

不同水热条件下水耕人为土诊断层特性的动态模拟

徐祥明^{1,2}, 何毓蓉^{1*}

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 四川 成都 610041; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 选取我国西南地区典型的水耕人为土剖面, 模拟不同的水热条件, 研究其诊断层土壤特性 (HI, EC) 的动态变化, 并分析其与其他土壤理化性质的相关性。结果表明: (1) 在不同的温度下, 土壤的 HI 值有变化, 但变化不显著。土壤的 EC 变化比较大, 随着温度的升高, 土壤的 EC 增大。(2) 水耕熟化和发育程度较高的水耕人为土的电导率较高 (土壤呈强碱性的除外), 水耕表层的电导率比氧化还原层高。(3) 土壤特性 (HI, EC) 与土壤粘粒含量呈正相关关系。(4) 不同水热条件下水耕人为土土壤 HI 电导率动态变化特征, 可用动态变化函数方程进行拟合。研究结果对土壤系统分类定量指标建立有一定参考意义。

关键词: 水耕人为土; 水热条件; 诊断层; 土壤特性; 动态模拟

中图分类号: S155.4⁺²

文献标识码: A

水耕人为土是我国重要的土壤资源, 我国是最早研究水耕人为土的国家之一^[1]。目前, 国内外对水耕人为土的研究主要集中在时间序列的形成演化过程、土壤地球化学元素、土壤粘粒矿物等方面^[2-9]。中国土壤系统分类在世界上率先将水耕人为土作为一个独立的亚纲, 并提出将水耕表层和水耕氧化还原层作为水耕人为土的诊断层。我国的水耕人为土分类研究在国际上处于领先地位, 并得到了国际同行的认可^[7, 8]。

水耕人为土具有特殊的形成演化过程。主要处在人工淹水条件下, 具有独特的土壤水热状况^[1], 因此土壤的水热条件影响着水耕人为土的形成演化过程, 从而影响诊断层的土壤特性。目前水耕人为土诊断层特性的研究多是静态的研究, 缺乏对诊断层土壤特性动态变化的认识。

为了深化理解水耕人为土诊断层的形成演化过程, 以及选取诊断层的诊断指标, 作者选取了我国西

南地区几类不同熟化或发育程度的典型水耕人为土, 系统研究了水耕人为土的诊断层的基本理化性质, 结构水稳定性的动态变化、粘土矿物特征、土壤结构性与分形特征、微形态和超微形态特性等^[9-14]。本文模拟不同水热条件, 研究水耕人为土典型剖面主要诊断层的土壤特性 (选取 HI 和电导率) 的动态变化及其影响因素, 对进一步认识水耕人为土诊断层的形成演化过程, 以及在土壤系统分类中有关定量诊断指标的建立都有一定意义。

1 材料与方法

1.1 区域概况及采样方法

依据西南地区的农耕历史特点, 选择具有悠久植稻历史的典型地区作为研究样区, 以不同熟化和发育程度的典型水耕人为土剖面作为研究对象。

三星堆遗址位于四川省广汉市中西部, 104°10'

收稿日期 (Received date): 2010-03-11; 改回日期 (Accepted): 2010-05-29.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-409). [This work was supported by Knowledge Innovation Program of CAS (KZCX2-YW-409).]

作者简介 (Biography): 徐祥明, 男, 广西贺州人, 博士研究生, 主要从事土壤地理和土壤微形态研究. [Xu Xiangming, male, born in Guangxi P.R., major in pedogeography and soil micromorphology] E-mail: xmjns2007@163.com

通讯作者 (Corresponding author): 何毓蓉 [He Yurong] E-mail: yrf@indep.cn

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

~104°12'E 31°03'~31°05'N海拔 455~515 m,亚热带湿润气候,年均温 17.8℃,年降水量 890.8 mm,年平均相对湿度 82%,年均无霜期 281 d。可见当地的自然地理条件非常适宜于水耕农业。在此选择 5 个剖面,剖面 GS0702、GS0917 的水耕熟化和发育程度较低,剖面 GS0701、GS0705、GS0916 的水耕熟化和发育程度较高,采样区域概况以及样点的其他情况见文献^[10-12]。花溪区位于贵州省贵阳市,106°40'16"E 26°26'47"N 海拔 1 050~1 150 m,属于亚热带高原性季风气候特点,温和湿润,雨量充沛,年均降雨量 1 200 mm 左右,年平均温度 15.3℃,最热月(7月)平均温度 24℃,最冷月(1月)平均温度 4.6℃,光、热、水同季,相对湿度大,无霜期 270 d 左右,自然条件非常适合于水耕农业。在此选择 2 个剖面,剖面 GH0814 的水耕熟化和发育

程度较低,剖面 GH0815 的水耕熟化和发育程度较高。研究区域概况以及样点的其他情况见文献^[13-14]。

典型剖面主要诊断层的剖面形态特征及其基本理化性质见表 1。

实验方法

1 土壤特性动态模拟实验:风干土壤过筛,取细粒土壤(<2 mm)放于烧杯中,分别在不同温度下(20℃、30℃、35℃)培养,间隔时间段(2、4、6、8…20)使用 pH 仪、电导仪测定土壤溶液中 pH、电导率的变化。

2 实验室常规分析方法测定土壤基本理化性质,其中有机质用重铬酸钾法,pH 用电极法,水土比为 1:1,颗粒组成使用简易比重计法,容重使用经典烘干法^[15-17]。

表 1 土壤剖面诊断层特征及基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of diagnostic horizon

剖面 Profile No.	土层 Horizon	深度 Depth (cm)	土色(干态) Color(Dryness)	有机质 Organic Matter (g/kg)	颗粒组成(g/kg 粒径: mm) Particle size distribution			pH
					2~0.05	0.05~0.002	<0.002	
GS0701	A	0—5	灰黄棕 10YR 5/2	30.9	589	252	159	5.71
	P	5—12	浊黄棕 10YR 5/3	15.7	717	132	151	6.76
	B	12—26	灰黄 2.5YR 7/2	6.8	524	112	364	7.15
GS0702	A	0—15	灰黄 2.5Y 6/2	20.8	817	45	138	5.74
	P	15—23	浊黄 2.5Y 6/3	14.4	791	100	109	7.17
	B	23—40	浊黄 2.5Y 6/4	9.5	797	84	119	7.23
GS0705	A	0—20	暗灰黄 2.5Y 5/2	32.7	371	414	215	6.45
	P	20—32	灰黄 2.5Y 6/2	15.9	410	373	217	7.79
	B	32—64	黄灰 2.5Y 5/1	11.9	336	343	321	7.91
GH0814	A	0~15	浊黄 2.5Y 6/4	7.2	108	414	478	7.35
	P	15~40	浊黄 2.5Y 6/4	10.2	58	413	529	7.77
	B	40~58	黄棕 2.5Y 5/6	7.1	71	412	517	7.74
GH0815	A	0~20	黄棕 2.5Y 5/6	6.6	220	385	395	7.58
	P	20~31	黄棕 2.5Y 5/6	5.4	223	419	358	7.71
	B	31~43	黄橙 10YR 7/8	5.1	327	413	260	7.71
GS0916	A	0~15	暗灰黄 2.5Y4/2	30.6	228.37	548.21	223.42	5.62
	P	15~30	暗灰黄 2.5Y5/2	15.8	239.52	495.97	264.52	6.82
	B	30~60	黑棕 2.5Y3/1	11.8	201.68	432.95	365.37	7.00
GS0917	A	0~18	暗灰黄 2.5Y4/2	18.4	553.64	389.03	57.33	5.90
	PB	18~30	灰黄 2.5Y6/2	12.3	584.99	357.76	57.24	6.35
	BC	30~60	灰黄 2.5Y7/2	7.6	635.58	327.57	36.85	6.33

2 结果与分析

水耕人为土诊断层土壤特性动态特征

在 20℃浸水培养过程中, 水耕人为土诊断层水耕表层 (A层) 的土壤特性 (pH、EC) 随时间而出现动态变化, 不同的地区、不同熟化程度的水耕人为土变化过程和趋势不同, 见图 1 和图 2。四川广汉三星堆的水耕人为土 (GS0916、GS0917、GS0705、GS0702、GS0701) 的土壤特性 (pH) 随时间出现逐渐增高的趋势。而贵州花溪的水耕人为土 (GH0814、GH0815) 的土壤特性 (pH) 动态曲线变化较前者, 随时间先是逐渐增加, 到一定时间 (4 d) 后保持不变或稍有降低。水耕人为土水耕表层 (A层) 的土壤特性 (EC) 的动态曲线变化较小, 随时间增加, 在第 4 或 6 d 达到最大值, 然后稍有降低或保持不变。

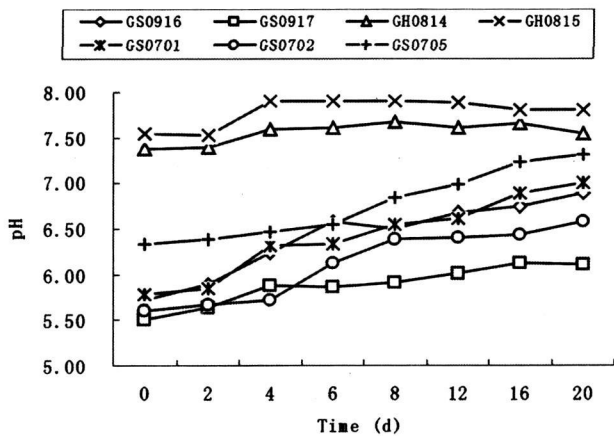


图 1 水耕人为土 A 层土壤特性 (pH) 动态特征

Fig. 1 Dynamic change feature of soil property (pH) in A horizon

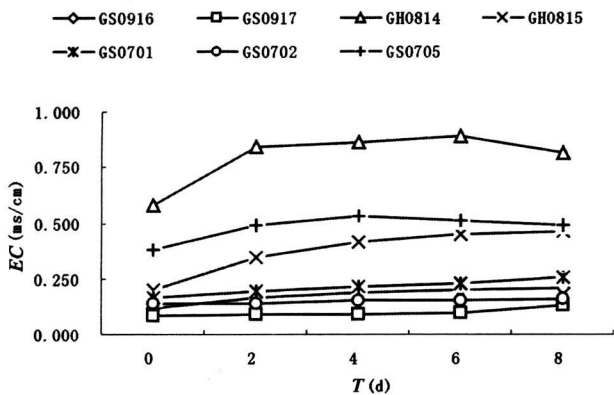


图 2 水耕人为土 A 层土壤特性 (EC) 动态特征

Fig. 2 Dynamic change feature of soil property (EC) in A horizon

诊断层土壤特性动态函数方程

西南地区水耕人为土诊断层土壤特性的时间动态实验, 表明土壤在浸水过程中, 土壤特性随时间而变化。其动态过程可用多项式方程拟合 (部分样品的变化过程还可以直线方程模拟)。本文暂称为土壤特性动态函数方程, 其相关系数 (R 值) 都达到极显著水平 (表 2 与 3)。因此能够以方程式定量的表达水耕人为土诊断层土壤特性的时间变化; 同时本文研究的水耕人为土发育程度、水耕熟化程度有较大差别, 其土壤特性动态特征表现出明显差异。因此可根据土壤特性动态函数方程的有关参数, 比较土壤特性的变化。如斜率低的一般来说其土壤特性比较稳定, 变化较小; 截距值较高的, 一般其土壤特性的值较大。

不同水热条件下土壤特性比较

比较不同水热条件下土壤特性 (pH、EC) 变化, 结果见图 3 与 4。在不同的温度下, 土壤的 pH 值有变化, 但变化不显著。土壤的 EC 变化比较大, 随着温度的升高, 土壤的 EC 增大, 例如, 样品 GS0916 在 20℃下培养时, 它的 EC 是 0.124 ms/cm, 30℃下增大到 0.168 ms/cm, 而 35℃时增到 0.188 ms/cm。

表 2 水耕人为土水耕表层 pH 动态变化函数方程

Table 2 Functional equations of dynamic change of pH in anthropogenic epipedon

土壤样品	函数方程	R ²
GS0916	$y = 0.1631x + 5.6711$	0.909
GS0917	$y = 0.0838x + 5.5054$	0.911
GH0814	$y = -0.0154x + 0.1682x + 7.1946$	0.866
GH0815	$y = -0.022x + 0.2342x + 7.2923$	0.778
GS0701	$y = 0.1765x + 5.6218$	0.960
GS0702	$y = -0.0085x + 0.2308x + 5.2918$	0.928
GS0705	$y = 0.011x + 0.0555x + 6.2361$	0.976

表 3 水耕人为土水耕表层电导率动态变化函数方程

Table 3 Functional equations of dynamic change of EC in anthropogenic epipedon

土壤样品	函数方程	R ²
GS0916	$Y = 0.0208x + 0.1125$	0.878
GS0917	$Y = 0.0039x - 0.0132x + 0.0953$	0.934
GH0814	$Y = -0.048x + 0.3386x + 0.31$	0.942
GH0815	$Y = 0.1662 \ln(x) + 0.2148$	0.971
GS0701	$Y = 0.0209x + 0.1474$	0.992
GS0702	$Y = 0.0042x + 0.1353$	0.845
GS0705	$Y = -0.0229x + 0.1621x + 0.246$	0.960

不同熟化和发育程度的水耕人为土特性比较

对不同熟化与发育程度的水耕人为土电导率的情况进行比较(图5)发育程度高的剖面(GS0705、GS0702、GS0916)的土壤电导率整体上要高于发育程度低的剖面(GS0702、GS0917),这是因为土壤电导率与土壤综合肥力有显著相关性^[18-21]。水耕熟化和发育程度较高的水耕人为土,其有机质、腐殖质、盐基离子等增多,土壤肥力较高,因而电导率相应也较高。贵阳花溪的两个剖面比较,没有明显规律。这是因为这两个剖面形成于喀斯特山区,土壤中碳酸盐很多,呈强碱性,此时电导率不能表征其土壤综合肥力。此外,由图中可以看出,水耕人为土不同诊断层的电导率有明显差别,一般来说,电导率随着剖面深度增加而减小,水耕表层的电导率要高于犁底层和氧化还原层的电导率。这与上下层土壤熟化程度和肥力高低的不同特征吻合。

诊断层土壤特性动态与土壤理化性质关系

对水耕人为土土壤特性动态变化与土壤基本理化性质进行相关分析,见表4和表5结果表明,土壤pH与土壤的粘粒含量($<0.002\text{ mm}$)呈极显著正相关,与土壤电导率呈极显著或显著正相关,与土壤的砂粒含量($2\sim0.05\text{ mm}$)以及有机质含量呈极

显著或显著负相关关系,与粉粒含量($0.05\sim0.002\text{ mm}$)以及土壤容重没有相关性。

土壤EC与土壤的粘粒含量($<0.002\text{ mm}$)呈极显著正相关,与土壤酸碱度呈极显著或显著正相关,与土壤的砂粒含量($2\sim0.05\text{ mm}$)呈极显著或显著负相关,淹水6 d后,与土壤有机质呈显著负相关关系,与粉粒含量($0.05\sim0.002\text{ mm}$)以及土壤容重没有相关性。

3 结 论

水耕人为土诊断层的土壤特性研究,长期以来都是以一静态测定值进行衡量,这显然与实际情况有较大的差距。针对此问题,本文进行了不同水热条件下土壤特性(pH、EC)的时间动态变化实验研究。主要得出以下结论:

1. 在不同的温度下,土壤pH值有所变化,但变化不显著。土壤EC变化比较大,随着温度的升高,土壤EC增大。

2. 水耕熟化和发育程度较高的水耕人为土的电导率较高(土壤呈强碱性的除外),不同诊断层土壤EC不同,一般熟化程度和肥力高的水耕表层比氧

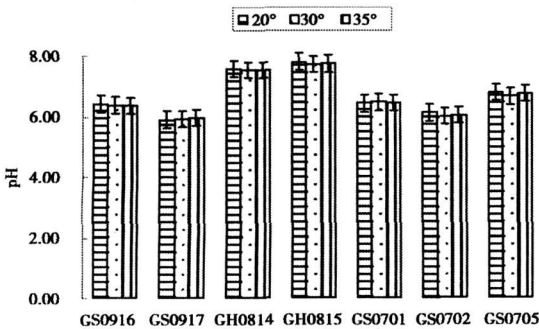


图3 不同水热条件下土壤特性(pH)的比较

Fig. 3 Comparative study of soil property (pH) under different temperatures

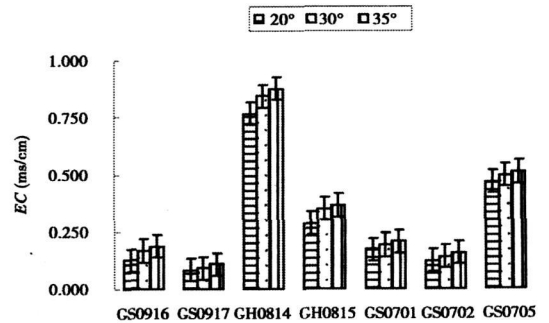


图4 不同水热条件下土壤特性(EC)的比较

Fig. 4 Comparative study of soil property (EC) under different temperatures

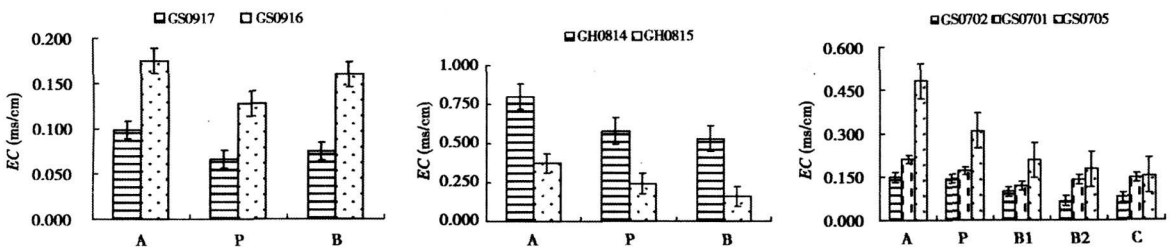


图5 不同熟化与发育程度水耕人为土土壤特性(EC)的比较

Fig. 5 Comparative study of soil property (EC) in different degrees of anthrostatic maturation and development

表 4 土壤特性 (pH)与土壤理化性质的相关分析

Table 4 Correlative analysis between soil property (pH) and physical and chemical characteristics

测定时间	有机质	砂粒	粉粒	粘粒	容重	电导率
0	-0.787(**)	-0.727(**)	0.277	0.935(**)	0.113	0.745(**)
2	-0.800(**)	-0.761(**)	0.323	0.945(**)	0.126	0.744(**)
4	-0.794(**)	-0.785(**)	0.374	0.929(**)	0.297	0.671(*)
6	-0.871(**)	-0.780(**)	0.339	0.959(**)	0.205	0.647(*)
8	-0.814(**)	-0.705(**)	0.227	0.952(**)	0.120	0.703(**)
12	-0.790(**)	-0.741(**)	0.290	0.946(**)	0.123	0.693(*)
16	-0.671(*)	-0.735(**)	0.305	0.919(**)	0.126	0.743(**)
20	-0.641(*)	-0.695(*)	0.278	0.881(**)	0.124	0.676(*)

* P<0.05 ** P<0.02

表 5 土壤特性 (EC)与土壤理化性质的相关分析

Table 5 Correlative analysis between soil property (EC) and physical and chemical characteristics

测定时间	有机质	砂粒	粉粒	粘粒	容重	pH
0	-0.336	-0.572(*)	0.212	0.743(**)	-0.383	0.649(*)
2	-0.461	-0.673(*)	0.288	0.831(**)	-0.291	0.746(**)
4	-0.490	-0.692(*)	0.296	0.857(**)	-0.258	0.782(**)
6	-0.528(*)	-0.713(**)	0.307	0.879(**)	-0.216	0.802(**)
8	-0.537(*)	-0.722(**)	0.314	0.888(**)	-0.170	0.825(**)

* P<0.05 ** P<0.02

化还原层土壤 EC高。

3. 土壤特性 (pH-EC)与土壤粘粒含量呈正相关关系。

4. 建立了不同水热条件下,水耕人为土土壤特性 (pH-电导率)随时间的动态变化的函数方程。不同土壤类型及不同肥力特征的土壤特性动态变化函数方程有明显差别。因此可为量化土壤系统分类建立一新的诊断指标提供实验基础。但还有待深入研究。

致谢: 参加采样和研究工作还有贺秀斌研究员、唐家良博士、王艳强硕士、沈南硕士、周红艺博士等。

参考文献 (References)

[1] Li Qingkui Paddy Soils in China [M]. Beijing Science Press 1992 i~ iii 3 ~545 [李庆远. 中国水稻土 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. i~ iii 3 ~545]

[2] Mizota C, Canasop M A, Wada K. Clay mineralogy and some chemical properties of Ap horizons of Ando soil used for paddy rice in Japan [J]. Geoderma 1982 27(3): 225 ~ 237

[3] Egashira K, Fujii K, Yamasaki S, et al Rare earth element and cations of paddy soils from the central region of Mekong River Laos [J]. Geoderma 1997 78(3-4): 237 ~249

[4] Zhang G L, Gong Z T. Pedogenic evolution of paddy soils in different landscapes [J]. Geoderma 2003 115(1-2): 15 ~29

[5] Prakongkep N, SuddhPrakam A, Kheouenrannne J, et al The geochemistry of Thai Paddy soils [J]. Geoderma 2008 144(1-2): 310 ~324

[6] Cheng Y Q, Yang L Z, Cao Z H, et al Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils [J]. Geoderma 2009 151(1-2): 31 ~41

[7] Gong Zitong et al Chinese Soil Taxonomy-Theory · Method · Practice [M]. Beijing Science Press 1999 [龚子同, 等. 中国土壤系统分类——理论 · 方法 · 实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1999]

[8] Gong Zitong Zhang Ganlin Chen Zhicheng et al Pedogenesis and soil taxonomy [M]. Beijing Science Press 2007 37 ~ 39 240 387 ~ 394 [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: 37 ~ 39 240 387 ~ 394]

[9] Shen Nan, He Yurong, Xu Xiangming et al Dynamic Study on Water Stability of Soil Structure and Soil Characteristics of Several Types of Soils in Southwest China [J]. Wuhan University Journal of Natural Science 2008 13 (3): 336 ~ 342

[10] He Yurong Xu Xiangming Wu Xiaojun et al Diagnostic horizons characteristics and forming processes of ancient Stagnic Anthrosoles Case study on Sanxingdui site Guanghan Sichuan province [J].

- Journal of Mountain Science 2008 26 (6): 672~677 [何毓蓉, 徐祥明, 吴晓军, 等. 古水耕人为土诊断层的特性与形成过程——以广汉三星堆遗址水耕人为土为例 [J]. 山地学报, 2008 26 (6): 672~677]
- [11] He Yurong, Xu Xiangming, Liu Li. Soil properties and SEM features of diagnostic horizon of Stagnic Anthrosols in southwestern China [J]. Journal of Mountain Science 2009 27 (6): 727~734 [何毓蓉, 徐祥明, 刘黎. 西南地区水耕人为土诊断层土壤特性 SEM特征 [J]. 山地学报, 2009 27(6): 727~734]
- [12] He Yurong, Huang Chengmin, Xu Xiangming et al. Micromorphological features of Paleo-Stagnic Anthrosols at archaeological site of Sanxingdui, China [J]. Journal of Mountain Science 2008 5 (4): 358~366
- [13] Xu Xiangming, He Yurong. Fractal characteristics of Stagnic Anthrosols and the relationship with soil micro structure [J]. Agricultural Sciences in China 2009 8(5): 605~612
- [14] Xu Xiangming, He Yurong. Micromorphological features of diagnostic horizon in several soils in southwest China: Implication for soil taxonomic classification [J]. Journal of Mountain Science 2010 7 (1): 73~82
- [15] Liu Guangsong. Soil Physical and Chemical Analysis Description of Soil Profiles [M]. Beijing: Standards Press of China 1996 [刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1996]
- [16] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science. Soil Physical and Chemical Analysis [M]. Shanghai: Science Press in Shanghai 1978 [中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海科学出版社, 1978]
- [17] Department of Soil Physics, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science. Method of Soil Physical Properties [M]. Beijing: Science Press 1978 [中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法 [M]. 科学出版社, 1978]
- [18] Rhoades J D, Chandu V E, Lesch S. Soil salinity assessment [J]. FAO Irrigation and Drainage Papers 1999 57: 3
- [19] Yu Tianren, He Qun. Relationship between electrical conductivity and fertility of paddy soils [J]. Acta Pedologica Sinica 1959 (7): 145~158 [于天仁, 何群. 水稻土的电导率与肥力的关系 [J]. 土壤学报, 1959 (7): 145~158]
- [20] Zhou Hongyi, He Yurong, Zhang Baohua et al. Electrical conductivity and fertility evaluation of Stagnic Anthrosols in the typical region of upper reaches of the Yangtze river [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences 2003 16 (1): 86~89 [周红艺, 何毓蓉, 张保华, 等. 长江上游典型区土壤电导率与肥力评价 [J]. 西南农业学报, 2003 16(1): 86~89]
- [21] Deng Lianji, Gao Xuesong, Jing Yunyi et al. Study on electrical conductivity and fertility evaluation of purple soil in the hilly region of Sichuan basin [J]. Journal of Sichuan University 2007 44 (4): 883~886 [邓良基, 高雪松, 敬芸仪, 等. 四川盆地丘陵区紫色土电导率与肥力评价探讨 [J]. 四川大学学报, 2007 44 (4): 883~886]

Dynamic Change of Soil Properties in Diagnostic Horizon of Stagnic Anthrosols under Different Hydrothermal Condition

XU Xiangming², HE Yurong

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The dynamic changes of soil properties (pH and EC) in diagnostic horizon under different hydrothermal condition and the correlation with the other physical and chemical properties were studied by selecting typical profiles of Stagnic Anthrosols in southwestern China. The results indicated that (1) Soil property (pH) changed slightly but not markedly under different temperature. Soil property (EC) increased with the raise of temperature. (2) Soil electrical conductivities were higher relatively in higher degree of anthrostagnic maturation and development (except strongly alkaline soils). The electrical conductivities of anthrostagnic epipedon were higher than hydragric horizon. (3) Soil properties (pH and EC) were positively correlated with content of soil clay. (4) Functional equation could be used to fit the dynamic changes of soil properties (pH and EC) under different hydrothermal condition.

Key words: Stagnic Anthrosols; soil property; hydrothermal condition; dynamic change