

耕地土壤 污染与修复



WURAN YU XIUFU

主编◆吴香尧



西南财经大学出版社

耕地土壤 污染与修复



WURAN YU XIUFU

主编◆吴香尧

编者◆雍毅 刘应平
金立新 李忠惠



西南财经大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

耕地土壤污染与修复/吴香尧主编. —成都:西南财经大学出版社,2013.6
ISBN 978-7-5504-1057-2

I. ①耕… II. ①吴… III. ①耕作土壤—土壤污染—污染防治—研究—四川省 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 119668 号

耕地土壤污染与修复

主编:吴香尧

责任编辑:张明星

助理编辑:涂洪波 赵 琴

封面设计:墨创文化

责任印制:封俊川

出版发行	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街55号)
网 址	http://www.bookcj.com
电子邮件	bookcj@foxmail.com
邮政编码	610074
电 话	028-87353785 87352368
照 排	四川胜翔数码印务设计有限公司
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	170mm × 240mm
印 张	9.75
字 数	130千字
版 次	2013年6月第1版
印 次	2013年6月第1次印刷
书 号	ISBN 978-7-5504-1057-2
定 价	35.00元

1. 版权所有,翻印必究。
2. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。

前 言

20世纪80年代以来,我国采矿、冶金、化工等工矿企业迅猛发展,经济建设进入崭新时代;各个城市的房地产开发犹如雨后春笋,千万座高楼大厦拔地而起房产交易突现兴旺;农民工涌入城市,一时人气大旺。总之,我国社会、经济出现欣欣向荣的景象。但是,与此同时也出现一些负面影响,诸如耕地不断减少,农田荒芜,土壤污染日趋严重,农业生态环境、粮食及其他农产品的安全性已面临日益严重的威胁,这将阻碍农业可持续发展,农业危机已初现端倪,已引起政府和全国人民的严重关注。

所谓农业危机已初显端倪,主要表现在良田面积骤减和耕地土壤遭受日趋严重的各种污染。耕地面积骤减,而人口又不断增长,人均耕地面积不断减少,冲击着生命系统的生存基础。如果我们这代人为了追逐经济利益,无视耕地骤减威胁后代子孙的生存,这种代际不公平,违背代际伦理道德,必将遭受后人谴责!我国耕地土壤污染是由于长期过量使用化肥、农药、农膜以及污水灌溉,加上畜禽养殖业粪污的不当处理,使有机污染物、无机污染物在耕地土壤中残留累积,导致耕地土壤理化性质恶化,农产品品质劣变,威胁农产品安全和耕地土壤永续利用。各级政府应该高度重视已显现的农业危机,应强有力地制定科学可行的防治对策,阻止农业危机进一步恶化。本书撰写的目的是:在耕地资源的量和质不断下降而土壤污染又在加剧的情况下,敲响农业危机警钟,企望各界人士共同致力于防治土壤污染,保护农业环

境，维护农产品安全、保障农业生产和人体健康；更希望有关科技人员致力奉献于治理和修复耕地土壤污染的研究，防止农业危机爆发，解除民众健康之忧。这是国计民生问题，是炎黄子孙生息繁衍的生存问题，也是国家安全问题。

四川省是农业大省，是我国重要的粮油、果蔬、茶叶和畜禽养殖的基地。本书主要针对四川盆地已显现的农业危机中的各种迹象进行研究。因为四川盆地耕地污染的程度和分布面积，经国土部门、农业部门和环保部门的调查已基本摸清，书中所引用的重金属含量分布资料大都来自年轻作者所作的生态地球化学调查和四川省土地质量地球化学评估的研究成果。不过，四川省已显现的农业危机，其他省份也可能出现，甚至更为严重，因此本书的论点和污染修复技术亦可借鉴。

本书不以暴露农业危机为目的，其重点在于提出解决我国农业危机的治理良策，这是本书的宗旨，也是笔者的初衷。本书执笔者是主编，书中若有不当之辞或偏激言论，概由主编负责。

本书在编撰过程得到成都理工大学胡晓强副教授的帮助；本书的出版得到了张以诚研究员和农业厅土肥处吴晓军处长的鼓励和支持。在此一并致谢！

吴香尧

目 录

- 一、四川省土壤环境质量评价 / 1
 - (一) 四川省地理位置和自然条件 / 1
 - 1. 地理位置和地貌特征 / 1
 - 2. 自然条件 / 5
 - (二) 四川省农业概况 / 8
 - (三) 四川盆地耕地土壤质量现状 / 10
 - 1. 四川盆地耕地土壤肥力水平 / 10
 - 2. 四川盆地农业土壤环境质量现状 / 22

- 二、耕地骤减与代际之间的矛盾 / 26
 - (一) 四川省历年耕地骤减的情况 / 26
 - (二) 耕地面积骤减的恶果 / 28
 - 1. 房地产吞没良田 / 29
 - 2. 威胁粮食安全 / 29
 - 3. 影响社会稳定 / 31
 - (三) 制止耕地骤减, 防止农业危机 / 31

三、耕地土壤污染突出与农产品品质劣变 / 33

(一) 化肥污染 / 34

1. 化肥曾在提高粮食单产中功不可抹 / 34
2. 四川省历年化肥施用量 / 35
3. 长期过量使用化肥的恶果 / 38
4. 农业生产中使用有机肥的必要性和紧迫性 / 40

(二) 农用地膜污染 / 43

1. 我国农用地膜历年使用量 / 43
2. 农用地膜年残留量 / 44
3. 农田中残留农用地膜的危害 / 45
4. “白色污染”防治措施 / 48

(三) 农药污染 / 49

1. 农药使用量 / 50
2. 农药在土壤中的残留量 / 51
3. 农药对人畜的危害 / 59
4. 农药安全合理使用 / 61
5. 农业病虫害防治的非化学防治手段 / 61

(四) 重金属污染 / 62

1. 四川盆地耕地土壤重金属含量的特征 / 63
2. 四川盆地重金属元素不同污染程度的分布特征 / 64
3. 四川盆地耕地土壤重金属污染的来源分析 / 67
4. 耕地土壤重金属污染区农产品安全性评价 / 70

(五) 畜禽粪污污染 / 93

1. 四川省畜禽粪便及其污染物产生量 / 94
2. 四川省养殖业畜禽粪便污染概况 / 95
3. 四川盆地“三江”流域养殖业粪污污染负荷 / 97

四、耕地土壤污染防治与修复 / 101

(一) 耕地土壤污染防治 / 101

1. 何谓耕地土壤污染 / 101
2. 污染土壤的主要污染源 / 101
3. 土壤污染防治措施 / 103
4. 畜禽养殖污染治理 / 107

(二) 耕地土壤污染修复概述 / 112

1. 耕地土壤污染修复的紧迫性 / 112
2. 耕地土壤污染的基本特点 / 112
3. 耕地土壤污染修复方法简介 / 112
4. 耕地土壤污染修复技术选择的依据 / 113

(三) 耕地土壤重金属污染的化学修复方法 / 113

1. 耕地土壤中重金属元素的存在形态及其重要影响因素 / 114
2. 耕地土壤重金属污染的化学修复技术 / 116

(四) 耕地土壤重金属污染的植物修复方法 / 119

1. 耕地土壤重金属污染的植物提取修复技术 / 120
2. 耕地土壤重金属污染的植物稳定修复技术 / 121
3. 耕地土壤重金属污染的植物挥发修复技术 / 121
4. 土壤重金属污染植物修复技术的展望 / 122

5. 耕地土壤重金属污染修复工程设计的基础资料 / 123

6. X地镉污染农田高效利用方案 / 124

(五) 耕地土壤有机污染的生物修复技术 / 127

1. 植物修复技术 / 127

2. 微生物修复技术 / 128

参考文献 / 136

附录 / 138

后记 / 148

一、四川省土壤环境质量评价

(一) 四川省地理位置和自然条件

1. 地理位置和地貌特征

四川省位于我国西南部（见图 1-1），地理位置介于东经 $97^{\circ}21' \sim 108^{\circ}31'$ ，北纬 $26^{\circ}03' \sim 34^{\circ}19'$ ，东西长 1075 千米，南北宽 921 千米，幅员面积为 48.5 万平方千米。全省辖 21 个市州，181 个县级行政区，4800 个乡镇。2011 年全国人口普查结果，四川省总人口为 8998.17 万人，其中农村人口为 3615.46 万人。

四川省位于长江和黄河上游，地形复杂，地貌类型多样，有平原和丘陵，也有山地和高原，总的地貌特征是高原在西，盆地在东，即西部为青藏高原东南边缘，东部为四川盆地（见图 1-2）。四川盆地面积 21.00 平方千米，占全省面积的 43.3%，川西高山高原面积为 21.87 平方千米，占全省面积的 45.1%，川西南山地面积为 5.63 平方千米，占全省面积的 11.6%。四川盆地内又分平原（占盆地总面积的 24.25%），缓丘、平坝（占 16.63%），丘陵（包括浅丘和深丘，两者占 16.86%）以及盆地外围高山（占 42.26%）。整个盆地涉及成都、德阳、绵阳、广元、巴中、达州、南充、广安、遂宁、资阳、内江、泸州、宜宾、眉山等 15 个市的全部以及乐山、雅安、阿坝藏族羌族自治州（以下简称阿坝州）的部分地区。

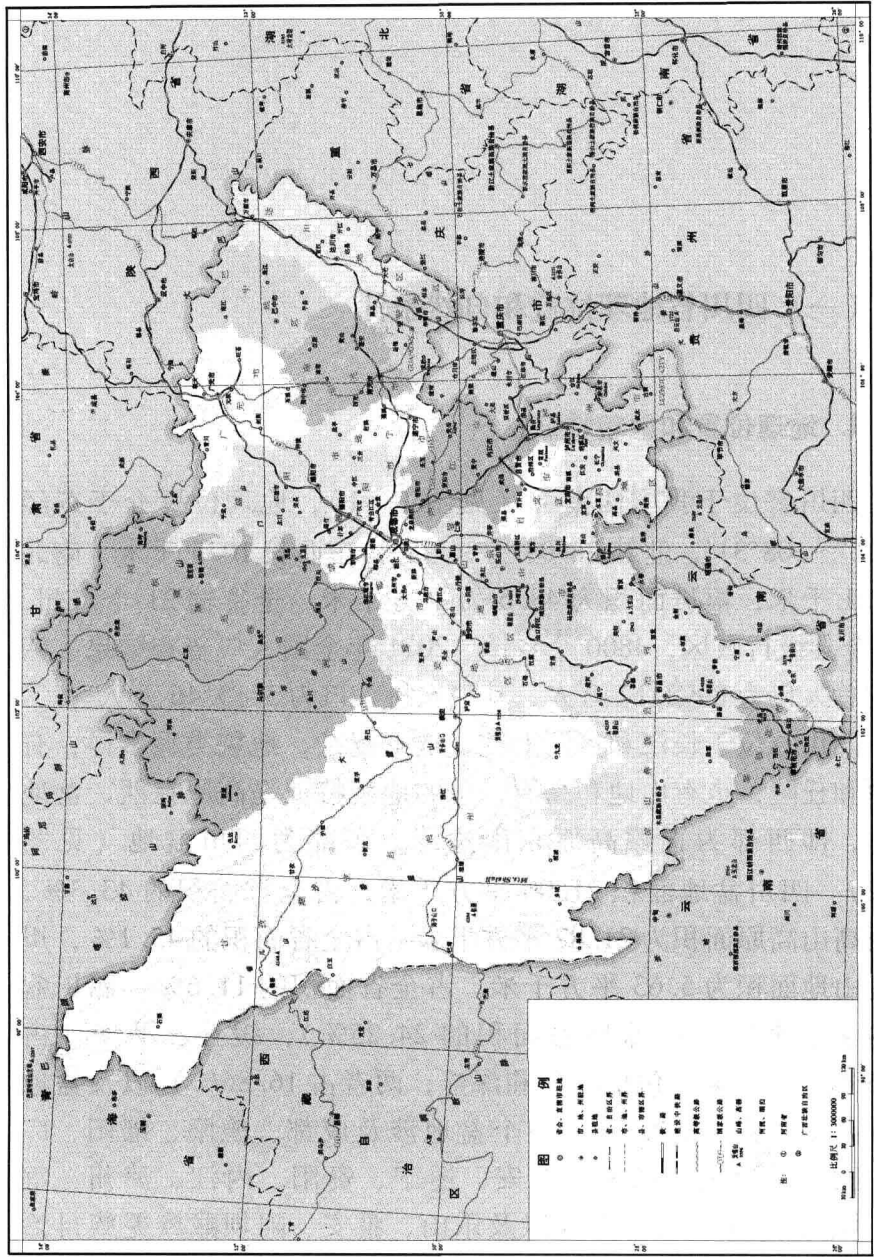


图 1-1 四川省地理位置图

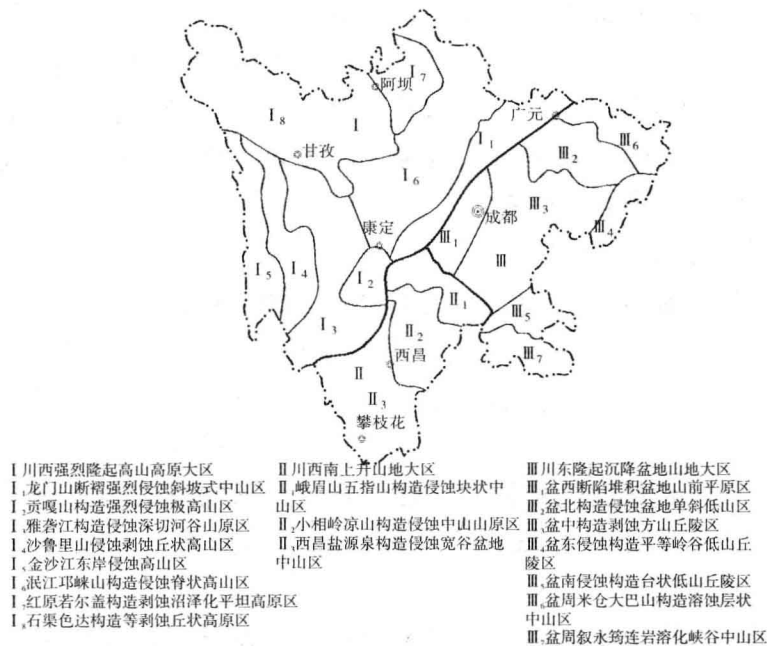


图 1-2 四川省地貌单元分区

(1) 成都平原

成都平原介于龙门山和龙泉山之间，海拔 450 ~ 750 米，地势西北高，东南低，涉及成都市大部分地区及乐山市、德阳市、绵阳市的部分地区，面积约为 1.9 万平方千米。成都平原是由岷江、沱江、青衣江及其支流冲积、洪积堆积而成的，此外还有长江、涪江、嘉陵江等大小不一的冲积平原。成都平原地势平坦，土层深厚，是典型的河流冲积物的二元结构，上面有细腻的土壤，适于作物种植；下面是沙和砾石层，孔隙大，含水性能高，这种二元结构是一套完美的农业土层结构，加以两三千年以来的深耕细作，表层积累大量腐殖质，形成肥沃的水稻土及潮土。土壤酸碱度以弱酸性为主，其次是中性和碱性土壤，土质较肥沃，水旱轮作，灌溉方便，种植业和养殖业发达，垦殖指数高达 60% 以上，是我省水稻、小麦、油菜的主产区，也是我省发展现代农业的主要基地。此外，随着城镇化加速，城市扩张，存在森林破

坏严重，水资源涵养能力减弱；复耕指数高，肥力下降，并且耕地资源减少加快，化肥、农药大量施用导致农村面源污染严重，土壤退化趋势明显。此外，随着城镇化加速，城市扩张，耕地资源减少速度加快，耕地后备资源本已短缺，可是又成为被城镇化“蚕食吞没”的主要对象。

(2) 盆中丘陵

四川盆地内的丘陵区以海拔 300 ~ 700 米丘陵为主，分布于四川东部及东南部，介于龙泉山和华蓥山之间，面积约为 8.74 万平方千米，行政区包括南充、遂宁、资阳、内江、泸州、自贡 6 个市的全部，广元、巴中、广安、乐山、资中、宜宾 6 个市的部分地区，地势北高南低，丘陵广布，北部深丘居多，南部因切割较浅而多为中丘和低丘。盆地丘陵区的地貌类型包括缓丘平坝、浅丘和深丘。

缓丘平坝以平原为主、丘陵为辅，主要分布在丘陵区的河流两旁，由河流冲积而成，土层较厚，土质尚较肥沃，是我省农业开发历史十分悠久的区域，也是我省水稻、小麦、油菜的重要生产区。四川的中等城市大多位于缓丘平坝上，耕地被城镇化“蚕食”的现象也是屡见不鲜。

浅丘的相对高度在 50 ~ 100 米，坡度一般在 20°左右，主要分布在盆中丘陵区的中部和南部，土壤多为红层风化而来的紫色土，肥力居中。由于水土流失面广且流失强度大，因而使土壤肥力下降，且多受干旱威胁，不过开发历史悠久，光照好，也是我省粮食作物、果蔬及其他经济作物生产区。

深丘的相对高度在 100 ~ 200 米，多呈垄状或岗状，坡度较陡（一般在 20° ~ 40°），主要分布盆中丘陵区的北部，垦殖指数低（25% ~ 35%），以种植果树和林业为主。

(3) 水系

四川省有 7 个水系，其中 6 个属长江水系、一个属黄河水系。6 个长江水系，即长江干流及其部分支流、金沙江水系（含

雅砻江水系)、岷江水系(含大渡河和青衣江)、沱江水系、嘉陵江水系(包括嘉陵江干流、涪江和渠江)以及汉江水系;岷江、沱江、嘉陵江、涪江、渠江五大支流全部集中在长江干流北侧。长江水系的流域面积达467 611平方千米。黄河水系是指由南向北注入黄河的白河和黑河,其流域面积为16 960平方千米。

成都平原分属岷江和沱江两大水系,由于岷江上游的都江堰水利枢纽可自流灌溉,灌溉网较为发达,土厚物丰,自古号称“天府之国”。我省人均水资源量为3040立方米左右,略高于全国人均水量,但仅为世界人均水量的29%,而且东部和西部水资源分布不均衡。西部甘孜藏族自治州(以下简称甘孜州)、阿坝州、凉山彝族自治州(以下简称凉山州)以及攀枝花、雅安两市的水资源占全省水资源总量的63.8%,而盆地内的成都、德阳、自贡、遂宁、内江、资阳、南充、广安等地区的水资源仅占全省水资源总量的10.4%。

2. 自然条件

对农业而言,自然条件最重要的是气候和土壤,而气候资源重要的是光照、热量和降水。

(1) 气候

四川省地处中纬度的亚热带地区,气候垂直分带突出,区域差异大,气候类型多,全年平均气温为 $-1.5^{\circ}\text{C} \sim 20.3^{\circ}\text{C}$,平均降水量为315.7~1732.4毫米,百分之五六十集中于夏季,且多夜雨,夜雨率高达60%以上,素有“巴山夜雨”之说,而且自东南向西北雨量递减。四川气候具有以下三个特点:

①四川气候区域性差异大

四川省气候区域表现差异明显,东部冬暖、夏热、秋雨、多云雾、少日照、西部寒冷、冬长、日照充足,干湿季分明,其中四川盆地气候区以亚热带温湿气候为主,属中亚热带湿润气候型,气候温暖,四季分明,冬暖春早,冬温不低,霜雪少见;春

温高于秋温，春季少雨，春旱明显，而且雾多，盛夏多暴雨，易成洪涝。盆地气温年平均一般为 $16^{\circ}\text{C} \sim 18.5^{\circ}\text{C}$ ，日均温度在 0°C 以上。四川盆地是我国湿度较大，云雾最多、日照时数和总辐射最少的省份，年平均湿度达百分之七八十，全年雾日超过 $25 \sim 50$ 天，阴天日数一般在200天以上，全年日照数为 $782 \sim 2692$ 小时，一般为 $1100 \sim 1400$ 小时。但是四川盆地内部以耕地为主，大部分辐射量、光照、雨量都集中于 $4 \sim 9$ 月，这给大春作物的生长提供了良好条件，造就了四川成为农业大省，是我国发展农业生产的重要地区之一。

四川西南山地气候区四季不明，但早雨季分明，冬暖显著，暖季长，而且垂直温差和昼夜温差变化大。

四川西部高山高原气候区属高寒气候类型，以冬季漫长和夏温低为特点，生长季节短，总热量少。

总而言之，四川省气候区域性差异表现为光照西部多，东部少；而热量资源却是东部高、西部低。四川盆地则雨热同季，降雨分配不均，往往出现冬干春秋旱，夏季暴雨酿洪灾。

②四川气候垂直分带突出

四川省是全国地势起伏最大的省份之一，从东部盆地到西部高原的过渡地带，由于地势抬升，气候垂直变化也就十分突出，具有从亚热带到冰雪带的山地垂直气候带谱。

③四川气候季节变化明显

四川盆地和四川西南山地以冬暖、春温高于秋温为特点，但气候年温差却较小，一般为 $14^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。四川省气候季节性变化较明显的是冬干夏雨，降雨多集中夏季，雨热同季，夏季在盆地常出现暴雨；春旱而秋雨绵绵。

(2) 土壤

四川省地域辽阔，土壤类型多，共计有25个土类、66个亚类、137个土属、380个土种，但区域差异性大，区域分布特征十分明显，其中成都平原主要是水稻土区域，盆地丘陵区为紫色

土区域，盆周山地 1500 米以下地区为黄壤区域，四川西南山河谷为红壤区域，四川西北高原为草甸土区域（包括山地草甸土、亚高山草甸土、高山草甸土）。潮土主要分布在绵阳和德阳的部分河谷两侧低阶地地区。多种多样的土壤类型为四川省农、林、牧业综合发展提供了良好条件，尤其适于农业发展的水稻土、潮土、紫色土中的无机养分含量较丰富，有机质转化快，水热条件优越。盆地内的水稻土、潮土和紫色土都是四川祖先千辛万苦耕作熟化的农业土壤，其中水稻土和潮土占农耕地面积的 41.33%，紫色土占农耕地面积的 38.1%，它们是十分宝贵的耕地土壤资源，是四川人民生存的根基，是养育子子孙孙的土地资源，一代一代都应大力呵护！尤其是成都平原的温江、郫县、都江堰、大邑的耕地土壤都是高产田土，更不允许随意侵占。

①成都平原的耕地土壤

成都平原是由岷江和沱江经百万年冲积形成的冲积扇平原，地质上称为第四系全新统河流冲积物形成的。其表部为粘土质粉砂土构成的潮土，下部为砂砾卵石层，表部土层深厚（常在 2 米以上），土质肥沃，质地适中，多呈中性反应，通透性良好，利于耕作，经稻田长期耕作熟化而形成冲积性水稻土，其土壤酸碱度则以酸性为主。稻田分布大，土地利用率高，一年两熟至三熟，复种指数为 200% 以上，水稻土有机质比旱土含量高 86.45%，是四川省水稻、小麦、油菜的生产基地。

②盆地丘陵区的耕地土壤

盆地丘陵区的耕地土壤主要为中生代紫红色砂泥岩发育形成的紫色土，主要分布于盆地低山、丘陵，海拔在 800 米以下，土壤质地黏重，团状结构，宜种性较广，经世代代耕耘，浅丘和绝大部分深丘已辟为梯田。

●不同母岩形成不同性质的紫色土

盆地丘陵区广布地质时代为侏罗纪和白垩纪的红色地层。这些红色地层的岩石组成不同，形成的有中性紫色土、酸性紫色土

和碱性紫色土。

中性紫色土是由侏罗系沙溪庙组和自流井组紫色泥岩风化形成的，矿质成分中的磷、钾较丰富，而氮素含量较低，保水保肥性能良好，属于中上等肥力土壤，适于多种农作物生长，是盆地丘陵区的主要土壤类型，也是四川省的主要农业土壤。

酸性紫色土是由侏罗系沙溪庙组红色长石石英砂岩或者白垩系夹关组红色石英砂岩风化形成的黄壤化紫色土，PH 值为 5.5 ~ 4.5，土壤中的氮、磷、钾较贫乏，耕作过程需中和酸性组成和追加 N. P. K 养分。

碱性紫色土为侏罗系蓬莱镇组或遂宁组灰岩夹泥岩风化形成的灰质重的红棕色或红紫色紫色土，土质黏重，氮素蓄量比中性紫色土高，矿质养分中的磷、钾也很丰富，重金属元素多被稳定化。碱性紫色土在盆地丘陵区分布较广泛。

● 丘陵不同部位土壤的特点

丘陵上部坡大，水土流失严重，形成薄层贫脊的紫色石骨子土。

丘陵中部坡缓，残 - 坡积层有一定厚度的紫色土，肥力中等，水土保持较好，有的经稻田耕作形成紫色土性水稻土。

丘陵下部和谷底多沉积较厚的淤积——冲积层，因地下水位高，在排水条件良好时，则形成肥力较高的水稻土，否则均为烂泥田。

（二）四川省农业概况

四川是农业大省，是我国农业开发历史悠久的地区之一，也是我国重要的粮油、米、蔬菜和茶叶生产基地，其中成都平原、安宁河谷平原和盆地丘陵区是我省主要农作物种植区。成都平原是四川省历史上农业最集中、最发达和最重要的区域，盛产水