

Inner Mongolia Grassland Longitude Zonal Soil Geochemistry

Shuzhen Wei, Weihua Zhang*

Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot Inner Mongolia
Email: *987717485@qq.com

Received: Jun. 8th, 2015; accepted: Jun. 22nd, 2015; published: Jun. 29th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

On the Inner Mongolia's vast territory, corresponding fractionation of soil geochemistry changes regularly with longitudinal zonality. This paper, based on the past soil survey, taking longitude zonal pattern for clues, processes on soil geochemistry data collation and studies various data indexes' longitude zonal variation, which has great significance for theoretical research in Inner Mongolia soil. The results showed that, mainly due to climatic factors, the Inner Mongolia grassland soils were distributed according to longitudinal zonality, and the corresponding soil geochemistry also showed longitude zonal arrangement: From east to west, the soil SiO₂, Na, K, Ca, Mg and other salt and organic matter content decreased, while CaCO₃ content increased. From east to west, Sa, Saf, ba, β, μ, basically showed a gradual increasing trend; powder stick ratio, CEC, H/F, organic/CaCO₃ is showing a decreasing trend. From east to west, Inner Mongolia grassland soil leaching intensity gradually weakened, both chemical weathering gradually weakened, physical weathering gradually increased; From east to west, the process of grassland in Inner Mongolia grassland soil strength waning. From east to west, Inner Mongolia grassland soil organic matter content decreased, while CaCO₃ content increased, reflecting the story of grassland soil variation. Two desert soil test points are added in the test, and test results show the value of desert grassland soils in Sa, Saf value, ba value, β value, μ value, and no significant correlation with grassland soil characteristics longitude zonal arrangement, which may be mainly due to the fact that there is almost no plants involved in the soil forming process.

Keywords

Inner Mongolia Grassland, Soil Geochemistry, Longitude Zonal, Differentiation

内蒙古草原经度地带性土壤地球化学特征研究

魏淑贞, 张伟华*

*通讯作者。

内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特
Email: 987717485@qq.com

收稿日期: 2015年6月8日; 录用日期: 2015年6月22日; 发布日期: 2015年6月29日

摘要

内蒙古自治区地域辽阔, 相应土壤地球化学特征分异随经度地带性呈现规律性变化, 本文以前人土壤普查为基础, 以经度地带性规律为线索, 对土壤地球化学特征进行数据整理, 研究各项数据指标的经度地带性变化规律, 对于内蒙古土壤的理论性研究具有重大意义。研究表明, 内蒙古草原土壤区域辽阔, 由于气候因素的影响, 内蒙古草原土壤呈经度地带性分布, 相对应的土壤地球化学特征也呈现出经度地带性排列: 自东向西, 土壤中 SiO_2 、Na、K、Ca、Mg等盐基以及有机质含量逐渐降低, 而 CaCO_3 含量逐渐升高。自东向西, Sa值、Saf值、ba值、 β 值、 μ 值基本上呈现逐渐升高的趋势; 粉粘比、CEC、H/F、有机质/ CaCO_3 则呈现出逐渐降低的趋势。自东向西, 内蒙古草原土壤的淋溶强度逐渐减弱, 既是化学风化作用逐渐减弱, 物理风化作用逐渐增强; 自东向西, 内蒙古草原土壤草原化过程的强度逐渐减弱。自东向西, 内蒙古草原土壤中有机质含量逐渐降低, 而 CaCO_3 含量逐渐升高, 体现了草原土壤二层性的变化规律。试验中加入了两个荒漠土壤试验点, 试验结果显示出荒漠草原土壤在Sa值、Saf值、ba值、 β 值、 μ 值上, 并没有明显与草原土壤相关的经度地带性排列特征, 可能主要是由于在成土过程中几乎没有植物介入的原因。

关键词

内蒙古草原土壤, 土壤地球化学, 经度地带性, 分异

1. 引言

内蒙古自治区地处我国北部边疆, 地域辽阔, 是以高原为主的地区。由于受到地形、母质、生物、气候等自然因素和人为活动的综合作用, 土壤类型有明显的区域性和地带性差异。由于内蒙古跨经度范围大, 向西不断深入内陆, 东部受海风影响大, 降水多, 西部深居内陆, 温差大降水少所致, 所以, 内蒙古土壤呈经度地带性规律分布。土壤呈经度地带性规律分布主要是由于降水由东向西逐渐减少[1]-[3]。因此, 内蒙古自东向西土壤呈黑钙土-栗钙土-棕钙土-灰钙土-棕漠土的经度地带性规律分布。同时, 自东向西草原呈草甸草原-典型草原-荒漠化草原-荒漠草原-荒漠区的经度地带性分布。

本文研究以前人土壤普查资料与实地勘察为基础, 以草原经度地带性规律为探索目标, 通过对土壤地球化学特征进行数据整理分析, 研究各项数据指标的经度地带性变化规律, 进而为内蒙古草原土壤的理论性研究提供参考价值。

1.1. 国内外土壤地球化学概况

土壤地球化学是研究成土风化壳和土壤的化学组成、元素迁移、分异及形成的过程。通过对表层岩石、土壤、天然水、有机体中元素的富集和分散的自然规律的分析, 能更深刻地揭露植被、土壤及潜水元素之间的内在联系, 对了解古地理土壤形成环境, 土壤肥力发展方向, 确立环境本底值有十分重要的意义。

早在1910年就有人从事土壤地球化学方面的工作, 但直到1950年A.N.维诺格拉多夫编写出版了《土壤中稀有元素和扩散元素的地球化学》一书, 成为早期代表著作[4]。1975年, J.康纳和H.T.沙克立特编

写了“美国大陆某些岩石、土壤、植物及蔬菜的地球化学背景值”，这一工作把岩石—土壤—植物看成了一个有机的整体，无疑使研究工作又向前推进了一步[5]。我国这方面的研究起步较晚，于70年代末才较全面地开展，1985年由龚子同等编写出版了我国第一部土壤地球化学方面的专著——《土壤地球化学的进展和应用》[6][7]。

土壤地球化学是土壤学的一个分支，是应用地球化学的一些基本原理研究土壤运动规律的科学[8]。土壤地球化学是研究土壤中元素迁移运动、分散富集规律及其与成土因素关系的科学，籍以揭示土壤发生演变规律。它与农林牧业的发展、甚至和人类健康密切相关。土壤地球化学与环境地球化学、景观地球化学、表生地球化学、特别是与研究生物圈中活质的地球化学行为和作用的生物地球化学有着不可分割的联系[9]-[11]。

土壤地球化学的出现是和整个土壤学的发生和发展联系在一起的。在研究植物和土壤之间元素交换时，引伸出了土壤学研究中的生物地球化学方向，随着土壤发生分类研究的深入，土壤地球化学的原理和方法被广泛采用，有关红壤、水稻土、灰化土和盐渍土的土壤地球化学专著先后问世，清楚地反映了这一趋势，为了合理施肥和正确评价环境质量，土壤元素地球化学和土壤地球化学区划的研究也得到了发展[11]-[13]。虽然土壤地球化学在许多国家仍从属于土壤发生学，但随着它的兴起和发展已越来越受到人们的重视。

土壤地球化学的发展可以划分为若干阶段，当然，各阶段彼此之间并非没有联系，有时是互相穿插的，所以只能从重大学说的确立和重要著作的发表作为其划分标志[14][16]。其中包括：(1) 背景土壤地球化学，从1916年起，B.H. 维尔纳德斯基曾多次强调指出，有机体化学元素和地壳的化学元素之间有着不可分割的联系[17]。(2) 风化壳地球化学，风化壳是土壤形成的基础物质，风化壳地球化学和土壤形成有着不可分割的联系[18]。(3) 生物土壤地球化学 B.H.维尔纳德斯基、R.林克等人确立了关于生物在地壳、风化壳和土壤中作用的现代学说[19]。发展了土壤发生上的生物地球化学方向，并指出矿物质生物循环在土壤类型和肥力形成中的巨大作用。

1.2. 研究内容

计算并整理研究地点以下土壤地球特征数据：

- (1) Sa: 硅铝率
- (2) Saf: 硅铝铁率
- (3) ba: 土壤风化淋溶系数
- (4) β : 土壤风化淋溶指数
- (5) μ : 土壤风化指数
- (6) 粉粘比
- (7) CEC: 阳离子交换量
- (8) 粘化率
- (9) H/F: 胡富比
- (10) 有机质/CaCO₃

2. 实验区概况

2.1. 地理位置

研究地区包括内蒙古自治区全境，位于蒙古高原东南部及周沿地带，介于北纬 37°24' ~ 53°20'，东经 97°10'~126°04'之间。

2.2. 气候条件

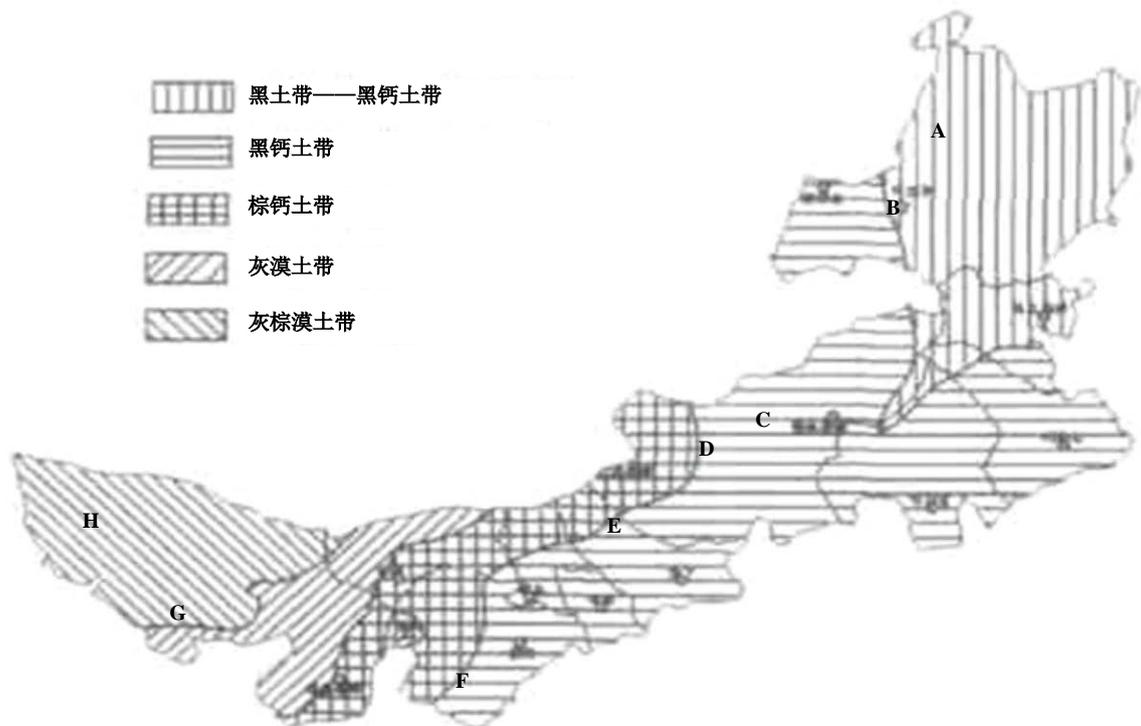
内蒙古地区大部分属中温带大陆性季风气候，大兴安岭北段属寒温带大陆性气候。水热条件自东向西呈湿润、半湿润、半干旱、干旱和极干旱带状分布。草原气候的共同特点是大陆性较强，降水量少，气温的日较差和年较差都较大。也就是说草原气候的主要标志是水分和温度。温带草原年降水量 200~450 mm，而高寒草原则为 100~300 mm；气温的日较差一般为 10°~17°，年较差可达 33°~50°。

2.3. 土壤状况

内蒙古地区由于地理环境、气候生物等因素的差异，该地区土壤呈明显经向分异特征。自东向西依次分布黑土、暗棕壤、黑钙土、栗钙土、棕钙土、棕漠土和灰漠土。部分地区有褐土、灰钙土、草甸土和风沙土分布(图 1)。

2.4. 草原类型

气候条件是内蒙古草原生态状况的决定因素。随着降水量自东向西递减，气温和太阳辐射量自东向西递增的影响，内蒙古草原的生态状况也出现了由草甸草原生态系统、典型草原生态系统向荒漠草原生态系统和荒漠生态系统的过渡。这些生态类型自东向西是渐进式演变的，不同生态类型之间没有很分明的界限，要给出区域的分界线并非易事。气候和土壤环境是草场类型及其生态系统的主要影响因素，因此以湿润度为主要依据，结合内蒙古水平土壤带的分布特征，进行草原生态类型区域的划分是可行的，据此将内蒙古草原划分为草甸草原、典型草原、荒漠草原、沙化荒漠草原、荒漠区 5 类草原生态系统。



注：A-呼伦贝尔额右旗；B-呼伦贝尔海拉尔市；C-锡盟锡林浩特市；D-锡盟苏尼特左旗；E-包头达茂旗；F-伊盟鄂托克前旗；G-阿拉善盟右旗；H-阿拉善盟额济纳旗

Figure 1. Inner Mongolia soil type and sampling point profiles from east to west

图 1. 内蒙古自东向西土壤类型及采样点分布图

2.5. 地质地貌

内蒙古自治区的地貌以蒙古高原为主体, 具有复杂多样的形态。除东南部外, 基本是高原, 占总土地面积的 50% 左右, 由呼伦贝尔高平原、锡林郭勒高平原、巴彦淖尔 - 阿拉善及鄂尔多斯等高平原组成, 平均海拔 1000 米左右, 海拔最高点贺兰山主峰 3556 米。高原四周分布着大兴安岭、阴山(狼山、色尔腾山、大青山、灰腾梁)、贺兰山等山脉, 构成内蒙古高原地貌的脊梁。内蒙古高原西端分布有巴丹吉林、腾格里、乌兰布和、库布其、毛乌素等沙漠, 总面积 15 万平方公里。在大兴安岭的东麓、阴山脚下和黄河岸边, 有嫩江西岸平原、西辽河平原、土默川平原、河套平原及黄河南岸平原。这里地势平坦、土质肥沃、光照充足、水源丰富, 是内蒙古的粮食和经济作物主要产区。在山地向高平原、平原的交接地带, 分布着黄土丘陵和石质丘陵, 其间杂有低山、谷地和盆地分布, 水土流失较严重。全区高原面积占全区总面积 53.4%, 山地占 20.9%, 丘陵占 16.4%, 河流、湖泊、水库等水面面积占 0.8% [20]-[22]。

地貌发育历史及发育过程, 对各类土中微量元素含量似有明显影响。土壤中微量元素含量的多寡与成土母质有关, 但无论地层的时代和土壤发育的情况如何, 岩性和古沉积环境对成土母质中的本底含量似有控制性的影响。岩体和成岩沉积环境类似的地层所发育的成土母质类型也比较类似, 微量元素的变化幅度也比较近似。

3. 研究方法

3.1. 数据样地选择

根据试验区经度地带性自东向西选择 8 个具有代表性的试验地点进行数据计算整理及比对。定的试验点及实验点基本情况分别为(表 1):

- (1) 呼伦贝尔额右旗拉布大林镇西 3 公里(黑钙土)
- (2) 呼伦贝尔海拉尔市扎罗木得乡 7 公里(黑钙土)
- (3) 锡盟锡林浩特市灌渠正南 2 公里(暗栗钙土)
- (4) 锡盟苏尼特左旗赛汉高毕乡查干楚鲁村正西 1 公里(棕钙土)
- (5) 包头达茂旗红旗牧场正北 600 米(棕钙土)
- (6) 伊盟鄂托克前旗三段地苏木马长井大队第三生产队正西 1.5 公里(淡灰钙土)
- (7) 阿拉善盟右旗额日布盖乡所在村南偏东 45°1 公里(灰漠土)
- (8) 阿拉善盟额济纳旗马鬃山苏木红柳头子北偏西 10°1950 米(灰棕漠土)

Table 1. Basic test point fact sheet

表 1. 试验点基本情况表

试验点序号	所在地	纬度	经度	土壤类型	草原类型
1	呼伦贝尔额右旗拉布大林镇西	48.67	116.82	黑钙土	森林草原
2	呼伦贝尔海拉尔市扎罗木得乡	49.22	119.77	黑钙土	草甸草原
3	锡盟锡林浩特市灌渠	43.95	116.07	暗栗钙土	干草原(典型草原)
4	锡盟苏尼特左旗赛汉高毕乡查干楚鲁村	43.85	113.63	棕钙土	荒漠化草原
5	包头达茂旗红旗牧场	41.70	110.43	棕钙土	荒漠化草原
6	伊盟鄂托克前旗三段地苏木马长井大队	39.57	109.73	淡灰钙土	荒漠化草原
7	阿拉善盟右旗额日布盖乡	39.20	101.68	灰漠土	草原化荒漠
8	阿拉善盟额济纳旗马鬃山苏木红柳头子	41.97	101.07	灰棕漠土	草原化荒漠

3.2. 计算整理项目与方法

Sa (硅铝率): $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Saf (硅铝铁率): $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$

ba (土壤风化淋溶系数): $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$

β (土壤风化淋溶指数): 淋溶层 $\frac{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ / 母质层 $\frac{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$

μ (土壤风化指数): 淋溶层 $\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$ / 母质层 $\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$

CEC (阳离子交换量): 常用的土壤风化发育度指标

粘化率: 粘化层中粘粒/淋溶层中粘粒

H/F (胡富比): 胡敏酸/富里酸

有机质/ CaCO_3 : 土壤中有机质含量与 CaCO_3 含量的比值

对各试验点采用 3.1 中编号, 其中 1~8 号试验地按自东向西排列。分别对各计算整理项目进行数据比对分析。

4. 结果与分析

4.1. 各试验地点各地球化学特征值

表 2 根据《内蒙古土壤资源数据册》整合并计算出 8 个试验点的最有代表性的 9 组特征数据值, 8 个试验点为自东向西的经度地带分布。

4.1.1. 各试验地点 Sa 值经度地带性变化特征规律

从图 2 可看出, Sa 值自东向西从黑钙土地区到灰钙土地区逐渐升高, 同时, 相同土壤带的 Sa 值分异小于不同土壤带; 灰钙土区的 Sa 值最高; 参照 8、9 两个试验点, 可能由于荒漠土壤区域的成土过程几乎没有植物的介入, 进入荒漠土壤区域时 Sa 值急剧下降。S 代表 Si, 系活动性成分, a 代表 Al, 系不活动成分。Sa 值愈小, 表明土壤风化淋溶度愈强。所以, 自东向西内蒙古草原土壤风化淋溶度逐渐降低。

Table 2. Geochemistry of the respective value of each test point

表 2. 各试验点各地球化学特征值

试验点/土类	1/黑钙土	2/黑钙土	3/暗栗钙土	4/棕钙土	5/棕钙土	6/灰钙土	7/棕漠土	8/灰棕漠土
Sa	7.4104	8.5068	11.2625	11.3560	12.4590	13.6077	9.3738	9.2759
Saf	6.1213	7.1872	9.9089	9.7842	10.6967	11.3825	7.5864	7.5874
ba	0.6288	0.7426	0.8082	1.3940	0.8468	1.4386	1.2679	1.2996
β	0.8791	0.8821	1.1614	1.1277	1.4825	1.5749	1.3608	1.3428
μ	1.0298	1.0450	1.1314	1.1667	1.3835	1.4726	1.2058	1.3226
粉粘比	1.0703	1.3096	0.8714	0.4333	0.7024	0.8545	0.5746	0.6484
CEC	28.91	25.02	13.43	8.03	9.17	7.54	5.12	5.22
H/F	1.5727	1.8974	1	1.2	1.2	0.222	1	0.9868
有机质/ CaCO_3	8.6833	10.7586	2.2089	0.1103	1.1385	0.1132	0.1219	0.0324

4.1.2. 各试验地点 Saf 值经度地带性变化特征规律

从图 3 可看出, Saf 值自东向西从黑钙土地区到灰钙土地区逐渐升高, 同时, 相同土壤带的 Saf 值分异小于不同土壤带; 灰钙土地区的 Saf 值最高; 参照 8、9 两个试验点, 进入荒漠土壤区域时 Saf 值急剧下降。Saf 值含义与 Sa 值含义相似。再次确定 4.1.1 中结论。自东向西内蒙古草原土壤风化淋溶度逐渐降低。

4.1.3. 各实验地点 ba 值经度地带性变化特征规律

从图 4 可以看出, ba 值总体上自东向西呈逐渐升高趋势, 测试点 4 及测试点 6 数值较高, 测试点 4 和测试点 6 由于特殊原因土壤中 CaO 含量较高, 致使该地区土壤 ba 值较高; 总趋势上相同土壤带的 ba 值分异小于不同土壤带。ba 值指土壤中的盐基与氧化铝的分子比值。土壤形成过程中 Al_2O_3 比较稳定而不易被淋溶, 而 Na、K、Ca、Mg 等盐基易受淋洗, ba 值愈小表示淋溶作用愈强。总趋势上淋溶作用自东向西逐渐减弱, 证明自东向西内蒙古草原土壤的化学成土作用呈逐渐减弱趋势。

4.1.4. 各试验地点 β 值经度地带性变化特征规律

从图 5 可以看出, β 值自东向西呈逐渐上升趋势, 同时相同土壤带的 β 值分异明显小于不同地带 β 值分异, 可能由于荒漠土壤中只有少量植物, 荒漠土壤 β 值略低于荒漠化草原土壤 β 值。 β 值是淋溶层钾钠氧化物与氧化铝的分子比与母质层钾钠氧化物与氧化铝的分子比的比值, β 愈小说明淋溶强度愈强。所以自东向西内蒙古草原土壤淋溶强度呈逐渐降低趋势。

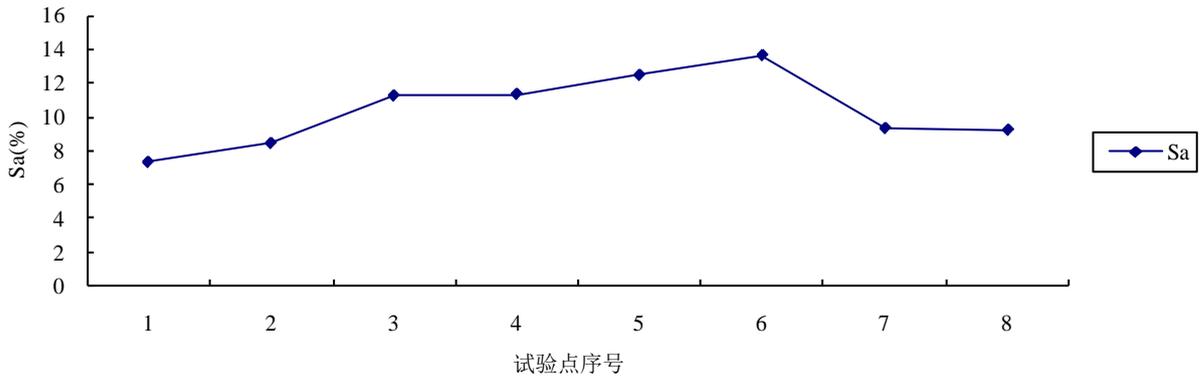


Figure 2. Sa value longitude zonal variation of each test site

图 2. 各实验地点 Sa 值经度地带性变化特征

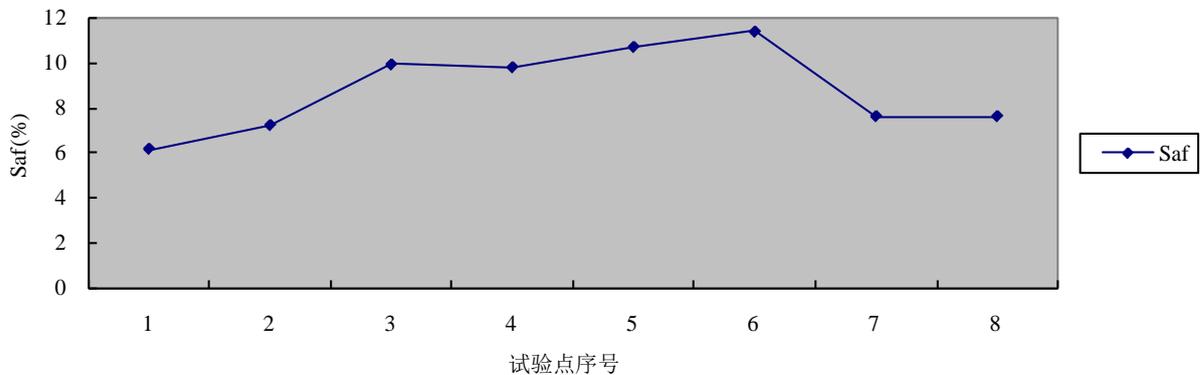


Figure 3. Saf value longitude zonal variation of each test site

图 3. 各试验地点 Saf 值经度地带性变化特征

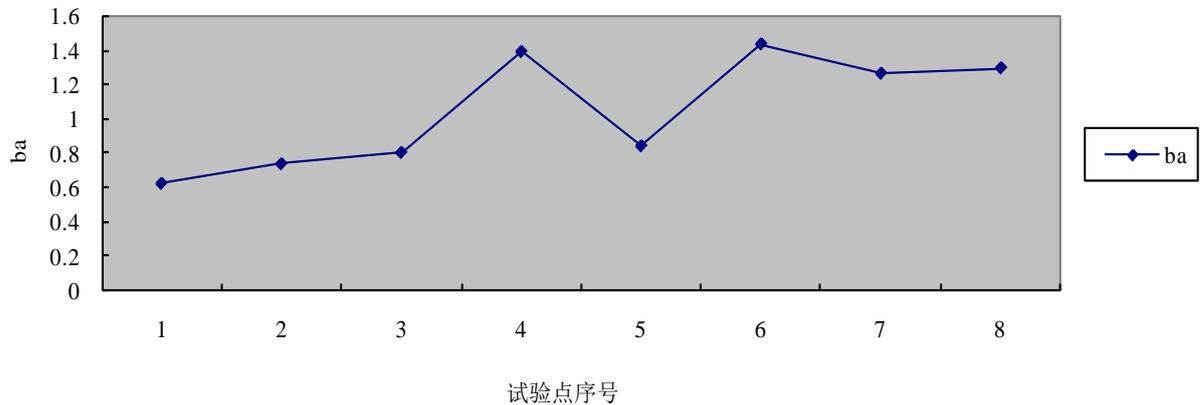


Figure 4. ba value longitude zonal variation of each test site

图 4. 各试验地点 ba 值经度地带性变化特征

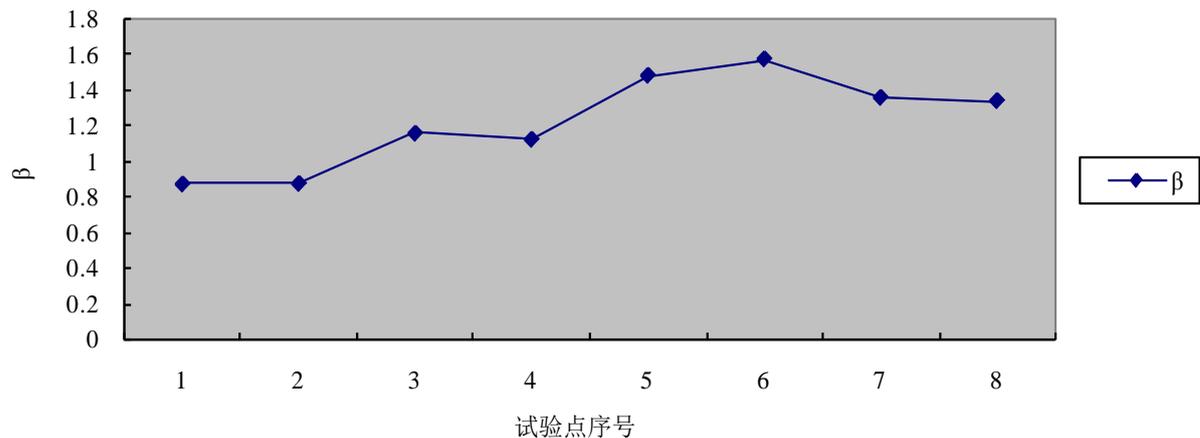


Figure 5. beta value longitude zonal variation of each test site

图 5. 各试验地点 beta 值经度地带性变化特征

4.1.5. 各试验地点 μ 值经度地带性变化特征规律

从图 6 可以看出, μ 值自东向西呈逐渐上升趋势, 同时相同土壤带的 μ 值分异明显小于不同地带 μ 值分异, 可能由于荒漠土壤中只有少量植物, 荒漠土壤 μ 值略低于荒漠化草原土壤 μ 值。 μ 值是淋溶层和母质层中氧化钾与氧化钠的比值, μ 值愈大土壤风化度愈高。所以自东向西内蒙古草原土壤物理风化度呈逐渐升高趋势。

4.1.6. 各试验地点粉粘比经度地带性变化特征规律

从图 7 可以看出, 粉粘比自东向西总体上呈逐渐降低趋势, 其中试验点 4 可能由于人为或其他原因导致粉粘比较低。粉粘比指土壤中粉砂与粘粒含量的比值, 土壤形成过程中, 粉砂将向粘粒转化, 因此土壤风化越强, 粉砂越少, 粘粒越多, 粉粘比就越低。所以自东向西内蒙古土壤风化强度呈逐渐下降趋势。

4.1.7. 各试验地点 CEC 值经度地带性变化特征规律

从图 8 可以看出, 自东向西 CEC 值呈逐渐降低趋势, 并且黑钙土带 CEC 值显著高于其他土带, 接近于栗钙土带的 2 倍, 接近漠境土壤的 6 倍。CEC 值愈高表示土壤风化发育度愈弱, 自东向西土壤风化发育度逐渐提高, 证明自东向西土壤物理风化作用逐渐加强。

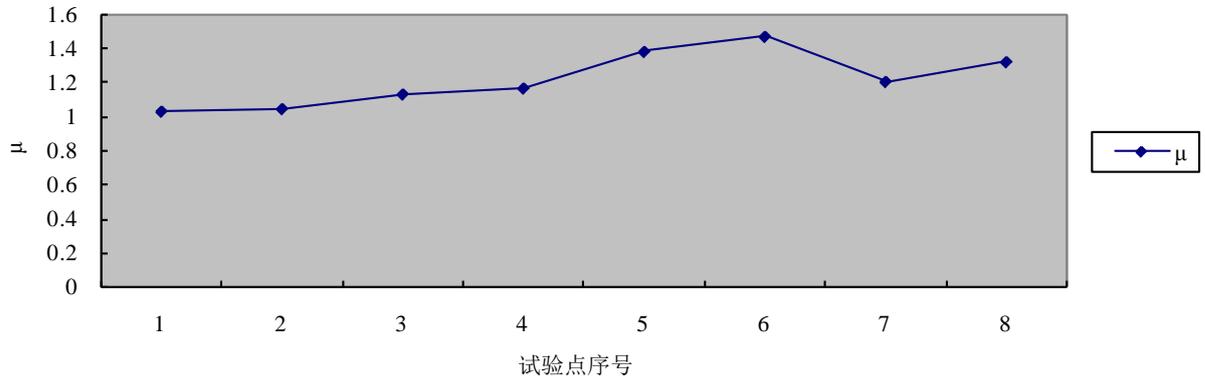


Figure 6. μ value longitude zonal variation of each test site

图 6. 各试验地点 μ 值经度地带性变化特征

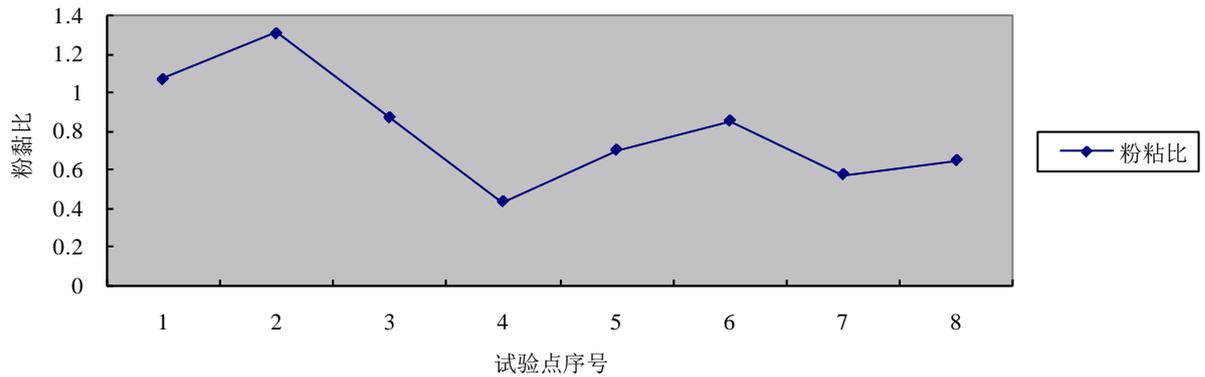


Figure 7. Pink sticky than longitude zonal variation each test site

图 7. 各试验地点粉黏比经度地带性变化特征

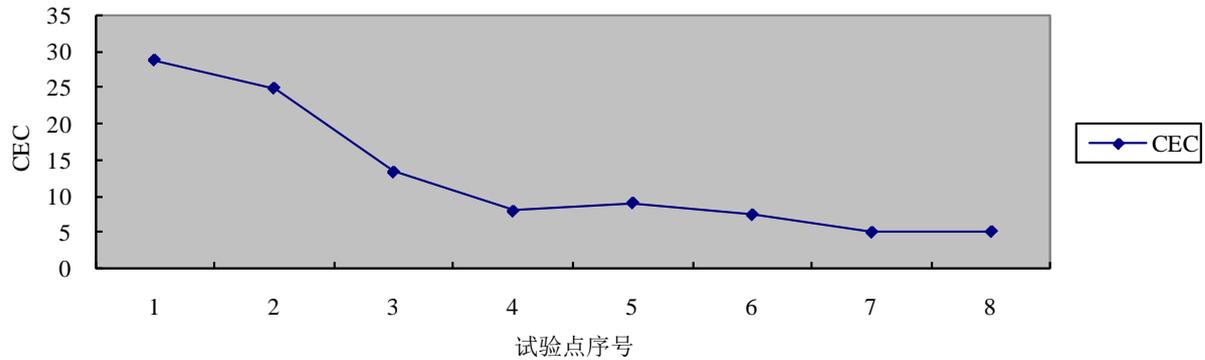


Figure 8. CEC value longitude zonal variation of each test site

图 8. 各试验地点 CEC 值经度地带性变化特征

4.1.8. 各试验地点 H/F 值经度地带性变化特征规律

从图 9 可以看出, 自东向西 H/F 值总趋势呈逐渐降低。H/F 值能够反映气候变化规律, 胡敏酸可以反映草原化过程的强烈程度, 而富里酸则反映森林化过程的强弱程度。证明自东向西草原化过程的强烈程度呈逐渐降低趋势。

4.1.9. 各试验地点有机质/CaCO₃ 值经度地带性变化特征规律

从图 10 可以看出, 自东向西有机质/CaCO₃ 值总趋势呈逐渐降低, 并且黑钙土区有机质/CaCO₃ 值显

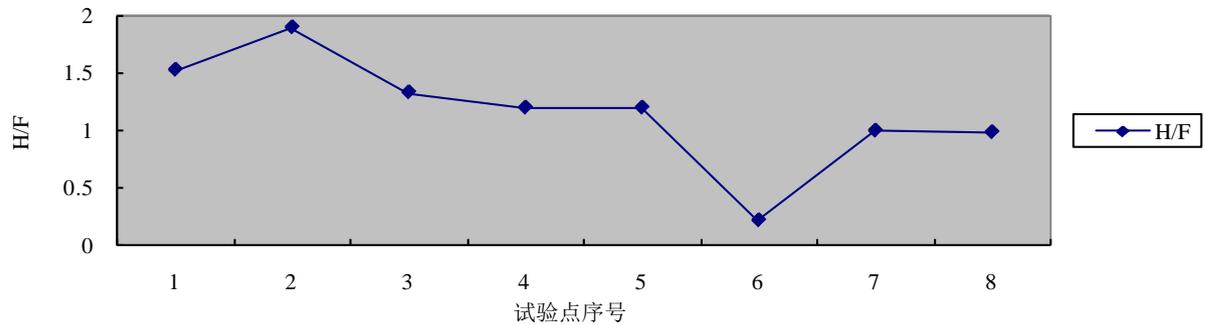
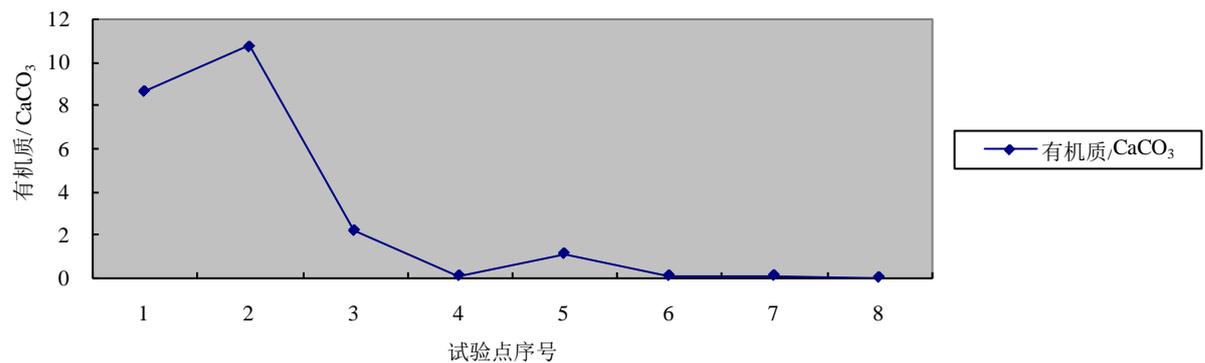


Figure 9. H/F longitude zonal variation of each test site

图 9. 各试验地点 H/F 经度地带性变化特征

Figure 10. Organic/CaCO₃ value longitude zonal variation of each test site图 10. 各试验地点有机质/CaCO₃ 值经度地带性变化特征

著高于其他各土壤区域，荒漠化草原及荒漠地区有机质/CaCO₃ 值接近于 0。草原土壤的二层性得到充分证明，自东向西土壤中有机质含量逐渐降低，而 CaCO₃ 含量逐渐升高。

5. 结论

通过对内蒙古草原土壤经度地带性土壤地球化学特征进行数据整理及研究，得出结论如下：

内蒙古草原土壤区域辽阔，气候因素(尤以降水量与温度)对草原地球化学特征的影响重大，内蒙古草原土壤呈经度地带性分布，相对应的土壤地球化学特征也呈现出经度地带性排列：

自东向西，土壤中 SiO₂、Na、K、Ca、Mg 等盐基以及有机质含量逐渐降低，而 CaCO₃ 含量逐渐升高。

自东向西，Sa 值、Saf 值、ba 值、β 值、μ 值基本上呈现逐渐升高的趋势；粉粘比、CEC、H/F、有机质/CaCO₃ 则呈现出逐渐降低的趋势。

自东向西，内蒙古草原土壤的淋溶强度逐渐减弱，既是化学风化作用逐渐减弱，物理风化作用逐渐增强；

自东向西，内蒙古草原土壤草原化过程的强度逐渐减弱。

自东向西，内蒙古草原土壤中有机质含量逐渐降低，而 CaCO₃ 含量逐渐升高，体现了草原土壤二层性的变化规律。

试验中加入了两个荒漠土壤试验点，试验结果显示荒漠草原土壤在 Sa 值、Saf 值、ba 值、β 值、μ 值上，并没有明显与草原土壤相关的经度地带性排列特征，可能主要是由于在成土过程中几乎没有植物介入的原因。

参考文献 (References)

- [1] 张伟华, 武永智, 苏晓东 (2000) 草原土壤质量评价及其应用研究初探. *内蒙古农业科技*, 增刊, 115-118
- [2] 龚子同, 等 (1985) 土壤地球化学的进展和应用. 科学出版社, 北京.
- [3] 龚子同 (1982) 土壤地球化学的兴起和发展. *土壤学进展*, **1**, 1-17.
- [4] 孙向阳 (2005) 土壤学. 中国林业出版社, 北京.
- [5] Forbes, T.R. (1986) The Guy Smith interviews: Rationale for concepts in soil taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 11, 195-209.
- [6] ISRIC, ITC, CUL, WAU, FAO (2001) Lecture Notes on Major Soil of World. FAO, Rome, 221-241.
- [7] 龚子同, 张甘霖, 陈志诚, 等 (2007) 土壤发生与系统分类. 科学出版社, 北京, 140-165.
- [8] 龚子同, 张之一, 张甘霖 (2009) 草原土壤: 分布、分类与演化. *土壤(Soils)*, **4**, 505-511.
- [9] 云文丽, 侯琼, 李友文, 王永利 (2013) 内蒙古地区土壤水文特征的空间分布. *干旱区资源与环境*, **2**, 23-31.
- [10] 赵伦山, 赵善仁, 叶荣 (1998) 地球化学的理论与应用. “科学技术面向新世纪”学术年会, 北京, 1998年9月23日-24日.
- [11] 谢学锦, 程志中, 成杭新 (2004) 应用地球化学在中国发展的前景. *中国地质*, **z1**, 16-29.
- [12] K、N、卢卡舍夫 (1960) 苏联境内风化壳地带性及其地球化学类型. 科学出版社, 北京.
- [13] 刘兆谦 (1982) 草原土壤. In: *中学地理教学参考*, 科学出版社, 北京, 278-301.
- [14] 陈素华, 宫春宁 (2005) 内蒙古草原气候特点与草原生态类型区域划分. *气象科技*, **4**, 340-344.
- [15] 李绍良 (1985) 草原土城研究展望. 科学出版社, 北京, 156-198.
- [16] 徐尚平, 陶澍, 曹军 (2001) 内蒙古土壤 pH 值、粘粒和有机质含量的空间结构特征. *土壤通报*, **4**, 145-148.
- [17] 李小雁, 李福兴, 刘连友 (1998) 土壤风蚀中有关土壤性质因子的研究历史与动向. *中国沙漠*, **1**, 91-95.
- [18] 赵羽, 金争平, 史培军, 等 (1988) 内蒙古土壤侵蚀. 科学出版社, 北京, 28-57.
- [19] 邓海香, 奥静平, 王国光, 等 (1994) 内蒙古土壤资源数据册. 内蒙古人民出版社, 内蒙古, 386-489.
- [20] B.A. 柯夫达, 著 (1960) 陈恩健, 杨景辉, 常世华, 译. 中国之土壤与自然条件概论. 科学出版社, 北京, 242-266.
- [21] 内蒙古土壤学会, 编 (1994) 内蒙古土壤. 内蒙古出版社, 呼和浩特, 683-695.
- [22] 陈佐忠, 汪诗平 (2000) 中国典型草原生态系统. 科学出版社, 北京, 380-391.