

稻草还田对设施切花菊品质及连作土壤养分的影响

张凯凯, 陈慧杰, 赵佳淼, 江 泾, 管志勇, 房伟民, 陈发棣, 赵 爽*
(南京农业大学园艺学院/农业部景观设计重点实验室, 南京 210095)

摘要: 【目的】针对设施切花菊连作土壤质量严重下降切花菊品质逐年下降的现象, 研究探讨暗管排水(埋管最适间距 2 m)条件下, 稻草还田措施对设施切花菊‘神马’连作土壤理化性质及品质的改善效果。【方法】试验设 5 个处理: 1) 无暗管和 无秸秆还田 (CK); 2) 有暗管和 无秸秆还田 (PS₀); 3) 有暗管和 800 kg/hm² 秸秆还田 (PS₈₀₀); 4) 有暗管和 1600 kg/hm² 秸秆还田 (PS₁₆₀₀); 5) 有暗管和 2400 kg/hm² 秸秆还田 (PS₂₄₀₀)。测定温室耕作层土壤 (0—15 cm) 养分含量、阳离子交换量、全盐含量以及植株主要生理指标。【结果】暗管排水条件下, 不同稻草还田量均可显著增加土壤中的有机质含量、有效磷含量及速效钾含量。与 CK 相比, 1600 kg/hm² 稻草还田量处理后土壤碱解氮含量最低, 而土壤的阳离子交换量与其他处理相比分别增加了 32.7%、23.6%、11.4%、8.23%; 除此之外, 各稻草还田处理均可有效降低土壤 pH 值、土壤全盐量及电导率, 其中 1600 kg/hm² 稻草还田量处理后土壤耕作层电导率最低, 为 167 μS/cm, 相比 CK 下降了 31.1%; 各稻草还田处理使切花菊的株高、茎粗、舌状花数、花鲜重和生物量等主要生理指标显著提高, 切花菊‘神马’的株高、舌状花数、生物量在 1600 kg/hm² 稻草还田处理下显著高于其他处理。【结论】1600 kg/hm² 稻草还田量为本试验综合效果最佳的处理, 其对设施切花菊‘神马’土壤理化性质改善明显, 土壤肥力增加显著, 切花菊品质提高最佳。

关键词: 稻草还田; 切花菊; 有机质; 阳离子交换量; 全盐量; 外观品质

Effect of straw returned into field on quality of greenhouse cut chrysanthemum and soil nutrient status with continuous cropping

ZHANG Kai-kai, CHEN Hui-jie, ZHAO Jia-miao, JIANG Jin, GUAN Zhi-yong, FANG Wei-min,
CHEN Fa-di, ZHAO Shuang*
(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Landscape Design,
Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China)

Abstract: 【Objectives】Due to the deterioration of soil properties and the quality decreasing of cut chrysanthemum in continuous cropping system year by year in greenhouse, the effect of straw returned into field on soil properties and the quality of cut chrysanthemum ‘Jimba’ was studied. 【Methods】Under subsurface pipe drainage (optimum spacing of buried pipe 2 m) condition, the different straw amounts (0, 800, 1600 and 2400 kg/hm²) were returned and their effect on the quality of cut chrysanthemum ‘Jimba’ and on soil properties were investigated through the determination of the nutrients, cation exchange capacity and total salt content in tillage layer soil (0–15 cm) and the main physiological parameters as well. 【Results】Under the condition of subsurface pipe drainage, different amounts of straw returned could significantly increase soil organic matter, available phosphorus and readily available potassium contents. Compared with the control, the content of available nitrogen in soil showed the lowest after applied with 1600 kg/hm² straw, while the soil cation exchange capacity was increased by 32.7%, 23.6%, 11.4%, and 8.23%, respectively compared with other treatments. In addition, the treatments of returning straw into field could effectively reduce the pH, total salt content and electrical conductivity of the tillage layer soil, and the electrical conductivity of tillage layer soil after applied with

收稿日期: 2018–05–28 接受日期: 2018–08–01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 (CX161025); 江苏省科研院校农技推广服务试点项目 (TG17002); 淮安市重点研发 (现代农业) 计划 (HAN201619); 江苏省产学研前瞻性联合研究项目 (BY2016077-06)。

联系方式: 张凯凯 E-mail: 2015104103@njau.edu.cn; * 通信作者 赵爽 E-mail: zhaoshuang@njau.edu.cn

1600 kg/hm² straw was the lowest (167.2 μS/cm), which was 31.1% lower than that of CK. The main physiological indexes such as plant height, stem diameter, ray florets, flower fresh weight, and biomass were significantly increased in all the treatments evaluated. Among them, application of 1600 kg/hm² straw into field had a significant increase in plant height, ray flowers, and biomass than other treatments. 【 **Conclusions** 】 The application of 1600 kg/hm² straw was the optimal treatment of all the treatments evaluated, not only the soil physical and chemical properties were improved obviously, but also the soil fertility and the quality of the cut chrysanthemum ‘Jimba’ were increased significantly.

Key words: straw returned to field; cut chrysanthemum; organic matter; cation exchange capacity; total salt content; appearance quality

菊花 (*Chrysanthemum morifolium*) 起源于我国, 是我国十大名花及世界四大切花之一, 观赏及经济价值较高, 占鲜切花总产量的 30%, 在世界花卉产业中占有极其重要的地位^[1]。近年来随着国内外市场对切花菊需求的增加, 我国设施切花菊产业飞速发展, 生产面积不断扩大。同时, 高投入、高产出、高效益的集约化、规模化生产的设施栽培特点伴随着种植年限的持续积累, 导致土壤理化性状变劣、养分比例失调、次生盐渍化加重等现象普遍出现, 进而使切花菊品质严重下降^[2]。日益严重的切花菊连作障碍成为限制其可持续生产的瓶颈之一。因此, 克服切花菊连作所引发的一系列产量降低、品质变劣的现象已经迫在眉睫。

稻草作为重要的农作物秸秆之一, 资源量大, 覆盖面广, 含有丰富的氮、磷、钾和微量元素养分, 是我国重要的有机肥料^[3]。秸秆还田是保护性耕作的有效技术措施之一, 它具有节水、节本、增产、增效、环保等特点, 促进了农业的可持续发展^[4]。秸秆中富含纤维素、木质素等富碳物质可形成土壤有机质, 同时, 还可以促进土壤微粒的团聚作用, 进而改善土壤物理结构, 增加土壤孔隙度和保水能力^[5]。据报道, 秸秆还田具有改善土壤理化性状和生物学性状, 提高土壤有机质和速效养分含量, 增加土壤肥力, 促进植株生长和根系发育, 进而提高作物产量和质量等作用^[6-9]。目前秸秆还田已成功应用于大田培肥、改土、改善农田生态环境上^[10], 然而应用秸秆改良温室连作土壤理化性质的报道还比较鲜见。本文在连续多年单一种植切花菊 ‘神马’ 的连栋温室内, 进行了不同稻草秸秆还田量对设施连作土壤改良及提高切花菊品质的研究, 以期对设施连作土壤改良提供理论技术依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验在南京农业大学 “中国菊花种质资源保存

中心” 实验基地的连栋薄膜温室中进行。该温室已经连续 5 年单一种植切花菊, 土壤质量严重下降。土壤暗管采用直径 11 cm 的 PVC 波纹管, 出水孔径 2 cm, 孔间距 30 cm。暗管于试验前开沟深 0.6 m, 管间距 2 m, 使用 1~2 cm 砂滤料埋土中。

试验所用切花菊 ‘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

2015 年 12 月进行试验处理, 稻草秸秆按试验设计要求提前翻耕至土中。试验设 5 个处理: 1) 无暗管和无秸秆还田 (CK); 2) 有暗管和无秸秆还田 (PS₀); 3) 有暗管和 800 kg/hm² 秸秆还田 (PS₈₀₀); 4) 有暗管和 1600 kg/hm² 秸秆还田 (PS₁₆₀₀); 5) 有暗管和 2400 kg/hm² 秸秆还田 (PS₂₄₀₀)。

各处理用长势均一的扦插生根苗, 于 2016 年 8 月 17 日定植在经机械翻耕整成的栽培垄上, 10 cm × 10 cm 间距定植扦插苗, 垄高 15 cm, 垄宽 80 cm, 垄间行距为 55 cm。各处理设 3 个重复小区, 小区面积 2.4 m² (0.8 m × 3.0 m), 小区规格为每行定植 8 株, 每个小区定植 240 株扦插苗, 小区之间用 20 cm 空白隔离带进行隔离。所有处理定植后统一进行正常水肥管理。

1.3 测定项目与方法

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, 以常规方法测量切花菊的株高、茎粗、花径、舌状花数, 花径为花序盛开时最大花序横径的测定值。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), 植株冲洗干净后测定鲜重 (包括地下部分), 烘干后测定生物量。所有指标均进行 3 次重复测定。

表层土壤样品在切花菊采收前随机多点取样, 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 pH 采用酸度计法测定 (土 : 水为 1 : 5); 土壤电导率采用上海仪电雷磁 DDS-307 型电导率仪测定。

有机质的测定采用电热板加热—重铬酸钾容量法; 碱解氮采用碱解扩散法; 有效磷采用钼锑抗比色法测定; 速效钾采用火焰光度法测定; 全盐量利用残渣烘干质量法测定; 阳离子交换量用氯化铵—乙酸铵交换法^[11]。

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 SPSS 20 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 结果与分析

2.1 不同稻草还田量处理对耕层土壤养分的影响

2.1.1 土壤有机碳含量 图 1 显示, 相比 CK 处理, 其他 4 个处理有机碳含量均显著提高, 且 PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 处理的有机碳含量显著高于 PS₀ 处理, 说明暗管条件下稻草还田处理对土壤有机碳含量的增加效果显著。但不同稻草还田量的 PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 三个处理之间土壤有机碳含量无显著差异。

2.1.2 土壤速效 N、P、K 含量 图 1 显示, 相比 CK, 各处理的碱解氮含量均显著降低, 但相比 PS₀ 处理, 三个稻草还田处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀) 的表层土壤碱解氮含量均显著升高, 这表明稻草还田可以有效地增加土壤碱解氮含量。其中 PS₂₄₀₀ 处理的土壤碱解氮含量最高, PS₈₀₀ 处理次之, PS₁₆₀₀ 处理的土壤碱解氮含量显著小于 PS₈₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 处理。

与 CK 相比, 稻草还田处理后各处理土壤有效磷含量显著增加, 其中 PS₁₆₀₀ 处理有效磷含量最高, 为 26.79 mg/kg。稻草还田处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀) 的表层土壤有效磷含量均显著高于 PS₀ 处理, 说明暗管条件下稻草还田可以有效提高土壤有效磷含量, 且 800 kg/hm² 稻草还田量效果最优 (图 1)。

与 CK 相比, 各处理的土壤速效钾含量均显著提高, 且不同稻草还田处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀) 之间差异显著, 土壤速效钾含量由高到低为 PS₁₆₀₀ > PS₂₄₀₀ > PS₈₀₀ > PS₀, 这表明 PS₁₆₀₀ 处理对土壤速效钾含量影响最大, 提高量最多 (图 1)。

2.2 不同稻草还田量处理对耕层土壤 pH 的影响

由图 2 可见, CK 处理的土壤 pH 最高, 为 6.71。相比 PS₀ 处理, 稻草还田各处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀

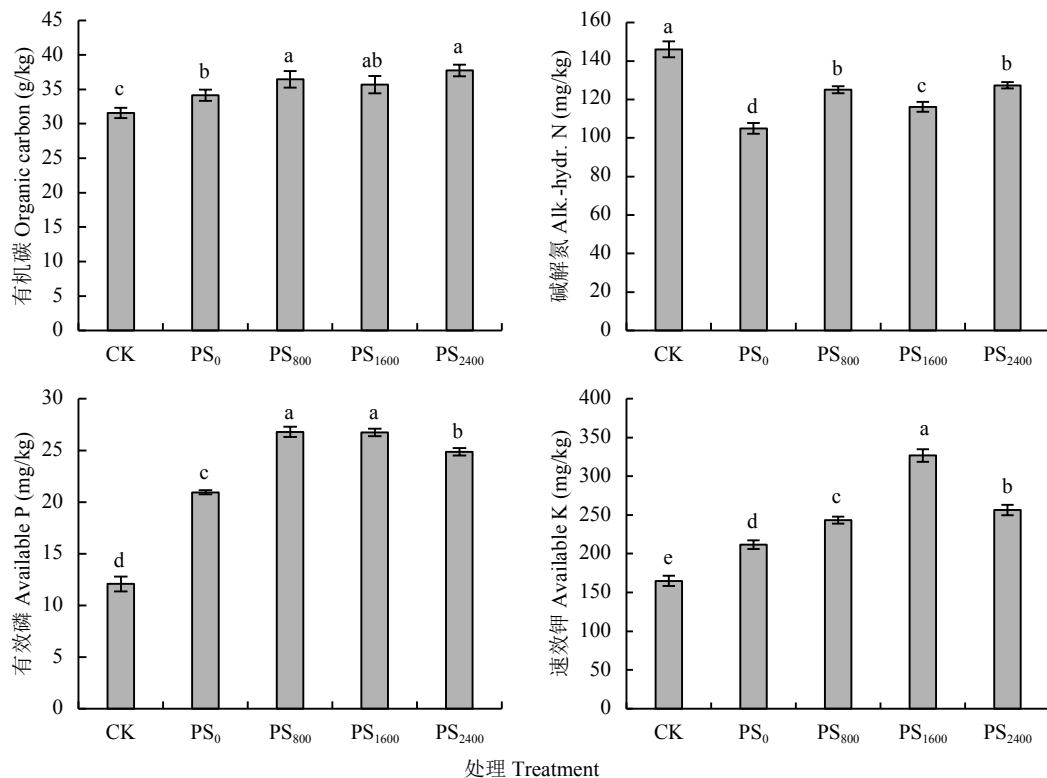


图 1 不同稻草还田量下耕作层土壤有机碳和养分含量

Fig. 1 Organic carbon and nutrient contents in plough layer of soil under different straw returning rates

[注 (Note): 方柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Different small letters above bars mean significant differences among the treatments ($P < 0.05$).]

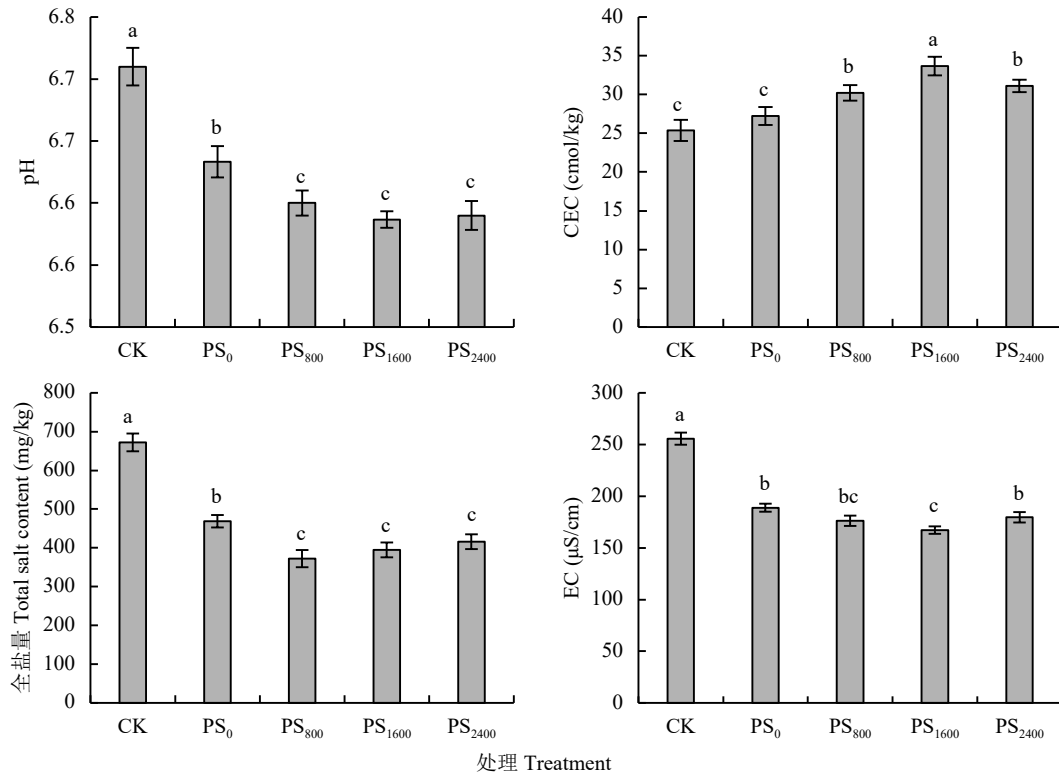


图 2 不同稻草还田量处理对耕作层土壤 pH、CEC 和含盐量的影响

Fig. 2 Effects of different straw returning rates on soil pH, CEC and salt content in soil plough layer

[注 (Note): 方柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Different small letters above bars mean significant differences among the treatments ($P < 0.05$.)

和 PS₂₄₀₀) 土壤 pH 显著降低, 各还田处理之间无显著差异, 表明稻草还田可有效降低土壤的 pH, 改善土壤酸碱度利于植株生长。

2.3 不同稻草还田量处理对耕层土壤阳离子交换量 (CEC) 的影响

土壤阳离子交换量对土壤保肥、供肥和缓冲性能都有很大影响, 一般阳离子交换量大的土壤保肥性能强。由图 2 可见, 与 CK 相比, PS₀、PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 的阳离子交换量均有升高。其中稻草还田处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀) 的阳离子交换量显著增加, PS₁₆₀₀ 处理的阳离子交换量在各处理中最高, 比 CK 升高了 8.30 cmol/kg, 比 PS₀ 升高了 6.44 cmol/kg。由此可见, 施用稻草可提高土壤的阳离子交换量, 从而对土壤保肥能力的提高具有重要的作用。

2.4 不同稻草还田量处理对表层土壤盐分的影响

2.4.1 土壤全盐量 土壤全盐量的变化可以一定程度上反映土壤的盐渍状况和盐分动态。由图 2 可知, 与 CK 相比, 各处理的表层土壤全盐量均显著下降。并且稻草还田处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀) 的全盐量显著小于 PS₀ 处理, 其中 PS₀ > PS₂₄₀₀ > PS₁₆₀₀ >

PS₈₀₀。表明稻草还田可以有效抑制土壤盐分表聚, 达到降低表层土壤盐分的目的。

2.4.2 土壤电导率 (EC) 土壤电导率是反映土壤中水溶性盐分变化的重要指标, 从而借此判定土壤中盐类离子是否限制作物生长。由图 2 可知, 与 CK 相比, 各处理的土壤电导率值均显著下降。土壤电导率 PS₀ > PS₂₄₀₀ > PS₈₀₀ > PS₁₆₀₀, 其中 PS₁₆₀₀ 处理的下降幅度最大, 下降了 88.48 µS/cm, 电导率降低显著。

2.5 不同稻草还田量处理对切花菊品质的影响

由表 1 可知, 与 CK 相比, 各处理的切花菊品质各项指标均有提高, 并且处理 PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 各项指标均达到显著差异; 相比 PS₀ 处理, 稻草还田处理 (PS₈₀₀、PS₁₆₀₀ 和 PS₂₄₀₀) 在茎粗、花鲜重和生物量指标上显著增加; 所有处理中以 PS₁₆₀₀ 综合效果最佳, 除茎粗及叶片含氮量, 其它各项指标均高于 PS₈₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 处理, 并在株高、舌状花数、生物量上显著高于 PS₈₀₀ 和 PS₂₄₀₀ 处理。

3 讨论

随着农业生产集约化程度的不断提高, 化肥用量日益增长, 而有机肥施用量大幅度降低, 秸秆已

表 1 不同稻草还田量处理下切花菊的品质

Table 1 Quality of cut chrysanthemum affected by different straw returning rates

处理 Treatment	株高 Shoot height (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	SPAD	叶片含氮量 Leaf N content (mg/g)	花径 Flower diameter (cm)	舌状花数 Rayfloret number	鲜花重 Flower weight (g/plant, FW)	植株鲜重 Shoot weight (g/plant)	生物量 Shoot dry weight (g/plant)
CK	60.27 ± 0.67 c	4.41 ± 0.06 c	18.28 ± 0.08 b	1.24 ± 0.000 b	10.87 ± 0.87 c	171 ± 8.45 c	16.89 ± 1.67 b	57.24 ± 5.48 c	7.56 ± 0.26 d
PS ₀	63.37 ± 1.49 b	4.68 ± 0.18 b	19.89 ± 0.33 a	1.37 ± 0.033 a	12.37 ± 0.24 a	201 ± 4.52 b	18.79 ± 1.33 b	61.82 ± 1.85 bc	10.37 ± 0.18 c
PS ₈₀₀	64.37 ± 1.75 b	4.92 ± 0.03 a	19.99 ± 0.16 a	1.37 ± 0.011 a	11.90 ± 0.44 b	200 ± 6.80 b	20.06 ± 1.32 a	66.15 ± 3.19 a	11.55 ± 0.88 b
PS ₁₆₀₀	66.83 ± 1.57 a	4.85 ± 0.05 a	20.00 ± 0.26 a	1.36 ± 0.019 a	12.70 ± 0.58 a	213 ± 5.29 a	22.49 ± 1.50 a	67.73 ± 2.78 a	13.44 ± 1.02 a
PS ₂₄₀₀	64.13 ± 0.83 b	4.84 ± 0.08 a	20.03 ± 0.40 a	1.37 ± 0.032 a	12.20 ± 0.17 a	207 ± 6.28 ab	20.84 ± 0.93 a	64.21 ± 2.68 ab	11.51 ± 0.72 b

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Values followed by different lowercase letters in the same column mean significant difference among treatments ($P < 0.05$).

成为尤为重要的有机肥源之一。稻草秸秆既具有丰富的作物生长所必需的氮、磷、钾等营养元素, 又具有提高土壤肥力、增加土壤有机酸等作用, 同时可以改善植物的生物学性状^[12]。作物秸秆是形成土壤有机质的主要来源, 大多数试验证明, 秸秆还田有利于增加土壤有机质含量, 有机质含量是反映土壤肥力高低的重要指标之一, 亦是直接影响土壤通气状况和土壤温度等因素的重要参数。王玄德等^[13]通过 8 年定位试验结果表明, 稻草还田各处理耕层土壤有机质含量提高明显; 陈德章等^[14]在研究秸秆对土壤有机质含量的影响中发现施用秸秆处理后, 土壤有机质含量随秸秆还田量的增加而增加。这与本研究结果一致, 本研究发现暗管条件下稻草还田处理对土壤有机质含量的增加显著, 表明暗管排水条件下稻草还田是增加土壤有机质含量的有效措施之一。周江明等^[15]研究表明, 在 0—20 cm 的耕作层内实行水稻秸秆还田土壤中的氮、磷、钾含量都有大幅度提高, 这些养分的积累并随着年限的增加, 增幅逐渐下降, 渐渐达到趋于平稳的状态。王玄德等^[13]试验表明, 稻草还田的各处理, 土壤全氮明显提高, 碱解氮、速效钾与试验前基本一致。而本研究发现, 最适暗管深埋条件下 (2 m), 相比对照稻草还田处理可以有效地提高土壤有效磷和速效钾含量, 且施用 1600 kg/hm²稻草还田量时对切花菊土壤养分改善效果最好, 但土壤中碱解氮含量有所降低, 这可能是由于土壤中的氮素因挥发、淋失、植物吸收等因素所导致^[16]。

土壤阳离子交换量对土壤保肥、供肥和缓冲性能都有很大影响。本研究中, 稻草还田处理 (800、1600 和 2400 kg/hm²) 的阳离子交换量显著增加, 其中 1600 kg/hm² 稻草还田量处理的阳离子交换量增幅

最高, 与对照相比升高了 8.30 cmol/kg, 这一结果与何志刚等^[17]研究结果相似, 研究发现施用稻草可提高温室土壤阳离子交换量, 其中交换性钾离子含量明显增加, 交换性 Ca²⁺也随稻草及生物菌剂的施用而增加, 交换性 Na⁺、Mg²⁺则相反。土壤 pH 值对土壤微生物活性、有机质转化及土壤养分迁移等均有重要影响^[18]。本研究发现稻草还田处理后各处理土壤 pH 显著降低, 这与韩玉珠等^[2]单施稻草、稻草与生物菌剂配施处理土壤的 pH 均比对照降低的研究结果一致。这是由于施用稻草分解过程中产生二氧化碳、有机酸及无机酸等物质, 在一定程度上调节了土壤的酸碱度, 进而使得土壤 pH 表现出不同程度降低。

设施土壤长期得不到雨水淋洗, 蒸发强烈, 盐分易于表层聚集进而形成盐渍土。本研究结果表明, 暗管条件下稻草还田可以使土壤中全盐量和 EC 值显著降低, 进而有效抑制土壤盐分表聚, 达到降低表层土壤盐分的目的。这一结果与娄春荣等^[19]研究得出的番茄在生长过程中秸秆还田处理土壤电导率大幅度下降的结果一致。稻草等有机物施用可降低土壤的 pH, 同时也降低土壤的 EC 值, 随用量增加, 土壤 pH 有所降低, 土壤 EC 值降低幅度较大^[20-21]。

4 结论

最适暗管排水 (2 m) 条件下, 稻草还田可显著增加表层土壤有机质含量和速效养分 (有效磷和速效钾) 的含量, 降低土壤 pH, 抑制土壤盐类向表层积累, 增加土壤阳离子交换量, 从而改善土壤的理化性质, 提高切花菊的品质。施用 1600 kg/hm² 稻草还田量为试验中综合效果最佳的处理, 可有效改良设施连作土壤理化性质及提高切花菊品质。

参 考 文 献:

- [1] 闫超. 水稻秸秆还田腐解规律及对土壤养分和酶活性的影响[D]. 沈阳: 东北农业大学硕士学位论文, 2012.
Yan C. Decomposition regularity of rice straw returning to soil and its effect on soil nutrients and enzyme activity[D]. Shenyang: MS Thesis of Northeast Agricultural University, 2012.
- [2] 韩玉珠, 宋述尧. 稻草配施生物菌剂对大棚连作土壤的改良效果[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(8): 1544-1547.
Han Y Z, Song S Y. Improvement effects of rice straw mixed with biological agent on plastic shed continuous cultivation soil[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(8): 1544-1547.
- [3] Hamido S A, Kpombekou A K. Cover crop and tillage effects on soil enzyme activities following tomato[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 105(2): 269-274.
- [4] 黄国强. 稻草还田对烤烟产质及土壤理化性状的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2006.
Huang G Q. Effects of returning straws-to-field on yield and quality of flue-cured tobacco, soil physical and chemical characteristics [D]. Changsha: MS Thesis of Hunan Agricultural University, 2006.
- [5] Dikgwatlhe S B, Chen Z D, Lal R, *et al.* Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under wheat-maize cropping system in the North China Plain[J]. *Soil & Tillage Research*, 2014, 144(4): 110-118.
- [6] Zhang P, Chen X, Wei T, *et al.* Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2016, 160: 65-72.
- [7] 尚志强, 张晓海, 邵岩, 等. 秸秆还田和覆盖对烤烟生长发育及品质的影响[J]. 烟草科技, 2006, (1): 50-53.
Shang Z Q, Zhang X H, Shao Y, *et al.* Effects of straw back-applying and mulching on flue-cured tobacco growth, development and quality[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2006, (1): 50-53.
- [8] 孟艳玲, 王丽萍, 杨合法, 等. 长期施用有机肥对温室土壤盐分积累的抑制作用[J]. 长江蔬菜, 2008, (5): 54-56.
Meng Y L, Wang L P, Yang H F, *et al.* Effects of long-term application of organic manure on controlling salt accumulation in greenhouse soil[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2008, (5): 54-56.
- [9] 钱宏兵, 韩春贵, 钱存进, 等. 稻麦秸秆直接还田技术的研究[J]. 土壤肥料, 1998, (2): 26-28.
Qian H B, Han C G, Qian C J, *et al.* Study on the technology of rice straw returning directly to the field[J]. *Soil and Fertilizer*, 1998, (2): 26-28.
- [10] 石健康, 姜立新, 戴昌浩, 等. 稻草还田的效应研究[J]. 作物研究, 2006, (1): 66-67.
Shi J K, Jiang L X, Dai C H, *et al.* The effect of rice straw returning to the field[J]. *Crop Research*, 2006, (1): 66-67.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (3rd Edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [12] 王利民, 陈金林, 梁珍海, 等. 黄麻秸秆及有机肥对滨海盐土生物性质的影响[J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2010, (1): 39-42.
Wang L M, Chen J L, Liang Z H, *et al.* Effects of jute straw and organic fertilizer on the biological properties of the coastal saline soil[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2010, (1): 39-42.
- [13] 王玄德, 石孝均, 宋光煜. 长期稻草还田对紫色水稻土肥力和生产力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 302-307.
Wang X D, Shi X J, Song G Y. Effects of long-term rice straw returning on the fertility and productivity of purplish paddy soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3): 302-307.
- [14] 陈德章. 稻草还田对土壤理化性质及产量的影响[J]. 土壤肥料, 2000, (5): 24-27.
Chen D Z. Influence of rice straw return to field on physico-chemical properties of soil and yield of crops[J]. *Soil and Fertilizer*, 2000, (5): 24-27.
- [15] 周江明, 徐大连, 薛才余. 稻草还田综合效益研究[J]. 中国农学通报, 2002, 8(4): 7-10.
Zhou J M, Xu D L, Xue C Y. Study of comprehensive utilization efficiency of returning rice straw to field[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2002, 8(4): 7-10.
- [16] Helgason B L, Gregorich E G, Janzen H H, *et al.* Long-term microbial retention of residue C is site-specific and depends on residue placement[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 68(1): 231-240.
- [17] 何志刚, 王秀娟, 董环, 等. 秸秆反应堆和功能菌对日光温室番茄生长发育及土壤微生态环境的影响[J]. 北方园艺, 2013, (22): 184-187.
He Z G, Wang X J, Dong H, *et al.* Effects of straw reactors and function microorganism on growth and soil micro-eco-environment of tomato[J]. *Northern Horticulture*, 2013, (22): 184-187.
- [18] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 等. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1027-1032.
Liu J G, Bian X M, Li Y B, *et al.* Effects of long-term continuous cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1027-1032.
- [19] 娄春荣, 何志刚, 王秀娟, 等. 秸秆不同用量对日光温室番茄土壤次生盐渍化及微生物区系的影响[J]. 北方园艺, 2013, (9): 52-54.
Lou C R, He Z G, Wang X J, *et al.* Effect of different amounts of straw on tomato soil salinization and microbial flora[J]. *Northern Horticulture*, 2013, (9): 52-54.
- [20] 朱林. 有机物料减轻黄瓜连作障碍作用及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2000.
Zhu L. The study on organic materials alleviating cucumber continuous cropping obstacle and mechanism [J]. Nanjing: MS Thesis of Nanjing Agricultural University, 2000.
- [21] Zhou Z, Shi X, Zheng Y, *et al.* Abundance and community structure of ammonia-oxidizing bacteria and archaea in purple soil under long-term fertilization[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2014, 60: 24-33.