

长期施氮磷化肥对不同种植体系土壤 交换性钙分布与累积的影响

危 锋^{1,2}, 郝明德²

(1. 西南林业大学环境科学与工程学院, 水土保持与荒漠化防治重点学科, 云南 昆明 650224;

2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以22年定位试验为基础,研究了长期施用氮磷化肥(NP)下不同种植体系土壤交换性钙在剖面上分布与累积状况。结果表明:研究区为石灰性土壤,交换性钙含量较高;不同种植体系交换性钙在土壤剖面上发生淋溶累积现象,在140~180 cm土层产生累积峰,累积峰值:玉米-小麦(2a)+糜子轮作为13 180 mg/kg、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作为12 597 mg/kg、红豆草-小麦(2a)轮作为11 960 mg/kg、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作为11 778 mg/kg、小麦连作为11 590 mg/kg、小麦(2a)+糜子-玉米轮作为11 290 mg/kg;不同种植体系0~200 cm土壤交换性钙的总累积量以玉米-小麦(2a)+糜子轮作最高,为269.67 t/hm²,小麦连作最低,为218.78 t/hm²。不同种植体系交换性钙在土壤剖面上分布不同主要是由作物和种植方式不同引起,不同种植体系0~200 cm土壤交换性钙的总累积量差异不显著。

关键词:氮磷化肥;不同种植体系;交换性钙;分布与累积

中图分类号: S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0065-05

钙是植物生长发育所必需的中量营养元素,其在植物生理与营养、改善农产品品质及环境效应等方面的作用是其它元素不可代替的^[1-3]。钙在土壤中的变化影响着土壤的物理化学性质,也影响着植物对钙及其它养分的吸收。刘丹等^[4]研究了沈阳市郊耕地土壤交换性Ca含量的空间异质性特征。张玉革等^[5]研究了水稻田、玉米地、撂荒地和人工林地4种土地利用方式下,潮棕壤0~150 cm土层中土壤交换性钙的剖面分布。林葆等^[6]研究了长期施肥对潮土钙组分与平衡的影响。陈建国等^[7]研究了长期不同施肥对水稻土交换性钙的影响。危锋等^[8]研究了黄土高原长期种植苜蓿对土壤钙元素的影响。

长期定位试验能系统地了解各因素的相互作用,为评估施肥对土壤肥力及生态环境的影响提供重要的研究基础。前人对土壤交换性钙,特别是长期施肥对土壤交换性钙的影响研究较多,但对不同种植体系长期施肥条件下交换性钙的研究较少。为了探明黄土高原长期氮、磷化肥配施下对不同种植体系土壤剖面交换性钙的影响,本文在黄土高原地区22年氮、磷化肥配合施用条件下对不同种植系统

交换性钙在土壤剖面的分布与累积状况展开研究,以期深入了解旱地土壤交换性钙的变化规律,为指导平衡施肥、提高农田养分管理水平提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于黄土高原中南部陕西省长武县十里铺村无灌溉条件的塬面旱地,属暖温带半湿润大陆性季风气候,农业生产全部依赖天然降水,为典型的旱作农业区。试验地海拔1 200 m,试验区年平均气温9.1℃,多年平均降水量578.5 mm,无霜期171 d,≥0℃活动积温3 866℃,≥10℃活动积温3 029℃,热量供作物一年一熟有余。试验地土壤为粘化黑垆土,母质是深厚的中壤质马兰黄土,全剖面土质均匀疏松,通透性好。1984年秋季试验前耕层土壤有机质含量10.5 g/kg,全氮0.80 g/kg,速效氮37.00 mg/kg,全磷0.659 g/kg,速效磷3.0 mg/kg,速效钾129.3 mg/kg, CaCO₃ 108.4 mg/kg, pH 8.3,肥力水平较低。试验地的土壤养分含量、地貌特征在黄土高原同类地区具有典型代表性。

收稿日期:2011-07-17

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB118604);国家科技支撑计划重大项目(2011BAD31B01);中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-424-3);中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07)

作者简介:危 锋(1978—),男,陕西汉中,人,博士,讲师,研究方向为土壤养分循环与平衡。E-mail: weifeng6688@126.com。

通讯作者:郝明德(1957—),男,研究员,博士生导师,研究方向为土壤肥力与黄土高原综合治理。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn。

1.2 试验设计

长期轮作培肥试验开始于 1984 年,共 36 个处理,108 个小区,小区面积 66.67 m²,3 次重复,随机排列。本研究选取其中 6 个处理:小麦连作、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作、红豆草-小麦(2a)轮作、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作、玉米-小麦(2a)+糜子轮

作、小麦(2a)+糜子-玉米轮作,各处理施肥量(NP)相同,即:N 120 kg/(hm²·a)、P₂O₅ 60 kg/(hm²·a)。氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙。所有肥料在播种时一次性施入,定期进行除草和松土,田间管理同大田。供试作物品种及其生育期见表 1。

表 1 供试作物品种及其生育期
Table 1 Experimental varieties and their growth stages

作物 Crop	品种 Cultivars	播种 Seeding	收获 Harvest
小麦 Wheat	秦麦 4 号(1984—1985);长武 131(1986—1995);长武 134(1996—)	9 月中旬	次年 6 月下旬
	Qinmai 4(1984—1985); Changwu 131 (1986—1995); Changwu 134 (after 1996)	Mid Sep.	Late Jun.
玉米 Maize	中丹二号或丹玉 13 Zhongdan 2 or Danyu 13	4 月中旬 Mid Apr.	9 月中旬 Mid Sep.
糜子 Millet	当地农家品种 Native	7 月上旬 Early Jul.	10 月上旬 Early Oct.
豌豆 Pea	白豌豆 White pea	3 月中旬 Mid Mar.	7 月上旬 Early Jul.
红豆草 Sainfoin	宁夏固原 Guyuan Ningxia	7 月~8 月 Jul. - Aug.	次年 7 月与 9 月各割一次 Jul. and Sep.

1.3 样品采集与分析

2006 年 9 月采集 0~200 cm 土壤剖面分层土样(每 20 cm 为一层),风干后磨碎过 1 mm 筛。土壤交换性 Ca 采用 1 mol/L NH₄OAc(pH=7)浸提,原子吸收分光光度法测定^[9]。

数据采用 SAS 软件中相应程序进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面交换性钙的分布特点

土壤交换性钙是指能被其它阳离子交换出来的钙离子,能被作物吸收利用,对作物有效。经过 22 年长期施肥土壤交换性钙剖面分布(图 1)表明,不同种植体系在耕层(0~20 cm)交换性钙含量顺序为:玉米-小麦(2a)+糜子轮作 10 840 mg/kg、小麦(2a)+糜子-玉米轮作 9 786 mg/kg、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作 9 487 mg/kg、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作 9 423 mg/kg、小麦连作 9 117 mg/kg、红豆草-小麦(2a)轮作 9 322 mg/kg。玉米-小麦(2a)+糜子轮作交换性钙含量分别比小麦(2a)+糜子-玉米轮作高 10.77%、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作高 14.27%、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作高 17.27%、小麦连作高 18.90%、红豆草-小麦(2a)轮作高 30.25%。小麦(2a)+糜子-玉米轮作交换性钙含量分别比豌豆-小麦(2a)+糜子轮作高 3.15%、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作高 5.87%、小麦连作高

7.34%、红豆草-小麦(2a)轮作高 17.58%。豌豆-小麦(2a)+糜子轮作交换性钙含量分别比豌豆-小麦(2a)+玉米轮作高 2.63%、小麦连作高 4.06%、红豆草-小麦(2a)轮作高 13.99%。豌豆-小麦(2a)+玉米轮作交换性钙含量分别比小麦连作高 1.39%、红豆草-小麦(2a)轮作高 11.07%。小麦连作交换性钙含量比红豆草-小麦(2a)轮作高 9.54%。

经分析不同种植体系耕层土壤交换性钙含量玉米-小麦(2a)+糜子轮作与小麦(2a)+糜子-玉米轮作、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作间差异不显著,但与其他处理差异显著;小麦(2a)+糜子-玉米轮作与豌豆-小麦(2a)+糜子轮作、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作、小麦连作间差异不显著,但与红豆草-小麦(2a)轮作差异显著;豌豆-小麦(2a)+糜子轮作、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作、小麦连作、红豆草-小麦(2a)轮作间差异不显著。由于施肥一致,耕层土壤交换性钙之间的差异主要是由不同作物对钙的吸收不同和种植体系不同造成。

土壤交换性钙除过被植物吸收一部分外,其余部分会随着降水的作用被淋溶。经过 22 年连续施肥后,不同种植体系交换性钙在土壤剖面上的分布如图 1 所示,小麦连作、红豆草-小麦(2a)轮作、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作、玉米-小麦(2a)+糜子轮作、小麦(2a)+糜子-玉米轮作在土壤剖面上的

变化趋势一致,0~80 cm 土层交换性钙含量下降,在 60~80 cm 土层处出现拐点,交换性钙含量降至最低,在 80 cm 以下土层交换性钙含量增加。其中玉米—小麦(2a)+糜子轮作和小麦连作在 140~160 cm 土层处出现交换性钙的累积峰,其峰值分别为:13 180 mg/kg、11 590 mg/kg。红豆草—小麦(2a)轮作、豌豆—小麦(2a)+玉米轮、小麦(2a)+糜子—玉

米轮作在 160~180 cm 土层处出现交换性钙的累积峰,其峰值分别为:11 960、11 778、11 290 mg/kg。豌豆—小麦(2a)+糜子轮作交换性钙在 0~100 cm 土层呈下降趋势,在 80~100 cm 土层处交换性钙含量降至最低,在 100 cm 以下土层交换性钙含量增加,160~180 cm 土层处出现交换性钙的累积峰,其峰值为 12 597 mg/kg。

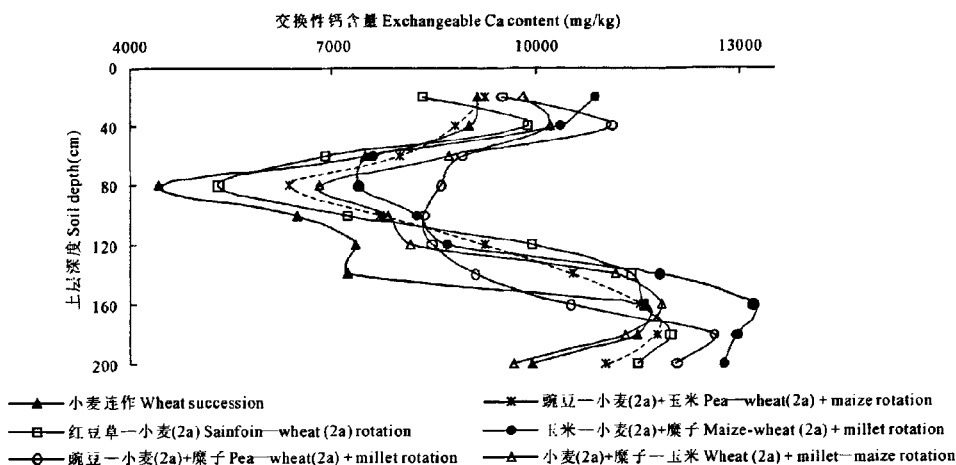


图1 不同种植体系 NP 化肥处理土壤剖面交换性钙的分布

Fig.1 Exchangeable Ca distribution in soil profiles with NP chemical fertilizer treatments under different cropping systems

经分析不同种植体系土壤剖面交换性钙累积峰值玉米—小麦(2a)+糜子轮作与豌豆—小麦(2a)+糜子轮作差异不显著,但与其他处理间差异显著;豌豆—小麦(2a)+糜子轮作与红豆草—小麦(2a)轮作、豌豆—小麦(2a)+玉米轮作差异不显著,但与小麦连作、小麦(2a)+糜子—玉米轮作差异显著;红豆草—小麦(2a)轮作、豌豆—小麦(2a)+玉米轮作、小麦连作、小麦(2a)+糜子—玉米轮作间差异不显著。

2.2 土壤剖面交换性钙的累积量

为研究长期施肥条件下各处理土壤剖面累积的交换性钙量,采用公式: $A_s = p \times h \times s$ 将土壤剖面交换性 Ca^{2+} 含量换算为累积的钙量。式中 A_s 为土层中交换性 Ca^{2+} 的累积量 (t/hm^2), p 为土壤容重 (g/cm^3), h 为土层深度 (cm), s 为交换性钙含量 (mg/kg)。表2看出,同一种植方式下交换性钙在土壤剖面不同土层的累积量存在差异,不同种植体系在不同土壤剖面深度交换性钙累积量也存在差异。各种种植体系在 0~200 cm 土壤剖面交换性钙的累积总量,玉米—小麦(2a)+糜子轮作最大,为 269.67

t/hm^2 ;小麦连作最小,为 218.78 t/hm^2 ,经分析 0~200 cm 土壤交换性钙的总累积量在各种种植体系中差异均不显著。

3 讨论

交换性 Ca 是土壤中主要的盐基离子,在土壤中的含量主要受成土母质及土壤发生学特性的影响,致使不同土壤类型下交换性钙含量存在较大的差异^[10-11]。刘丹等^[4]研究表明土壤交换性钙含量的空间异质性主要受成土母质和土壤类型等结构性因子的影响。本区为石灰性土壤,土壤中含游离碳酸钙,钙元素的本底值较高,故该区土壤交换性钙含量较高。

钙元素随磷肥和有机肥的施用而进入土壤,长期施用含钙肥料使潮土^[6]、水稻土^[7]交换性钙含量均升高。长期施用过磷酸钙,造成交换性钙在黑垆土剖面上的含量增加。

不同植物对交换性钙的吸收不同,不同利用方式下土壤交换性钙储量差异不明显^[5,12]。本研究

由于作物不同和种植方式不同,使不同种植体系交换性钙在土壤剖面上的分布和含量各不相同,但交换性钙的总累积量差异不显著。

肥料钙易随降水作用而淋失,其淋失量因钙肥种类、土壤质地不同而产生很大差异^[13-14]。施用

石灰改良酸性土壤,会增加土壤交换性钙含量,随时间的推移交换性钙从耕层向底土迁移累积^[15-16]。本研究表明在黑垆土上,交换性钙易受降水作用的影响发生淋溶,在深层土壤上累积,产生交换性钙的累积峰。

表 2 不同种植体系长期施 NP 肥情况下土壤剖面交换性钙的累积量(t/hm²)
Table 2 Cumulative amounts of exchangeable Ca in soil profiles after the long-term NP chemical fertilizer treatments under the different cropping systems

土层 Soil depth (cm)	小麦连作 Wheat succession	红豆草-小麦 (2a)轮作 Sainfoin-wheat(2a) rotation	豌豆-小麦(2a) +糜子轮作 Pea-wheat(2a) +millet rotation	豌豆-小麦(2a) +玉米轮作 Pea-wheat(2a) +maize rotation	玉米-小麦(2a) +糜子轮作 Maize-wheat(2a) +millet rotation	小麦(2a)+糜子 -玉米轮作 Wheat(2a)+millet -maize rotation
0-20	23.70bc	21.64c	24.67abc	24.03bc	28.19a	25.44ab
20-40	23.43c	25.62b	28.82a	22.91c	26.88ab	26.50b
40-60	19.52cd	17.91d	23.17a	20.80bc	19.73cd	22.61ab
60-80	11.52b	13.78ab	22.32a	16.54ab	19.20ab	17.67ab
80-100	16.89a	18.77a	21.69a	20.05a	21.39a	20.28a
100-120	19.12a	25.76a	22.01a	24.03a	22.56a	21.20a
120-140	18.80b	29.59ab	23.63ab	27.34ab	30.69a	29.00ab
140-160	30.14ab	30.07ab	27.25b	29.93ab	34.27a	30.77ab
160-180	29.82c	31.10abc	32.75ab	30.63bc	33.62a	29.36c
180-200	25.84cd	29.83ab	31.31ab	28.56bc	33.15a	25.17d
合计 Total	218.78a	244.05a	257.62a	244.81a	269.67a	248.01a

注:同一行中不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。

Note: Different letters in same row indicate significant difference among treatments at 5% level.

4 结 论

不同种植体系交换性钙在土壤剖面上发生淋溶累积现象,在深层土壤上产生累积峰,累积峰值:玉米-小麦(2a)+糜子轮作为 13 180 mg/kg、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作为 12 597 mg/kg、红豆草-小麦(2a)轮作为 11 960 mg/kg、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作为 11 778 mg/kg、小麦连作为 11 590 mg/kg、小麦(2a)+糜子-玉米轮作为 11 290 mg/kg。

不同种植体系 0~200 cm 土壤交换性钙的总累积量为:玉米-小麦(2a)+糜子轮作 269.67 t/hm²、豌豆-小麦(2a)+糜子轮作 257.62 t/hm²、小麦(2a)+糜子-玉米轮作 248.01 t/hm²、豌豆-小麦(2a)+玉米轮作 244.81 t/hm²、红豆草-小麦(2a)轮作 244.05 t/hm²、小麦连作 218.78 t/hm²。

不同种植体系交换性钙含量在土壤剖面的分布不同的原因主要是由作物和种植方式不同引起的。不同种植体系 0~200 cm 土壤交换性钙的总累积量差异均不显著的原因是试验区为石灰性土壤,土壤

交换性钙含量较高,作物及种植方式不同不足以对土壤交换性钙的总累积量产生显著影响。

参 考 文 献:

- [1] 周卫,林葆.土壤中钙的化学行为与生物有效性研究进展[J].土壤肥料,1996,(5):19-22.
- [2] 许仙菊,陈明昌,张强,等.土壤与植物中钙营养的研究进展[J].山西农业科学,2004,32(1):33-38.
- [3] 李娟.植物钾、钙、镁营养的研究进展[J].福建稻麦科技,2007,25(1):39-43.
- [4] 刘丹,姜勇,梁文举,等.沈阳市郊耕地土壤交换性 Ca 含量的空间异质性特征[J].生态学杂志,2003,22(4):6-9.
- [5] 张玉革,梁文举,姜勇.不同利用方式下潮壤交换性钙镁的剖面分布[J].应用生态学报,2008,19(4):813-818.
- [6] 林葆,周卫,李书田,等.长期施肥对潮土硫、钙和镁组分与平衡的影响[J].土壤通报,2001,32(3):126-128.
- [7] 陈建国,张杨珠,曹希柏,等.长期不同施肥对水稻土交换性钙、镁和有效硫、硅含量的影响[J].生态环境,2008,17(5):2064-2067.
- [8] 危锋,郝明德.黄土高原长期种植苜蓿对土壤硫、钙、镁的影响[J].草地学报,2009,17(3):288-293.

- [9] A.L. 佩奇, R.H. 米勒. 闵九康译. 土壤分析法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991: 173-182.
- [10] Saif HT, Smeck NE, Bigham JM. Pedogenic influence on base saturation and calcium/magnesium ratios in soils of Southeastern Ohio [J]. Soil Sci. Soc. Am J, 1997, 61(2): 509-515.
- [11] Curtin D, Selles F, Steppuhn H. Estimating calcium magnesium selectivity in smectitic soils from organic matter and texture [J]. Soil Sci. Soc. Am J, 1998, 62(5): 1280-1285.
- [12] 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[J]. 农村生态环境, 2004, 20(3): 24-27.
- [13] 周 卫, 林 森. 棕壤中肥料钙迁移与转化模拟[J]. 土壤肥料, 1996, (1): 17-23.
- [14] 刘晶晶, 刘春生, 李同杰, 等. 钙在土壤中的淋溶迁移特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 53-57.
- [15] 秦 松, 闫献芳, 冯勇刚, 等. 贵州植烟土壤交换性钙镁特征研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 143-144.
- [16] 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): 129-136.

Effect of long-term NP chemical fertilization on soil exchangeable Ca distribution and accumulation with different cropping systems in the Loess Plateau

WEI Feng^{1,2}, HAO Ming-de²

(1. Key Subject of Soil and Water Conservation & Desertification Control, College of

Environment Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on long-time location experiments, the changing condition of exchangeable Ca in soil profiles of different cropping systems under the condition of 22 years' continuous application of NP chemical fertilizer in the Loess Plateau was studied. The results show that the content of exchangeable Ca is high because of research area was calcareous soil. The eluviation and accumulation of exchangeable Ca occur in soil profiles. The peak is at 140 ~ 180 cm soil depth with the values of 13 180, 12 597, 11 960, 11 778, 11 590 mg/kg and 11 290 mg/kg under the maize-wheat(2a) + millet rotation, pea - wheat(2a) + millet rotation, sainfoin - wheat(2a) rotation, pea - wheat(2a) + maize rotation, wheat succession and wheat(2a) + millet - maize rotation systems, respectively. The accumulation of exchangeable Ca in soil profiles (0 ~ 200 cm) under the maize - wheat(2a) + millet rotation is 269.67 t/hm², which is higher than those of other treatments. However the accumulation of exchangeable Ca in soil profiles (0 ~ 200 cm) under the wheat succession is 218.78 t/hm², which is lower than those of other treatments. The results suggest that different crops and cropping systems have effects on exchangeable Ca distribution in soil profile. The results also indicate that the total accumulation amount of exchangeable Ca in soil profiles (0 ~ 200 cm) are not significantly different in various cropping systems.

Keywords: NP chemical fertilizer; different cropping systems; exchangeable Ca; distribution and accumulation