

不同管理模式下香石竹设施栽培土壤

盐渍化特征及其诱导病害^①

孙世中^{1,2}, 郭云周³, 官会林^{1,2*}, 洪丽芳³, 杨泮川⁴

(1 云南师范大学可再生能源材料先进技术与制备教育部重点实验室, 昆明 650092; 2 云南师范大学能源与环境科学学院, 昆明 650092; 3 云南省农业科学院农业资源与环境研究所, 昆明 650205; 4 云南省英茂花卉有限公司, 昆明 650228)

摘 要: 为探索高原生态区香石竹设施栽培土壤盐害的防治方法与技术途径, 研究了农户、网络和公司 3 种管理模式下香石竹设施栽培土壤盐渍化特征, 分析了土壤 EC 值与香石竹枯萎病害和立枯病害之间的关联性。结果表明: 土壤盐渍化的主要成分是硝酸盐和硫酸盐, 土壤 EC 值与全盐量、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 呈显著正相关; 不同模式间表层土壤 EC 值高于心土层, 整地翻耕在短期内能降低表层土壤盐分浓度; 3 种模式土壤次生盐渍化程度为农户 > 网络 > 公司; 土壤次生盐渍化可明显降低香石竹对枯萎病病原体的抵抗力, 在一定程度上也可降低香石竹对立枯病病原体的抵抗力。

关键词: 香石竹; 土壤 EC 值; 土壤盐分; 诱导病害; 管理模式

中图分类号: S512

香石竹 (*Dianthus caryophyllus* L.) 又名康乃馨, 属石竹科石竹属的多年生草本植物, 为世界四大切花之一, 在国际花卉市场中占有重要地位。云南滇池环湖地区是国内较大规模的香石竹生产种植基地。但随着设施种植年限延长, 农药化肥施用量加大, 导致栽培土壤盐害日益突出, 病害严重, 甚至全棚绝收, 成为制约香石竹产业持续发展及农业生态环境建设的重要屏障^[1]。

设施农业土壤盐渍化是目前世界农业面临的主要环境问题之一, 导致土壤盐害的可溶性盐分较多, 其土壤盐分组成及其盐渍化程度受施肥品种、施肥水平、灌溉水质及栽培作物品种等多种因素影响而存在较大的差异, 关于此方面的研究国内外已有较多的报道^[2-7]。但针对土壤盐渍化程度及盐分组成与植株病害发生及其关联性方面的研究甚少, 特别是香石竹种植土壤盐渍化及其与植株病害方面的研究。本文研究分析了农户、网络和公司 3 种管理模式云南香石竹设施栽培土壤盐分组成、盐渍化特征及其与土传病害 (枯萎病和立枯病) 之间的关联性, 旨在为香石竹设施栽培土壤盐害消减及其病害防控技术方面提供依据与方法途径。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

云南香石竹设施栽培在施肥、灌溉和土壤管理方面主要分为 3 类模式, 一类是以公司形式组织的规范化栽培管理模式, 其特点是栽培管理规范科学, 生产设施较为完善; 第二类是在公司指导下的网络农户模式, 有一定的生产设施, 与公司有合同关系, 在生产技术及管理方面接受公司指导, 操作相对规范; 第三类是粗放型管理的农户模式, 其特点是农户自主栽培管理, 生产设施简陋, 管理粗放。农户模式占云南香石竹种植面积的 80% 以上, 具体见表 1

1.2 供试土壤

土壤样品采集分别按大棚设施种植的 3 类不同管理模式选择取样, 即云南英茂花卉有限公司香石竹生产基地、该公司指导下的网络农户种植基地及普通农户自行管理种植基地。采样分 3 次进行, 第一次采样于 2008 年 3 月 21 日采集 0~20 cm 土层的综合样 17 个 (3 类种植模式均有), 用于测定土壤 EC 值与全盐量及可溶性盐分的相关性分析。第二次采样期于 2008 年 4 月 3—4 日, 在整地前 (采收末期翻耙前) 取样。第三次采样期于 2008 年 5 月 27—28 日, 在整地后 (采收翻耙后 40 天), 第二、三次采样按不同管理模式分别采取 0~20 cm 表土及 20~40 cm 心土层样品。

1.3 测定方法

^①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40861019) 和国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009zx07102-004) 资助。

* 通讯作者 (ghl0871@yahoo.com.cn)

作者简介: 孙世中 (1968—), 男, 云南会泽人, 硕士, 副教授, 主要从事资源与环境科学的研究和教学。E-mail: tushizhong.sun@gmail.com

表1 云南设施栽培香石竹的管理模式及病害发生情况

Table 1 Management models and disease occurrences of Yunnan Carnation facilities cultivation

类别	公司模式	网络模式	农户模式
生产设施	较完善	相对完善	简陋
连作年限	10年	6年	3年
轮作换茬	无轮作换茬, 但有短期休闲	无轮作换茬, 但有短期休闲	无轮作换茬
一季有效采花次数	二次	二次	一次
土壤消毒处理	消毒	消毒	不消毒
有机肥施用	腐熟秸秆或腐熟厩肥	腐熟秸秆或腐熟厩肥	生牛粪或生猪粪
化肥施用	肥料分类溶解在滴灌水中施用	肥料分类溶解在滴灌水中施用	施用固体复合肥料
灌溉用水源	清洁水源	清洁水源	无清洁水源或井水
灌水	滴灌	滴灌	人工浇水或抽水机喷灌
生产管理整体印象	规范化	相对规范化	粗放
枯萎病和立枯病害样点调查	10%~15%	12%~18%	30%以上

土样风干, 磨细, 过 100 目筛, 取出 50 g 风干土与 250 ml 去离子水 (1:5 水土比) 经过浸泡和振荡使土壤盐充分溶解后, 进行土壤盐分的测定。 Ca^{2+} 用 0.01 mol/L 的 EDTA 二钠盐滴定法测定; CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法测定; Cl^- 用 0.025 mol/L 的 AgNO_3 滴定法测定, NO_3^- 用酚二磺酸比色法测定; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定法测定, K^+ 用火焰光度计测定, 全盐含量用烘干法测定, 土壤 EC (电导率) 值用 LF91 型电导率仪测定 [8-9]。

1.4 数据分析

用 SPSS Statistics 17.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 土壤 EC 值与全盐量及可溶性盐分的相关性分析

土壤 EC 值在一定情况下可反映土壤溶液的总盐分浓度, 并与土壤溶液中所含阳离子或阴离子的多少成相关性。不同管理施肥水平下土壤盐分浓度及组成数量不同, 找出影响土壤 EC 值变化相关的主要盐分离子, 是制定削减土壤盐害措施的主要依据。从 3 种模式综合样本分析看出 (表 2): 土壤可溶性全盐含量与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及 K^+ 均有极显著的相关性, 是构成土壤全盐量的主要成分。土壤 EC 值和全盐量、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 具有极显著正相关性 ($R^2 = 0.985$)。因此, 香石竹设施栽培表土层富集的可溶性盐分主要是硝酸盐和硫酸盐, 以及少量卤盐, 并由此引起表层土壤次生盐渍化, 可以用土壤 EC 值来表征香石竹栽培土壤全盐量及盐渍化程度, 土壤 EC 值的变化也反映了土壤中可溶性盐分浓度的变化。

表2 设施栽培香石竹土壤可溶性盐分与 EC 值 Pearson 相关性分析矩阵

Table 2 Pearson correlation matrix between soluble salt and EC value in soil of Carnation facilities cultivation

	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	K^+	全盐量
HCO_3^-	-0.032							
Cl^-	-0.005	0.082						
SO_4^{2-}	-0.018	0.016	0.860**					
NO_3^-	0.151	-0.091	0.596**	0.747**				
Ca^{2+}	0.194	-0.037	-0.124	0.013	-0.269			
K^+	-0.230	0.117	0.676**	0.770**	0.522*	0.320		
全盐量	0.096	-0.054	0.749**	0.909**	0.953**	-0.135	0.689**	
EC 值	0.131	-0.101	0.722**	0.902**	0.927**	-0.025	0.709**	0.985**

注: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ 单位为 mg/kg; 全盐量单位为 g/kg; EC 值单位为 mS/cm。

2.2 不同管理模式土壤可溶性盐分含量分析

香石竹根系密集区主要分布于 0 ~ 20 cm 表土层, 因此, 表土层含盐量及盐分组成对香石竹生长的

影响最大。从表 3 看出: 3 类不同模式农户、网络及公司, 土壤中可溶性盐分主要是 SO_4^{2-} 和 NO_3^- , 其次是 K^+ 和 Cl^- , 而 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 及 Ca^{2+} 含量极低, 并且

3 类不同模式间的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量差异均不显著, Ca^{2+} 含量差异达显著水平($p<0.05$);农户与公司模式间土壤中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 K^+ 及全盐量差异均达极显著水平($p<0.01$);农户与网络模式间土壤中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 及 K^+ 含量差异达极显著水平($p<0.01$),而全盐量差异不显著。这些盐分主要来源于施肥, Cl^- 为KCl及

NH_4Cl 中重要成分, SO_4^{2-} 是 K_2SO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和普通过磷酸钙中的成分, NO_3^- 除本身为肥料中有效成分外,还由施入土中的 NH_4^+ 转化而来^[10]。土壤盐分含量及组成差异反映了不同模式下施肥与管理水平的差异,3种模式土壤全盐量为农户>网络>公司。

表 3 不同管理模式下的土壤盐分含量

Table 3 Soil salt contents under different management models

土壤盐分	农户	网络	公司
CO_3^{2-} (mg/kg)	0.23 ± 0.08 aA	0.27 ± 0.04 aA	0.19 ± 0.01 aA
HCO_3^- (mg/kg)	0.23 ± 0.09 aA	0.21 ± 0.03 aA	0.20 ± 0.03 aA
Cl^- (mg/kg)	136.4 ± 60.4 aA	49.0 ± 12.5 bB	55.1 ± 11.5 cC
SO_4^{2-} (mg/kg)	$3\,013.5 \pm 1\,597.7$ aA	$1\,257.6 \pm 379.4$ bB	526.5 ± 129.2 cC
NO_3^- (mg/kg)	$3\,026.2 \pm 1\,612.4$ aA	$2\,806.2 \pm 796.5$ aA	612.0 ± 275.0 bB
Ca^{2+} (mg/kg)	11.9 ± 9.2 aA	11.4 ± 6.4 aA	7.1 ± 2.5 bA
K^+ (mg/kg)	283.3 ± 142.8 aA	112.3 ± 47.1 bB	47.5 ± 27.3 cC
全盐量 (g/kg)	6.73 ± 3.14 aA	4.81 ± 1.27 aA	1.45 ± 0.44 bB

注:同一行数据小写字母不同表示差异达显著水平($p<0.05$),大写字母不同表示差异达极显著水平($p<0.01$)。

2.3 不同管理模式土壤EC值变化特征

农户、网络及公司3类不同管理模式,在不同土壤层次及整地前后(间隔40天)土壤EC值均有不同差异。从图1、表4看出:3类不同模式下无论是表土层或心土层,整地后土壤EC值均低于整地前,并且在0~20cm表土层整地前后土壤EC值差异达极显著水平($p<0.01$),在20~40cm心土层整地前后土壤EC值差异达显著水平($P<0.05$),说明整地翻耕在短期内能明显降低土层盐分浓度;相同模式0~20cm表土层土壤EC值高于20~40cm心土层,是由于施肥及土壤水分的蒸腾作用等造成表土层盐分富集^[12-13]。

不同管理模式下表土层盐分富集也表现出明显差异,在0~20cm表土层内,农户与公司模式之间差异极显著($p<0.01$),农户与网络模式之间差异显著($p<0.05$),无论是表土层或心土层,不同管理模式土壤EC值与土壤次生盐渍化程度为:农户>网络>公司。

2.4 不同管理模式土壤全盐量和EC值差异原因

从表5看出,3种管理模式的化学施肥量主要以N肥和K肥为主,而N肥类型主要以 NH_4NO_3 和 NH_4HCO_3 为主,兼施少量尿素;K肥类型主要以 KNO_3 、 K_2SO_4 及KCl为主;P肥不施或少施。并且N、K肥用量均以农户模式最高,三种管理模式N、K肥

施用量高低顺序为农户>网络>公司。因此,施肥类型及施肥量决定了土壤盐分的主成份是 NO_3^- 、

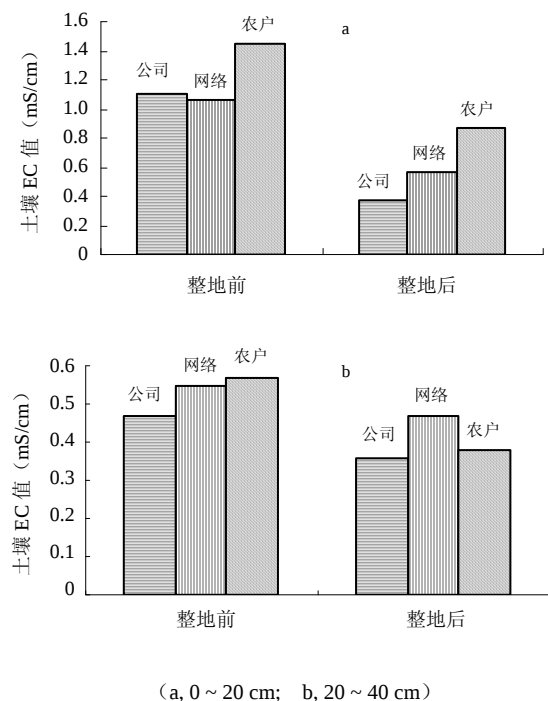


图 1 不同管理模式下香石竹栽培土壤 EC 值变化

Fig. 1 Soil EC values of carnation cultivation under different management models

表 4 不同管理模式下土壤 EC 值成对比较

Table 4 Comparison of soil EC values under different management models

土层 (cm)	比较因素	均值差值	标准误差	p 值	差分的 95% 置信区间	
					下限	上限
0~20	农户-公司	0.362*	0.117	0.010	0.106	0.617
0~20	农户-网络	0.350*	0.117	0.011	0.094	0.606
0~20	网络-公司	0.012	0.117	0.922	-0.244	0.267
0~20	整地前-整地后	0.562*	0.096	0.000	0.353	0.771
20~40	整地前-整地后	0.128*	0.051	0.027	0.017	0.239

注：数据基于估算边际均值，因变量：EC 值；*：均值差值在 $p<0.05$ 水平差异显著，下同。

SO_4^{2-} 、 K^+ 及少量 Cl^- 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ，与上述分析结果相吻合。并且 N、K 肥施用量均与土壤 EC 值呈正相关性（N： $R^2=0.986$ ，K： $R^2=0.959$ ）。另外，不同追肥方式也影响着土壤的盐渍化程度，香石竹种植分为冬季栽培和夏季栽培，夏季栽培生长期 6 个月左右，冬季生长期 8 个月左右。公司模式采用少量多次的追肥方式，夏季栽培 7 天追一次肥，冬季栽培 10~12 天追一次肥，每次追肥均溶解于滴灌水中施用。按纯量计，每次施 N 量 16 kg/hm^2 左右，施 K_2O 肥量 27 kg/hm^2 左右；网络模式夏季栽培 10 天左右追一次肥，冬季栽培 15 天左右追一次肥，每次施 N 量 26 kg/hm^2 左右，施 K_2O 肥量 40 kg/hm^2 左右；农户模式因农户自行管理，随意性强，追肥间隔时间长，平均 20~30 天才追一次肥，

并且每次施用量超过公司模式施用量的 3 倍以上，而且主要以固体干施。若一次施肥量过高或固体肥干施，易导致土壤耕层盐分浓度过高，盐害加重，作物吸收困难，甚至致死。

因此，3 种管理模式土壤全盐量和 EC 值表现出明显差异，公司模式已经连续栽培香石竹 10 年，由于一直坚持合理施肥和土壤处理，抑制了土壤次生盐渍化进程；连续栽培香石竹 6 年的网络模式采用公司技术规范，其土壤次生盐渍化进程也低于农户模式；而农户模式虽然连续栽培香石竹只有 3 年，因管理粗放，施肥方式也不尽合理，又不进行土壤处理，大棚土壤次生盐渍化较突出，因而不同管理模式影响着土壤次生盐渍化的发展演变。

表 5 不同管理模式下施肥情况

Table 5 Fertilization of different management models

模 式	平均施肥量 (kg/hm^2)					主要施肥类型				
	N	P_2O_5	K_2O	微 肥	有机 肥	N 肥	K 肥	微肥	复合肥	有机肥
公 司	390	-	690	75	45 000	NH_4NO_3	KNO_3	Zn、Mn、Fe、Ca	-	腐熟秸秆或厩肥
网 络	460	-	715	45	30 000	NH_4NO_3 、少量尿素	K_2SO_4 、 KNO_3	Zn、Mn、Fe、Ca	-	腐熟秸秆或厩肥
农 户	525	少量	750	少 量	22 500	NH_4HCO_3 、少量尿素	KCl、 K_2SO_4	Zn	NP 或 NPK	生牛粪或生猪粪

注：“-”表示不施肥。

2.5 EC 值与土传病害的关联性分析

香石竹土传病害主要是枯萎病和立枯病，是目前化学方法难以控制的主要病害^[14]。为探索土壤 EC 值与土传病害的关联性，于 2008 年 4 月 3 日在公司种植基地分别采取 11 株样本的枯萎病株（死亡）、立枯病株（死亡）及正常株的根区土壤测定 EC 值。结果发现：枯萎病植株土壤 EC 值明显高于正常株土壤 EC 值，差异达到极显著水平（ $df=10$ ， $p<0.01$ ）；而立枯病植株土

壤 EC 值则低于正常株土壤 EC 值（图 2），但差异未达到显著水平（表 6），这说明土壤次生盐渍化明显降低了香石竹对枯萎病病原体的抵抗力，在一定程

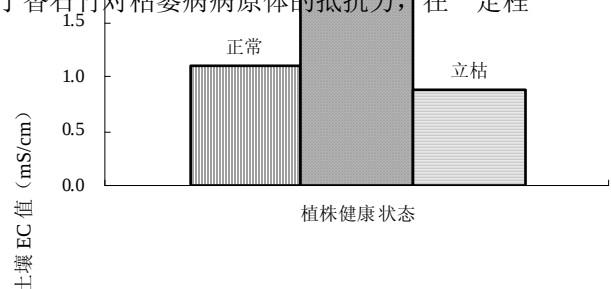


图 2 设施栽培香石竹土壤 EC 值与土传病害的关系

Fig. 2 Relationship between soil-borne diseases and soil EC values of Carnation facilities cultivation

表 6 设施栽培香石竹土壤 EC 值 (25℃下) 正常组与病害组成对比较

Table 6 Comparison of soil EC values between normal group and disease groups of carnation facilities cultivation

土层 (cm)	因素比较	均值差值	标准误差	p 值	差分的 95% 置信区间	
					下限	上限
0 ~ 20	枯萎组-立枯组	1.044*	0.280	0.001	0.480	1.609
0 ~ 20	枯萎组-正常组	0.853*	0.270	0.003	0.308	1.397
0 ~ 20	立枯组-正常组	-0.192	0.246	0.441	-0.689	0.306

度上也降低香石竹对立枯病原体的抵抗力。因此, 在生产中有效控制香石竹设施栽培土壤次生盐渍化的发展, 是预防和控制香石竹土传病害特别是枯萎病害的关键。

3 结论

(1) 香石竹栽培土壤 EC 值与全盐量、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 之间呈显著的正相关, 可以用土壤 EC 值来表征香石竹土壤全盐含量及盐渍化程度。

(2) 云南香石竹设施栽培表土层次生盐渍化主要成分是硝酸盐和硫酸盐及少量卤盐, 这些盐分主要来源于肥料。

(3) 3 种模式土壤次生盐渍化程度为: 农户 > 网络 > 公司, 说明公司管理模式较为科学合理。

(4) 整地翻耕在短期内能降低表层土壤盐分浓度, 在生产中应考虑换茬勤翻耕土地, 避免连作免耕。

(5) 土壤次生盐渍化可明显降低香石竹对枯萎病原体的抵抗力, 在一定程度上也可降低香石竹对立枯病原体的抵抗力。因此, 在生产中有效控制香石竹设施栽培土壤次生盐渍化的发展, 是预防和控制香石竹土传病害特别是枯萎病害的关键。

参考文献:

- [1] 廖梓良, 孙世中, 刘建香, 贾秋鸿, 杨泮川, 官会林. 设施栽培香石竹根际土壤酶活与土传病害相关性研究. 云南师范大学学报(自然科学版), 2009, 29(3): 59-63
- [2] 宋春, 韩晓增. 长期施肥条件下土壤磷素的研究进展. 土壤, 2009, 41(1): 21-26
- [3] 倪亮, 孙广辉, 罗光恩, 石伟勇, 陆宏, 叶伟宗. 沼液灌溉对土

壤质量的影响. 土壤, 2008, 40(4): 608-611

- [4] 曾礼, 郑子成, 李廷轩, 张锡洲, 王永东, 余海英. 设施土壤水一盐运移的研究进展. 土壤, 2008, 40(3): 367-371
- [5] Hendrickx JMH, Borchers B, Corwin DL, Lesch SM, Hilgendorf AC, Schlue J, USDA ARS. Inversion of soil conductivity profiles from electromagnetic induction measurements: Theory and experimental verification. Soil Sci. Soc. Am. J., 2002, 66(3): 673-685
- [6] Burt CM, Isbell B. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. Transactions of the ASAE, 2005, 48(6): 2 115-2 121
- [7] 李刚, 张乃明, 毛昆明, 史静, 余丽娜. 大棚土壤盐分累积特征与调控措施研究. 农业工程学报, 2004, 20(3): 44-47
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 250-253
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 1999: 132-134
- [10] 李海云, 王秀峰, 邢禹贤. 设施土壤盐分积累及防治措施研究进展. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, 32(4): 535-538
- [11] 许福涛. 海门市大棚设施栽培土壤盐分累积特征的研究. 土壤, 2007, 39(5): 829-831
- [12] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响. 土壤, 2005, 37(6): 581-586
- [13] 李文庆, 张民, 李海峰, 咎林生. 大棚土壤硝酸盐状况研究. 土壤学报, 2002, 39(2): 283-287
- [14] 李艳琼, 杨根华, 孔宝华, 陈海如, 杨泮川. 云南香石竹立枯病原的鉴定及致病性研究. 植物病理学报, 2008, 38(2): 199-202

Soil Salinization Characteristics of Carnation Cultivation Under Different Management Models and Induced Diseases

SUN Shi-zhong^{1,2}, GUO Yun-zhou³, GUAN Hui-lin^{1,2}, HONG Li-fang³, YANG Pan-chuan⁴

(1 Key Laboratory of Renewable Energy Technology and Advanced Materials Preparation, Ministry of Education, Yunnan Normal University, Kunming

650092, China; 2 Institute of Energy and Environmental Science, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China;

3 Institute of Agricultural Resources and Environment, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

4 Yunnan Yingmao Flower Industry CO., LTD, Kunming 650228, China)

Abstract: In order to explore the methods and techniques of soil salinization control to Carnation facilities cultivation in the plateau ecological zone, the characteristics of soil salinization under three different management models, i.e., company, network and farmers, as well as the correlations between soil EC value and soil-borne diseases of Carnation facilities cultivation were studied. The results showed that: the main components of soil salinization were nitrate and sulfate; significantly positive correlation existed between soil EC value and total salt content, the contents of SO_4^{2-} and NO_3^- ; soil EC values of surface soil (0-20 cm) were higher than those of subsoil layer (20-40 cm); plowing can reduce the concentration of surface-soil salts in the short term; the degree of soil secondary salinization was in an order of farmer > network > company; soil secondary salinization can obviously reduce the resistance of carnation to wilt disease, and also can reduce the resistance of carnation to blight damage to some extent.

Key words: Carnation, Soil EC value, Soil salt, Soil-borne disease, Management model