

设施蔬菜栽培对土壤阳离子交换性能的影响^{*}

范庆锋 虞娜 张玉玲 邹洪涛 张玉龙[†]

(沈阳农业大学土地与环境学院, 土肥资源高效利用国家工程实验室, 沈阳 110866)

摘要 以辽宁省沈阳市于洪地区设施菜地及其相邻旱田土壤为研究对象, 测定土壤的有机质、阳离子交换量、交换性盐基离子组成和土壤盐基离子饱和度, 分析设施蔬菜栽培对土壤阳离子交换量及交换性盐基离子组成的影响。结果表明: (1) 与旱田土壤相比, 设施土壤有机质含量明显增加, 上下层土壤有机质平均含量分别为 35.6 g kg^{-1} 和 18.0 g kg^{-1} , 分别是旱田上下层土壤有机质含量的 2.1 倍和 1.8 倍; 设施土壤阳离子交换量呈上升的趋势, 土壤阳离子交换量与有机质含量呈极显著正相关关系 ($r = 0.603^{**}$, $n = 50$, $r_{0.01} = 0.361$)。 (2) 与旱田土壤相比, 不同层次设施土壤交换性盐基总量均有所增加, 交换性盐基离子中除交换性 Ca^{2+} 含量变化不大之外, 交换性 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 含量均显著增加; 不同层次设施土壤交换性 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 饱和度显著高于旱田土壤, 但交换性 Ca^{2+} 饱和度和盐基饱和度呈下降趋势。

关键词 设施土壤; 阳离子交换量; 交换性盐基; 盐基饱和度

中图分类号 S156; S155.4 **文献标识码** A

设施蔬菜生产又称为保护地蔬菜生产, 是指在外界环境条件不能满足当地蔬菜生长季里, 利用人为建造的保护设备, 为蔬菜作物的生长发育创造适宜的环境条件而进行蔬菜生产的一种重要栽培方式。设施蔬菜生产能够打破地区蔬菜生产受季节性、低温、干旱、风沙等气候条件的约束, 能够创造适于作物生长发育的环境条件而获得高产、稳产和较高经济效益。设施蔬菜生产对于丰富城乡人民的“菜篮子”, 调剂四季的蔬菜品种, 提高人民的生活水平, 促进农业土地的集约化经营和加快农业产业化步伐起到了重要的推动作用。由于设施蔬菜生产收益相对较高, 一方面人们为获得更大的经济效益而在设施蔬菜地进行长期连续的栽培, 致使土地利用程度高, 一年四季几乎没有休闲期; 另一方面为获得更大的经济效益往往投入的养分量大大超过作物需求量, 盲目过量地灌水、施肥现象非常严重^[1-3]。由此导致了养分利用率低, 土壤酸化、次生盐渍化、养分不平衡等诸多生产问题的产生^[4-10]。这不仅影响了设施生产可持续发展, 也对农产品安全及生态环境造成了不良影响。

土壤阳离子交换量是土壤的基本特性和重要

肥力影响因素之一, 它直接反映土壤保蓄、供应和缓冲阳离子养分的能力, 同时影响其他土壤理化性质。因此, 阳离子交换量常被作为土壤资源质量的评价指标和土壤施肥、改良等的重要依据。土壤交换性盐基离子则是土壤质量的重要方面, 其含量和饱和度反映了该离子的生物有效性。设施栽培下大量有机肥、化肥等的施入无疑会影响土壤交换性能, 固、液相离子组成及平衡关系。目前相关学者对保护地土壤盐分的累积程度, 盐分离子的组成等方面已进行了不少研究^[11-12], 但关于设施土壤特殊的室内环境及过量施肥后对土壤阳离子交换量、交换性盐基组成及其饱和度的影响尚少见报道。因此, 本文在对沈阳地区设施菜地生产状况进行调查的基础上, 在该市的于洪区设施蔬菜地采集土壤样品, 测定土壤阳离子交换量和交换性盐基离子组成, 探讨设施菜地与旱田土壤阳离子交换量、交换性盐基离子组成的演变特征。其目的在于认识设施蔬菜土壤质量变化的趋势及其特点, 为设施蔬菜栽培作物合理地进行水肥管理, 促进我国北方设施蔬菜生产良好发展提供理论依据。

^{*} 辽宁省自然科学基金项目(2014027013)、辽宁省教育厅项目(L2011116)、沈阳农业大学青年基金项目(20111005)资助

[†] 通讯作者, 张玉龙, 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤改良、水资源与农业节水研究。E-mail: ylzau@163.com

作者简介: 范庆锋(1980—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 讲师, 主要从事土壤改良研究。E-mail: fanqingfeng1@163.com

收稿日期: 2013-11-25; 收到修改稿日期: 2014-04-13

1 材料与方 法

供试土样在沈阳市设施蔬菜种植比较集中的于洪地区采集。于洪地区是沈阳较大的设施蔬菜生产基地,设施蔬菜栽培模式及品种和施肥灌水措施基本一致,种植的蔬菜以西红柿和黄瓜为主,每年平均收获两季。施用的有机肥主要是以养殖场的鸡粪为原料制成的有机肥,每年施用有机肥 90 t hm^{-2} 左右(平均含氮、磷、钾分别为 $20.0, 7.0, 12.2 \text{ g kg}^{-1}$),施尿素约 850 kg hm^{-2} ,氮磷钾复合肥 350 kg hm^{-2} 。采集土壤样品时,选择种植年限从 2 a 至 14 a 不等,具有代表性的设施土壤及相邻种植粮食作物的早田土壤进行采集,早田土壤基本不施用有机肥,每年施尿素约 350 kg hm^{-2} ,磷酸二铵约 80 kg hm^{-2} ,复合肥约 200 kg hm^{-2} 。样品采集深度为 $0 \sim 20, 20 \sim 40 \text{ cm}$ 两层,每一土样由同一采样地块“S”形 5 点取土混合而成。共采集设施土壤 18 个样点 36 个土壤样品和早田土壤 7 个样点 14 个土壤样品。土样经自然风干后,过 2 mm 筛,用于分析测定。

土壤有机质用碳、氮、硫元素分析仪(Elementar III 型,德国)测定;颗粒分析(国际制)采用吸管法测定。阳离子交换量采用 1 mol L^{-1} 中性乙酸铵交换法测定;土壤交换性盐基总量采用加和法计算得出。土壤交换性 $\text{K}^+、\text{Na}^+$ 采用 1 mol L^{-1} 中性乙酸铵浸提—火焰光度法测定;土壤交换性 $\text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}$ 采用 1 mol L^{-1} 中性乙酸铵浸提—原子吸收分光光度法测定;考虑到供试土样中含有较多的水溶性盐,先用 70% 乙醇溶液洗涤除去土壤中的可溶盐,

然后再用乙酸铵交换法测定土壤交换性 $\text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}、\text{K}^+、\text{Na}^+$ [10]。

2 结 果

2.1 土壤有机质含量及阳离子交换量

供试土壤有机质和阳离子交换量测定结果的统计值列于表 1。由表 1 数据可以看出,沈阳于洪地区设施上层土壤有机质含量较高,有机质含量介于 $15.0 \sim 46.8 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,其平均值为 35.6 g kg^{-1} ,而同期采集的早田上层土壤有机质的变幅为 $14.55 \sim 23.74 \text{ g kg}^{-1}$,平均含量为 17.0 g kg^{-1} ,设施上层土壤有机质含量是早田上层土壤有机质含量的 2.1 倍。对照菜田土壤肥力标准(表 2)可以看出,75.0% 早田样点上层土壤有机质处于缺乏或严重缺乏状态,而设施土壤耕层有机质含量处于高水平以上的设施土壤样点占 89%。设施下层土壤有机质含量相对上层较低,平均值为 18.0 g kg^{-1} ,但是早田下层土壤有机质含量的 1.8 倍。由此可见,设施栽培蔬菜后,土壤上下层有机质含量较早田相应层次均显著提高。

土壤阳离子交换量(CEC),是指土壤胶体所能吸附的各种阳离子的总量。土壤 CEC 是土壤缓冲性能的主要影响因素,是施肥和土壤改良的重要依据。由表 1 可以看出,设施菜地上下层土壤的 CEC 要显著高于早田土壤相应土层的 CEC,设施土壤上层土壤和下层土壤 CEC 平均值分别为 $17.9 \text{ cmol kg}^{-1}$ 和 $16.4 \text{ cmol kg}^{-1}$,较早田相应土层分别提高了 21.8% 和 14.7%。

表 1 土壤有机质含量、黏粒及阳离子交换量平均值统计

Table 1 Means of soil organic matter content, clay content and CEC of the soil samples

| 采样点 Sampling spots | 有机质 OM (g kg^{-1}) | | 黏粒 Clay (g kg^{-1}) | | 阳离子交换量 CEC (cmol kg^{-1}) | |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|---|------------------------|
| | 0 ~ 20 cm | 20 ~ 40 cm | 0 ~ 20 cm | 20 ~ 40 cm | 0 ~ 20 cm | 20 ~ 40 cm |
| 早田土壤 Open field | $17.0 \pm 7.3\text{b}$ | $9.8 \pm 5.3\text{b}$ | $195 \pm 23\text{a}$ | $208 \pm 27\text{a}$ | $14.7 \pm 2.3\text{b}$ | $14.3 \pm 1.9\text{b}$ |
| 设施土壤 Greenhouse field | $35.6 \pm 10.9\text{a}$ | $18.0 \pm 8.6\text{a}$ | $190 \pm 39\text{a}$ | $207 \pm 30\text{a}$ | $17.9 \pm 5.5\text{a}$ | $16.4 \pm 3.8\text{a}$ |

注:数据为平均值 \pm 标准差,同一列中不同字母表示 LSD 检验差异显著 ($p \leq 0.05$) Note: Values are means \pm standard deviations. Different letters in the same column indicate significant difference ($p \leq 0.05$) in LSD test

表 2 设施土壤(0~20 cm)有机质丰缺状况的分布频率
Table 2 Distribution frequency of soil organic matter contents in protected field(%)

| 采样点 Sampling spots | >30 g kg ⁻¹ ¹⁾ | 30~25 g kg ⁻¹ ²⁾ | 25~20 g kg ⁻¹ ³⁾ | 20~15 g kg ⁻¹ ⁴⁾ | <15 g kg ⁻¹ ⁵⁾ |
|--------------------------|--------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|
| 露地土壤 Open field | — | — | 12.5 | 62.5 | 12.5 |
| 设施土壤 Greenhouse field | 66.7 | 22.2 | 5.6 | — | 5.5 |

1)过高 Overtop;2)高 High;3)适宜 Appropriate;4)缺乏 Shortage;5)严重缺乏 Famine

2.2 土壤交换性盐基组成

阳离子交换量,交换性盐基离子组成是土壤质量的重要方面,在很大程度上反映了土壤的保肥、供肥、缓冲能力。盐基离子中的 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺是作物生长的必需营养元素,其在土壤中的含量及离子饱和度与作物的吸收利用有很好的相关关系。由表 3 可以看出,设施菜地上下层土壤交换性盐基总量(TEB)较早田相应层次土壤有所增加。设施土壤上层土壤和下层土壤 EB 平均值分别为 12.7 cmol kg⁻¹和 12.1 cmol kg⁻¹,是早田相应土层的 1.08 倍和 1.04 倍。早田改为设施栽培蔬菜后,上下层土壤交换性 K⁺、交换性 Mg²⁺、交换性 Na⁺含量均高于相应早田土层土壤,而交换性 Ca²⁺含量与早田比较有

所减少,但差异不显著。

所有供试土壤交换性盐基均以 Ca²⁺占优势,设施菜地耕层土壤交换性 Ca²⁺占交换性盐基总量的 70.00%,早田耕层土壤交换性 Ca²⁺占交换性盐基总量的 78.81%;其次以交换性 Mg²⁺居多,设施菜地耕层土壤交换性 Mg²⁺占交换性盐基总量的 20.47%,早田耕层土壤交换性 Mg²⁺占交换性盐基总量的 16.10%;交换性 K⁺含量次之,设施菜地耕层土壤交换性 K⁺占交换性盐基总量的 6.30%,早田耕层土壤交换性 K⁺占交换性盐基总量的 2.54%;交换性 Na⁺含量最少,设施菜地耕层土壤交换性 Na⁺占交换性盐基总量的 3.15%,早田耕层土壤交换性 Na⁺占交换性盐基总量的 2.54%。

表 3 土壤交换性盐基离子含量平均值统计

Table 3 Means of the exchangeable base ion contents in the soil samples

| 采样点 Sampling spots | 交换性盐基总量 Total EB (cmol kg ⁻¹) | | 1/2Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹) | | 1/2Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹) | | K ⁺ (cmol kg ⁻¹) | | Na ⁺ (cmol kg ⁻¹) | |
|--------------------------|--|-----------|---|----------|---|----------|--|----------|---|----------|
| | | | | | | | | | | |
| | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm |
| 早田土壤 Open field | 11.8±1.1b | 11.6±0.8b | 9.3±1.2a | 9.2±1.1a | 1.9±0.5b | 1.8±0.4b | 0.3±0.1b | 0.3±0.1b | 0.3±0.1b | 0.3±0.1a |
| 设施土壤 Greenhouse field | 12.7±4.4a | 12.1±2.5a | 8.9±2.1a | 9.1±1.9a | 2.6±0.8a | 2.3±0.6a | 0.8±0.3a | 0.5±0.2a | 0.4±0.2a | 0.3±0.1a |

注:数据为平均值±标准差,同一列中不同字母表示 LSD 检验差异显著($p \leq 0.05$) Note: Values are means ± standard deviations. Different letters in the same column indicate significant difference ($p \leq 0.05$) in SD test

2.3 土壤盐基饱和度

土壤交换性离子的有效度,一方面和交换性离子的绝对量有关,但和交换性离子的饱和度关系更大。因为该离子的饱和度越高,被交换解吸的机会愈多,有效度就越大^[13]。由表 4 可知,早田改为设施栽培蔬菜后,上下层土壤交换性 Mg²⁺、K⁺、Na⁺饱

和度均显著提高,耕层土壤交换性 Mg²⁺、K⁺、Na⁺饱和度上升幅度分别为 10.08%、105.05%和 13.20%。而交换性 Ca²⁺饱和度较早田显著下降。0~20 cm 和 20~40 cm 分别下降了 21.07%和 13.94%。从表 4 中可以看出,设施土壤上下层土壤盐基饱和度分别为 70.9%和 73.9%,较早田土壤相应层次下降明显。

表 4 土壤盐基离子饱和度平均值统计

Table 4 Means of the base ion saturation degrees of the soil samples (EB/CEC, %)

| 采样点 Sampling spots | 盐基饱和度 BS (%) | | 1/2Ca ²⁺ | | 1/2Mg ²⁺ | | K ⁺ | | Na ⁺ | |
|--------------------------|--------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|----------------|----------|-----------------|----------|
| | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm |
| | 旱田土壤 Open field | 80.4a | 81.1a | 62.99b | 64.48b | 13.20b | 12.58b | 2.18b | 2.03a | 1.97a |
| 设施土壤 Greenhouse field | 70.9b | 73.9a | 49.72b | 55.49b | 14.53a | 14.08b | 4.47b | 2.32a | 2.23a | 2.01a |

注:数据为平均值 ± 标准差,同一列中不同字母表示 LSD 检验差异显著 ($p \leq 0.05$) Note: Values are means ± standard deviations. Different letters in the same column indicate significant difference ($p \leq 0.05$) in LSD test

3 讨论

3.1 设施蔬菜栽培对土壤 CEC 的影响

设施蔬菜栽培对土壤的 CEC 具有显著影响。阳离子交换量受土壤中有机质和黏粒的含量、组成和特性以及它们之间的复合情况的影响。土壤交换性阳离子是以土壤胶体(有机质和矿质胶体)为载体,而有机质的 CEC 远大于矿质胶体,因此有机质含量高的土壤阳离子交换量也应较高^[14]。许多相关资料表明,有机质与阳离子交换量有着极显著的正相关关系^[15-17]。从图 1 可以看出,设施土壤 CEC 与有机质含量呈极显著正相关关系 ($r = 0.603^{**}$, $n = 50$, $r_{0.01} = 0.361$),说明设施土壤有机质含量的增加,导致了土壤 CEC 的增大。这是因为设施蔬菜地人为施入大量有机肥,加上蔬菜根系分泌有机酸及老叶回归土壤,都使有机作用加强,土壤形成更多有机胶体以及有机无机复合胶体,不断增加土壤胶体表面阳离子吸附位点,从而提高了阳离子交换量(CEC)。

黏粒是土壤阳离子吸收交换点的主要来源,因而黏粒与阳离子交换量也有着极显著的相关性^[18]。在本研究中,设施土壤与旱田土壤的黏粒含量并没有很大差异,因此设施土壤 CEC 较早田土壤的显著增加主要是因为设施土壤有机质的大量增加。

3.2 设施蔬菜栽培对土壤交换性盐基离子组成的影响

与相邻旱田相比,设施蔬菜栽培不同程度地增加了上下土层交换性镁、钾、钠含量和交换性盐基总量。这是因为设施菜地大都是集约化密集型栽植,施肥量高,使土壤的含盐量大量增加,并在土壤耕层积累。设施栽培条件下,土壤长期处在密闭的环境

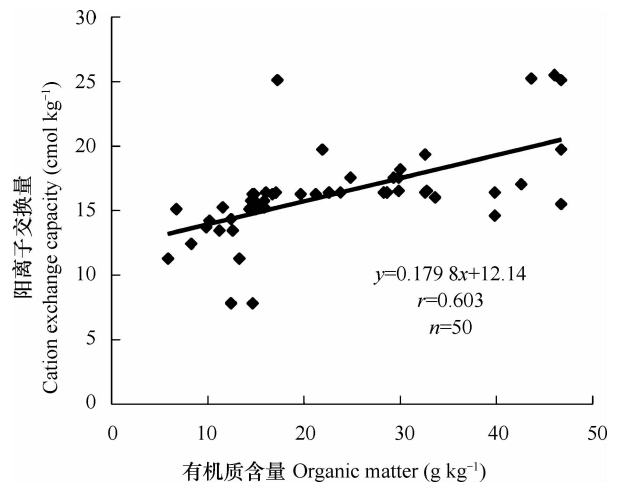


图 1 土壤阳离子交换量与有机质含量的关系

Fig. 1 Relationship between cation exchange capacity (CEC) and organic matter in the soils

中,缺乏雨水淋洗,人工灌溉深度也仅限于土壤耕层,加之气温高,土壤水分蒸发量大,土壤水分在蒸发过程中不仅使残留在表土中的盐分难以流失,而且使深层土壤中的盐分随水上升,导致土壤盐分表聚。土壤水溶性钙、镁、钾、钠通常以离子形式存在于土壤溶液中,而水溶性离子与交换性离子通常处于一个动态平衡之中,彼此之间无固定的界限,因此,水溶性盐基离子的大量积累,势必导致交换性阳离子的增加。设施蔬菜栽培增加了土壤的交换性盐基总量,但并未提高土壤的盐基饱和度(BS,即 EB 占 CEC 的百分比)。这是因为设施菜地土壤的阳离子交换量也有显著提高,而更多的新增加的土壤胶体表面阳离子吸附位点被交换性 H⁺ 离子和 Al³⁺ 离子所占据^[6],所以在阳离子交换量增加的前提下,盐基饱和度仍然下降。这也是诱发设施土壤发生酸化的原因之一。

设施蔬菜栽培不同程度地增加了上下土层交换性 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 饱和度,而由于 CEC 的增加,加上设施土壤交换性 Ca^{2+} 含量较早田略有下降,设施土壤交换性 Ca^{2+} 饱和度较早田显著下降。而又由于 Ca^{2+} 在交换性盐基组成中所占的优势地位,交换性 Ca^{2+} 饱和度的下降也直接导致了盐基饱和度的下降。我们在当地的调查发现,设施番茄脐腐病的时有发生显然与此有关。蔬菜对 Ca^{2+} 的需求量大,蔬菜作物的高盐基交换量表明了其根系对 Ca^{2+} 等养分的吸收能力强。蔬菜的盐基代换量一般为 $40 \sim 60 \text{ cmol kg}^{-1}$ (以干根计),而小麦、玉米、水稻仅分别为 14.2 、 19.2 和 $23.7 \text{ cmol kg}^{-1}$ 。蔬菜作物的平均吸 Ca^{2+} 量是小麦的 5 倍多^[19]。蔬菜吸钙较多的原因,一方面是蔬菜根系的阳离子交换量大,阳离子交换量高,则吸钙量也高;另一方面与蔬菜作物吸收硝态氮量较高有关,因为蔬菜吸收了大量的硝态氮后,在体内形成了大量的草酸,其与钙结合形成草酸钙而积蓄在叶片内,降低了草酸的危害,也使体内累积了大量的钙。由于设施菜地利用频率高,生产量大,设施蔬菜吸收的 Ca^{2+} 会更多,进而有更多的 Ca^{2+} 输出到系统之外。从施肥情况看,近年来沈阳郊区设施菜地重视施用有机肥,化肥主要以尿素、NPK 复合肥料为主。连续大量施用农家肥,土壤中的交换性 Ca^{2+} 含量降低;长期施用氮、钾肥,会降低土壤中 Ca^{2+} 特别是交换性 Ca^{2+} 含量水平^[6]。

4 结 论

旱田改为设施栽培蔬菜后,土壤有机质含量明显升高,土壤阳离子交换量呈上升的趋势,土壤阳离子交换量随着有机质的增多而升高,两者呈极显著正相关关系。设施土壤 CEC 较早田土壤的显著增加主要是因为设施土壤有机质的大量增加。设施菜地上下层土壤交换性 K^{+} 、交换性 Mg^{2+} 、交换性 Na^{+} 含量均高于相应旱田土层土壤,而交换性 Ca^{2+} 含量与旱田比较有所减少,但差异不显著,设施菜地上下层土壤交换性盐基总量显著高于旱田土壤。设施菜地土壤 K^{+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 饱和度均显著提高,但 Ca^{2+} 离子饱和度和盐基饱和度明显下降。土壤交换性离子的有效度,一方面与交换性离子的绝对量有关,但与交换性离子的饱和度关系更大。因此,在设施菜地施肥过程中,应综合考虑交换性养分的含量、饱和度及离子间的比例关系。

参 考 文 献

- [1] 陈竹君,高佳佳,赵文艳,等. 磷钾肥施用对日光温室土壤溶液离子组成的影响. 农业工程学报,2011,27(2):261—266. Chen Z J, Gao J J, Zhao W Y, et al. Effects of application of phosphorus and potassium fertilizers on ion compositions of soil solution in solar greenhouse (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 261—266
- [2] 李廷轩,周健民,段增强,等. 中国设施栽培系统中的分管理. 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 (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(4): 70—75
- [3] 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. 土壤学报,2006,43(5):843—850. Zhang T L, Li Z P, Wang X X. Soil degradation and its eco-environmental impact under highly-intensified agriculture (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(5): 843—850
- [4] 余海英,李廷轩,张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征. 中国农业科学,2010,43(3):514—522. Yu H Y, Li T X, Zhang X Z. Nutrient budget and soil nutrient status in greenhouse system (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(3): 514—522
- [5] 孙晓,庄舜尧,刘国群,等. 集约经营下雷竹种植对土壤基本性质的影响. 土壤,2009,41(5):784—789. Sun X, Zhuang S Y, Liu G Q, et al. Effect of Lei Bamboo plantation on soil basic properties under intensive cultivation management (In Chinese). Soils, 2009, 41(5): 784—789
- [6] 范庆锋,张玉龙,陈重,等. 保护地土壤酸度特征及酸化机制研究. 土壤学报,2009,46(3):466—471. Fan Q F, Zhang Y L, Chen Z, et al. Acidity characteristics and acidification mechanism of soil in protected fields (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(3): 466—471
- [7] 孟鸿光,李中,刘乙俭,等. 沈阳城郊温室土壤特性调查研究. 土壤通报,2000,31(2):70—72. Meng H G, Li Z, Liu Y J, et al. Investigation on characteristics of greenhouse soils in Shenyang region (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(2): 70—72
- [8] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major chinese croplands. Science, 2010, 327(5968): 1008—1010
- [9] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, et al. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 69(1): 51—58
- [10] 李爽,张玉龙,范庆锋. 不同灌溉方式对保护地土壤酸化特征的影响. 土壤学报,2012,49(5):909—915. Li S, Zhang Y L, Fan Q F. Effect of irrigation mode on soil acidification in protected field (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2012, 49(5): 909—915
- [11] 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. 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 (In Chinese). Acta Pedologica

- Sinica,2006,43(4):571—576
- [12] 陈竹君,王益权,许安民,等. 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. Chen Z J, Wang Y Q, Xu A M, et al. Effects of the application of different nitrogen fertilizers on the ion compositions in solution of the greenhouse soil (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(5):907—913
- [13] 黄昌勇. 土壤学. 北京:中国农业出版社,2000:80—82. Huang C Y. Agrology (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000:80—82
- [14] 刘世全,蒲玉琳,张世熔,等. 西藏土壤阳离子交换量的空间变化和影响因素研究. 水土保持学报,2004,18(5):1—5. Liu S Q, Pu Y L, Zhang S R, et al. Spatial change and affecting factors of soil cation exchange capacity in Tibet (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(5):1—5
- [15] 廖凯华,徐绍辉,程桂福,等. 土壤 CEC 的影响因子及 Cokriging 空间插值分析——以青岛市大沽河流域为例. 土壤学报,2010,47(1):26—32. Liao K H, Xu S H, Cheng G F, et al. Influencing factors and cokriging spatial interpolation analysis of soil cation exchange capacity—A case study of Dagu River basin, Qingdao city (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(1):26—32
- [16] 陈红霞,杜章留,郭伟,等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响. 应用生态学报,2011,22(11):2930—2934. Chen H X, Du Z L, Guo W, et al. Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in the North China Plain (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(11):2930—2934
- [17] 李子川,庄舜尧,桂仁意,等. 不同集约栽培年限下雷竹林土壤化学性质与生理毒性铝的分布. 浙江农林大学学报,2011,28(6):837—844. Li Z C, Zhuang S Y, Gui R Y, et al. Chemical properties and distribution of phytotoxic Al species in intensively cultivated soils of *Phyllostachys praecox* stands (In Chinese). Journal of Zhejiang A & F University, 2011, 28(6):837—844
- [18] 张水清,黄绍敏,郭斗斗. 河南三种土壤阳离子交换量相关性及其预测模型研究. 土壤通报,2011,42(3):627—631. Zhang S Q, Huang S M, Guo D D. The correlations and prediction models of cation exchange capacity in three soils in Henan (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(3):627—631
- [19] 姜勇,张玉革,梁文举,等. 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. Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, et al. Soil exchangeable Ca and Mg contents and Ca/Mg ratio in greenhouse vegetable fields in Shenyang suburbs (In Chinese). Rural Eco-Environment, 2004, 20(3):24—27

EFFECTS OF VEGETABLE CULTIVATION ON SOIL CATION EXCHANGE CAPACITY IN GREENHOUSE

Fan Qingfeng Yu Na Zhang Yuling Zou Hongtao Zhang Yulong[†]

(College of Land and Environmental Science, Shenyang Agricultural University, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Shenyang 110866, China)

Abstract Soil samples were collected from vegetable fields under greenhouse and upland fields in their vicinity in Yuhong District of Shenyang, Liaoning Province, China, for determination of organic matter, cation exchange capacity (CEC), exchangeable base composition and soil base ion saturation, and hence analysis of effects of vegetable cultivation on soil cation exchange capacity in greenhouse. Results indicate: (1) the protected fields were much higher than the control (upland field) in soil organic matter content, being about 35.6 g kg⁻¹ and 18.0 g kg⁻¹ or 2.1 and 1.8 times higher in mean content in the upper and lower soil layers, respectively; and the soil in the former displayed a rising trend in CEC; and an extremely significant and positive relationship between organic matter content and CEC; and (2) in the vegetable fields, total soil exchangeable base increased somewhat in all the soil layers, with exchangeable K⁺, Mg²⁺ and Na⁺, doing significantly, and soil exchangeable Ca²⁺ remaining almost unchanged; and the former three ions were much higher in saturation degree than those in the control, while the latter was lower in saturation degree and so was the soil base.

Key words Greenhouse soil; Cation exchange capacity; Exchangeable bases; Base saturation

(责任编辑:汪叔生)