

长期施有机肥对耕地棕壤团聚体及钙素分布的影响

张大庚, 王觊琼, 栗杰, 刘慧, 李双异, 汪景宽

(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 110866)

摘要:为了探明施有机肥对耕地棕壤团聚体及钙素分布的影响,以长期定位施肥近30年的耕地棕壤为研究对象,采用干筛法进行土壤团聚体分级,系统研究了单施有机肥及有机肥配施氮磷肥对耕地棕壤团聚体及不同形态钙素分布的影响。结果表明:与不施肥对照相比,施有机肥可增加1~2 mm粒级团聚体含量,且随有机肥施入量的增加而增加,最高增加了66.68%;与单施有机肥相比,配施氮磷肥则降低了1~2 mm粒级团聚体含量;与对照相比,单施及配施有机肥均降低了0.25~1 mm粒级团聚体含量,降幅最高达15.20%。单施及配施有机肥均提高了全土的全钙含量,其中单施高于配施,最高为施高量有机肥处理,增幅达11.67%;单施有机肥处理以1~2 mm粒级团聚体的全钙含量最高,配施氮磷肥后以0.053~0.25 mm的最高;与对照相比,单施及配施有机肥均增加了各粒级团聚体水溶性钙含量;单施有机肥提高了土壤交换性钙含量,配施氮磷肥却相反;单施及配施有机肥处理均增加了全土酸溶性钙含量。相关性分析显示,耕地棕壤各级团聚体的全钙含量是影响各形态钙素分布的重要因素。因此,长期施有机肥不仅增加了耕地棕壤较大粒级团聚体含量,且可增加较大粒级团聚体的钙素含量。

关键词:有机肥; 耕地棕壤; 团聚体; 钙素

中图分类号:S147.2; S152.4

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2017)04-0154-05

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.04.025

Effects of Long-term Organic Fertilizer Application on the Calcium Distribution and Aggregate in the Cultivated Brown Soil

ZHANG Dageng, WANG Jiqiong, LI Jie, LIU Hui, LI Shuangyi, WANG Jingkuan

(Land and Environment College, Shenyang Agricultural University, Liaoning 110866)

Abstract: In order to determine the effect of organic fertilizer application on the calcium distribution and aggregate in cultivated brown soil, the field cultivated brown soil fertilized for nearly 30 years was taken as study object. The soil aggregate was classified by dry sieve method, while the effect of single and combined application of organic fertilizer on the distribution of different calcium forms was analyzed. The results showed that the single application of organic fertilizer could increase 1~2 mm graded aggregate content compared with control, the increment increased with the amount of organic fertilizer and could reach 66.68%. Combined nitrogen and phosphorus fertilizer application reduced 1~2 mm graded aggregate content compared with the single application of organic fertilizer. The single application and combined nitrogen and phosphorus fertilizer decreased 0.25~1 mm graded aggregate content compared with control, while the highest decrease was 15.20%. The single application and combined nitrogen and phosphorus fertilizer increased total calcium content in soil. The calcium content of the single application of organic fertilizer was higher than that of combined nitrogen and phosphorus fertilizer application. The highest increment of calcium (11.67%) was the treatment received higher organic fertilizer application. The highest total calcium content was in the 1~2 mm graded aggregate of the treatment received single organic fertilizer, while the highest total calcium content was in the 0.053~0.25 mm graded aggregate of treatment received combined nitrogen and phosphorus fertilizer. The single organic fertilizer and combined nitrogen and phosphorus fertilizer increased water-soluble calcium content in each graded aggregate. The single application of organic fertilizer improved exchangeable calcium content in soil, while the trend was reversed when combined nitrogen and phosphorus fertilizer was applied. The single application of organic fertilizer and combined nitrogen and phosphorus fertilizer all increased acid soluble calcium content in soil. Correlation analysis indicated that the total calcium content in each aggregate grade was the key factor effects the distribution of the various forms of calcitonin. Therefore, long-term organic fertilizer application not only increased

the larger grade aggregate content in soil, but also enhanced the calcium content in larger aggregate.

Keywords: organic fertilizer; cultivated brown soil; aggregate; calcium

土壤团聚体是土壤结构的重要物质基础和土壤肥力的重要载体,其组成和稳定性直接影响了土壤的许多物理、化学性质,进而影响农作物生长的稳定性^[1]。长期施用有机肥和化肥均能够在不同程度上影响土壤团聚体的组成与分布^[2-3]。在土壤团聚体的形成过程中,胶结物质起着十分重要的作用。其中土壤中钙离子,可以促进土壤负电胶体(腐殖质、黏粒等)发生凝聚作用,而具有胶结土粒的能力^[4]。因此,钙离子是影响土壤团聚体形成和稳定的重要阳离子。同时钙素也是作物生长发育不可缺少的中量营养元素之一,在植物正常生长发育和新陈代谢过程中起着不可估量的作用^[5]。一般条件下,大多数露地土壤全钙含量在0.1%~10%之间,基本能满足大部分作物的生理需求,导致人们对土壤钙素的研究缺乏足够重视^[6]。但是,随着作物产量的大幅度提高,有关一些作物缺钙的生理性病害或施钙增产的报道逐渐增多^[7]。特别是Guo等^[8]报道了我国主要农田土壤已出现了显著酸化现象,更加剧了土壤中Ca²⁺等盐基离子的淋失。因此,重视土壤钙素营养对改善土壤质量,实现增产稳产、提高作物抗病性和农产品品质均具有重要的意义。

目前,有关长期施肥对土壤团聚体有机碳分布的影响研究较多^[9-11],但是对于土壤团聚体中钙素分布的影响研究相对较少^[12]。因此,本研究以沈阳农业大学棕壤长期定位试验站定位施肥近30年的耕地棕壤为研究对象,系统研究了长期单施有机肥及有机肥配施氮磷肥对耕地棕壤团聚体及钙素分布的影响,研究结果以期为耕地棕壤的合理施肥提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自沈阳农业大学棕壤长期定位试验站(北纬41°49',东经123°34')。土壤类型为发育于黄土性母质的壤质棕壤(简育淋溶土)。该试验从1987年开始进行,每小区面积69 m²,每个施肥处理设3次重复,随机排列。连作作物为玉米。

试验共采用5个处理:(1)对照(CK),不施肥;(2)单施低量有机肥(M2),年施有机肥折合N135 kg/hm²;(3)单施高量有机肥(M4),年施有机肥折合N270 kg/hm²;(4)低量有机肥与氮肥配施(M2N2),年施有机肥折合N135 kg/hm²,年施化肥N135 kg/hm²;(5)低量有机肥与氮肥、磷肥配施(M2N2P1),年施有机肥折合N135 kg/hm²,年施化肥N135 kg/hm²,年施磷肥折合P₂O₅67.5 kg/hm²。

hm²,年施P₂O₅为67.5 kg/hm²。施用的有机肥为猪厩肥,其有机质含量150 g/kg,全氮含量10 g/kg;施用的氮肥为尿素(含N46%),施用的磷肥为磷酸二铵,各处理肥料通过施基肥的方式施入。本试验所用土样于2015年10月作物收获后,在各小区0—20 cm土层采集。供试土壤主要理化性状见表1。

表1 供试土壤主要理化性状

施肥 处理	pH	有机质含量/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮含量/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷含量/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/ (mg·kg ⁻¹)
CK	5.53	20.94	103.92	18.13	100.56
M2	5.73	26.29	117.86	135.86	137.79
M4	6.14	26.62	148.74	201.03	177.15
M2N2	5.46	27.95	149.41	141.45	195.16
M2N2P1	6.12	21.03	109.90	252.78	98.66

1.2 测定方法

1.2.1 土壤团聚体的分级 将采集的原状土自然风干,当土壤含水量达到土壤塑限时,用手轻轻地把大土块沿着自然结构掰成不同大小的土壤团聚体,然后在室温条件下继续风干,在风干过程中除去植物残体和小石块等,风干后过2 mm筛备用。

土壤团聚体颗粒的分离采用干筛法^[12]。取适量风干后土样,在电动振筛机上以一定频率筛分15 min,使其依次通过各孔径的套筛,得到4个粒径土壤团聚体颗粒(F4:1~2 mm; F3:0.25~1 mm; F2:0.053~0.25 mm; F1:<0.053 mm)。称量各孔筛上团聚体质量,计算各级团聚体占全土的质量百分含量。各级样品密封于聚乙烯袋中保存待测。

1.2.2 土壤团聚体钙素含量测定 土壤及不同粒级团聚体全钙含量采用HNO₃—HClO₄消煮测定;不同形态钙素采用连续提取法测定,其中水溶性钙含量的测定采用无离子水浸提;交换性钙含量采用1 mol/L NH₄OAc浸提;酸溶性钙含量测定采用0.25 mol/L HCl浸提,溶液中钙素含量均采用原子吸收分光光度计法测定;土壤各级团聚体有机质含量采用重铬酸钾—浓硫酸外加热法测定;pH采用酸度计测定。

1.3 计算方法

平均重量直径(MWD)为某一粒级团聚体的重量百分比M_i乘以这一粒级的平均直径X_i,所有粒级的上述乘积之和,即为平均重量直径。MWD值越大,表示土壤团聚度越高,结构稳定性越好^[12]。计算公式为:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i M_i$$

1.4 数据统计与分析

试验数据采用Excel 2007和SPSS 16.0统计软

件进行统计分析,处理差异显著性比较采用邓肯氏新复极差检验法。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体分布及稳定性的影响

2.1.1 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体分布的影响

干筛法对土壤中某些有机胶结物质破坏相对较少,一定程度上降低了对土壤结构的干扰^[14]。因此,通过干筛法获得的土壤各级团聚体的分布,在一定程度上可反映土壤抗外力的能力。

从各级团聚体总体分布来看,单施及配施有机肥

处理对土壤团聚体分布影响不同(表 2)。各施肥处理 0.25~1 mm 粒级团聚体含量最高,<0.053 mm 含量最低。对于 1~2 mm 粒级团聚体,M4 处理的含量最高达到了 35.07%,其次为 M2 处理为 31.45%,最低为 CK 处理,仅为 21.04%。与 CK 相比,M2 和 M4 处理的含量分别增加了 49.48% 和 66.68%,且与 CK 的差异均达到了显著水平;M2N2 和 M2N2P1 处理 1~2 mm 粒级团聚体含量分别为 27.36% 和 28.62%,均低于单施有机肥处理。说明单施或配施有机肥均可增加较大粒级团聚体含量,但有机肥配施了氮磷肥后在一定程度上降低了团聚作用。

表 2 不同施肥处理土壤团聚体分布及平均重量直径

施肥处理	土壤团聚体含量/%				平均重量直径 MWD/mm
	1~2 mm	0.25~1 mm	0.053~0.25 mm	<0.053 mm	
CK	21.04±0.89c	45.39±1.93a	28.36±1.20a	5.21±0.22a	1.48±0.06c
M2	31.45±1.33ab	41.08±1.74a	22.00±0.93b	5.47±0.23a	2.01±0.09ab
M4	35.07±1.48a	38.49±1.63a	21.39±0.91b	5.05±0.21a	2.20±0.09a
M2N2	27.36±1.16b	40.59±1.72a	26.78±1.14a	5.27±0.22a	1.79±0.08bc
M2N2P1	28.62±1.21b	40.32±1.71a	25.61±1.09ab	5.45±0.23a	1.86±0.09b

注:同列数据后不同小写字母表示多重比较差异显著($P<0.05$)。下同。

0.25~1 mm 粒级团聚体含量以 CK 最高(45.39%),其次为 M2 处理(41.08%),最低为 M4 处理(38.49%);与 CK 相比,M2 和 M4 处理的含量分别降低了 9.50% 和 15.20%,M2N2 和 M2N2P1 处理分别降低了 10.58% 和 11.17%。因此,单施及配施有机肥均不利于该粒级团聚体的形成,且随有机肥用量的增加降低幅度增加。

试验各施肥处理对 0.053~0.25 mm 粒级团聚体含量的影响与 0.25~1 mm 粒级相似。与 CK 相比,M2 和 M4 处理 0.053~0.25 mm 粒级团聚体含量分别降低了 22.43% 和 24.58%;M2N2 和 M2N2P1 处理分别降低了 5.57% 和 9.70%;各施肥处理<0.053 mm 粒级团聚体含量之间的差异均不显著,无明显规律性。从总体来看,施有机肥对 1~2 mm 粒级团聚体含量增幅的影响大于对 0.25~1 mm 和 0.053~0.25 mm 粒级降幅的影响。由上述分析可知,长期施有机肥可促进土壤中较大粒级团聚体含量的增加。

2.1.2 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体稳定性的影响

单施和配施有机肥处理均提高了平均重量直径(MWD)值,其中 CK 处理 MWD 值最低(1.48),其次为 M2N2(1.79)和 M2N2P1(1.86)处理(表 2)。单施有机肥 M2 和 M4 处理 MWD 值较高,分别为 2.01 和 2.20,与对照相比分别增加了 35.81% 和 48.65%。进一步说明棕壤长期施用外源有机肥可以提高土壤的团聚程度,改善土壤结构,而配施无机肥则可引起土壤结构稳定性下降。

各级团聚体含量与平均重量直径之间的相关分析表明,1~2 mm 粒级团聚体含量与 MWD 值达到了极显著正相关($y=19.446x-7.6173, r=0.9997^{**}, n=5$),其他粒级团聚体含量均与 MWD 值为负相关关系,0.25~1 mm 粒级团聚体含量与 MWD 值之间为显著负相关($y=-8.6661x+57.362, r=0.9096^*, n=5$),0.053~0.25 mm 粒级团聚体为极显著负相关关系($y=-10.701x+44.81, r=0.9462^{**}, n=5$),只有<0.053 mm 粒级团聚体未达到显著水平($y=-0.0794x+5.4384, r=0.1217, n=5$)。说明大团聚体含量的增加有利于提高土壤团聚体的稳定性,从而进一步改善土壤结构性。

2.2 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体钙素含量的影响

2.2.1 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体全钙含量的影响

土壤中全钙含量的高低并不能反应土壤钙素的有效性,但一定程度上可以反应土壤潜在的供钙水平。

由表 3 可知,长期施有机肥增加了全土全钙的含量。与 CK 相比,M2 处理全土全钙含量增加了 8.58%,M4 增加了 11.67%。随施入有机肥量的增加,全钙的含量呈增加的趋势。M2N2 和 M2N2P1 处理全土全钙含量分别增加了 8.44% 和 7.59%。究其原因可能是有机肥的施入对土壤 pH 的稳定作用,及施入可带入一定量的钙素,因此各处理全土全钙含量均高于对照。施入氮肥后明显降低了土壤 pH 值($pH_{M2N2} 5.46, pH_{CK} 5.53, pH_{N2} 5.73, pH_{N4} 6.14$),可造成土壤中钙离子的淋失,在一定程度上降低了土壤全钙含量。钙和磷之间可形成沉淀,可减少土壤中钙的淋失,但同时氮磷配施后可促

进作物的生长,作物吸收钙素的数量增加,综合作用的结果使土壤中全钙含量相对降低。

表3 耕地棕壤各级团聚体不同形态钙素含量

处理	粒组/ mm	全钙含量/ (g·kg ⁻¹)	水溶性钙含量/ (g·kg ⁻¹)	交换性钙含量/ (g·kg ⁻¹)	酸溶性钙含量/ (g·kg ⁻¹)
CK	全土	7.11±1.22gh	0.51±0.06hij	1.54±0.01abcd	2.76±0.01c
	1~2	7.42±1.58f	0.53±0.0hij	1.55±0.02abcd	2.96±0.03bc
	0.25~1	8.26±1.34cdEF	0.61±0.05gh	1.56±0.0abcd	2.98±0.03bc
	0.053~0.25	8.82±1.39bcde	0.59±0.08gh	1.58±0.07abc	0.92±0.04fg
	<0.053	5.42±0.00j	0.55±0.00ghij	1.35±0.00bcd	0.77±0.00g
	全土	7.72±0.74def	0.76±0.01ef	1.59±0.01abc	3.05±0.01bc
M2	1~2	10.47±0.55a	0.62±0.09gh	1.60±0.02abc	3.35±0.02ab
	0.25~1	9.06±6.01bcd	0.63±0.05fgh	1.63±0.01a	3.34±0.07ab
	0.053~0.25	5.59±0.63ij	0.68±0.02fg	1.61±0.01ab	1.63±0.04de
	<0.053	6.04±0.00ghij	0.45±0.00ij	1.39±0.00abcd	1.10±0.00fg
M4	全土	7.94±0.82cdef	1.03±0.02abc	1.57±0.01abcd	3.29±0.02ab
	1~2	10.17±1.29ab	0.98±0.05bc	1.55±0.01abcd	3.33±0.02ab
	0.25~1	8.06±1.90cdef	1.12±0.03a	1.63±0.13a	3.35±0.02ab
	0.053~0.25	7.21±1.41fg	1.05±0.09ab	1.51±0.01abcd	1.65±0.11de
M2N2	<0.053	6.91±0.00fghi	0.83±0.00de	1.34±0.00cd	1.28±0.00ef
	全土	7.71±0.60def	0.98±0.07bc	1.46±0.01abcd	3.33±0.05ab
	1~2	7.48±1.31ef	1.01±0.03abc	1.50±0.01abcd	3.69±0.05a
	0.25~1	7.91±1.03cdEF	1.12±0.06a	1.51±0.01abcd	3.35±0.02ab
M2N2P1	0.053~0.25	9.28±1.14abc	1.01±0.02abc	1.48±0.01abcd	2.03±0.05d
	<0.053	5.15±0.00j	0.91±0.00cd	1.31±0.00d	1.57±0.00e
	全土	7.65±0.41ef	0.59±0.02gh	1.43±0.01abcd	2.93±0.03bc
	1~2	7.18±1.20fg	0.58±0.02ghi	1.54±0.06abcd	1.37±1.22ef
M2N2P1	0.25~1	6.92±1.34fghi	0.60±0.06gh	1.48±0.01abcd	2.96±0.05bc
	0.053~0.25	8.18±1.15cdef	0.53±0.02hij	1.41±0.01abcd	1.32±0.13ef
	<0.053	5.74±0.00hij	0.43±0.00j	1.31±0.00d	1.03±0.00fg

从不同粒级团聚体全钙含量分析可见,M2和M4处理以1~2 mm粒级团聚体全钙含量最高。其次为0.25~1 mm粒级,相对较小两个粒级团聚体全钙含量相对较低;而CK、M2N2和M2N2P1处理则以0.053~0.25 mm粒级团聚体全钙含量最高,<0.053 mm粒级团聚体全钙含量最低。因此,有机肥的施入促进了大团聚体的形成,也提高了钙素在大团聚体中的含量,即促进了其在大团聚体中的富集。

2.2.2 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体水溶性钙含量的影响 与CK相比,各施肥处理均增加了全土水溶性钙的含量。M4处理全土水溶性钙的含量最高,比对照增加了101.96%,且随施入有机肥量的增加而增加;M2N2处理全土水溶性钙含量高于M2处理,但低于M4处理;M2N2P1处理则最低,比对照仅增加了13.73%。水溶性钙是土壤中有效性最高的钙素,相关分析发现全土水溶性钙与全钙之间的相关性达到了显著水平($y=0.5984x-3.9894, r=0.813^*, n=5$)。随有机肥施入量的增加,土壤水溶性钙的含量呈增加的趋势。M2N2处理全土全钙含量低于M2,但水溶性钙含量却高于M2,可能是由于施入氮肥后土壤的pH值降低,有利于土壤胶体表面Ca²⁺的交换,进而增加了土壤水溶性钙的含量;而钙和磷酸根之间可形成沉淀,因此减少了土壤水溶性钙的含量。

除M2处理,均以0.25~1 mm粒级团聚体中水

溶性钙含量最高,但其他粒级分布的规律性不明显。对于单施有机肥的M2和M4处理,1~2 mm粒级团聚体中全钙含量最高,但其水溶性钙含量并不高,说明该粒级中钙的稳定性相对较高。

2.2.3 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体交换性钙含量的影响 土壤中交换性钙也可被作物吸收利用,其含量大小不仅同胶体特性有关,也受溶液中陪补离子的影响。单施有机肥处理全土交换性钙含量略高于对照,M2和M4的增幅分别为5.30%和3.97%。有机肥的施入促进了大团聚体的形成,一定程度上减少了Ca²⁺的吸附点位;而M2N2和M2N2P1处理全土交换性钙含量均低于CK,配施氮肥土壤pH值降低,氢离子可从土壤胶体表面交换出钙离子,使水溶性钙含量增加,但减少了胶体表面交换性钙含量。施肥促进了作物的生长,吸收了一定数量的钙素。玉米不是喜钙的作物,但经过近30年的定位种植,未施入带钙的肥料,可导致土壤中生物有效性钙含量降低。从不同粒级团聚体来看,<0.053 mm粒级团聚体中交换性钙含量最低,分析可能是由于虽然颗粒小表面积较大,但矿物质颗粒的吸附点位相对较少;而较大3个粒级团聚体交换性钙含量的差异均未达到显著水平,且并未随团聚体粒级大小呈现一定的规律性。

2.2.4 不同施肥处理对耕地棕壤团聚体酸溶性钙含量的影响 土壤中酸溶性钙的有效性低于交换性和

水溶性钙,但在一定程度上也可被作物吸收利用。单施及配施有机肥处理全土酸溶性钙的含量均高于对照,因此施入有机肥后提高了土壤中酸溶性钙的有效性,其中有机肥和氮肥配施处理全土酸溶性钙的含量最高,与对照相比提高了 20.65%;M2、M4 分别提高了 10.51% 和 19.20%,增幅随施入有机肥量的增加而增加,有机肥配施氮磷肥后增幅最低为 6.16%,磷肥的施入降低了钙的有效性。

除了 M2N2P1 处理,酸溶性钙在各粒级团聚体中分布均以 1~2 mm 和 0.25~1 mm 粒级团聚体中酸溶性钙含量较高,高于全土中酸溶性钙的含量;而相对较小的两个粒级则低于全土酸溶性钙的含量,但两组粒级团聚体之间的差异不显著。

2.2.5 不同施肥处理各级团聚体钙素含量影响因素分析 为了进一步探讨土壤及各级团聚体不同形态钙素分布的影响因素,将各级团聚体水溶性钙、交换性钙及酸溶性钙素含量与全钙、有机质含量及 pH 值进行了相关性分析(表 4)。由表 4 可知,各级团聚体全钙含量与交换性钙和酸溶性钙之间均为极显著正相关关系,团聚体中全钙含量影响了其他形态钙素的分布。同时团聚体全钙与水溶性钙含量之间的相关性未达到显著水平,但全土全钙和水溶性钙含量之间达到了极显著相关性。因此,土壤各级团聚体中全钙含量是影响各形态钙素的重要因素。

从各级团聚体有机质含量与钙素的相关性可见,只有水溶性钙与有机质之间的相关性达到了极显著水平,但各形态钙素与有机质的相关系数相对较大,接近显著水平。因此,有机质对各级团聚体中钙素的分布也有一定的影响。pH 值与各级团聚体中钙素之间的相关性均未达到显著水平,其中 pH 值与水溶性钙之间负相关关系虽未达到显著水平,但二者之间的相关系数最高,因此 pH 值对各级团聚体水溶性钙的影响相对较大。分析可知,各级团聚体中不同形态钙素的分布是受多种因素综合作用的结果。

表 4 各级团聚体钙素含量与土壤全钙、有机质含量及 pH 值的相关分析($n=20$)

土壤参数	不同形态钙素含量			
	全钙含量	水溶性 钙含量	交换性 钙含量	酸溶性 钙含量
全钙含量	1	0.2352	0.6201**	0.5679**
有机质含量	0.3148	0.7473**	0.4101	0.4221
pH	0.0447	-0.4169	0.2612	0.0346

3 结论

(1) 单施或配施有机肥均可增加较大粒级中团聚体含量,且随有机肥施入量的增加,较大粒级团聚体的含量呈增加的趋势,但有机肥配施了氮磷肥后在一

定程度上降低了对大团聚体的团聚作用;棕壤长期施用外源有机肥可以提高土壤的团聚程度,改善土壤结构,而配施无机肥则可引起土壤结构稳定性下降。

(2) 有机肥的施入促进了钙素在耕地棕壤 1~2 mm 和 0.25~1 mm 粒级团聚体中富集;配施氮肥和磷肥则不利于其在较大粒级团聚体中的富集;与对照相比,单施有机肥及配施氮肥均增加了水溶性钙的含量

(3) 经相关分析耕地棕壤各级团聚体中全钙含量是影响各形态钙素分布的重要因素;施有机肥增加了较大粒级团聚体中全钙含量,进而增加了不同形态钙素含量。

参考文献:

- [1] 姜敏,刘毅,刘闯,等.丹江口库区不同土地利用方式土壤团聚体稳定性及分形特征[J].水土保持学报,2016,30(6):265-270.
- [2] 邢旭明,王红梅,安婷婷,等.长期施肥对棕壤团聚体组成及其主要养分赋存的影响[J].水土保持学报,2015,29(2):267-273.
- [3] 姜灿烂,何园球,刘晓利,等.长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J].土壤学报,2010,47(4):715-722.
- [4] 陈恩凤.土壤肥力物质基础及其调控[M].北京:科学出版社,1990:119.
- [5] 史红平,王益权,石宗琳,等.农田土壤钙素含量及空间分布规律研究:以武功县大庄乡为例[J].中国农业科学,2016,49(5):1008-1016.
- [6] 魏彬萌,王益权,石宗琳,等.渭北苹果园土壤钙素退化状态[J].中国农业科学,2015,48(11):2199-2207.
- [7] 王飞,何春梅,李清华,等.外源钙水平与花生下针期不同土壤水分对植株生理特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3):623-631.
- [8] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science Express, 2010,32(7):1008-1010.
- [9] 侯晓娜,李慧,朱刘兵,等.生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):705-712.
- [10] 郭素春,郁红艳,朱雪竹,等.长期施肥对潮土团聚体有机碳分子结构的影响[J].土壤学报,2013,50(5):922-930.
- [11] 毛霞丽,陆扣萍,何丽芝,等.长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响[J].土壤学报,2015,52(4):828-838.
- [12] 赵红,元培民,吕贻忠,等.施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J].土壤,2011,43(2):306-311.
- [13] 汪景宽,于树,李从,等.不同肥力土壤各级微团聚体中主要营养元素含量的变化[J].水土保持学报,2007,21(6):122-125.
- [14] Zhang S X, Li Q, Zhang X P, et al. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China[J]. Soil and Tillage Research,2012,124(8):196-202.