



宁夏土壤质地类型及剖面构型的空间分布规律

周 雷¹, 曲潇琳², 周 涛³, 马常宝², 李建兵², 龙怀玉^{1*}, 徐爱国¹, 张认连¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 农业农村部耕地质量监测保护中心, 北京 100125; 3. 宁夏农林科学院, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 土壤质地是土壤的自然物理属性, 在土壤的形成过程中受母质、地貌、土地利用类型和土壤侵蚀等多种因素的影响, 土体呈现出不同的质地类型及剖面构型。为了解宁夏回族自治区土壤的质地类型及剖面构型的分布规律, 在宁夏挖掘 100 个代表性土壤剖面, 通过划分土壤层次, 共采集分层 (A+B) 土壤样品 209 个, 测试其颗粒组成, 按照美国土壤质地分类标准划分土壤质地, 结果表明: (1) 宁夏的质地类型共有粉壤土 (SIL)、砂壤土 (SL)、壤土 (L)、粉黏壤土 (SICL)、黏壤土 (CL)、壤砂土 (LS)、砂土 (S)、粉土 (SI)、粉黏土 (SIC) 和黏土 (C) 10 种类型。A 和 B 层均是以 SIL 为主, SL 和 L 次之。(2) 土壤剖面构型共有 12 种类型, 以 SIL-SIL 为优势构型 (占 38%), SL-SL 次之 (占 17%)。在所有剖面构型中均质型占 71%, 上松下紧型占 13%, 上紧下松型占 16%。(3) SIL-SIL 是宁夏地区最典型的土壤剖面构型, 主要分布于宁夏南部地区, L-L 和 L-SIL 主要分布于北部和中部地区; SL-SL 和 SL-SIL 主要分布于中部地区; SICL-SICL 和 SICL-L 主要分布于宁夏北部地区。(4) 典型土壤中灰钙土的优势构型为 SL-SL 和 SIL-SIL; 黄绵土的优势构型为 SIL-SIL; 灌淤土的优势构型为 SICL-SICL; 灰褐土的优势构型为 SIL-SIL 和 L-SIL; 潮土的优势构型为 SIL-SIL 和 SICL-SICL; 黑垆土的优势构型为 SIL-SIL。宁夏主要土壤一般有均质型和非均质型土体构型, 但黑垆土所处环境稳定, 土体构型均为均质型。(5) 研究区土壤剖面构型的分布主要受到地貌和海拔的影响, 而北部地区由于引黄灌淤, 土体构型黏粒含量升高, 以 SICL-SICL、SICL-L 和 SIL-SIL 为主要构型。

关键词: 宁夏回族自治区; 土壤颗粒组成; 土壤质地; 土壤剖面构型

土壤质地即土壤颗粒组成类别, 是土壤稳定的自然属性和物理指标, 对于土壤的物理、化学和水文特性等具有显著影响^[1-5], 同时还有研究表明其与土壤中的碳储量密切相关^[6]。土壤剖面构型作为土壤质地层次在土壤剖面上的组合^[7], 更是深刻影响了土壤的发育及土壤中水分、养分的运移和储存等^[6, 8]。因此, 充分了解土壤质地类型及其剖面构型的情况对于有效地指导农业生产管理、环境污染防治、土地资源开发等^[9-11] 具有十分重要的意义。

前人对土壤质地类型、分布及影响因素等进行了大量的研究, 得出了许多切实可行的方法和结论。如 Liu 等^[1] 通过随机森林模型预测了青藏高

原土壤质地类型及影响空间分布的重要因素。张世文等^[12] 采用传统统计学和地统计学的方法探究了北京市平谷区土壤质地的空间变异规律。张娜等^[13] 结合经典统计学和地统计学理论研究了内蒙古河套灌区灌域内土壤质地及各粒级含量的空间变异及空间分布规律。Mohammadi 等^[14] 研究了伊朗北部山地森林的坡地和形状对土壤剖面的影响。檀满枝等^[9, 15] 应用模糊 C 均值算法模型, 分析了冲积平原高程因子对土体构型质地组成的影响以及不同剖面构型对小麦生产力水平的影响。江厚龙等^[16] 分析了 3 种不同取样方式下土壤质地的空间插值精度。在土壤质地构型对其他土壤属性的影响方面也有了较多研究, 如辛亮亮^[7] 从宏观和微观方面研究了不同土壤剖面构型的肥力特点以及对应的改良方法。Chen 等^[17] 在黄土高原林地、灌木林地和草地 3 种土地利用方式下发现, 土壤质地是影响 0 ~ 200 cm 土层土壤有机碳储量和蓄水量空间分布的稳定性驱动因素。

宁夏回族自治区地处我国西北, 黄河中上游地

收稿日期: 2023-08-24; 录用日期: 2023-09-22

基金项目: 宁夏耕地可持续利用与农田生产力提升技术研究示范项目、科技基础性工作专项项目 (2014FY110200A07)。

作者简介: 周雷 (1997-), 硕士研究生, 研究方向为土壤地理学。
E-mail: 1301107182@qq.com。

通讯作者: 龙怀玉, E-mail: hylong@caas.ac.cn。

区及沙漠与黄土高原交接地带,地形地貌多样,土地资源丰富。耕地面积 1.29 万 km^2 , 是全国 12 个商品粮生产基地之一;草场面积 1.49 万 km^2 , 是全国十大牧区之一。中北部的宁夏平原更是闻名全国的“塞上江南”。受复杂成土因素和成土过程的综合影响,该地区土体的颗粒组成差异很大,形成的土壤剖面构型也多种多样。但目前有关宁夏地区土壤剖面构型及空间分布相关的研究文献较少。因此,本研究拟采用经典分组统计和地理信息系统(GIS)相结合的方法对宁夏土壤剖面构型及其分布规律进行分析,找出宁夏地区土壤剖面构型的特点、分布规律及影响因素,以期为宁夏的土壤资源管理、农业生产技术选择等提供理论和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁夏回族自治区位于我国西北干旱、半干旱地区,地处 $104^{\circ}16' - 107^{\circ}33' \text{E}$, $35^{\circ}14' - 39^{\circ}23' \text{N}$, 总面积 6.64 万 km^2 , 约占全国总面积的 0.7%, 属典型的温带大陆性气候, 干旱少雨, 蒸发强烈, 降雨主要集中在夏、秋季, 年均降水量分布范围在 190 ~ 400 mm, 随地貌的升高降水量有所增加, 整体表现为南多北少, 上限主要位于南部的六盘山山地, 这里海拔 2900 m 左右, 年均气温多变, 变化范围为 $1 \sim 11^{\circ}\text{C}$ 。宁夏南部自然环境恶劣, 主要的地貌是黄土高原和山地, 风大沙多, 侵蚀严重, 沟壑纵横, 中部地区主要是缓坡丘陵以及中海拔风积地貌相间分布, 北部地区因黄河在流域内流速减缓, 形成黄河冲积平原, 是宁夏主要的粮、棉、油基地。宁夏成土母质按成因可分为残积、坡积、冲积、洪积、黄土、红土、风积、灌淤积物和湖积母质 9 类。宁夏自然植被类型以荒漠草原植被为主, 且随气温和降水等变化呈现一定的过渡特征。第二次全国土壤普查将宁夏地区土壤划分为 10 个土类、17 个亚类、86 个土属、500 个土种^[18], 其中分布面积达 27 万 hm^2 以上的土壤类型主要有灰钙土、黄绵土、黑垆土、灌淤土和灰褐土等^[19]。宁夏主要的土地利用类型为耕地、荒地和林地, 其中荒地面积最大, 耕地次之, 林地最少。

1.2 土样采集及测定

按照目的性采样和传统采样相结合的方法^[20], 选择与土壤类型具有协同变化的地形地貌、成土母

质和土壤水分等环境因子进行模糊聚类, 计算出环境代表性, 进一步结合行政区划形成预布设样点, 野外调查时, 在预布设样点 1 km^2 范围内踏勘, 确定最后采样点, 确保样点的选取具有最大的环境代表性和空间代表性, 样点总数 100 个(图 1)。

野外利用 GPS 对布设的样点进行定位挖掘, 划分发生学层次, 记录土壤剖面的位置和成土环境信息, 包括海拔高度、地貌部位、母质特征以及土壤利用方式和种植模式等, 同时记录剖面的形态特征及发生层厚度^[21], 自下而上采集发生层土壤样品。在实验室将采集的土壤样品进行风干、制备和测试, 土壤颗粒组成测试采用吸管法^[22], 采样点的分布参见图 1。

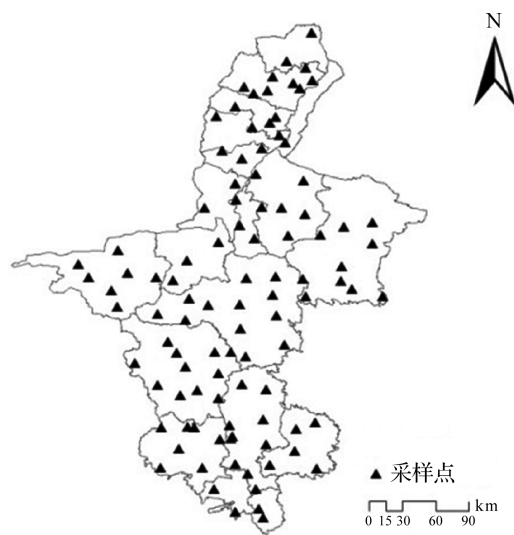


图 1 宁夏土壤剖面样点分布图

1.3 数据处理与分析

宁夏土壤发育较弱、成熟度低^[23], 部分剖面的发育厚度较薄, 为便于综合比较, 仅对具有 A(表层)+B(表下层)层的 100 个剖面样点^[24], 共 209 个土壤样品的土壤质地情况进行研究, 对于 A 层土壤厚度过薄、层次划分较细且与 B 层不存在质地突变的剖面, 采用加权处理的方法对土层进行合并或舍弃, 使得 A+B 层厚度保持在 50 ~ 70 cm, 有研究称这一厚度为质地控制层段^[13], 既能够满足植物生长的厚度要求^[25], 又能避免因研究厚度不一而引起剖面构型的过度变异。结合土壤颗粒组成的测试结果, 按照美国土壤质地分类标准, 依据砂粒(2 ~ 0.05 mm)、粉粒(0.05 ~ 0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)3 个粒级的相对含量, 确定各层土壤的质地类型。

将野外描述和空间分布研究相结合,采用 Excel 2016 进行样点数据处理、样图制作,使用 ArcGis 10.8 对土壤颗粒组成数据进行克里金插值,采用栅格计算器按照美国土壤质地分类标准对插值后的颗粒组成数据进行换算,制作宁夏主要土壤质地构型分布图。采用 Origin 2021 制作高程与土壤剖面构型关系的箱线图。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤的质地类型及剖面构型分析

宁夏土壤大多是在草原或者荒漠草原生物气候条件下形成的^[26],物理风化作用强,对土壤的发育有重要的影响。在野外通过质地速测^[27-28],发现土壤质地类型多为粉壤质或砂质,少数剖面可以观察到有黏粒胶膜,在实验室使用吸管法对土壤颗粒组成进行分析,A、B层的土壤质地三角图见图2。

从图2中可知,A、B层土壤颗粒组成均是以粉粒(50.5%、50.1%)和砂粒(34.3%、34.8%)为主,黏粒含量(15.2%、15.1%)最少,土壤质地类型以SIL为主。

由图3可知,研究区样点的质地类型共包含SIL、SL、L、SICL、CL、LS、S、SI、SIC和C等10种类型。SIL在A和B层分别占41%和51%,

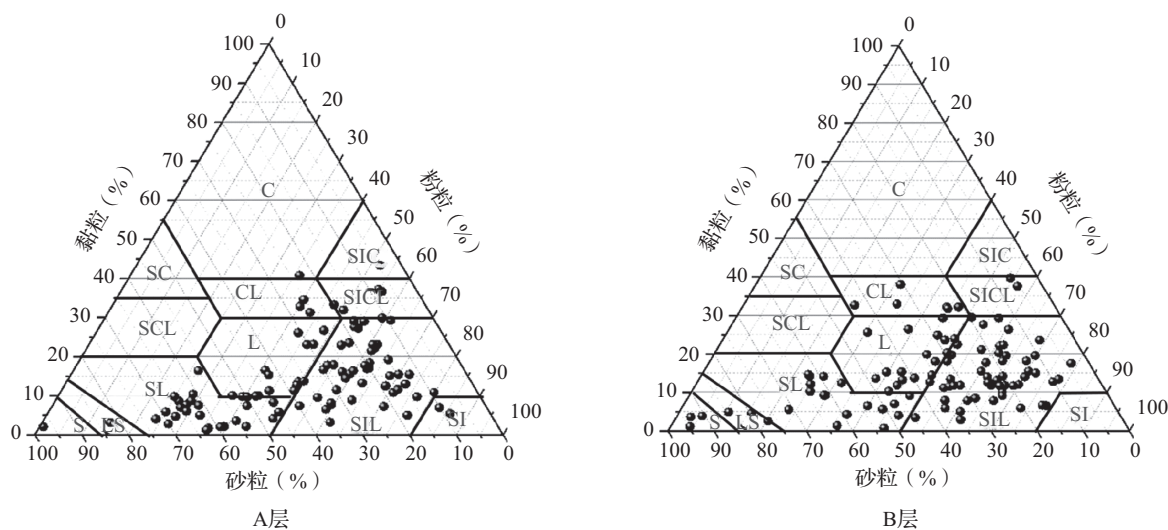


图2 A、B层土壤质地三角图

注: SIL—粉壤土、SL—砂壤土、L—壤土、SICL—粉黏壤土、CL—黏壤土、LS—壤砂土、S—砂土、SI—砂壤土、SIC—粉黏土、C—粘土。下同。

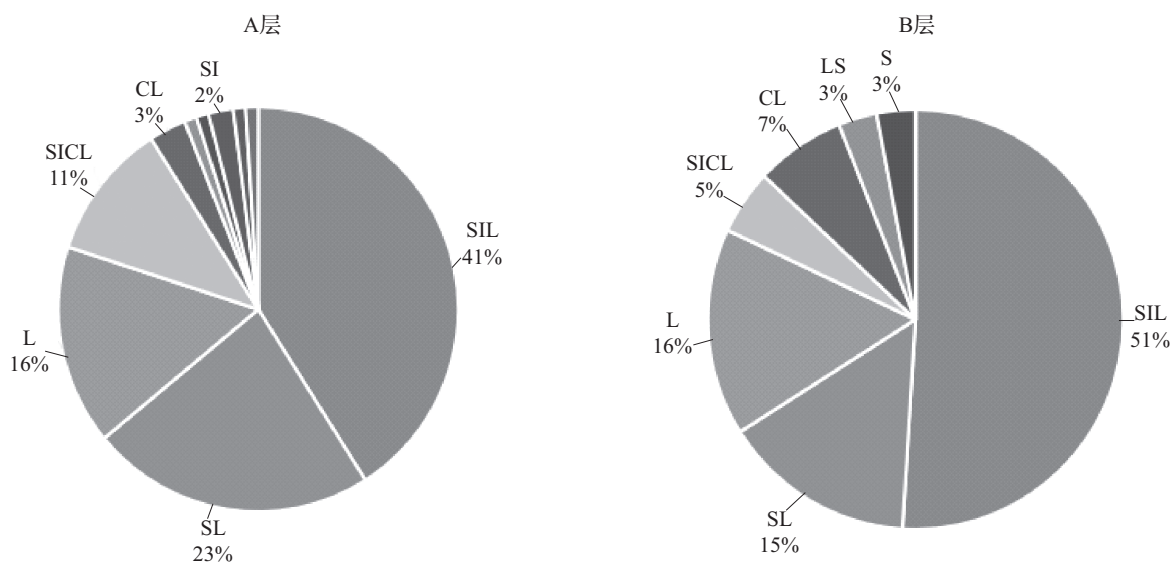


图3 A、B层土壤各质地类型所占比例

SL 分别占 23% 和 15%，L 在 A 和 B 层所占比例均为 16%。A 和 B 层均是以 SIL 为主要质地类型，SL 和 L 次之。该情况与宁夏地区干旱少雨、蒸发强烈的气候相符。

在分层统计各样点土壤质地基础上，对研究区土壤 A+B 层的剖面构型进行分析，结果见图 4。

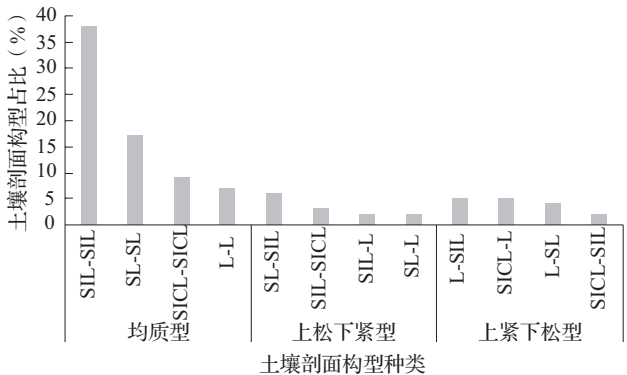


图 4 研究区土壤各剖面构型种类及所占比例

由图 4 可知，研究区的土壤剖面构型共有 12 种，以 SIL-SIL 为优势构型（占 38%），SL-SL 次之（占 17%）。在所有剖面构型中均质型（即 A 层和 B 层土壤质地类型一致）占 71%，上松下紧型（即 A 层土壤质地较 B 层粗， $SL>SIL>L>SICL$ ）占 13%，上紧下松型（即 A 层质地较 B 层细）占 16%。总体来看，研究区的土壤剖面构型以均质型为主。

2.2 研究区土壤剖面构型的空间分布规律

由图 5 可知，研究区的各土壤剖面构型分布有明显的区别，SIL-SIL 型是研究区最主要的土壤剖面构型，主要分布于宁夏南部地区，中北部有少量分布。与张孝中^[29]研究结果一致；L-L 和 L-SIL 主要分布于中部和北部地区；SL-SL 的分布区域主要为中部；SL-SIL 则是主要分布于中部地区，北部有少量分布；SICL-SICL 和 SICL-L 主要分布于宁夏北部地区。

2.3 不同成土环境下的土壤剖面构型

土壤质地是土壤的固有属性和重要的物理特征，在不同母质类型、土壤类型、地貌、土地利用和土壤侵蚀等多种因素的影响下^[17, 30-31]，土体呈现出不同的剖面构型和分布规律。因此，本研究选择对不同母质类型、土壤类型、地貌、高程、土地利用类型和地区下的土壤剖面构型进行探究。

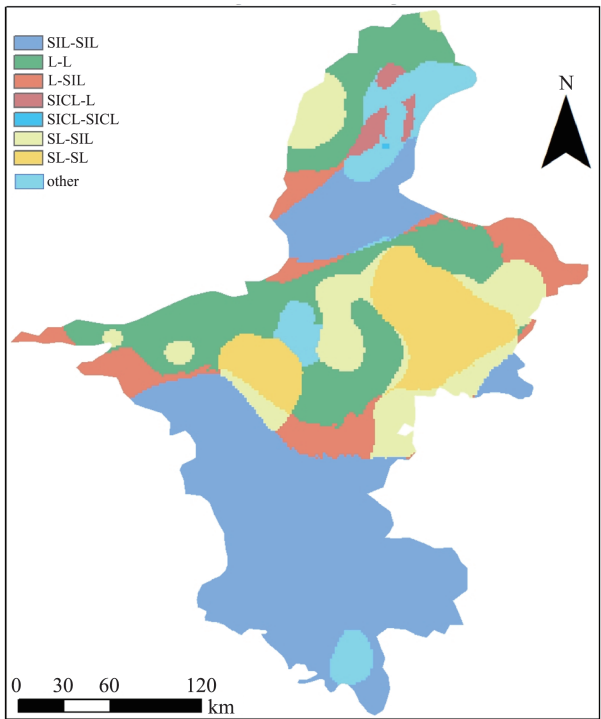


图 5 研究区土壤剖面构型空间分布

2.3.1 不同母质类型的土壤剖面构型分析

研究区土壤发育较弱、成熟度低、土壤矿物质含量高，母质类型对土壤质地的发育有直接的影响^[32]。因此，研究土壤剖面构型及分布规律必须考虑成土母质类型的影响。按成因可将研究区的成土母质划分为残积母质、坡积母质、红土母质、黄土母质、风积母质、洪积母质、冲积母质、灌淤积物母质和湖积母质等 9 种类型。但若将 100 个样点按母质类型划分，则可能由于划分过细，且个别母质数量较少而导致较大的偶然性。因此，本文选择将成因相似的母质类型进行合并分类，划分为灌淤母质组、水运积母质组（冲、洪、湖积母质）、黄土母质组（包括风积黄土、冲积黄土）以及残、坡积母质组（包括残积物、坡积物）4 组，各组母质的剖面个数依次为 11、31、49、9，水运积母质和黄土母质（占 80%）是研究区主要的成土母质。

由图 6 可知，水运积母质和黄土母质几乎涵盖了所有的土壤剖面构型，其中水运积母质以 SIL-SIL 和 SL-SL（占 50%）为主要构型，共 5 种构型。黄土母质以 SIL-SIL 和 SL-SIL（占 65%）为主要构型，构型种类达 11 种。灌淤母质以 SICL-SICL（占 45%）为主要构型，共 5 种构型。残、坡积母质以 SIL-SIL（占 45%）为主要构型，共 7 种构型。

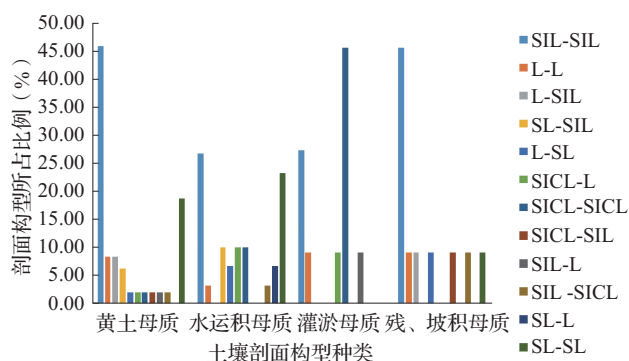


图6 不同母质类型的土壤剖面构型种类及所占比例

除灌淤母质以 SICL-SICL 为主外,其余母质均是以 SIL-SIL 和 SL-SL 为主要剖面构型,与宁夏地区的气候及地形地貌相符,而灌淤母质则是由于宁夏北部引黄灌淤时从上流携带的侵蚀土壤,再加上长年累月的灌溉,母质厚度较厚,除进水处质地稍轻之外,质地均较黏重,母质对土壤剖面构型无显著的影响。

2.3.2 研究区典型土壤的剖面构型分析

100 个供试样点的土壤类型归属为 13 个土类,依照典型剖面数目由多到少的顺序依次为灰钙土 (30 个)、黄绵土 (20 个)、灌淤土 (12 个)、灰褐土 (10 个)、潮土 (7 个)、黑垆土 (6 个)、风沙土 (4 个)、盐土 (4 个)、碱土 (2 个)、新积土 (2 个)、红黏土 (1 个)、灰漠土 (1 个) 和亚高山草甸土 (1 个)。样点数过少可能致使分异性增大,因此,在进行剖面构型分析时只考虑数量 >3 个的剖面构型。

由图 7 可知,灰钙土剖面构型种类较多,有 8 种,以 SL-SL (占 40%) 为主要构型。黄绵土剖面构型种类有 5 种,以 SIL-SIL (占 80%) 为主要构型。灌淤土构型种类有 4 种,以 SICL-SICL (占 56%) 为主要构型。灰褐土的构型种类为 7 种,以 SIL-SIL 和 L-SIL (占 50%) 为主要构型。潮土的构型种类有 3 种,以 SICL-SICL 和 SIL-SIL (占 71%) 为主要构型。黑垆土仅 1 种构型,为 SIL-SIL 型。在该地区主要的土壤类型中,黑垆土所处环境极稳定,土体构型只有 SIL-SIL 1 种。除灌淤土和潮土以 SICL-SICL 为主要构型外,其余土壤所处气候大多较为干旱,均是 SIL-SIL 或者 SL-SL 为主要构型。

黑垆土和黄绵土的成土环境较稳定,土壤剖面构型中 SIL-SIL 占比均在 80% 以上。灰钙土由于成

土环境复杂,形成了多种剖面构型。灰褐土、潮土和灌淤土剖面构型种类相似,但由于灌淤土是由人为耕作形成,据此推测,该地区的灌淤土主要是由灰褐土和潮土在人为影响下逐渐形成的。

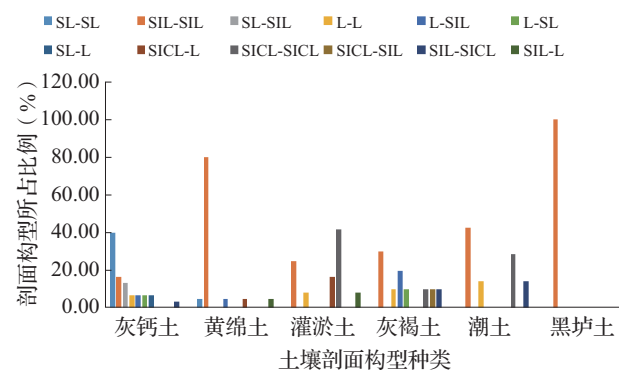


图7 不同地区不同土壤类型的剖面构型种类及所占比例

2.3.3 不同地貌条件的土壤剖面构型分析

地貌是成土过程中的一个重要因素,影响着土壤与环境之间的物质、能量交换,支配着地表和土壤中水热资源的重新分配,对土壤质地分异有着深刻的影响^[32]。根据样点分布的成土环境,按地貌条件可大致划分为高原、山地、丘陵、中海拔风蚀地貌和平原,其中山地、高原主要分布在宁夏南部地区,丘陵和中海拔风蚀地貌主要分布在中部地区,北部地区则主要为黄河冲积平原。因而,将研究区的 100 个样点依据地形地貌条件的不同划分为高原、山地、丘陵和风蚀地貌 4 组,各地貌条件下土壤样点的剖面构型参见图 8。

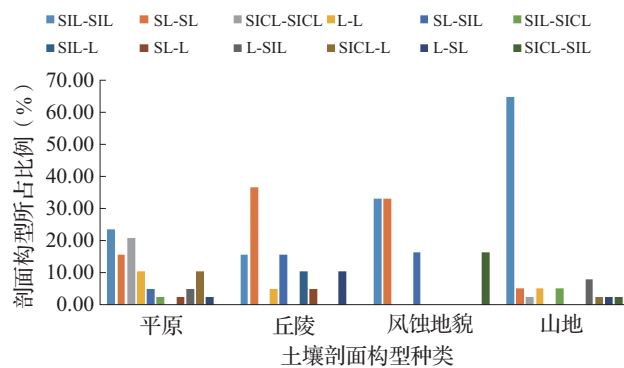


图8 不同地貌条件下的土壤剖面构型种类及所占比例

由图 8 可知,平原、丘陵、风蚀地貌和山地的占比分别为 38%、19%、6% 和 37%,平原和山地是研究区的主要地貌。平原地貌下呈现出了较多的剖面构型,种类达 10 种,以 SIL-SIL、SICL-SICL 和 SL-SL (占 61%) 为主。丘陵地貌下剖面构型种

类有 7 种, 以 SL-SL、SIL-SIL 和 SL-SIL (占 68%) 为主。风蚀地貌土壤剖面构型仅 4 种, 以 SIL-SIL 和 SL-SL (占 66%) 为主。山地的土壤剖面构型有 9 种, 以 SIL-SIL (占 65%) 为主。

各个地貌条件下的土壤剖面构型表现出了明显的区别。其中, 低海拔的平原地貌区受引黄灌溉影响, 质地较为黏重, 土壤剖面构型最为复杂, 以 SIL-SIL、SICL-SICL 和 SL-SL (占 61%) 为主要剖面构型。山地地貌主要位于南部地区, 土壤剖面构型继承了黄土高原的特性, 以 SIL-SIL 为主。丘陵主要分为近山丘陵和黄土丘陵, 近山丘陵则多靠近山地, 地貌特征与山地相似, 而黄土丘陵为黄土高原的一部分, 受到流水冲刷等影响, 构型以 SL-SL、SIL-SIL 和 SL-SIL 为主。风蚀地貌构型仅 4 种, 主要受到风蚀影响, 构型以 SIL-SIL 和 SL-SL 为主。研究区土壤的剖面构型受到地貌影响从北到南依次表现为黏-砂-粉的趋势。

为进一步讨论地貌对土壤剖面构型的影响, 将地貌再细分为平地 and 坡地进行分析。

由图 9 可知, 研究区的坡地样点数量稍多于平地, 分别为 53% 和 47%。坡地的剖面构型以 SIL-SIL、SL-SL 和 L-SIL (占 70%) 为主要构型。平地的剖面构型以 SIL-SIL、SL-SL、SICL-SICL 和 SICL-L (占 77%) 为主要构型。坡地的剖面构型整体颗粒组成为粉粒, 平地 and 坡地对土壤剖面构型的影响主要表现在平地的 SICL-SICL 和 SICL-L 构型占比显著升高, SIL-SIL 占比显著降低。平地 and 坡地构型的区别主要表现在平地黏粒含量明显升高, 因为平地主要位于宁夏北部引黄灌区, 受到人为耕作灌溉及地形水热分配的影响显著。平地 and 坡地对剖面构型无显著影响。

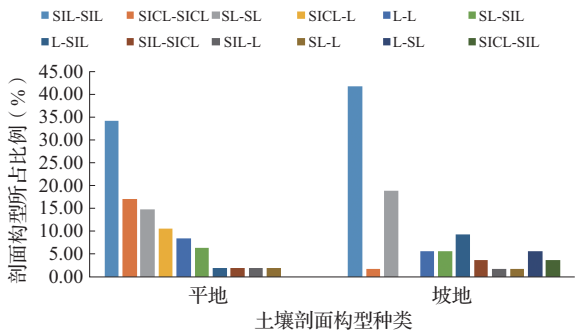


图 9 不同地形条件下的土壤剖面构型种类及所占比例

2.3.4 不同高程条件下的土壤剖面构型分析

为探究土壤剖面构型与高程因子之间的联系, 根据样点采集时地理位置的高程信息对构型进行分

析, 在分析时为避免部分剖面构型数量太少而影响分析, 将剖面构型数量少于 5 个的舍弃, 舍去后高程与主要土壤剖面构型关系见图 10。

通过图 10 分析可知, 对于研究区的土壤剖面构型, 除去几个异常值外可以发现, 海拔 1100 m 左右时, 剖面构型以 SICL-L 和 SICL-SICL 为主, 海拔 1400 m 左右时, 构型以 SL-SIL 和 SL-SL 为主。海拔 1800 m 左右时, 构型以 L-SIL 和 SIL-SIL 为主。L-L 的海拔分布波动性较大, 但中位线位于 1200 m 左右。综上可以发现, 研究区的土壤剖面构型与海拔表现出了明显的相关性。从低到高土壤构型表现为黏-砂-粉的变化, 与地貌具有较高的相似性。

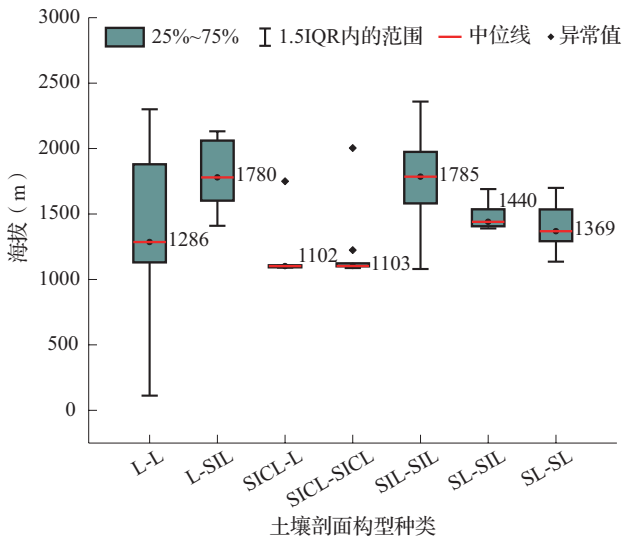


图 10 不同高程条件下的土壤剖面构型分析

2.3.5 不同土地利用类型下的土壤剖面构型分析

根据样点采集地理位置所属的土地利用类型, 将 100 个样点的土地利用类型划分为耕地、林地和荒地, 其中耕地这一类型包括了粮食用地、菜园地和经济作物用地等, 荒地则包括畜牧业用地和荒漠草原植被区。各土地利用类型下的土壤剖面构型参见图 11。

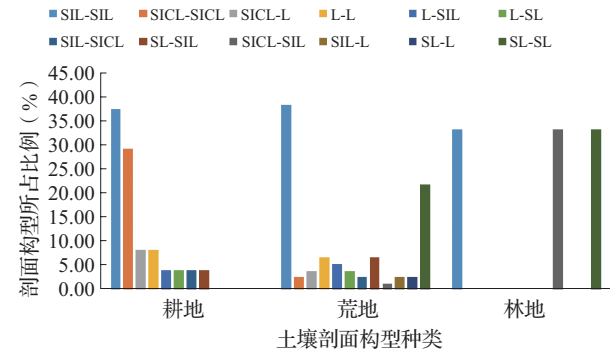


图 11 不同土地利用类型下的土壤剖面构型种类及所占比例

通过研究发现,荒地的剖面构型种类明显高于耕地和林地。耕地土壤共有 8 种剖面构型,以 SIL-SIL 和 SICL-SICL (占 67%) 为主要构型。长期耕作对于土壤剖面构型的变异性有一定影响,但由于农业生产时进行深翻等,构型整体较为均匀,这与长期耕作对土壤性质影响的研究结果一致^[25, 33]。荒地土壤剖面构型复杂,共 12 种,覆盖了所有土壤构型;SIL-SIL 和 SL-SL (占 60%) 是荒地的主要构型,由于植被大多为荒漠草原植被,气候干旱,再加上畜牧等原因影响,构型整体呈砂化趋势,黏粒含量很少。林地土壤仅采集到 3 个典型样点,代表性不强。

耕地大多位于北部平原,受到当地干旱气候、水流冲刷及人工引黄灌淤等影响,剖面构型以 SIL-SIL 和 SICL-SICL 为主。荒地土壤成土母质主要为黄土母质和水运积母质。地貌大多为山地和丘陵,土表颗粒受到风力、水流冲刷等外力的不断剥蚀,土体构型以 SIL-SIL 和 SL-SL 为主。林地地表植被覆盖度高,干燥度低,受到外力影响弱,剖面构型发生变异的情况较少,但由于样点数较少,暂不做讨论。

2.3.6 不同地区的土壤剖面构型分析

为探究土壤剖面构型与宁夏不同地区之间的联系,根据样点采集时的地理位置对剖面构型按照北部、中部和南部进行分析,不同地区与土壤剖面构型关系见图 12。

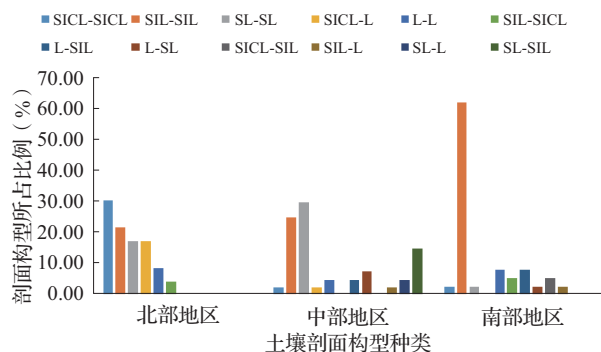


图 12 不同地区土壤剖面构型种类及所占比例

由图 12 可知,北部地区土壤剖面构型以 SICL-SICL、SIL-SIL 和 SICL-L 为主。中部地区以 SL-SL 和 SIL-SIL 为主。南部地区以 SIL-SIL 为主,从北到南土壤构型表现为黏-砂-粉的变化,与地貌及海拔对土壤剖面构型的影响相同。

结合上述研究结果可以发现,宁夏地区由于

干旱的气候环境,母质类型、土壤类型、小地形和土地利用类型对于剖面构型无显著影响,地貌和海拔是影响研究区土壤剖面构型变化的主要因素。

3 结论

综上所述表明:(1)研究样点的质地类型共有 SIL、SL、L、SICL、CL、LS、S、SI、SIC 和 C 等 10 种。A 和 B 层均是以 SIL 为主要质地类型,SL 和 L 次之。(2)土壤剖面构型共有 12 种,以 SIL-SIL 为优势构型(占 38%),SL-SL 次之(占 17%)。在所有剖面构型中均质型(即 A 和 B 层土壤质地类型一致)占 71%,上松下紧型(即 A 层土壤质地较 B 层粗,SL>SIL>L>SICL)占 13%,上紧下松型(即 A 层质地较 B 层细)占 16%。(3)SIL-SIL 是宁夏地区最典型的土壤剖面构型,主要分布于宁夏南部地区;L-L 和 L-SIL 主要分布于北部和中部地区;SL-SL 和 SL-SIL 则是主要分布于中部地区;SICL-SICL 和 SICL-L 主要分布于宁夏北部地区。(4)典型土壤中灰钙土的优势构型为 SL-SL 和 SIL-SIL;黄绵土的优势构型为 SIL-SIL;灌淤土的优势构型为 SICL-SICL;灰褐土的优势构型为 SIL-SIL 和 L-SIL;潮土的优势构型为 SIL-SIL 和 SICL-SICL;黑垆土的优势构型为 SIL-SIL。在宁夏主要的土壤类型中,黑垆土所处环境极稳定,土体构型均为均质型。除灌淤土和潮土的 SICL-SICL 为主要构型外,其余土壤因所处气候大多较为干旱,均是 SIL-SIL 或者 SL-SL 为主要构型,与研究区气候相符。(5)研究区土壤剖面构型的分布主要受到地貌和海拔的影响,而北部地区由于黄河引黄灌淤等原因,土体构型黏粒含量升高,以 SICL-SICL、SICL-L 和 SIL-SIL 为主要构型。

参考文献:

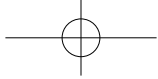
- [1] Liu Y, Wu X, Wu T, et al. Soil texture and its relationship with environmental factors on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Remote Sensing, 2022, 14 (15): 3797.
- [2] Patel K F, Fansler S J, Campbell T P, et al. Soil texture and environmental conditions influence the biogeochemical responses of soils to drought and flooding [J]. Communications Earth & Environment, 2021, 2 (1): 127.
- [3] Rüter L, Feng K, Chen Y, et al. Responses of root architecture and the rhizosphere microbiome assembly of maize (*Zea mays* L.) to a soil texture gradient [J]. Soil Biology and Biochemistry,

- 2023, 181: 109026.
- [4] Tancredi M T, Gaur N, Markewitz D, et al. Determination of high-resolution soil texture profile at the hillslope scale [J]. *Geoderma*, 2022, 428: 116189.
- [5] Tran C T K, Watts-Williams S J, Smernik R J, et al. Root and arbuscular mycorrhizal effects on soil nutrient loss are modulated by soil texture [J]. *Applied Soil Ecology*, 2021, 167: 104097.
- [6] Angst G, Pokorný J, Mueller C W, et al. Soil texture affects the coupling of litter decomposition and soil organic matter formation [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2021, 159: 108302.
- [7] 辛亮亮. 土壤剖面构型改良与耕地质量提升研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2015.
- [8] 刘榛倩, 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.
- [9] 檀满枝, 李开丽, 史学正, 等. 华北平原土壤剖面质地构型对小麦产量的影响研究 [J]. *土壤*, 2014, 46 (5): 913-919.
- [10] Dunkl I, Ließ M. On the benefits of clustering approaches in digital soil mapping: an application example concerning soil texture regionalization [J]. *Soil*, 2022, 8 (2): 541-558.
- [11] 叶文华. 华北平原农田土体构型与作物生长关系的研究 [J]. *地理学报*, 1985 (1): 37-49.
- [12] 张世文, 黄元仿, 苑小勇, 等. 县域尺度表层土壤质地空间变异与因素分析 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44 (6): 1154-1164.
- [13] 张娜, 张栋良, 屈忠义, 等. 内蒙古河套灌区区域土壤质地空间变异分析——以解放闸灌域为例 [J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29 (12): 155-163.
- [14] Mohammadi M, Jalali S G H, Kooch Y, et al. Slope gradient and shape effects on soil profiles in the Northern mountainous forests of Iran I [J]. *Eurasian Soil Science*, 2016, 49: 1366-1374.
- [15] 檀满枝, 密术晓, 李开丽, 等. 冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例 [J]. *生态学报*, 2011, 31 (8): 2060-2067.
- [16] 江厚龙, 刘淑端, 许安定, 等. 不同取样方式下土壤质地空间插值的精度分析 [J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22 (2): 217-224.
- [17] Chen Y, Wei T, Ren K, et al. The coupling interaction of soil organic carbon stock and water storage after vegetation restoration on the Loess Plateau, China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 306: 114481.
- [18] 王吉智. 宁夏土壤通性综论 [J]. *宁夏农林科技*, 1990 (4): 10-12.
- [19] 王吉智. 宁夏土壤 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1990.
- [20] 杨琳, 朱阿兴, 秦承志, 等. 基于典型点的目的性采样设计方法及其在土壤制图中的应用 [J]. *地理科学进展*, 2010 (3): 279-286.
- [21] 檀满枝, 陈杰. 模糊 c-均值算法在区域土壤预测制图中的应用 [J]. *土壤学报*, 2009 (4): 571-577.
- [22] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [23] 张铭杰, 张昱, 李小虎, 等. 干旱半干旱地区土壤矿物组成特征及其环境意义 [J]. *兰州大学学报 (自然科学版)*, 2007 (3): 1-7.
- [24] 赵量, 赵玉国, 李德成, 等. 基于模糊集理论提取土壤—地形定量关系及制图应用 [J]. *土壤学报*, 2007 (6): 961-967.
- [25] 颜安, 李周晶, 武红旗, 等. 不同耕作年限对耕地土壤质地和有机碳垂直分布的影响 [J]. *水土保持学报*, 2017 (1): 291-295.
- [26] 张秀珍, 刘秉儒, 詹硕仁. 宁夏境内 12 种主要土壤类型分布区域与剖面特征 [J]. *宁夏农林科技*, 2011, 52 (9): 48-50, 63.
- [27] 周传槐. 田间手试土壤质地简易测定法 [J]. *土壤肥料*, 1976 (4): 29.
- [28] Román D M, Arrouays D, Lagacherie P, et al. Prediction of topsoil texture for Region Centre (France) applying model ensemble methods [J]. *Geoderma*, 2017, 298: 67-77.
- [29] 张孝中. 黄土高原土壤颗粒组成及质地分区研究 [J]. *中国水土保持*, 2002 (3): 14-16, 47.
- [30] 杜国华, 张甘霖, 赵文君. 土系的基本特点与划分 [J]. *土壤通报*, 1999 (S1): 10-12.
- [31] 雷学成, 潘剑君, 黄礼辉, 等. 土系划分方法研究——以江苏省新沂样区为例 [J]. *土壤*, 2012 (2): 319-325.
- [32] 张凤荣. 土壤地理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [33] 赵明松, 张甘霖, 李德成, 等. 江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素 [J]. *生态学报*, 2013, 33 (16): 5058-5066.

Spatial distribution patterns of soil texture types and profile configurations in Ningxia

ZHOU Lei¹, QU Xiao-lin², ZHOU Tao³, MA Chang-bao², LI Jian-bing², LONG Huai-yu^{1*}, XU Ai-guo¹, ZHANG Ren-lian¹ (1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Land Quality Monitoring and Protection Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125; 3. Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan Ningxia 750002)

Abstract: Soil texture is a natural physical property of soil, which is influenced by various factors such as parent material, topography, land use types, and soil erosion during the soil formation process. The soil exhibits different texture profile configurations. In order to understand the profile configurations and their distribution patterns in the Ningxia Hui Autonomous Region, 100 representative soil profiles were excavated, and a total of 209 layered (A+B) soil samples were collected by dividing the soil layers and testing their particle composition. The soil texture was classified according to the USA soil texture



classification standard. The results are as follows: (1) The soil types in Ningxia include 10 types: silty loam (SIL), sandy loam (SL), loam (L), silty clay loam (SICL), clay loam (CL), loamy sand (LS), sandy (S), silt (SI), silty clay (SIC) and clay (C). SIL is the dominant texture type in both the A and B layers, followed by SL and L. (2) There are 12 types of soil profile configurations, with SIL-SIL being the dominant configuration (38%), followed by SL-SL (17%). Homogenous configurations account for 71% of all profile types, while loose above and compact below configurations account for 13%, and compact above and loose below configurations account for 16%. (3) SIL-SIL is the most typical soil profile configuration in Ningxia, mainly distributed in the southern region. L-L and L-SIL are mainly distributed in the northern and central regions. SL-SL and SL-SIL are mainly distributed in the central region. SICL-SICL and SICL-L are mainly distributed in the northern region. (4) The dominant profile configurations for typical soils are SL-SL and SIL-SIL for calcareous soils, SIL-SIL for loess soils, SICL-SICL for alluvial soils, SIL-SIL and L-SIL for gray-brown soils, SIL-SIL and SICL-SICL for tidal soils, and SIL-SIL for black soils. Among the major soil types in Ningxia, black soils have a stable environment, and their profile configurations are homogenous. Except for alluvial and tidal soils with SICL-SICL as the dominant configuration, most other soils in the study area are dominated by SIL-SIL or SL-SL configurations, matching the local climate. (5) The distribution of soil profile configurations in the study area is mainly influenced by topography and altitude. In the northern region, the high clay content in the soil is due to the deposition from the Yellow River, resulting in SICL-SICL, SICL-L and SIL-SIL as the main configurations.

Key words: Ningxia Hui Autonomous Region; soil particle composition; soil texture; soil profile configuration