

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.01.000

张凯凯, 赵爽, 陈慧杰, 等. 暗排技术对设施连作土壤改良及切花菊品质的影响. 土壤, 2020, 52(1): 139–144

暗排技术对设施连作土壤改良及切花菊品质的影响^①

张凯凯^{1,2}, 赵爽^{1,2}, 陈慧杰^{1,2}, 赵佳森^{1,2}, 江涇^{1,2}, 陈发棣^{1,2}, 房伟民^{1,2*}

(1 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2 农业部景观设计重点实验室, 南京 210095)

摘要: 针对温室、大棚等设施栽培条件下的土壤随着连作年限的增加, 土壤理化性状变劣、养分比例失调、土壤次生盐渍化加重、生产性能降低这一现象, 采用暗管排水排盐技术, 在稻草还田(800 kg/hm²)配套措施条件下, 研究了暗管不同埋管间距(2、4、6 m)对设施连作表层土(0~15 cm)有机质、速效养分(碱解氮、有效磷和速效钾)、盐分含量以及切花菊‘神马’品质的影响。结果表明: 暗排技术能明显增强切花菊的根系活力, 对切花菊主要品质(株高、茎粗、花径、舌状花数及生物量)的提高具有积极作用, 其中4 m的埋管间距处理效果最佳; 对土壤有机质和速效养分含量的提高效果埋管间距4 m处理显著高于埋管间距2 m和6 m处理; 暗排技术对于土壤的降渍排盐作用明显, 可显著降低表层土壤的含水量、电导率、全盐量以及主要盐分离子含量(Ca²⁺和SO₄²⁻), 并且随着埋管间距的减小, 降渍排盐的效果越明显。综合比较分析各相关试验结果, 结合暗管埋设初期成本投入的考虑, 4 m的埋管间距处理能最有效地改良设施连作土壤及提高切花菊的品质。

关键词: 暗管排水排盐技术; 埋管间距; 切花菊品质; 土壤改良

中图分类号: S144.1; S482.2 **文献标志码:** A

Effect of Subsurface Pipe Drainage System on Greenhouse Soil Improvement and Cut Chrysanthemum Quality in Continuous Cropping System

ZHANG Kaikai^{1,2}, ZHAO Shuang^{1,2}, CHEN Huijie^{1,2}, ZHAO Jiamiao^{1,2}, JIANG Jing^{1,2}, CHEN Fadi^{1,2}, FANG Weimin^{1,2*}

(1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Key Laboratory of Landscape Design, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China)

Abstract: With the increase of continuous cropping years, the physical and chemical properties of greenhouse soil is deteriorating, the proportion of nutrients is out of balance gradually, the secondary stalinization of soil is increasing, and the production performance is reducing more and more seriously. In this study, under the condition of straw returning to field at 800 kg/hm², the subsurface pipe drainage system was used to investigate the effects of different pipe spacing (2, 4 and 6 m) on organic matter content, available nutrients (available nitrogen, available phosphorus and available potassium) and salt content in surface soil (0–15cm) as well as the quality of cut chrysanthemum ‘Jimba’. The results showed that the subsurface pipe drainage system significantly enhanced the root activity of cut chrysanthemum and had a positive improvement in the quality of cut chrysanthemum (plant height, stem diameter, flower diameter, ray floret number and shoot dry weight). Among the treatments evaluated, 4 m pipe spacing treatment improved soil organic matter and available nutrient contents more significantly compared with 2 m and 6 m pipe spacing treatments. 4 m pipe spacing not only had positive effects on groundwater depth controlling and desalination, but also had significant effect on reducing water content, electrical conductivity, total salt content and the main salt ions contents (Ca²⁺ and SO₄²⁻) in the surface soil. With the decrease of buried pipe spacing, the effects of groundwater depth controlling and desalination became more obvious. Combined with the initial cost of embedded buried pipe into account, the treatment of 4 m pipe spacing is regarded as the most economical way to improve both soil and cut chrysanthemum qualities in continuous cropping greenhouse.

Key words: Subsurface pipe drainage system; Subsurface pipe spacing; Cut chrysanthemum quality; Soil Improvement

①基金项目: 江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2016077-06), 江苏省农业三新工程项目(SXGC2017280), 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX161025)和中央高校基本科研业务费专项项目(KYCYL201501)资助。

* 通讯作者(fangwm@njau.edu.cn)

作者简介: 张凯凯(1993—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 研究方向为观赏植物土传病害防控及连作土壤改良。E-mail: 2015104103@njau.edu.cn

菊花(*Chrysanthemum morifolium*)原产于我国,是我国十大传统名花和世界四大切花之一,占鲜切花总产量的 30%^[1]。由于切花菊种植经济效益高,其设施化栽培面积以及规模化生产范围不断加大,连茬种植导致了严重的连作障碍。连作障碍土壤理化性状变劣、养分比例失调、土壤次生盐渍化加重、生产性能降低^[2]。因此,改良设施切花菊土壤结构,提升切花菊土壤质量,提高切花菊产量及品质,进而促进设施土壤的可持续利用已成为切花菊设施生产亟待解决的关键问题和重要需求。

暗管排水排盐技术是国际上盐碱地治理的领先技术,其核心思路是通过埋设地下透水暗管,排除土壤中过多的水分,降低地下水位,并通过灌溉、降水等淋洗手段去除土壤中过多的盐分,达到土壤改良的目的^[3-5]。暗管排水排盐技术可以有效地排水排涝,防治涝渍害的发生;可以有效地淋盐洗盐,提高土壤脱盐速率,降低土壤含盐量;可以有效降低地下水位,控制返盐,防治盐渍害的发生;还可以排除土壤中过多的水分,增加土壤的通气空隙,调节土壤的水气比例,改善土壤环境,促进植物的生长^[6]。农田埋设暗管后,地下暗管排水取代地表明沟排水,可避免明沟排水占用大量耕地和边坡塌陷的问题,减少了明沟的数量,提高了土地的利用率,便于农业机械作业^[7]。发展至今,暗管排水排盐技术通常被应用于防治土壤浸渍化、沼泽化和盐碱化,尤其是在地下水埋深浅的盐碱区得到大力推广应用。有研究表明滨海盐渍土地埋设暗管可以显著提高土壤脱盐速率,增加脱盐层深度,淡化表层地下水,为作物的生长创造良好的生长环境^[8-9]。

目前,暗管排水排盐技术的研究主要集中在大田暗管埋设下的水分转化与水盐运移规律^[10-12]、暗管新材料新滤料的研发、暗管埋设参数的确定、暗管埋设方式的改进^[13]等方面,对于温室大棚等设施应用暗排技术的研究报道较少,暗排技术用于设施农业鲜见。本研究在连续多年单一种植切花菊的连栋大棚内施用暗管排水排盐技术,通过研究不同暗管间距对切花菊‘神马’的生长及设施连作土壤理化性质的影响,探讨暗排技术在设施连作土壤上应用的可行性,以期改良设施连作土壤及提高土地生产能力提供理论参考和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验条件及材料

试验于南京农业大学“中国菊花种质资源保存中

心”实验基地的连栋塑料大棚中进行。该连栋大棚已经连续多年单一种植切花菊,土壤质量已严重下降。

供试切花菊‘神马’为长势均一的扦插生根苗,插穗由上海虹华园艺有限公司提供。

1.2 试验设计

试验设置 2、4、6 m 三个暗管间距,同时进行稻草还田(800 kg/hm²)作为配套措施。试验处理包括:无暗管和无配套措施(CK)、无暗管和有配套措施(CK1)、暗管间距 2 m 和有配套措施(B2)、暗管间距 4 m 和有配套措施(B4)、暗管间距 6 m 和有配套措施(B6)5 个处理。暗管采用直径 11 cm 的 PVC 打孔波纹管,孔径 2 cm。暗管在 2015 年 12 月用荷兰进口机械埋管,开沟深度 0.6 m,使用砂滤料,制动埋管。

试验地经机械翻耕整地起垄,垄高 15 cm,垄宽 80 cm,垄间行距 55 cm。各处理选用长势均一的扦插生根苗于 2016 年 8 月 17 日定植于垄上。各处理设 3 个重复小区,每个小区定植 240 株扦插苗,小区规格为每行定植 8 株,株距 10 cm,行距 10 cm,小区之间用 20 cm 隔离带进行隔离。定植后进行正常水肥管理。

1.3 测定项目及方法

切花菊盛花时,从各处理 3 个重复小区中随机选择 90 株植株,测定切花菊的株高、茎粗、叶绿素、含氮量、花径、舌状花数、植株鲜重、生物量、根系活力。植株叶绿素及含氮量采用浙江托普仪器公司生产的植株养分速测仪 TYS-3N 在田间进行测定(叶绿素含量为 SPAD 值)。植株根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法测定^[14]。

切花菊采收前随机多点采集表层土壤样品,采样深度均为 0~15 cm,混匀,经自然风干后磨碎,过 1 mm 筛,进行相关指标的测定。土壤含水量采用烘干法测定^[15];电导率采用上海仪电雷磁 DDS-307 型电导率仪测定;有机质含量采用电热板加热-重铬酸钾容量法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用火焰光度计法测定^[16];全盐量用残渣烘干-质量法测定;K⁺、Na⁺采用火焰光度计法测定;Ca²⁺、Mg²⁺利用 EDTA 滴定法测定;CO₃²⁻、HCO₃⁻利用双指示剂-中和滴定法测定;Cl⁻利用硝酸银滴定法测定;SO₄²⁻利用 EDTA 间接络合滴定法测定^[16]。

所有指标均进行 3 次重复测定。

1.4 数据统计与分析

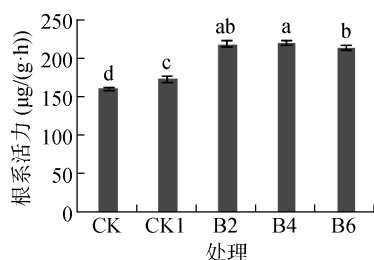
采用 Excel 2007 对试验数据进行统计与整理,采用 SPSS20 软件对数据进行单因素方差分析和差异

显著性检验(SSR 法, $P < 0.05$)。

2 结果

2.1 暗排技术对切花菊根系活力和品质的影响

由图 1 可知,相比 CK 处理,其余 4 个处理(CK1、B2、B4、B6)切花菊根系活力均有显著性增加,CK 处理切花菊根系活力最低,为 $163.2 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。与 CK 处理相比,不同埋管间距 (B2、B4 和 B6) 处理根系



(不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$), 下同)

图 1 不同埋管间距对切花菊根系活力的影响

Fig.1 Root activities of cut chrysanthemums with different pipe spacing

表 1 不同埋管间距对切花菊品质的影响

Table 1 Qualities of cut chrysanthemums with different pipe spacing

处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	叶绿素含量 (SPAD 值)	叶片含氮量 (mg/g)	花径 (cm)	舌状花数	花鲜重 (g/株)	植株鲜重 (g/株)	生物量 (g/株)
CK	60.27 ± 0.67 d	4.41 ± 0.06 c	18.28 ± 0.08 c	1.34 ± 0.012 b	11.90 ± 0.44 b	171.00 ± 8.45 c	21.89 ± 1.67 ab	60.82 ± 1.85 b	7.70 ± 0.36 c
CK1	68.87 ± 1.13 bc	4.92 ± 0.08 ab	20.52 ± 0.06 a	1.38 ± 0.003 a	12.07 ± 0.41 b	222.00 ± 10.93 ab	20.03 ± 2.04 ab	66.74 ± 4.92 ab	8.32 ± 0.17 b
B2	68.37 ± 1.75 bc	4.92 ± 0.03 ab	19.99 ± 0.16 ab	1.37 ± 0.011 a	12.87 ± 0.87 a	200.00 ± 16.80 bc	20.06 ± 1.32 ab	67.15 ± 3.19 ab	8.75 ± 0.22 b
B4	73.67 ± 1.15 a	5.16 ± 0.19 a	20.82 ± 0.60 a	1.42 ± 0.045 a	12.97 ± 0.38 a	231.00 ± 14.01 ab	24.44 ± 3.65 a	80.76 ± 5.12 a	9.54 ± 0.45 a
B6	72.07 ± 0.65 ab	5.02 ± 0.10 ab	20.74 ± 0.29 a	1.42 ± 0.009 a	12.30 ± 0.21 ab	241.00 ± 1.58 a	21.58 ± 0.37 ab	62.15 ± 6.39 b	8.43 ± 0.26 b

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 暗排技术对表层土壤基本性质的影响

土壤有机质作为土壤中最活跃的成分,能够为作物提供养分,是评价土壤肥力高低的重要指标之一。由图 2 可见,CK 处理有机质含量最低,为 $31.57 \text{ g}/\text{kg}$,但采取稻草还田配套措施后,有机质含量显著提高,即 CK1 处理为 $38.51 \text{ g}/\text{kg}$ 。与 CK 处理相比,B2、B4 和 B6 处理的有机质含量显著提高。其中,B4 处理的土壤有机质含量最高,且有机质含量显著高于 B2 和 B6 处理,说明 3 个暗管处理中暗管间距为 4 m 的处理对土壤有机质含量的增加效果最为明显。

由图 2 可见,与 CK 相比,采取稻草还田配套措施后,CK1 的速效钾和有效磷含量显著提高,碱解氮含量无显著变化,表明单一的稻草还田处理可以显著地增加土壤速效钾和有效磷的含量;与 CK 相比,暗排技术(B2、B4 和 B6)处理的有效磷和速效

活力分别提高 36.1%、37.3%、33.1%,其中,B4 处理对于提高切花菊根系活力最为明显,B6 处理根系活力低于 B2 和 B4 处理,但显著高于 CK1 处理,表明暗管技术配合稻草还田管理对根系活力的影响要强于单一稻草还田管理。

切花菊品质是一个综合的概念,涉及指标众多,评价难度较大。为了明确不同埋管间距对切花菊品质的影响,本研究从植株花、茎、叶 3 个方面的相关指标进行切花菊品质评价。由表 1 可知,与 CK 处理相比,其余处理切花菊品质各项指标均有提高。其中 B4 处理对切花菊品质影响最大,对切花菊株高、茎粗、叶绿素含量、花径、舌状花数等指标有显著提高,分别提高 22.2%、17.0%、13.9%、9.0%、35.1%。不同埋管间距 (B2、B4 和 B6) 处理间只有生物量指标达显著差异水平($P < 0.05$),B4 处理的生物量显著高于 B2 和 B6 处理,达 $9.54 \text{ g}/\text{株}$;与单一稻草还田(CK1)处理相比,B4 处理在株高、花径和生物量指标上显著提高,说明暗管排水排盐技术可以有效地促进植株的生长从而提高切花菊的品质。

钾含量均显著增加,其中 B4 处理的有效磷和速效钾含量最高,分别为 $44.82 \text{ mg}/\text{kg}$ 和 $330.01 \text{ mg}/\text{kg}$,但 B2 和 B6 处理有效磷和速效钾含量显著低于 CK1。暗排技术(B2、B4 和 B6)处理中只有 B4 处理的碱解氮含量相比于 CK 显著提高,达到 $159.60 \text{ mg}/\text{kg}$,表明当暗管间距为 4 m 时搭配稻草还田处理能更有效地提高土壤有效磷、速效钾和碱解氮的含量,对于表层土壤速效养分的增加效果最好。

CK 处理的表层土壤含水量最高,为 $223.3 \text{ g}/\text{kg}$ 。暗排技术处理(B2、B4 和 B6)的土壤含水量显著低于 CK 处理,分别降低 87.7、83.3 和 $63.3 \text{ g}/\text{kg}$ 。其中 B2 处理的土壤含水量最低,B4 处理次之,但处理之间差异不显著;与 CK1 处理相比,B2 和 B4 处理的土壤含水量显著降低,B6 处理的土壤含水量显著增加,说明暗管间距为 2 m 或 4 m 时搭配稻草还田措施能更有利于暗管排水作用从而降低表层土壤含水量。

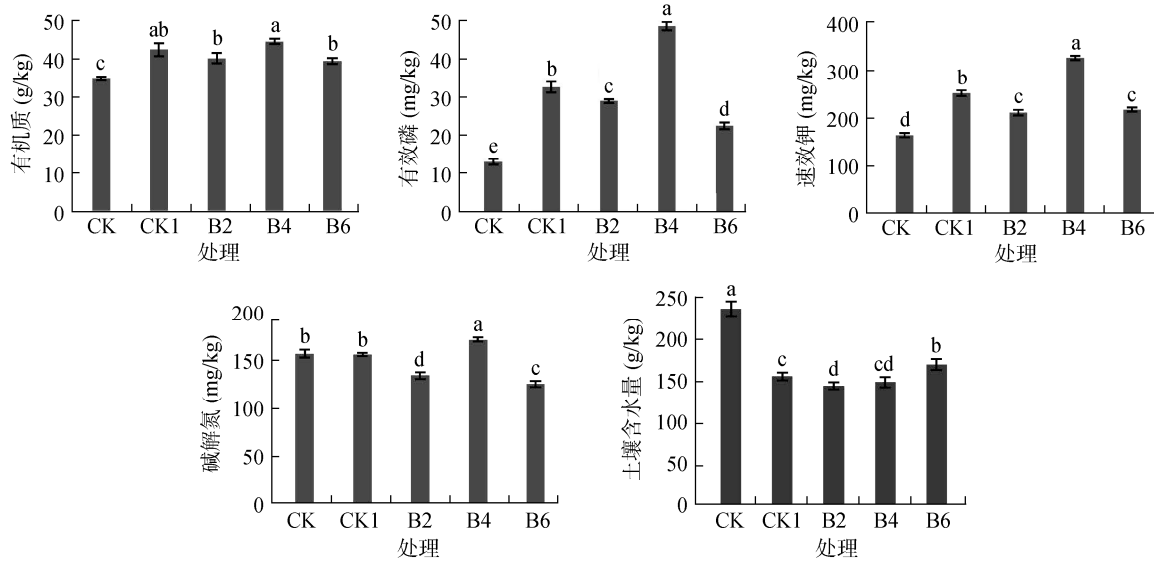


图 2 不同埋管间距对表层土壤基本性质的影响
Fig. 2 Soil basic properties of surface soils with different pipe spacing

2.3 暗排技术对表层土壤盐分指标的影响

由图 3 可知,与 CK 处理相比,各处理土壤电导率(EC)显著降低,表明暗排技术及稻草还田配套措施可以对于降低土壤电导率具有积极作用。其中施用暗排技术(B2、B4 和 B6)处理表层土壤电导率低于 CK1 处理,而且不同暗管间距的降低幅度为 2 m>4 m>6 m。可见,暗排技术配施稻草还田处理对土壤电导率的影响更大,且暗管间距越小土壤电导率降低越多。

土壤全盐量的变化可以判断土壤的盐渍状况和盐分动态。由图 3 可见,与 CK 处理相比,CK1 处

理土壤全盐量降低显著,说明稻草还田配套措施对于降低表层土壤含盐量起积极作用。与 CK 处理相比,B2、B4 和 B6 处理全盐量均显著下降,分别降低了 299.9、264.3 和 268.1 mg/kg。而且 B2、B4 和 B6 处理全盐量低于 CK1 处理,其中 B2 处理表层土壤全盐量最低。可见,暗排技术对土壤全盐量有改善作用,不同暗管间距的改善效果为 2 m>4 m>6 m。

由表 2 可知,研究区土壤的主要阳离子为 Ca²⁺ 和 Na⁺,阴离子主要为与 HCO₃⁻ 和 SO₄²⁻。与 CK 处理相比,CK1 处理阴离子中 SO₄²⁻ 和 CO₃²⁻ 含量均下

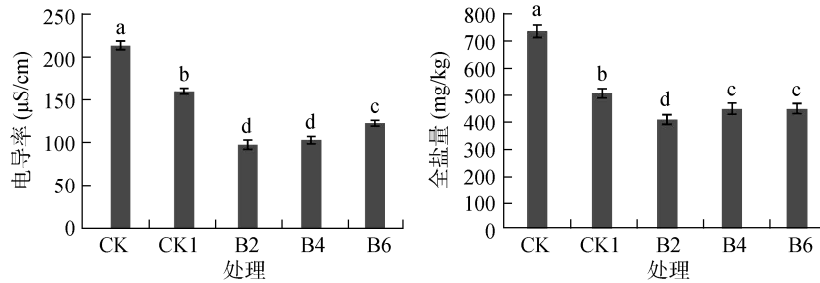


图 3 不同埋管间距对表层土壤电导率和全盐量的影响
Fig. 3 Electrical conductivities and total salt contents of surface soils with different pipe spacing

表 2 不同埋管间距对表层土壤盐分离子组成的影响

Table 2 Salt compositions of surface soils with different pipe spacing

处理	阴离子含量(mg/kg)				阳离子含量(mg/kg)			
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
CK	23.27 ± 0.83 a	42.45 ± 2.78 d	5.91 ± 0.59 d	147.20 ± 3.70 a	320.00 ± 13.33 a	21.69 ± 1.66 c	17.22 ± 0.65 bc	94.44 ± 2.00 a
CK1	20.56 ± 1.10 b	52.87 ± 1.08 c	9.22 ± 0.20 a	107.74 ± 7.07 b	173.33 ± 7.70 b	13.56 ± 2.25 d	25.00 ± 1.92 a	58.33 ± 3.85 c
B2	15.98 ± 0.77 d	83.37 ± 4.58 a	5.20 ± 0.12 d	84.27 ± 3.69 c	84.44 ± 4.44 e	37.95 ± 0.65 a	13.89 ± 1.11 c	47.22 ± 3.48 d
B4	18.11 ± 1.05 c	74.83 ± 1.07 b	8.46 ± 0.31 b	72.54 ± 8.29 d	142.22 ± 8.89 c	24.40 ± 0.41 b	14.56 ± 1.47 c	72.78 ± 3.24 b
B6	21.34 ± 0.58 b	80.84 ± 2.41 a	7.45 ± 0.12 c	82.14 ± 7.69 cd	115.56 ± 4.45 d	18.98 ± 1.22 c	15.55 ± 2.00 c	42.22 ± 1.67 d

降显著, HCO_3^- 和 Cl^- 处理含量显著增加, 而阳离子中除 K^+ 有所增加外其他离子均明显下降, 说明稻草还田配套措施可有效降低表层土壤阳离子含量。与 CK1 处理相比, 施用暗排技术的(B2、B4 和 B6) 处理除 HCO_3^- 和 Mg^{2+} 外其他离子均显著下降, 其中 SO_4^{2-} 的含量为 $\text{B2} > \text{B6} > \text{B4}$, Ca^{2+} 的含量为 $\text{B4} > \text{B6} > \text{B2}$, Na^+ 的含量为 $\text{B4} > \text{B2} > \text{B6}$ 。可见, 暗管技术搭配稻草还田措施更有利于降低表层土壤盐分离子含量。

3 讨论

暗管排水是相对于明沟而言的。长期以来, 我国农田普遍采用明沟排水, 明排存在沟坡不稳定、沟道淤积、占用耕地、易生杂草等诸多问题。20 世纪 60 年代, 河南、江苏等省率先开展暗管排水试验。此后, 该技术逐渐由排水发展至降渍排盐双重功能, 并作为我国改良土壤盐渍化的一项重要工程措施, 在滨海盐碱土、干旱半干旱地区盐碱土、苏打盐碱土、大棚次生盐碱土、涝渍土等不同类型土壤的多个地区开展了不同程度的应用研究^[17]。多位学者开展了田间排水降渍效果试验研究, 结果均表明, 应用暗排技术可改善土壤质量进而提高水稻、小麦、棉花等农作物的产量和品质^[18-20]。本研究结果发现, 暗排技术对于切花菊‘神马’的根系活力的增强具有积极作用, 增强了切花菊的根系活力进而影响地上部分的长势。在茎、叶和花上相关指标均有不同程度的提高进而增强切花菊的整体品质, 经济效益增大。这与暗排技术对土壤有效的改良作用息息相关。本研究结果表明, 4 m 间距暗管排水可以降低地下水位和地下水矿化度, 提高土体脱盐效果最佳, 与魏开基等^[21]的研究结果相符。

土壤有机质是土壤肥力的最重要因子, 是土壤质量的核心表现。其能够提供作物养分, 起到保水、保肥和缓冲作用, 能够促进团粒结构的形成, 改善土壤物理条件^[22]。本研究结果表明, 暗排技术可以增加土壤有机质的含量, 并且不同暗管间距之间增幅不一, 当暗管间距为 4 m 时土壤有机质含量增加最多。这与田玉福等^[23]关于在改土基础上暗管间距小于 20 m 处理对表层土壤渗透性和土壤有机质含量有显著改善作用的研究结果一致。土壤养分是土壤肥力的重要物质基础, 农作物吸收的氮磷钾绝大部分是从土壤中吸收的。其中, 速效养分是指碱解氮、有效磷、速效钾。在李晓华^[7]的研究中, 暗管排水可以增加土壤有机质量, 降低土壤全氮量, 增加土壤全磷量, 增加土壤速效氮、磷、钾含量。本研究发现, 在稻草还田配套条件下暗管间距为 4 m 时土壤中碱解氮、有效

磷和速效钾的含量分别提高 9.27%、271.34% 和 100%, 这一结果表明 4 m 暗管间距排水能明显改善土壤肥力, 这是由于暗管排水处理后研究区土壤条件得以改善, 微生物新陈代谢加强, 有效微生物对秸秆中养分的释放具有一定促进作用, 从而使得有机质含量和速效养分含量也逐步增加^[24]; 2 m 和 6 m 暗管间距排水处理土壤碱解氮含量有所下降, 这是由于 4 m 暗管间距排水处理后植株根系活力和土壤有机质含量高于 2 m 和 6 m 暗管间距排水处理, 有机质含量的高低直接影响碱解氮的含量, 碱解氮含量随着有机质含量的增加而增加^[25], 以及植物根系的吸收作用等综合作用的结果^[26]。

土壤电导率(EC)是盐分胁迫程度的强度指标, 反映了土壤含盐量的大小, 根据水盐运移规律, 土壤中的盐分主要是随水分而运动。许多研究者认为, 暗管埋设可以有效地控制地下水位, 并且可以截流排除入渗水, 有利于土壤脱盐^[27-29]。本研究表明, 埋设不同间距的暗管均可降低表层土壤的含水量、电导率和全盐量, 具有有效的排水和降盐作用。其中土壤含水量、电导率和全盐量均随暗管间距的减小而降低。上述结果表明, 暗管间距越小, 降渍排盐效果越明显。对于表层土壤水溶性盐基离子施用暗排技术的处理(B2、B4 和 B6)可使除 HCO_3^- 和 Mg^{2+} 外其他离子均显著下降, HCO_3^- 和 Mg^{2+} 含量不降反升一方面可能由于土壤对其有很强的吸附性, 不易于向下淋洗^[30], 另一方面可能随着暗排技术的应用使土壤微生物环境得到明显改善, 植物根系活动所释放的有机酸和酶类物质对土壤中 MgCO_3 的活化作用, 使得土壤中的 Mg^{2+} 含量增加且土壤 pH 降低, H^+ 增多, CO_3^{2-} 与 H^+ 结合生成 HCO_3^- , 导致离子含量升高^[31]。但是, 在一定区域范围内, 间距的缩小势必会增加暗管的数量、增大一次性投资, 同时也相应增加后期的维护、管理费用, 因此, 最佳间距的确定, 必须合理平衡降渍效果和资金投入的矛盾。暗排技术因各地区的排盐降渍需求各不相同, 因此不宜制定统一的技术标准。但本研究结果可为今后制定具有地区适宜性的暗管间距及相应配套技术的技术标准和实施规程提供重要的理论参考。

4 结论

稻草还田条件下施用暗排技术可显著增加设施连作土壤表层有机质和速效养分(碱解氮、有效磷和速效钾)的含量, 增强切花菊根系活力, 且降渍排盐效果明显, 从而促进切花菊品质的提高。不同埋管间

距处理之间的降渍脱盐效果有差异,埋管间距越小效果越明显;不同埋管间距对土壤有机质和速效养分影响显著,埋管间距为 4 m 时,土壤有机质和速效养分含量显著高于 2 m 和 6 m,且切花菊根系活力最大。综合考虑,稻草还田条件下施用暗排技术,4 m 的埋管间距可有效改良设施连作土壤及提高切花菊品质。

参考文献:

- [1] 周凯. 菊花自毒作用的初步研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [2] 陈希, 赵爽, 姚建军, 等. 微生物有机肥及杀菌剂对切花菊连作障碍的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1231-1236.
- [3] Ritzema H P, Nijland H J, Croon F W. Subsurface drainage practices: From manual installation to large-scale implementation[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 86(1): 60-71.
- [4] 张亚年, 李静. 暗管排水条件下土壤水盐运移特征试验研究[J]. 人民长江, 2011, 42(22): 70-72.
- [5] 于淑会, 刘金铜, 李志祥, 等. 暗管排水排盐改良盐碱地机理与农田生态系统响应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(12): 1664-1672.
- [6] 金斌斌. 长江下游滨海地区暗管降渍脱盐技术研究[D]. 南京: 河海大学, 2002.
- [7] 李晓华. 黄河三角洲农田暗管排盐效果研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [8] 刘鹏. 河北近滨海盐碱区基于暗管建设的水土资源管理与利用研究[D]. 石家庄: 河北农业大学, 2013.
- [9] 刘永, 王为木, 周祥. 滨海盐土暗管排水降渍脱盐效果研究[J]. 土壤, 2011, 43(6): 1004-1008.
- [10] 袁念念, 黄介生, 谢华, 等. 暗管控制排水对棉田排水的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(2): 28-31.
- [11] 邵孝侯, 郭相平, 戴振伟, 等. 塑料暗管排灌对麦田土壤水分调控的试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(2): 32-35.
- [12] Rao K V R, Bhattacharya A K. Salinity distribution in paddy root zone under subsurface drainage[J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 48(2): 169-178.
- [13] 鲍子云, 仝炳伟, 张占明. 宁夏引黄灌区暗管排水工程外包料应用效果分析[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 47-50.
- [14] 董雅致, 徐克章, 崔喜艳, 等. 不同年代大豆品种根系活力的变化及其与植株生物量的关系[J]. 植物生理学报, 2015, 51(3): 345-353.
- [15] 张学礼, 胡振琪, 初士立. 土壤含水量测定方法研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 118-123.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [17] 李华. 暗排技术在不同类型农田土壤改良中的应用研究进展[J]. 现代农业科技, 2014(19): 242-245.
- [18] 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.
- [19] 柳先进. 利用暗管排水治理山区渍害田探讨[J]. 中国农村水利水电, 2011(12): 58-60.
- [20] 张兰亭. 暗管排水改良滨海盐土的效果及其适宜条件[J]. 土壤学报, 1988(4): 356-365.
- [21] 魏开基, 吴芝成, 韩宏儒, 等. 滨海盐渍土稻田暗管排水的研究[J]. 土壤通报, 1995, 26(2): 56-58.
- [22] 王涛, 安丰华, 窦森, 等. 暗管条件下深松对苏打草甸碱土理化性质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(5): 545-552.
- [23] 田玉福, 窦森, 张玉广, 等. 暗管不同埋管间距对苏打草甸碱土的改良效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 145-153.
- [24] 黄静, 姜超. 暗管排水条件下不同调控措施对土壤养分和烤烟产量的影响[J]. 江西农业学报, 2014(11): 90-92.
- [25] 姚志龙. 陇东果园及大田土壤有机质含量对土壤氮素营养的影响[J]. 北方园艺, 2016(18): 176-180.
- [26] 袁念念, 黄介生, 谢华, 等. 暗管控制排水棉田 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 运移转化试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 13-18.
- [27] Bahçeci İ, Nacar A S. Subsurface drainage and salt leaching in irrigated land in south-east Turkey[J]. *Irrigation & Drainage*, 2009, 58(3): 346-356.
- [28] 艾天成, 李方敏. 暗管排水对涝渍地耕层土壤理化性质的影响[J]. 长江大学学报: 农学卷, 2007, 4(2): 4-8.
- [29] 衡通, 王振华, 李文昊, 等. 滴灌条件下排水暗管埋深及管径对土壤盐分的影响[J]. 土壤学报, 2018, 55(1): 1-11.
- [30] 周丽, 王玉刚, 李彦, 等. 盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响[J]. 干旱区地理, 2013(2): 285-291.
- [31] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 等. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J]. 土壤, 2009, 41(4): 664-669.