

长期定位施氮肥对保护地土壤钙素分布的影响^①

张大庚, 李天来*, 依艳丽, 栗杰, 贺云龙

(沈阳农业大学, 沈阳 110866)

摘要: 利用长期定位试验系统地研究了单施氮肥和氮肥+有机肥配施对土壤钙素分布的影响。结果表明: 单施氮肥和氮肥+有机肥配施处理土壤全钙和水溶性钙含量分布均为 0~20 cm>20~40 cm 土层, 而吸附性钙素含量分布为 0~20 cm<20~40 cm 土层。单施氮肥处理两土层土壤水溶性钙含量均高于氮肥+有机肥配施处理, 而全钙和吸附性钙素含量均低于配施处理。单施氮肥处理土壤不同粒级全钙含量分布均为: (<0.1 mm)>0.1~0.2 mm>0.2~0.5 mm>0.5~1 mm, 氮肥+有机肥配施处理为: (<0.1 mm)>0.5~1 mm>0.1~0.2 mm>0.2~0.5 mm。两组处理土壤各粒级水溶性钙和吸附性钙含量分布均为: (<0.1 mm)>0.1~0.2 mm>0.2~0.5 mm>0.5~1 mm。

关键词: 长期定位; 氮肥; 保护地; 钙素分布

中图分类号: S143.1

保护地蔬菜栽培具有生长期短、复种茬口多、需肥量高等特点。在实际生产中, 往往通过大量施肥来获得高产, 施肥量可达露地用量的 4~10 倍, 蔬菜需要量的 6~8 倍, 因此造成了土壤养分的严重失衡和次生盐渍化^[1-2]。其中因氮肥施用过量引起的氮素累积, 易导致土壤呈现不同程度的酸化趋势, 进而影响了保护地土壤养分的平衡供应以及作物对养分的均衡吸收^[3-4]。钙是作物生长发育必需的中量营养元素, 由于氮肥过量施用, 保护地土壤中钙/氮比下降明显^[5-6], 而有关钙氮之间相互作用关系的研究还存在一定的矛盾。周卫^[7]研究指出施钙促进花生 NO₃⁻ 的吸收, 有利于氮素的运输和转化。Gunes 等^[8]研究也认为增加营养液钙水平, 显著增加了幼苗的含氮量, 有利于番茄产量的提高。而杨竹青和陶为民^[9]发现, 提高营养液供钙水平显著降低番茄对氮的吸收和利用, 钙氮呈显著负相关关系。郭文中等^[10]和鄢圣之^[11]研究认为, 土壤硝酸盐的积累会影响作物对钙的吸收, 导致钙生理病害加重。也有研究认为 NO₃⁻ 促进钙的吸收而 NH₄⁺ 抑制钙的吸收^[12-13]。陈竹君等^[14]研究表明氮肥施入量的增加会增加日光温室土壤中的钙离子的浓度。硝酸根与钙结合使钙更易向深层迁移^[15]。因此有关钙与氮互作关系较复杂, 需进一步的深入研究。

目前有关设施栽培中施氮肥对土壤钙素分布的影响还鲜见报道, 因此, 本文利用长期定位试验的连续性, 系统地研究了长期定位施氮肥及氮肥+有机肥配施

对不同土层及不同粒级土壤钙素分布的影响, 为保护地土壤合理施肥提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土样于 2009 年 5 月采自沈阳农业大学园艺学院 23 年长期定位施肥试验基地, 分为 0~20 cm 和 20~40 cm 两个土层。主要采集长期定位试验中单施氮肥和氮肥+有机肥配施两组, 共 6 个处理, 每个处理 3 次重复。氮肥+有机肥配施组用 A 表示, 单施氮肥组用 B 表示。各处理表示为: 氮肥+有机肥配施组 (A 组): AN0、AN1、AN2; 单施氮肥组 (B 组): BN0、BN1、BN2。其中施入的有机肥为腐熟的马粪, 于定植前一次性施入, 氮肥在作物生长期分两次追施, 小区面积为 1 m×1.5 m。长期定位试验不同处理施肥量如表 1 所示。

表 1 长期定位试验施肥量

Table 1 Amounts of fertilizers in different treatments

处理	马粪 (kg/hm ²)	纯氮素 (kg/hm ²)
AN0	75 000	0
AN1	75 000	287.7
AN2	75 000	575.4
BN0	0	0
BN1	0	287.7
BN2	0	575.4

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD07B04) 资助。

* 通讯作者 (tianlaili@126.com)

作者简介: 张大庚 (1975—), 女, 辽宁凌海人, 博士, 副教授, 主要从事土壤肥力方面的教学和科研工作。E-mail: zdg111@126.com

1.2 试验方法

不同粒级土壤的分离采用干筛法, 共分为 0.5 ~ 1 mm、0.2 ~ 0.5 mm、0.1 ~ 0.2 mm、<0.1 mm 4 个粒级。然后分别测定各粒级土壤中不同形态钙素含量。土壤中全钙含量的测定采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消煮法; 水溶性钙含量的测定采用无离子水浸提; 交换性钙含量的测定采用 1 mol/L NH_4OAc 浸提; 溶液中钙素含量的测定均采用原子吸收分光光度计法。

其他指标的测定均采用实验室常规方法。

1.3 数据处理

本文数据采用 Excel 和 SPSS 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 长期施氮肥对土壤 pH 值和有机质含量的影响

2.1.1 对土壤 pH 值的影响 随氮肥施入量的增加, 单施氮肥及氮肥+有机肥配施各处理 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 两土层土壤 pH 值均呈一定的降低趋势(表 2)。其中 0 ~ 20 cm 土层 BN1、BN2 比 BN0 分别降低了 1.37 和 2.50 个单位; AN1、AN2 比 AN0 分别降低了 0.76 和 1.23 个单位。20 ~ 40 cm 土层 BN1、BN2 比 BN0 分别降低了 1.52 和 2.50 个单位; AN1、AN2 比 AN0 分别降低了 0.56 和 1.51 个单位。两组处理中氮肥施用量增加 1 倍, pH 值单位数降低也接近 1 倍。氮肥+有机肥配施处理土壤 pH 值的降低幅度小于单施氮肥处理。这与很多研究结果相一致, 即施氮肥可导致土壤 pH 值降低, 氮肥+有机肥配施 pH 降低缓慢^[17-18]。但配施有机肥后土壤 pH 值仍随施氮量的增加而呈降低趋势, 因此施氮肥对土壤 pH 值变化的影响大于有机质的缓解作用。

表 2 长期施氮肥对土壤 pH 值和有机质含量的影响

Table 2 Effects of long-term N fertilizer application on facility soil pH value and soil organic matter content

处理	土壤 pH		土壤有机质含量 (g/kg)	
	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm
AN0	7.23±0.14 a A	7.34±0.09 a A	47.44±3.17 a A	23.62±1.01 b AB
AN1	6.47±0.35 b B	6.78±0.31 a A	44.46±5.91 a A	27.72±4.75 ab A
AN2	6.16±0.32 bc B	5.44±0.75 b B	43.95±3.71 a A	31.19±4.59 a A
BN0	7.23±0.09 a A	6.97±0.17 a A	21.18±2.60 b B	16.84±2.24 c B
BN1	5.86±0.29 c B	5.72±0.51 b B	20.19±3.07 b B	15.79±0.78 c B
BN2	4.73±0.25 d C	4.38±0.22 c C	21.36±3.18 b B	17.69±1.17 c B

注: 表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平, 大写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.01$ 显著水平 (Duncan 新复极差法多重比较), 下同。

2.1.2 对土壤有机质含量的影响 单施氮肥和氮肥+有机肥配施处理土壤有机质含量均为 0 ~ 20 cm > 20 ~ 40 cm 土层。随氮肥施入量的增加, 两土层单施氮肥处理土壤有机质含量变化均无显著的规律性。氮肥+有机肥配施处理土壤有机质含量则在 0 ~ 20 cm 土层随施氮量的增加呈降低趋势, 而 20 ~ 40 cm 土层变化趋势则正好相反。

2.2 长期施氮肥对不同土层土壤钙素分布的影响

2.2.1 对土壤全钙分布的影响 随氮肥施入量的增加, 在 0 ~ 20 cm 与 20 ~ 40 cm 土层单施氮肥及氮肥+有机肥配施处理土壤中全钙含量均呈下降的趋势(表 3)。其中 0 ~ 20 cm 土层土壤全钙含量下降幅度较小, BN1、BN2 比 BN0 分别降低了 0.74% 和 4.99%。AN1、AN2 比 AN0 分别降低了 1.67% 和 10.93%; 20 ~ 40 cm

土层降幅较大, BN1、BN2 比 BN0 分别降低了 13.06% 和 24.25%。AN1、AN2 比 AN0 分别降低了 8.56% 和 18.26%。究其原因可能是随施氮肥数量增加, 土壤 pH 值的降低促进了土壤中钙素的淋失^[16], 因此相对减少了土壤全钙的含量, 而钙素的淋失也进一步加速了土壤的酸化^[21]。

在施氮量相同的条件下, 氮肥+有机肥长期配施后土壤全钙含量均高于单施氮肥处理, 其中 0 ~ 20 cm 土层配施有机肥后随施氮量的增加土壤全钙增幅分别为 17.8%、17.2% 和 12.4%, 20 ~ 40 cm 土层增幅分别为 13.4%、17.6% 和 19.7%。这是由于土壤有一部分钙来自于有机肥, 在土壤有机质的转化过程中增加了土壤钙素。长期定位施肥试验施入的有机肥为马粪, 含钙约 4%, 同时有机肥对土壤 pH 值有缓冲作用, 也减少

表 3 长期单施及配施氮肥对土壤不同形态钙素含量的影响 (g/kg)

Table 3 Effects of long-term N fertilizer application on facility soil calcium contents in different forms

处理	土壤全钙含量		土壤水溶性钙含量		土壤吸附性钙含量	
	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm
AN0	6.59 ± 0.17 a A	6.19 ± 0.55 a A	0.079 ± 0.01 b B	0.052 ± 0.00 c B	1.67 ± 0.06 a A	1.88 ± 0.03 a A
AN1	6.48 ± 0.07 a AB	5.66 ± 0.89 ab AB	0.084 ± 0.02 b B	0.054 ± 0.00 c B	1.59 ± 0.01 ab AB	1.75 ± 0.06 ab AB
AN2	5.87 ± 0.47 ab ABC	5.06 ± 0.38 abc AB	0.11 ± 0.03 b B	0.063 ± 0.00 bc B	1.52 ± 0.11 ab AB	1.63 ± 0.13 b B
BN0	5.41 ± 0.48 b BC	5.36 ± 0.14 ab AB	0.084 ± 0.00 b B	0.075 ± 0.02 bc AB	1.44 ± 0.22 b AB	1.74 ± 0.04 ab AB
BN1	5.37 ± 0.14 b BC	4.66 ± 0.35 bc AB	0.11 ± 0.02 b B	0.092 ± 0.02 ab AB	1.39 ± 0.13 b B	1.56 ± 0.03 b B
BN2	5.14 ± 0.14 b C	4.06 ± 0.32 c B	0.21 ± 0.03 a A	0.11 ± 0.02 a A	1.24 ± 0.02 c B	1.43 ± 0.06 c B

了钙素的淋失。

不同土层之间进行比较可知, 土壤全钙含量均为 20 ~ 40 cm 土层 < 0 ~ 20 cm 土层。其中 AN0、AN1、AN2 处理全钙量比 0 ~ 20 cm 土层分别低了 6.07%、12.70% 和 13.89%, BN0、BN1、BN2 处理低了 1.03%、13.22% 和 21.06%。虽然土壤中钙素的迁移能力较强, 但设施栽培条件下土壤缺少雨水淋洗及相应的水分运移现象, 可能是造成表层土壤钙素累积的重要原因^[22]。

2.2.2 对土壤水溶性钙分布的影响 随施氮量的增加, 单施氮肥和氮肥+有机肥配施不同土层各处理土壤水溶性钙含量均呈增加趋势 (表 3)。其中氮肥对土壤水溶性钙含量的影响较大, 0 ~ 20 cm 土层 BN1、BN2 与 BN0 相比, 增加了 29.5% 和 157.1%; 20 ~ 40 cm 土层增加了 22.4% 和 68.6%。氮肥+有机肥配施后对水溶性钙含量的影响较小, 0 ~ 20 cm 土层增幅平均为 19.9%, 20 ~ 40 cm 土层增幅平均为 11.6%。在施氮量相同的条件下, 配施有机肥降低了土壤水溶性钙的含量。这与施氮肥数量的增加, 土壤 pH 值的降低促进了土壤钙素的淋失的结果相一致^[16]。pH 值的降低, 促进了 H⁺ 与 Ca²⁺ 之间的交换, 从而增加了土壤水溶性钙含量。

从不同土层来看, 水溶性钙含量均为 0 ~ 20 cm 土层 > 20 ~ 40 cm 土层。其中下层 AN0、AN1、AN2 处理的水溶性钙量比上层分别低了 33.6%、35.7% 和 39.9%, BN0、BN1、BN2 处理分别低了 9.9%、14.9% 和 46.7%。随氮肥施入量的增加, 两层土壤水溶性钙含量的差异增加。两层土壤水溶性钙和 pH 之间均达到了显著相关 (0 ~ 20 cm 土层: $y = -17.456x + 8.2496$, $r = 0.9180^{**}$; 20 ~ 40 cm 土层: $y = -38.669x + 8.9794$, $r = 0.7897^*$; $n = 5$)。

2.2.3 对土壤吸附性钙分布的影响 土壤吸附性钙是由醋酸铵浸提得到的交换性钙与水溶性钙之间的

差值, 是指土壤胶体表面吸附的钙素。随氮肥施入量的增加, 无论是单施氮肥处理还是氮肥+有机肥配施处理中 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤吸附性钙的含量均呈降低的趋势 (表 3)。其中氮肥+有机肥配施处理中 0 ~ 20 cm 土层吸附性钙 AN1、AN2 比 AN0 处理降低 4.8% 和 10.0%, 20 ~ 40 cm 土层分别降低 6.9% 和 13.3%。在施入氮肥数量相同的条件下, 施有机肥增加了土壤吸附性钙的含量, 其中 0 ~ 20 cm 土层增幅平均为 14.77%, 20 ~ 40 cm 土层增幅平均为 10.17%。这主要是因为土壤有机质本身带有羧基、酚羟基、醇羟基等基团, 解离后所带负电荷可促进对钙的吸附。

不同处理吸附性钙含量均 0 ~ 20 cm < 20 ~ 40 cm 土层。20 ~ 40 cm 土层 AN0、AN1、AN2 处理的吸附性钙量分别比 0 ~ 20 cm 土层增加了 12.4%、10.4% 和 7.5%, BN0、BN1、BN2 处理增幅分别为 20.7%、12.9% 和 14.7%。单施氮肥处理的增幅大于氮肥+有机肥配施处理。吸附性钙在两层间的变化与土壤 pH 值和有机质含量的变化趋势之间存在矛盾。分析可能是由于下层土壤黏粒含量相对富集, 因此增加了土壤表面的吸附点位而吸附较多的钙素, 也可能是由于上层土壤吸附性钙向下迁移而被下层土壤表面吸附, 进而增加了吸附性钙含量。

综合分析可知, 土壤水溶性钙和吸附性钙都是作物可以吸收的有效性钙, 对于不同施肥处理土壤的水溶性钙占全钙的百分比均是 0 ~ 20 cm > 20 ~ 40 cm 土层, 而吸附性钙占全钙的百分比均是 0 ~ 20 cm < 20 ~ 40 cm 土层。土壤水溶性钙虽然是土壤中最易被作物吸收利用的钙素, 但由于所占土壤全钙的比例较小, 平均为 1.76%, 相对来讲对于土壤钙素的有效性影响较小。而吸附性钙占土壤全钙平均为 36.61%, 因此从吸附性钙素含量分析, 0 ~ 20 cm 土层钙素的有效性要低于 20 ~ 40 cm 土层。

2.3 长期施氮肥对土壤不同粒级钙素分布的影响

为进一步说明不同处理对土壤钙素分布的影响，将 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤分成 <0.1 mm、0.1 ~ 0.2 mm、0.2 ~ 0.5 mm 和 0.5 ~ 1 mm 4 个不同粒级，通过测定不同粒级钙素含量，探讨土壤钙素分布的影响因素。

2.3.1 对全钙分布的影响 由 0 ~ 20 cm 土层土壤各粒级全钙含量分布可知，单施氮肥处理土壤不同粒级全钙含量的分布均为：(<0.1 mm) > 0.1 ~ 0.2 mm > 0.2 ~ 0.5 mm > 0.5 ~ 1 mm (图 1a)，随土壤粒级的减小，全钙含量呈增加的趋势。单施氮肥处理 <0.1 mm 和 0.1 ~ 0.2 mm 粒级全钙含量均随施氮量的增加呈一定降低趋势，这同原土壤全钙含量的变化趋势相一致。

随施氮量的增加，0.2 ~ 0.5 mm 和 0.5 ~ 1 mm 粒级全钙含量呈增加趋势，同原土壤全钙含量的变化趋势相反。因此，相对来讲小粒级全钙含量对原土壤全钙含量的影响较大。氮肥+有机肥配施处理土壤各粒级全钙含量的分布大致为 (<0.1 mm) > 0.5 ~ 1 mm > 0.1 ~ 0.2 mm > 0.2 ~ 0.5 mm。其中粒径最大 0.5 ~ 1 mm 全钙的含量高于 0.2 ~ 0.5 mm 和 0.1 ~ 0.2 mm 两个粒级，同单施氮肥处理不同。从总体来看，单施氮肥处理粒径较小的粒级钙素含量较高，而配施有机肥后较大粒级钙素含量较高。可能是因为配施有机肥有利于土壤中有有机矿质复合体的形成，促进了作为键桥的钙素在较大粒级中的积累。很多研究已说明钙键复合体是土壤中主要有有机矿质复合体之一^[19-20]。

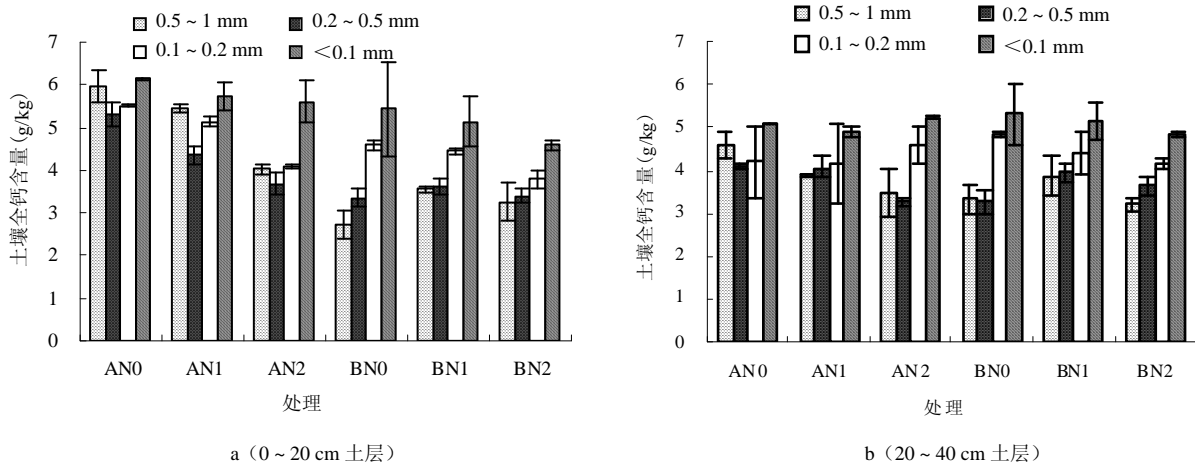


图 1 施氮肥处理土壤各粒级全钙含量

Fig.1 Soil total calcium contents of different particles sizes

20 ~ 40 cm 土层单施氮肥和氮肥+有机肥配施处理不同粒级全钙含量的分布均大致随粒径的减小而增加 (图 1b)。该层不同处理土壤各粒级全钙含量分布的差异较小，氮肥+有机肥配施处理未明显增加较大粒级中土壤全钙含量。分析原因可能是 20 ~ 40 cm 土层氮肥+有机肥配施处理土壤有机质含量大约为 0 ~ 20 cm 土层的 50% 左右，而单施氮肥处理土壤有机质含量最低，在 15.0 ~ 17.7 g/kg 之间。土壤有机质含量较少，减少了在较大粒级中作为键桥而被固定在复合体中钙的含量^[19]。从另一个角度也说明施入有机肥后土壤全钙含量高于未施有机肥的处理，不仅仅是由于有机肥带入的钙素，形成的团聚体也促进了钙素的积累，减少了钙素淋失。

2.3.2 对水溶性钙分布的影响 不论是单施氮肥还是氮肥+有机肥配施处理，保护地 0 ~ 20 cm 土层各

粒级水溶性钙素的分布均为：(<0.1 mm) > 0.1 ~ 0.2 mm > 0.2 ~ 0.5 mm > 0.5 ~ 1 mm (图 2a)，即随土壤粒级的减小，水溶性钙含量呈增加的趋势。随着氮肥施入量的增加，无论是单施还是配施处理，4 种粒级水溶性钙含量均呈不断上升趋势，同原土壤水溶性钙含量的变化趋势一致。各粒级水溶性钙含量均表现为单施氮肥处理高于配施有机肥处理，而且土壤粒级越小差异越显著。

20 ~ 40 cm 土层不同处理土壤各粒级水溶性钙含量的变化规律与 0 ~ 20 cm 土层基本一致，即土壤粒级越小，水溶性钙含量越高。单施氮肥处理土壤各粒级水溶性钙含量均高于氮肥+有机肥配施处理 (图 2b)。如前所述，土壤水溶性钙含量主要受 pH 值的影响，因此在各粒级中的分布主要随施氮量而变化。

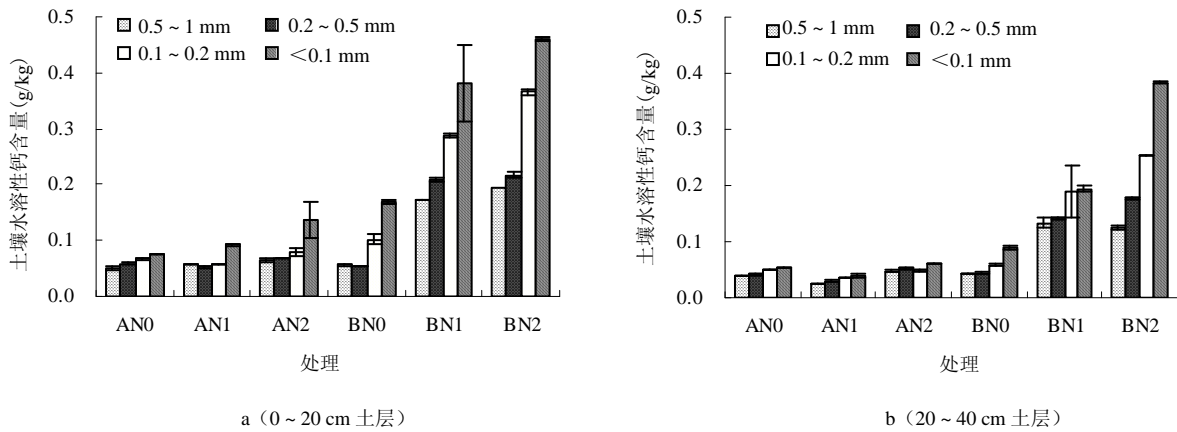


图 2 施氮肥处理土壤各粒级水溶性钙含量

Fig. 2 Soil water soluble calcium contents of different particles sizes

2.3.3 对吸附性钙分布的影响 0~20 cm 土层单施氮肥和氮肥+有机肥配施各处理土壤吸附性钙含量随粒级的增大的变化趋势约为($<0.1\text{ mm}>0.1\sim0.2\text{ mm}>0.2\sim0.5\text{ mm}>0.5\sim1\text{ mm}$) (图 3a)。即随粒径的减小, 吸附性钙的含量呈增加的趋势。随施入氮肥数量的增加, 两组处理各粒级吸附性钙含量均呈降低的趋势。这与整体土壤吸附性钙含量的变化趋势相一致。单施氮肥和氮肥+有机肥配施两组土壤吸附性钙含量在不同粒级含量不同。单施氮肥处理<0.1 mm 粒级吸附性钙含量高于其他粒级。而氮肥+有机肥配施处理

吸附性钙在 4 个粒级的分布差异较小, 在较大 3 个粒级的含量高于单施氮肥处理。20~40 cm 土层单施氮肥和氮肥+有机肥配施各处理土壤吸附性钙含量随粒级的减小而增加, 但也有的处理在最大 0.5~1 mm 粒级的含量较高, 同时单施氮肥和氮肥+有机肥配施处理之间各粒级之间的差异减小 (图 3b)。可能是由于粒径越小, 比表面积越大, 越容易吸附更多的钙素, 从而增加了吸附性钙素含量。配施有机肥后在较大粒级复合的有机质也增加了吸附点位, 进而增加了较大粒级中吸附性钙的含量。

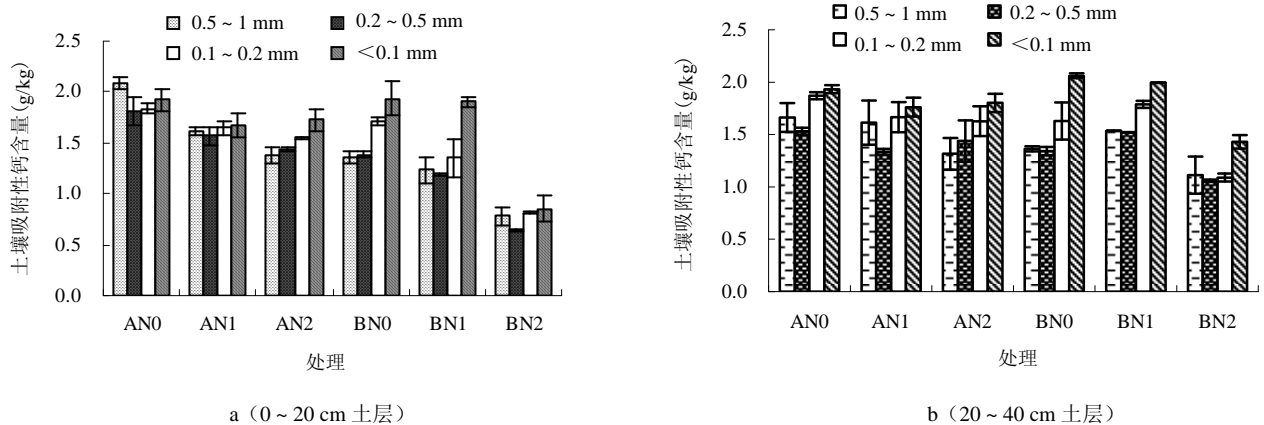


图 3 施氮肥处理土壤各粒级吸附性钙含量

Fig. 3 Soil adsorption calcium contents of different particles sizes

综合分析可知, 0~20 cm 土层单施氮肥和氮肥+有机肥各处理土壤 pH 和有机质以及相关的理化性质差异较大, 因此也影响了土壤不同粒级钙素含量, 使其

在各粒级中含量差异较大。20~40 cm 土层各处理土壤理化性质的差异较小, 土壤各粒级钙素含量差异性也较小。

3 结论

(1) 长期单施氮肥及氮肥+有机肥配施均降低了土壤的 pH 值, 氮肥施用量增加 1 倍, pH 值降低的单元数也接近 1 倍, 其中氮肥对 pH 值的影响大于有机质的缓解作用。

(2) 单施氮肥和氮肥+有机肥配施处理土壤全钙和水溶性钙的含量分布均为 0~20 cm > 20~40 cm 土层, 而吸附性钙素含量的分布是 0~20 cm < 20~40 cm 土层。单施氮肥处理两土层土壤水溶性钙含量均高于氮肥+有机肥配施处理, 而全钙和吸附性钙素含量均低于配施处理。长期单施氮肥降低了土壤全钙、吸附性钙的含量, 促进了土壤水溶性钙含量的增加。氮肥+有机肥配施增加了土壤全钙和吸附性钙含量, 降低了水溶性钙含量。

(3) 长期单施氮肥土壤不同粒级中全钙含量高低顺序为: (<0.1 mm) > 0.1~0.2 mm > 0.2~0.5 mm > 0.5~1 mm, 均随土壤粒级的减小而增加。氮肥+有机肥配施土壤各粒级中全钙含量高低顺序为 (<0.1 mm) > 0.5~1 mm > 0.1~0.2 mm > 0.2~0.5 mm。单施氮肥及氮肥+有机肥配施土壤中水溶性钙和吸附性钙含量基本上随粒级的减小而增加。

参考文献:

- [1] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞. 山东寿光蔬菜保护地蔬菜施肥现状及问题的研究. 土壤通报, 2002, 33(2): 126-128
- [2] 张福锁, 王激清, 张卫峰. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-923
- [3] Barak PP, Jobe BO, Krueger AR. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. Plant and soil, 1997, 197: 61-69
- [4] 范庆锋, 张玉龙, 陈重. 保护地土壤酸度特征及酸化机制的研究. 土壤学报, 2009, 46(3): 466-471
- [5] 陈竹君, 王益权. 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. 水土保持学报, 2007(1): 6-8
- [6] 姜勇, 张玉革, 梁文举. 沈阳市郊区蔬菜保护地土壤交换性钙镁含量及钙镁比值的变化. 农村生态环境, 2004, 20(3): 24-27
- [7] 周卫. 硝酸钙对花生生长和钙素吸收的影响. 土壤通报, 1995, 26(5): 225-227
- [8] Gunes A, Alpaslan M, Inal A. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21(10): 2035-2047
- [9] 杨竹青, 陶为民. 不同浓度钙镁营养液对番茄生育的影响及其与元素吸收的关系. 土壤通报, 1994, 25(4): 190-192
- [10] 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁. 设施土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望. 土壤, 2004, 36(1): 25-29
- [11] 鄢圣之. 叶面喷钙对番茄脐腐病的防治研究. 湖南农业科学, 2000(4): 45-47
- [12] Stratton ML, Good GL, Baker AV. The effects of nitrogen source and concentration on the growth and mineral composition of privet. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(11): 840-843
- [13] Hohjo M, Kuwata C, Yoshikawa K. Effects of nitrogen form, nutrient concentration and Ca concentration on the growth yield and fruit quality in NFT-tomato plants. Acta Horticultrae, 1995, 39(6): 145-152
- [14] 陈竹君, 王益权, 许安民. 施用不同种类氮肥对日光温室土壤溶液离子组成的影响. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 907-913
- [15] 周卫, 林葆. 土壤中钙的化学行为与生物有效性研究进展. 土壤肥料, 1996(5): 19-22
- [16] Federer CA, Hornbeck JW, Tritton LM. Long-term depletion of calcium and other nutrients in eastern U.S. forests. Environ. Man., 1989, 13: 593-600
- [17] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 郑福丽, 王梅, 林海涛. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律. 土壤学报, 2008, 45(2): 296-303
- [18] 张喜林, 周宝库, 孙磊, 高中超. 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响. 土壤通报, 2008, 39(5): 1221-1223
- [19] Xu JM, Yuan KN. Dissolution and fractionation of calcium bound and iron and aluminum bound humus in soils. Pedosphere, 1993, 3: 75-80
- [20] 杨彭年. 石灰性土壤有机矿质复合体及其团聚性研究. 土壤学报, 1984, 21(2): 144-151
- [21] Zou CM, Zhang DS, Zhang XH, Tang YL, Sun SJ, Zou HM. Soil acidification and saltinization measurement and evaluation in Bengbu district. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2006, 12(9): 54-55
- [22] Yu HY, LI TX, Zhou JM. Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 572-576

Effects of Long-term Located Nitrogen Fertilization on Calcium Distribution of Soil in Protected Field

ZHANG Da-geng, LI Tian-lai, YI Yan-li, LI Jie, HE Yun-long

(Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: In order to discuss the effects of a great quantity nitrogen fertilizer application on calcium status of soil, based on long-term experiment located soil in protected field, this study systematically investigated the effects of single nitrogen fertilizer and nitrogen fertilizer match with manure application on calcium distribution of soil. The results indicated that: the contents of total and water soluble calcium distribution in single nitrogen fertilizer and match with manure application soil were higher in 0–20 cm than in 20–40 cm, and adsorption calcium was less in 0–20 cm than in 20–40 cm. In two soil layers the content of water soluble calcium was higher in single nitrogen fertilizer application soil than that in match with manure application soil, and the contents of total calcium and adsorption calcium were less than that of match. Total calcium distribution of different particle sizes was in order of (<0.1 mm) $>0.1-0.2$ mm $>0.2-0.5$ mm $>0.5-1$ mm in single nitrogen fertilizer application soil and was in order of (<0.1 mm) $>0.5-1$ mm $>0.1-0.2$ mm $>0.2-0.5$ mm in nitrogen fertilizer match with manure application soil. Water soluble calcium and adsorption calcium distribution of different particles sizes were in order of (<0.1 mm) $>0.1-0.2$ mm $>0.2-0.5$ mm $>0.5-1$ mm in two groups of treatment soil.

Key words: Long-term located, Nitrogen fertilizer, Protected field, Distribution of calcium