

个典型地块中取土样,每 100 克土壤中平均有活线虫 3000 条。线虫生活周期短,繁殖很快,生物量较大,当它们死亡后,一部分被土壤中的其他无脊椎动物作为营养源,另一部分被分解返回物质大循环中。由此可以认为,没有土壤线虫的生态功能,土壤生态系统就很难发挥正常生态效应。

## 六、武汉珞珈山线蚓科寡毛类的季节动态与剖面分布

在小型湿生土壤动物中,线蚓科(Enchytraeidae)(环节动物门,寡毛纲)动物是非常重要的一类。它们多以有机碎屑为食,对植物所需的营养元素起着再循环的作用,并能提供空气和水赖以流通的渠道。

我国线蚓科寡毛类的资源比较丰富。据我们 1991 年 4 月在湖南衡山的调查结果(王洪铸,1995),0~15cm 深度内线蚓的密度为 13 000~58 000 个/m<sup>2</sup>,均值 24 000 个/m<sup>2</sup>,S. E. = 7009 个/m<sup>2</sup>;生物量为 0.20~8.90g/m<sup>2</sup>,平均值为 2.1g/m<sup>2</sup>,S. E. = 1.4g/m<sup>2</sup>。这些数据与线蚓繁多的丹麦的调查结果相比差不多(Nielsen, 1955)。

我国关于线蚓的研究起步较晚,目前尚无有关生态学研究的报道。本项研究工作选择武汉珞珈山作为采样地点,开展线蚓季节动态和剖面分布的研究。作为预备工作,首先对湿漏斗进行了改装,并研究其分离线蚓的效率;其次,为解决因个体小而导致的称重难的问题,分析了线蚓的体长与体重的关系。

### 1. 采样地点与研究方法

采样地点位于武汉珞珈山(30°33'N,114°23'E)的北坡。此地森林茂盛,土质为森林黄棕壤。采集时间为 1993 年 10 月至 1994 年 9 月。每月中旬定点采样一次,每次用 115cm<sup>3</sup> 土环刀垂直于地表采 11 份土样,深度 0~9cm。除 1 份用于测定土壤含水量外,余者供分离线蚓用。现场记录表层土壤温度。剖面分布的研究在 10、1、4 和 7 月进行。采样分 0~2cm、2~7cm、7~12cm 和 12~17cm 四层,每层取 100cm<sup>3</sup> 土样 3 份。

图 4-6-1 所示湿漏斗是根据 O'Connor(1962)的 Baermann 漏斗改良设计的。铜筛 10 目/cm 左右,圆筒状,直径 9cm,高 2cm(均为内部尺寸),侧壁为有机玻璃。操作过程是:首先将土样放入铜筛(当土样成块时倒置,使富含线蚓的表层在下面,以缩短其爬行距离);然后置于盛水的漏斗,使水刚好淹没土样;让灯泡先在离土壤表面 10cm 处照射,随后逐渐降低热源高度(每隔 18min 降低 1cm),使温度逐渐上升至 45~50℃,共照射 3h(若气温低于 20℃,增加 18min);最后将土样取出,倒出表层的大部分水,剩余的从漏斗底部放出,盛于培养皿中,在解剖镜下挑出动物,用 10%的福尔马林溶液固定。值得注意的是,照射时间不宜过长,否则将导致虫体死亡并迅速解体。

线蚓分离效率的实验方法是:将土壤晒干,以杀死其中的线蚓,再加水使土壤恢复原有湿度;取 6 个小烧杯,分别放入线蚓 20 个,培养 2~3 天,然后与空白(未加线蚓的上述土壤)一起用湿漏斗法分离;每隔 30 分钟取一个样。

体长体重关系研究所使用的标本来自武汉和湖南。标本湿重(干湿重比=1:4.5)是在滤纸吸去固定液后用电子分析天平称量的。体长的测量使用目微尺在解剖镜下进行。测定土壤含水量时,烘干温度 105℃以上,时间超过 3 小时。数据处理采用常规方法在 PC-

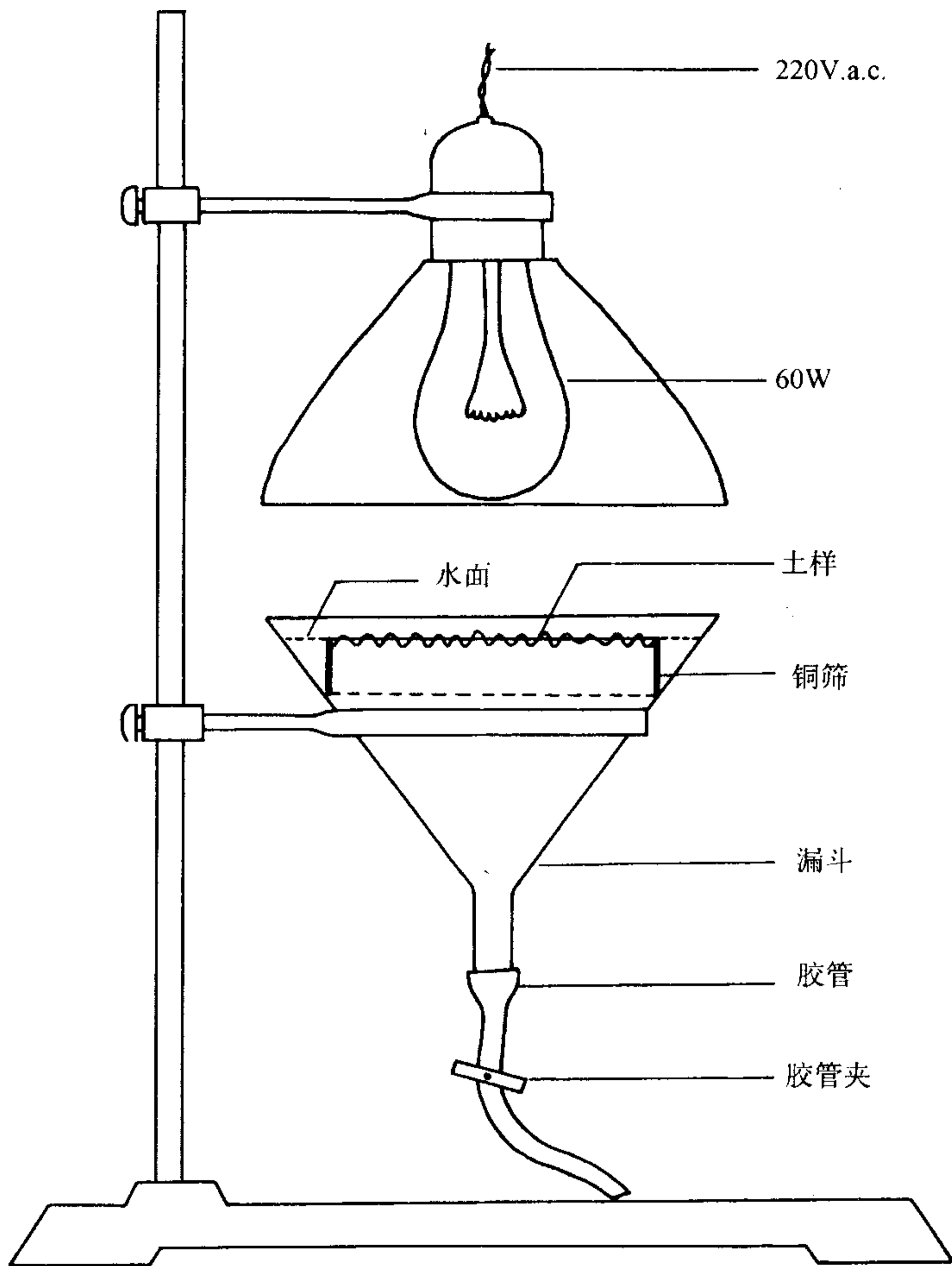


图 4-6-1 土壤小蚓分离装置(湿漏斗)的剖面示意图

Fig. 4-6-1 Sectional diagram of extractor (wet funnel) of soil microdriles

486/B40 微机或计算器上实现。

## 2. 湿漏斗法的分离效率

线蚓的分离效率( $\eta, \%$ )与照射时间( $t, h$ )的回归方程为(图 4-6-2):

$$\lg \eta = 1.66 + 0.647 \lg t \quad r = 0.8435 \quad n = 6 \quad p < 0.05 \quad (4-6-1)$$

$$\text{或:} \quad \eta = 45.9t^{0.647} \quad (4-6-2)$$

根据式(4-6-2)可计算出:光照时间为 3 小时,线蚓的分离效率为 93.4%。可见湿漏斗法分离线蚓的效率甚佳。O'Connor(1962)和 Peachey(1962)曾对湿漏斗和尼尔森分离器(Nielsen extractor)收集线蚓的相对效率进行过研究,但关于湿漏斗法分离线蚓的绝对效率至今未见报道。



$$\lg W_E = 0.664 + 2.34 \lg L_E \quad r = 0.9738 \quad n = 24 \quad p < 0.01 \quad (4-6-3)$$

$$\text{或: } W_E = 4.61 L_E^{2.34} \quad (4-6-4)$$

#### 4. 季节动态

在种类组成上, 珞珈山线蚓主要是半线蚓(*Hemienchytraeus*)、裸线蚓(*Achaeta*)和玛利安蚓(*Marionina*)。现将它们个体大小和现存量的动态分述如下。

(1) 体长和体重均值的变化 从每月的标本中挑选完整的线蚓, 测量其体长, 若标本数多时, 则随机挑选 20 条。将体长的数值代入式(4-6-4), 求出线蚓的体重。

线蚓平均体长( $ML_E$ , mm)、平均体重( $MW_E$ ,  $\mu\text{g}$ )与月份( $t$ , 以  $t^{5.5}$  为自变量)的回归方程分别为:

$$ML_E = 2.188 \times 10^{-6} t^{5.5} + 1.911 \quad r = 0.8385 \quad n = 12 \quad p = 0.00066 \quad (4-6-5)$$

$$MW_E = 1.344 \times 10^{-4} t^{5.5} + 28.450 \quad r = 0.8747 \quad n = 12 \quad p = 0.00020 \quad (4-6-6)$$

图 4-6-4 显示, 珞珈山线蚓个体的平均大小在 1~8 月变化不大, 而在 9~12 月间体长和体重则成直线上升。上升的原因可能有两个方面: 一是生长, 二是种类组成的改变。

(2) 密度动态 线蚓密度的年变幅为 1600~56 160 个/ $\text{m}^2$ , 平均值 15 300 个/ $\text{m}^2$ , S. E. = 4144 个/ $\text{m}^2$ 。性熟线蚓密度的年变幅为 400~2080 个/ $\text{m}^2$ , 平均值 1200 个/ $\text{m}^2$ , S.

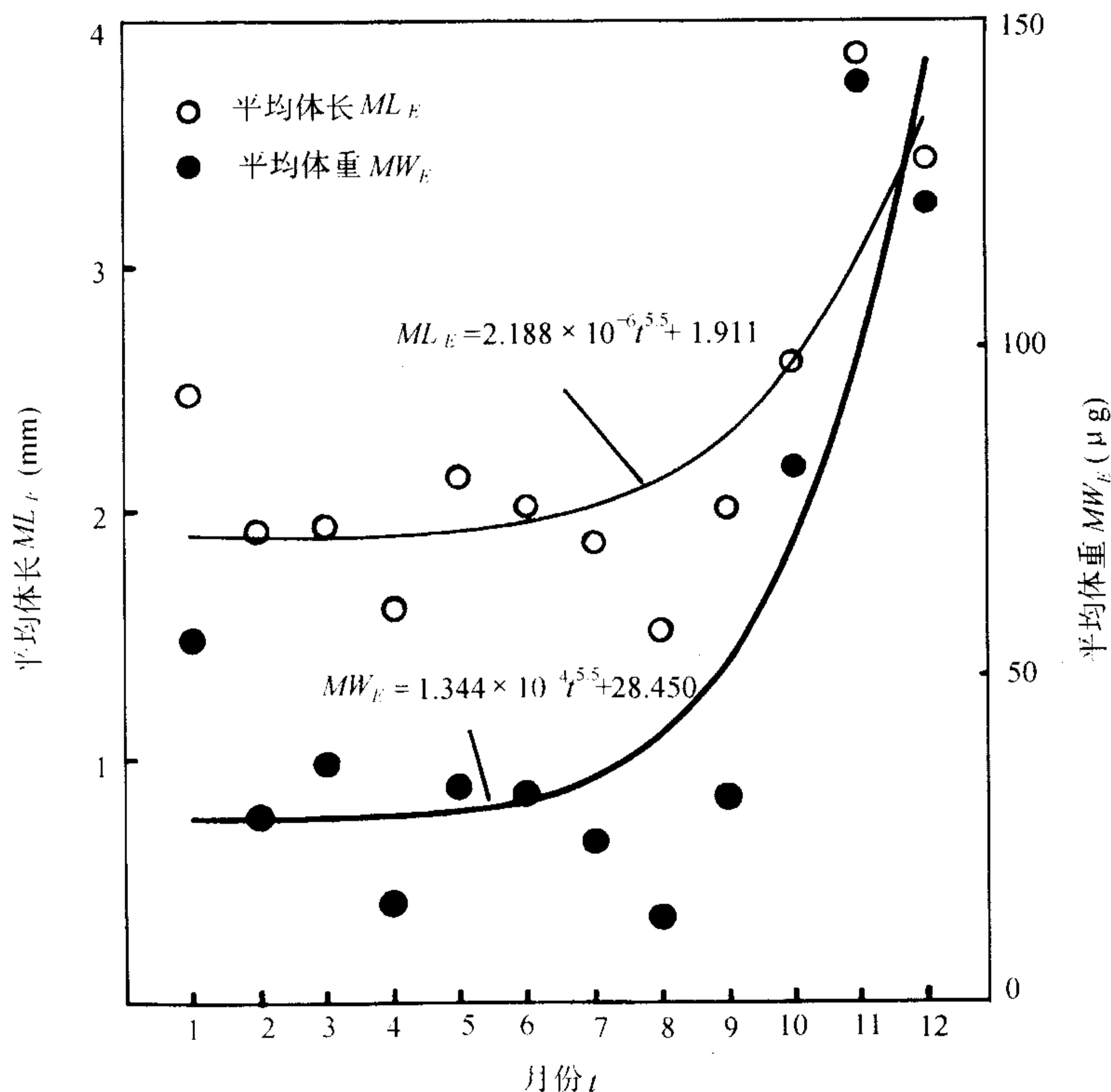


图 4-6-4 武汉珞珈山线蚓体长和体重均值的季节变化(1993.10~1994.9)

Fig. 4-6-4 Seasonal change of mean length and weight of enchytraeids in Luojiaoshan, Wuhan (10.1993~9.1994)

$E. = 175 \text{ 个}/\text{m}^2$ 。

线蚓和性熟线蚓密度的周年变化如图 4-6-5 所示。两者的密度呈现抛物线变化趋势，与月份的回归方程分别为：

$$\text{线蚓: } D_E = 10720t - 834.4t^2 - 7189 \quad R^2 = 0.4195 \quad n = 11 \quad p = 0.1135 \quad (4-6-7)$$

$$\text{性熟线蚓: } D_{ME} = 617.8t - 44.31t^2 - 283.8 \quad R^2 = 0.7761 \quad n = 11 \quad p = 0.0025 \quad (4-6-8)$$

式中  $D_E$  为线蚓密度 (个/ $\text{m}^2$ ) (0~9cm 深),  $D_{ME}$  为性熟线蚓密度 (个/ $\text{m}^2$ ) (0~9cm 深),  $t$  为月份 (以  $t$  和  $t^2$  为自变量, 未用 8 月数据)。

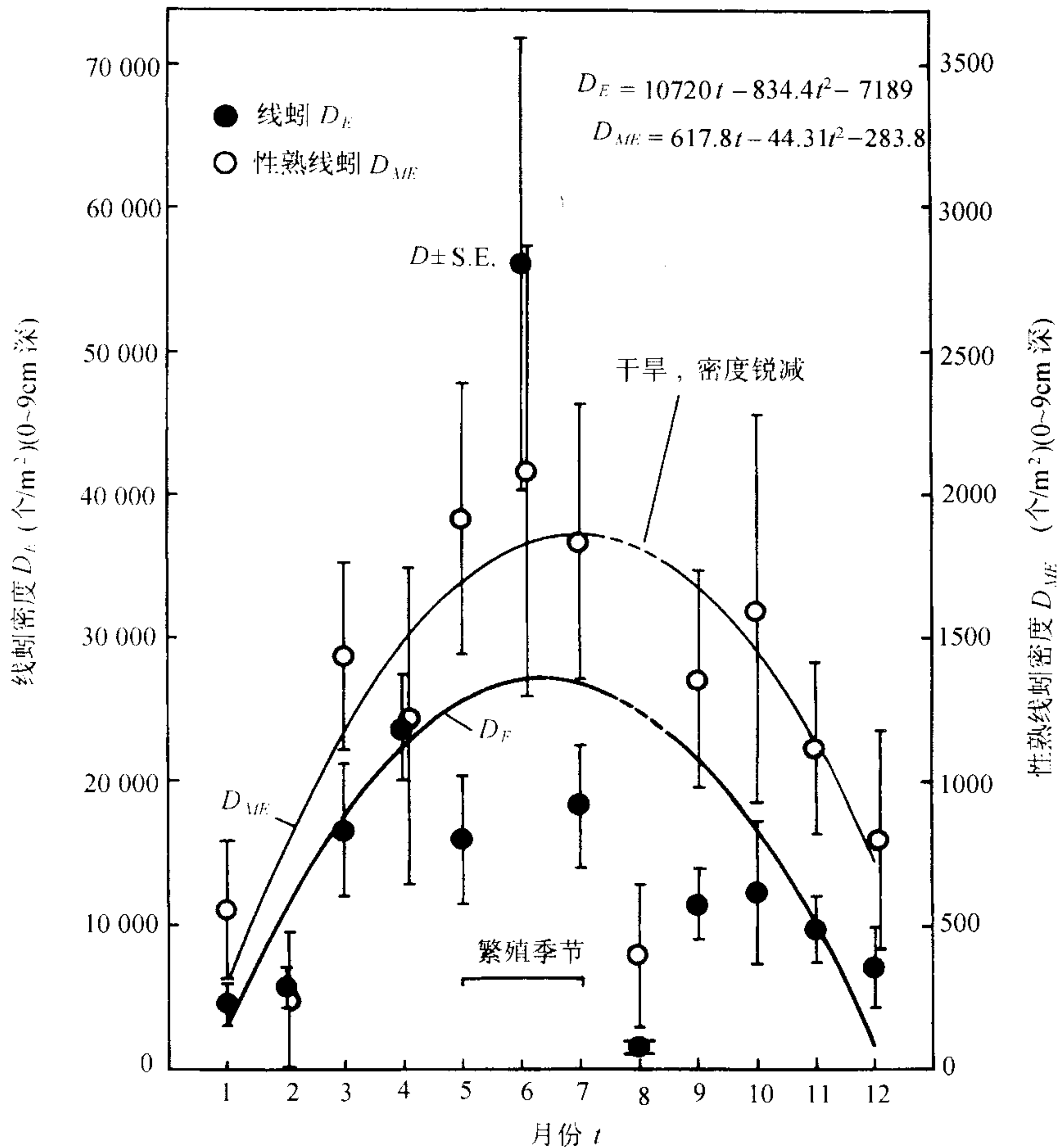


图 4-6-5 武汉珞珈山线蚓密度的季节动态(1993.10~1994.9)

Fig. 4-6-5 Seasonal variation of enchytraeid densities in Luojiashan, Wuhan(10, 1993~9, 1994)

(回归未用 8 月数据, 线蚓的性熟与否以具卵为标准)

线蚓在 6 月达到最高峰, 密度为 56 160 个/ $\text{m}^2$ 。性熟线蚓全年都有, 只是在 5~7 月最多, 这个阶段似可称为繁殖季节。8 月份线蚓和性熟线蚓的数量都降到最低点, 原因是干

旱,如后述。

与珞珈山不同,丹麦的线蚓密度在秋季(11月份左右)达到高峰。相似之处是密度最低值亦出现在夏季(6月份左右),干旱是原因之一(Nielsen,1955)。

(3) 生物量动态 线蚓生物量的年变幅为  $0.022 \sim 1.82 \text{g/m}^2$ , 平均值  $0.66 \text{g/m}^2$  S.E. =  $0.15 \text{g/m}^2$ 。生物量的动态不同于密度,存在初夏和秋季两个高峰(图 4-6-6)。在 6 月份生物量达到最大值,为  $1.82 \text{g/m}^2$ ,但个体较小。11 月份线蚓的密度虽低,但个体重量最大,故生物量又达到另一个高峰,为  $1.38 \text{g/m}^2$ 。生物量最低值出现在 8 月份,仅有  $0.02 \text{g/m}^2$ 。

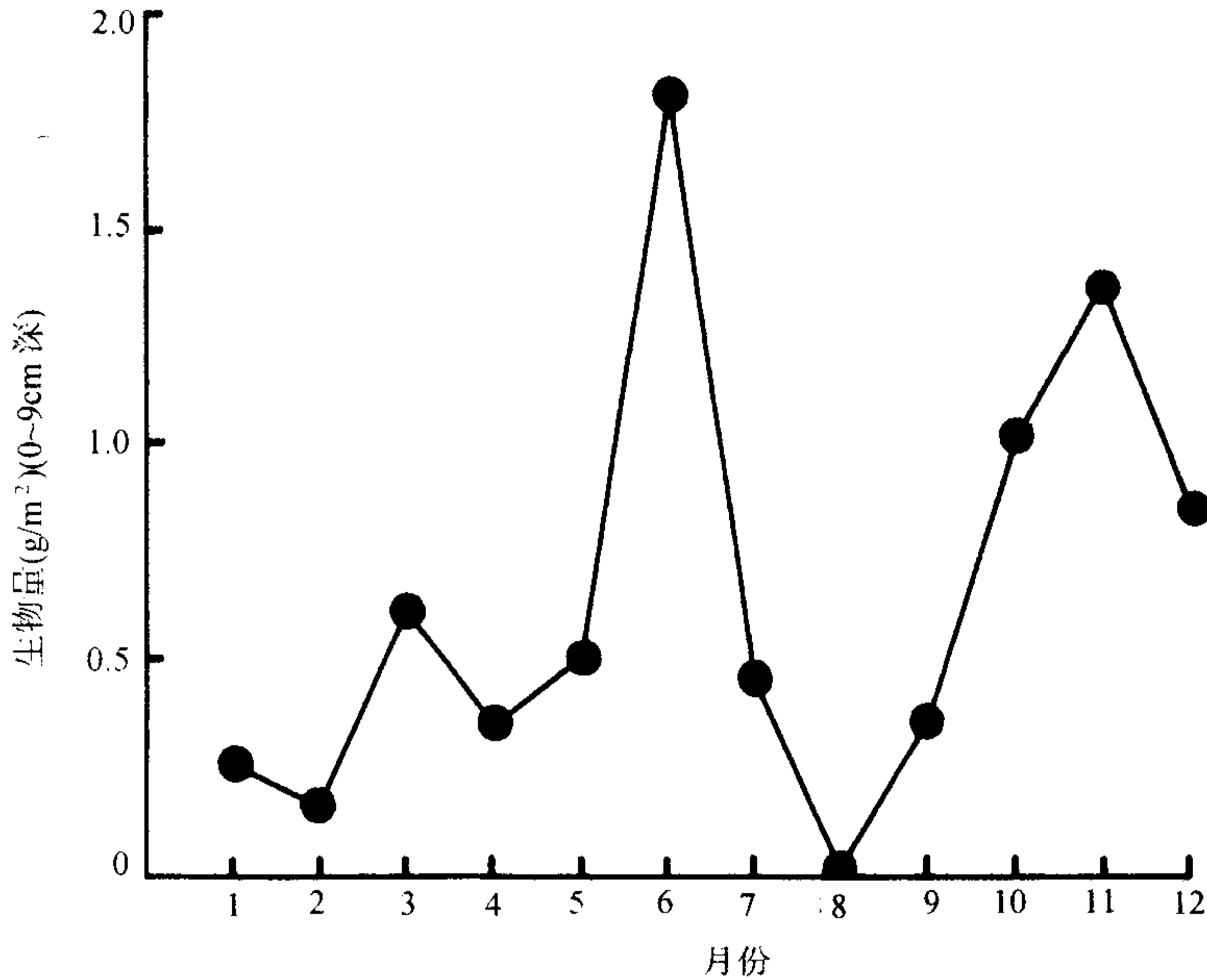


图 4-6-6 武汉珞珈山线蚓生物量的季节动态(1993.10~1994.9)

Fig. 4-6-6 Seasonal variation of enchytraeid biomass in Luojiaoshan, Wuhan(10,1993~9,1994)

(4) 影响现存量的环境因素 线蚓和性熟线蚓的密度与土壤的含水量和温度(表 4-6-1)有密切关系,其回归方程如下:

表 4-6-1 1993 年 10 月至 1994 年 9 月珞珈山土壤温度(°C)和土壤含水量(%)

Table 4-6-1 Temperature and water content of soil in Luojiaoshan, Wuhan (10,1993~9,1994)

月份 month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
温度 temperature of soil surface in °C	6.0	9.0	11.0	15.0	22.0	25.5	26.0	19.5	19.0	19.0	11.0	7.5
含水量 water content of soil in %	22.7	22.7	25.5	20.0	19.4	16.7	20.9	10.8	15.2	19.9	21.2	21.2

$$\text{线蚓: } \lg D_E = 3.389 \lg SW + 1.471 \lg ST - 1.832 \quad R^2 = 0.5112$$

$$n = 12 \quad p = 0.0399 \quad (4-6-9)$$

$$\text{或: } D_E = 0.01472 SW^{3.389} ST^{1.471} \quad (4-6-10)$$

$$\text{性熟线蚓: } D_{ME} = 117.2 SW + 90.21 ST - 2548 \quad R^2 = 0.5633$$

$$n = 12 \quad p = 0.0240 \quad (4-6-11)$$

式中  $D_E$  为线蚓密度(个/ $m^2$ )(0~9cm 深),  $D_{ME}$  为性熟线蚓密度(个/ $m^2$ )(0~9cm 深),  $SW$  为土壤含水量(%)(0~9cm 深),  $ST$  为土壤表层温度( $^{\circ}C$ )。

图 4-6-7 和图 4-6-8 分别显示了线蚓和性熟线蚓密度的观测值与回归方程预报值的关系。除 6、7 月线蚓密度的观测值与预测值相差较大外,其余的均吻合得较好。

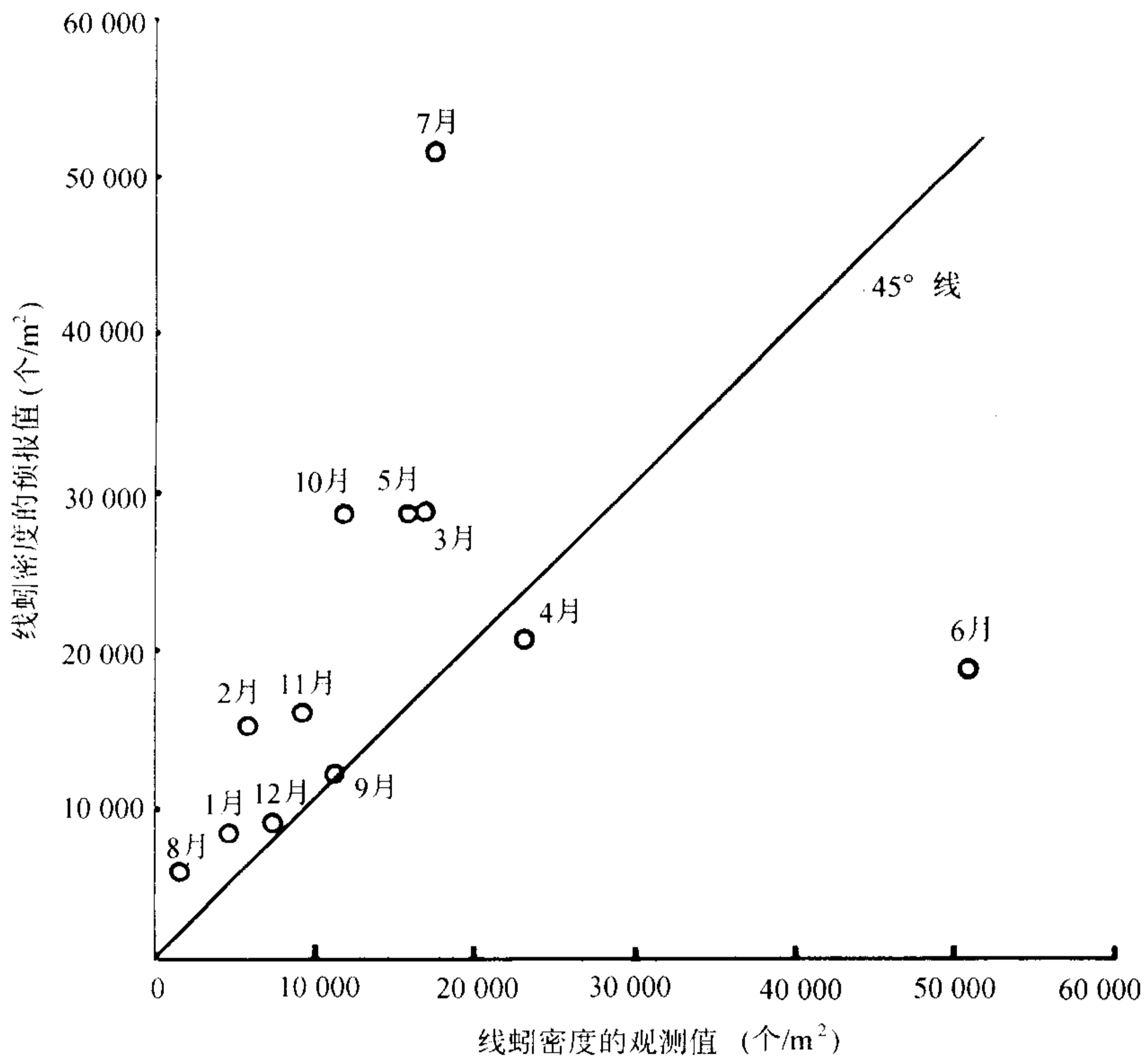


图 4-6-7 武汉珞珈山线蚓密度的观测值与预报值(1993.10~1994.9)

Fig. 4-6-7 Observed and predicted densities of enchytraeids in Luojiashan, Wuhan(10,1993~9,1994)

[由下列方程预报:  $D_E = 0.01472 SW^{3.389} ST^{1.471}$

式中  $D_E$  为线蚓密度(个/ $m^2$ )(0~9cm 深),  $SW$  为土壤含水量(%)(0~9cm 深),  $ST$  为土壤表层温度( $^{\circ}C$ )]

线蚓生物量与土壤含水量的关系为(图 4-6-9):

$$\ln B_E = 1.914 - 51.74/SW \quad r = 0.6305 \quad n = 12 \quad p = 0.02796 \quad (4-6-12)$$

$$\text{或: } B_E = 6.783e^{-51.74/SW} \quad (4-6-13)$$

式中  $B_E$  为线蚓生物量( $g/m^2$ )(0~9cm 深);  $SW$  为土壤含水量(%),以  $1/SW$  为自变

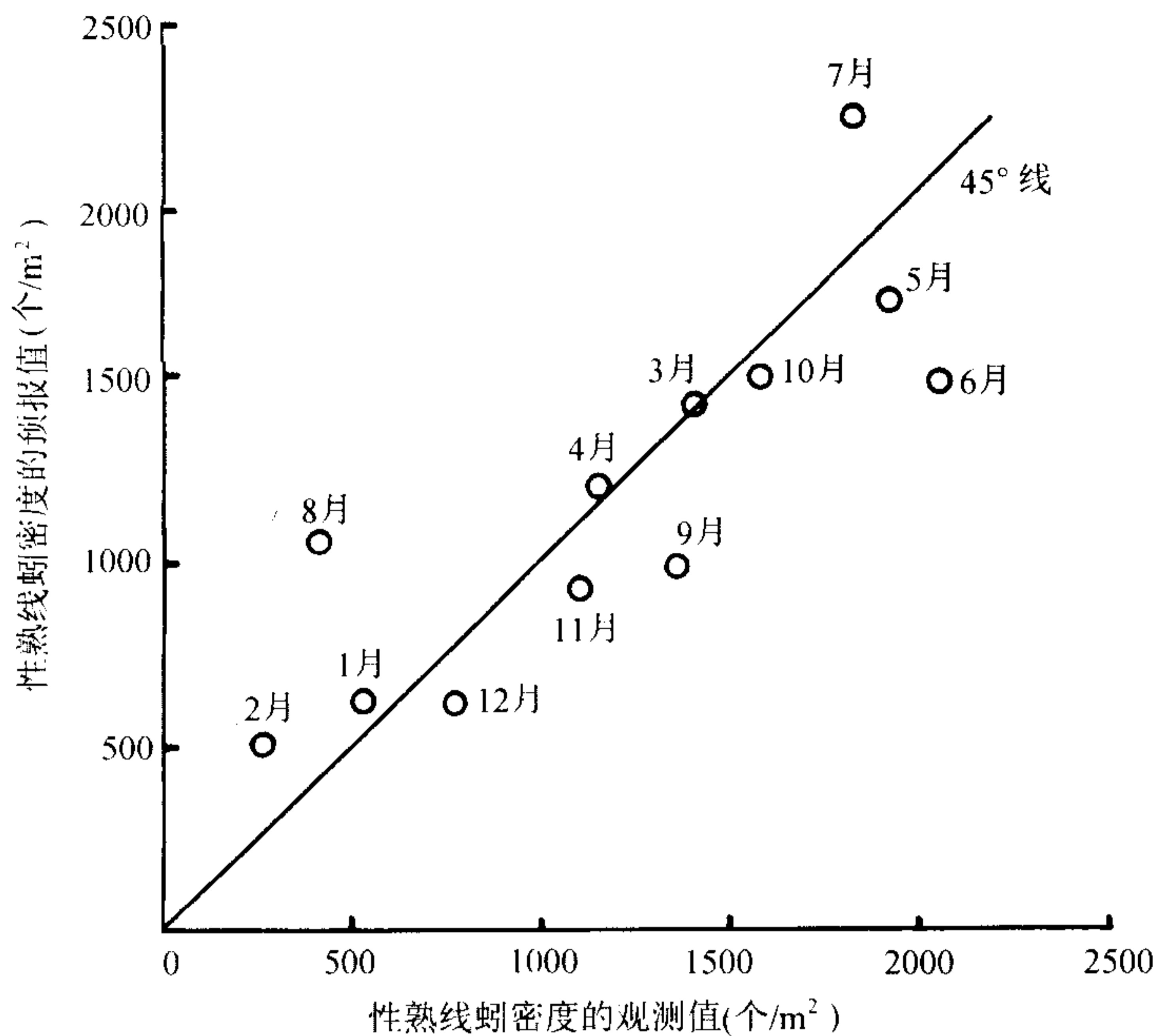


图 4-6-8 武汉珞珈山性熟线蚓密度的观测值与预报值(1993.10~1994.9)

Fig. 4-6-8 Observed and predicted densities of mature enchytraeids in Luojiashan, Wuhan(10,1993~9,1994)

[由下列方程预报:  $D_{ME} = 117.2SW + 90.21ST - 2548$

式中  $D_{ME}$  为性熟线蚓密度(个/m<sup>2</sup>)(0~9cm 深),  $SW$  为土壤含水量(%)(0~9cm 深),  $ST$  为土壤表层温度(°C)]

量。

上述诸式表明,在一定范围内,湿度越大,温度越高,线蚓或性熟线蚓的现存量就越高。8月份珞珈山干旱,土壤含水量 10.8%,仅为上月的一半。这是导致该月线蚓和性熟线蚓现存量锐减的主要原因。

## 5. 剖面分布

单位面积线蚓的数量与采样深度的关系可用一通式表示,即:

$$N_E(\text{或 } N_{ME}) = a \cdot d^b \quad (4-6-14)$$

式中  $d$  为采样深度(cm);  $a$  和  $b$  为常数,  $0 < b < 1$ ;  $N_E$  为线蚓数量(ind/m<sup>2</sup>)(0~ $d$  cm);  $N_{ME}$  为性熟线蚓数量(个/m<sup>2</sup>)(0~ $d$  cm)。

指数  $b$  可度量曲线的弯曲程度,即  $b$  越小,曲线越弯曲,线蚓的表层聚集现象就越明显;反之亦然。若  $b$  趋近于 1,则线蚓分布均匀。

以  $\lg N_E$ (或  $\lg N_{ME}$ )和  $\lg d$  进行运算,得 1、4、7、10 月线蚓和性熟线蚓剖面分布的回归方程,并写成幂函数式(图 4-6-10)如下:

线蚓:

$$1 \text{ 月, } N_E = 5052d^{0.5578} \quad r = 0.9905 \quad n = 4 \quad p < 0.01 \quad (4-6-15)$$

$$4 \text{ 月, } N_E = 2120d^{0.7051} \quad r = 0.9603 \quad n = 4 \quad p < 0.05 \quad (4-6-16)$$



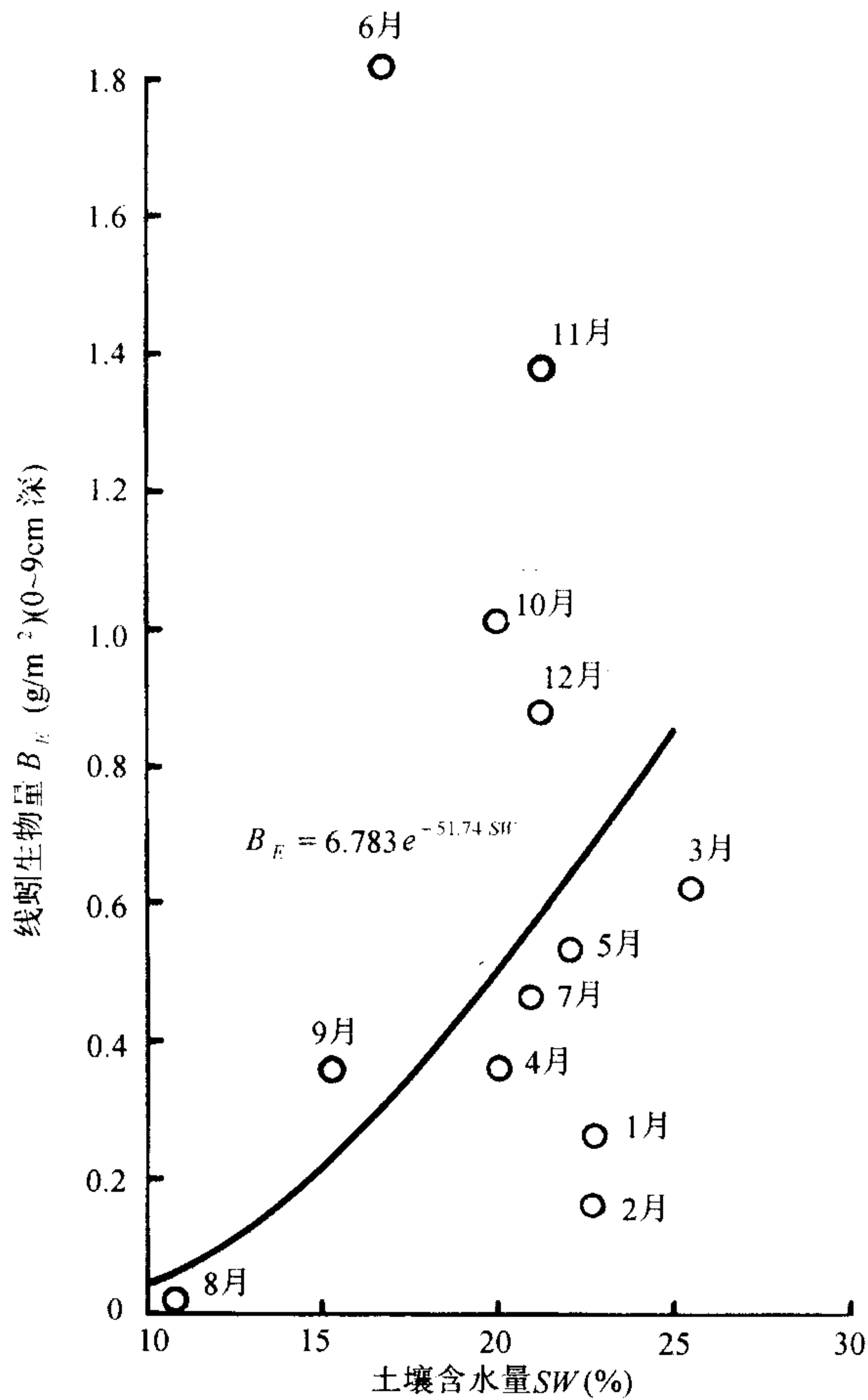


图 4-6-9 武汉珞珈山线蚓生物量与土壤含水量的关系(1993.10~1994.9)

Fig. 4-6-9 Relationship between enchytraeid biomass and humidity of soil in Luojiashan, Wuhan (10, 1993~9, 1994)

$$7 \text{ 月, } N_E = 7049d^{0.2075} \quad r = 0.9718 \quad n = 4 \quad p < 0.05 \quad (4-6-17)$$

$$10 \text{ 月, } N_E = 2791d^{0.1822} \quad r = 0.8446 \quad n = 4 \quad p = 0.1554 \quad (4-6-18)$$

性熟线蚓:

$$1 \text{ 月, } N_{ME} = 572d^{0.5640} \quad r = 0.9839 \quad n = 4 \quad p < 0.05 \quad (4-6-19)$$

$$4 \text{ 月, } N_{ME} = 198d^{0.8046} \quad r = 0.9872 \quad n = 4 \quad p < 0.05 \quad (4-6-20)$$

$$7 \text{ 月, } N_{ME} = 505d^{0.6120} \quad r = 0.9212 \quad n = 4 \quad p = 0.07882 \quad (4-6-21)$$

$$10 \text{ 月, } N_{ME} = 230d^{0.4256} \quad r = 0.8686 \quad n = 4 \quad p = 0.1340 \quad (4-6-22)$$

根据  $b$  值的大小可知,线蚓的表层聚集现象在 7 和 10 月较明显,0~2cm 层的数量分别占 0~17cm 层的 64.7%、62.6%,而 1 和 4 月仅占 30.6%、23.2%。相比之下,性熟线蚓的  $b$  值都较大,剖面分布不甚明显,在 1、4、7、10 月,0~2cm 层的数量分别占 30.4%、

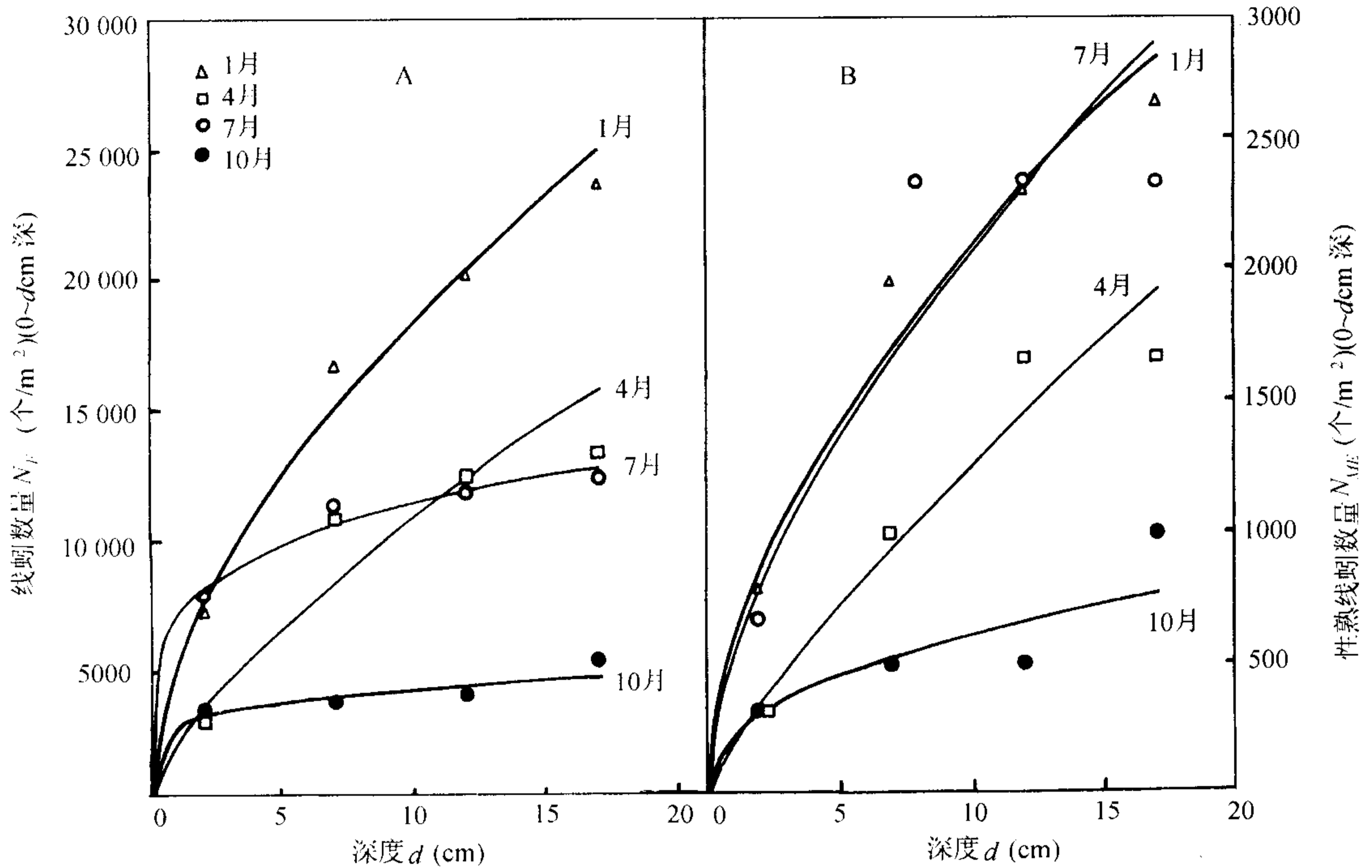


图 4-6-10 武汉珞珈山单位面积线蚓的数量与采样深度的关系(1993.10~1994.9)  
 Fig. 4-6-10 Relationship between enchytraeid density and sampling depth in Luojiashan, Wuhan  
 (1993.10~1994.9)

A. 线蚓 enchytraeids in total, 回归方程为:1月,  $N_E = 5052d^{0.5578}$ ;  
 4月,  $N_E = 2120d^{0.7051}$ ; 7月,  $N_E = 7049d^{0.2075}$ ; 10月,  $N_E = 2791d^{0.1822}$ 。  
 B. 性熟线蚓 mature enchytraeids, 回归方程为:1月,  $N_{ME} = 572d^{0.5640}$ ;  
 4月,  $N_{ME} = 198d^{0.8046}$ ; 7月,  $N_{ME} = 505d^{0.6120}$ ; 10月,  $N_{ME} = 230d^{0.4256}$ 。

19.8%、28.8%、33.0%。

线蚓的表层聚集现象在衡山亦存在。据我们1991年4月在不同海拔的12个采样点的调查结果(王洪铸,1995),0~5cm、5~10cm和10~15cm各层线蚓数量的均值分别占总均值75%、22%、3%,回归方程为:

$$N_E = 11576d^{0.2713} \quad R^2 = 0.9941 \quad n = 3 \quad p = 0.04889 \quad (4-6-23)$$

可见线蚓主要分布在土壤的表层,Nielsen(1955)曾有相同的论述。

## 七、青冈林落叶分解过程中甲螨群落的演替

在陆地生态系统中,植物在生长过程中不断进行机体的代谢,其中大部分的枯枝落叶降落于地表。这类植物的残体在地表经过土壤动物及土壤微生物的作用而分解,在分解过程中,其化学组成及物理结构相应地发生变化,而其中的土壤动物群落相应地也进行演替。土壤甲螨是土壤节肢动物的主要组成部分,过去的研究重点在于土壤甲螨在分解过程中的作用等方面,针对落叶分解过程中甲螨群落演替规律的研究较为缺乏(Hagvar &