

耕作方式和土壤类型对皖北旱作农田土壤紧实度的影响

葛畅¹, 刘慧琳¹, 张世文¹, 聂超甲¹, 黄元仿², 丁雪娇¹

(1. 安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001; 2. 中国农业大学, 北京 100193)

摘要:为探明旱作区耕地质量变化,了解旱作区耕作管理方式对农田质量的影响,以皖北旱作区农田土壤为研究对象,研究分析了0—40 cm不同深度土壤紧实度梯度变化,揭示耕作方式、土壤类型、土壤容重和土壤含水量对土壤紧实度变化的影响。结果表明:从总体上来看,在0—40 cm土层深度下,土壤紧实度随深度的增加呈先增加后稳定的规律,20 cm以后土壤紧实度逐渐稳定;全区平均耕层深度为14.14 cm,平均耕层紧实度为573.63 kPa。从耕作方式来看,旋耕在30 cm之前各层土壤紧实度均大于翻耕地区,旋耕平均耕层深度为12.5 cm,翻耕平均耕层深度为16.8 cm,是旋耕的1.34倍。从土壤类型来看,不同土壤类型之间土壤紧实度的差异也很明显,潮土各土层平均紧实度均大于砂姜黑土,且随着深度的增加差距逐渐增大。从影响因素来看,土壤紧实度变化与土壤容重变化在水平和垂直方向上呈正相关;土壤紧实度变化与土壤含水量变化关系复杂,总体来看二者水平方向呈正相关,垂直方向呈现负相关。研究成果将为后续探究土壤结构变化过程及规律,旱作区耕层及犁底层变化迁移过程提供依据,对改善皖北旱作区农田质量状况提供数据理论支撑。

关键词:土壤紧实度;耕作方式;土壤类型;土壤容重与土壤含水量

中图分类号:S152

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0089-06

Effects of Tillage Methods and Soil Types on Characteristics of Soil Compaction in Rainfed Farmland in Northern Anhui Province

GE Chang¹, LIU Huilin¹, ZHANG Shiwen¹, NIE Chaojia¹, HUANG Yuanfang², DING Xuejiao¹

(1. Anhui University of Science And Technology Earth and Environmental Sciences, Huainan, Anhui 232001, China; 2. China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to find out the change of cultivated land quality in arid area, and to understand the influence of tillage management mode on farmland quality in dry farming area, dry farming area in Northern Anhui was taken as the research site, the gradient variation of soil compaction at different depths from 0 to 40 cm were studied, and the effects of tillage methods, soil types, soil bulk density and soil water content on soil compaction were revealed. The results show that: on the whole, in the 0—40 cm soil depth, soil compactness increased first and then stabilized with the increase of depth; below 20 cm, the soil compaction was gradually stabilized; the average topsoil depth was 14.14 cm, and the average degree of compaction was 573.63 kPa; from the point of view of farming methods, above 30 cm, the soil compaction of each layer of rotary tillage was greater than that of tillage, the average tillage depth was 12.5 cm, and the average tillage depth was 16.8 cm, which was 1.34 times of that of rotary tillage; from the perspective of soil types, the difference of soil compaction between different soil types was also obvious; the average compaction degree of soil layer in fluvo aquic soil was greater than that in lime concretion black soil, and with the increase of depth, the gap increased gradually; from the impact of factors, soil compaction was positively correlated with soil bulk density changes in both horizontal and vertical directions. The relationship between soil compaction and soil water content is complex. Overall, they are positively correlated in the horizontal direction, and negatively correlated in the vertical direction. The research results will provide a basis for the further study of the soil structure change process and laws, and the change process of the plough layer and plow bottom in arid land,

收稿日期:2017-09-25

修回日期:2017-11-16

资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300801);国家自然科学基金(41471186,41571217)

第一作者:葛畅(1993—),男,山东临沂人,在读硕士,研究方向:土壤肥沃耕层提升潜力与信息化管理。E-mail:564870911@qq.com

通信作者:张世文(1978—),男,安徽淮南人,副教授,硕士生导师,研究方向:土壤过程定量化与时空异质性研究。E-mail:mamin1190@126.com

and provide the theoretical support for improving the farmland quality in arid area in northern Anhui.

Keywords: soil compactness; tillage methods; soil type; soil bulk density and soil water content

土壤紧实度又叫土壤硬度或土壤穿透阻力,是土壤性质的一个方面,是指土壤抵抗外力的压实和破碎的能力,一般用金属柱塞或探针压入土壤时的阻力表示^[1-3]。长期机械化耕作以及单一耕作、施肥和种植方式导致我国大部分粮食主产区农田出现明显的影响作物生长的土壤物理障碍,主要表现在耕层变薄,犁底层加厚,孔隙度和渗透性降低,土壤紧实度增加,机耕阻力加大,加剧土壤侵蚀,作物根系生长受阻,导致土壤环境破坏,作物产量降低等^[4-5]。

有关土壤紧实障碍相关研究已经开展较多,主要涉及土壤紧实发生原因及影响因素、紧实度对作物根系生长的影响、土壤紧实的防治措施等方面。由于国外农业机械化程度较高,农业机具对土壤紧实度的影响问题比较突出,因此已开展较长时间的相关研究,主要研究集中在压实土壤的恢复过程,紧实度变化规律及影响因素,耕作方式对土壤紧实度的影响,机械对土壤压实的作用效果,以及土壤紧实度变化对土壤理化性质,植物、微生物生长发育的影响^[6-12]。国内对土壤紧实度的研究主要集中于以下几个方面,研究土壤紧实度对土壤理化性状,农田耕层变化及耕层紧实度变化,紧实度对作物生长发育及作物产量和品质等的影响,以及影响紧实度的因素及其影响强度^[13-25]。而对土壤紧实度变化规律,耕层及犁底层迁移等研究较少。

针对以上不足之处,并参考前人研究,本文以皖北旱作区农田土壤为研究对象,对农田土壤紧实度的梯度变化特征进行初步研究。并结合土壤类型及耕作方式对皖北旱作区农田耕层厚度及紧实度状况进行对比分析,同时探究土壤容重和土壤含水量对土壤紧实度变化的影响。研究成果将为后续探究土壤结构变化过程及规律,旱作区耕层及犁底层变化迁移过程提供依据,对改善皖北旱作区农田质量状况提供数据理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

皖北,安徽省北部的简称,东靠江苏,西连河南,北望山东。地势以平原为主,拥有广袤的淮北平原,皖北包括宿州、淮北、蚌埠、阜阳、淮南、亳州 6 个省辖市。皖北地区位于暖温带南缘,属暖温带半湿润季风气候。季风明显,四季分明,气候温和,雨量适中。皖北地区主要土壤类型有潮土、砂姜黑土、黄褐土、褐土

等,其中最主要的是潮土和砂姜黑土,两者面积占全区的 87.8%。皖北主要种植制度为两年三熟,主要种植作物有小麦、玉米、大豆、甘薯等。

1.2 数据获取与处理

为探明皖北旱作区农田土壤主要理化性质,以皖北旱作区 25 个县的农田土壤为研究对象,综合考虑土壤类型、耕地质量、土壤黏粒含量等因素,采用网格布点加分层抽样的方法进行采样,同时,调查采样点耕作方式,种植制度,作物类型等信息。共 29 个采样点,其中,旋耕采样点 18 个,翻耕采样点 11 个;潮土采样点 8 个,砂姜黑土采样点 21 个。测量采样点以下数据:通过 SC-900 土壤紧实度测定仪测量土壤紧实度,空间分辨率为 2.5 cm,分层测量 0—40 cm 土壤紧实度,采样过程中由同一人测试土壤紧实度,尽量消除误差影响;土壤容重的测定采用环刀法(体积为 100 cm³),分别测定 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm 四层土壤容重;土壤含水量的测定采用烘干法,测量 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm 四层土壤质量含水量;以上参数每个点设置 3 个重复,取平均值。

采用 SPSS 21.0 软件对土壤紧实度指标进行描述性统计分析,通过均值比较和相关分析揭示土壤紧实度变化与耕作方式、土壤类型之间的关系,以及土壤容重和土壤含水量变化对土壤紧实度的影响。

2 结果与分析

2.1 耕作方式及土壤类型对土壤紧实度的影响

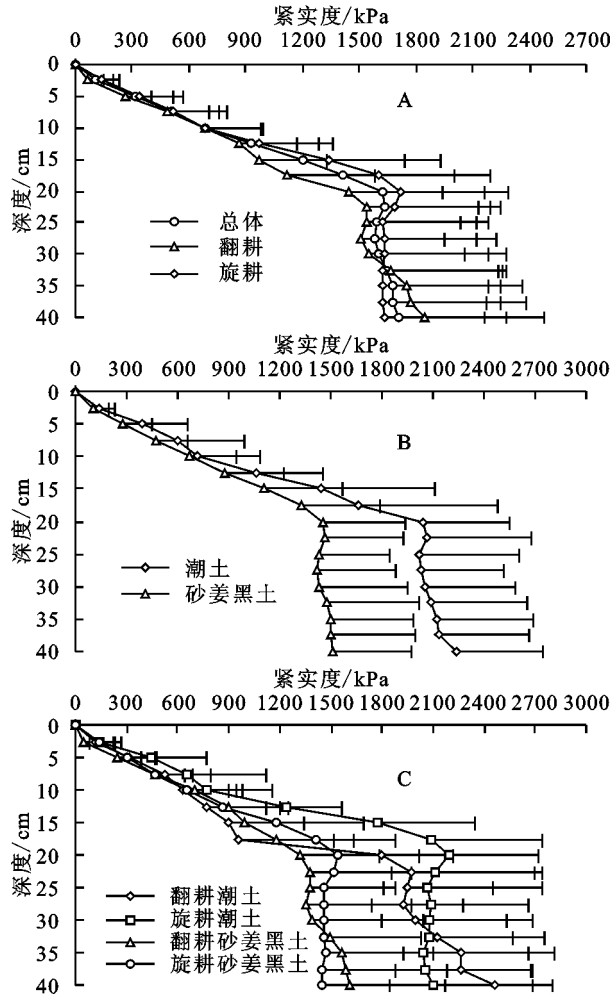
2.1.1 耕作方式及土壤类型对不同深度土壤紧实度的影响 土壤紧实度是田块所在区域位置、地形、土壤类型等自然因素与作物类型、耕作方式、种植制度、耕作管理方式等人为因素的综合反映^[6]。不同的耕作方式与土壤类型,土壤紧实度差异很大,本研究按照皖北旱作区不同耕作方式、土壤类型,绘制采样点平均土壤紧实度随土层深度变化图(图 1)。

由图 1A 可知,全区土壤紧实度随土层深度的增加呈先增加后稳定的规律,在 20 cm 以后逐渐趋于平稳,这和刘武仁^[24]等人的研究结论相同。耕作方式对土壤紧实度影响很大,旋耕在 30 cm 之前各层土壤紧实度普遍大于翻耕地区,在 30 cm 以后,翻耕土壤紧实度超过了旋耕土壤,这是因为旋耕农机对深层土壤的压实作用小于翻耕农机。由图 1B 数据表明,不同土壤类型对土壤紧实度的影响作用明显,潮土和砂

姜黑土的紧实度均随土层深度的增加呈先增加后稳定的状态,这和图 1A 规律一致,两种土壤类型各深度的土壤紧实度的差异明显,各土层深度下,砂姜黑土土壤紧实度均小于潮土,且随着深度的增加,二者之间的差距逐渐增大,在 20 cm 以后两者土壤紧实度差距逐渐趋于稳定。同一土壤类型,不同耕作方式下,土壤紧实度的变化规律(图 1C)与图 1A 一致,翻耕土壤前期各层土壤紧实度均小于旋耕土壤,当超过 30 cm 以后,翻耕土壤各层紧实度大于旋耕土壤。翻耕潮土与旋耕潮土各层紧实度差异明显,尤其是 10—20 cm;旋耕与翻耕砂姜黑土紧实度变化过程与上文规律(图 1A)一致,但二者之间差异不大,可见耕作方式对不同土壤类型的影响作用具有差别,耕作方式对潮土的影响作用大于对砂姜黑土的影响作用。

由图 1 可知,不同土壤类型与不同耕作方式下土壤平均紧实度随深度增加而增加,在 20 cm 处达到顶峰,在 22.5 cm 处均出现下降,而后趋于稳定,研究认为,皖北旱作区农田存在明显的犁底层,且犁底层下限在 22.5 cm 左右,具体犁底层厚度及范围还需进一步研究。

2.1.2 耕作方式及土壤类型对耕层深度及耕层紧实度的影响 土壤耕层是指农田中经常耕翻的土层,厚者可达 30 cm,薄者只有 6~7 cm,土壤耕层是农业生产的重要物质条件,直接关系到作物的高产稳产和农业的可持续发展^[14]。根据土壤紧实度突变层,结合土壤剖面数据,得到皖北地区全区及不同土壤类型、不同耕作方式下土壤耕层深度和耕层紧实度统计数据(表 1)。



注:图 A 表示研究区总体及不同耕作方式下土壤紧实度垂直变化,图 B 表示不同土壤类型下土壤紧实度垂直变化,图 C 表示不同耕作方式不同土壤类型下土壤紧实度垂直变化。

图 1 耕作方式与土壤紧实度

表 1 不同耕作方式土壤耕层深度及耕层平均紧实度

类 别		耕层深度				耕层紧实度			
		最小值/ cm	最大值/ cm	平均值/ cm	变异 系数/%	最小值/ kPa	最大值/ kPa	平均值/ kPa	变异 系数/%
潮 土	翻耕	17.50	20.00	19.17A	7.53	516.00	933.13	721.85A	28.90
	旋耕	7.50	15.00	12.00a	22.82	328.80	1263.17	735.75A	49.85
	全体	7.50	20.00	14.69	29.39	328.80	1263.17	730.54	40.92
砂姜黑土	翻耕	12.50	20.00	15.94A	20.43	238.00	1059.57	574.64A	47.75
	旋耕	10.00	17.50	12.69a	23.39	250.83	718.50	476.46A	34.21
	全体	10.00	20.00	13.93	24.46	238.00	1059.57	513.86	41.13
全 区	翻耕	12.50	20.00	16.82A	18.91	238.00	1059.57	614.79A	41.83
	旋耕	7.50	17.50	12.50a	22.75	250.83	1263.17	548.48A	46.37
	全体	7.50	20.00	14.14	25.57	238.00	1263.17	573.63	44.09

注:同组内数据后标有不同大小写字母表示在 5%水平上差异显著。

由表 1 可知,从整体来看,皖北土壤耕层深度平均为 14.14 cm 左右,最深可达 20.0 cm,最浅只有 7.5 cm。土壤特性变异性用变异系数(%)的大小来反映,变异系数≤10%为弱变异性,10%<变异系数<100%为中等变异性,变异系数≥100%为强变异性^[15]。由此可知全区土壤变异程度均为中等变异。

其中,旋耕平均耕层深度为 12.50 cm,翻耕平均耕层深度为 16.82 cm,为旋耕的 1.34 倍,数据表明旋耕确实会使得土地耕层变浅,翻耕可增加土壤耕层深度,改善土壤结构,有利于作物根系向深层生长,增加作物产量。全区耕层平均土壤紧实度为 573.63 kPa,最高 1 263.17 kPa,最低 238.00 kPa,变异程度

为中等变异,紧实度适宜农作物生长^[19-21],翻耕采样点耕层土壤紧实度平均值为 614.79 kPa,旋耕则为 548.48 kPa,小于翻耕,是因为翻耕的耕层平均深度大于旋耕,这也和石磊^[15]等人研究结论相一致。无论是潮土还是砂姜黑土,其平均耕层深度(表 1)都在 14 cm 左右,差别不大;潮土耕层紧实度最大值为 1 263.17 kPa,最小值为 328.80 kPa,耕层紧实度平均值为 730.54 kPa,而砂姜黑土耕层紧实度最大值为 1 059.57 kPa,最小值为 238.00 kPa,耕层紧实度平均值为 513.86 kPa,在相似的耕层深度下,潮土耕层平均紧实度是砂姜黑土的 1.42 倍,研究表明,不同土壤类型对土壤耕层紧实度具有不同的影响。

同一土壤类型下,对潮土来说,旋耕潮土耕层深度平均为 12.00 cm,翻耕潮土为 19.17 cm,是旋耕潮土的 1.60 倍,而旋耕砂姜黑土耕层深度平均为 12.69 cm,翻耕砂姜黑土为 15.94 cm,是旋耕的 1.26 倍;翻耕潮土

和旋耕潮土的耕层平均紧实度分别为 721.85 kPa 和 735.75 kPa,翻耕砂姜黑土和旋耕砂姜黑土的耕层平均紧实度分别为 574.64 kPa 和 476.46 kPa。对两种土壤,翻耕土壤耕层深度均大于旋耕,长期翻耕对增加耕层深度有显著作用;耕作方式对不同土壤类型耕层平均紧实度的影响作用不同,翻耕潮土平均耕层深度是旋耕潮土的 1.60 倍,而平均耕层紧实度略小于旋耕潮土,翻耕砂姜黑土平均耕层深度是旋耕砂姜黑土的 1.26 倍,平均耕层紧实度是旋耕砂姜黑土的 1.21 倍,研究表明,不同耕作方式对不同土壤类型耕层深度和耕层紧实度影响作用明显不同。

2.2 土壤容重和土壤含水量对土壤紧实度的影响

2.2.1 不同深度土壤容重与土壤含水量的变化 为研究土壤紧实度变化与土壤容重和含水量变化之间的关系,将土壤紧实度分成 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm 四层求各层平均值(表 2)。

表 2 土壤容重、紧实度和含水量变化

土层 深度/cm	土壤容重			土壤含水量			土壤紧实度		
	平均值/ (g·cm ⁻³)	标准差	变异 系数/%	平均值/ %	标准差	变异 系数/%	平均值/ kPa	标准差	变异 系数/%
0—10	1.48b	0.07	4.95	22.95a	3.65	15.89	403.57c	194.19	48.12
10—20	1.56a	0.08	4.82	20.33b	3.63	17.86	1291.76b	464.56	35.96
20—30	1.54a	0.07	4.50	21.41ab	4.02	18.78	1602.45ab	541.47	33.79
30—40	1.52a	0.08	5.39	23.04a	5.32	23.09	1677.49a	571.59	34.07

注:同组内数据后标有不同小写字母表示在 5%水平上差异显著。

由表 2 可知,研究区土壤容重整体偏高,随着土层深度的增加,容重呈先增加后减少的趋势,表层 0—10 cm 土壤平均容重为 1.48 g/cm³ 为四层最小,10—20 cm 土壤容重最高,其平均值为 1.56 g/cm³,20—30 cm 土壤和 30—40 cm 土壤逐渐降低,四层变异程度均为弱变异程度。

研究区土壤含水量随深度增加呈先减少后增加的趋势,整体偏高,表层 0—20 cm 平均土壤含水量逐渐减少,10—20 cm 土层含水量最小,为 20.33%,20—40 cm 土层土壤含水量逐渐增加,30—40 cm 土层土壤含水量最大为 23.04%,四层变异程度均为中度变异。

2.2.2 水平方向上土壤容重及含水量对土壤紧实度的影响 为研究水平方向土壤容重和土壤含水量的变化对土壤紧实度变化的影响,按土壤容重或土壤含水量变化将每一层为三组,保证每组具有相似数量的样本数,取每组容重、含水量和紧实度平均值(表 3)。

由表 3 可得,各层土壤容重越大,紧实度越大,这和翟振^[25]等人的研究相一致。每一层土壤第一组到第二组之间随着容重的增加,紧实度虽然有增加,但提升不大,而第二组到第三组之间紧实度增加明显,可见虽然容重的增加会使紧实度增加,但相同

土层深度,不同容重增长阶段对紧实度的影响作用不同;不同土层深度下,相同土壤容重增长阶段对紧实度的影响也不同,10—20 cm 土层与 20—30 cm 土层第一组之间土壤容重变化大体相同,但土壤紧实度差别却很大;研究认为,各层土壤在土壤容重大于 1.55 g/cm³ 以后,土壤容重的变化对土壤紧实度变化的影响作用明显。

土壤含水量的变化对土壤紧实度影响作用复杂,0—10 cm 和 10—20 cm 土层,土壤紧实度随着土壤含水量的增加而增大,但增幅不大,土壤容重则是先增加后减少,20—30 cm 和 30—40 cm 土层,随着土壤含水量的增加,土壤紧实度先增加后降低,增加和降低幅度均很明显,土壤容重随土壤含水量的增加先增加后减少。含水量对紧实度的影响作用复杂,受土层深度、土壤容重等很多因素的影响,土层深度、土壤容重、含水量的变化阶段等的不同都会影响含水量对紧实度作用效果,由表 3 可知,在 0—10 cm 土壤含水量变化对土壤紧实度的影响作用大于土壤容重对土壤紧实度影响的作用,随着土层深度的增加,土壤含水量对土壤紧实度影响的作用越来越小,土壤容重影响作用逐渐增加,具体影响机制仍需后续研究。

表 3 土壤容重及含水量分组

土层 深度/cm	按土壤容重分组				按土壤含水量分组			
	分组范围/	土壤	土壤容重/	土壤	分组	土壤	土壤容重/	土壤
	(g·cm ⁻³)	紧实度/kPa	(g·cm ⁻³)	含水量/%	范围/%	紧实度/kPa	(g·cm ⁻³)	含水量/%
0—10	<1.46	388.95a	1.39	22.55	<21	345.38a	1.47	17.46
	1.46~1.53	390.04a	1.49	23.71	21~24	377.61a	1.5	22.82
	≥1.53	447.64a	1.56	22.21	≥24	445.20a	1.46	25.38
10—20	<1.53	1128.36b	1.47	20.87	<19	1244.46a	1.56	15.78
	1.53~1.60	1143.61b	1.57	20.51	19~21	1303.98a	1.59	20.02
	≥1.60	1636.22a	1.64	19.57	≥21	1310.20a	1.53	23.89
20—30	<1.50	1370.78a	1.47	22.77	<20	1294.63b	1.52	17.53
	1.50~1.59	1625.13a	1.55	20.96	20~23	2014.15a	1.58	21.59
	≥1.59	1894.54a	1.62	20.26	≥23	1336.43b	1.49	26.65
30—40	<1.50	1659.13a	1.43	26.1	<20	1449.92a	1.56	17.37
	1.50~1.58	1678.97a	1.54	23.39	20~25	1939.50a	1.56	22.48
	≥1.58	1694.53a	1.61	19.65	≥25	1620.30a	1.45	28.69

注:同组内数据后标有不同小写字母表示在 5%水平上差异显著,下同。

2.2.3 垂直方向上土壤容重及含水量对土壤紧实度的影响 为研究垂直方向土壤容重和土壤含水量的变化对土壤紧实度变化的影响,把 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm 土层分别记作 1,2,3,4 层,将每个采样点相邻土层土壤紧实度、容重、含水量

以下层减上层做差,得到每个采样点相邻两土层之间土壤容重、含水量和紧实度的垂直差,并将每一垂直差层按土壤容重或土壤含水量分为三组,保证每组具有相似数量的样本数,取每组容重、含水量和紧实度垂直差的平均值代表该组整体变化量(表 4)。

表 4 土壤容重及含水量垂直差分组

类 别	按土壤容重垂直差分组				按土壤含水量垂直差分组			
	分组范围/	土壤	容重/	含水量/	分组	土壤	容重/	含水量/
	(g·cm ⁻³)	紧实度/kPa	(g·cm ⁻³)	%	范围/%	紧实度/kPa	(g·cm ⁻³)	%
2~1 层	<0.05	691.31b	-0.004	-0.98	<-4	1164.08a	0.129	-5.14
	0.5~0.1	790.65b	0.069	-2.45	-4~-2	837.28b	0.129	-3.31
	≥0.1	1162.93a	0.178	-4.27	≥-2	715.21b	0.020	-0.27
	总体	888.19	0.084	-2.62	总体	888.19	0.084	-2.62
3~2 层	<-0.05	260.10a	-0.080	1.44	<0	274.19a	-0.038	-0.83
	-0.05~0	325.72a	-0.025	1.70	0~2	302.48a	-0.014	0.58
	≥0	345.75a	0.034	1.74	≥2	348.93a	-0.017	4.74
	总体	310.69	-0.022	1.08	总体	310.69	-0.022	1.08
4~3 层	<-0.03	111.30ab	-0.093	4.24	<0	4.69a	0.046	-0.83
	-0.03~0	222.14a	-0.014	0.52	0~2	63.75a	0.007	0.58
	≥0	-40.98b	0.050	0.09	≥2	143.75a	-0.086	4.74
	总体	75.04	-0.015	1.62	总体	75.04	-0.015	1.62

由表 4 可知,随着土壤容重的增大,土壤含水量的减小,土壤紧实度逐渐增加,土壤容重的变化与土壤紧实度变化呈正相关,土壤含水量变化与土壤紧实度变化之间呈负相关,且土壤容重增加的幅度越大,含水量减小的幅度越大,土壤紧实度增加的幅度也越大,这种趋势在 2~1 层尤为明显($p<0.05$),但随着土层深度增加,土壤容重和土壤含水量变化对土壤紧实度的影响作用逐渐减小,研究认为,随着深度的增加,土层深度对土壤紧实度的影响作用逐渐占据主导,且土壤容重与含水量之间的相互影响作用也是造成该趋势减弱的原因。垂直方向上本研究只考虑土壤容重和土壤含水量的变化

对紧实度变化的影响,分析垂直方向上土壤容重和土壤含水量变化对紧实度变化的趋势关系,土壤紧实度与土壤容重和含水量三者之间的相互作用以及其他影响因素的影响作用仍需进一步研究。

3 结 论

(1) 皖北旱作区农田土壤紧实度随土层深度的增加呈先增加后稳定的规律,在 20 cm 以后逐渐趋于平稳;土壤耕层深度平均为 14.14 cm 左右,耕层较浅,耕层平均紧实度为 573.63 kPa;皖北旱作区农田存在明显的犁底层,且犁底层下限在 22.5 cm 左右,

犁底层具体厚度及范围还需进一步研究。

(2) 对于不同耕作方式,在30 cm之前旋耕土壤紧实度大于翻耕地区,在30 cm以后,翻耕超过旋耕土壤。旋耕平均耕层深度为12.50 cm,翻耕平均耕层深度为16.82 cm,为旋耕的1.34倍,旋耕确实会使得土地耕层变浅,翻耕可增加土壤耕层深度,降低土壤紧实度。

(3) 对于不同土壤类型,砂姜黑土各土层深度土壤紧实度均小于潮土,随着深度的增加,二者之间的差距逐渐增大。同一土壤类型下,翻耕土壤耕层深度均大于旋耕,翻耕耕层平均深度分别是旋耕的1.60倍(潮土)和1.26倍(砂姜黑土),可见不同土壤类型下不同耕作方式对耕层深度和耕层紧实度影响作用明显不同。

(4) 随着土层深度的增加,土壤容重呈先增加后减少,土壤含水量呈先减少后增加的趋势。水平方向上土壤容重变化与土壤紧实度呈正相关,各层土壤在土壤容重大于 1.55 g/cm^3 以后,土壤容重的变化对土壤紧实度变化的影响作用明显;土层深度、土壤容重、含水量的变化阶段等的不同都会影响含水量对紧实度作用效果。垂直方向上土壤紧实度变化与土壤容重的变化呈正相关,与土壤含水量变化之间呈负相关,但随着土层深度增加,土壤容重和土壤含水量变化对土壤紧实度的影响作用逐渐减小。土壤紧实度与土壤容重和含水量三者之间的相互作用以及其他影响因素的影响作用仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 石彦琴,陈源泉,隋鹏,等.农田土壤紧实的发生、影响及其改良[J].生态学杂志,2010,29(10):2057-2064.
- [2] Huigh M J, Sonsom B. Soil compaction, runoff and erosion on reclaimed coal-lands(UK)[J]. International Journal of Surface mining Reclamation & Environment, 1999, 13(4):135-146.
- [3] 李淑芬,张庆利.深耕后累积降雨量对沿海壤沙土紧实度的影响[J].水土保持应用技术,2003(4):28-30.
- [4] 刘宁,李新举,郭斌,等.机械压实过程中复垦土壤紧实度影响因素的模拟分析[J].农业工程学报,2014,30(1):183-190.
- [5] Nawaz M F, Bourrié G, Trolard F. Soil compaction impact and modelling: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(2):291-309.
- [6] Zheng H, Zheng J, Luo Y, et al. Change characteristic of soil compaction of long-term different tillage methods in cropland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(9):63-70.
- [7] Défossez P, Richard G, Boizard H, et al. Modeling change in soil compaction due to agricultural traffic as function of soil water content[J]. Geoderma, 2003, 116

- (1-2):89-105.
- [8] Berisso F E, Schjønning P, Keller T, et al. Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil[J]. Soil & Tillage Research, 2012, 122(6):42-51.
- [9] Lipiec J, Horn R, Pietrusiewicz J, et al. Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species[J]. Soil & Tillage Research, 2012, 121:74-81.
- [10] Davies D B, Finney J B, Richardson S J. Relative effects of tractor weight and wheel-slip in causing soil compaction[J]. European Journal of Soil Science, 2010, 24(3):399-409.
- [11] Beylich A, Oberholzer H R, Schrader S, et al. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils[J]. Soil & Tillage Research, 2010, 109(2):133-143.
- [12] Drewry J J. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2006, 114(2):159-169.
- [13] 杨世琦,吴会军,韩瑞芸,等.农田土壤紧实度研究进展[J].土壤通报,2016,47(1):226-232.
- [14] 白伟,孙占祥,郑家明,等.辽西地区土壤耕层及养分状况调查分析[J].土壤,2011,43(5):714-719.
- [15] 石磊,王娟铃,许明祥,等.陕西省农田土壤紧实度空间变异及其影响因素[J].西北农业学报,2016,25(5):770-778.
- [16] 史炳林,韦杰,张志敏,等.紫色土区不同土地利用类型土壤紧实度特征[J].地球与环境,2016,44(5):520-526.
- [17] 刘爽,何文清,严昌荣,等.不同耕作措施对旱地农田土壤物理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):65-70.
- [18] 郑洪兵,郑金玉,罗洋,等.长期不同耕作方式下的土壤硬度变化特征[J].农业工程学报,2015,31(9):63-70.
- [19] 刘晚苟,山仑,邓西平.植物对土壤紧实度的反应[J].植物生理学报,2001,37(3):254-260.
- [20] 贺明荣,王振林.土壤紧实度变化对小麦籽粒产量和品质的影响[J].西北植物学报,2004,24(4):649-654.
- [21] 吴亚维,马锋旺,邹养军.土壤紧实度对楸子幼苗根系生长及活力的影响[J].贵州农业科学,2009,37(3):118-120.
- [22] 焦彩强,王益权,刘军,等.关中地区耕作方法与土壤紧实度时空变异及其效应分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):7-12.
- [23] 王金贵,王益权,徐海,等.农田土壤紧实度和容重空间变异性研究[J].土壤通报,2012,43(3):594-598.
- [24] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等.不同耕层构造对土壤硬度和含水量的影响[J].玉米科学,2013(6):76-80.
- [25] 翟振,李玉义,逢焕成,等.黄淮海北部农田犁底层现状及其特征[J].中国农业科学,2016,49(12):2322-2332.