

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会  
科学出版社

主办  
出版

2015

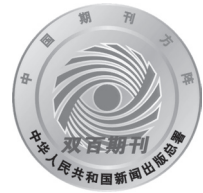
第 52 卷 第 4 期

Vol.52 No.4



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## 目 次

### 综述与评论

亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物生态学研究进展····· 沈李东 (713)

### 土壤科学与现代农业

近30年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征····· 赵小敏 邵 华 石庆华等 (723)

北京市土壤重金属潜在风险预警管理研究····· 蒋红群 王彬武 刘晓娜等 (731)

秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响····· 朱 姝 窦 森 陈丽珍 (747)

生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响····· 俞映惊 薛利红 杨林章等 (759)

水肥对高产无性系油茶果实产量的影响····· 张文元 郭晓敏 涂淑萍等 (768)

### 研究论文

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究····· 李洪义 顾呈剑 但承龙等 (776)

不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响····· 海 南 赵永存 田 康等 (783)

基于稳定同位素的土壤水分运动特征····· 靳宇蓉 鲁克新 李 鹏等 (792)

中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究····· 吴良泉 武 良 崔振岭等 (802)

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布····· 候晓静 杨劲松 王相平等 (818)

长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响····· 毛霞丽 陆扣萍 何丽芝等 (828)

不同时期施用生物炭对稻田N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>排放的影响····· 李 露 周自强 潘晓健等 (839)

秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响····· 刘 园 M. Jamal Khan 靳海洋等 (849)

单一电解质体系下恒电荷土壤胶体扩散双电层中滑动层厚度的计算····· 丁武泉 朱启红 王 磊等 (859)

化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究····· 李世业 成杰民 (869)

离子型稀土矿尾砂地植被恢复障碍因子研究····· 刘文深 刘 畅 王志威等 (879)

辽东与山东半岛土壤中有机氯农药残留特征研究····· 朱英月 刘全永 李 贺等 (888)

长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性····· 高嵩涓 曹卫东 白金顺等 (902)

豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响····· 代会会 胡雪峰 曹明阳等 (911)

### 研究简报

蚕豆根系分泌物中氨基酸含量与枯萎病的关系····· 董 艳 董 坤 汤 利等 (919)

小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响····· 胡国彬 董 坤 董 艳等 (926)

不同年限毛竹林土壤固氮菌群落结构和丰度的演变····· 何冬华 沈秋兰 徐秋芳等 (934)

长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析····· 李 玮 孔令聪 张存岭等 (943)

果园生草对<sup>15</sup>N利用及土壤累积的影响····· 彭 玲 文 昭 安 欣等 (950)

封面图片: 离子型稀土矿废弃地全景 (由汤叶涛、刘文深提供)

DOI: 10.11766/trxb201408010387

# 秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响\*

朱 姝 窦 森<sup>†</sup> 陈丽珍

(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

**摘 要** 秸秆深还 (Deep application of straw, DAS) 是指将玉米秸秆施入土壤亚表层 (20 ~ 40 cm), 可以解决秸秆焚烧的问题, 同时提高土壤肥力、蓄水能力和作物产量。本文采集了吉林农业大学试验站玉米连作耕地试验田中的秸秆深还土壤和未秸秆深还土壤, 采用湿筛法将其分为 >2 mm、2 ~ 0.25 mm、0.25 ~ 0.053 mm 和 <0.053 mm 4 个粒级, 定性分析提取胡敏酸 (HA), 通过元素组成、红外光谱和差热分析研究了秸秆深还对黑土各粒级团聚体中 HA 结构特征的影响。结果表明: 黑土团聚体中的优势粒级为 2 ~ 0.25 mm 粒级, 优势粒级的团聚体含量和有机碳含量均是表层较亚表层低, DAS 有利于优势粒级团聚体的形成, 促使优势粒级团聚体中有机碳增多; 与亚表层相比, 表层各粒级团聚体 HA 的缩合度、氧化度和热稳定性普遍较低, 脂族碳/羧基碳和脂族碳/芳香碳较高; DAS 促使土壤表层和亚表层各粒级团聚体中 HA 的缩合度、氧化度和热稳定性下降, 其中表层 HA 的缩合度降低更明显; 而亚表层氧化度和热稳定性的降低幅度较大。表层中 HA 的分子结构较亚表层的简单、年轻, 秸秆深还促使土壤中有机碳含量增加, HA 的结构简单化、年轻化。

**关键词** 秸秆深还; 土壤团聚体; 胡敏酸; 元素组成; 红外光谱; 差热分析

**中图分类号** S151.9 **文献标识码** A

我国农业生产每年会产生  $7 \times 10^8$  t 以上的秸秆<sup>[1]</sup>, 秸秆还田仍然是秸秆利用的主要方式之一。目前秸秆还田主要是覆盖和浅施, 具有固碳、促进养分元素循环和减少生产中的化肥施用等功能, 但是对增加土壤有机质 (尤其是腐殖质) 效果不佳, 存在降低地温、增加病虫害、影响耕种和温室气体排放等问题。农民不接受秸秆还田, 通常在春季或秋季将秸秆焚烧。这样不仅污染环境, 且不利于解决耕层变浅、有机质下降等问题。“秸秆深还” (Deep application of straw, DAS) 是将玉米秸秆通过机械化手段施入土壤亚表层 (Subsoil layer, SL, 20 ~ 40 cm)。秸秆深还既解决了目前土壤耕层变浅、缺少有机肥、土壤蓄水能力下降等问题, 又减少了由于焚烧秸秆造成的环境污染, 达到保碳、蓄水、培肥、稳产的目的。“秸秆深还”不同于传统意义上的秸秆还田, 创新之处是“深”, 一是对机具及农艺配套提出了新的要求; 二是深还结合深翻

进行, 但又不同于深翻, 具有表土集中、养分集中、水分集中, 并提高深翻的效率; 三是从以往的表层培肥延伸到对“饥饿”的亚表层培肥, 更有利于补充、形成腐殖物质; 四是不影响表层正常耕种并逐渐提高土壤肥力。

国内外学者对秸秆还田做了大量研究, 认为其能够增加土壤有机质、不同形态碳素、水稳性团聚体、有效磷、速效钾、全氮、碱解氮的含量<sup>[2-6]</sup>; 随着秸秆还田用量的增加, 土壤中胡敏酸 (HA) 分子缩合度降低, 结构趋于简单化<sup>[7]</sup>; 与饼肥和绿肥相比, 在秸秆肥处理中土壤 HA 含碳量最高, 醇、酚含量最高, 烷氧基碳、芳香碳含量最大<sup>[8]</sup>; 施用稻草后随着腐解的进行, HA 的氧化度和芳香度增强, 羧基含量先降低后升高<sup>[9]</sup>。秸秆还田可以增强土壤肥力、微生物活性等, 但是秸秆还田使得温室效应大幅增加, 是一项重要的温室气体泄漏<sup>[10-12]</sup>。一些学者将秸秆深还与秸秆移除、表覆

\* 国家重点基础研究发展计划 (“973”) 项目 (2011CB100503) 和吉林省重点科技攻关项目 (20130206018NY) 资助

<sup>†</sup> 通讯作者: 窦 森 (1959—), 男, 教授, 博士生导师, 从事土壤有机质研究。E-mail: dousen@tom.com

作者简介: 朱 姝 (1989—), 女, 黑龙江人, 硕士研究生, 从事土壤生物化学研究。E-mail: 1526229183@qq.com

收稿日期: 2014-08-01; 收到修改稿日期: 2014-12-20

和浅施等秸秆处理方式比较, 秸秆深还能获得较高的产量和固碳效果, 可提高土壤的入渗速率和蓄水能力<sup>[13-14]</sup>; 显著提高土壤有益微生物数量和土壤酶活性<sup>[15]</sup>; HA的缩合度、芳香结构和热稳定性增加, 分子结构变复杂<sup>[16]</sup>, 同时温室气体的排放量适中, 是较好的秸秆处理方式。

综上, 过去对传统的秸秆还田研究较多, 对秸秆深还的研究较少; 同时对秸秆深还后土壤固碳效果、蓄水能力、微生物活性等变化研究较多, 而对腐殖质结构性质的变化研究较少, 尤其是对秸秆深还后土壤团聚体中腐殖质结构性质的变化几乎未见报道。本文主要研究秸秆深还对土壤表层和亚表层团聚体中HA结构特征的影响, 为如何提高土壤固碳和耕地肥力、如何利用秸秆深还创建合理耕层提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

**1.1.1 试验田概况** 试验田选自吉林农业大学试验站玉米连作耕地 (N43°48'43.57", E125°23'38.50")。位于吉林省长春市净月区, 属于

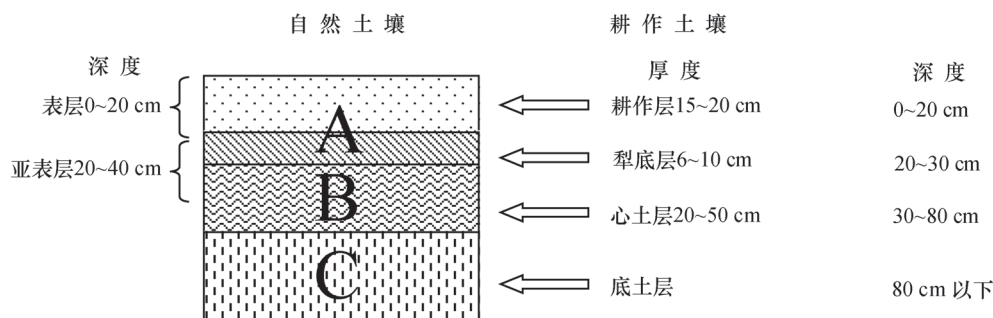


图1 土层定义

Fig.1 Definition of soil layers

将0~20 cm和20~40 cm挖出的土壤分别放置。将玉米收获后的秸秆粉碎至长度为3~5 cm, 均匀平铺至深还沟中, 即秸秆集中深还, 还田量12 000 kg hm<sup>-2</sup>, 一次性全量还田, 并配施化肥 (尿素450 kg hm<sup>-2</sup>)。在秸秆施于沟中后, 按20~40 cm、0~20 cm顺序还土于沟中, 形成大垄并自然沉降。秸秆深还后, DAS与CK进行同样的耕作。

每个小区面积为36 m<sup>2</sup>, 随机排列, 3次重复。玉米品种为当地主流品种, 如2011—2012年为中金368 (北京金粒粒金种子有限公司)。深还秸秆

北温带大陆性季风气候, 春季干燥多风, 夏季高温多雨, 秋季气温下降快, 冬季寒冷, 具有四季分明, 干湿适中的气候特征。最热的月份为7月, 平均气温为23 °C。年均气温4.8 °C, 最低气温-39.8 °C, 最高气温39.5 °C。日照时间可达2 688 h, 年均降水量617 mm, 多集中在七、八月份, 夏季降雨量占年降水量的60 %以上。秋季温差较大, 风速与春季相比较小。土壤类型为半湿温半淋溶土亚纲黑土类, 相当于美国系统分类的黏淀湿润软土 (Argiudolls)。

**1.1.2 土层界定** 本文中所提到的亚表层主要包括耕作土壤中的犁底层及心土层的一部分, 而不是单一的土壤发生层概念 (见图1), 实质上亚表层是耕层以下可管理 (耕作、施肥、灌溉等管理) 的20~40 cm土层, 是从土层功能和管理需求方面人为确定的。

### 1.2 研究方法

试验设未施秸秆 (CK) 和秸秆深还 (DAS) 处理。CK不挖沟, 不施用秸秆, 只进行正常的耕作。DAS处理在2011年11月进行秸秆深还, 于收获后人工开挖深还沟, 其横截面为倒置等腰梯形, 上底宽60 cm, 下底宽40 cm, 深40 cm, 下底中央位置对应两垄玉米之间垄沟处。在挖沟的同时,

的有机碳含量437.6 g kg<sup>-1</sup>, 全氮含量5.72 g kg<sup>-1</sup>, C/N为76.50。

于2012年10月采表层 (0~20 cm) 和亚表层 (20~40 cm) 土壤。供试土壤的基本性质见表1。

### 1.3 项目分析与测定

**1.3.1 团聚体分级** 采用湿筛法<sup>[17]</sup>, 称取风干土样100 g, 将其放置在由孔径分别为2 mm、0.25 mm和0.053 mm组成的自动振荡套筛的最上层, 在室温条件下用蒸馏水浸润5 min后, 以速度为30次 min<sup>-1</sup>和上下振幅为3 cm振荡2 min。筛分结束后,

表1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of the soil tested in the experiment							
土壤类型 Soil type	采集深度 Depth (cm)	有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkalytic N (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	pH
黑土 Black soil	0 ~ 20	20.51	1.02	77.70	11.52	74.46	7.71
	20 ~ 40	19.28	1.45	84.23	11.66	67.87	7.77

将每层筛上的团聚体冲洗至烧杯中，获得>2 mm、2 ~ 0.25 mm和0.25 ~ 0.053 mm的水稳性团聚体，<0.053 mm团聚体在桶内沉降48 h，弃去上清液后转移至烧杯中。将烧杯中的团聚体烘干称重，计算各粒级团聚体的百分含量。

### 1.3.2 土壤团聚体中HA的提取与结构性质的测定

用0.1 mol L<sup>-1</sup> NaOH混合液提取土壤团聚体，将提取液酸化至pH=1.5得到粗HA，后经离心、电渗析、浓缩、冻干等过程后得到HA干样，具体步骤见文献[18]。土壤团聚体中碳含量及HA的元素组成采用Elementar Vario EL III型元素分析仪在C/N模式下进行测定，其中HA的C、H、N元素含量为实测值，O和S元素含量的总和采用差减法计算获得；差热分析运用Shimadzu TG-60热重分析仪进行测定，称取样品量为3 ~ 10 mg，在200 ml min<sup>-1</sup>的空气流量条件下，以5 °C min<sup>-1</sup>的升温速度由25 °C升至110 °C，保持60 min以确保水分全部蒸发，之后继续以5 °C min<sup>-1</sup>的升温速度由110 °C升至600 °C，保持30 min，用 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>做参比进行校正，并通过计算机测量峰面积，计算反应热，进行半定量分析；HA的红外光谱在AVATAR 360傅立叶变换红外光谱仪上测定，采用KBr压片法（HA和KBr的重量比例约为1 : 250），测试范围为4 000 ~ 500 cm<sup>-1</sup>，扫描次数128次，分辨率8 cm<sup>-1</sup>，采用仪器自带的分析软件对红外谱图进行半定量分析，用每一峰面积的百分比相对地比较峰强度。

**1.3.3 土壤基本性质测定** 土壤有机碳含量采用重铬酸钾容量法，全氮采用半微量开氏法；碱解氮采用碱解扩散法，有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法，速效钾采用火焰光度计法，pH采用电位法，土壤团聚体碳、氮含量采用元素分析仪进行测定<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据处理

文中数据采用Microsoft Office Excel 2007软件

进行数据分析处理，红外光谱图和差热分析图使用Origin7.5软件分析作图。

## 2 结果

### 2.1 秸秆深还对土壤团聚体组成和有机碳的影响

经过秸秆深还，不同粒级土壤团聚体含量呈现出不同的变化（表2）。就不同粒级而言，土壤表层和亚表层的2 ~ 0.25 mm粒级高于其他3个粒级，为优势粒级。就不同土层而言，CK和DAS亚表层的优势粒级均高于表层。就不同处理而言，DAS的2个土层2 ~ 0.25 mm和0.25 ~ 0.053 mm粒级高于CK，另2个粒级则相反，其中优势粒级的变化较明显，说明秸秆深还有利于优势粒级团聚体的形成。

有机碳含量变化见表2，不同土层间比较，CK表层中2个大粒级团聚体大于亚表层，而2个小粒级则相反；DAS表层中除了>2 mm的其他3个粒级均大于亚表层，可见CK和DAS表层的优势粒级均大于亚表层。不同处理间比较，DAS表层中除了>2 mm的其他3个粒级均高于CK，其中2 ~ 0.25 mm粒级的增幅最大；亚表层中2个大粒级高于CK，而2个小粒级则相反。说明秸秆深还促使优势粒级有机碳含量提高。

### 2.2 秸秆深还对土壤团聚体中HA元素组成的影响

腐殖质主要由C、H、O、N、S等元素组成，其主体是由羧基-COOH和羟基-OH取代的芳香族结构，烷烃、脂肪酸、碳水化合物和含氮化合物结合于芳香结构上。腐殖质中H/C和(O+S)/C摩尔比值能够用来表征HA缩合度和氧化度的强弱<sup>[20]</sup>，H/C同HA的缩合度呈反比，(O+S)/C同HA的氧化度呈正比。

土壤团聚体中HA的元素组成见表3。就不同土层而言，CK和DAS表层中0.25 ~ 0.053 mm粒级的H/C均低于亚表层，而其他3个粒级均高于亚

表2 秸秆深还对土壤团聚体的组成和有机碳含量的影响

Table 2 Effects of deep application of straw (DAS) on composition and organic carbon content of the soil aggregates

处理 Treatment	采集深度 Depth (cm)	粒级 Aggregate size (mm)	团聚体相对含量 Relative content of soil aggregates (%)	有机碳含量 Organic carbon content (g kg <sup>-1</sup> )
CK	0 ~ 20	>2	17.51 ± 1.34	15.04 ± 0.07
		2 ~ 0.25	40.40 ± 3.89	13.68 ± 0.07
		0.25 ~ 0.053	20.94 ± 1.03	12.84 ± 0.08
		<0.053	18.59 ± 3.94	11.83 ± 0.07
	20 ~ 40	>2	7.294 ± 2.05	14.60 ± 0.10
		2 ~ 0.25	47.33 ± 0.81	12.54 ± 0.09
		0.25 ~ 0.053	21.97 ± 2.04	13.21 ± 0.07
		<0.053	20.95 ± 3.27	12.07 ± 0.04
DAS	0 ~ 20	>2	11.25 ± 0.17	14.99 ± 0.26
		2 ~ 0.25	48.30 ± 0.51	15.19 ± 0.09
		0.25 ~ 0.053	22.10 ± 0.81	13.43 ± 0.24
		<0.053	15.77 ± 0.82	12.74 ± 0.13
	20 ~ 40	>2	4.260 ± 2.38	18.54 ± 0.10
		2 ~ 0.25	52.50 ± 4.83	14.16 ± 0.16
		0.25 ~ 0.053	27.23 ± 0.84	12.77 ± 0.13
		<0.053	13.68 ± 3.33	11.88 ± 0.25

注: CK为未秸秆深还, DAS为秸秆深还。下同Note: CK represents no-straw applied, DAS represents deep application of straw.

The same below

表3 秸秆深还对土壤团聚体中HA的元素组成的影响

Table 3 Effects of DAS on elemental composition of HA in soil aggregates

处理 Treatment	采集深度 Depth (cm)	粒级 Aggregate size (mm)	C (g kg <sup>-1</sup> )	H (g kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	O+S (g kg <sup>-1</sup> )	C/N	(O+S) / C	H/C
CK	0 ~ 20	>2	580.2	48.46	47.10	324.3	14.37	0.419	1.002
		2 ~ 0.25	589.0	52.04	49.80	309.1	13.80	0.394	1.060
		0.25 ~ 0.053	597.7	49.75	53.13	299.4	13.13	0.376	0.999
		<0.053	603.5	54.22	55.37	287.0	12.72	0.357	1.078
	20 ~ 40	>2	545.8	43.63	42.92	367.6	14.84	0.505	0.959
		2 ~ 0.25	552.9	45.99	45.03	356.1	14.32	0.483	0.998
		0.25 ~ 0.053	553.0	47.76	45.55	353.7	14.16	0.480	1.036
		<0.053	557.1	48.23	47.73	346.9	13.62	0.467	1.039
DAS	0 ~ 20	>2	609.0	57.33	52.59	281.0	13.51	0.346	1.130
		2 ~ 0.25	607.2	58.47	54.40	279.9	13.02	0.346	1.156
		0.25 ~ 0.053	597.6	53.44	53.25	295.8	13.09	0.371	1.073
		<0.053	606.7	59.55	57.25	276.5	12.36	0.342	1.178
	20 ~ 40	>2	589.2	53.78	49.82	307.2	13.80	0.391	1.095
		2 ~ 0.25	626.0	54.61	52.96	266.5	13.79	0.319	1.047
		0.25 ~ 0.053	561.2	50.46	48.49	339.9	13.50	0.454	1.079
		<0.053	554.6	52.01	49.32	344.1	13.12	0.465	1.125

表层，说明表层HA的缩合度一般低于亚表层，其中 $>2$  mm、 $2 \sim 0.25$  mm 和 $<0.053$  mm 粒级较显著。DAS表层中除了 $2 \sim 0.25$  mm 的其他3个粒级和CK 4个粒级的 $(O+S)/C$ 均低于亚表层，说明表层HA的氧化度一般低于亚表层，其中 $>2$  mm、 $0.25 \sim 0.053$  mm 和 $<0.053$  mm 粒级更明显。

就不同处理而言，DAS的2个土层H/C均高于CK，说明秸秆深还促使HA的缩合度降低，其中表层较亚表层、 $>2$  mm 粒级较其他3个粒级的响应更敏感。DAS的2个土层 $(O+S)/C$ 均低于CK，说明秸秆深还促使HA的氧化度降低，其中亚表层较表层、 $2 \sim 0.25$  mm 较其他3个粒级的响应更敏感。

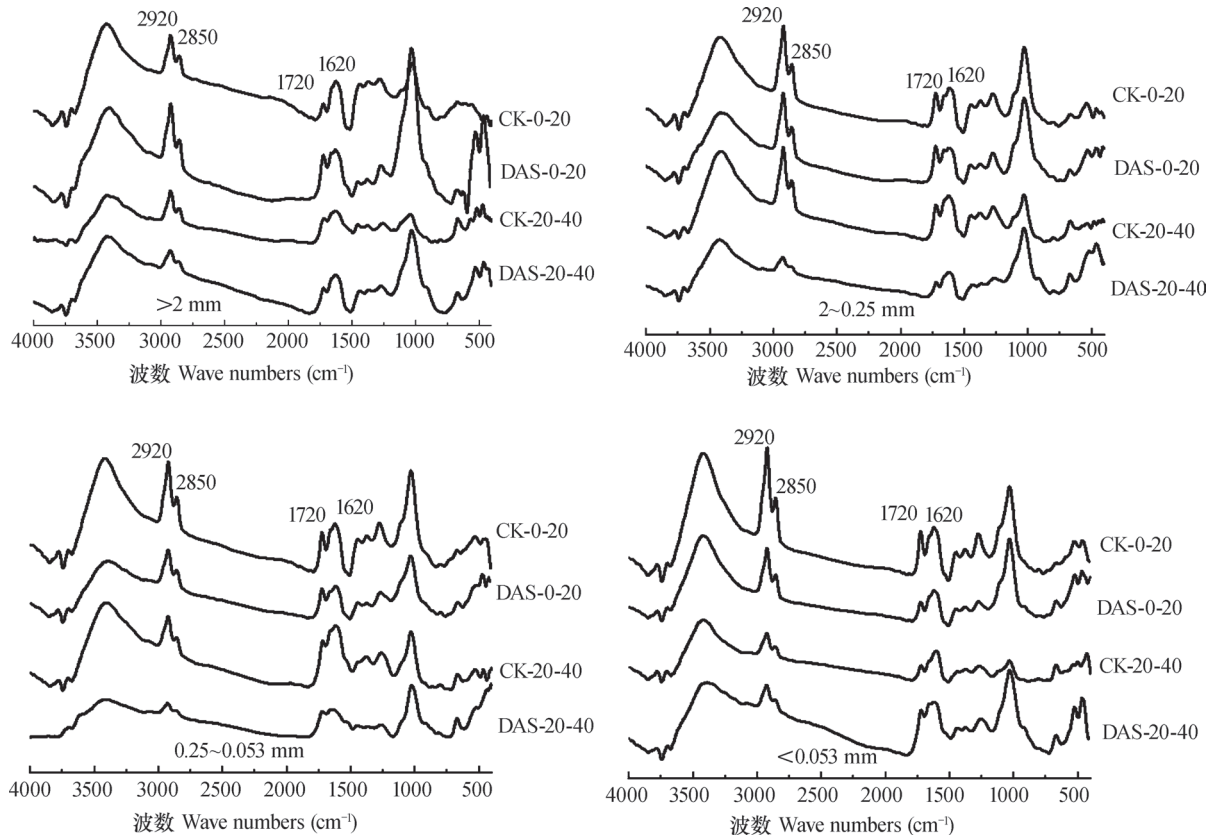
### 2.3 秸秆深还对土壤团聚体中HA脂族和芳香结构比例的影响

土壤团聚体中HA的红外光谱（FTIR）如图2所示。HA的吸收峰主要出现在以下区域： $2920$   $\text{cm}^{-1}$ （不对称脂族C-H伸缩振动）， $2850$   $\text{cm}^{-1}$ （-CH<sub>2</sub>-对称脂族C-H伸缩振动）， $1720$   $\text{cm}^{-1}$ （羰基的C=O伸缩振动）， $1620$   $\text{cm}^{-1}$ （芳香C=C

伸缩振动）， $1400$   $\text{cm}^{-1}$ （脂族C-H变形振动）， $1230$   $\text{cm}^{-1}$ （羧基中-OH的变形振动和C-O伸缩振动）和 $1034$   $\text{cm}^{-1}$ （碳水化合物或多糖结构中C-O伸缩振动及无机物的Si-O伸缩振动）。图谱形状基本相同，但不同处理以及不同土层中HA在一些特征峰的吸收强度上存在着不同程度的差异（表4）。

$2920/1720$  表征HA的脂族碳/羰基碳， $2920/1620$  表征脂族碳/芳香碳。不同土层间比较，CK表层中除 $2 \sim 0.25$  mm 的其他3个粒级和DAS中4个粒级的 $2920/1720$ 均高于亚表层；CK表层中2个小粒级和DAS中4个粒级的 $2920/1620$ 均高于亚表层。说明表层HA的脂族碳/羰基碳和脂族碳/芳香碳一般高于亚表层，DAS尤为明显。

不同处理间比较，DAS除表层中 $>2$  mm 和亚表层中 $<0.053$  mm 的其他所有粒级在 $1720$   $\text{cm}^{-1}$ 的相对强度均低于CK；DAS表层4个粒级和亚表层中除 $>2$  mm 的其他3个粒级在 $1620$   $\text{cm}^{-1}$ 的相对强度低于CK。说明秸秆深还促使HA的羰基碳和芳香碳普遍



注：CK为未秸秆深还，DAS为秸秆深还；0~20为表层，20~40为亚表层。下同  
 Note: CK represents no-straw applied, DAS represents deep application of straw; 0~20 represents topsoil, 20~40 represents subsoil layer. The same below

图2 秸秆深还对土壤团聚体中HA FTIR吸收特征的影响

Fig.2 Effects of DAS on FTIR spectra of HA in soil aggregates

表4 秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸 FTIR光谱主要吸收峰相对强度的影响

**Table 4** Effects of DAS on relative intensity of the main absorption peaks of FTIR spectra of HA in soil aggregates

处理 Treatment	采集深度 Depth (cm)	粒级 Aggregate size (mm)	相对强度 Relative intensity (%)				比值 Ratio (mol)	
			2 920 cm <sup>-1</sup>	2 850 cm <sup>-1</sup>	1 720 cm <sup>-1</sup>	1 620 cm <sup>-1</sup>	2 920/1 720	2 920/1 620
CK	0 ~ 20	>2	2.550	0.630	0.630	6.170	4.048	0.413
		2 ~ 0.25	4.600	1.070	1.520	5.030	3.026	0.915
		0.25 ~ 0.053	4.460	0.960	1.540	5.690	2.896	0.784
		<0.053	6.290	1.400	1.950	6.000	3.226	1.048
	20 ~ 40	>2	2.080	0.460	0.630	2.370	3.302	0.878
		2 ~ 0.25	4.150	0.960	1.200	4.420	3.458	0.939
		0.25 ~ 0.053	2.360	0.480	0.980	5.400	2.408	0.437
		<0.053	1.590	0.320	0.520	3.800	3.058	0.418
DAS	0 ~ 20	>2	4.420	0.900	1.380	4.610	3.203	0.959
		2 ~ 0.25	4.280	0.970	1.460	3.620	2.932	1.182
		0.25 ~ 0.053	2.510	0.550	0.950	3.250	2.642	0.772
		<0.053	3.230	0.710	0.770	4.140	4.195	0.780
	20 ~ 40	>2	1.320	0.260	0.490	4.000	2.694	0.330
		2 ~ 0.25	1.070	0.170	0.400	3.080	2.675	0.347
		0.25 ~ 0.053	0.740	0.150	0.650	1.590	1.138	0.465
		<0.053	1.620	0.280	1.140	3.800	1.421	0.426

减少。

#### 2.4 秸秆深还对土壤团聚体中HA热稳定性的影响

秸秆深还对土壤团聚体HA热性质的影响见图3和图4, 样品在受热分解的过程中主要有2个放热峰: 中温放热峰(295 ~ 318 °C)和高温放热峰(381 ~ 422 °C)。相应的放热和失重结果如表5所示, 高温放热峰峰温、放热高/中、高温失重和失重高/中的数值越高, 所示HA的热稳定性越高。

就不同土层而言, CK表层中除2 ~ 0.25 mm的其他3个粒级和DAS表层中4个粒级的高温放热峰峰温均低于亚表层; CK和DAS表层所有粒级的高温失重均低于亚表层; CK和DAS表层中除2 ~ 0.25 mm的其他3个粒级失重高/中均低于亚表层; CK表层中>2 mm、0.25 ~ 0.053 mm粒级和DAS表层中>2 mm、<0.053 mm粒级的热量高/中均低于亚表层。以上4个指标中表层较亚表层低的数据有22处, 数据数量占78.75%, 表层较亚表层高的数据有6处, 数据数量占21.25%。说明表层HA热稳定性一般较亚表层低, 其中>2 mm、0.25 ~ 0.053 mm和<0.053 mm粒级尤为明显。

就不同处理而言, DAS表层中除2 ~ 0.25 mm的其他3个粒级和亚表层中>2 mm、0.25 ~ 0.053 mm粒级的高温放热峰峰温均低于CK; DAS表层和亚表层各粒级的高温失重均低于CK; DAS表层中4个粒级和亚表层中除2 ~ 0.25 mm其他3个粒级的失重高/中均低于CK; DAS表层中<0.053 mm粒级和亚表层中>2 mm、0.25 ~ 0.053 mm粒级的热量高/中均低于CK。以上4个指标中DAS较CK低的数据有20处, 数据数量占71.43%, DAS较CK高的数据有8处, 数据数量占28.57%。说明秸秆深还促使HA的热稳定性下降, 其中亚表层较表层、>2 mm和0.25 ~ 0.053 mm粒级较另外2个粒级的响应更为敏感。

### 3 讨 论

#### 3.1 秸秆深还对土壤团聚体组成和有机碳含量的影响

2 ~ 0.25 mm粒级为优势粒级, 且表层团聚体数量低于亚表层, 而有机碳含量高于亚表层; 秸秆



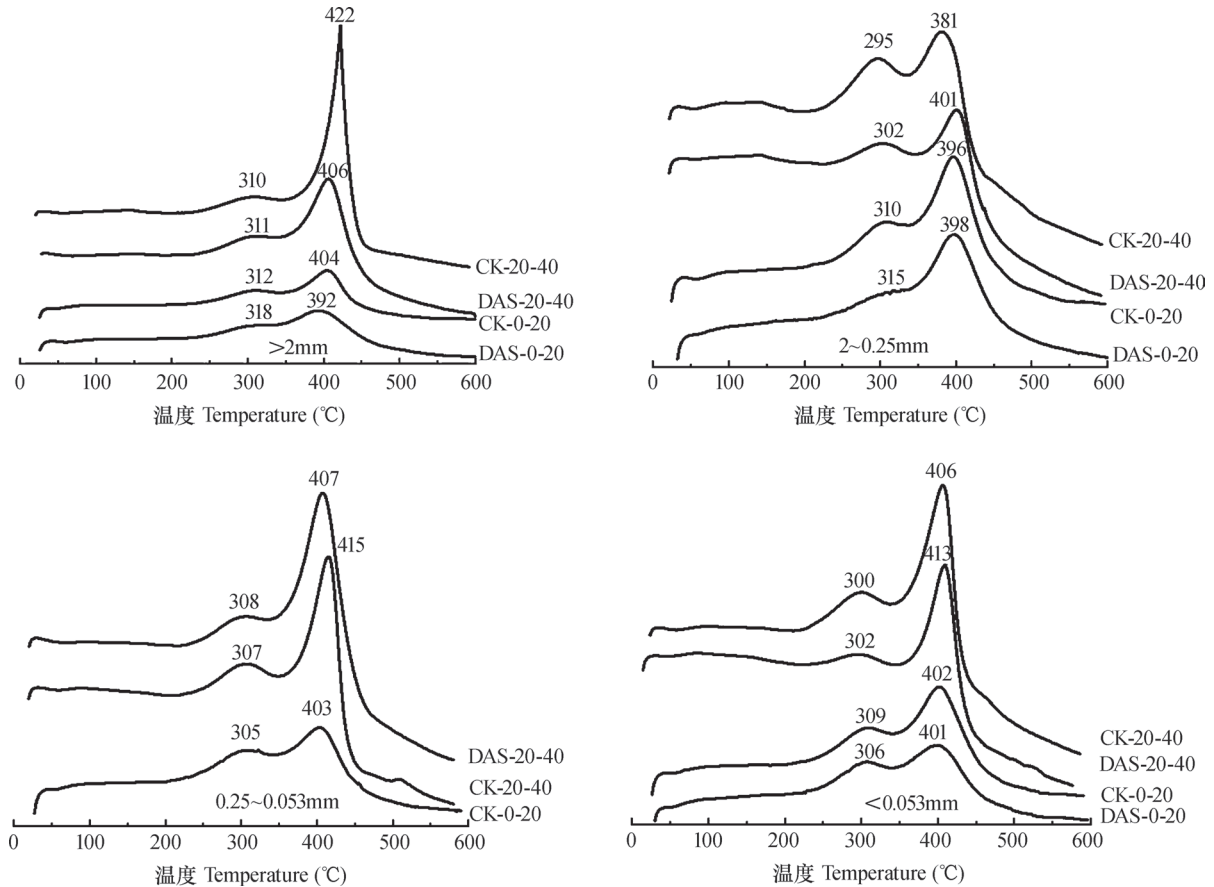


图3 秸秆深还对土壤团聚体中HA的放热的影响

Fig. 3 Effects of DAS on exothermic heat curve of HA in soil aggregates

深还有利于优势粒级团聚体的形成，促使优势粒级团聚体中有机碳增多。这与陈丽珍<sup>[21]</sup>和Manna等<sup>[22]</sup>的研究结果基本一致。

有学者研究发现，耕作破坏土壤团聚体，降低其稳定性<sup>[23]</sup>。表层受到耕作的影响较多，亚表层较少，则表层团聚体稳定性和优势粒级含量相对较低。施用秸秆有利于土壤较大粒级团聚体的形成<sup>[24-25]</sup>。有机物料促进土壤中微生物菌丝的生长，其中的多糖、蛋白质、木质素及被微生物分解产生的有机酸、腐殖物质均是重要的有机胶结物质，可以把土壤颗粒胶结成微团聚体，再形成大团聚体，则大团聚体含量增加，即优势粒级增加。

作物的根系和落叶大部分存在于表层，表层较多受到有机残渣的影响，而亚表层较少受到影响，则表层有机碳含量高于亚表层。郝翔翔等<sup>[26]</sup>认为秸秆还田能够提高黑土团聚体的稳定性及其有机质含量。有机物料的添加丰富了土壤有机碳的来源，大量有机质存在于大团聚体中，提高团聚体有机碳的含量。同时，有机物料促使有机胶结物质增多，

促使微团聚体向大团聚体转化，微团聚体也是大团聚体有机碳的来源，从而大团聚体中有机碳增多。

### 3.2 秸秆深还对土壤团聚体中HA缩合度和氧化度的影响

CK和DAS表层团聚体HA的缩合度和氧化度大部分低于亚表层。Cordula等<sup>[27]</sup>研究得出微生物群落越活跃，CO<sub>2</sub>呼吸速率越高。表层土壤（即为耕作层）较多受到耕作的干扰，透气性、透水性和微生物活性均高于亚表层，加之经常受到新鲜根茎和落叶的影响，则其中含有较多新形成的HA，氧化度和缩合度较低；而亚表层较少受到耕作和有机残渣的干扰，透气性和微生物活性较低，有机物质经过多年积累和腐解，氧化度和缩合度较高，则表层中HA的缩合度和氧化度低于亚表层。亚表层中施入秸秆，在开沟、添加秸秆、还土于沟中这些过程中，难免会将一些秸秆或亚表层土壤与表层土壤混合，加之土壤水运动带动养分流动，则表层和亚表层同时受到秸秆深还的影响。

秸秆深还促使HA的缩合度和氧化度降低，

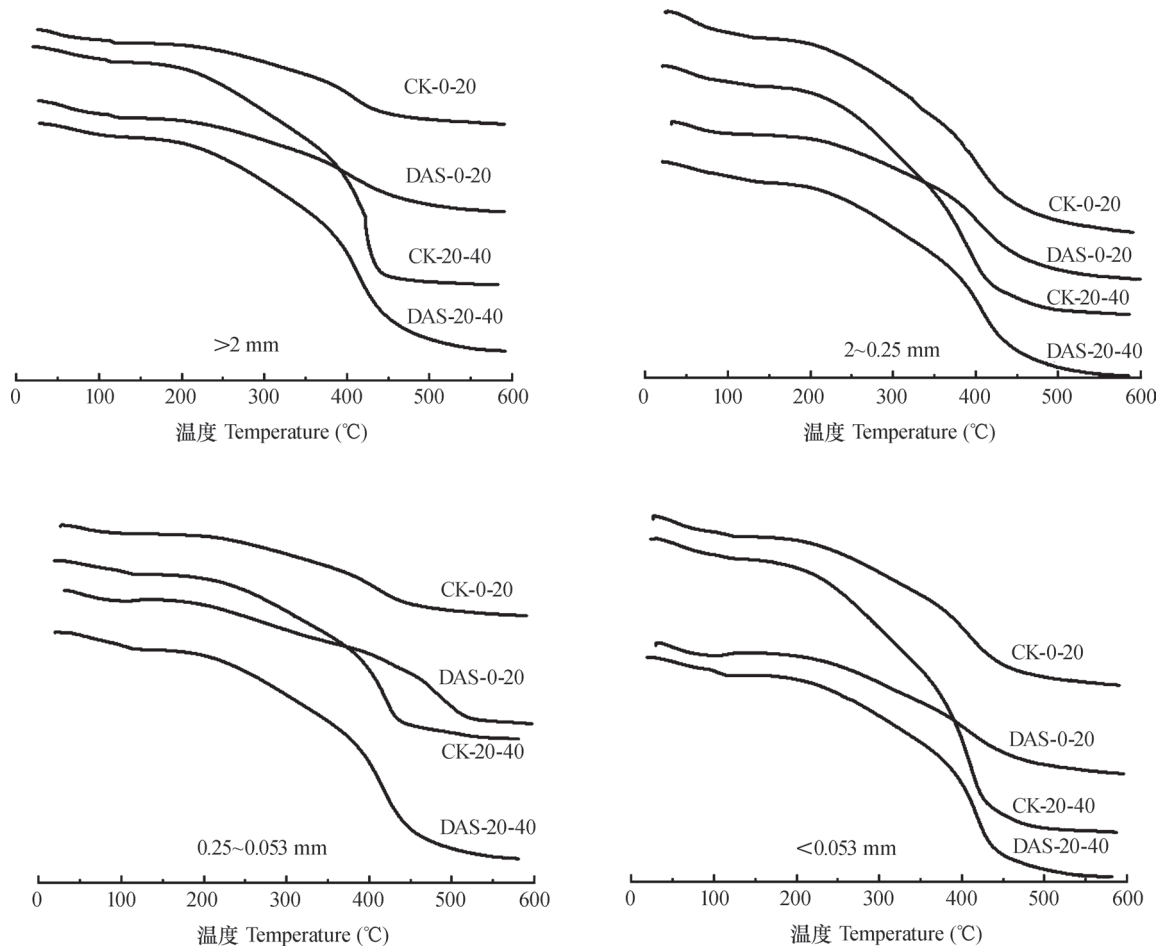


图4 秸秆深还对土壤团聚体中HA的失重的影响

Fig. 4 Effects of DAS on mass loss curve of HA in soil aggregates

表5 秸秆深还对土壤团聚体中HA在差热分析中的放热和失重的影响

Table 5 Effects of DAS on exothermic heat and mass loss of HA in soil aggregates in differential thermal analysis

处理 Treatment	采集深度 Depth (cm)	粒级 Aggregate size (mm)	放热量 Exothermic heat (kJ g <sup>-1</sup> )		热量高/中比值 Exothermic heat ratio of moderate and high temperature	失重 Mass loss (mg g <sup>-1</sup> )		失重高/中比值 Mass loss ratio of moderate and high temperature
			中温Moderate temperature	高温 High temperature		中温Moderate temperature	高温High temperature	
CK	0~20	>2	2.730	13.99	5.125	202.5	337.4	1.666
		2~0.25	1.200	12.88	10.73	162.8	322.7	1.982
		0.25~0.053	2.930	10.21	3.485	205.8	349.9	1.700
		<0.053	2.390	13.06	5.464	203.7	318.2	1.562
	20~40	>2	1.410	20.17	14.30	171.8	496.0	2.887
		2~0.25	3.710	12.51	3.372	246.9	372.6	1.509
		0.25~0.053	2.400	11.09	4.621	188.5	379.4	2.013
		<0.053	1.830	9.890	5.404	167.0	349.9	2.095
DAS	0~20	>2	0.940	7.630	8.112	139.3	228.2	1.638
		2~0.25	0.756	12.39	16.39	146.9	278.8	1.898
		<0.053	2.580	7.740	3.000	155.3	223.7	1.440
		>2	0.804	7.620	9.472	106.0	256.1	2.415
	20~40	2~0.25	2.010	9.930	4.940	171.6	297.8	1.735
		0.25~0.053	1.470	3.710	2.524	130.1	209.6	1.611
		<0.053	1.770	9.930	5.610	178.1	336.4	1.889

这与王聪慧<sup>[28]</sup>有机肥处理或有机肥配施化肥处理可促使HA氧化度和缩合度降低的结果相似。窦森<sup>[20]</sup>认为玉米秸秆的加入显著提高了土壤微生物的活性,导致部分土壤团聚体中腐殖化程度较高的HA被分解。Ingo等<sup>[29]</sup>研究得出土壤中的易氧化性碳被土壤微生物分解,惰性碳也流失,易氧化性碳和非氧化性碳的含量均随着培养时间而下降。本试验结果可能是因为有机残渣进入土壤中,易氧化性碳增多,微生物活性提高,较多HA分子被分解,从而缩合度和氧化度均降低,结构变得简单化、年轻化。表层与亚表层呈现相同的变化规律,可能有多重原因:在挖沟和耕作的过程中,难免会将一些秸秆或亚表层土壤与表层土壤混合;表层植物的生长使表层根系量增加,土壤松软,微生物活性高,这些因素产生的效果相当于影响了表层;土壤中饱和与非饱和水动力带动着细小颗粒和养分运动<sup>[30]</sup>,使各土层之间的养分相互融合、相互影响,表层与亚表层在一定程度上形成一个共同变化的整体。

### 3.3 秸秆深还对土壤团聚体中HA脂族和芳香结构的影响

CK和DAS表层团聚体中HA的脂族碳/羧基碳和脂族碳/芳香碳普遍高于亚表层,其HA结构较简单和年轻。朱青藤等<sup>[31]</sup>认为有机物料施入后使得土壤脂族性增强,羧基量减少,芳香度降低,与本试验结果相似。表层经常受到根茎和落叶的影响,含有较多新形成的HA,羧基碳和芳香碳含量相对较低,脂族碳含量较高;而亚表层中有机物质多年积累,较多有机质处于腐解的再缩合过程,羧基碳和芳香碳含量相对较高,脂族碳含量较低,从而表层团聚体中HA的脂族碳/羧基碳和脂族碳/芳香碳普遍较亚表层高。

秸秆深还促使HA的羧基碳和芳香碳减少。这与于孝东等<sup>[9]</sup>研究结果相反:施用稻草后胡敏酸的氧化程度增强。赵光等<sup>[32]</sup>研究证明农作物秸秆中类胡敏酸木质素的腐殖化程度低于土壤胡敏酸。土壤腐殖化过程可分为2个阶段:一是微生物将有机残体分解并转化为较简单的有机化合物,二是脱水缩合反应和N取代C形成蛋白质类物质。本试验中可能是因为土壤中摄入大量有机物料,类胡敏酸木质素的羧基碳和芳香碳少于土壤HA,木质素和HA在分解和重新组合的过程中相互影响,则HA的羧基碳和芳香碳含量减少;同时新鲜的有机物料促

使微生物活性增加,土壤有机质较多处于分解阶段,新形成HA的羧基碳和芳香碳较少。

### 3.4 秸秆深还对土壤团聚体中HA热稳定性的影响

CK和DAS表层HA的热稳定性普遍低于亚表层,表层HA的结构较简单、年轻。Ornella等<sup>[33]</sup>按分子大小将HA分为3个组分,差热分析显示最小分子的高温失重最多,则羧基和芳香族化合物含量最多。本试验可能是因为表层含有较多新形成的HA,羧基和芳香族化合物含量较少,分子结构简单,从而表层中HA的热稳定性低于亚表层。

秸秆深还使HA的热稳定性普遍下降,与元素组成结果中HA缩合度和氧化度降低相一致。与仇建飞等<sup>[7]</sup>添加玉米秸秆使土壤中HA芳构化程度和热稳定性降低基本一致,说明HA向着简单、年轻化方向发展。本试验可能是由于施入大量秸秆,秸秆中类胡敏酸木质素的羧基和芳香族化合物含量较低,热稳定性较低,使土壤HA向热稳定性降低方向发展;同时微生物活性增加,有机质被分解,分子结构变得简单,从而热稳定性下降。

## 4 结 论

黑土团聚体中的优势粒级为2~0.25 mm粒级,优势粒级的团聚体含量表层较亚表层低,有机碳含量表层较亚表层高,秸秆深还(DAS)有利于优势粒级团聚体的形成,促使优势粒级团聚体中有机碳增多。与亚表层相比,表层各粒级团聚体HA的缩合度、氧化度和热稳定性普遍较低,脂族碳/羧基碳和脂族碳/芳香碳较高,结构更简单、年轻。DAS促使土壤表层和亚表层各粒级团聚体中HA的缩合度、氧化度和热稳定性下降,结构简单化、年轻化,其中表层缩合度降低的更明显,亚表层氧化度和热稳定性降低的更明显。

## 参 考 文 献

- [1] 王亚静,毕于运,高春雨.中国秸秆资源理论可收集利用量估算方法简析//2014中国(国际)生物质能源与生物质利用高峰论坛(BBS 2014)技术文摘集.上海:勤哲文化传播(上海)有限公司,2014: 7. Wang Y J, Bi Y Y, Gao C Y. Analysis of estimating method about theoretical collectable and utilizable amounts of China's straw resources//Technology abstract set of China (international) biomass energy and biomass utilization summit forum in 2014 (BBS

- 2014) (In Chinese). Shanghai: Qinzhe Cultural Transmission (Shanghai) Limited Company, 2014: 7
- [ 2 ] 田慎重, 宁堂原, 王瑜, 等. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响. 应用生态学报, 2010, 21 (2): 373—378. Tian S Z, Ning T Y, Wang Y, et al. Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21 (2): 373—378
- [ 3 ] 郑立臣, 解宏图, 张威, 等. 秸秆不同还田方式对土壤中溶解性有机碳的影响. 生态环境, 2006, 15 (1): 80—83. Zheng L C, Xie H T, Zhang W, et al. Effects of different ways of returning straw to the soils on soluble organic carbon (In Chinese). Ecology and Environment, 2006, 15 (1): 80—83
- [ 4 ] 刘定辉, 蒲波, 陈尚洪, 等. 秸秆还田循环利用对土壤碳库的影响研究. 西南农业学报, 2008, 21 (5): 1316—1319. Liu D H, Pu B, Chen S H, et al. Effect of crop straw returning to paddy soil on soil carbon pool in Sichuan basin (In Chinese). Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21 (5): 1316—1319
- [ 5 ] 钟杭, 朱海平, 黄锦法. 稻麦秸秆全量还田对作物产量和土壤的影响. 浙江农业学报, 2002, 14 (6): 344—347. Zhong H, Zhu H P, Huang J F. Effects of total wheat and rice straw application on the crop yield and the soil properties (In Chinese). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2002, 14 (6): 344—347
- [ 6 ] Roper M M, Ward P R, Keulen A F, et al. Under no-tillage and stubble retention, soil water content and crop growth are poorly related to soil water repellency. Soil & Tillage Research, 2013, 126: 143—150
- [ 7 ] 仇建飞, 窦森, 邵晨, 等. 添加玉米秸秆培养对土壤团聚体胡敏酸数量和结构特征的影响. 土壤学报, 2011, 48 (4): 781—787. Qiu J F, Dou S, Shao C, et al. Effects of corn stalk application on quantity and structural characteristics of humic acid in soil aggregates (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48 (4): 781—787
- [ 8 ] 赵楠, 吕贻忠. 不同施肥处理对潮土胡敏酸结构特性的影响. 光谱学与光谱分析, 2012, 32 (7): 1856—1859. Zhao N, Lü Y Z. Effects of different fertilization treatments on soil humic acid structure characteristics (In Chinese). Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32 (7): 1856—1859
- [ 9 ] 于孝东, 唐晓红, 吕家格, 等. 稻草腐解过程中形成胡敏酸的组成和结构研究. 水土保持学报, 2011, 25 (1): 224—228. Yu X D, Tang X H, Lü J K, et al. Chemical composition and structure of humic acids from decomposed paddy straw residue (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25 (1): 224—228
- [ 10 ] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 稻田秸秆还田: 土壤固碳与甲烷增排. 应用生态学报, 2010, 21 (1): 99—108. Lu F, Wang X K, Hang B, et al. Straw return to rice paddy: Soil carbon sequestration and increased methane emission (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21 (1): 99—108
- [ 11 ] Hou P, Li G, Wang S, et al. Methane emissions from rice fields under continuous straw return in the middle-lower reaches of the Yangtze River. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25 (9): 1874—1881
- [ 12 ] 史然, 陈晓娟, 沈建林, 等. 稻田秸秆还田的土壤增碳及温室气体排放效应和机理研究进展. 土壤, 2013, 45 (2): 1193—1198. Shi R, Chen X J, Shen J L, et al. A review on application of rice straw in soil carbon sequestration and greenhouse gases emission in paddy ecosystems (In Chinese). Soils, 2013, 45 (2): 1193—1198
- [ 13 ] 张帅, 孔德刚, 常晓慧, 等. 秸秆深施对土壤蓄水能力的影响. 东北农业大学学报, 2010, 41 (6): 127—129. Zhang S, Kong D G, Chang X H, et al. Effect of straw deep application on soil water storage capacity (In Chinese). Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41 (6): 127—129
- [ 14 ] 万运帆, 李玉娥, 高清竹, 等. 田间管理对华北平原冬小麦产量土壤碳及温室气体排放的影响. 农业环境科学学报, 2009, 28 (12): 2495—2500. Wan Y F, Li Y E, Gao Q Z, et al. Field managements affect yield, soil carbon, and greenhouse gases emission of winter wheat in North China Plain (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28 (12): 2495—2500
- [ 15 ] 萨如拉, 高聚林, 于晓芳, 等. 玉米秸秆深翻还田对土壤有益微生物和土壤酶活性的影响. 干旱区资源与环境, 2014, 28 (7): 138—143. Sa R L, Gao J L, Yu X F, et al. Effect of straw deep incorporation on soil beneficial microorganism and soil enzyme activities (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28 (7): 138—143
- [ 16 ] 崔婷婷, 窦森, 杨轶因, 等. 秸秆深还对土壤腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响. 土壤学报, 2014, 51 (4): 718—725. Cui T T, Dou S, Yang Y N, et al. Effect of deep applied corn stalks on composition of soil humus and structure of humic acid (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (4): 718—725
- [ 17 ] Cambardella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native

- grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57 (4): 1071—1076
- [ 18 ] 肖彦春, 窦森. 土壤腐殖质各组分红外光谱研究. *分析化学*, 2007, 35 (11): 1596—1600. Xiao Y C, Dou S. Study on infrared spectra of soil humus fractions (In Chinese). *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2007, 35 (11): 1596—1600
- [ 19 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [ 20 ] 窦森. 土壤有机质. 北京: 科学出版社, 2010. Dou S. Soil organic matter (In Chinese). Beijing: Science Press, 2010
- [ 21 ] 陈丽珍. 亚表层培肥对土壤团聚体有机质特征的影响. 长春: 吉林农业大学, 2013. Chen L Z. Effect of improving subsurface soil fertility on soil organic matter characteristics of aggregates (In Chinese). Changchun: Jilin Agricultural University, 2013
- [ 22 ] Manna M C, Swarup A, Wanjari R H. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil & Tillage Research*, 2007, 94 (2): 397—409
- [ 23 ] 周振方, 胡雅杰, 马灿, 等. 长期传统耕作对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响. *干旱地区农业研究*, 2012, 30 (6): 145—156. Zhou Z F, Hu Y J, Ma C, et al. Effects of long-term conventional cultivation on stability and distributions of organic carbon in soil aggregates (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30 (6): 145—156
- [ 24 ] 李辉信, 袁颖红, 黄如欠, 等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响. *土壤学报*, 2006, 43 (3): 422—429. Li H X, Yuan Y H, Huang Q R, et al. Effects of fertilization on soil organic carbon distribution in various aggregates of red paddy soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43 (3): 422—429
- [ 25 ] 陈欣, 史奕, 鲁彩艳, 等. 有机物料及无机氮对耕地黑土团聚体水稳性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9 (3): 284—287. Chen X, Shi Y, Lu C Y, et al. Effect of organic materials and inorganic N on water stability of aggregates in cultivated black soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9 (3): 284—287
- [ 26 ] 郝翔翔, 杨春葆, 苑亚茹, 等. 连续秸秆还田对黑土团聚体中有机碳含量及土壤肥力的影响. *中国农学通报*, 2013, 29 (35): 263—269. Hao X X, Yang C B, Yuan Y R, et al. Effects of continuous straw returning on organic carbon content in aggregates and fertility of black soil (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29 (35): 263—269
- [ 27 ] Cordula V, Doreen B, Geertje J P, et al. Establishment of macro-aggregates and organic matter turnover by microbial communities in long-term incubated artificial soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 79: 57—67
- [ 28 ] 王聪慧. 长期施肥对黑土腐殖质数量和性质的影响. 长春: 吉林农业大学, 2008. Wang C H. Effects of long-term fertilization on the composition and structural characteristics of black soil organic matter (In Chinese). Changchun: Jilin Agricultural University, 2008
- [ 29 ] Ingo L, Alexandra S H, Sonja B, et al. Aggregate dynamics and associated soil organic matter contents as influenced by prolonged arable cropping in the South African Highveld. *Geoderma*, 2011, 162 (3/4): 251—259
- [ 30 ] 程勤波, 陈喜, 赵玲玲, 等. 饱和与非饱和带土壤水动力耦合模拟及入渗试验. *河海大学学报: 自然科学版*, 2009, 37 (3): 284—289. Cheng Q B, Chen X, Zhao L L, et al. Dynamic coupled modeling and infiltration experiment on soil water in saturated and unsaturated zones (In Chinese). *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2009, 37 (3): 284—289
- [ 31 ] 朱青藤, 申连玉, 钱黎慧, 等. 有机物料对白土土壤胡敏酸结构特征的影响. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (2): 396—403. Zhu Q T, Shen L Y, Qian L H, et al. Effects of organic material application on the structures of humic acids in low yield paddy soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21 (2): 396—403
- [ 32 ] 赵光, 唐晓红, 吕家恪, 等. 紫色水稻土胡敏酸的形成——稻草腐解试验. *农业环境科学学报*, 2009, 28 (12): 2596—2602. Zhao G, Tang X H, Lü J K, et al. The formation of humic acids in purple paddy soil—Based on decomposition of rice straw (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28 (12): 2596—2602
- [ 33 ] Ornella F, Daniela M, Paola G, et al. Structural differences of Chernozem soil humic acids SEC-PAGE fractions revealed by thermal (TG-DTA) and spectroscopic (DRIFT) analyses. *Geoderma*, 2009, 152 (3/4): 264—268

## EFFECT OF DEEP APPLICATION OF STRAW ON COMPOSITION OF HUMIC ACID IN SOIL AGGREGATES

Zhu Shu Dou Sen<sup>†</sup> Chen Lizhen

(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract** Deep application of straw (DAS) refers to a technique of incorporating crushed corn stalk into the subsoil layer (20~40 cm). It may effectively improve straw utilization rate, reduce straw burning rate, extend the extent of soil building from previously topsoil down to subsoil, contribute to accumulation of organic matter in the subsoil layer, help solve problems like thinning of the plow layer, shallowing, thickening and hardening of the plow pen, and lacking organic matter, and achieve the ends of higher soil fertility, higher water holding capacity, and higher crop yield. There used to be quite a number of researches focused on effect of DAS on soil physical properties, and few on soil chemical properties, let alone its effect on humus composition in soil aggregates. This paper mainly studies changes in structure of humic acid (HA) in soil aggregates in the topsoil and subsoil layers caused by DAS, so as to provide some theoretical basis for solutions to how to improve soil fertility and build up a proper plow layer.

Soil samples were collected from an experimental mono-cropping corn field which had two plots, DAS and non DAS, in the Jilin Agricultural University. Four factions of soil aggregates, >2 mm, 2~0.25 mm, 0.25~0.053 mm and <0.053 mm were screened out of the samples separately, with the wet sieve method and HA extracted for analysis of element composition with infrared spectroscopy and differential thermal analysis. Comparison was performed to determine effects of DAS on HA composition. Results show that the black soil tested was dominated with the fraction of 2~0.25 mm soil aggregates; however, the content of the dominant fraction and the content of organic carbon in the topsoil was lower than their respective ones in the subsoil; DAS was conducive to formulation of soil aggregates of the dominant fraction and increased the organic carbon content in the soil aggregates. Compared with that in the subsoil, the HA in soil aggregates, regardless of fractions, in the topsoil was lower in condensation degree and oxidation degree and thermal stability, and higher in aliphatic-C/carboxylic-C (2 920/1 720) and aliphatic-C/aromatic-C (2 920/1 620) ratios. DAS was found to reduce condensation degree, oxidation degree and thermal stability of HA in all soil aggregates in the topsoil and subsoil layers, especially HA condensation degree in the topsoil. On the other hand, oxidation degree and thermal stability of the subsoil layer also decreased obviously. The HA in the topsoil was simpler in structure and younger than that in the subsoil layer. So, DAS may also promote accumulation of organic carbon in the soil and make HA simpler and younger in structure.

**Key words** Deep application of straw; Soil aggregate; Humic acid; Element composition; Infrared spectroscopy; Differential thermal analysis

(责任编辑: 卢 萍)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

A review of study on microbial ecology of nitrite-dependent anaerobic methane oxidation ..... Shen Lidong ( 721 )

**Soil Science and Modern Agriculture**

- Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Jiangxi Province in the past 30 years ..... Zhao Xiaomin, Shao Hua, Shi Qinghua, et al. ( 730 )
- Early warning of heavy metals potential risk governance in Beijing ..... Jiang Hongqun, Wang Binwu, Liu Xiaona, et al. ( 745 )
- Effect of deep application of straw on composition of humic acid in soil aggregates ..... Zhu Shu, Dou Sen, Chen Lizhen ( 758 )
- Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil ..... Yu Yingliang, Xue Lihong, Yang Linzhang, et al. ( 766 )
- Effects of water and fertilizer on fruit yield of high-yielding clonal *Camellia oleifera* Abel ..... Zhang Wenyuan, Guo Xiaomin, Tu Shuping, et al. ( 774 )

**Research Articles**

- VRML-based virtual reality modeling of three dimensional variation of soil electrical conductivity ..... Li Hongyi, Gu Chengjian, Dan Chenglong, et al. ( 781 )
- Effect of number of sampling sites on characterization of spatial variability of soil organic matter ..... Hai Nan, Zhao Yongcun, Tian Kang, et al. ( 790 )
- Research on soil water movement based on stable isotopes ..... Jin Yurong, Lu Kexin, Li Peng, et al. ( 800 )
- Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China ..... Wu Liangquan, Wu Liang, Cui Zhenling, et al. ( 816 )
- Effects of fertilization on soil organic carbon and distribution of SOC in aggregates in tidal flat polders ..... Hou Xiaojing, Yang Jingsong, Wang Xiangping, et al. ( 827 )
- Effect of long-term fertilizer application on distribution of aggregates and aggregate-associated organic carbon in paddy soil ..... Mao Xiali, Lu Kouping, He Lizhi, et al. ( 837 )
- Effects of biochar on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from paddy field under rice-wheat rotation during rice and wheat growing seasons relative to timing of amendment ..... Li Lu, Zhou Ziqiang, Pan Xiaojian, et al. ( 847 )
- Effects of successive application of crop-straw biochar on crop yield and soil properties in cambosols ..... Liu Yuan, M. Jamal Khan, Jin Haiyang, et al. ( 857 )
- Calculation of thickness of shear plane in diffuse double layer of constant charge soil colloid in single electrolyte system ..... Ding Wuqun, Zhu Qihong, Wang Lei, et al. ( 867 )
- Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site ..... Li Shiye, Cheng Jiemin ( 877 )
- Limiting factors for restoration of dumping sites of ionic rare earth mine tailings ..... Liu Wenshen, Liu Chang, Wang Zhiwei, et al. ( 887 )
- Residues of organochlorine pesticides in soils of Liaodong and Shandong Peninsulas ..... Zhu Yingyue, Liu Quanyong, Li He, et al. ( 900 )
- Long-term application of winter green manures changed the soil microbial biomass properties in red paddy soil ..... Gao Songjuan, Cao Weidong, Bai Jinshun, et al. ( 909 )
- Effects of intercropping with leguminous crops on tomato yield, soil nutrients and enzyme activity ..... Dai Huihui, Hu Xuefeng, Cao Mingyang, et al. ( 917 )

**Research Notes**

- Relationship of free amino acids in root exudates with wilt disease (*Fusarium oxysporum*) of faba bean ..... Dong yan, Dong Kun, Tang Li, et al. ( 924 )
- Effects of intercropping of wheat and faba bean on diversity of metabolic function of rhizosphere fungal community ..... Hu Guobin, Dong Kun, Dong Yan, et al. ( 933 )
- Evolvement of structure and abundance of soil nitrogen-fixing bacterial community in *Phyllostachys edulis* plantations with age of time ..... He Donghua, Shen Qiulan, Xu Qiufang, et al. ( 941 )
- Effect of long-term fertilization on carbon sequestration in lime concretion black soil relative to fertilization pattern ..... Li Wei, Kong Lingcong, Zhang Cunling, et al. ( 949 )
- Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of <sup>15</sup>N in apple orchard ..... Peng Ling, Wen Zhao, An Xin, et al. ( 955 )

**Cover Picture:** Full view of ionic rare earth mine desert (by Tang Yetao, Liu Wenshen)

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 4 July, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

