汉江与嘉陵江源区黄土的风化成土强度 及其在土壤系统分类中的归属

刘艳玲 庞奖励 黄春长 查小春 周亚利 王海鹏 王海燕 戎晓庆1

(陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119)

【摘 要】: 以汉江源区(李家河村)和嘉陵江源区(杨家山村)黄土剖面为研究对象,对其粒度、元素组成、团聚体等进行分析与对比,探究两地土壤成土强度与系统分类归属。结果表明两江源区的土壤风化成土特征级类明显不同:(1)两地土壤团聚体主要分布在 0.25~1mm 范围内,但汉江源区(LJH)土壤上部的大团聚体含量 R_{0.25}值(83.73%)、平均重量直径 MWD 值(2.17)和几何平均直径 GMD 值(1.11)均大于嘉陵江源区(YJS)的土壤(其 R_{0.25}值为 69.81%, MWD和 GMD 值分别为 1.06、0.47),团聚体稳定性更强,而剖面中下部则相反,土体稳定性弱于后者;(2)嘉陵江源区土壤的风化程度仅达到低等向中等强度过渡阶段,与其相比,汉江源区土壤的钾钠比值和残积指数较高、硅铝铁率和淋溶系数较低,钙、钠等易溶元素风化淋失更强,产生的富铝黏土矿物更多,达到中等风化强度,故后者风化成土强度远大于前者;(3)在土壤系统分类中,汉江源区黄土母质发育的土壤可归为斑纹简育湿润淋溶土,嘉陵江源区土壤可归为普通钙积干润淋溶土。

【关键词】: 汉江源区 嘉陵江源区 风化成土 土壤类型

【中图分类号】:P904【文献标识码】:A【文章编号】:1004-8227(2021)10-2482-10

汉江和嘉陵江都属于长江上游的重要支流,其源头均位于我国南北分界线——秦岭的南麓,属于亚热带和暖温带的交接地带,受到夏季风与冬季风交替控制,对于气候变化极为敏感,是许多学者重点关注的区域。土壤的形成演变受制于成土环境,其性状能很好反映自然环境特征。汉江与嘉陵江源区均分布有大量风成黄土,两地虽相距较近,但由于所处具体地理位置的差异,前者位于秦岭与大巴山之间(海拔约 481.5m),后者位于南秦岭山区(海拔约 1174.2m),气候存在显著的区域性差异,这也使得两地土壤的风化成壤特征存在差异,但对于这些成土差异的研究程度较低;且两地都位于南北过渡位置,土壤的发生发育与成壤演变具备典型的区域性特征,具有重要的研究价值;此外,黄土地层中土壤的形成和变化对中亚季风变迁的认识有重要意义。

中国土壤系统分类方案已建立许久,但将发生学积累的资料转化为系统分类资料远未完成^[1,2,3,4,5]。汉江与嘉陵江源区的土壤资料主要集中于发生分类,而其系统分类归属缺少应有的研究^[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]。在以往的研究中,黄土序列的成土强度与磁化率、元素组成、粒度大小等有明显响应关系,可依据这些参数进行剖面土壤层之间的对比,从而认识成土过程及土壤类型。因此,本文通过将李家河村(LJH)剖面、杨家山村(YJS)剖面作为研究汉江源区与嘉陵江源区土壤的典型剖面,旨在揭示两江源区土壤的风化成壤规律并对比剖析区域差异,同时凭借可靠证据指明它们在土壤系统分类中的归属,这既能弥补两江源区土壤在成土特点上的研究不足之处,对土壤成因分类具有一定的参考价值,同时也能为两区域的土地利用及规划提供相关依据。

^{&#}x27;作者简介: 刘艳玲(1996~), 女,硕士研究生,主要研究方向为土地利用与气候变化. E-mail: yanling_hn@163. com; 庞奖励, E-mail: jlpang@snnu. edu. cn

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41271108); 国家自然科学基金重点项目 (41030637)

1 材料与方法

1.1 研究区域

汉江自西向东穿行于秦岭与大巴山之间,其源区位于秦岭南侧的汉中盆地,属于北亚热带湿润季风气候区,气候温和湿润,降水充沛,年平均降水量 873mm,降雨集中在 5~10 月。光热资源丰富,无霜期长,年均日照总时数约 2000h,年平均气温约 14.5℃,年积温约 5000℃,无霜期 240d 左右,年干燥度为 $0.8 \sim 1^{[16]}$ 。主要土壤类型为黄褐土和黄棕壤(发生分类)[6]。

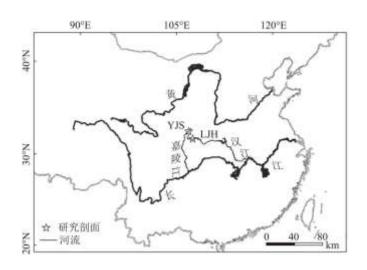


图 1 汉江与嘉陵江源区及研究剖面位置图

嘉陵江源区位于南秦岭的凤县、两当县一带,为暖温带半湿润山地气候,冬不严寒,夏无酷暑,小气候差异大,年平均降水量 613mm,降雨集中在 4~10 月。光热条件不足,年日照时数平均为 1840h,年平均温度约 11℃,年积温约 3400℃,无霜期 190d 左右,年干燥度约为 1.35^[17]。主要土壤类型为褐土和棕壤(发生分类)^[6]。

1.2 研究剖面

基于野外的详细调研,本文选择李家河村剖面和杨家山村剖面为研究对象。李家河村(LJH)剖面位于汉江源区,在汉江左岸一级阶地上(33°11′24″N,107°11′24″E),为砖厂取土形成的断面,剖面周边地势平坦,排水良好,长期栽种旱作农业,主要农作物有小麦、油菜、柑橘、樱桃等等。杨家山村(YJS)剖面位于嘉陵江源区(34°N,106°39′E),其土壤为覆于嘉陵江阶地上的风成堆积黄土,所在地面较平缓,外排水条件良好,长期种植旱作农业,农作物主要有油菜、苹果树等等。两剖面的特征详见表1。

1.3 研究方法

野外采样: 自剖面顶部往下每 2cm 连续采样, 其中李家河村剖面采到 178cm, 杨家河村剖面采到 110cm 深度。

样品自然风干后进行实验分析。石灰反应通过滴加盐酸(1:3)处理,观察其泡沫反应。磁化率值采用英国 Bartington 公司 生产的 MS-2B 型磁化率仪进行测量,3 次测量取平均值。色度测量将样品置于美国 X-rite 公司生产的非接触分光光度仪(VS450)下进行测量,测量 3 次取 L*、a*、b*的平均值,相对误差小于 2%。pH 值的测定使用上海雷磁公司生产的 PHSJ-4A 型实验室 pH 酸度计,采用水浸提法,液土比为 2.5:1。元素使用德国布鲁克 AXS 公司生产的 S8TIGER 型 X 射线荧光光谱仪进行测定,为保证

精度,加入了土壤标准参考样 GSS-8 和农业土壤成分分析标准物质 GBW(E)2 个标样,误差在 5%以下。烧失量测定使用箱式电阻 炉灼烧。粒度在美国 Beckman 公司生产的 LS13320 型激光粒度仪中进行测量,样品测量 3 次取均值。在土壤团聚体的测量中,采用 Yoder 的湿筛法,将样品置于 2、1、0.25 和 0.106mm 孔径筛中,使用土壤团聚体分析仪以 30 次/min 频率在水中震动 30min。

表 1 汉江源区和嘉陵江源区土壤剖面特征

剖面位置	发生 层	深度 (cm)	剖面形态特征
	Ар	0~10	浊棕色(7.5YR5/4),黏土粉砂质地,团粒结构,疏松多孔,大量根系发育,无石灰反应
	AB	10~30	浊橙色(7.5YR6/4),粉砂质地,团块状结构,比较均匀疏松,较多细孔隙,无石灰反应
汉江源区 (LJH)	Bt	30~140	红棕色(5YR4/6),黏土质地,棱块状结构,致密坚硬,结构面发育大量铁锰质胶膜和少量 铁锰结核,无石灰反应
	С	140~ 178	浊橙色(7.5YR7/4),粉砂质地,均质块状结构,较疏松,无石灰反应
	A	0~10	浊黄棕色(10YR5/4),粉砂质地,团粒结构,疏松多孔,有大量植物根系,呈中石灰反应
	AB	10~20	浊黄橙色(10YR6/4),粉砂质地,块状结构,疏松,有少量植物根系,呈中石灰反应
嘉陵江源区 (YJS)	Bt	20~78	浊棕色(7.5YR5/4),黏土粉砂质地,弱棱块状结构,紧实,结构面有黏粒胶膜淀积,呈中 石灰反应
(130)	Bk	78~100	浊黄橙色(10YR6/3),粉砂质地,块状结构,较疏松,有大量霜粉状碳酸盐,呈强石灰反应
	С	100~ 110	浊黄橙色(10YR6/4),粉砂质地,块状结构,疏松,呈强石灰反应

2 结果与分析

2.1 LJH与YJS剖面的主要理化性质(磁化率、色度、烧失量、pH)

实验数据显示(表 2、图 2),汉江源区和嘉陵江源区土壤的理化性质存在明显差异。磁化率与土壤风化成土过程中产生的铁磁性矿物颗粒密切相关。LJH 剖面的磁化率高值区出现在 $30\sim140\,\mathrm{cm}$,磁化率均值为 $124\times10^{-8}\,\mathrm{m}^3$ • kg⁻¹,而 YJS 剖面在 $20\sim78\,\mathrm{cm}$ 出现高值,磁化率均值为 $112\times10^{-8}\,\mathrm{m}^3$ • kg⁻¹,前者磁化率值远大于后者,说明 LJH 剖面存在更丰富的细小铁磁性矿物,受到的风化作用更强。

红度 a^* 值主要受控于致色矿物,即铁氧化物,黄度 b^* 值则与气温降水有关 $^{[18]}$ 。LJH 剖面的 a^* 和 b^* 平均值分别为 8.97、25.23,而 YJS 剖面的 a^* 平均值为 5.88, b^* 平均值为 18.89,远低于前者,这表明 LJH 剖面含有更多铁质氧化物,气候更暖湿。有机质与碳酸盐类对色度参数中的亮度 L*值有较大影响 $^{[19]}$ 。LJH 剖面中的 L*值为 $60.03\sim63.86$ (均值为 61.45),YJS 剖面 L*值为 $62.51\sim68.60$ (均值为 65.27),高于前者,这与 YJS 剖面中有机质含量较低和碳酸盐类含量较高有关。烧失量主要反映了土壤中的有机质含量,LJH 剖面烧失量均值为 $31.96g \cdot kg^{-1}(21.28\sim43g \cdot kg^{-1})$,YJS 剖面均值为 $25.72g \cdot kg^{-1}(19.63\sim31.35g \cdot kg^{-1})$,显然 LJH 剖面烧失量值更高,即富含更多有机质,而有机质与成壤过程中的生物活跃程度有关,这进一步表明 LJH 剖面可能受到更强烈的生

物化学风化作用。LJH 剖面 pH 为 6. 49 \sim 7. 13, 无石灰反应,而 YJS 剖面 pH 为 8. $10\sim$ 8. 34, 有强烈石灰反应,这表明 LJH 剖面碳酸盐基本淋失,YJS 剖面则分布有丰富碳酸盐,暗示前者较后者降水丰富。

表 2 汉江源区及嘉陵江源区土壤剖面主要理化性质

刘丕	4 24.11		色度		磁化率	烧失量	11	
剖面	发生层	L*	a*	b*	$(10^{-8} \cdot \text{m}^3 \text{kg}^{-1})$	(g • kg ⁻¹)	рН	
	Ар	60. 03	8. 16	24. 16	71	43.00	6. 49	
	AB	60. 41	9. 31	25. 26	112	34. 16	6. 86	
汉江源区(LJH)	Bt	61.49	9.50	25. 71	124	29. 41	7. 13	
	С	63.86	8. 93	25. 79	48	21. 28	7. 06	
	均值	61.45	8. 97	25. 23	89	31.96	6. 88	
嘉陵江源区(YJS)	A	64. 21	5.89	18.66	104	27. 35	8. 10	
	AB	62. 51	5.83	18. 27	110	31.35	8. 10	
	Bt	62. 61	6.09	18.84	112	27. 66	8. 16	
	Bk	68.60	5. 79	19. 20	72	22.62	8. 34	
	С	68. 44	5.83	19. 50	69	19.63	8. 20	
	均值	65. 27	5. 88	18. 89	93	25. 72	8. 18	

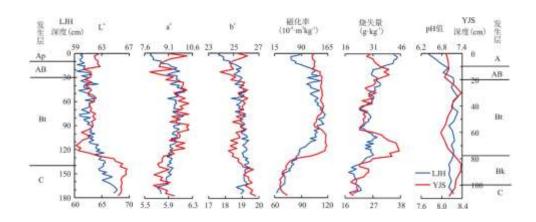


图 2 汉江与嘉陵江源区土壤剖面主要理化性质

注: 主要横坐标轴(上)表示 LJH 剖面数值,次要横坐标轴(下)表示 YJS 剖面数值.

2.2 粒度分布

土壤粒度极大程度受到成壤环境的影响,黏粒的形成及其迁移转化是土壤形成发育的重要表现^[20,21]。粒度分布显示(表 3),LJH 剖面黏粒含量主要在 5.83%~17.52%之间,其中在 30~140cm 土层(Bt),黏粒($\langle 2 \mu m \rangle$)含量达各层中的最大值(17.52%),是其上部 Ap~AB 层(6.48%)的 2.7倍,其下部 C 层(7.73%)的 2.27倍;该层占全剖面总黏粒含量的 0.46,高于其上层(9.17)和下层(9.20),即此土层黏粒含量显著高于相邻土层。黏粒与粉粒部分的比例(9.17)以及映了剖面中黏粒的富集程度,LJH 剖面 Kd 值在 Bt 层出现最高值,平均为 9.22,而上部土层(9.17)。和下部土层(9.17)。现成小于该层,这说明黏粒部分所占的比例在该层有所增加。平均粒径(9.17)。反映了土壤中粒度粗细的整体状况,Bt 层 Mz 值仅为 9.170。20,m,远小于其上部土层(9.181。和下部土层(9.181。和下部土层(9.181。和下部土层(9.181。和下部土层(9.181),表明该层颗粒总体偏细。

YJS 剖面黏粒含量在 7.12%~13.73%之间,其中在 20~78cm 土层(Bt),黏粒($\langle 2 \mu m \rangle$)含量达最大值(13.73%),是其相邻上部 A~AB层(9.11%)的 1.51 倍,其下部 Bk~C层(7.92%)的 1.73 倍;该层黏粒占全剖面黏粒含量的 0.21,高于其上层(0.14)和下层(0.12);Kd值在此层平均为 0.18,同样高于其上部(0.12)和下部土层(0.11);Bt层 Mz值仅为 18.3 μ m,明显小于其上层(21.88 μ m)和下层(26.75 μ m),以上皆说明黏粒在此层次呈现显著的聚集特征。

表 3 汉江源区与嘉陵江源区土壤剖面粒度特征(%)

剖面	发生层	黏粒<2μm	粉粒 2~50 μ m	砂粒 50~1000 μ m	平均粒径 Mz(μm)	黏粒/粉粒 Kd
	Ар	7. 14	82. 59	10. 26	22. 66	0.09
	AB	5. 83	71. 50	22. 68	31.70	0.08
汉江源区(LJH)	Ap~AB	6. 48	77. 05	16. 47	27. 18	0.08
	Bt	17. 52	77. 99	4.49	13. 26	0. 22
	С	7. 73	76. 83	15. 44	25. 65	0.10
	A	9. 12	77. 01	13. 87	20.83	0.12
	AB	9. 11	75. 25	15. 64	22. 94	0.12
	A∼AB	9. 11	76. 13	14.75	21.88	0.12
嘉陵江源区(YJS)	Bt	13. 73	78. 03	8.24	18. 30	0.18
	Bk	8. 73	76. 30	14. 98	24. 63	0.11
	С	7. 12	72. 73	20. 15	28. 88	0.10
	Bk∼C	7. 92	74. 52	17. 56	26. 75	0.11

粒度累积分布曲线是由粒度值累积含量百分比数制成,能更好地反映不同剖面土壤粒度整体的粗细状况与分选特征。据图 3 可知,两剖面的粒度累积曲线皆呈 "S"形,5~50μm颗粒(粉砂)增加较多,为优势组分,土壤在沉积之前经过了充分混合并在风力搬运过程中被很好地分选,但二者也存在显著差异性。LJH 剖面粒度曲线形态较偏左, "S"形陡,斜率更大,指示了此剖面的粒度颗粒较细,分选性较好。YJS 剖面累积曲线相对靠右, "S"形缓,斜率较小,指示了此剖面土壤粒径较粗,分选性相对较差。说明黄土沉积之后,与 YJS 剖面相比,LJH 剖面土壤在成土过程中的硅铝酸盐类矿物分解出更多细小黏粒,全剖面总体颗粒更细,暗示其受到更强烈的淋溶分解作用。

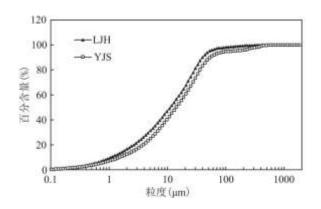


图 3 汉江源区与嘉陵江源区土壤剖面粒度累积分布曲线

2.3 元素分布

土壤中元素的分布与迁移受到土壤发育过程中黏化、盐类淋溶等作用的影响^[22,23,24,25]。从常量元素的分布(表 4)可以看出,LJH与 YJS 剖面中常量元素的种类相同(SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、MgO、CaO、Na₂O),并且含量相对较为接近(CaO 除外),其中以 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 占较大比重,其平均值范围分别为 SiO₂(512.51~669.52g • kg⁻¹)、Al₂O₃(116.39~154.71g • kg⁻¹)、Fe₂O₃(42.95~58.13g • kg⁻¹)。LJH 剖面 CaO 含量均值仅为 10.35g • kg⁻¹,而 YJS 剖面中 CaO 含量较高,其均值达 107.76g • kg⁻¹,这与土壤中大量富集碳酸盐有关。

土壤中的各元素由于其本身性质不同,造成淋溶迁移和富集的差异 $^{[22]}$ 。LJH 剖面土壤常量元素中较稳定的元素含量 $(SiO_2 为 654.30 \sim 669.52g \cdot kg^{-1}, Al_2O_3 为 148.83 \sim 154.71g \cdot kg^{-1}, Fe_2O_3 为 54.59 \sim 58.13g \cdot kg^{-1}, K_2O 为 24.75 \sim 26.11g \cdot kg^{-1})$ 均高于 YJS 剖面 $(SiO_2 为 512.51 \sim 554.98g \cdot kg^{-1}, Al_2O_3 为 116.39 \sim 127.52g \cdot kg^{-1}, Fe_2O_3 为 43.00 \sim 47.54g \cdot kg^{-1}, K_2O 为 21.56 \sim 23.82g \cdot kg^{-1})$,而其中较活泼的元素含量 $(MgO 为 17.03 \sim 18.46g \cdot kg^{-1}, CaO 为 9.39 \sim 11.23g \cdot kg^{-1}, Na_2O 为 9.49 \sim 10.58g \cdot kg^{-1})$ 均低于 YJS 剖面 $(MgO 为 21.34 \sim 22.60g \cdot kg^{-1}, CaO 为 91.90 \sim 129.52g \cdot kg^{-1}, Na_2O 为 12.12 \sim 13.17g \cdot kg^{-1})$ 。同时将两剖面的常量元素与上部陆壳 (UCC) 平均化学成分比较也可发现(Sg 4),LJH 剖面中稳定的 (Se_2O_3) 出现轻微富集(1.14),相对易淋溶的 (Se_2O_3) 和 (Se_2O_3) 不同程度的亏损,其中 (Se_2O_3) 和 (Se_2O_3) 为 (Se_2O_3) 和 (Se_2O_3) 和 (

表 4 汉江源区与嘉陵江源区土壤剖面常量元素

剖面	发生层	SiO ₂ (g • kg ⁻¹)	Al ₂ O ₃ (g • kg ⁻¹)	Fe ₂ O ₃ (g • kg ⁻¹)	K ₂ O (g • kg ⁻¹)	MgO (g • kg ⁻¹)	Ca0 (g • kg ⁻¹)	Na ₂ O (g • kg ⁻¹)
	Ар	656. 58	149.60	55. 80	24. 75	17.03	11.23	10. 58
汉江源区(LJH)	AB	654. 30	154. 71	58. 13	25. 20	18.08	10.67	9. 76
	Bt	658. 98	153. 93	57. 61	26. 11	18. 46	10. 12	9. 85
	С	669. 52	148. 83	54. 59	25. 73	17. 26	9.39	9. 49
嘉陵江源区(YJS)	A	543. 93	125. 22	47. 05	23. 43	22.60	100. 22	12. 12
	AB	551.92	127. 04	47. 54	23. 70	22. 26	95. 64	12. 24

Bt	554. 96	127. 52	47. 28	23. 82	21.98	91.90	12.66
Bk	512. 51	116. 39	42. 95	21. 56	21.34	129. 52	12.89
С	521.63	118. 15	43. 43	21.85	22. 18	121. 53	13. 17

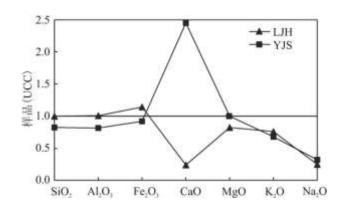


图 4 汉江源区与嘉陵江源区土壤常量元素平均含量的 UCC 标准化值变化特征

2.4 团聚体分布

团聚体一般分为大团聚体 (>0. 25mm) 和微团聚体 (<0. 25mm) 两类,其中大团聚体含量 ($R_{0.25}$)、平均重量直径 (MWD) 和几何平均直径 (GMD) 常用来表征团聚体稳定性,其值越高,说明土壤结构越稳定 [126]。实验结果 (表 5) 显示,两个剖面的土壤团聚体主要分布在 0. 25~1. 00mm 范围内,其中 LJH 剖面团聚体含量在此粒径范围内占 43. 69%, YJS 剖面占 44. 16%。LJH 剖面上部 (30 cm 以上) 团聚体的 $R_{0.25}$ 值为 83. 73%, MWD 和 GMD 值分别为 2. 17、1. 11, 而在 YJS 剖面上部 (20 cm 以上) 的数值明显较低, $R_{0.25}$ 值为 69. 81%, MWD 和 GMD 值分别为 1. 06、0. 47, 这说明 LJH 剖面上部土体结构稳定性强于 YJS 剖面。LJH 剖面中下部 (30 cm 以下) 团聚体的 $R_{0.25}$ 值为 63. 73%, MWD 和 GMD 值分别为 0. 51、0. 31, 而 YJS 剖面中下部 (20 cm 以下) 的 30 的 30 值相对较高 (30 66. 36%), MWD 值 (30 0. 93) 和 GMD 值 (30 0. 43) 也显著高于 LJH 剖面,这表明 LJH 剖面中下部土体结构稳定性弱于 YJS 剖面,与剖面上部土体稳定性相反。

表 5 汉江源区李家河村及嘉陵江源区杨家山村剖面土壤团聚体含量(%)

	土层			R _{0. 25}		GMD				
剖面		大团聚体(>0.25)					微团聚体(<	MWD		
		>2	1~2	0.5~1	0.25~0.5	0.106~0.25	<0.106			
汉江源区(LJH)	上部	34. 03	17. 76	19. 17	12. 77	4.61	11.66	83. 73	2. 17	1. 11
	中下部	1. 26	7.03	24. 63	30.80	15. 30	20.98	63. 73	0.51	0.31
	均值	17.64	12.40	21.90	21.78	9. 95	16. 32	73. 73	1.34	0.71
嘉陵江源区(YJS)	上部	11.82	12.77	20. 03	25. 20	10.60	19. 59	69.81	1.06	0.47
	中下部	8. 96	14. 31	20. 02	23. 07	13. 45	20. 18	66. 36	0.93	0.43

均值 10.39 13.54 20.02 24.14 12.03 19.88 68.	9 1.00	0. 45
--	--------	-------

3 讨论

3.1 风化成壤特征

在风化过程中,K/Na 能够指示长石矿物的风化强弱^[22,25],由于斜长石比钾长石风化速率强,Na 的流失更多,而 K 离子半径较大,易被黏土矿物吸附而滞留,所以 K/Na 比值随风化增强而增大。由图 5a 可以看出 LJH 剖面中钾钠比值在 2.34~2.71,而 YJS 剖面在 1.66~1.94,明显较低,这说明前者 Na 元素淋溶迁移更明显,即风化程度更强。硅铝铁率反映了 Fe、A1 元素的富集程度(图 5b), LJH 剖面硅铝铁率为 3.02~3.23(均值为 3.11), YJS 剖面为 3.16~3.25(均值为 3.19),大于前者,说明 LJH 剖面相对更富集 Fe、A1 元素。淋溶系数通过活动性元素和稳定性元素组分的关系来反映盐基的淋溶状况(图 5c), LJH 剖面淋溶系数(0.29~0.31)显著小于 YJS 剖面 (1.00~1.41),表明前者 Ca、Na 易溶元素淋溶程度更强,残积指数可衡量成土母质的风化强度,并与之成正相关(图 5d), LJH 剖面残积系数(5.29~5.63)远大于 YJS 剖面 (0.99~1.39),表明 LJH 剖面的黄土母质所受风化更强。

CIA 值能够指示土壤所处的风化阶段,其值在 50~65 反映寒冷干燥环境下发生的低等化学风化,在 65~85 反映温暖、湿润的环境下发生的中等风化程度,在 85~100 反映在炎热、潮湿的环境条件下的强烈化学风化^[27]。YJS 剖面的 CIA 值在 63.80~65.81,处于低等风化向中等风化的过渡阶段,而 LJH 剖面 CIA 值在 70.81~72.24,表明处于中等风化阶段,比 YJS 剖面(嘉陵江源区)气候更为暖湿。A-CN-K 图(即 A1₂0₃-Ca0*+Na₂0-K₂0)能较好地预测风化过程中主成分和矿物变化的趋势^[28], LJH 与 YJS 剖面在图中的投影位置说明(图 6),两剖面均远离 UCC,与 A-CN 线平行,反映二者均经历了斜长石脱 Ca、Na 过程,逐步形成富集 A1 元素的蒙脱石、伊利石等黏土矿物,但均尚未脱 K 或 K 为微弱迁移,皆未达到富集高岭石的强风化阶段。但是,LJH 剖面更接近于A 点,暗示其 Ca、Na 元素的丢失率高于 YJS 剖面,风化产生的白云母、蒙脱石和伊利石等黏土矿物也多于 YJS 剖面。

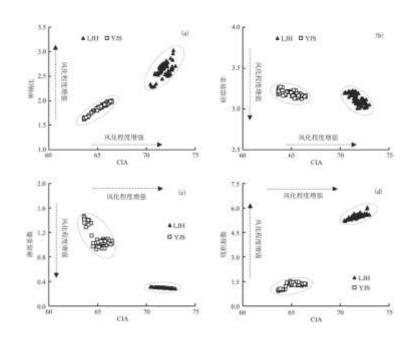


图 5 汉江源区和嘉陵江源区土壤的 CIA 值与钾钠比(a)、硅铝铁率(b)、淋溶系数(c)、残积指数(d)的相关性

注: 钾钠比=K₂O/Na₂O;硅铝铁率=SiO₂/(Fe₂O₃+Al₂O₃);淋溶系数=(CaO+K₂O+Na₂O)/Al₂O₃;残积指数=(Fe₂O₃+Al₂O₃)/(MgO+CaO+Na₂O); CIA=[Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO*+K₂O+Na₂O)]×100. 上述分析显示,土壤理化性质与地球化学参数指示的风化成土强度一致,皆表明汉江源区土壤经历了斜长石强烈风化以及铁铝元素微富集的中等风化过程,而嘉陵江源区土壤处于弱风化末期中等风化初期,其斜长石风化过程淋失的 Ca、Na 元素少于前者,故汉江源区土壤风化成土强度明显高于嘉陵江源区土壤。同时也可看出东亚夏季风所带来的水热对汉江源区土壤(年均降水量 873mm, 年均温 14.5℃)影响更为强烈,对嘉陵江源区土壤(年均降水量 613.2mm, 年均温 11.4℃)影响相对微弱,此差异主要与两区域所处海拔及周边地形相关。

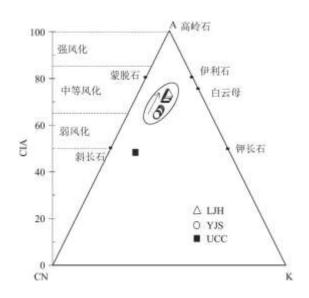


图 6 汉江源区与嘉陵江源区土壤 A-CN-K 图

3.2 汉江和嘉陵江源区的土壤类型归属

诊断层是土壤系统分类的基础^[29]。LJII 剖面的中部(30~140cm)呈现显著的黏化特征: (1) 典型棱块状结构,黏土质地,土体致密坚硬,土壤孔隙壁与结构面上发育有大量黏粒胶膜和铁锰质胶膜,并出现铁锰结核; (2) 与其上下土层相比,呈现典型暗红棕色(5YR3/4),较高的红度 a*(9.5);(3) 此层黏粒含量(17.52%)相对于其上覆淋溶层(6.48%)绝对增量达 11.04%,黏粒明显聚集。以上特征可将该土层划分为黏化层(Bt),据此,LJII 剖面可归为淋溶土。该剖面位于北亚热带湿润季风气候区,植被为常绿阔叶与落叶阔叶混交林,多年平均降水量 873mm,年均日照总时数约 2000h,年均温约 14.5℃,年积温约 5000℃,年干燥度为 0.8~1,属于热性土壤,具有湿润土壤水分状况,这符合湿润淋溶土亚纲规定的成土因素特征,故又可划分为湿润淋溶土。剖面中没有漂白层和黏磐,风化未达到富铝、铁程度,土体呈弱酸性(pH>5.5),这可将其归为简育湿润淋溶土;此外,其母质为黄土,无石质接触面,土体中出现硬质铁锰结核,故可归为斑纹简育湿润淋溶土。

YJS 剖面的中部 (20~78cm) 出现显著黏粒淀积现象: (1) 弱棱块状结构,黏土粉砂质地,土体紧实,有黏粒胶膜淀积; (2) 与其上下土层相比,为浊棕色 (7.5YR5/4),有较高的红度 a*(6.09);(3) 粒度分析显示,此层黏粒含量 (13.73%) 相对于其上覆淋溶层 (9.11%) 的绝对增量为 4.62%。以上特征可将此土层划分为黏化层 (Bt),由此可将 YJS 剖面归为淋溶土。YJS 剖面的成土环境为: 暖温带半湿润山地气候,暖温带落叶阔叶林植被,年平均降水量 613.2mm, 年均温约 11.4℃, 年积温约 3400℃, 年干燥度约为 1.35。由此可知,此剖面为温性土壤,具有半干润水分状况,这符合干润淋溶土亚纲中对成土环境规定的土壤温度与水分条件,可进一步划分为干润淋溶土。YJS 剖面在其下部 (78~100cm) 出现碳酸钙淀积现象: (1) 土层厚度大于 15cm(为 22cm),土质疏松,未出现胶结和硬结现象,土体呈碱性 (pH 约为 8.34);(2) 成土母质为黄土,含有碳酸盐,且在此层出现大量粉霜状碳酸盐淀积,呈强烈石灰反应; (3) 土壤中 CaO 由剖面上部向下淋溶淀积,其含量在该层显著升高 (129.52g•kg⁻),为相邻上部土层 (91.90g•kg⁻)的

1.4 倍,同时 L*值(68.6)也升高。以上均表明碳酸钙在该层淋溶淀积形成钙积层(Bk),这符合钙积干润淋溶土类的特征,划分为钙积干润淋溶土,土壤中未出现氧化还原特征,故归为普通钙积干润淋溶土。

4 结论

汉江源区与嘉陵江源区土壤成土特征有明显不同:

- (1) 两地土壤团聚体主要分布在 0. 25~1mm 范围内,汉江源区(LJH)土壤上部(30cm 以上)的 R_{0.25}值(83. 73%)、MWD 值(2. 17) 和 GMD 值(1. 11)均大于嘉陵江源区(YJS)上部土壤(20cm 以上),团聚体稳定性更强,而剖面中下部(30cm 以下)则相反,其 R_{0.25}值为 63. 73%, MWD 和 GMD 值分别为 0. 51、0. 31,小于嘉陵江源区(YJS)中下部土壤(20cm 以下),团聚体稳定性较弱。
- (2) 嘉陵江源区土壤风化仅达到低等向中等强度过渡阶段,与其相比,汉江源区土壤钾钠比值和残积指数较高、硅铝铁率和 淋溶系数较低,钙、钠元素风化淋溶更强,产生的富铝黏土矿物更多,达到了中等风化强度,故后者风化成土强度远大于前者。
- (3)在土壤系统分类中,汉江源区黄土母质发育土壤具有 Ap-AB-Bt-C 土体剖面构型,可归为斑纹简育湿润淋溶土,嘉陵江源区黄土母质发育土壤具有 A-AB-Bt-Bk-C 剖面构型,归为普通钙积干润淋溶土。

参考文献:

- [1] 龚子同,张甘霖,陈志诚,等.土壤发生与系统分类[M].北京:科学出版社,2007:1-626.
- [2] 鞠兵,吴克宁,李玲,等,河南省典型土系的特定土层特征与分类研究[J].土壤学报,2016,53(1):48-57.
- [3]曲潇琳,龙怀玉,谢平,等.宁夏地区典型灰钙土的发育特性及系统分类研究[J].土壤学报,2018,55(1):75-87.
- [4] 翁昊璐,慈恩,连茂山,等.重庆市黄壤的成土特点与系统分类研究[J].土壤学报: 2020,57(3):579-589.
- [5]安红艳, 龙怀玉, 刘颖, 等. 承德市坝上高原典型土壤的系统分类研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(3):448-458.
- [6]郭兆元. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992:68-110.
- [7]郭云峰, 冯立孝. 陕南黄棕壤、黄褐土诊断特征及诊断指标的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1992, 20(4): 24-30.
 - [8] 周华茂,徐盛荣,朱克贵. 对黄棕壤和黄褐土分类诊断指标的讨论[J]. 土壤通报,1989,20(5):193-195,204.
 - [9] 庞奖励,黄春长,查小春,等.汉江上游郧县一级阶地发育土壤的诊断层特征及分类[J].土壤学报,50(6):1082-1089.
 - [10]常庆瑞,冯立孝,雷梅.汉中盆地土壤分类研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),1997(1):54-58.
- [11] 张俊民,徐盛荣,吴克宁.汉中盆地主要土壤的诊断特征和系统分类[M]//中国土壤系统分类新论.北京:科学出版社,1994:268-275.

- [12]周华茂,徐盛荣,朱克贵.我国北亚热带黄土母质发育的土壤成土过程特点[J].南京农业大学学报,1991,14(1):47-53.
- [13] 冯立孝, 肖俊章. 模糊聚类法在陕南黄棕壤、黄褐土分类上的应用[J]. 土壤通报, 1992, 23(3):108-110.
- [14] 黄承武,徐盛荣,朱克贵. 我国北亚热带酸性母质发育的土壤的基本属性与分类问题[J]. 土壤,1989,(2):85-88.
- [15] 庞奖励, 黄春长, 周亚利, 等. 汉江上游谷地全新世风成黄土及其成壤改造特征[J]. 地理学报, 2011, 66(11):1562-1573.
- [16]陕西师范大学地理系. 汉中地区地理志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1981.
- [17]凤县志编纂委员会编. 凤县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1994.
- [18] SUN Y B, HE L, LIANG L J, et al. Changing color of Chinese loess: Geochemical constraint and paleoclimatic significance [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 40(6):1131-1138.
 - [19]何柳,孙有斌,安芷生.中国黄土颜色变化的控制因素和古气候意义[J].地球化学,2010,39(5):447-455.
- [20] 乔彦松,郭正堂,郝青振,等.中新世黄土-古土壤序列的粒度特征及其对成因的指示意义[J].中国科学(D 辑:地球科学),2006,36(7):646-653.
 - [21] 俞震豫. 粘化作用及其在土壤分类中的意义[J]. 土壤通报, 1985, 16(4):164-168.
 - [22]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.
 - [23] 陈旸, 陈骏, 刘连文. 甘肃西峰晚第三纪红粘土的化学组成及化学风化特征[J]. 地质力学学报, 2001, 7(2):167-175.
- [24]陈骏,安芷生. 刘连文,等. 最近 2.5 Ma 以来黄土高原风尘化学组成的变化与亚洲内陆的化学风化[J]. 中国科学(D 辑:地球科学), 2001, 31(2):136-145.
- [25]乔彦松,赵志中,王燕,等. 川西甘孜黄土-古土壤序列的地球化学演化特征及其古气候意义[J]. 科学通报,2010,55(3): 255-260.
 - [26] 卢金伟, 李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1):81-85.
 - [27] 冯连君,储雪蕾,张启锐,等.化学蚀变指数及其在新元古代碎屑岩中的应用[J].地学前缘,2003,10(4):539-543.
 - [28]毛沛妮,庞奖励,黄春长,等.汉江上游黄土常量元素地球化学特征及区域对比[J].地理学报,2017,72(2):279-291.
- [29]中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组,中国土壤系统分类课题研究协作组著. 中国土壤系统分类索[M]. 第三版. 合肥:中国科学技术大学出版社,2001:1-275.