

关中地区耕作方法与土壤紧实度时空 变异及其效应分析

焦彩强, 王益权*, 刘 军, 赵加瑞, 宋晓燕

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了探明关中地区土壤紧实度的基本情况, 揭示长期旋耕方法对于土壤紧实度的作用与影响, 在关中东道塬设置了旋耕和深翻处理、休闲和种植小麦处理的定位观察试验, 在小麦各生育阶段分别监测了 0~40 cm 剖面范围内土壤紧实度变异情况, 分析了影响土壤紧实度的因子等。结果表明: 播前施行旋耕土壤紧实度较高, 尤其是在 15~40 cm 表现得较为明显, 限制了作物根系伸长; 深耕松土的效应在整个小麦生育期间都能得到明显的体现。实验证实了生产上现行的旋耕方法具有明显地导致土壤紧实化的问题。土壤紧实度与含水量明显相关, 影响程度随土壤深度的增加而增大; 土壤紧实度对含水量的敏感反应意味着土壤干燥化会对作物生长带来干旱和机械双重胁迫; 同时随着紧实度的增加土壤内部温度变化幅度也在增大。可见现行旋耕方法使得土壤不良环境缓冲性降低, 对于降水或者灌溉的依赖性在增强, 土壤已经处于明显疲劳状态。

关键词: 耕作方法; 土壤紧实度; 含水量; 土壤温度; 关中地区

中图分类号: S152.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0007-06

农业集约化生产是当前关中地区农业发展的基本特征, 在集约化生产模式下, 关中地区旋耕代替了原来的深翻, 旋耕深度比深翻要小, 长期的旋耕对土壤的理化性质产生了不利影响。集约化农作区农业机械化使用水平较高, 农机具在田间作业行走时, 轮胎及机具对土壤产生了压实, 使得表层土壤被压下沉^[1]。拖拉机作业时, 轮子对土壤产生压实, 尤其是大型拖拉机, 压实较深^[2], 使得土壤紧实度明显增加。近 20 年来, 在国外机械化发达地区已把土壤耕作的研究注意力转移到土壤环境保护上, 在研究大型机械化土壤作业时, 发现存在一些严重的问题, 耕作的有益作用常被土壤压实的副作用所抵消, 土壤耕层不是越耕越好, 而是土壤环境被破坏得越来越严重^[3]。1998 年德国科学家^[4]发表一份研究报告指出: 重型机械在使用时, 由于轮子的巨大压力, 土壤紧实度越来越大, 既不利于作物根系的生长, 也不利于水分的渗透, 加重了土壤的侵蚀。土壤通透性变坏、排水不畅也会使土壤渍水, 造成土壤盐渍化, 降低土壤肥力。相反, 也有学者研究认为过分强调浅耕、少耕甚至免耕这些不利于缓解土壤疲劳的耕作措施已经表现出了肥力的不可持续性^[3]。可见, 集约化生产中土壤耕作管理仍然是迫切需要研究的

关键问题之一。集约化生产的另一个显著问题在于给土壤的化学物质投入量在逐年增加, 有机物投入量在降低, 长期以来导致土壤胶体的调控机能严重受损, 土壤抗逆性降低, 农业生产对于环境和人管理的依赖性在增加, 土壤产生了明显的疲劳症。

紧实度是土壤重要的物理性状之一, 可以作为评价长期集约生产对土壤质量影响程度的主要指标之一。探讨关中地区普遍施行的集约化耕作(即旋耕)模式和深翻耕作下土壤紧实度的时空变异特征, 分析其影响因子, 对于揭示该区土壤管理措施条件下土壤质量演化趋势有着极为重要的科学价值。因此, 对关中地区长期集约化生产的土壤进行定点定位观测, 监测土壤剖面主要根系活动区域土壤紧实度的时空变异特征以及土壤含水量动态变化过程, 探求耕作措施对土壤紧实度的影响等都具有极为重要的科学价值。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况及供试土壤性状

试验地位于陕西关中地区杨凌头道塬, 土壤为垆土(系统分类命名为土垫旱耕人为土, Earth-cumuli-orthic anthrosols), 其理化性状详见表 1。关中地

收稿日期: 2008-12-05

基金项目: 陕西省农业科技推广项目“2008 年关中灌区小麦玉米优质高效栽培模式试验与示范”(4130202, 11203533)

作者简介: 焦彩强(1980—), 男, 河南省南乐人, 硕士研究生, 从事集约化生产条件下土壤疲劳问题的研究。E-mail: jiaocaiqiang@nwsuaf.edu.cn.

* 通讯作者: 王益权(1957—), 男, 陕西旬邑人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事土壤物理与改良教学与科研工作。E-mail: soilphysics@163.com.

表 1 土壤基本理化性状

Table 1 Soil physical and chemical properties

土层深度 Soil depth (cm)	粘粒 Clay <0.002 mm	粉砂粒 Silt 0.02~0.002 mm	砂粒 Sand 2~0.02 mm	质地类型 Soil texture	田间持水量 Field water capacity (%)	萎蔫系数 Wilting coefficient (%)	有机质含量 Organic matter content (g/kg)
0~10	9.21	70.75	20.04		20.81	10.9	15.74
10~20	10.29	71.49	18.22	粉质 粘壤土	19.82	11.8	15.26
20~30	10.29	73.75	15.97	Silty clay loam	19.16	13.0	14.19
30~40	9.29	69.98	20.73		18.81	12.3	10.05

区自然条件优越,土质疏松,土层深厚,农艺性状良好,光、热资源比较丰富,年均温 12.9℃,大于 10℃积温 4185℃,年均降水量 635.1 mm,年际间降水量变化大,年度内分布极不均匀,7~9 月降水量占全年 1/2 左右;年均蒸发量 993.2 mm,海拔 550 m,农业历史悠久。该地区干旱频繁发生(主要有冬旱、春旱和伏旱,属暖温带半湿润易旱的大陆性季风气候区),冬小麦一夏玉米 1 年两熟制是当地典型的轮作制度。

1.2 测定项目及方法

试验于 2006 年在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站试验田进行,所用田块采用冬小麦一夏玉米一年两熟制,前茬作物为夏玉米;设置有定点定位观测点。为了探求耕作深度与方法、作物种植制度等对土壤紧实度的作用与影响,试验采用裂区设计,主处理为深翻和旋耕两种耕作方法;副处理为种植小麦和休闲两种。监测小区的面积为 7 m×5 m。供试小麦品种为小堰 22 号。具体监测项目有:

(1) 土壤紧实度测定:在小麦各个生育时期测定两次,用 SC900 土壤紧实度测定仪,土壤紧实度的测定单位为 kPa,SC900 数字式土壤紧实度测定仪的空间分辨率为 2.5 cm,压力分辨率为 35 kPa(精确度为 35 kPa),最大量程为 0~40 cm,测压为 0~7 000 kPa。所以,本试验是以 2.5 cm 为间距逐层测定土壤剖面 0~40 cm 深度范围内的坚实度。

(2) 土壤含水量测定:为了探明小麦生育过程中土壤水分状况,并且分析土壤含水量对于土壤紧实度的影响,为此用烘干法与土壤紧实度同期进行土壤含水量的测定,含水量的测定深度及间距分别为 0~5 cm,5~10 cm,10~15 cm,15~20 cm,20~30 cm,30~40 cm。

(3) 土壤温度状况的观测:在小麦生育期分阶段进行地温的测定,地温计埋藏深度分别为 5 cm,10 cm,15 cm,20 cm,25 cm,以便探讨土壤紧实度对地温的影响。

2 结果与分析

2.1 耕作方法对土壤紧实度的影响

土壤紧实度是影响作物生长的重要因素之一,合理的耕作管理是调控土壤紧实度的有效手段。为了探求现今施行的旋耕模式对于土壤紧实度的作用与影响,分析现今耕作制度在农业可持续发展中的可行性,本试验设置了播种前土壤旋耕与深翻两种耕作处理,小区深翻的深度为 30 cm,与关中地区大面积多年施行的旋耕制度相比较。在小麦生育期间多次监测 0~40 cm 范围内土壤的紧实度,并按照 5 cm 的间距进行资料统计与整理,结果表明(见图 1):不同的耕作制度对土壤紧实度的作用效果在冬小麦生育期间都是极为明显的,深翻使得 0~40 cm 内土壤的紧实度均小于旋耕,甚至在没有被深翻到的 30~40 cm 土层土壤紧实度也小于旋耕区,这与深耕有利于小麦根系向深层延伸穿插切割等作用有很大关系。两种耕作处理土壤紧实度在 0~10 cm 范围差异不很明显,但在其下各层土壤中紧实度就有了非常明显的差异,尤其是在 15~30 cm 土层范围内深翻区土壤的紧实度一直小于旋耕区。在小麦生长后期由于土壤紧实度剧增,对于根系的胁迫作用明显增加,在 0~30 cm 土层内旋耕区土壤紧实度是深翻区紧实度的 2~3 倍。土壤紧实度越大,土壤的机械阻力也就越大,从而影响植物根系的生长。根据有关资料^[5],当土壤机械阻力超过 1 MPa,根系生长明显变缓,当机械阻力约为 5 MPa 时,根系生长停滞。由此可见,旋耕区对作物根系有明显的抑制作用,而深翻疏松土壤,增加活土层的厚度,更利于作物根系的延伸生长。

2.2 土壤含水量与土壤紧实度的关系

不同土层的土壤因其结构、有机物质含量等不同,使得随着土层深度的增加,含水量对紧实度的影响也在明显地增大(见图 2);各层次土壤有机质含量(见表 1)从上到下递减,紧实度与含水量关系函数的斜率也就从上至下依次增大。为了全面分析影

响土壤紧实度的主要因子,对于供试土壤的粘粒含量、有机质含量和水分含量与紧实度之间进行多元回归分析,得出其回归方程为: $Y = -270.15 + 667.44x_1 - 218.336x_2 - 106.84x_3$, 其中 x_1, x_2, x_3 分别为土壤粘粒含量(%),有机质含量(g/kg)和含水量(%)等,经检验各因子的偏回归系数均达到小于

0.01 的显著水准,说明土壤紧实度对于土壤粘粒含量的依赖程度要高于有机质含量,又高于土壤含水量。在土壤质地粘重,有机质贫乏的土壤条件下,保持土壤适宜的湿度条件显得极为重要,不仅满足了作物生长对水分的需求,而且减小了土壤对根系生长的机械胁迫作用。

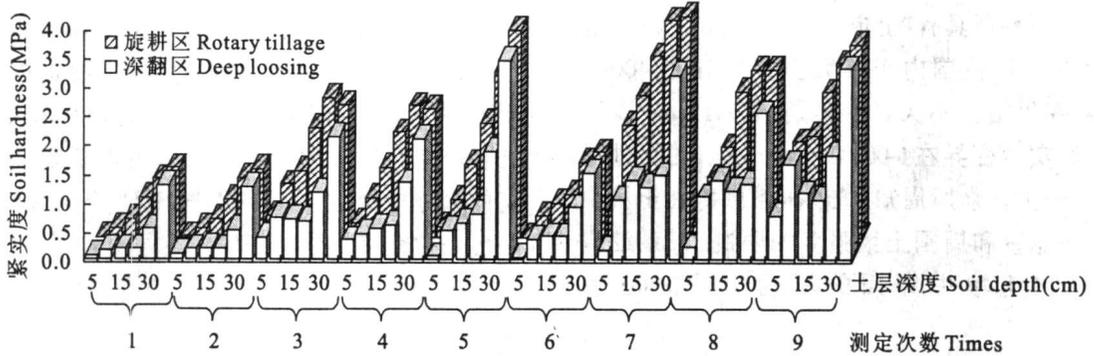


图1 不同耕作方式对土壤紧实度的影响

Fig.1 Effect of soil hardness on tillage

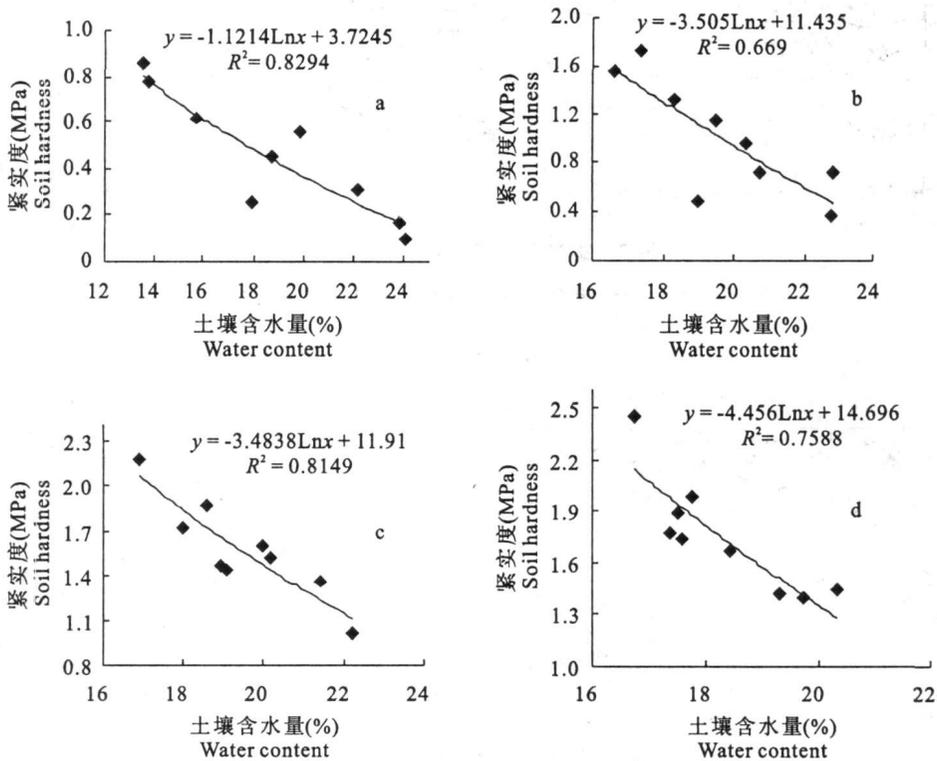


图2 各层土壤紧实度与含水量的关系(a、b、c、d分别指土层深度为10cm、20cm、30cm、40cm)

Fig.2 Relationship between soil hardness and water content

(a, b, c and d indicate soil depth of 10cm, 20cm, 30cm and 40cm respectively)

2.3 小麦生育过程中旋耕处理土壤紧实度及土壤含水量的时空变异特征

土壤物理机械性质对于植物根系的发育速度和根系在土壤剖面中空间分布特征的影响是土壤学界关注的重要课题。其中紧实度是土壤物理机械性质

中很重要的一项,土壤紧实度越大,植物根系在土壤中的穿插所受到的机械压力也就越大。在已有的众多的研究报道^[6],发现许多重要的农作物(大麦、小麦、玉米和甜菜)的根系在土壤中穿插速度在极小的机械压力下(20~50 kPa)会下降一半,并指出给大

麦根系施加 50 kPa 的压力,可使侧根发生区从根尖 30 mm 缩短到只有 4 mm,植物往往通过增长侧根来弥补主根长度缩短的缺陷。

图 3 是在冬小麦整个生育期间,不进行灌溉,依赖于自然降水维持小麦生产条件下,旋耕小区主要根区土壤的紧实度等值线图。从图 3 所示的旋耕区土壤紧实度等值线图可以看出,在小麦生育期间土壤紧实度剖面特征具有“上虚下实”特征。上虚只是指在 0~15 cm 土层范围内土壤紧实度变异在 400~1 400 kPa,变化幅度不大。下实是指 15 cm 以下土层土壤紧实度变异在 1 000~3 400 kPa,变化过程明显,幅度较大。众所周知,植物根系细胞在土壤中穿插受到细胞壁和周围土壤强度的限制,根系细胞膨压是根在土壤中穿插的驱动力。Taylor 和

Ratliff^[7]研究得出根细胞的膨压一般约为 700~1 200 kPa,也就是说土壤紧实度若高于此值,植物就会受到机械胁迫作用。Ehlers 等^[8]研究发现,对于燕麦根系土壤紧实度大于 3 600 kPa 时,其根系生长就停止。由此可见,关中地区土壤由于长年旋耕等原因,土壤紧实化的问题已经显得较为明显。虽然 0~15 cm 土层土壤紧实度相对较小,不会对根系生长产生机械胁迫作用,但由于该层土壤含水量偏低,且不稳定(见图 4),土壤水分欠缺会胁迫根系生长。而下层土壤过于紧实,程度不同地对作物根系延伸有着机械胁迫作用。下层的土壤过于紧实,以及较高的水分含量,使得土壤氧气不足,导致根系生长受限已经被众多学者所证实。

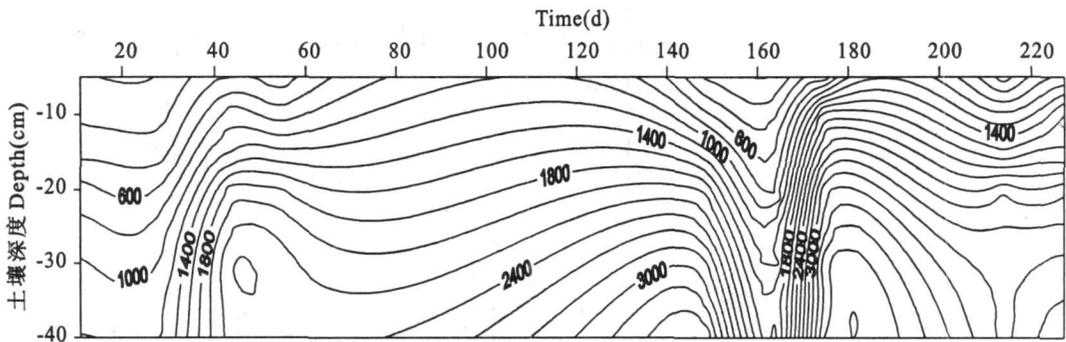


图 3 旋耕区土壤紧实度时空变异图

Fig.3 Isoline map of soil hardness of rotary tillage

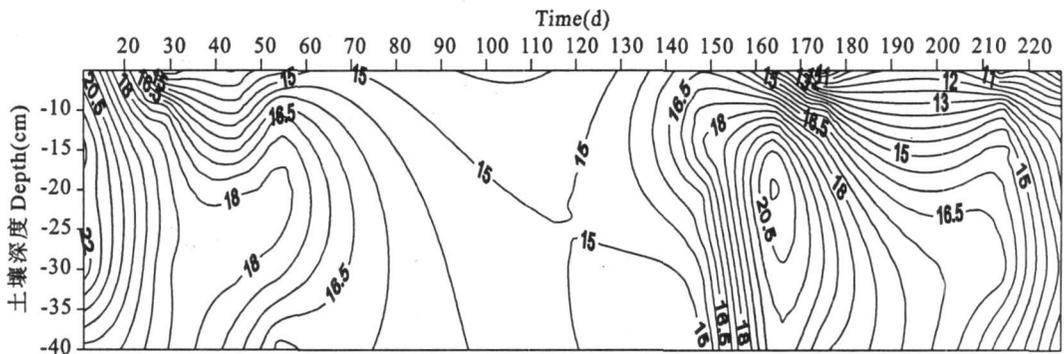


图 4 旋耕区土壤含水量时空变异图

Fig.4 Isoline map of soil water content of rotary tillage

图 3 还清楚地显示,在小麦生育期间 0~40 cm 剖面范围内土壤紧实度变化过程明显的与土壤水分变化过程相一致,尤其是在 15~40 cm 范围内,随着水分升降而按照相反的趋势在变化着。小麦播种 40 d 后,土壤剖面水分从 22%下降到 18%,土壤紧实度从 800 kPa 急剧增大到 1 400 kPa,之后从第 40~140 d 时间里土壤墒情基本稳定,土壤紧实度也几

乎没有很明显的变化;在第 140~160 d 期间,紧实度因为土壤墒情变化有一个降低过程,从第 160 天起,由于作物耗水和强烈的土壤蒸发,土壤紧实度也在急剧地增加到 1 400 kPa 以上较高水平。土壤的物理状态受环境变迁过程的明显作用,意味着土壤自身协调能力严重受损,土壤表现出现了明显的“疲劳症”。

2.4 土壤紧实度对土温的影响

土壤的温度状况对作物的生长及微生物的活动有极其重要的影响;同时,土壤温度也直接影响到土壤中水气的保持和运动以及土壤中其他一些物理过程。

为了探求耕作方法对土壤温度的影响,在春季小麦生长旺盛的拔节期对土壤温度进行测定,在每个实验小区各安置了两组地温计,测定温度的日变化过程,并取其平均值。图5所示的是不同耕作方法下土壤表层5 cm处土壤温度日变化过程。由此可以清楚地看出旋耕小区土壤热量传递快,地表以下5 cm处土层的温度日变化幅度要较深耕小区明显大,有时是中午地温较高。从早晨7:00起在晴天情况下,5 cm处土壤温度是深耕小区<旋耕小区,此结果与张国红^[2]等人的研究结果相吻合。在阴天两种耕作模式地温变化特征则正好相反(见图6),即深耕小区>旋耕小区。由此可以得出疏松的土壤表层相当于有一层隔热层,使得下层土壤温度变化较为和缓。而紧实的土壤土粒之间紧密,热量传导较快,温度变化过程相对剧烈。图7表示的是不同层次土壤温度的日温差,从中可以看出无论是在休闲状态,还是耕作种植小麦小区,基本上由旋耕小区温差高于深耕小区的特征。地温的变化受土壤容积热容量和导热率的影响^[9~11],表层疏松的土壤有助于减少土壤水分的散失,提高土壤保水能力,稳定土壤温度等作用。

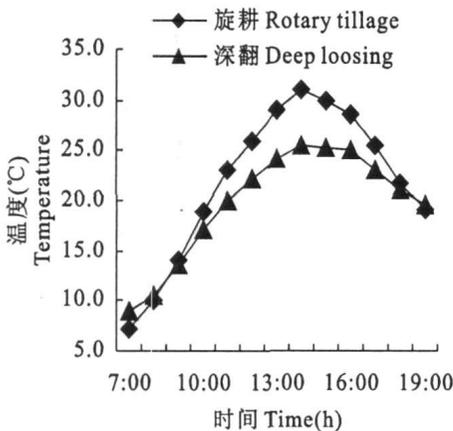


图5 紧实度对地温的影响(晴天)

Fig.5 Effect of soil hardness on temperature(sunny)

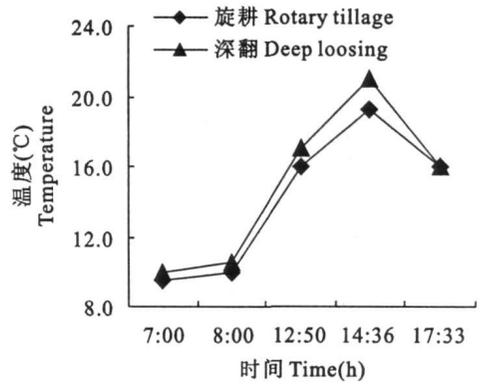


图6 紧实度对地温的影响(阴天)

Fig.6 Effect of soil hardness on temperature(cloudy)

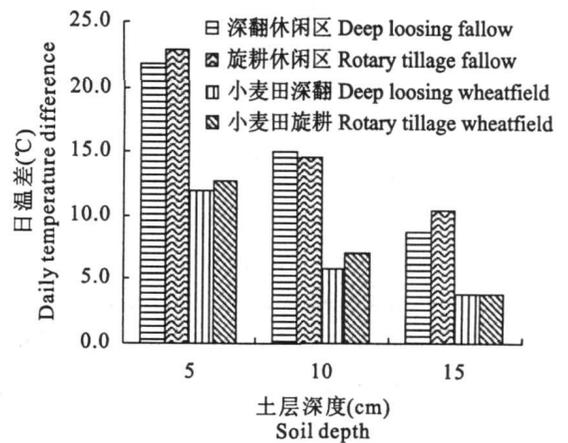


图7 紧实度对土壤温度极差的影响

Fig.7 Effect of soil hardness on soil temperature range

3 结论

1) 不同的耕作方法明显地影响到作物主要根区0~40 cm范围内土壤的紧实度。当前生产上多年采用的旋耕耕作方法,使得土体较为紧实,不同程度地制约着作物根系的延伸;而播前深翻土壤,使土

体疏松的效应能够在小麦生育的全过程中有所体现。

2) 旋耕只能使表层0~15 cm土层相对较为疏松,但15~40 cm土层土壤紧实度明显地高于表层,根据前人提出有关评价指标可以初步认为,底层土壤的紧实度已经达到了制约根系延伸的水平。旋耕使得土体紧实化的现象表现得较为明显,证实现代旋耕耕作使得土壤质量具有不可持续的基本观点。

3) 证实土壤紧实度与质地类型(粘粒含量)、有机质含量和土壤含水量有很密切的关系。在土壤质地类型一定、土壤有机质相对贫乏的土壤中,土壤紧实度在很大程度上依赖于土壤含水量。土壤自身协调机能受损,其物理状态对于自然降水条件敏感性在增强,反映了当前关中土壤处于一种严重的“疲劳状态”。

4) 土壤耕作方法影响土壤温度的变异幅度。深翻松土增加土壤温度的相对稳定性。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 迟仁立, 左淑珍, 夏平, 等. 不同程度压实对土壤理化性状及作物生育产量的影响[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 39—43.
- [3] 张兴义, 隋跃宇, 孟凯. 农田黑土机械压实及其对作物产量的影响[J]. 农机化研究, 2002, (4): 64—67.
- [4] 崔伟. 农业与环境冲突有哪些[J]. 中国人口·资源与环境, 2000, 10(1): 84—85.
- [5] 格雷戈里 P J, 等. 陈放, 等编译. 作物根系的发育与功能[M]. 成都: 四川大学出版社, 1992.
- [6] Goss M J. Effects of mechanical impedance on root growth thin barley I. Effects on the elongation and branching of seminal root axes[J]. J Exp Bot, 1977, 28: 96—111.
- [7] Taylor I B, Hussain A, Black C R, et al. Soil compaction: A role for ethylene in regulating leaf expansion and shoot growth in tomato[J]. Plant Physiol, 1999, 121: 1227—1237.
- [8] Ehlers W, Goss M J, Boone F R, et al. Effect of soil management practice on soil physical conditions affecting root growth[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1984, 30: 131—140.
- [9] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 126—130.
- [10] 辛平, 黄高宝, 张国盛, 等. 耕作方式对表层土壤饱和和导水率及紧实度的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40: 203—207.
- [11] Richard G, Cellier P E. Effect of tillage on bare soil energy balance and thermal regime: an experimental study[J]. Agronomie, 1998, 18(3): 163—180.

Spatial-temporal variability of soil hardness and effect of soil hardness on other soil properties in rotary tillage in Guanzhong farmland

JIAO Cai-qiang, WANG Yi-quan*, LIU Jun, ZHAO Jia-rui, SONG Xiao-yan

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

Abstract: The objective of this study was to investigate soil hardness in the Guanzhong Plain and to determine the relationship between rotary tillage method and soil hardness in the region. The experiment was conducted in the first tableland of the Guanzhong Plain. There were two cultivation treatments (rotary tillage and deep tillage) and two cropping treatments (wheat and fallow). Soil hardness was determined in 5cm increments from 0~40 cm during the wheat growing season. The results showed that rotary tillage before planting increased soil hardness. The effect was especially large in the 15~40 cm layer where the growth of wheat roots was limited. In contrast, the positive effects of deep tillage were observed throughout the entire wheat growing season. Thus, this study indicated that rotary tillage led to a hardening of the soil. There was a significant correlation between soil hardness and soil water content. The effect of soil hardness on soil water content increased as soil depth increased. The sensitivity of soil water content to soil hardness means that soil aridization causes double stresses of drought and mechanical stress on crop growing. Soil temperature also increased as soil hardness increased. So the current rotary tillage caused the buffering to bad environment of soil decreased, and the dependency on precipitation or irrigation increased, and soil is in remarkable fatigue state.

Keywords: tillage method; soil hardness; water content; soil temperature; Guanzhong farmland