

水热耦合对棕壤中肥料钙有效性的影响

张 大 庚, 李 天 来, 依 艳 丽, 刘 敏 霞, 贺 云 龙

(沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:为探明土壤环境条件对肥料钙有效性的影响,采用室内培养的方法系统研究硝酸钙和硫酸钙 2 种肥料钙施入土壤后,温度对土壤水溶性钙及吸附性钙含量的影响。结果表明:土壤中水分含量相同的条件下,添加硝酸钙和硫酸钙后土壤中水溶性钙含量均呈现出 $10^{\circ}\text{C} > (\approx) 20^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$ 的变化趋势。土壤温度相同的条件下,70%相对含水量时水溶性钙含量最高。在添加硝酸钙和硫酸钙的土壤中,不同温度和水分对吸附性钙的影响趋势相似,但大多数处理中添加硝酸钙土壤中吸附性钙含量低于添加硫酸钙土壤。肥料钙施入土壤中后经过 60 d 的培养,水溶性钙含量较少,主要以吸附钙的形态存在。提高土壤温度有利于吸附性钙含量的增加。

关键词:水热耦合;棕壤;肥料钙;有效性

中图分类号:S 155.2⁺3 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)18-0169-04

钙是作物生长发育中的必需元素之一,土壤中钙素含量在一般条件下能满足作物的需要,以致很少补施钙肥。但随着土壤利用强度、作物产量的不断提高,被作物吸收的土壤钙素逐渐增多。而一些研究结果也表明,钙在土壤中的移动速度比想象中快得多,土壤钙的淋溶损失较大^[1-3]。同时土壤水分条件、土壤温度、土壤酸碱性、离子之间的颀抗作用、施肥不当等因素均影响着土壤中钙素的有效性^[4-6]。如李为等^[7]研究结果表明,一定范围内温度增加对 Ca 元素的迁移有不同程度的促进作用。而有关土壤中施入肥料钙的研究相对较少。周卫等^[8]研究认为,钙的转化与肥料品种有关,表层施硝酸钙土壤中钙的迁移大于硫酸钙。林葆等^[9]总结了在蔬菜上进行 3 a 的土施和喷施硝酸钙的田间试验结果显示,土施的增产效果优于喷施。因此土壤中钙的含量及其有效性,对作物能从土壤中吸收多少钙起着决定性影响。温度和水分是土壤肥力 2 个基本要素,二者的变化显著影响土壤不同养分元素形态转化。因此该文采用室内培养的方法,在控制一定土壤水分条件下,系统研究不同温度条件对施入土壤中的硝酸钙和硫酸钙 2 种肥料钙有效性的影响,以期对土壤的平衡施肥提供新思路 and 理论依据。

第一作者简介:张大庚(1975-),女,辽宁凌海人,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事土壤肥力方面的教学和科研工作。

责任作者:李天来(1955-),男,辽宁朝阳人,博士,教授,博士生导师,现主要从事设施园艺及蔬菜生理生态研究工作。

基金项目:国家科技支撑计划子课题资助项目(2006BAD07B04)。

收稿日期:2011-05-27

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用土壤采自于沈阳农业大学试验地。土壤类型为棕壤,耕层(0~20 cm)土壤。供试土壤的基本性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本性状

Table 1 Basic properties of the soils studied

土壤类型 Soil type	pH	有机质 Organic matter /g · kg ⁻¹	碱解 N Alkaline hydrolysis N /mg · kg ⁻¹	速效 P Quick-acting P /mg · kg ⁻¹	速效 K Quick-acting K /mg · kg ⁻¹	全 Ca Total Ca /g · kg ⁻¹
棕壤 Brown soil	6.40	16.6	147.63	3.97	21.14	1.93

1.2 试验方法

称过 20 目的供试土壤 600 g,分别添加 CaSO₄ 和 Ca(NO₃)₂。CaSO₄ 和 Ca(NO₃)₂ 的施用量以钙素等量标准计算,CaSO₄ 为 0.52 g,Ca(NO₃)₂ 为 0.71 g。在 2 种水分条件下(70%相对含水量、50%相对含水量),控制 30、20 和 10℃ 温度,在光照培养箱中共培养 60 d。分别在培养的第 1、10、30、60 天取样分析。

1.3 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/LNH₄OAc 浸提。交换性钙包括水溶性钙和吸附性钙二部分。全钙采用 HNO₃-HClO₄ 消化。溶液中钙素含量的测定均采用原子吸收分光光度计法。

2 结果与分析

2.1 水热耦合对添加肥料钙棕壤中水溶性钙含量的影响

2.1.1 添加硝酸钙土壤中水溶性钙含量随时间的变化

钙素进入土壤后可发生交换吸附、专性吸附、形成

离子对或生成难溶性沉淀等,因此肥料钙施入土壤后以不同的形态存在。土壤中的有效性钙一般指吸附性钙和水溶性钙。而水溶性钙是土壤中最易被作物吸收利用的部分,也容易发生迁移和转化。在70%相对含水量条件下,20、10℃培养土壤中水溶性钙的含量变化趋势一致(图1),含量也相近(38.04~62.00 mg/kg),在培养的第30天达到高值后,略有降低。而30℃培养条件下,水溶钙含量低于20℃和10℃条件,其含量在14.14~24.82 mg/kg之间,变化幅度不大。因此在70%相对含水量条件下,温度的增加促进了水溶性钙向其它形态的转化。在50%相对含水量条件下,随培养时间的增加,添加硝酸钙后土壤中水溶性钙的含量都有增加的趋势(图2)。其中10℃和20℃条件下,土壤水溶性钙含量在培养的30d后略有降低。3种温度条件下土壤水溶性钙的含量表现为10℃>20℃>30℃的变化趋势。70%和50%相对含水量条件下相比较,在培养第1天土壤中水溶性钙含量的差异较大。在70%相对含水量条件下,10、20、30℃条件下水溶性钙含量分别为42.80、38.04、22.95 mg/kg。在50%相对含水量条件下,10、20、30℃条件下水溶性钙含量分别为14.08、10.20、6.66 mg/kg。因此,土壤水分条件也是影响土壤中肥料钙转化的重要因素。在温度相同的条件下,土壤水分含量越高,越易保存较多的水溶性钙,而水分含量越低,钙素与土壤的接触几率越大,因此也增加了钙素向其它形态转化的几率。

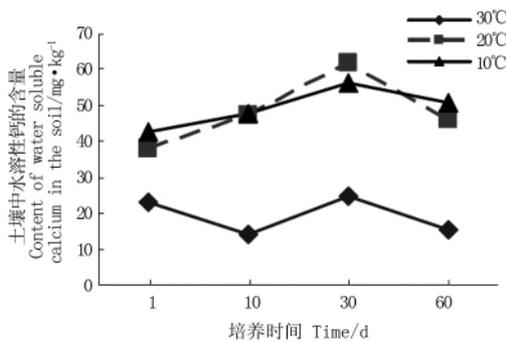


图1 70%相对含水量条件下,温度对添加硝酸钙土壤中水溶性钙含量的影响

Fig. 1 The effects of temperature on water soluble calcium content in the soil that adding calcium nitrate, as 70% relative water content of soil

2.1.2 添加硫酸钙土壤中水溶性钙含量随时间的变化 当土壤水分含量为70%相对含水量,3种温度条件下,添加硫酸钙土壤中水溶性钙的含量随时间的变化趋势一致(图3)。3种曲线均表现为在培养的第10天时达到高值,在培养的第10~60天时逐渐递减。从3个曲线的分布来看,虽然添加硫酸钙处理土壤水溶性钙含量随培养时间的变化趋势有所差异,但温度对水溶性钙含量的影响规律与添加硝酸钙处理相似,均为10℃≈20℃>30℃。在培养的60d中,处理培养的第10天,添加硫酸钙处理土壤中水溶性钙含量高于添

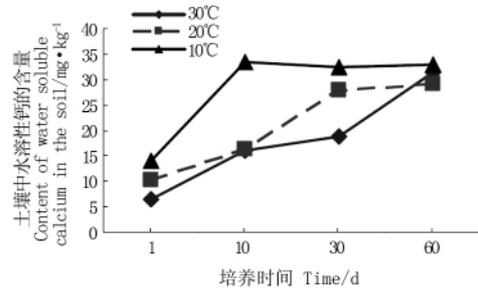


图2 50%相对含水量条件下,温度对添加硝酸钙土壤中水溶性钙含量的影响

Fig. 2 The effects of temperature on water soluble calcium content in the soil that adding calcium nitrate, as 50% relative water content of soil

加硝酸钙处理,其它培养时间均略低于添加硝酸钙处理。这一定程度是由于硫酸钙的溶解度相对较低导致的。在50%相对含水量条件下,随培养时间的增加不同温度培养水溶性钙含量均呈上升趋势,同添加硝酸钙的处理变化趋势相似(图4)。但不同温度之间的差异相对较小,且在10℃和20℃条件下土壤中水溶性钙的含量差异不显著。添加硫酸钙处理土壤中水溶性钙含量基本都高于添加硝酸钙各处理。总体来看,在添加硫酸钙各处理中,30℃条件下,不同水分条件对水溶性钙含量的影响变化幅度较小,基本在20~30 mg/kg之间变化。20℃和10℃培养条件下,水分对水溶性钙含量的影响顺序大致为:70%相对含水量>50%相对含水量。

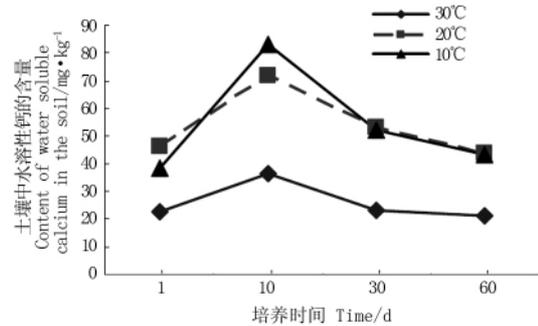


图3 70%相对含水量条件下,温度对添加硫酸钙土壤中水溶性钙含量的影响

Fig. 3 The effects of temperature on water soluble calcium content in the soil that adding calcium sulfate, as 70% relative water content of soil

2.2 温度对添加肥料钙土壤中吸附钙含量的影响

2.2.1 添加硝酸钙土壤中吸附钙含量随时间的变化

在利用1 mol/L NH₄OAc 浸提出的交换性钙中包括水溶性钙和吸附性钙两部分,因此吸附性钙含量是二者之间的差值。吸附性钙是吸附到土壤胶体表面,能够保存在土壤中,又能被作物吸附利用的部分,是土壤中有效钙的主要部分,含量也高于土壤水溶性钙含量。在70%相对含水量条件下,10℃和30℃时,添加硝酸

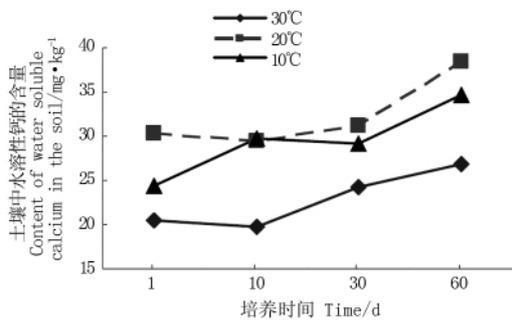


图 4 50%相对含水量条件下,温度对添加硫酸钙土壤中水溶性钙含量的影响

Fig. 4 The effects of temperature on water soluble calcium content in the soil that adding calcium sulfate, as 50% relative water content of soil

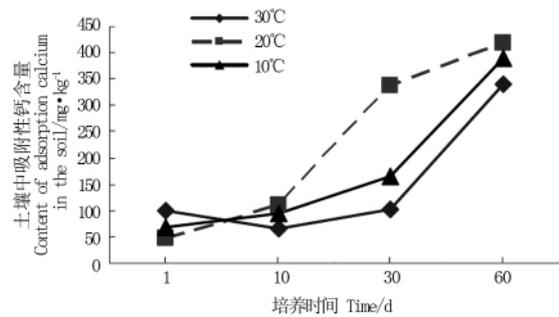


图 6 50%相对含水量条件下,不同温度对添加硝酸钙土壤中吸附钙含量的影响

Fig. 6 The effects of temperature on adsorption calcium content in the soil that adding calcium nitrate, as 50% relative water content of soil

钙土壤中吸附性钙含量的 2 条变化曲线相似(图 5)。在 0~30 d 的时间里呈上升的趋势,在 30~60 d 的时间里表现出了下降的趋势。20°C 时在培养时间里呈一定的上升趋势。从 3 条曲线的分布来看,10°C 时吸附性钙的含量相对较高。在 50% 相对含水量条件下,在培养的前 10 d,3 种温度条件下,土壤中吸附性钙含量差异较小(图 6)。随培养时间的增加,均呈明显的上升趋势。在不同的培养时间吸附性钙的含量的大致趋势为 20°C>10°C>30°C。在土壤中水分含量相对较少的条件下,添加的硝酸钙与土壤的接触面积较大,因此温度的升高促进了肥料钙向其它形态包括酸溶态和活性较低的非酸溶态的转化。而吸附过程又是一个吸热的过程,在二者综合作用下导致在 20°C 条件下,土壤中吸附性钙的含量高于其它温度条件下。在 50% 相对含水量条件下,水分对肥料钙的影响程度相对较小,而温度的影响相对较大,因此在不同的温度条件下呈现出较好的变化趋势。

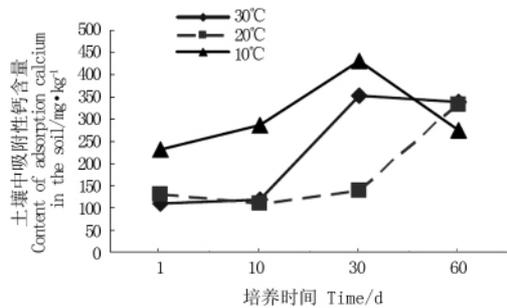


图 5 70%相对含水量条件下,不同温度对添加硝酸钙土壤中吸附钙含量的影响

Fig. 5 The effects of temperature on adsorption calcium content in the soil that adding calcium nitrate, as 70% relative water content of soil

于硝酸钙土壤。在温度和水分的作用下,不同处理曲线变化差异较大,无明显的规律性。在 50% 相对含水量条件下,添加硫酸钙土壤中吸附性钙含量的变化趋势同添加硝酸钙土壤,即随培养时间的增加吸附性钙含量均呈增加的趋势,且在 20°C 条件下吸附性钙含量最高(图 8)。但在 10°C 和 30°C 条件下,吸附性钙含量差异较小。在添加硝酸钙的土壤中吸附性钙含量由 47.35 mg/kg 增加到 417.65 mg/kg,而添加硫酸钙土壤中由 99.16 mg/kg 增加到 539.29 mg/kg。在添加硫酸钙的土壤中吸附性钙的含量同添加硝酸钙相比较,变化的幅度也相对较大。这同硫酸钙和硝酸钙的性质有关,硫酸根离子为土壤专性吸附的能力高于硝酸根离子,硫酸根离子被土壤专性吸附后增加了钙的吸附,同时硫酸钙离子对的形成也阻碍了钙的进一步转化。因此添加硫酸钙土壤中吸附性钙的含量相对较高。总体来讲,在不同的水分条件下,3 种温度对吸附性钙含量的影响程度不同。且随土壤中水分含量的减少,温度对吸附性钙的影响程度增加。在 70% 相对含水量的条件下,由于水分和温度的耦合作用,使土壤中吸附性钙含量的变化有一定的波动。在添加硝酸钙和硫酸钙的土壤中,不同温度和水分的影响趋势相似,只是土壤中吸附性钙的含量存在一定的差异。肥料钙

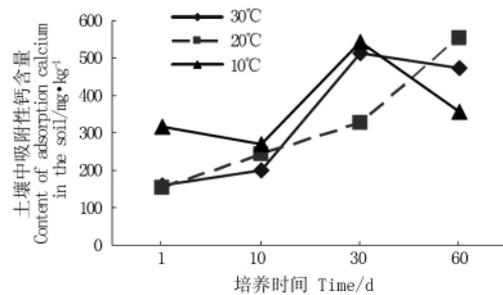


图 7 70%相对含水量条件下,不同温度对添加硫酸钙土壤中吸附钙含量的影响

Fig. 7 The effects of temperature on adsorption calcium content in the soil that adding calcium sulfate, as 70% relative water content of soil

2.2.2 添加硫酸钙土壤中吸附性钙含量随时间的变化 在 70% 相对含水量条件下,温度对添加硫酸钙土壤中吸附性钙含量的影响变化趋势同添加硝酸钙土壤相似(图 7)。但添加硫酸钙土壤中吸附性钙的含量高

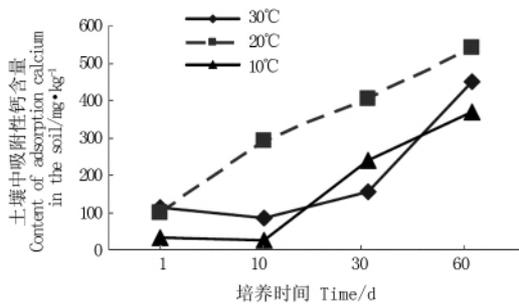


图 8 50%相对含水量条件下,不同温度对添加硫酸钙土壤中吸附钙含量的影响

Fig. 8 The effects of temperature on adsorption calcium content in the soil that adding calcium sulfate, as 50% relative water content of soil

施入土壤中后经过 60 d 的培养,土壤有效态钙主要以吸附性钙的形态存在。因此通过调节土壤的水分和温度条件可以调控土壤中肥料的转化,提高土壤水分含量和温度有利于土壤吸附更多的钙素。有关肥料钙随温度的变化机理,究竟是肥料钙本身性质的影响,还是肥料钙的施入影响了土壤性质如土壤 pH 值,进而影响了其形态的转化,还需进一步的研究和探讨。

3 结论

土壤中水分含量相同的条件下,添加硝酸钙和硫酸钙后土壤中水溶性钙含量随温度的升高而降低,均呈现出 $10^{\circ}\text{C} > (\approx) 20^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$ 的变化趋势,温度升高有利于水溶性钙向其它形态的转化。在土壤温度相同的条件下,水分对添加硝酸钙和硫酸钙后土壤中水溶性钙含量的影响均以 70% 相对含水量条件下最高。当培养温度较低时,水分对水溶性钙含量影响的程度

增加。添加硫酸钙处理土壤中水溶性钙含量基本都高于添加硝酸钙各处理。在不同的水分条件下,随土壤中水分含量的减少,温度对吸附性钙的影响程度增加。在 70% 相对含水量的条件下,由于水分和温度的共同作用,使土壤中吸附性钙含量的变化有一定的波动。在添加硝酸钙和硫酸钙的土壤中,不同温度和水分的影响趋势相似,但大多数处理中添加硝酸钙土壤中吸附性钙含量低于添加硫酸钙土壤。肥料钙施入土壤中后经过 60 d 的培养,土壤中水溶性钙含量较少,主要以吸附性钙的形态存在。提高土壤水分含量和温度有利于吸附性钙含量的增加。

参考文献

- [1] 周卫,林葆. 土壤中钙的化学行为及生物有效性研究进展[J]. 土壤肥料,1996(5):19-22.
- [2] 刘晶晶,刘春生. 钙在土壤中的淋溶迁移特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):54-56.
- [3] 孟赐福,傅庆林,水建国,等. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(2):126-139.
- [4] 葛晓光,王晓雪. 长期定位施用氮肥对菜田土壤肥力变化的影响[J]. 中国蔬菜,1997(5):1-6.
- [5] Shen R F, Zhao Q G. Leaching of Nutrient Elements in a Red Soil Derived from Quaternary Red Clay [J]. Pedosphere,1998,8(1):15-20.
- [6] 王慎强,蒋其鉴,钦绳武,等. 长期施用有机肥与化肥对潮土土壤化学及生物学性质的影响[J]. 中国农业生态学报,2001,9(1):67-69.
- [7] 李为,贾丽萍,余龙江,等. 不同种类微生物及其碳酸酐酶对土壤一灰岩系统钙镁锌元素迁移作用的土柱模拟实验研究[J]. 土壤,2007,39(3):453-459.
- [8] 周卫,林葆. 棕壤中肥料钙的迁移与转化模拟[J]. 土壤肥料,1996(1):17-23.
- [9] 林葆,朱海舟,周卫. 硝酸钙对蔬菜产量与品质的影响[J]. 土壤肥料,2000(2):20-24.

Influence of Water Heat Coupling on the Availability of Calcium Fertilizer in Brown Soil

ZHANG Da-geng, LI Tian-lai, YI Yan-li, LIU Min-xia, HE Yun-long
(Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: In order to investigate the effect of environmental factors on the availability of calcium fertilizers in the soil, a soil incubation test was carried out to study the influence of temperature on the content of water soluble calcium and adsorption calcium, after adding the calcium fertilizer into the soil. The results showed that the changing trend of water soluble calcium content in the soil that adding calcium nitrate and calcium sulfate was $10^{\circ}\text{C} > (\approx) 20^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$ under the same conditions of soil moisture. The increasing of temperature was beneficial to the conversion from water soluble calcium to other forms. As the soil temperature was the same, the content of water soluble calcium was the most under soil relative water content 70% condition. The effects of moisture and temperature on the adsorption calcium in the soil that adding calcium nitrate and calcium sulfate followed a similar trend. But the content of adsorption calcium that adding calcium nitrate into the soil was lower than the soil that adding calcium sulfate in most treatment. After six-month incubation, the content of water soluble calcium was less in soil and the soil was dominated with adsorption calcium. Increasing soil moisture content and temperature was beneficial to increase the content of adsorption calcium.

Key words: water heat coupling; brown earth; calcium fertilizer; availability