

# 非洲菊设施栽培土壤盐分的累积\*

褚可龙<sup>1</sup> 裴峰<sup>1</sup> 张琪<sup>2\*\*</sup> 崔心红<sup>2</sup> 沈烈英<sup>2</sup>

1. 上海市小水果研究所, 上海 201400; 2. 上海市园林科学研究所, 上海 200232

**摘要** 对上海市奉贤区非洲菊栽培现状进行野外调查和取样分析, 研究了设施栽培条件下土壤盐分的累积及离子组成变化特点。结果表明: 设施栽培条件下, 土壤出现酸化和次生盐渍化趋势, 土壤的酸化主要和  $\text{NO}_3^-$  的累积有关; 除  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{K}^+$  外,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  均有不同程度的累积, 且这 6 种离子间的相关性较好; 土壤中盐分阴离子以  $\text{NO}_3^-$  为主, 阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  为主, 对全盐量与各种离子进行逐步回归, 得到模型为:  $\rho(\text{全盐量}) = 0.291 + 5.295\rho(\text{Ca}^{2+}) + 2.177\rho(\text{NO}_3^-)$ , 且差异极显著。

**关键词** 设施土壤; 非洲菊; 盐分累积; 离子组成

**中图分类号** S 153 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)05-0572-05

非洲菊 (*Gerbera jamesonii*), 又名扶郎花, 为菊科大丁草属多年生草本植物。因花大色艳、四季常开、花期调控容易、耐长途运输、切花供养时间长而深受人们青睐<sup>[1]</sup>。上海市于 1986 年引种后在奉贤区广泛栽培, 目前该区栽培面积已达到 290 hm<sup>2</sup>, 大棚 13 250 只。然而, 由于设施栽培缺乏科学合理的管理措施, 随着设施使用年限的延长, 生产上出现产花量减少、品质下降、病虫害严重等问题, 原因在于设施内土壤环境质量的恶化。在实地调查中发现, 土壤表面有大量盐霜出现, 有的甚至出现紫红色胶状物(紫球藻), 盐化板结严重。土壤的次生盐渍化已成为制约奉贤非洲菊生产的重要障碍因子。因此, 了解非洲菊设施土壤盐分的累积、迁移、离子组成变化特点及其影响因素对于认识设施土壤环境质量变化、次生盐渍化的发生, 科学指导非洲菊栽培生产, 实现设施土壤的可持续利用具有十分重要的理论和现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究方法

根据上海市奉贤区非洲菊的栽培情况, 选取青村镇相邻的 2 个村(圆通村、解放村)的 5 个地块, 分别连作 2、5、6、8 a(揭棚、未揭)的大棚进行研究, 并选取圆通村有代表性的蔬菜地(该镇土地主要种植

蔬菜、非洲菊)为对照样, 分 3 层共采样 40 个。栽培 8 a 的地块位于同一个园艺场, 栽培管理措施相近。非洲菊栽培一般在夏季揭掉顶棚, 露天栽培, 8 a 揭棚处理采样时, 农膜揭掉约 10 d, 且揭棚期间有较大降雨。

试验采用野外调查、取样和室内分析相结合的方法。

通过走访农户, 到主管林业部门调研, 了解采样区的施肥、灌水、设施类型、生产年限及非洲菊种植情况等, 同时调查棚内外环境条件, 采样区基本概况见表 1。

土壤采样按 0~20、20~40、40~60 cm 分层取样, 根据温室的大小按“S”型布点, 表层和亚表层土样均为混合样。

### 1.2 样品处理与分析

用  $m_{\pm} : m_{\text{水}} = 2.5 : 1$  水浸提, 电位法测定 pH 值。采用去离子水, 按  $m_{\pm} : m_{\text{水}} = 1 : 5$  提取, 振荡 5 min, 过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜制备盐分待测液。其中电导率用电导仪法, 全盐量用烘干残渣法,  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  用火焰光度计法,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  用 EDTA 络合滴定法,  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  用双指示剂—中和滴定法,  $\text{Cl}^-$  用硝酸银滴定法,  $\text{SO}_4^{2-}$  用 EDTA 滴定法,  $\text{NO}_3^-$  用紫外分光光度法<sup>[2]</sup>。

应用 Microsoft Office Excel 2003 处理数据, 应

收稿日期: 2009-06-19; 修回日期: 2010-01-22

\* 上海市科委科技攻关项目(09dz1204106)和上海市农委推广项目(沪农科推字 2008 第 6-4 号)资助

\*\* 通讯作者。E-mail: zhangqil122@126.com

褚可龙, 男, 1965 年生, 高级农艺师。研究方向: 果树、花卉推广应用。E-mail: fxlys@hotmail.com

表 1 不同采样点设施的生产情况

Table 1 General information of greenhouse cultivation in different regions

连作年限/a Plant years	采样点 Sampling site	施肥种类及数量 Type of fertilizers and application rate	
		有机肥 Organic manure	化肥 Chemical fertilizer
8	解放村 Jiefang Village	猪粪 Pig dung 5.25 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	复合肥 Compound fertilizer 0.75 t/(hm <sup>2</sup> ·a)
		油枯 Rape stalk 0.53 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	过磷酸钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O 0.75 t/(hm <sup>2</sup> ·a)
2	圆通村 Yuantong Village	鸭粪 Duck dung 30 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	尿素 CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 1.13 t/(hm <sup>2</sup> ·a)
		油枯 Rape stalk 0.75 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	复合肥 Compound fertilizer 0.9 t/(hm <sup>2</sup> ·a) 过磷酸钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O 0.75 t/hm <sup>2</sup> ·a
5	圆通村 Yuantong Village	鸭粪 Duck dung 67.5 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	尿素 CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 0.75 t/(hm <sup>2</sup> ·a)
		油枯 Rape stalk 0.68 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	复合肥 Compound fertilizer 1.13 t/(hm <sup>2</sup> ·a) 过磷酸钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O 0.75 t/hm <sup>2</sup> ·a
6	圆通村 Yuantong Village	鸭粪 Duck dung 60 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	尿素 CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 0.75 t/(hm <sup>2</sup> ·a)
		油枯 Rape stalk 0.75 t/(hm <sup>2</sup> ·a)	复合肥 Compound fertilizer 0.68 t/(hm <sup>2</sup> ·a) 过磷酸钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O 0.6 t/(hm <sup>2</sup> ·a)

用 SPSS13.0 统计软件进行逐步回归分析和方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 设施栽培土壤 pH

从设施栽培土壤 pH 剖面变化 (表 2) 中可以看出, 3 层土壤的 pH 以表层最低, 底层最高; 设施栽培土壤的 pH 均较对照菜地有所下降, 随着栽培年限的延长, 3 层土壤均有逐渐酸化的趋势。对表层土壤 pH 进行方差分析, 可以看到不同栽培年限 pH

表 2 设施土壤耕层 pH、EC、全盐量<sup>1)</sup>

Table 2 Spatial variation of pH, EC and soil salinity in greenhouse soils

项目 Item	连作年限/a Plant years	0~20 cm 20~40 cm 40~60 cm			
pH	对照 Control	8.18 a	8.44	8.44	
	2	7.56 b	7.85	8.13	
	5	7.39 c	7.69	7.96	
	6	7.33 c	7.58	7.68	
	8(揭棚 Uncovered)	6.93 d	7.39	7.80	
	8	6.82 d	6.90	7.14	
	EC/ (mS/cm)	对照 Control	0.17 d	0.15	0.16
		2	0.84 b	0.45	0.25
5		1.34 a	0.87	0.57	
6		0.92 b	0.67	0.43	
8(揭棚 Uncovered)		0.42 c	0.43	0.48	
8		0.73 b	0.62	0.65	
全盐量/ (g/kg) Soil salinity		对照 Control	1.12 d	0.74	0.63
		2	4.09 b	1.92	0.99
	5	6.67 a	4.70	3.40	
	6	4.20 b	3.06	1.86	
	8(揭棚 Uncovered)	2.24 cd	3.60	1.85	
	8	3.45 bc	3.47	2.72	

1) 土壤表层数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平 Data of surface soil followed by the same letters denote LSD less than 5%.

存在显著差异, 其中栽培 2 a 的土壤比对照低 0.62, 说明设施栽培后, 土壤 pH 快速下降。最低的是栽培 8 a 的表层土壤, pH 比对照低 1.36。对比同样是栽培 8 a 的土壤, 揭棚和不揭棚处理下, 表层土壤 pH 差异不大, 但 20~40、40~60 cm 土层 pH 相差 0.49、0.66, 这说明在揭棚处理下随着土体脱盐的加剧, 土壤的 pH 迅速升高。

### 2.2 设施栽培土壤的 EC、全盐量

从不同深度土壤的 EC 值 (表 2) 变化可以看出, 除 8 a 揭棚处理外, 每种处理均是表层土壤的 EC 值最高, 底层最低; 8 a 揭棚处理则是底层 EC 值最大, 表层和中层则相近。采取设施栽培方式后, 各层土壤 EC 值均较对照升高, 除 8 a 揭棚处理, 又以表层的增幅最大, 中层次之, 底层较对照增幅最小, 盐分存在表聚现象。对表层土壤 EC 值进行方差分析, 不同年限间 EC 值差异显著, 其中栽培 5 a 的土壤 EC 值最高, 为 1.34 mS/cm, 比对照高 1.17 mS/cm; 8 a 揭棚处理的 EC 值最低, 比对照高 0.25 mS/cm; 8 a 揭棚处理土体 EC 值较其它几种设施栽培要低, 说明揭棚期间土体中盐分淋失得很快。在栽培 2 a 的土壤中, 土体中表层和中层盐分急剧上升, 其中表层比对照高 0.67 mS/cm, 中层比对照高 0.30 mS/cm, 说明设施栽培由于特殊的栽培方式和不适合的水肥管理, 土体盐分累积和表聚的速度很快。

从表 2 还可以看出全盐量的变化与 EC 值相近。其中 8 a 揭棚处理的变化趋势略有不同, EC 值是底层土壤最高, 全盐量则是中层最高, 这可能是由于淋溶导致各层土壤中盐分的组成存在差异, 电导能力也不同。表 2 还显示表层土壤全盐量之间也存在显著差异。根据土壤盐化程度分级标准<sup>[3-4]</sup>, 轻度

盐化土含盐量为 1~2 g/kg, 中度 2~4 g/kg, 重度 4~6 g/kg, 盐土 > 6 g/kg; 对照菜地属轻度盐化土, 8 a 揭棚处理和 8 a 处理属中度盐化土, 2、6 a 的属重度盐化土, 5 a 栽培的盐分累积最严重, 属盐土。

### 2.3 设施栽培土壤 pH、盐分及各离子相关性

设施栽培土壤 pH、盐分及各离子间的相关性分析见表 3, 可以看出: pH 与水溶性钾 ( $K^+$ ) 和

$NO_3^-$  呈负相关, 且达到极显著水平。EC、全盐量与除水溶性钾外的其他水溶性盐分离子都有较好的相关关系。EC 值与  $HCO_3^-$  达到显著负相关, 与其他 6 种盐分离子呈极显著正相关关系。全盐量与 6 种离子的相关均达到极显著水平。说明在盐分累积的过程中,  $HCO_3^-$  逐渐减少, 而其他离子逐渐增多。 $HCO_3^-$  水解显碱性, 而随着盐分的累积, 土壤 pH 下降, 因而导致  $HCO_3^-$  降低。

表 3 土壤 pH、盐分及各种离子间的相关性 ( $n=36$ )

Table 3 Correlativity matrix of pH, soil salinity and its ion component ( $n=36$ )

	EC	全盐量 Soil salinity	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$SO_4^{2-}$	$K^+$	$Na^+$	$NO_3^-$
pH	-0.197	-0.223	0.193	-0.290	-0.142	-0.100	0.218	-0.561**	0.011	-0.438**
EC		0.931**	-0.408*	0.757**	0.974**	0.959**	0.537**	0.224	0.824**	0.860**
全盐量 Soil salinity			-0.488**	0.720**	0.913**	0.895**	0.499**	0.167	0.690**	0.849**
$HCO_3^-$				-0.217	-0.353*	-0.446**	-0.431**	0.053	-0.076	-0.526**
$Cl^-$					0.727**	0.791**	0.357*	0.055	0.732**	0.775**
$Ca^{2+}$						0.926**	0.549**	0.156	0.786**	0.781**
$Mg^{2+}$							0.611**	0.124	0.842**	0.827**
$SO_4^{2-}$								0.076	0.516**	0.432**
$K^+$									0.280	0.339*
$Na^+$										0.661**

离子间的相关性中,  $HCO_3^-$  与  $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$  呈极显著负相关关系, 与  $Ca^{2+}$  呈显著负相关, 与其他离子的相关关系不显著。 $K^+$  与  $NO_3^-$  显著正相关, 与其他离子相关关系不显著。 $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$  间的相关关系较好, 大多达到极显著正相关, 说明这 6 种离子是盐分累积的主要成分。

### 2.4 设施土壤全盐量与各种离子间的回归分析

对设施栽培各层土壤全盐量和水溶性离子进行逐步回归分析, 找出水溶性离子与全盐量之间的关系, 得到最终模型为:  $\rho(\text{全盐量}) = 0.291 + 5.295\rho(Ca^{2+}) + 2.177\rho(NO_3^-)$ , 对该模型进行显著性检验,  $R^2 = 0.881$ , 达极显著水平。从方程中可以看出, 引起全盐量累积的水溶性离子阳离子主要是  $Ca^{2+}$ , 阴离子主要是  $NO_3^-$ 。

### 2.5 土壤各层盐分组成

各层土壤中水溶性盐分离子含量见表 4, 可以看出, 除  $HCO_3^-$ 、 $K^+$  外, 其余 6 种离子在 3 层土壤中都有不同程度的累积。其中阴离子的累积以  $NO_3^-$  最明显, 阳离子以  $Ca^{2+}$  最明显, 这 2 种离子含量在各层土壤中的绝对量也是最高的。在表层土壤中, 5 a 处理的  $NO_3^-$  含量是对照的近 9 倍, 最低的 8 a 揭棚处理也达到对照的 4 倍多。表层中  $Ca^{2+}$  含

量 5 a 处理的是对照的 7.8 倍, 最低的 8 a 揭棚处理达到了对照的 2 倍。其余 4 种离子 ( $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ ) 与对照比虽然也有明显累积, 但绝对量低于  $NO_3^-$ 、 $Ca^{2+}$ 。在中层和下层盐分离子的累积低于表层, 但也表现出和表层盐分相似的变化趋势, 即除  $HCO_3^-$ 、 $K^+$  外其余 6 种离子基本上在栽培后 5 a 达到最大值。

## 3 讨论

### 3.1 非洲菊设施栽培土壤的酸化

非洲菊设施栽培土壤 pH 随着栽培年限的延长呈逐渐下降的趋势, 且方差分析达极显著水平, 最低的是栽培 8 a 的表层土壤, pH 比对照低 1.36。一般来说, 设施土壤的酸化与土体中  $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  等强酸性离子的积累密切相关, 本研究中相关分析显示: pH 与水溶性钾 ( $K^+$ ) 和  $NO_3^-$  极显著负相关。

从表 4 中可以看到土壤中硝酸盐累积明显, 水溶性钾累积不明显, 因而判断影响土壤 pH 的重要因子是硝酸盐。这一结果与孟鸿光等<sup>[5]</sup> 的研究相似, 其报道称, 土壤 pH 降低受硝酸盐积累量的影响最大, 且两者呈极显著负相关关系 ( $r = -0.37^{**}$ ,  $n=110$ )。

表 4 设施土壤剖面离子含量

Table 4 Ion distribution in greenhouse soil profiles

g/kg

土层深度/cm Soil depth	连作年限/a Plant years	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
0~20	对照 Control	0.355	0.065	0.155	0.110	0.100	0.025	0.015	0.046
	2	0.154	0.168	0.333	0.685	0.478	0.111	0.084	0.176
	5	0.096	0.255	0.474	0.955	0.782	0.189	0.054	0.251
	6	0.224	0.306	0.250	0.730	0.559	0.133	0.024	0.208
	8(揭棚 Uncovered)	0.166	0.159	0.218	0.473	0.205	0.046	0.060	0.094
	8	0.191	0.193	0.240	0.757	0.324	0.083	0.191	0.176
20~40	对照 Control	0.323	0.068	0.185	0.063	0.064	0.016	0.000	0.063
	2	0.225	0.141	0.304	0.314	0.200	0.054	0.034	0.156
	5	0.114	0.266	0.420	0.833	0.459	0.143	0.015	0.229
	6	0.279	0.248	0.207	0.382	0.344	0.088	0.000	0.175
	8(揭棚 Uncovered)	0.102	0.122	0.210	0.332	0.206	0.050	0.020	0.079
	8	0.120	0.194	0.288	0.730	0.266	0.084	0.060	0.139
40~60	对照 Control	0.295	0.079	0.228	0.062	0.062	0.014	0.000	0.070
	2	0.240	0.101	0.385	0.126	0.096	0.024	0.008	0.121
	5	0.154	0.170	0.274	0.606	0.224	0.083	0.005	0.145
	6	0.230	0.171	0.203	0.209	0.206	0.062	0.000	0.143
	8(揭棚 Uncovered)	0.086	0.127	0.302	0.427	0.218	0.065	0.013	0.090
	8	0.060	0.228	0.392	0.693	0.282	0.094	0.018	0.148

3.2 非洲菊设施栽培土壤的次生盐渍化

非洲菊设施栽培土壤盐分累积和表聚很快,在栽培 2 a 的土壤表层,EC 值和全盐量就比对照高 0.67 mS/cm 和 2.97 g/kg。设施栽培条件下土壤盐分的累积和表聚与施肥量、光热条件和土壤盐分运行状况有关。非洲菊是多年生草本,周年开花,需肥量大。种植户为追求高产,一般连年栽培且肥料投入量大,化肥、有机肥的年投入量远高于露地栽培,并超过了非洲菊的实际需求量,使一些未被植物吸收利用的养分和肥料副成分大量残留于土壤中,成为土壤盐分离子的主要来源。此外,施用的鸭粪未经过腐熟处理,由于棚内温度高,使之迅速分解,一些无机盐残留于土壤中,加重了棚内土壤的盐化、板结,这种设施土壤过量施肥的现象在 Li 等<sup>[6]</sup>和姚静等<sup>[7]</sup>的报道中也存在。另外设施土壤不受降水淋洗且土壤水分蒸发量大,土体中盐分随水分蒸发而上升至表层聚积而发生次生盐渍化。

非洲菊设施栽培土壤 EC 值与全盐量有极显著的相关关系,这与袁巧霞等<sup>[8]</sup>所研究的结果相同。EC 值和全盐量的变化趋势也基本一致,均是栽培 5 a 时达到最大值,之后随着栽培管理措施的改善,盐分的累积和表聚情况减缓。据调查,非洲菊栽培温室的可持续利用周期较短,一般使用 5 a 左右,就会出现生长不良、病害严重、产量下降等问题,这与

温室土壤环境的恶化密切相关。当土壤环境的恶化导致非洲菊减产明显时,种植户也会采取一些措施减少损失,如延长揭棚期、加大农药使用量、翻耕、减少肥料施用量甚至闲置不用等。本研究的试验结果也说明栽培 5 a 时盐渍化最严重,之后由于采取了一定措施,土壤的盐渍化并未加剧。余海英等<sup>[9]</sup>的研究中,设施土壤是连续种植 4 a 左右,耕层盐分含量达到最大值,之后随采取的各种管理措施而有所降低。

设施栽培土壤各层盐分的累积都具有相似的变化趋势,其中 Cl<sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>是累积盐分的主要成分。对全盐量与各种水溶性离子做多元线性回归分析,采用逐步回归的方法,得到最终模型为: $\rho(\text{全盐量}) = 0.291 + 5.295\rho(\text{Ca}^{2+}) + 2.177\rho(\text{NO}_3^-)$ ,说明 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup> 的累积最为明显。盐分的大量累积对土壤—植物的养分供需平衡以及非洲菊生长的环境条件产生不利影响。如何控制盐分累积、协调养分的供需平衡是保证非洲菊高产、大棚持续利用的关键问题之一。

参 考 文 献

[1] 林大为. 非洲菊栽培[J]. 上海园林科技, 1994(4): 34-43.  
 [2] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版

- 社,2000.
- [3] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [4] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [5] 孟鸿光,李中,刘乙俭,等. 沈阳城郊温室土壤特性调查研究[J]. 土壤通报,2000,31(2):70-72.
- [6] LI W Q,ZHANG M S,VAN- DER Z. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China[J]. *Pedosphere*, 2001,11(4):359-367.
- [7] 姚静,邹志荣,杨猛,等. 设施栽培中土壤次生盐渍化问题及解决途径[J]. 陕西农业科学,2003(4):39-41.
- [8] 袁巧霞,朱端卫,张官长. 大棚土壤浸提液电导率与盐分关系的研究[J]. 华中农业大学学报,2008,27(2):239-242.
- [9] 余海英,李廷轩,周建民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报,2006,43(4):571-576.

## Salt Accumulation in Greenhouse Soil of *Gerbera jamesonii*

CHU Ke-long<sup>1</sup> PEI Feng<sup>1</sup> ZHANG Qi<sup>2</sup> CUI Xin-hong<sup>2</sup> SHEN Lie-ying<sup>2</sup>

1. Shanghai Institute of Little Fruit, Shanghai 201400, China;

2. Shanghai Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232, China;

**Abstract** Salt accumulation and ion constitution were studied by investigating greenhouse *Gerbera jamesonii* cultivation in Fengxian Area of Shanghai City, and analyzing both greenhouse and open field soil samples. The results showed that soil acidification and secondary salinization occurred. Soil acidification was mainly due to the accumulation of  $\text{NO}_3^-$ . Apart from  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ , the contents of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  increased to different degree in greenhouse soils and they were well correlated each other.  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  were the major ions in the soils. The significant stepwise regression equation between ions and soil salinity is  $\rho(\text{soil salinity}) = 0.291 + 5.295\rho(\text{Ca}^{2+}) + 2.177\rho(\text{NO}_3^-)$ .

**Key words** greenhouse soil; *Gerbera jamesonii*; salt accumulation; ion constitution

(责任编辑:张志钰)