

关中农田土壤物理状态与分析

王加旭,王益权,李 欣,梁化学,史红平,石宗琳

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 针对关中农田土壤通气、透水能力下降,抗不良环境能力减弱,生产成本逐年递增的实际问题,以关中 11 个县区农田土壤为研究对象,以土壤耕作层厚度、容重及团聚体特征为指标,开展了现代利用强度及土壤管理模式下农田土壤物理状态及其退化特征研究。结果表明:关中地区土壤发生学层次厚度尽管很厚,但受下层土体紧实化的影响,农田土壤耕作层普遍浅薄,疏松良好的土壤耕作层厚度变化在 5~21 cm。调查范围内耕作层厚度在 20 cm 左右的仅占 18%,10~15 cm 之间的占 64%,<10 cm 占 18% 左右。关中地区农田 0~20 cm 耕层土壤容重变化在 1.04~1.34 g·cm⁻³,平均容重为 1.21 g·cm⁻³,属于良好物理状态;而 20~40 cm 土壤容重变化在 1.46~1.70 g·cm⁻³ 之间,平均容重为 1.58 g·cm⁻³,属于很紧实土壤状态。约 36% 的农田在 20~40 cm 处容重达到或超过了 1.60 g·cm⁻³ 的极限容重值。用干、湿筛技术测定的土壤团聚体的组成,关中农田 1~5 mm 的“(质量)优势团聚体”、团聚体的几何均重直径(GMD)、标准化平均当量直径(NMWD)以及土壤结构系数(K_{cp})均显示,耕作层土壤团聚状态处于良好级别,其下层 64% 的土壤团聚状态较差,关中农田土壤团聚体水稳定性差,各地土壤团聚体状态以及稳定性差别明显。结论:关中地区农田土壤耕层变浅薄,是因为 20~40 cm 土层紧实化程度增大和犁底层上移与变厚所致;20~40 cm 土壤容重已经增大到极限值;0~20 cm 土壤团聚体状态良好,但稳定性不强是引起其下层土壤紧实化的重要原因。关中农田土壤亚表层紧实化问题普遍,有愈加严重的发展态势。从空间上紧实化土层具有很强的隐蔽性,难以被人们所觉察,属于隐型土壤物理退化特征,不可小觑。

关键词: 农田土壤;耕层;容重;团聚体;土壤结构;关中地区

中图分类号: S152.5 **文献标志码:** A

Evaluation of soil physical state in Guanzhong farmland

WANG Jia-xu, WANG Yi-quan, LI Xin, LIANG Hua-xue, SHI Hong-ping, SHI Zong-lin

(College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In the face of soil aeration and water permeability declining, the ability of resistance to harmful environment diminishing, and the productive cost increasing year by year in Guanzhong farmland, the farmland soil sample from 11 counties in Guanzhong was taken and the thickness of arable layer, the soil density and aggregate characteristics was determined to study the soil physical state and its degradation characteristics under the condition of modern utilization intensity and soil management. The results showed that the soil arable layer generally became thin because of the compaction of lower soil, although the thickness in Guanzhong area was very thick in soil genesis. The thickness of soil arable layer was 5~21 cm. The sample number of the thickness of about 20 cm accounted for only 18%, the sample for 10~15 cm accounted for 64%, the sample of less than 10 cm accounted for about 18%. The soil bulk density in 0~20 cm layer in Guanzhong farmland were 1.04~1.34 g·cm⁻³ and the average value was 1.21 g·cm⁻³, which is good physical state. However, the soil bulk density in 20~40 cm layer was from 1.46~1.70 g·cm⁻³ and the average was 1.58 g·cm⁻³. The soil density in subsoil layer for about 36% of farmland reached or exceeded the limit value of 1.60 g·cm⁻³. Soil aggregate composition was determined by dry and wet sieving. The proportion of optimum aggregates of 1~5 mm, GMD, NMWD and coefficient of soil structure (K_{cp}) demonstrated that soil aggregate in arable layer was in good

收稿日期:2016-04-12 修回日期:2017-03-07
基金项目:陕西省农业厅项目“陕西苹果土壤与施肥标准化管理技术研究”(K332021312)
作者简介:王加旭(1988—),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为土壤物理改良。E-mail: wjx86909884@163.com。
通信作者:王益权,男,教授,从事土壤物理改良研究。E-mail: soilphysics@163.com。

state, and 64% of soil aggregate in subsoil layer was in poor state. The water-stability of aggregates in farmland was worse. The state and stability of soil aggregate differed largely in Guanzhong farmland. The reason that the arable layer becomes thin might be the subsoil compaction happened in 20 ~ 40 cm layer and plow – pan moved up and thickened. The soil bulk density in 20 ~ 40 cm has increased to a limit value. In 0 ~ 20 cm layer, soil aggregates were in good condition, but its poor water stability was the important reason of subsoil compaction. Soil compaction in Guanzhong farmland was widespread and became more serious. The soil compaction was a concealed soil physical degradation. Thus, more attention should be paid to soil compaction in subsoil.

Keywords: farmland soil; arable layer; soil density; soil aggregate; soil structure; guanzhong area

陕西省关中地区素有土层深厚、土体疏松、气候条件优越,适宜多种农作物种植的优势,自古以来这里就是粮、棉、油、果和菜的生产基地。土地集约化经营导致农田土壤物理质量发生着特征鲜明的“隐型退化”。尽管土层依然深厚,但土体已不再疏松,制约着农业生产的健康发展。土壤物理状态退化使得农田肥料、农药投入量逐年递增,灌溉量及灌溉次数增加,生产性成本增大,生产效益却递减;农田透水性变差,降雨期间非水田地面积长时间积水时有发生,地面径流引起农田养分流失,污染河流问题已成事实。世界范围内土地集约化利用造成了耕地面积萎缩、粮食复种增加、土地休耕期缩短和丧失^[1]。Nachtergaele 等^[2]提出,土地不可持续利用,全球近 24% 土地的质量及生产力在过去 25 年持续下降。世界一些地区传统集约型农业目前引发的土壤侵蚀速度超过大自然的土壤再生速度 100 倍^[1]。张桃林等^[3]对农业高度集约化系统中土壤质量退化进行了研究,提出土壤退化的主要表现形式有农田养分失衡、污染物质积累、土壤酸化和盐渍化等化学性质退化,未曾涉及到农田土壤物理状态的退化问题。事实上集约农业不仅导致了土壤的化学性质退化,也同样导致了土壤物理及生物质量的退化。目前涉及农田土壤物理性状演变的研究文献有很多,Chen^[4]、李志洪^[5]等研究了土壤容重增加、土壤紧实度增大等土壤理化性质变化以及对作物生长的影响。周虎等^[6]开展了耕作制度对土壤团聚状况的影响研究,认为免耕有利于土壤表层团聚体的形成并提高了其稳定性,旋耕和翻耕降低了土壤团聚度和团聚体的稳定性。关中地区同样受到轮作制度、耕作和施肥措施等农田管理制度变化的影响,土壤内部紧实化普遍发生,影响到水分入渗和土壤保持,诱发地表径流,影响土壤协调水、肥、气、热等能力。张育林^[7]、祝飞华等^[8]分别以陕西杨凌附近地区农田土壤为对象,研究发现亚表层容重急剧增大,严重制约根系延伸和水分传导。祁迎春^[9]、徐爽^[10]等分别研究了不同土地利用方式和不同肥力水平下土壤团聚体的组

成及稳定性,揭示了土壤紧实化发生的机理。学者们的研究普遍得出,农业机械的小型化使土壤耕作深度降低,土壤亚表层容重变大,犁底层变厚、上移,土壤耕作层变浅是土壤物理退化的主要形式。土壤团聚体稳定性降低,土壤结构变差是土壤物理性质退化的原因。尽管如此,对于关中农田土壤物理状态的研究范围不够,物理退化特征表征得不够鲜明,对于现代农田管理、利用现状条件下土壤物理特性演化态势分析观点不全面。本文将以涵盖关中大部分地区的农田土壤为对象,以 0 ~ 40 cm 的土壤物理状态特征研究作为切入点,采用了“横向参照标准”研究方法,参阅了国内外提出的土壤物理质量分级标准等,对关中农田土壤物理退化状态做了初步评价,企图探索现代农业技术条件下农田土壤物理性状的退化部位、退化特征与发展态势,为关中粮食主产区的土壤物理质量评估、阻控和改善关中地区农田土壤物理质量退化趋势提供可靠的科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验区概况

关中地区粮食主产区位于北纬 33°35' ~ 35°50', 东经 106°18' ~ 110°37', 属温带半湿润易旱季风气候,四季分明,年均温 6℃ ~ 13℃,冬季最冷月 1 月,其均温在 -5℃ 左右,夏季温度最高月多出现于 7 月份,其均温在 30℃ 左右。年降水量 500 ~ 800 mm,其中 6—9 月份降雨量占全年的 60% 左右,多为短时暴雨,冬春季降水稀少,春旱、伏旱较为频繁。关中地带性土壤类型为塿土(系统分类名称为土垫旱耕人为土,Earth – cumuli – Orthic Anthrosols),剖面 0 ~ 40 cm 属于在自然褐土基础上由人为常年使用土粪堆积的黄土性土垫土层,记述了关中悠久农业文明历史,它也是当今农作物根系的主要生长发育空间,该土层主要理化性状见表 1。关中地区常年实施着小麦、玉米一年两熟复种耕作制度,自从实施土地承包制以来,多采用旋耕的耕作方式。

表 1 关中地区农田的基本性状

Table 1 The basic property of the tested soil in the Guanzhong farmland

土层厚度 Depth /cm	颗粒组成 Particle composition/%			质地类型 Texture	有机质含量 SOM/(g·kg ⁻¹)	pH
	2~0.02 mm	0.002~0.02 mm	<0.002 mm			
0~20	30.48±0.11	40.41±0.05	29.11±0.03	粘壤土	15.97±2.35	7.85±0.19
20~40	24.64±0.08	42.71±0.06	32.65±0.07	Clay loam	9.54±1.78	8.31±0.21

1.2 采样及性质测定方法

为了扩大采样点的范围,扩大研究信息的覆盖面,与以往不同,本次采样地点的布设横贯关中东西走向的渭河盆地和黄土台塬地农田,分布在临渭区的官路镇、临潼的关山镇、阎良的新兴乡、三原县东郊、泾阳县城南、兴平县城东、杨陵区五泉镇、扶风县杏林镇、眉县的蔡家坡以及岐山县城西等 11 个地点,在每个点选取了 3 个地块作为重复。采样地点分布见图 1 所示,研究工作将 11 个样点作为重复对待。在各地域随机选取小麦农田,并在每块农田内随机选点进行采样。试验于 2013 年 11 月中旬小麦苗期进行,这是因为此时耕作土层经过播种后已处于沉实的相对稳定状态,易于在剖面上观察和区分出多年耕作扰动的耕作土层深度和小麦根系的分布情况。因为各地土壤紧实化土层埋层深度不同,为了便于比较,故用镶有 100 cm³ 环刀的原状土取土钻分别采取了状态疏松的耕层 0~10 cm 和紧实的 20~40 cm 土层处的原状土样,以便测定不同物理状态土层的容重,10~20 cm 属于过渡性土层没有取样,在每块农田设置 3 次重复;在各农田挖掘 3 个深度为 40 cm 以上的土壤剖面坑,依据观察耕作层土壤物理状态划分边界,多方位测量农田疏松耕作土层的深度;在耕层 0~20 cm 和底层 20~40 cm 用铁铲分别采集原状土柱样品,用硬质饭盒带回实验室,在风干期间沿自然裂隙掰成不小于 1cm 左右的土块,

用于土壤团聚体状况分析;用土钻分别采取 0~20 cm 与 20~40 cm 土样,在每个农田各取 3 个点,将相同土层土壤样品混合,带回实验室风干,供测定有关土壤化学性质和颗粒组成等。

土壤性质的测定方法:在剖面点多方位用直尺准确测量耕作扰动土层的厚度,并求其平均值;土壤容重用环刀法测定;土壤团聚体组成测定时,干筛法采用了 8411 型电动振筛机(转速 1 400 r·min⁻¹)连续振动筛分 5 min。湿筛法采用了约得法(筛分震荡 5 min);土壤颗粒组成采用了沉降分析的吸管法;有机碳含量测定采用了硫酸-重铬酸钾氧化法;pH 采用电位计法^[11]。

土壤团聚体状况分别采用了标准化平均当量直径^[12-13](NMWD)、平均几何直径(GMD)、结构系数(K_{ctp})^[14]等指标来表示,分别详见式 1~式 4。

$$GMD = \text{Exp} \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]$$

(1)

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_i w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

(2)

$$NMWD = \frac{MWD}{X_{\max} - X_{\min}}$$

(3)

式(1)和式(2)中 $\bar{x}_i$ 为 i 组团聚体直径的中值, w_i 为 i 组团聚体的含量;式(3)中 $r_{\max}$ 为最大初始筛子孔径, $r_{\min}$ 为最小筛子孔径。

$$K_{ctp} = \frac{\sum (10 - 0.25 \text{ mm})}{\sum (> 10 \text{ mm} + < 0.25 \text{ mm})}$$

(4)

式 4 中 K_{ctp} 是团聚体系数,分子表示 10~0.25 mm 团聚体的总量;分母是直径大于 10 mm 团聚体和小于 0.25 mm 微团聚体量之和。10~0.25 mm 的团聚体是最有农业价值的,而直径 > 10 mm 的团聚体过多,影响土壤保墒性,而直径 < 0.25 mm 微团聚体过多易堵塞土壤通气孔隙,影响通透性^[14]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 软件对数据进行整理及绘制相关图形和表格,SPSS19.0 对数据进行 LSD0.05 差异显著性检验。

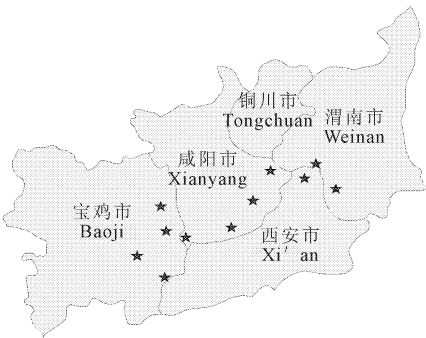


图 1 关中地区农田采样分布图

Fig.1 The distribution map of soil sampling locations in Guanzhong farmland

2 结果与分析

2.1 关中农田土壤耕层厚度现状与演化趋势

土壤耕层作为植物根系发育的重要基础,对作物高产和稳产以及农业可持续发展有着决定性的作用。土壤耕作层厚度直接影响到作物根系的分布空间及觅水觅肥空间,影响植物根系的抗旱、抗低温和高温、抗冻害、抗病虫等性能。深厚的耕作层也有利于防止表层撒施农药对根系造成危害^[15]。所以,土壤耕作层厚度作为表征土壤质量的重要指标之一,在土壤科学和土地工程质量管理方面被格外重视。

关中地区耕地经过了多年连续的高强度的利用以及耕作技术措施的变更等,尽管土壤耕层物理状态似乎变化不大,但物理状态良好的耕层厚度却在逐年变浅,“犁底层”加厚位置上移的态势明显。这已成为农田易受干旱、洪涝威胁,水土流失及土壤养分流失严重的主要原因,也直接影响着作物的生长发育。自实施土地承包以来,生产中大型农机具使用率急剧下降,土壤深翻、深松作业面积越来越少。用小型动力机械作业,翻动的土层浅,机械压实以及土壤自然沉实共同作用,土壤的亚表层紧实化,耕地质量退化,土壤肥力下降等^[16-17]。

调查发现(见图 2 和表 2),疏松适宜的耕作层厚度变化在 5~21 cm 之间,其中耕层厚度在 10~15 cm 的占调查总数的 64%,而 >15 cm 和 <10 cm 的各占 18%。关中农田土壤耕层的平均厚度只有 13 cm,仅眉县和扶风县城关镇土壤耕层厚度接近 20 cm,可视为较好状态;杨凌等地点次之;官路镇和三原县等地土壤耕作层厚度还不足 10 cm,属于最差状态。关中地区约占调查总数 82% 的农田土壤耕层已经小于 15 cm,证实关中地区农田土壤耕层普遍存在着薄层化。关于土壤耕层厚度的质量标准一直是学术界探讨的课题,有人曾提出分级标准是,>40 cm 属于Ⅰ级,25~40 cm 为Ⅱ级,15~25 cm 为Ⅲ级,10~15 cm 为Ⅳ级,<10 cm 属于Ⅴ级。依此为依据可以看出,关中农田土壤耕作层厚度多属于Ⅳ级以下标准。耕作层厚度还需要依据作物类型来评价,在这方面目前可借鉴的定量化研究指标与文献极为鲜见,一般认为肥沃土壤耕层厚度需在 30 cm 以上,主要农作物 80% 的根系分布在 0~50 cm 土层范围等。那么,无论如何厚度 <20 cm 的土壤耕层显然是不良性状的退化特征之一,尤其在干旱地区,浅薄的耕作层无疑对于作物抗旱极为不利。关中农田土壤耕层表现为薄层化的特征,实质是在 20~40 cm 土层处紧实化问题较为严重的缘故。



图 2 关中农田耕作土层现状

Fig.2 The situation of soil arable layer in Guanzhong farmland

表 2 土壤耕层厚度和容重的变化

Table 2 The change of thickness of soil arable layer and soil bulk density

地点 Location	耕层厚度 Thickness of soil arable layer/cm	容重/(g·cm ⁻³) Bulk density	
		0~10 cm	20~40 cm
官路镇 Guanlu town	9.00	1.11 ± 0.10	1.70 ± 0.08
关山镇 Guanshan town	13.00	1.25 ± 0.09	1.55 ± 0.07
新兴乡 Xinxing township	11.00	1.23 ± 0.10	1.55 ± 0.08
三原县 Sanyuan county	5.00	1.34 ± 0.10	1.47 ± 0.08
泾阳县 Jingyang county	15.00	1.19 ± 0.10	1.48 ± 0.08
兴平县 Xingping county	15.00	1.28 ± 0.10	1.46 ± 0.08
杨陵区 Yangling area	14.50	1.24 ± 0.11	1.64 ± 0.06
扶风县 Fufeng county	14.50	1.08 ± 0.11	1.56 ± 0.06
扶风县 Fufeng county	21.00	1.33 ± 0.12	1.57 ± 0.06
眉县 Mei county	17.00	1.23 ± 0.09	1.69 ± 0.08
岐山县 Qishan county	12.00	1.04 ± 0.12	1.70 ± 0.09

2.2 关中农田土壤容重状况及演化趋势

农田耕层变浅薄在各地普遍发生,其发生机理已成为众位学者极大关注的科学问题。张兴义等^[18]在东北平原通过人为移除表土的研究方法,得出了随着土壤侵蚀程度的增加,在耕层逐渐薄层化的同时土壤容重也逐渐增大。关中地区绝大多数农田地势平坦,似乎不存在因耕层流失而变浅薄的条件,但在深厚土体上土壤耕层变浅的现象确有发生,原因在于亚表层逐渐发生着紧实化性状的障碍问题,在这一点与其它地方土壤耕层薄层化机理有所不同。

容重是表征土壤松紧状况的指标,是影响作物根系发育的重要因素之一,不同类型的作物因根系类型不同对土壤耕层容重及其剖面其它土层的容重要求差异很大。国内外学者对土壤容重与作物生长关系做了大量而又深入的研究。土壤容重对作物生长的影响程度与质地类别有很大关系,对于轻壤质土壤及轻粘土壤,适宜作物生长的最佳容重应在

1.00~1.30 g·cm⁻³,限制根系延伸的极限容重为 1.60 g·cm⁻³^[19-20]。宋家祥等^[21]依据棉花产量得出:很疏松土壤的容重为 0.90~1.05 g·cm⁻³,正常土壤容重为 1.05~1.20 g·cm⁻³,紧实土壤的容重为 1.20~1.40 g·cm⁻³,很紧实土壤的容重大于 1.40 g·cm⁻³。Васильев 和 Ревут^[22]曾提出,当土壤容重在 1.05~1.20 g·cm⁻³时,小麦子粒和玉米子粒产量最高,当小于 1.05 g·cm⁻³和大于 1.20 g·cm⁻³时产量显著下降。De Neve^[23]研究表明作物根系正常生长的土壤临界容重值为 1.50 g·cm⁻³,Acuna^[24]认为土壤容重 1.80 g·cm⁻³是对玉米根系生长的阈值。

研究发现目前关中农田 0~10 cm 疏松耕作土层的容重变化范围是 1.04~1.34 g·cm⁻³,符合农作物根系正常生长的需要;但在 20~40 cm 紧实化土层处容重却在 1.46~1.70 g·cm⁻³之间变化,已经超越了作物根系适宜生长的阈值,特别是在官路镇、杨凌、眉县、岐山县等地,均超过了极限容重 1.60 g·cm⁻³。20~40 cm 土层土壤容重分别比 0~10 cm 土层处增大了 32%~64%,亚表层土壤容重增大,阻碍着作物根系延伸与生长,阻碍着水分入参与土壤内部气体交换与更新。

上述分析不难看出,关中地区农田土壤的亚表层土壤紧实化(lower subsoil compaction)问题极为严重,紧实化的土层埋藏较浅,是在具有深厚土体黄土地区土壤耕层变浅的主要原因。紧实化的土层因为埋藏在疏松的耕作层以下,不易被觉察,具有隐型物理退化的特征。土壤压实原因是因不合理的运输、耕作、践踏或土木工程施工等引起的“诱导压实”,和源于成土过程诸如粘粒淋溶与淀积过程所产生的“自然压实”两种机制^[25]。关中农田的亚表层紧实化主要属于自然压实,因为播种耕作多采样旋耕破土,其余作业机械化水平低,犁机具的压实强度不大,其诱导压实程度较小。土壤自然压实发生的根本原因在于表层土壤团聚体的状态差和稳定性不强等。

2.3 土壤团聚体的状态及其评价

团聚体具有协调土壤中水、肥、气、热能力、影响土壤酶种类与活性、维持和稳定土壤疏松熟化土层^[23]等功能。团聚体的粒级与组成比例表征着土壤肥力水平高低,不同级别的土壤团聚体在营养元素的保持、供给及转化能力等方面发挥着不同程度的作用^[24]。土壤团聚体的稳定性指抵御外界各种破碎应力的能力,是评价土壤团聚体质量和土壤物理性状的重要指标。

在学术界对土壤团聚体状况的评价已有不少研

究成果可借鉴,其中最先是由 Вильямс 得出土壤中直径 1~3 mm 的团聚体含量与作物产量有很强的正相关关系^[22];Вильямс、Соколовский 和 Савинов 认为土壤中直径在 1~5 mm 的团聚体是最有价值的^[26],其含义并不在于它的含量占绝对优势,而在于它的质量性状非常突出,故将这种团聚体称之为“(质量)优势团聚体”^[27]。直径过大的团聚体之间孔径较大,对于旱地来说不利于保墒和水分传输,直径太小的微团聚体容易堵塞土壤孔隙,影响土壤通透性能。

表 3 关中农田土壤水稳定性团聚体的基本状况
Table 3 The basic situation of soil water stable aggregates in Guanzhong farmland

团聚体的测定方法 The determination method of soil aggregates	团聚体组成 Aggregates composition /mm	耕层土壤 0~20 cm Arable layer/%	亚表层土壤 20~40 cm Subsurface layer/%
干筛法 Dry sieving	7~10	19.28±0.08	55.32±0.08
	5~7	11.31±0.02	5.19±0.01
	3~5	35.73±0.05	11.39±0.02
	2~3	8.26±0.02	2.41±0.01
	1~2	15.40±0.03	8.12±0.02
	0.5~1	2.99±0.02	7.40±0.02
	0.25~0.5	0.97±0.01	2.51±0.01
湿筛法 Wet sieving	<0.25	5.44±0.04	7.52±0.04
	>5	3.88±0.03	2.77±0.06
	2~5	7.67±0.01	5.26±0.02
	1~2	9.73±0.01	6.28±0.02
	0.5~1	10.65±0.01	8.59±0.02
	0.25~0.5	15.50±0.01	15.06±0.03
	<0.25	52.55±0.02	62.03±0.02

关中农田土壤团聚状况见表 3,经干筛和湿筛后 0~20 cm 耕层 1~5 mm“质量优势团聚体”的含量分别为 59.39%和 17.40%,20~40 cm 亚表层分别为 21.92%和 11.54%,相同土层的土壤 1~5 mm 团聚体含量在干筛与湿筛之间差异很大,证实该土壤团聚体的水稳性较差,亚表层土壤团聚状态明显比耕层土壤差。依据 Шеин^[14]对不同级别团聚体农艺特性研究,他提出以干筛后 10~0.25 mm 团聚体含量和湿筛后≥0.25 mm 团聚体的含量作指标,评价土壤的团聚状态与质量的阈值。干筛后 10~0.25 mm 的团聚体含量>60%,表示为优良团聚状态;40%~60%属于良好状态;<40%属于不良状态;湿筛后≥0.25 mm 团聚体含量<30%,表明土壤团聚体属不良状态;30%~40%为略差状态;40%~75%属良好状态,>75%则属于很好状态。依此为判断

可以看出,关中农田土壤耕层和亚表层土壤经干筛后 10 ~ 0.25 mm 团聚体含量分别为 94.66% 和 92.48%,显然属于优良团聚状态;那么,湿筛后耕层和亚表层土壤 ≥ 0.25 mm 的团聚体含量分别为 47.45% 和 37.93%,耕层土壤仍然属于团聚良好状态,而亚表层土壤则属略差团聚状态。可见关中农田土壤团聚状态良好,但水稳性很差是农田土壤团聚体的主要特征。

表 4 土壤团聚体的 NMWD 和 GMD 的变化
Table 4 The change of NMWD and GMD in soil aggregate

土层 Soil layers	地点 Locations	干筛法 Dry sieving				湿筛法 Wet sieving			
		GMD /mm	平均 Average/mm	NMWD /mm	平均 Average/mm	GMD /mm	平均 Average/mm	NMWD /mm	平均 Average/mm
耕作层 Arable layer	官路镇 Guanlu town	1.29		0.32		0.55		0.20	
	关山镇 Guanshan town	1.63		0.43		0.49		0.18	
	新兴乡 Xinxing township	1.47		0.36		0.54		0.20	
	三原县 Sanyuan county	1.78		0.46		0.47		0.16	
	泾阳县 Jingyang county	1.59		0.41		0.45		0.15	
	兴平县 Xingping county	1.88	1.69 ± 0.18a	0.55	0.46 ± 0.07A	0.51	0.49 ± 0.03A	0.18	0.17 ± 0.02a
	杨陵区 Yangling area	1.78		0.48		0.48		0.16	
	杏林镇 Xinglin town	1.81		0.51		0.45		0.15	
	城关镇 Fufeng county	1.82		0.50		0.52		0.18	
	眉县 Mei county	1.86		0.52		0.50		0.18	
亚表层 Subsur face layer	岐山县 Qishan county	1.74		0.47		0.46		0.15	
	官路镇 Guanlu town	1.41		0.47		0.32		0.08	
	关山镇 Guanshan town	1.85		0.63		0.47		0.19	
	新兴乡 Xinxing township	1.62		0.54		0.39		0.11	
	三原县 Sanyuan county	2.04		0.69		0.36		0.10	
	泾阳县 Jingyang county	1.71		0.58		0.43		0.13	
	兴平县 Xingping county	1.93	1.78 ± 0.17a	0.66	0.59 ± 0.06a	0.41	0.41 ± 0.05b	0.13	0.13 ± 0.03b
	杨陵区 Yangling area	1.84		0.61		0.51		0.19	
	杏林镇 Xinglin town	1.79		0.58		0.39		0.11	
	城关镇 Fufeng county	1.81		0.61		0.40		0.12	
	眉县 Mei county	1.72		0.56		0.46		0.15	
	岐山县 Qishan county	1.89		0.61		0.39		0.12	

注:不同小写字母表示差异达显著水平(P<0.05)。
Note: Different small letters represent significant difference at 0.05 level.

以土壤团聚体农艺性状为基础的,对土壤“质量优势团聚体”分析的同时,仍需要对各地农田土壤团聚体组成的整体状况进行分析(见表 4)。首先从表 4 看出,以 GMD 为参数表征土壤团聚体状况时,因为各地之间的变化区间大,差别明显,似乎比以 NMWD 为团聚体状况参数要更加敏感一些。

干筛后关中农田土壤耕层和亚表层土壤团聚体的 GMD 分别变化在 1.29 ~ 1.88 mm, 1.41 ~ 2.04 mm,各县地土壤之间差异明显,20 ~ 40 cm 的亚表层土壤 GMD 普遍高于 0 ~ 20 cm 耕层土壤,平均值也高于耕作层,与 10 ~ 0.25 mm 团聚体为指标表征的结果有所不同,显示出 20 ~ 40 cm 土层的较大直径的团聚体含量较高,体现着亚表层土壤具有较强的团聚性和不易破碎的特征,这正是亚表层土壤紧实

化的又一个具体表现。

湿筛后关中农田耕层和亚表层土壤的 GMD 分别为 0.45 ~ 0.55 mm 和 0.32 ~ 0.51 mm,在各县地之间差异较小,表示关中农田土壤团聚体的水稳定均较差,其中 0 ~ 20 cm 耕作层土壤团聚体水稳定性略好于 20 ~ 40 cm 土层,这一点又与干筛的基本情况相一致,进一步说明 20 ~ 40 cm 土层团聚体的水稳定性极差,是降雨或者灌溉期间抑制透水性的主要障碍性土层。

关中地区农田土壤团聚体在干、湿筛之间 GMD 和 NMWD 差别很大,说明其团聚体的水定性较差,尤其是 20 ~ 40 cm 土层处差异最大。

尽管 GMD 和 NMWD 被认为是评价土壤团聚体整体状态的理想指标,但是,用它们作为指标只能表

征不同类型和性状土壤间团聚状况的差别,不能表征其土壤团聚体的农艺性状。因为截至目前,尚无人提出过用团聚体的 GMD 或 NMWD 作指标,评价其农艺性状的阈值。Шеин 等人依据不同直径团聚体的基本农艺特性,提出了用团聚体系数(K_{ctp} , 见式 4)作参数评价的相关阈值。他认为当 $K_{\text{ctp}} > 1.5$ 时属于优良级团聚状态、 $1.5 \sim 0.67$ 属于中等质量、 < 0.67 属于不良状态的级别。由图 3 可以看出,关

中农田土壤团聚体的 K_{ctp} 均未达到优质团聚体状态的质量标准,表层土壤的 K_{ctp} 介于 $0.76 \sim 1.10$ 之间,属于中等质量;底层土壤的 K_{ctp} 介于 $0.31 \sim 0.77$ 之间,仅关山镇、兴平县、杨凌、眉县 4 地的 K_{ctp} 大于 0.67 ,属于中等质量,其它地区均属于不良状态的团聚体。关中农田土壤表层团聚体相对较好,底层土壤团聚状态质量水平较差,成为底土层紧实化的根本原因。

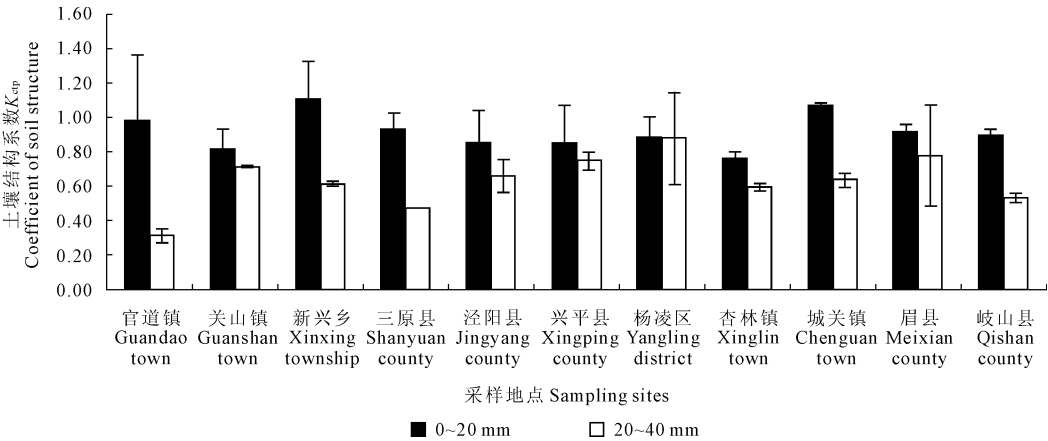


图 3 土壤结构系数 K_{ctp} 的变化趋势

Fig.3 The change tendency of the soil structure coefficient (K_{ctp}) 0~20 cm, 20~40 cm; sampling location

3 结 论

1) 关中地区农田土壤耕层有薄层化的发展趋势,物理状态良好的耕作层变化在 $5 \sim 21$ cm, 约 64% 的土壤耕层厚度处于 $10 \sim 15$ cm 之间,有 18% 的土壤耕层厚度小于 10 cm。关中地区农田土壤耕层逐渐变浅薄的机理是耕层以下底层土壤的紧实化问题,而非耕层流失所致。

2) 关中地区农田耕层土壤容重变化在 $1.04 \sim 1.34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 平均容重为 $1.21 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 属于良好物理状态,但底层 20~40 cm 的容重变化在 $1.46 \sim 1.70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间,平均容重为 $1.58 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 底层土壤容重不仅显著高于耕层 0~20 cm, 且达到或超过了极限容重 $1.60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。底土层土壤紧实化问题较为普遍,并因其土层位置具有隐蔽性,不易被人们觉察,具有典型隐形退化的基本特征。

3) 从土壤 1~5 mm 团聚体的含量、团聚体的几何均重直径(GMD)、标准化平均当量直径(NMWD) 以及结构系数(K_{ctp}) 为指标分析可知,关中地区农田表层和底层的土壤结构存在较大差异。土壤中 1~5 mm“(质量)优势团聚体”在干筛和湿筛的情况下,表层土壤含量是底层的 2.7 倍和 1.5 倍。团聚体的质量指标均反映出,关中农田土壤表层土壤团聚状

态优于底土层,表层和底层土壤团聚状态处于良好级,只因为团聚体的水稳定性很差,尤其是 20~40 cm 土壤团聚体状态与稳定性差,是导致土壤底层容重变大、紧实化和耕层薄层化的主要原因。在现代土地集约化利用与管理情况下,关中地区农田亚表层土壤物理状态有着明显的退化趋势,而且其隐蔽性很强,应给予足够的重视。

参 考 文 献:

[1] 联合国环境规划署国际资源专家委员会土地和土壤工作组. 全球土地利用评估报告[M]. 北京: 中国环境出版社, 2015.

[2] Nachtergale F O, Petri M, Biancalani R, et al. Global land degradation information system (GLADIS), version 1.0 An information database for land Degradation Assessment at Global level[M]. LADA Technical Report, 2011.

[3] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. 土壤通报, 2006, 4(5): 843-850.

[4] Guihua C, Ray R W. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 117(12): 17-27.

[5] 李志洪, 王淑华. 土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 55-57.

[6] 周 虎, 吕盼忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.

[7] 张育林, 王益权, 胡海燕, 等. 陕西关中地区农田土壤物理状态初探[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 75-79.

[8] 祝飞华,王益权,胡卫光,等.关中农田土壤剖面的主要物理性状研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):145-150.

[9] 祁迎春,王益权,刘 军.关中地区土壤团聚体组成特征及稳定性研究[J].陕西农业科学,2011,(5):66-69.

[10] 徐 爽,王益权,王 浩,等.不同肥力水平土壤团聚体的稳定性及对氮肥盐溶液的响应[J].植物营养与肥料学报,2012,18(5):1135-11.

[11] 郑必昭.土壤分析技术指南[M].北京:中国农业出版社,2013.

[12] 彭新华,张 斌,赵其国.红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J].生态学报,2003,23(10):2176-2183.

[13] 张 鹏,贾志宽,王 维,等.秸秆还田对宁南半干旱地区土壤团聚体特征的影响[J].中国农业科学,2012,45(8):1513-1520.

[14] Шенин Е В, Гончаров В М. агрофизика Высшее Образование [М]. Ростов-на-Дону 《Феникс》. 2006.

[15] 孙云蔚,王惠蕙.果园土壤管理[M].上海:上海科学技术出版社,1981.

[16] 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.

[17] 张忠学,曾赛星.东北半干旱抗旱灌溉区节水农业理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2005.

[18] 张兴义,隋跃宇.土壤压实对农作物影响概述[J].农业机械学报,2005,36(10):161-164.

[19] Ковда В А.土壤学原理[M].北京:科学出版社,1981:282.

[20] 王立春,马 虹,郑金玉.东北春玉米耕地合理耕层构造研究[J].玉米科学,2008(4):13-17.

[21] 宋家祥,庄恒扬,陈后庆,等.不同土壤紧实度对棉花根系生长的影响[J].作物学报.1997,23(6):719-726.

[22] Шенин Е В, Гончаров В М. Агрофизика Высшее Образование [М]. Издательство Феникс,2006.

[23] DE, Neve S, Hofman G. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues[J]. Biology and Fertility of Soils, 2000,30(5-6):544-549.

[24] Acuat L B, He X, Wade L J. Temporal variation in root genotypes through thin wax layers in contrasting water regimes and in the field [J]. Yield Crops Research, 2012,138:1-10.

[25] 周健民,沈仁芳.土壤学大辞典[M].北京:科学出版社,2013.

[26] Douglas J T. Crawford C F. The response of a ryegrass toward to wheel traffic and applied nitrogen[J]. Grass and Forage Science, 1993,48(2):91-100.

[27] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415-420.

(上接第 106 页)

[11] Vicente-Serrano S M, Beguería S, Lorenzo-Lacruz J, et al. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications[J]. Earth Interactions, 2012,16(10):1-27.

[12] 庄少伟,左洪超,任鹏程,等.标准化降水蒸发指数在中国区域的应用[J].气候与环境研究,2013,18(5):617-625.

[13] 李伟光,易 雪,侯美亭,等.基于标准化降水蒸散指数的中国干旱趋势研究[J].中国生态农业学报,2012,20(5):643-649.

[14] 李伟光,侯美亭,陈汇林,等.基于标准化降水蒸散指数的华南干旱趋势研究[J].自然灾害学报,2012,21(4):84-90.

[15] 任培贵,张 勃,张调风,等.基于 SPEI 的中国西北地区气象干旱变化趋势分析[J].水土保持通报,2014,34(1):182-187,192.

[16] 马 琼,张 勃,王 东,等.1960—2012 年甘肃黄土高原干旱时空变化特征分析——基于标准化降水蒸散指数[J].资源科学,2014,36(9):1834-1841.

[17] 李景宜.陕西渭河流域主要环境问题及其治理[J].干旱区研究,2011,28(6):967-973.

[18] Li Qi, Song Jinxi, Wei Anlei, et al. Changes in major factors affecting the ecosystem health of the Weihe River in Shaanxi Province, China[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2013, 7(6):875-885.

[19] 毕彩霞,穆兴民,赵广举,等.1960—2010 年渭河流域旱涝时空分布特征[J].水土保持通报,2013,33(2):281-284,290.

[20] 赵安周,刘宪锋,朱秀芳,等.基于 SWAT 模型的渭河流域干旱时空分布[J].地理科学进展,2015,34(9):1156-1166.

[21] 陈昱潼,畅建霞,黄生志,等.基于 PDSI 的渭河流域干旱变化特征[J].自然灾害学报,2014,23(5):29-37.

[22] 黄生志,黄 强,王义民,等.基于 SPI 的渭河流域干旱特征演变研究[J].自然灾害学报,2015,24(1):15-22.

[23] 马明卫,宋松柏.渭河流域干旱指标空间分布研究[J].干旱区研究,2012,4(29):681-691.

[24] 田 甜,黄 强,郭爱军,等.基于标准化降水蒸散指数的渭河流域干旱演变特征分析[J].水利发电学报,2016,35(2):16-27

[25] 左德鹏,徐宗学,程 磊,等.渭河流域潜在蒸散量时空变化及其突变特征[J].资源科学,2011,33(5):975-982.

[26] 袁文平,周广胜.标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J].植物生态学报,2004,28(4):523-529.

[27] 杨晓静,左德鹏,徐宗学.基于标准化降水指数的云南省近 55 年旱涝演变特征[J].资源科学,2014,36(3):473-480.

[28] 中国气象科学研究院,国家气象中心,中国气象局预测减灾司.气象干旱等级 (GB/T20481 - 2006)[S].北京:中国标准出版社,2006.

[29] 包云轩,孟翠丽,申双和,等.基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J].地理学报,2011,66(5):599-608.

[30] 周 丹,张 勃,任培贵,等.基于标准化降水蒸散指数的陕西省近 50 年干旱特征分析[J].自然资源学报,2014,29(4):677-688.