

施用不同种类氮肥对日光温室土壤溶液离子组成的影响

陈竹君, 王益权, 许安民, 张立波, 周建斌

(西北农林科技大学资源环境学院 陕西杨凌 712100)

摘要: 采用土培模拟试验研究了施用不同量的尿素[CO(NH₂)₂]、碳酸氢铵(NH₄HCO₃)、硫酸铵[(NH₄)₂SO₄]对培养期间日光温室土壤溶液电导率(EC)和不同离子组成及比例的影响。结果表明,不同氮肥种类对土壤溶液电导率(EC)的影响主要表现在培养的前一周左右,之后不同品种间无明显差异。土壤溶液中NO₃⁻-N含量随施氮量和培养时间呈明显的上升趋势,不同氮肥种类NO₃⁻-N含量无明显差异;不同氮肥种类处理土壤溶液中NH₄⁺-N含量在培养的前7 d有所差异,之后亦无差异。随着氮肥施用量的增加,日光温室土壤溶液的EC及K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺离子的浓度升高;增施氮肥同时提高了土壤溶液中Ca/K、Mg/K的比值,而对土壤溶液钾的活度比(ARK)无显著影响。说明氮肥施用量是影响土壤-液界面离子交换的重要因素;由此带来的日光温室土壤盐分累积以及K⁺、Na⁺、Ca²⁺和Mg²⁺离子的淋失等问题值得关注。

关键词: 氮肥品种;氮肥用量;土壤溶液;电导率;离子组成

中图分类号:S153.5

文献标识码:A

文章编号:1008-505X(2008)05-0907-07

Effects of the application of different nitrogen fertilizers on the ion compositions in solution of the greenhouse soil

CHEN Zhu-jun, WANG Yi-quan, XU An-min, ZHANG Li-bo, ZHOU Jian-bin

(College of Resource and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An incubation experimental method was used to study the effects of application of different types of nitrogen fertilizers [CO(NH₂)₂, NH₄HCO₃, and (NH₄)₂SO₄] on the electrical conductivity (EC) and ion compositions and ratios in solution of a greenhouse soil. The addition of different types of nitrogen fertilizers only influenced EC of soil solution in the first week of incubation, after that the differences were not significant. The EC of soil solution was significantly increased by N application, indicating the significant contribution of nitrogen application to the accumulation of salts in the soil. The nitrate concentration in soil solution was increased with the application of N fertilizer and the incubation time. There were not significant differences in the nitrate concentrations in soil solution of different N fertilizer treatments. Different N fertilizer types only had some effects on NH₄⁺-N concentration in soil solution in the first week of incubation, and then the differences among the different types of N fertilizers were not significant. The application of N fertilizer also increased the concentrations of K⁺, Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in soil solution, especially the concentration of Ca²⁺ and Mg²⁺ ions; it was also the situation for the ratios of Ca/K and Mg/K in soil solution; however, the K⁺ activity ratio in solution remained constant during the incubation. It is concluded that the N application rates have significant effect on the ion balances between soil and solution interface. More attention needs to be paid to the effects of N application rates on the accumulation of salts in soil, and the leaching of K⁺, Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ from soil solution.

Key words: N fertilizer type; N application rate; soil solution; electrical conductivity (EC); ion compositions

收稿日期:2007-11-02

接受日期:2008-01-15

基金项目:西安市农业科技攻关项目(GG04094);西北农林科技大学2006年拔尖人才支持计划;西北农林科技大学科研专项(04ZM097)资助。

作者简介:陈竹君(1964—),女,陕西杨凌人,副教授,博士研究生,主要从事土壤学方面的教学研究。

Tel: 029-87082793, E-mail: zjchen@nwsuaf.edu.cn

日光温室栽培下过量施肥导致土壤养分比例失调,土壤质量退化等问题已引起人们的重视^[1-6]。氮肥是日光温室栽培下施用量最高的肥料种类,过量施用氮肥是当前不少地区日光温室栽培中存在的突出问题之一。过量施用氮肥不仅肥料利用率低,作物品质差,而且引起硝酸盐在土壤中大量累积,带来地下水的污染^[7-8];而且施入土壤的铵态氮、硝态氮或尿素态氮肥,不仅会引起土壤溶液离子组成发生变化,同时也影响土壤 pH 等一些理化性状,影响土-液界面离子的平衡^[9-10],进而影响日光温室土壤生态系统的正常功能。但关于这一方面的研究尚少见报道。为此,本研究采用土培模拟试验方法,探讨了施用不同种类氮肥及施肥量对陕西主要设施土壤之一的塿土土壤溶液离子组成及比例的影响,以期揭示氮肥施用对日光温室土壤溶液不同离子组成、比例及其养分平衡的影响,为日光温室栽培持续发展提供理论依据。

1 材料与方 法

供试土壤采自陕西杨凌示范区胡家底具有 8 年栽培年限的日光温室耕层,土壤类型为塿土,系统分类为普通土垫旱耕人为土。土壤基本理化性状为有机质 23.79 g/kg,有效磷 275.6 mg/kg,速效钾 742.4 mg/kg,CEC 24.21 cmol(+)/kg,pH 7.60。

试验设氮肥种类和用量两个因素,其中氮肥种类包括尿素[CO(NH₂)₂]、碳酸氢铵(NH₄HCO₃)、硫酸铵[(NH₄)₂SO₄]3 个品种,施氮水平为 N 0.1、0.2、0.4 和 0.6 g/kg,以不施肥作对照(分别用 N0.1、N0.2、N0.4、N0.6 和 N0 表示),共 13 个处理。以小塑料桶为试验钵,每钵装过 2 mm 筛风干土 2 kg,每处理重复 2 次。将肥料和土壤混匀后装钵,加水至田间

持水量的 80% 培养 42d。在培养的第 0.5 (加水平衡 12 h 时)、7、14、28 和 42 d,用环刀取土 150 g,在日立 Himac 2CR21 型高速离心机于 25℃、相当于水吸力 1.5 × 10⁵ Pa 条件下离心,提取土壤溶液。

测定离心平衡液的电导率(EC)、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NO₃⁻ 和 NH₄⁺ 等离子的浓度。EC 采用上海第二分析仪器厂生产的 DDS-11A 型电导仪测定;K⁺、Na⁺ 离子采用火焰分光光度法测定,Ca²⁺、Mg²⁺ 离子采用原子吸收分光光度法测定^[11],NO₃⁻、NH₄⁺ 采用连续流动分析仪(BRAN + LUEBBE)测定。

2 结果与分析

2.1 施用氮肥对土壤溶液电导率的影响

与不施氮肥相比,施用不同种类的氮肥土壤溶液 EC 均有不同程度的增加,但不同种类氮肥对土壤溶液 EC 的影响有所不同(图 1)。相关分析表明,培养起始时,当氮肥施用量由 N0.1 增加到 N0.6 时,尿素及碳酸氢铵处理土壤的溶液 EC 随施氮量增加的变化未达显著水平,而硫酸铵处理土壤溶液 EC 随施氮量的增加显著增加($r = 0.989 \times \times$),且土壤溶液 EC 高于相应施用尿素及碳酸氢铵处理,这可能与尿素为有机物,施入土壤后需脲酶分解,而碳酸氢铵的盐分指数低于硫酸铵有关^[12]。培养 7 d 时,尿素及碳酸氢铵处理土壤溶液的 EC 随施氮量的增加明显增加,这与其随后的分解转化有关。之后各时期不同氮肥品种土壤溶液 EC 均随施氮量的增加呈显著或极显著增加;相同施氮量下,不同氮肥品种间土壤溶液 EC 差异不明显。图 1 还看出,随着培养时间的延长,各处理土壤溶液 EC 均呈现上升趋势,这与培养过程中土壤有机质的矿化作用有关。

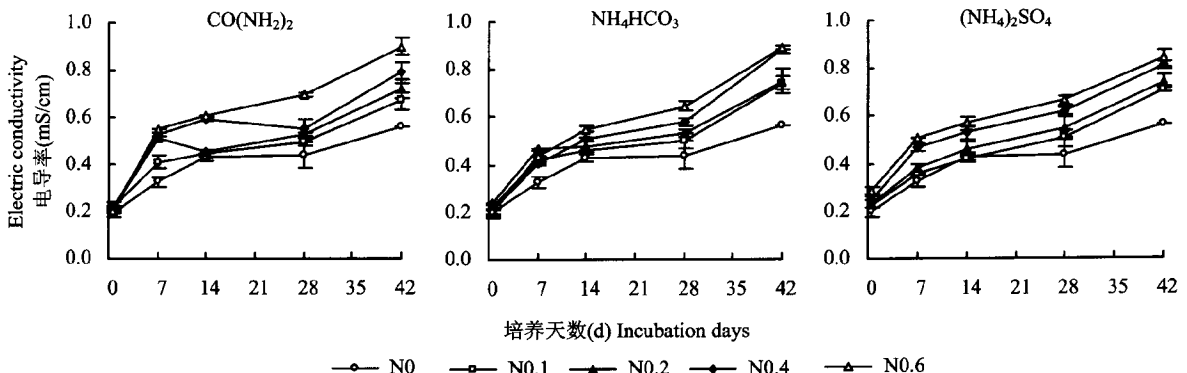


图 1 不同氮肥及施用量对土壤溶液电导率的影响

Fig.1 Effects of the application of different nitrogen fertilizers on soil solution EC

2.2 氮肥施用对土壤溶液离子组成的影响

2.2.1 对土壤溶液中 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 的影响

施用不同品种氮肥,土壤溶液 NO_3^- -N 含量均随施氮量的增加呈明显地增加趋势。在培养的 0~14 d 期间,土壤溶液 NO_3^- -N 含量显著增加,培养第 28 d 时土壤溶液 NO_3^- -N 有所降低,之后又显著增加(图 2)。t 检验表明,各培养时期不同氮肥品种对土壤溶液 NO_3^- -N 含量间的影响未达显著水平。

图 2 看出,硫酸铵和碳酸氢铵处理在培养初期,土壤溶液中 NH_4^+ -N 随施氮量增加显著增加,但随着

培养时间的持续, NH_4^+ -N 含量迅速减少,7 d 后不同施氮量间无差异,这与施入土壤铵态氮肥的硝化作用有关。施用尿素的处理,在培养初期,土壤溶液中 NH_4^+ -N 含量与对照相比有所增加,但幅度较小;14 d 后土壤溶液 NH_4^+ -N 含量与施肥量亦无明显关系。这是由于施入土壤的尿素在脲酶作用下,需要一定时间水解之后才能转变为 NH_4^+ -N^[13],同时水解产生的 NH_4^+ -N 随后会发生硝化作用,因此,土壤溶液 NH_4^+ -N 含量与硫酸铵和碳酸氢铵处理相比变化较小。

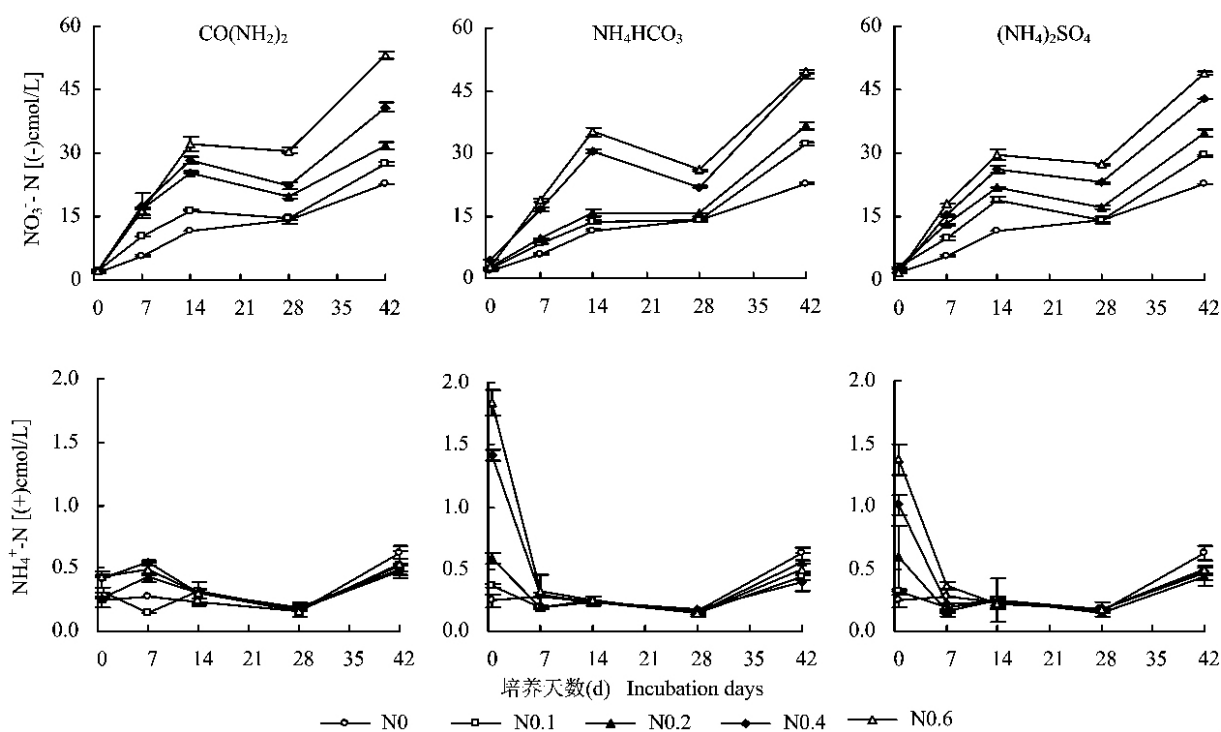


图 2 不同氮肥及施用量对土壤溶液 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 的影响

Fig.2 Effects of the application of different nitrogen fertilizers on NO_3^- -N and NH_4^+ -N contents in soil solution

2.2.2 对土壤溶液中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量的影响

图 3 表明,施用不同种类的氮肥均比对照增加了土壤溶液中 K^+ 的含量,这与施入土壤的氮肥与土壤胶体吸附的 K^+ 的交换作用有关。不同培养阶段中,随着施氮量的增加,各氮肥品种土壤溶液中 K^+ 的含量也呈明显地增加趋势,但土壤溶液中 K^+ 的含量的增加并未随施氮量的增加而呈比例地增加。t 检验表明,各培养时期不同氮肥品种对土壤溶液 K^+ 的含量间的影响未达显著差异水平。培养过程中不同品种及其氮肥用量对土壤溶液中 Na^+ 浓度的影响相对较小,这可能与 Na^+ 离子在土壤中较为活跃有关。

施用不同种类的氮肥也增加了土壤溶液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量(图 4)。相关分析表明,培养起始时当氮肥施用量由 N 0.1 增加到 N 0.6 时,不同氮肥品种处理土壤溶液中 Ca^{2+} 随施氮量增加的变化未达显著水平;之后,除尿素处理培养 7 d 外,其他处理各培养时期土壤溶液中 Ca^{2+} 的含量均随着施氮量的增加呈显著或极显著增加,说明增施氮肥显著增加了土壤溶液中 Ca^{2+} 的含量。随着氮肥施用量的增加,除培养起始时碳酸氢铵处理外,其他处理土壤溶液中 Mg^{2+} 含量随之增加,但只有培养第 28 d 时各氮肥品种处理土壤溶液中 Mg^{2+} 含量与氮肥用量的

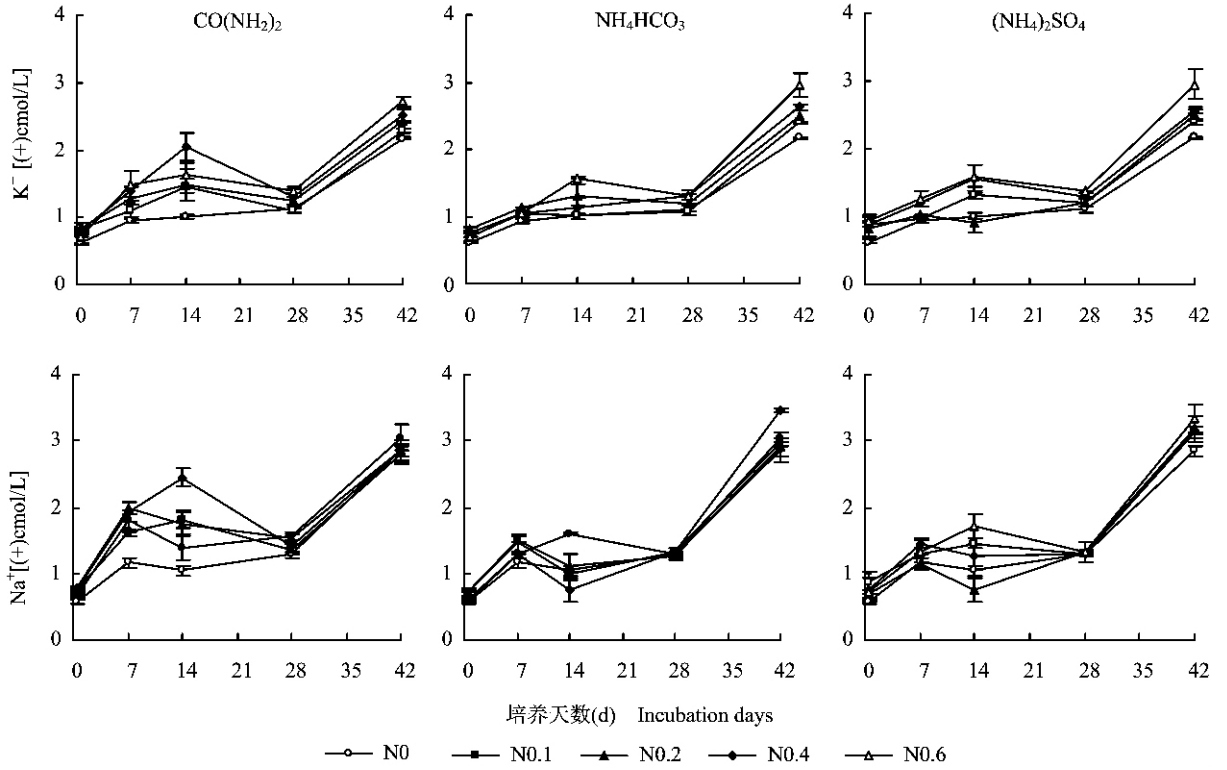


图 3 不同氮肥及施用量对土壤溶液中 K⁺ 和 Na⁺ 的影响

Fig.3 Effects of the application of different nitrogen fertilizers on K⁺ and Na⁺ contents in soil solution

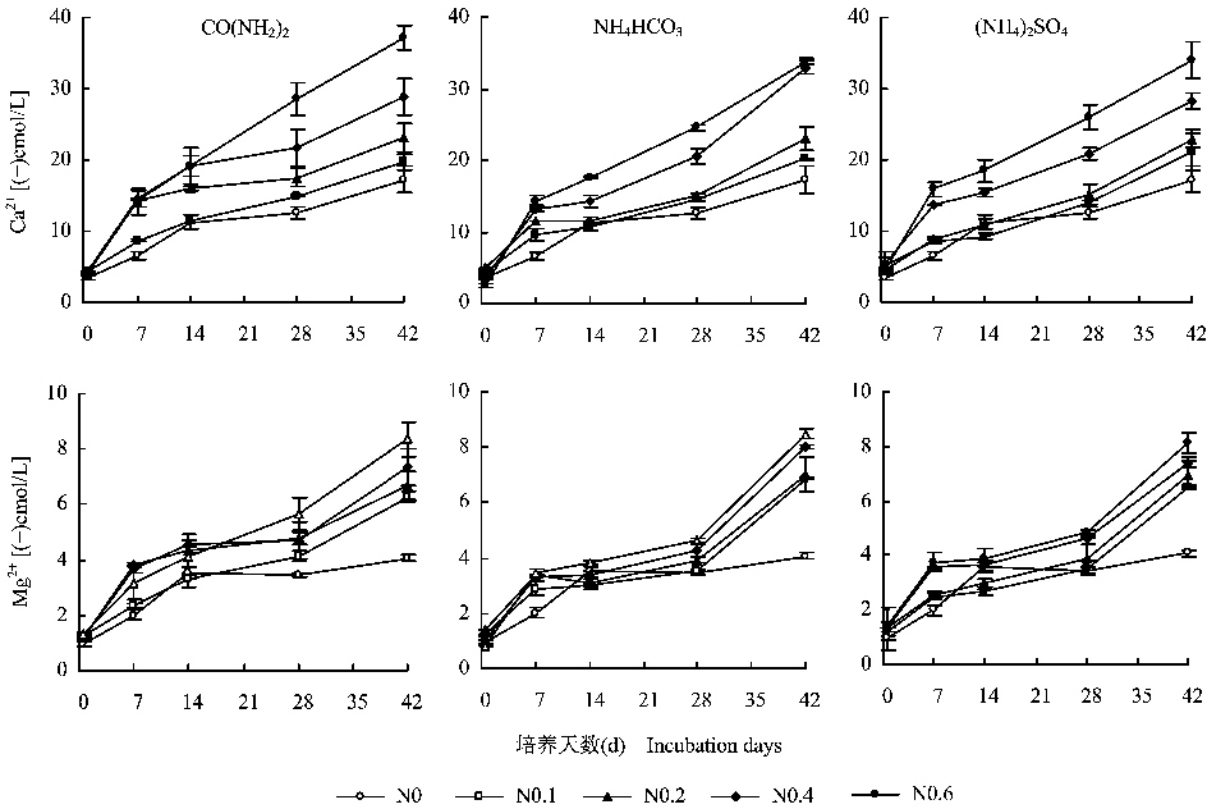


图 4 不同氮肥及施用量对土壤溶液中 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 的影响

Fig.4 Effects of the application of different nitrogen fertilizers on Ca²⁺ and Mg²⁺ contents in soil solution

关系达显著水平。另外,硫酸铵处理培养第 7 d 及尿素处理培养第 42 d 土壤溶液中 Mg^{2+} 含量与氮肥用量的关系亦达显著水平,说明氮肥用量对土壤溶液中 Ca^{2+} 含量的影响大于对 Mg^{2+} 含量的影响。不同氮肥品种虽然对土壤溶液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量的影响有所差异,但 t 检验未达显著差异水平。

2.3 施用氮肥对土壤溶液中不同离子比例的影响

2.3.1 对土壤溶液不同阳离子比例的影响

表 1 可以看出,与不施肥对照相比,培养起始时(0.5 d)施用不同氮肥品种对土壤溶液中 Ca^{2+}/K^+ 比值无明显影响;除培养第 14 d 外,其他各时期 Ca^{2+}/K^+ 比值均提高,且有随氮肥施用量的增加而增加的趋势。土壤溶液中 Mg^{2+}/K^+ 比值的变化与 Ca^{2+}/K^+

比值的变化的变化类似。

土壤溶液中钾的活度比(ARK)反映了钾离子活性的大小^[14]。表 1 还看出,除少数处理 ARK 与对照差异达到 5% 显著外,其余各处理均无明显差异。说明虽然施用氮肥后使得土壤溶液中的钾离子浓度增加(图 3),但 K^+ 的活性的变化较小。

与土壤溶液中 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度随培养时间的持续不断增加的变化相比(图 3、图 4),土壤溶液中 Ca^{2+}/K^+ 、 Mg^{2+}/K^+ 及 ARK 等随培养时间的变化趋势相对较小,反映了土壤溶液中离子组成比例的相对稳定性。

2.3.2 土壤溶液中 NO_3^- -N 与阳离子间的关系

相关分析(图 5)表明,土壤溶液中 NO_3^- -N 的浓度和 K^+ 、

表 1 施用氮肥对土壤溶液中阳离子比例及钾离子活度比的影响

Table 1 Effects of the application of different nitrogen fertilizers on cation ratios and K^+ activity ratio in soil solution

处理 Treatments (N g/kg)	Ca/K					ARK					
	0.5 d	7 d	14 d	28 d	42 d	0.5 d	7 d	14 d	28 d	42 d	
CK	0.0	5.59 a	6.96 f	11.08 bc	11.33 f	7.92 e	1.38 a	1.34 ef	1.43 abc	1.41 ef	1.18 c
$CO(NH_2)_2$	0.1	5.27 a	7.93 ef	7.71 e	13.52 de	8.65 e	1.30 bc	1.33 f	1.27 bc	1.45 abcd	1.20 abc
	0.2	4.94 a	11.24 bc	10.83 bc	14.08 d	9.54 cde	1.30 bc	1.37 def	1.33 abc	1.43 cdef	1.20 abc
	0.4	5.24 a	10.54 c	9.40 cd	16.59 bc	11.50 bc	1.31 abc	1.34 ef	1.23 c	1.44 abcd	1.23 abc
	0.6	5.91 a	9.58 de	11.73 ab	20.40 a	13.67 a	1.36 ab	1.30 f	1.32 bc	1.47 ab	1.25 a
NH_4HCO_3	0.1	5.68 a	9.09 de	10.44 c	13.41 de	8.39 e	1.34 ab	1.37 def	1.41 abc	1.44 abcd	1.18 bc
	0.2	5.94 a	10.23 cd	8.66 de	12.72 def	9.26 cde	1.34 ab	1.38 cde	1.31 bc	1.42 def	1.19 abc
	0.4	5.02 a	12.47 ab	12.71 a	15.92 c	12.56 ab	1.33 abc	1.44 ab	1.42 abc	1.44 abcd	1.24 ab
	0.6	3.58 b	13.61 a	11.18 bc	18.70 ab	11.43 bc	1.27 bc	1.45 a	1.32 bc	1.46 abc	1.19 abc
$(NH_4)_2SO_4$	0.1	5.84 a	8.99 de	7.01 e	11.71 ef	8.77 e	1.31 abc	1.39 bcd	1.27 bc	1.39 f	1.19 abc
	0.2	5.52 a	8.84 e	11.97 ab	12.43 def	9.24 de	1.32 abc	1.37 def	1.46 ab	1.40 ef	1.19 abc
	0.4	6.33 a	11.49 bc	9.84 cd	16.00 c	11.04 bcd	1.33 abc	1.39 def	1.29 bc	1.44 abcd	1.22 abc
	0.6	4.94 a	12.62 a	11.60 bc	19.00 ab	11.52 b	1.27 bc	1.40 bed	1.32 bc	1.46 abc	1.19 abc

注(Note): ARK = $pK - 1/2p(Ca + Mg)$ 同一列数据不同字母代表差异达 5% 显著水平 Different letters in the same column indicates significant at 5% level.

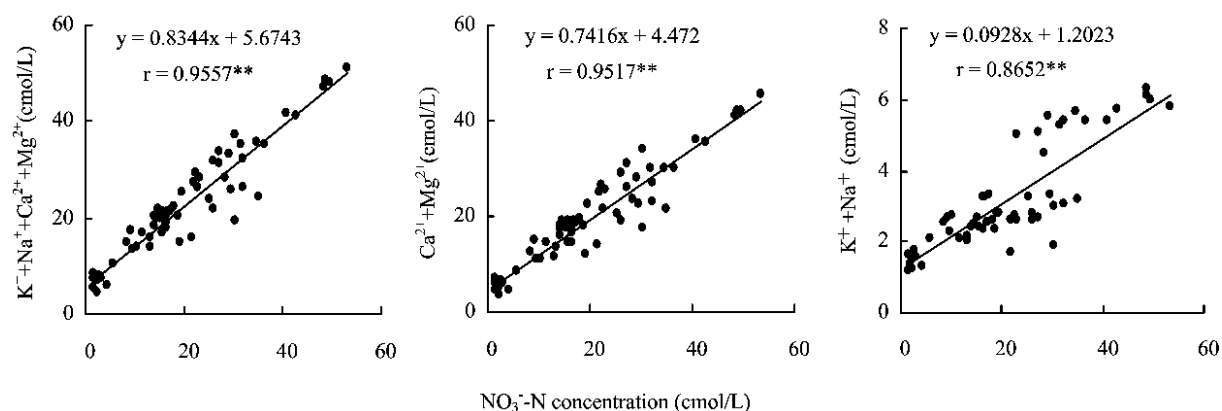


图 5 土壤溶液中 NO_3^- -N 与阳离子间的关系曲线

Fig.5 Correlation between NO_3^- -N and cations in soil solution

Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子总和及 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间均存在极显著的相关性,说明增施氮肥促进了土壤胶体吸附的这些阳离子的解离。另外,土壤溶液中 NO_3^- -N 浓度和 Ca、Mg 离子之和的相关性高于与 K、Na 离子之和,原因有待于进一步研究。

3 讨论

有效降低日光温室土壤盐分的过量累积是保证其持续发展的重要措施之一。本研究看出,不同氮肥品种对土壤溶液 EC 的影响有所差异。培养起始时,硫酸铵处理对土壤溶液 EC 的影响明显大于尿素和碳酸氢铵处理,之后氮肥品种间差异变小。与氮肥种类相比,氮肥施用量对土壤溶液 EC 的影响更为明显,随着施用量的增加,土壤溶液 EC 显著增加,说明氮肥施用量与土壤盐分累积具有十分密切的关系。日光温室的氮肥施用量最高,不少地区的施用量超过 $\text{N } 1500 \text{ kg/hm}^2$ [15]。因此,避免氮肥过量施用,是减少日光温室土壤盐分累积的有效途径。另外,随培养时间延长,对照及各施氮处理土壤溶液 EC、 NO_3^- -N、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量都显著增加,而且高于氮肥施用量增加幅度,这主要与设施栽培重视施用有机肥 [15-16],土壤有机质含量较高,有机态养分随着培养发生矿化作用有关 [17]。

虽然石灰性土壤施入铵态氮肥后存在氮挥发的可能,但本试验将供试氮肥与土壤混合均匀,氮挥发总量无明显差异 [18],因此未考虑氮的挥发损失。结果看出,施用不同氮肥对土壤溶液中 NH_4^+ -N 含量的影响有所不同。施用铵态氮肥(碳酸氢铵、硫酸铵)显著增加了培养起始阶段(7 d 前)土壤溶液中 NH_4^+ -N 含量,之后与对照无明显差异,这是由于施入土壤的硫酸铵和碳酸氢铵在土壤加水后会迅速解离为 NH_4^+ ,而随后发生硝化作用转变为 NO_3^- -N。施用尿素处理的土壤溶液中在初始阶段 NH_4^+ -N 含量相对较小,因尿素需在脲酶作用下水解后才能转变为 NH_4^+ -N,同时 NH_4^+ -N 也在不断进行着硝化作用。由于培养处在好气条件,随着培养的进行,施用不同氮肥极显著地增加了土壤溶液中 NO_3^- -N 含量,但不同氮肥品种对土壤溶液 NO_3^- -N 含量影响的差异未达显著水平。

本研究还表明,增施不同种类的氮肥均增加了土壤溶液中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度。这一方面与施用氮肥后铵离子与土壤胶体吸附的这些阳离子的交换有关 [9,19];另一方面也与 NO_3^- 不容易被土壤固相吸附而存在于土壤溶液中,受电化学平衡

支配,土壤溶液要维持电中性 [9-10],促使固相将 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等阳离子等量地解离进入土壤溶液有联系。土壤溶液中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度的增加也是增施氮肥后土壤溶液 EC 显著增加的原因之一。土壤中二价离子特别是 Ca^{2+} 离子与土壤结构的稳定有密切关系 [20],增施氮肥后土壤溶液中这些离子浓度的增加无疑会影响土壤结构。土壤溶液中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 浓度的增加,也增大了这些离子淋失的风险。在一些由河流冲积物发育的质地较粗的土壤上,这些影响更值得关注。

增施氮肥增加了土壤溶液中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度,但对不同离子的影响有所不同。与 K、Na 离子相比,增施氮肥对土壤溶液中 Ca、Mg 离子浓度增加的影响更为明显,使 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 淋溶的风险也更大。孙本华等 [21] 认为,随氮输入量的增加土壤 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的淋溶量增加,而对 Na^+ 和 K^+ 则无明显影响。其他一些研究也认为,随着日光温室栽培年限增加,土壤交换性阳离子组成中钙、镁离子饱和度降低 [13-4],这与本研究结果相呼应。增施氮肥,还提高了土壤溶液中 Ca/K 的比值;而增施氮肥对土壤溶液钾的活度比(ARK)无显著影响,这些可能与土壤胶体对不同离子的结合能力不同有关。本研究仅仅从土壤溶液中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 浓度的变化评价氮肥施用对土壤溶液离子组成和含量的影响,有必要进一步从土壤物理化学角度深入研究日光温室栽培下氮肥用量对土-液界面离子交换特性的影响。

参考文献:

- [1] 张桃林,李忠佩,王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 843-850.
Zhang T L, Li Z P, Wang X X. Soil degradation its eco-environmental impact under highly-intensified agriculture[J]. Acta Pedol. Sin., 2006, 43(5): 843-850.
- [2] 周健民,石元亮. 面向农业与环境的土壤学科[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 29-35.
Zhou J M, Shi Y L. Soil science for agriculture and environment[M]. Beijing: Science Press, 2004. 29-35.
- [3] 姜勇,张玉革,梁文举. 温室蔬菜栽培对土壤交换性盐基离子组成的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 78-81.
Jiang Y, Zhang Y G, Liang W G. Influence of Greenhouse vegetable cultivation on composition of soil exchangeable base cation[J]. J. Soil Water Conserv., 2005, 19(6): 78-81.
- [4] 陈竹君,王益权,周建斌,等. 日光温室栽培对土壤养分累积及交换性养分含量和比例的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 5-8.
Chen Z J, Wang Y Q, Zhou J B et al. Nutrient accumulations and

- changes of exchangeable cation ions in soils under sunlight greenhouse vegetable cultivation[J]. *J. Soil Water Conserv.* , 2007 , 21(1): 5-8.
- [5] Matson P A , Parton W J , Power A G , Swift M J . Agricultural intensification and ecosystem properties[J]. *Science* , 1997 , 277 : 504-509.
- [6] 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 H Y , Li T X , Zhou J M . Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects[J]. *Acta Pedol. Sin.* , 2006 , 43(4): 571-576.
- [7] 刘宏斌 , 张云贵 , 李志宏 , 等 . 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究[J]. *中国农业科学* , 2004 , 37(5): 692-698.
Liu H B , Zhang Y G , Li Z H *et al.* Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. *Sci. Agric. Sin.* , 2004 , 37(5): 692-698.
- [8] 周建斌 , 翟丙年 , 陈竹君 , 等 . 设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应[J]. *农业环境科学学报* , 2004 , 23(2): 332-335.
Zhou J B , Zhai B N , Chen Z J *et al.* Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental effects[J]. *J. Agro-Environ. Sci.* , 2004 , 23(2): 332-335.
- [9] Yanai J , Robinson D , Young L M *et al.* Effects of the chemical form of inorganic nitrogen fertilizers on the dynamics of the soil solution composition and on nutrient uptake by wheat[J]. *Plant Soil* , 1998 , 202 : 263-270.
- [10] 李学垣 . 土壤化学[M]. 北京 : 高等教育出版社 , 2001 . 168-180.
Li X Y . Soil chemistry[M]. Beijing : Higher Education Press , 2001 . 168-180.
- [11] 鲍士旦 . 土壤农化分析(第三版) [M]. 北京 : 中国农业出版社 , 2000 .
Bao S D . Agrochemical soil analysis[M]. Beijing : China Agricultural Press , 2000 .
- [12] 奚振邦 . 现代化学肥料学(第二版) [M]. 北京 : 中国农业出版社 , 2003 .
Xi Z B . Modern chemical fertilizer[M]. Beijing : China Agricultural Press , 2003 .
- [13] 李世清 , 李生秀 . 影响土壤尿素水解速率的一些因子[J]. *植物营养与肥料学报* , 1999 , 5(2): 156-162.
Li S Q , Li S X . Some factors affecting urea hydrolysis rates in soils [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.* , 1999 , 5(2): 156-162.
- [14] Sparks D L , Liebbardt W C . Effect of long-term lime and potassium application on quantity-intensity(Q/I) relationships in sandy soil[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 1981 , 45 : 786-790.
- [15] 周建斌 , 翟丙年 , 陈竹君 , 等 . 西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状及土壤养分累积特性[J]. *土壤通报* , 2006 , 37(2): 287-290.
Zhou J B , Zhai B N , Chen Z J *et al.* Fertilizers application and nutrient accumulations in tomato-grown soils under greenhouse condition in the Suburban of Xian city[J]. *Chin. J. Soil Sci.* , 2006 , 37(2): 287-290.
- [16] 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 T X , Zhou J M , Duan Z Q *et al.* Nutrient management of greenhouse cropping systems in China[J]. *J. Soil Water Conserv.* , 2005 , 19(4): 70-75.
- [17] 李菊梅 , 王朝辉 , 李生秀 . 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. *土壤学报* , 2003 , 40(2): 232-238.
Li J M , Wang Z H , Li S X . Significance of soil organic matter , total N and mineralizable nitrogen in reflecting soil N supplying capacity [J]. *Acta Pedol. Sin.* , 2003 , 40(2): 232-238.
- [18] 凌莉 , 李世清 , 李生秀 . 石灰性土壤氨挥发损失的研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报* , 1999 , 5(6): 119-122.
Ling L , Li S Q , Li S X . Study on ammonia volatilization from calcareous soil[J]. *J. Soil Eros. Soil Water Conserv.* , 1999 , 5(6): 119-122.
- [19] 陈四根 , 白锦麟 , 张一平 , 等 . 几种土壤 $\text{NH}_4\text{-Ca}$ 交换平衡及热力学参数[J]. *土壤通报* , 1994 , 25(2): 71-73.
Chen S G , Bai J L , Zhang Y P *et al.* Study on $\text{NH}_4\text{-Ca}$ exchange equilibrium and thermodynamic parameters of the soils in Shaanxi[J]. *Chin. J. Soil Sci.* , 1994 , 25(2): 71-73.
- [20] 黄昌勇 . 土壤学[M]. 北京 : 中国农业出版社 , 2000 .
Huang C Y . Soil sciences[M]. Beijing : China Agricultural Press , 2000 .
- [21] 孙本华 , 胡正义 , 吕家珑 , 等 . 大气氮沉降对阔叶林红壤淋溶水化学模拟研究[J]. *生态学报* , 2006 , 26(6): 1872-1881.
Sun B H , Hu Z Y , Lü J L *et al.* The leaching solution chemistry of a broad-leaved forest red soil under simulated N deposition in Southern China[J]. *Acta Ecol. Sin.* , 2006 , 26(6): 1872-1881.