

陕西关中地区农田土壤物理状态初探

张育林,王益权,胡海燕,孙 蕾,徐 海

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了反映现代人为强度作用下农田土壤质量的演化趋势,对陕西关中不同地区土壤容重和坚实度做了调查与研究。结果显示,关中地区农田土壤容重底层显著大于表层,表层0~10 cm土壤容重平均值为1.00 g/cm³,属于正常范围;10~20 cm平均容重为1.40 g/cm³,大于1.30 g/cm³达到紧实程度标准以上的土壤样品数占到88%;20~30 cm土壤平均容重为1.61 g/cm³,容重高于1.40 g/cm³属于很紧实土壤样品占到96%,达到该土壤质地类型砂礓限容重1.60 g/cm³以上样品占到52%,该土层成为限制作物根系延伸的土层;30~40 cm平均容重值也为1.60 g/cm³,达到很紧实以上水平,但是达到极限容重以上的样品数为44%。土壤坚实度在0~25 cm范围内急剧增加,25 cm以下保持在1 600 kPa左右,对作物生长产生了一定水平的机械障碍。同时分析得知,土壤坚实度与土壤容重呈极显著的正偏相关关系,而与含水量只是呈不显著的负偏相关关系,说明本试验条件下土壤坚实度增大的原因主要是由于土体密实化所引起的。试验结果证实,关中地区农田土壤仅在10 cm以上表层土壤维持着对作物生长无明显物理障碍状态,其下土层密实化问题不仅严重而且非常普遍,土壤密实化导致了坚实化,制约着作物根系延伸,深层密实化和坚实化具有很强的隐蔽性,应给予足够的重视。深耕松土是改善关中农田土壤物理状态的可行措施。

关键词: 关中农田;容重;坚实度;土壤物理状态

中图分类号: S152.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0075-05

我国人多地少,对土地利用强度日益加剧,然而,近年来随着土地集约化经营与使用程度不断提高,人为给土壤施加了各种技术措施,包括施用大量的化学肥料与农药、改变耕作方式以及轮作制度等,使得农田土壤的物理状态普遍发生着潜在的退化过程,表现为土壤对环境协调能力显著降低,对施肥和灌溉的及时程度有了很强的依赖性;施肥不增产、不施肥必减产,土壤贪水又贪肥,肥料用量居高不下,农业生产成本逐年增加的问题极为普遍等。生产实际已证实了科学家UruShadze的预言^[1],21世纪土壤在时间和空间上都不会发生自然灾害性的变化,但是,人为活动对土壤的作用将会更加强烈,这种人为作用是极其负面的并超越我们的控制能力,对此必须采取决定性对策,所以,探求现代土地利用强度下土壤物理状态的变异趋势既是土壤科学研究的重要课题,也是建立农业可持续发展基础的迫切需要。

土壤是植物生长的基本条件,为植物提供着各种营养条件和协调着环境条件,保证植物能够生长在相对稳定而又舒适的环境中。土壤协调营养和环境的能力主要依赖于土壤胶体和土壤团聚作用,即土壤的物理状态。过度使用土壤,损坏其物理状态,毁坏协调机能,土壤就呈现出一定“疲劳度”。

容重和坚实度是评价土壤物理质量的重要指标。容重反映了土壤供肥供水及透气能力,坚实度反映了土壤对作物根系生长的阻力大小等,它们是土壤物理状态的直观反映。国内外学者在土壤容重与坚实度方面已做了卓有成效的研究。李笃仁,李志洪等研究表明适宜疏松的土壤环境有利于作物根系的伸展和根量的积累,提高小麦生物学产量和经济产量^[2,3];Assaeed, Garcia F, Shierlaw J等^[4-6]研究表明由于土壤紧实可以导致土壤水分和气体含量降低、机械阻力增加,作物叶面积和干物质积累下降,延缓作物根系生长及对N、P等营养元素的吸收。国内众多研究都是模拟一定的土壤容重,探求作物生长的状况和容重之间的关系^[7-10]。已有的研究成果均能反映土壤物理状态与作物生长及与养分利用之间的关系。

陕西关中地区以土体疏松,土层深厚,适宜多种作物种植而著称,自古以来就是粮食主要生产基地。然而,近些年来该区土壤物理质量潜在恶化已经成为一个不容忽视的问题,土层深厚但土体却不再疏松,严重地制约着农业生产。截至目前,人们把制约粮食增产的问题归咎于化肥质量与使用等,而对于土壤物理状态的变异缺乏足够的认识,缺乏对土壤

收稿日期:2010-03-02

基金项目:陕西省农业厅项目“陕西关中冬小麦/夏玉米轮作超高产技术体系研究”

作者简介:张育林(1984—),陕西武功人,硕士研究生,从事土壤物理学问题研究工作。E-mail: zhangyulinbest@126.com。

通讯作者:王益权(1957—),陕西旬邑县人,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。

深层容重以及坚实度的变异资料。本研究试图分析关中各地区农田土壤深层 0~40 cm 容重及 0~45 cm 坚实度的变异规律,为关中粮食主产区现行技术措施的风险评估、以及改革地区耕作制度等土壤管理措施,确保粮食稳产高产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区概况

调查地点选在陕西关中粮食主产地区,该区年降水量 500~800 mm,多年平均为 650 mm 左右,年内降水分配不均,主要集中在 7、8、9 三个月,年平均温度在 11.0℃~14.0℃,年蒸发量平均在 800 mm 左右,地下水埋深在 80~100 mm,属于半干旱偏湿润易旱地区^[11]。本试验采样点分布在宝鸡、杨凌、兴平和渭南等 4 个地区。供试土壤类型均为壤土,土壤有机质含量变异在 6.87~15.79 g/kg,土壤 pH 在 8.2 左右,属于石灰性土壤,质地类型为重壤质。

1.2 试验处理及方法

试验于 2008 年 11 月在上述 4 个地区农田进行,种植作物均为冬小麦。土壤容重在每个地区随机选取 3 块农田进行测定,每个点重复两次,按照农作物根系的主要活动空间,用自行设计的原状土取土钻(见图 1)按照 10 cm 的间距从上到下逐层测定 0~40 cm 范围内土壤容重;用 SC-900 型坚实度计按照 2.5 cm 间距依次测定 0~45 cm 范围内的土壤坚实度,在每个地区重复 15 次,求其平均值。

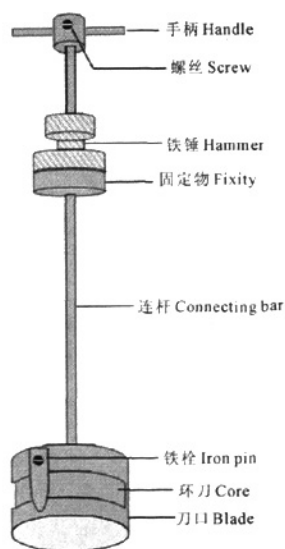


图 1 土壤容重取土装置

Fig.1 Device for soil bulk density

1.3 数据处理

数据处理采用 DPSv7.05 和 EXCEL 软件。

2 结果与分析

2.1 农田土壤剖面容重变化情况

土壤容重是影响作物根系生长的重要因子,A. Г. Бондарев^[12]提出了不同质地类型土壤容重的最佳变异范围,对于粘质土和轻粘土类为 1.00~1.30 g/cm³,轻壤质土壤为 1.10~1.40 g/cm³,砂壤土为 1.20~1.45 g/cm³,而砂土类为 1.25~1.60 g/cm³。其次,以往均以表层土壤容重为指标评价土壤的物理状态,然而,科学家们早就认识到,目前许多农作物平均产量之所以仍低于依据气候条件而推算的潜在产量,问题就在于几十年来仅依赖于表层 10 cm 土壤耕作和保护设施,并没有增加农作物产量,在农业系统中底土对根系增殖和植物生长的影响被忽略了,除了适当温度、水分和养分,根系还需要透气和低的机械强度环境^[1]。由此可以看出,研究作物耕层土壤物理状态对于提高农作物生产水平有着极为重要的意义。也有学者研究得出,植物根系前期生长类型对根系未来的生长和分布有着永久性的影响^[13]。基于这些原理,于小麦苗期对关中地区根区范围内土壤容重进行了调查与研究,结果见图 2,从图 2 可以看出,关中地区农田土壤在小麦苗期仅在 0~10 cm 表层维持着 1.00 g/cm³ 的平均土壤容重值,处于对大多数作物没有影响的水平;而剖面 10 cm 以下土壤容重则急剧增大,在 10~20 cm 容重平均值达到 1.40 g/cm³;20~40 cm 处土壤容重值为 1.60 g/cm³。剖面上各层之间土壤容重递增趋势极为明显,经 LSD 检验得出,达到了极显著水平(见表 1)。依据 A. Г. Бондарев 资料和当地土壤质地基本类型不难判断,只有 0~10 cm 土壤容重符合作物根系生长需求,而下层土壤容重已经达到了限制作物根系延伸的水平。土壤深层紧实化意味着疏松适宜的表土层出现了明显的薄层化趋势,保育作物根系适宜的土层厚度变小,势必影响着土壤对环境的协调能力,增加了作物对环境变化的敏感性。深层土壤容重增大,土体紧实化已经是当前农业生产上一个不容忽视的问题。

2.2 农田土壤容重变异情况

为了全面掌握土壤物理状态,对关中地区农田土壤容重变异的基本特征作进一步分析(见图 3),全面掌握土壤物理状态,以便为制定合理的土壤管

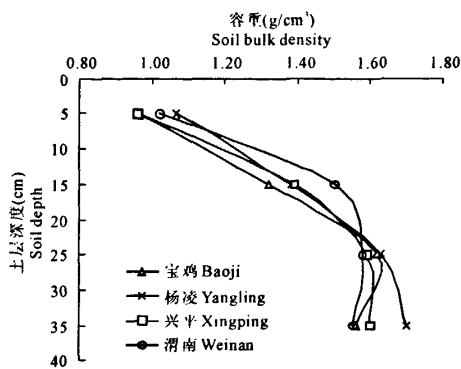


图 2 关中地区农田土壤容重垂直变化

Fig.2 Vertical variation of farmland soil bulk density in Guanzhong area

表 1 关中地区不同土层土壤容重变化

Table 1 Variation of soil bulk density in different soil layers in Guanzhong area

项目 Item	土层深度 Soil layer(cm)			
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40
平均容重(g/cm³) Average soil bulk density	1.00 C	1.40 B	1.61 A	1.60 A

注:不同字母表示达 $P < 0.01$ 的显著水平。
Note: Different letters mean significance at $P < 0.01$ level.

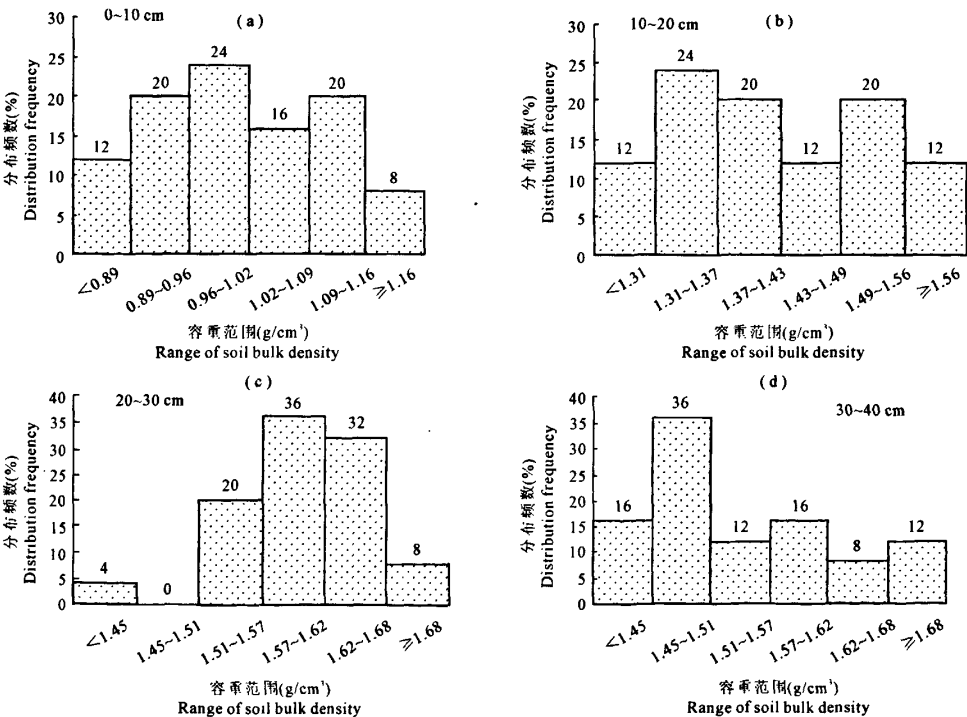


图 3 陕西关中地区各层土壤容重频数分布

Fig.3 Frequency distribution of soil bulk density in different layers in Guanzhong of Shaanxi

理措施提供充分的依据。Васильев 和 Ревут 曾提出^[12],当土壤容重在 1.05 ~ 1.20 g/cm³ 时,小麦籽粒和玉米籽粒的产量最高,当小于 1.05 g/cm³ 和大于 1.20 g/cm³ 时,产量显著下降。依据作物产量得出,很疏松土壤的容重为 0.90 ~ 1.05 g/cm³;正常土壤容重为 1.05 ~ 1.20 g/cm³;紧实土壤容重为 1.20 ~ 1.40 g/cm³;很紧实土壤的容重大于 1.40 g/cm³。宋家祥等有研究提出^[8],砂土、粘土对于棉花获得最大生物学产量和经济产量的最适宜土壤容重在 1.20 ~ 1.30 g/cm³ 之间。黄喜细也研究发现^[14],小麦产量与土壤容重呈二次曲线关系,最高产量出现在容重为 1.23 ~ 1.31 g/cm³ 之间,当容重大于 1.40 g/cm³ 时,根系生长开始受阻;容重大于 1.50 g/cm³ 时,严重地阻碍根系生长。多数科学家认为,没有根系能够穿入土壤容重高于 1.90 g/cm³ 以上的任何土壤中,得出多数土壤的极限容重为 1.70 ~ 1.80 g/cm³,粘土为 1.60 ~ 1.70 g/cm³^[15]。А.Г.Бондарев 也得出了类似的结果,轻壤质土壤极限容重为 1.60 g/cm³,砂质土壤为 1.80 g/cm³^[12]。依据关中地区土壤质地类型以及从图 3 可以看出,监测期间属于小麦苗期,表层 0 ~ 10 cm 表层土壤容重比较小,变异

在 $0.82 \sim 1.23 \text{ g/cm}^3$ 之间,暂时属于正常范围;但 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 土层容重则变异在 $1.25 \sim 1.62 \text{ g/cm}^3$,其中大于 1.30 g/cm^3 达到紧实程度以上标准的土壤样品数占到 88% (见图 3b)。 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 土壤容重变异在 $1.40 \sim 1.74 \text{ g/cm}^3$,其中容重高于 1.40 g/cm^3 属于很紧实的土壤样品占到 96%,达到该土壤质地类型的极限容重 1.60 g/cm^3 以上样品占到 52% (见图 3c),该层次已经成为限制作物根系延伸的限制土层。 $30 \sim 40 \text{ cm}$ 土层容重变异区间与 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 相同,也在很紧实以上水平,只是达到极限容重以上的样品数约为 44% (见图 3d)。由此得出,关中地区农田土壤存在着严重的深层紧实化问题,其隐蔽性很强,不容易被人们所察觉和重视,其对主要农作物的影响尚待深入研究。

2.3 农田作物根区土壤坚实度变异情况

土壤坚实度是衡量作物根系延伸阻力的重要指标,一般认为紧实土壤中根系生长速度减慢,同时根的形态也变短变粗^[1]。Masle 等研究表明,作物叶面积大小与土壤阻力(坚实度)密切相关^[1]。土壤坚实度影响植物光合产物的分配,随土壤坚实度增加,更多的光合产物以根系分泌物和脱落物的形式释放到土壤中。由于紧实土壤对植物生长及土壤养分有效性的影响,导致生长在紧实土壤中的作物产量和品质降低和养分利用率不高。Douglas 等试验证明,紧实土壤上使用 150 kg/hm^2 氮肥与正常土壤上使用 50 kg/hm^2 氮肥所收获的黑麦草产量是相同的^[15]。由此可以看出,全面监测农田土壤坚实度变异趋势,对于分析农田土壤贫水贫肥机理、作物产量徘徊不前等机理具有极为重要的科学价值。

于小麦播种后一个月内监测了关中地区农田土壤坚实度(见图 4)。由图 4 看出,在 $0 \sim 25 \text{ cm}$ 范围内土壤坚实度变化随着土层深度增加而显著增大,在 25 cm 以下土壤坚实度达到最大值 $1\ 600 \text{ kPa}$ 左右,且基本上不再变化。制约作物根系延伸的土壤阻力至今还不确定,Barley 和 Greeacon 提出,阻止大多数作物根系延伸的阻力范围是 $800 \sim 5\ 000 \text{ kPa}$,并提出此值与作物类型有很大关系。其实只有 20 和 50 kPa 外界压力就足以使小麦根的伸长分别减少 50% 和 80% ^[15]。Lhotsky J 和 Zrubec F 依据土壤质地类型依次提出了限制作物根系生长的坚实度值,对于粘土为 $2\ 800 \sim 3\ 200 \text{ kPa}$ 、重壤土为 $3\ 200 \sim 3\ 700 \text{ kPa}$ 、中壤土为 $3\ 700 \sim 4\ 200 \text{ kPa}$ 、轻壤为 $4\ 500 \sim 5\ 000 \text{ kPa}$ 、壤土 $5\ 500 \text{ kPa}$ 、砂土为 $6\ 000 \text{ kPa}$ ^[1]。黄喜细等研究在砂壤土上穿透阻力大于 $1\ 470 \text{ kPa}$ 时根系生长开始受阻,阻力大于 $2\ 450 \text{ kPa}$ 时则严重阻碍

根系的生长^[9]。以此为依据判断,关中农田土壤 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 表层土壤坚实度基本上小于 500 kPa ,土壤比较疏松,坚实度不会影响作物根系生长;在 $10 \sim 25 \text{ cm}$ 土层土壤坚实度急剧增大,坚实度从 288 kPa 增加到 $1\ 477 \text{ kPa}$,增大了约 4 倍多,显示出土壤亚表层具有明显的坚实化问题。尽管从表面上看,目前土壤坚实度尚未达到限制根系生长的标准,这只是因为秋季土壤深层墒情较好的缘故,一旦亚表层土壤水分被消耗,土壤坚实度就会增加,达到限制根系延伸的水平。

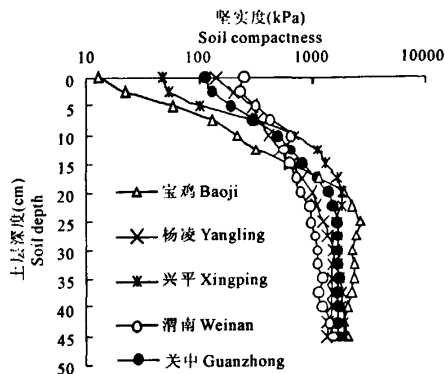


图 4 陕西关中及不同地区土壤坚实度

Fig.4 Soil compactness in different districts in Guanzhong

2.4 影响土壤坚实度的主要因素

土壤坚实度作为土壤主要物理性质之一,主要依赖于土壤的质地类型、容重和含水量等,受土壤本身物理性质条件和土壤含水量两大因素影响显著。在关中土壤质地类型差异不很显著的条件下,其坚实度主要依赖于容重(密实化)和含水量(干燥化)。因此,将土壤容重(X_1)和含水量(X_2)与相同土层内的土壤坚实度平均值(Y)做偏相关分析,其结果如表 2。

表 2 土壤坚实度与容重及含水量的偏相关分析结果

Table 2 Partial correlation analysis of soil compactness, soil bulk density and soil water content

项目 Items	偏相关系数 Coefficient of partial correlation
X_1 与 Y X_1 & Y	0.6397**
X_2 与 Y X_2 & Y	-0.2358

注:**表示在 $P < 0.01$ 水平上的差异显著。

Note:** means significant difference at $P < 0.01$ level.

分析结果表明,土壤坚实度与土壤容重呈极显著正偏相关关系,而与土壤含水量呈负偏相关关系,但未达到显著水平。说明在本试验条件下,土壤容

重对坚实度的影响程度远远大于土壤含水量的影响,成为造成该区土壤坚实度增大的主要因素。因此认为,关中地区土壤坚实度增大的主要原因是由于土壤密实化的结果,其次才是土壤干燥化。换句话说,为了减小土壤对作物根系的机械阻力需要疏松土体同时需要保持较高水平的土壤含水量,一般情况下疏松土体比维持较高水平土壤含水量容易,在关中地区适度疏松显得非常重要。

3 结 论

1) 关中地区农田土壤容重底层显著大于表层,表层0~10 cm土壤平均容重值为1.00 g/cm³;10~20 cm为1.40 g/cm³;20~30 cm为1.61 g/cm³;30~40 cm为1.60 g/cm³。0~40 cm范围内各层次间容重差异达到了极显著水平。

2) 关中地区农田土壤深层紧实化问题不仅较为普遍而且非常严重,表层0~10 cm土壤容重较小,属于正常范围;10~20 cm土层容重大于1.30 g/cm³达到紧实程度以上标准的土壤样品数占到88%。20~30 cm土壤容重高于1.40 g/cm³属于很紧实的土壤样品占到96%,达到该土壤质地类型的极限容重1.60 g/cm³以上样品占到52%,该土层已经成为限制作物根系延伸的土层。30~40 cm土层容重与20~30 cm相同,也在很紧实以上水平,达到极限容重以上的样品数为44%。

3) 土壤坚实度在0~25 cm范围内急剧增加,在25 cm以下土壤坚实度维持在1 600 kPa左右。与已有资料相比^[1,9],已经对作物生长产生了一定水平的机械障碍。

4) 经分析得知,土壤坚实度与土壤容重呈极显著的正偏相关关系,而与土壤含水量只是呈不显著的负偏相关关系,说明本试验条件下土壤坚实度增

大的原因主要是由于土体密实化所引起的,亟待对农田土壤进行深耕松土。

参 考 文 献:

- [1] 赵其国,周建民.为21世纪土壤科学的创新发展作出新的贡献[J].土壤,2002,(5):237—256.
- [2] 李笃仁,高绪科,汪德水.土壤紧实度对作物根系生长的影响[J].土壤通报,1982,(3):20—22.
- [3] 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.
- [4] Garcia F, Cruse R M, Blackmer A M. Compaction and nitrogen placement effect on root growth, water depletion, and nitrogen uptake[J]. Soil Science Society American Journal, 1988, 52: 792—798.
- [5] Shierlaw J, Alston A M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus[J]. Plant and Soil, 1984, 77: 15—28.
- [6] Assaced A M, McGowan M, Hebblethwaite P D, et al. Effect of soil compaction on growth, yield and light interception of selected crops[J]. Annals of Applied Biology, 1990, 117: 653—666.
- [7] 刘晚苟,山 仑.不同土壤水分条件下容重对玉米生长的影响[J].应用生态学报,2003,14(11):1906—1910.
- [8] 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.
- [9] 黄细喜,刘世平.不同耕法对土壤紧实度和小麦根系生长的影响[J].上海农业学报,1989,5(1):61—66.
- [10] 李潮海,梅沛沛,王 群,等.下层土壤容重对玉米植株养分吸收和分配的影响[J].中国农业科学,2007,40(7):1371—1378.
- [11] 陶毓汾,王立祥,韩仕峰.中国北方旱农地区水分生产潜力及开发[M].北京:气象出版社,1993.
- [12] E. B. Шенн, В. М. Гончаров. Агрофизика Высшее образование [M]. Издательство Феникс, 2006.
- [13] 格雷戈里, J V 莱克, D A 罗斯.陈 放,周桂梅,陈浩编译.作物根系的发育与功能[M].成都:四川大学出版社,1982.
- [14] 黄细喜.土壤紧实度及层次对小麦生长的影响[J].土壤学报,1988,25(1):59—65.
- [15] 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.

(英文摘要下转第101页)

Study on soil micro flora in boundary soil layer of gravel and sand mulched field in arid and semiarid area of China

PANG Lei^{1,2}, XIAO Hong-lang¹, LU Jian-long³, ZHOU Mao-xian¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. Agronomy Department, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: To study the soil microbial characters in gravel and sand mulched field (GSMF) in arid and semiarid area, the soil micro flora and the influence factors of GSMF and its boundary layer in different age of GSMF had been studied through experimentation. The results showed that the quantity of micro flora in boundary layer was bacteria > actinomycete > fungi. It is related on soil microbial number and the age of GSMF, that is the number of bacteria reached the highest number when the age of GSMF was 13 a. When the age of GSMF was 26 a, the number of fungi and actinomycete reached the highest number, and the percentage of actinomycete reached the highest rate of total microbial number too. That was with the aging degree adding of the GSMF, the number of bacteria decreased, and the number of fungi and actinomycete increased. So the number of microbial can be the target that forecast the aging degree of the GSMF. C source was one of the main factors that restrict microbial development. It was no significant influence to bacteria, fungi and actinomycete by pH value when it in lesser alteration. The soil respiration intensity was related to bacteria quantity. Soil moisture content is the main factor which restricts bacteria development.

Keywords: gravel and sand mulched field; gravel-sand mulched and soil boundary layer; micro flora; environmental factors; arid and semiarid area

(上接第 79 页)

Study on farmland soil physical status in Guanzhong area of Shaanxi

ZHANG Yu-lin, WANG Yi-quan, HU Hai-yan, SUN Lei, XU Hai

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

Abstract: In order to reveal the variation tendency of farmland soil quality under the influence of human activity, we investigated the soil bulk density and soil compactness in different districts in Guanzhong area. The results showed that the soil bulk density in deep layers was significantly higher than that in top soils, with an average of 1.00 g/cm^3 . However, in the 10 ~ 20 cm layer the samples exceeding 1.30 g/cm^3 accounted for 88% of the overall, with an average of 1.40 g/cm^3 . In the 20 ~ 30 cm layer the values averaged 1.61 g/cm^3 , and the samples exceeding 1.40 g/cm^3 accounted for 96% of the overall. So, this layer was defined to confine plant roots in a large extent. Similarly, the average value of soil bulk density was 1.60 g/cm^3 , and 44% of the samples were higher than the standard (1.60 g/cm^3). In the 0 ~ 25 cm layer the soil compactness increased sharply, however it kept at 1 600 kPa under 25cm in the soil, probably having restricted the growth of plants. Through partial correlation analysis, it was clear that soil compactness, significantly, was positively related to soil bulk density, negatively related to soil water content. It indicated the reason why soil compactness increased was due to soil bulk density. In this experiment only the top 10cm - layer soil was fit for planting, and deep layers were universally compacted, which posted a severe problem in root extending. What's more, the problem under deep soil layers was invisible, thus we must pay great attention to it. It seemed that deep plough and scarification were useful methods for improving farmland soil physical status in Guanzhong.

Keywords: Guanzhong farmland; soil bulk density; soil compactness; soil physical status