

土壤的本质与性状

[美] N. C. 布雷迪 著

THE NATURE
AND
PROPERTIES
OF
SOILS

科学出版社

土壤的本质与性状

[美] N. C. 布雷迪 著

南京农学院土化系 等 译

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书系美国纽约州康奈尔大学农学院 N. C. Brady 教授所著。全书共二十二章,书后附有土壤学名词词解和内容索引。

内容包括:土壤的基本性状;土壤母质的起源,土壤形成、分类和调查;矿质土壤中植物大量营养元素和微量元素的形态、供给及有效性;土壤污染;世界土壤资源及其开发利用等问题。

本书从植物生长角度讲述土壤学,强调土壤学在农业生产中所占的重要地位。内容纲目分明、文字简炼易懂。便于自学,富有启发性,是一部较好的土壤学参考书。

读者对象:农业大专院校农学系和土壤农化专业师生以及有关科技人员。

N. C. Brady

THE NATURE AND PROPERTIES OF SOILS

Eighth Edition 1974

Macmillan, New York

土壤的本质与性状

[美] N. C. 布雷迪 著

南京农学院土化系 等 译

责任编辑 陈培林

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年1月第一版 开本:787×1092 1/16

1982年1月第一次印刷 印张:26 1/2

印数:0001—4,200 字数:605,000

统一书号:13031·1771

本社书号:2412·13—12

定价:4.10 元

译 者 的 话

《土壤的本质与性状》(The nature and properties of Soils) 一书, 从1922年首次出版以来, 多次修订再版。在美国久经广泛使用, 是一部较著名的土壤学基础教科书。这次第八版内容与第七版大不相同, 除个别章节外, 已根据最新研究成果全部改写。本版还增写了“土壤与化学污染”一章, 这方面的问题, 已引起国内外土壤工作者的普遍重视和关注。本书基本上反映了土壤学各个分支学科的现代水平。诚然, 该书的某些章节的内容还不尽完善, 尤其是最新研究手段在土壤学研究中应用介绍的不够, 但对于我国农业院校师生和有关科研单位人员来说, 仍不失为一本较好的参考书。为此, 我们翻译本书, 以飨读者。由于我们业务和外文水平所限, 误译之处, 请读者指正。

本书主要由南京农学院土化系翻译。参加翻译的还有江苏农学院、南京市栖霞山中学、华中农学院等单位。译稿由黄瑞采、刘伊农、吴珊眉总校, 并邀请水利部水利科学研究院黄荣翰审校了第七、九两章。

南京农学院土化系

1979.4.15

序

现代土壤科学是在不停地向前发展。不仅各种新发现使得土壤科学议题日新月异，而且社会生活中对解决一些迫切问题的要求也推动了这种变化。另外，讲授土壤科学的方法已更为不拘形式。学生们越来越卷入独立研究的气氛中，每个人都可以按自己的进度去学习。与此同时，大学生们的科学视野扩大了，从而使他们有可能比较容易地去理解土壤组成和土壤中所产生的生物、化学和物理过程。在此第八版中，不仅反映不断发展的土壤科学知识，还反映利用这种知识去解决社会生活中所产生的这样那样的土壤问题。

对环境污染的不断认识和关注，使得本版与以往各版大不相同。土壤越来越被当作是城乡有机、无机废物的容纳场所。这些废物包括农药、厩肥、工业化学药品、家庭污水以及核污染物。它们对土壤过程和特性的影响以及对这些土壤中植物生长的影响，是科学上应该注意的问题，也是公众关心的问题。

本版采用两种方式反映作为废物容纳场所的土壤。首先是增加了关于土壤污染物的新的一章。这一章包括对污染物的一般讨论、污染物在土壤中的反应以及污染物对植物和土壤生物的影响。其次是重写了厩肥一章，以反映现代农业中关于动物性废物概念的新变化。对土壤中养分损失等其它章节，则从影响环境质量出发，作了修订。

本版与以往版本另一显著不同之处，是对有关土壤水分各章的处理。晚近科学家们发展了水分进入土壤和在土壤内移动、水分被植物吸收和在植物体内迁移以及最后由叶面蒸发到大气中时统一的水分能量概念。这一土壤-植物-大气整体 (SPAC) 概念，是土壤水分三章内容产生较大变动的根据。水分通过 SPAC 移动时的能量关系，用初学土壤的学生容易懂得的术语进行叙述。

头一章增添了关于土壤科学历史发展的简况。第十二章补充了关于土壤分类现代概念发展的历史性剖析。着重强调了美国农业部的综合土壤分类系统，对其它系统只作了一般性回顾。

全书各章都作了小的订正。土壤生物和有机质部分更换了最新的内容。第十三章中编进了与有机质土有关的新的综合分类系统。

为了便于阅读，减少了书中各页的脚注，并将参考文献从脚注和图表中改到各章的末尾。全书的陈述方法作了改变，以减少拘泥的形式，并加进了许多新图表。

作者应该感谢对本书提出改进意见的许多土壤学家，对参考文献进行打字、校对和核对的 Martha，校订原稿的 Frances Geherin 以及打印书稿的 Patricia Oplinger、Roberta Reniff、Grace Saatman 和 Mildred Townsley。

N. C. 布雷迪

目 录

第一章 土壤剖析	1
1.1 什么是土壤?	1
1.2 现代土壤概念的评价	2
1.3 土壤研究——农艺土壤学与自然土壤学的途径	4
1.4 土壤的野外观察	4
1.5 土壤剖面	6
1.6 心土和表土	6
1.7 矿质(无机)土壤和有机质土	7
1.8 矿质土壤的一般定义	7
1.9 土壤的四种主要组成成分	7
1.10 土壤中的矿物(无机)组成	8
1.11 土壤有机质	9
1.12 土壤水分——一种动态的溶液	9
1.13 土壤空气——另一种变动的成分	10
1.14 土壤——巨大的生物实验室	10
1.15 粘粒和腐殖质——土壤活力的基础	11
第二章 矿质土壤中植物营养元素的供应与有效性	12
2.1 影响高等植物生长的因素	12
2.2 重要元素	12
2.3 来自空气和水的重要元素	13
2.4 来自土壤的重要元素	13
2.5 矿质土壤中大量营养元素的含量	15
2.6 土壤中大量营养元素的形态	16
2.7 植物营养元素向有效态的转化	18
2.8 土壤溶液	20
2.9 土壤酸碱度在植物营养方面的重要性	21
2.10 植物吸收利用的营养元素的形态	22
2.11 土壤和植物的相互关系	23
2.12 土壤肥力推论	24
第三章 矿质土壤的一些重要物理特性	25
3.1 土壤颗粒分级与机械分析	25
3.2 土壤粒级的物理特性	26
3.3 土壤粒级的矿物成分和化学成分	27
3.4 土壤质地等级	29

3.5	土壤质地等级的鉴定	30
3.6	矿质土壤的颗粒密度	31
3.7	矿质土壤的容重	31
3.8	矿质土壤的孔隙	33
3.9	矿质土壤的结构	35
3.10	耕作土壤的团聚作用及其促进	36
3.11	土壤结构的管理	39
3.12	土壤结持性	40
3.13	耕性与耕作	41
第四章	土壤胶体本质与实际意义	44
4.1	硅酸盐粘粒的一般构造	45
4.2	吸附性阳离子	46
4.3	硅酸盐粘粒结构的原理	46
4.4	硅酸盐粘粒的矿物学构造	47
4.5	硅酸盐粘粒负电荷的来源	50
4.6	硅酸盐粘粒的化学成分	52
4.7	硅酸盐粘粒的形成	53
4.8	非硅酸盐的矿质胶体	55
4.9	粘土矿物的地理分布	56
4.10	土壤有机胶体——腐殖质	57
4.11	胶体——酸式盐类	58
4.12	阳离子交换	59
4.13	阳离子交换量	60
4.14	土壤的阳离子交换量	62
4.15	土壤的盐基饱和度	63
4.16	阳离子交换和养分的有效性	64
4.17	胶体的其他性质——可塑性、粘结性、膨胀性、收缩性、分散作用和絮凝作用	64
4.18	结论	67
第五章	土壤生物	68
5.1	生物的活动	69
5.2	生物的数量、生物量和代谢活性	70
5.3	蚯蚓	71
5.4	土壤微动物	73
5.5	高等植物的根系	74
5.6	土壤藻类	75
5.7	土壤真菌	75
5.8	土壤放线菌	77
5.9	土壤细菌	78

5.10	影响土壤细菌生长的条件	79
5.11	土壤生物对高等植物的有害影响	80
5.12	土壤微生物间的竞争	81
5.13	农业实践对土壤生物的影响	82
5.14	土壤生物对高等植物有益的活动	83
第六章	矿质土壤的有机质	85
6.1	土壤有机质的来源	85
6.2	植物残体的成分	85
6.3	有机化合物的分解	86
6.4	土壤有机质的能量	88
6.5	简单的分解产物	88
6.6	碳的循环	89
6.7	含氮的简单产物	89
6.8	含硫的简单产物	90
6.9	有机磷的矿质化作用	90
6.10	腐殖质——发生和定义	90
6.11	腐殖质——本质和特征	91
6.12	有机化合物对高等植物的直接影响	92
6.13	土壤有机质对土壤性质的影响	93
6.14	碳氮比	93
6.15	碳氮比的意义	94
6.16	土壤中有机质和氮的含量	95
6.17	影响土壤有机质和氮的因素	96
6.18	土壤有机质的调节	98
第七章	土壤水分：特征与动态	101
7.1	水的结构和有关的性质	101
7.2	土壤水分能量概念	103
7.3	土壤水分含量与抽吸力	106
7.4	土壤水分的量度	106
7.5	与土壤水分有关的毛管原理	108
7.6	土壤水分运动的类型	110
7.7	土壤中的饱和水流	110
7.8	土壤中的不饱和水流	112
7.9	层状土壤中的水分运动	112
7.10	水汽运动	114
7.11	田间土壤水分的保持	115
7.12	传统的土壤水分分类系统	117
7.13	影响有效土壤水的含量和利用的因素	118
7.14	水分是怎样供给植物的——毛管性和根的伸展	119

7.15	结论	120
第八章	土壤水分的汽态损失及其调节	122
8.1	植物对降雨的截留	122
8.2	土壤-水分-植物连续系统	123
8.3	蒸发-蒸腾作用	124
8.4	蒸发损失量	126
8.5	水分利用的效率	127
8.6	蒸发的控制: 覆盖和耕作	128
8.7	湿润地区蒸发的控制	130
8.8	半干旱和半湿润地区的蒸发控制	131
8.9	灌溉土地的蒸发控制	132
第九章	土壤水分的液态损失及其控制	134
9.1	渗漏和淋洗——研究方法	134
9.2	水分的渗漏损失	134
9.3	养分的淋失	136
9.4	土地排水	138
9.5	明沟排水	138
9.6	暗管排水	139
9.7	土地排水的好处	141
9.8	径流和土壤侵蚀	142
9.9	加速侵蚀——机制	143
9.10	加速侵蚀——起因和速度因子	144
9.11	水蚀的类型	146
9.12	片蚀和细沟侵蚀——正常耕种下的侵蚀损失	147
9.13	片蚀和细沟侵蚀——防治方法	148
9.14	沟蚀及其防治	149
9.15	风蚀的重要性的防止	149
9.16	美国水土保持措施的需要	152
9.17	土壤水分调节的总结	153
第十章	土壤空气和土壤温度	154
10.1	土壤通气性含义	154
10.2	田间土壤通气性问题	154
10.3	土壤空气的成分	156
10.4	影响土壤空气成分的因素	157
10.5	土壤通气性对生物活性的影响	158
10.6	土壤通气性的其他影响	160
10.7	通气性与土壤及栽培管理的关系	161
10.8	土壤温度	162
10.9	太阳能的吸收和损失	163

10.10	土壤比热	164
10.11	汽化热	165
10.12	土壤中热的运动	165
10.13	有关土壤温度的资料	165
10.14	土壤温度的调节	166
第十一章	母质的起源、特性和分类	168
11.1	岩石的分类和特性	168
11.2	风化作用的一般情况	169
11.3	风化作用的机械力	170
11.4	风化作用的化学过程	171
11.5	影响矿物风化的因素	173
11.6	风化作用的进行——母质的发生	174
11.7	母质的地质分类	174
11.8	残积母质	175
11.9	崩积岩屑	176
11.10	河流冲积物	176
11.11	海相沉积物	177
11.12	更新世冰期	178
11.13	冰川沉积及有关的沉积物	180
11.14	冰水沉积和湖相沉积物	180
11.15	冰川-风积沉积物	181
11.16	冰川作用的农业意义	182
第十二章	土壤的形成、分类和调查	184
12.1	影响土壤形成的因素	184
12.2	风化与土壤剖面的发育	189
12.3	土壤剖面	191
12.4	单个土壤的概念	193
12.5	美国的土壤分类	193
12.6	土壤分类——新的综合系统	194
12.7	土纲	197
12.8	亚纲、土类、亚类	204
12.9	土族、土系、土相、土壤组合和土链	206
12.10	土壤分类——1949年的系统	209
12.11	土壤调查及其应用	210
12.12	土地潜力分类	212
第十三章	有机质土：它们的本质、性状和利用	216
13.1	有机沉积物的发生	216
13.2	泥炭土的面积和分布	217
13.3	泥炭母质	217

13.4	泥炭的用途	218
13.5	有机质土的分类	219
13.6	野外泥炭土的物理特征	220
13.7	有机质土的胶体本质	221
13.8	有机质土的化学成分	222
13.9	沼泽石灰——它的重要性	224
13.10	决定泥炭和腐泥土壤价值的因素	224
13.11	泥炭耕作的准备	224
13.12	泥炭土的管理	225
13.13	有机质土与矿质土	226
第十四章	土壤反应：酸度和碱度	227
14.1	氢离子的来源	227
14.2	土壤反应的胶体控制	230
14.3	土壤 pH 较大的变化	231
14.4	土壤 pH 微小的波动	232
14.5	土壤溶液的氢离子不均匀性	232
14.6	活性酸度和交换性酸度	233
14.7	土壤的缓冲性	234
14.8	土壤缓冲容量和相关的各方面	235
14.9	缓冲作用的重要性	236
14.10	土壤-反应相关性	236
14.11	高等植物和土壤反应的关系	238
14.12	土壤 pH 的测定	240
14.13	土壤酸度问题	241
14.14	增加土壤酸度的方法	241
14.15	干旱地区的土壤反应	242
14.16	盐土和钠质土的反应	242
14.17	盐成土上植物的生长	243
14.18	高等植物对盐成土的耐性	243
14.19	盐土和钠质土的管理	244
14.20	结论	245
第十五章	石灰及其与土壤-植物的相互关系	246
15.1	石灰物质的种类	246
15.2	石灰物质的化学规格	247
15.3	石灰石的细度规格	249
15.4	石灰在土壤中的变化	250
15.5	耕作土壤中石灰的损失	251
15.6	石灰对土壤的影响	252
15.7	作物对施用石灰的反应	252

• x •

15.8	过量施用石灰	253
15.9	要不要施用石灰?	253
15.10	石灰施用的形态	254
15.11	石灰施用量	255
15.12	石灰的施用方法	256
15.13	石灰和土壤肥力管理	257
第十六章	土壤氮素和硫素的经济学	258
16.1	氮素对植物发育的影响	258
16.2	土壤氮素形态	258
16.3	氮的循环	259
16.4	铵的固定	261
16.5	硝化作用	261
16.6	影响硝化作用的土壤环境	262
16.7	硝态氮的去向	264
16.8	土壤氮素的气态损失	264
16.9	豆科植物根瘤菌固定大气氮素	265
16.10	豆科植物根瘤菌固定的氮量	267
16.11	豆科植物根瘤菌固定的氮的去向	267
16.12	豆科植物是否总是增加土壤氮素?	268
16.13	非豆科植物共生的微生物的固氮作用	268
16.14	大气氮素的非共生固定	268
16.15	非共生性固氮量	269
16.16	降水加入土中的氮素	270
16.17	氮肥的反应	270
16.18	土壤氮素的实际管理	271
16.19	硫的重要性	272
16.20	硫的自然来源	273
16.21	硫的循环	275
16.22	土壤中硫化物的动态	275
16.23	硫和土壤肥力的维持	277
第十七章	磷、钾的供应及其有效性	279
17.1	磷素的重要性	279
17.2	磷对植物的影响	279
17.3	磷素问题	279
17.4	土壤中磷的化合物	280
17.5	控制土壤无机磷有效性的因素	282
17.6	pH 和磷酸离子	282
17.7	酸性土壤中无机磷的有效性	282
17.8	高 pH 值土中无机磷的有效性	285

17.9	无机磷有效性最大时的 pH 值	285
17.10	磷酸盐的表面积和有效性	285
17.11	土壤固定磷的能力	287
17.12	土壤生物和有机质对无机磷有效性的影响	287
17.13	有机磷的有效性	288
17.14	磷的有效性控制	288
17.15	钾素——第三个“肥料”要素	289
17.16	钾素对植物生长的影响	289
17.17	钾素问题	290
17.18	土壤钾素形态及其有效性	290
17.19	影响土壤固定钾的因素	292
17.20	有关钾素理论的实际应用	293
第十八章	微量营养元素	296
18.1	养分缺乏与毒性	296
18.2	微量营养元素的作用	297
18.3	微量营养元素的来源	298
18.4	导致微量营养元素缺乏的一般条件	299
18.5	影响微量营养元素阳离子有效性的因素	300
18.6	螯合物	302
18.7	影响微量营养元素阴离子有效性的因素	303
18.8	养分平衡的必要性	305
18.9	土壤管理与微量营养元素的需要	305
第十九章	肥料与肥料管理	308
19.1	肥料要素	308
19.2	肥料的三大类	308
19.3	氮肥——两类	308
19.4	无机氮肥	308
19.5	磷素肥料	311
19.6	含钾的肥料物质	314
19.7	含硫的肥料	315
19.8	微量营养元素	315
19.9	混合肥料	316
19.10	混合肥料对土壤 pH 的影响	317
19.11	肥料保证书	318
19.12	肥料的检查和管理	319
19.13	肥料经济学	319
19.14	肥料盐类在土壤中的移动	320
19.15	固体肥料施用方法	321
19.16	液体肥料的施用	322

19.17	影响施用肥料种类和数量的因素	322
19.18	需要施肥的作物种类	323
19.19	土壤的化学状态——全量分析和有效养分的分析	324
19.20	土壤有效养分的测定——速测	324
19.21	肥料应用的远景	325
第二十章	厩肥和绿肥	327
20.1	粪便排泄量	327
20.2	化学成分	329
20.3	厩肥的贮存、处置和管理	331
20.4	厩肥的利用	333
20.5	厩肥的长期影响	333
20.6	绿肥——定义	334
20.7	绿肥的优点	334
20.8	适于作绿肥的作物	335
20.9	绿肥存在的问题	336
20.10	绿肥的有效利用	336
第二十一章	土壤和化学污染	337
21.1	化学农药——背景	337
21.2	农药的种类	338
21.3	农药在土壤中的动态	339
21.4	农药对土壤生物的影响	342
21.5	关于有毒无机化合物的污染	343
21.6	无机污染物在土壤中的动态	344
21.7	预防和消除无机化学污染物的方法	347
21.8	有机废物	347
21.9	利用有机废物于作物生产	348
21.10	土壤作为有机废物的处理场地	349
21.11	土壤盐渍度	350
21.12	土壤中的放射性核素	351
21.13	三点结论	352
第二十二章	土壤与世界粮食供应	354
22.1	世界人口的增长	354
22.2	影响世界粮食供应的因素	355
22.3	世界土地资源	355
22.4	主要土类的潜力	356
22.5	热带的问题和有利条件	358
22.6	将来的需要	361
附录：土壤学名词词解		364
内容索引		392

第一章 土壤剖析

人要依靠土壤，但在一定程度上好土又取决于人和人们对土壤的利用。土壤是生长植物的自然体。人欣赏和利用植物，是因为植物美丽并能提供人畜以纤维和食物。人们的生活水平往往取决于土壤的质量以及靠土壤生存的动植物的种类和品质。

但土壤对人来说，不仅仅限于提供作物的生长环境。土壤构成房屋和工厂的基础，并决定这些基础的适宜性。土壤用作道路和公路的路基，并且显然影响这些结构的寿命。在野外，土壤常用以吸收经污水系统流来的家庭废水。土壤越来越普遍地作为来自市政、工业和动物的其他废物的容纳场所。市政水库内不期望有的泥沙的沉积，使得上游流域内土壤的保护措施对城镇居民以及农区和林区的人民都很重要。显然，土壤及其管理是有广泛的社会联系的。

昌盛的文化，差不多总是有好土作为其主要自然资源之一。尼罗河古王朝之所以兴旺，就是由于谷地肥土的粮食生产能力及有关的灌溉系统。同样，美索不达米亚的底格里斯河和幼发拉底河以及印度的印度河、中国的长江和黄河流域土壤，都是文化繁荣之乡。由于自然泛滥不断使土地肥力得到更新，以致土壤能持续提供丰富的粮食。与高地土壤放牧区的游牧社会大不相同，在这些流域有可能建立稳定而有组织的社会甚至城市。直到人们发现粪肥和作物残茬的效用以后，才有可能广泛利用高地土壤进行持续的作物栽培。

土壤破坏或管理不善与一些原来肥土所促成的文化的衰落有关。上述这些河流流域内的树木被砍伐，造成侵蚀加剧，表土流失。在幼发拉底河和底格里斯河谷，苦心建成的灌排系统保持不住，结果造成有害盐分的积累，使一度是肥沃的土壤，变为不毛之地。原位于河谷中最适之处的城市瓦解了，人们迁往别处。

历史的教训并不总能为今人所警惕。白种人强烈进行农业生产的第一个百年期间，在美国滥用土壤资源，就是一例。甚至今天仍然有许多人对土壤的长远利益认识不足。部分原因是由于普遍不懂得什么是土壤，不懂得它们在过去世代代中起了什么作用以及对我们将来的世代代起什么作用。

1.1 什么是土壤？

土壤的概念 对土壤这一重要的自然产物具有不同的概念和见解是导致对土壤不关心的部分原因。例如，对采矿工程师来说，土壤是盖在他必须挖掘的岩石或矿物上的碎屑，土壤是碍事的东西，必须移走。对公路工程师来说，土壤可能是在上面建立路基的物质，这种物质的特性如果不适合，他就必须去掉它，改铺岩块和砾石。

普通的房主对土壤也有一个概念。如果土是松软的或壤质的，那就是好土，如果是难以锄成一个好的花园苗床的“硬粘土”，那就是坏土。主妇对土壤的差异能进行区分，特别能区分出土壤的粘着性或易粘住鞋底以及最后易粘住地毯的特性。

农民以及房主认为土壤是植物的生长地。农民靠土生活，因此不得不对土壤的特性给予更多的注意。对农民来说，土壤不仅是有用，而且是必不可少的。

欲求进一步了解土壤，根本的一条是要对什么是土壤具有一个共同的概念。这一概念必须包含工程师、房主和农民的意见。为形成这一概念，有必要对过去具有实际意义的和科学的发现，作一扼要的回顾。

1.2 现代土壤概念的评价

现时的土壤知识，有两个基本来源。第一个来源是农民经过多少世纪的反复试验所取得的实际知识，这在现代科学诞生以前，是唯一有效的知识。现代科学则提供了关于土壤及其管理等事实的第二个来源。

农民的经验 最早的历史记载证实，人们通过反复试验，学会了区别土壤的差异。人们也懂得了在地里使用动植物腐烂残渣的好处。在 4200 多年以前，中国人就使用一种概略的土壤图作为征税依据。荷马在他的《奥德赛》(相传作于公元前 1000 年)中，提到在地里使用肥料。圣经上提到“粪堆”和在植株周围上粪肥的好处。希腊和罗马的作者们描述一个包括豆科植物在内的合理经营的农作制，以及作为土壤改良剂的灰和硫磺的使用。这些事实告诉我们，早在古罗马文化时期，指导现代农业的包括土壤管理的，许多实际原则就已被发现，并被农牧民们付诸实施。

继罗马的野蛮入侵，这些原则的进一步发展和应用遭到破坏。即使这样，罗马农业仍奠定了封建黑暗时代大多数欧洲农业的基础。尽管农民们不知其所以然，但栽培措施却一代一代传了下来。到了十七、十八世纪，智力活动重新兴起，进入了用科学来改善包括那些涉及土壤的农业制度的阶段。

早期的科学研究和土壤生产力 从十七世纪直到二十世纪中叶，土壤学家的主要任务就是增加作物产量。芬兰化学家 Jan Baptista van Helmont，从他所作的著名的五龄杨柳实验中得出结论：164 磅干物质主要来自水的供应，因为在长树过程中，土壤没有减轻重量。这一概念被英国研究者 John Woodward 所修正，他过后发现了泥水比雨水或河水更促使植物生长，因此得出细土是植物生长的“要素”的结论。另一些人则断定植物从土壤中所吸收的腐殖质是“要素”。还有认为“要素”是从死的动植物体移到活的植物体中去的。早在十八世纪 Jethro Tull 就指出耕作的好处，他错误地认为扰动了土壤就会使植物比较容易地吸收少量细土。

直到法国农学家 J. B. Boussingault，通过从 1834 年开始的一系列田间试验，才证实了空气和雨水是植物组织中碳、氢和氧的主要来源。但是他的研究多半被忽视了，直至 1840 年著名的德国化学家 Julius von Liebig 报道了他的发现，即作物产量与施到土壤里的肥料的“矿质”含量直接有关。作为一个突出的物理化学家，Liebig 的声望终于促使科学界相信旧的学说是错误的。Liebig 确立了土壤中及所施肥料中的矿质元素是植物生长所必需的概念。

Liebig 的工作引起农业理论的一场革命，为其它大量的研究开辟了途径。其中 J. B. Lawes 和 J. H. Gilbert 在英国洛桑斯特 (Rothamsted) 试验场所做的研究最值得注意，因为他们将 Liebig 的学说用到田间试验中去。他们在肯定 Liebig 的大部分

发现的同时，也指出了他的两种错误。Liebig 认为氮主要来自大气而非土壤。他进一步确认盐分在作为肥料施用以前可被熔融，显然他没有考虑到这一猛烈作用对植物养分元素的溶解度和“有效性”会带来什么样的影响。洛桑斯特田间试验证明，土壤加氮显然有利于植物生长。他们进一步证实矿质元素必须呈“有效”形式，才能很好地被植物吸收。他们的研究导致酸处理的磷酸盐岩或“过磷酸钙”的发展，后者至今仍是商品磷肥的主要来源。

虽然 Gilbert 和 Lawes 等确切指出 Liebig 学说中的缺点，但这一学说的主要概念仍被认为是基本正确的。例如，Liebig 是这样阐述后来被称之为最低量定律的：“在其它成分俱全而只缺乏一种成分的土壤中，那些对后种成分必不可少的作物长不好。”在后来考虑到土壤肥力与植物养分相互关系时这一发现的重大意义，变得更明显。

Liebig 之后土壤中氮素转化的复杂性有待于土壤细菌学来阐明。1856 年 J. T. Way 发现，土壤中的硝酸盐是由含氮肥料形成的。二十年以后，R. W. Warington 证明这是一种生物过程；十九世纪九十年代 Winogradski 分离出能将氨转化成硝酸盐的两组细菌。这些发现连同十九世纪八十年代所发现的生长在豆科植物根瘤中的氮素同化细菌，为可靠的土壤和作物管理措施提供了基本依据。

欧洲十九世纪末的土壤肥料研究，很可适用于美国。美国东南沿海一带土壤耕垦后，因雨水渗漏和作物吸收，养分易于耗竭。弗吉尼亚州一位农民 Edmund Ruffin 掌握住养分耗竭的概念，在他的著作中特别批评了那些不爱护土壤和使土壤得不到补偿的人们。遗憾的是美国西部大量未开垦的土地促使大家宁可放弃东部“耗竭的”土壤、而不愿采取较现实的管理制度。

1862 年美国农业部和 1886 年州农业试验站的建立，对土壤的田间和实验室研究，起着决定性的推动作用。为检验欧洲研究者的新发现的适用性，开展了大量的田间试验。可惜大多数试验没有把土壤看成是作物生长的动力学基质，而只是和 Liebig 概念一样把土壤看成是“贮藏库”。例外情况也有，如威斯康星州的 F. H. King 研究了与根系穿透和作物生长有关的土壤中的水分运动和贮存，伊利诺依州的 C. G. Hopkins 研制了建立在石灰石、磷灰岩和豆科植物基础上的有效的土壤管理制；美国农业部的 Milton Whitney 极力主张要更多考虑野外土壤特性，并创建了第一个国家土壤调查组织。

野外土壤研究 Liebig 概念完全支配了十九世纪末二十世纪初的土壤学家的思想，而且除去研究作物对肥料的反应的田间试验外，大部分研究都是在实验室和温室内做的。对在野外所见到的土壤易变特性不够注意。对与气候有关的土壤差异也未予重视。一方面把土壤看成是地质残余物，另一方面把土壤看成是供植物生长的养分储藏库。

早在 1860 年，在密西西比州的 E. W. Hilgard 发表了发现，提醒人们注意气候、植被、岩石物质与所发育的土壤类型之间的关系。在对田间土壤进行研究分类时，Hilgard 不仅认为土壤是供植物生长的基质，而且是动态的整体，可在野外情况下予以研究和分类。遗憾的是 Hilgard 走到了时代的前面，致使对他的许多概念在被人们接受前，有必要进行再探索。

以 V. V. Dokuchaev 为首的有名的俄国土壤学家队伍，与 Hilgard 的研究处于同一时期。这些科学家们发现了土壤中独特的水平层次——与气候、植被和下垫土壤物