

氮肥施用对石灰性土壤交换性钙含量的影响

徐海, 王益权, 王浩, 徐爽, 王永健, 李鹏

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了揭示长期土壤化学物质投入量的不断增加给土壤造成的“亚健康”现象, 更新石灰性土壤不会产生钙亏缺的传统理念, 本试验研究了施用 NH_4Cl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 和尿素 4 种常用氮肥对石灰性土壤表层交换性钙含量的影响。结果表明: 石灰性土壤经 NH_4Cl 、 $1/2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 三种同体积不同浓度铵态氮溶液的淋洗后, 土壤中的交换性钙含量均呈现不同程度的下降, 其中等当量铵的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液比 NH_4Cl 和 NH_4NO_3 溶液影响相对较大, 影响程度依次为: $\text{NH}_4\text{NO}_3 < \text{NH}_4\text{Cl} < (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 尿素施入土样培养 7 d 期间, 土壤交换性钙与时间呈显著负相关, 7 d 之后, 土壤交换性钙趋于平稳。研究结论: 大量长期施用化学氮肥使石灰性土壤表层交换性钙含量逐渐降低, 脱钙作用使得土壤钙饱和度可以下降到 50% 以下, 使得土壤呈现“亚健康”状态。

关键词: 石灰性土壤; 氮肥; 交换性钙; 钙饱和度

中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0174-04

钙是植物生长必需的营养元素, 同时也是人体所必需的矿质元素之一。一般情况下土壤中含钙量能够满足植物需要, 大田作物缺钙现象并不多见^[1]。此外, 钙不仅能保护牙齿和骨骼, 而且还能避免骨质疏松症、预防肾结石、降低血压、防止心脏病等多种作用^[2,3]。“药膳同源”, 农产品中钙的含量对于保证人体健康有重要关系。土壤钙素决定着农作物产品中钙的含量, 研究土壤钙素状况, 提高食物中钙的含量也是维持人们健康的迫切需要。

在以往土壤研究工作中, 对土壤耕层养分变化研究多偏向于大量元素养分, 尤其对氮、磷的研究^[4~11]相对较多, 而对土壤、特别是对石灰性土壤钙素的变化趋势、以及长期施用大量元素肥料对土壤中微量元素钙的影响研究仍鲜见报道。究其原因是因为以往使用土杂肥, 具有明显的复钙作用, 播种前土壤翻动将淋失到亚表层的钙又带回到表层复钙, 维持着钙素平衡, 土壤出现缺钙问题几率小。然而, 现在施肥、耕作制度发生了明显的变化, 土壤表层脱钙及其多年的累积效应, 不少地区土壤出现了缺钙, 引发的作物生理病害已累见不鲜^[12~15], 研究施肥

与土壤钙素平衡显得极为必要。

土壤钙素包括水溶态、交换态、有机态及矿物态钙 4 种, 其中交换态钙是衡量土壤钙素供给水平主要指标, 土壤中交换态钙的含量既受到其它形态土壤钙的影响, 也会受到土壤其它离子的影响。本研究给土壤施入不同类型及浓度的氮肥, 探求其对土壤交换性钙含量的影响, 旨在揭示农田土壤中使用化学肥料对土壤钙素平衡的影响, 在理论上有助于纠正和更新人们对石灰性土壤不会出现钙缺乏的错误观念, 同时, 为土壤的精确管理与科学推荐施肥提供科学的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试土壤样品采自陕西关中杨凌头道塬农田, 土壤类型为在黄土母质发育的自然褐土基础上, 再经千百年来人为使用土粪堆填作用, 逐渐演化形成的瘠土(系统分类名称为土垫旱耕人为土, Earth-cumuli-orthic anthrosols), 随机多点采集了该土壤 0~20 cm 表层混合样品。供试土壤基本性状详见表 1。

表 1 供试土壤的主要理化性状

Table 1 Main physical and chemical characters of tested soil

土层深度 Soil depth (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	有机质含量 Organic content (%)	碱解氮 Alkaline hydrolytic-N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	阳离子交换量 CEC (cmol/kg)	交换性钙含量 Exchangeable calcium (cmol/kg)
0~20	1.24	15.74	86.51	12.98	141.52	21.82	15.67

收稿日期: 2011-05-27

基金项目: 陕西省农业厅项目“陕西关中冬小麦/夏玉米轮作超高产技术体系研究”(413020211203533)

作者简介: 徐海(1981—), 男, 四川泸州人, 博士研究生, 主要从事土壤养分及土壤物理方面的研究。E-mail: xuhai_0_2001@163.com。

通讯作者: 王益权(1957—), 男, 陕西旬邑人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤物理及改良方面的研究和教学工作。E-mail: soilphysics@163.com。

1.2 试验方法

1) 采用室内模拟的土柱交换淋洗实验,设置重复为 3 次。具体方法如下:称取土壤样品 50 g 填入内径 5 cm,长 16 cm 圆形透明柱内,用 NH_4^+ 浓度分别为 0.1 mol/L、0.3 mol/L、0.5 mol/L 的 NH_4Cl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 溶液各 500 mL,在用马氏瓶恒定控制水头高度为 20 cm 的条件下,稳定地淋洗土柱,淋洗速率约为 10 mL/min,淋洗完后将土壤样品再风干,测定土壤交换性钙含量变化。

2) 模拟土壤施肥试验。将尿素按照重量比为 1:50 的比例拌入 50 g 土样中,先加入 5 mL 蒸馏水湿润土壤,并密封防止氮素挥发和水分蒸发,分别放置 1、2、3、5、7、10 d 后,再用 500 mL 蒸馏水和在用马氏瓶控制水头高度情况下缓慢淋洗,水头高度与淋洗速率同上,然后取出土壤样品风干,测定土样中交换性钙含量变化。

1.3 测试项目与方法

土壤交换性钙测定使用 NaOAc 浸提交换,EDTA 滴定法^[16]。

2 结果与分析

2.1 氮肥类型对土壤交换性钙的影响

氮素是构成一切生命体的重要元素^[17],氮肥的使用量大,使用次数频繁,使用的历史也相对较长,已经成为维系农业产量水平的主要手段。虽然使用氮肥补给了土壤氮素供应,满足了作物营养要求,但是大量施用氮肥,加剧了土壤胶体铵离子与钙离子的交换过程,促使土壤脱钙,影响土壤钙饱和度^[12]。客观事实也确是如此,各地长期使用氮肥导致作物缺钙、土壤凸现酸化的问题时有发生^[12,18,19]。土壤交换性钙含量是土壤质量的重要指标之一。无论对酸性土还是碱性土进行化学改良时,均强调要既调酸又补钙,这足见学术界很早将交换性钙及其饱和度作为了土壤质量的重要指标之一。基于土壤科学理论基础和生产实践客观需求,必须探求土壤铵态氮肥施用对交换性钙含量的影响,探讨现代农业利用与管理模式下土壤质量的隐形退化过程与发展态势,揭示土壤质量变异对农产品品质的影响等。

通过室内模拟实验,模拟研究不同种类及不同浓度铵态氮肥对土壤交换性钙含量的影响,结果得出不同氮肥处理对石灰性土壤交换性钙含量的影响(图 1)。

由图 1 明显可以看出,随着氮肥浓度增加,土壤交换性钙明显下降,证明了大量使用氮肥确实是土壤交换性钙减少的重要原因之一,其影响幅度与氮

肥的类型有着明显的关系,由此可推断,长期施用大量氮肥必然导致土壤中交换性钙含量的降低。

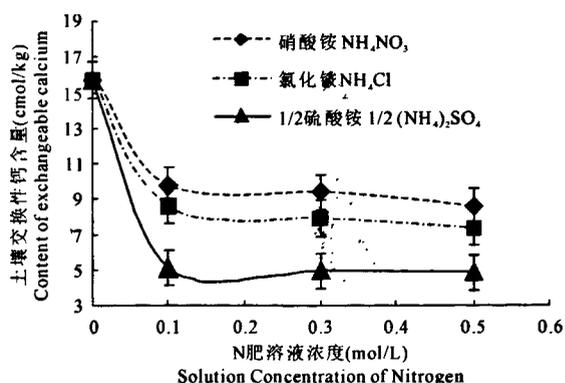


图 1 关中地区农田土壤表层不同 N 肥处理下交换性钙含量

Fig.1 Content of soil surface layer exchangeable calcium with different nitrogen treatment

以淋洗前土壤交换性钙为基数,分级计算在不同水平的等氮量条件下淋洗作用后,土壤所脱去的交换性钙占交换前土壤交换性钙的百分数,即土壤脱钙率,能够更见直观地看出氮肥处理的作用与效应(见表 2)。由表 2 和图 1 可知,只要用不同类型铵态氮肥水溶液淋洗,就能使石灰性土壤交换性钙含量有着极为明显的下降趋势,使得土壤交换性钙从原来的 15.67 cmol/kg 分别迅速减少为 9.8、8.6、5.2 cmol/kg,脱钙率分别达到 37.68%、44.96%、67.06%,证明土壤交换性钙对施入的氮肥反映具有很高的灵敏性。随着施入铵离子浓度的增加土壤交换性钙下降趋势逐渐变缓,土壤交换性钙分别从 5.2 cmol/kg 减少到 4.8 cmol/kg,从 8.6 cmol/kg 减少到 7.3 cmol/kg,9.8 cmol/kg 减少到 8.5 cmol/kg,减小幅度很小,受土壤胶体上钙离子饱和度下降所制约,增大了溶液中铵离子与土壤胶体上吸附性钙离子交换的难度,符合土壤胶体阳离子交换的定比定律。

表 2 氮肥处理后石灰性土壤交换性钙的脱钙率 (%)

Table 2 Decalcification rate of exchangeable calcium on calcareous soil after different nitrogen treatment

氮肥类型 N type	氮肥浓度 N concentration (mol/L)		
	0.1	0.3	0.5
NH_4NO_3	37.68Ee	40.01DEe	45.51CDcd
NH_4Cl	44.96CDd	49.55BCbc	52.90Bb
$1/2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	67.06Aa	68.34Aa	68.91Aa

注:同一行不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著,同一行不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different capital letters in the same line mean significance at $P < 0.01$ level, while different lowercases in the same line mean significance at $P < 0.05$ level.

由图 1 和表 2 可以看出,铵态氮肥类型不同,对土壤交换性钙的影响差异达到极为显著。在氮等价情况下三种供施氮肥对土壤交换性钙降低幅度呈现出 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{NH}_4\text{NO}_3$ 的规律。显然,铵离子与钙离子的交换与伴随铵离子的阴离子种类也有很大关系。伴随铵离子的阴离子与钙离子的结合能力是有差异的,因此,各类氮肥对石灰性土壤中各种形态钙的相互转化作用程度会影响到土壤交换性钙含量的变化。硫酸根离子与被铵交换出来的钙离子容易结合成难溶性化合物,促进了铵对土壤胶体上钙离子的交换作用,故硫酸铵对土壤交换性钙的影响能力最强,氯离子和硝酸根离子均没有此作用,故硫酸铵对土壤交换性钙的影响会最明显。其次,硝酸盐溶液对石灰性土壤难溶性钙的溶解能力可能要比氯化物盐溶液强。总之,本实验证明要维持土壤钙素平衡,选择适宜氮肥品种是非常必要的。

综合分析三种氮肥溶液与土壤交换性钙变化关系曲线,显示出土壤交换性钙可以划分为“易交换的和难交换”两部分,完全符合土壤离子交换基本特征,即随着土壤胶体上离子饱和度的下降,其离子有效度下降的基本规律。土壤胶体上每个离子分为易交换和难交换,体现着土壤对养分离子的保存、调节机制,使用化学肥料能够引起土壤脱钙问题的发生,但土壤钙饱和度下降也是缓慢演变的过程。

2.2 氮肥处理对石灰性土壤钙饱和度的影响

已有许多研究资料表明,对于大多数作物而言,土壤钙饱和度低于 60% ~ 70% 就属于不健康土壤^[20]。K. K. Гедройц 和 O. K. Кедров - Зихман 研究得出,当土壤 Ca^{2+} 饱和度在 50% ~ 60% 以上,其它阳离子数量不多时,组成了最适宜的土壤营养和植物发育、结实的条件。同时他们用单一阳离子饱和的土壤样品进行盆栽试验研究表明,植物完全死亡或受到强烈的抑制,产量微不足道。只有 Ca^{2+} 例外, Ca^{2+} 饱和的土壤对植物发育不会造成严重伤害。足见钙在植物生命中起着特殊的生理作用,土壤中缺少有效钙会导致植物生长发育不正常甚至死亡^[20]。

氮肥会引起土壤胶体上钙饱和度下降(图 2),由图 2 可知,经过氮肥淋溶处理后的土壤样品钙饱和度均下降到了 50% 以下,低于适宜于大多数作物的健康土壤质量标准,其中硫酸铵的作用幅度最大,是土壤钙饱和度降低到 25% 以下,如果没有其它土壤“复钙”措施,对于作物抗逆性必然会有直接的影响。

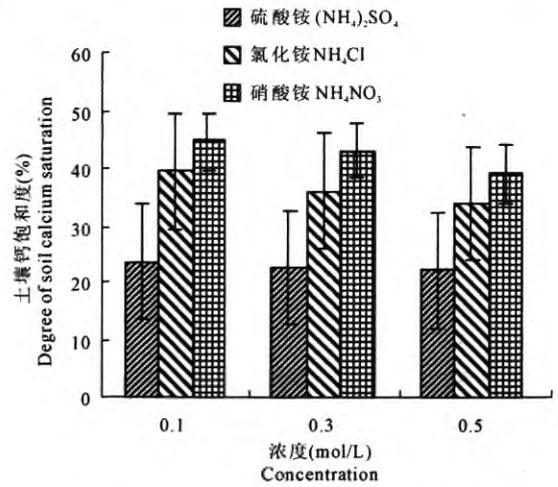


图 2 表层石灰性土壤不同种类及浓度 N 肥溶液淋洗后钙饱和度

Fig.2 Degree of calcium saturation in soil surface layer with different nitrogen treatment

2.3 尿素对土壤中交换性钙的影响

尿素因具有很多优点,含氮量高,物理性好,无论做基肥还是追肥都是很好的氮肥,在各类土壤被广泛地使用着。尿素施入土壤后会经脲酶水解,转化成铵态氮肥,被作物吸收利用。为了探索农田氮肥使用情况对土壤钙饱和度的影响,在室内模拟田间施用尿素肥料后,在其氮素培养转化过程中所诱导的土壤交换性钙变异情况(图 3),企图揭示农田使用氮肥情况情况下,土壤交换性钙的变异趋势。

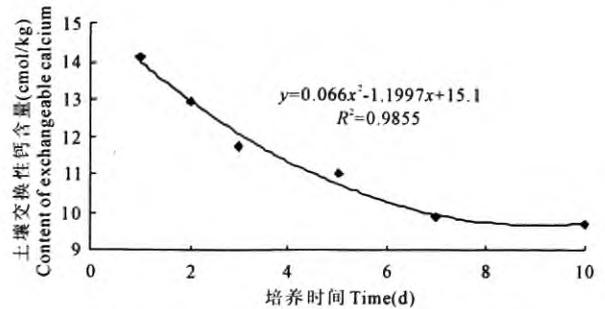


图 3 尿素不同培养时间土壤交换性钙含量

Fig.3 Content of soil surface layer exchangeable calcium with different urea incubation time

由图 3 可知,尿素肥料在石灰性土壤中转化过程中,对土壤钙饱和度也有明显地影响,在培养的前 7 d 内土壤交换性钙含量随着培养时间的增加而显著降低,从原土样中的 15.7 cmol/kg 下降到 9.8 cmol/kg;培养 7 d 之后土壤交换性钙含量下降幅度逐渐趋缓。尿素在石灰性土壤中转化期间对土壤交换性钙的影响符合二次函数关系(见式 1)。

$$y = 0.066x^2 - 1.1997x + 15.1 \quad (1)$$

对公式1进行求导,得到公式(2):

$$dy/dx = 0.132x - 1.1997 \quad (2)$$

当 $dy/dx = 0$ 时,求得 $x = 9$,再由公式(1)得到 $y_{\min} = 9.6 \text{ cmol/kg}$,即经过尿素处理9 d后土壤交换性钙含量趋于平衡,达到极小值 9.6 cmol/kg 水平。

在施入尿素肥料后,10 d内石灰性土壤钙饱和度变化见表3,由表3可知,随着培养时间的增加,石灰性土壤钙饱和度逐渐下降,从最初土壤钙饱和度72%降低到培养第7天的45.3%,于7天后土壤钙饱和度渐趋于平稳,维持在45%左右。试验揭示

了农田使用尿素氮肥,通过影响土壤钙饱和度而影响土壤质量。使用氮肥后人们普遍采用灌溉措施增加肥料溶解,在此期间设想必然也会加大钙素的淋溶,加速土壤脱钙过程。只因石灰性土壤潜在钙素丰富,才使得农田土壤脱钙的危害性表现的较为迟缓。常年使用土杂农家肥料、播种前深翻是关中地区维持表层土壤钙素平衡,保护土壤健康的有效措施,在现代农业管理体系下它对于维持土壤质量可持续仍具有重要的现实意义。

表3 表层石灰性土壤施用尿素10天内钙饱和度变异

Table 3 Variation of degree of soil calcium saturation after applied Urea within 10 days

项目 Item	样品初始值 V_0 Initial value	时间 Time(d)					
		1	2	3	5	7	10
土壤钙饱和度(%) Degree of soil calcium saturation	71.8	64.5	59.2	53.8	50.5	45.3	44.3
变异系数 CV	—	7.533	9.697	12.349	14.208	16.852	18.273

3 讨论与结论

1) 石灰性土壤在 NH_4Cl 、 $1/2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 三种同体积不同浓度铵态氮溶液的淋洗后,土壤中的交换性钙含量均呈现不同程度的下降,其中等当量的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液比 NH_4Cl 和 NH_4NO_3 溶液影响相对较大,影响程度依次为: $\text{NH}_4\text{NO}_3 < \text{NH}_4\text{Cl} < (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 土壤样品中钙饱和度的变化趋势与交换性钙含量的变化趋势是相一致的。而尿素对石灰性土壤中的交换性钙的影响与上述铵态氮溶液局部相似,在尿素施入土样培养7 d的时间段内,土壤交换性钙含量随着时间的增加而明显降低;7 d之后,土壤交换性钙趋于平稳,变化并不明显。

2) 钙饱和度是土壤健康体系评价化学指标中最重要的指标之一,土壤中的交换性钙含量也直接关系着作物的品质和粮食的安全生产。由上述实验结果可以得出,从整体上看,石灰性土壤中的交换性钙由于氮肥的大量施用而明显下降,土壤钙饱和度均下降到50%以下,明显低于适宜大多数作物的健康土壤60%~70%的质量标准^[20]。土壤已经呈现“亚健康”状态,持续下去,将出现严重的土壤退化,生产力下降的现象,影响作物生产与农业的发展。

3) 实验结果表明,大量长期施用化学氮肥使石灰性土壤表层交换性钙含量逐渐降低,有弱脱钙现象,这与现代情况下土粪使用量减少,土壤上下翻动少,传统的“复钙”作用被弱化有关系。

参考文献:

- [1] 门中华,贾小环.钙在植物营养中的作用[J].阴山学刊,2006,20(4):38—40.
- [2] 蒋廷惠,占新华,徐阳春,等.钙对植物抗逆能力的影响及其生态学意义[J].应用生态学报,2005,16(5):971—976.
- [3] Federer C A, Hornbeck J W, Tritton L M, et al. Long-term depletion of calcium and other nutrients in eastern U. S. forests[J]. Environ Man, 1989, 13:593—600.
- [4] 邱栋梁,刘星辉,郭素枝.模拟酸雨胁迫下钙对龙眼光合功能的调节作用[J].应用生态学报,2002,13(9):1072—1076.
- [5] 魏孝荣,邵明安.黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征[J].生态学报,2007,(2):603—612.
- [6] 贾丽华,费良军,程东娟.不同灌溉施肥方式的土壤硝态氮分布特性试验研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):45—48.
- [7] 王殿武,文宏达,诸达华.粟钙土水肥耦合效应的田间研究[J].植物营养与肥料学报,1999,5(3):227—234.
- [8] 刘世亮,介晓磊,李有田,等.作物根际土壤有机磷的分组及有效性的研究[J].河南农业大学学报,2002,(1):.
- [9] 向万胜,黄敏,李学垣.土壤磷素的化学组分及其植物有效性[J].植物营养与肥料学报,2004,10(6):663—670.
- [10] 夏汉平,高子勤.无机磷在白浆土中的吸附与解吸机制[J].中国科学院研究生院学报,1992,9(4):420—428.
- [11] 吕家珑,张一平,马爱生,等.石灰性土壤小麦根际EC及磷动态变化的研究[J].植物营养与肥料学报,1999,5(1):32—39.
- [12] <http://www.igoho.net/thread-15462-1-1.html>(网络文件).
- [13] 杨利玲,张桂兰.土壤中的钙化学与植物的钙营养[J].甘肃农业,2006,(10):272—273.
- [14] 孟兆芳.高产优质蔬菜的营养与施肥[J].中国蔬菜,1999,5(2):33—36.
- [15] 卢必威.蔬菜缺钙及钙的施用[J].土壤肥料,1984,(5):27—28.

(下转第218页)

Study on land productivity potential of maize in Jilin Province based on spatial interpolation technique and auxiliary information

SHI Shu-qin², CHEN You-qi^{1,3}, LI Zheng-guo^{1,3},
YANG Peng^{1,3}, WU Wen-bin^{1,3}, TANG Fang⁴

(1. School of Management, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;

2. Key Laboratory of Resources Remote-Sensing & Digital Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

3. Institute of Agricultural Resources & Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences,

Beijing 100081; 4. Wuhan Land Reserve and Management Center, Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: In this study, by using spatial analysis function of ArcGIS software, a crop productivity potential model originally from an attenuation model has been developed to assess maize land productivity potential in Jilin Province located in northeast China. Moreover, spatial interpolation technique and auxiliary information are used for spatial modeling of key climate and soil conditions, which are required in simulating light and temperature potential productivity. First, temperature and precipitation data observed from climate data stations in Jilin are interpolated by using an integrated means of multiple regression and residual error interpolation. Second, with a consideration of soil type information, the relevant factors are utilized as co-factors for interpolating soil properties (i.e. soil pH, soil organic matter, available K, alkali-hydrolyzable N and available P) by using the means of Cokriging technique. Finally, based on temperature, moisture and soil correction coefficients, the maize land productivity potential in Jilin are reclassified and zoned into different yield levels.

Keywords: potential land productivity; spatial interpolation; auxiliary information; GIS

(上接第 177 页)

- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 169—171, 189—190.
- [17] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 192—193.
- [18] 吴刚, 李金英, 曾晓舵. 土壤钙的生物有效性及与其它元素的相互作用[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 319—322.
- [19] 杨锋, 谢建茂, 黄小芳, 等. 福建中南部蔬菜地土壤养分状况分析[J]. 中国农学通报, 2006, 11(22): 218—220.
- [20] 科夫达 B A. 土壤学原理(上)[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 282—283.

Study on impact of nitrogen supply on exchangeable calcium content of calcareous soil

XU Hai, WANG Yi-quan, WANG Hao, XU Shuang, WANG Yong-jian, LI Peng

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To reveal “sub-healthy” phenomenon, which brought with continually increasing of chemicals using into soil, and to renew the traditional concept that calcareous soil would not appear the phenomenon of calcium lack, an experiment was conducted to analyse the impact of NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 and urea treatment on exchangeable calcium content of calcareous soil. The result indicated: soil exchangeable calcium content presented various degree of decline after calcareous soil was drip washed by same volume and different concentration NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 solutions, and the impact of the same equivalent NH_4^+ , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solution on soil exchangeable calcium was relatively larger than that of NH_4Cl solution and NH_4NO_3 solution, the degree of relation was: $\text{NH}_4\text{NO}_3 < \text{NH}_4\text{Cl} < (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; when urea was executed into soil sample to cultivate, the soil exchangeable calcium content assumed remarkable inverse correlation with time within 7 days, but it tended to be steady after that. The research conclusion: the massive and long-term chemistry nitrogenous fertilizer employment caused the exchangeable calcium content in surface layer calcareous soil to reduce gradually, there was weak-decalcification phenomenon, and all degree of calcium saturation dropped to 50% or less, and the soil presented “sub-healthy” condition.

Keywords: calcareous soil; nitrogen; exchangeable calcium; degree of calcium saturation