

土壤管理与土壤退化

D. J. Greenland

中国科学院南京土壤研究所

图书情报研究室编印

1983年5月

# 土壤管理与土壤退化

D. J. Greenland

(国际水稻研究所, 菲律宾, 洛斯巴诺斯)

## 目 录

|                |    |
|----------------|----|
| 绪 言            | 1  |
| 最佳产量的土壤管理系统    | 7  |
| 土壤退化与土壤孔隙度     | 10 |
| 孔隙度的测定         | 11 |
| 有机质与土壤管理       | 15 |
| 土壤结构改良剂        | 18 |
| 免耕, 土壤管理和土壤退化  | 20 |
| 控制土壤含氧水平       | 22 |
| 脆弱土壤的管理——静静的革命 | 23 |
| 结 论            | 26 |

## 绪 言

自从 Malthus(1798)最先提出世界土壤是否能够为日益增长的人口提供粮食的问题以来,世界饥荒的幽灵就已经並在继续纠缠着人类。Jacks 和 Whyte(1939)在“地球的浩劫”一文中就谈到“就全球总耕地面积而言,可耕地单位面积产量正在下降”。最近, Strutt(1970)在英国的一篇题为“现代农业和土壤”的报告中警告说“一个潜在的忧虑是……土壤固有的肥力正在遭到侵蚀,土壤的基本结构也正受到无可挽救的破坏”。产生这些忧虑的地区主要是那些农民正在把禾谷类作物的生产扩展到传统的牧场或在实行农牧轮作制的土地上加剧禾谷类作物生产的地区。1968-1969年多雨的年份,耕作困难和较低产量看来有助于证实某些忧虑。而事实又如何呢?

英格兰和威尔士在 1948-1978 年期间,小麦产量获得直线上升(图 1),而 1968 年的轻微减产只能被看做是增产趋势中的一个微小的季节性波折。某些发展中国家的稻麦产量(图 2),也有同样的增产趋势。由于额外的种植面积和气候温暖地区每年可种植多季作物(图 3),使得总产的增加已远远快于单产的提高。Bachman 和 Paulino(1979)收集的资料说明:在许多发展中国家,总产增加可能更主要是由于每公顷产量提高,而不是新垦土地的耕种。1960-1975 年全世界农业总产每年增长 2%~3%(表 1),並可能继续保持这一增长速度。这一增长速度至少稍快于人口增长速度。由此看来,我们大可怀疑土壤不

可能供养日益增长的人口的忧虑是否具有现实依据。

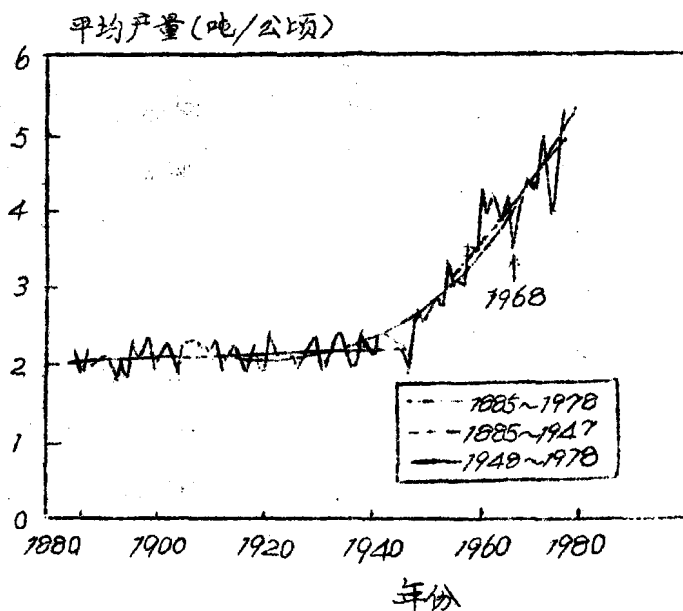


图1 1885-1978年英格兰和威尔士小麦平均产量趋势 (Elston, Greenland 和 Dennett, 1980)

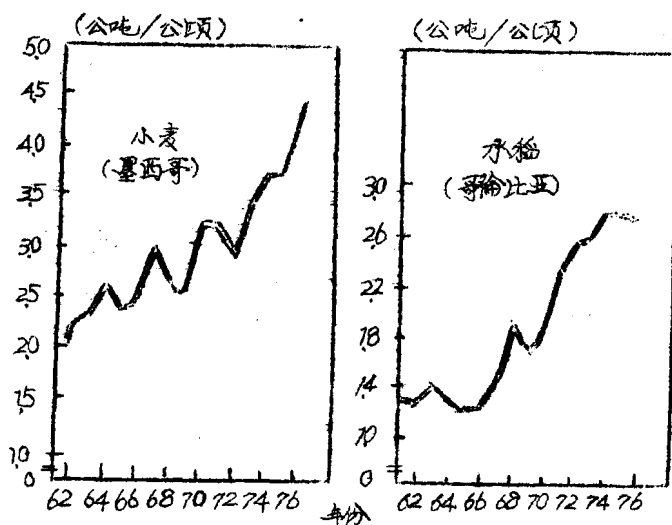


图2 1962-1976 墨西哥的小麦和哥伦比亚的水稻平均产量 (Bachman 和 Paulino, 1979)。

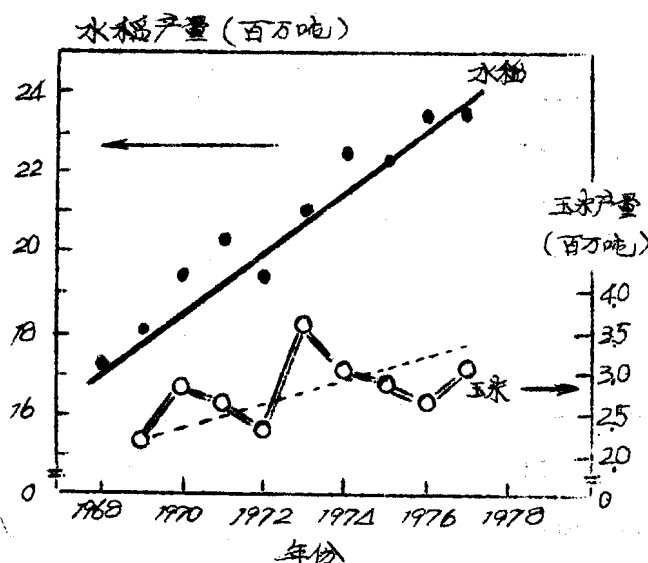


图3 1968-1977年印度尼西亚水稻和玉米产量 (World Bank Report, No. 2374-IND, 1979. 资料来源: Central Bureau of Statistics, 印度尼西亚)。

表1 农业总产平均每年增长百分率

|             | 1961-65 | 1966-74 | 1977 |
|-------------|---------|---------|------|
| 整个地区        |         |         |      |
| 非洲撒哈拉南部地区   | 2.9     | 1.8     | 0.5  |
| 东亚和太平洋地区    | 5.2     | 3.8     | 2.4  |
| 拉丁美洲和加勒比海地区 | 3.7     | 3.0     | 4.6  |
| 北非和中东       | 1.8     | 1.8     | -6.6 |
| 南亚          | 0.8     | 2.4     | 7.6  |
| 地中海国家       | 3.0     | 3.8     | -1.3 |
| 工业化国家       | 2.0     | 2.1     | 1.0  |
| 所有发展中国家     | 2.9     | 2.9     | 3.0  |

资料来源: World Bank, Annual Report, 1979.

与小麦的直线持续增产相反，英国糖甜菜产量似乎已开始停滞不前（图4）。其原因尚无一致的认识。常有人提出是因为病害增加和只注意更经济的生产方法，但也可能是土壤物理条件遭到破坏的结果。Hamblin和Davies(1977)曾对英国种植糖甜菜的许多东英吉利的粉砂质土壤中的结构情况进行了研究，并报导这些土壤上由于集约耕作和有机质减少而导致土壤结构变得十分脆弱。在有机质含量较低的土壤中，发育较紧实的土体结构明显地阻碍根系的发育。这可能与每年底沉重的糖甜菜收获机的使用有关，因为这时的土壤常常潮湿而易破坏。虽然这些土壤每三年中仅有一年用于糖甜菜生产，然而这种粉砂质土壤的收缩—膨胀能力有限，除非采用特别的栽培措施来纠正此问题，否则土壤结构就不可能重新建立起来。

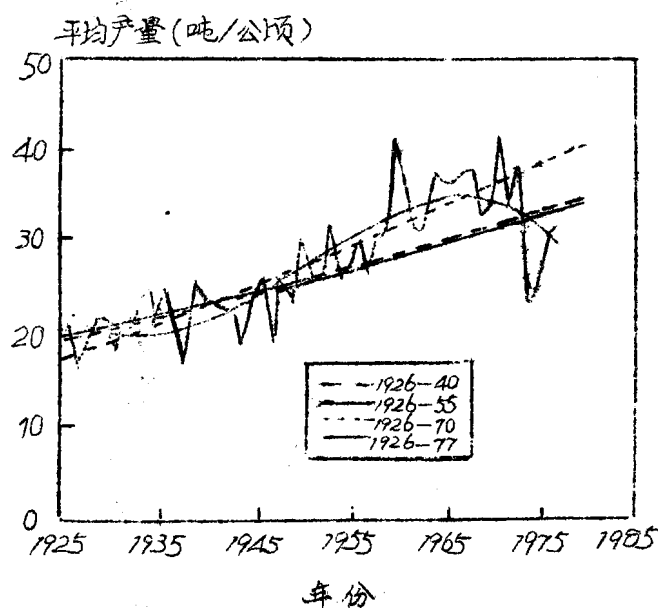


图4 1926-1977年英格兰糖甜菜平均产量趋势  
(Elston, Greenland和Dennett, 1980)。

较差的土壤结构条件可以通过对根系生长的直接影响而引起减产，也可能是由于使得排水不良引起的营养不良以及易染病害而导致减产。

因此，在英国大部分土壤具有全面高产趋势的同时，需要看到还有些区域存在着特殊问题。在这些区域，如果土壤破坏能够扭转，则应采取补救措施。如果出现无可挽救的破坏（土壤退化）的话，就需改变管理方法（Greenland, 1977）。

在许多发展中国家，我们仍必须发展合理的土壤管理方法。总的产量趋势往往掩盖了经常遇到的特殊局部问题。土壤侵蚀（照片 I）、沙漠化和盐渍化正在使得某些区域不能用于作物生产，并且结构破坏和有机质损失等不大令人注意的问题常常使产量大大低于其应有的产量潜力。

有助于增产的主要因素无疑是，较多的肥料施用、足够的劳力投放和充足的灌溉水（图 5）以及培育和选用适应高肥条件的高产品种（Dalrymple, 1979）。两年前，Cooke 博士在 Exeter 召开的土壤学会的主席致词中，强调了肥料对于增产的重要贡献，并指出：如欲保持增产，则需考虑到植物养分的适量供应与土壤物理条件之间的相互作用。他的结论是：“无法了解、测定土壤结构并通过耕作对它加以控制，以及无法定量确定其对养分和水分供给的影响程度，是通常不能获得禾谷类作物持续高产的一个重要因素”，并且指出“在发展鉴别影响作物生长的有关土壤结构问题的方法方面以及发展测定各种耕作深度对结构和作物产量的影响的方法方面，还需要付出很大的努力”（Cooke, 1979）。

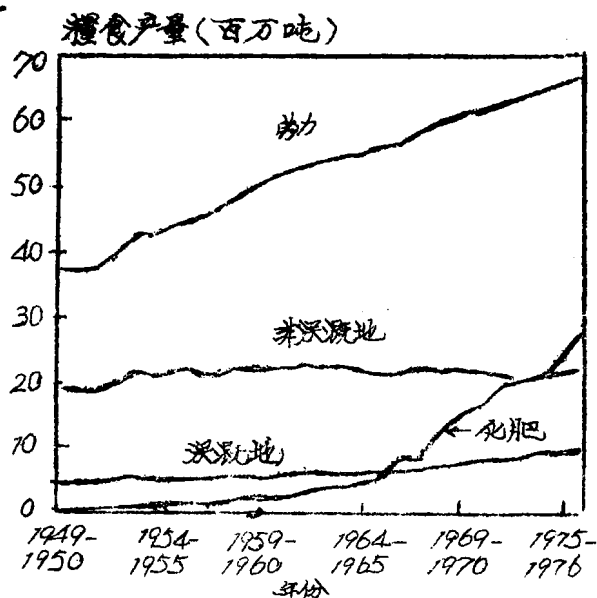


图5 1949-1975年肥料、劳力、土地和灌溉对印度农业生产的贡献 (Mellor, 1976)。

肥料的合理施用无疑是良好土壤管理中首要的因素。土壤结构的合理管理通常处于第二位；但在那些土壤特别易于退化的地区，或者一旦养分问题大体解决时，合理的土壤结构管理则上升为首要因素。在大量应用化肥和农药的地方，限制根系生长、水分供应和养分吸收的物理条件往往是阻碍产量达到其生产潜力的因素。

因此，土壤管理研究有两个主要任务：(1)发展可以避免“脆弱”地区土壤退化的方法，同时，促使能获得满意的作物产量；(2)发展按经济效益创造最佳土壤条件的方法，使得作物产量接近它们的生产潜力。本文将举例说明土壤管理问题与作物产量最佳

## 化和土壤退化的关系

### 最佳产量的土壤管理系统

现已知道，要获得旱地作物的高产，所有下列土壤条件必须得到满足：土壤必须排水良好；土体中必须有充足的传导孔隙和储藏孔隙度；根系在至少5.0公分深的土体内能自由伸展；必须能良好地供给植物所需养分；无有害元素；并且土壤酸碱度较为适中；土壤若能有中等以上有机质含量更佳，但不是必不可少；孔隙度应不受降雨和机械操作影响。假使这些条件得到满足，产量则取决于气候与作物的遗传潜力。对于热带良好施肥条件下的水稻来说，高产新品种的产量直接与开花前一段时间的辐射量有关(Yoshida 和 Parao, 1930)。生长在淹水土壤的水稻，其产量对土壤物理条件的依赖性比旱地作物小得多，并且，热带的温度条件通常不限制产量。对于旱作，物理条件对水分有效性的影响，以及水分有效性和养分吸收之间的相互作用常常决定产量的高低。Penman(1971)提出，几种作物的产量可由下面的方程式来描述：

$$Y = 29 \epsilon E_1$$

式中：Y为以总植物干物质表示的产量，单位是吨/公顷；

$E_1$  为潜在蒸腾，单位是厘米；

$\epsilon$  为辐射利用率的一种经验值。

$E_1$  理所当然与太阳辐射密切相关。在水分成为限制因素的地方，该方程必须进行更改。Nix(1976)在澳大利亚已成功

地提出了一种模式，可以依据水分和氮素供应情况预测小麦产量。另有几种适应不同作物和地区的模式。也均说明了水分供应和养分的相对重要性。

为了获得高产，必须调整土壤管理，尽可能地创造上述那些物理性质——适宜的孔隙大小范围，排水通畅和根系伸展自由。如果必要元素在土壤中的有效量不足，则须适当地增施。耕作多年前就用来创造人们认为必要的孔隙度。土壤经过一年的沉实变为含有极少传导孔隙或裂隙的较紧实土体，而耕起措施可以使土体疏松，产生一种具有小团聚体的“耕性”，这种团聚体间有足够的传导孔隙，可以使根系生长，出苗和空气运行自如（Russell, 1971）。团聚体内应有可以抵抗重力而保持水分并能容易地释放水分给植物根系的孔隙。这就意味着，一般土壤应含有高比例的直径相当于0.5-2毫米的团聚体，并且这些团聚体应不太紧实。Currie(1966)采用罗桑试验站长期试验田的土壤表明，在活跃的生物群多年作用下的老牧场土壤中，团聚体密度为1.2~1.6克/立方厘米，而在长期种植地的土壤中，生物活性低，团聚体紧实的多，其密度接近2克/立方厘米。来自阿德莱德（澳）的Waite研究所长期轮作试验田的土壤团聚体表明了类似的差异。

常常为人引用的粗略衡量估计是：如果土壤田间持水量时的通气孔隙度（即传导孔隙的体积）低于土壤体积的10%，作物将会遭受通气不良的危害（Baver和Farnsworth, 1940）。然而de Leenheer(1977)曾证明，传导孔隙度与储藏孔隙度可能呈现负相关。也就是说，传导孔隙的减少则伴随着储藏

孔隙的增加。在比较干旱的年份，储藏孔隙保持的额外水分 (extra water) 对作物产量起着重要的作用。这时，传导孔隙度与产量则呈负相关。

在仔细而严谨地大量记述土壤物理性质、气候因子、植物养分和作物产量之间的复杂关系方面，De Leenheer所做的工作十分重要。他的工作还证明，土壤中孔隙大小分布适当的测定方法对于了解物理条件如何影响植物生长是很重要的。

Hall 等人 (1977) 已在假定条件的基础上提出了一个土壤耕层结构质量的分类：

“极好”：空气容量占体积15%以上，有效水占20%；

“好”：空气容量占体积10~15%，有效水占15~20%；

“中等”：空气容量占体积5~10%，有效水占10~15%；

“差”：空气容量小于体积的5%，有效水占10%。

这样一个和产量相关的孔隙度的分级方法与“10%粗略衡量法”相比，肯定是一实质上的进步。然而，这种分级仍过于简单。正如 Hall 等人 (1977) 所指出，这种分级仅根据土壤耕层的资料，并不包括与根系在心土中发育有关的心土水分储量和孔隙等因素的影响，也未能考虑到季节和作物的差异。De Leenheer (1977) 在对一粉砂壤土研究了十五年之后发现，储藏孔隙容积对于禾谷类作物来说总是与产量呈正相关，而对于糖甜菜来说，有时是正相关，有时是负相关。但传导孔隙 (直径 > 300 微米) 度与产量的关系，无论对于禾谷类作物或糖甜菜，均有时呈正相

关，有时呈负相关。

## 土壤退化与土壤孔隙度

孔隙度无疑是一结构条件最好的指标，然而土壤孔隙度与产量之间相互关系的复杂性告诉我们，不能简单地推断说，孔隙度的减少（土壤紧实）就表示退化。尽管 El-Karouri 和 Gooderham (1977) 等提供了这样的资料。表土传导孔隙的减少一般可由耕作来扭转，但耕作也可破坏传导孔隙的继续性。耕作未必能创造转好的排水条件，但若伴随适当的底土松耕，以引起自土表至心土的裂隙，耕作则能起到使排水良好的作用。特别是长时期的生物作用，也能恢复孔隙度，可能既包括传导孔隙也包括储藏孔隙。蚯蚓(enchytraeid worms)的活动在孔径为20~50微米的储藏孔隙的产生中，可能具有特别的价值。

土壤结冰和解冻以及潮湿和干燥的过程也能有助于增加土壤孔隙，但人们对于此种作用引起的孔隙大小分布变化方面几乎没有进行研究。有可能结冰或干燥的出现速度决定产生的裂隙或孔隙之间的大小和间隔。土壤的粘结作用也很重要。在掌握更多的有关决定土壤孔隙度变化的这种基本过程的资料以前，我们很难确定自然过程究竟能在多大的程度上恢复由土壤压实所造成的孔隙度损失。

许多“自幂”土壤已为人们所认识，这些土壤为粘土至粘壤土，干燥后不会结块，而成为一种小团聚体构成的松散土体（照

片Ⅱ)。引起这类行为的特性至今尚未验明。在澳大利亚。导致自然干燥土幕形成的重要过程似乎是快速的干燥和再湿润过程。在较寒冷的地带，这类过程很可能包括快速的结冰和解冻过程——产生出为很多农民称之的“冰冻耕性”（“frost tilth”）。罗桑试验站土壤连续多年耕种后仍能保持令人满意的结构曾受到广泛的议论。Russel(1971)提出，这种稳定性可能与铁铝水氧化物的影响有关。虽然这些可能具有某些影响，但这些土壤总的说来属于Emerson的分级的第Ⅲ级（Greenland等人，1975），也就是说，如果湿时操作，土壤即分散。所以其结构仍应被看作是不稳定的。因此更可能的解释（Greenland，1977）似乎是：这些土壤由于结冰和解冻过程或潮湿和干燥过程。或者是两种过程都兼有之的影响自然地进行了“结构重新组合”。这就意味着，这种土壤具有这样一种质地和结持度，从而在其充分的膨胀作用影响下形成了大小适中的团聚体。

### 孔隙度的测定

毫无疑问，测定土壤中孔隙大小分配的困难已成为妨碍我们了解孔隙度与作物产量、土壤管理和土壤退化之间关系的一个主要因素。最普遍的孔隙大小分布测定方法建筑在土壤具有一个完全稳定的孔隙结构这一假设上的，以抽取水分所需的吸力作为正在释放水分的孔隙的大小衡量的尺度，在不同吸力之间释放的水的体积即相当于由那些吸力测定出的孔隙容积。对于沙质壤土和质地较粗的土壤，此法测定结果接近实际值。在较粘重的土壤中，

抽水时往往出现土体收缩，释出水量为孔隙大小和结构性破坏两者的函数，当抽水时，土粒移动而相互聚积。

利用水分释放曲线求得表观孔隙大小分配的方法已非常广泛地应用。例如，de Leenheer (1977) 在其研究中曾利用水分释放曲线求得表观孔隙大小分配的数值。而 Hall 等人 (1977) 已把此项技术广泛地用于英国土壤。此方法除了质地粘重的土壤所产生的问题外，也不适合于用来求取不能抵抗重力保持水分的粗传导孔隙的数据，尤其是在使用小的原状土柱时，因为这种小原状土柱一般不太可能具有这种孔隙的代表性样品。对于大土块的这些孔隙的测定，可供选择的另一种方法是用蜡或黄光树脂浸渍，然后计算浸渍的孔隙。大原状土柱的切片摄影照片的“射量仪 (Quantimet)” 算法可以快速定量分析孔隙大小和其它特征。无论采用何种测量方法，适当的采样对大田或小区的土壤裂隙和传导孔隙进行符合实际的定量测定，当然是必不可少的。同样道理，由于这种孔隙度在田间很容易变化，如果变化是随着耕作和其他管理措施而引起的，通常必须在严格控制条件下进行田间采样。

Bullock 和 Thomason (1979) 最近对分别用水分抽吸法和图象分析法测定的传导孔隙度 (当量孔径  $> 60$  微米的孔隙) 结果进行了比较并发现，两种方法的测定结果很不一致。大多数水分抽吸法的结果低于图象分样法结果。这种差异，他们归因于来自封闭孔隙中无法抽吸的水。有些地方图象分析得出的结果较低是因为采样的误差。另外还有许多其它可能的错误来源，因此对在测定土壤中具有重要意义的较大孔隙范围的技术方面，必须

进行更为仔细和严格地分析。

正如绪言中提到的，随着集约耕作管理而引起的结构破坏，大多出现在中到重粘土壤上，可能是由于土壤湿时耕作，粘粒脱离团聚体而分散的结果。这种结构破坏程度很难测定，但测定传导孔隙与储藏孔隙减少可能是解决的方法。但是，这些土壤很易收缩，因而利用水分抽吸曲线确定孔隙度的方法常会导致误差较大的结果。其它方法测定孔隙度则需移除或置换出最初其中存在的水。Greenekelly(1973)提议，临界点干燥法(Critical point drying)，能在完成这种测定时使收缩出现得最小。Lawrence等人(1979)已证明，这种方法在引致最小的变化方面优于冰冻—干燥法(收缩 $<15\%$ ，而使用直接干燥法，收缩超过 $40\%$ )。水银孔隙度计(Mercury porosimetry)可以在水取代后很快地测出孔隙大小分配。对于小团聚体来说，至少这种方法似乎较令人满意(Lawrence等人，1979; Newman和Thomasson, 1979; Murray和Quirk, 1980)。

另一种可以测定田间总孔隙度变化的方法为‘减压测定法’(relief metering)，此法可测定地表和一固定深度或多个深度之间的土壤总体积。如同时对土壤含水量变化进行检测，则不仅能测出土壤是否出现收缩或膨胀，而且能测出其多大程度上可归结于水分吸收作用。‘减压测定方法’的研究正由Reading大学的Payne博士在ARC Letcombe实验室的几块耕作试验田中进行。Goss等人(1978)一直对这些试验田的含水量进行检测，结果比较表明，大部分收缩和膨胀可能直

接与含水量变化有关，此外，还有相当多的膨胀和开裂的出现是由于冰冻的影响和由于某一或某些目前尚未查明的因素。这类研究的继续进行必将获得许多有关结构重组过程的极其有价值的资料。

| 1977        |      | 1977        |                                     |
|-------------|------|-------------|-------------------------------------|
| EPd $\mu m$ |      | EPd $\mu m$ |                                     |
| >500        | 裂隙   | >300        | 通气容量                                |
| 500 -       | 传导孔隙 | 300 -       | 正常排水<br>孔隙 $p^F_1 - p^F_2$          |
| 50 -        |      | 30 -        |                                     |
|             | 储水孔隙 | 9 -         | 缓慢排水<br>孔隙 $p^F_2 - p^F_{2.54}$     |
| 0.5 -       |      | 0.2 -       | 有效持<br>水量 $p^F_{2.54} - p^F_{4.19}$ |
| 0.0 -       | 剩余孔隙 | 0.0 -       | 无效含水量                               |

\*EPd = 相当的孔隙直径 (equivalent pore diameter).

图6 各组孔径功能描述。由于不同土壤间重力排水和植物吸水的极限孔径不同，因此上述划分必然带有任意性。

孔隙度研究中还有一个小小术语问题。Greenland

(1979) 在别处已进行了讨论, 並发表了一个不同孔隙度范围的比较术语表。也许最混乱的是怎样看待可以抵抗重力而保持水分的孔隙。这种孔隙可被描述为大孔隙 (macropores) (IUPAC, 1972), 小孔隙 (minipores) (McIntyre, 1974), 微孔隙 (micropores) (Smart, 1975), 或微空隙 (microvoids) 和超微空隙 (ultra-microvoids) (Brewer, 1964)。de Leenheer (1977) 和 Greenland (1977, 1979) 则提出依其功能描述的术语 (图 6) 来代替利用“大”、“微”、和“小”描述的术语。这些术语的差异与描述孔隙主要采用的技术有关; 例如, 光学显微镜学家发现储藏孔隙是超微的 (ultra-micro), 电子显微镜学家发现它们是小的 (mini), 而气体吸附专家则认为大的 (macro)。

### 有机质与土壤管理

老牧场土壤中的团聚体不仅孔隙较多, 而且较稳定。这种特有的稳定性已为世界各地所进行的许多研究所证实 (Greenland, 1971; Russell, 1973; Allison, 1973)。这种稳定性同老牧场土壤有机质含量较高有关。十多年来人们已清楚, 有机质的作用在于增强大团聚体间和微团聚体间的结合作用, 其中多糖部分可能起主导作用。不过这种土壤有机质含量一般较高, 除多糖物质作用之外, 腐殖化程度高的其他有机质组成会有助于团聚体稳定性 (Greenland 等人, 1962; Clapp 和 Emerson, 1965; Greenland, 1970; Allison, 1973;