

# 长江三峡区侵蚀土壤水分特征研究

梁 音 史德明 杨艳生 吕喜玺

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

本文对长江三峡区不同侵蚀土壤水分特征进行了研究。取得了主要侵蚀土壤水分特征曲线的最优方程,即  $W = aP^{-b}$ ,  $W = a - b \log P$  和  $W = (a - bP^{0.5})^2$ 。研究表明:石灰岩黄棕壤的土壤水分含量高于花岗岩母质土壤,在无明显流失区土壤表层中,花岗岩母质土壤的有效水含量高于石灰岩黄棕壤。

土壤水分作为一个肥力因素,与农林牧业生产有密切关系。而降雨前的土壤水分含量,直接影响着径流量的大小。当土壤水分含量较高时,降雨后土壤吸持贮存的水量减少,径流量相对增加;相反,当土壤水分含量较低时,降雨后土壤吸收贮存的水量增加,径流量相对减少。土壤有效水含量、田间持水量及凋萎系数,是土壤水分特征的主要参数,研究它们之间的关系并找出土壤水分含量与土壤吸持力之间关系,对农林牧业的生产及保持水土有重要意义,为此,本文从不同土壤类型、土壤不同深度和不同利用方式,结合其颗粒分析和化学分析资料,对三峡区主要侵蚀土壤的水分特征进行了研究。

## 一、材料与方法

在湖北宜昌、巴东、秭归等地选取了具有代表性的紫色土、花岗岩和石灰岩母质上发育的侵蚀土壤,用体积为66cm<sup>3</sup>的环刀,采集了7个剖面共53个原状土样,同时采集了18个非原状土样,进行理化分析。采样地区立地概况见表1。将采集的原状土样,用压力板水分测定仪测出在不同吸持力下土壤所吸持的水分含量,再进行优化回归统计分析,找出土壤含水量与吸持力之间的关系,从而进一步探讨三峡区不同侵蚀土壤的水分特征。

表1 供试土壤样品采集地概况

| 土壤                | 田间号  | 采样地点   | 利用方式  | 水土流失程度 | 坡 度     | 海拔(m) | 备 注        |
|-------------------|------|--------|-------|--------|---------|-------|------------|
| 紫色土               | AB—1 | 巴东坪乡   | 坡耕地   | 强 度    | 10°—15° | 500   | —          |
|                   | AZ—2 | 秭归水田坝  | 梯耕地   | 不 明 显  | —       | 350   | 土层很薄       |
| 发育的<br>花岗岩<br>侵蚀土 | AY—4 | 宜昌太平溪  | 坡耕地   | 强 度    | 10°—20° | 150   | 红 壤        |
|                   | BY—1 | 宜昌水洞头  | 封山育林地 | 不 明 显  | 25°     | 1800  | 植被覆盖度大于70% |
|                   | BY—2 | 宜昌长岭茶园 | 梯地茶园  | 不 明 显  | —       | 1000  | —          |
| 石灰岩<br>发育的<br>侵蚀土 | BB—5 | 巴东云沱庙  | 坡耕地   | 剧 烈    | 15°     | 350   | 种 豌 豆      |
|                   | AY—6 | 宜昌乐天溪  | 梯耕地   | 不 明 显  | —       | 670   | —          |

## 二、土壤水分特征曲线方程

土壤水分特征曲线揭示了土壤水分含量与土壤吸水力之间的内在关系，它清晰地说明了土壤水数量和植物生长之间的关系。它的测定是用  $66\text{cm}^3$  的环刀原状土样，置于土壤水分压力板测定仪陶土板上，水完全浸润后放入压力锅内，分别加压 2500—300000Pa 之间 9 个点的压力，待压力与土壤吸力平衡，没有水从压力锅内流出时，取出称重。300000Pa 测定完后，在  $105^\circ\text{C}$  下烘至恒重，称得烘干重量。则可计算出在不同吸力下的土壤含水率。每层取 3 个

表 2 在不同吸持力时各土壤的水分含量 单位: g/kg

| 土 壤               | 田间号  | 取样深度 (cm) | 土 壤 吸 持 力 (Pa)    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   | 容重 (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------|------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
|                   |      |           | $2.5 \times 10^3$ | $6.0 \times 10^3$ | $1.0 \times 10^4$ | $2.0 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ | $6.0 \times 10^4$ | $1.0 \times 10^5$ | $2.8 \times 10^5$ | $3.0 \times 10^5$ | $1.5 \times 10^6$ |                         |
| 紫色土               | AB—1 | 0—20      | 235.6             | 231.6             | 226.4             | 222.9             | 214.5             |                   | 201.4             | 191.3             |                   | 133.7             | 1.34                    |
|                   | AZ—2 | 0—20      | 187.2             | 182.8             | 173.7             | 168.9             | 156.5             |                   | 143.1             | 136.6             |                   | 88.0              | 1.39                    |
| 发育的<br>花岗岩<br>侵蚀土 | AY—4 | 0—17      | 169.7             | 149.9             | 131.1             | 101.7             | 93.0              |                   | 72.2              | 62.3              |                   | 57.6              | 1.27                    |
|                   |      | 17—60     | 121.5             | 102.2             | 92.5              | 69.6              | 58.9              |                   | 47.5              | 45.2              |                   | 37.7              | 1.62                    |
|                   | BY—1 | 0—20      | 237.9             | 224.7             | 203.3             |                   |                   | 183.2             | 154.3             |                   | 136.9             | 78.5              | 1.22                    |
|                   | BY—2 | 0—20      | 215.7             | 192.7             | 165.4             |                   |                   | 136.0             | 109.9             |                   | 97.8              | 53.6              | 1.44                    |
|                   | BB—5 | 0—20      | 302.4             | 293.8             | 289.7             |                   |                   | 266.8             | 237.2             |                   | 220.9             | 199.5             | 1.08                    |
|                   |      | 20—40     | 281.4             | 280.7             | 276.9             |                   |                   | 267.8             | 248.9             |                   | 234.5             | 228.3             | 1.44                    |
| 发育的<br>灰岩<br>侵蚀土  | AY—6 | 0—16      | 243.5             | 230.7             | 224.5             | 212.6             | 197.4             |                   | 182.2             | 175.8             |                   | 140.8             | 1.40                    |
|                   |      | 16—27     | 227.5             | 220.4             | 215.5             | 212.2             | 198.3             |                   | 191.9             | 180.0             |                   | 159.2             | 1.57                    |
|                   |      | 27以下      | 275.2             | 271.7             | 256.2             | 255.4             | 244.8             |                   | 234.4             | 225.0             |                   | 211.8             | 1.48                    |
|                   |      |           |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                         |

表 3 各土壤水分特征曲线最优方程与回归效果检验

| 土 壤               | 田间号  | 取样深度  | 优 化 回 归 结 果            |        |        |      | 效果检验  |          |
|-------------------|------|-------|------------------------|--------|--------|------|-------|----------|
|                   |      |       | 方程形式                   | a      | b      | r    | F 值   | F (0.01) |
| 紫色土               | AB—1 | 0—20  | $W = (a - bP^{0.5})^2$ | 15.370 | 0.0031 | 0.99 | 631.9 | 13.8     |
|                   | AZ—2 | 0—20  |                        | 13.500 | 0.0035 | 0.98 | 142.8 | 13.8     |
| 发育的<br>花岗岩<br>侵蚀土 | AY—4 | 0—17  | $W = ap^{-b}$          | 688.7  | 0.186  | 0.97 | 94.8  | 13.8     |
|                   |      | 17—60 |                        | 507.7  | 0.193  | 0.97 | 80.4  | 13.8     |
|                   | BY—1 | 0—20  | $W = a - b \log P$     | 431.0  | 55.14  | 0.99 | 166.2 | 16.3     |
|                   | BY—2 | 0—20  |                        | 403.1  | 56.80  | 0.99 | 319.6 | 16.3     |
| 发育的<br>灰岩<br>侵蚀土  | BB—5 | 0—20  |                        | 443.0  | 39.60  | 0.98 | 143.9 | 16.3     |
|                   |      | 20—40 |                        | 361.0  | 21.72  | 0.96 | 161.2 | 16.3     |
|                   | AY—6 | 0—16  |                        | 368.0  | 36.49  | 0.99 | 476.8 | 13.8     |
|                   |      | 16—27 |                        | 314.0  | 24.80  | 0.99 | 439.6 | 13.8     |
|                   |      | 27以下  |                        | 339.4  | 19.40  | 0.89 | 194.0 | 13.8     |
|                   |      |       |                        |        |        |      |       |          |

环刀,取算术平均值。在  $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$  时含水量测定,则用塑料圈代替环刀,即将土样研磨过 20 孔筛后,装入塑料圈,其体积为  $10 \text{ cm}^3$ ,压紧后置于陶土板上,以后步骤同上。每层取 9 个小塑料圈,取算术平均值。测定结果见表 2。将土壤吸持力作为自变量,含水量作为因变量,用 12 种不同的一元方程进行拟合,选出吸持力与土壤含水量相关系数最大、标准差最小的方程式,作为该土样的水分特征曲线最优方程(表 3)。其基本形式有三种,即  $W = aP^{-b}$ ,  $W = a - b \log P$  和  $W = (a - bP^{0.5})^2$ 。式中  $a, b$  为常数,  $P$  为土壤的吸持力,单位为  $\text{Pa}$ ,  $W$  为土壤的含水量,单位为  $\text{g/kg}$ 。从回归效果检验来看,每个方程的方差比值均远大于显著性检验的临界值  $F_{(0.01)}$ ,方程的可靠程度为 99%。

根据最优化水分特征曲线方程,可计算出各土壤样品的有效含水量。田间持水量和凋萎系数,结合其容重和比重的测定,计算出土壤的毛管孔隙度和非活性孔隙度,将它们与理化分析结果,一同列于表 4。

表 4 土壤水分特性及其理化分析结果

| 土 壤             | 田间号  | 取样深度 (cm) | 土壤含水量(g/kg) |       |       | 孔隙度(%) |        | 各级颗粒组成(mm,%) |                |            |             | 微团粒 <0.001 (mm %) | 有机质 (g/kg) |
|-----------------|------|-----------|-------------|-------|-------|--------|--------|--------------|----------------|------------|-------------|-------------------|------------|
|                 |      |           | 田间持水量       | 凋萎含水量 | 有效含水量 | 毛管孔隙度  | 非活性孔隙度 | 砂 粒 1—0.05   | 粉 粒 0.05—0.001 | 粘 粒 <0.001 | 物理性粘粒 <0.01 |                   |            |
| 紫色土             | AB—1 | 0—20      | 227         | 134   | 93.2  | 12.5   | 17.9   | 21.4         | 59.9           | 18.7       | 48.3        | 9.3               | 17.1       |
|                 | AZ—2 | 0—20      | 175         | 87.3  | 88.0  | 12.2   | 12.1   | 55.2         | 36.4           | 8.4        | 26.9        | 6.0               | 8.4        |
| 发育的<br>花岗岩<br>土 | AY—4 | 0—17      | 125         | 49.3  | 75.5  | 9.6    | 6.3    | 91.5         | 7.9            | 0.6        | 2.5         | 0.6               | 6.7        |
|                 |      | 17—60     | 85.9        | 32.7  | 53.2  | 8.6    | 5.3    | 94.8         | 4.2            | 1.0        | 1.7         | 0.3               | 0.9        |
|                 | BY—1 | 0—20      | 208         | 91.5  | 117   | 14.2   | 11.2   | 56.6         | 32.4           | 11.0       | 27.0        | 3.6               | 17.5       |
|                 | BY—2 | 0—20      | 175         | 52.9  | 122   | 17.5   | 7.6    | 85.1         | 11.9           | 3.0        | 7.3         | 0.2               | 13.4       |
| 发育的<br>灰岩<br>土  | BB—5 | 0—20      | 289         | 199   | 90.5  | 9.8    | 21.5   | 8.2          | 56.0           | 35.8       | 64.8        | 7.6               | 13.2       |
|                 |      | 20—40     | 273         | 228   | 45.7  | 6.6    | 32.8   | 8.9          | 53.7           | 37.4       | 64.4        | 10.5              | 7.1        |
|                 | A—Y6 | 0—16      | 225         | 146   | 75.7  | 10.6   | 20.4   | 5.3          | 66.1           | 28.6       | 60.6        | 6.5               | 16.2       |
|                 |      | 16—27     | 215         | 162   | 52.3  | 8.2    | 25.5   | 7.0          | 60.7           | 32.3       | 61.9        | 9.7               | 8.6        |
|                 |      | 27以下      | 260         | 210   | 50.1  | 7.4    | 31.1   | 6.4          | 59.4           | 34.2       | 63.6        | 11.3              | 9.9        |

### 三、讨 论

#### (一)同一利用方式不同母质土壤的水分特征

从表 4 可知:同一利用方式不同母质的土壤,其含水量不同。总的来说,不论哪种利用方式,石灰岩黄棕壤的含水量高于花岗岩母质土壤。在坡耕地和梯耕地中,石灰岩黄棕壤的含水量高于紫色土,而紫色土的又高于花岗岩母质土壤。然而含水量高的土壤其有效水不一定高。一般来说,土壤含水量与粘粒含量成正相关。因为粘粒属于次生矿物一类,其颗粒细小,表面吸湿性强,各粘粒间缝隙很小,毛管作用显著。因此,粘粒含量越高,土壤含水量越高。此外,粘粒单位体积土体中表面积巨大,表面吸附水量多。但有效水含量与有机质含量成正相关。因而粘重而有机质含量少的土壤,其含水量高而有效水含量却低。相反,土壤疏松粘粒适中,有机质含量较高时,含水量不高而有效水含量却较高。

### 1. 坡耕地上不同母质土壤的水分特征。

在坡耕地耕层中,石灰岩黄棕壤的田间持水量为 289g/kg,花岗岩母质土为 125g/kg,紫色土为 227g/kg。但它们的有效水含量不尽如此,依次为 90.5g/kg、75.5g/kg 和 93.2g/kg。紫色土略高于石灰岩黄棕壤。从理化分析来看,花岗岩母质土砂粒含量是 91.5%,粘粒和物理性粘粒含量仅为 0.6% 和 2.5%,有机质为 6.0g/kg。因之土壤透水容易,排水快,毛管活动极弱,土壤吸持的水量和有效水都较少。紫色土则不同,有机质含量为 17.1g/kg,微团粒结构含量为 9.3%,比石灰岩黄棕壤高,土壤肥沃,物理性粘粒含量为 48.3%,因此有效水含量较高。石灰岩黄棕壤粘粒含量为 35.8%,吸持了较多的无效水。有机质和微团粒含量较紫色土少,因此有效含水量较紫色土低。

### 2. 梯耕地不同母质土壤的水分特征。

在 0—20cm 耕层中,石灰岩黄棕壤的田间持水量为 222g/kg,凋萎点为 146g/kg,有效水为 75.7g/kg;紫色土依次为 176g/kg, 87.3g/kg 和 88.0g/kg;花岗岩母质土依次为 175g/kg, 52.9g/kg 和 122g/kg。由于石灰岩黄棕壤表层物理性粘粒含量为 60.6%,微团粒含量仍为 6.5%,非活性孔隙高达 20.4%,因而田间持水量最高而有效水含量最低。相反花岗岩母质土结构系数高达 93.3%,有机质含量为 13.4g/kg,毛管孔隙度为 17.6%,因此田间持水量最低而有效水含量最高。

综上所述,在坡耕地和梯耕地中,花岗岩母质上发育的土壤有效水含量高于石灰岩黄棕壤,田间持水量则相反,石灰岩黄棕壤大于花岗岩母质上发育的土壤。

### (二)同一母质类型不同利用方式的土壤水分特征

在紫色土区,坡耕地土壤物理性粘粒含量和有机质含量分别为 48.3% 和 171.0g/kg,均高于梯耕地的 26.9% 和 8.4g/kg,因而坡耕地土壤的水分条件优于梯耕地,其有效水含量依次为 93.2g/kg 和 88.0g/kg。在花岗岩区,封山育林地土壤水分条件最好,坡耕地最差,中产密植茶园地居中。但有效含水量不同,依次为 117g/kg, 75.5g/kg 和 122g/kg,显然是茶园地土壤最高,封山育林地次之,坡耕地最低。这是因为封山育林地土壤结构系数为 67.3%,低于中产茶园土壤的结构系数(93.3%),二者有机质含量都较高。在石灰岩区,由于坡耕地土壤物理性粘粒含量为 64.8%,结构系数为 78.8%,均高于梯耕地,因此,尽管坡耕地是剧烈流失区,其土壤水分条件仍优于梯耕地。有效水含量坡耕地为 90.5g/kg,梯耕地为 75.7g/kg。

### (三)同一土壤剖面不同层次的水分特征

从表 4 得知,花岗岩区坡耕地表土层水分条件优于底层,石灰岩区则相反,表层水分条件劣于底层。

1. 花岗岩区坡耕地剖面。在表土层 0—17cm 中,有效水含量为 75.5g/kg,田间持水量为 125g/kg,凋萎含水量为 49.3g/kg;在 17—60cm 底层,其水分特征依次为 53.2g/kg, 32.7g/kg 和 85.9g/kg。因为表层有机质含量是底层的 6 倍以上,所以表层有效水含量高于底层。

2. 石灰岩区坡耕地剖面。在 0—20cm 耕层和 20—40cm 底层中,有机质含量分别为 13.2g/kg 和 7.1g/kg,结构系数分别为 78.8% 和 71.9%,因此有效水含量分别为 90.5g/kg 和 45.7g/kg,耕层高于底层。由于物理性粘粒含量分别为 64.8% 和 64.4%,颗粒组成很相似,因而田间持水量分别为 289g/kg 和 273g/kg,耕层稍高于底层。其凋萎系数分别为 199g/kg 和 228g/kg,耕层略低于底层。

3. 石灰岩区梯耕地剖面。从表层、中层到底层,土壤水分含量依次增加。其田间持水量

(下转第 218 页)

表 1

引淡围滩养鱼对滨海盐土含盐量(g/kg)的影响

| 土层深度(厘米)   | 0—5  | 5—10 | 10—20 | 20—40 | 40—100 | 0—100 |
|------------|------|------|-------|-------|--------|-------|
| 引淡围滩养鱼前    | 6.41 | 6.34 | 6.07  | 5.88  | 5.59   | 5.80  |
| 引淡围滩养鱼 1 年 | 0.88 | 0.98 | 1.05  | 1.28  | 1.85   | 1.56  |
| 引淡围滩养鱼 3 年 | 0.70 | 0.70 | 0.81  | 0.95  | 1.31   | 1.13  |

## (二)提高土壤养分含量

试验表明,引淡养鱼过程中约有10%的有机饲料沉积于滩底,从而形成营养较好的水体。每年4—10月,仅水体光合产物就达400千克/亩,加之鱼的排泄物,都有利于土壤养分含量的提高。引淡围滩养鱼3年,土壤表层(0—10厘米)的有机质含量增加了2.1克/千克,氮增加了0.18克/千克,速效磷增加了8毫克/千克,仅速效钾含量有所下降(表2),可能随水流失所致。

表 2 引淡围滩养鱼对土壤养分含量的影响

| 主要养分       | 有机质<br>(gkg <sup>-1</sup> ) | 全 氮<br>(gkg <sup>-1</sup> ) | 速效磷<br>(mg<br>kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾<br>(mg<br>kg <sup>-1</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 引淡围滩养鱼前    | 6.7                         | 0.44                        | 7                                | 233                              |
| 引淡围滩养鱼 3 年 | 8.8                         | 0.62                        | 15                               | 194                              |
| 增 值        | 2.1                         | 0.18                        | 8                                | -39                              |

注:为0—10厘米土层的分析结果

表 3 滨海盐土引淡围滩养鱼 3 年的经济收益

| 收益名称 | 产 量<br>(万公斤) | 产 值<br>(万元) | 盈 利<br>(万元) | 百元成本<br>盈利(元) |
|------|--------------|-------------|-------------|---------------|
| 鱼 种  | 9            | 50.4        | 19.38       | 62.48         |
| 成 鱼  | 16.77        | 65.40       | 13.08       | 25.35         |
| 猪    | 1.05         | 3.26        | 0.40        | 14            |
| 大 麦  | 3.6          | 1.00        | 0.80        | 400           |
| 淀 粉  | 4.38         | 4.8         | 0.24        | 5             |
| 合 计  |              | 124.86      | 33.9        | 37.27         |

这里必须指出,引淡养鱼与养猪结合及引淡养鱼与种麦相结合时,其有机质及氮含量的提高幅度就更大。

## (三)增加经济收益

实验区经过3年的引淡围滩养鱼,其经济收益也明显增加。实验区的总投资为31.6万元,而3年的总利润为33.9万元(表3)。

引淡围滩养鱼、养鱼与养猪结合和养鱼与种麦结合较抛荒地分别增收183.67元,254.52元和232.00元。表明沿海滩涂的滨海盐土通过引淡围滩养鱼能迅速产生经济效益。

目前,我省可开发利用的沿海滩涂约有215万亩,如果其中的1/3用于引淡围滩养鱼,则每年可增收1.4亿元,一方面可以获得较高经济收益,一方面又改良了盐土,堪称一举两得。

(上接第204页)

依次为222g/kg, 215g/kg和260g/kg;凋萎点依次为146g/kg, 163g/kg和210g/kg;有效水含量分别为75.7g/kg, 52.3g/kg和50.1g/kg,呈减少趋势。从物理和化学分析结果可知,三层从上到下结构系数分别为77.3%, 70%和67%,呈下降趋势。有机质含量为16.2g/kg, 8.6g/kg和9.9g/kg,表层最高,中层和下层相差甚微。