environ, 2012, 10(2):1284-1289.
- [15] 邵光成,郭瑞琪,蓝晶晶,等.避雨栽培条件下番茄灌排方案熵权系数评价[J].排灌机械工程学报,2012, 30(6):733-737,744.
- [16] Babaoglu I,Findik O,Bayrak M. Effects of principle component analysis on assessment of coronary artery diseases using support vector machine [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(3):2182-2185.