

土壤调理剂对增强设施蔬菜咸水灌溉安全性的效果

牛国保¹, 王 坤², 张余良³, 张远芳², 孙德岭^{1,2}, 任华中⁴

(1. 天津科润蔬菜研究所, 天津 300384; 2. 天津市现代农业科技创新基地管理中心, 天津 300192; 3. 天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192; 4. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘 要:通过设施蔬菜轮作咸水灌溉的土壤调理剂试验, 用灰度关联分析方法和单一因素比较方法评价了土壤调理剂对设施蔬菜咸水灌溉的土壤、作物等指标影响。结果表明:咸水灌溉设施蔬菜轮作制度中, 黄瓜-芹菜轮作和咸水灌溉制度为咸淡灌溉次数比 1:4 的情况下, 施用土壤调理剂 I、III 能降低土壤盐的积累; 西红柿-芹菜轮作和咸水灌溉制度为咸淡灌溉次数比 1:2 的情况下, 施用土壤调理剂 III 能降低土壤盐的积累。施用土壤调理剂 I、III 能够提高咸水灌溉设施蔬菜的产值。施用土壤调理剂 I、II 能够提高蔬菜的维生素 C 含量、可溶性糖含量, 同时也有利于提高蔬菜叶绿素相对含量。灰度关联分析也表明, 在黄瓜-芹菜咸水灌溉下土壤调理剂 I、III 的加权关联度为 0.69、0.63, 算数关联度为 0.73、0.63; 在西红柿-芹菜咸水灌溉下土壤调理剂 I、III 的加权关联度为 0.55、0.60, 算数关联度为 0.59、0.59。综合来看施用土壤调理剂能够提高咸水灌溉设施蔬菜产量、改善品质, 降低土壤中盐的积累。

关键词:设施蔬菜; 咸水; 灌溉; 轮作制度; 灰度关联分析; 关联度

中图分类号:S 626 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)12-0156-06

近几年设施农业发展迅速, 以天津为例, 据统计截至 2011 年底天津市设施农业面积累计达到 433.55 hm², 约占蔬菜面积的 40%, 分布在轻度盐渍化、中度盐渍化, 甚至重度盐渍化土壤上, 其面积还在扩大。天津市武清区、西青区、北辰区、滨海新区等地区的保护地或设施农业利用咸水灌溉, 节约了大量淡水^[1], 同样面临着土壤盐积累、土壤肥力降低等问题。

如何将咸水灌溉、土壤调理和蔬菜轮作制度相结合, 是保障咸水安全利用、节约淡水和土壤安全和蔬菜经济效益的关键。土壤积盐是灌溉咸水主要考虑的问题^[2-4], 可以通过适当的咸淡水轮灌制度^[5-6], 抑制土壤蒸发等以减少咸水灌溉盐分在土壤表层积聚^[7-9], 创造淡化的根层环境等。另外施用土壤调理剂也是减少土壤盐积聚和促进盐排出土体、调节土壤盐离子组成的措施。设施蔬菜轮作制度不仅考虑作物茬口的更替, 也要考虑作物对土壤、咸水的适宜性。该试验将蔬菜轮作、

咸水灌溉制度下土壤调理的效果用灰度关联分析和单一因素分析方法评价^[10-14], 从而提出土壤调理剂增强作物的耐盐能力, 促进设施蔬菜生长, 增加经济产量, 减少土壤积盐等方面效果较好的设施蔬菜轮作微咸水灌溉的土壤调理剂。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验布置在天津市滨海新区, 土壤理化性状如表 1 所示; 灌溉水如表 2 所示。采用西红柿-芹菜、黄瓜-芹菜的茬口更替。西红柿品种为“朝研 299”、黄瓜品种为“沃林 3 号”、芹菜品种为“津南实芹”。

地下水位 1.5~2.5 m, 土壤为重壤质土, 0~20 cm 土层土壤全氮含量 1.131 g/kg, 全磷 0.814 g/kg, 全钾 18.16 g/kg, 水解氮 70.12 mg/kg, 有效磷 14.87 mg/kg, 速效钾 235.30 mg/kg, 土壤有机质 18.9 g/kg, 表层(0~20 cm)土壤含盐量 0.195%, 其它土壤盐分性状见表 1。采用田间小区试验, 小区之间以埋深 60 cm 的 2 层塑料隔水材料相隔, 塑料高出地面 15 cm, 两边培土形成上宽 20 cm、下宽 25 cm 的畦埂。咸水为矿化度 4.2~4.5 g/L 的地表水, 灌溉用水盐等性状见表 2。

供试土壤盐调理剂有 3 种, 土壤盐调理剂 I: 脱石膏, 土壤盐调理剂 II: 风化褐煤, 土壤盐调理剂 III: 沸石粉。风化褐煤、脱石膏、沸石粉均为 120~200 目的固态粉末。

第一作者简介:牛国保(1983-), 男, 本科, 助理研究员, 现主要从事花椰菜良种繁育等研究工作。E-mail: love2008ngb@126.com.

责任作者:张余良(1966-), 男, 硕士, 研究员, 现主要从事土壤和水资源利用等研究工作。E-mail: kjzhangyuliang@sina.com.

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201203003; 201303133)。

收稿日期:2015-01-29

表 1 供试土壤盐分性状

Table 1 Salinity properties of soil used in experiment

土壤层次	土壤阴离子 Anion/(g·kg ⁻¹)				土壤阳离子 Cation/(g·kg ⁻¹)				全盐	pH 值
Soil layer/cm	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Total salt/%	pH value
0~20	0	0.238	0.692	0.516	0.16	0.078	0.51	0.003	0.195	8.07
20~40	0	0.311	0.412	0.276	0.068	0.041	0.41	0	0.133	8.25
40~60	0	0.449	0.321	0.428	0.053	0.041	0.42	0	0.110	8.35

表 2 供试灌溉用水含盐量及离子组成

Table 2 Salinity properties of water used in experiment

灌溉水	阴离子 Anion/(g·L ⁻¹)				阳离子 Cation/(g·L ⁻¹)				矿化度	pH 值
Water irrigation	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Water salinity/(g·L ⁻¹)	pH value
咸水 Saltwater	0	0.2046	1.782	0.443	0.429	0.288	1.082	0.0016	4.330	7.99
淡水 Freshwater	0	0.0609	0.281	0.287	0.092	0.043	0.218	0	0.900	7.89

1.2 试验方法

每处理为蔬菜轮作制度、土壤盐调理、灌溉等的组合,参见表 3。采用田间小区试验,随机区组排列,每处理 3 个重复,每个重复小区面积 6 m²。为了防止灌溉时相互影响,小区间设隔离区。试验时间为 2012 年 1 月至 2013 年 7 月。

土壤调理剂在 2 月春茬蔬菜定植前表面均匀撒施,

表 3 咸水灌溉轮作制度的处理组合

Table 3 Treatment combinations of facility vegetable rotation system irrigated with salt water

处理编号 Treatment No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
盐调理剂 Soil conditioner	调理剂Ⅰ	调理剂Ⅱ	调理剂Ⅲ	无	无	调理剂Ⅰ	调理剂Ⅱ	调理剂Ⅲ	无	无
灌溉制度 Irrigation system	咸:淡 1:4	咸:淡 1:4	咸:淡 1:4	咸:淡 1:4	淡	咸:淡 1:2	咸:淡 1:2	咸:淡 1:2	咸:淡 1:2	淡
轮作形式 Rotation form	黄瓜·芹菜	黄瓜·芹菜	黄瓜·芹菜	黄瓜·芹菜	黄瓜·芹菜	西红柿·芹菜	西红柿·芹菜	西红柿·芹菜	西红柿·芹菜	西红柿·芹菜

注:“无”表示不施用土壤盐调理剂,其它类推。

Note:“None”means no application of soil conditioner,and so on.

1.3 项目测定

基础土样在试验前按深 0~25、25~40、40~60 cm 分层采集,监测土壤含盐量、土壤盐离子,均采用常规土壤理化分析方法。叶绿素相对含量(chlorophyll content index;CCI)采用“CCM-200”叶绿素仪测量,测定时间为晴朗无风或微风的 9:30—11:30,测量顶部第 1 片展开叶,每个处理小区测量 5 次重复,进行简单算数平均,计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{\sum x}{n}$$

随翻耕混入根层土壤,施用量 75 kg/100m²。基施在 2 月施入土壤,混匀旋耕,有机肥 3 750 kg/667m²,过磷酸钙 37.5 kg/667m²。追肥用文丘里施肥进行水肥一体化施肥,肥料的 N:P₂O₅:K₂O 为 15:10:30,每次纯养分施用量 4 kg/667m²。滴灌灌溉,灌水定额为 12 m³/667m²。每小区定植株数、苗情一致,栽培管理方式一致。

式中: \bar{X} 为算术平均数, x_i 为观测值, n 为观测值重复总数, $n=5$ 。其它土壤和植物指标田间采样,采用常规分析化验方法。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 咸水灌溉施用土壤调理剂的效果比较

2.1.1 土壤调理剂对土壤全盐和土壤盐离子的影响

图 1A 表明,在 2 种蔬菜轮作制度,以施用土壤调理剂的

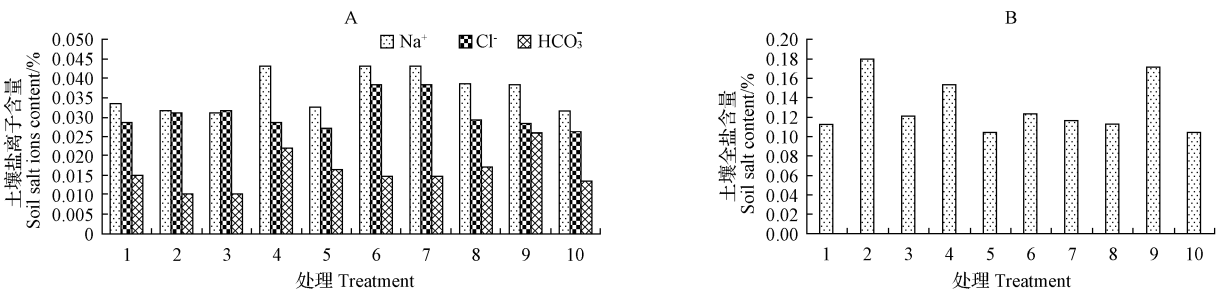


图 1 咸水灌溉轮作施用不同土壤调理剂的土壤全盐含量和盐离子含量比较

Fig.1 Contrast of soil salt content and salt ions content of different soil conditioner treatments under different rotation systems irrigated with saline water

处理 1、3 的土壤 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 的含量较低。土壤 Na^+ 的含量分别为 0.033%、0.031%；土壤 Cl^- 的含量分别为 0.028%、0.031%；土壤 HCO_3^- 的含量分别为 0.015%、0.010%。图 1B 表明,在蔬菜轮作制度栽培形式中,土壤含盐量高低是咸水灌溉设施蔬菜安全性的重要指标,在试验的 2 种蔬菜轮作制度中,待芹菜收获后按不同土壤调理剂分别采集土壤,在黄瓜-芹菜轮作形式下,灌水制度为咸水淡水灌溉次数比 1:4,即灌溉 1 次咸水后连续灌溉 4 次淡水,施用土壤调理剂 I、土壤调理剂 III 的土壤含盐量较低,表层土壤含盐量分别为 0.11%、0.12%；在西红柿-芹菜轮作形式下,灌水制度为咸水淡水灌溉次数比 1:2,即灌溉 1 次咸水后连续灌溉 2 次淡水,施用土壤调理剂 II、土壤调理剂 III 的土壤含盐量较低,分别为 0.12%、0.11%。分别与灌溉淡水的土壤含盐量 0.10%,差异不显著。相同的咸水灌溉制度下,因蔬菜轮作形式、施用土壤调理剂的不同,土壤盐的累积程度也有差异。在黄瓜-芹菜轮作形式下,灌溉咸水需施用土壤调理剂 I 或土壤调理剂 III；在西红柿-芹菜轮作形式下,灌溉咸水需施用土壤调理剂 II 或土壤调理剂 III。

2.1.2 土壤调理剂对设施蔬菜产值的影响 每个处理的春茬黄瓜、西红柿和秋茬芹菜分别记产,按芹菜 0.6 元/kg、黄瓜 0.8 元/kg、西红柿 1.3 元/kg 计算累计

产值。图 2 表明,从产值来看,咸水灌溉情况下,黄瓜-芹菜轮作制度中土壤调理剂 I 的产值较高,较不施用改良剂的对照增产 931 元/667m²,提高 6.78%；西红柿-芹菜轮作制度中土壤调理剂 III 的产值较高。黄瓜-芹菜土壤盐调理剂 I 和西红柿-芹菜土壤盐调理剂 III 的累计产值分别为 1.46 万元/667m² 和 1.49 万元/667m²,较不施用土壤调理剂的对照增加 2 801 元/667m²,提高 23.08%,后者经显著性分析为差异显著。

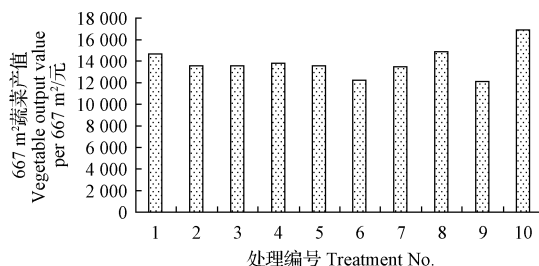


图 2 咸水灌溉轮作施用不同土壤调理剂的蔬菜产值比较

Fig. 2 Contrast of vegetable output value of different soil conditioner treatments under different rotation systems irrigated with saline water

2.1.3 土壤调理剂对设施蔬菜品质的影响 由图 3A 可知,在黄瓜-芹菜,咸水淡水灌溉次数比为 1:4 的情

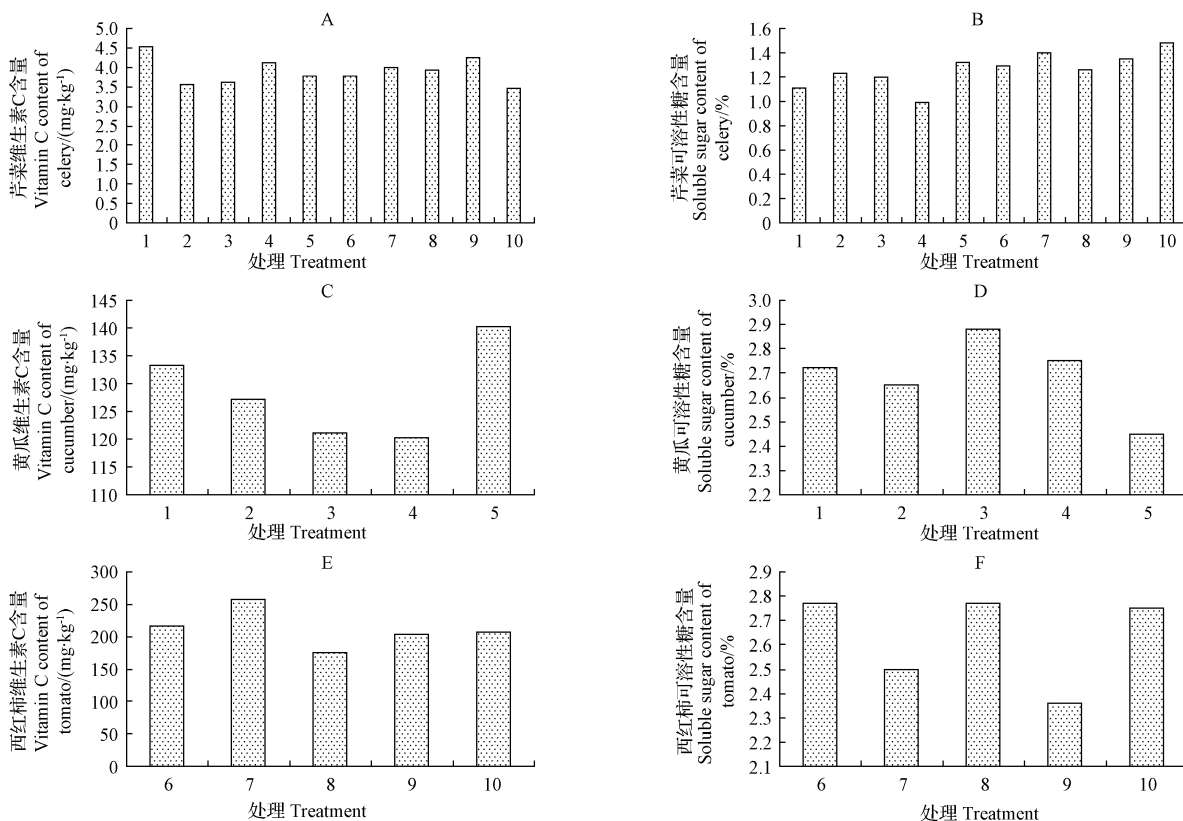


图 3 咸水灌溉轮作施用不同土壤调理剂的蔬菜品质比较

Fig. 3 Contrast of vegetable quality of different soil conditioner treatments under different rotation systems irrigated with saline water

况下,施用土壤调理剂I的处理 1 芹菜维生素 C 含量较高,为 4.52 mg/kg,较不施用土壤调理剂的对照处理 4 提高 9.71%。图 3B 表明,施用土壤调理剂II的处理 2 可溶性糖含量较高,为 1.23%,较不施用土壤调理剂的对照处理 4 提高 24.24%。由图 3C 可知,黄瓜维生素 C 含量以施用土壤调理剂II的处理 1 较高,为 133.20 mg/kg,较对照增加 10.72%,差异显著。由图 3D 可以看出,黄瓜的可溶性糖含量以施用土壤调理剂III的处理 3 较高,为 2.88 mg/kg,较对照增加 4.73%。图 3A 表明,在西红柿-芹菜,咸水淡水灌溉次数比为 1:2 的情况下,施用土壤调理剂II的处理 7 芹菜维生素 C 含量也较高,为 4 mg/kg,较不施用土壤调理剂的对照处理 9 提高 5.62%。图 3B 表明,芹菜可溶性糖含量较高,为 1.40%,较不施用土壤调理剂的对照处理 9 提高 3.70%。图 3E 表明,西红柿维生素 C 含量以施用土壤调理剂I、II的处理 6、7 较高,分别为 216.00、257.00 mg/kg,较对照分别增加 6.72%、26.98%,差异显著。图 3F 表明,西红柿的可溶性糖含量以施用土壤调理剂I、III的处理 6、8 较高,分别为 2.77、2.77 mg/kg,较对照分别增加 17.37%、17.37%。图 3A、C、E 表明,在咸水灌溉的情况下,施用土壤调理剂I的咸水灌溉黄瓜、芹菜的维生素 C 含量较高,施用土壤调理剂II的西红柿的维生素 C 含量较高。图 3B、D、F 表明,施用土壤调理剂I、III的黄瓜、西红柿的可溶性糖含量较高,如施用土壤调理剂II的咸水灌溉芹菜的可溶性糖含量较高。综合来看,土壤调理剂 I、II 有利于提高整个轮作周期的蔬菜维生素 C 含量,土壤调理剂 I、III 有利于提高蔬菜可溶性糖含量。

2.1.4 土壤调理剂对叶绿素相对含量的影响 由图 4 可知,2012 年 10 月 18 日调查咸水灌溉芹菜的叶片叶绿素相对含量,在黄瓜-芹菜种植形式下,施用土壤调理剂 I、II、III 的芹菜叶片叶绿素相对含量较高,分别为 29.9、

32.4、29.3,较不施用土壤调理剂的对照 27.5 分别增加 8.73%、17.82%、6.55%;在西红柿-芹菜种植形式下,施用土壤调理剂III的处理 8 的芹菜叶片叶绿素相对含量较高,为 31.8,较对照 25.3 增加 25.69%,差异显著。结果说明施用土壤调理剂有利于提高咸水灌溉蔬菜的叶片叶绿素相对含量。

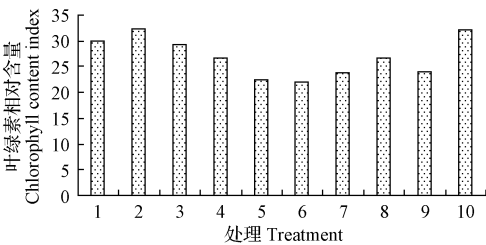


图 4 咸水灌溉轮作施用不同土壤调理剂的蔬菜叶绿素相对含量比较

Fig. 4 Contrast of vegetables chlorophyll content index of different soil conditioner treatments under different rotation systems irrigated with saline water

2.2 土壤调理剂在咸水灌溉中效果的灰度关联综合分析

2.2.1 土壤调理剂试验中灰度关联分析评价指标和权重的确定 灰色关联度分析(Grey Relational Analysis)是一种多因素统计分析方法,它是以各因素的样本数据为依据用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序,若样本数据反映出的 2 个因素变化的态势(方向、大小和速度等)基本一致,则它们之间的关联度较大;反之,关联度较小。不同土壤调理剂在咸水灌溉制度、蔬菜轮作形式的效果试验设 10 个处理,采用包含土壤和植物性状等 15 个评价指标,指标分 3 层。权重指标是根据对农产品经济价值影响的大小,依据经验人为规定,其受地域土壤、作物品种等影响,评价指标的权重分配,如表 4。

表 4 灰度关联分析评价指标和权重

评价指标		1 层 First layer		2 层 Second layer		3 层 Third layer	
Evaluation indicators No.	指标 Indicator	权重 Weight	指标 Indicator	权重 Weight	指标 Indicator	权重 Weight	
1	产量	0.25	芹菜(秋)	0.5			
2			西红柿/黄瓜(春)	0.5			
3			芹菜	0.5	维生素 C	0.5	
4	品质 (盛果期/采收期)	0.25			可溶性糖	0.5	
5			西红柿/黄瓜	0.5	维生素 C	0.5	
6					可溶性糖	0.5	
7	土壤全盐	0.25	表层土壤全盐	0.5	黄瓜/西红柿收获期	0.5	
8					芹菜收获期	0.5	
9			20~40 cm 土壤全盐	0.3	黄瓜/西红柿收获期	0.5	
10			40~60 cm 土壤全盐	0.2	芹菜收获期	0.5	
11	表层土壤盐离子	0.10	Na ⁺	0.4	芹菜收获期		
12			Cl ⁻	0.3			
13			HCO ₃ ⁻	0.3			
14	表层土壤 pH 值	0.15					
15						芹菜收获期	

2.2.2 土壤调理剂试验效果的灰度关联分析评价 灰度关联分析指标包括土壤理化性状、作物生长和生理指标等,由于各指标之间存在纲量上的差异性,数据之间也不存在运算关系,所以需要原始数据进行处理,将其化为[0,1]区间的数。对数据进行处理可采用下面 2 个公式:

$$x_i(k) = \frac{x_i(k) - \min_i x_i(k)}{\max_i x_i(k) - \min_i x_i(k)} (i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n) \quad (1);$$

$$x_i(k) = \frac{\max_i x_i(k) - x_i(k)}{\max_i x_i(k) - \min_i x_i(k)} (i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n) \quad (2);$$

式中: $\min_i x_i(k)$ 和 $\max_i x_i(k)$ 分别表示第 k 项指标在 m 方案中的最小值和最大值,前者适用于效益指标集(越大越优的指标集),取指标在各个方案中的最小值;后者适用于成本指标集(越小越优的指标集),取指标在各个方案中的最大值。按指标所属的集合分别进行规范处理,例如产值、维生素 C 和糖属于效益指标集,按公式(1)计算;土壤含盐量、 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 属于成本指标集按公式(2)计算,特别指出的是土壤 pH 值在碱性土壤上属于成本指标集,在酸性土壤上属于效益指标集。另外,维生素 C 和糖等因作物而有差异,故 $\min_i x_i(k)$ 采用试验条件下相同作物的最小值计算。以试验的土壤、灌溉和种植管理条件下各指标最好值为比较对象,计算关联系数。计算公式如公式(3): $\xi_i(k) =$

$$\frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (3);$$

式中: $\xi_i(k)$ 是第 k 个时刻比较曲线与参考曲线的相对差值,这种形式的相对差值称 x_i 为 x_0 对在 k 时刻的关联系数。 ξ 为分辨系数, $\xi \in [0, 1]$,引入它是为了减少极值对计算的影响。在实际使用时,应根据序列间的关联程度选择分辨系数,一般取 $\xi \leq 0.5$ 最为恰当。采用 2 种方法计算关联度,即算数关联度和加权关联度。1)算数关联度:对关联系数求平均值,即为关联度,关联度计算采用如下公式:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (4);$$

式中: r_i 表示 x_0 与 x_i 的关联度, r_i 处于(0,1)区间内。2)加权关联度:主要依据一下模型: $R = E \times W$ 。式中: $R = [r_1, r_2, \dots, r_m]^T$ 为 m 个被评判对象的综合评判结果向量, $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 为 n 个评价指标的权重分配向量,其中 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$; E 为各项指标的评判矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} \xi_1(1) & \xi_1(2) & \dots & \xi_1(n) \\ \xi_2(1) & \xi_2(2) & \dots & \xi_2(n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \xi_m(1) & \xi_m(2) & \dots & \xi_m(n) \end{bmatrix} \quad (5);$$

$\xi_i(k)$ 为第 i 种方案与第 k 个最优指标的关联系数。根据 R 的数值进行排序。由 $\xi_i(k)$ 即得 E ,这样综合评判结果为: $R = E \times W$,即

$$r_i = \sum_{k=1}^n W(k) \times \xi_i(k) \quad (6);$$

权重的分配参考表 4,根据公式(5)、(6)计算所得的关联度结果如表 5,灌溉咸水的设施黄瓜-芹菜蔬菜轮作形式下,加权关联度和算数关联度均以施用土壤调理剂 I 为较高,最接近灌溉淡水的处理,加权关联度和算数关联度分别为 0.69 和 0.73,其次为施用土壤调理剂 III,分别为 0.63、0.63,而灌溉淡水的处理 5 分别为 0.59 和 0.67;灌溉咸水的设施西红柿-芹菜蔬菜轮作形式下,加权关联度和算数关联度均以施用土壤调理剂 III 为较高,最接近灌溉淡水的处理,加权关联度和算数关联度分别为 0.60 和 0.59,而灌溉淡水处理 10 分别为 0.77 和 0.78。

表 5 咸水灌溉蔬菜轮作施用土壤调理剂的关联度

Table 5 The correlation degree of the soil conditioners used in vegetable rotation systems irrigated salt water with the optimal value under the test conditions

指标 Indicator	轮作制度编号 Treatment No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
关联度 Correlation degree	加权平均									
	0.69	0.53	0.63	0.51	0.59	0.55	0.54	0.60	0.50	0.77
	算数平均									
	0.73	0.56	0.63	0.52	0.67	0.59	0.56	0.59	0.51	0.78

与试验条件下最优值的关联度越大,土壤调理剂的效果越好。结果表明,在咸水灌溉制度为咸淡水次数比为 1:4 的情况下,施用土壤调理剂 I、土壤调理剂 III 的综合效果好;在咸水灌溉制度为咸淡水次数比为 1:2 的情况下,施用土壤调理剂 III 的综合效果好。

3 结论

综合土壤盐、盐离子组成、土壤 pH 值,以及轮作各蔬菜产量和品质等因素多层次灰度关联分析较单一因素比较评价,在黄瓜-芹菜轮作形式,咸淡 1:4 的情况下,施用土壤调理剂 I、土壤调理剂 III 土壤积盐较少,叶绿素相对含量较高,产值较高;在西红柿-芹菜轮作形式,咸淡 1:2 的情况下,施用土壤调理剂 III 土壤积盐较少,叶绿素相对含量较高,产值较高。

施用土壤调理剂能够改善咸水灌溉蔬菜的品质。在黄瓜-芹菜轮作形式,咸淡 1:4 的情况下,施用土壤调理剂 III 能够提高两季蔬菜的维生素 C 含量,施用土壤调

理剂Ⅲ能够提高蔬菜可溶性糖含量;在西红柿-芹菜轮作形式,咸淡 1:2 的情况下,施用土壤调理剂Ⅰ能够提高 2 季蔬菜的维生素 C 含量,施用土壤调理剂Ⅰ、Ⅲ能够提高蔬菜可溶性糖含量。

通过灰度关联分析表明,在西红柿-芹菜轮作形式,咸淡 1:2 的情况下,施用土壤调理剂Ⅰ、Ⅲ的加权关联度为 0.69、0.63,算数关联度为 0.73、0.63,较灌溉淡水还高;在西红柿-芹菜轮作形式,咸淡 1:2 的情况下,施用土壤调理剂Ⅲ的加权关联度为 0.60,算数关联度为 0.59。采用黄瓜-芹菜轮作形式,咸淡 1:4 灌溉,施用土壤调理剂Ⅰ关联度最高,此形式适合咸水灌溉设施蔬菜栽培。试验结果还显示,咸水灌溉设施蔬菜,从减少土壤积盐角度以处理 1、3、6 组合种植形式较好;从总产值来看为 1、8;从蔬菜品质来看为 3、6、8。

参考文献

- [1] 张余良,潘洁,邵玉翠,等.农业节水技术的研究现状与发展[J].天津农业科学,2004,10(1):33-37.
- [2] 张余良,邵玉翠,严晔端,等.微咸水灌溉农作物生长的改善技术研究[J].农业环境科学学报,2006,25(增):295-301.
- [3] 张余良,邵玉翠.灌溉微咸水土壤的改良技术研究[J].天津农业科

学,2004,10(4):47-50.

- [4] 高丽红,王树忠,任华中,等.日光温室果菜农艺综合节水技术与示范[J].中国科技成果,2009(23):13-15.
- [5] 陈小燕,王璐,司力珊,等.常规灌溉条件下自根和嫁接黄瓜灌溉水分配的研究[J].灌溉排水学报,2008,27(3):41-44.
- [6] 韦彦,孙丽萍,王树忠,等.灌溉方式对温室黄瓜水分配及硝态氮运移的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):67-72.
- [7] 张余良.地方标准:DB12/T452-2012 小麦玉米咸水灌溉技术规程[S].天津市技术质量监督局,2012.
- [8] 张余良.一种抑制微咸水灌溉土壤聚盐的调理剂:中国,ZL 2007 1 0057902.9[P].2007.
- [9] 张余良.富钙咸水及灌溉富钙咸水降低土壤盐的方法:中国,ZL 2010 1 0180575.8[P].2010.
- [10] 丁新华,刘永东,何林池,等.灰色关联度分析在棉花新品种综合评价中的应用[J].种子,2003(3):51-56.
- [11] 徐汉宝,张振芳,孙金龙.基于层次灰关联分析法的露天矿汽车轮胎选型[J].化学矿物与加工,2012(8):29-32.
- [12] 金秀良,徐新刚,王纪华,等.基于灰度关联分析的冬小麦叶片含水量高光谱估测光谱分析[J].光谱学与光谱分析,2012,32(11):101-105.
- [13] 刘宏.综合评价中指标权重确定方法的研究[J].河北工业大学学报,1996(4):25-29.
- [14] 宋之杰,高晓红.一种多指标综合评价中确定指标权重的方法[J].燕山大学学报,2002,26(1):20-26.

Enhancing Security Effect of Soil Conditioning Agents on Facility Vegetable Cultivating Irrigated with Salty Water

NIU Guo-bao¹, WANG Kun², ZHANG Yu-liang³, ZHANG Yuan-fang², SUN De-ling^{1,2}, REN Hua-zhong⁴

(1. Tianjin Kernel Vegetable Research Institute, Tianjin 300384; 2. Tianjin Modern Agricultural Science and Technology Innovation Base Management Center, Tianjin 300192; 3. Tianjin Agricultural Resources and Environmental Research Institute, Tianjin 300192; 4. College of Agronomy And Biotechnology, Beijing 100193)

Abstract: Field experiments have been conducted on soil conditioning agents, effect of the facility vegetable rotations irrigated with salty water on facility vegetable was studied in Tianjin Binhai New Area. Grey relational analysis and the single factor correlation analysis were adopted to analyze soil; crop and other indicators data of facility vegetable irrigated with salty water and applied soil conditioners. The results showed that regarding vegetable cropping systems irrigated with salty water, for the cucumber-celery rotation with fresh water and salty water irrigation frequency ratio of 1:4, the application of soil conditioner and soil conditioner Ⅲ could reduce accumulation of soil salts; for tomatoes-celery rotation with fresh water and salty water irrigation frequency ratio of 1:2, the application of soil conditioner Ⅲ could reduce the accumulation of soil salts. Application of soil conditioner Ⅰ and soil conditioner Ⅲ was able to improve the output value of vegetables irrigated saltwater. Application of soil conditioner Ⅰ and soil conditioner Ⅱ were able to improve vegetables vitamin C content, vegetables soluble sugar content, and also help to improve the relative chlorophyll content of vegetables. The results of grey correlation analysis also showed that the cucumber-celery rotation irrigated with salty water under soil conditionerⅠ, and soil conditioner Ⅲ, the weighted correlations were 0.69 and 0.63, arithmetic correlations were 0.73 and 0.63; the tomatoes-celery rotation irrigated with salty water under soil conditioner and soil conditioner Ⅲ, the weighted correlations were 0.55 and 0.60, arithmetic correlations were 0.59 and 0.59. On the whole, soil conditioners were able to improve production of facility vegetables, improve quality of facility vegetables, and also reduced the accumulation of salts in the soil.

Keywords: facilities vegetable; salt water; irrigation; rotation system; grey relational analysis; correlation degree