

东北典型黑土区坡耕地涝渍地土壤化学性状

马富亮¹, 符素华^{1,2}, 罗广惠³

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 北京市一六五中学, 北京 100010)

摘要:中国东北典型黑土区是我国重要的商品粮生产基地, 对我国粮食安全和国民经济的稳定起到举足轻重的作用。作为土壤退化的一种特殊形式, 涝渍地严重影响着垦区的农业生产。在东北典型黑土区坡面涝渍地及其周围正常耕地中布设采样点, 测定了土壤氧化还原性及相关指标, 以揭示坡耕地涝渍土壤与其周围耕种土壤化学性质的差异, 得出涝渍土壤所具有的特殊化学性状。结果表明: 涝渍土壤与耕种土壤化学性质差异显著。涝渍土壤属于酸性土壤, pH 值为 5.53, 显著低于耕种土壤, 有机质含量较高, 且越接近涝渍地中心土壤有机质含量越高。涝渍土壤 Eh 显著低于耕种土壤, 空间变异范围较大, 但还没有达到强度还原状态。涝渍土壤在长期淹水条件下, 大量的 Fe^{3+} 、一部分高价锰被迅速还原, 与耕种土壤相比, 涝渍土壤还原性物质总量较高, 高出 20 倍多, 亚铁含量高出 12 倍还多, 二价锰含量高出约 10 倍。

关键词:黑土区; 坡耕地; 涝渍地; 土壤性状

中图分类号: S153.6⁺1; S153.6⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0051-04

Soil Chemical Characteristics of the Waterlogged Land on Slope Cropland in Typical Black Soil Region of Northeast China

MA Fuliang¹, FU Suhua^{1,2}, LUO Guanghui³

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Beijing No. 165 High School, Beijing 100010, China)

Abstract: The typical black soil zone in northeast China is an important commodity grain production base and plays crucial roles in the national food security and economic stability. As a special form of soil degradation, waterlogged lands severely affect the agricultural production in reclamation regions. The objective of this study was to analyze the differences of soil chemical characteristics between waterlogged land and the normal cultivated land and to try to find the special soil chemical characteristics of waterlogged land. The sampling points were set in and around the waterlogged land on the slope cropland in typical black soil region of northeast China. The oxidation and reduction properties-related indicators of soil were measured. The results showed that the differences in soil chemical characteristics between waterlogged land and the normal cultivated land were significant. The soil pH value (5.53) in waterlogged land is significantly lower than that of the normal cultivated land. The soil in waterlogged land has higher organic matter and the higher organic matter is found in the central zone of the waterlogged land. Eh in waterlogged land is lower and the spatial variation range is larger than that of normal cultivated land. But the soil in waterlogged land has not reach the strength reduction status. Much Fe^{3+} and part of manganese ion with high valence are reduced rapidly because the soil in waterlogged land keeps high water content for a long term. The total reducing substances, ferrite iron content and bivalent manganese content of waterlogged soil are 20 times, 12 times and 10 times higher than those of the normal cultivated soil, respectively.

Keywords: black soil; slope cropland; waterlogged land; soil property

中国东北典型黑土区是我国重要的商品粮生产基地,对我国粮食安全和国民经济的稳定起到举足轻重的作用^[1]。作为土壤退化的一种特殊形式,涝渍地广泛分布于东北黑土区的农田耕地中,严重影响着垦区的农业生产。我国共有 3 207 万 hm^2 涝渍地^[2-3],仅黑龙江省黑河市嫩江县鹤山农场鹤北小流域中的涝渍地面积就占整个流域面积的 4% 左右^[4]。黑土区涝渍土壤由于湿度过大阻碍了农机耕作的连续性,严重降低了土地利用效率^[5-6]。因此,针对我国人口众多、粮食安全压力巨大的现状,研究黑土区涝渍地土壤性状,提出和实施有效的治理措施,挖掘单位耕地面积的生产力潜力显得尤为重要。

根据前人^[7-11]的研究成果可知,与正常耕地相比,涝渍地土壤具有独特的性质。涝渍地长期水分饱和的土壤环境,为土壤成分间发生氧化还原反应提供了必要条件,也是发生化学反应、产生新物质的场所。川口桂三郎^[12]认为淹水或水分饱和条件下,大气和土壤之间气体交换受阻,氧气只能通过分子的形式扩散进入土壤,但分子态的氧在水中的扩散速度非常低,土壤表现出强烈的还原性;徐瑞瑚等^[13]对江汉平原涝渍地的研究表明,涝渍地土壤在低温、积水和缺氧条件下,氧化还原电位降低,并且有机质在分解过程中产生大量有机酸、硫化氢、亚铁、亚锰等侵害作物根系的有毒物质。一般,旱地中还原性物质是测不出来的,土壤灌水后,还原性物质含量会逐渐增加,还原性物质的含量变化受到 Eh 的控制,还与有机质含量、pH 值、淹水时间等有关^[14]。

综上所述,前人对涝渍土壤化学性质的研究主要集中在在水田或地势相对低平和低洼、地下水位高且排水条件较差的区域,对于分布于坡面、居于坡中位置的涝渍地研究较少,并且对土壤化学性质研究大部分拘泥于一个或少许常规指标,几乎没有较全面的研究,尤其是对氧化还原状态及相关指标缺少系统的研究,况且,由于研究区域差异较大,前人得出的关于涝渍土壤性质的研究结论只能借鉴,不能够完全照搬照用。本文在东北黑土区坡面涝渍地及其周围正常耕地中布设采样点,测定耕层土壤氧化还原状态及相关化学指标,比较分析涝渍地土壤与其周围耕种土壤的差异性,明确该类涝渍地土壤所具有的特殊性质,为该类涝渍地的治理后再利用提出切实可行的实施方案服务。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选在黑龙江省九三农垦分局鹤山农场境内的鹤北小流域。鹤北小流域位于鹤山农场场部东北方向,地理位置为 $48^{\circ}59'3.37''$ — $49^{\circ}02'35.7''$ N,

$125^{\circ}15'45.71''$ — $125^{\circ}20'46.79''$ E。整个流域又被 9 条支沟分为 9 个次级小流域,其中主沟道以西有 4 条支沟,由南至北将次一级小流域依次编号为 1,2,3,4 号小流域;主沟道以东有 5 条支沟,由北至南依次编号为 5,6,7,8,9 号小流域。本研究对鹤北小流域内的坡面涝渍地进行了大量的实地调查,得到鹤北小流域涝渍地空间分布图(图 1),并在坡面涝渍地分布比较集中的 7 号和 8 号流域选取典型的坡面涝渍地作为研究对象。

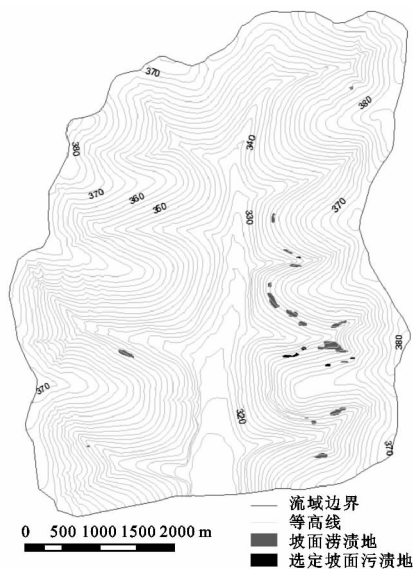


图 1 鹤北小流域涝渍地空间分布

研究区地处大兴安岭南麓,海拔 150~383 m。坡岗平缓,坡长较长,被当地人称为“漫川漫岗”,属于典型黑土区。研究区为寒温带大陆性季风气候,冬夏气温相差比较悬殊。因受季风和高纬度影响,全年冷、热、干湿季节划分明显,春季干燥少雨,夏秋两季湿润多雨且昼夜温差较大,冬季寒冷漫长。年平均气温 $-1.5\sim 0.4^{\circ}\text{C}$,年内温差变化大,夏季最热月份为 7 月,平均气温为 20.8°C ,冬季最冷月份为 1 月,平均气温为 -22.5°C 。年日照时间为 2 550~2 700 h,全年无霜期 115 d 左右。年均降雨量约为 470 mm,多集中于 6—9 月。该区土壤沉积物主要为第三纪和第四纪的砂粒及黏土层,一般呈黄色或红色。主要土壤类型为黑土,在黑土开垦以前,其自然植被为草原化草甸植物。本研究中供试土壤 0—20 cm 土层砂粒、粉粒和黏粒含量分别为 20.20%,37.14% 和 42.66%,土壤质地为黏土,pH 值 5.67,有机质含量为 5.04%。

1.2 观测方法

1.2.1 样点布设 通过野外调查,在鹤北小流域 7 号、8 号流域不同坡面上选取 5 块典型涝渍地 LZD₇₋₃, LZD₈₋₁, LZD₈₋₃, LZD₈₋₄, LZD₈₋₆ 进行土壤化学性质测定,图 1 中颜色较深的为选定的要研究的坡面涝渍地。在选定坡面涝渍地和与其相邻的坡耕地内按照“十”字形进行布点取样。图 2 为其中一组坡面涝渍地与坡耕地采样

点分布图,纵坡方向上,自坡上的耕地穿过涝渍地中心到坡下的耕地,共布 5 个点;分别命名为 Z_1, Z_2, J_3, Z_4, Z_5 。横坡方向上,面对坡上,自左侧坡耕地穿过涝渍地中心到右侧的坡耕地布点,分别命名为 H_1, H_2, J_3, H_4, H_5 ,二者交于坡面涝渍地的中心位置点 J_3 。其中 Z_2, J_3, Z_4, H_2, H_4 为涝渍地内的点, Z_1, Z_5, H_1, H_5 为坡耕地内的点,每组坡面涝渍地与坡耕地布 9 个采样点,5 组共 45 个采样点。

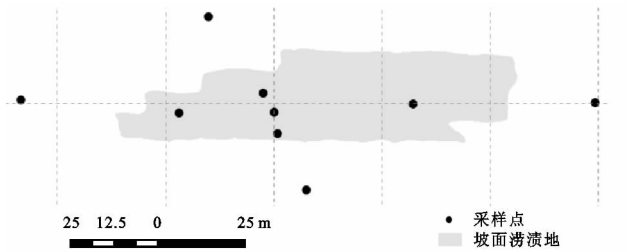


图 2 LZD_{8.3} 土壤养分采样点图

1.2.2 土样采集与样品测定 在各采样点耕层土壤中用取土铲取土,放入已编号的塑封袋,带回实验室,土样经风干、研磨、过筛后用四分法取样测定土壤 pH 值、有机质含量。土壤 pH 值用电位法测定,有机质含量用重铬酸钾容量法测定。测定方法根据土壤农业化学分析方法^[15]以及北京师范大学分析测试中心资料进行。

在采样点耕层土壤中用木质铲子采集鲜土样和铝盒样(用于测定同期土壤含水量),将采回的鲜土样带回实验室直接放入冰箱(4℃)内保存,待测定时用四分法取样测定还原性物质总量、亚铁、二价锰含量。还原性物质总量用重铬酸钾氧化法测定,亚铁的测定用邻菲罗啉比色法测定,二价锰的测定用高碘酸钾比色法测定,测定方法根据土壤农业化学分析方法^[15]进行。

土壤氧化还原电位 Eh 用 FJA-5 型氧化还原电位去极化法全自动测定仪进行原位测定。由于 Eh 变异较大,每个采样点测定需 7~9 次重复。

1.3 数据分析方法

应用统计软件(Excel, SPSS 等)和 Origin 软件对测定的土壤理化性质数据进行数据处理、统计分析和图表制作。

2 结果与分析

2.1 pH 值和有机质

涝渍土壤与其相邻农田耕种土壤的 pH 值及有机质含量均存在显著差异(表 1),pH 值平均值分别为 5.53,5.71,属于偏酸性土壤,这与于君宝^[16]和唐罗忠^[17]等的研究结果相似。涝渍土壤的水分含量过大,长期处于淹水条件,土壤中缺少氧气,土壤有机质分解会产生大量的有机酸和 CO₂ 使得涝渍土壤 pH 值下降。涝渍土壤 pH 值低于耕种土壤,并且差异达到显著水平。涝

渍土壤与其相邻农田耕种土壤有机质的平均值分别为 61.7 mg/kg 和 50.3 mg/kg,涝渍土壤有机质高于正常农田耕种土壤,并且差异达到极显著水平。涝渍土壤长期淹水,土壤温度低,通气条件差,形成的还原环境不利于有机质分解,使有机质含量相对较高。

表 1 涝渍土壤与耕种土壤 pH 值、有机质含量 t-test 结果

| 项目 | 涝渍土壤平均值 | 耕种土壤平均值 | t-test | 样本数 |
|-------|-----------|-----------|--------|-----|
| pH 值 | 5.53±0.05 | 5.71±0.06 | -2.32* | 45 |
| 有机质/% | 61.7±10.0 | 5.03±9.3 | 3.91** | 45 |

注:“**”表示 $p<0.01$,差异极显著;“*”表示 $p<0.05$,差异显著。

2.2 氧化还原性性状

涝渍土壤与耕种土壤在氧化还原相关性质上都存在显著差异。涝渍土壤 Eh 远远低于耕种土壤(表 2)。涝渍土壤的 Eh 变化范围比较大,均值 370.91~603.61 mV 变化。涝渍土壤处于中度还原、轻度还原到氧化状态之间。受渍害影响较大的土壤中的 Fe³⁺ 和有机还原性物质被还原,Eh 很低,旱作作物会发生严重的湿害。大部分样点长期处于轻度还原状态,这时 NO³⁻, Mn⁴⁺ 被还原,旱作将会受到影响。少部分涝渍土壤处于氧化状态,但作物的生长和种植不受影响,耕种土壤的 Eh 较大且空间变异比较小,均值 709.34~764.72 mv 变化(表 2)。徐瑞瑚和杨礼茂^[13]、唐罗忠等^[17]和丁昌璞^[18]分别对江汉平原的涝渍地、湿地和水稻土进行了研究,与本研究相比,虽然研究区域不同,但研究对象均属于涝渍地范畴,同样得出了相似的结论。决定 Eh 的体系主要有氧、有机质等。涝渍地内土壤渍水,而 Eh 急剧下降,首先是由于土壤淹水后,土壤孔隙被水占据,土壤中的含氧量不足。其次,Eh 与有机质含量存在负相关关系,这是由于有机质中有大量的有机还原性物质,有机体系在决定 Eh 方面起着很大的作用。

还原性物质包括有机还原性物质和无机还原性物质两类,其中有机还原性物质约占 80%,无机还原性物质约占 20%,还原性物质的总量代表了土壤还原性状态的数量指标。涝渍土壤的还原性物质总量均值为 6.31 cmol/kg。由于涝渍地内土壤水分空间分布不均,还原性物质含量的空间变异较大(表 2),还原性物质总量在 0.61~12.01 cmol/kg 之间变化。一般情况下,旱地的还原性物质难以测出。本研究中测出的耕种土壤的还原性物质总量平均为 0.31 cmol/kg,远低于涝渍土壤还原性物质总量。这是由于涝渍土壤在淹水控制下产生还原性物质,刘志光等^[14]对水稻土进行研究表明,水稻土的还原性物质总量最高可达 14.92 cmol/kg,本研究中涝渍土壤由于淹水时间较水稻土短,所以还原性物质总量稍低于水稻土。

表2 涝渍土壤与耕作土壤氧化还原性差异 t-test 结果

| 项目 | 涝渍土壤平均值 | 耕作土壤平均值 | t-test | 样本数 |
|----------------------------------|---------------|--------------|----------|-----|
| Eh/mV | 487.26±116.35 | 737.03±27.69 | -10.30** | 45 |
| 还原性物质总量/(cmol·kg ⁻¹) | 6.31±5.70 | 0.31±0.05 | 8.33** | 45 |
| 亚铁/(cmol·kg ⁻¹) | 0.97±1.21 | 0.04±0.06 | 3.73** | 45 |
| 二价锰/(cmol·kg ⁻¹) | 0.23±0.27 | 0.02±0.04 | 4.31** | 45 |

注:“*”表示 $p < 0.01$, 差异极显著; “**”表示 $p < 0.05$, 差异显著。

涝渍土壤的亚铁含量远远大于耕种土壤(表2), 涝渍土壤的平均亚铁含量为 0.97 cmol/kg, 而且变幅比较大。耕种土壤的亚铁含量均值为 0.04 cmol/kg, 含量较低, 变幅较小, 涝渍土壤的亚铁含量比耕种土壤高出 12 倍还多(表2), 差异极显著。前人研究得出无机还原性物质中亚铁占 60%~80%^[14,17], 本研究结果中涝渍土壤亚铁含量占无机还原物质的 76.9%, 耕种土壤亚铁含量占无机还原物质的 64.5%, 与前人研究结果一致, 涝渍土壤的长期淹水环境为土壤中铁的氧化物与有机物质作用下生成亚铁等无机还原性物质提供了条件和场所。

涝渍土壤的二价锰含量均值为 0.23 cmol/kg, 而耕种土壤二价锰含量平均值为 0.02 cmol/kg(表2), 涝渍土壤的二价锰含量比耕种土壤高出约 10 倍, 差异极显著。非涝渍土壤处于氧化条件下, 土壤中锰绝大部分以一氧化物的形式存在, 所以耕种土壤不含或者含有很少二价锰, 而涝渍土壤中一定数量的高价锰被迅速还原, 但由于氧化还原性空间分布不均, 二价锰的空间变异也很大。同样, 川口桂三郎^[12]、丁昌璞和于天仁^[19]分别对水田和旱地进行了对比研究, 也得出一致的结论。锰的氧化还原反应原理与铁相似, 二价锰是涝渍土壤中的氧化锰与有机物质相互作用形成, 而且锰的还原性反应更为敏感。

3 结论

通过对涝渍土壤与耕种土壤部分化学性状的对比分析发现: 涝渍土壤与耕种土壤化学性质差异显著。涝渍土壤属于酸性土壤, pH 值为 5.53, 显著低于耕种土壤, 有机质含量较高, 且越接近涝渍地中心土壤有机质含量越高。涝渍土壤 Eh 显著低于耕种土壤, 空间变异范围较大, 但还没有达到强度还原状态。涝渍土壤在长期淹水条件下, 大量的 Fe³⁺、一部分高价锰被迅速还原, 与耕种土壤相比, 涝渍土壤还原性物质总量较高, 高出 20 倍多, 亚铁含量高 12 倍还多, 二价锰含量高约 10 倍, 且均达到极显著水平。

参考文献:

[1] 陆继龙. 我国黑土的退化问题及可持续农业[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 53-55.

- [2] 魏永霞, 康百赢, 刘学金. 黑龙江垦区渍涝治理途径探索[J]. 水利科技与经济, 2005, 3(2): 83-85.
- [3] 朱建强, 黄智敏, 臧波, 等. 江汉平原的涝渍地及其开发利用[J]. 湖北农学院学报, 2005, 24(4): 248-252.
- [4] 秦续娟. 东北北部黑土坡耕地涝渍成因研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2006.
- [5] 姚章村, 刘宗建. 三江平原渍涝分类和不同治理阶段研讨[J]. 现代化农业, 1993(4): 4.
- [6] 刘兵, 朱广石, 王平, 等. 东北农田涝渍成因和治理研究概况[J]. 广东农业科学, 2010(11): 276-278.
- [7] 郎惠卿, 祖文辰, 金树仁. 中国沼泽[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1983.
- [8] McFarlane D J, George R J, Farrington P. Changes in the Hydrologic Cycle[M]// Hobbs R J, Saunders D A. Reintegrating Fragmented Landscapes. New York: Springer, 1993.
- [9] Cox J W, McFarlane D J. The causes of waterlogging in shallow soil sand their drainage in southwestern Australia[J]. J. Hydrol., 1995, 167: 175-194.
- [10] 孙广友. 沼泽湿地的形成演化[J]. 国土与自然资源研究, 1998(4): 33-35.
- [11] Hatton T J, Nulsen R A. Towards achieving functional ecosystem mimicry with respect to water cycling in southern Australian agriculture[J]. Agrofor. Syst., 1999, 45: 203-214.
- [12] 川口桂三郎. 水田土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [13] 徐瑞瑚, 杨礼茂. 江汉平原渍害田机理与地下水治理[J]. 地域研究与开发, 1995, 14(4): 62-66.
- [14] 刘志光, 于天仁. 水稻土中氧化还原过程的研究—还原性物质的测定[J]. 土壤学报, 1962, 10(1): 13-28.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [16] 于君宝, 刘景双, 王金达, 等. 典型黑土 pH 值变化对营养元素有效态含量的影响研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 404-408.
- [17] 唐罗忠, 生原喜久雄, 户田浩人, 等. 湿地林土壤的 Fe²⁺, Eh 及 pH 值的变化[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 103-107.
- [18] 丁昌璞. 中国自然土壤_旱作土壤_水稻土的氧化还原状况和特点[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 66-75.
- [19] 丁昌璞, 于天仁. 水稻土壤氧化还原过程的研究: IV. 红壤性水稻土中铁、锰的活动性[J]. 土壤学报, 1958(6): 99-107.