

中国土壤环境容量

夏增禄 主编



地震出版社

中国土壤环境容量

夏增禄 蔡士悦 许嘉琳 张学询 赵家骅 等著
李森照 蔡汉泉 杨居荣 熊先哲 孙汉中

地震出版社

1992年

(京)新登字 095 号

内 容 简 介

本书是国家“六五”、“七五”科技攻关课题—“土壤环境容量”历时十年的系统研究成果。主要论述了我国主要类型土壤有关环境容量的研究成果。涉及某些污染物的生态效应、环境效应、吸附解吸、分组形态和有效态提取剂的筛选；污染物的净化规律与物流；各主要土类、部份亚类、土种的临界含量和环境容量；归纳分析了我国几种重金属生态效应、土壤临界含量和环境容量的地带性分异规律及其影响因素，并进行了分区。书中还概述了便于进行区域性研究和管理的土壤环境容量信息系统、提出了建议性的我国土壤环境质量标准；农田灌溉水质标准、污泥农田施用标准，以及区域性污染源总量控制方法与实例。

本书可供环境、土壤、农业、林业、生物、地学等有关科技工作者、技术管理人员以及大专院校有关专业师生参考。

中国土壤环境容量

夏增禄主编

*

地 震 出 版 社 出 版

北京海淀区民族学院南路 9 号

中国船舶工业总公司七一四所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 16 印张 379 千字

1992 年 10 月第一版 1992 年 10 月第一次印刷

印数 0001—1050

ISBN 7—5028—0614—8/P·415

(1004)定价：16 元

目 录

前 言	(1)
第一章 引言	(3)
第二章 区域土壤自然条件和土壤元素背景值	(6)
一、区域土壤自然条件	(6)
二、区域土壤元素背景值	(12)
第三章 土壤重金属的作物效应	(13)
一、灰钙土重金属的作物效应	(13)
二、褐色土重金属的作物效应	(20)
三、棕壤重金属的作物效应	(30)
四、黑土重金属的作物效应	(37)
五、黄棕壤重金的作物效应	(45)
六、紫色土重金属的作物效应	(55)
七、红壤重金属的作物效应	(60)
八、赤红壤重金属的作物效应	(70)
九、砖红壤重金属的作物效应	(76)
第四章 土壤重金属对微生物和生化活性的影响	(81)
一、重金属对土壤微生物的影响	(84)
二、重金属对土壤酶活性的影响	(88)
三、重金属对土壤代谢的影响	(92)
四、重金属对土壤微生物和生化活性影响的临界含量的确定	(98)
第五章 重金属在土壤中的化学行为 及其与作物效应的关系	(103)
一、重金属在土壤中的吸附解吸与形态特征	(103)
二、影响土壤重金属吸附、解吸和形态分配的因素	(122)
三、重金属生态效应与土壤性质和土壤重金属状态的关系分析	(134)
第六章 土壤重金属的有效态研究	(139)
一、土壤重金属有效性研究进展	(139)
二、灰钙土重金属的有效态	(141)
三、紫色土重金属的有效态	(144)
第七章 土壤重金属对地下水与地表水的影响	(155)
一、土壤重金属对地下水的影响	(155)
二、土壤重金属地表径流对地表水的影响	(162)
第八章 土壤重金属的主要生物学指标及临界含量的确定	(172)
一、土壤临界含量研究的现状	(172)

二、土壤重金属临界含量的确定.....	(174)
三、中国主要类型土壤重金属的临界含量.....	(176)
四、土壤矿物油临界含量的确定.....	(179)
五、关于土壤酚、氢的临界含量问题.....	(180)
第九章 土壤环境中重金属的物流	(182)
一、土壤环境中主要的重金属物流.....	(182)
二、主要类型土壤中重金属物流特征.....	(184)
第十章 土壤重金属元素环境容量的确定	(187)
一、土壤环境容量的数学模式.....	(187)
二、中国主要类型土壤重金属的环境容量.....	(190)
第十一章 土壤重金属环境容量的区域分异与分区	(196)
一、作物效应的区域分异.....	(196)
二、土壤临界含量的区域分异.....	(200)
三、土壤环境容量的区域分异.....	(202)
四、影响土壤重金属临界含量和环境容量区域分异的因素.....	(203)
五、中国土壤重金属临界含量和环境容量分区.....	(208)
第十二章 土壤环境容量信息系统的建立与应用	(216)
一、系统的结构.....	(216)
二、系统的功能.....	(217)
三、系统的应用.....	(220)
第十三章 土壤环境容量的应用	(232)
一、制订土壤环境质量标准.....	(232)
二、制订农田灌溉水质标准.....	(233)
三、制订农田污泥施用标准.....	(235)
四、进行土壤环境质量评价.....	(238)
五、进行土壤污染预测.....	(238)
六、污染防治、管理与污染物总量控制上的应用.....	(240)

前 言

随着环境污染、人口增长、资源耗损问题的发展，人类面临着自身环境的容量问题。如何正确地认识环境的容量和合理利用有限的容量，已涉及到人类生活和生产的许多方面，成为人们广泛注意的问题。

土壤环境容量是在一定区域与一定时限内，遵循环境质量标准，既保证农产品生物学质量，也不使环境遭致污染时，土壤所能容纳污染物的最大负荷量。

土壤环境容量涉及土壤污染物的生态效应和环境效应，污染物的迁移、转化和净化规律。它不仅能把土壤容纳污染物的能力与污染源允许排放的量联系起来，进行区域污染源的总量控制，而且还能推导出土壤环境质量标准，农田灌溉水质标准，污泥农田施用标准，因而它具有多方面的应用价值。此外，由于它涉及土壤环境学研究的多方面，也具有重要的理论意义。

自 1983 年以来，土壤环境容量已作为国家科技攻关课题进行研究，曾发表过“六五”以前的部分论著。本书是“六五”和“七五”工作的概括。主要论述了我国除西藏、新疆以外主要类型土壤有关环境容量的研究结果，涉及某些污染物的生态效应、环境效应、吸附解吸、分组形态和有效态提取剂的筛选；污染物的净化规律与物流；各主要土类、部分亚类、土种的临界含量和环境容量；归纳、分析了我国几种重金属生态效应、土壤临界含量，土壤环境容量的地带性分异规律及其影响因素，并进行了分区。书中还概述了便于进行区域性研究和管理的土壤环境容量信息系统，以及土壤环境容量研究结果的具体应用。

本书涉及的学科内容较多，土壤类型较广。其中土壤重金属的生态效应、临界含量，环境容量的地带性分异规律和分区，虽属我国首次提出，但仅是初步结果，还需今后继续丰富、提高，进一步完善这一具有重大理论意义的学说。此外，有关结果虽为我国今后制订或修订国家的和地区性的有关土壤的三种标准提供了可对比性的、较系统的依据，但在具体制订中，还需进一步完善。

《中国土壤环境容量》是一项集体成果。由中国科学院地理研究所主持，协作单位有：中国环境科学研究院、北京师范大学环境科学研究所、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院南京土壤研究所、西南农业大学土壤农业化学系、广州市环境保护研究所、甘肃省环境保护研究所、华南环境科学研究所、中国农业科学院土壤肥料研究所、中国农业科学院计算所、北京市农林科学院土壤肥料研究所、北京农业大学土壤农化系，湖南省环境保护所、江西赣州地区环境保护局、湛江环境保护局、中国科学院海伦农业现代化实验站、黑龙江省农业科学院土壤肥料研究所、茂名市环境保护研究所。共 200 余人参加工

作。

由于本书成书时间仓促，作者水平有限，错误之处在所难免，谨请读者批评指正。

夏增禄
1991年于北京

第一章 引言

随着环境污染、人口增长、资源耗损问题的发展，人类面临着自身环境的容量问题。如何正确地认识环境的容量和合理地利用有限的环境容量，已涉及到人类生活和生产的许多方面，成为人们广泛注意的问题。

容量的概念早已为人们所应用。如物理学中的热容量，土壤学中的交换容量。在生物学中，以前也曾提出过特定环境能够容纳某种生物物种个体数目的“环境容量”。

随着各国环境问题的的发展，全球性的环境问题愈益突出。六十年代末，罗马俱乐部在“增长的限度”一书中曾提出了环境容量的问题。国际人口生态学界曾给以这样一个定义“世界对于人类的容量是指在不损害生物圈或不耗尽可合理利用的不可更新资源条件下，世界资源在长期稳定状态基础上供养的人口大小”。关于这一问题，其后发展了许多研究，也出现了不同的观点。但有一个共同的认识，即环境在一条件下承受的能力是有限的，是有一定容量的，在人类社会的发展中要重视这一问题。

在环境污染的防止和控制中，也产生了一种“环境容量”问题。以往污染物的控制多是以浓度控制的办法。如污染物的排放是按一定的容许浓度标准来限制的。但这种标准只限制了污染物排放的浓度，而没有限制其排放的数量。而且就污染物的不同排放区域而言，这种标准的限制办法，也未考虑到不同区域各异的净化能力和容纳能力。因此在一个污染源排放区，虽然污染源排放的污染物未超过浓度控制标准，但往往污染物排放的总量过大，仍然会使环境受到严重污染。由于这种情况，在环境管理和污染控制中开始采用污染物排放总量控制的办法，要求污染物的排放除达到容许的浓度标准外，还要把某一区域污染源排放到该区域环境中的污染物总量限制在一定数量之内。这个数量是多大呢？这就需要以区域的环境容量为依据，因而引出了环境容量概念，并随之发展了各环境要素的环境容量研究。目前环境容量的定义为：“在人类生存和自然生态不致受害的前提下，某一环境所能容纳的污染物的最大负荷量”。

土壤是环境的要素之一，既然环境具有一定的容量，那末，土壤是否也具有容量呢？这一点，人们实际上早已自觉或不自觉地注意到了，只不过在当今环境问题出现，土壤污染随之发生后，它始变得更为明显而已。

在以往的农业生产中，曾经盛行过密植增产的作法。结果，过度密植造成土壤环境水、肥、气、热不平衡，反而造成减产。这是土壤环境的植株容量问题。早已知晓的作物贪青和倒伏，实为土壤氮元素的容量问题。土壤盐渍化则更加突出了土壤盐分的过量。人们在解决这些问题的时候，实际上已在不自觉地承认和利用土壤的容量了。

随着环境问题的出现、土壤污染的发生，土壤环境的容量问题变得更为明显和突出。

污水灌溉，曾经被作为一种除弊兴利，用废为宝的一项措施在国内外应用，并达到一定发展。这是由于土壤对污水中的有机废物具有较强的分解能力。即使是在这一时期，土壤对污水输入的有机废物的性质和数量也具有一定的限度。只是由于当时污水灌溉造成的土壤污染问题不突出，它才没有受到特别的重视。随着工业化的发展，城市和工厂的集中，污水的组成发生了显著的变化，用于污水灌溉的污水，由以往的生活污水变为生活和工业

混合的水，或者甚至是以工业为主或纯粹的工业污水。在工业的污水中含有一些有害、有毒元素和化合物。这时的污水灌溉常使土壤严重污染，不仅引起作物产量降低，质量下降，而且使一些农产品的污染物超过食品卫生标准，引起人、畜受害。如举世皆知的土壤镉污染造成的悲惨的“痛痛病”，即是由于含镉污水灌溉引起土壤含镉量过高使得这种土壤上生产的大米含镉过高，人食用这种大米而造成的。据目前所知，因污水灌溉而造成土壤中某些有害金属如 Cd、Hg、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni、As 等的污染，时有发生。由于这些元素在土壤中不像有机物那样易被土壤降解而被土壤吸附、沉淀累积起来，因此，有关它们的土壤容量问题特别突出。

目前国外发展着一种与污水灌溉某些方面类似的“土地处理系统”，它与污水灌溉的主要区别是对污水的处理目的性较强。这种处理系统虽然有的还利用土壤种植草被，有的仅将土壤作为一种单纯的处理剂。但是由于土地处理系统的发展可能对周围环境以及对土地处理系统本身能力的影响，因此，土地处理系统的设计也需要考虑土壤环境的容量。

在土壤施肥中，曾早已研究和广泛使用微量营养元素肥料。这种微量元素的施用补充了某些土壤中这些元素的不足，在农业生产中发挥了增产的作用。在较长一段时间，人们主要注意到土壤中这些元素的缺乏，而很少认识到它的过量。当人们尝到施用少量这种元素就能获得较高产量的甜头时，自然有可能会把这种元素的施用量增大，以图获得更高的产量。或者以为这种微量元素肥料像氮、磷、钾化肥一样可以持续施用而不断增产，采用了不断施用的办法。这些认识与实施，最终引出了不良后果。当这些微量元素的不断施用使之在土壤中累积到一定程度，超过它的土壤容量时，它们就不再起着肥料的增产作用而开始影响作物生长发育，减低作物产量，或者使作物吸收它们的量超过食品卫生标准，或者导致周围环境的次生污染。这一问题虽然由于土壤环境污染而得到较明确的认识，但在微量元素肥料的应用中已时有发生。

随着环境问题的的发展，就是早已肯定了的并大力发展的常用氮、磷等肥料也出现了环境容量问题。氮和磷是污染水体、促进水体富营养化的主要元素，而土壤地表径流是水体氮、磷的主要来源之一。为了满足世界人口不断增长对粮食的需求，各国普遍采用了增施土壤化肥的办法。许多地区施用的氮、磷量远远超过了作物吸收的量。这些土壤过量负载的氮、磷，随地表径流污染地下水和饮用水源。因此，目前对土壤化肥的施用，也进而考虑到土壤的容量问题了。

农药在维持和增加人类粮食的进程中，发挥了巨大的作用。但随着农药的施用，病、虫变得更为单调了，其耐药性增强了。这种变化促进了农药更为广泛而大量的施用。对于持久性农药，如某些有机氯农药、汞、砷制剂等，它们持续的施用将引起在土壤中的高度残留，造成土壤严重污染，影响到陆地生态和农产品质量。一些易降解的农药虽然不致产生土壤高度残留的问题，但它们的广泛施用，常常通过地表径流汇入水体而污染江、河、湖、海。如人们已制定出一些农药使用的安全标准，其中有不少是不自觉的考虑了它们的土壤容量。

从以上的论述中可以看出，在土壤环境容量提出来以前，在许多方面我们已具有土壤容量的某些模糊的认识，而且在许多方面已表现出土壤容量问题和应用土壤容量的事例。只不过还不是明确的提出和自觉地应用罢了。因此，土壤环境容量的由来，有其广泛的背景，

它只不过是土壤学和环境科学发展到现阶段的产物。

环境的容量必定有一个限度。这个限度是什么呢？由于每一环境要素，如水体、大气、土壤等都订有一些环境标准，这个标准是限制某种污染物在某要素中达到的最大限度。因此，很自然地把某一要素的某一区域可能达到此限度的量，作为其区域的环境的容量，得出了环境的标准容量的概念。而土壤的标准容量是指一定环境单元，达到环境标准时，土壤容纳污染物的量。

另一种观点认为，环境对污染物具有一定的净化能力，这种净化能力随区域而异，环境容量是研究环境的净化能力，即环境的净化容量，并认为，环境容量不仅是计量环境的标准容量，而主要应研究环境的净化容量。前一观点是肯定了环境标准，后一种观点是把环境标准与环境的净化能力割裂开来，强调了环境的净化能力。

土壤，虽为环境要素之一，但它与水体和大气有诸多不同。它在位置上较水体和大气相对稳定，污染物易于集聚。由于某些污染物在土壤中持续累积，需要累积到一定程度，方能表现出明显的生态效应和环境效应。因此，衡量土壤容许的量时需要有一个基准含量水平。这个水平所获得的容量，称为土壤静容量，即以上所说的土壤的标准容量。但在这个水平（或标准）计算的容量，仅反映了土壤污染物生态效应和环境效应所容许的水平，而没有考虑到土壤污染物累积过程中，污染物的输入与输出、固定与释放、累积与降解的净化过程。这些过程的结果，都将影响到容许进入土壤中的量。在上述静容量的基础上，将土壤这一部分净化的量也考虑在内的量，方是土壤动态的，全部容许的量，即土壤环境容量。也有人将之与土壤的静容量相对应，称为土壤环境动容量。目前发展的概念是指“一定环境单元，一定时限内遵循环境质量标准，既保证农产品产量和生物学质量，同时也不使环境污染时，土壤所能容纳污染物的最大负荷量”。

土壤环境容量研究，在国外报导甚少。近年来，随着污水土地处理系统的开展，土壤容量的研究受到极其重视。美国、澳大利亚等国，根据土地处理系统对污水的净化能力，计算某一时间、单元处理区的水力负荷与灌溉量。西德根据处理区的土壤理化性质与吸附性能，研究重金属的化学容量与渗漏容量。澳大利亚 Leeper 等还提出了安全“锌当量”。这些都在不同方面，不同程度上反映了土壤环境容量研究的发展。

我国在区域环境质量评价中，曾根据单一作物的试验提出的土壤临界含量，结合土壤背景值计算出土壤容量。1983年，我国将土壤环境容量研究列入国家科技攻关项目。至此，土壤环境容量进入了较系统、综合的专题性研究阶段。

第二章 区域土壤自然条件和土壤元素背景值

一、区域土壤自然条件

(一) 灰钙土的自然条件

灰钙土分布于我国暖温带半干旱地区荒漠草原地带，地形大都为丘陵、平缓的塬地、排水良好的古老阶地和山前倾斜平原等。年平均温度 6—9℃，>10℃积温 2800—3100℃，热量条件比较接近于暖温带，年平均降水量 200—300 (350) 毫米，干燥度 1.8—4.0，属于半干旱地区。植被的基本类型为荒漠草原，具有草原向荒漠过渡的特点。

灰钙土成土过程以弱腐殖质化、通体钙化为特征，剖面分化不明显。从表层开始就有较明显的石灰反应，在土体中普通能观察到菌丝状、斑点状碳酸钙新生体。

土壤粘土矿物组成中以伊利石占比率最高，在样品中总含量高于 50%。此外、蒙脱石、绿泥石、高岭石均占有一定比例。

研究区农业生产以粮食作物为主、主要有春小麦、玉米、糜谷和豆类。

供试土壤基本理化性质列于表 2—1

表 2—1 土壤基本理化性质

有机质 %	CaCO ₃ %	PH	阳离子 代换量 me/100g 土	机械组成, 粒径组成 (%)							全 N %	全 P %
				3—1 mm	1—0.25 mm	0.25—0.05 mm	0.05—0.01 mm	0.01—0.005 mm	0.005—0.001 mm	<0.001 mm		
1.73	11.69	8.7	7.88	1.0	1.18	22.83	33.33	9.76	6.30	26.60	0.101	0.043

(二) 褐色土的自然条件

褐色土主要分布在暖温带半湿润的山地和丘陵中，如燕山、太行山、吕梁山、秦岭等山地和关中、晋南、豫西等盆地中。

褐土形成的气候特点是冬干夏温；高温与多雨季节一致，所以成土过程在此期较活跃。但淋溶作用不如棕壤强，因而土壤多呈中性或微碱性。

试验地设置在北京高碑店地区。北京多年平均气温为 12℃，1 月平均 -4℃，7 月平均 26℃。年平均降水 630mm，但分配不均，7、8 两月降水约占全年降水 60—70%。年蒸发量 1500mm 以上。无霜期 180—200 天。试验区土壤属草甸褐土、多为轻壤土，PH7.1—8.5。碳酸盐含量甚高，可达 5—7%。代换性盐基总量约 10—30me/100g 土。有机质 0.8—3.7%。

(三) 棕壤的自然条件

棕壤是暖温带湿润区夏绿林（阔叶或针阔混交林）下形成的土壤，纵跨辽东与山东半岛。由于夏秋气温高，雨量多，年平均降水 500—1200mm，故粘化作用强烈，淋溶作用较强，土体易溶盐和游离碳酸钙都被淋失，土壤呈中性或微酸性反映，PH 在 5.0—7.0 之间。试验区土壤位于辽河下游，属草甸棕壤。一般耕层含有有机质 1—3%，盐基代量 5—28me/100g 土，PH 6.5 左右，质地轻壤—重壤。土壤矿物： SiO_2 为 66.1%； Al_2O_3 为 17.0%； Fe_2O_3 为 5.75%； CaO 为 1.56%； MgO 为 1.30%。土壤处于硅铝化阶段， $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 成分稳定，无移动现象。土壤粘土矿物以伊利石、蒙脱石为主，伴有高岭石。

(四) 黑土的自然条件

黑土主要分布在我国中温带半湿润地区的松辽平原区的松嫩平原东部。即主要分布于小兴安岭两侧，大兴安岭中北段的东坡和张广才岭山地西缘的山前波状起伏的台地（或称漫岗）。此外，三江平原的高阶地上也有黑土分布。由此可见，黑土仅分布于黑龙江和吉林两省。年降雨量约 500—600mm。大部分集中在 7—9 月，年均温 $0 - 5^\circ\text{C}$ ， $>10^\circ\text{C}$ 积温约 2500—3200 $^\circ\text{C}$ ，无霜期 120—170 天；干燥度约 0.75—1.0。冬季严寒少雪，土壤冻结深厚，延续时间长。季节性冻层特别明显，土壤冻结达 4—5 个月，冻层深度约 2—3 米。

黑土的成土母质比较单纯，多为砂砾粘土层，粉砂占 30% 左右，具有黄土特征，无碳酸盐反应。

本区主要土壤为黑土及草甸黑土；黑土层厚 30—60 厘米，有机质丰富，土壤肥沃。从北向南可分为深厚、中厚及薄层腐殖质层黑土，由于黑土的腐殖质深厚，粘粒含量高，自然植被的根系十分发达，土壤的结构性良好，是全国结构性最好的土壤之一。

本区为东北平原主要的粮食和商品粮产区，大部分都已开垦为耕地，栽培作物有北方各种早熟作物，如小麦、大豆、谷子、高粱、玉米等，以及甜菜、亚麻等经济作物。这里是全国大豆的重点基地。水稻主要集中在松花江南岸和呼兰河中游一带。由于土壤长期侵蚀，肥力逐渐下降，现已进行各种水土保持措施。

黑土重金属环境容量的研究是采用黑龙江省海伦县的深厚黑土；哈尔滨郊区的中厚黑土；与吉林省榆树县的薄层黑土。根据黑土胶体矿物的初步分析，0—10cm 土层水云母较多，50—100cm 则以水云母及蒙脱类胶体矿物为主。土壤的矿物全量及化学性质分析结果列表 2—2 和表 2—3。矿物全量分析表明，其矿物组成比较均匀，在剖面中分异不大，表明它的粘粒移动与破坏都不明显。

表 2-2 黑土矿物全量分析结果

土壤名称	采集地点	采集深度 (cm)	灼失量 (%重量)	矿物全量 (占灼烧土%)										SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃
				SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O ₃			
深厚黑土	海伦	0—18	24.99	67.0	5.90	19.2	0.9	0.1	1.9	1.7	2.1	1.8	25.1	4.96	5.93	30.3
		18—65	12.97	68.6	6.70	18.8	0.7	0.1	0.9	1.5	1.3	1.4	25.5	5.05	6.20	27.3
		65—90	10.12	69.1	7.20	17.5	1.0	0.1	0.8	1.4	1.4	1.5	24.7	5.32	6.71	25.6
		90—110	11.04	65.9	8.20	20.3	1.0	0.1	0.7	1.6	1.1	1.3	28.5	4.39	5.52	21.4
中厚黑土	哈尔滨	0—19	16.44	68.6	8.40	15.7	1.1	0.2	2.4	0.9			24.1	5.54	7.43	21.8
		19—32	10.25	65.9	8.20	15.4	1.2	0.1	1.5	1.2			23.6	5.43	7.27	21.4
		32—52	9.89	67.5	9.20	16.6	1.1	0.1	1.3	0.6			25.8	5.11	6.91	19.6
		52—78	9.25	67.6	8.80	16.6	1.2	0.1	1.2	0.5			25.4	5.18	6.93	20.5
		78—120	8.64	68.2	8.50	16.2	1.1	0.1	1.6	1.2			24.7	5.36	7.16	21.4
薄层黑土	榆树	0—20	10.34	64.7	5.50	13.7	0.6	0.1	2.4	0.9			19.2	6.38	8.02	31.3
		20—45	9.47	63.2	4.90	14.2	0.8	0.1	1.7	1.0			19.1	6.19	7.55	34.3
		45—67	9.68	62.0	5.60	15.2	0.6	0.1	2.0	1.0			20.8	5.61	6.93	29.4
		67—120	9.06	62.3	5.80	14.6	0.5	0.1	2.0	1.0			20.4	5.78	7.24	28.6

表 2-3 黑土的理化基本性质及机械组成

土壤名称	采集地点	采集深度 (cm)	pH	腐殖质 (%)	盐基代换量 (me/100g)	N		P ₂ O ₅		机械组成%		土壤质地名称
						全量 (%)		全量 (%)		物理砂粒 (>0.01)	物理液体 (≤0.01)	
深厚黑土	海伦	0—18	7.0	5.6	37.72	0.25	0.13	47.4	52.6	重壤土		
		18—65	7.0	3.1	32.09	0.23	0.12	41.4	58.6	重壤土		
		65—90	7.2	2.3	30.97	0.16	0.11	48.4	51.6	重壤土		
		90—110	7.2	1.6	28.71	0.08	0.09	47.4	52.6	重壤土		
中厚黑土	哈尔滨	0—19	7.1	3.3	34.91	0.21	0.13	51.4	48.6	重壤土		
		19—32	7.2	2.9	31.78	0.16	0.10	41.4	58.6	重壤土		
		32—52	7.2	1.8	29.47	0.14	0.09	50.4	49.6	重壤土		
		52—78	7.0	0.9	28.91	0.16	0.08	40.4	59.6	重壤土		
		78—120	7.1	0.8	28.40	0.06	0.08	52.4	47.6	重壤土		
薄层黑土	榆树	0—20	6.9	2.7	29.84	0.10	0.08	41.6	58.4	重壤土		
		20—45	6.9	1.3	29.28	0.07	0.06	37.6	52.4	轻粘土		
		45—67	6.9	0.7	28.97	0.04	0.06	37.6	62.4	轻粘土		
		67—120	7.0	0.9	27.51	0.06	0.06	43.6	56.4	重壤土		

(五) 黄棕壤的自然条件

我国的北亚热带包括秦岭、淮河一线以南的长江中、下游区和汉江中上游区。黄棕壤是北亚热带的地带性土壤，集中与分布于江苏安徽两省的长江沿岸以及鄂北、陕南与豫西南的丘陵低山地区，大部分均被开垦，属古老的农业地区。本区年均温均 15—16℃，最冷月气温 0—4℃，最热月气温 26—29℃，>10℃积温 4500—5000℃，无霜期 210—250 天。年降水量 1000 毫米以上，大别山区可达 1300 毫米。自然植被为常绿落叶阔叶混交林，冬作物有小麦、油菜，夏作物有棉花、大豆、甘薯、花生、芝麻等，大部分一年两熟，以稻麦两熟为主，平原亦有双季稻栽培。黄棕壤淋溶作用较明显，除受基性母质影响者外，石灰

已经淋失，盐基不饱和，呈中性偏酸至酸性反应。

黄棕壤中原生矿物的风化比较迅速，母岩中的长石较快地高岭化，云母则经脱钾转变成蛭石。粘土矿物中的蒙脱有转变成高岭的趋势。

由于黄棕壤中原生矿物变成次生矿物的过程比较快，粘粒含量较高，所以不论在何种母质上发育的黄棕壤，质地均较粘重。供试黄棕壤的理化性质列于表 2—4 中。

(六) 紫色土地区的自然条件

紫色土是我国中亚热带的一种特殊的土壤类型，成土母岩为紫红色砂页岩，由于岩性原因而形成紫色土。四川盆地是我国紫色土最集中的分布区，集中分布在四川盆地的丘陵和海拔 800 米以下的低山和盆边山地，在凉山和西昌也有分布。四川紫色土面积 16 万平方公里，耕地 7000 万亩约占全省耕地 68%，其中水田占紫色土耕地的 60%，成为粮、棉、油、糖的生产基地。紫色土的分布区其次为云贵高原和赣南丘陵，此外，鄂、皖、浙、闽、桂诸省区也有零星分布。

表 2—4 黄棕壤理化性质

试验类别	采样地点 与母质	pH (1:5)	有机质 (%)	全 N (%)	全 P (P ₂ O ₅ (%)	全 K (%)	代换量 (mg/ 100g)	游离铁 (FeO (%)	活性铁 (Fe ₂ O ₃ (%)	颗粒组成 (%)			质地	矿物成分
										0.05— 0.01	< 0.001	< 0.01		
盆栽	江苏下蜀 (下蜀黄土)	6.5	0.45	0.043	0.137	2.13	17.9	2.43	0.363	44.8	24.9	48.1	重壤土	水云母、蛭石为主，一定量高岭石，少量石英长石
	江苏盱眙 (下蜀黄土)	7.2	1.13	0.080	0.061	1.53	22.7	2.26	0.207	49.4	30.7	47.6	重壤土	水云母为主，一定量高岭石，少量蒙脱石、绿泥石
	湖北孝感 (下蜀黄土)	7.6	0.65	0.050	0.039	1.68	18.1	3.23	0.235	36.6	28.1	52.6	重壤土	水云母为主，一定量高岭石、蛭石，少量绿泥石
小区	江苏六合 (下蜀黄土)		2.35				14.90	1.66	0.512		19.5	48.0		水云母为主，一定量的蛭石、高岭石，少量蒙脱石

四川盆地气候属中亚热带湿润气候型。由于北部秦巴山系屏障，寒潮不易入侵；东部巫山海拔不高，太平洋暖气流从东部伸入四川。因此温度高，热量丰富，年平均气温 16—18℃，最冷月平均气温 5—8℃，>10℃的活动积温达 5000—6000℃以上，无霜期长达 270—320 天，降水丰沛。年降水量 1000—1500 毫米，西部达 1500—1800 毫米，风弱多雾，日照不足。

紫色土母质以侏罗纪、白垩纪紫色砂泥岩为主。富含钾、磷、钙、镁、铁、锰成分的

长石、云母、磷灰石等多种矿物，碳酸钙含量 0.2—19%，pH4.5—8.5，母质风化度浅，胶体硅铝率 2.61—5.5，发育浅，肥力高。

四川盆地紫色土包括三个亚类。(1) 中性紫色土，包括灰棕紫泥和暗紫泥。暗紫泥母质为自流井，风仙关组等暗紫色泥砂岩，硅铝率 4.5—5.5，pH7.5—8.5，抗旱抗冲力强，保肥供肥好，为紫色土中自然肥力最高的土组，特产甘蔗，盛产粮油，不出棉花。灰棕紫泥母质为沙溪庙组浅棕灰紫泥砂岩，硅铝率 3.1—4.8，中性，肥力中上。中性紫色土主要分布于盆地东南部丘陵低山区的丘陵部分，即在川东平行岭谷区的岭上为黄壤，谷地和平坝为中性紫色土。在盆南地区则北半部和东部以中性紫色土为主，南半部和西部以酸性紫色土为主。其次，川中丘陵区的盆地地区的东南部也有中性紫色土分布。(2) 石灰性紫色土，包括红棕紫泥、棕紫泥和黄红紫泥。红棕紫泥母质为遂宁组红棕紫色厚泥岩，粒状风化强烈，冲刷严重，土层薄，砾质轻壤，pH7.5—8.5，强石灰性反应，粉砂含量重，土性干瘦，土硬缺磷。棕紫泥母质为蓬莱镇组砂泥岩，内含钙镁，土多含石骨，为四川棉花基地。黄红紫泥母质为城墙岩群和剑阁组砂泥岩，硅铝率仅 2.61，富含钙质，中性至碱性，土质偏瘦，产棉及杂粮。石灰性紫色土主要分布于川中丘陵区的盆地地区和盆北地区。(3) 酸性紫色土，即红紫泥。母质为嘉定群砖红砂岩夹红黄紫泥岩，受水作用深，化学风化强烈，硅铝率 2.61，pH4.5—5.5，土性沙酸冷瘦，以水稻为主，松杉竹等植被好。酸性紫色土主要分布于川中丘陵区的盆南地区之南半部和西部，即宜宾、纳溪、茶县一带。其次，在川西平原区的名眉地区，即名山、眉山一带也有酸性紫色土分布。供试三种紫色土的性状和背景值列于表 2—5 中。

表 2—5 紫色土的基本性质

土壤名称	采样地点	母质	pH (水:土=1:1)	有机质 (%)	CaCO ₃ (%)	阳离子交换量 CEC (me/100g)	盐基饱和度 BS (%)	速效氮 (ppm)	速效磷 (ppm)	速效钾 (ppm)	机械组成 (%)		质地	电导率 (μΩ/cm ²)	交换性阳离子 EAL (me/100g)	Fe (%)	Mn (%)	Cl (ppm)	As (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
											> 0.01 mm	< 0.01 mm									
酸性紫色土 (R)	宜宾王场	关关组	5.86	1.01	0	12.0	48.1	5.01	8.9	38.0	63.30	36.71	轻壤	72	1.03	4.07	198	0.223	6.76	15.62	10.8
中性紫色土 (G)	西农农场	沙溪庙组	6.55	1.40	0.14	19.2	71.8	1.99	19.4	120.5	51.62	48.20	重壤	388	0	2.75	402	0.150	5.78	22.58	16.0
石灰性紫色土 (W)	巴县陈家桥	遂宁组	8.23	1.34	6.26	22.0	100	2.88	0.8	40.3	56.14	43.85	中壤	165	0	3.02	500	0.194	9.11	21.05	21.8

(七) 红壤的自然条件和

红壤主要分布于长江以南广阔的低山丘陵区，其中包括江西、湖南两省的大部分，云

南、广东、广西、福建等省的北部，以及贵州、四川、浙江、安徽等省的南部。

红壤形成于亚热带生物气候条件下。总热量不如砖红壤区高，但气候温暖、无霜期长(240—280日)。雨量充沛，年降雨量约1200—1500mm。但分布不均，大多集中于3—6月，且多暴雨，常引起水土流失；7、8月常出现干旱。

试验区分别设在江西大吉山，湖南桃林和粤北韶关等地。其土壤基本理化性质列于表2—6。

(八) 赤红壤砖红壤自然条件

我国的南亚热带位于南岭以南，雷州半岛以北，东起台湾，西至云南盈江的狭长地带。全年无冬(平均气温全年均 $>10^{\circ}\text{C}$)，一年三熟；植被为季雨林、常绿阔叶林；地带性土壤为赤红壤。

华南丘陵区指南亚热带大陆东部地区，东起福建平潭，西至广西百色，地势北高南低，地形以丘陵为主。大部分海拔100米上下，但也有一系列海拔1000米上下的山地呈东北西南走向从东向西排列，山间广布红色盆地。滨海平原比较狭窄，以珠江三角洲，潮汕平原和漳州平原比较著名。

表2—6 红壤试区土壤基本理化性质

地点	试验用途	土壤	pH	有机质 (%)	交换量 (me/100g土)	物理性粘粒 (%)	全N (%)	全P (%)	活性Mn、Fe、Al
江西	赣南大吉山地区	盆栽	5.12	1.38	8.92	48.72			0.595
		小区试验	5.69	2.90	10.72	61.70			0.771
		大田 A	5.83	4.26	11.50	46.80			0.504
		大田 B	5.51	2.93	9.03	44.75			0.531
		土壤 C	5.67	2.95	9.83	42.14			0.694
		土壤	6.09	3.57	10.70	38.04			0.432
湖南	杨梅州小港河围砂坝南冲坪坝大		5.8	4.50	8.89	47.9			
			6.1	2.62	6.65	28.0			
			5.9	3.73	8.51	29.2			
			5.6	3.79	10.31	48.2			
			5.4	2.78	8.03	44.3			
			5.8	2.41	7.12	25.3			
粤北韶关		5.15	1.08			0.072	0.031		

本区南临热带海洋，气温高，热量足。年均温 21°C ，最冷月气温 $12-14^{\circ}\text{C}$ ，低温平均值为 2°C ， $>10^{\circ}\text{C}$ 积温 $7300-8300^{\circ}\text{C}$ ，无霜期360天左右。每年都受台风影响，雨量充沛，年降水量 $1700-2000$ 毫米。

自然植被为具有热带色彩的南亚热带季雨林。一年三熟(两季水稻，一季冬作)。盛产水稻、甘蔗、木薯、黄麻、甘薯、龙眼、荔枝、芒果、菠萝、柑桔、木瓜、木菠萝、剑麻、八角、茴香、肉桂等。

本区土壤成土母质多为花岗岩和沙页岩，在高温多湿气候条件下，生物作用强烈，风化淋溶作用盛行，碱金属、碱土金属及硅酸淋失，铁铝氧化物残积，土壤富铝化作用明显，硅铝率在 $1.7-2.02$ 之间，土壤呈酸性反应， $\text{pH}4.5-5.1$ ，有机质含量低，约为 1.12% ，全氮 0.053% ，全磷 0.011% ，全钾 0.709% 。

砖红壤位于我国的边缘热带 $0 > 10^{\circ}\text{C}$ 积温 8500°C 上下，但有的年份强寒潮时极端低温可达 0°C 以下，有霜冻。年降水量 1500 毫米左右。植被为热带季雨林，一年三熟，产水稻、木薯、橡胶、茶叶、木菠萝、剑麻、香芋等。供试土壤理化性质列于表 2—7。

表 2—7 供试砖红壤基本理化性质

土壤处理	pH	有机质 %	交换量 (me/100克土)	全铁 ($\text{Fe}_2\text{O}_3\%$)	全锰 ($\text{MnO}\%$)	全铝 ($\text{Al}_2\text{O}_3\%$)	全氮 (%)	全磷 ($\text{P}_2\text{O}_5\%$)	全钾 ($\text{K}_2\text{O}\%$)
耕型砖红壤 (盆栽花生土)	6.16	1.04	10.21	3.768	0.0287	7.088	0.146	0.181	0.4006
潞育型水稻土 (盆栽水稻)	5.37	1.05	14.95	—	0.0878	12.184	0.163	0.113	0.3984
潞育水稻土 (小区水稻)	5.79	1.04	14.12	7.788	0.0939	11.441	0.166	0.110	0.4008

研究区主要几种类型土壤的基本理化性质归纳于表 2—8。

表 2—8 几种供试土壤的理化性质

土壤	地点	pH	代换量 (me/100克土)	CaCO_3 (%)	土壤质地	有机质 (%)	<0.001mm 粒径 (%)
灰钙土	甘肃白银	8.7	7.9	11.7	中壤	1.7	42.7
草甸褐土	北京	7.8	20.0	6.0	轻壤	2.3	
黑土	吉林榆林	6.9	29.8		重壤	2.7	58.7
草甸棕壤	辽宁沈阳	6.5	16.0			2.0	
黄棕壤	江苏下蜀	6.6	18.0		重壤	0.5	48.1
酸性紫色土	四川宜宾	5.7	12.0		轻壤	1.0	36.7
石灰性紫色土	四川巴县	8.2	22.0	6.3	中壤	1.3	43.9
红壤	江西大吉	5.7	10.0			2.9	61.7
红壤	广东韶关	5.2	11.0			1.1	
赤红壤	广东广州	4.8				1:1	
砖红壤	广东湛江	5.5	14.9			1:1	

二、区域土壤元素背景值

不同研究区域土壤元素背景值列于表 2—9

表 2—9 各研究区土壤元素背景值 (ppm)

土壤	Cd	Pb	Cu	As
灰钙土	0.1841	19.54	24.39	12.71
褐色土 (北京)	0.122	18.78	27.2	8.09
棕壤	0.086	18.90		9.85
南京黄棕壤	0.26	32.10	31.5	12.90
下蜀黄棕壤	0.12	16.70	23.5	9.84
酸性紫色土	0.097	18.23	13.57	7.70
中性紫色土	0.130	17.94	13.60	5.18
石灰性紫色土	0.183	20.13	13.75	9.11
红壤 (湘江)	0.258	35.13	33.29	22.04 (5.02)
赤红壤 (广州)	0.09	27.00	16.50	10.00
砖红壤 (湛江)	0.078	24.9	17.20	9.88
薄层黑土	0.165	21.0	30.05	12.38
中厚黑土	0.180	30.5	19.53	11.39
深厚黑土	0.154	22.8	22.68	11.37
红壤 (韶关)	0.110	30.00	16.00	11.60