

# 秸秆还田条件下内陆盐碱土腐殖质的动态变化

李学平<sup>1</sup>, 任加云<sup>1</sup>, 刘兆辉<sup>2</sup>, 董晓霞<sup>2</sup>

(1. 滨州学院 城市与环境系, 山东 滨州 256600; 2. 山东省农科院 土壤肥料研究所, 山东 济南 250100)

**摘要:** 采用室内培养试验的方法, 研究了秸秆加入条件下内陆盐碱土的腐殖质及其组分(胡敏酸、富里酸)的动态变化。结果表明, 在秸秆腐解过程中, 盐碱土腐殖质、富里酸、胡敏酸含量均呈现持续上升趋势, 分别平均增加了 112.5%、269.54% 和 92.9%; 富里酸的含量明显高于胡敏酸的含量, 是胡敏酸含量的约 3~10 倍。土壤的 HA/FA(腐殖酸/富里酸)呈现出先增长后降低的趋势, 并且在 90 d 时达到平均最高值(0.283)。尿素添加量 7.2 g 的处理土壤腐殖质含量在 0.19%~0.38%, 该处理秸秆分解的速率最快。土壤腐殖质和富里酸随着尿素含量梯度的增加呈现先上升, 后下降, 再上升的趋势, 且分别平均增加了 46.7% 和 55.3%; 胡敏酸的变化趋势与腐殖质相反, 平均减少了 14.3%; HA/FA 呈下降趋势, 但下降趋势不明显。

**关键词:** 盐碱土; 腐殖质; 胡敏酸; 富里酸

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0121-04

中图分类号: S153.6<sup>+</sup>22

## Dynamic Changes of Humus in Inland Saline-alkali Soil in Field with Post-harvest Crops Returning

LI Xue-ping<sup>1</sup>, REN Jia-yun<sup>1</sup>, LIU Zhao-hui<sup>2</sup>, DONG Xiao-xia<sup>2</sup>

(1. Department of Urban and Environment, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256600, China;

2. Institute of Soil and Fertilizer, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan, Shandong 250100, China)

**Abstract:** This paper studied the dynamics changes of soil humus and its composition [humic acid (FA) and fulvic acid (FC)] in the field with post-harvest crops returning. The results showed that humus, fulvic acid and humic acid contents in the saline-alkali soil increased by 112.5%, 269.54% and 92.9% respectively after the decomposition of the straws. The content of fulvic acid was 3~10 times of humic acid. HA/FA of saline-alkali increased at first and then decreased with the highest value of 0.283 on the 90th day. Humus content was between 0.19% and 0.38% with the fastest straw decomposition treatment of adding 7.2 g urea. The content of humus and fulvic acid increased at the beginning, then decreased and increased at the end with increase of urea addition. The humus content increased 46.7% while the fulvic acid increased 55.3% and humic acid was quite opposite and decreased by 14.3% on average. HA/FA decreased but was not obvious.

**Keywords:** saline-alkali soil; humus; humic acid; fulvic acid

土壤有机质是影响土壤肥力和作物产量高低的决定性因子, 被认为是土壤质量和功能的核心<sup>[1]</sup>, 是影响土壤可持续利用最重要的物质基础。对粮食生产来说, 作物秸秆正逐渐取代传统有机肥成为重要的有机肥源, 秸秆还田成为增加土壤有机质, 提高土壤肥力的重要途径之一<sup>[2-4]</sup>。在集约化生产条件下, 单位面积的土壤上就会产生较多的作物秸秆, 秸秆还田后的腐解特征是秸秆还田能否发挥重要作用的关键<sup>[5]</sup>。而腐殖质(HS)为有机质的主要组成部分, 是

有机物质经过微生物分解和再合成的一类组成和结构都很复杂的天然高分子物质, 具有重要的肥力和环境调节功能<sup>[6]</sup>。土壤腐殖物质作为土壤有机质的主体, 其研究一直受到各国学者的普遍重视<sup>[7-10]</sup>。腐殖质主要包括腐殖酸(HA)和富里酸(FA), 二者的结构不均一, 且其组成因环境条件的变化而改变<sup>[11-13]</sup>。秸秆还田后土壤腐殖质及组分对鲁北低平原内陆盐碱地土壤质量的影响鲜有报道。本研究采集内陆盐碱地土壤, 通过室内培养试验, 研究秸秆加入情况下, 盐

收稿日期: 2011-11-26

修回日期: 2013-04-27

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目“鲁北低平原内陆盐碱障碍耕地农业高效利用技术模式研究与示范”(200903001-7-3); 滨州学院博士科研启动基金项目“农田土壤磷素环境风险评价研究”(2008Y008); 服务滨州项目(BZXYFB20110510)

作者简介: 李学平(1978—), 女(汉族), 山东省临沂市人, 副教授, 主要从事盐碱地改良与利用研究。E-mail: lixueping2008@163.com。

碱土中腐殖质的组成及动态变化, 以期为内陆盐碱地土壤腐殖质的研究提供基础依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土样

土壤样品采自典型的盐碱地土壤。鲁北低平原内陆盐碱地典型区域农田位于东经  $117^{\circ}47' - 118^{\circ}09'$ , 北纬  $37^{\circ}13' - 37^{\circ}36'$ , 面积  $80.81 \text{ km}^2$ , 土壤盐分主要以氯化物为主, 土壤表层盐分在  $0.4\% \sim 1.8\%$  范围内变化。2010 年 10 月玉米收获后采集耕作层土壤, 采样深度为  $0 - 20 \text{ cm}$ 。将采集后的土壤风干, 剔除石块和玉米根系后贮存备用。供试土壤基本理化性质为: 土壤容重为  $1.22 \text{ g/cm}^3$ , pH 值为  $7.5 \sim 9.0$ , 有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为  $14.5, 40.23, 11.20, 70.15 \text{ mg/kg}$ 。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 2010 年作物收获后采集玉米秸秆, 将收集到的秸秆剪成  $4 \sim 6 \text{ cm}$ , 在恒温干燥箱中 ( $50 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ) 烘干, 用粉碎机粉碎后, 通过  $0.5 \text{ mm}$  孔径筛, 贮存备用。

将秸秆粉碎与土壤混匀, 加蒸馏水至田间持水量的  $60\%$ , 装入用可透气塑料薄膜封口的塑料杯中, 在  $25^{\circ}\text{C}$  下进行培养, 共 5 个处理, 各设 3 次重复。其中秸秆施入量按照全部秸秆还田量进行计算, 土壤  $150 \text{ g}$ , 秸秆  $30 \text{ g}$ , 尿素添加量占总质量之比为  $0, 1\%, 2\%, 3\%$  和  $4\%$ , 即  $0, 1.8, 3.6, 5.4$  和  $7.2 \text{ g}$ 。培养期间定期补充塑料杯中损失的水分, 分别在  $30, 60, 90$  和  $120 \text{ d}$  时进行取样。玉米秸秆含有机碳  $432.3 \text{ g/kg}$ , 全 N  $4.8 \text{ g/kg}$ , 全 P (以  $\text{P}_2\text{O}_5$  计)  $7.6 \text{ g/kg}$ , 全 K (以  $\text{K}_2\text{O}$  计)  $4.2 \text{ g/kg}$ , C/N 为  $90.0$ 。

1.2.2 土壤样品测定方法 土壤腐殖质采用重铬酸钾容量法<sup>[14]</sup>, HA, FA 的提取和分离参照 Kumada 等<sup>[15]</sup>的方法。在  $(70 \pm 20)^{\circ}\text{C}$  恒温振荡条件下, 用  $0.1 \text{ mol/L NaOH} + 0.1 \text{ mol/L Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  提取  $1 \text{ h}$ , 碱提取液用酸 ( $2 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$ ) 沉淀法分离 HA 和 FA。但在提取 HA 和 FA 前预先除去样品中的水溶性物质<sup>[16]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 盐碱土土壤腐殖质随时间的动态变化

腐殖质是土壤有机质的主要组成部分, 其体现了土壤的肥力特征和土壤环境的调节功能。研究结果表明, 同一养分梯度下随着时间推移土壤中的腐殖质含量均呈现出上升趋势(图 1)。可见, 随着时间的推移, 加入的秸秆在微生物作用不断分解生成腐殖质,

且其分解速率呈上升趋势。尤其是培养  $60 \text{ d}$  以后秸秆被分解的速率加快, 生成的腐殖质含量明显上升, 其中分解到  $90 \text{ d}$  时是  $60 \text{ d}$  的  $1.1 \sim 1.4$  倍,  $120 \text{ d}$  时是  $60 \text{ d}$  的  $1.5 \sim 2.1$  倍。可以推测, 在秸秆还田的情况下, 如果种植生长周期较短的作物玉米, 那么在玉米生长后期秸秆还田才表现出较好的肥效, 而在生长  $90 \text{ d}$  内对玉米生长发挥的肥效较小。也表明了秸秆还田  $90 \text{ d}$  后秸秆腐殖化程度较高, 土壤质量从而得到了明显改善。

加入的尿素量不同, 秸秆的分解速率也有所不同。其中未加尿素的秸秆分解速率最慢, 随着尿素含量的增加, 秸秆的分解速率也呈上升趋势。秸秆经过  $120 \text{ d}$  的腐解, 尿素添加量为  $0, 1.8, 3.6, 5.4$  和  $7.2 \text{ g}$  的土壤腐殖质分别增加了  $133.3\%, 69.2\%, 120\%, 140\%$  和  $100\%$ 。其中尿素添加量  $5.4 \text{ g}$  的处理, 在培养  $60 \text{ d}$  内秸秆的分解速率比较平稳, 之后分解速率加快, 到  $120 \text{ d}$  时土壤腐殖质含量高达  $0.38\%$ ; 尿素  $3.6 \text{ g}$  的处理分解速率也较快, 土壤腐殖质含量呈直线上升的趋势, 到  $120 \text{ d}$  时土壤腐殖质含量为  $0.35\%$ 。总体来说, 尿素添加量  $7.2 \text{ g}$  的处理土壤腐殖质含量在  $0.19\% \sim 0.38\%$ , 秸秆分解的速率最快。可见, 在一定程度上增加尿素的用量可加快秸秆的分解, 这也许是因为土壤 C/N 比被调节在  $20 \sim 30:1$  之间有关, 具体原因需要做进一步研究。

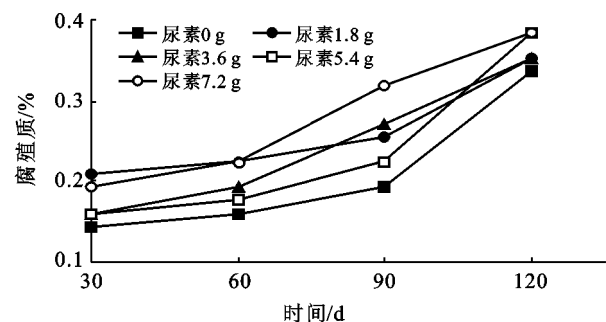


图 1 秸秆培养不同时期土壤腐殖质的动态变化

### 2.2 盐碱土土壤胡敏酸随时间的动态变化

随着培养时间的延续各处理土壤胡敏酸含量均呈现上升趋势(图 2)。未添加尿素时, 不同时期胡敏酸的增加幅度分别为  $33.3\%, 78.1\%$  和  $28.1\%$ ; 添加尿素  $1.8 \text{ g}$  时, 不同时期胡敏酸的增加幅度分别为  $50\%, 104.2\%$  和  $49\%$ ; 在添加尿素  $3.6 \text{ g}$  时, 胡敏酸的增加幅度分别为  $40\%, 89.3\%$  和  $45.3\%$ ; 在添加尿素  $5.4 \text{ g}$  时, 胡敏酸的增加幅度分别为  $33.3\%, 65.6\%$  和  $52.8\%$ ; 在添加尿素  $7.2 \text{ g}$  时, 胡敏酸的增加幅度分别为  $40\%, 46.4\%$  和  $44.4\%$ , 可见, 增加尿素的比例会加速胡敏酸的产生, 其中添加尿素  $3.6 \text{ g}$

土壤中胡敏酸产生的最快最多,之后随着尿素的增加胡敏酸产生速率逐渐下降,说明继续增加尿素含量会抑制胡敏酸的产生。在整个培养期间,土壤胡敏酸各处理分别增加了 204.2%,356%,285%,237.5%和 265%,可见尿素的添加极大增加了土壤胡敏酸的含量。从整个时期来看,秸秆腐解生成胡敏酸的速率呈现出上升的趋势,且增幅明显,说明随着培养时间的延长,胡敏酸的生成速率也加快。

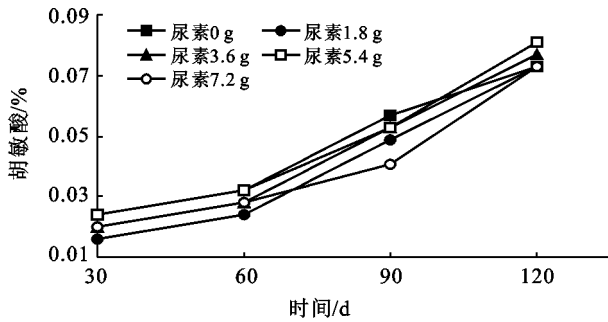


图 2 秸秆培养不同时期土壤胡敏酸的动态变化

### 2.3 盐碱土土壤富里酸随时间的动态变化

富里酸是一种天然有机高分子化合物,是土壤腐殖质的主要组成成分之一。结果表明,不同时期同一养分梯度的土壤中的富里酸含量均呈现出上升的趋势(图 3)。在整个秸秆腐解时期,胡敏酸的含量变化范围在 0.01%~0.09%(图 2),富里酸的含量变化范围在 0.1%~0.3%,与胡敏酸的产生相比,富里酸的含量明显要高于胡敏酸的含量,是胡敏酸的 3~10 倍。在整个培养期,土壤富里酸分别增加了 119.2%,45.3%,96.4%,122.8%和 80.8%,而在秸秆腐解的 60 d 内富里酸含量几乎没有变化,说明本阶段秸秆腐解很慢;但是在秸秆分解后期 90 d 之后富里酸含量大幅度增加,说明这段时期秸秆腐解的速率加快,释放出大量的富里酸,并且富里酸的含量随着尿素含量的增加也呈增加趋势,表明尿素含量影响了秸秆腐熟的程度。

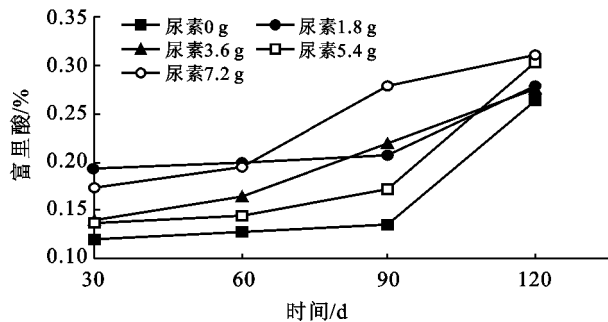


图 3 秸秆培养不同时期土壤富里酸的动态变化

### 2.4 盐碱土土壤 HA/FA 的动态变化

胡敏酸与富里酸两者比值(HA/FA)在一定程度上可反映土壤腐殖化程度的高低,用来表征腐殖质组成的变化。本研究表明,不同时期同一养分梯度的土壤中的 HA/FA 均呈现出先上升后降低的趋势(图 4)。在秸秆培养 90 d 时 HA/FA 的比值达到最大,达到平均最高值 0.283,说明此时土壤腐殖化程度最高,也表明秸秆经过 90 d 的培养土壤肥力有了较大提高。在培养 90 d 时土壤的 HA/FA 分别增加了 106.9%,176.5%,65.5%,72.1%和 78.0%,可见,随着尿素添加量的增加 HA/FA 的增加幅度。

土壤的胡富比 HA/FA 平均值变化范围为 0.118~0.420,说明不管在不同时期还是在不同尿素梯度下,土壤腐殖质各组分有机碳含量为:FA>HA。其中未使用尿素的处理 HA/FA 比值在整个培养期间最高,尿素 7.2 g 处理土壤的 HA/FA 比值远低于未使用尿素的处理,是尿素 0 g 处理的 1.18~2.00 倍,说明秸秆腐解过程中添加尿素可以调节土壤的 HA/FA,有利于秸秆的腐解。

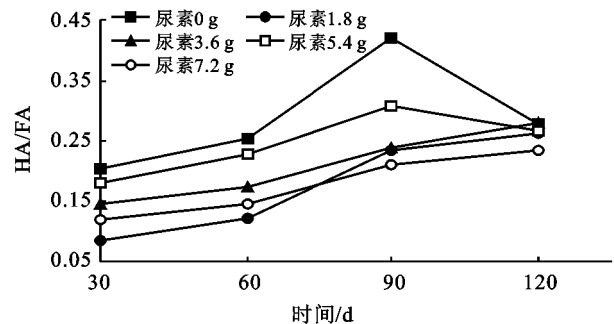


图 4 秸秆培养不同时期 HA/FA 的动态变化

## 3 结论

(1) 在秸秆腐解过程中,内陆盐碱土腐殖质、富里酸、胡敏酸随着培养时间的延长均呈现持续上升的趋势。秸秆经过 120 d 的腐解,尿素添加量为 0,1.8,3.6,5.4 和 7.2 g 的土壤腐殖质分别增加了 133.3%,69.2%,120%,140%和 100%。尿素添加量 7.2 g 的处理土壤腐殖质含量在 0.19%~0.38%之间,秸秆分解的速率最快。

(2) 整个秸秆培养期,土壤胡敏酸含量随着尿素添加量的增加分别增加了 204.2%,356%,285%,237.5%和 265%,从整个时期来看,秸秆腐解生成胡敏酸的速率呈现出上升的趋势,且增幅明显,说明随着培养时间的延长,胡敏酸的生成速率也加快。

(3) 在秸秆培养期间,土壤富里酸含量随着尿素添加量的增加分别增加了 119.2%,45.3%,96.4%,

122.8%和 80.8%。而在秸秆腐解的 60 d 内土壤富里酸含量几乎没有变化,但是在秸秆分解后期 90 d 之后富里酸含量大幅度增加。

(4) 土壤的 HA/FA 呈现出先增长后降低的趋势,在 90 d 时达到平均最高值 0.283。经过 120 d 的腐解,尿素添加量为 0, 1.8, 3.6, 5.4, 7.2 g 的土壤 HA/FA 比分别增加了 36.5%, 208.2%, 93.1%, 49.7%和 99.2%,说明尿素的添加在一定程度上促进了土壤的腐殖化程度。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王立刚,邱建军,马永良,等.应用 DNDC 模型分析施肥与翻耕方式对土壤有机碳含量的长期影响[J].中国农业大学学报,2004,9(6):15-19.
- [2] 吴婕,朱钟麟,郑家国,等.秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J].西南农业学报,2006,19(2):291-591.
- [3] 陈兰,唐晓红,魏朝富.土壤腐殖质结构的光谱学研究进展[J].中国农学通报,2007,23(8):233-239.
- [4] 钱成,彭岳林,贾钧彦,等.青藏高原退化土壤的生物学肥力及其变化特征[J].应用生态学报,2006,17(7):1185-1190.
- [5] 于淑芳,杨力,张玉兰,等.长期施肥对土壤腐殖质组成的影响[J].土壤通报,2002,33(3):165-167.
- [6] 张晋京,窦森,李翠兰,等.土壤腐殖质分组研究[J].土壤通报,2004,35(6):106-109.
- [7] 肖彦春,窦森.土壤腐殖质各组分红外光谱研究[J].分析化学,2007,35(11):159-160.
- [8] 刘建新,王鑫,杨建霞.覆草对果园土壤腐殖质组成和生物学特性的影响[J].水土保持学报,2005,19(4):93-95.
- [9] 闫娥,孙文凤.土壤腐殖质的分析化学研究现状[J].青海大学学报:自然科学版,2000,18(5):17-18.
- [10] 王英.不同状态有机物料对土壤腐殖质及作物产量的影响[J].土壤通报,2002,33(2):156-157.
- [11] Mac C P. The principles of humic substances[J]. Soil Science, 2001, 166(11):738-751.
- [12] 吴龙华,高子勤.腐殖质对白浆土中 Fe, Mn, Al 形态转化及磷生物有效性的影响[J].土壤学报,2001,38(1):81-88.
- [13] 窦森,于水强,张晋京.不同 CO<sub>2</sub> 浓度对玉米秸秆分解期间土壤腐殖质形成的影响[J].土壤学报,2007,44(3):458-466.
- [14] 文启孝.土壤有机质研究法[M].北京:农业出版社,1984.
- [15] Kumada K, Sato O, Ohsumi Y, et al. Humus composition of maintain soil in central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1967,13(2):1512-1581.
- [16] 张晋京,窦森,江源,等.玉米秸秆分解期间土壤中有机碳数量的动态变化研究[J].吉林农业大学学报,2000,22(3):672-721.
- [5] 刘勇,刘友兆,徐萍.区域土地资源生态安全评价[J].资源科学,2004,26(3):69-75.
- [6] 河北年鉴编委会.河北年鉴[M].河北石家庄:河北年鉴出版社,2004.
- [7] 李玉平,张义文.邢台市土地生态环境保护与整治[J].邢台学院学报,2005,20(4):98-103.
- [8] 汤洁,朱云峰,李昭阳,等.东北农牧交错带土地生态环境安全指标体系的建立与综合评价[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):119-124.
- [9] 张建新,邢旭东,刘小娥.湖南土地资源可持续利用的生态安全评价[J].湖南地质,2002,21(2):119-121.
- [10] 黄辉玲.土地资源安全评价的指标体系及其利用[J].农机化研究,2006(1):55-56.
- [11] 河北省人民政府.河北经济年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001.
- [12] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011.
- [13] 蔡运龙,傅泽强,戴尔阜.区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J].地理学报,2002,57(2):127-134.
- [14] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:224-250.
- [15] 许联芳,王克林,李晓青,等.农业可持续发展的生态安全评价初探[J].水土保持通报,2006,26(5):102-107.
- [16] 韩延玲,高志刚.新疆区域投资环境的组合评价研究[J].干旱区资源与环境 2007,21(1):103-108.
- [17] 田克明,王国强.我国农用地生态安全评价及其方法探讨[J].地域研究与开发,2005,24(4):79-82.
- [18] 吕建树,吴泉源,张祖陆等.基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J].地理科学,2012,32(8):928-935.
- [19] 陈晓霞.论我国土地的生态化管理[J].汽车工业研究,2004(6):42-43.
- [20] 李静,李子君,吕建树.聊城市土地生态安全评价[J].水土保持通报,2011,31(2):198-202.

(上接第 120 页)