

# 黄土地区影响土壤膨胀性的因子分析

张同娟<sup>1</sup>,王益权<sup>1</sup>,刘 军<sup>1</sup>,李建波<sup>1</sup>,高会议<sup>1</sup>,张希来<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2 陕西省国土资源厅土地整理中心,陕西 西安 710054)

**[摘要]** 为了探讨影响黄土地区土壤结构稳定性的机理,对黄土高原几种典型土壤类型的膨胀率进行了测定,系统分析了颗粒组成、碳酸钙含量以及有机质含量对土壤膨胀性的影响。结果表明,颗粒组成是影响土壤膨胀性的主要因子,土壤膨胀率与粉砂粒及粘粒含量呈显著正相关关系,并且粘粒对土壤膨胀性具有双重作用;土壤膨胀性与碳酸钙含量呈显著负相关关系,经脱钙处理后土壤膨胀率增加,增幅在 14.47%~36.92%;土壤膨胀性与有机质含量相关性不明显,但去除有机质后土壤膨胀率明显增加,增幅在 12.24%~62.99%,说明有机质对土壤膨胀性实际上也有着极为明显的抑制作用。

**[关键词]** 黄土地区;土壤膨胀性;颗粒组成;碳酸钙含量;有机质含量

**[中图分类号]** S152.4

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2007)06-0185-05

## Factors influencing swelling of soils in Loess Plateau

ZHANG Tong-juan<sup>1</sup>,WANG Yi-quan<sup>1</sup>,LIU Jun<sup>1</sup>,

LI Jian-bo<sup>1</sup>,GAO Hui-yi<sup>1</sup>,ZHANG Xi-lai<sup>2</sup>

(1 College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shanxi 712100, China;

2 Land Resource Consolidation Center of Shanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** The swelling rate of several typical soils in Loess Plateau was measured and the influence of particle fraction, content of CaCO<sub>3</sub> and organic matter on soil swelling rate was analyzed in order to probe into the mechanism of soil structure stability. The results showed that the soil particle fraction was one of the most important influential factors on soil swelling rate, the maximum of soil swelling rate showed significantly positive correlation with silt particle and clay content (<0.02 mm), and showed significantly negative correlation with the content of CaCO<sub>3</sub>, and the soil swelling rate increased after removing CaCO<sub>3</sub>, the increase range is 14.47% - 36.92%, of which the clay particle had double effects on soil swelling rate. The influence of organic matter on soil swelling rate was not obvious in appearance from the analysis of correlation, but the soil swelling rate increased after removing soil organic matter, the increase range, is 12.24% - 62.99%, which showed that soil organic matter significantly restrained the soil swelling rate.

**Key words:** Loess Plateau; soil swelling rate; soil particle fraction; CaCO<sub>3</sub> content; organic matter

膨胀性是土壤重要的物理性质指标之一<sup>[1]</sup>。黄土地区土壤结构稳定性普遍很差,这与其物质组成和所处的自然环境条件有着直接的关系,而土壤膨胀性就是这两个因素的综合表现形式。影响土壤膨胀性的因素很多,就土壤的固相物质组成而言,有粘

土矿物的类型、粘粒含量、交换性阳离子组成以及有机质含量等<sup>[2]</sup>。土壤颗粒组成是影响土壤一系列性质的物质基础,多数研究认为,土壤膨胀是由于土壤胶体,尤其是粘粒部分的水化作用所引起的<sup>[3-5]</sup>。仇荣亮等<sup>[6]</sup>对中国西南部变性土的研究表明,高含量

†收稿日期] 2006-10-20

[基金项目] 张同娟(1981-),女,河南驻马店人,在读硕士,主要从事土壤结构研究。

[作者简介] 王益权(1957-),男,陕西旬邑人,教授,博士生导师,主要从事土壤物理与改良研究。

的粘粒是发生膨胀和收缩的物质基础。McCormack 等<sup>[7]</sup>研究表明,土壤粘粒含量尤其是细粘粒含量与土壤胀缩性明显相关。碳酸钙的固结作用和  $\text{Ca}^{2+}$  的库仑力使水分子难以充分进入矿物晶层之间,在土壤结构形成与其稳定性方面起着明显的胶结作用<sup>[4,8-9]</sup>。关于土壤有机质含量与土壤膨胀性的关系,研究结果各异。有研究指出,土壤膨胀性与土壤有机质含量无任何相关性<sup>[3]</sup>;也有研究表明,有机质对土壤膨胀有抑制作用<sup>[10]</sup>;还有研究指出,在质地类型相同的情况下,有机质含量与土壤膨胀性呈极显著正相关<sup>[11]</sup>。尽管前人对影响土壤膨胀性的

因素有一定研究,但对黄土地区很少涉及,并且黄土地区土壤结构稳定性与其物质组成有着直接关系。为此,本研究以黄土高原几种典型土壤为研究材料,探讨了影响黄土地区土壤膨胀性的各个物质因素,以期表层土壤结构改善寻求科学的管理措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

供试土壤样品分别于 2005-09 采自黄土地区的陕西杨凌、乾县、合阳、旬邑和安塞的农田和果园,其基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本概况

Table 1 Properties of tested soils

土样编号 Sample No.	采样地点 Site	土壤类型 Type of soils	采样深度/cm Depth	农业利用 状况 Using condition	粘粒/ % ( $<0.002$ mm) Clay content	物理性 粘粒/ % Physical clay content	颗粒/ % ( $<0.02$ mm) Particle content	碳酸钙/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) $\text{CaCO}_3$	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) OM
1	杨凌 Yangling	壤土 Lou soil	0~20	农田 Farmland	40.15	59.95	78.86	108.13	10.93
2	杨凌 Yangling	壤土 Lou soil	20~40	农田 Farmland	36.33	59.41	79.38	12.38	5.71
3	乾县 Qianxian	壤土 Lou soil	0~20	农田 Farmland	21.93	42.04	62.63	127.30	9.75
4	乾县 Qianxian	壤土 Lou soil	20-40	农田 Farmland	31.55	48.29	64.16	122.39	9.14
5	乾县 Qianxian	壤土 Lou soil	0~20	农田 Farmland	20.42	42.26	60.64	102.24	10.96
6	乾县 Qianxian	壤土 Lou soil	20-40	农田 Farmland	34.58	49.44	70.80	98.93	8.44
7	乾县 Qianxian	黑垆土 Heilu soil	0~20	果园 Orchard	25.60	50.16	71.95	100.15	15.06
8	乾县 Qianxian	黑垆土 Heilu soil	20~40	果园 Orchard	52.83	70.77	91.19	101.48	9.94
9	合阳 Heyang	黑垆土 Heilu soil	0~20	农田 Farmland	30.04	51.88	71.36	94.33	15.34
10	旬邑 Xunyi	黑垆土 Heilu soil	0~20	农田 Farmland	31.03	50.18	66.89	87.21	15.29
11	安塞 Ansai	黄绵土 Loess soil	0~20	农田 Farmland	22.14	25.73	36.82	91.24	2.28

### 1.2 样品处理

1.2.1 土壤样品处理 土样经自然风干后,研磨过 2 mm 筛,备用。

1.2.2 去除碳酸钙处理 为了证实碳酸钙对土壤膨胀性的影响,从风干土样中取出一定量的样品放入烧杯中,先用 0.2 mol/L 盐酸处理,然后倒入布氏漏斗,用 0.05 mol/L 稀盐酸反复淋洗,以去除土壤中的碳酸钙,去除效果用草酸铵进行检验,直至淋洗液中无钙离子淋出为止,然后再用蒸馏水反复淋洗土壤中的氯离子,并用硝酸银鉴定无氯离子淋出为止,将处理的土壤样品经风干后过 2 mm 筛,备用。

1.2.3 去除有机质处理 为了准确证明有机质对土壤膨胀性的影响,从风干土样中取出一定量的样品放入高脚烧杯中,加入 6% 双氧水,氧化土壤中的有机物质,移去上部清液,经反复多次处理,直至无  $\text{CO}_2$  气泡产生为止,将处理后的土壤样品经风干过 2 mm 筛,测定原土样(对照)和去除有机质后土样(处理)的膨胀率。

### 1.3 土壤基本理化性状的测定

用吸管法测定供试土壤的颗粒组成<sup>[3]</sup>,用气量

法测定土壤的碳酸钙含量<sup>[12]</sup>,用丘林法测定土壤有机质含量<sup>[12]</sup>。

### 1.4 土壤膨胀率的测定

用瓦氏膨胀仪(结构如图 1)测定土壤膨胀率。

将测试土样按容重  $1.30 \text{ g/cm}^3$  装入环刀内,样品厚度为 10 mm,依照图 1 将仪器安装好后,在盛水盒里加入蒸馏水,借助于毛管吸力作用使土壤吸水膨胀,前 15 min 内每隔 0.5 min 记录 1 次千分表读数,此后每隔 1 min 记录 1 次读数,直至千分表的读数不变为止,此时土壤膨胀量达到最大值,然后依据式(1)和(2)计算膨胀率:

$$V = \frac{h}{h_0} \times 100, \quad (1)$$

$$h = R_t - R_0. \quad (2)$$

式中:  $V$  为  $t$  时刻土壤膨胀率(%),  $h$  为  $t$  时刻土壤膨胀的增量(mm),  $h_0$  为膨胀前环刀内土壤样品厚度(mm),  $R_t$  为  $t$  时刻千分表的读数(mm),  $R_0$  为试验开始时(即未经膨胀时)千分表读数(mm)。

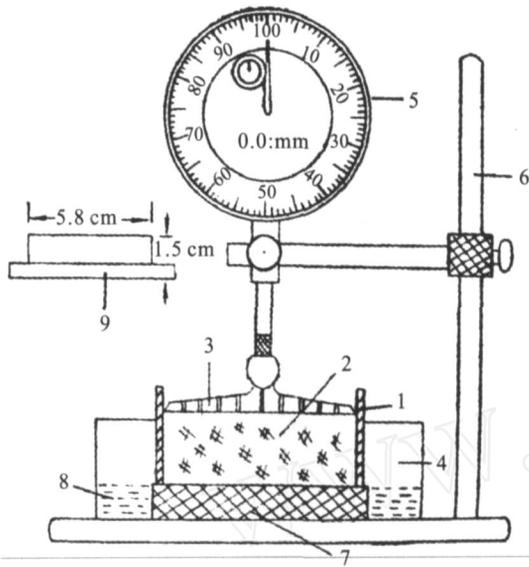


图 1 瓦氏膨胀仪构建图

- 1. 环刀; 2. 土样; 3. 带孔活塞板; 4. 盛水盒; 5. 千分表;
- 6. 支架; 7. 透水石; 8. 水; 9. 推土器

Fig.1 Abridged general view of expansimeter

- 1. Cutting ring; 2. Sample; 3. Plunger; 4. Water container;
- 5. Dial indicator; 6. Bracket; 7. Dank stone; 8. Water; 9. Pusher

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤颗粒组成对土壤膨胀性的影响

从图 2~4 可以看出,随土壤 < 0.002 mm 粘粒含量的增加,土壤膨胀率呈明显的增大趋势,其关系呈极显著对数相关;土壤膨胀率与土壤物理性粘粒含量和 < 0.02 mm 颗粒含量呈极显著幂函数相关。在粉砂粒及其以下的粒径范围内,土壤膨胀率与小于该粒径颗粒含量呈明显递增正相关关系;而超过

此粒径范围,土壤颗粒含量与土壤膨胀性无明显的相关性。以上研究结果表明,土壤粘粒含量越高,其膨胀性越强,影响黄土地区土壤膨胀性的因子不仅是粘粒,而且土壤中粉砂粒含量对土壤膨胀性也有一定的影响。

粘粒对土壤膨胀性有正负双重效应,一方面它是土壤产生膨胀性的物质基础,对土壤膨胀率有促进作用,显示出正效应;另一方面由于它粘结了土壤颗粒,又限制了土壤发生膨胀,显示出负效应。在较大粒径范围内,土壤膨胀率与小于该粒级颗粒含量呈极显著幂函数关系,增幅递增明显,说明土壤中小颗粒对土壤膨胀率的贡献较大;在较小粒径范围内,土壤膨胀率与粘粒含量呈极显著对数相关,增幅递减,说明粘粒含量增加对土壤膨胀的限制作用更突出。

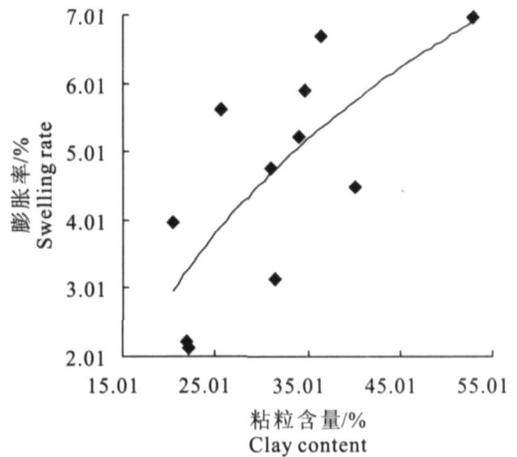


图 2 粘粒含量与土壤膨胀率的关系

Fig.2 Effect of clay content on soil swelling rate

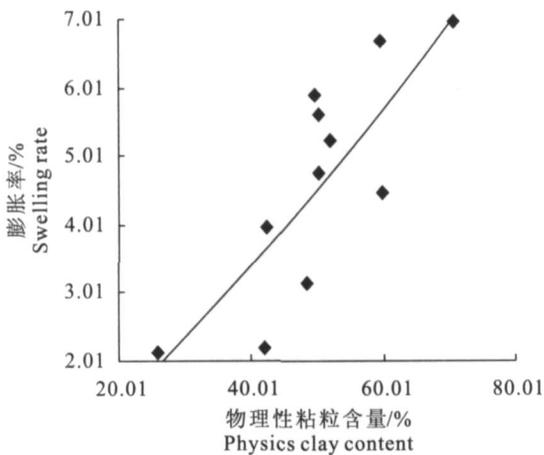


图 3 物理性粘粒含量与土壤膨胀率的关系

Fig.3 Effect of physics clay content on soil swelling rate

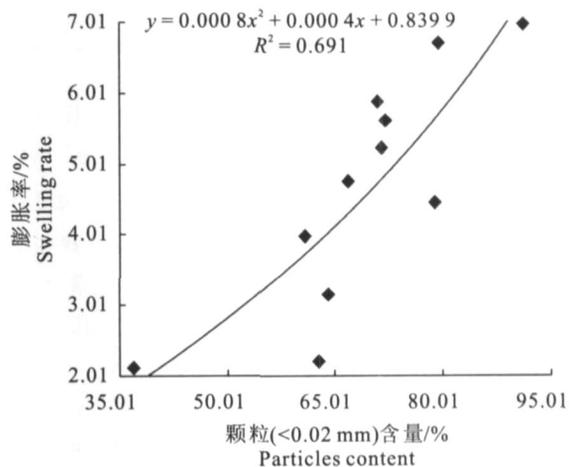


图 4 颗粒 (< 0.02 mm) 含量与土壤膨胀率的关系

Fig.4 Effect of particles content on soil swelling rate

### 2.2 碳酸钙含量对土壤膨胀性的影响

黄土母质中富含碳酸钙,属石灰性土壤,除个别淋溶作用较强的土壤发育层外,绝大多数土壤或土层中碳酸钙含量为 90~110 g/kg(表 1)。

由图 5 可以看出,随碳酸钙含量的增加,土壤膨胀率呈下降趋势,碳酸钙含量与土壤膨胀率呈显著线性负相关( $r = -0.6687^*$ ,  $r_{0.05} = 0.6021$ )。

为了更准确证明碳酸钙对土壤膨胀性的影响,从供试土样中选取 1,2,10 和 11 号样品,用盐酸进

行脱钙处理,分别测定脱钙前和脱钙后土壤样品的膨胀率,结果见表 2。从表 2 可以看出,脱钙后土壤样品中碳酸钙含量均在 2.00 g/kg 以下,远远低于脱钙前,说明脱钙效果极为显著。经脱钙处理后土壤膨胀率均大于脱钙前,其增加幅度在 14.47%~36.92%。试验充分证明了碳酸钙对黄土地区土壤颗粒有胶结作用,抑制土壤膨胀性,在维持土壤结构的稳定性方面具有极为重要的作用。

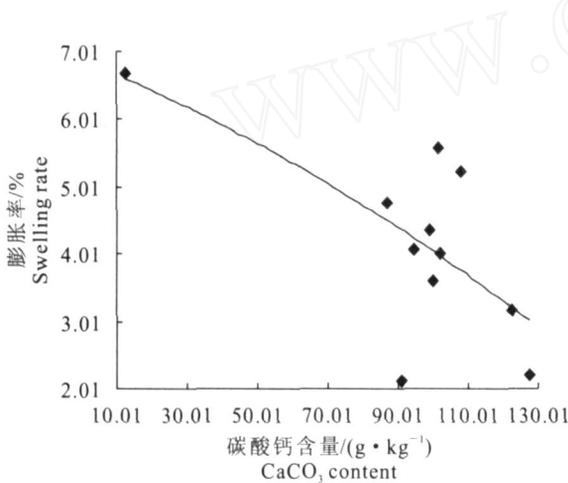


图 5 碳酸钙含量对土壤膨胀率的影响

Fig. 5 Effect of CaCO<sub>3</sub> content on soil swelling rate

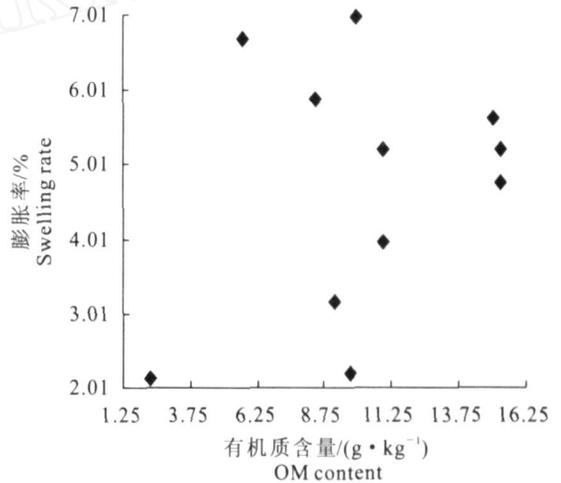


图 6 有机质含量对土壤膨胀率的影响

Fig. 6 Effect of OM content on soil swelling rate

表 2 土壤中碳酸钙含量对土壤膨胀率的影响

Table 2 Effect of CaCO<sub>3</sub> content on soil swelling rate

土样编号 Sample No.	碳酸钙含量/(g·kg <sup>-1</sup> ) CaCO <sub>3</sub> content		土壤膨胀率/% Swelling rate		
	脱钙前 Before removing CaCO <sub>3</sub>	脱钙后 After removing CaCO <sub>3</sub>	脱钙前 Before removing CaCO <sub>3</sub>	脱钙后 After removing CaCO <sub>3</sub>	增长率 Increase rate
1	108.13	1.98	5.23	6.18	18.16
2	12.38	0.96	6.70	8.10	20.90
10	87.21	1.46	4.77	5.46	14.47
11	91.24	1.73	2.14	2.93	36.92

### 2.3 有机质含量对土壤膨胀性的影响

由图 6 可见,土壤有机质含量与土壤膨胀率无明显的相关性,这与刘孝义等<sup>[3]</sup>的结论基本一致。

为了进一步明确土壤有机质含量与土壤膨胀率的关系。选取 1,2,10,11 号土壤样品,用双氧水去

除土壤有机质,测定原样(对照)和去除有机质后样品(处理)的膨胀率,结果见表 3。从表 3 可以看出,黄土地区土壤中有机质一般较为贫乏,含量在 2.28~15.34 g/kg。

表 3 土壤中有有机质含量对土壤膨胀率的影响

Table 3 Effect of OM content on soil swelling rate

土样编号 Sample No.	有机质 OM			土壤膨胀率/% Swelling rate		
	去除前/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Before removing	去除后/ (g·kg <sup>-1</sup> ) After removing	去除率/% Removing rate	去除有机质前 Before removing OM	去除有机质后 After removing OM	增长率 Increase rate
1	10.93	7.77	28.91	5.23	5.87	12.24
2	5.71	4.45	22.07	6.70	10.92	62.99
10	15.29	11.49	24.85	4.77	5.77	20.96
11	2.28	1.43	37.28	2.14	3.15	47.20

用双氧水法对土壤有机质的去除极为有限,去除率为22.07%~37.28%,但去除有机质后的土壤膨胀率明显增加,增加幅度在12.24%~62.99%。由此可知,土壤有机质对土壤膨胀率有明显的抑制作用。

#### 2.4 黄土地区土壤膨胀性影响因子的综合分析

土壤膨胀性和土壤结构稳定性是土壤诸多因素的综合作用,本研究针对黄土地区土壤性状特点,仅研究了土壤颗粒组成、碳酸盐含量以及有机质含量对土壤膨胀性的影响。为了进一步阐明黄土地区土壤颗粒组成、碳酸钙和有机质含量对土壤膨胀性的影响,并探索它们之间的交互作用,通过逐步回归分析并经检验得出如下方程。

$$Y = -1.53 + 0.38x_1 - 0.00067x_2^2 - 0.029x_1x_2 + 0.001x_2x_3,$$

式中:Y为土壤膨胀率, $x_1$ 为土壤粘粒含量(%), $x_2$ 为土壤碳酸钙含量(g/kg), $x_3$ 为土壤有机质含量(g/kg)。

由式(3)可以看出,黄土地区土壤粘粒含量是影响土壤膨胀率的主要因子,其与土壤膨胀率呈显著正相关关系;碳酸钙含量与土壤膨胀率呈负相关关系;土壤粘粒含量与土壤碳酸钙的交互作用抑制土壤膨胀。

### 3 结论和讨论

(1) 本研究结果表明,土壤膨胀率不仅与粘粒含量呈显著正相关关系,而且与物理性粘粒含量和<0.02 mm颗粒含量呈极显著幂函数相关,随着小粒径颗粒增加,土壤膨胀率也明显增大,但是,其增幅随粒径减小而递减。这充分证明土壤中粘粒对于土壤膨胀性有双重作用,也说明一般只有在轻壤质土壤中最易发生胀缩作用,出现龟裂等问题,而较为粘质的土壤很少出现此类问题,同时证实粘质土壤结构的稳定性相对较强。

(2) 土壤碳酸钙对于土壤膨胀性有明显的抑制作用。一般农田在水分蒸发过程中由于碳酸盐迁移表聚,使得表层土壤显得较为僵硬和坚实,膨胀性能减小增强了表层土壤抗环境的影响能力,提高了土壤表层结构的稳定性。实际上石灰性土壤在我国北方地区分布较为普遍,研究碳酸盐含量对土壤膨胀

性的影响具有普遍意义。

(3) 黄土地区的土壤因为贫乏的有机质含量、特定矿物组成和粒级组成以及频繁的干湿交替环境,使得表层土壤的胀缩过程频繁交替出现,影响着土壤结构的稳定性。尽管有机质属于亲水性胶体,但与矿物颗粒密切结合后,其本身对水分子的反应严重钝化,而且因为其具有明显的胶结作用,对无机矿物颗粒的膨胀也产生一定的抑制效果。因此,在多因素综合作用情况下,仅通过一般的相关分析很难得出有机质对土壤膨胀性影响的规律,只有通过有机质去除试验才能真正显示有机质对土壤膨胀性的作用与影响。也就是说,虽然有机质对于黄土地区土壤膨胀性的表现影响不明显,但事实上对于土壤膨胀性具有极为重要的抑制作用,对于增强土壤结构的水力学稳定具有重要贡献。因此,黄土地区土壤培肥,以及提高土壤有机物质含量仍然是提高土壤质量的有效措施。

#### [参考文献]

- [1] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [2] 田洪艳, 李质馨, 周道玮, 等. 草原土壤胀缩运动的发生机制研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 86-90.
- [3] 刘孝义. 土壤物理及土壤改良研究法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [4] 姚贤良, 程云生. 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [5] 赵诚斋. 土壤膨胀及其研究法[J]. 土壤学进展, 1982(2): 1-12.
- [6] 仇荣亮, 熊德祥, 黄瑞采, 等. 变性土的膨胀收缩特点及影响因素[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(1): 71-77.
- [7] McCormack D E, Wilding L P. Soil properties influencing swelling on Canfield and Geeberg soils[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1974, 39: 496-500.
- [8] Zhang M K, He Z, Chen G C, et al. Formation and water stability of aggregates in red soils as affected by organic matter[J]. Pedosphere, 1996, 6(1): 39-45.
- [9] Feng K, Wang X L, Wang X Z, et al. Relationship between 2-1 mineral structure and the fixation and release of cations[J]. Pedosphere, 2003, 13(1): 81-86.
- [10] Davidson S E, Pay J B. Factors influencing swelling and shrinkage in soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1956, 20: 320-324.
- [11] 王益, 王益权, 刘军, 等. 黄土地区影响土壤膨胀因素的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 93-97.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-210.