

# 土壤物理学

L. D. 贝佛尔

科学出版社

# 土 壤 物 理 学

L. D. 貝佛尔 著

張君常	徐松齡	吳珊眉	譯
徐盛榮	陳邦本	王立德	
刘伊农	黃瑞采	黃崇翰	校

科 学 出 版 社

1 9 6 5

L. D. Baver  
SOIL PHYSICS  
(Third Edition)  
John Wiley & Sons, Inc., New York  
1956

## 內 容 簡 介

本书根据1956年出版的L. D. 貝佛尔原著“土壤物理学”第三版譯出。内容包括有土壤的机械組成,土壤胶体的物理性状,土壤結構,土壤空气,土壤水分,土壤的灌溉原理,土壤的排水原理,土壤温度,土壤耕作,与土壤侵蚀等方面,可作为高等农业院校土壤农化专业的教学参考书及土壤科学工作者的参考之用。

## 土 壤 物 理 学

(美) L. D. 貝佛尔 著

張 君 常 等 譯

刘 伊 农 等 校

\*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝陽門內大街117号

北京市书刊出版业营业許可証出字第061号

中华书局上海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

\*

1965年8月第一版

开本: 850×1168 1/32

1965年8月第一次印刷

印张: 14 1/4

精装: 0001—1,400

插页: 10

平装: 0001—1,600

字数: 388,000

统一书号: 13031·2134

本社书号: 3258·13—12

定价: [科六] 精装本 2.90 元  
平装本 2.40 元

## 原著第三版序

土壤物理学的第三版试图把世界各地的土壤科学家们给予作者的许多卓越的见解编进去。例如，一个建议是将原来的第二、三、四章重新组织成三个密切联系的章节并给予新的标题，希望在新的编排中将粘粒的各种特性用更紧密的次序表达出来。另一个是将原来参考文献的数字顺序改作以其发表的年限来标明。土壤空气的那一章移到土壤结构与土壤水分两章的中间，并且新增了第八章土壤灌溉的原理与第九章土壤排水的原理。其他章节的主要修改包括有：删节了一些土壤机械分析的陈旧的方法，以及在讨论土壤水分时避免了对  $pF$  的普遍应用。增加的部分包括有：在第四章中关于土壤粘结化的讨论，第五章中关于化学的土壤环境对于土壤结构的影响，第六章中关于土壤通气的扩散过程的最新研究，第七章中关于水力传导度及关于水分压力对植物生长的影响，第十一章中关于土壤耕作对于土壤坚实度的重要性，第十二章中关于风蚀的过程。并且扩充了目录以表明各章的详细节次。

L. D. 貝佛尔

1956年1月于夏威夷,檀香山

## 原著第二版序

“土壤物理学”的修订本，在形式上与初版没有什么改变，作者企图将过去七年内土壤物理领域中的主要文献编入新版中。本书主要增加的内容有：以电子显微镜对土壤颗粒形状的研究结果为中心的材料，关于土壤水分关系方面知识的进展，土壤结构和土壤通气方面的某些新发展，增加了犁耕的知识，以及雨滴对于土壤侵蚀的影响等内容。

L. D. 具佛尔

1948年5月1日于夏威夷，檀香山

## 原著初版序言

土壤物理学是土壤科学的一个分支，它在最近二十年間引起了日益增长的兴趣。在英国、法国、德国和苏联的科学期刊上都发表有大量的技术成果。但在大部分場合，各个人的兴趣都仅涉及到土壤物理特性的某一特殊方面。本学科的領域是如此广泛，任何一个个人的活动範圍都是有限的。

虽然在土壤物理領域中的許多研究是有成就的，但是从事这一学科的教师都因缺乏适当的教材而苦恼，除非教师本人对土壤物理方面的研究有紧密联系以及接触过大量的国外資料，則准备一門内容丰富的土壤物理学課程是一項艰巨的任务。

作者在过去九年間从事土壤物理学的教学工作，并幸运地查閱了有关他的研究課題的大部分国外資料。根据土壤物理研究工作中各方面的实际經驗，加上对法、德及苏联的文献的广泛的綜合，完成了一套筆記，从而建立了土壤物理学的課程。这門課程受到大学生們特别是研究生的欢迎，而学生們对于本課程的思想体系和内容的反应，也促进对教材資料作最后的整理，使其明确易懂。

对于土壤物理学各个部分的討論是試图从教师在課堂对全班讲授的角度出发的。对于一个重要問題的說明，常运用简单的比拟和极为詳尽的論述。作者所以这样做，是因为他确信这个事实：如果某一課題的内容对于有高度专门修养的教师似乎是明显的問題，因而臆测学生們能充分意識到其复杂性，那么要很成功地完成教学是很难的。本书的基本目的是为了适应水平較高的大学高年級学生和研究生們的需要。其中有某些章节，无疑地对于大学肄业的班級是太繁难的。但是可以把它們略去而不致影响本书内容的連貫性。为了易于明了起見，本书避免了繁复的数学推导。这些可以根据教师讲授时的需要作适当的增补。

本书不求在某一专题上将所有文献都完全引用。每章末都选有参考文献，这些都是作者认为代表着重要观点的。有一大部分是选自上一世纪的最后二十五年间进行的一些经典的土壤物理研究工作，因为许多这样的文献现在不是一般所易得到的，这样做认为是必要的。

在很多场合，试验证据还不允许用建立对于某一特性的确切叙述。作者试图引用就他所知的各种不同观点，并以个人的见解来阐明这些论点。当然，作者的见解视将来研究成果的许可而会随时有所修正。

应该承认，其他的研究者可能在观察某一现象时在方法上与本书所讨论的有所不同。虽然如此，本书内容的提法代表着作者对本学科的概念。通常不同解释只是由于观点的差别。作者试图阐明土壤物理的基本方面的概念及其实际应用，特别注意到某一专题的各个不同方面都给以实际的说明。可以相信，由于按着这个原则来论述，不但使本书更饶兴趣，而且也更有实用价值。

L. D. 貝佛尔

1940年10月1日于北卡罗利納州，罗利

# 目 录

第一章 緒論 .....	1
第二章 土壤——一种分散系 .....	10
粘粒——土壤的活动部分 .....	13
粘粒的性质 .....	13
粘粒的表面性能 .....	23
第三章 土壤的机械成分 .....	47
样品的制备 .....	47
影响分散的各种因素 .....	47
获得分散的方法 .....	49
分散作用摘要 .....	53
样品的分离 .....	53
粒子在液体中的沉降 .....	53
在顆粒完全分离基础上的分析 .....	56
在土粒大小分布基础上的分析 .....	61
第四章 土壤水分系统的物理性质 .....	78
粘土的水合作用 .....	78
胶体粘土的粘滯性 .....	78
胶体粘土的湿脹 .....	84
粘土水合作用的摘要 .....	90
土壤的結持度 .....	91
土壤結持度的分类 .....	92
潤土及湿土的結持度 .....	93
土壤可塑性 .....	100
土壤的脫粘点 .....	110
土壤的粘閉性 .....	111
干燥土壤的結持度 .....	113
第五章 土壤結構 .....	117



结构的分类 .....	117
土壤结构的发生 .....	123
土壤结构关系中应考虑的因素 .....	151
判定土壤结构的方法 .....	159
耕作差异对于土壤结构的影响 .....	171
土壤结构对农业的意义 .....	181
第六章 土壤空气 .....	187
土壤空气的容量 .....	187
土壤空气的成分 .....	192
土壤空气的更新——气体交换 .....	196
土壤的透气度 .....	204
土壤通气性的指标 .....	206
第七章 土壤水分 .....	210
土壤水的概念 .....	210
水分的运动 .....	231
土壤水分常数 .....	264
土壤水分压力与植物生长 .....	269
土壤水分的测定 .....	271
第八章 土壤灌溉的原理 .....	285
植物对于水分的反应 .....	285
土壤灌溉需要的评定 .....	288
灌溉后水分的分布 .....	290
灌溉控制 .....	293
第九章 土壤排水的原理 .....	311
排水的意义 .....	311
土壤空气容量与排水的关系 .....	312
人工排水的类型 .....	313
排水系统中水流的形式 .....	315
土壤性质对排水系统设计的影响 .....	333
摘要 .....	337

第十章 土壤温度 .....	341
热源和热量 .....	341
土壤的热容量 .....	347
土壤的热传导和热流 .....	349
土壤温度的日变化及季节变化 .....	356
第十一章 土壤的物理性质与耕作的关系 .....	363
土壤耕性 .....	364
耕地 .....	367
准备播种床 .....	383
中耕 .....	390
土壤耕作中的紧实问题 .....	397
第十二章 土壤的物理特性与侵蚀的关系 .....	403
土壤在水分循环中的作用 .....	403
水的侵蚀作用 .....	404
径流与侵蚀问题的分析 .....	404
土壤性质在控制土壤侵蚀工程方面的重要性 .....	433
风的侵蚀作用 .....	441
人名对照表 .....	449
内容索引 .....	455

## 第一章 緒 論

土壤是一个非常复杂的組織。一定容积的土壤是由固体物质、液体物质及气体物质組成的。固体方面可能是矿物的或有机的。矿物部分系由不同大小、形状及化学成分的粒子所組成。有机部分包括不同阶段的分解残余以及活的、有活动力的有机体。液体方面是充滿固体粒子間一部或全部孔隙的土壤水，这种土壤水的化学組成及其移动自由各不相同。气体方面占据着土壤粒子間未被水填满的那部分孔隙；它的組成可以在相当短的时间之内发生变化。在固体、液体和气体之間，它們的化学关系和物理关系不仅受它們本身的各自性状的影响，而且受温度、压力和光的影响。土体的机械性能称做土壤的物理性质。对于这些性质的研究叫做土壤物理学。

在复杂的土壤組織內生长着作为农业基础的各种植物。如果固体方面含有能釋放出給植物的足够营养物，这种土壤就是肥沃的。如果固体粒子間孔隙的分布既能为植物生长提供充足的貯水，又能給植物根系适当的通气，这种土壤就认为具有有利的水分和空气关系。土壤生长作物的能力不仅依靠营养物的适当供应，而且还依靠能使植物最有效地利用可利用的营养物的空气和水分关系，以便使根部发育更为广泛，而且生物过程和化学过程可以在最适的条件下进行。由于一向強調土壤化学与土壤肥力的关系，土壤物理性质对于植物生长的重要性很少为人所充分重視。

**舒伯勒(Schübler)的研究** 韓費銳·大卫爵士(Sir Humphry Davy, 1813)是首先認識到土壤物理性质在农业中的重要性的人們之一。舒伯勒追隨其后，于1833年写过一本“农业化学原理”。在这本书中他报导了土壤物理学的第一次技术調查。在这本书的第二部(有关农学的部分)他在讲述土壤化学的同时，討論了“影响土壤生产力的物理性质”。这些性质是

1. 干燥状态及湿润状态的比重及容重.
2. 根据重量和根据容积的持水量.
3. 干、湿状态的韧度和固体性.
4. 在空气中干燥时的不同程度.
5. 干燥时的体积减少.
6. 从大气中吸收水分.
7. 从大气中吸收氧.
8. 土壤的热容量.
9. 从阳光中吸收热的能力.
10. 润湿时的放热能力.
11. 极电作用及导电性.

舒伯勒研究了 13 种不同物质,包括不同的砂土、各种粘土、各种碳酸盐粉末、石膏粉末、腐殖质和肥沃土壤. 他的研究结果有几种列入表 1. 应当注意到,对于土粒大小的特殊影响,他并未做任何研究. 但是,自从对各种砂粒-粘粒混合物进行比较后,就看出土粒大小的重要性了. 他对土壤结构、水分、结持度及温度给予了特殊重视. 他的研究指出在土壤的空气-水分关系中孔隙度的价值,虽然空气容量并未特别测定. 以容积百分数表示持水量及测定容重是了解土壤孔隙度的两个重要步骤. 对于水-汽吸收、润湿热、干燥速度及容积变化的研究指出,有必要对于土壤的表面性质进行估价. 这些研究大大地超越了已知的关于粘粒和吸收方面的知识. 在土壤的机械处理方面,结持度的重要性为韧度、固体性及粘着力的研究所充分证实. 粘着力测量是用木和铁进行的,因为这两种物质是当时用来制造耕作机具的材料. 由于从直接阳光中吸收热的研究,使土色和含水量对于土壤温度关系的重要性显著起来. 业经发现:湿的淡色土壤总比排水良好的深色土壤难于变暖. 所有这些结果都是杰出的,而关于比重的资料在近代教科书中屡被引用. 舒伯勒对于土壤物理及农业化学的研究,由于当时李比希(Liebig)及其他学者的研究而黯然无光. 显然,想借助化学以解决植物营养和土壤肥力问题的热情使土壤物理学的研究冷落一隅.

表 1 各种土壤的物理性质  
(舒伯勒)

物理性质	土 壤 类 型					
	石 英 砂 粒	輕粘土 45%細 砂 粒, 55%粘 粒	重粘土 10%細 砂 粒, 90%粘 粒	純粘土	腐殖质	生产性大 田 土 壤
比重	2.653	2.601	2.560	2.533	1.370	2.401
容重						
每吋 <sup>3</sup> 干粒	495	435	357	334	154	376
持水量						
重量百分数	25	40	61	70	181	52
容积百分数	37.9	51.4	62.9	66.2	69.8	57.3
韌度						
干粘粒=100	0	57.3	83.3	100	8.7	33.0
粘着力—湿的在鉄上						
磅/呎 <sup>2</sup>	3.8	7.9	17.2	27	8.8	5.8
干燥能力						
在 18.8°C 損失 90%						
水分所需時間	4 小时	6 小时	10小时	11小时	17小时	11小时
收縮 每 1,000 厘米 <sup>3</sup>	4 分	55 分	19分	17分	3 分	15分
水—汽吸收	0	60	114	183	200	120
每 1,000 克在 48 小时						
內	0	28	40	48	110	23
热容量						
石英砂粒=100	95.6	76.9	68.4	66.7	49.0	70.1
干燥面的温度,在阳光下						
空气温度 25°C	44.8	44.1	44.6	45.0	47.9	44.3

**舒馬赫(Schumacher)的貢獻** 1864年舒馬赫在他的“物理学”中重新強調舒伯勒的研究. 这本书中土壤物理学的大部分根据舒伯勒的原始資料. 舒馬赫的主要兴趣在于土壤中空气和水的移动, 并且介紹了毛管孔隙和非毛管孔隙的概念以及土壤的毛管飽和量的概念. 土壤能够保持的水量, 它的毛管飽和量, 被认为是土粒大小的函数, 这种土粒大小决定毛管孔隙的数目和大小. 水在土壤中移动的速度被认为决定于土壤的結構, 因为它影响非毛

管孔隙的数量。舒馬赫強調土壤表面狀況對於空氣和水分的進入的重要性。他也注意到，在可滲透面下出現粘重層對於土壤水流動的影響。他論述到水分對於農業實踐的關係，並且提出根據土壤物理性狀的排水和灌溉方法。

舒馬赫試圖從土壤物理性能的观点分析各種類型的土壤，然後提出能夠達到土壤的物理改良的管理方法。排水、深耕、施用石灰、增加砂土、使用有機質及霜凍作用認為是改良粘土的主要因素。而為了改良砂土則推薦灌溉、增加粘土及使用有機質。施用綠肥是增加砂土毛管容量的有效方法。舒馬赫認識到植物葉子對於土壤遮陰作用的重要性，並且認為葉子對於雨滴的衝擊所起的保護作用具有重要意義。由於雨滴的衝擊而引起的土粒分散以及接着把土粒沖入非毛管孔隙，被認為是土壤堅實的主要原因。

儘管當時對於用化學方法解決農民的問題的熱情極高，仍難理解，舒馬赫依據土壤性能及植物關係對於土壤物理性質的實際分析何以竟會完全湮沒。他的許多建議，與舒伯勒的一樣，並不比現代知識遜色。

**烏爾內(Wollny)的研究** 對於土壤的物理性質，烏爾內和他的同事從1879—1898年作了第一次的廣泛研究。在這段期間烏爾內主編了一種雜誌——“農業物理學研究 (Forschungen auf dem Gebiete Agrikulturphysik)”。這雜誌包含關於土壤物理、植物物理及農業氣象各科目的論文和摘要。二十卷的這種雜誌包括他的所有研究以及其他人員的研究。他的主要論點建立在作物生長及肥料反應主要決定於土壤的物理性質這一信念上。他對廣泛的有關因素皆加以研究。這些因素可以歸為下列幾類：

1. 土色對於溫度、水分及二氧化碳各種關係的影響。
2. 各種土壤類型的物理性質。
3. 植物覆蓋和遮陰對於土壤物理性質的影響。
4. 影響土壤空氣中二氧化碳含量的因素。
5. 坡度及暴露方位對於土壤水分和溫度的影響。
6. 堅實度對於土壤物理性質的影響。

7. 影响土壤持水量和土壤水分移动的因素。
8. 影响土壤温度关系的因素。
9. 不同类型的森林枯枝落叶层中温度和水分关系。
10. 降雨对于土壤和植物的影响。
11. 土壤和植物对于大气的温度和水分关系的影响。
12. 耕作对于土壤生产力的影响。
13. 土壤中蚯蚓的有益影响。
14. 土壤物理性质在作物生产中的重要性。

烏尔内从植物的观点来研究土壤的性质——不仅研究各种土壤性质如何影响植物生长，而且研究植物如何影响土壤。1877年他写了一篇专論——《关于植物覆盖和遮阴对于土壤物理性质影响的研究》。他的关于植物覆盖对土壤的影响的研究及降雨对于土壤和植物的影响的試驗是水文学及其与土壤物理学的关系的这一方面的先驅。由于妥善設計的和精巧的試驗，他能相当清楚地叙述在处理降水方面植物和土壤的重要性，或者，用現代术语來說，即土壤和植物在水分循环中的作用。烏尔内对于暴风雨期間所发生的各种現象一定是一个銳利的观察者，才能对于处理降雨設計出这样广泛的試驗。他的結果充分表明，他认为土壤性质在它們与植物的关系方面，是有效地保持水分的关键。

他測量了植物叶对于降雨的阻隔作用，并且研究了植物冠盖对于土壤孔隙度的保护作用。他确定了在不同的坡度和坡向、不同的土壤和不同的植物的情况下各試驗区所发生的徑流量和侵蝕量。他用渗漏測定計(lysimeter)研究了土壤性质和植物覆盖对于水在土壤中渗漏的影响。这些經典試驗所产生的資料，大多数現代土壤研究者很少引用，虽然在这方面許多最近的科学貢獻实际上只不过是烏尔内的原始結果的証实而已。

关于土壤的物理性质对作物生长和肥料反应的影响，烏尔内得到大量的資料。大多数結果使人彻底看到水分关系，因为它们影响土壤温度、通气及植物对于水的有效性。他相当注意关于土壤在坚实状态下物理性能不良的問題。从土壤和植物的观点研究

了犁耕、中耕和其他耕作作业。人們会相信：所有这些研究的主要目的是为了提供資料，以說明对于农民所遇到的农业問題并非土壤化学所能解决。烏尔內在他最近論著中的一篇特別強調了这种信念，在这篇論著中他試圖从討論各种生长因素对土壤生产力的重要性方面把他以前所作的大多数研究互相关联起来。

由于这些研究范围广泛，又涉及根本問題，使用的技术灵巧，并且解釋研究結果又具有实际价值，烏尔內对于土壤物理学之父的称号可以当之而无愧。他的研究結果及其实踐的結論未被土壤研究者更多地利用，实覺遺憾。

**美国研究者的早期研究** 在烏尔內在德国进行研究的同期，有些美国研究者对于土壤物理性质的知識也做出重要貢獻。他們是加利福尼亚州的赫尔加得(Hilgard, 1873, 1879), 康內提克特州的約翰遜(Johnson, 1877, 1878), 威斯康辛州的克英(King, 1888, 1897)及美国地质調查所的斯力赤特(Slichter, 1897)。1873年赫尔加德发展了一种冲洗計进行表土和心土的粉粒分析，并且根据土粒的水压值(hydraulic value)作为土壤质地分类的基础。把认为是耕作阻力指标的坚实度归因于土粒具有每秒0.25毫米或小于0.25毫米的水压值(直徑約为0.015毫米)。孔隙度似乎与那部分具有每秒1毫米或大于1毫米的水压值(直徑約为0.03毫米)土粒有关。

1877年約翰遜論述到耕作的意义并且提出，耕作的主要目的是变更土壤中的貯水量。这样可以供給作物以通气更好的及更健康的根床并能保持雨水以防干旱。他认为水的保持有两个因素，即对雨水的吸收能力增加及由于較少的蒸发及杂草蒸騰而减少了水蒸气的损失。他強調由于雨滴的冲击及分散的粉粒和粘粒使表面孔隙阻塞，降落的雨滴对于表土变为坚实有重要意义。他认为干燥是使土壤松散的真正因素。耕作把整块的坚实土壤掘起，翻轉过来，再使它落下以消除土粒間的紧密接触。这样，砂粒和团聚体彼此之間就有了新的位置，而距离也較大。对于耕作的机械影响赫尔加德不同意約翰遜的看法，并且主張这些“新位置”和“較大



距离”是由絮凝作用所引起并維持的。值得注意的是两人皆试图把好的耕性和团粒作用联系起来，虽然他們从不同的观点来叙述这种机制。

1878年約翰遜主要从毛管傳导和蒸发的观点对于土壤对水的关系进行了一系列試驗。他表明：水在干孔隙內比在湿孔隙內移动得慢，而在細孔隙內不如在大孔隙內移动得快。从土壤水分运动这一方面的近代发展看来，有必要指出，約翰遜认为土壤的毛管力包括移动的距离和速度，而移动速度比移动距离更具有重要意义。

通常被认为是美国土壤物理学之父的克英在1888年拟出他打算研究的大綱。他的大部分的研究企图解答下列問題：

1. 各种土壤的貯水量有多大？
2. 土壤中所貯存的水有多少能为不同的作物所利用？这些作物吸水到多深？
3. 土壤应当含有多大容积的空气？
4. 耕作对于土壤孔隙度、温度和蒸发有什么影响？

为了解决这些問題所进行的各項研究，对于各种作物的需水量，关于水分利用方面作物根系的作用，借助抑制毛管活动的尘幕以保持水分及耕作对于土壤水分、通气和温度的作用，提出了經典論据。克英显然认为，土壤对于水的节约取决于植物的特性和土壤的毛管性状。水分保持是依靠耕作实践，以增加土壤的持水量并防止水由于蒸发和杂草蒸騰而損失。他的尘幕学說是以与自由水面接触的土柱所发生的蒸发損失为根据的。在二十五年多的時間內，这个学說一直作为耕作实践的基本根据，但以后发现这个学說并不如原来所提出的那样重要。在斯力赤特(1897)根据球形土粒排列的类型，发展了土壤孔隙的数学概念后，克英试图利用气流通过已知土柱的速度，来确定孔隙的有效直徑。从这些数据就可以按照斯力赤特的理論計算土粒的有效大小。

克英在威斯康辛大学作为一位土壤物理学家所进行的研究結果于1899年在他的“农业物理学”这本书中发表。他是从土壤物