

DOI: 10.5846/stxb201903020388

李程程, 曾全超, 贾培龙, 安韶山. 黄土高原土壤团聚体稳定性及抗蚀性能力经度变化特征. 生态学报, 2020, 40(6): 2039-2048.

Li C C, Zeng Q C, Jia P L, An S S. Characteristics of soil aggregate stability and corrosion resistance longitude change in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6): 2039-2048.

黄土高原土壤团聚体稳定性及抗蚀性能力经度变化特征

李程程¹, 曾全超², 贾培龙¹, 安韶山^{1,2,*}

1 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100

2 西北农林科技大学, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100

摘要:分析与探讨了黄土高原地区的土壤理化性质和土壤团聚体稳定性随经度的变化特征,为其植被恢复及利用提供有力的理论支持和依据。采用常规的化学分析方法测定土壤的理化性质,并用干筛与湿筛法结合测定土壤各级团粒含量。结果表明,随着经度的升高,黄土高原地区的土壤有机碳和全氮含量都呈增加趋势,其中定西的含量都是最低的,该地植物以灌木(柠条)为主;全磷含量变化不明显。通过计算土壤团聚体的平均重量直径(MWD值)和土壤可蚀性值(K值),除了定西地区的MWD值最小、K值最大外,其余地区的MWD值、K值分别在2.00、0.19左右,都是随着经度升高波动范围较小。说明黄土高原地区乔木林比灌木林的土壤有机碳和全氮含量高,土壤团聚体稳定性好、抗侵蚀性强。

关键词:黄土高原;经度;土壤性质;土壤团聚体

Characteristics of soil aggregate stability and corrosion resistance longitude change in the Loess Plateau

LI Chengcheng¹, ZENG Quanchao², JIA Peilong¹, AN Shaoshan^{1,2,*}

1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: In this study, we investigated variation of soil chemical properties and soil aggregation stability along with longitudes on the Chinese Loess Plateau (CLP). It can provide soundly theoretical support and reference for vegetation restoration on the CLP. By using conventional chemical analysis method, we measured soil physiochemical properties. In addition, we used a combined method of dry and wet sieving to measure soil aggregates content. The results indicated that the content of soil organic carbon and total nitrogen enhanced with the increased longitude, but there was no significant difference ($P < 0.05$) of soil total phosphorus along with longitude on the CLP. The soil organic carbon and total nitrogen was always the lowest in Dingxi which was dominated by shrubs (caragana). Through mean weight diameter of soil aggregates (MWD) and soil erodibility values (K value), we found there was little fluctuation of the MWD (about 2.00) and K value (about 0.19) with increased longitude except Dingxi where the MWD was the lowest and K value was the highest. Based on the results, we conclude that there's more soil organic carbon and total nitrogen in arbor forest land. The soil aggregate is more stable and the soil anti-erosion ability is better than that of the shrub forest land.

Key Words: Loess Plateau; longitudes; soil properties; soil aggregates

基金项目:国家自然科学基金项目(41671280);对外合作重点项目(161461KYSB20170013)

收稿日期:2019-03-02; 网络出版日期:2019-12-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shan@ms.iswc.ac.cn

土壤团聚体是土粒经各种作用形成的直径为 10—0.25 mm 的结构单位^[1],它是土壤中各种物理、化学和生物作用的结果。它是土壤结构构成的基础,影响土壤的各种理化性质,土壤团聚体的稳定性直接影响土壤表层的水、土界面行为,特别是与降雨入渗和土壤侵蚀关系十分密切。各粒径水稳性团聚体的分布规律可以反映土壤团聚体的质量,因此土壤团聚体的数量、特征可以反映土壤结构的稳定性和抗侵蚀能力^[1]。许多学者用平均重量直径来评价土壤团聚体的稳定性,用土壤可蚀性值来表示土壤的抗侵蚀能力。植被恢复有利于促进土壤团聚体的形成,土壤团聚体的组成和稳定性是衡量土壤结构和质量的主要指标。通过测定土壤团聚体的粒径分布及稳定性可间接地量化土壤的可蚀性能力^[2-4]。

黄土高原是世界黄土分布最典型的区域,具有独特侵蚀沟壑地貌,极易发生侵蚀,是世界上水土流失最为严重和生态环境最脆弱的地区之一。解决黄土高原的水土流失问题,主要是防治土壤侵蚀,提高土壤的抗侵蚀能力。土壤侵蚀的主要影响因素有自然因素和人为因素,包括气候、地形、土壤、植被、地质和人为活动。在植被自然恢复过程中,土壤团聚体结构随着植被群落由 1 年生草本-多年生灌草-半灌木-灌木-乔木演替过程逐渐趋于稳定^[5]。森林土壤团聚体稳定性和抗侵蚀能力最高^[6-7]。此外增加植被的覆盖度能有效地改善土壤侵蚀提高土壤的抗侵蚀能力^[8]。有关黄土高原土壤性质和抗侵蚀能力的研究有很多,有关土壤的理化性质研究主要集中在不同树种枯落叶分解^[9]、退耕地复垦^[10]、不同植被覆盖^[11]、不同耕作方式^[12]、演替阶段^[13]等对土壤性质的影响。有关于土壤抗侵蚀能力主要是对草地植被^[14]、森林植被^[8]、沙棘人工林^[15]等地的土壤进行研究。黄土高原草地植被带不同立地条件下的土壤团聚体稳定性和土壤可蚀性表现出较大差异^[14]。有关黄土高原地区的土壤性质和抗侵蚀能力随经度变化的研究较少,黄土高原从东到西的土壤性质变化如何,土壤团聚体稳定性怎样变化。本研究选取黄土高原地区土壤为研究对象,在不同经度上设置采样点,研究其土壤性质与抗蚀性能力变化,有助于了解黄土高原土壤性质及土壤团聚体稳定性规律,为其生态可持续发展和退耕还林还草工程提供理论支持和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄土高原地区(34°40′52.22″—36°49′40.06″N, 104°17′12.70″—113°20′45.81″E),属于半干旱大陆性季风气候区,年均温度为 9.5℃,年均降雨量为 520.4 mm,平均海拔为 1568 m。本研究从东到西在黄土高原林带上选择了武乡、古县、吉县、黄龙、子午岭、西峰、平凉、庄浪和定西九个采样点,采样原则是尽量选取人类干扰少的样地。黄土高原地区的土壤类型是黄棉土,土体疏松,软绵,主要特征是剖面发育不明显,土壤侵蚀严重(图 1,2,表 1)。

1.2 样品采集与测定分析

2017 年 7 月 12 日到 8 月 1 日,对研究地区的植被和地形条件进行调查,选取黄土高原从东到西的九个典型地区进行采样,样地基本情况见表 1。采样植物选取的是乔木(或灌木),为了更好地描述地区的现状,在每个地区选择 2—3 个优势植物。在每个样地内设置 3 个样方,样方大小为 10 m×10 m。在样方内按着“S”形采样法取点共 9 个点,用铝盒分别采集 0—20 cm、20—40 cm 两个土层的原状土样,共 18 个样品;同时每个样点用土钻取土,采集 0—20 cm 和 20—40 cm 的土壤样品,九个样点共计土壤样品 162 个。收集好的土样带回实验室,将原状土按照其结构掰成直径为 5 cm 的小块,挑出植物、细根、石块等杂物,处理好后放在通风处自然风干;土钻收集的土壤样品,挑出杂物,混匀、风干、过筛后装入自封袋中,供室内分析使用。

采用干筛法将土块按照不同粒级进行分类,测得土壤各级团粒含量,取一份风干土样(300 g)进行干筛,分别获得>7、5—7、3—5、2—3、1—2、0.5—1、0.25—0.5、0—0.25 mm 的土壤团粒质量,计算土壤团粒各粒级质量百分比。根据干筛法得到的各粒级团粒质量比例配成两个 50 g 的土样,进行湿筛,得到土壤水稳性团粒含量。用团聚体分析仪进行湿筛,将 50 g 土样放在滤纸上,用蒸馏水全部润湿即可(注意不要放太多蒸馏水),放置 30 min 后,将土样全部倒进团聚体分析仪的小桶中,小桶中有一整套筛子,盛水深度刚好没过最上边的

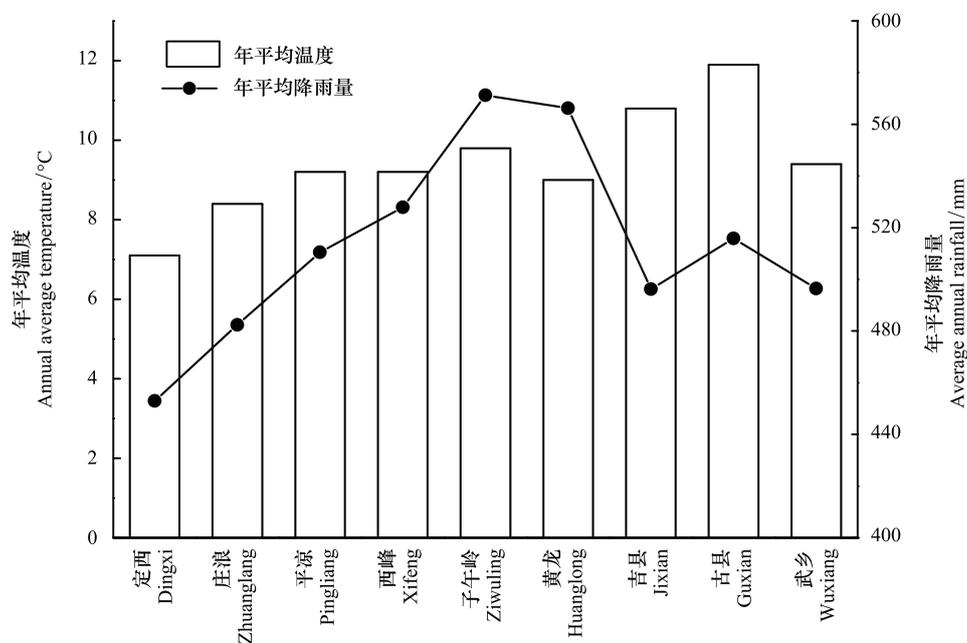


图1 年平均温度和平均降雨图

Fig.1 Annual average temperature and average rainfall maps

筛子上端(保证土全部在水中),使用团聚体分析仪湿筛 1 min,将各粒级的筛子取出,用水将筛子上的团聚体清洗到质量已知的烧杯中,分别得到 >5、2—5、1—2、0.5—1、0.25—0.5、<0.25 mm 粒级的水稳性团粒,用沙浴法烘干,冷却到室温后称重,计算得各粒级土壤水稳性团粒百分比。

将风干土壤过 2 mm 筛,再采用马尔文激光粒度仪测定土壤的机械组成;土壤 pH 值采用水土比 2.5:1 的玻璃电极法测定;土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;土壤全氮采用硫酸-混合催化剂消煮,凯氏定氮仪(KDY-9380, KETUO)进行测定;土壤全磷(TP)采用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消煮后钼蓝比色法比色,利用紫外分光光度计测定^[16]。样地土壤基本化学性质见图 3。

1.3 计算方法

土壤团聚体平均重量直径(MWD/mm)(使用湿筛团聚体粒径计算)和土壤可蚀性因子 K 值(土壤理化性质有限的情况下,只考虑土壤几何平均粒径)具体计算公式^[17-18]如下:

$$\text{MWD} = \frac{\sum_i^n x_i w_i}{\sum_i^n w_i} \quad (1)$$

$$K = 7.954 \times \left\{ 0.0017 + 0.0494 \times \exp \left[-0.5 \times \left(\frac{\log \text{GMD} + 1.675}{0.6986} \right)^2 \right] \right\} \quad (2)$$

$$\text{GMD} = \exp \left[\left(\frac{\sum_i^n w_i \ln x_i}{\sum_i^n w_i} \right) \right] \quad (3)$$

式中, x_i 为每个粒级下的团聚体平均直径(mm), w_i 为每个粒级下的团聚体质量百分数。

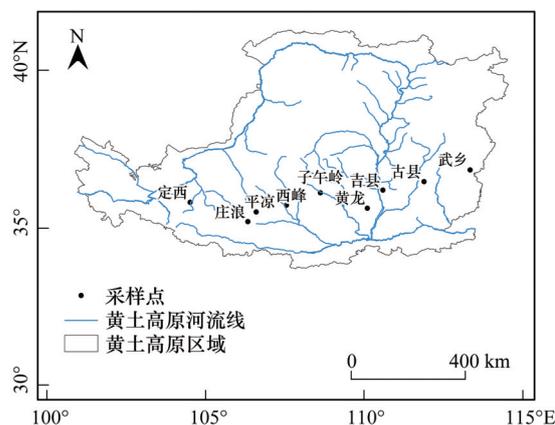


图2 研究区域及样点分布

Fig.2 Distribution of sample sites

表 1 样地基本信息

Table 1 Basic characteristics of sample plots

区域 Area	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	海拔 Altitude/m	优势植物 Dominant plant
定西	104°29'1.74"	35°43'17.10"	2084	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>
	104°29'8.67"	35°43'26.15"	2134	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>
	104°29'40.33"	35°43'22.43"	2121	柠条 <i>Caragana korshinskii</i>
庄浪	106°19'32.90"	35°10'48.81"	2038	锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>
	106°19'34.53"	35°10'46.00"	2036	山杨 <i>Populus davidiana</i>
	106°20'11.96"	35°11'7.82"	2023	落叶松 <i>Larix gmelinii</i>
平凉	106°36'4.19"	35°29'12.61"	1721	蔷薇 <i>Rosa</i>
	106°36'4.48"	35°29'17.25"	1724	山杨 <i>Populus davidiana</i>
	106°36'16.16"	35°29'18.79"	1695	榆树 <i>Ulmus pumila</i>
西峰	107°32'45.07"	35°42'11.99"	1173	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
	107°33'16.46"	35°42'13.54"	1173	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>
	107°33'36.22"	35°42'32.29"	1300	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>
子午岭	108°37'28.56"	36°5'56.70"	1151	白桦 <i>Betula platyphylla</i>
	108°52'43"	36°1'42"	1025	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
	109°5'54.50"	36°0'18.15"	1185	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
黄龙	110°0'50.84"	35°40'0.03"	1745	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
	110°3'14.35"	35°38'10.87"	1264	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>
	110°6'30.04"	35°36'22.75"	1027	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>
吉县	110°34'41.37"	36°11'52.38"	1269	白皮栎(櫟栎) <i>Quercus aliena</i>
	110°35'43.70"	36°11'9.95"	1419	榆树 <i>Ulmus pumila</i>
	110°35'47.84"	36°11'7.24"	1490	辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>
古县	111°53'48.89"	36°27'7.00"	1424	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>
	111°53'50.10"	36°27'8.43"	1429	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
	111°55'27.36"	36°27'23.66"	1263	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>
武乡	113°20'36.63"	36°49'27.61"	1781	华北落叶松 <i>Lasix principis-rupprechtii</i>
	113°20'45.41"	36°49'39.23"	1800	山杨 <i>Populus davidiana</i>
	113°20'45.81"	36°49'40.06"	1851	辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>

1.4 数据处理

实验数据采用 Microsoft Excel 2013 软件进行处理;采用 SPSS 20.0 进行数据的相关性分析;采用单因素方差分析(one-way ANOVA)对不同经度地区的 pH 值和土壤有机碳等进行分析,用 Pearson 法($\alpha = 0.05$)对 MWD 值、K 值、土壤有机碳及其他指标间的相关性进行分析;采用 Origin 9.0 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 森林带土壤的基本理化性质

由图 2 可知,并分别计算各个地区理化性质的均值可得,土壤 pH 在 5.67—8.87 之间变化。其中 0—20 cm 和 20—40 cm 土层,土壤有机碳含量变化规律相似,都是武乡地区的含量最高,定西地区的最低,其变化范围分别为 10.23—49.17 g/kg、5.52—34.06 g/kg;同一地区的土壤有机碳含量上层土壤比下层的高,0—20 cm 土层和 20—40 cm 土层都是随着经度的升高,土壤有机碳含量总体呈增加趋势,且 0—20 cm 土层比 20—40 cm 的含量高,古县地区到武乡的含量增加显著($P < 0.05$)。0—20 cm 土层武乡地区的全氮含量最高,定西的最低,其变化范围为 1.10—3.95 g/kg;20—40 cm 土层,武乡地区的土壤全氮含量最高,定西地区的最低,变化范围为 0.62—2.91 g/kg,0—20 cm 土层全氮含量比 20—40 cm 土层的高,0—20 cm 土层和 20—40 cm 土层变化规律相似,两个土层的全氮含量都是随着经度的升高总体呈增加趋势,古县地区到武乡地区的含量增加显

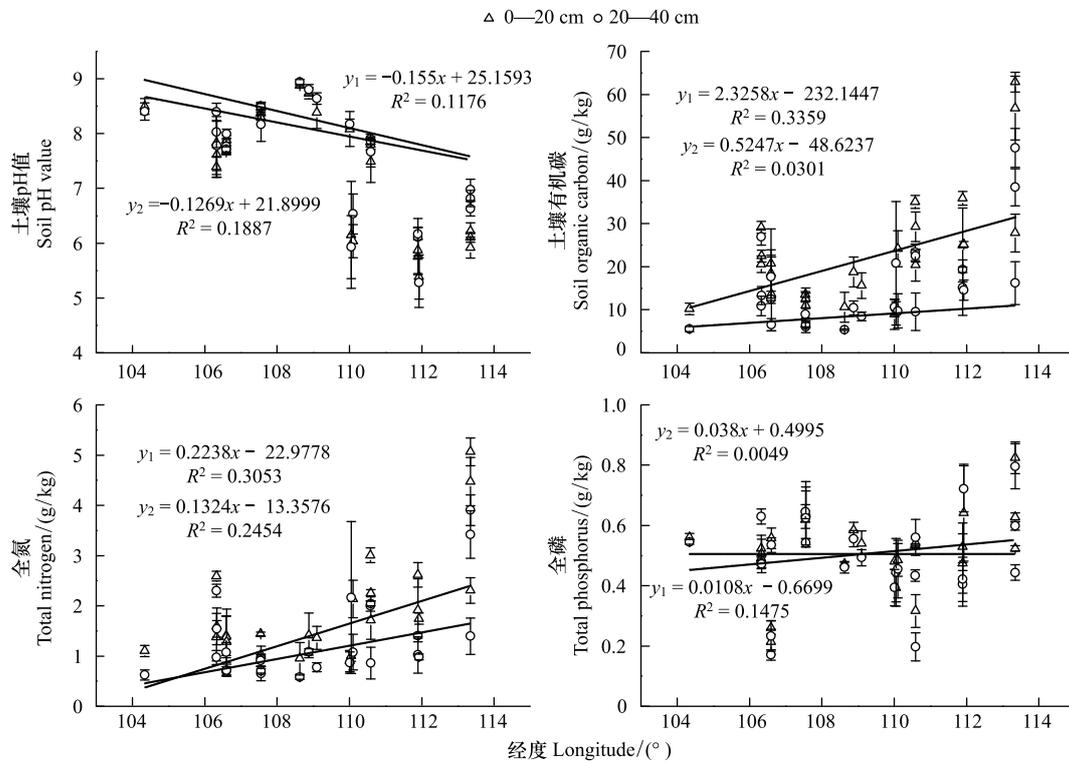


图3 样地土壤基本化学性质

Fig.3 Basic chemical properties of the soil

著($P < 0.05$)。全氮含量变化规律与土壤有机碳含量变化规律相似。0—20 cm 与 20—40 cm 土层的土壤总磷含量变化规律不明显,变化幅度小,都在 0.42—0.66 g/kg 之间波动。

2.2 不同经度下土壤团聚体粒径分布特征

水稳性团聚体结果显示(图4),一般地大于 5 mm 的团聚体含量在 20.00%左右,在 0—20 cm 土层中,定西地区例外,含量是最低的,它的大于 5 mm 的团聚体含量为 8.30%,武乡地区大于 5 mm 的团聚体含量为 18.86%,其余地区的含量都超过了 20.00%,其中含量最高的是庄浪和平凉地区,其含量为 42.58%;在 20—40 cm 土层中,古县地区大于 5 mm 的团聚体含量最高为 35.26%,西峰地区的含量最低为 22.39%。有研究指出,土壤水稳性团聚体含量特别是 >0.25 mm 团聚体含量是反映土壤可蚀性的最佳指标之一。由图 2 可知,在 0—20 cm 土层中,定西地区大于 0.25 mm 的团聚体含量最低,含量为 29.87%,庄浪和平凉地区其含量最高为 87.42%;在 20—40 cm 土层中,定西地区其大于 0.25 mm 的团聚体含量为 54.20%,也是研究地区中含量最低的,黄龙和吉县地区中大于 0.25 mm 的团聚体百分含量为 82.98%,含量是最高的。

2.3 不同经度下土壤团聚体平均重量直径(MWD)分布特征

由图 5 可知,无论是 0—20 cm 土层还是 20—40 cm 土层中,定西地区的土壤平均重量直径(MWD)值都是最小的,其他几个地区的 MWD 值差异不显著。在 0—20 cm 土层中,定西地区的 MWD 值最小为 1.02,平凉地区的 MWD 值最大为 3.10,其他地区的 MWD 值均大于 2.00;庄浪、平凉、子午岭、黄龙、吉县和古县的 MWD 值的差异不明显。在 20—40 cm 土层中,定西地区的 MWD 值为 1.90,西峰地区的为 1.91,黄龙的 MWD 值为 2.91,其他地区的 MWD 值均大于 2.30;每个地区上层和下层土壤的 MWD 值变化规律不明显。

2.4 土壤可蚀性 K 值比较

土壤可蚀性 K 值是土壤抵抗水蚀能力大小的一个相对综合的指标,K 值越大,土壤抗侵蚀能力越弱;相反,K 值越小,土壤抗侵蚀能力越强。由图 6 可知,上层土壤和下层的变化趋势相同,都随着经度的升高,K 值

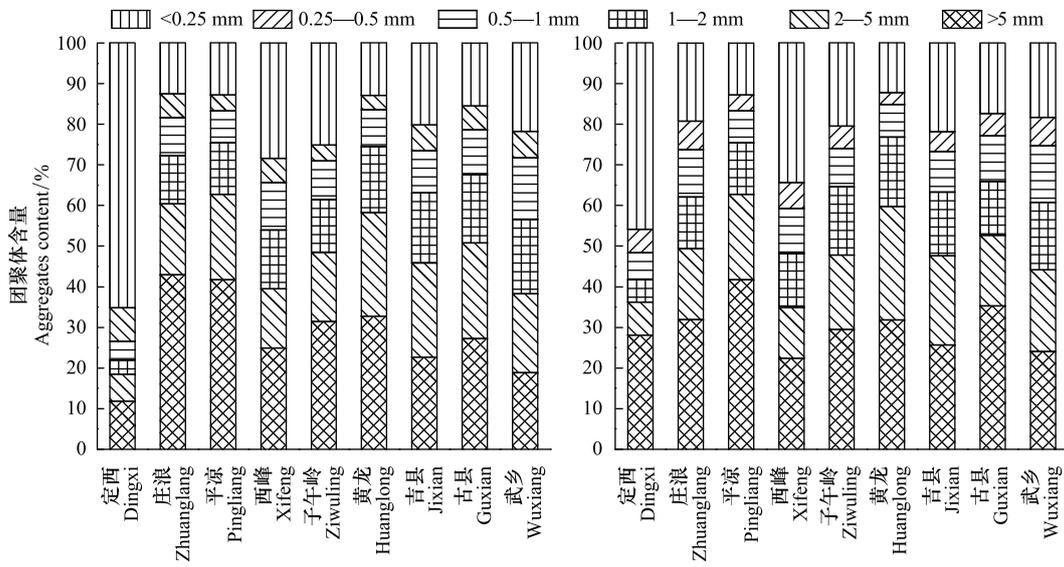


图 4 土壤水稳性团聚体的粒径分布

Fig.4 Size distributions of soil water-stable aggregates

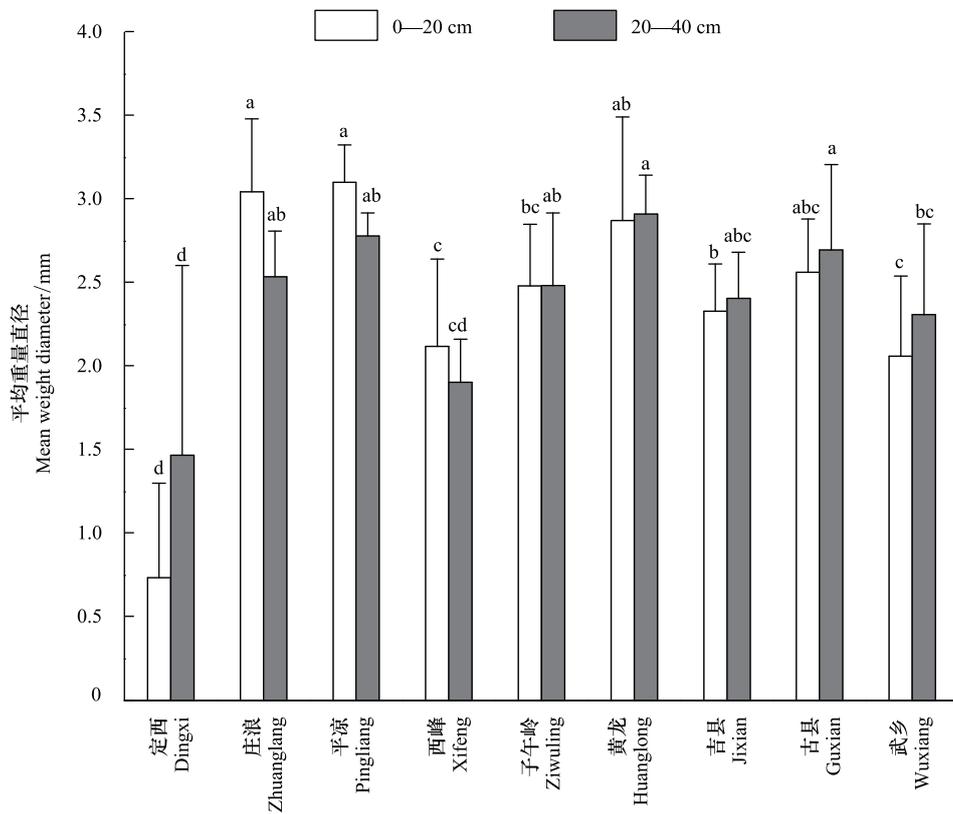


图 5 不同经度下 MWD 变化

Fig.5 MWD changes under different longitudes

先降低后增加,之后变化趋于平缓。上下两个土层中,定西地区的土壤可蚀性值 K 都显著地高于其他地区。在 0—20 cm 土层中,其中平凉地区的 K 值最小,值为 0.023,定西地区的 K 值最大,值为 0.210;在 20—40 cm 土层中,其中黄龙地区的 K 值最小,值是 0.023,定西地区的 K 值最大,值是 0.131。

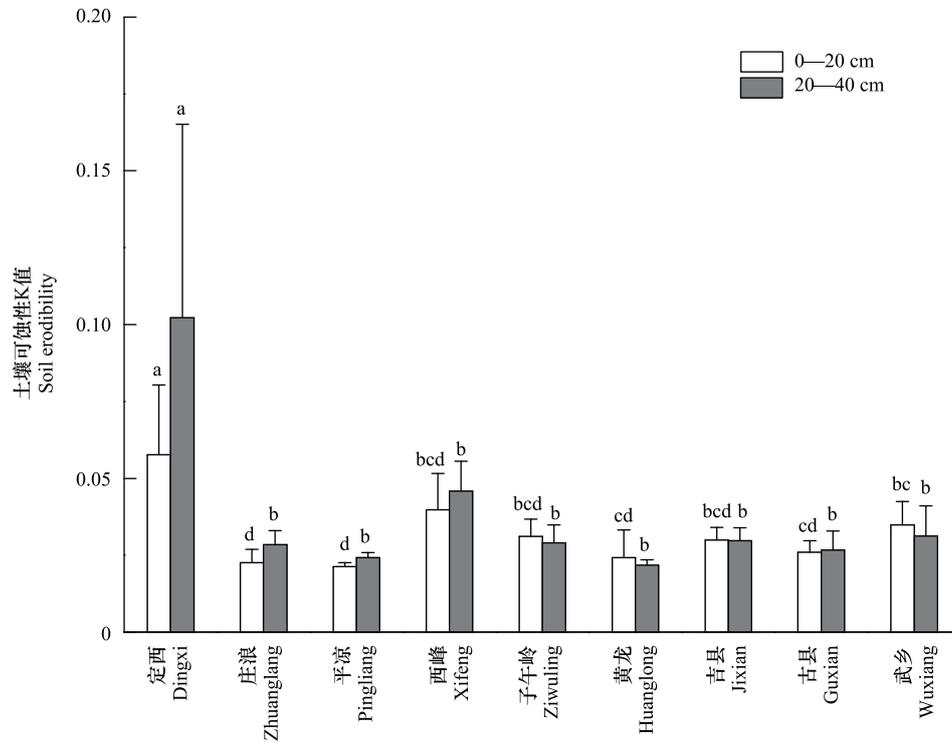


图 6 不同经度下的 K 值变化

Fig.6 Changes of soil erodibility at different longitudes

2.5 相关性分析

由表 2 可知,MWD 值与温度成极显著性正相关;与 K 值、全磷成极显著性负相关。K 值与 pH、全磷、海拔成显著性正相关;与经度、温度成极显著性负相关;与有机碳、降雨量成显著性负相关。土壤有机碳与全氮、全磷、经度和海拔成极显著性正相关,与温度成显著性正相关;与 pH、降雨量成极显著性负相关。全氮与全磷、经度和海拔成极显著性正相关;与 pH、降雨量成极显著性负相关。土壤的 pH 与温度和经度成极显著性负相关,与海拔成显著性负相关。

表 2 经度尺度上土壤基本理化性质与团聚体的性质和环境因子相关性分析

Table 2 Correlation analysis between basic physical and chemical properties of soil and the properties of agglomerates and environmental factors on longitude scale

因子 Factor	MWD	K	L	pH	SOC	TN	TP	R	T	A
MWD	1	-0.756 **	0.042	-0.026	0.082	0.050	-0.292 **	-0.015	0.287 **	-0.024
K		1	-0.311 **	0.191 *	-0.200 *	-0.167	0.172 *	-0.222 *	-0.407 **	0.181 *
L			1	-0.613 **	0.557 **	0.555 **	0.168	0.137	0.609 **	-0.216 *
pH				1	-0.539 **	-0.525 **	0.014	0.117	-0.318 **	-0.271 *
SOC					1	0.972 **	0.404 **	-0.355 **	0.182 *	0.341 **
TN						1	0.459 **	-0.327 **	0.124	0.325 **
TP							1	-0.069	-0.155	0.012
R								1	0.141	-0.748 **
T									1	-0.468 **
A										1

MWD:平均重量直径, Mean weight diameter; K: 土壤可蚀性值, Soil erodibility value; L: 海拔, Longitude; SOC: 土壤有机碳, Soil organic carbon; TN: 全氮, Total nitrogen; TP: 全磷, Total phosphorus; R: 降雨量, Rainfall; T: 温度, Temperature; A: 海拔, Altitude; ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

3 讨论

3.1 土壤理化性质沿经度变化规律

该研究中,黄土高原林线地区纬度在 35° — 36° N 变化,差异很小,经度有所不同且呈梯度变化,因而各个地区土壤的立地条件是不相同的。根据测定的实验结果表明,土壤 pH 在 5.67—8.87 之间变化,随着经度的增加,pH 值逐渐减小;随着经度的变化,全磷含量的变化浮动小;土壤有机碳含量随着经度的升高,总体上呈现明显增加的趋势,但是庄浪和平凉地区的含量不同,其有机碳含量比子午岭地区的要高。土壤的全氮与有机碳含量的变化趋势相同^[19-20],相关性分析表明,两者具有极显著性相关性;土壤有机碳、全氮含量在 0—20 cm 土层中都是高于 20—40 cm 土层的,这个结论与很多研究是相同的^[21-23]。凋落叶是土壤有机质的主要来源,研究区的植被多为乔木或者灌木,其覆盖度大,枯枝落叶多,因而凋落物分解归还的养分主要集中在表层土壤,所以上层的含量高于下层^[23],这与朱秋莲等^[24]对黄土丘陵沟壑区不同植被区得出的结论相同。土壤有机碳和全氮含量随经度的变化规律与呼伦贝尔草原区的研究^[25]相似,相关性分析表明两者都与经度成极显著性相关关系;而全磷含量在呼伦贝尔草原区随着经度的升高而显著增加,黄土高原地区随着经度的升高土壤全磷含量变化无规律。呼伦贝尔草原区,植被类型是以草地为主,而本研究区植被类型是乔木(或者灌木),植被不相同,再加上气候条件上明显的不同,因而土壤全磷变化含量随着经度变化的规律有一定差别。磷是一种沉积性矿物,不易被迁移^[26],所以土壤中磷含量在上下层中含量差异不显著。土壤全磷含量主要受土壤类型、地区气候、植被类型的影响^[27-28]。根据相关分析可知,代表气候的年平均降雨量、年平均温度与土壤全磷之间差异不显著;土壤类型的影响,这几个地区均是黄棉土,因而造成黄土高原地区土壤全磷含量差异不显著的原因应该是植被类型,研究区研究植被类型是乔木(或灌木),乔木植被高大,覆盖度大,枯枝落叶也丰富,大量的枯落叶分解对于土壤全磷具有重要的影响,所以黄土高原土壤全磷含量变化不明显。

经度上的变化,归根是各地区的水热条件不同,具体表现为年平均降雨量、年平均温度不相同,从而影响着土壤理化性质。相关性分析数据表明,土壤有机碳、全氮与全磷、经度和海拔都呈极显著性正相关关系,定西地区的主要植被是灌木柠条,其他地区是乔木,植被的类型会影响土壤有机碳、全氮含量,植被覆盖度越高,其枯枝落叶越丰富,凋落物分解归还给土壤的养分越多,土壤有机碳的含量也就越大,并且定西地区的年降雨量、年平均温度都是最低的,海拔是几个地区中最高的,所以定西地区的土壤有机碳、全氮含量最低主要受限制因素可能是植被类型、降雨量和温度。庄浪和平凉地区的土壤有机碳、全氮含量不同,比西峰、子午岭地区的要高,庄浪、平凉地区与西峰、子午岭地区相比,年平均温度差异不大,年均降雨量值小,而海拔高,这几个地区植被类型均为乔木,有研究表明土壤有机碳含量总体上随着海拔的上升而有升高的变化趋势^[29],主要原因是海拔高,地表温度低,影响了土壤中的微生物活性,影响了微生物对凋落物的分解作用,导致土壤有机碳累积增加,土壤有机碳与全氮具有极显著性正相关,所以海拔因素可能是庄浪和平凉地区的土壤有机碳含量比西峰、子午岭地区高的主要原因。综上所述,土壤有机碳、全氮含量受气候、土壤、植被、海拔等自然环境和人为活动的综合因素的影响。

3.2 经度变化下土壤团聚体稳定性的差异

土壤团聚体是土壤成分的基本单元,是土壤养分的储存库^[30-31]。土壤团聚体稳定性的大小与土壤有机质、矿质养分、水分和 pH 值等理化性质有关外,还受植被类型^[32]、立地条件^[33]等外部因素的间接影响。土壤平均重量直径(MWD 值)与土壤可蚀性(K 值)是表明土壤团聚体稳定性的两个指数。黄土高原土壤团聚体的稳定性变化,研究区纬度差异不大,由于经度有所不同,其不同立地条件下的土壤团聚体稳定性有所不同。0—20 cm 与 20—40 cm 土层变化规律略有不同,MWD 值最小的都出现在定西地区,K 值最大的也出现在定西地区,说明定西地区的土壤容易被侵蚀破坏,其土壤相对于其他地区的土壤更容易被侵蚀,抵抗侵蚀性能是最弱的。有研究表明植被类型不同,会影响土壤团聚体稳定性,因而会产生 MWD 值、K 值与其他地区不相同,植被类型对团聚体的形成也有关系^[27-28],植被群落越稳定,其枯枝落叶越多,再加上树叶的繁密,减少了降雨

等对土壤团聚体结构的破坏作用,所以土壤团聚体稳定性就越高^[5]。大于 0.25 mm 的土壤团聚体(大团聚体)的含量可以表明土壤团聚体稳定性^[34],0—20 cm 土层,只有定西地区大于 0.25 mm 的含量为 34%,其他地区的均大于 70%,差异较小;20—40 cm 土层中,只有定西地区大于 0.25 mm 的含量为 54%,其他地区的均大于 65%,大团聚体含量越高,说明土壤团聚体越稳定,所以定西地区的土壤团聚体稳定性较其他地区的较低,其他地区土壤团聚体稳定性较好。

土壤团聚体的稳定性可能与温度有关系,根据相关性分析数据可知,MWD、K 值两个指数都与温度呈极显著性相关关系,随着温度的升高,微生物的活动量增加,微生物在土壤团聚体形成和稳定中发挥着重要的作用^[35],可能促进土壤团聚体的形成,使得土壤团聚体更加稳定。土壤有机碳对土壤团聚体稳定性的影响,随着经度的升高,土壤有机碳含量呈现明显增加趋势,研究表明,除定西地区外,其他地方土壤团聚体的稳定性差异不大,所以影响土壤团聚体的稳定性的主要因素不是土壤有机碳含量。土壤团聚体稳定性与土壤类型关系^[36-37],黄土高原研究区的土壤是黄绵土,特点是土层深厚、质地均一、多孔疏松、透水透气,易于耕作,土壤类型基本相同,由于植被类型有所不同,定西的主要植物为灌木,其他研究区的主要植物是乔木,因而土壤团聚体分布有所不同,稳定性有差异,综上所述,土壤团聚体稳定性是土壤类型、植被类型、环境条件、土壤有机碳含量综合作用的结果,该研究区植被类型可能是土壤团聚体形成的主要影响因素。

4 结论

通过测定黄土高原九个地点的理化性质及土壤各级团粒含量,经过计算并研究得出,黄土高原土壤理化性质随着经度的变化呈现不同的特征。土壤有机碳和全氮含量分布具有空间一致性,都随经度的增加呈现增加趋势,全磷含量随着经度的升高,变异较小。随着经度的变化乔木林下的土壤团聚体稳定性和土壤可蚀性表现差异较小,而土壤团聚体稳定性与其植被类型有很大关系。黄土高原的定西地区主要植物为柠条,该区的土壤团聚体稳定性比乔木的弱,土壤可蚀性值较乔木的大,定西地区容易发生土壤侵蚀,因此黄土高原地区乔木林土壤抗蚀性较好。

参考文献(References):

- [1] 周金星. 洞庭湖退田还湖区生态修复研究. 北京: 中国林业出版社, 2014: 53-53.
- [2] Römkens M J M, Roth C B, Nelson D W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 1977, 41(5): 954-960.
- [3] Levy G J, Miller W P. Aggregate stabilities of some southeastern U.S. soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(4): 1176-1182.
- [4] Amézketa E. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1999, 14(2/3): 83-151.
- [5] 郭曼, 郑粉莉, 安韶山, 刘雨, 王彬, Darboux F. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区土壤团聚体稳定性. *中国水土保持科学*, 2010, 8(2): 68-73.
- [6] 李娅芸, 刘雷, 安韶山, 曾全超, 李鑫. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区不同植被区及坡向对土壤团聚体稳定性和可蚀性的影响. *自然资源学报*, 2016, 31(2): 287-298.
- [7] 刘雷. 黄土丘陵区不同植被类型土壤团聚体稳定性及有机碳官能团评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [8] 曾全超, 董扬红, 李鑫, 李娅芸, 刘雷, 安韶山. 基于 Le Bissonnais 法对黄土高原森林植被带土壤团聚体及土壤可蚀性特征研究. *中国生态农业学报*, 2014, 22(9): 1093-1101.
- [9] 李茜. 黄土高原不同树种枯落叶混合分解对土壤性质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [10] 肖波, 王庆海, 李翠, 曹志德. 黄土高原退耕地复垦对土壤理化性状及空间变异特征的影响. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2011, 39(7): 185-192.
- [11] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 不同封育年限草地土壤有机质组分及其碳库管理指数. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(5): 1166-1171.
- [12] 郁鑫, 王旭东. 黄土高原不同耕作方式对土壤理化性质及作物产量的影响. *安徽农业科学*, 2018, 46(5): 144-146, 156-156.
- [13] 由政, 姚旭, 景航, 谷利茶, 王国梁. 不同演替阶段群落根系分布与土壤团聚体特征的协同变化. *水土保持研究*, 2016, 23(6): 20-25, 31-31.
- [14] 曾全超, 李娅芸, 刘雷, 安韶山. 黄土高原草地植被土壤团聚体特征与可蚀性分析. *草地学报*, 2014, 22(4): 743-749.

- [15] 吴淑芳, 刘建凯. 黄土高原沙棘林抗侵蚀性能研究综述. 国际沙棘研究与开发, 2005, 3(2): 43-47.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 31-107.
- [17] van Bavel C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 1950, 14(C): 20-23.
- [18] Shirazi M A, Hart J W, Boersma L. A unifying quantitative analysis of soil texture: improvement of precision and extension of scale. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52(1): 181-190.
- [19] 周志文. 我国中东部不同气候带森林土壤有机碳氮分布特征研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [20] 王卫霞, 史作民, 罗达, 刘世荣, 卢立华, 明安刚, 于浩龙. 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量. *生态学报*, 2013, 33(3): 925-933.
- [21] 张向茹, 马露莎, 陈亚南, 杨佳佳, 安韶山. 黄土高原不同纬度下刺槐林土壤生态化学计量学特征研究. *土壤学报*, 2013, 50(4): 818-825.
- [22] 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.
- [23] 曾全超, 李鑫, 董扬红, 安韶山. 黄土高原延河流域不同植被类型下土壤生态化学计量学特征. *自然资源学报*, 2016, 31(11): 1881-1891.
- [24] 朱秋莲, 程曼, 安韶山, 薛志婧. 宁南山区植被恢复对土壤团聚体特征及腐殖质分布的影响. *水土保持学报*, 2013, 27(4): 247-251, 257-257.
- [25] 丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 李魁, 刘国华. 呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化. *生态学报*, 2012, 32(11): 3467-3476.
- [26] 汪涛, 杨元合, 马文红. 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素. *北京大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(6): 945-952.
- [27] Kooijman A M, Jongejans J, Sevink J. Parent material effects on Mediterranean woodland ecosystems in NE Spain. *Catena*, 2005, 59(1): 55-68.
- [28] 王辽宏, 邱莉萍, 高海龙, 张兴昌. 农牧交错带本氏针茅坡地土壤-植物系统磷素分布特征. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(5): 1192-1199.
- [29] 柯炳氨, 张璐, 苏志尧. 粤北亚热带山地森林土壤有机碳沿海拔梯度的变化. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(2): 151-156.
- [30] 安韶山, 张扬, 郑粉莉. 黄土丘陵区土壤团聚体分形特征及其对植被恢复的响应. *中国水土保持科学*, 2008, 6(2): 66-70, 82-82.
- [31] Six J, Bossuyt H, Degryze S, Denef K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 2004, 79(1): 7-31.
- [32] 孙文义, 邵全琴, 刘纪远. 黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价. *自然资源学报*, 2014, 29(3): 365-376.
- [33] Cotler H, Ortega-Larrocea M P. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena*, 2006, 65(2): 107-117.
- [34] 赵红, 袁培民, 吕贻忠, 李季. 施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响. *土壤*, 2011, 43(2): 306-311.
- [35] 史奕, 陈欣, 沈善敏. 有机胶结形成土壤团聚体的机理及理论模型. *应用生态学报*, 2002, 13(11): 1495-1498.
- [36] An S S, Mentler A, Mayer H, Blum W E H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena*, 2010, 81(3): 226-233.
- [37] An S S, Zheng F L, Zhang F, van Pelt S, Makeshin F. Soil quality degradation processes along a deforestation chronosequence in the Ziwuling area, China. *Catena*, 2008, 75(3): 248-256.