

绿洲土壤盐渍化及水盐调控

麦麦提吐尔逊·艾则孜 著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

绿洲土壤盐渍化 及水盐调控

**Soil Salinization and Salt-Water
Control in Oasis**

麦麦提吐尔逊·艾则孜 著

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

绿洲土壤盐渍化及水盐调控 / 麦麦提吐尔逊·艾则孜著. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5682-1533-6

I. ①绿… II. ①麦… III. ①绿洲-盐渍土改良-研究-新疆 IV. ①S156.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 285479 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 306 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 刘永兵

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

Dedication to My Beloved Father

献给我亲爱的父亲

前 言

土壤盐渍化是世界干旱、半干旱农业区最突出的生态环境问题之一，是干旱、半干旱区农业发展的主要障碍。土壤盐渍化通常出现在气候干旱、土壤蒸发强度大、地下水位高且含有较多可溶性盐类的地区，是一定的气候、地形、水文地质和不合理的人为因素综合作用对区域水盐运动产生影响的结果。农业生产过程中的引水及灌溉会提高地下水位，使其超过临界深度，在干旱环境强烈的蒸发作用下，随着潜水不断蒸发，盐分大量聚积于地表，导致土壤盐渍化，进而对植物产生盐胁迫，降低土地生产力，威胁区域土地资源可持续开发利用。因此，对干旱、半干旱农业区土壤盐渍化进行研究十分必要。

新疆是我国盐碱化土壤分布面积最广、土壤积盐最严重的地区，盐碱化土壤类型多，被称为世界盐碱土的博物馆。近年来，随着新疆绿洲大规模的水土开发活动，区域内土壤次生盐渍化日益严重，已成为土地荒漠化的主要表现形式，明显阻碍了区域高产、优质农业的发展，并造成了生态环境质量呈“局部改善、总体退化”的趋势。

由于不同区域不同气候条件下的不同类型盐渍土水盐运移规律有所不同，所以对水盐运移规律的研究近几年仍是盐渍化土壤理论研究的重点。其研究趋向于分区研究水盐运动，或是采用参数模型进行区域水盐均衡计算。但目前区域水盐运移的模型成果相对较少，主要是因为区域的空间变异性大，直接受作物、土壤、气候等因素的影响，区域与区域之间的差异也很显著。目前土壤的改良方法中，水利工程改良和通过土壤耕作增施有机肥改良土壤理化性质，施用农家肥和植物残体等改良土壤的方法在生产实践中已经广泛应用。化学改良和生物改良是目前研究的重点。化学改良虽然见效快，但容易引入新的离子造成二次污染，且资金投入和技术要求都很高，对大面积的土地修复实施起来比较困难。如何降低成本，使高效的改良剂能尽快地运用到实际中是今后有待解决的问题。综合现有的治理措施不难发现，地下水位调控是土壤盐渍化恢复的最有效的措施之一。

地下水作为我国西北干旱区植被建设中的主要的限制性因子之一，它直接关系到土壤盐分来源，在一定程度上决定着土壤的积盐程度，从而影响地表生态环境。因此，对干旱、半干旱区土壤盐渍化与地下水环境变化之间的内在关系进行研究十分必要。治理实践证明，改良盐渍土是一项复杂、难度大、需要时间长的工作，应视各国、各地的具体情况制定措施。

《绿洲土壤盐渍化及水盐调控》一书，是作者多年来在这一领域研究成果的集成，也是目前国内尚不多见的主要研究干旱区绿洲土壤盐渍化及地下水动态调控方面的专著。该书根据新疆伊犁河流域绿洲生态环境特点和农业发展方向，针对当地灌溉技术落后、灌水效率低以及大水漫灌造成的土壤次生盐渍化等问题，结合对绿洲地下水和土壤实测资料的分析，研究在大规模水土开发情况下，土壤、地下水盐分特征与时空分异规律，分析土壤盐渍化与地下水条件之间的定量关系，建立土壤盐渍化与地下水环境之间的关系模型，解决绿洲灌区不同矿化度条件下防止土壤盐渍化的地下水调控问题，确定防止土壤盐渍化的地下水调控深度，并开发地下水调控决策支持系统，为干旱区绿洲地下水资源管理的科学化与现代化提供技术支持，为绿洲生态安全和水土资源可持续开发利用提供参考。

本专著是在国家自然科学基金项目“焉耆盆地土壤盐渍化对地下水盐动态的响应研究”、国家自然科学基金重点项目-新疆联合基金项目“新疆博斯腾湖环境演变及对气候变化的响应”(U1138302)、国家科技支撑项目“新疆伊犁河流域水土资源可持续开发利用研究与示范”(2007BAC15B02)以及新疆维吾尔自治区高等学校科研计划项目“焉耆盆地绿洲土壤盐渍化动态调控与预警系统研究”(XJEDU2014S037)等共同资助下完成的，对这些项目的资助表示感谢！

笔者在撰写本书的过程中，得到了海米提·依米提、买托合提·阿那依提等人的大力帮助，他们为本书的顺利出版做出了很大贡献。同时，本书的完成在很大程度上还得益于前人所做的工作，在此一并感谢！

本书是作者以多年来积累的第一手实验数据编写的有关干旱区绿洲土壤盐渍化及水盐调控技术的专著，主要结论的支持数据可靠。但因其综合性强、涉及学科多、覆盖面广，还有不少科学问题需要进一步研究和检索。编写组历时3年，科学审慎地几易其稿、增删数次，但错误和疏漏之处在所难免，敬请读者不吝指正。

目 录

绪论	1
第一节 土壤及其形成因素	4
第二节 土壤的演变与退化	10
第三节 土壤盐渍化概述	13
第四节 盐渍土及其分布	26
第五节 土壤次生盐渍化及其防治	31
第一章 自然概况及土地退化	35
第一节 自然条件	36
第二节 绿洲水土开发的生态效应	44
第三节 伊犁河谷土地退化现状	46
第二章 研究区土壤地球化学特征	51
第一节 盐渍土的类型及特点	52
第二节 研究区土壤盐分特征	53
第三节 土壤盐分与离子组成关系	61
第四节 土壤盐渍化驱动机制	65
第三章 研究区地下水环境变化	75
第一节 地下水系统的组成与动态	76
第二节 研究区地下水地球化学特征	84
第三节 地下水盐分与离子组成的关系	91
第四节 研究区地下水埋深动态变化特征	95
第四章 研究区地下水、土壤盐分时空变异特征	101
第一节 地统计学方法	102
第二节 研究区土壤盐分时空分异	107
第三节 地下水矿化度、埋深时空分异特征	111
第四节 土壤、地下水盐分离子组成空间分布	115
第五章 地下水与土壤盐分之间的关系	119
第一节 垂直、平行河道方向土壤盐分与地下水趋势变化	120
第二节 土壤盐分与地下水条件关系	125
第三节 土壤盐分与地下水条件的关联度分析	127
第六章 地下水盐动态模拟	131
第一节 地下水流动态模拟	132
第二节 地下水盐动态模拟	142

第七章 绿洲地下水调控与管理149

第一节 绿洲地下水调控150

第二节 地下水控制深度的确定151

第三节 地下水动态调控深度157

第四节 绿洲地下水、地表水联合利用.....160

第五节 绿洲水资源合理配置系统165

第六节 绿洲水盐调控方略167

第八章 绿洲水土资源可持续开发利用171

第一节 可持续发展及其理论体系172

第二节 绿洲可持续发展177

第三节 绿洲资源利用、环境保护与可持续发展.....182

参考文献.....185

绪 论

土壤盐渍化 (soil salinization) 是当前亟待解决的世界性资源问题和生态问题之一。土壤盐渍化是指土壤底层或地下水的盐分随毛管水上升到地表, 水分蒸发后, 使盐分积累在表层土壤中的过程, 是易溶性盐分在土壤表层积累的现象或过程, 也称盐碱化。土壤盐渍化是世界干旱、半干旱农业区最突出的生态环境问题之一, 是干旱、半干旱区农业发展的主要障碍。它通常出现在人类活动较强烈、气候干旱、地下水位高且含有较多可溶性盐类的地区, 是一定的气候、地势、水文地质和不合理的人为因素综合作用对区域水盐运动产生影响的结果。灌区影响作物生长的土壤盐分与地下水位高低密切相关。地下水埋深浅、动态变化比较活跃的地区, 在蒸发作用下, 溶解于地下水中的盐分沿毛管上升水流在表土聚积, 使土壤发生盐渍化, 不利于植物生长, 影响农业生产, 威胁区域土地资源可持续开发利用。因此, 对干旱、半干旱农业区土壤盐渍化进行研究十分必要。

土壤盐渍化不但会造成土地资源的退化, 而且还会对生物圈和生态环境构成威胁, 表现出环境 and 经济两方面的危害。随着人口的增加和水土资源的紧缺, 如何最优地利用现有水土资源, 改良利用盐碱地, 防止土地资源进一步退化已成为迫切需要解决的问题。根据联合国粮农组织和教科文组织的统计, 全球已有盐渍土 $9.52 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占地球陆地面积的 7.26%, 约有 $77 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的盐渍化土壤是由人类活动造成的, 其中有 58% 集中在灌区。目前世界上有 50% 以上的灌溉土地遭受次生盐渍化影响。因此, 土壤盐渍化对灌区社会经济、环境和农业生态系统带来的破坏越来越受到关注。我国盐渍土分布范围广, 是盐渍化危害最为严重的国家之一, 尤其是生态系统脆弱的西部干旱、半干旱区绿洲土壤盐渍化问题异常突出。

据统计, 我国盐渍土面积占全国可利用土地的 4.88%, 西部六省、区中, 盐渍土占可利用土地总面积的 9.4%, 占全国盐渍土面积的 69.03%。该区土壤原生盐渍化和灌溉引起的土壤次生盐渍化问题直接影响了区域粮食安全, 已成为西部干旱、半干旱区农业可持续发展的重大限制条件和障碍因素。我国西部六省、区土壤盐渍化情况见表 0-1。

表 0-1 我国西部主要盐渍化省、区土壤盐渍化面积变化表 10^4 hm^2

序列号	省 (区、市)	1986 年		1999 年	
		盐渍化土地	次生盐渍化土地	盐渍化土地	次生盐渍化土地
1	陕西省	13.78	5.49	13.19	4.44
2	甘肃省	103.35	11.65	102.37	11.43
3	青海省	113.32	1.99	225.82	1.99
4	宁夏回族自治区	51.58	30.05	45.11	30.68
5	内蒙古自治区	52.50	4.67	210.00	5.47
6	新疆维吾尔自治区	591.43	46.49	514.57	33.83

注: 国家环保局、西部地区生态环境现状

新疆维吾尔自治区位于我国西部内陆干旱区, 气候属于典型的干旱大陆性气候, 生态环境很脆弱, 是我国盐渍化土壤分布面积最广、土壤积盐最严重的地区, 盐渍化土壤类型多。据 1985 年全国第二次土壤普查数据表明, 新疆维吾尔自治区各类盐渍化土地面积可达 $13.36 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全国盐碱地面积的 36.90% 及西部六省、区中的 53.31%; 灌区土壤盐渍化危

害也非常严重，居全国首位，其盐渍化耕地面积可达 $1.26\times10^6\text{ hm}^2$ ，现有耕地中 30.85%的面积受到盐渍化危害，且土壤盐渍化有继续增加的趋势，严重影响区域社会经济的正常发展。到 2006 年，新疆盐渍化土地面积达到了 $16.20\times10^6\text{ hm}^2$ ，占新疆灌区耕地总面积的 32.07%，其中，轻度盐渍化土地面积为 $12.30\times10^6\text{ hm}^2$ ，占灌区耕地总面积的 24.33%；中度盐渍化土地面积为 $31.75\times10^5\text{ hm}^2$ ，占灌区耕地总面积的 6.28%；重度盐渍化土地面积为 $7.38\times10^5\text{ hm}^2$ ，占灌区耕地总面积的 1.46%。由此可见，土壤盐渍化为新疆灌区耕地资源退化的主要表现形式之一。新疆不同地区耕地盐渍化情况见表 0-2。

表 0-2 新疆维吾尔自治区不同地区耕地盐渍化情况

序号	地 区	盐渍化耕地面积/ 10^4 hm^2	占地区耕地面积比例/%
1	乌鲁木齐	0.03	0.38
2	石河子	0.14	6.99
3	克拉玛依	2.39	43.84
4	阿勒泰地区	9.02	35.10
5	塔城地区	19.55	25.15
6	博尔塔拉蒙古自治州	4.57	23.78
7	昌吉回族自治州	18.28	27.82
8	伊犁哈萨克自治州	5.32	8.50
9	吐鲁番地区	1.36	15.71
10	哈密地区	2.16	20.04
11	克孜勒苏柯尔克孜自治州	1.68	21.97
12	喀什地区	35.27	48.72
13	阿克苏地区	33.04	43.27
14	和田地区	7.90	32.08
15	巴音郭楞蒙古自治州	21.30	54.95

目前，有关新疆土壤盐渍化方面的研究，主要集中于南疆的塔里木盆地地区，有关北疆尤其是新疆天山西部伊犁河谷土壤盐渍化方面的研究很少。据统计资料，伊犁河谷平原区盐渍化耕地总面为 $4.65\times10^4\text{ hm}^2$ ，占全区耕地总面积的 7.80%，主要分布在伊犁河谷两侧倾斜平原和伊犁河低阶地。近年来，随着伊犁河谷大规模的水土开发活动，灌区内土壤盐渍化日益加重，已成为土地荒漠化的主要表现形式，明显阻碍了该区域高产、优质农业的发展，并造成了生态环境质量呈“局部改善、总体退化”的趋势。因此，准确掌握伊犁河谷盐渍化土壤的性质、范围、动态变化及灌区防止土壤盐渍化的地下水人为调控措施是保证该区域社会经济与生态可持续发展的关键。此外，由于伊犁河是国际河流，在伊犁河谷防止土壤盐渍化，不仅可以减轻由灌溉过程中淋洗的土壤盐分向河道排泄造成的河道水质污染，缓解灌溉用水较紧缺的矛盾，同时可以防止出境河流因水质污染造成的国际纠纷问题的发生。

第一节 土壤及其形成因素

土壤是人类赖以生存的物质基础和宝贵的自然资源,也是人类最早开发利用的生产资料。自古以来,无论是在自然还是在人工生产条件下,土壤始终支持着天然植物及栽培作物的生产,并繁衍了地球上所有的野生和人工的动、植物资源。由此可见,土壤既是生产食物、纤维和林产品不可替代的宝贵资源,又是保持地球系统生命活性、维持人类社会及生物圈共同繁荣的基础。人类在未来世纪还要继续依赖土壤,因此,珍惜和保护土壤资源,尤其要管理好耕地资源是人类共同永久的任务。

土壤是绿色植物生长的基地,由地球陆地表面的岩石经风化发育而成。土壤有其独特的生成发展规律,也有其独特的功能——肥力与净化力。它的功能是以岩石风化产物为基础,在其周围的大气、水体和生物的共同作用之下形成的。所以,土壤的肥力功能特性与变化都依赖它所处的环境条件以及有关的人为措施。

土壤以其肥力养育着陆地上的植物,通过植物又养育动物与微生物。是土壤为绿色植物提供了吸收、固定及转化太阳辐射能为化学能的条件,从而为生态系统中物质和能量的转化与流动打开疏通渠道。因此,土壤是生态系统中不可缺少的环节。尽管在现代科学技术条件下,绿色植物的生产已能进行相当规模的无土栽培,为人们提供食物与用品,然而,在任何先进技术条件下都不可能没有土壤而保证生态系统的完整与平衡发展。因为土壤所产生的植物及其他生物产品,只有很少一部分作为食品与用品而消耗,而大量的产品是用于创造良好的生态环境。

土壤在发挥它的肥力功能时,并不只是为植物提供水分、养分、空气等静态的物质,而是由它的功能机制进行着物质和能量的转化、运输与调节。在这些作用中,有物理的、化学的作用,更重要的是生物的作用。生物在常温常压下起着积极而主动的生物物理与生物化学反应,完成了大量的纯理化作用所难以完成的工作。它使土壤为植物所提供的条件不是无序的成分堆积,而是适宜植物生长的环境。土壤具有在一定范围内调节植物根系生长条件的能力,土壤对温度、湿度、空气和养分的缓冲作用就是其调节功能的体现。

一、土壤及其肥力

土壤是指覆盖地球陆地表面,能够生长植物的疏松物质层。它同其他物质一样,不仅是具有一定的物质组成、形态特征、结构功能的物质实体,而且具有自身发生发展与长期演变的历史过程。其发生过程与环境条件密切相关,在空间分布上有明显的地带规律性。因此,它是一个独立的历史自然体,也是地理环境系统中一个重要的组成要素,并以不完全连续状态覆盖地球陆地的表面。从土壤在自然界的形成过程、分布位置、结构形态和农业生产性状看,可以把土壤定义为“覆盖地球陆地表面,能生长植物的疏松物质层”,也可以说“土壤是固态地球陆地表面具有生命活动、处于生物与环境间进行物质循环和能量交换的疏松层”。它既是独立的历史自然体,也是最易受人为活动影响的层面,为人类提供食物的自然资源。合理开发和利用土壤资源对农业生产发展和改善环境具有重要意义。

土壤在自然界中并不是孤立存在的,其空间位置正处于大气圈、水圈、生物圈和岩石圈

的交界之上，它与大气、水分、生物及岩石共同处于永恒的交互作用之中，不断地进行着物质、能量转移、循环和交换的过程（见图 0-1）。

肥力是土壤的属性，它为植物生长提供必需的生活条件。水、肥、气、热及扎根条件是肥力的综合体现，也是土壤区别于自然界其他任何物质最本质的特征。有关土壤肥力的概念，目前仍无统一的认识。俄罗斯土壤学家认为，“土壤肥力是植物在生活的全过程中，土壤能同时不断地供给植物以最大量有效养分和水分的能力”，指出了肥力至少包括养分和水分两个因素。西方土壤学家传统地把单一养分的供应能力看作肥力。美国土壤学会 1989 年出版的《土壤科学名词汇编》把土壤肥力定义为“是土壤供应植物所必需养料的能力”。我国土壤学家在《中国农业土壤概论》中，把土壤肥力定义为“是土壤的体质和生命力”，并写道：“所谓肥力，就是在一定自然环境条件下，土壤稳、匀、足、适地对植物供应水分和养分的能力。”指出肥力因素主要是水分和养分，肥力高低的标志是稳、匀、足、适的程度。《中国土壤》对肥力的论述是：“肥力是土壤的本质，是土壤为植物生长提供和协调营养条件及环境条件的能力。”认为水分、养分是营养因素，温度和空气是环境因素，水既是环境因素又是营养因素。

上述对土壤肥力的认识各有其说，看法不一。但就我国而言，目前多数土壤工作者认为：“土壤肥力是土壤能经常适时供给并协调植物生长所需的水分、养分、空气、温度、支撑条件和有无毒害物质的能力。”这一概念相对来说概括得比较全面、完整。

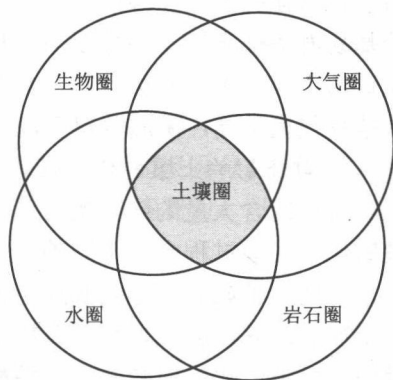


图 0-1 土壤圈的位置

我国土壤学家在《中国农业土壤概论》中，把土壤肥力定义为“是土壤的体质和生命力”，并写道：“所谓肥力，就是在一定自然环境条件下，土壤稳、匀、足、适地对植物供应水分和养分的能力。”指出肥力因素主要是水分和养分，肥力高低的标志是稳、匀、足、适的程度。《中国土壤》对肥力的论述是：“肥力是土壤的本质，是土壤为植物生长提供和协调营养条件及环境条件的能力。”认为水分、养分是营养因素，温度和空气是环境因素，水既是环境因素又是营养因素。

二、土壤形成因素

土壤的发生和形成受到多种自然因素的影响。地表裸露的岩石在水、热因素的作用下逐渐风化，栖息各种微生物并开始生长绿色植物。这些生物既从风化物中获得水分和养分，又使风化物积累有机物质和氮素等营养元素，创造肥力，从而形成土壤。

早在 19 世纪末，俄罗斯土壤学家道库恰耶夫根据其长期的土壤研究工作实践，创立了土壤形成因素学说，为土壤发生学奠定了理论基础，明确指出了“母质、气候、地形、生物和时间”是自然土壤的五大成土因素。

在土壤学中，将影响土壤形成的各种自然条件归纳为成土母质、气候、地形、生物与实践等五大因素，称为土壤形成因素，或简称成土因素。地球陆地表面的任何一种土壤，都是在这五种因素的共同作用下形成的。但是，在不同地区，各因素的具体内容和特点不同，各因素还会以不同的作用强度相配合，从而形成各种各样的土壤。

（一）母质因素

母质是指固结状态的岩体（母岩）或岩石矿物的风化产物，它是形成土壤并构成土体的基本材料，是土壤的“骨架”部分，也是植物矿质营养元素的最初来源。母质本身的某些性质还会长期遗传给土壤，这种遗传作用主要表现在以下几个方面。

1. 母质影响土壤的物理性状和化学组成

土壤在其形成发育过程中，幼年土壤的一些性状主要是继承母质的，发育时间越长的土壤（老年土）与母质的性质分化越明显。如在石英含量丰富的花岗岩风化体上发育的土壤，

由于抗风化强的石英沙砾多,使土体疏松、透水性强,但盐基成分少,在强烈淋溶条件下,盐基易淋失使土壤呈酸性反应。相反,在富含盐基成分的玄武岩、辉绿石等基性岩风化体上发育的土壤,不含石英沙砾,盐基成分亦较丰富,抗淋溶作用强,一般土质通透性不良,土壤盐基代换量高,矿质养料多,土壤呈中性或碱性反应。

2. 母质影响土壤的化学性状

母质所含大量的硅、铝与氧等三元素是构成土壤黏粒矿物的基本元素;铁、锰元素在土壤氧化—还原过程中,不同的氧还产物表现颜色不同;钾、钠等碱金属离子,使土壤黏粒分散,易使土壤黏闭,影响其通透性;碱金属钠盐的富集可使土壤盐碱化;钙、镁等碱土金属离子能促进黏粒凝聚,形成良好的团粒结构体;硫以 FeS 、 FeS_2 (黄铁矿) 的形态存在于土壤中,可被氧化成硫酸而使土壤酸化;硫酸钠盐在还原条件下生成硫化钠,与碳酸钙进行置换反应生成碳酸钠又可使土壤碱化。

3. 母质影响土壤的成土过程

在成土过程中,水分在土体内的移动情况是促进剖面层次分化的重要因子。粗质地的山坡堆积物,水分自上而下迅速穿过,难以引起母质中的化学风化作用,故成土作用进行缓慢,土壤剖面发育不明显;细质地的母质,如湖积体等,由于土体渗透性极差,水分常滞留于土壤中,容易引起土壤潜育化的发展;只有在壤性母质中通透性适中时,才有利于各成土因素的共同作用,使土壤在一定的地带呈有规律的定向发育。

4. 母质的层次性影响土壤的剖面构造

河流冲积形成的母质(冲积体),由于江河冲积物具有明显的质地层次性,所发育的土壤剖面都带有原沉积层土体构型的特征。

5. 母质的化学组成影响土壤腐殖质特性

发育在石灰母质上的土壤,其腐殖质组成中富含 CaO ,而发育在火山灰母质上的土壤,腐殖质中含有较多的 P_2O_5 和 K_2O 。石灰岩中钙对腐殖质起凝聚作用,形成腐植酸钙而保存于腐殖质中。

(二) 生物因素

生物包括动、植物和微生物。生物对土壤的形成有着特殊的重要贡献。首先,低等生物的初始营养取自母质,而生物从大气中摄取的营养物质又丰富了母质,使之有了氮素。生物死亡后又将其躯体归还土壤,成为土壤有机质的组成部分,进而形成腐殖质。其次,生物选择性吸收,把分散在母质—大气—水体—植物体系中的矿质营养集中并聚积于土壤的表层,极大地丰富了土壤表层养料的数量和种类,为生物进一步的发展创造了条件。再次,生物物质进入土壤后,在微生物的作用下,分解释放出矿质养料,保证了植物所需的有效态养料的供给,同时合成土壤腐殖质,促进土壤良好的结构形成,从而大大改善了土壤水、肥、气、热等条件,使土壤肥力得以不断提高。由此可见,由于生物的存在和发展,才开始了土壤肥力的发生和发展,土壤形成过程才出现了质的飞跃。

1. 木本植物对成土过程的影响

木本植物都是多年生植物,随着季节的更替,每年都有一部分枯枝树叶和花果残落于地面,不同气候带残落物的数量差异很大。这些残落物堆积在地表形成一层覆盖层,含木质素成分较多,疏松多孔,富有弹性,通气透水性好,对土壤有一定的抗蚀护土作用。但木本植物对提高土壤有机质含量的作用较小,形成腐殖质的品质也较差。

2. 草本植物对成土过程的影响

大多数草本植物为一年生植物，残留在土壤中的有机物就地分解，成为土壤有机质的主要来源。年复一年草根层逐渐变成了深厚的腐殖质层。另外，草本植物含纤维素较多，含单宁、树脂、木质素成分少，质地致密而柔软。土壤在中性环境下，以细菌分解为主，故形成的腐殖质含量多，品质好，盐基饱和度也高。加之根系分割土壤作用和根际分泌物，在根层形成良好的土壤结构，改善了土壤的水、肥、气、热状况，提高了土壤肥力。可见，草本植物对提高土壤有机质含量和地力的贡献远大于木本植物。

3. 微生物对土壤形成的作用及其意义

微生物在土壤中数量大、分布广、种类繁多，它是土壤中物质转化的主要动力，如分解有机质，释放矿物质养分，合成土壤腐殖质，固定大气中游离态的氮素，等等，都离不开微生物的作用。在生物小循环中，没有绿色植物对养料的吸收、集中，并合成植物有机体，就没有养料在母质和土壤中的累积；没有微生物对有机质的分解和合成土壤腐殖质，就没有养料元素在生命界的无限循环，也就没有土壤有机胶体的形成和发展。总之，微生物与植物、土壤动物一起，构成了一个完整的土壤生态体系，参与了氮素和矿质养料循环，能量转化，水、热平衡等过程，在土壤形成及其肥力发生、发展过程中具有特殊重要的意义。

4. 土壤动物在土壤形成过程中的作用

土壤动物，一是以其躯体残留于土壤，成为土壤有机质的一部分；二是在生活过程中翻动土壤，并消化别的动物及植物有机体，把粪便排入土壤中，加速了土壤有机质的分解与合成过程。

（三）气候因素

气候在土壤形成的外在因素中决定着成土过程的水、热条件，并控制植物生长和微生物活动，影响有机质的分解与积累，影响营养物质的生物小循环的速度和范围。

1. 湿度因素

表土有机质含量与大气湿度呈正相关。在气候湿热多雨地区，植物生长茂盛，有机质年增长量大，每年进入土壤的有机质就多。而温度高，分解消耗的有机质也多，土壤有机质累积量较少。在干旱少雨地区，植物生长稀疏，土壤有机质的合成量也少。

在干旱地带，降水量少，土壤淋溶作用较弱，一些易溶性矿物成分和植物养料多保留于土壤中。干旱带与湿润带土壤中矿物质组成及养料含量差异明显，前者几乎是后者的2倍。

另外，湿度因素还影响土壤中钠、钾及钙的淋溶迁移强度。在干旱地区，土壤中富钾，并有钠盐积累而呈盐渍化土壤，如我国西北地区的土壤；而在南方多雨地区，钾、钠遭到淋溶而损失，则出现大面积土坡缺钾现象。

同样，钙在剖面中的迁移亦与湿度有关。在干旱地带， CaCO_3 的移动量及迁移深度都很小，大多沉积在土壤中的位置，有的甚至累积于表层。我国西北地区的黄土高原，其特点是全剖面均有强烈石灰反应，剖面中有 CaCO_3 积聚层，土壤中富含钾、钠、钙、镁和磷，盐基饱和度也高。

2. 温度因素

1) 温度影响硅酸盐类的水解过程。水的解离度与温度呈正相关。当温度 $<0^\circ\text{C}$ 时，土壤中的化学风化作用基本处于停止状态。只有当土温 $>0^\circ\text{C}$ 时，土壤风化作用速率才逐渐加快。

2) 温度影响土壤母质和风化层的厚度。土层厚度随土温升高而加厚。在湿热气候区，花

岗岩风化壳的厚度可达 30 m 以上。在干旱寒冷的西北高山区, 岩石风化壳很薄, 母质风化度低, 形成粗骨性土壤。

3) 温度影响土壤颜色。在寒温带, 土色以灰色为主; 在暖热半湿带, 土色呈棕色—褐色; 在湿热带, 土色呈赤色、棕红色或黄色。表土颜色还与土壤有机质的含量有关, 有机质含量高, 表土一般呈黑灰色。表土以下的土色往往取决于铁、锰氧化物或氢氧化物的含量和分散度。在土温高、土体排水通畅的情况下, 土壤中的铁、锰氧化或水化作用强烈, 土壤呈红、黄色; 反之, 土壤则呈青灰色。

4) 温度影响土壤有机质、全氮的含量。在半湿润带, 不论湿草原土壤还是森林土壤表土的有机质和含氮量, 随气温升高呈下降趋势。这是由于湿度及温度同时升高, 加强了微生物好气分解的结果。

以上分析说明, 气候影响土壤形成的主要是降水和热量因子。它不仅表现在一个大的气候带内, 而且在一个小地域内, 因小的气候的差异, 也会形成不同的土壤。

(四) 地形因素

地形在成土过程中的作用主要表现在两个方面, 一是地形对母质或土壤物质的再分配; 二是不同地形所处的土壤接受光、热的差别以及降水在地表的再分配。山地和高原对土壤形成的影响表现在: 海拔越高, 土壤变化越复杂, 形成的土壤类型就越多。这是因为气温随山地海拔增高而递减; 在一定高度范围内, 降水量随高度增高而增大; 植被类型也相应地更替, 所以土壤类型也不同。

在平原、盆地和丘陵范围内, 地形的高差变化虽小, 但对土壤的形成仍有明显影响。如平原地区局部起伏的地面变异会引起土壤水分和水质特点的变化, 形成各种不同的土壤组合。在地形高、排水好的部位, 形成能反映当地生物气候条件的地带性土壤; 而地形低的部位, 由于地下水位较高甚至地面积水, 形成非地带性的半水成土和水成土, 如果地下水含盐类较多, 还会形成盐渍化土壤。又如盆地周围的高地, 原来是地带性土壤, 如果开垦为农地, 绝大多数是旱耕地; 盆地中心大多为在河流冲积物上发育的半水成土或水成土, 开垦后, 在北方常成为有良好灌溉条件的水浇地, 而在南方则绝大部分成为稻田。丘陵的高度不大, 虽不会像山地那样引起气候和植被发生大的变化, 但地面形状和坡度也能影响降水的再分配, 从而影响到土壤的发育程度。土壤侵蚀的强度, 就是与地形和坡度密切相关的。

(五) 时间因素

土壤的发生、发育是在成土因素长时间综合作用下进行的。时间是土壤发育的函数, 即土壤形成的相对年龄越长, 土体层次分化越明显; 反之, 则分化较弱。

以上所说的五大成土因素, 并不是各自孤立地去作用于土壤, 去影响土壤形成的方向和土壤性质。相反, 它们之间也在相互影响、相互作用, 是以它们综合起来的特点去制约土壤形成方向的。除了上述的自然成土因素外, 人为作用也是影响土壤形成的重要因素, 并且随着科学发展和技术进步, 越来越具有重要的意义。

(六) 人为活动因素

同自然成土因素相比, 人类活动给予土壤形成、演化的影响也十分明显。它不同于自然因素的是人类在认识土壤发生规律的前提下, 根据需要有目的地去改造自然土壤, 不仅针对性强, 而且措施也多种多样, 给土壤以深刻广泛的影响, 使土壤发生某种质变的速度远远超过自然演化过程。人为活动是人类按照自己的意志从生物、地形, 水文等多方面干预土壤形

成方向，改变自然土壤所固有的性质和特点，使之演变成农业土壤。

三、土壤在农业生产与生态系统中的重要性

（一）土壤是植物生长的自然基地，是农业的基本生产资料

农业生产的基本特点是生产出具有生命的生物有机体，其中最基本的任务首先是发展人类赖以生存的绿色植物的生产。绿色植物在生活上所需要的基本因素有五种，即日光、热量、空气、水分和养料。其中养料和水分是通过植物根系从土壤中吸收的，而植物之所以能立足于自然界中，使自己能经受风雨的侵袭而不致倾倒，则是由于其根系伸展在土壤之中，从而获得了土壤的机械支持之故。这一切都说明，在自然界里，植物的生长繁育必须以土壤为基地。

农业生产包括植物生产和动物生产两大部分。从能量和有机质的来源来看，如果没有绿色植物通过光合作用把太阳的辐射能转变为植物有机质中的化学能，同时从土壤中吸收养料，动物为维持其生命活动所需要的能量和某些营养物质，也就没有来源。因此，在生态学中，人们把陆地生产事业中的植物生产称作初级生产，而动物生产则由于其最终都不能不以植物产品作为食料，所以人们又把它称为次级生产。从食物链的关系来看，次级生产中又可再分为几级，如二级、三级等。每低一级的生产都以前一级生产的有机质作为食料，整个动物界就是通过食物链繁育衍生而来的。由此可见，土壤不仅是植物生产的基地，而且也是动物生产的基础。如果没有植物的繁茂，就不可能有畜牧业的高度发展，两者都必须以土壤作为基本生产资料。

（二）植物生产、动物生产和土壤利用管理三者之间的关系

农业既然以土壤为基本生产资料，所以要发展农业生产，就必须十分重视土壤资源的开发、利用、改良和保护。我们不仅要因地制宜地利用土壤资源，在农、林、牧全面规划的基础上，把开垦荒地、建设良田、合理灌排、培肥土壤、提高肥力等一系列土壤利用和管理工作抓起来，作为保证农业生产不断发展的基本措施来对待，而且还要考虑“植物—动物—微生物—土壤”生态系中能量与养料的循环周转和平衡关系，来促进土壤肥力的不断提高和农业生产的持续发展，建立起所谓“用田养田”的观点。这就首先要求把植物生产、动物生产和土壤的利用管理三个环节结合起来，以植物生产所提供的有机质收获物来保证动物生产所需要的食料，又以不能利用的植物残体有机质和从动物生产中所获得的粪尿等废物作为肥料，通过合理的利用和土壤管理措施来培肥土壤、提高肥力。

从农田的生态学关系来看，把土壤管理和植物生产、动物生产并列地纳入农业生产体系中，也是有其科学的理论依据的。因为土壤中存在着大量微生物，从生态学中的食物链关系来看，土壤微生物中的绝大部分都是以动、植物的残体有机质作为其食料，来取得能量和大部分养料的。因此，人们称它们为有机质的消费者和分解者。但从土壤肥力来看，它们又是对土壤提供有效养料，促进肥力发挥和发展，保证动、植物生产必不可少的因素。把动、植物生产的废物，通过土壤管理还之于土壤，其目的就是充分发挥作为消费者和分解者的土壤微生物的积极作用。由此可见，把植物生产、动物生产和土壤管理三个环节结合起来，不仅对于维护和发展农田生态中的能量和养料循环有着极大的意义，而且对持续发展整个农业生产，使之永绵不绝，也是必要的。