

黑土肥料长期定位试验冻土分割搬迁后土壤融合效果评价^①

匡恩俊¹, 迟凤琴^{1*}, 张久明¹, 宿庆瑞¹, 周宝库¹, 高中超¹, 朱宝国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, 哈尔滨 150086; 2 黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江佳木斯 154007)

摘 要: 为了明确黑土长期定位试验土壤搬迁后与新址的融合效果, 以一个搬迁土块为研究对象, 明确搬迁土块间的接缝处土壤与距接缝处不同距离的中心土壤在理化特性上的不同。结果表明, 0~20 cm 层次土体中心 50 cm 处的田间持水量比接缝处高 5%, 容重低 4%, 变异系数均明显高于其他层次; 20~40 cm 层次, 土壤的固相率和容重高于其他层次, 田间持水量降低, 土块横切面各部位物理性质均无明显差别; 剖面底部 80~100 cm 层次接缝处土壤松散缝处的固相比 30 cm 和土体中心处低 4.3%, 液相率低 3.1%, 气相率高出 7.6%, 容重下降 8.3%。0~40 cm 土层的缝处、距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处的孔隙率均低于 40~100 cm 层次, 其中 80~100 cm 层次的孔隙率最大, 20~40 cm 孔隙率最低为 44.2%; 土壤饱和导水率 0~20 cm 层次为 35.3~38.0 cm/d, 随着深度的加深呈下降趋势, 均小于 20 cm/d; 而 80~100 cm 层次缝处的饱和导水率值高达 144.4 cm/d, 是表层土壤的 4 倍。同一层次搬迁土块缝处与土块中心土壤速效养分无明显差别, 缝处全氮含量均高于土块的其他位置, 且与距缝 30 cm 和 50 cm 处的数值差异均达到显著水平($P<0.05$); pH 随着土层的加深逐渐增大, 碱解氮和土壤有机碳含量随着土层的加深而下降。长期定位土壤搬迁 5 a 后, 深层土壤接缝处还处于疏松状态, 下层土壤的融合要弱于上层土壤。

关键词: 长期定位; 土壤分割和搬迁; 理化性质; 容重; 田间持水量; 孔隙度

中图分类号: S153.622 **文献标识码:** A

肥料定位试验是国内外土壤肥料科学广泛采用的研究方法^[1-2], 著名的英国洛桑试验站长期定位试验已经连续进行 150 a, 为农学、土壤学、植物营养学、生态学和环境科学的发展做出了重要贡献, 被称为“经典试验”^[3]。国内自改革开放以来先后在各种土壤上开展了相关研究^[4-8], 有的定位试验研究已经连续进行 40 a, 得到大量宝贵的科学数据, 为我国研究农田土壤肥力演变规律奠定了坚实的基础。

黑土一直被人们认定是高产土壤^[9], 黑龙江省的“黑土肥力长期定位监测试验”始建于 1979 年, 是东北黑土区时间最长的肥料长期定位试验, 所监测的作物产量、品质、环境因子、土壤养分、肥力因素等资料, 为东北黑土地保护及合理开发利用等决策提供了宝贵的资料。由于近年来城市扩展迅猛, 2010 年, 哈尔滨黑土长期定位试验区被迫全部搬迁至民主农业科技园区。关于试验区土壤原状土搬迁, 国内已有先例, 比如河北衡水试验站、河南农科院等都采用切

割法进行原状土的整体搬迁。由于部分原状土在运输过程中因震动造成土块崩解, 从而降低了原状土的搬迁效果。为了实现原状土搬迁目的, 最大限度减少搬迁过程中对土壤结构的扰动和破坏, 利用黑龙江省冬季土壤冻结自然条件进行搬迁。经过搬迁后连续多年观察, 地上部植物长势均匀, 各处理之间作物生长趋势与搬迁之前基本一致, 保证和确认了冻土分割搬迁前后调查数据的连续性和可靠性。迟凤琴等^[10]认为冻土分割搬迁后土壤容重的变异系数有所增加, 但未说明造成土壤容重变异增加的原因。考虑到搬迁后试验区内存在大量间隔 1 m、深 1.2 m 的纵横交错的土块接缝, 尽管这些接缝会由于表土下移、土块胀缩崩解等原因逐渐弥合, 但对土壤水分、养分移动以及剖面变化等都会产生影响。本文试图通过比较搬迁后试验区土块缝之间与土块中心土壤的理化性质上的差别, 初步判断对土壤理化性质以及对定位试验结果的影响, 为长期定位试验土体的搬迁提供方法和理论

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171244)和国家重点研发计划项目(2016YFD0300806-2)资助。

* 通讯作者(fqchi2013@163.com)

作者简介: 匡恩俊(1982—), 女, 黑龙江海林人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为土壤肥力。E-mail: kuangenjun2002@163.com

依据。

1 材料与方法

1.1 土壤取样方法

为最大程度保持土壤原貌和原结构不被破坏,在冬季土壤冻结后,将试验区土壤分割成若干个 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 1.1\text{ m} = 1.1\text{ m}^3$ 冻土块,编码后搬运至新址并按空间位置进行紧密对接。为尽量少破坏试验区,仅在搬迁后的休闲耕作区挖 1 个长、宽、深 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 的土壤剖面,并在两土块交界缝处(0 cm),距缝 30 cm 和距缝 50 cm 分层采取原状土样品,取样层次为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm,其中原状土采用环刀法测定,3 次重复。

1.2 测定项目及方法

土壤三相比、土壤容重、田间持水量等均采用环刀法(DIK-1130)测定,饱和导水率用 DIK 四点式饱和导水率仪测定。土壤化学性质按照常规方法^[11]测定,速效氮采用碱解扩散法、有效磷采用 Olsen 法、速效钾采用乙酸铵浸提火焰光度法、有机碳采用重铬酸钾-高温外热法。

1.3 数据分析

数据的计算与处理采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS17.0、Sigmaplot 10.0 软件进行统计和相关性分析并作图。采用最小显著法(LSD)检验试验数据的差异显著性水平($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同位置处的土壤水分

由于冻土搬迁以 1 m^3 为单位,本研究以一块土体为代表,选择接缝处、距离接缝 30 cm 处和距离接缝 50 cm 处的土壤,来比较搬迁后土体结构的整合情况。由图 1 可以看出,土壤的含水量随着深度的增加呈现增加的趋势。0~60 cm 层次均为接缝处的含水量较高,而距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处的土壤含水量差别不明显;80~100 cm 层次,接缝处的含水量明显低于其他 2 个部位,但差异并没有达到显著水平。

2.2 不同位置处的土壤三相组成变化

土壤三相组成可反映土壤的松紧程度以及水气容量等,也是衡量农田土壤物理性状好坏的重要指标。由图 2 可知,首先,0~20 cm 层次土壤,接缝处、距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处的三相组成无明显差别;20~40 cm 土壤层次,接缝处、距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处的三相组成表现出相同的生长趋势,且数

值间无明显差别,但与 0~20 cm 层次相比,土壤的固相率、液相率均有提高,其中液相率平均提高 4.0%,固相率平均提高 2.6%,气相率平均下降了 6.6%;80~100 cm 层次,距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处的三相组成无明显差别,而接缝处的固相率比 30 cm 和 50 cm 低 4.3%,液相率低 3.1%,气相率高 7.6%。其他层次土壤无明显差别。

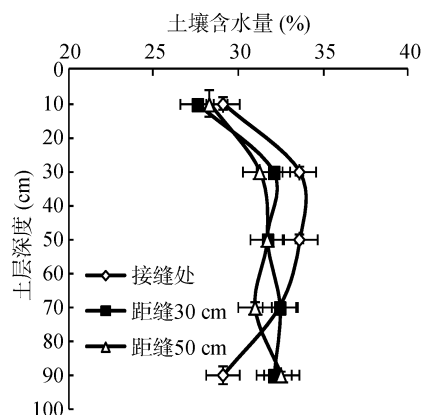


图 1 土壤剖面含水量

Fig. 1 Soil moisture contents in different depths

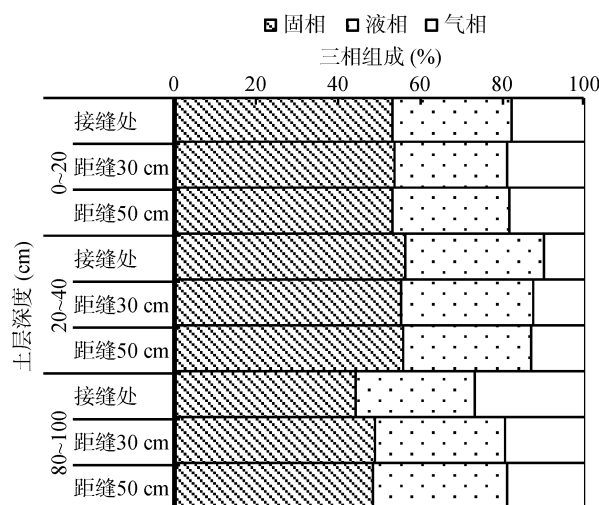


图 2 土壤三相组成

Fig. 2 Percentages of solid, liquid and gas phase of soil

2.3 土壤容重和田间持水量

容重反映了土壤孔隙状况,该值越小说明土壤疏松多孔,结构良好^[12-13]。图 3 可以看出,各土壤层次间的接缝处、距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处容重差异不显著;由于犁底层的存在,20~40 cm 的容重值最大,平均在 1.47 g/cm^3 ;80~100 cm 层次,土块接缝处的容重值最低,为 1.22 g/cm^3 ,距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处容重均为 1.32 g/cm^3 ,比表层土壤要低。接缝处和土块中心的田间持水量不同,但差异不明显(图 4),0~

20 cm 层次土壤的田间持水量高于 20~40 cm,略低于 80~100 cm 层次,与容重的趋势相反。表层 0~20 cm 层次接缝处、距缝 30 cm 和 50 cm 无明显差别,田间持水量平均为 31.9%;20~40 cm 层次接缝处、距缝 30 cm 和 50 cm 平均为 27.2%;80~100 cm 接缝处田间持水量为 36.1%,距缝 30 cm 和 50 cm 为 33.0%。0~20 cm 层次的田间持水量的变异系数比其他两个层次大,达到了中等变异程度(变异系数>10%,表 1)。

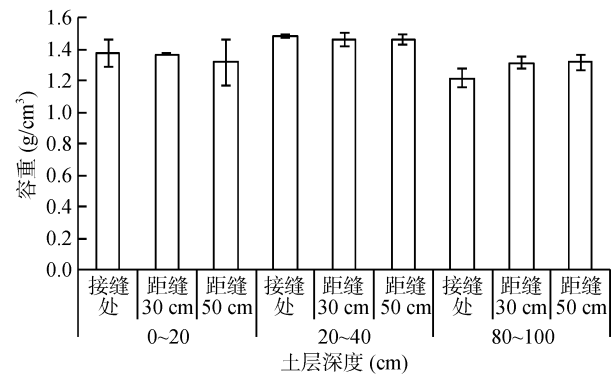


图 3 土壤容重
Fig. 3 Soil bulk densities

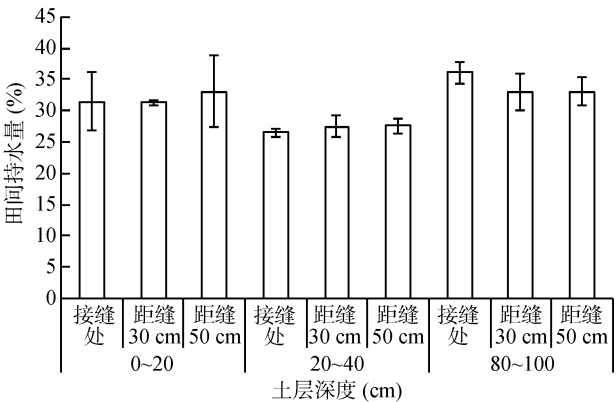


图 4 土壤田间持水量
Fig. 4 Field water capacities

表 1 土壤容重和田间持水量的变异程度
Table 1 Variation coefficients of bulk densities and field water capacities

土层深度(cm)	位置	田间持水量	容重
0~20	接缝处	14.66	6.59
	距缝 30 cm	1.06	0.38
	距缝 50 cm	17.26	10.95
20~40	接缝处	2.37	0.14
	距缝 30 cm	6.29	3.16
	距缝 50 cm	4.63	2.10
80~100	接缝处	4.84	4.99
	距缝 30 cm	8.68	2.74
	距缝 50 cm	6.78	4.03

2.4 孔隙状况

土壤孔隙率和孔隙比均能反映土壤的孔隙状况(表 2)。0~40 cm 接缝处、距缝 30 cm 和距缝 50 cm 处的孔隙率均低于 40~100 cm 层次,其中 80~100 cm 处的孔隙率最大,20~40 cm 孔隙率最小,这是每年的耕翻使 0~20 cm 的表层土壤疏松,而 20~40 cm 则由机械碾压形成了较硬的犁底层所致。距缝 30 cm 处的 40~60 cm 和 60~80 cm 两个土层深度的孔隙率和孔隙比均较大,且变异系数均为最小。

2.5 不同位置处饱和和导水率的变化

土壤的饱和和导水率是土壤水运动的重要参数,反映土壤的入渗和渗漏性质,在农田排灌以及水土保持工程中有重要意义^[13]。由表 3 可见,土壤饱和和导水率的表现趋势为 0~20 cm 层次最大,随着深度的加深呈下降趋势。由于表层以下存在犁底层,该层土壤较为紧实,故饱和和导水率较小;80~100 cm 层次接缝处的饱和和导水率高达 144.4 cm/d,与距缝 30 cm 和 50 cm 处相比差异显著($P<0.05$),同时也是 0~20 cm 层次饱和和导水率的 4 倍;80~100 cm 层次接缝处的

表 2 各层次土壤孔隙状况
Table 2 Soil porosities and pore ratios in different layers

指标	土层深度(cm)	接缝处	距缝 30 cm	距缝 50 cm	变异系数		
					接缝处	距缝 30 cm	距缝 50 cm
孔隙率 (%)	0~20	47.04 ± 3.63	46.60 ± 0.36	46.82 ± 2.50	7.72	0.78	5.33
	20~40	43.54 ± 0.69	44.66 ± 2.19	44.31 ± 1.39	1.58	4.91	3.15
	40~60	52.13 ± 4.42	54.13 ± 0.64	52.18 ± 2.62	8.49	1.19	5.01
	60~80	50.97 ± 1.84	54.48 ± 0.47	50.59 ± 3.24	3.61	0.86	6.40
	80~100	55.81 ± 1.81	51.41 ± 1.55	51.55 ± 2.08	3.24	3.01	4.04
孔隙比	0~20	0.34 ± 0.13	0.36 ± 0.01	0.35 ± 0.13	36.40	2.73	36.96
	20~40	0.18 ± 0.01	0.23 ± 0.06	0.23 ± 0.03	7.20	27.47	13.44
	40~60	0.40 ± 0.16	0.49 ± 0.03	0.43 ± 0.10	41.58	6.51	22.60
	60~80	0.38 ± 0.06	0.48 ± 0.02	0.40 ± 0.06	14.90	3.88	14.32
	80~100	0.61 ± 0.12	0.40 ± 0.04	0.39 ± 0.07	20.44	11.01	17.68

表 3 不同土层土壤饱和导水率(cm/d)
Table 3 Soil saturated hydraulic conductivities in different layers

位置	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm	60 ~ 80 cm	80 ~ 100 cm
接缝处	35.81 ± 8.65 a	0.86 ± 0.63 b	19.65 ± 12.97 a	7.86 ± 3.03 a	144.39 ± 4.08 a
距缝 30 cm	38.00 ± 3.47 a	4.75 ± 3.70 b	8.74 ± 2.47 b	5.68 ± 3.09 a	4.98 ± 1.61 b
距缝 50 cm	35.38 ± 9.27 a	15.46 ± 4.08 a	4.29 ± 1.20 b	5.24 ± 1.24 a	3.11 ± 0.69 b

注：表中小写字母不同表示差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

高饱和导水率与图 2 这一层次固相率低、孔隙大相对应。表土层的饱和导水率大于其他层次，这主要是由于耕作导致表层土壤中大孔隙较多，增强了土壤水分的通透性。

2.6 不同位置处土壤化学性质

2.6.1 土壤 pH 和有机碳 从土壤纵剖面看(图 5)，pH 随着土层深度的加深逐渐增大，60 ~ 100 cm 土层

pH 达到 8 以上；横向比较，从土块接缝处到土壤 50 cm 的横切面，同一土壤层次的 pH 均比较相近。接缝处土壤 pH 与土块中心 50 cm 之间的 pH 趋势一致，且差异不大。

土壤有机碳也是随着土层深度的加深变化较明显(表 5)，呈下降趋势，0 ~ 20 cm 层次最高，80 ~ 100 cm 层次最低；各层次接缝处与土块中心有机碳差异不明显。

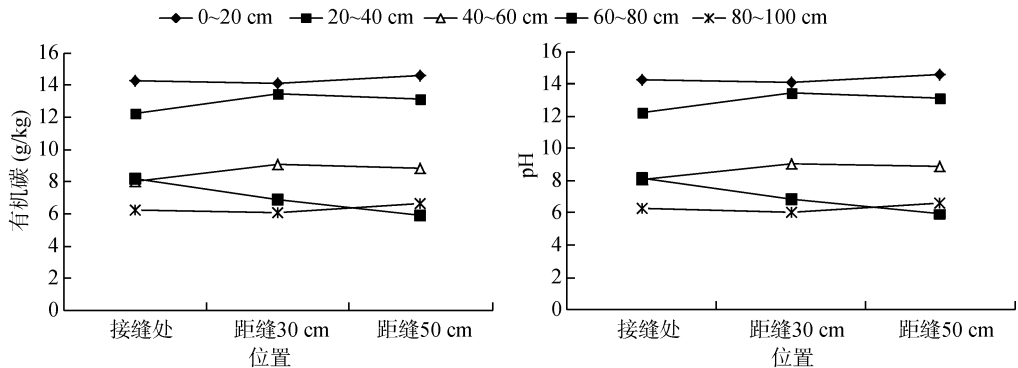


图 5 不同层次土壤有机碳和 pH
Fig. 5 Soil organic carbon and pH values in different soil layers

2.6.2 土壤养分 接缝处、距缝 30 cm、距缝 50 cm 3 个位置碱解氮有相同的趋势，均随着土层的加深含量下降(图 6)。0 ~ 20 cm 的表层土壤碱解氮含量最高，土块中心 50 cm 处的碱解氮含量高达 58 mg/kg；20 ~ 40 cm 层次，碱解氮的含量聚集在 40 ~ 45 mg/kg 之间，40 cm 以下碱解氮含量急剧下降，横切面的各处理间差异不明显。有效磷含量与碱解氮呈相反趋势，总体上随着土层的加深呈上升趋势，波动幅度较大。深度为 60 ~ 80 cm 层次的距缝 30 cm 处土壤有效磷含量明显高于其他处理，这可能是样品差异引起的。

各层次间土壤全量养分整体变化趋势基本一致。全氮每一层次接缝处的含量均高于土块的其他位置，平均值比距缝 30 cm 和 50 cm 处高 37.5% ~ 71.4%，且与距缝 30 cm 和 50 cm 处的数值差异均达到显著水平($P<0.05$)；各层次全磷的表现趋势相同，数值间差异不明显，均以接缝处的含量最高，距缝 30 cm 位置全磷含量最低；全钾除了 80 ~ 100 cm 层次接缝处含量最高外，其他土壤层次均表现为接缝处含量最低，

距缝 50 cm 处含量最高。

3 讨论

选取土壤容重、田间持水量和饱和导水率等来评价土壤物理性质的变化虽有一定的局限性，但从土壤结构角度出发，以上指标可以反映土壤物理性状变化趋势^[14]。国内学者依据各种土壤的定位试验研究了长期施肥对土壤物理性质的影响^[15-19]，其性质恶化或改善均有不同差异，究其原因可能与土壤基础肥力、施肥水平以及作物生长状况不同有关。迟凤琴等^[2,10]分析了原状土壤搬迁对土壤微生物、物理性质的影响，其仅限于比较不同处理间的影响，而对搬迁单元土块间的融合及物理性质的改变还没有涉及。

裂隙的产生和闭合是土壤内在性质和外界环境综合作用的结果，是一个复杂的动态过程，可导致不良后果，如增加土体表面积，促使土壤水分通过裂隙的内表面迅速蒸发；其次裂隙可能影响植物根系的分布和吸水过程，甚至造成根系生理损伤^[20]；再者裂

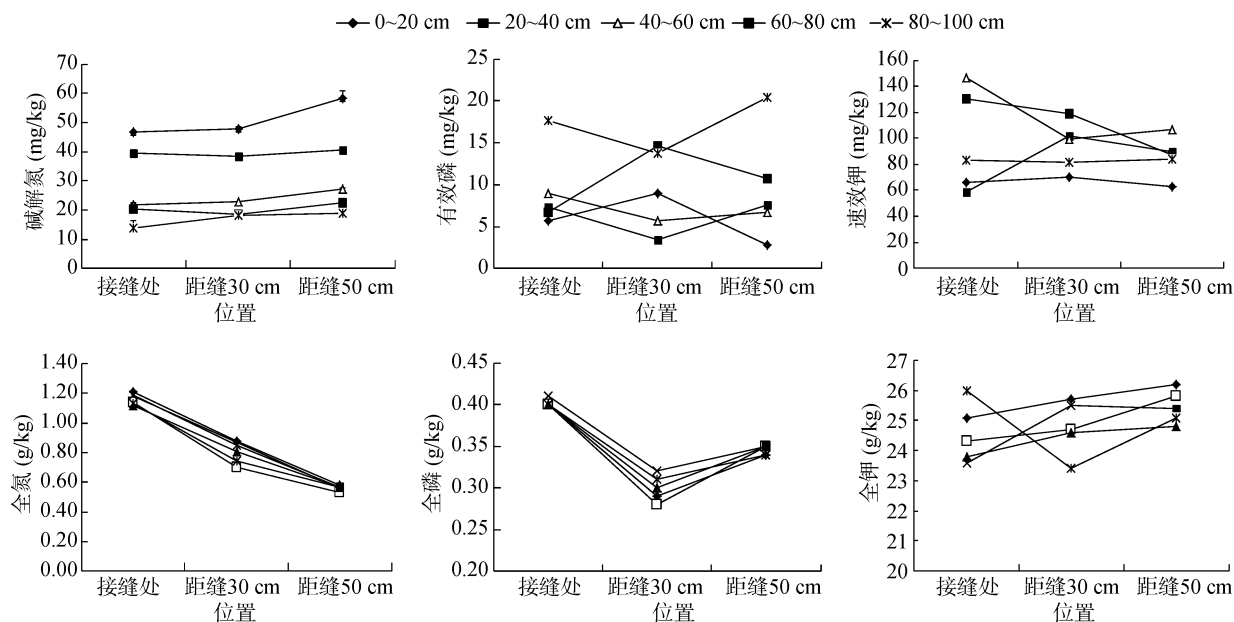


图 6 不同土层土壤养分情况

Fig. 6 Soil nutrient contents in different layers

隙在灌溉或降雨的过程中可作为优先流路径,加速水分入渗,降低水肥的利用效率^[21];更是破坏了土体的完整性,在土壤表层形成连通的复杂分支,具有强烈的不均匀性和各向异性^[22]。在本次调查中,0~40 cm 层次,土块接缝处整合完好,变化已不明显。对比层次间的变异系数,无论是田间持水量还是容重,0~20 cm 层次变异程度最高,这说明表层土壤受气候及人为扰动的影响比较大。20~40 cm 层次,由于犁底层的存在,土壤的固相率、容重均增大,田间持水量降低,每年大型机械深耕(25~30 cm)使表层土壤疏松大孔隙较多,增强了土壤水分的通透性,30~40 cm 土层被压实,减少了水分流动的大孔隙,而增加了许多非活性孔隙^[23]。从剖面底部 80~100 cm 层次发现,接缝处土壤松散,其固相率比距缝 30 cm 和 50 cm 处低 4.3%,液相率低 3.1%,气相率高出 7.6%,容重下降 8.3%,该处的饱和导水率是表层土壤的 4 倍,是同层次其他位置的 40 倍,源于此接缝处的土壤融合不紧密存在裂隙导致的。从土壤颜色上看,黑色与黄色交叉(图 7),这是表层的黑土散落到母质层,并与母质混合的表现。由于土壤冻融交替,且较深层次没有受到外界扰动,接缝处的土壤还处于疏松状态。

合理的土地利用方式可以改善土壤结构,增强土壤对外界环境变化的抵抗力;而不合理的土地利用方式则会导致土壤质量下降,加速土壤侵蚀,导致土壤退化^[24]。土体构型的改变对土壤水氮存储、运移过



图 7 接缝处地表与环刀样品

Fig. 7 The surface of seam and cutting ring sample

程影响显著^[25]。陈学文等^[26-27]对空间移位下的不同肥力土壤 pH、养分及酶活性等影响作了分析,其前提是改变了水热条件下的各项指标的变化,与本文不同,长期定位土壤搬迁,新址的水热状况、土壤性质均与原址相近。但就剖面层次来说,同一层次搬迁土块接缝处与土块中心土壤化学性质无明显的差别,其含量值仅表现为土层深度上的差异^[28-29]。pH 随着土层的加深逐渐增大,到 60~100 cm pH 达到 8 以上;碱解氮和土壤有机碳随着土层的加深含量下降。由于剖面的处理属于对照区,连续 38 a 未使用肥料,所以整体的养分含量偏低,pH 偏高。全氮表现为接缝处的含量明显高于距缝 50 cm 处,这可能是由于接缝处的土壤含水量较高,抑制了好氧微生物对氮素的分解。

4 结论

长期定位土壤搬迁 5 a 后,就某一搬迁土壤剖面,

0~60 cm 范围由于机械耕作的加深,缝间融合很好,没有出现大量土壤塌陷或者漏土的现象,较深层次土壤在没有人为干扰的情况下,接缝处的土壤还处于疏松状态。这在另一方面也说明了此次长期定位试验原状土搬迁把对土壤的影响降到了最小,冻土搬迁是一种可行的办法,至于土块与土块之间的融合过程,还有待于进一步调查。

致谢: 特别感谢黑龙江省农科院刘峰研究员对本文章的修改。

参考文献:

- [1] 林治安, 赵秉强, 袁亮, 等. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2809–2819
- [2] 刘晶鑫, 迟凤琴, 许修宏, 等. 长期施肥对农田黑土微生物群落功能多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3066–3072
- [3] Jenkinson D S. The rothamsted long-term experiments: Are they still of use?[J]. *Agronomy Journal*, 1991, 83: 2–10
- [4] 张敬业, 张文菊, 徐明岗, 等. 长期施肥下红壤有机碳及其颗粒组分对不同施肥模式的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 868–875
- [5] 袁天佑, 王俊忠, 冀建华, 等. 长期施肥条件下潮土有效磷的演变及其对磷盈亏的响应[J]. 核农学报, 2017, 31(1): 125–134
- [6] 徐万里, 唐光木, 葛春辉, 等. 长期施肥对新疆灰漠土土壤微生物群落结构与功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 468–477
- [7] 郝小雨, 周宝库, 马星竹, 等. 长期不同施肥措施下黑土作物产量与养分平衡特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 178–185
- [8] Jenkinson D S, Rayner J H. Turnover of soil organic-matter in some of Rothamsted classical experiments[J]. *Soil Science*, 1977, 123: 298–305
- [9] 孟凯, 张兴义. 松嫩平原黑土退化的机理及其生态复原[J]. 土壤通报, 1998, 29(3): 100–102
- [10] 迟凤琴, 孙炜, 匡恩俊, 等. 长期定位土壤搬迁对土壤物理性质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2014(16): 30–34
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [12] 任婷婷, 王瑄, 孙雪彤, 等. 不同土地利用方式土壤物理性质特征分析[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 123–126
- [13] 华孟, 王坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 280–290
- [14] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management[J]. *Geoderma*, 2005, 12(2): 3–22
- [15] 王改兰, 段建南, 贾宁凤, 等. 长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 82–85, 89
- [16] 赖庆旺, 李茶苟, 黄庆海. 红壤性水稻土无机肥连施与土壤结构特性的研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(2): 168–174
- [17] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 等. 长期施肥对华北小麦-玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(3): 520–525
- [18] 杨果, 张英鹏, 魏建林, 等. 长期施用化肥对山东三大土类土壤物理性质的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 244–250
- [19] 李强, 许明祥, 齐治军, 等. 长期施用化肥对黄土丘陵区坡地土壤物理性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 103–109
- [20] 田洪艳, 周道玮, 李质馨, 等. 土壤胀缩运动对草原土壤的干扰作用[J]. 草地学报, 2003, 11(3): 261–268
- [21] Beven K, Germann P. Macropores and water flow in soils[J]. *Water Resources Research*, 1982, 18(5): 1311–1325
- [22] Tuong T, Cabangon R, Wopereis M. Quantifying flow processes during land soaking of cracked rice soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(3): 872–879
- [23] 方堃, 陈效民, 张佳宝, 等. 红壤地区典型农田土壤饱和和导水率及其影响因素研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 67–69
- [24] 沙丽清, 邱学忠, 甘建民, 等. 云南保山西庄山地流域土地利用方式与土壤肥力关系研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(2): 9–11
- [25] 刘慷倩, 徐绍辉, 李晓鹏, 等. 土体构型对土壤水氮储运的影响研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(2): 219–224
- [26] 陈学文, 张兴义, 隋跃宇, 等. 利用空间移位法研究东北黑土 pH 季节变化及其影响因素[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(3): 365–367
- [27] 陈一民, 焦晓光, 王贵强, 等. 空间移位下农田黑土过氧化氢酶与土壤养分的相关性研究[J]. 黑龙江大学学报, 2012, 3(4): 46–50
- [28] 刘梦云, 安韶山, 常庆瑞, 等. 不同土地利用方式下土壤化学性质特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(1): 39–42
- [29] 张勇, 秦嘉海, 赵芸晨, 等. 黑河上游冰沟流域不同林地土壤理化性质及有机碳和养分剖面变化规律[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 126–130

Assessment on Soil Fusion Effects of Segmented and Removed Frozen Black Soil Under Long-term Located Experiment

KUANG Enjun¹, CHI Fengqin^{1*}, ZHANG Jiuming¹, SU Qingrui¹, ZHOU Baoku¹,
GAO Zhongchao¹, ZHU Baoguo²

(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 150086, China*; 2 *Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China*)

Abstract: In order to evaluate the fusion effects after and before soil being removed from long-term located experiment, one removed soil column was chosen to study the differences of chemical and physical properties between soils in commissure and in different distances from the commissure of soil column. The results showed that the field water capacity of 0–20 cm layer at 50 cm far from the commissure in the soil column was 5% higher but bulk density was 4% lower than those in commissure, respectively, and the variation coefficients were also higher than those in other layers. There was no significant difference between soils in the commissure and in other places in 20–40 cm layer, however, soil solid rate and bulk density were higher while field water capacity was lower than other layers. In 80–100 cm layer, soil solid rate and bulk density in the commissure were 4.3% and 8.3% lower while the gas rate was 7.6% higher than those in other places. The porosity in 0–40 cm layer was lower than 40–100 cm layers, with maximal porosity in 80–100 cm layer and minimal porosity in 20–40 cm layer. Soil saturated hydraulic conductivity was 35.3–38.0 cm/d in 0–20 cm layer, and decreased with the increase of depth, lower than 20 cm/d in other layers, but soil saturated hydraulic conductivity in the commissure in 80–100 cm layer was 4 times higher than that of topsoil. The rapid available nutrients in the same layers had no significant differences in different places. Total nitrogen in the commissure were significantly higher than those in other places ($P < 0.05$). pH was increased but available nitrogen and soil organic carbon were reduced with the increase of depth. The segmented and removed soil in the commissure is still loose in the deep layers even after 5 years, and soil fusion effect is decreased with the increase of depth.

Key words: Black soil long-term located experiment; Soil segmentation and removal; Soil physical-chemical properties; Bulk density; Field capacity; Porosity