

沈阳市郊温室土壤钙素特征的初步研究

张大庚^{1,2}, 李天来¹, 依艳丽², 祝艳青²

(1. 沈阳农业大学 园艺学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 为探明温室土壤中钙素的形态分布特征及其迁移转化规律, 以沈阳市郊栽培年限为 15 年左右的温室耕层和犁底层土壤为研究对象, 系统研究了土壤中不同形态钙素的含量及其分布特征, 并进一步分析了不同形态钙素与土壤 pH 值、有机质之间的相关性。研究表明: 耕层土壤全钙含量呈现出温室 > 冷棚 > 耕地的规律性。温室土壤中交换性和酸溶性钙含量高于冷棚和耕地土壤, 但钙素的有效性相对降低。温室耕层土壤中以非酸溶性钙含量为主, 犁底层土壤中水溶性、交换性和酸溶性钙含量较多, 钙在土壤中易向下迁移; 温室耕层土壤中酸溶性钙与 pH 呈极显著的正相关, 温室土壤 pH 的降低可促进酸溶性钙在土壤中的淋失。土壤全钙和非酸溶性钙与有机质之间呈显著和极显著的正相关, 有机质含量主要影响土壤中钙素的积累。

关键词: 沈阳市郊; 温室土壤; 钙素特征

中图分类号: S153; S625 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2009)04-0200-04

Preliminary Study on the Feature of Calcium in Greenhouse Soils of Shenyang Suburbs

ZHANG Da-geng^{1,2}, LI Tian-lai¹, YI Yan-li², ZHU Yan-qing²

(1. Gardening College, Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning 110161;

2. College of Land and Environment, Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract: This study was conducted to investigate the fractionations and the migration rules of calcium in greenhouse soils. The different configuration calcium content and distributing character in cultivation layer and plow pan in facility cultivation soils of Shenyang suburbs, Liaoning of China, which have been planted about 15 years, was investigated. The relativity between different configuration calcium content and pH, content of soil organic manure was analyzed further. The results showed that there was a certain regularity about the total content of calcium, green-house soils > plastic tunnel soils > field soils. The content of exchangeable calcium and acid soluble calcium in the green-house soils was more than that in plastic tunnel soils and field soils. But calcium availability decreased relatively. The Non-acid soluble calcium content of soil in cultivation layer was more than that in plow pan. Water soluble calcium, exchangeable and acid soluble calcium content were opposite. Calcium moved down easily in soil. Significant correlations were found between acid soluble calcium content and pH value, total calcium content and content of organic manure, non-acid soluble calcium content and content of organic manure in cultivation layer soil of greenhouse. The decreasing of pH value in greenhouse soils could accelerate acid soluble calcium to run off. Organic manure affected the accumulation chiefly.

Key words: Shenyang suburbs; greenhouse soils; the feature of calcium

钙是植物正常生长发育所必需的中量营养元素, 由于大多数土壤含钙量较丰富, 正常条件下能满足作物的需要, 因此不被人们充分重视。但随着以蔬菜种植为主的设施栽培迅速发展, 利用强度、作物产量的不断提高和施肥严重不平衡造成中微量营养元素的缺乏现象逐渐增多, 已成为影响蔬菜生长发育、产量和品质的障碍因素。目前, 对设施栽培土壤的研究多集中在连作障碍、土传病害、土壤盐渍化、土壤有机质以及氮磷钾等大量营养元素等方面, 针对设施栽培土壤中钙素等中量营养元素的研究较少, 而对于不同形态钙素的研究更少^[1-6]。多年耕作的设施栽培土壤普遍存在着土壤酸化、次生盐渍化等问题^[7-10], 土壤 pH 下降可能会增加土壤中 Ca^{2+} 的溶解和交换性钙解吸。土壤盐分过多, 能抑制 Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} 等养分离子进入植物体内, 使植物的营养状

收稿日期: 2009-04-29

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD07B04)

作者简介: 张大庚(1975-), 女, 辽宁凌海人, 博士, 副教授, 从事土壤肥力研究。E-mail: cfy111@sohu.com

通讯作者: 李天来(1955-), 男, 教授, 博导, 从事设施园艺及蔬菜生理生态研究。E-mail: tianlaoli@126.com

况失去平衡。因此,有必要针对设施栽培土壤中钙素形态及土壤理化性质对钙素形态转化的影响进行深入系统的研究。本文以沈阳市郊种植15年左右的温室土壤为研究对象,初步研究了不同形态钙素在土壤剖面中的分布和迁移及土壤钙素与土壤性质之间的相关性,以期能为设施栽培土壤科学合理施肥提供一定的理论指导,具有重要的实践意义。

1 材料与方法

1.1 材料

土样采自沈阳市蔬菜种植集中地的东陵区、于洪区、苏家屯区和新城子区栽培15年左右的30个日光温室,于有机肥基肥施用和蔬菜定植前分别采集耕层和犁底层土壤,共60个土样。经调查温室以西红柿连作或黄瓜—西红柿轮作为主要的种植方式;一般采用每年1月份施入有机肥作为基肥,有机肥种类以鸡粪、猪粪为主,个别配施牛粪,化肥主要施用尿素、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 和 K_2SO_4 。同时在温室采样点附近共采集了16点冷棚和21点温室外耕地土壤作为对照。

1.2 测定方法

土壤钙组分的测定:水溶性钙采用无离子水浸提,交换性钙采用1 mol/L NH_4OAc 浸提,酸溶性钙采用0.25 mol/L HCl 浸提^[1],全钙采用 $\text{HNO}_3-\text{HClO}_4$ 消化,溶液中钙素的测定均采用原子吸收分光光度计法。其它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 温室耕层土壤中不同形态钙素的含量

土壤中钙素的形态主要包括水溶性钙、交换性钙、酸溶性钙和非酸溶性钙,其中交换性钙包括水溶性钙和吸附性钙两部分,非酸溶性钙为土壤全钙与酸溶性钙之间的差值。土壤中的有效钙一般指交换性钙和水溶性钙,非酸溶性钙的有效性最低。由于不同温室土壤施肥、种植作物、水热条件的不同以及土壤本身性质的差异,土壤中不同形态钙素含量分布的差异较大。表1为沈阳市东陵、于洪、新城子、苏家屯4区温室耕层土壤中不同形态钙素含量状况。其中于洪区温室耕层土壤中全钙的含量最高,达到了 $(5\ 889.44 \pm 1\ 397.24)\text{mg}/\text{kg}$,相对应的交换性钙、酸溶性钙和非酸溶性钙含量同其他3个区相比也较高。苏家屯区温室耕层土壤中全钙含量相对较低,为 $(4\ 038.23 \pm 1\ 139.28)\text{mg}/\text{kg}$,是于洪区全钙含量的68.6%,同样交换性钙、酸溶性钙和非酸溶性钙含量也较其他3个区低。经统计分析可知,全钙与交换性钙、酸溶性钙和非酸溶性钙含量之间的相关系数分别为0.549,0.699和0.967均达到了显著水平($n=30$),因此土壤全钙含量与交换性钙、酸溶性钙和非酸溶性钙含量之间存在较好的相关性。但水溶性钙与全钙之间的相关系数仅为0.274,相关性未达到显著水平。水溶性钙含量并未随土壤全钙含量的增加而增加。

表1 沈阳市东陵、于洪、新城子、苏家屯4区温室耕层土壤中不同形态钙素的含量

采样地区	水溶性钙	占全钙	交换性钙	占全钙	酸溶性钙	占全钙	非酸溶性	占全钙	全钙含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	百分比/ %	含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	百分比/ %	含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	百分比/ %	钙含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	百分比/ %	
东陵区	57.84±17.82	1.18±0.39	726.70±291.94	14.23±4.80	1417.98±442.65	27.80±5.34	3785.48±1342.02	72.20±5.34	5203.46±1672.46
于洪区	45.75±14.46	0.81±0.34	974.87±173.84	17.01±3.38	1893.53±270.53	33.05±5.20	3995.91±1213.39	66.96±5.20	5889.44±1397.24
新城子区	41.76±20.20	0.78±0.24	962.52±222.28	18.86±3.47	1833.22±505.44	35.59±8.18	3341.96±898.89	64.41±8.18	5175.18±1104.64
苏家屯区	53.01±26.07	1.32±0.63	687.49±188.43	18.23±6.80	1410.36±201.31	36.44±6.73	2627.87±975.60	63.57±6.73	4038.23±1139.28

土壤中不同形态钙素占全钙的比例与不同形态钙素绝对含量之间也存在一定的差异。苏家屯区土壤中交换性钙、酸溶性钙、非酸溶性钙和全钙含量均较低,但水溶性、交换性、酸溶性3种形态钙占全钙比例相对较高,而非酸溶性钙占全钙的比例最低,土壤中钙的有效性相对较高。因此除了土壤钙的总量外,其他土壤理化性质也影响着钙素的有效性。

为了进一步分析温室土壤中钙素含量的变化趋势,同时测定了冷棚中耕层土壤全钙含量为 $(3\ 268.57 \pm 928.29)\text{mg}/\text{kg}$,耕地耕层土壤全钙为 $(1\ 892.80 \pm 59.20)\text{mg}/\text{kg}$,因此,耕层土壤全钙呈现出明显的温室>冷棚>耕地的规律性。比较可知,3种土壤的利用方式不同,温室土壤的复种指数最大,受温度影响冷棚土壤的

复种指数低于温室,而耕地每年只种一季。其中影响较大的应该是施肥,从施用的无机肥种类来看,主要是氮磷钾肥,未施入钙肥,因此不会带入大量的钙素。而不管是温室还是冷棚中每年施入大量的有机肥,应该是影响土壤钙素含量的重要因素。温室由于复种指数高,施入的有机肥量高于冷棚,导致土壤中全钙含量较高。

不同形态钙素含量的比例也存在一定的差异。冷棚中水溶性钙、交换性钙和酸溶性钙含量同温室差异较小,分别为 $(46.12 \pm 17.51) \text{ mg/kg}$, $(805.00 \pm 282.64) \text{ mg/kg}$ 和 $(1\ 839.96 \pm 329.79) \text{ mg/kg}$,由于冷棚中全钙含量较小,3种形态钙占全钙的比例较温室土壤高。耕地土壤中水溶性钙含量较低,有些土壤未检出。交换性、酸溶性钙含量也较低,分别为 $(416.20 \pm 141.21) \text{ mg/kg}$, $(882.62 \pm 178.92) \text{ mg/kg}$,两种形态钙素占全钙的比例也高于温室土壤。有关资料指出,采用 0.25 mol/L HCl 浸提的钙与作物生长相关性较好,但具体形态尚不清楚,可能包括部分难溶于水或微溶于水的含钙化合物如 CaCO_3 和 CaSO_4 及其它含钙物质,对植物也是有效的。因此露地和冷棚土壤中全钙含量较低,但钙的有效性并不低,而温室土壤中钙素的有效性降低。

2.2 温室土壤不同形态钙素的迁移

土壤中钙的淋溶损失是影响钙素有效性的重要因素。因此通过对耕层和犁底层土壤中不同形态钙素分布的研究,进一步了解在温室条件下土壤中钙的迁移。

表 2 温室耕层土壤不同形态钙素的含量

分析项目	水溶性钙 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	交换性钙 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	酸溶性钙 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	非酸溶性 钙含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	全钙含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
均数	46.29	0.96	872.21	17.86	1711.83	34.78	3361.94	65.22	5073.77
标准差	19.71	0.47	229.35	4.56	406.33	6.52	1189.39	6.52	1466.74
偏度系数	0.21	1.35	0.07	0.41	0.01	0.47	0.47	-0.47	0.24
丰度系数	-0.94	1.85	-0.50	-0.26	-1.27	-0.74	-0.40	-0.74	-0.66

温室耕层土壤中全钙含量为 $(5\ 073.77 \pm 1\ 466.74) \text{ mg/kg}$,犁底层土壤全钙含量为 $(2\ 390.93 \pm 1\ 066.52) \text{ mg/kg}$,耕层是犁底层土壤全钙含量的 1.73 倍(表 2 和表 3)。这同上述的分析一致,温室中有机肥料主要施在土壤耕层。经统计分析,耕层和犁底层土壤的全钙含量的偏度均 >0 ,因此均值右边的数据相对分散,数据向左边扩展。丰度系数均 <0 ,均值两侧的极端数据较少,全钙含量基本上属于均正偏态分布。从钙素其他形态的分布看,耕层土壤水溶性钙含量为 $(46.29 \pm 19.71) \text{ mg/kg}$ 略高于犁底层的 $(45.72 \pm 13.61) \text{ mg/kg}$,耕层土壤中有效性较低的非酸溶性钙含量为 $(3\ 361.94 \pm 1\ 189.39) \text{ mg/kg}$,约为犁底层含量 $(1\ 209.54 \pm 781.68) \text{ mg/kg}$ 的 2.8 倍,耕层土壤中的交换性和酸溶性钙均低于犁底层,4种形态钙的部分同全钙相似,均为偏度 >0 ,丰度系数 <0 的偏正态分布。但由于耕层和犁底层土壤中全钙含量的差异较大,因此耕层土壤中水溶性钙、交换性钙及酸溶性钙含量占全钙含量的百分比均低于犁底层,平均值分别低了 0.77%,19.08%,26.11%,而耕层土壤中非酸溶性钙占全钙含量的百分比约 $(65.22 \pm 6.52)\%$,犁底层约为 $(39.11 \pm 17.49)\%$ 。说明有效性较高的钙在土壤剖面中易发生迁移,导致土壤耕层中有效性钙的含量较低,而犁底层中有效钙的含量却相对较高。因此在温室耕层土壤中全钙的含量虽然较高,但由于有效性钙含量相对较低,也容易发生缺钙现象。

表 3 温室犁底层土壤不同形态钙素的含量

分析项目	水溶性钙 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	交换性钙 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	酸溶性钙 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	非酸溶性 钙含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	占全钙 百分比/ %	全钙含量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
均数	45.72	1.73	988.00	36.94	1721.39	60.89	1209.54	39.11	2930.92
标准差	13.61	0.73	199.23	11.90	654.61	17.49	781.68	6.52	1066.52
偏度系数	0.07	0.90	0.32	0.57	0.44	0.04	0.99	-0.04	0.73
丰度系数	-1.25	0.74	-1.25	-0.66	-1.28	-0.43	0.79	-0.43	-0.16

2.3 温室耕层土壤不同形态钙素与土壤 pH 值、有机质的相关性

为了进一步分析影响土壤不同形态钙素含量的因素,分别测定了耕层土壤的 pH 值和有机质,并进行了不同形态钙素与二者之间相关性的分析。温室耕层土壤的 pH 值为 6.30 ± 0.39 ,经统计 pH 值的偏度、丰度系数均 <0 ,因此均值左边的数据相对分散,数据向右边的数据扩展,均值两侧的极端数据较少(图 1)。其中有 7 个采样点的土壤 pH 值低于 6.00,最低值为 5.62,其它都在 6.00~7.00,最高为 6.96。因此在温室土壤中有一

定酸化的趋势,但不十分明显,这同温室土壤中施用大量有机肥有一定的关系,施用有机肥有利于提高土壤的缓冲性,缓冲了土壤 pH 值的变化。经相关分析可知,土壤中水溶性钙与 pH 呈负相关关系($y = -14.05x + 137.61, r = 0.273, n = 30$),土壤酸性越强,越有利于土壤水溶性钙含量的增加。但相关性未达到显著水平,同钙素易在土壤中发生迁移有关。土壤中交换性钙、非酸溶性钙、全钙与 pH 均呈正相关关系($y = 138.3x - 26.549, r = 0.220, n = 30$; $y = 444.51x + 612.46, r = 0.148, n = 30$; $y = 950.65x - 924.76, r = 0.260, n = 30$),相关性也未达到显著水平。只有土壤中酸溶性钙与 pH 呈极显著的正相关关系, $y = 506.14x - 1537.2, r = 0.473^{**}, n = 30$ 。因此温室土壤 pH 值的降低,可引起土壤中酸溶钙向水溶性钙和交换性钙的转化,促进了钙在土壤中进一步的迁移。

温室耕层土壤有机质含量为 (50.67 ± 10.03) g/kg,偏度系数为 0.146,丰度系数为 -0.613 ,在 ± 1 之间,基本属于正态分布(图 2)。土壤有机质含量均高于 30 g/kg,沈阳市郊温室耕层土壤有机质含量同露地土壤相比整体较高。经

相关分析可知,耕层土壤中不同形态钙素与有机质之间均呈正相关关系,其中土壤全钙和非酸溶性钙与有机质之间分别达到了显著和极显著水平($y = 56.477x + 2206.3, r = 0.396^*, n = 30$; $y = 56.109x + 571.47, r = 0.478^{**}, n = 30$)。但水溶性、交换性和酸溶性钙同有机质之间均未达到显著

水平($y = 0.6599x + 15.598, r = 0.328, n = 30$; $y = 3.4334x + 671.33, r = 0.140, n = 30$; $y = 0.3689x + 1634.8, r = 0.00283, n = 30$),其中,酸溶性钙与有机质之间的相关性最小。土壤中有机质含量的多少影响土壤中钙素的积累,而不同形态钙素的分布,受土壤其它理化性质的影响更大一些。土壤中有机质与土壤中钙素的相互作用机理以及究竟哪些因素还影响土壤中不同形态钙素的分布,还有待进一步的深入研究。

3 结论与讨论

(1)沈阳市郊东陵、于洪、新城子、苏家屯 4 区温室耕层土壤中不同形态钙素含量分布差异较大,与不同地区的土壤理化性质、施肥状况等的差异有关。耕层土壤全钙呈现出明显的温室 > 冷棚 > 露地的规律性。温室和冷棚土壤中水溶性钙差异较小,耕地土壤中水溶性钙含量较少。温室土壤中交换性和酸溶性钙含量高于冷棚和耕地土壤,但占全钙的相对含量低于冷棚和耕地土壤,有效性相对降低。

(2)温室土壤中有有机肥施入量很大,且主要施在耕层,导致温室耕层土壤中全钙含量高于犁底层。温室耕层土壤中以非酸溶性钙含量为主,有效性钙含量相对较低。犁底层土壤中水溶性、交换性和酸溶性钙含量较多,有效性较高,说明有效性钙易在土壤中发生向下迁移。因此,在温室耕层土壤中虽然钙素总量较高,但有效性并不高,随种植年限的增加,易出现缺钙症状。

(3)温室耕层土壤中酸溶性钙与 pH 值呈极显著的正相关关系,随温室土壤 pH 值的降低,可促进土壤中酸溶性钙在土壤中的淋失。土壤全钙和非酸溶性钙与有机质之间分别达到了显著和极显著水平,有机质含量主要影响土壤中钙素的累积。

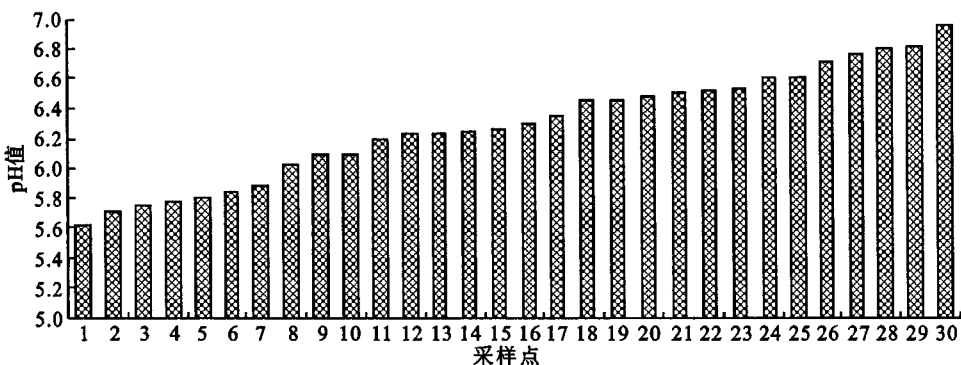


图 1 温室耕层土壤 pH 值的分布图

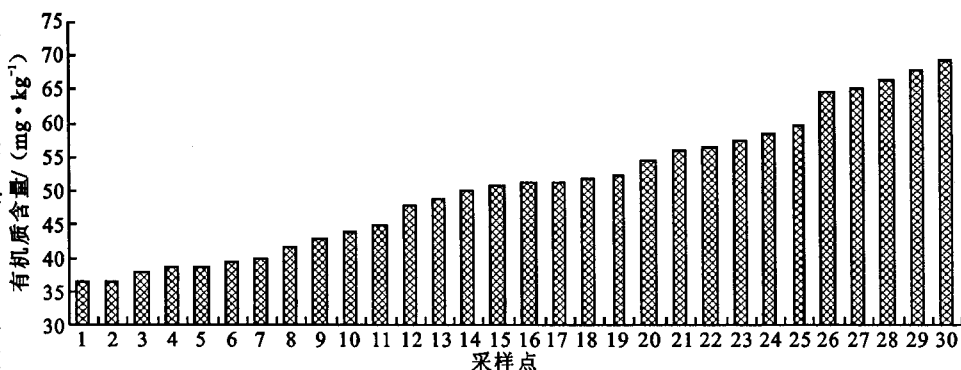


图 2 温室耕层土壤有机质含量的分布图

上接第 203 页

参考文献:

- [1] 李文庆,贾继文,李贻学,等. 大棚种植蔬菜对土壤理化及生物性状的影响[M]//谢建昌. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥,南京:河海大学出版社,1997:76-79.
- [2] 吴凤芝,刘德,王东凯,等. 大棚蔬菜连作年限对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国蔬菜,1998(4):5-9.
- [3] 肖千明,高秀兰,娄春荣,等. 辽宁省保护地土壤肥力现状分析[M]//谢建昌. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥,南京:河海大学出版社,1997:52-56.
- [4] 姜勇,张玉革,梁文举. 等. 沈阳市苏家屯区耕层土壤养分空间变异性研究[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1673-1676.
- [5] 张鸿龄,梁成华,杜立宇,等. 长期定位施肥对保护地土壤腐殖质形态的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(5):831-834.
- [6] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J]. 土壤,2004,36(3):235-242.
- [7] 余海英,李廷轩. 辽宁设施栽培土壤盐分累积变化规律研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):80-84.
- [8] 薛继澄,毕德义,李家金,等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J]. 土壤肥料,1994(1):4-9.
- [9] 黄锦法,李艾芬,马树国,等. 浙江嘉兴保护地土壤障碍的农化性状指标研究[J]. 土壤通报,2001,32(4):160-162.
- [10] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J]. 土壤,2005,37(6):581-587.
- [11] 周卫,林葆. 棕壤中肥料钙迁移与转化模拟[J]. 土壤肥料,1996(1):18-22.

责任编辑:李鸣雷 刘 英