

doi: 10. 11720/wtyht. 2022. 0037

韩晓萌,戴慧敏,刘凯. 松嫩平原北部典型黑土剖面黏土矿物组成及其环境指示意义[J]. 物探与化探,2022,46(5):1056-1063. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0037>

Han X M, Dai H M, Liu K. The clay mineral composition and environmental implications of the typical black soil profiles of the northern Songnen Plain [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5):1056-1063. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0037>

松嫩平原北部典型黑土剖面黏土矿物组成及其环境指示意义

韩晓萌^{1,2,3}, 戴慧敏^{1,2,3}, 刘凯^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 自然资源部 黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034; 3. 辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 通过野外调查、土壤化学成分分析、土壤黏土矿物 X-射线衍射 (XRD) 图谱分析和土壤风化程度分析, 对松嫩平原北部黑土区大豆/玉米轮作农田、林地、草地、退耕还林等多种土地利用方式土壤剖面黏土矿物组成进行研究, 探究不同土地利用方式下土壤剖面化学成分、黏土矿物组成以及风化程度变化规律及其对环境的指示意义。结果表明: 不同土地利用方式土壤剖面中钾、钠、钙元素含量依次为草地>耕地>林地>荒地; 在剖面 60 cm 以上有机碳含量为耕地>林地>草地>荒地, 60~80 cm 以下, 有机碳含量为荒地>草地>林地>耕地。研究区不同土地利用方式土壤风化程度依次为退耕、荒地>林地>耕地>草地; 土壤淋溶程度为荒地>草地、林地>耕地。研究区不同土地利用类型土壤总体上黏土矿物以蒙脱石、高岭石、蛭石、水云母和绿泥石为主, 其中耕地、林地以 2:1 型非膨胀性黏土矿物为主, 草地以 2:1 型膨胀性黏土矿物为主, 荒地以 1:1 型黏土矿物为主。通过研究区不同土地利用类型的黏土矿物组合及其含量对比, 结合剖面的风化程度计算, 得出随着风化程度和成土作用的加深, 土壤中绿泥石等矿物向高岭石、蒙脱石转化, 水云母向蛭石转化, 而其环境条件也由干冷转为湿热气候。

关键词: 土壤剖面; 黏土矿物; 风化作用; 气候环境

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)05-1056-08

0 引言

土壤矿物是土壤物质组成的重要形式, 是土壤微量元素的主要载体。土壤矿物蕴含了土壤发生学、母质特征、成土过程及环境、土壤的发育程度和肥力水平等重要信息。对土壤矿物进行结构和物质组成的研究是科学指导环境保护、优质生产和土壤改良的前提^[1]。

黏粒矿物是在风化和成土过程中所形成的次生矿物。它的类型分布一方面受母岩、母质的矿物学组成的影响, 其次也受区域气候的温度、降水以及土壤溶液的 pH 和盐基淋溶量等因子影响, 与风化、成

土条件、气候条件密切相关。在不同环境下, 由于气候、生物、母质、地形等因素的影响不一样, 黏土矿物组成和数量、土壤剖面内由母质到地表的差异性以及演变关系也具有不同的特点。因此, 土壤黏粒矿物对其古气候环境特征具有指示意义^[2-8]。

在气候与地形等条件相同的情况下, 不同土地利用方式的土壤在养分平衡、理化性质、黏土矿物组成以及演变等方面存在显著差异。土地利用方式的不同主要表现在植物生长和人为干预程度的不同。植被对土壤养分的吸收以及人为施肥和耕作等管理措施对土壤胶体性质、有机质及 pH 等理化性质的调控势必将影响土壤黏土矿物发生演化、淋溶、沉积等行为^[9-11]。

收稿日期: 2022-01-25; **修回日期:** 2022-07-19

基金项目: 中国地质调查局项目“东北黑土地 1:25 万土地质量地球化学调查”(121201007000161312)、“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(DD20190520)

第一作者: 韩晓萌 (1990-), 女, 2018 年毕业于吉林大学, 主要从事土壤地球化学研究工作。Email: 1078535339@qq.com

郑庆福等^[10]对不同利用方式下东北黑土进行研究,发现其土壤矿物风化程度不同,并且黑土水田利用后会出现蛭石绿泥石化现象,旱田利用后会使得土壤结构破坏,水土流失加剧;Liu^[12]通过对不同利用方式下黑土黏土矿物组成进行研究发现,土壤有机碳与蛭石、蒙脱石的结合程度较高岭石、伊利石高,导致黏土矿物的移动性存在差异;冯君等^[13]通过对吉林西部不同利用方式土壤的研究发现,土壤在弱淋溶环境下,白云母转变成伊利石再脱钾转化成蒙脱石和蛭石,土壤中间过渡的混层矿物较多。袁宁等^[11]研究表明土壤只耕作不施肥有利于黏土矿物的风化转化。

但是这些研究多是从表层分析土地利用对土壤风化程度及黏土矿物组成含量等的影响。而对于该区不同利用方式下土壤剖面矿物组成的研究相对缺乏。本文通过野外调查、土壤化学成分分析、土壤黏土矿物 X-射线衍射 (XRD) 图谱分析、土壤风化程度分析,对松嫩平原北部黑土区大豆/玉米轮作农田、林地、草地、退耕还林等多种土地利用方式土壤剖面黏土矿物组成进行研究,探究不同土地利用方式下土壤剖面化学成分、黏土矿物组成、风化程度变化规

律及其对环境的指示意义。

1 研究区概况

研究区位于松嫩平原北部,小兴安岭南麓,地理位置介于 47°54′~48°40′N, 124°49′~126°8′E (图 1)。研究区域内一级河流主要为松嫩河、讷漠尔河,二级河流主要为乌裕尔河,二级以下河流包括双阳河等。研究区地势整体起伏变化小,大多区域地势平坦,丘陵漫岗区地形起伏大,东西高西南低。区内属于温带大陆性季风气候,春季多风,干旱少雨;夏季温暖多雨,阳光充足;秋季低温,霜冻较早;冬季漫长且寒冷。

松嫩平原北部土壤类型主要为黑土、黑钙土、暗棕壤、草甸土等,黑土主要位于东北部,土壤肥沃,土质优良,具有较高的有机质含量和良好的保水能力。研究区土壤主要由冲洪积作用形成,母质大部分为黄黏土,由于地形与土壤肥力等方面的差异,土地利用方式主要以耕地(种植玉米、大豆、水稻等)、林地、草地为主。耕地面积占比大,是我国重要粮食生产基地。

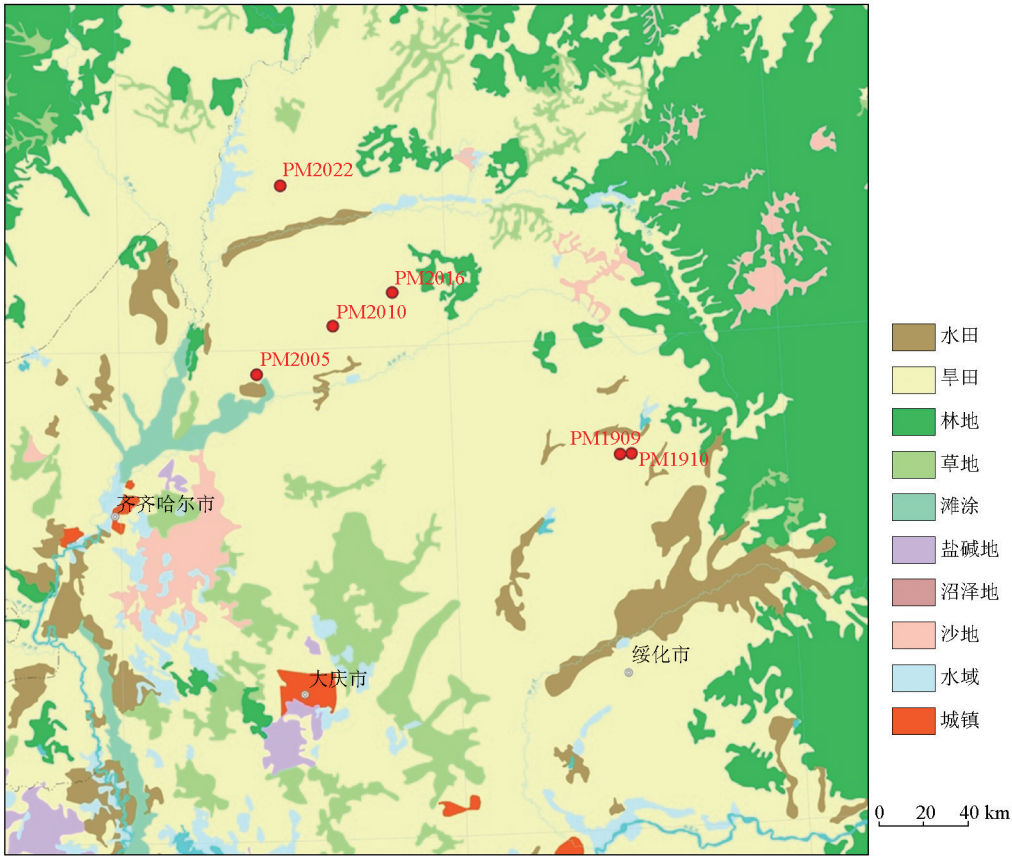


图 1 研究区土地利用类型及典型黑土剖面位置

Fig. 1 Different land-use types and the location of typical black soil profiles in the study area

2 样品及分析

2.1 样品采集及分析测试方法

根据研究区主要土地利用格局及变化,同时充分考虑海拔、坡度等相对一致的情况下,在松嫩平原北部典型黑土区选取分布相对集中的耕地(大豆、小麦、玉米)、林地、草地等多种土地利用方式典型黑土垂向剖面6条,由地表至最多200 cm深度,每20 cm等间距连续采集土壤及成土母质样品,共采集样品80件。土壤样品装入布袋后风干、敲碎,用尼龙筛筛取20目部分,送中化总局地质研究院和自然资源部东北矿产资源监督检测中心实验室进行土壤元素全量分析测试,土壤矿物测试在中国科学院南京土壤研究所完成。

土壤矿物X射线衍射分析使用的仪器型号为日本理学Ultima IV;X光管:Cu靶;管压:40 kV;管流:40 mA;滤波:石墨单色器;扫描步长:0.02°;扫描速度:1°/min。土壤样品Mg²⁺饱和后,用甘油水溶液处理,制成定向薄膜,进行X衍射分析。其中,

矿物种类的鉴定为:将样品所得的衍射数据与国际衍射数据中心的矿物标准数据进行对比,以确定物象,使用分析样品中矿物的最强衍射峰与标准矿物最强衍射峰的比值,来估算矿物百分含量。

2.2 分析结果

2.2.1 剖面特征

大豆地和玉米地(剖面PM1910、PM2010)多分布在研究区各坡面上,土壤以黑土为主,厚度在60~180 cm之间,作物根系含量高,质地黏重,透水性差,潜在肥力高,保水保肥能力强,成土母质为第四纪湖相冲积沉积物黄黏土物质(图2)。

林地(剖面PM2016)树种为杨树、松树,林龄为30~40 a,林下草被层不发达,腐殖质层厚,指状结构较发育,含有球状铁锰结核。

草地(剖面PM2005)位于河流阶地或丘陵顶部,春季积水严重,夏季植被生长茂盛,土壤为草甸沼泽土,团粒结构,含有钙质结核。

退耕还林(剖面PM1909、PM2022)土壤A层含有大量木本根系,AB层含有毛细根系以及铁锰结核,B层中存在垂向节理被棕黄黏土充填。

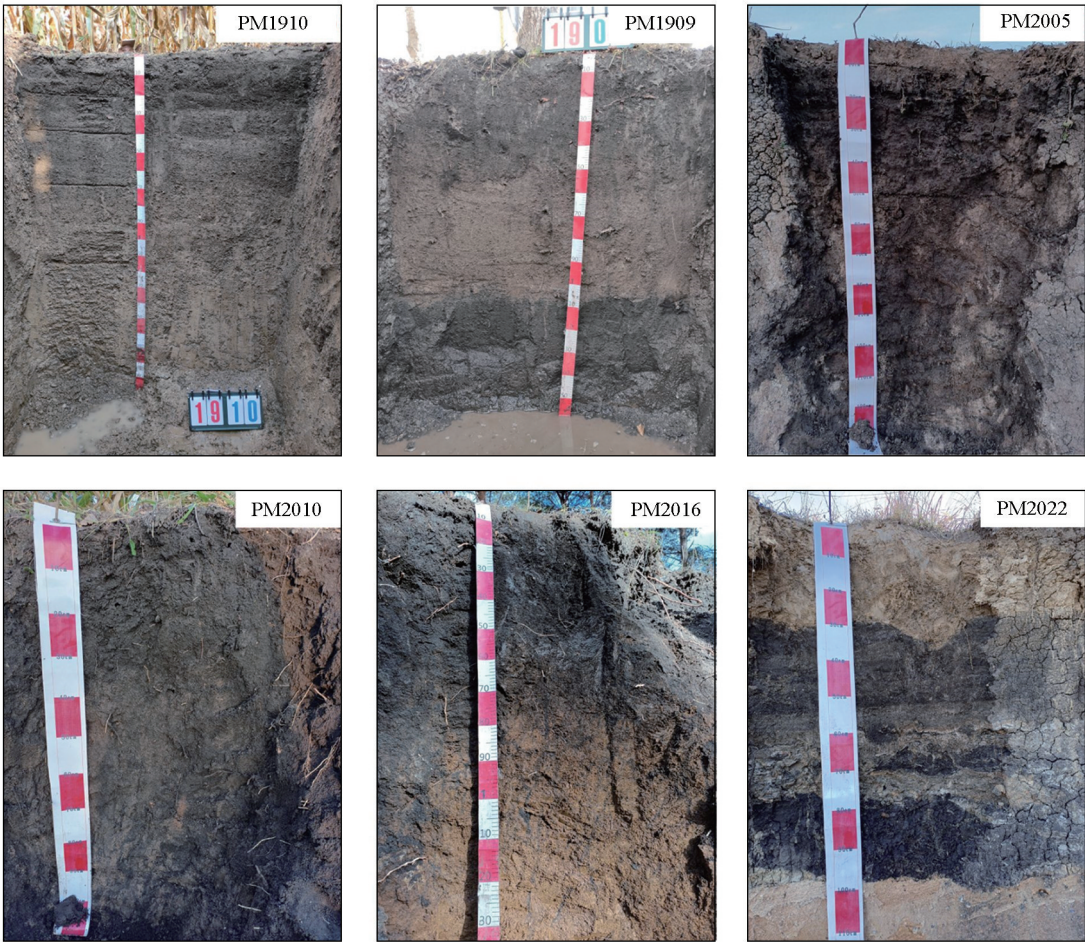


图2 研究区典型黑土剖面野外照片

Fig.2 Field photos of typical black soil profile in the study

2.2.2 常量元素特征

研究区土壤剖面常量元素 SiO_2 含量在 57.23%~66.87%,平均值为 64.22%; Na_2O 含量在 0.16%~2.11%,平均值为 1.47%; K_2O 含量在 1.77%~3.44%,平均值为 2.49%; CaO 含量在 0.10%~3.76%,平均值为 1.32%;有机碳含量在 0.26%~4.16%,平均值为 1.18%;除个别剖面外,总体上上述常量元素含量低于东北平原区表层土壤均值^[14]。 Al_2O_3 含量在 13.42%~20.80%,平均值为 15.56%; Fe_2O_3 含量在 3.73%~7.61%,平均值为 5.25%; MgO 含量在 0.17%~1.80%,平均值为 1.26%;除个别剖面外,总体上上述常量元素含量高于东北平原区表层土壤平均值^[14]。

常量元素含量由大到小的顺序为 $\text{SiO}_2>\text{Al}_2\text{O}_3>\text{Fe}_2\text{O}_3>\text{K}_2\text{O}>\text{Na}_2\text{O}>\text{CaO}>\text{MgO}$ 。淋溶元素 Na_2O 、 K_2O 随深度增大平均含量略有增加,钾和钠含量依次为耕地>草地>林地>荒地; TFe_2O_3 随深度增大平均含量略有减少; MgO 含量在腐殖质层到淀积层缓慢增加,在母质层降低;生物累积元素 CaO 随深度增大含量降低,其含量同钾一样,在不同土地利用方式中含量由高到低为草地>耕地>林地>荒地;整体上 SiO_2 和 Al_2O_3 比较稳定,个别剖面母质层 Al_2O_3 降低;有机碳整体随深度增加含量降低,在剖面 60 cm 以上有机碳含量为耕地>林地>草地>荒地,60~80 cm 以下,有机碳含量为荒地>草地>林地>耕地(图 3)。

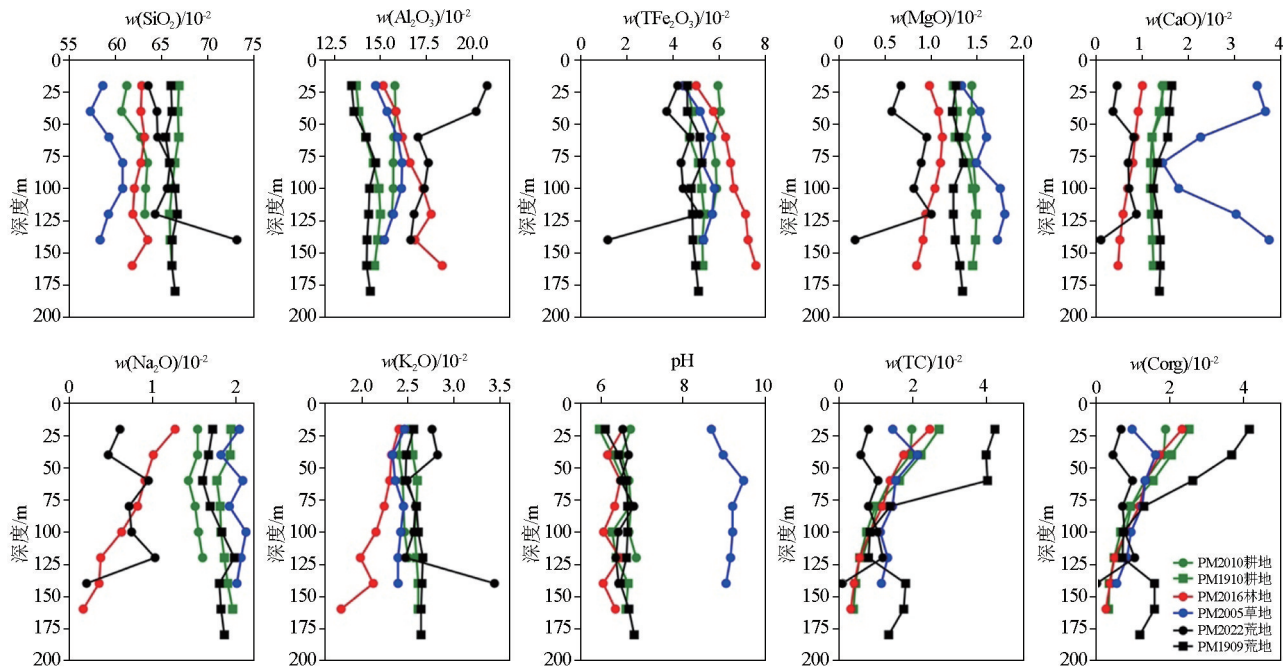


图 3 研究区土壤剖面常量元素分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of major elements of soil profile in the study area

2.2.3 矿物组成特征

通过 XRD 衍射图谱分析土壤的黏粒矿物组成,不同土地利用类型土壤黏粒矿物种类基本一致,主要含有蒙脱石、高岭石、蛭石、水云母和绿泥石,但在垂直分布上存在差异。不同土地利用类型黏土矿物组合及含量特征如下。耕地:水云母(3%~15%)+绿泥石(4%~12%)+蛭石(1%~11%)+高岭石(1%~8%)+蒙脱石(2%~5%);草地:蒙脱石(6%~13%)+绿泥石(5%~8%)+水云母(1%~6%)+高岭石(3%~5%)+蛭石(2%~4%);林地:水云母(7%~

12%)+绿泥石(1%~9%)+高岭石(2%~7%)+蛭石(2%~4%);荒地:高岭石(18%~62%)+蒙脱石(1%~14%)+水云母(4%~12%)。其中耕地、林地以 2:1 型非膨胀性黏土矿物为主,草地以 2:1 型膨胀性黏土矿物为主,荒地以 1:1 型黏土矿物为主。不同土地利用方式土壤表层黏粒矿物组成在水平分布上基本一致;剖面垂向上,成土过程中,母质层的蒙脱石逐渐向蛭石和高岭石转化,少量向绿泥石转化。不同土地利用类型剖面中,都普遍含有原生矿物石英、长石和闪石(图 4)。

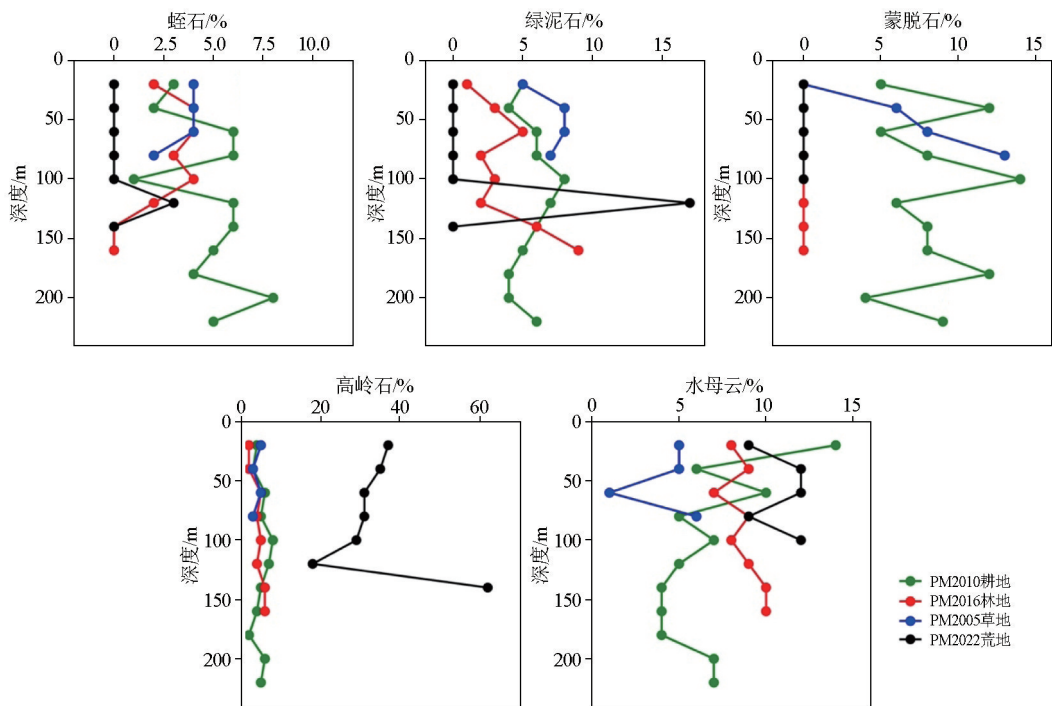


图 4 研究区土壤剖面矿物组成及垂直分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of minerals of soil profile in the study area

3 讨论

3.1 土壤风化程度

化学蚀变指数 (chemical index of alteration, *CIA*) 是判别由硅酸盐矿物组成的沉积物风化程度最常用的化学指标,其计算公式为:

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO^* + K_2O + Na_2O} \times 100, (1)$$

式中氧化物均为分子摩尔数;CaO* 为硅酸盐相,采用 McLennan^[15] 计算方法。*CIA* 反映了长石风化成黏土矿物的程度,*CIA* 值越高,指示气候温暖湿润,风化程度越高;反之,寒冷干燥,风化程度低。*CIA* 值介于 50~60 间反映寒冷干燥气候条件下的弱风化程度,60~80 间反映温暖湿润气候条件下的中等风化程度,大于 80 反映炎热潮湿的热带亚热带条件下强烈的化学风化程度^[16-18]。此外,常采用硅铝铁率 (*Saf*) 来衡量脱硅富铁铝程度,反映剖面遭受的淋溶程度,计算式为:

$$Saf = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}, (2)$$

Saf 值越小,说明脱硅富铝化程度越强,遭受风化强度越强^[19]。

研究区不同土地利用方式土壤风化程度为退

耕、荒地>林地>耕地>草地,随深度增加,林地 *CIA* 值升高,耕地略有升高,荒地有降低的趋势,草地先升高后降低。土壤淋溶程度为荒地>草地、林地>耕地,随深度增加,耕地淋溶程度升高,草地具有升高趋势,林地明显升高,荒地降低(图 5)。在其他成土因素相对稳定的情况下,表层土壤有机质含量常随大气湿度的增加而增加,湿度较大,可促进风化产物的迁移,有利于矿物风化。因此,湿润地区土壤风化程度较高,而干旱地区土壤风化程度则较弱。由于矿物稳定性的差异,不同风化阶段的土壤中矿物组成有较大的差异。在风化初期形成的年幼的土壤中,化学风化作用微弱,角闪石、方解石、黑云母等保持稳定;在风化中等程度的土壤中,如黑土、黑钙土、

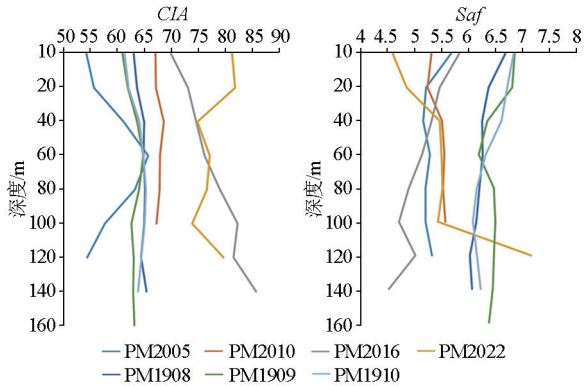


图 5 研究区土壤剖面化学风化指数 (*CIA*) 及硅铝铁率 (*Saf*)

Fig. 5 Chemical weathering index (*CIA*) and silica-aluminum-iron ratio (*Saf*) of soil profile in the study area

棕壤中,常有较多的石英、伊利石、蛭石、蒙脱石;在湿热区高风化强淋溶土壤中,土壤黏粒矿物主要为高岭石等。

3.2 土壤化学组成对环境的指示意义

根据中国气候大区划分指标,森林属于湿润气候大区,年干燥度小于 1.0;草原属于半干旱气候大区,年干燥度为 1.6~3.5。木本植物和草本植物因有机碳的数量、性质和积累方式不同,它们在成土过程中的作用也不同。不同土地利用类型的土壤可以形成一定的微气候,在一定程度上控制土壤有机碳的形成和分解过程,草地及林地土壤根系较多,剖面下层土壤温度低,土壤湿度较高,冻结时间长,这些条件都有利于土壤有机碳的积累,而土壤黏粒在此起次要作用。研究区有机碳整体随深度增加含量降低,反映所有土地利用类型的土壤有机碳均受到根系深度的控制。所有研究剖面耕地、草地、林地植物根系深度基本相当。退耕还林剖面(PM1909)60 cm 以浅深度土壤有机碳含量为所有研究剖面中最高,与观测到的 PM1909 剖面土壤 A 层含有大量木本根系有关。

研究表明,除植被、气候、人为干扰等影响因素外,研究区土壤成土发育过程中黏粒含量同样对土壤有机碳在土壤中的稳定性产生影响。土壤有机碳与土壤黏粒比例之间呈显著的正相关。耕地上层黏粒含量明显大于林地和草地,黏土矿物高的比表面积和极强的吸附能力可能有助于有机碳形成和稳定。

土壤矿物是土壤物质组成的重要形式,是土壤元素的主要载体。因此,不同土地利用类型的土壤剖面元素的分布模式与其土壤矿物组成紧密相关。研究剖面中,耕地剖面(PM2010)和草地剖面(PM2005)贫 K 而富含 Na 和 Ca,与该剖面中大量形成的蒙脱石有关。林地剖面各深度 Ca、Na 和 K 含量均较低,可能是木本植物生长时吸收土地营养元素所致。两个退耕还林剖面(PM1909 和 PM2022)元素随深度分布模式差异巨大,可能与退耕前的土地使用类型或耕种作物种类不同有关。

3.3 矿物组成对环境的指示意义

大量的黏土矿物是地表母岩在表生风化作用中形成的,气候条件是控制黏土矿物形成和转化的主要因素。在不同气候条件下,土壤类型和风化作用强度不同,从而形成不同的黏土矿物组合,地带性分布特征明显^[20-21]。

蒙脱石是在富盐基,特别是贫 K⁺而富含 Na⁺和 Ca²⁺的碱性介质中形成的,蒙脱石的存在反映了寒

冷的气候特征^[22]。高岭石是在酸性介质环境下长石经过淋滤作用形成,代表强烈化学风化作用的气候条件,气候温湿有利于高岭石的形成和保存^[16-17, 23]。退耕还林剖面 PM2022 各深度高岭石含量均明显高于所研究的其他土壤剖面,反映该剖面遭受了强烈的化学风化作用。相反地,绿泥石易活动,一般在弱碱性、淋滤作用不强、干燥的环境条件下形成,可作为干冷气候的标志。化学风化强烈则破坏绿泥石,绿泥石可作为弱风化强度的标识^[18-19, 24-25]。因此,退耕还林剖面 PM2022 各深度绿泥石含量均低于其他剖面,也反映该剖面遭受了强烈的化学风化作用。

蛭石大多在水云母脱钾, K⁺、Mg²⁺ 淋失的条件下形成,也可由蒙脱石或者绿泥石转变而来。中等风化强度的土壤中普遍含有蛭石^[26-27]。因此,蛭石含量指示所研究耕地剖面的风化强度为中等。

荒地、林地、耕地、草地利用的土壤风化依次减弱,绿泥石的含量依次升高;耕地长期施肥抑制了黏粒矿物的风化转化。由此说明,农业利用导致黑土土壤的钾和钠淋失,土壤矿物水化程度提高,交换性钙较富集。

土壤的不同利用方式可导致土壤 pH、有机质和阳离子等发生变化,进而影响土壤黏粒矿物含量的变化。草地土壤风化程度不强,普遍存在蛭石和蒙脱石,荒地、退耕地土壤不存在绿泥石,说明其成土期气候较湿润。耕地土壤水云母和蛭石含量较高,处于脱钾阶段,脱硅程度较低。本文对研究区不同土地利用类型的黏土矿物组合及其含量进行了对比,并计算了剖面的风化程度,表明随着风化程度和成土作用的加深,土壤中绿泥石等矿物向高岭石、蒙脱石转化,水云母向蛭石转化,而其环境条件也由干冷转为湿热气候。

4 结论

1)不同土地利用方式土壤剖面钾、钠、钙含量依次为草地>耕地>林地>荒地;在剖面 60 cm 以上有机碳含量为耕地>林地>草地>荒地,60~80 cm 以下,有机碳含量为草地>林地>耕地>荒地。研究区不同土地利用方式土壤风化程度为退耕、荒地>林地>耕地>草地;土壤淋溶程度为荒地>草地、林地>耕地。

2)研究区不同土地利用类型土壤总体上黏土矿物以蒙脱石、高岭石、蛭石、水云母和绿泥石为主,其中,耕地、林地以 2:1 型非膨胀性黏土矿物为主,

草地以 2 : 1 型膨胀性黏土矿物为主,荒地以 1 : 1 型黏土矿物为主。

3) 通过对研究区不同土地利用类型的黏土矿物组合及其含量进行了对比,并计算了剖面的风化程度,表明随着风化程度和成土作用的加深,土壤中绿泥石等矿物向高岭石、蒙脱石转化,水云母向蛭石转化,而其环境条件也由干冷转为湿热气候。

参考文献 (References):

- [1] 李小虎,张新虎,郑朋,等.土壤矿物学研究综述[J].甘肃地质学报,2003,12(1):37-42.
Li X H,Zhang X H,Zheng P, et al. Adbance on the research of soil mineralogy[J]. Acta Geologica Gansu,2003,12(1):37-42.
- [2] 汤艳杰,贾建业,谢先德.粘土矿物的环境意义[J].地学前缘,2002,9(2):338-344.
Tang Y J,Jia J Y,Xie X D. Environment significance of clay minerals[J]. Earth Science Frontiers,2002,9(2):338-344.
- [3] 郭正堂,丁仲礼,刘东生.黄土中的沉积—成壤事件与第四纪气候旋回[J].科学通报,1996,41(1):56-59.
Guo Z T,Ding Z L,Liu D S. Sedimentation-soil-forming events and Quaternary climate cyclones in loess[J]. Chinese Science Bulletin,1996,41(1):56-59.
- [4] 张铭杰,王先彬.干旱地区硫化矿床风化过程的穆斯堡尔谱特征:以青海锡铁山铅锌矿为例[J].沉积学报,1998,16(4):153-157.
Zhang M J,Wang X B. The Mössbauer Spectra characteristics in weathering of sulfide deposits in drought district: A case study of Xitieshan lead-zinc deposit, Qinghai Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1998,16(4):153-157.
- [5] 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,2007,43(3):1-7.
Zhang M J,Zhang Y,Li X H,et al. Mineral compositions of soil in the arid and semiarid region and their environmental significance[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences,2007,43(3):1-7.
- [6] 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.
Liu D S. Loess and the environment [M]. Beijing: Science Press,1985.
- [7] 陈涛,王欢,张祖青,等.粘土矿物对古气候指示作用浅析[J].岩石矿物学杂志,2003,22(4):416-420.
Chen T,Wang H,Zhang Z Q, et al. Clay minerals as indicators of paleoclimate[J]. Acta Petrologica et Mineralogica,2003,22(4):416-420.
- [8] 孙庆峰,陈发虎,Christophe Colin,等.粘土矿物在气候环境变化研究中的应用进展[J].矿物学报,2011,31(1):146-152.
Sun Q F,Chen F H,Colin C,et al. Application progress of clay minerals in the researches of climate and environment[J]. Acta Mineralogica Sinica,2011,31(1):146-152.
- [9] 戚兴超,王晓雯,刘艳丽,等.泰山山前平原土地利用方式对潮棕壤黏土矿物组成的影响[J].土壤学报,2019,56(3):739-748.
Qi X C,Wang X W,Liu Y L. et al. Effects of land use of different patterns on soil clay mineral compositions in piedmont plain of Mountain Tai[J]. Acta Pedologica Sinica,2019,56(3):739-748.
- [10] 郑庆福,赵兰坡,冯君,等.利用方式对东北黑土粘土矿物组成的影响[J].矿物学报,2011,31(1):139-145.
Zheng Q F,Zhao L P,Feng J, et al. Effects of land-use patterns on evolution of clay minerals of black soil in Northeast China[J]. Acta Mineralogica Sinica,2011,31(1):139-145.
- [11] 袁宁,王继红,程恩宝,等.不同利用方式对土壤黏粒矿物组成的影响[J].吉林农业大学学报,2019,41(1):55-60.
Yuan N,Wang J H,Cheng E B,et al. Effects of land use patterns on soil clay mineral composition[J]. Journal of Jilin Agricultural University,2019,41(1):55-60.
- [12] Liu Y L. Soil mineralogy changes with different agricultural practices during 8-year soil development from the parent material of a mollisol[J]. Advances in Agronomy,2017,142:143-179.
- [13] 冯君,赵兰坡,郑庆福等.吉林西部不同利用方式盐渍化草甸土黏粒矿物组成的分析[C]//面向未来的土壤科学(上册)——中国土壤学会第十二次全国会员代表大会暨第九届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集,2012.
Feng J,Zhao L P,Zheng Q F,et al. Analysis of mucilaginous mineral composition of salinized meadow soils of different land use patterns in western Jilin[C]// Soil Science for the Future (Previous Book)-Proceedings of the 12th National Congress of the Soil Society of China and the 9th Cross-Straits Soil and Fertilizer Symposium,2012.
- [14] 戴慧敏,刘国栋,刘凯,等.东北黑土地 1 : 25 万土地质量地球化学调查二级项目成果报告[R].中国地质调查局沈阳地质调查中心,2019.
Dai H M,Liu G D,Liu K, et al. Report of the geochemical survey for the black soil in the northeastern China (1 : 250 000) [R]. Shenyang Center of China Geological Survey,2019.
- [15] McLennan S M. Weathering and global denudation[J]. The Journal of Geology,1993,101(2):295-303.
- [16] 王攀,宁凯,石迎春,等.吴起全新世土壤剖面常量元素地球化学特征[J].土壤通报,2019,50(6):1261-1268.
Wang P,Ning K,Shi Y C, et al. Geochemical characteristics of major elements of holocene soil from Wuqi, Shaanxi Province[J]. Chinese Journal of Soil Science,2019,50(6):1261-1268.
- [17] 李徐生,韩志勇,杨守业,等.镇江下蜀土剖面的化学风化强度与元素迁移特征[J].地理学报,2007,62(11):1174-1184.
Li X S,Han Z Y,Yang S Y, et al. Chemical weathering intensity and element migration features of the Xiashu loess profile in Zhenjiang[J]. Acta Geographica Sinica,2007,62(11):1174-1184.
- [18] 徐树建,倪志超,丁新潮.山东平阴黄土剖面常量元素地球化学特征[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(2):353-359.
Xu S J,Ni Z C,Ding X C, et al. Geochemical characteristics of macronutrients in the loess profile of Pingyin, Shandong[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry,2016,35(2):353-359.
- [19] 刘银飞,孙彬彬,贺灵,等.福建龙海土壤垂向剖面元素分布特

征[J]. 物探与化探, 2016, 40(4): 713-721.

Liu Y F, Sun B B, He L, et al. Vertical distribution of elements in soil profiles in Longhai, Fujian Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(4): 713-721.

[20] 李元. 草原土壤粘土矿物组成及其环境意义[D]. 广州: 中山大学, 2014.

Li Y. Composition of clay minerals in grassland soils and their environmental significance[D]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University, 2014.

[21] 张青青, 黄菁华, 姚军, 等. 淳化黄土—古土壤序列黏土矿物分布特征及古环境意义[J]. 土壤学报, 2018, 55(5): 1062-1073.

Zhang Q Q, Huang J H, Yao J, et al. Distribution of clay minerals in the Chunhua loess-paleosol sequence and its paleoenvironmental significance[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(5): 1062-1073.

[22] 熊毅. 土壤胶体第二册: 土壤胶体研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.

Xiong Y. Soil colloid (part II): Research methods of soil colloids[M]. Beijing: Science Press, 1985.

[23] 鲁春霞. 粘土矿物在古环境研究中的指示作用[J]. 中国沙漠, 1997, 17(4): 456-460.

Lu C X. Indicative role of clay minerals in palaeoenvironmental studies[J]. Journal of Desert Research, 1997, 17(4): 456-460.

[24] Vanderaverroet P. Miocene to pleistocene clay mineral sedimentation on the New Jersey shelf[J]. Oceanologica Acta, 2000, 23(1): 25-36.

[25] Winkler A, Wolf-Welling T, Stattegger K, et al. Clay mineral sedimentation in high northern latitude deep-sea basins since the Middle Miocene (ODP Leg 151, NAAG)[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, 91(1): 133-148.

[26] 姚合法, 林承焰, 侯建国, 等. 苏北盆地粘土矿物转化模式与古温度[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 29-35.

Yao H F, Lin C Y, Hou J G, et al. Transformation patterns and paleotemperatures of clay minerals in the Northern Jiangsu Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 29-35.

[27] 申聪颖, 赵兰坡, 刘杭, 等. 不同母质发育的东北黑土的粘粒矿物组成研究[J]. 矿物学报, 2013, 33(3): 382-388.

Shen C Y, Zhao L P, Liu H, et al. Mineral compositions of clay particles in Northeastern China black soils developed from different matrices[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(3): 382-388.

The clay mineral composition and environmental implications of the typical black soil profiles of the northern Songnen Plain

HAN Xiao-Meng^{1,2,3}, DAI Hui-Min^{1,2,3}, LIU Kai^{1,2,3}

(1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China; 3. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Liaoning Province, Shenyang 110034, China)

Abstract: This study investigated the clay mineral composition of the soil profiles of cropland for soybean/maize rotation, forest land, grassland, and farmland returned to forest in the black soil regions of the northern Songnen Plain through field investigation, the analysis of soil chemical composition, the X-ray diffraction (XRD) spectrum analysis of soil clay minerals, and the analysis of soil weathering degree. The purpose of this study is to explore the chemical composition, clay mineral composition, and weathering change patterns of the soil profiles of the land for different uses and their environmental implications. The results show that in the soil profiles, the land for different uses is in the order of grassland > cropland > forest land > wasteland regarding the potassium, sodium, and calcium contents, in the order of cropland > forest land > grassland > wasteland regarding the organic carbon content in the soil at a depth less than 60 cm, in the order of wasteland > grassland > forest land > cropland regarding the organic carbon content in the soil at a depth greater than 60~80 cm, in the order of farmland returned to forest and wasteland > forest land > cropland > grassland regarding the soil weathering degree, and in the order of wasteland > grassland and forest land > cropland in terms of the soil leaching degree. The clay minerals in the soil of land for different uses area mainly consist of montmorillonites, kaolinites, vermiculites, hydromicas, and chlorites. The cropland, forest land, grassland, and wasteland are dominated by the 2:1 type of non-expansive clay minerals, the 2:1 type of non-expansive clay minerals, the 2:1 type of expansive clay minerals, and the 1:1 type of clay minerals, respectively. As shown by the comparison of the clay mineral assemblages and their contents in the soil of land for different uses in the study area, as well as the calculation of the weathering degree of the soil profiles, minerals such as chlorites in the soil transition to kaolinites and montmorillonites, hydromicas transition to vermiculites, and the environment has changed from a dry and cold climate to a wet and hot climate as the weathering degree and pedogenesis deepen.

Key words: soil profile; clay minerals; weathering; climatic environment