

吕欣欣, 丁雪丽, 张 彬, 等. 长期定位施肥和地膜覆盖对棕壤团聚体稳定性及其有机碳含量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(1):1-10.
LÜ Xin-xin, DING Xue-li, ZHANG Bin, et al. Effects of Long-term Fertilization and Plastic-mulching on the Stability and Organic Carbon Contents of Brown Soil Aggregates[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(1):1-10.

长期定位施肥和地膜覆盖对棕壤团聚体稳定性及其有机碳含量的影响

吕欣欣, 丁雪丽, 张 彬, 孙海岩, 汪景宽*

(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要:以沈阳农业大学长期定位试验(29年)不同施肥与地膜覆盖处理棕壤为研究对象,采用湿筛方法,研究了覆膜和不覆膜条件下不同施肥措施对棕壤各粒级团聚体分布及其有机碳含量的影响,为揭示施肥措施对土壤地力形成演变的影响机制提供理论基础。选取的试验处理包括:不施肥对照(CK)、单施高量氮肥(N4)、氮磷肥配施(N4P2)、单施高量有机肥(M4)、有机-氮肥配施(M2N2)、有机-氮磷肥配施(M4N2P1)以及所有相对应的覆膜处理。结果表明,连续29年的不同施肥和覆膜处理显著影响了土壤团聚体的含量、稳定性及团聚体有机碳的含量。不覆膜条件下,长期施肥处理使>2 mm团聚体的含量显著增加,而0.25~2 mm粒级团聚体含量显著下降,其中有机肥和氮磷肥处理变幅最大。有机肥的施入(M4、M2N2、M4N2P1)均显著增加了不覆膜土壤各粒级团聚体的有机碳含量,且单施有机肥能显著增加不覆膜土壤团聚体平均重量直径,说明长期有机物料投入有利于增加土壤团聚体的稳定性及有机碳在团聚体中的固持。覆膜条件下,各施肥处理也显著影响土壤团聚体的稳定性及有机碳含量,但是不同施肥处理之间的差异变小,说明相同施肥模式下覆膜与不覆膜处理对土壤团聚体的形成和稳定性会产生不同的影响。覆膜条件下,与对照相比,只有高量有机肥(M4和M4N2P1)处理能显著增加土壤团聚体的平均重量直径和各粒级团聚体有机碳含量,说明在覆膜条件下,需要投入更多的有机物质才能维持土壤团聚体的稳定性及较高的有机碳含量。不同施肥和覆膜处理下,氮磷肥配施可以显著提高土壤团聚体的平均重量直径,但对团聚体有机碳含量的影响表现为显著降低或不显著。各处理土壤中水稳性大团聚体是土壤有机碳的主要载体,施用有机肥及有机无机配施有利于促进土壤各粒级水稳性团聚体的有机碳含量,是改善土壤团聚体结构、维持和提高棕壤地力的有效措施。

关键词:长期施肥;地膜覆盖;水稳性团聚体;有机碳

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)01-0001-10

doi: 10.13254/j.jare.2017.0199

Effects of Long-term Fertilization and Plastic-mulching on the Stability and Organic Carbon Contents of Brown Soil Aggregates

LÜ Xin-xin, DING Xue-li, ZHANG Bin, SUN Hai-yan, WANG Jing-kuan*

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In this study, we examined the effects of fertilization and plastic-film mulching on aggregate stability and organic C in aggregates of a brown soil based on a long-term (29 years) field experiment. Fertilization treatments included application of manure (M4), application of nitrogen (N4), combined application of manure and nitrogen (M2N2), combined application of nitrogen and phosphorus (N4P2), combined application of manure, nitrogen and phosphorus (M4N2P1), and no fertilization (CK). Each treatment was either carried out alone or combined with plastic-film mulching. Results showed that long-term fertilization significantly increased the percentage of >2 mm aggregates while significantly decreased that of 0.25~2 mm aggregates when there was no film mulching, especially under application of manure as well as

收稿日期:2017-08-01 录用日期:2017-09-25

基金项目:国家自然科学基金项目(31330011,41671293)

作者简介:吕欣欣(1994—),女,内蒙古呼伦贝尔人,硕士研究生,主要从事土壤碳氮循环研究。E-mail:349285413@qq.com

*通信作者:汪景宽 E-mail:j-kwang@163.com

under application of nitrogen and phosphorus. Manure treatments (M4, M2N2, M4N2P1) significantly increased soil organic C in all aggregates without film mulching. Application of manure alone also significantly increased the mean weight diameter of soil aggregates without film mulching. These results suggested that long-term manure application increased organic C sequestration in soil aggregates as well as aggregate stability. The fertilization treatment also significantly affected the stability of soil aggregates and the contents of organic C when there was film mulching, and compared with the control, only the high amount of manure (M4 and M4N2P1) treatment could significantly increase the average weight diameter of soil aggregates and the organic C contents of aggregates at all levels. These results suggested that in the film mulching, the need to put more organic matter in order to maintain the stability of soil aggregates and higher organic C contents. The effects of nitrogen and phosphorus fertilizers could significantly improve the average weight diameter of soil aggregates in different fertilizations and film treatments, but the effects on the organic carbon contents of aggregates were significantly decreased or not significant. Water-stable large aggregates are the main carriers of soil organic C in soil treatments, the application of manure, organic and inorganic combination is beneficial to promote the formation of water-stable aggregates and increase the organic C contents and it is an effective measure to improve the soil aggregate structure and maintain and improve the soil fertility of brown soil.

Keywords: long-term fertilization; plastic-mulching; water-stable aggregates; organic carbon

土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)是土壤养分转化的核心,是反映土壤质量和农业可持续性的一个重要指标^[1]。同时,土壤有机碳是土壤团聚体的重要物质基础和主要胶结剂之一。农田系统内的土壤有机碳处于不断矿化和腐殖化过程中,而土壤结构则是在团聚体的不断分散和聚集过程中逐渐形成^[2],两者都是衡量土壤肥力的重要指标^[3],也是影响土壤稳定性与生产力的主要因素^[4]。土壤团聚体和有机碳有着复杂的相互作用,农业管理措施对土壤团聚体及其有机碳的形成和转化有重要影响^[5]。施肥和地膜覆盖均是重要的农业生产措施。大量研究表明,合理施肥有利于提高土壤有机质含量和土壤肥力^[6-9],而地膜覆盖可以保蓄水分和调控亏缺,改善作物生长环境从而提高作物产量^[10-13]。不同农业管理措施对土壤固碳的影响主要是通过通过对土壤团聚体更新与转化的改变,从而使有机碳的保护机制发生变化所致^[4]。有关土壤施肥和地膜覆盖对土壤团聚体及其有机碳含量影响的研究已有一些报道,但是由于不同土壤类型的理化和生物性状等方面的差异,导致不同地区相同施肥处理之间的试验结果也存在明显差异。例如,有研究发现有机物质输入会促进团聚体的形成,从而改变了土壤团聚体有机碳含量和分配比例^[15];而长期无机肥的施用使土壤中大团聚体含量减少,土壤团聚化程度降低^[16];但也有研究结果发现长期不同施肥对耕层土壤水稳性团聚体稳定性没有显著影响^[17]。地膜覆盖仅对土壤团聚体的团聚有促进作用,而覆膜处理较对照处理的 10~20 cm 土层团聚体有机碳有降低趋势^[18]。近年来,国内有关土壤团聚体的研究发展较快,然而对于长期定位施肥和地膜覆盖这双重因素对棕壤团聚体稳定

性及其有机碳赋存的影响研究较少,开展这方面研究对于寻求适宜棕壤地区土壤肥力培育的农田管理措施具有重要指导意义。化肥的大量使用在提高农业生产的同时也对环境产生了严重的负面影响,有机肥代替化肥是现代农业转变发展方式之一。因此,本文以长期定位农田试验为基础,对长期不同施肥和覆膜条件下棕壤表层土壤团聚体稳定性进行研究,并探讨团聚体中有机碳的在各粒级的分配与富集特征,为通过有机措施减少化肥用量从而实现化肥用量零增长、揭示施肥对土壤肥力形成演变的影响机制和覆膜栽培条件下土壤的可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与试验设计

供试土壤取自辽宁省沈阳市沈阳农业大学长期定位试验站(北纬 41°49',东经 123°34'),该试验站始于 1987 年,海拔 75 m,气候条件属北温带大陆季风气候区,年均温 8.0 °C,年降水量 705 mm,85 %集中于 6—9 月,土壤属中厚层棕壤(筒育淋溶土)。试验站施肥试验于 1987 年开始实施,设置传统栽培与地膜覆盖两种种植模式,每小区面积 69 m²,每施肥处理设 3 次重复,完全随机排列,每两个小区分界线处理有一固定标记,确保耕种时不发生差错。每年 4 月 25 日左右施肥、播种、覆膜,并按常规进行田间管理,9 月 25 日左右收获。施用的有机肥(M)为猪厩肥(有机质含量为 150 g·kg⁻¹,全氮含量为 13.3 g·kg⁻¹,全磷含量为 16.7 g·kg⁻¹),氮肥(N)用尿素,磷肥(P)用磷酸二铵。本试验选取覆膜与不覆膜共 12 个处理,其中不覆膜处理分别为:①对照(不施肥,CK);②单施高量氮

肥(N4,年施尿素折合 270 kg N·hm⁻²);③氮磷肥配施(N4P2,年施尿素折合 270 kg N·hm⁻²和 135 kg P₂O₅·hm⁻²);④单施高量有机肥(M4,年施有机肥折合 270 kg N·hm⁻²);⑤有机-氮肥配施(M2N2,年施有机肥折合 67.5 kg N·hm⁻²和尿素折合 67.5 kg N·hm⁻²);⑥有机-氮磷肥配施(M4N2P1,年施有机肥折合 270 kg N·hm⁻²,尿素折合 135 kg N·hm⁻²和 67.5 kg P₂O₅·hm⁻²)。覆膜处理与不覆膜处理相对应。供试土壤基本理化性质如表 1 所示。

1.2 样品采集与测定

供试土壤采集于 2016 年 4 月 25 日,采样时先将土壤表面的植被和枯草小心铲除,露出土壤,采样深度为 0~20 cm。每个小区随机选取多个样点,混合成一个复合样品,每个混合样品的原状土用样品盒带回实验室自然风干,当土壤含水量达到塑限(5%~10%)时,过 5 mm 筛后将土样平摊在通风透气处自然风干并挑除草根等杂质,用于团聚体分离。

团聚体分级方法采用湿筛法^[9],并略作修改,在土壤团聚体分析仪(型号 SAA08052,中国·上海)上进行。具体操作方法如下:在常温条件下,称取风干土壤样品 50 g,放在 2 mm 筛子上,为防止在筛分过程中团聚体被打破,首先用蒸馏水浸湿 5 min 左右,这样能够有效地去除土壤团聚体闭塞的空气,然后再以 30 次·min⁻¹ 运行速度在蒸馏水中振荡 30 min,振幅设定为 3 cm。到达设定时间后,用蒸馏水把各个筛子上的团聚体分别洗至蒸发皿中,置于 60 °C 条件下烘干,称重,依次获得>2 mm 和 0.25~2 mm 的水稳性大团聚体与 0.053~0.25 mm 和<0.053 mm 的水稳性微团聚

体,计算出各级别水稳性团聚体百分组成,同时将烘干的团聚体磨碎,过 100 目筛,以分析土壤水稳性团聚体有机碳含量。

团聚体百分比计算公式如下:

$$W_i = \frac{w_i}{w} \times 100\%$$

式中:W_i 是某一处理下第 i 级团聚体的百分含量,w_i 为该处理第 i 级团聚体的质量,w 为该处理待分级土壤质量。

平均重量直径(MWD)是反映土壤团聚体大小分布的常用指标^[20],MWD 值越大,表明土壤的团聚度越高,稳定性越强,反之则结构越差,土壤养分越易流失。其公式为:

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

式中:MWD 为团聚体平均重量直径,mm;X_i 为任一粒径范围内团聚体的平均直径,mm;W_i 为对应于 X 的团聚体的百分含量(以小数表示)。

碳富集系数(E_c)为不同组分中有机碳含量与总有机碳含量的比值^[21],用来评价有机碳库对土壤总有机碳库的相对贡献。当 E_c>1 时,表明颗粒中碳是富集的;当 E_c<1 时,表明碳是亏缺的。

团聚体有机碳含量采用元素分析仪(ElementarO,德国)测定。

1.3 数据处理

本文中的数据以 3 个重复的平均值及其标准差表示,数据分析采用 Excel 2007 软件进行数据处理和绘图,通过 SPSS 13.0 采用 LSD 法进行统计分析,显

表 1 2016 年供试土壤的基本理化性状

Table 1 The basic properties of soil in 2016

处理	pH 值	有机碳/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	碳氮比	氨态氮/mg·kg ⁻¹	硝态氮/mg·kg ⁻¹	
不覆膜	CK	6.03	10.54	0.98	10.80	12.52	32.95
	N4	4.27	8.89	0.98	9.07	158.85	336.80
	N4P2	4.03	10.00	1.16	8.60	209.95	569.52
	M4	6.16	17.03	1.78	9.59	12.05	205.00
	M2N2	5.50	14.61	1.42	10.29	20.65	104.52
	M4N2P1	5.70	18.52	1.84	10.08	13.48	198.30
覆膜	CK-C	6.16	10.62	1.03	10.31	17.62	63.00
	N4-C	4.37	11.15	1.33	8.38	170.28	563.65
	N4P2-C	4.35	10.11	1.18	8.57	147.7	583.60
	M4-C	6.06	14.48	1.57	9.20	32.05	294.42
	M2N2-C	5.51	12.61	1.37	9.20	24.70	275.42
	M4N2P1-C	5.69	15.07	1.64	9.19	14.33	390.53

注:-C 为地膜覆盖处理。下同。

显著性检验设 $P < 0.05$ 。

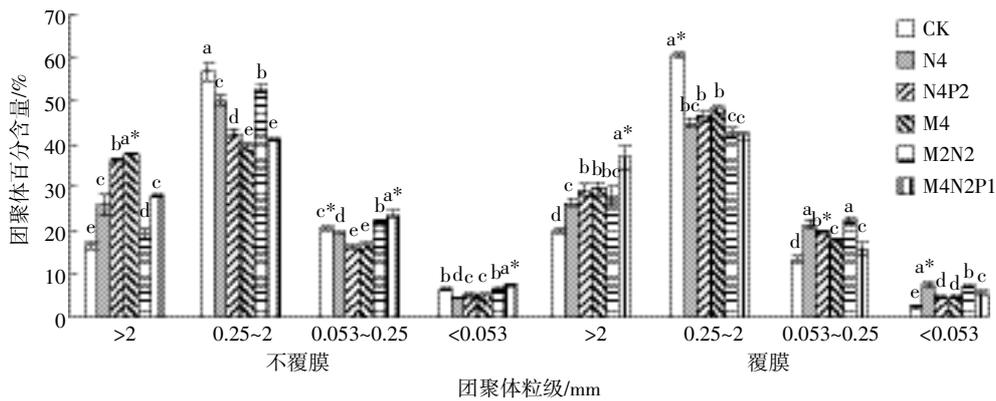
2 结果与分析

2.1 长期不同施肥和覆膜处理对土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响

连续 29 年的覆膜和施肥处理使土壤水稳性团聚体的分布发生显著变化(图 1)。在所有覆膜与不覆膜土壤处理中,0.25~2 mm 粒级团聚体所占比例最大,变化范围为 39.4%~60.4%。 < 0.053 mm 粒级比重最小,变化范围为 2.4%~7.5%。 > 2 mm 粒级团聚体和 0.053~0.25 mm 粒级团聚体分别占 16.5%~37.5%和 13.3%~23.6%,其中 0.25~2 mm 粒级团聚体的含量经过多年施肥后均表现为显著下降,可见棕壤的水稳性团聚体主要分布在 0.25~2 mm 粒级。与不覆膜相比,覆膜条件下不同施肥处理之间 > 2 mm 和 0.25~2 mm 两个粒级团聚体之间的含量差异明显降低。不同施肥

措施在覆膜和不覆膜条件下对不同粒级团聚体含量的影响显著不同。覆膜条件下,所有施肥处理各粒级团聚体(除 0.25~2 mm 外)的含量均显著高于对照处理,其中 M4N2P1-C 处理显著促进了 > 2 mm 粒级团聚体的形成,较对照处理增加 17.1%,说明地膜覆盖对土壤 0.25~2mm 粒级团聚体的形成具有减退作用。不覆膜条件下,施肥处理使 > 2 mm 粒级团聚体比重显著高于对照,其中 M4 处理所占比重最高,较对照处理增加 23 %,M4N2P1 处理在 0.053~0.25 mm 和 < 0.053 mm 粒级比重最高,分别比 CK 处理增加 14.6%和 15.9%。

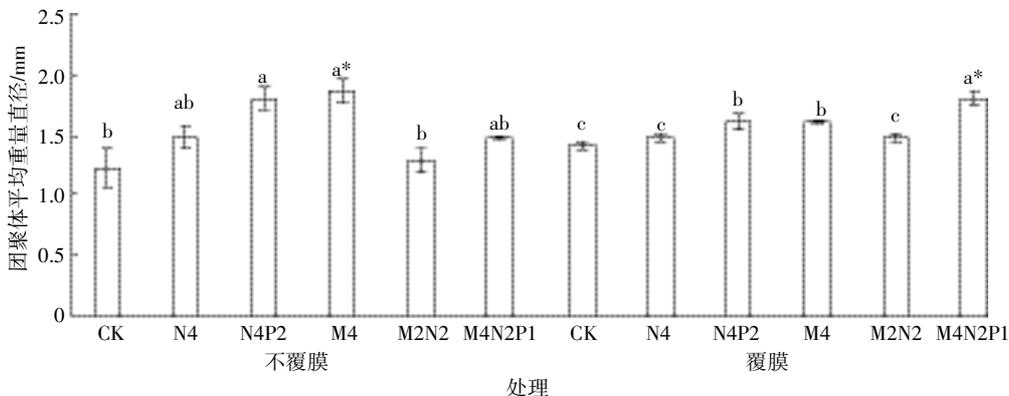
长期不覆膜和覆膜条件下各处理土壤平均重量直径如图 2 所示。不覆膜和覆膜条件下各处理土壤的 MWD 值依大到小分别为 M4>N4P2>N4>M4N2P1>M2N2>CK 和 M4N2P1-C>M4-C>N4P2-C>M2N2-C>N4-C>CK-C, 即施肥处理土壤平均重量直径与不施



不同小写字母表示覆膜或不覆膜土壤不同处理间相同粒级分析差异显著 ($P < 0.05$); * 表示覆膜与不覆膜土壤在相同施肥、相同粒级间分析差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 长期不同施肥和覆膜处理下土壤水稳性团聚体的分布

Figure 1 Distribution of soil water-stable aggregates in different treatments of long-term plastic mulching and fertilization



不同小写字母表示覆膜或不覆膜土壤中不同处理间分析差异达 5% 显著水平; * 表示覆膜与不覆膜土壤中相同处理间分析差异达 5% 显著水平

图 2 长期不同施肥和覆膜处理下土壤团聚体平均重量直径

Figure 2 Mean weight diameter of soil aggregates in different treatments of long-term plastic mulching and fertilization

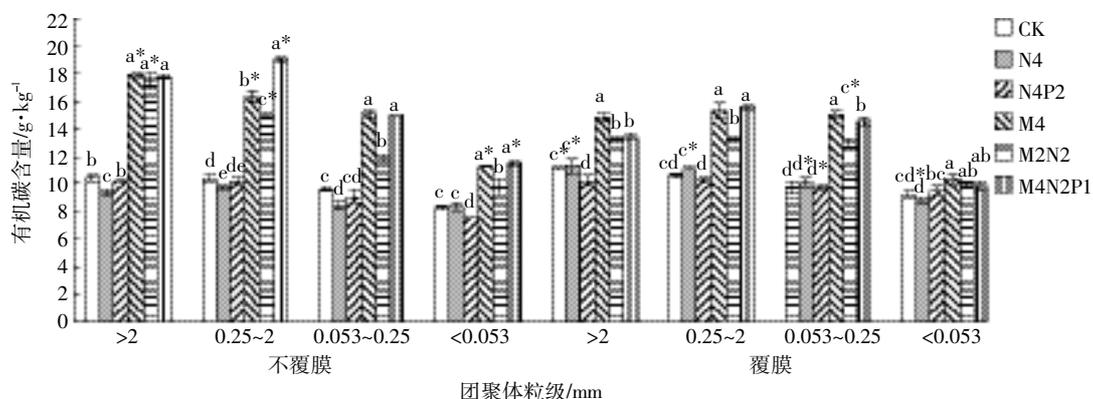
肥处理相比均有不同程度提高,说明棕壤长期施肥可以提高土壤的团聚程度,土壤结构得到改善。在不覆膜土壤中,M4和N4P2处理与CK相比均显著增加了土壤团聚体平均重量直径,而其他施肥处理与CK相比无显著性差异;在长期覆膜条件下,M4N2P1-C、M4-C和N4P2-C处理的平均重量直径显著高于其他处理,尤其是M4N2P1-C处理的团聚体平均重量直径值最大,较CK-C显著增加24.3%。与不覆膜各处理相比,覆膜条件下对应的M4-C处理土壤团聚体平均重量直径显著降低,M4N2P1-C处理土壤团聚体平均重量直径显著提高,说明地膜覆盖对施有机肥处理土壤的平均重量直径影响较大。

2.2 不同施肥和覆膜处理对土壤水稳性团聚体有机碳含量及碳富集系数的影响

不同施肥和覆膜处理对土壤各粒级水稳性团聚体有机碳含量的影响见图3。总体而言,>0.25 mm粒级的各级团聚体有机碳含量高于<0.25 mm粒级。不同施肥处理显著影响各粒级团聚体有机碳含量,且具有相似趋势,即在同一粒级团聚体中,施用有机肥处理土壤(M4N2P1、M2N2、M4及对应覆膜处理)在各粒级有机碳含量显著高于化肥处理,且与对照相比,氮肥和氮磷肥处理土壤(N4、N4P2及对应覆膜处理)在各粒级中的有机碳含量表现为降低或显著降低,因为有机肥的施入不仅增加了作物产量和新鲜残茬的输入量,又为土壤微生物和植物根系提供了能量和养分来源,土壤微生物活性提高,从而增加了有机碳在各粒级团聚体中的分配。在不覆膜土壤中,所有施用有机肥处理(M4、M2N2和M4N2P1)显著增加了>2 mm团聚体有机碳含量,其中,M4处理在>2 mm和0.053~

0.25 mm粒级团聚体有机碳含量最高,分别较CK高出71.9%和57.4%,而在0.25~2 mm和<0.053 mm粒级团聚体有机碳含量最高的处理是M4N2P1,分别较CK高出83.6%和38.1%;M4和M4N2P1处理的各粒级团聚体有机碳含量显著高于M2N2处理(>2 mm粒级除外)。长期覆膜条件下,M4、M2N2和M4N2P1处理比对照显著提高了各粒级团聚体有机碳含量,但是增幅小于不覆膜条件下各施肥处理。具体来说,M4-C处理分别在>2 mm、0.053~0.25 mm和<0.053 mm粒级团聚体有机碳含量最高,较CK-C分别高出32.6%、54.8%和12.5%,而M4N2P1-C处理在0.25~2 mm粒级团聚体有机碳含量最高,较CK-C高出46.5%。与不覆膜相比,覆膜条件下施用无机肥对特定粒级团聚体有机碳含量也有明显的促进作用,如N4-C处理在<0.053 mm各粒级团聚体有机碳含量显著高于N4处理,N4P2-C处理在0.053~0.25 mm粒级有机碳含量显著高于N4P2处理。

长期施肥和覆膜处理显著影响有机碳在土壤不同团聚体中的富集情况(表2),进而影响其对全土有机碳的贡献。由表2可知,各处理土壤中大团聚体富集系数明显高于微团聚体富集系数。在不覆膜土壤中,施肥处理的大团聚体有机碳富集系数表现为增加或显著增加,M2N2处理在各粒级的 E_c 值显著高于其他处理,且除了M4N2P1与CK处理在>2 mm粒级的 E_c 值无显著性差异且均小于1,其余处理的 E_c 值均大于1。在不覆膜处理微团聚体中,N4处理的 E_c 值显著高于其他处理,与CK处理相比,其他处理的 E_c 值表现为显著降低或不显著;长期覆膜条件下,各处理在>2 mm粒级团聚体中除M4N2P1-C的 E_c 值



不同小写字母表示覆膜或不覆膜中不同处理间同一粒级差异达5%显著水平;

*表示覆膜与不覆膜土壤在相同施肥、相同粒级间差异达5%显著水平

图3 长期不同施肥覆膜处理下土壤团聚体有机碳组分含量

Figure 3 Mean organic C content of soil aggregates in different treatments of long-term plastic mulching and fertilization

表 2 长期不同施肥和覆膜处理下土壤团聚体有机碳的富集系数

Table 2 Enrichment factors of soil organic C in different treatments of long-term plastic mulching and fertilization

处理	不覆膜				覆膜			
	>2 mm	0.25~2 mm	0.053~0.25 mm	<0.053 mm	>2 mm	0.25~2 mm	0.053~0.25 mm	<0.053 mm
CK	0.99±0.023c	1.00±0.020c	0.91±0.013bc	0.79±0.018b	1.05±0.011a	1.00±0.010b	0.92±0.023c	0.87±0.005ab
N4	1.05±0.031b	1.09±0.045b	0.96±0.028a	0.94±0.031a	1.01±0.018a	1.00±0.025b	0.91±0.032c	0.79±0.014bc
N4P2	1.03±0.034b	1.02±0.021c	0.91±0.043b	0.75±0.042b	1.01±0.038a	1.02±0.041ab	0.97±0.023b	0.94±0.018a
M4	1.05±0.019b	1.06±0.015b	0.89±0.060c	0.66±0.030cd	1.03±0.049a	1.05±0.045a	1.04±0.039a	0.72±0.039cd
M2N2	1.21±0.016a	1.10±0.039a	0.87±0.020d	0.72±0.004c	1.05±0.033a	1.05±0.041a	1.03±0.009a	0.80±0.039b
M4N2P1	0.96±0.037c	1.03±0.012c	0.81±0.053d	0.62±0.021d	0.89±0.022b	1.03±0.037ab	0.97±0.018b	0.66±0.055d

注: 同列不同小写字母表示覆膜或不覆膜中不同处理间同一粒级分析差异达 5% 显著水平。

小于 1, 其余处理 E_c 值均大于 1 且无显著性差异; 在 0.25~2 mm 团聚体中, M4-C 和 M2N2-C 处理的 E_c 值显著高于 CK-C 处理; 在覆膜处理微团聚体中, 除 M4-C 与 M2N2-C 处理在 0.053~0.25 mm 粒级的 E_c 值均大于 1 且均显著高于其他处理外, 其余处理 E_c 值均小于 1。可见与不覆膜相比, 地膜覆盖有利于单施有机肥和有机-氮肥配施处理 (M4-C 和 M2N2-C) 的有机碳在 0.053~0.25 mm 粒级团聚体中富集, 而对有机-氮磷肥配施处理 (M4N2P1-C) 有机碳在团聚体中的富集无明显影响, 其在 >2 mm 粒级团聚体中有机碳仍处于亏缺状态。

由表 3 可知, 覆膜、施肥、覆膜与施肥的交互作用显著影响 ($P < 0.05$), 土壤各粒级水稳性团聚体有机碳含量 (除覆膜对 <0.053 mm 粒级团聚体的影响不显著), 覆膜与施肥的交互作用达到差异极显著水平 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 长期不同施肥和覆膜处理对土壤水稳性团聚体组成和稳定性的影响

土壤团聚体是土壤有机质储存的仓库^[22], 在维持土壤结构、土壤肥力和稳定性, 以及对土壤有机碳的保护发挥重要作用^[23], 而各粒级团聚体对土壤养分的

储备、孔隙数量和生物活动有不同的影响^[24], 土壤水稳性团聚体的数量和分布状况更是反应了土壤结构的稳定性、持水性和抗侵蚀等能力^[25]。本试验研究结果表明, 长期施肥和地膜覆盖会显著影响棕壤水稳性团聚体的分布及其稳定性。与不覆膜相比, 覆膜会减小不同施肥处理土壤之间各粒级团聚体的含量差异, 以 >2 mm 和 0.25~2 mm 两个粒级更为明显; 同时与对照相比, 各施肥处理中 0.053~0.25 mm 及 <0.053 mm 团聚体的含量显著增加, 说明覆膜能改变不同施肥处理对土壤团聚体分布的影响。施用氮肥或氮磷配施在覆膜条件下也能显著提高各级团聚体 (除 0.25~2 mm) 的百分含量, 说明覆膜条件下充足的养分, 如氮磷等供应是土壤团聚体形成的重要因素之一。本试验结果也暗示覆膜条件下土壤团聚体的形成动态与不覆膜条件下有所不同, 可能与土壤水热状况的改变密切相关。未来研究中需要考虑结合土壤水热气在不同处理土壤中的动态变化差异来进一步探讨覆膜和施肥措施对土壤有机质动态和稳定性的影响。

与不施肥对照相比, M4 和 M4N2P1-C 处理对 >2 mm 团聚体的提升效果最为显著, 说明有机肥配施化肥能显著促进棕壤大团聚体的形成。这与刘恩科等^[26]对长期不同施肥措施下褐潮土团聚体分布的研究结果一致。大团聚体含量的增加可能是新鲜有机残茬的

表 3 长期不同施肥和覆膜对土壤团聚体有机碳含量影响的方差分析结果

Table 3 Variance analysis of the effects of long-term fertilization and mulching on soil organic C contents in soil aggregates

因子	自由度 df	>2 mm	0.25~2 mm	0.053~0.25 mm	<0.053 mm
		F(P)	F(P)	F(P)	F(P)
覆膜	1	76(<0.000 1)	8.3(<0.000 1)	26(<0.000 1)	1.4(0.263)
施肥	2	540(<0.000 1)	503(0.011)	373(<0.000 1)	54(<0.000 1)
覆膜×施肥	2	125(<0.000 1)	34(<0.000 1)	8.2(0.002)	7.1(0.003)

注: 覆膜: 不覆膜与覆膜; 施肥: 不施肥、施高量有机肥、施高量氮肥和有机-氮肥配施。

归还使土壤中可溶性碳含量升高,增加了微生物的活性和团聚体胶结^[27],这是因为有机或有机-无机肥配施处理中,进入土壤中的有机物质和养分增加,能直接或间接影响植物根系的生长和分布及地上部生物量;与此同时,有机-无机配施能为土壤微生物提供更多、更全面的能源和养分,进而促进微生物的生长代谢,这些因素都会直接或间接影响到土壤团聚体的形成和稳定性。也有学者研究表明向土壤中添加不同腐熟程度的有机物料后,颗粒有机质和团聚体组分中矿物质相连部分有机质增加,提高了土壤团聚体结合碳含量,促进土壤团聚化程度^[28-30],从而强化了团聚体对有机碳的物理保护作用,有利于土壤地力的维持。结合前人和本研究结果进一步说明:要维持和改善土壤结构,补充外源有机物质是至关重要的措施。此外,我们发现:连续29年种植玉米后,在不覆膜条件下施氮肥或氮磷配施均能显著增加棕壤中>2 mm 粒级团聚体含量,说明长期施用化肥也会促进水稳性大团聚体的形成,可能与化肥的施入在一定程度上促进了作物的生长和根系分泌物的增加有关,这与 Yang 等^[31]的试验结果相似。

农业管理措施对土壤团聚体胶结剂质量和储存时间的影响比较大,必然影响土壤团聚体形成与稳定^[32],本试验结果表明,各施肥处理土壤团聚体平均重量直径高于不施肥处理,可见施肥尤其是有机肥施入可以促进土壤的团聚化作用并提高土壤团聚体的稳定性,这对土壤有机碳的长期固持具有重要作用。在土壤团聚体的形成过程中,胶结物质(有机胶结物质、无机胶结物质和有机无机复合体)起着十分重要的作用^[33]。土壤有机物质不仅能增强团聚体之间的粘聚力和抗张强度,而且土壤有机物吸收水的容量远大于土壤矿物吸收水的容量,可减缓水分湿润速率,从而减少团聚体在湿润过程因孔隙中空气受压缩膨胀而破碎的现象^[34-35],这也可以解释本试验结果中单施高量有机肥可以显著提高土壤稳定性的现象。有机-无机肥配施既补充输入了有机碳源又改善土壤物理性状,同样也会影响土壤胶结物质含量。有研究表明有机-氮磷钾肥配施会降低土壤粘粒分散率和土壤真菌菌丝密度,同时也显著提高了土壤多糖含量以及土壤腐殖质含量^[36-37],本试验结果表明覆膜条件下有机-氮磷肥配施处理的团聚体稳定性显著高于不施肥处理和对应的不覆膜处理,可能原因是覆膜改善了土壤理化性质,活化土壤养分,且施肥使土壤有机质和土壤胶结物质含量提高。Barral 等^[38]认为单施化肥对

土壤有机质的积累无实质性的贡献,仅依赖作物根茬调解有机胶结物的平衡远远不够,因此无机胶结物在单施化肥处理的土壤团聚过程中可能起着很重要的作用,团聚体中无机胶结物质包括土壤碳酸钙、粘粒、游离氧化铁、游离氧化铝等,长期单施化肥会影响不同种类无机胶结物质的含量变化^[37]。本文试验结果表明在覆膜和不覆膜条件下,氮磷肥配施处理可以显著提高土壤团聚体的平均重量直径,很可能就是施用氮磷肥不仅提高土壤中根和作物残体的自然还田量,同时也增加了无机胶结物质含量,提高了土壤团聚体的稳定性。而长期施用氮肥在影响土壤水稳性团聚体分配的同时,氮磷钾素收支不均,容重趋劣,还会引起土壤酸化,使无机胶体碳酸钙分解,这可能就是导致单施氮肥对团聚体稳定性无显著促进作用的原因。

3.2 长期不同施肥和覆膜处理对土壤水稳性团聚体有机碳含量的影响

已有很多研究表明有机碳在土壤不同粒级团聚体中的分布差异较大。本试验结果表明>0.25 mm 粒级各级团聚体有机碳含量显著高于<0.25 mm 粒级各级团聚体,即棕壤有机碳主要分布于大团聚体,这与 Elliott^[19]发现温带草地土壤中和大团聚体结合的有机质比和微团聚体结合的多相似。本研究中,土壤有机碳主要在 0.25~2 mm 和>2 mm 粒级团聚体中富集,这可以从富集系数上得到一定体现。多数富含碳的有机质初始易于被粗砂粒(>2 mm)截获,随后在生物降解过程中向其他粒级迁移^[39]。因此 0.25~2 mm 中有机碳的富集程度较高可能是富含碳的生物降解产物导致。地膜覆盖改变了土壤生态环境,改善了土壤理化性质^[40],还会增加土壤微生物和酶的活性^[41-42],但在加速了土壤有机质的矿化的同时,地膜覆盖还会增加作物根系有机碳的输入,所以其对土壤有机碳的影响可能是中性的^[43]。本试验结果表明地膜覆盖可以提高不施肥土壤团聚体有机碳含量,说明覆膜条件下作物根系有机碳的输入量大于有机碳的矿化量。侯晓杰等^[44]指出,地膜覆盖条件下施用有机肥有利于维持微生物多样性,而施无机肥会对微生物多样性产生抑制作用,这可以解释本试验结果中覆膜条件下M4-C 和M4N2P1-C 处理各粒级有机碳含量降低,N4-C 和N4P2-C 处理部分团聚体有机碳含量增加,即地膜覆盖降低了施有机肥处理的土壤各粒级有机碳含量,缩短了不同施肥处理间各粒级有机碳含量的差距。

本试验结果表明,长期不同覆膜和施肥措施会显著影响棕壤各级团聚体有机碳含量,尤其以施入有机

肥处理中团聚体有机碳含量变化最大。这可能与不同有机物料在土壤中的分解速率和残留量不同,且不同肥料下作物产量的影响不同,最终使得植物残体碳的输入水平不同,导致不同施肥措施对不同粒级团聚体中有机碳的储量有不同的影响。施入有机肥可以增加植物残体的输入量,由于菌根菌丝体和其他根际微生物产生的有机化合物可使微团聚体进一步胶结成大团聚体^[45],而微团聚体又是由有机-无机复合体所构成,所以大团聚体中的有机碳含量相对较高。陈晓芬等^[46]对红壤的研究指出,水稳性大团聚体是土壤有机碳的主要载体,施用有机肥可显著提高各粒级团聚体中有机碳的含量,这与本文对棕壤试验结果一致。本文研究表明施用无机肥对团聚体有机碳含量没有增加效果,反而有降低趋势。原因可能是有机肥的施入能够向土壤中直接增加有机碳源^[5],而长期向土壤中施加无机肥导致氮磷钾素收支不均,且在低有机养分供应情况下,植物根系微生物量减少,从而将低了对土壤的供碳水平,导致不施肥或施无机肥的土壤各级团聚体有机碳含量小于施有机肥的土壤。此外,我们发现不同有机肥处理(M4、M2N2、M4N2P1)之间不同粒级团聚体有机碳含量的差异并不显著,尤其在非覆膜条件下,说明当投入的有机物质达到一定的数量,额外的能源和养分不能被微生物全部有效利用形成土壤有机碳,可能存在一个阈值问题,今后的研究中需要进一步探究。根据我们的试验结果,在实施有机物料还田措施时还需要考虑到底物利用效率的问题。

4 结论

研究结果证明:长期施肥和地膜覆盖显著影响土壤团聚体的分布和稳定性及团聚体有机碳的含量,进而会影响土壤有机碳库的容量和稳定性。不考虑覆膜的影响,氮磷肥配施处理均可以显著提高土壤团聚体的稳定性,但单施氮肥对团聚体稳定性无显著促进作用,施用有机肥处理能显著提高土壤各粒级团聚体中有机碳的含量。在肥料施入相同的处理中,覆膜与不覆膜处理对土壤团聚体的稳定性和团聚体有机碳含量的影响也有所不同。覆膜处理使得土壤各粒级团聚体中有机碳含量减小,说明覆膜条件下土壤水热状况的改变会影响土壤能源和养分的利用和转化,进而使得土壤团聚体的形成动态与不覆膜条件下有所不同。未来在探讨覆膜和施肥措施对土壤有机质动态和稳定性的影响研究中需要同时结合测定土壤水热气的动态变化。

参考文献:

- [1] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems[J]. *Soil & Tillage Research*, 1997, 43 (1-2):131-167.
- [2] 彭新华,张斌,赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. *土壤学报*, 2004, 41(4):618-623.
PENG Xin-hua, ZHANG Bin, ZHAO Qi-guo. A review on relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4):618-623. (in Chinese)
- [3] Yin Y, Liang C H, Pei Z J. Effect of greenhouse soil management on soil aggregation and organic matter in northeast China[J]. *Catena*, 2015, 133: 412-419.
- [4] Hernanz J L, López R, Navarrete L, et al. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain[J]. *Soil & Tillage Research*, 2002, 66(2):129-141.
- [5] 刘中良,宇万太. 土壤团聚体中有机碳研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2):447-455.
LIU Zhong-liang, YU Wan-tai. Review of researches on soil aggregate and soil organic carbon[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(2):447-455. (in Chinese)
- [6] 于树. 长期不同施肥处理及地膜覆盖对棕壤有机碳组分及微生物多样性的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2009.
YU Shu. Effect of long-term different fertilization and plastic mulching on organic fractions and microbial diversity in brown earth[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [7] 于昕阳,翟丙年,金忠宇,等. 有机无机肥配施对旱地冬小麦产量、水肥利用效率及土壤肥力的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(5): 320-324.
YU Xin-yang, ZHAI Bing-nian, JIN Zhong-yu, et al. Effect of combined application of organic and inorganic fertilizers on winter wheat yield, water and fertilizer use efficiency and soil fertility in dryland[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(5):320-324. (in Chinese)
- [8] Chien S W C, Wang M C, Hsu J H, et al. Influence of fertilizers applied to a paddy-upland rotation on characteristics of soil organic carbon and humic acids[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54 (18):6790-6799.
- [9] 陈恩凤,关连珠,汪景宽,等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. *土壤学报*, 2001, 38(1):49-53.
CHEN En-feng, GUAN Lian-zhu, WANG Jing-kuan, et al. Compositional proportion of soil characteristic microaggregates and soil fertility evaluation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(1):49-53. (in Chinese)
- [10] Li F M, Wang J, Xu J Z, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78(1):9-20.
- [11] Ruidisch M, Bartsch S, Kettering J, et al. The effect of fertilizer best management practices on nitrate leaching in a plastic mulched ridge cultivation system[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2013

- (169):21-32.
- [12] Huang Z Q, Xu Z H, Chen C G. Effect of mulching on labile soil organic matter pools, microbial community functional diversity and nitrogen transformations in two hardwood plantations of subtropical Australia[J]. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40(2):229-239.
- [13] 孙海国, 雷浣群. 植物残体对土壤结构性状的影响[J]. 生态农业研究, 1998, 6(3):41-44.
SUN Hai-guo, LEI Huan-qun. Effects of plant residues on soil structure[J]. *Eco-Agriculture Research*, 1998, 6(3):41-44. (in Chinese)
- [14] Pan G X, Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(4):384-393.
- [15] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2):702-709.
XIE Jin-sheng, YANG Yu-sheng, CHEN Guang-shui, et al. Effects of vegetation restoration on water stability and organic carbon distribution in aggregates of degraded red soil in subtropics of China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2):702-709. (in Chinese)
- [16] 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.
XING Xu-ming, WANG Hong-mei, AN Ting-ting, et al. Effects of long-term fertilization on distribution of aggregate size and main nutrient accumulation in brown earth[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(2):267-273. (in Chinese)
- [17] 李 婕, 杨学云, 孙本华. 不同土壤管理措施下壤土团聚体的大小分布及其稳定性[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2):346-354.
LI Jie, YANG Xue-yun, SUN Ben-hua. Effects of soil management practices on stability and distribution of aggregates in Lou soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(2):346-354. (in Chinese)
- [18] 付 鑫, 王 俊, 刘全全, 等. 秸秆和地膜覆盖对旱作玉米田土壤团聚体及有机碳的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(2):405-413.
FU Xin, WANG Jun, LIU Quan-quan, et al. Effect of straw and plastic film mulching on aggregate size distribution and organic carbon contents in a rainfed corn field[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 47(2):405-413. (in Chinese)
- [19] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2016, 50(3):627-633.
- [20] 沈 慧, 姜凤岐, 杜晓军, 等. 水土保持林土壤抗蚀性能评价研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3):345-348.
SHEN Hui, JIANG Feng-qi, DU Xiao-jun, et al. Evaluation on soil anti-erodibility of soil and water conservation forest[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3):345-348. (in Chinese)
- [21] 徐香茹, 骆 坤, 周宝库, 等. 长期施肥条件下黑土有机碳、氮组分的分配与富集特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(7):1961-1968.
XU Xiang-ru, LUO Kun, ZHOU Bao-ku, et al. Distribution and enrichment characteristics of organic carbon and total nitrogen in mollisols under long-term fertilization[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(7):1961-1968. (in Chinese)
- [22] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 103(2):412-418.
- [23] Jha P, Garg N, Lakaria B L, et al. Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size[J]. *Soil & Tillage Research*, 2012, 121(3):57-62.
- [24] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure[J]. *Soil & Tillage Research*, 1988, 11(3-4):199-238.
- [25] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses[J]. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1936, 28:337-351.
- [26] 刘恩科, 赵秉强, 梅旭荣, 等. 不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(4):1035-1041.
LIU En-ke, ZHAO Bing-qiang, MEI Xu-rong, et al. Distribution of water-stable aggregates and organic carbon of arable soils affected by different fertilizer application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4):1035-1041. (in Chinese)
- [27] 冷廷慧, 汪景宽, 李双异. 长期施肥对黑土团聚体分布和碳储量变化的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12):2171-2177.
LENG Yan-hui, WANG Jing-kuan, LI Shuang-yi. Effects of long-term fertilization on aggregates size distribution and carbon stock in black soil[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(12):2171-2177. (in Chinese)
- [28] Aoyama M, Angers D A, Dayegamiye A N. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1999, 79(2):295-302.
- [29] Bandyopadhyay P K, Saha S, Mani P K, et al. Effect of organic inputs on aggregate associated organic carbon concentration under long-term rice-wheat cropping system[J]. *Geoderma*, 2010, 154(3-4):379-386.
- [30] Ding X L, Han X Z, Liang Y, et al. Changes in soil organic carbon pools after 10 years of continuous manuring combined with chemical fertilizer in a mollisol in China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2012, 122(6):36-41.
- [31] Yang Z H, Singh B R, Hansen S. Aggregate associated carbon, nitrogen and sulfur and their ratios in long-term fertilized soils[J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 95(1-2):161-171.
- [32] Jiao Y, Whalen J K, Hendershot W H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil[J]. *Geoderma*, 2006, 134(1-2):24-33.
- [33] 郭菊花. 不同施肥措施对水稻土团聚体结构和有机碳稳定性的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2007.
GUO JU-hua. Effect of different fertilization practices on structure of aggregates and stability of organic carbon in paddy soil[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [34] Hom R, Taubner H, Wuttke M, et al. Soil physical properties related to soil structure[J]. *Soil & Tillage Research*, 1994, 30(2-4):187-216.
- [35] Bissonnais Y L. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility I: Theory and methodology[J]. *European Journal of Soil Science*, 2016, 67(1):11-21.
- [36] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚

- 体稳定性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8):887-892.
 YANG Chang-ming, OUYANG Zhu, DONG Yu-hong. Organic carbon fractions and aggregate stability in aquatic soil under different fertilization[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8):887-892. (in Chinese)
- [37] 薛彦飞. 不同土壤管理措施对壤土团聚体胶结剂的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
 XUE Yan-fei. Effects of soil management regimes on aggregate cement agent on Lou soil[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015. (in Chinese)
- [38] Barral M T, Arias M, Guérif J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 46(3-4):261-272.
- [39] Plante A F, Chenu C, Balabane M, et al. Peroxide oxidation of clay-associated organic matter in a cultivation chronosequence[J]. *European Journal of Soil Science*, 2010, 55(3):471-478.
- [40] 王永鹏. 秸秆还田与地膜覆盖耦合对玉米产量及土壤有机质平衡的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
 WANG Yong-peng. Effect of straw returning and plastic film mulching coupling on maize yield and the balance of organic matter in the Loess Plateau[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014. (in Chinese)
- [41] Wang Y P, Li X G, Hai L, et al. Film fully-mulched ridge-furrow cropping affects soil biochemical properties and maize nutrient uptake in a rainfed semi-arid environment[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, 60(4):486-498.
- [42] Liu X E, Li X G, Hai L, et al. Film mulched ridge-furrow management increases maize productivity and sustains soil organic carbon in a dry-land cropping system[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2014, 78(4):1434-1441.
- [43] 李小刚, 李凤民. 旱作地膜覆盖农田土壤有机碳平衡及氮循环特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23):4630-4638.
 LI Xiao-gang, LI Feng-min. Soil organic carbon balance and nitrogen cycling in plastic film mulched croplands in rainfed farming systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(23):4630-4638. (in Chinese)
- [44] 侯晓杰, 汪景宽, 李世朋. 不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(2):655-661.
 HOU Xiao-jie, WANG Jing-kuan, LI Shi-peng. Effects of different fertilization and plastic-mulching on functional diversity of soil microbial community[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2):655-661. (in Chinese)
- [45] 史奕, 陈欣, 沈善敏. 有机胶结形成土壤团聚体的机理及理论模型[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11):1495-1498.
 SHI Yi, CHEN Xin, SHEN Shan-min. Mechanisms of organic cementing soil aggregate formation and its theoretical models[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11):1495-1498. (in Chinese)
- [46] 陈晓芬, 李忠佩, 刘明, 等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳、氮分布和微生物生物量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(5):950-960.
 CHEN Xiao-fen, LI Zhong-pei, LIU Ming, et al. Effects of different fertilizations on organic carbon and nitrogen contents in water-stable aggregates and microbial biomass content in paddy soil of subtropical China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(5):950-960. (in Chinese)

欢迎订阅 2018 年《农业资源与环境学报》

《农业资源与环境学报》(*Journal of Agricultural Resources and Environment*)创刊于 1984 年,由农业部主管、农业部环境保护科研监测所与中国农业生态环境保护协会联合主办的国家级学术期刊,被评为中国科技核心期刊、天津市优秀期刊。被中国学术期刊(光盘版)、万方数据、百度文库、豆丁、中国学术文摘数据库核心版(CSAD)以及美国乌利希期刊指南、化学文摘(CA)、国际农业与生物科学中心(CABI)、EBSCO、DOAJ、ProQuest、J-gate 等重要数据库收录。

作为与一级学科“农业资源与环境”对应的学报,《农业资源与环境学报》主要刊登土壤、水、养分及生物质等自然资源的高效利用及生态环境保护方面的研究论文。

所设栏目:

- | | | | | |
|--------------|--------|-----------|--------|------------|
| 一、战略与综述 | 二、土地资源 | 三、养分资源 | 四、水资源 | 五、生物质资源 |
| 六、产地环境与农产品安全 | 七、生态农业 | 八、生物多样性保护 | 九、乡村环境 | 十、数据挖掘及信息化 |

《农业资源与环境学报》为双月刊,大 16 开,96 页,逢单月 10 日出版,每册定价 30.00 元,全年 180.00 元。国际标准刊号:ISSN 2095-6819,国内统一刊号:CN 12-1437/S,国内外公开发行,各地邮电局(所)均可订阅,邮发代号:6-40,国外发行代号:BM3272。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。

编辑部地址:天津市南开区复康路 31 号 邮政编码:300191 电话:022-23611102 传真:022-23674336
 电子信箱:caed@vip.163.com 网址:www.aed.org.cn 银行:中国农业银行天津滨水西道支行
 户名:农业部环境保护科研监测所 帐号:02-190101040001154 纳税人识别号:12100000401229113Q