

宁南宽谷丘陵区土壤矿质元素与氧化铁的特征

郭 曼¹, 安韶山², 常庆瑞¹, 李壁成²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 以宁夏固原县上黄村和云雾山自然保护区为研究对象, 通过大量的室内分析, 研究其土壤中矿质元素的剖面分布状况及其氧化铁的分布特征。结果表明: 供试土壤土体中矿质元素的含量顺序依次为 $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} \approx \text{MgO} > \text{TiO}_2 > \text{MnO}_2$ 。其中硅、铝、铁的在剖面上分布较均匀, 钙、镁、钾变异较大, 空间分布不均; 钛、锰空间变化较小, 说明供试土壤处于物理风化阶段, 土壤的化学风化程度较弱。氧化铁全量含量变化不大, 其剖面各层的游离铁、活性铁和络合铁含量均不高, 且空间变化幅度小, 表明供试土壤的铁的淋溶状况不明显, 土壤风化发育不好, 释放出的氧化铁少。

关键词: 宁南宽谷丘陵区; 土壤矿质全量; 氧化铁特征

中图分类号: S 153.61

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)03-0038-03

Characteristics of Soil Ferric Oxide and Mineral Elements in Hilly-gully Area of Southern Ningxia

GUO Man¹, AN Shao-shan², CHANG Qing-rui¹, LI Bi-cheng²

(1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on field investigation and analysis, the soil minerals compounds and ferric oxide in hilly-gully area of Southern Ningxia were studied, including Shanghuang experimental area and Yunwu mountainous area. The results showed that the contents order of soil bulk mineral elements are $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} \approx \text{MgO} > \text{TiO}_2 > \text{MnO}_2$. Si, Al and Fe are evenly distributed in soil profile, Ca, Mg and K are not so even which are higher in up layer than suborder layer. It also showed that the soil genetic develop in the stage of physical weathering, the chemical weathering is not so strong. The total contents of ferric oxide didn't change so abruptly in different soil layers, which showed the Fe weathering was not so obvious.

Key words: hilly-gully area of southern Ningxia; total contents of soil mineral; characteristic of ferric oxide

宁南宽谷丘陵区隶属宁夏回族自治区固原地区, 地处黄土高原半干旱地区西部, 属中温带向暖温带过渡, 气候干旱, 立地类型多样。植被稀少, 水土流失严重, 侵蚀模数高达 $5\ 000 \sim 10\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$ 。土壤退化形式严峻, 极大地影响农业生产的发展。这次实验在固原上黄村和云雾山两个试区选择了不同地形和利用方式的典型土壤剖面 9 个, 按土壤发生层次分别采集原状土样, 分析研究其土壤中矿质元素含量在剖面层次上的分布状况及其三种形态的氧化铁(游离态氧化铁、活性氧化铁和络合态氧化铁)的分布特征, 以阐明该地区土壤分化发育状况与土壤退化状况。

1 研究区概况

1.1 上黄村概况

宁夏固原市位于黄土丘陵区泾河水系茹水河支流小川河的中游。下伏基岩为中生代砂岩(只在主河道少量出露), 第三

纪晚期红土和第四纪新老黄土先后堆积其上。地貌属黄土丘陵, 受古地形制约形成了宽谷和平缓沟间地的梁状丘陵的地貌格局。地势起伏, 高差悬殊。土壤为黄土母质上发育的黄绵土(也被称为细黄土)和淡黑垆土。总土地面积 $7.6\ \text{km}^2$ 。属温凉半干旱气候, 为灌丛草原景观。植被类型主要为柠条、山桃、山杏和天然草地, 农作物主要以小麦、玉米、荞麦为主^[1]。

1.2 云雾山概况

云雾山自然保护区位于宁夏固原县东北部, 地处祁连山地槽东翼与鄂尔多斯台西缘之间。居黄河流域的上中游, 黄土高原的中间地带。以石灰岩为主, 其次是红砂岩, 除个别山头岩石裸露外, 一般山体浑圆, 山坡平缓, 黄土层深厚。地势南低北高, 南坡平缓, 北坡较陡, 为黄土覆盖的低山丘陵区。云雾山的土壤可分为山地灰褐土和黑垆土两类。山地灰褐土主要分布在大小云雾山、尖山、堡子梁、蜗牛山等处及其山脚下, 即海拔 $1\ 999 \sim 2\ 148\ \text{m}$ 之间。其他地段土层较厚, 土质肥

¹ 收稿日期: 2004-12-20

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关课题(2001BA606A-04); 国家自然科学基金(40461006); 西北农林科技大学优秀人才专项基金(04ZX011)

作者简介: 郭曼(1979), 女, 陕西礼泉人, 研究生, 主要从事土地资源与信息技术方面的研究工作。

沃, 土壤呈淡褐色或棕褐色。黑垆土主要分布在 1 999 m 以下的丘陵梁岗一带及农田, 土壤剖面表层为浅灰棕色, 中部为浅灰褐色, 轻壤质地, 块状结构。该区处于中温带半干旱气候区, 具有典型的半干旱气候特征, 大陆性与季风性都很明显, 气候特点是干燥, 雨量少而集中, 蒸发强烈, 冬季长, 夏季短, 温差大, 日照长, 光能丰富, 冬春季风多, 无霜期较短。植被以丛生禾草长芒草为建群种的长芒草群系。^[2]

2 材料与方法

土壤矿质全量与氧化铁分析^[3]为: 土壤矿质全量测定, 碳酸钠熔融法灼烧重, 700℃灼烧, 恒重; SiO₂: 重量法; Al₂O₃: KF 取代 EDTA 容量法; TiO₂: 变色酸比色法; K₂O、CaO、MgO、Fe₂O₃、MnO₂: 原子吸收光谱法; 氧化铁测定^[4]。游离态氧化铁: 连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠浸提, 邻菲罗琳比色法; 活性氧化铁: 草酸-草酸铵缓冲液浸提, 邻菲罗琳比色法; 络合态氧化铁: 焦磷酸钠浸提, 邻菲罗琳比色法。

3 结果与分析

3.1 土体化学组成与分子比率分析

土壤的矿物质部分是土体的骨架, 占土壤固体部分的 95% 以上, 对土壤的性质有极大的影响。土壤和岩石一样是由多种元素所组成, 这些元素一般又以多种矿物而存在。土壤矿物质的化学组成与成土条件和成土过程密切相关, 分析土壤矿质全量的化学组成, 能够了解土壤的风化发育程度, 掌握矿质元素在剖面的迁移和变化, 阐明土壤化学性质在成土过程中的演变情况及土壤肥力背景状况。从分子比率硅铝铁率(Saf)、硅铝率(Sa)、硅铁率(Sf)可以说明土壤矿物的风化程度。土壤矿物质部分的组成很复杂, 就含量而言, 以氧、硅、铝、铁所占的比例最大, SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 构成土壤的骨干成分^[5]。

供试土壤土体化学组成及分子比率见表 3。从中可看出 SiO₂ 在土壤化学组成中占绝对优势, Al₂O₃ 的含量次之, 它们二者构成了土壤的主要成分, 约占土壤化学组成的 70% 以上, 其他氧化物也有相当量的分布, 但其含量明显低于 SiO₂ 和 Al₂O₃; 其中 K₂O、CaO、MgO、Fe₂O₃ 含量显著高于 TiO₂ 和 MnO₂。总的来说土体中化学组成元素的含量顺序依次为 SiO₂ > Al₂O₃ > CaO > Fe₂O₃ > K₂O ≈ MgO > TiO₂ > MnO₂。供试土壤各剖面的 SiO₂、Al₂O₃ 随深度的变化趋势不明显, 其含量较多、较稳定。Fe₂O₃ 含量在剖面层次上的波动范围也不大, 说明土壤铁的淋溶不是很强。CaO 含量较高, 并在 20~40 cm(B 层或 C 层)有富集现象, 并有向下淋溶淀积的趋势。MgO 和 K₂O 是易溶性盐类, 一般上层含量小于下层。TiO₂ 和 MnO₂ 是土壤中最不易变化的物质, 它们一般受土壤风化或退化的影响很小, 且其含量一般属微量的。MnO₂ 的含量最少, 但大都聚集在上层(A、B 层)稍高。

作为风化强度指标之一, 土壤的硅铝率(Sa)、硅铁率(Sf)和硅铝铁率(Saf)元素的含量更能说明问题; 同时, 分子比率在同一剖面的差异也可说明剖面中黏粒及铁、铝等物质的迁移和富积情况。从供试土壤来看, 各剖面都具有较高的硅铝率和硅铁率。该土壤中在剖面层次上硅铁率(Sf)变化幅度最大, 其次为硅铝率(Sa), 硅铝铁率(Saf)变化幅度不明显。说明该土壤原生矿物占相当的比重, 黏土矿物含量较低, 土壤发育程度弱。

因土壤类型有所不同, 供试土壤在化学组成方面呈现一定的差异。采集于上黄村的土样有 SH- 8、SH- 16。其中 SH- 8 属于淡黑垆土, 该剖面中的 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 含量较发育于黄绵土的其它剖面稍低, 说明 SH- 8 剖面土壤发育较好, 退化程度较弱。而属于黄绵土的 SH- 16 剖面其 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 含量都随深度的变化而降低, 表现为上层含量高于下层, CaO 的变化随深度呈波形变化, 大都在 B 或 C 层富集, MgO、K₂O 变化趋势小, 表现为上层高于下层。说明该土层退化现象较严重, 发育程度较弱。

云雾山的土样中 SiO₂ 和 Al₂O₃ 都随深度的增加而降低, SiO₂ 变化范围为 538.30~665.97 g/kg, Al₂O₃ 为 108.32~131.98 g/kg, 较上黄村的 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的含量高; Fe₂O₃ 变化范围为 41.49~49.26 g/kg, 且在层次上变化趋势不明显, 其 Fe₂O₃ 的淋溶较弱, 含量较上黄的低; CaO 在随深度变化呈递增趋势, 其 CaO 有向下淋溶淀积的趋势。CaO 含量较上黄村的低; MgO、K₂O、TiO₂ 和 MnO₂ 等含量低于上黄村, 说明云雾山土壤发育程度较好, 碳酸钙淋溶较强, 土壤有弱的化学风化现象。

表 1 土体矿质元素与分子比率

土样编号	深度/cm	全量硅	全量铝	全量钙	全量钾	全量铁	全量锰	全量钛	全量钪
SH- 8	0~20	587.62	27.54	96.74	26.73	44.37	0.90	5.84	127.95
	20~50	588.55	27.42	87.76	27.38	47.77	0.97	5.81	138.69
	50~80	588.76	28.09	96.64	28.41	49.45	0.92	5.87	131.19
	80~100	619.57	25.27	89.45	27.97	50.19	0.93	6.18	134.10
	100~200	619.53	26.64	91.64	28.05	52.74	0.99	6.33	139.97
SH-16	0~10	627.60	20.41	78.71	26.00	44.35	0.83	5.94	125.06
	10~40	604.56	22.74	102.31	25.11	44.07	0.81	5.53	119.54
	40~120	589.82	24.06	95.54	23.99	42.36	0.78	5.16	118.01
	120~200	614.44	25.64	99.73	24.41	42.28	0.80	7.53	119.47
YW- 1	0~30	650.83	22.58	57.98	27.90	49.01	0.90	5.95	131.01
	30~55	555.65	22.02	139.18	23.34	42.71	0.76	5.04	117.43
	55~85	538.30	23.61	120.56	24.46	44.76	0.76	5.26	108.32
	85~150	581.93	24.34	149.42	22.55	41.49	0.77	4.51	118.20
YW- 2	0~20	652.68	21.50	69.21	26.92	46.51	0.88	6.30	124.00
	20~60	661.38	22.27	62.78	27.52	47.40	0.89	6.31	127.02
	60~150	628.16	21.02	94.16	26.09	45.35	0.84	5.88	125.77
	150~200	602.91	21.33	106.04	24.45	42.92	0.78	5.41	119.99
YW- 4	0~40	665.97	22.58	48.66	28.50	46.95	0.92	6.35	128.75
	40~80	660.02	20.08	51.82	28.10	49.26	0.90	5.70	126.58
	80~130	646.48	19.38	62.23	27.62	46.64	0.84	5.86	125.96
	130~200	636.87	19.14	73.11	27.46	45.42	0.83	5.86	121.68
YW- 6	0~30	630.16	19.52	51.05	26.02	44.18	0.84	4.81	120.17
	30~60	636.96	19.46	72.71	25.69	45.42	0.81	5.37	118.69
	60~140	600.93	19.31	96.86	23.58	42.20	0.78	5.09	112.38
	140~200	621.73	19.56	88.00	24.16	42.92	0.80	5.15	114.31

3.2 土壤氧化铁特征分析

土壤中的氧化铁是由硅酸盐类矿物在地表特定水热条件下, 经过彻底风化作用形成的, 它的形态和各种性质, 是成土过程和成土环境的反映, 土壤中氧化铁的形态和活化、老化程度显示了土壤风化状况和成土过程的强弱。随着土壤风化发育的进行, 土体中的原生铝硅酸盐矿物晶格结构破坏, 释放出游离态氧化铁。活性铁一般不稳定, 极易发生迁移转化, 并逐渐脱水结晶老化, 形成针铁矿, 赤铁矿晶体。氧化铁的形态, 颗粒粗细以及是否以游离状态出现, 对土壤颜色有很大的影响, 土壤中的游离铁是禁锢在原生矿物中的铁在风化和成土过程中逐渐释放出来的铁的总和, 游离铁与土壤全铁的含量比值

称游离度,它是反映土壤成土条件和土壤风化发育程度的重要指标。土壤游离铁一般不稳定,风化初期常与水结合形成非晶质的活性铁,活性铁在土壤 pH、温度和水分的影响下会发生老化,活性铁与游离铁的比值为活化度,活化度曾成功地用于土壤发生分类中,淀积层(B 层)的研究及过渡层和灰化层的鉴别,由于土壤有机质的存在,游离铁亦可以与有机质结合形成络合铁,增强了其活动性。在相同类型的土壤中,络合铁的含量常与土壤有机质的含量呈正相关性。络合铁与游离铁的比值为氧化铁的络合度,络合铁的含量主要受温度和植被的影响。土壤中氧化铁来自母质的遗骸,主要是由成土过程中母质风化产物再沉淀而成。在不同的成土条件下,铁可以发生不同形态转化,离子态 W 非晶质 W 隐晶质 W 晶质,土壤发生得越好,形成的游离氧化铁越多^[6,7]。

表 2 土壤氧化铁形态特征

土样编号	深度/cm	全量铁/ (g·kg ⁻¹)	游离铁/ (g·kg ⁻¹)	活性铁/ (g·kg ⁻¹)	络合铁/ (g·kg ⁻¹)	游离度 /%	活化度 /%	络合度 /%
SH-8	A 0~20	44.37	5.56	0.69	0.38	12.54	12.33	6.87
	AB 20~50	47.77	5.86	0.73	0.37	12.26	12.43	6.29
	B 50~80	49.45	6.00	0.79	0.34	12.14	13.24	5.69
	C ₁ 80~100	50.19	5.98	0.70	0.38	11.92	11.62	6.43
	C ₂ 100~200	52.74	6.03	0.62	0.34	11.44	10.22	5.66
SH-16	A 0~10	44.35	5.61	0.67	0.23	12.65	12.01	4.12
	B 10~40	44.07	5.81	0.57	0.13	13.18	9.73	2.22
	C ₁ 40~120	42.36	5.73	0.54	0.1	13.52	9.49	1.78
	C ₂ 120~200	42.28	5.4	0.49	0.08	12.77	9.08	1.54
YW-1	A 0~30	49.01	6.57	0.77	0.34	13.42	11.73	5.24
	B 30~55	42.71	5.86	0.57	0.22	13.73	9.67	3.81
	BC 55~85	44.76	5.33	0.42	0.17	11.91	7.84	3.18
	C 85~150	41.49	5.73	0.63	0.22	13.8	11	3.75
YW-2	A 0~20	46.51	6.42	0.8	0.47	13.8	12.46	7.33
	AB 20~60	47.4	5.75	0.68	0.48	12.13	11.85	8.42
	B 60~150	45.35	5.55	0.68	0.43	12.24	12.17	7.67
	C 150~200	42.92	5.01	0.53	0.27	11.67	10.6	5.3
YW-4	A 0~40	46.95	5.38	0.69	0.28	11.46	12.78	5.25
	AB 40~80	49.26	5.77	0.76	0.34	11.72	13.15	5.92
	C ₁ 80~130	46.64	5.69	0.76	0.36	12.19	13.37	6.33
	C ₂ 130~200	45.42	5.75	0.73	0.4	12.66	12.7	7.02
YW-6	A 0~30	44.18	5.71	0.67	0.37	12.93	11.75	6.54
	AB 30~60	45.42	5.35	0.5	0.29	11.78	9.3	5.37
	B 60~140	42.2	5.41	0.62	0.14	12.82	11.38	2.53
	C 140~200	42.92	4.89	0.57	0.12	11.39	11.65	2.41

供试土壤三种形态的氧化铁及其相互关系见表 3,土壤的氧化铁全量含量变化不大,除剖面 YW- 1, SH- 6 外,各剖面氧化铁均有 B 层或 AB 层高于 A 层的现象,说明在 B 参考文献:

[1] 李壁成,焦峰,马小云. 固原上黄试区土地利用动态监测与分析评价[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 14- 21.
 [2] 宁夏云雾山草原自然保护区管理处. 宁夏云雾山自然保护区科学考察与管理文集[C]. 银川: 宁夏人民出版社, 2001. 1- 13.
 [3] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 237- 276.
 [4] 熊毅. 土壤胶体(第二册)[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 245- 268.
 [5] 雷梅. 太白山北坡土壤系统分类与分布研究[D]. 西安: 西北农业大学, 1998.
 [6] 雷梅,常庆瑞. 太白山土壤特性及氧化铁发生学特征[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 83- 90.
 [7] 朱祖祥. 土壤学(上、下册)[M]. 北京: 农业出版社, 1985.

层或 AB 层上氧化铁有富集的现象,这种趋势尤以淡黑垆土最为显著。

供试土壤剖面各层的游离铁含量均不高,含量较铁质特性的标准(≥ 20 g/kg Fe₂O₃)的变化范围低了许多,说明该土壤在风化发育和成土过程中释放的铁较少。其游离度均有上层的含量略高于下层的现象,这说明游离铁的淋溶不明显。从上黄村的三个剖面来看:淡黑垆土的 SH- 8 号剖面游离铁的含量较黄绵土的 SH- 16 剖面略高些,且随海拔的增高,含量越少;而云雾山各剖面的游离铁含量却甚无差别,随海拔高度变化很小。分别比较云雾山和上黄村各剖面的游离度在海拔上的变化,均可看出:随海拔高度的升高,氧化铁的游离度逐渐升高。各剖面中活性氧化铁的含量很少,显著低于游离铁,其活化度变化范围不大,在 7.84%~13.37% 之间波动,但活化度较大,表明活性氧化铁对游离铁贡献较大。

络合铁即与有机质结合的铁,亦属无定形物。供试土壤络合铁含量很微量,均不超过 0.5 g/kg,且多数剖面层次的含量不足 0.3 g/kg 这主要是由于该土壤的有机质含量较低的缘故(据有关数据表明,该土壤有机质含量均不高于 3%)。从实验过程也可看出有机质对络合铁含量的影响:属淡黑垆土的剖面 SH- 8 YW- 2 YW- 4 有机质含量高些(剖面颜色较深),所测得的络合铁含量高于其它剖面。该区土壤氧化铁络合度的变化范围较大,但其络合度均小于 9%。络合铁对游离铁贡献不大。

总之,供试土壤的所有剖面的氧化铁含量均不同,且释放的游离氧化铁较少。说明该地区的土壤风化发育的程度较弱。从各剖面来看,黑垆土中的各氧化铁含量最高,山地灰褐土次之,而黄绵土最少。这说明黄绵土的土壤退化程度最强,土壤风化发育得不好。从海拔高度看来,氧化铁全量和游离态氧化铁随海拔的升高而升高,其它形态的氧化铁均变化不明显。

4 结 论

研究区土壤矿质元素中 SiO₂ 占绝对优势, Al₂O₃ 的含量次之,它们二者构成了土壤的主要成分,约占土壤化学组成的 70% 以上,土体中化学组成元素的含量顺序依次为 SiO₂ >> Al₂O₃ > CaO > Fe₂O₃ > K₂O ≈ MgO > TiO₂ > MnO₂。淡黑垆土的 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 含量较发育于黄绵土的含量低,退化程度较弱。云雾山土壤发育程度较好,碳酸钙淋溶较强,土壤有弱的化学风化现象。

供试土壤剖面各层的游离铁含量均不高,说明该土壤在风化发育和成土过程中释放的铁较少。其游离度均有上层的含量略高于下层的现象,这说明游离铁的淋溶不明显。黑垆土中的各氧化铁含量最高,山地灰褐土次之,而黄绵土最少。这说明黄绵土的土壤退化程度最强,土壤风化发育得不好。