

# 渭北地区农田土壤物理性质对土壤剖面盐分的影响

樊会敏<sup>1</sup>, 许明祥<sup>1,2</sup>, 李彬彬<sup>2</sup>, 张蓉蓉<sup>3</sup>, 张圣民<sup>2</sup>, 马露洋<sup>2</sup>

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通过网格布点法对渭北地区农田土壤进行采样分析, 研究了土壤团聚体、土壤容重、土壤质地对土壤剖面盐分的影响。结果表明: (1) 研究区轻度盐渍化面积占 46.56%, 中度盐渍化占 23.01%, 渭北地区农田土壤盐渍化程度总体不严重但存在较大潜在风险。 (2) 各层土壤水稳性团聚体与含盐量呈负相关, 容重与含盐量的关系因盐渍化程度不同而在各土层表现出不同的正负效应, 土壤质地与含盐量仅在 0—20 cm 土层存在显著相关性。 (3) 土壤物理性质对含盐量的异位影响与含盐量水平有关。当土壤含盐量 < 1 g/kg 时, 40—60 cm 容重与 20—40 cm 含盐量为幂函数关系, 且呈递增趋势; 土壤含盐量在 2~4 g/kg 时, 20—40 cm 容重与 0—20 cm 含盐量为一次函数关系, 且呈递增趋势; 当含盐量 > 2 g/kg 时, 0—20 cm 容重与 20—40 cm 含盐量为一次函数关系, 且呈递减趋势; 含盐量 > 2 g/kg 时, 水稳性团聚体与含盐量呈显著线性负相关。

**关键词:** 土壤物理性质; 土壤盐渍化; 农田; 异位影响

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)04-0198-007

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.04.032

## Influence of Soil Physical Properties on Salt Content in Soil Profile of Farmland in Weibei Region

FAN Huimin<sup>1</sup>, XU Mingxiang<sup>1,2</sup>, LI Binbin<sup>2</sup>, ZHANG Rongrong<sup>3</sup>, ZHANG Shengmin<sup>2</sup>, MA Luyang<sup>2</sup>

(1. Research Center of Institute of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Soil salinization is an important type of soil degradation, which seriously restricts the development of agricultural production. Weibei region is the second granary of Shaanxi province. However, due to the higher groundwater level and salinity, the region is suffering from soil salinization, big waterlogging disasters, and high soil compaction for a long time. In order to analyze the influences of soil physical properties, such as water-stable aggregate, soil bulk density and soil texture on salt distribution in soil profile, soil samples were collected from typical farmland in Weibei region through 10 km×10 km mesh point method. The results showed that: (1) Soil salinization in Weibei region was not very serious but at a high potential risk. The proportion of mild salinized soil accounted for 46.56%, while the moderate salinized soil only 23.01%. (2) Soil salt content increased with the increasing of soil depths in the profile, which indicated that the soil salt would be accumulated to the topsoil with water evaporation in improper managements. Strong negative correlation was observed between water-stable aggregate and soil salt content in the studied profiles. While, the correlation between soil bulk density and salt content varied with the degree of soil salinization. The influence of water-stable aggregate on salt content in topsoil was stronger than that of soil bulk density. However, significant correlation occurred between soil texture and salt content only in 0—20 cm soil layer. (3) The effect of soil physical properties on salt content was not only found in the same soil layers but also in different soil layers. Namely, the ectopic impact was found in the influence of soil physical properties on salt content, and this impact was related to the degree of soil salinization. When salt content was lower than 1 g/kg, a power function relationship was observed between soil bulk density in 40—60 cm layer and salt

收稿日期: 2017-03-13

资助项目: 中国科学院重点部署项目(KJZD-EW-TZ-G10); 科技基础性工作专项(2014FY210100)

第一作者: 樊会敏(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤盐碱地调控及机理研究。E-mail: fhuiminn@foxmail.com

通信作者: 许明祥(1972—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事土壤质量演变与调控研究。E-mail: xumx@nwsuaf.edu.cn

content in 20—40 cm layer. An increasing function was observed between soil bulk density in 20—40 cm layer and salt content in 0—20 cm layer when salt content ranged from 2 g/kg to 4 g/kg. However, when salt content was higher than 2 g/kg, a decreasing function would be found between soil bulk density in 0—20 cm layer and salt content in 20—40 cm layer. A decreasing function was observed between water-stable aggregate and salt content, especially when salt content was higher than 2 g/kg.

**Keywords:** soil physical properties; soil salinization; farmland; ectopic impact

土壤盐渍化是土壤退化的重要方面,严重制约着农业和社会的发展<sup>[1-3]</sup>。陕西渭北地区是陕西省第二粮仓,但地处三门峡水库流域的渭北地区农田土壤盐渍化和内涝灾害频发,给当地农业生产造成巨大损失<sup>[4]</sup>。由于长期机械化耕作压实及浅耕作业,渭北地区土壤紧实度比较大,形成了比较严重的物理障碍层<sup>[5]</sup>。压实的土壤使土壤孔隙结构发生变化,影响水、热、气在土壤剖面的分布<sup>[6]</sup>,进而影响水盐运移。土壤物理性状,如土壤质地、容重、水稳性团聚体等是反映土壤孔隙状况的重要指标。相关研究表明,土壤质地对盐分的影响主要包括黏土层和夹砂层,黏土层可抑制水盐向深层运移,且易在黏土层界面积盐<sup>[7-8]</sup>;夹砂层可抑制毛管水上升,有利于抑制土表返盐<sup>[9-11]</sup>。土壤团聚体和容重对含盐量的影响主要通过土壤孔隙,增加土壤中水稳性团聚体的含量或减小土壤容重,可提高土壤孔隙度数量,改善土壤孔隙的均匀性和连通性,增加土壤的透气性和疏松程度<sup>[12]</sup>;若土壤中团聚体遭到破坏或土壤容重增大,则会减少土壤中的孔隙,降低土壤用于传导水分的大孔隙和毛管孔隙的数量<sup>[6]</sup>,影响土壤水盐的下渗再分布过程及蒸发过程<sup>[13-14]</sup>。土壤中某一土层的土壤物理性状不仅会对同层的水盐运移产生影响,也会对其上下层水盐运移产生影响(即异位影响)。但目前有关土壤物理性质对含盐量在剖面上的异位影响尚不明确,尤其是农田中压实的犁底层对剖面土壤水盐分布的影响需要深入研究。

针对陕西渭北地区土壤盐渍化及内涝盐碱灾害较多、土壤紧实度较大的实际问题,本文通过对渭北农田土壤采样测定,研究了土壤物理性质对剖面土壤含盐量的影响,以期深入理解土壤物理性状对含盐量的异位影响,为区域土壤盐渍化防治提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域选择在渭南市的临渭区、大荔县、富平县、蒲城县、合阳县、澄城县以及韩城市(图1),34°30'—35°51'N,108°58'—110°37'E,这几个地区可代表陕西渭北地区的土壤、地形和气候环境。研究区属大陆性季风气候,该地区年平均气温 11.3~

13.6℃,无霜期 199~225 d,年平均蒸发量普遍大于 1 700 mm,年降水量为 500 mm 左右,干旱指数大于 3,干旱的气候和强烈的蒸发作用并存是土壤盐碱化发育的必要条件。全区有交口抽渭和洛惠两大灌区,有洛河、渭河、黄河三条河过境,为研究区提供了充足的灌溉水源,全区多年平均径流量 8.88 亿 m<sup>3</sup>。研究区属盆地地貌,地势南北高,中间低,东西开阔,成土母质中的可溶性盐类会随水迁移至排水不畅的低平地区,如卤泊滩、盐池洼、固市洼地、黄河滩地、渭河滩地、洛河滩地等,这些地区地下水位浅(1~3 m),且地下水含盐量高(5.06~17.21 g/L),是土壤盐渍化的易发区。

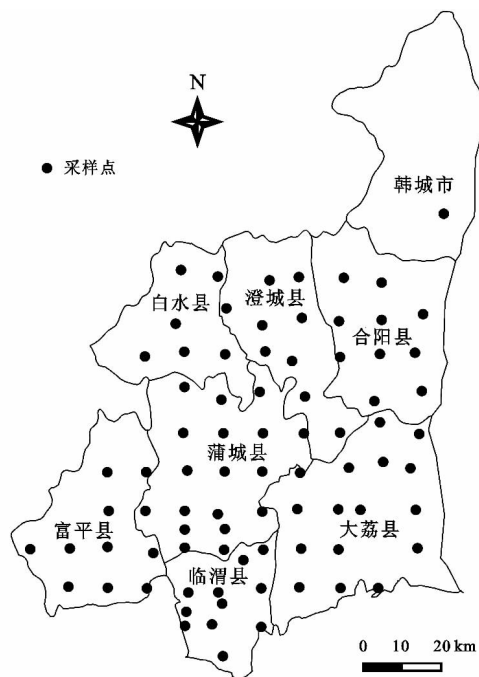


图1 采样点分布

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样品采集** 由于研究区总面积比较大,约 1×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,农田种植方式比较单一,因此对整个渭北地区采用 10 km×10 km 网格布点法,能够全面反映出渭北地区农田土壤盐碱化现状。全区共布设 82 个采样点,于 2015 年 11 月选择布设点周围的农田,每块农田随机选 3 个点采样。为了反映盐分表聚性及剖面分布特征,用土钻分 4 层(0—10,10—20,20—40,40—60 cm)采集土样,共采集 328 个土壤样品,将土样装在自封袋内带回实验室风干,剔除根系、石块

等杂物,磨土、过 1 mm 筛,用于测定土壤含盐量、机械组成等。因耕作混匀,0—10 cm 和 10—20 cm 土层内团聚体和容重变异较小,分 3 层(0—20,20—40,40—60 cm)取原状土和容重样,测定土壤水稳性团聚体和容重。为了准确反映剖面电导率变化,在采原状土的同时,分 6 层(0—10,10—20,20—30,30—40,40—50,50—60 cm)逐层测定土壤电导率。

1.2.2 测定方法 本研究主要测定了土壤物理性质(土壤容重、水稳性团聚体,机械组成)和盐碱性质(含盐量)。水稳性团聚体采用湿筛法测定;容重采用环刀法测定<sup>[15]</sup>;土壤机械组成采用英国马尔文公司的激光粒度仪(型号 Mastersizer-2000)测定;土壤盐分(易溶盐含量)采用质量法测定<sup>[16]</sup>,称取相当于 50.0 g 烘干土质量的风干土(水分系数为 0.981 9),采用 5:1 的水土比,中速振荡过滤后得到土壤浸提液,在水浴锅上蒸干后,置于烘箱烘干并称重;土壤电导率、含水量和温度采用英国 Delta 公司的土壤水分—温度—电导率仪(型号 HH2)测定。

1.2.3 数据处理 利用 Excel 2007 进行数据预处理, Sigmaplot 10.0 进行图形绘制。含盐量的空间分布特征用地理信息系统(geographic information system, GIS)通过反距离加权法进行空间插值。通过 Person 相关性分析表征含盐量与容重、团聚体及质地之间的相关关系。用 SPSS 18.0 对电导率和含盐量进行回归分析,建立电导率对含盐量的函数关系:20—40 cm 土层的土壤电导率由 20—30 cm 和 30—40 cm 电导率加权平均求得,40—60 cm 土层的土壤电导率由 40—50 cm 和 50—60 cm 电导率加权平均求得,按电导率高中低值区间样点均匀分布原则,在 328 个土壤样品中选择了 82 个样品在室内测定含盐量,并建立这些点含盐量与对应电导

率之间的函数关系,据此推算出其余点的含盐量,电导率对含盐量的函数关系为: $y=0.7499x+0.0042$ ,  $R^2=0.539\ 1$ ,  $n=82$ ,  $P=0.000\ 1$ 。根据 SPSS 18.0 一般线性模型(general linear model, GLM)中的方差分量估计计算各因子在土壤含盐量变异(方差)中所占的百分比,百分比的大小可以反映出各因子对含盐量的影响程度<sup>[17]</sup>。

2 结果与分析

2.1 渭北地区农田土壤盐渍化特征

耕层(0—20 cm)土壤含盐量与作物生长的关系最密切,影响最直接。根据中国土壤盐化分级标准<sup>[18]</sup>,对 0—20 cm 土层进行土壤盐渍化程度分级(表 1)可知,渭北地区农田非盐渍化土壤和轻度盐渍化土壤共约占 76.23%,中度盐渍化土壤约占 23.01%。此外,由 0—20,20—40,40—60 cm 的土壤盐渍化空间分布特征可看出(图 2),随着土层深度的增加,非盐化土壤面积比例由 0—20 cm 时的 29.67%减少至 40—60 cm 时的 1.75%,而中度盐渍化土壤面积比例由 0—20 cm 时的 23.01%增加至 40—60 cm 时的 45.29%,轻度盐渍化在各土层的面积比例为 20—40 cm (55.37%)>40—60 cm (48.57%)>0—20 cm (29.67%)。

表 1 陕西渭北地区土壤盐化程度分级

| 土壤盐化程度 | 含盐量/<br>(g·kg <sup>-1</sup> ) | 样本数 | 面积<br>比例/% |
|--------|-------------------------------|-----|------------|
| 非盐化    | <1.0                          | 24  | 29.67      |
| 轻度     | 1.0~2.0                       | 46  | 46.56      |
| 中度     | 2.0~4.0                       | 8   | 23.01      |
| 重度     | 4.0~6.0                       | 2   | 0.60       |
| 盐土     | >6.0                          | 2   | 0.16       |

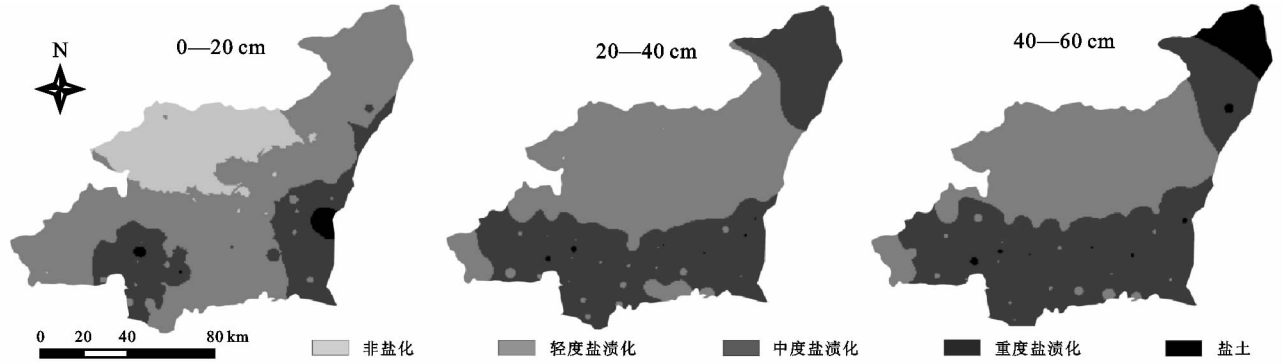


图 2 渭北地区土壤盐渍化空间分布特征

2.2 土壤物理性质空间分布特征

根据土壤质地的国际制分类标准(International Society of Soil Science, ISSS)<sup>[19]</sup>,研究区 97%的样点为壤质土(表 2),土壤质地空间上比较均一。0—20 cm 和 40—60 cm 土壤剖面上颗粒组成表现出砂粒>粉粒>黏粒的规律,20—40 cm 土壤剖面上粉粒

含量大于砂粒和黏粒含量(表 3)。从土壤剖面上来看,黏粒和粉粒含量的最大值均在 20—40 cm 处,砂粒含量最大值在 40—60 cm 处。此外,20—40 cm 处的黏粒和砂粒分别与其对应上下土层间有显著差异性(表 3)。渭北地区农田剖面土壤容重平均在 1.40~1.51 g/cm<sup>3</sup> 之间(表 3),明显偏大于一般农田土壤容

重(1.1~1.4 g/cm<sup>3</sup>)。20—40 cm 的土壤容重明显高于 0—20 cm 和 40—60 cm,这是因为机械化耕作对土壤碾压以及浅耕作业造成土壤紧实度增加,形成了农田犁底层。

表 2 采样点的土壤质地划分

| 土壤质地 | 样本数 | 百分比/% |
|------|-----|-------|
| 黏壤土  | 49  | 64.38 |
| 壤土   | 7   | 6.85  |
| 砂壤土  | 5   | 5.48  |
| 粉黏壤土 | 17  | 20.55 |
| 壤黏土  | 2   | 1.37  |
| 粉黏土  | 2   | 1.37  |

表 3 土壤容重及颗粒组成的描述性统计

| 土层深度/cm | 容重/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 黏粒/%        | 粉粒/%         | 砂粒/%        |
|---------|--------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 0—20    | 1.40±0.02b               | 17.72±0.44b | 40.89±0.85ab | 41.39±1.24a |
| 20—40   | 1.51±0.01a               | 25.14±0.89a | 42.27±0.86a  | 32.59±1.58b |
| 40—60   | 1.42±0.01b               | 17.06±0.53b | 39.29±1.14b  | 43.65±1.63a |

注:表中不同小写字母表示同一指标在不同土层间差异显著( $p<0.05$ )。

由图 3 可知,0—20,20—40,40—60 cm 水稳性团聚体质量分数依次为 66.36%,57.98%,54.44%。 $>5$  mm 的水稳性团聚体含量随着土层深度的增加而减少,平均质量分数由 0—20 cm 时的 30%减少至 40—60 cm 时的 9%; $\leq 5$  mm 的水稳性团聚体含量随着土层深度的增加略有增加,其中 0.25~0.5 mm 的水稳性团聚体质量分数由 0—20 cm 的 10.55%增加至 40—60 cm 的 14.45%。

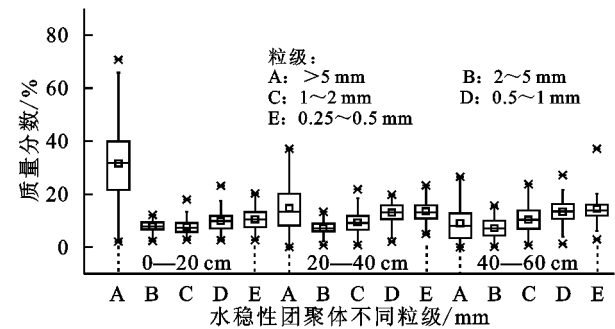


图 3 剖面各层次上不同粒级的水稳性团聚体质量分数

2.3 土壤物理性质与含盐量的相关性

含盐量与土壤物理性质相关性分析结果(表 4)表明,含盐量与水稳性团聚体呈极显著负相关,0—20,20—40,40—60 cm 土壤水稳性团聚体质量分数与含盐量之间的相关系数依次为-0.604,-0.531,-0.569,0—20 cm 的水稳性团聚体不仅对 0—20 cm 的含盐量有影响,对 20—40 cm 和 40—60 cm 的含盐量也有不同程度的影响,20—40 cm 的水稳性团聚体与 0—20 cm 含盐量也显著相关;0—20 cm 土壤颗粒组成与含盐量具有相关性,黏粒和粉粒与含盐量呈显著负相关,砂粒与含盐量呈显著正相关;含盐量与容

重呈显著正相关,容重对含盐量在土壤剖面上的影响不仅出现在同层,而且存在于异层之间,0—20 cm 的土壤容重对 20—40 cm 的含盐量有显著影响。

表 4 各土层土壤含盐量与土壤物理性质的相关性分析

| 土壤物理性质   | 含盐量 1    | 含盐量 2    | 含盐量 3    |
|----------|----------|----------|----------|
| 水稳性团聚体 1 | -0.604** | -0.385** | -0.470** |
| 土壤容重 1   | 0.063    | 0.285*   | 0.153    |
| 水稳性团聚体 2 | -0.418** | -0.531** | -0.133   |
| 土壤容重 2   | 0.058    | 0.156    | -0.057   |
| 水稳性团聚体 3 | 0.018    | -0.19    | -0.569** |
| 土壤容重 3   | -0.009   | 0.118    | 0.329**  |
| 黏粒       | -0.274*  | 0.192    | -0.109   |
| 粉粒       | -0.258*  | 0.167    | 0.104    |
| 砂粒       | 0.276*   | -0.179   | -0.037   |

注:\*\*表示极显著相关水平( $p<0.01$ ,双尾检验);\*表示显著相关水平( $p<0.05$ ,双尾检验);1,2,3 分别代表 0—20,20—40,40—60 cm 土层。

2.4 土壤物理性质对含盐量的异位影响

通过构建不同土壤盐渍化程度(依据表层 0—20 cm 土壤含盐量分级)下土壤容重与含盐量之间的函数关系,进一步表明了土壤容重与含盐量之间存在异位影响,且这种关系与含盐量水平有关(图 4)。对于非盐渍化土(表层含盐量 $<1$  g/kg),下层(40—60 cm)土壤容重越大,中层(20—40 cm)含盐量越高,二者是幂函数关系,呈递增趋势(图 4a);对于轻度盐渍化土(表层含盐量在 1~2 g/kg),容重和含盐量未表现出明显的函数关系;对于中度以上盐渍土(表层含盐量 $>2$  g/kg),上层(0—20 cm)土壤容重越大,中层(20—40 cm)含盐量越低,二者是一次函数关系,呈递减趋势(图 4c);其中,对于中度盐渍化土(表层含盐量在 2~4 g/kg),中层(20—40 cm)土壤容重越大,上层(0—20 cm)含盐量越高,二者是一次函数关系,呈递增趋势(图 4b)。

20—40 cm 水稳性团聚体与 0—20 cm 含盐量之间也存在着异位影响关系:当含盐量 $<2$  g/kg 时,水稳性团聚体对含盐量的解释程度并不高(图 5a);然而在含盐量 $>2$  g/kg 时,水稳性团聚体对含盐量会产生显著影响,在此含盐量范围内,随着 20—40 cm 水稳性团聚体质量分数的增加,0—20 cm 含盐量在逐渐减少,二者之间是一次函数关系且呈递减趋势(图 5b)。

3 讨论

农田土壤剖面盐分分布具有明显的时间动态特征,这种动态变化受到降雨、干旱、灌溉等自然和人为因素的强烈影响。本研究于 2015 年 11 月间进行采样,期间发生过降雨,必然对表层土壤盐分产生一定的淋洗作用,导致研究区土壤剖面含盐量呈现出表层低、下层高的分布特征(图 2)。一般当含盐量 $<1$  g/

kg 时,作物能够正常生长,当含盐量在 1~2 g/kg 时,作物产量受到 10%~20% 的抑制<sup>[18]</sup>,研究区约 76.23%(表 1)的耕层(0~20 cm)土壤含盐量<2 g/kg,因此从对作物产量影响的角度来看,采样期间渭北地区农田土壤盐渍化程度总体上不严重。但由于下层(20~60 cm)土壤含盐量较高,在气候干旱,蒸发强烈的季节,盐分会在土壤毛管作用下随水向上运移,发生盐分表聚现象<sup>[20-21]</sup>,增加耕层土壤发生盐渍

化的风险。在灌溉或者降雨后,表层的盐分又会被淋洗至作物根区,抑制根系对水分和养分的吸收<sup>[22]</sup>。虽然目前渭北地区农田土壤多属于轻度盐渍化,但如果在不合理的耕作管理措施下,如大水漫灌、咸水灌溉等,轻度盐渍化的土壤可能会逐渐发展成为中度甚至是重度的盐渍化土壤<sup>[23-25]</sup>。特别是低洼地区,在干旱或大水漫灌条件下,较高矿化度的地下水迁移到土壤表面,将加剧土壤盐渍化。

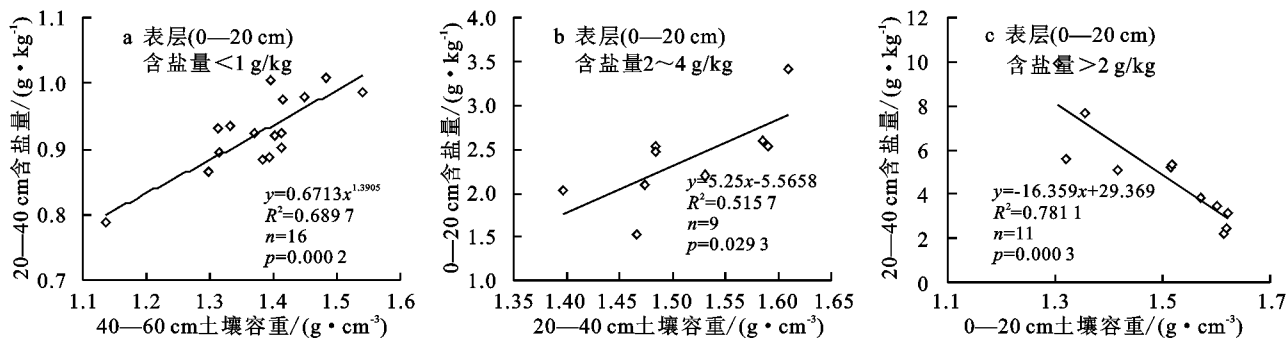


图 4 不同盐渍化程度下含盐量与土壤容重之间的异位关系

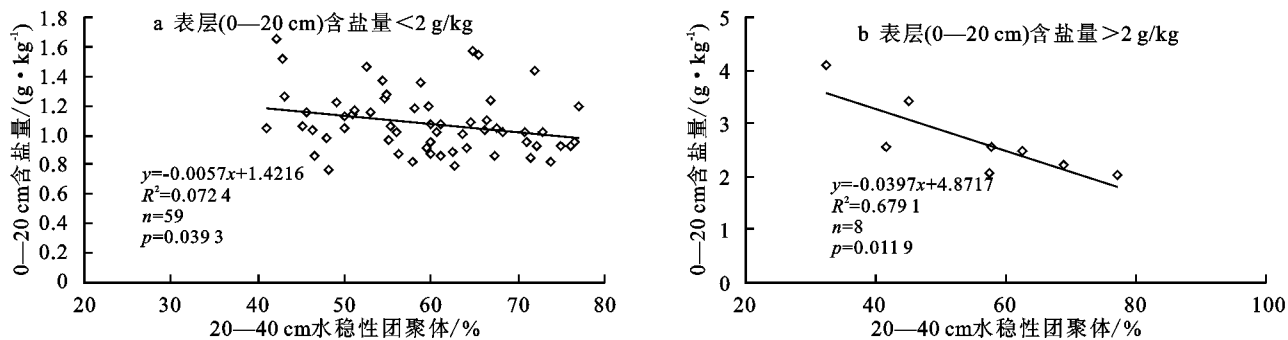


图 5 土壤含盐量与水稳性团聚体之间的异位关系

农田土壤的非均质性导致了土壤物理性质在空间上的不均匀性,使得农田中的土壤水盐运移比较复杂<sup>[26-27]</sup>,因此分层研究土壤物理性质对含盐量的影响可以较全面地反映农田土壤水盐运移的真实情况。研究区的土壤犁底层问题突出,这和机械压实耕作有很大的关系<sup>[5]</sup>,犁底层的存在使得土壤在剖面上呈现出“松—紧—松”的结构,且犁底层像一个隔板,通过阻碍土壤水的蒸发和入渗,影响水盐运移。关于层状土中的水盐运移已有大量研究,均表明土壤毛管孔隙度不同导致土壤毛管吸力出现差异,从而影响水盐分布<sup>[28-29]</sup>,表现为各土层土壤物理性质的差异对其邻近土层水盐分布产生影响。

本文研究结果表明,土壤物理性质与含盐量的相关关系在各土层有一定差异。土壤质地仅与 0~20 cm 的含盐量有相关性,且土壤中黏粒含量越少含盐量越高(表 4),这与已有研究结论吻合,黏土层的存在会影响土壤盐分表聚<sup>[30]</sup>。水稳性团聚体对含盐量的同层影响程度大于异层影响(表 4),异位影响随土壤盐渍化范围的变化有所不同,土壤含盐量大于 2 g/

kg 时,水稳性团聚体与含盐量呈现出显著的线性负相关(图 5)。水稳性团聚体对含盐量产生异位影响的原因可能是,一方面,团粒结构有利于土壤水分下渗,剖面上层盐分易于被淋洗到下层;另一方面,土壤团粒内部存在的大量毛管孔隙所产生的毛管作用力是土壤水盐运移的主要动力,在良好的团粒结构土壤中,毛管水的上升速度比较快,当土表温度较高时,土表团粒结构因干燥而收缩,与下面的结构脱离导致毛管中断,减少了水盐向地面的上升<sup>[19]</sup>。

此外,不同的土壤盐渍化程度下容重对含盐量的影响部位和程度也不同:含盐量<1 g/kg 时,随着 40~60 cm 土壤容重增大,20~40 cm 的土壤含盐量随之增加(图 4a);含盐量在 2~4 g/kg 时,随着 20~40 cm 土壤容重的增大,0~20 cm 的土壤含盐量也随之增加(图 4b),这是由于 20~40 cm 处土壤形成了紧实的犁底层,阻碍了 0~20 cm 表层水盐的下渗再分布;含盐量>2 g/kg 时,随着 0~20 cm 土壤容重增大,20~40 cm 的土壤含盐量减少(图 4c)。总之,下层土壤容重(20~40 cm, 40~60 cm)与其对应的上层土壤含盐量(0~

20 cm,20—40 cm)是正相关(图 4a,4b),即下层土壤容重越大,水盐在上层就会累积;上层土壤容重(0—20 cm)对下层含盐量(20—40 cm)是负作用(图 4c),这是因为土壤表层容重越大,影响表层较高含盐量(含盐量>2 g/kg)随水入渗分布,使得下层的含盐量减小。因此,土壤容重对剖面含盐量的影响具有明显的异位效应,犁底层的存在在一定程度上影响土壤剖面的水盐分布,犁底层一方面会增大盐随水向上迁移的阻力,使得下层水分、盐分不易上来,易在剖面某一部位产生累积,同时犁底层也会使得上层水分不易入渗,导致排水排盐不畅,易形成涝灾。

研究土壤物理性质对含盐量的影响有助于提出合理的耕作管理措施。由上述土壤水稳性团聚体和土壤容重对含盐量的影响程度可以初步得出:良好的土壤物理结构有利于减轻剖面含盐量。因此,提高土壤水稳性团聚体的含量,可有效减小土壤盐渍化程度。当土壤容重在 1.39~1.61 g/cm<sup>3</sup> 之间且含盐量属于中度盐渍化范围时(图 4b),可考虑通过深耕打破犁底层以减少表层盐分对作物的危害。0—20 cm 的土壤含盐量对农作物的生长具有最直接的关系,因此以 0—20 cm 的土壤含盐量为例,探究各物理指标对含盐量的综合影响程度。用一般线性模型中的方差成分估计,计算各层的土壤物理性质对 0—20 cm 含盐量的贡献率(表 5)。结果显示:0—20 cm 的各土壤物理性质对表层土壤含盐量的贡献率大小顺序为黏粒含量(48.4%)>水稳性团聚体(37.6%)>容重(13.97%);在 20—40 cm 和 40—60 cm 土层时,仅有水稳性团聚体和容重对表层含盐量会产生影响,且水稳性团聚体对含盐量的贡献率大于容重对含盐量的贡献率。从容重对表层土壤含盐量的影响来看,20—40 cm 土壤容重的影响最大,这也进一步印证了土壤犁底层的确对含盐量会产生较大影响。

表 5 不同土层的土壤物理指标对 0—20 cm 含盐量的贡献率  
单位: %

| 土层<br>深度/cm | 水稳性<br>团聚体 | 容重    | 黏粒   | 粉粒 | 砂粒 |
|-------------|------------|-------|------|----|----|
| 0—20        | 37.63      | 13.97 | 48.4 | 0  | 0  |
| 20—40       | 51.55      | 48.45 | 0    | 0  | 0  |
| 40—60       | 59.53      | 40.47 | 0    | 0  | 0  |

4 结 论

(1)陕西渭北地区的农田土壤以非盐渍化和轻度盐渍化为主,约占 76.23%,中度盐渍化土壤约占 23.01%,且剖面上含盐量随土层深度的增加而增加,存在土壤盐渍化加剧的风险。

(2)土壤物理性质对剖面含盐量的影响程度各不相同,且表现出明显的异位影响。其中土壤颗粒组成仅影

响 0—20 cm 的含盐量,土壤水稳性团聚体与含盐量在各土层之间呈现负相关,容重对含盐量的影响因含盐量水平的差异而在各土层间表现出不同的正负效应。

(3)土壤水稳性团聚体及容重对含盐量的异位影响与含盐量水平有关。土壤含盐量<1 g/kg 时,40—60 cm 土壤容重与 20—40 cm 含盐量是幂函数关系呈递增趋势;含盐量>2 g/kg 时,0—20 cm 土壤容重与 20—40 cm 含盐量是一次函数关系呈递减趋势,其中当含盐量在 2~4 g/kg 时,20—40 cm 土壤容重与 0—20 cm 含盐量是一次函数关系呈递增趋势。含盐量>2 g/kg 时,20—40 cm 水稳性团聚体与 0—20 cm 含盐量之间呈显著负相关;含盐量<2 g/kg 时,水稳性团聚体与含盐量之间无显著相关性。

参考文献:

[1] Herbert E R, Boon P, Burgin A J, et al. A global perspective on wetland salinization: Ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands[J]. *Ecosphere*,2015,6(10):1-43.

[2] 张晓光,黄标,梁正伟,等. 松嫩平原西部土壤盐碱化特征研究[J]. *土壤*,2013,45(2):1332-1338.

[3] Bezborodov G A, Shadmanov D K, Mirhashimov R T, et al. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2010,138(1):95-102.

[4] 白鹏翔. 陕西省渭北地区农田内涝盐碱灾害与治理对策[J]. *陕西水利*,2011(4):7-8.

[5] 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.

[6] 孙梅,黄运湘,孙楠,等. 农田土壤孔隙及其影响因素研究进展[J]. *土壤通报*,2015,46(2):233-238.

[7] 余世鹏,杨劲松,刘广明. 易盐渍区粘土夹层对土壤水盐运动的影响特征[J]. *水科学进展*,2011,22(4):495-501.

[8] 陈丽娟,冯起,王昱,等. 微咸水灌溉条件下含黏土夹层土壤的水盐运移规律[J]. *农业工程学报*,2012,28(8):44-51.

[9] 翟鹏辉,杨丽晶,李素艳,等. 蒸发条件下不同夹层土壤水盐动态特性研究[J]. *水土保持学报*,2014,28(4):273-277.

[10] 邹桂梅,黄明勇,苏德荣,等. 蒸发条件下不同地下水位夹砂层土壤水盐运移特性研究[J]. *中国农学通报*, 2010,26(11):206-211.

[11] Salvati L, Ferrara C. The local-scale impact of soil salinization on the socioeconomic context: An exploratory analysis in Italy[J]. *Catena*,2015,127(3):312-322.

[12] 刘傥倩,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.

[13] Zornberg J G, Bouazza A, McCartney J S. Geosynthetic capillary barriers: Current state of knowledge [J]. *Geosynthetics International*,2010,17(5):273-300.

[14] Huang M, Lee Barbour S, Elshorbagy A, et al. Infil-

- tration and drainage processes in multi-layered coarse soils[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2011, 91(2): 169-183.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理测定方法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 11-12.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 179-187.
- [17] 刘思涵, 许明祥, 吴永斌, 等. 陇东黄土丘陵区梯田土壤养分评价: 以甘肃庄浪县为例[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(9): 149-156.
- [18] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 131-132, 334-336.
- [19] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 86-87.
- [20] 张鹭, 王振华, 王久龙, 等. 蒸发条件下地下水对土壤水盐分布的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(6): 229-233.
- [21] 樊自立, 陈亚宁, 李和平, 等. 中国西北干旱区生态地下水埋深适宜深度的确定[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 1-5.
- [22] 王艳娜, 侯振安, 龚江, 等. 咸水滴灌对土壤盐分分布、棉花生长和产量的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2007, 25(2): 158-162.
- [23] Funakawa S, Kosaki T. Potential risk of soil salinization in different regions of entral Asia with special reference to salt reserves in deep layers of soils[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(5): 634-649.
- [24] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1202-1210.
- [25] Bouksila F, Bahri A, Berndtsson R, et al. Assessment of soil salinization risks under irrigation with brackish water in semiarid Tunisia[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2013, 92(5): 176-185.
- [26] 徐旭, 黄冠华, 黄权中, 等. 农田水盐运移与作物生长模型耦合及验证[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 110-117.
- [27] Li X P, Chang S X, Salifu K F. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: A review[J]. *Environmental Reviews*, 2013, 22(1): 41-50.
- [28] 史文娟, 沈冰, 汪志荣, 等. 层状土壤毛管水最大上升高度分析[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 94-97.
- [29] Li X W, Jin M G, Huang J O, et al. The soil-water flow system beneath a cotton field in arid north-west China, serviced by mulched drip irrigation using brackish water[J]. *Hydrogeology Journal*, 2015, 23(1): 35-46.
- [30] 毛海涛, 黄庆豪, 吴恒滨. 干旱区农田不同类型土壤盐碱化发生规律[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊 1): 112-117.
- (上接第 153 页)
- [8] 刘晓静, 郑宝山, 王滨滨, 等. 种植茶树对茶园土壤特性的改变[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(增刊 1): 95-97.
- [9] Shrestha B m, Singh B r, Sitaula B k, et al. Soil aggregate- and particle-associated organic carbon under different land uses in Nepal[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71(4): 1194-1203.
- [10] 何淑勤, 郑子成, 宫渊波, 等. 不同退耕模式下土壤水稳性团聚体及其有机碳分布特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 229-233.
- [11] 王峰, 王义祥, 江福英, 等. 丘陵山区茶园土壤团聚体及其碳含量分布特征研究[J]. 福建农业学报, 2012, 27(1): 87-92.
- [12] 田汶艳. 植茶年限对名山茶园土壤团聚体水稳性的影响分析[D]. 成都: 四川农业大学, 2013.
- [13] 袁德玲, 张玉龙, 黄毅, 等. 不同灌溉方式对保护地团聚体的影响[J]. 水土保持应用技术, 2009(3): 4-6.
- [14] 李云生, 盛大海. 不同开垦年限农田黑土团聚体与土壤基础肥力的关系[J]. 现代化农业, 2010(4): 11-13.
- [15] 张孝存, 郑粉莉, 王彬, 等. 不同开垦年限黑土区坡耕地土壤团聚体稳定性与有机质关系[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2011, 39(5): 90-95.
- [16] 李楠, 蒋先军, 曹良元, 等. 不同形态的有机碳在土壤团聚体中的分布及耕作的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(3): 126-130.
- [17] 万毅林. 不同种植年限对菜地土壤结构的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(13): 236-243.
- [18] 董莉丽. 不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体的特征[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 95-100.
- [19] 王小红, 杨智杰, 刘小飞, 等. 天然林转换成人工林对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 177-182.
- [20] 王国强, 孙焕明. 拉萨市农田和林地土壤团聚体的组成及稳定性研究[J]. 现代农业科技, 2012(11): 212-213.
- [21] 苏有健, 廖万有, 王焯军, 等. 皖南茶园土壤活性铝形态分布与土壤 pH 和植茶年限的关系[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(4): 721-728.
- [22] 姜林, 耿增超, 李珊珊, 等. 祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3368-3376.
- [23] Junejo N, Khanif M Y, Hanfi M M, et al. Role of inhibitors and biodegradable material in mitigation of nitrogen losses from fertilized lands[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2011, 10(18): 3504-3514.
- [24] 宇万太, 沈善敏, 张璐, 等. 黑土开垦后水稳性团聚体与土壤养分的关系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2287-2291.