

DOI: 10.5846/stxb201312253030

刘艳丽, 李成亮, 高明秀, 张民, 赵庚星. 不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响. 生态学报, 2015, 35(15): 5183-5190.

Liu Y L, Li C L, Gao M X, Zhang M, Zhao G X. Effect of different land-use patterns on physical characteristics of the soil in the Yellow River delta region. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5183-5190.

不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响

刘艳丽, 李成亮*, 高明秀, 张民, 赵庚星

土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018

摘要:黄河三角洲是我国成土最快的河口三角洲之一,探索其土地利用过程中不同土地利用方式对土壤物理性质的影响,对该区土壤肥力保持和土地资源的持续利用具有重要意义。选择黄河三角洲棉田、麦田、苇地、碱蓬地和裸地等 5 种不同的土地利用方式,通过野外调查与室内分析,研究不同土地利用方式下土壤主要物理特性的变异特征及影响因素。结果显示,与裸地土壤相比,有植被土地利用方式土壤容重降低,土壤孔隙度、团聚体水稳性、饱和含水量与毛管含水量也有相应的提高;土壤有机碳和速效氮、有效磷含量均有显著增加,土壤总盐分含量呈显著降低趋势。在所研究土壤中,土壤物理性质依麦田-棉田-苇地-碱蓬地-裸地的次序从最佳向最差过渡。逐步回归分析和相关分析表明土壤容重、团聚体平均重量直径和毛管孔隙度是土壤毛管含水量的主要影响因素,团聚体水稳性主要由大于 0.25 mm 水稳性团聚体含量和毛管孔隙度决定,土壤总盐分含量影响土壤饱和导水率;大于 0.25 mm 水稳性团聚体含量分别与土壤有机碳含量($r=0.8323$)、速效氮含量($r=0.7558$)和有效磷含量($r=0.9049$)具有正相关关系。因此,黄河三角洲地区土地利用应以增加有机质的投入,提高土壤水稳性团聚体形成为基础,促进土壤良好结构形成。这些结果为该区土壤肥力提高和土壤资源可持续利用提供参考依据。

关键词:土壤团聚体;毛管含水量;土壤有机碳;黄河三角洲

Effect of different land-use patterns on physical characteristics of the soil in the Yellow River delta region

LIU Yanli, LI Chengliang*, GAO Mingxiu, ZHANG Min, ZHAO Gengxing

National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: The Yellow River delta is one of the three major pedogenic river deltas in China and is the fastest forming delta that has important reserved land resources. Anthropogenic behavior and natural development play an important role in the physical and chemical properties of the soil during pedogenic processes. In order to maintain soil fertility and ensure sustainable utilization of land resources, it is necessary to investigate the effect of various types of land uses on physical properties of the soil. In this study, disturbed and undisturbed soil samples were collected from soil covered by different vegetation. Arable soil was considered to be soil cultivated with wheat and cotton, while land covered with reeds and suaeda was considered to be natural vegetation and bare land was classified as recently formed land. These soils were considered to be trends of mature soils in the Yellow River delta region. The physical properties of undisturbed soil samples were as follows: bulk density and porosity of the soil, water-stable aggregates, and saturated moisture. The organic carbon content, available nitrogen and phosphorus content, and total salt content in the soil were probed as chemical indexes. Field research along with lab analyses was conducted at different genesis stages in order to illustrate the changing trends in soil physical

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(2012370212003);国家自然科学基金(41271235);国家“十二五”科技支撑计划课题(2013BAD05B06);山东省自主创新专项(2012CX90202)

收稿日期:2013-12-25; **网络出版日期:**2014-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengliang_li11@163.com

characteristics and to identify the causative factors. Compared with bare land soil, the soil covered with vegetation had significantly higher soil porosity, aggregate water stability, and saturated and capillary water content. Soil organic carbon content and available nitrogen and phosphorus content were higher in vegetation soil than in bare land soil. On the other hand, the total salt content and soil bulk density were significantly lower in soil with vegetation than in bare land soil. The trends in soil properties improved with different vegetation in the following order wheat>cotton>reed>suaeda>bare land. Stepwise regression and correlation analysis identified that the main factors of soil capillary water content are soil bulk density, soil aggregate mean weight diameter, and soil capillary porosity. The aggregate soil water stability was determined as >0.25-mm water-stable aggregate content and capillary porosity. The total salt content in the soil significantly affected the soil saturated hydraulic conductivity, while >0.25-mm water-stable aggregates had a significantly positive correlation with the soil organic carbon content ($r=0.8323$), available nitrogen content ($r=0.7558$), and available phosphorus content ($r=0.9049$) in the soil. Therefore, proper land-use management and optimization systems were established to preserve organic carbon accumulation and water-stable aggregate formation in the soil, thereby resulting in the development of soil structure. In this study, agricultural management was determined to be the best approach for maintaining the physical properties of the soil. Therefore, improvement in soil fertility and sustainable utilization of soil resources in the Yellow River delta region is critical.

Key Words: soil aggregate; capillary water content; soil organic carbon; Yellow River delta region

黄河三角洲是我国乃至世界造陆速度最快的河口三角洲之一,新生土地为该区提供了广阔的耕地后备资源,但土壤盐渍化一直是困扰该区农业发展的关键问题^[1]。在不同水平土壤水盐影响下,该区形成了各种不同的土地利用类型^[2-4],不同土地利用方式下植被覆盖因其涵养土壤水肥功能的不同而对土壤质量具有不同的影响^[5-7]。因此,研究不同土地利用方式对土壤物理性质的影响,将为黄河三角洲土地利用方式的优化与土壤肥力的保持提供参考依据。

不同土地利用方式下植被覆盖与管理方式的差异是影响土壤理化特性的关键因素,国内外相关研究较多。不同植被覆盖对黄土高原土壤质量的改善作用存在较大差异^[8],人工植被能够显著改善土壤性质,并且人工植被对土壤性状的改善效果优于天然植被,乔灌木林的改善作用优于草本植物^[5]。有关南方红壤丘陵区的研究发现,不同植被恢复模式对土壤理化性质影响差异显著,草本覆盖模式改良土壤理化性质的综合效应最佳^[9]。红壤侵蚀裸地不同植被恢复过程中有机碳积累促进了土壤团聚体的形成及稳定性^[10-11]。黄河三角洲林地与棉田的对比研究发现,多年生刺槐林其植被覆盖率大,表层土壤水分蒸发量小,土壤返盐轻,加之林内的枯枝落叶、残死细根进入土壤,改善了土壤结构,提高了土壤养分质量分数^[12]。土壤有机碳积累改善土壤结构状况,对土壤的贮水能力具有显著的促进效果,该方面的研究在草地植被恢复过程中得到验证^[13]。

黄河三角洲成陆时间短,生态环境脆弱,土地利用及植被类型的差异对土壤理化特性具有较大影响。目前,较多研究关注该该不同土地利用方式下土壤盐分和养分的变化^[3, 12, 14],而对土壤结构和水分特性的变化还未展开深入的研究。应用统计学方法研究表明,黄河三角洲地区土壤盐分与 pH 值、含水量均呈显著的负相关性,盐分含量过高是导致该区土壤 pH 值降低的重要因素之一;旱季表层土壤含水量的测定结果可以用来判断盐分含量的变化^[3]。因此,土壤水分含量被称之为调控该区土壤盐渍化的主要影响因素。在黄河三角洲土壤管理过程中,棉田灌水压盐措施,抬高了地下水位使土壤返盐严重^[12]。苜蓿地由于管理粗放,对土壤扰动少,使孔隙度增大,盐碱度降低;尽管苜蓿的收获降低了土壤有机质和养分含量,而自身固氮作用使表层土壤速效氮含量保持较高水平;果园因有机肥料施用一定程度上缓解了土壤板结,盐碱度较低^[14]。尽管盐分和养分是重要的土壤性质指标,但土壤结构和水分是影响土壤盐分和养分含量的主要影响因素,研究土壤结构和水分等物理性质对土壤肥力保持和植被生长具有重要意义^[9, 15]。

因此,本文以黄河三角洲核心区垦利县为研究区,选择该区典型自然植被和农田植被,以土壤物理结构和

水分特性为主要研究内容,以期探明黄河三角洲不同土地利用方式下土壤理化性质的变异特征及影响因素,理清不同植被类型演替与土壤物理性质变化的关系,为该区土壤资源科学利用及生态保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄河三角洲核心区垦利县,地理坐标 E118°24'16"—118°49'38",N37°27'05"—37°33'36",属暖温带半湿润大陆性季风气候区。年平均气温 12.3 ℃,平均无霜期 210 d;年均降水量 692 mm,年蒸发量 1962 mm。土壤为冲积性黄土母质在海浸母质上沉积而成,以盐化潮土为主。地下水位约 1.5 m。

1.2 调查与采样

2013 年 4 月,选择垦利县盐化潮土上持续生长 10a 以上的棉花、小麦(前茬作物为玉米)、芦苇、碱蓬和裸地 5 种具有代表性的土地利用方式。经过调查棉花小麦耕种前为芦苇-碱蓬荒地,芦苇、碱蓬荒地是由裸地演变而来,且是盐化潮土上裸地—荒地—农田土地利用方式演替过程中不同阶段的代表类型^[2]。在每种土地利用方式上分别选择有代表性的 5 个样地,每个样地按照 5 点取样法采集 0—20 cm 表层混合土样,同时采集环刀样和原状土样。分别利用混合土样和原状土样进行化学性质和物理性质的测定。

1.3 土壤理化性质分析

土壤容重测定:采用环刀法(环刀容积为 100 cm³)。

土壤总孔隙度测定:利用测定容重的环刀浸入水中 24 h,称重至恒质量。

$$\text{饱和含水量}(\%) = (\text{浸泡后土质量} - \text{烘干土质量}) / \text{烘干土质量} \times 100\%$$

$$\text{总孔隙度}(\%) = \text{饱和含水量} \times \text{容重}$$

土壤毛管孔隙度的测定:将饱和后的环刀样置于铝盒上,中间用滤纸隔开,放置 12 h 烘干至恒质量,并称重。

$$\text{土壤毛管含水量}(\%) = (\text{放置后的土质量} - \text{烘干的土质量}) / \text{烘干的土质量} \times 100\%$$

$$\text{土壤毛管孔隙度}(\%) = \text{土壤毛管含水量} \times \text{容重}$$

$$\text{土壤非毛管孔隙度}(\%) = \text{总孔隙度} - \text{土壤毛管孔隙度}$$

土壤水分测定:采用恒温箱烘干法。

以上物理性质的测定方法参考《土壤理化分析》^[16]。

土壤团聚体组成含量测定和平均重量直径(MWD)的计算参考《土壤理化分析》。

土壤酸碱度的测定利用电导法;土壤有机碳(SOC)含量的测定利用浓硫酸-重铬酸钾氧化外加热法;土壤总盐分含量的测定利用电导法;土壤速效氮、有效磷、速效钾含量的测定利用常规法,具体操作参考鲁如坤主编《土壤农化分析方法》^[17]。

1.4 数据分析

数据统计应用软件 SPSS 18.0,不同土地利用方式土壤理化性质指标之间的差异应用 ANOVA 单因素方差分析-LSD 显著性($P < 0.05$)检验;利用逐步回归分析和相关分析方法明确土壤性质指标之间的联系。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式土壤基本化学性质

土壤基本化学性质反映土壤养分含量水平,由表 1 可以看出土壤酸碱度在不同土地利用方式土壤差异不显著,pH 值范围为 7.56—7.26。土壤总盐分含量在不同土地利用方式之间差异显著($P < 0.05$),大小依次为裸地>碱蓬地、苇地>棉田、麦田(表 1)。棉田、麦田土壤总盐分含量显著低于荒地土壤,可能是由于耕作措施使土壤表面的水分蒸发降低,同时降低了地下水位,最终导致表土盐分含量降低;另外,有机肥料的输入或秸秆还田可使土壤返盐程度降低。

表 1 不同土地利用方式土壤基本化学性质

Table 1 Soil basic chemical characteristics under different land use patterns

土地利用方式 Land use patterns	酸碱度 pH value	全盐含量 Total salinity/%	土壤有机碳 Soil organic carbon content/ (g/kg)	速效氮 Available N content/ (mg/kg)	有效磷 Available P content/ (mg/kg)	速效钾 Available K content/ (mg/kg)
棉花 Cotton	7.56±0.02a	0.38±0.10d	4.84±0.49bc	27.29±3.19b	18.97±3.30b	176.06±47.41a
小麦 Wheat	7.26±0.21a	0.31±0.01d	12.14±0.75a	74.59±4.58a	50.30±5.81a	189.12±16.98a
芦苇 Reed	7.34±0.12a	1.44±0.19c	3.93±0.22c	21.06±1.17b	1.36±0.77c	200.58±7.86a
碱蓬 Suaeda	7.26±0.07a	2.28±0.26b	6.65±0.17b	24.46±1.19b	3.27±0.87c	167.90±28.93a
裸地 Bare land	7.44±0.04a	3.80±0.59a	4.04±0.58bc	30.89±4.34b	1.24±.38c	148.84±12.18a

表中同列数值后的不同字母表明利用方式间的差异达显著水平($P < 0.05$)

土壤有机碳是土壤中重要的物质组成,对土壤水分保持和土壤结构形成具有关键作用。本研究中不同土地利用方式下土壤有机碳含量存在显著差异,以麦田土壤有机碳含量较高,为 12.14 g/kg,显著高于其他处理,其次为碱蓬地,苇地、棉田和裸地土壤有机碳含量较低,而三者之间的差异不显著(表 1)。与其它土地利用方式土壤相比,麦田土壤有机碳积累归因于前茬玉米秸秆的还田和有机肥的施用。

土壤速效养分含量反映土壤养分的有效性,对植被生长具有直接影响。如表 1 所示,不同土地利用方式土壤速效氮含量存在差异,麦田土壤速效氮含量最高为 75 mg/kg,比其它利用方式土壤有显著的增加($P < 0.05$),其它利用方式土壤之间的差异不显著。土壤有效磷含量在不同土地利用方式土壤之间差异显著,其变化趋势为麦田>棉田>苇地、碱蓬地、裸地。土壤速效钾含量范围是 148.84—200.58 mg/kg,不同土地利用方式土壤之间的差异不显著。

2.2 不同土地利用方式土壤物理性质

2.2.1 土壤容重与孔隙度

土壤容重与孔隙度是土壤基础物理性质指标,直接影响土壤的持水性和透水性,对土壤水源涵养功能具有重要作用。从图 1 看出,研究区不同土地利用方式土壤容重存在显著的差异($P < 0.05$),裸地土壤容重最高为 1.53 g/cm³,其次是碱蓬地、苇地和棉田,麦田土壤容重最低为 1.07 g/cm³,比裸地土壤容重降低 30.01%。

不同土地利用方式土壤总孔隙度的范围是 42.15%—59.44%,与土壤容重具有相反的变异趋势,裸地土壤总孔隙度最低,麦田土壤总孔隙度最高,其它利用方式土壤总孔隙度处于中等水平(图 2)。毛管孔隙度在棉田、麦田两种耕作土壤上无明显差异,比裸地土壤具有显著的提高($P < 0.05$)。非毛管孔隙度除麦田土壤较高外,其它不同利用方式土壤无明显的差异(图 2)。

2.2.2 土壤团聚体组成

根据团聚体形成的多级团聚理论,微团聚体(直径 <0.25 mm)与大团聚体(直径 >0.25 mm)之间通过团聚或破碎相互转化^[18-19],二者既互为基础又互为消长。一般把 >0.25 mm 的团聚体称为土壤团粒结构体,团粒结构是土壤中最好的结构体,其数量与土壤的肥力状况呈正相关^[20]。

通过干筛方法分离出的土壤团聚体表征土壤水稳性和非水稳性团聚体的总体状况^[21],通过湿筛方法分离出的土壤团聚体表征土壤水稳性团聚体组成。由表 2 所示,干筛土壤团聚体组成中以 >2 mm 团聚体为主,

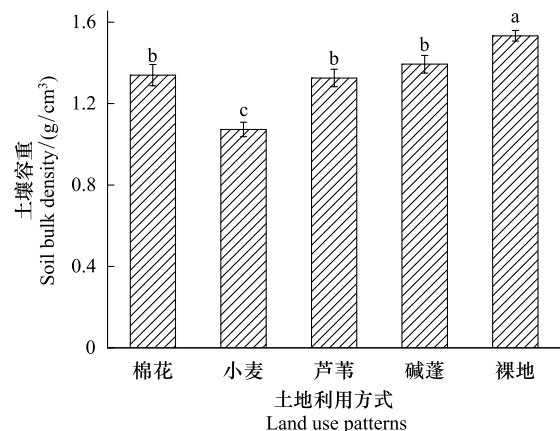


图 1 不同土地利用方式土壤容重

Fig.1 Soil bulk density under different land use patterns

图中柱上的不同字母表示利用方式间的差异显著达 $P < 0.05$

占团聚体总量的 80.80%—61.99%,以裸地和苇地土壤含量最高,其次是麦田土壤,棉田和碱蓬地土壤最低。 $>0.25\text{ mm}$ 大团聚体组成含量反映土壤团聚体的稳定性,与 $>2\text{ mm}$ 团聚体含量在不同利用方式土壤中具有相似的差异,说明 $>0.25\text{ mm}$ 大团聚体组成中以 $>2\text{ mm}$ 团聚体为主。

湿筛土壤团聚体组成反映土壤团聚体的水稳性,与干筛组成具有很大差异,且不同土地利用方式土壤之间的变异较大。湿筛土壤团聚体组成主要集中在 $<2\text{ mm}$ 团聚体, $2\text{—}0.25\text{ mm}$ 团聚体含量以麦田土壤最高,达 56.85%,其次是棉田土壤(表 2)。 $0.25\text{—}0.053\text{ mm}$ 微团聚体含量以棉田和碱蓬地土壤最高,苇地土壤次之,麦田和裸地土壤最低。 $<0.053\text{ mm}$ 团聚体以裸地土壤含量最高,达 81.08%,与其它植被土壤差异显著,麦田土壤 $<0.053\text{ mm}$ 团聚体含量最低。 $>0.25\text{ mm}$ 大团聚体组成含量以麦田土壤最高,与其它利用方式土壤差异显著。

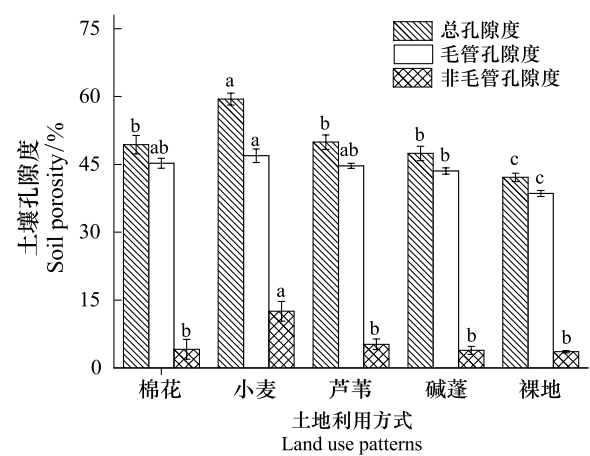


图 2 不同土地利用方式土壤孔隙度
Fig.2 Soil porosity under different land use patterns

表 2 不同土地利用方式土壤团聚体组成与含量/%

Table 2 Soil aggregate composition and content under different land use patterns

筛分方法 Sieve method	土地利用方式 Land use patterns	$>0.25\text{ mm}$	$>2\text{ mm}$	$2\text{—}0.25\text{ mm}$	$0.25\text{—}0.053\text{ mm}$	$<0.053\text{ mm}$
干筛 Dry sieve	棉花	$72.87\pm1.61\text{c}$	$63.38\pm1.93\text{cd}$	$10.92\pm0.25\text{b}$	$12.78\pm0.99\text{a}$	$12.70\pm0.88\text{a}$
	小麦	$84.96\pm0.52\text{b}$	$73.15\pm1.21\text{b}$	$11.81\pm0.69\text{b}$	$11.44\pm1.20\text{a}$	$4.68\pm0.62\text{c}$
	芦苇	$93.25\pm1.45\text{a}$	$79.86\pm1.59\text{a}$	$13.39\pm2.62\text{b}$	$3.57\pm0.50\text{c}$	$3.00\pm0.95\text{c}$
	碱蓬	$83.83\pm0.89\text{b}$	$61.99\pm1.95\text{d}$	$21.85\pm1.22\text{a}$	$8.93\pm0.74\text{b}$	$6.97\pm0.54\text{b}$
	裸地	$92.72\pm2.13\text{a}$	$80.80\pm1.00\text{a}$	$11.92\pm0.09\text{b}$	$2.68\pm0.08\text{c}$	$4.14\pm0.32\text{c}$
湿筛 Wet sieve	棉花	$5.90\pm0.56\text{b}$	$0.35\pm0.15\text{cd}$	$6.93\pm1.50\text{d}$	$59.15\pm3.36\text{a}$	$30.44\pm2.68\text{cd}$
	小麦	$58.51\pm4.27\text{a}$	$1.66\pm0.32\text{a}$	$56.85\pm4.02\text{a}$	$22.99\pm3.82\text{c}$	$13.95\pm0.76\text{e}$
	芦苇	$5.39\pm0.96\text{b}$	$1.02\pm0.20\text{abc}$	$4.38\pm0.89\text{d}$	$43.34\pm4.22\text{b}$	$48.94\pm3.93\text{b}$
	碱蓬	$2.47\pm0.08\text{c}$	$0.34\pm0.08\text{cd}$	$2.13\pm0.10\text{d}$	$59.28\pm1.81\text{a}$	$32.82\pm2.18\text{cd}$
	裸地	$0.28\pm0.08\text{d}$	$0.12\pm0.04\text{d}$	$0.28\pm0.03\text{d}$	$20.12\pm1.10\text{c}$	$81.08\pm2.01\text{a}$

表中同列数值后不同字母表示利用方式间的差异达显著水平 ($P<0.05$)

根据湿筛土壤团聚体组成计算土壤团聚体平均重量直径,反映土壤结构的水稳性(图 3),结果显示麦田土壤团聚体平均重量直径最高,其次为苇地土壤、棉田和碱蓬地土壤;最低者为裸地土壤。不同土地利用方式土壤团聚体组成与含量的差异可以说明,与裸地和自然植被相比,合理的农业耕作有利于土壤水稳性大团聚体的形成,土壤结构稳定性提高,可能与农田管理过程中有机肥料的施用与耕作有关。

2.2.3 土壤水分特性

选择毛管含水量、饱和含水量和饱和导水率 3 个指标,分析土壤水分的有效性、贮量及入渗特征。结果显示,不同土地利用方式土壤饱和含水量存在显著差异 ($P<0.05$),变化范围为 25.80%—46.73%。其中麦田土壤饱和含水量最高,是裸地土壤的 1.81 倍,其次是棉田、苇地和碱蓬地土壤,土壤饱和含水量最低的是裸地土壤(图 4)。土壤毛管含水量与土壤饱和含水量在不同土地利用方式之间有相同的变异规律,麦田 $>$ 棉田、苇地、碱蓬地 $>$ 裸地。从图 5 看出,土壤饱和导水率在不同植被之间存在显著的差异 ($P<0.05$),裸地土壤饱和导水率最高为 9.10 mm/min,其次是碱蓬地土壤为 7.53 mm/min,麦田土壤饱和导水率次之,棉田和苇地土壤饱和导水率最低,与其它植被土壤的差异显著。

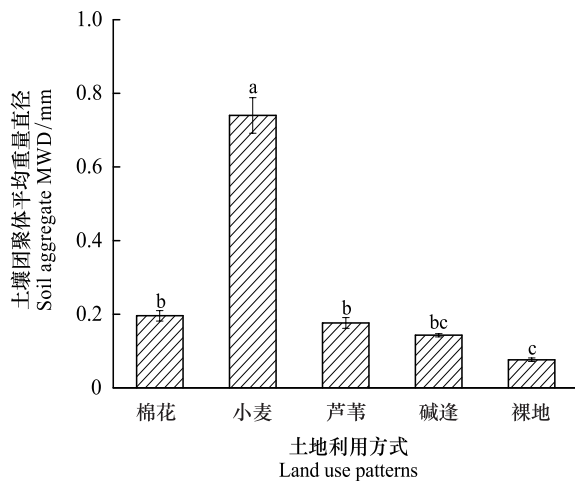


图3 不同土地利用方式土壤团聚体平均重量直径

Fig.3 Soil aggregate mean weight diameter with different land use patterns

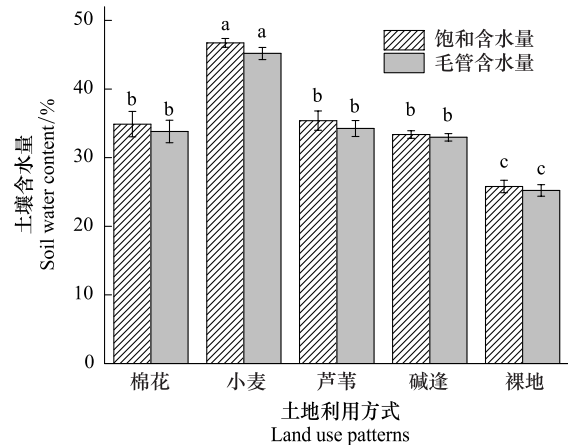


图4 不同土地利用方式土壤含水量

Fig.4 Soil water content under different land use patterns

2.3 土壤性质指标间的相互联系

2.3.1 土壤物理性质指标与其相关因子的逐步回归分析

对与土壤物理性质指标相关的影响因子进行逐步回归分析,进入回归方程的相关因子对自变量的影响达显著水平 $P < 0.05$ 。由表 3 逐步回归分析方程发现,土壤容重、毛管孔隙度和 MWD 对毛管含水量具有显著的影响,土壤容重对土壤毛管含水量的回归系数为 -13.88 ,说明土壤容重抑制土壤毛管水的形成;MWD、毛管孔隙度对土壤毛管含水量的回归系数分别为 10.51 、 0.75 ,表征 MWD 和毛管孔隙度对土壤毛管水的富集具有促进作用。土壤饱和导水率相关因子的逐步回归分析表明,土壤总盐分含量是影响土壤饱和导水率的主要因子,对饱和导水率具有促进作用。土壤中 >0.25 mm 水稳性团聚体含量和毛管孔隙度是 MWD 的主要影响因子,说明水稳性大团聚体含量和毛管孔隙度促进了土壤结构稳定性。

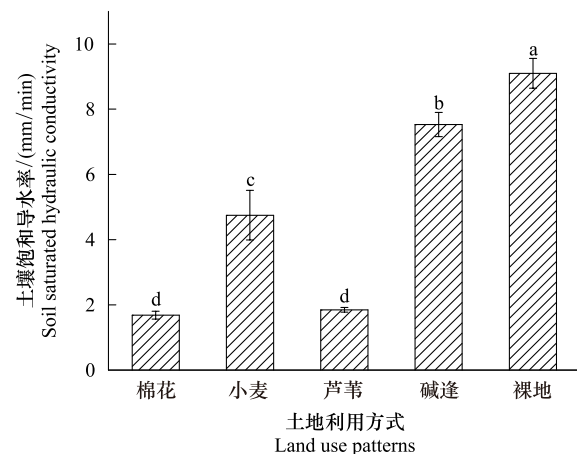


图5 不同土地利用方式土壤饱和导水率

Fig.5 Soil saturated hydraulic conductivity under different land use patterns

表3 土壤物理性质指标与相关因子的逐步回归分析方程

Table 3 Step regression equation of soil physical characteristics and its factors

物理性质指标 Soil physical index	主要相关因子 Main factors	逐步回归分析方程 Step regression equation
毛管含水量 (Y_1)	容重 (X_1), MWD (X_2), 毛管孔隙度 (X_3)	$Y_1 = 17.14 - 13.88 \times X_1 + 10.51 \times X_2 + 0.75 \times X_3$
饱和导水率 (Y_2)	总盐分含量 (X_1)	$Y_2 = 1.97 + 1.70 \times X_1$
MWD (Y_3)	$R_{0.25}^{\dagger}$ (X_1), 毛管孔隙度 (X_2)	$Y_3 = -0.13 + 0.01 \times X_1 + 0.005 \times X_2$

$^{\dagger}R_{0.25}$ 表示 >0.25 mm 水稳性团聚体含量

2.3.2 土壤 >0.25 mm 水稳性团聚体含量与土壤养分指标之间的相关关系

>0.25 mm 水稳性团聚体是土壤中良好的团粒结构,表征土壤良好肥力的形成。分别对 >0.25 mm 水稳性

团聚体含量与土壤有机碳、盐分、速效氮、有效磷和速效钾含量进行相关分析,发现>0.25mm 水稳性团聚体含量与土壤有机碳、速效氮和有效磷含量之间存在显著的正相关关系,相关系数 r 分别为 0.8323、0.7558 和 0.9049(表 4)。

表 4 土壤>0.25 mm 水稳性团聚体含量与土壤养分含量之间的相关关系

Table 4 The correlation of>0.25 mm water stable aggregate content and soil nutrition content

$R_{0.25}$	土壤养分指标 Soil nutrition index	相关分析方程 Correlation equation	相关系数 Correlation coefficient
Y	SOC(X_1)	$Y = 4.50 + 0.12 \times X_1$	0.8323
	Available N(X_2)	$Y = 23.53 + 0.87 \times X_2$	0.7558
	Available P(X_3)	$Y = 3.51 + 0.79 \times X_3$	0.9049

3 讨论

黄河三角洲土壤成土时间短,在土壤开发利用过程中土壤物理性质的变化对土壤肥力的保持具有重要作用。本研究结果表明不同利用方式对土壤物理性质具有显著影响。土壤容重是土壤物理性质的综合反映,研究发现麦田土壤容重比其它利用方式土壤有显著降低,棉田与两种荒地土壤之间的差异不显著,裸地土壤容重最高。麦田管理过程中耕作和有机肥料的施用促进土壤孔隙结构的形成,使土壤容重降低。另一方面采样时小麦处于返青期,根系的大量生长与穿插作用使土壤孔隙度增加、容重降低。与麦田相比,棉田管理粗放,与自然植被对土壤容重和孔隙度影响的差异不显著。与有植被土壤相比,裸地土壤没有耕作管理和外源有机物质的输入,土壤孔隙结构难以形成,使土壤容重保持较高的水平。

土壤孔隙度直接反映土壤的结构性质,对土壤持水和通气状况具有重要作用。土壤孔隙组成中毛管孔隙是主要的有效孔隙组成,研究发现土壤孔隙度在不同利用方式土壤中的差异与土壤容重呈相反的规律(图 1,图 2)。土壤容重和孔隙的形成受土壤团聚体组成及含量的影响。

土壤团聚体组成及含量是土壤物理性质的敏感性指标,反应土壤结构的稳定性。本研究中通过干筛和湿筛两种方法对比分析土壤团聚体组成,5 种不同土地利用方式土壤干筛团聚体组成均以>2 mm 团聚体组成为主,含量达 60%—80%。麦田土壤水稳性团聚体以 2—0.25 mm 组成为主,>0.25 mm 团聚体含量达 56%,较其它利用方式土壤有显著增加。棉田、碱蓬地、苇地和裸地土壤水稳性团聚体主要组成颗粒逐渐减小(表 2)。对比分析干筛湿筛团聚体组成,>0.25 mm 团聚体麦田土壤以水稳性团聚体为主,其它利用方式土壤以非水稳性团聚体为主。以往的研究表明>0.25 mm 水稳性团聚体是良好的土壤团粒结构,与土壤肥力状况具有较好的相关性^[20]。本研究结果也验证了这一结论,>0.25 mm 水稳性团聚体含量与土壤有机碳、速效氮和有效磷含量均具有显著的相关关系(表 4)。土壤良好团粒结构形成,对土壤养分保持具有重要作用。

土壤团聚体平均重量直径是根据水稳定性团聚体计算得到,可表征土壤结构的水稳性,本研究中以麦田土壤最高,并与其它植被土壤的差异显著(图 3)。通过逐步回归分析发现>0.25 mm 水稳性团聚体含量是决定土壤团聚体平均重量直径的主要影响因子(表 3),这一结果与已有的研究结果一致^[22]。本研究中土壤水稳性团聚体平均重量直径与土壤有机碳含量之间也存在正相关关系($R = 0.6393$),说明土壤有机碳的积累促进土壤团聚体的形成及结构稳定性^[9-10]。有研究报道对土壤水稳性团聚体形成起决定作用的是土壤碳库中的颗粒有机碳^[23]。土壤水稳性团聚体形成对土壤持水量具有重要的影响作用。

本研究中选择毛管含水量表征土壤有效水含量,麦田土壤毛管含水量最高,同是农业耕作土壤,棉田土壤毛管含水量比麦田土壤有明显的降低,说明不同的作物类型及其农业管理方式影响土壤的有效水含量。与裸地土壤相比,芦苇和碱蓬对土壤水分的保持能力有显著的提高(图 4)。有关植被类型对土壤含水量影响的研究发现,植被主要是通过提高土壤有机质含量,改善土壤结构,降低土壤容重和增加土壤毛管孔隙度等土壤物理特性对土壤的蓄水和持水性能产生作用^[24]。本研究对土壤毛管含水量相关因子的逐步回归分析结果验证

了上述说法(表3),土壤容重增加抑制土壤含水量的提高,水稳性土壤团聚体平均重量直径和毛管孔隙对保持土壤水分均具有促进作用。相关分析发现土壤有机碳含量与土壤毛管含水量具有正相关关系($R = 0.5691$),说明土壤有机质促进土壤对水分的保持^[6]。土壤总盐分含量是土壤饱和导水率的主要影响因子,其影响机理有待进一步的研究。

4 结论

本研究通过选择典型样地进行野外采样、室内分析及数据统计,开展不同土地利用方式对土壤主要物理性质影响的研究,得到以下主要结论:

(1) 与裸地相比,植被覆盖提高土壤团聚体稳定性、孔隙度和含水量,降低土壤容重、饱和导水率和总盐分含量,小麦和棉花比芦苇、碱蓬荒地植被对土壤性质具有更强的调节作用。

(2) 麦田和棉田耕作土壤比荒地和裸地自然土壤更强地促进了土壤水稳性大团聚体的形成,提高了土壤肥力; $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量与土壤有机碳、速效氮和有效磷含量具有显著的正相关关系。

(3) 通过逐步回归分析发现,土壤毛管含水量的主要影响因子为容重、水稳性团聚体平均重量直径和毛管孔隙度;土壤团聚体水稳性受 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量和毛管孔隙度的影响;土壤总盐分含量是土壤饱和导水率的主要影响因子。

参考文献(References):

- [1] Fang H, Liu G, Kearney M. Georelational analysis of soil type, soil salt content, landform, and land use in the Yellow River Delta, China. *Environmental Management*, 2005, 35(1): 72-83.
- [2] 李静,赵庚星,杨佩国,马淑惠. 黄河三角洲土地利用/覆被变化时空特征研究. *地域研究与开发*, 2008, 27(6): 110-114.
- [3] 杨劲松,姚荣江. 黄河三角洲地区土壤盐空间变异特征研究. *地理科学*, 2007, 27(3): 348-353.
- [4] 赵庚星,李静,王介勇,鄂德柱. 基于 TM 图像和 GIS 的土地利用/覆被变化及其环境效应研究. *农业工程学报*, 2006, 22(10): 78-82.
- [5] 王凯博,时伟宇,上官周平. 黄土丘陵区天然和人工植被类型对土壤理化性质的影响. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 80-86.
- [6] 杜峰,山仑,梁宗锁,谭勇. 陕北黄土丘陵区撂荒演替过程中的土壤水分效应. *自然资源学报*, 2005, 20(5): 669-678.
- [7] 易湘生,李国胜,尹衍雨,王炳亮. 黄河源区草地退化对土壤持水性影响的初步研究. *自然资源学报*, 2012, 27(10): 1708-1719.
- [8] Fu X L, Shao M A, Wei X R. Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. *Geoderma*, 2010, 155(1/2): 31-35.
- [9] 王昭艳,左长清,曹文洪,杨洁,徐永年,秦伟,张京凤. 红壤丘陵区不同植被恢复模式土壤理化性质相关分析. *土壤学报*, 2011, 48(4): 715-724.
- [10] 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. *生态学报*, 2003, 23(10): 2176-2183.
- [11] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,朱锦懋,曾宏达,杨智杰. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响. *生态学报*, 2008, 28(2): 702-709.
- [12] 丁晨曦,李永强,董智,尹若波,王雅楣,沈运扩. 不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响. *中国水土保持科学*, 2013, 11(2): 84-89.
- [13] 张扬,赵世伟,侯庆春,华娟. 云雾山草地植被恢复过程土壤水库特性及影响因素. *水土保持学报*, 2009, 23(3): 200-204.
- [14] 李庆梅,侯龙鱼,刘艳,马风云. 黄河三角洲盐碱地不同土地利用方式土壤理化性质. *中国生态农业学报*, 2009, 17(6): 1132-1136.
- [15] 胡良军,邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究. *应用生态学报*, 2002, 13(8): 1045-1048.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [17] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [18] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates. *Journal of Soil Science*, 1982, 33: 141-163.
- [19] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 1991, 29: 815-828.
- [20] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(3): 1042-1049.
- [21] 周虎,吕贻忠,杨志臣,李保国. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [22] 姜灿烂,何园球,刘晓利,陈平帮,王艳玲,李辉信. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响. *土壤学报*, 2010, 47(4): 715-722.
- [23] 李江涛,张斌,彭新华,赖涛. 施肥对红壤性水稻土颗粒有机物形成及团聚体稳定性的影响. *土壤学报*, 2004, 41(6): 912-917.
- [24] 赵世伟,周印东,吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 119-123.