

黑土长期定位试验原状土搬迁对土壤腐殖质组 分数量及光学特性的影响

张久明¹, 迟凤琴¹, 周宝库¹, 匡恩俊¹, 宿庆瑞¹, 张佳春²

(1. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 沈阳军区空军长春指挥所 农副业基地, 黑龙江 克山 161607)

摘要:在黑土长期定位试验原状土搬迁的基础上,研究了土壤搬迁对黑土不同处理腐殖质组成及光学特性的影响。结果表明:搬迁前后定位试验各处理的土壤有机碳含量呈现动态变化,但变化趋势为0~20 cm土层的有机碳含量高于20~40 cm土层的碳含量,各处理间以MNPK含量最高,并随着搬迁年限增加土壤有机碳呈现增加趋势。胡敏酸碳含量和富里酸碳含量在土层0~20 cm和20~40 cm呈现动态变化中,但整体趋势2013年较2010年略有下降;胡敏素碳含量呈增加趋势。胡敏酸的 $\Delta \log K$ 值、 E_4/E_6 值在搬迁后没有明显的变化规律。富里酸分子0~20 cm土层各试验处理FA- E_4/E_6 和FA- $\Delta \log K$ 变化相一致,大小顺序依次是MNPK>M>NPK>CK。随着耕作、施肥年限的增加,富里酸分子都向着芳构化、复杂化的方向转化,利于胡敏酸的形成。土壤腐殖质组分数量和有机碳含量变化与当季种植的作物和施肥变化密切相关,所以黑土长期定位试验的各处理有机碳动态变化进一步验证了搬迁对各处理没有产生客观影响。

关键词:土壤搬迁;黑土;长期定位施肥;腐殖质组成;光学性质

中图分类号:S153.622 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2015)08-0035-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.08.0035

土壤长期定位施肥试验能够系统地阐释土壤肥力的演变规律,全面评价施肥效应、科学提供施肥依据,因而一直是研究土壤学科最基本、最有效的方法。自1843年英国洛桑试验站(Rothamsted station)首次开展试验以来,长期定位试验已有近170年的历史。我国从20世纪80年代初开始在全国典型农业区建立了100多个土壤肥料长期定位试验,但由于种种原因,保存下来的只有30多个,这些长期定位试验大多超过了30 a,是极其珍贵的资源,取得了大量科研成果^[1-2]。由于初期试验设计的局限性,特别是随着我国城市化进程的加快,一些试验地面临被毁或搬迁的局面。国内外都有长期定位试验土壤搬迁的先例。为了保护长期定位试验资源,黑土长期定位试验进行

了冻土搬迁。目前对长期定位试验土壤搬迁后土壤腐殖质变化的研究鲜见报道。

土壤腐殖质是土壤的重要组成部分,对土壤的物理、化学和生物学性质以及土壤肥力有着极为重要的影响,因此一直是国内外学者研究的热点。本文通过对黑土长期定位试验搬迁前后土壤中腐殖质组成及光谱学性质变化规律的研究,为黑土长期定位土壤搬迁前后的数据衔接提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

农业部黑龙江耕地保育与农业环境科学观测试验站始建于1979年,土壤类型为黑土,是东北黑土区坚持时间最长的肥料长期定位监测试验。由于城市扩展的规划,试验站面临搬迁的局面。因此,本试验在保证最大程度保持土壤原貌和原结构不被破坏的情况下,采用原状土冻土整体搬迁方法,于2010年12月18日至2011年3月15日成功实现了原状土冻土整体搬迁。搬迁新址为哈尔滨市民主乡,与原试验地直线距离40 km,其气候条件、成土母质、地下水位、土壤理化性质与原址基本一致。

1.2 材料

供试土壤分别于搬迁前的2010年、搬迁后的

收稿日期:2015-03-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41171244);黑龙江省自然科学基金资助项目(ZD201113);黑龙江省青年基金资助项目(QC2014C042);国家科技支撑计划资助项目(2013BAD07B01);国家国际科技合作专项资助项目(2014DFA31820);公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303126)

第一作者简介:张久明(1980-),男,黑龙江省绥滨县人,在读博士,助理研究员,从事土壤肥力和3S应用方面研究。E-mail:zjm_8049@163.com。

通讯作者:迟凤琴(1963-),女,研究员,从事土壤肥力方面研究。E-mail:fqchi2013@163.com。

2013 年收获后进行了土壤的样品采集。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验设 4 个典型处理,分别为 CK(对照不施肥处理)、M(施用有机肥马粪处理)、NPK(施用化肥氮磷钾处理)、MNPK(有机肥马粪与无机肥氮磷钾混合施用处理)。分别于搬迁前的 2010 年、搬迁后的 2013 年收获后进行了土壤的样品采集,取样深度为 0~20 cm 和 20~40 cm。小区面积为 36 m²,每个处理 3 次重复。供试土壤基本理化性质及施肥量见表 1 和表 2。

表 2 供试土壤基本性质

Table 2 Basic properties of the tested black soils

施肥处理 Fertilization treatments	有机质/ (g·kg ⁻¹) OM	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total N	全磷/ (g·kg ⁻¹) Total P	全钾/ (g·kg ⁻¹) Total K	速效氮/ (mg·kg ⁻¹) Avail. N	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Avai. P ₂ O ₅	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Avail. K ₂ O	pH
CK	26.62	1.39	0.94	21.75	103.56	14.49	155.75	6.9
NPK	28.96	1.52	1.50	19.40	116.41	57.18	205.03	6.5
M	29.14	1.49	1.19	18.22	119.63	17.22	167.64	7.2
MNPK	30.48	1.60	1.42	20.11	114.85	66.78	213.77	7.0

1.3.2 测定项目与方法 ①不同组分腐殖质的分离制备。风干土样在分离出水溶性有机碳后,采用 0.1 mol·L⁻¹ 的 NaOH+Na₄P₂O₄ 溶液提取土壤中可提取腐殖质(HE),将剩余胡敏素(HM)残渣清洗烘干备用。可提取腐殖质使用 6 mol·L⁻¹ HCl 调节 pH 分离出胡敏酸(HA)及富里酸(FA)组分。固体有机碳及提取液中有机碳采用 TOC 分析仪测定,其中胡敏酸含碳量采用差减法计算:HA 碳含量=HE 碳含量-FA 碳含量。②腐殖质光学性质的测定。各组分调节碳浓度至 136 mg·L⁻¹,利用 T6 紫外分光光度计测定 400、465、600 和 665 nm 处的吸光值,并计算△logK 值、E₄/E₆ 值。

△log K 值计算方法:

△log K=log K₄₀₀-log K₆₀₀

E₄/E₆ 计算方法:

E₄/E₆=K₄₆₅/K₆₆₅

式中:K₄₀₀、K₄₆₅、K₆₀₀、K₆₆₅ 分别为在波长 400、465、600 和 665 nm 处的吸光值。

1.3.3 数据分析 数据的计算与处理采用 Microsoft Excel 2003 软件和 SPSS 分析软件。

2 结果与分析

2.1 土壤搬迁后黑土腐殖质组成的变化

由图 1 可以看出,搬迁前后定位试验各处理

表 1 不同处理施肥用量(1979-2014)

Table 1 The fertilization amount for long period fixed test

作物 Crop	N/ (kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)	K ₂ O/ (kg·hm ⁻²)	M(有机肥)/ (t·hm ⁻²)
小麦	150	75	75	
大豆	75	150	75	
玉米	150	75	75	18.75

的土壤有机碳含量呈现动态变化,但变化趋势趋于平稳。土壤搬迁前 2010 年有机碳含量在 11.79~16.20 g·kg⁻¹,0~20 cm 土层的有机碳含量高于 20~40 cm 土层的碳含量,各处理间以 MNPK 含量最高;搬迁后 2013 年各试验处理土壤有机碳含量呈现与搬迁前同样变化趋势,搬迁后 2013 年土壤有机碳含量在 11.68~15.07 g·kg⁻¹。通过搬迁前后各处理土壤有机碳的含量表明:各处理有机碳总体含量和趋势相一致,有机碳含量的高低顺序依次是 MNPK>M>NPK>CK,各处理有机碳年际间对比变化较小,说明搬迁没有对土壤有机碳产生影响,只是年际间动态变化。

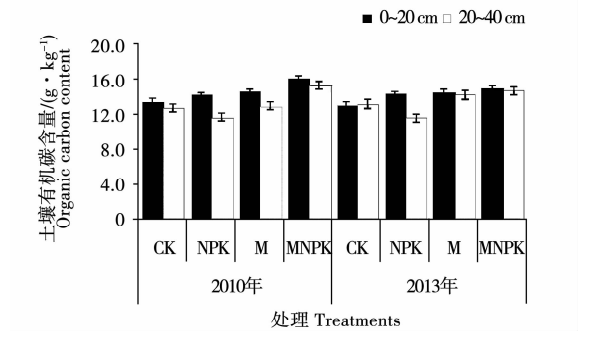


图 1 土壤搬迁前后土壤有机碳含量变化
Fig.1 Change of soil organic carbon content before and after relocation

2.1.1 土壤搬迁对不同处理黑土腐殖质各组分碳含量的影响 有研究显示,土壤腐殖质的含量始终处在动态变化中,因其进入土壤的有机物料一部分被微生物同化,一部分木质素或其分解的中间产物(多元酚、多元醌、氨基酸等)经腐殖化作用进一步缩合成为高分子的腐殖物质胡敏酸、富里酸和胡敏素^[3]。腐殖物质含量的多少取决于形成量和分解量的相对大小^[4]。如图2所示:搬迁前后土壤腐殖质组分碳含量变化为:胡敏酸碳含量和富里酸碳含量在土层0~20 cm和20~40 cm呈现动态变化中,但整体趋势略有下降;胡敏素碳含量呈逐年增加趋势。施入有机肥 MN-PK 处理 2013 年较 2010 年 0~20 cm 土壤胡敏酸碳和胡敏素碳含量分别增加 2.2% 和 7.1%,其它处理土壤腐殖质组分碳含量都略有下降;20~40 cm 试验处理中 NPK 单施化肥处理富里酸碳含量下降 10.1%,其它处理土壤腐殖质组分碳含量都增加。2013 年 20~40 cm 土层各试验处理土壤腐殖质组分碳含量较 2010 年都呈现增加趋势,可能是因为 0~20 cm 土层土壤微生物代谢能力较强,消耗大量养分,再经过长期的雨水渗透、作物生长等过程,易分解的土壤有机碳进入 20~40 cm 土层,也与逐年种植作物根茬归还土壤有关。

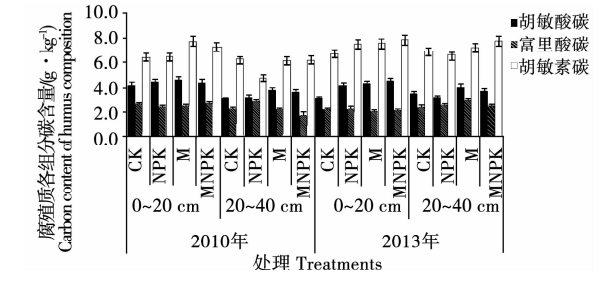


图2 搬迁前后土壤腐殖质组分碳含量变化
Fig.2 Change of carbon content of humus composition before and after relocation

2.1.2 土壤搬迁对黑土胡/富(HA/FA)的影响 土壤中胡敏酸和富里酸的绝对数量相比,胡/富(HA/FA)能更全面地反映出不同培肥措施下土壤腐殖质活力和土壤肥力水平的变化^[5-7]。土壤富里酸分子量小于胡敏酸,是形成土壤胡敏酸的初级物质,同时也是胡敏酸进行分解后的初级产物,起到更新和积累胡敏酸的重要作用。其不同施肥处理下含量的变化,表征着土壤胡敏酸的更新和积累^[8-9]。在土壤搬迁后 2013 年,在 0~20 cm 土层中 NPK、M、MNPK 的胡/富较 2010

年分别上升了 0.06,0.24 和 0.47,CK 下降 0.2;在 20~40 cm 土层中 CK、NPK 上升了 0.2 和 0.12,M 和 MNPK 下降 0.32 和 0.2。土壤胡/富的降低可能是由于有机物料迅速分解使土壤中的类富里酸以及新形成的富里酸大量增加所致;另一方面,土壤胡/富的增加表明新形成的富里酸以及一些小分子组分在矿化分解的同时,又进一步缩合成为结构复杂的胡敏酸^[10-11]。

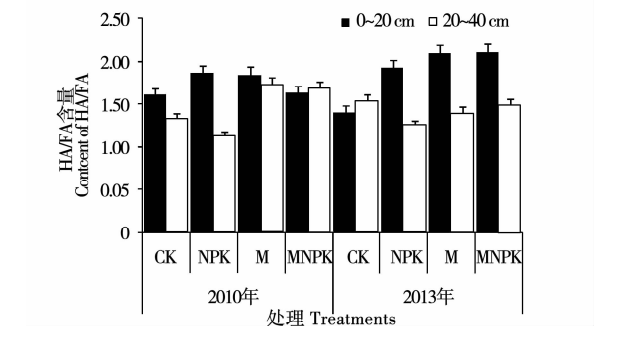


图3 土壤搬迁对黑土中胡/富含量的影响
Fig.3 The effect of soil removal on ratio of soil HA to soil FA in black soil

2.2 土壤搬迁后黑土腐殖质光学性质的变化 腐殖质溶液一般呈现暗棕色或棕黑色,根据腐殖质溶液颜色的不同,可体现出其含量的差异^[12-14],在实际研究中常常将腐殖质在特定可见光波段下的光学性质作为判定腐殖质性质的重要指标^[15]。科诺诺娃等人研究发现^[16],腐殖质溶液吸收光谱曲线的斜率(E_4/E_6)反映着芳香环在腐殖质分子中的缩合程度、芳构化程度等;色调系数 $\Delta\log K$ 可以反映出腐殖质分子结构的复杂程度, $\Delta\log K$ 越大,则腐殖质分子的结构越简单,分子量越小。

2.2.1 土壤搬迁对黑土胡敏酸光学性质的影响 由图4可以看出,2013年与2010年相比较,HA- $\Delta\log K$ 值在0~20 cm土层内M、MNPK上

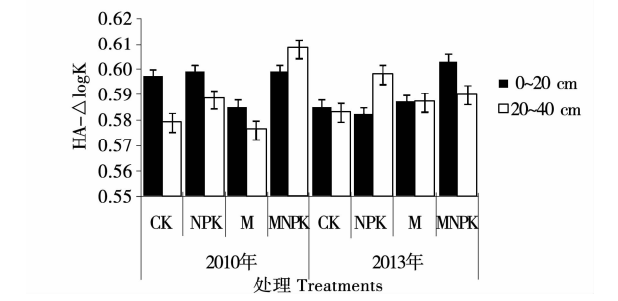


图4 土壤搬迁对 HA- $\Delta\log K$ 的影响
Fig.4 The effect of soil removal on $\Delta\log K$ of HA

升了 0.3%~0.7%, CK 和 NPK 处理下降 0.3%~0.2%; 在 20~40 cm 土层内 CK、NPK、M 处理上升了 0.7%、1.7%、1.9%; MNPK 下降 2.9%。如图 5, 土壤 HA-E₄/E₆ 值 2013 年与 2010 年相比较, 在 0~20 cm 土层内降低了 0.5%~1.7%, 其中 MNPK 下降最小, CK 处理下降最多; 在 20~40 cm 土层内 CK 处理上升 1.8%, 其它处理下降了 1.2%~2.4%。

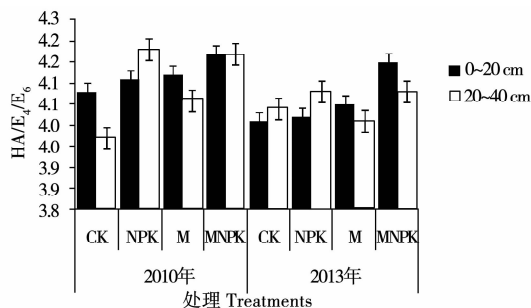


图 5 土壤搬迁对 HA-E₄/E₆ 的影响

Fig. 5 The effect of soil removal on E₄/E₆ of HA

2.2.2 土壤搬迁对黑土富里酸光学性质的影响

由图 6 可知, 2010 年和 2013 年土壤 0~20 cm 各试验处理 FA- $\Delta\log K$ 值变化相一致, 大小顺序依次是 MNPK>M>NPK>CK。年际间变化为: 在搬迁后的 2013 年, 各处理 CK 除外在 0~20 cm 土层的 FA- $\Delta\log K$ 值降低了 0.6%~5.2%, 在 20~40 cm 土层降低了 0.9%~1.8%。由图 7 可知, 0~20 cm 土层各试验处理 FA-E₄/E₆ 和 FA- $\Delta\log K$ 变化相一致, 20~40 cm 无规律性。2013 年 CK 和 NPK 处理 FA-E₄/E₆ 在土层 0~20 cm 相对 2010 年份增加 0.1% 和 0.6%, M、MNPK 处理下降 4.4% 和 16.3%; 20~40 cm 土层 MNPK 处理 FA-E₄/E₆ 上升 47%, 其它处理下降 21.1%~45.2%。说明肥料的施入有利于形成年轻化的富里酸, 使土壤中形成的富里酸芳香结构简单、缩合度小、平均分子量小, 土壤腐殖

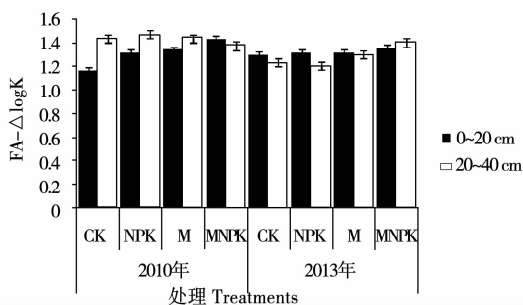


图 6 土壤搬迁对 FA- $\Delta\log K$ 的影响

Fig. 6 The effect of soil removal on $\Delta\log K$ of FA

化程度较低, 其中有机物料的作用优于化肥。但年际间处理表层土壤长期施入有机肥、有机无机肥配施与长期不施肥相比, 都降低了土壤 FA- $\Delta\log K$ 值、E₄/E₆ 值, 随着耕作、施肥年限的增加, 各处理土壤富里酸分子都向着芳构化、复杂化的方向转化, 利于胡敏酸的形成。

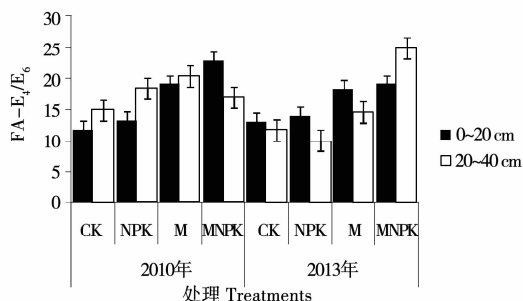


图 7 土壤搬迁对 FA-E₄/E₆ 的影响

Fig. 7 The effect of soil removal on E₄/E₆ of FA

3 结果与讨论

搬迁前后定位试验各处理的土壤有机碳含量呈现动态变化, 虽然整体趋势仍体现为 0~20 cm 土层的有机碳含量高于 20~40 cm 土层的碳含量, 且各处理间以 MNPK 含量最高, 但随着搬迁年限增加, 土壤有机碳呈现增加趋势。搬迁对胡敏酸在两个土层中的影响不明显, 但 CK、NPK 与 M、MNPK 两组处理的所受影响趋势不同。2013 年 20~40 cm 土层各试验处理土壤腐殖质组分碳含量较 2010 年都呈现增加趋势, 可能是因为 0~20 cm 土层土壤微生物代谢能力较强, 消耗大量养分, 再经过长期的雨水渗透、作物生长等过程, 易分解的土壤有机碳进入 20~40 cm 土层, 也与逐年种植作物根茬归还土壤有关。

搬迁前后的胡/富变化为: 在土壤搬迁后 2013 年, 在 0~20 cm 土层中 NPK、M、MNPK 较 2010 年分别上升了 0.06、0.24 和 0.47, CK 下降 0.2; 在 20~40 cm 土层中 CK、NPK 上升了 0.2 和 0.12, M 和 MNPK 下降 0.32 和 0.2。所以在本试验中, 有机物料的分解增加, 土壤中新生富里酸的数量增加导致了土壤的胡/富有的降低, 以及富里酸向胡敏酸的转化, 土壤的胡/富开始回升。目前, 人们对胡敏酸、富里酸形成的时间顺序还只是停留在推测阶段^[17], 但可以肯定的是, 胡敏酸和富里酸在不同的环境条件下其数量互为消长, 从而导致不同时期和不同条件下土壤中胡/富值的变化。在搬迁后 2013 年有根据 E₄/E₆ 值、 $\Delta\log K$ 值的显示, 胡敏酸各处理土壤 HA- $\Delta\log$

K 值在 0~20 cm 土层内 M、MNPk 较 2010 年上升,其它处理变化无规律性,富里酸分子 0~20 cm 土层各试验处理 FA-E4/E6 和 FA- Δ log K 变化相一致,大小顺序依次是 MNPk > M > NPK > CK。随着耕作、施肥年限的增加,富里酸分子都向着芳构化、复杂化的方向转化,利于胡敏酸的形成。

参考文献:

- [1] 王猛,崔世兰,徐丽丽.土壤腐殖质的研究[J]城市建设理论论研究,2011(34):1-4.
- [2] Brigitte N, Leif P. Influence of arbuscular mycorrhizal fungus soil structure and aggregate stability of vertisol[J]. Plant and Soil, 2012, 218: 173-183.
- [3] 于水强. O₂ 和 CO₂ 浓度对土壤腐殖质形成与转化的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2003.
- [4] Stevenson F J. Humus Chemistry[M]. USA: John Wiley & Sons, 1982: 195-220.
- [5] 高春丽,刘小虎,韩晓日,等.长期定位不同施肥处理的棕壤腐殖酸性质的研究[J]. 土壤通报,2006,37(1):73-75.
- [6] 刘树堂,韩晓日,姚源喜,等.长期定位施肥对非石灰性潮土水分保持及腐殖质组成的影响[J]. 土壤肥料科学,2005,21(5):272-274.
- [7] Richards A E, Dalal R C, Schmidt S. Soil carbon turnover and sequestration in native subtropical tree plantations [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 39(8): 2078-2090.
- [8] 张继宏,颜丽,窦森.农业持续发展的土壤培肥研究[M]. 沈

阳:东北大学出版社,1995:82-86.

- [9] 王聪慧.长期施肥对黑土腐殖质数量和性质的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2008.
- [10] 窦森,于水强,张晋京.不同 CO₂ 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):458-465.
- [11] Mcknight D M, Boyer E W, Westerhoff P K, et al. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity[J]. Limnology and Oceanography, 2011, 46(1): 38-48.
- [12] Galantini J, Rosell R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soil [J]. Soil and Tillage Research, 2011, 87(1): 72-79.
- [13] 张玉兰,孙彩霞,陈振华,等.红外光谱法测定肥料施用 26 a 土壤的腐殖质组分特征[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(5): 1210-1213.
- [14] Miano T M, Senesi N. Synchronous excitation fluorescence spectroscopy applied to soil humic substances chemistry[J]. Sci Total Environ, 1992, 117(118): 41-51.
- [15] 文启孝.土壤有机质研究法[M]. 北京:北京农业出版社,1984.
- [16] M M 科诺娃.土壤有机质[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [17] 窦森.土壤有机质[M]//李学垣.土壤化学.北京:高等教育出版社,2001:1-56.

Study on the Change of Humus Contents in Black Soil Under the Soil Removal on Long-term Fertilization Experimental Field

ZHANG Jiu-ming¹, CHI Feng-qin¹, ZHOU Bao-ku¹, KUANG En-jun¹, SU Qing-rui¹, ZHANG Jia-chun²

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province/Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Center, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. The Base of Keshan Agriculture Sideline Production of Shenyang Military Area Changchun command Post, Keshan, Heilongjiang 161607)

Abstract: The change of the humus compositions and optical property of humus in black soil under the soil removal were studied on the basis of the soil removal of long-term located experiment field. The results indicated that the content of HE and FA was first increased and then decreased, soil change ratio in 20~40 cm layer was higher than it in 0~20 cm layer soil, the change rate of manure + chemical treatment and manure treatment were higher. The influence of HA under removal had no significant difference in the two layers. The ratio of HA to FA decreased in the first year after removal and increased in the second year, the influence in two layers had no obvious difference. The content of HM had no obvious difference after removal, it still increased year by year. The Δ log K and E₄/E₆ of HE and FA had increased after removal and decreased in the second year after removal. The Δ log K and E₄/E₆ of HA had no obvious variation after removal. The change of optical properties in the various components had no obvious regularity between two different layers.

Keywords: oil removal; black soil; long-term fertilization; humus compositions; optical property