农业环境科学学报 2009,28(2):292-298
Journal of Agro-Environment Science

有机肥与尿素配施对设施土壤盐分含量与组成变化的影响

刘媛媛，李廷轩，余海英，张锡洲

（四川农业大学资源环境学院，四川 雅安 625014）

摘 要：通过室内模拟培养试验，研究了有机肥与尿素配施对设施土壤盐分的影响。结果表明：(1) 设施土壤的含盐量和电导率均随着施肥后培养时间的延长，呈先升高后降低再升高的趋势，培养 15~30 d 较高，30~60 d 降低，60 d 后又缓慢升高。设施土壤含盐量与有机肥施用量呈极显著正相关，而与尿素用量无明显的相关性；电导率则与尿素和有机肥施用量均有极显著正相关。(2) 施用尿素不同程度增加了 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、NO_3^-的含量，施用有机肥显著增加了 K^+、Na^+、Cl^-的含量，设施和露地土壤盐分总量和离子组成差异不显著。另外研究了土壤盐分总量和电导率分别与 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^-等含量的相关性，均呈极显著正相关。

关键词：有机肥；尿素；设施土壤；盐分；离子组成
中图分类号：S147.34 文献标志码：A 文章编号：1672-2043(2009)02-0292-07

Effect of Interaction Between Manure and Inorganic Fertilizers on Salt Content and Ion Composition in Greenhouse Soil

LIU Yuan-yuan, LI Ting-xuan, YU Hai-ying, ZHANG Xi-zhou
(College of Resources and Environment Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: Absorption of crops, nutrient efficiency and salt accumulation of soils were great influenced by interaction of different nutrition or soil salinity ion.It is very important to study the influences of interaction of several fertilizers concurrently in soils on salt content and ion composition for enhancing fertilizer use efficiency and regulating nutrient balance and salt content in greenhouse cultivation system. Thus, in this research, the effects of interaction between inorganic fertilizers and manure on salt content and ion composition in greenhouse and open field soil of Shuangliu in Sichuan Province were studied in an incubation experiment. The results showed that: (1) Salt content and EC in greenhouse soil changed in the same way as that in open field, EC were significantly related to salt content, they were first increased in the beginning 30 incubation days, decreased during 30 and 60 incubation days, then increased again after 60 days. A significant relationship was found between salt content and manure amount; however, salt content and urea fertilizer amount did not show much. EC were significantly correlated with both manure amount and urea fertilizer amount. (2) K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NO_3^- content were differently increased after urea application, and K^+, Na^+, Cl^- content were significantly increased after manure application. There were no significant difference between salt content and ion composition in greenhouse soil and that in open field soil. Both salt content and EC correlations with K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^- content were also discussed, results were significant.

Keywords: manure; urea; greenhouse soil; salt content; ion composition

设施栽培在我国分布广、类型多，是提高蔬菜等作物产量、平衡周年供应的有效途径，具有良好的社会和经济效益[1]。然而，各地设施栽培普遍缺乏与之相适宜的土肥管理措施，盲目施肥、肥料施用量大、施肥结构不合理等现象普遍存在[2-3]。随着种植年限的延长，设施土壤出现养分积累比例失衡、土壤板结、次生盐渍化等问题[4-5]，造成土壤质量恶化和一定的环境风险，生产上表现为作物生长障碍、产量和品质降低，严重制约了设施的发展与可持续利用。

化肥是土壤养分的主要来源[3]，有机肥在改良土壤结构、为作物提供较完全的养分等方面具有优越性[6-7]，常与无机肥配合施用。据调查[5]，在设施栽培中，一方面种植户大量施用化肥和有机肥，另一方面，土壤中养分大量积累和过剩，若不施用或减少施用化肥

收稿日期：2008-04-11
基金项目：四川省教育厅重点项目（2006A008，2004A003）；四川省教育厅青年基金项目（2006B009）；四川省青年基金（06ZQ026-020）；四川农业大学校科技青年创新基金（2005）
作者简介：刘媛媛（1983—），女，山东日照人，硕士，主要从事设施农业养分管理等方面的研究。E-mail：liuyuanyuan0653@163.com
通讯作者：李廷轩 E-mail：litinx@263.net

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和有机肥，则当季作物就会减产减收。多种肥料混合施用，不同养分间的交互作用，会影响作物对养分的吸收代谢和肥料利用率[8-10]，也会产生不同的盐分累积效应[11-12]，而土壤盐分离子与养分的交互作用也会影响某些养分的有效性[13-14]。因此，研究有机肥与无机肥配施对设施土壤盐分组成与含量变化的影响，对指导设施栽培合理施肥，调控设施土壤养分平衡与盐分含量，实现设施农业的可持续发展有积极意义。

1　材料与方法

1.1　供试材料

1.1.1　供试土壤

供试土壤为四川双流的设施栽培及相邻露地土壤，土壤类型为黄壤，均采自 0~20 cm 耕层土壤，经自然风干，过 2 mm 筛备用。土壤的基本性状如表 1、表 2 所示。

表 1　供试土壤基本肥力状况

Table 1　Nutrient contents of the soil tested

	有机质/ g·kg^{-1}	全氮/ g·kg^{-1}	速效氮/ mg·kg^{-1}	速效磷/ mg·kg^{-1}	速效钾/ mg·kg^{-1}
设施	26.69	1.28	130.41	82.54	162.46
露地	23.85	1.21	129.84	40.73	101.16

1.1.2　供试肥料

有机肥：鸡粪，取自四川农业大学动物营养所养殖场，风干过 2 mm 筛，养分含量为全氮 40.11 g·kg^{-1}、全磷 9.54 g·kg^{-1}、全钾 34.87 g·kg^{-1}、速效钾 28.66 g·kg^{-1}。

无机肥：氮、磷、钾肥分别为尿素（含 N 46.6%）、磷酸二氢钙（含 P_2O_5 27.0%）、硫酸钾（含 K_2O 53.9%），均为分析纯试剂。

1.2　试验设计与处理

有机肥设 0、10、20 g·kg^{-1} 土 3 个施用水平，尿素设 0、0.2、0.5 gN·kg^{-1} 土 3 个水平（均以风干土计算），采用完全组合设计（表 3），各处理统一施用磷酸二氢钙 0.1 g P_2O_5·kg^{-1} 土、硫酸钾 0.2 gK_2O·kg^{-1} 土（氮磷钾用量均为化肥用量，不包括有机肥养分），以不施肥作对照，分别在设施土壤和露地土壤中设置相同处理。

室内模拟培养方法：称取 160 g 土壤（以风干土计）于 250 mL 广口塑料瓶中，按设计准确称入有机肥，混匀，将化肥按不同肥料配比溶解在蒸馏水中，然后将溶液加入土壤中，再采用称重法用蒸馏水调节土壤含水量，均保持在 27%土壤含水量（即 70%田间持水量），盖紧瓶盖后，移至 25 ℃恒温箱分别培养 1、3、7、15、30、60、90 d，各处理在每个培养时间重复 3 次，培养结束后的土样风干备用。

表 3　有机肥与尿素配施试验设计

Table 3　Treatment in the manure and fertilizers interaction experiment

编号	处理	有机肥/ g·kg^{-1} 土	氮肥/ gN·kg^{-1} 土	磷肥/ gP_2O_5·kg^{-1} 土	钾肥/ gK_2O·kg^{-1} 土
T_0	CK	0	0	0	0
T_1	N_0	0	0	0.1	0.2
T_2	N_1	0	0.2	0.1	0.2
T_3	N_2	0	0.5	0.1	0.2
T_4	M_1	10	0	0.1	0.2
T_5	M_1N_1	10	0.2	0.1	0.2
T_6	M_1N_2	10	0.5	0.1	0.2
T_7	M_2	20	0	0.1	0.2
T_8	M_2N_1	20	0.2	0.1	0.2
T_9	M_2N_2	20	0.5	0.1	0.2

注：处理中 M、N 表示有机肥和氮肥，下标“0、1、2”表示不同施用水平，文中各处理分别用对应编号 T_n（n=0,1,…8,9）表示。Note: In the treatment, M, N mean manure and nitrogen fertilizers, “0、1、2” mean different fertilizers amount, T_n (n=0,1,…8,9) mean the treatment in the article below.

1.3　测定项目与方法

待测液制备：采用去离子水，按土水比 1:5 提取，振荡 5 min，过滤所得。

电导率采用电导仪（DDS.320 型）测定；K^+、Na^+采用火焰光度计法；Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}采用 EDTA 滴定法；HCO_3^-采用双指示剂中和滴定法；NO_3^-采用紫外分光光度法；Cl^-采用硝酸银滴定法；盐分总量采用离子加和法[15]。

2　结果与分析

2.1　土壤含盐量与电导率的变化特点

由图 1 可知，随着培养时间延长，各施肥处理设

表 2　供试土壤盐分含量与组成

Table 2　Salt content and ion composition of the soil tested

	K^+/g·kg^{-1}	Na^+/g·kg^{-1}	Ca^{2+}/g·kg^{-1}	Mg^{2+}/g·kg^{-1}	SO_4^{2-}/g·kg^{-1}	Cl^-/g·kg^{-1}	HCO_3^-/g·kg^{-1}	NO_3^-/g·kg^{-1}	含盐量/g·kg^{-1}	电导率/mS·cm^{-1}
设施	0.023	0.014	0.101	0.075	1.046	0.072	0.103	0.436	1.870	0.328
露地	0.018	0.012	0.080	0.015	0.922	0.052	0.069	0.436	1.603	0.293

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

施土壤含盐量总体呈先升高后降低再升高的趋势,培养前 7 d 含盐量迅速升高,15~30 d 含盐量较高,30~60 d 含盐量降低,60 d 后又升高。不同施肥处理的含盐量变化略有不同,未施尿素处理 T_1、T_4、T_7 及对照 T_0 培养 7 d 的含盐量最高,施用尿素处理则在培养 15~30 d 含盐量维持在较高水平,这与尿素的转化并对 NO_3^-、K^+、Ca^{2+}等离子的影响有关。各处理培养 1 d 时的土壤含盐量在 1.705~2.996 g·kg^{-1} 之间,平均为 2.359 g·kg^{-1} (CV= 17.35%),显著低于其他培养时间,各处理最高含盐量平均为 3.904 g·kg^{-1} (CV= 10.83%)。露地土壤含盐量变化与设施土壤有相似的趋势,培养 1 d 时含盐量较低,在 1.756~2.828 g·kg^{-1} 之间,平均为 2.221 g·kg^{-1} (CV=15.30%),培养前 7 d 迅速升高,15~30 d 各处理最高含盐量平均为 4.086 g·kg^{-1} (CV= 11.30%)。设施和露地土壤含盐量差异不显著,主要是由于供试设施土壤在样品采集前已经过了一段时间的揭棚荒废,其含盐量降低,与露地土壤差异不大。土壤含盐量随有机肥施用量的增加而增加,呈极显著正相关 (设施 r= 0.461**,露地 r=0.531*),而相同有机肥施用量时,各处理土壤含盐量差异不显著,含盐量与尿素用量无明显的相关性。

土壤含盐量高低可以通过土壤电导率来衡量[16-17]。图 2 分析表明,培养期间设施和露地土壤电导率与含盐量的变化趋势相似,两者呈极显著正相关 (设施 r=0.670**,露地 r=0.650*),培养 1 d 时电导率较低,均低于 0.700 mS·cm^{-1},培养前 15 d 逐渐升高。设施和露地土壤的电导率差异不显著,仅设施土壤 T_6 和 T_9 处理的电导率显著高于露地。而同一土壤不同施肥处理的电导率变化较大,差异显著。回归分析表明,电导率与尿素施用量存在极显著正相关 (设施 r= 0.535** 露地 r= 0.607*),与有机肥施用量也呈极显著正相关 (设施 r= 0.704** 露地 r=0.846**),因此,施用高量尿素和有机肥均能快速提高土壤电导率,培养 15 d 后电导率大于 0.800 mS·cm^{-1},T_9 处理设施土壤最大电导率达到 1.465 mS·cm^{-1}。培养试验采用的有机肥养分含量较高,土壤电导率变化明显。

2.2 土壤盐分离子组成变化特点

2.2.1 无机肥对土壤盐分离子组成与含量变化的影响

由图 3 可知,培养期间设施和露地土壤盐分离子均以阴离子为主,占各施肥处理不同培养时间的设施土壤盐分总量的 82.22%~93.81%,平均为 89.91% (CV=3.67%) 露地土壤在 84.09%~96.63%之间,平均

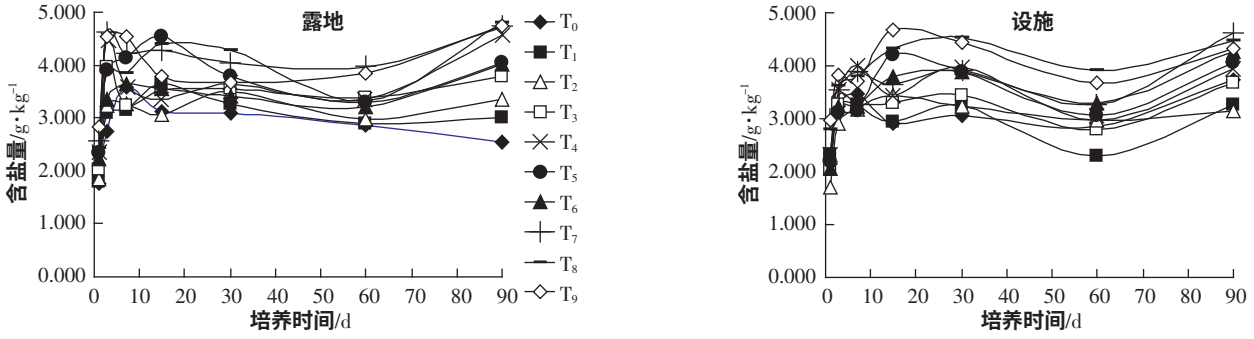

图 1 不同施肥处理设施和露地土壤含盐量变化特点

Figure 1 Changes of salt content of different treatment in greenhouse and open field soil

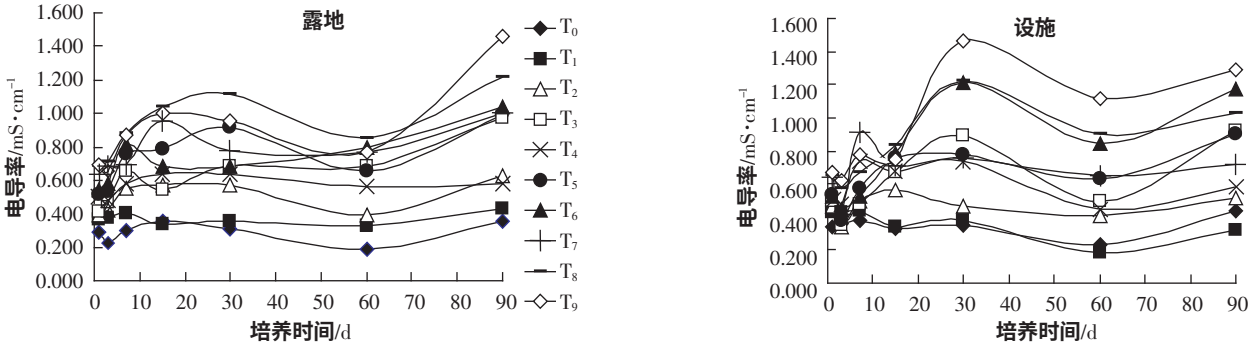

图 2 不同施肥处理设施和露地土壤电导率变化特点

Figure 2 Changes of EC of different treatment in greenhouse and open field soil

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

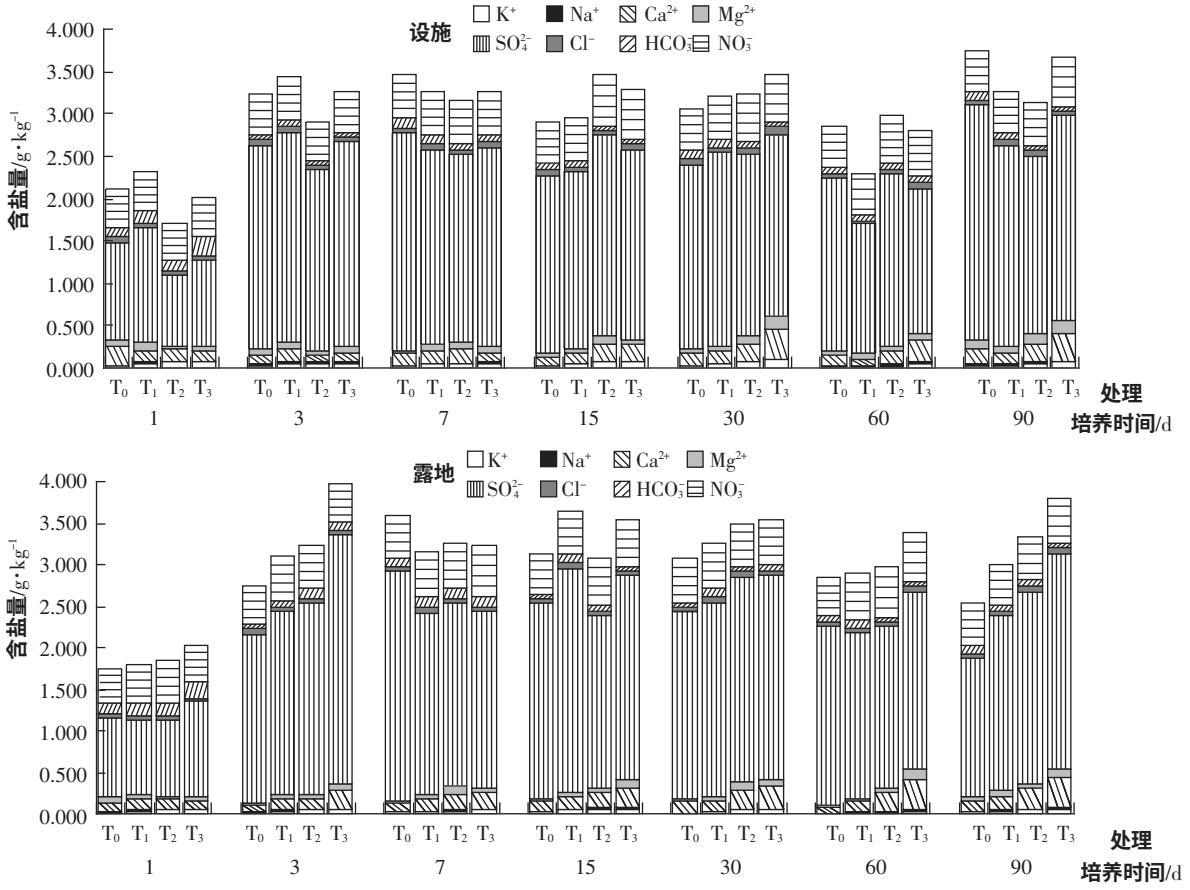

图 3 无机肥对设施和露地土壤盐分离子组成的影响

Figure 3 Effect of fertilizers on ion composition in greenhouse soil and open field soil

为90.92%（CV=3.25%），其中以 SO_4^{2-}含量最高，设施和露地土壤 SO_4^{2-}含量分别占盐分总量的 67.41%（CV=10.33%）和 67.87%（CV=10.25%），NO_3^-含量次之，分别占盐分总量的 17.23%（CV= 15.84%）和 17.69%（CV=20.40%）；土壤中阳离子含量较少，以 Ca^{2+}为主，Na^+最少。四川双流地区施用的肥料以复合肥、过磷酸钙、硫酸钾为主，因而土壤中盐分离子以 SO_4^{2-}、NO_3^-和 Ca^{2+}为主；培养试验中用尿素、磷酸二氢钙和硫酸钾作肥料，酰胺态氮水解产生的 NH_4^+经硝化作用转化为 NO_3^-，增加了 NO_3^-含量，带入的 SO_4^{2-}没有发生迁移转化导致其在土壤溶液中的浓度增加。

施用尿素处理 T_2、T_3 中 NO_3^-、K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}的含量较未施尿素处理 T_1 有不同程度的增加。NO_3^-在培养 7 d 后略有增加，主要是由于 NH_4^+硝化的影响。K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}的含量随尿素用量的增加而增加，尿素对水溶性 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}含量的影响主要是形成的 NH_4^+对吸附态盐基离子的交换作用[18]，施用尿素对其他盐分离子无显著影响。设施土壤盐分离子的含量及相对组成与露地土壤无显著差异。

2.2.2 有机肥与尿素配施对土壤盐分离子组成与含量变化的影响

由图 4 分析可知，设施和露地土壤有机肥与无机肥配施处理盐分离子仍以阴离子为主，但所占比例略有降低，设施土壤阴离子含量占盐分总量的 77.66%~91.59%，平均为 84.93%（CV=4.06%），露地土壤在 78.93%~ 89.52%之间，平均为 84.93%（CV=3.53%），其中 SO_4^{2-}含量最高，设施和露地土壤 SO_4^{2-}含量分别占盐分总量的 62.28%（CV =8.57%）和 62.80%（CV = 8.10%）；NO_3^-含量次之，分别占盐分总量的 12.66%（CV= 23.82%）和 12.13%（CV= 24.94%），NO_3^-含量与无机肥处理 T_1、T_2、T_3 差异不大，培养 1 d 时略低为 0.231 g·kg^{-1}（CV= 26.18%）。阳离子含量较无机肥处理略有增加，以 Ca^{2+}和 K^+为主，Na^+最少。除 NO_3^-以外，各盐分离子含量均较无机肥处理增加，以 K^+、Na^+、Cl^-最明显，培养期间 K^+、Na^+、Cl^-含量随有机肥用量的增加而显著增加。有机肥与尿素配施 K^+、Na^+、Ca^{2+}含量比

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

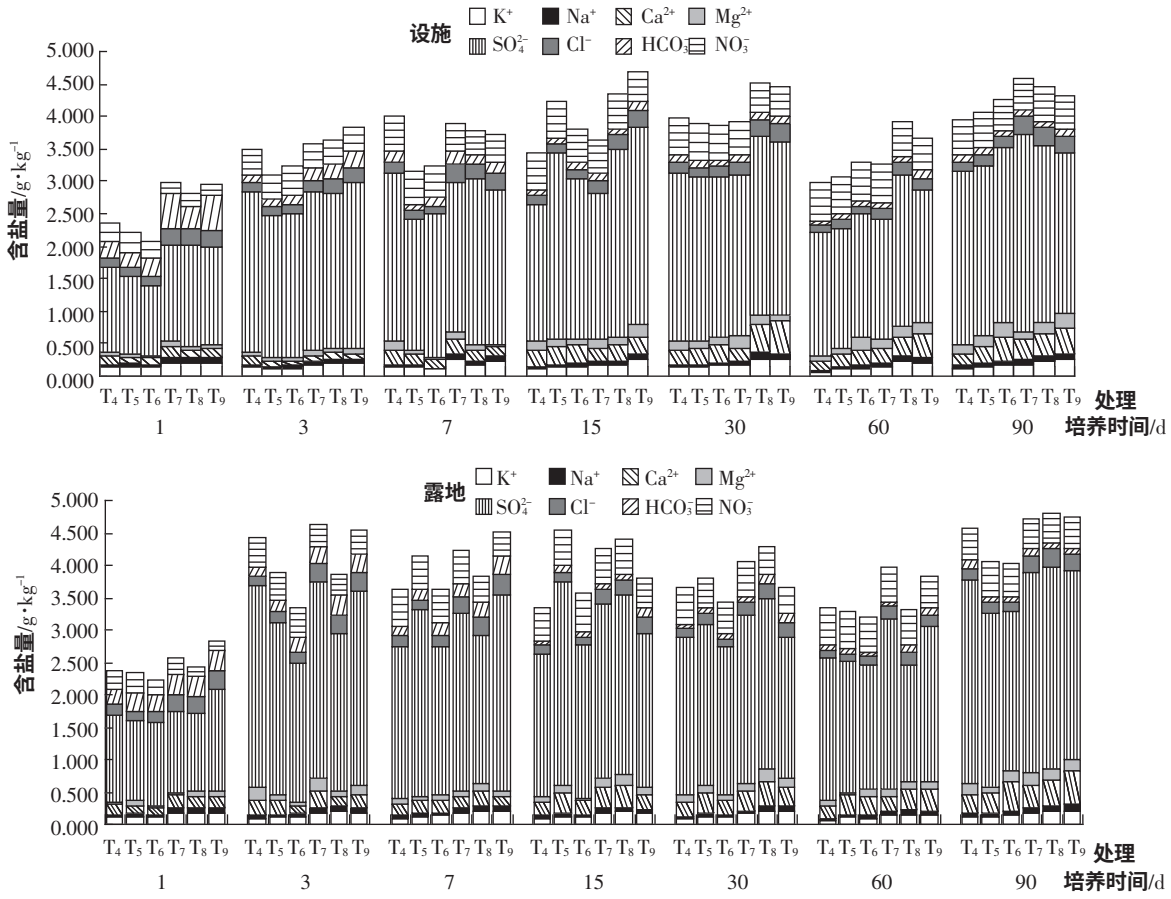

图 4 有机肥与尿素配施对设施和露地土壤盐分离子组成的影响

Figure 4 Interaction effect between manure and fertilizers on ion composition in greenhouse soil and open field soil

单施有机肥处理 T_4、T_7 增加,相同有机肥用量的各处理间其他盐分离子含量差异不显著。有机肥中 K^+、Na^+、Cl^-的含量较高,施用有机肥直接增加了盐分离子含量,施用尿素形成的 NH_4^+通过离子交换增加水溶性阳离子含量。

2.3 土壤盐分离子与盐分总量和电导率的相互关系

设施土壤各盐分离子含量变化对盐分总量及电导率的变化有不同影响。SO_4^{2-}含量最高,决定了盐分总量的变化趋势,培养 1~3 d,土壤 SO_4^{2-}含量显著增加,60 d 时略有降低,其他培养时间 SO_4^{2-}含量差异不显著。Ca^{2+}含量在培养前 15 d 有显著增加,之后变化趋势与盐分总量变化趋势相似。随着培养时间延长,HCO_3^-含量变化与盐分总量的变化趋势相反,培养前 15 d 显著降低,由培养 1 d 时的 0.152 g·kg^{-1} (CV=25.16%) 降至 15 d 时的 0.070 g·kg^{-1} (CV=20.13%),15 d 之后趋于平缓。NO_3^-含量在培养前 15 d 时显著升高,由 1 d 时的 0.458 g·kg^{-1} (CV=5.62%) 增加至 0.546 g·kg^{-1} (CV=7.54%),之后趋于平缓。其他离子含量变化与盐分总量有相似的变化趋势。露地土壤盐分离子变化,除有机肥处理 Cl^-含量逐渐降低 60 d 后略有增加外,其他各类盐分离子的变化趋势与设施土壤相似。

表 4 各盐分离子 (x_i) 与盐分总量 (y) 的回归分析表明,设施和露地土壤盐分总量与 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^-等的含量呈极显著正相关,且相关系数的大小与该离子在土壤中的含量有一定关系,各盐分离子中 SO_4^{2-}含量最高,其与盐分总量的相关程度最大 (设施 r=0.919**,露地 r=0.949**)。NO_3^-含量在培养 15 d 后无显著变化,其对土壤盐分总量的影响较小,设施土壤盐分总量与 NO_3^-含量有显著相关性 (r=0.320*),露地土壤中则无明显的相关性。HCO_3^-与盐分总量的变化趋势相反,但含量较低,设施和露地土壤中 HCO_3^-含量与盐分总量无相关性。

表 5 各处理,设施和露地土壤电导率与 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^-等含量呈极显著正相关。土壤电导率受阳离子的影响较大,各阳离子均与电导率有极显著正相关,以 Ca^{2+}的相关系数最大。阴离子仅有 SO_4^{2-}

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4 设施和露地土壤各盐分离子(x)与盐分总量(y)间的相互关系

Table 4 Correlation between ions (x) and total salts (y) in greenhouse and open field soils

测定项目	设施		露地	
	回归方程	相关系数	回归方程	相关系数
K^+	y=2.275+5.490x	r=0.591**	y=2.849+6.405x	r=0.556**
Na^+	y=2.890+12.863x	r=0.558**	y=2.893+13.860x	r=0.547**
Ca^{2+}	y=2.519+4.426x	r=0.632**	y=2.377+5.015x	r=0.641**
Mg^{2+}	y=2.524+8.965x	r=0.652**	y=2.453+11.204x	r=0.735**
SO_4^{2-}	y=0.694+1.230x	r=0.919**	y=0.651+1.243x	r=0.949**
Cl^-	y=2.679+5.040x	r=0.588**	y=2.784+4.840x	r=0.533**
HCO_3^-	–	r=0.188	–	r=0.089
NO_3^-	y=2.344+2.185x	r=0.320*	–	r=0.202

表 5 设施和露地土壤各盐分离子与电导率的相关性

Table 5 Correlation between ions and EC in greenhouse and open field soils

	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	NO_3^-
设施	0.767**	0.674**	0.863**	0.701**	0.378**	0.667**	0.053	0.120
露地	0.785**	0.750**	0.825**	0.712**	0.423**	0.701**	0.055	–0.043

和 Cl^-与电导率有显著相关性，HCO_3^-、NO_3^-与电导率无明显的相关性。有研究表明，NO_3^-相对富集是设施土壤盐分累积的普遍特征之一[19]，但四川双流地区设施与露地土壤离子均以 SO_4^{2-}和 Ca^{2+}为主，NO_3^-所占比例较少，其对盐分总量和电导率影响较小。

3 结论

(1) 室内模拟培养条件下，设施和露地土壤的含盐量与电导率的变化趋势一致，随着培养时间延长，呈先升高后降低再升高的趋势，培养 15~30 d 较高，30~60 d 降低，60 d 后又缓慢升高。土壤含盐量与有机肥施用量呈极显著正相关，而与氮肥用量无明显的相关性。电导率与氮肥和有机肥施用量均有极显著正相关。

(2) 设施和露地土壤盐分总量和离子组成差异不显著，土壤盐分离子均以阴离子为主，其中以 SO_4^{2-}含量最高，NO_3^-含量次之；阳离子含量以 Ca^{2+}、K^+为主，Na^+最少。施用氮肥不同程度地增加了土壤溶液中 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、NO_3^-的含量；施用有机肥显著增加了 K^+、Na^+、Cl^-的含量。

(3) 设施和露地土壤 HCO_3^-含量变化与盐分总量的变化趋势相反，培养前 15 d 显著降低，15 d 之后趋于平缓，NO_3^-含量在培养前 15 d 显著升高之后也趋于平缓，而其他离子与盐分总量有相似的变化趋势。土壤盐分总量和电导率均与土壤溶液中 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^-含量呈极显著正相关。

参考文献：

[1] 张真和, 李建伟. 我国设施蔬菜产业的发展态势及可持续发展对策探讨[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31 (1): 4–8.
ZHANG Zhen–he, LI Jian–wei. Development tendency and sustainable development countermeasures of vegetable protected production in China[J]. *Shenyang Agric Univ*, 2000, 31 (1): 4–8.

[2] 李廷轩, 周健民, 段增强, 等. 中国设施栽培系统中的养分管理[J]. 水土保持学报, 2005, 19 (4): 70–75.
LI Ting–xuan, ZHOU Jian–min, DUAN Zeng–qiang, et al. Nutrient management of greenhouse cropping systems in China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19 (4): 70–75.

[3] 黄化刚, 张锡洲, 李廷轩, 等. 典型设施栽培地区养分平衡及其环境风险[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (2): 676–682.
HUANG Hua–gang, ZHANG Xi–zhou, LI Ting–xuan, et al. Nutrient balance and its environmental risks in typical green–house system[J]. *Journal of Agro–Environment Science*, 2007, 26 (2): 676–682.

[4] 余海英, 李廷轩, 周健民. 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.
YU Hai–ying, LI Ting–xuan, ZHOU Jian–min. Salt in typical green–house soil profiles and its potential environ–mental effects[J]. *Acts Pedologica Sinica*, 2006, 43 (4): 571–576.

[5] 王学军. 日光温室土壤次生盐渍化分析[J]. 北方园艺, 1998 (3): 12–13.
WANG Xue–jun. Analysis of soil secondary salinization in greenhouse[J]. *Northern Horticulture*, 1998 (3): 12–13.

[6] 索东让. 长期定位试验中化肥与有机肥结合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (2): 71–75.
SUO Dong–rang. Combined fertilization of chemical and organic fertilizers in a long–term position experiment[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23 (2): 71–75.

[7] 高菊生, 徐明岗, 王伯仁, 等. 长期有机无机肥配施对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21 (8): 211–214.
GAO Ju–sheng, XU Ming–gang, WANG Bo–ren, et al. The effects of rational application of long term organic and chemical fertilizers on soil fertility and rice yield[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21 (8): 211–214.

[8] 冯玉科. 不同施肥条件下土壤有效态磷、钾的动态变化及其对水稻养分吸收及产量的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
FENG Yu–ke. Changes of paddy soil phosphorus and potassium under different fertilization conditions of the long term experiment and their effect on the up take of rice´s phosphorus and potassium nutrient and on the rice yield[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002.

[9] 刘宝存, 孙明德, 吴　静, 等. 氮硫交互作用对小麦苗期生长和养分吸收的影响[J]. 华北农学报, 2002, 17 (3): 90–93.
LIU Bao–cun, SUN Ming–de, WU Jing, et al. Effect of interaction between nitrogen and sulfur on wheat growth and its nutrient uptake[J]. *Acta Agricultural Boreali–Sinica*, 2002, 17 (3): 90–93.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[10] 徐星凯,王子健,刘 琰. 土壤—植物系统中稀土元素与氮磷养分的交互作用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6):750–752.
XU Xing–kai, WANG Zi–jian, LIU Yan. Interaction between rare earths and nitrogen and phosphorus in soil–plant system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6):750–752.

[11] 刘杏认,任建强,刘建玲. 有机肥对油菜硝酸盐含量和土壤盐分累积的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5):920–923.
LIU Xing–ren, REN Jian–qiang, LIU Jian–ling. Effects of manure on nitrate accumulation in rape and salt accumulation in soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(5):920–923.

[12] 夏立忠,杨林章. 大棚番茄优化施肥与土壤养分和盐分的变化特征[J]. 中国蔬菜, 2003(2):4–7.
XIA Li–zhong, YANG Lin–zhang. Effect of fertilizer application on the accumulation of soil nutrients in plastic tunnel for tomato cultivation[J]. *China Vegetables*, 2003(2):4–7.

[13] Grattan S R, Grieve C M. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops[J]. *Scientia Hortieulturae*, 1999(78):127–157.

[14] 高秀兰,肖千明,娄春荣. 日光温室栽培番茄引起生理障碍 NO_3–N 浓度的研究[J]. 辽宁农业科学, 1997(1):8–12.
GAO Xiu–lan, XIAO Qian–ming, LOU Chun–rong, et al. The NO_3–N contents causing physiological barriers of tomato in sunlight greenhouse[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 1997(1):8–12.

[15] 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, 1999: 86–91.
LU Ru–kun. Analytical method of soil agricultural chemistry (In Chinese)[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999: 86–91.

[16] 葛菁萍,霍云鹏,蔡柏岩. 大棚土壤剖面 EC25℃值变化研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(2):80–81.
GE Qing–ping, HUO Yun–peng, CAI Bai–yan. Changes of EC25℃ in greenhouse soil profile[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(2):80–81.

[17] 李廷轩,张锡洲,王昌全,等. 保护地土壤次生盐渍化的研究进展[J]. 西南农业学报, 2001, 14(增刊):103–107.
LI Ting–xuan, ZHANG Xi–zhou, WANG Chang–quan, et al. Progress in the study on soil salinization of protected farmland[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2001, 14(Sup):103–107.

[18] 夏立忠,李忠佩,杨林章. 大棚栽培番茄不同施肥条件下土壤养分和盐分组成与含量的变化[J]. 土壤, 2005, 37(6):620–625.
XIA Li–zhong, LI Zhong–pei, YANG Lin–zhang. Changes in composition and content of nutrients and water soluble salts in soil under plastic greenhouse tomato cultivation in relation to fertilization[J]. *Soils*, 2005, 37(6):620–625.

[19] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤盐分的累积、迁移及离子组成变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4):642–650.
YU Hai–ying, LI Ting–xuan, ZHOU Jian–min. Salt accumulation, translocation and ion composition in greenhouse soil profiles[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(4):642–650.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net