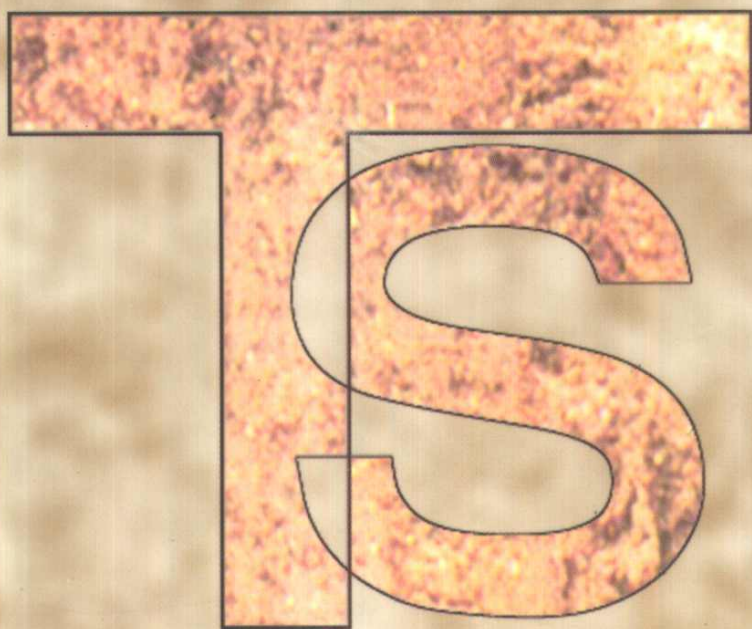


华 夏 英 才 基 金 资 助 出 版

土壤 生物磁学 研究及应用

依艳丽 刘孝义 著



中国农业出版社

华夏英才基金资助出版

土壤 生物磁学研究及应用

依艳丽 刘孝义 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤、生物磁学研究及应用/依艳丽, 刘孝义著. —北京: 中国农业出版社, 2001. 7
ISBN 7-109-06912-5

I. 土... II. ①依...②刘... III. ①土壤学: 磁学-研究②生物学: 磁学-研究 IV. ①S153. 2②Q64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 23933 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭
责任编辑 贺志清

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm × 1168mm 1/32 印张: 10.25

字数: 255 千字 印数: 1 ~ 500 册

定价: 22.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

土壤磁学是磁学与土壤学相结合的产物，生物磁学则是磁学与生物学相结合的产物。从作物与土壤关系来说，这两个边缘的学科有着密切的联系，将在一定程度上相互制约相互促进而发展。生物磁学的某些领域的研究早于土壤磁学，但是这两个新兴学科的理论体系均处于建立与发展阶段。在我国，土壤磁学的研究起步于 20 世纪 70 年代末，由沈阳农业大学土化系与浙江农业大学土化系共同开创了我国土壤磁学的研究新领域。经过 20 余年的努力，我们主要在东北地区土壤磁性及其分布规律，尤其是在磁学技术对土壤、土壤微生物、作物、食用和药用菌及蚕的影响与应用方面作了较为系统的研究，所取得的成果先后获得原国家教委科技进步（甲类）一等奖（1991）、辽宁省发明创造一等奖（1993）和霍英东教育基金奖（研究类）一等奖（1993）。

本书除部分引用了国内外的有关研究资料外，主要反映了我们 20 余年来在土壤磁学以及土壤和生物磁致效应方面的研究成果。

我们的研究工作曾得到国家自然科学基金、国家教育部博士点基金和霍英东教育基金的资助与鼓励，得到了陈恩凤教授、刘更另院士、姚贤良研究员等专家的热情支持与指导，得到了沈阳农业大学领导的关怀与帮助，在此一并表示感谢。现浙江大学俞劲炎教授对我们的工作始终给予热情的支持与帮助，尤其是他在土壤磁学基础理论研究方面取得的丰硕成果为我们的研究提供了重要的理论基础及科学的依据。

土壤磁学、生物磁学均属年轻的学科领域，其自身的理论体系还不完善，许多问题与机理还有待于深入地研究与探讨，我们的学识有限，在本书中对许多问题的论述与见解还十分粗浅，对有些问题与实验现象还不能做出科学的解释，错误与不当之处也在所难免，敬请读者批评指正。

陈锡时教授参加了本书第七章的撰写工作，其余均由依艳丽、刘孝义两人撰写完成。研究生夏丽华、夏艳玲、徐照丽、张大庚、刘翠华等先后参加过本课题的研究工作。

在华夏英才基金的资助下，本书得以出版，在此表示衷心的感谢。

依艳丽 刘孝义

2000年10月

于沈阳农业大学

内 容 提 要

本书概要地介绍了有关土壤磁学及生物磁学的基础知识及国内外研究现状。较为系统地介绍了我国主要土壤类型的磁性特点和在土壤（包括土壤微生物）、作物（包括蔬菜）、柞蚕、桑蚕、天蚕和食用、药用菌等方面的磁致效应研究成果，并简要地介绍了土壤生物磁学研究法及其应用途径。

本书可供从事农业、蚕业、生物技术等方面的教学、科研及农业技术推广人员参考。

目 录

前 言

第一章 绪论	1
一、土壤磁学发展概况及主要研究内容	1
(一) 土壤磁学发展概况	1
(二) 土壤磁学主要研究内容	7
二、生物磁学发展概况及主要研究内容	8
(一) 生物磁学发展概况	8
(二) 生物磁学主要研究内容	11
第二章 土壤、生物磁学的基本原理	13
一、物质的磁性和磁场	13
二、磁场强度、磁化强度	14
(一) 磁场强度	14
(二) 磁化强度	15
三、物质磁性的分类	16
(一) 顺磁质	16
(二) 抗磁质 (反磁质)	18
(三) 铁磁质	18
四、岩石矿物和土壤的磁性	19
(一) 土壤中常见岩石、矿物的磁性	20
(二) 土壤磁性的影响因素及其变化规律	22

五、生物磁现象	28
(一) 生物体的磁性	28
(二) 磁生物效应	30
第三章 我国主要土壤磁化率	33
一、概述	33
二、土壤磁化率与土壤发生、分类	33
三、我国主要土壤磁化率剖面	35
(一) 红壤、黄壤类土壤磁化率剖面	35
(二) 紫色土壤磁化率	36
(三) 水稻土的磁化率	37
(四) 东北地区几种主要土壤的磁化率	40
第四章 土壤磁致效应	54
一、磁场对土壤物理性质的影响	56
(一) 磁场对土壤微结构的作用	56
(二) 磁场对土壤持水性的影响	72
(三) 磁场对土壤比表面积的影响	77
(四) 磁化土壤膨胀量及沉降容积的变化	80
二、磁场对土壤胶体电化学性质的影响	86
(一) 磁场对土壤表面电荷的影响	86
(二) 磁场对土壤电导率、阳离子代换量的影响	90
(三) 磁场对土壤胶体电动性质的影响	91
三、磁场对土壤物理机械性质的影响	93
(一) 磁场对土壤黏着性的影响	93
(二) 磁场对土壤黏结性的影响	95
(三) 磁场对土壤抗剪强度的影响	98
四、磁化犁与土壤耕性	104
(一) 磁化中耕培土器的耕作阻力	106

(二) 磁化单铧翻转犁的耕作阻力	107
(三) 悬挂四铧犁磁化犁的耕作阻力	111
(四) 犁铧的磁性强度对耕作阻力的影响	114
(五) 磁化犁的油耗	115
第五章 磁处理土壤与作物生长	119
一、土壤磁性环境与作物生长	119
二、磁处理土壤对作物生长的影响	121
(一) 磁处理土壤对番茄苗期生长的影响	121
(二) 磁处理土壤对黄瓜生长的影响	122
(三) 磁处理土壤对油菜产量的影响	123
(四) 磁处理土壤对水稻苗期生长的影响	125
(五) 磁处理土壤对小麦生长的影响	125
(六) 磁处理对植株中氮、磷、钾含量的影响	128
第六章 磁化水及磁性改良剂在农业上的应用	131
一、磁化水在农业上的应用	131
(一) 磁化水理化性质的变化	131
(二) 磁化水对作物及微生物的影响	136
(三) 磁化水对盐碱土的改良作用	149
二、土壤磁性改良剂及磁性肥料	157
(一) 土壤磁性改良剂	157
(二) 磁性肥料	168
第七章 土壤微生物、酶活性的磁致效应	176
一、土壤微生物的磁致效应	176
(一) 磁场对土壤细菌的影响	178
(二) 磁场对土壤放线菌的影响	181
(三) 磁场对土壤真菌的影响	183

二、土壤微生物磁致效应随时间的变化	185
(一) 磁处理土壤中细菌数量的动态变化	185
(二) 磁处理土壤中真菌数量的动态变化	187
(三) 磁处理土壤中放线菌的动态变化	187
三、磁处理土壤盆栽条件下微生物的变化	192
(一) 磁处理土壤盆栽条件下微生物数量的变化	192
(二) 磁处理土壤微生物区系的比例变化	193
四、磁场对土壤亚硝化细菌、氨化细菌的影响	195
五、土壤酶活性的磁致效应	196
(一) 磁场对土壤磷酸酶活性的作用	198
(二) 磁场对土壤蔗糖酶活性的作用	204
(三) 磁场对土壤淀粉酶活性的作用	208
(四) 磁场对土壤过氧化氢酶活性的作用	211
(五) 磁场对土壤过氧化物酶活性的作用	215
六、磁处理对土壤呼吸作用的影响	221
第八章 作物种子的磁致效应	223
一、概述	223
二、磁场对作物种子活力的影响	224
(一) 磁场对作物种子发芽势、发芽率和活力 指数的影响	225
(二) 磁场对作物种子电导率的影响	231
三、磁场对种子萌发期酶活性的影响	233
(一) 磁场对小麦种子酶活性的影响	233
(二) 磁场对水稻种子酶活性的影响	234
(三) 磁场对黄瓜种子酶活性的影响	234
四、磁处理种子对作物苗期生长及产量的影响	235
(一) 水稻生长期磁致效应	235
(二) 小麦生长期磁致效应	237

(三) 黄瓜生长期的磁致效应	244
第九章 食用菌、药用菌的磁致效应	254
一、概述	254
二、平菇磁致效应	255
三、金针菇磁致效应	258
(一) 磁处理对金针菇菌落生长的影响	259
(二) 磁场对菌丝长度、粗细、分枝数等的影响	259
四、凤尾菇、姬菇磁致效应	262
(一) 磁处理对凤尾菇菌丝生长的影响	262
(二) 磁场处理对姬菇菌丝生长的影响	263
五、香菇、木耳和灵芝菌磁致效应	264
(一) 磁处理对香菇菌丝生长的影响	264
(二) 磁处理对木耳菌丝生长的影响	265
(三) 磁处理对灵芝菌丝生长的影响	266
第十章 蚕的磁致效应	269
一、概述	269
二、桑蚕磁致效应研究	269
(一) 磁处理对桑蚕卵孵化率的影响	270
(二) 磁处理对桑蚕茧质和龄期经过的影响	271
(三) 磁处理对桑蚕 5 龄蚕体重、食下量和消化	
量的影响	274
(四) 磁处理对桑蚕中肠类胰蛋白酶活力的影响	276
(五) 磁处理对桑蚕中肠脂酶同工酶活性的影响	277
三、桑蚕电、磁复合处理效应	277
(一) 电、磁处理对 5 龄桑蚕的体重、食下量、	
消化率的影响	278
(二) 电、磁处理对桑蚕 5 龄期经过及茧质的影响	282

(三) 电、磁处理对桑蚕叶丝转化率的影响	283
四、柞蚕电、磁处理效应	284
(一) 电、磁处理对柞蚕卵孵化率的影响	287
(二) 电、磁处理对中肠脂酶同工酶活性的影响	287
(三) 电、磁处理对柞蚕龄期经过及幼虫生长的影响	287
(四) 电、磁处理对柞蚕茧质的影响	288
五、天蚕电、磁处理效应	289
(一) 电、磁处理对天蚕蚕卵孵化率的影响	290
(二) 电、磁处理对天蚕 3、4 眠蚕体体重及蛹体重 的影响	291
(三) 电、磁场对天蚕各龄幼虫死亡率的影响	291
(四) 电、磁处理对天蚕茧质的影响	292
第十一章 土壤、生物电、磁研究法	294
一、土壤磁学研究法	294
(一) 采集土样及待测土样的制备	294
(二) 土壤磁化率的测定	295
(三) 土壤自然剩磁的测定	299
(四) 穆斯堡尔普学在土壤磁学中的应用	300
二、土壤、生物的磁处理技术	301
(一) 磁处理方法与最佳处理方案的选择	301
(二) 磁处理设备制作	301
参考文献	305

第一章 绪 论

一、土壤磁学发展概况及主要研究内容

(一) 土壤磁学发展概况

土壤磁学乃是现代磁学与土壤学相结合的产物，是土壤学科领域中的一门新的学科分支。它应用现代磁学理论、方法和技术手段研究土壤，阐明土壤自身的磁学性质及其变化规律，研究和探讨土壤磁学性质与土壤发生、发育及土壤肥力演变规律的关系，探索土壤磁学性质与作物、土壤中微生物等生长发育的关系，以及土壤磁学理论在农业生产中的应用途径。土壤磁学与其它学科一样，有其发展和形成的历史。

我国早在战国时期（公元前 300 年），已发现磁石有吸铁现象。北宋时（11 世纪）著名科学家沈括研制了航海用的指南针，并发现了地磁偏角。根据物理学中电磁学发展的历史得知，磁现象普遍存在于宇宙和自然界中，如构成物质的原子、电子以及宇宙空间的地球、太阳和其它星体均有磁性。也可以说，一切物质都可称为磁介质。1822 年安培提出了有关物质磁性本质假说，他认为一切磁现象的根源在于电流。至于电流与磁场的关系早已在物理学中有所论述。电磁学理论也早已在各学科领域中广泛应用。当今，人类一切活动都离不开电、磁学理论和技术（如工业、农业、医药、军事等各个方面）。土壤、生物本身与其它物质一样也是一种固有的磁介质。土壤磁学的产生和发展的历史虽然不长，但仍有一个发展过程。20 世纪 50 年代中期，在第五届

国际土壤学会（巴黎，1954）上，Henin 和 Le Borgne 首次发表了有关土壤磁学的研究报告，他们认为土壤磁学特性与土壤中磁赤铁矿、磁铁矿及腐殖质含量有密切关系，在自成型土壤质地中，黏粒组磁性表现最强。

土壤磁性发生机理是土壤磁学的理论基础，其中包括土壤中磁性矿物的种类、数量、起源及其在土壤发生发育过程中的变化规律。

土壤中的磁性矿物有：磁铁矿（ Fe_2O_3 ）、磁赤铁矿（ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）、磁黄铁矿（ FeS_{1+x} ， $0.86 < x < 0.96$ ）和六方纤铁矿（ $\gamma\text{-FeOOH}$ ），其中磁铁矿和磁赤铁矿是土壤磁性的主要载体，磁黄铁矿在成土过程中易被微生物破坏。60 年代初 Sherman 和 Matsusaka 用古依磁秤结合差热分析、 γ -射线衍射分析和化学分析等测试手段，研究了夏威夷土壤磁学特性，提出土壤磁性主要由磁赤铁矿（ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）引起，其中也包括由纤铁矿（ $\gamma\text{-FeOOH}$ ）脱水而成的磁赤铁矿。А.А.Лукшцын, Т.И.Руюбичева, В.П.Ковриго (1968) 等研究指出，土壤中铁矿物（赤铁矿、纤铁矿及针铁矿）在一定的条件下，可以转变成强磁性物质——磁赤铁矿和磁铁矿。根据 С.В.Зоин 和 А.Ф.Вадюнина 等 (1979) 的研究报道，强磁性岩石（如玄武岩、安山岩等）在风化过程中，在一定的水热条件下，形成了各种水化氧化铁，致使所形成土壤的磁化率比原来的岩石矿物降低。弱磁性岩石（如花岗岩、辉石、角闪石、长石等）所含的 Fe 多系类质同晶混合物形态存在，在其风化过程中，反而形成了新生的弱磁性氢氧化铁并富集于细粒中，使其磁化率比原生矿物提高 2 ~ 4 倍。Prasand (1975) 用光电微磁秤研究了印度红壤及其黏粒的磁化率，发现以高岭石和水铝英石为主的黏粒中磁化率同氧化铁含量间呈线性关系，而在富含磁铁矿的土壤和以蒙脱石为主的黏粒中，磁化率和氧化铁含量间却无线性关系。А.Ф.Вадюнина (1978) 研究了钛磁铁矿对土壤磁性的影响，得知由于天然的磁铁矿常含有钛的

混合物，钛磁铁矿中随 Fe_2TiO_4 含量的增加，其磁化率迅速降低。

关于土壤磁性矿物的起源问题，西方学者多从实验室模拟土壤环境来推测土壤磁性矿物的形成，可将土壤磁性矿物起源归纳为 4 种途径：其一，成土母质的风化。母岩中含有极微量的磁铁矿，部分岩浆岩中磁铁矿和钛磁铁矿 (TiFeO_3) 可达 10%，岩石和成土母质中的含铁矿物是土壤中产生次生磁性矿物的基础物质；其二，土壤中氧化铁矿物的相互转化。土壤中弱磁性的氧化铁和氢氧化铁矿物在有机质的参与下，灼烧可转化为强磁性矿物——磁铁矿和磁赤铁矿；再如，针铁矿 ($\alpha\text{-FeOOH}$)、磁铁矿 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 等氧化铁矿物通过氧化还原交替作用亦可形成微晶态磁铁矿；其三，生物合成作用。Blackmore (1982) 首次发现磁性细菌内含有微晶磁铁矿颗粒，后来人们发现许多生物能合成磁性颗粒；其四，大气磁性悬浮物沉降。工业燃烧煤在高温下，煤中含有的 FeS 氧化生产磁铁矿，磁铁矿与熔融的硅酸盐反应生成磁铁矿和磁赤铁矿以及冶炼工业生成的烟粉尘沉降至土壤中，导致土壤磁性的改变。

土壤磁性主要受母质矿物影响，已被人们所共识。据 20 世纪 50 ~ 60 年代磁测结果表明，土壤磁化率与母岩的磁化率有显著的相关性。就岩石类型而言，磁性强弱顺序为：基性火成岩 > 中性、酸性岩 > 变质岩 > 沉积岩。许多研究资料表明，同一土壤类型（同一地区），由于其成土母质的不同，其土壤磁化率和自然剩磁值可相差 2 ~ 3 个数量级。

许多学者，如 В. Ф. Бабнин (1971)、С. В. Зонн (1971)、А. Ф. Вадюнина (1977) 等认为，土壤中含铁物质的溶解、迁移和积聚，非铁磁性矿物与铁磁矿物的相互转化，都与土壤水分状况及其动态变化有关。在嫌气条件下，土壤中有机质在分解过程中往往造成含铁矿物还原，使磁铁矿物转变成水氧化物，土壤磁化率降低。许多研究资料表明，沼泽土、草甸土、潜育土、水稻土

中潜育层，毛管支持水边缘带土壤磁化率都变低。А. Ф. Вадюнина (1972) 指出，土壤腐殖质数量及其组成对土壤磁化率有很大影响，在土壤通气良好的条件下，胡敏酸可能是弱磁性化合物向强磁性矿物转化的接触剂，也就是说，土壤腐殖质是土壤矿物质进行生物化学氧化还原反应的接触剂和能量来源。

20 世纪 60 ~ 70 年代土壤磁测研究资料还表明，土壤磁性具有明显的发生学特征和地理分布规律。土壤磁化率的变化可以在一定程度上综合反应成土因素和成土过程。宏观上，土壤磁性深受气候带分布的影响。前苏联学者 А. А. Лукшцин 等 (1965, 1986), А. Ф. Вадюнина 等 (1972, 1974) 对前苏联欧洲部分各土类土壤的磁学特性进行了大量的研究工作，报道了不同土壤类型的土壤磁化率和自然剩磁的分布及其变化规律，论述了土壤磁性土壤发生发育的相关关系。Tite M. S., linington R. E. (1975), Singer M. J. (1989) 等先后报道了英国、意大利和美国西部气候地带性与土壤磁性的变化关系。

70 年代末我国浙江农业大学和沈阳农业大学开展磁学研究以来，先后报道了中国主要土壤磁化率与土壤发生、类型的相关关系。俞劲炎、詹硕仁 (1981, 1986) 介绍了我国主要土类土壤磁化率，刘孝义 (1979, 1982) 报道了我国主要土壤和东北地区主要土壤磁化率。尧得中 (1989) 论述了气候因素对土壤磁化率的影响。指出中国东南部湿润带玄武岩上发育的土壤磁化率呈现出从南到北逐渐降低的地带性变化规律。东北地区土壤磁化率由东北至西南呈增加趋势 (刘孝义, 1982)。

В. Ф. Баьнин (1971) 土壤磁学研究中发现，10 ~ 20cm 生草灰化土表层土壤磁化率分布图与土壤类型界线轮廓大体相似。詹硕仁 (1981) 对宁夏回族自治区土壤进行的磁性研究证明，土壤磁化率不仅能显示土壤发生类型间的差异，也能显示土壤区域性的差异。从土壤磁化率与土壤发生分类相关关系的研究资料中可得知，磁测技术可以在土壤诊断、土壤调查制图、土壤分类领

域中展示出应用前景。

80~90年代以来,随着土壤磁学性质研究的不断深入,有的土壤科学工作者又相继开展了土壤磁处理效应研究,并取得了显著的研究成果。А. Ф. Вадюнина (1974)、К. П. Олещко (1980)等相继研究外加磁场对土壤团聚体作用的影响,研究结果表明,适宜磁场强度处理土壤后,土壤微团聚体状况得到了明显的改善。土壤经磁处理后,剩余磁场(I_r)在土壤中能保持较长时间。

近20年来,沈阳农业大学在土壤磁致效应研究方面做了大量的系统试验研究,取得了较好的研究成果。经研究发现,东北地区几种主要土壤(黑土、黑钙土、棕壤、褐土、白浆土和盐土)经磁场处理后,土壤理化特性、机械物理特性均发生变化。适宜磁场可使土壤比表面、持水力、 $<0.01\text{mm}$ 土粒粒级含量、黏结力、黏着力、膨胀量、抗剪强度、耕作阻力均比对照降低;而土壤团聚作用、土水势、胶体电荷密度却有所增强;土壤胶体 ξ 电位降低;土壤某些酶活性(磷酸酶、过氧化氢酶、淀粉酶等)增强。在土壤磁处理效应研究基础上,发明研制了“磁性犁”。应用此犁耕作可减少阻力,节省油耗,同时其耕翻质量亦有所提高。

20世纪70年代,国外利用热电厂的粉煤灰,经磁化处理后作为磁性改良剂或磁性肥料广泛应用于农业生产,取得了一定效果。А. Ф. 瓦久尼娜(1976, 1977)研究表明,粉煤灰经过磁分选后可成为良好的改良剂(氧化铁含量50%)。由于磁化的铁磁体在土壤中氧化比普通的铁磁体强烈,磁化的粉煤灰铁粉与土壤矿物团聚促进黏质土壤结构改善;施入壤质生草灰化土中的铁磁质可降低土壤的水解酸度,有利于土壤中水解N和代换性K的积累。土壤中施入 $0.5 \sim 5.0\text{t/hm}^2$ 磁性改良剂可使马铃薯增产。80年代以来,我国相继开展了应用磁化粉煤灰试验研究,也取得了可喜的研究成果,一方面改善了土壤肥力状况,促进作物增