



现代生物农业·农学

THE THEORY AND PRACTICE OF
PLATEAU FARMLAND EFFICIENT
NUTRIENTS UTILIZATION

高原农田养分高效利用 理论与实践

雷宝坤 刘宏斌 续勇波 段宗颜 / 著



科学出版社

高原农田养分高效利用理论与实践

雷宝坤 刘宏斌 续勇波 段宗颜 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以云南高原地区农田为研究对象,基于多年的研究成果,系统总结了高原农业的生产概况、自然条件、地形地貌及土壤资源状况,分析了高原农业生产存在的问题,总结了传统的和前沿的养分管理理念与施肥理论,其中包括环境容量、施肥模型、能值转换率、反馈调节等研究概念。本书也系统分析了农田养分管理研究进展、现状及研究趋势。针对该区域典型的高原水旱轮作区,总结了该区域的生产概况及养分管理研究与实践。总结了滇池流域施肥对作物产量、品质的影响及其环境风险,信息技术与养分管理,粮食作物快速营养诊断,蔬菜作物的养分管理。总结了缓/控释肥料的概念及其内涵、优缺点和类型,缓/控释肥料与高原农业养分管理,缓/控释肥对典型花卉、蔬菜养分管理影响的研究与实践,同时也分析了土壤中微量元素含量及其管理措施。

本书为高原区农田的养分高效利用提供了科学依据和丰富的数据资料,可以为农业科学研究、农技推广和农业生产者提供借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

高原农田养分高效利用理论与实践/雷宝坤等著. —北京:科学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-03-044198-0

I. ①高… II. ①雷… III. ①高原—耕作土壤—土壤有效养分—研究 IV. ①S158.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 088761 号

责任编辑:王 静 矫天扬 / 责任校对:李 影

责任印制:张 伟 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: B5 720×1000

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 18

字数: 353 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《高原农田养分高效利用理论与实践》

编委会

主 任 雷宝坤 刘宏斌 续勇波 段宗颜

编 委 (以姓氏拼音为序)

陈安强 杜彩艳 胡万里 金桂梅

雷秋良 刘树芳 鲁 耀 毛妍婷

潘艳华 唐艳芬 王洪媛 王应学

吴胜军 武淑霞 肖焱波 杨艳鲜

岳现录 翟丽梅 张 庆 朱红业

左 强

前 言

高原农业自然资源的高原性、发展方式的复合性、经济要素的相对封闭性和生态环境的脆弱性决定了该区域农业生产的独特性和不可替代性。近年来，随着社会经济和农业的发展，在农田养分利用上，人们只重视化肥的投入，而忽视了养分资源的高效利用。由于在区域范围内只强调增加养分的投入而忽视养分的合理循环和综合管理，因此带来了一系列严重的资源、环境和农产品品质问题。

本书以云南高原为例，科学客观地认识高原农业生产的自然禀赋，针对土壤严重退化、养分富集利用率低、生态环境脆弱等问题，系统总结了养分管理理念与施肥、环境容量、施肥模型、农田养分管理等研究的进展，阐述了农田养分高效利用研究趋势，高原水旱轮作区养分管理，滇池流域施肥对作物产量、品质的影响及其环境风险，新型肥料对养分利用的影响，土壤中微量元素状况，信息技术在养分管理中的应用等。

本书的出版是编者多年来在高原农田养分高效利用研究与实践方面成果的一次集中展示，它以作者及地方相关部门的合作团队多年研究工作为基础，获得了详实的野外试验数据和资料。本书反映了云南高原地区在农田养分高效利用方面存在的问题并提出了解决的措施，介绍了养分高效利用研究结果及其在实践中的应用情况，它既是过去工作的总结资料，更是一本指导高原地区开展农田养分高效利用工作的技术参考书。

本书的出版获得国家自然科学基金（项目编号：31560583、31160413）、国家重大水专项（项目编号：2014ZX07105-001）、农业行业专项（项目编号：201003014-6）等项目的支撑和资助。

由于本书编写工作量大、时间有限，加之编者水平的局限性，难免有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

作 者
2016 年 3 月

目 录

前言

第一章 高原农业概述	1
第一节 高原农业生产概况	1
第二节 高原农业生产的自然条件	3
第三节 高原农业地形地貌及土壤资源状况	5
第四节 高原农业生产存在的问题	13
参考文献	15
第二章 养分管理理念与施肥	17
第一节 植物营养基本理论	17
第二节 环境容量	23
第三节 施肥模型	25
第四节 能值转换率	30
第五节 反馈调节	31
第三章 农田养分管理研究进展	37
第一节 农田养分管理研究现状	37
第二节 农田养分管理研究趋势	39
参考文献	42
第四章 高原水旱轮作区养分管理	44
第一节 高原水旱轮作概况	44
第二节 高原水旱轮作区养分管理研究与实践	45
参考文献	50
第五章 滇池流域施肥对作物产量、品质的影响及其环境风险	51
第一节 引言	51
第二节 材料和方法	62
第三节 结果与分析	75
参考文献	135
第六章 信息技术与养分管理	143
第一节 数字土壤与养分管理	143
第二节 粮食作物快速营养诊断	157

第三节 蔬菜作物的养分管理	188
附 1: 目前栽培的主要生菜优良品种	210
附 2: 生菜主要病害及其防治	217
附 3: 生菜主要虫害及其防治	227
参考文献	228
第七章 缓/控释肥料与高原农业养分管理	230
第一节 缓/控释肥料的概念及其内涵、优缺点和类型	230
第二节 缓/控释肥对康乃馨养分管理影响的研究与实践	233
第三节 缓/控释肥对月季养分管理影响的研究与实践	240
第四节 缓/控释肥对丘北辣椒养分管理影响研究与实践	246
参考文献	252
第八章 土壤中的微量元素	256
第一节 土壤中硼的含量	256
第二节 土壤中锌含量	257
第三节 土壤中锰的含量	259
第四节 土壤和肥料中的钙	262
第五节 中国南方土壤硫的状况和对硫肥的需求	263
第六节 成土母质与昆明市植烟土壤的中、微量元素营养	272
参考文献	279

第一章 高原农业概述

第一节 高原农业生产概况

我国幅员辽阔，南北跨度大，且受大陆板块的挤压，地势自东向西逐渐抬高。东部多平原，西部沟壑纵横多丘陵，海拔较高。我国有青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和云贵高原四大高原，占国土面积的 36%，四大高原气候差异明显，农业生产相对于东部地区较为落后。

四大高原在农业生产上，水资源分布不均、降水少、农业机械化水平相对较低，但又有各自的特色。青藏高原农业生产主要以青稞等粮食作物种植业和畜牧业为主；内蒙古高原农业生产主要以畜牧业为主；黄土高原农业生产主要以种植业为主，畜牧业为辅；云贵高原农业生产主要以粮食、蔬菜、花卉等的种植业和畜牧业为主。因此，发展高原农业是实现西部大开发的重要途径之一。

高原农业是指具有独特自然资源特征、区域特征、商品品质与风味、特定的消费市场与消费群体等的农业。高原农业普遍具有农业自然资源的高原性、发展方式的复合性、经济要素的相对封闭性和生态环境的脆弱性等 4 个基本特性（李学林等，2012）。我国四大高原地区人均资源相对丰富，生物多样性丰富，但这些区域经济发展落后。

一、发展高原农业的优势

（一）独特的地理优势

四大高原具有独特的地理优势，特别是云南，属于低纬度高原区，地势东南低、西北高，地形复杂，多丘陵，全省 94% 为山地，土壤类型十分丰富，有 228 个土种，18 个土类（孔垂柱，2013），基本囊括了全国的土壤类型。我国云南南部与东南亚的越南、缅甸、老挝接壤，北部与四川、贵州、广西相连，农业产品对外可出口，对内可供给国内市场。

（二）丰富的自然资源

四大高原具有得天独厚的自然资源，热量、水资源等较全国其他地方丰富，

而云南省在这方面较其他三大高原区更具优势。云南是低纬度高原季风气候，由于地形复杂、立体气候明显，仅云南一省就具有寒、温、热 3 个气候带和北热带、中亚热带、中温带等 7 个气候类型，素有“一山分四季，十里不同天”的美称，云南大部分地区雨量充沛，年均降水量 1100mm，但也有些县年均降水量较少。

（三）生物多样性突出

云南是全球生物多样性最为丰富的地区之一，因此云南享有“植物王国”的美誉。据调查，云南有高等植物 16 411 多种，占全国总数的 45.9%；在国家公布的 352 种受保护的珍稀濒危植物中，云南有 151 种，占全国保护植物总数的 42.9%（吴征镒和裴盛基，1980）。而云南被子植物有 13 160 种，占全国的 43.9%，占全球的 5.1%；裸子植物 100 种，占全国的 37.0%，占全球的 11.1%；蕨类植物 1500 种，占全国的 57.7%，占全球的 12.5%；苔藓植物 1651 种，占全国的 56.9%，占全球的 7.2%（陈勇等，2010）。这些均为发展高原农业奠定了种质基础。

二、制约高原农业发展的因素

虽然我国四大高原区在农业上具有其独特的优势，但也存在以下问题。

（一）基础设施薄弱

四大高原区除内蒙古高原外，其他三个高原区沟壑纵横、多丘陵、少平地，四大高原区机械化水平均低于全国水平。虽然四大高原水资源丰富，但时间、空间分布不均，加之经济相对落后，在农业水利等方面投入不足，水利建设虽逐年增加，但水利设施不能满足日益增加的农业生产需求。

（二）科技支撑能力不足

一方面，从事蔬菜、花卉等生产的专业技术人员不足，农户科技意识、产品质量意识和商品意识淡薄，接受新技术能力低，使得科学技术的研究和科学技术的推广严重滞后；另一方面，在高原农业种植模式、病虫害防控、高原循环农业、农产品储存等方面的研究、推广所投入的经费不足，难以攻克目前遇到的问题（龚亚菊等，2012）。

（三）规模化、集约化生产水平低

四大高原区因经济落后，农产品生产多属于一家一户分散小规模生产，组织化程度和生产水平低，抗市场风险能力差，难以形成规模化、集约化的生产，也不能形成具有特色的产业品牌。

第二节 高原农业生产的自然条件

以云南高原为例,对于农业生产的自然条件,作者从气候水热、土壤、地形地貌、生物多样性、自然灾害、生态系统稳定程度等维度来整体把握,科学客观地认识高原农业生产的自然禀赋。

一、气候类型多且地带性立体性显著,农业气候资源多样而复杂

云南高原深受印度低压气流影响,是典型的高原季风气候区,气候类型丰富多样,有北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、南温带、中温带和高原气候区共7个气候类型(孔垂柱,2013;李学林等,2012)。西南季风与低纬度高原、北高南低地形的复合,形成了云南高原光照充足、四季温差小、干湿季分明、垂直变化显著的气候特征。因受季风、气压、地形地貌、纬度等因素的复合影响,又使云南高原气候和水热具有区域差异性、地带性和垂直性。

由于地势北高南低,南北之间海拔相差达6663.6m,大大加剧了因纬度因素而造成的温差。除金沙江河谷和元江河谷外,大致由北向南递增,平均温度在5~24℃,南北气温相差达19℃左右(王孟宇,2010;王声跃,2002)。特别是因海拔悬殊,形成了“一山分四季,十里不同天”的立体气候特点。同时,年温差小,日温差大。

得益于西南季风,云南高原降水充沛,大部分地区年降水量在1100mm左右,同时受季风(西南季风为主,冬季西风南支槽、北季风为辅)、副高压和蒙古高压的影响,高原干湿季分明,一般5~10月为湿季,11月至次年4月为干季。由于干湿季分明又与地质地貌复合影响,形成了旱涝、泥石流、滑坡等灾害,不利于农业生产,同时由于地形地貌复杂多样,高原水热空间分布不均,大体上是南热北冷、西湿东干、南多北少的空间格局。

由于地处低纬度地区,云南高原无霜期长,南部边境全年无霜,光照热量充沛,水热同期,农业生产水热禀赋良好。

二、以砖红壤和山原红壤为主,土地肥力较低,水土流失常见

在上述高原气候和地理位置影响下,云南高原土壤类型以砖红壤、山原红壤为主,黄壤常见,亦有针叶林土、高山草甸土,并具有纬度地带性和垂直地带性特征(周乐福,1983)。总体而言,云南湿热,土壤以砖红壤、山原红壤为主,其土地肥力较低,但生物过程快,造就了丰富的植被类型和生物多样性,同时雨季

集中，水土流失现象常见，对农业生产有利有弊。

三、地形地势悬殊，坡耕地面积比例大，耕地资源稀缺

云南西部高大山系与大江大河交错发育，滇中高原广布，地势西北高东南低，总体高原面支离破碎，山川纵横，坝子、湖泊星罗棋布，地形复杂，地势悬殊。山地面积占全省土地面积的 84%，高原面积占全省土地面积的 10%，剩下约 6%为坝子和水域，坡度 15°以下的坝子和缓坡、丘陵约 8 万 km²（不含水域），约占土地总面积的 20.9%，人均不足 3 亩^①，坡度 25°以上的土地占全省土地总面积的近 40%，可供耕作的土地资源相对不足（云南国土资源厅，2009；王声跃，2002）。

四、生物多样性丰富且特有种多，为农业生产提供了丰富的天然基因库

云南受水热气候、地理位置、地形地貌的复合影响，植物、动物资源性种类多且特有，其中高等植物 16 411 种，脊椎动物 1836 种中，66 种兽类，125 种鸟类，38 种爬行类，40 种两栖类和 290 种鱼类（陈勇等，2010）。从“植物王国”和“动物王国”的美誉中，便可知云南物种资源丰富，这为云南农业生产提供了天然且丰富的物种基因库，这对于农业发展而言是极有利的。

五、喀斯特地貌发育，石漠化现象突出，雨养农业用水瓶颈大

由于云南高原广泛的喀斯特地貌，地表水不易聚集，使得雨养农业为主的农业用水瓶颈大，加之石漠化现象突出，加大了农业生产的投入成本。

六、旱涝、低温冷害、大风雷暴、冰雹等极端天气常见，滑坡、泥石流频发

云南高原地区自然灾害种类繁多，根据灾害危害程度的不同，主要自然灾害包括气象灾害，如干旱、洪涝、冷害、霜冻、冰雹、大风等，地质灾害如滑坡、崩塌、泥石流、地震等，生物灾害如病虫害等，环境灾害如水土流失等（古永继，2004；吕拉昌和骆华松，1992；熊清华等，1989）。这些灾害对高原农业生产带来了不容忽视的破坏。特别是近 4 年来，干旱期基本在 5 个月左右，甚至半年以上，严重影响了农作物的收成。干旱主要分布在大理北部、楚雄、曲靖地区、文山、

^① 1 亩≈666.7m²

红河北部；洪涝以昭通地区、曲靖地区东部和南部、文山等地发生频率最高；冷害一般发生在沪西、玉溪到保山一线以北、海拔 1650m 以上的地区，特别是昭通、曲靖、大理北部受害较重。霜冻和冰雹灾害也以东部和北部更为突出。泥石流也对农田造成较重影响，泥石流之地石土混合，基本无法耕种，滑坡和崩塌破坏了耕地结构并直接掩埋作物，如巧家—东川泥石流，大盈江滑坡、崩塌、泥石流，兰坪、永平滑坡、崩塌、泥石流等。

云南绝大部分地区冬无严寒、夏无酷暑，有利于病虫害越冬、滋生和蔓延，在全省境内普遍分布，是农作减产和森林破坏的重要因素。

同时，云南高原雨季集中，降水强度大，山区水土流失现象突出，影响了农业生产。

七、生态系统承载力地域差异大，脆弱性和稳定性并存

云南高原复杂多样的气候、水文、植被、土被、地形地貌，孕育了多样性、地带性的自然生态系统，如多样的生物生态系统、立体的气候生态系统，复杂庞大的生态系统显示了云南生态系统的稳定性和多样性，为生命系统演化提供了优良的自然生境，同时自然特征的地域性显著，又塑造了承载力各异的自然格局，可以说是自然生态系统的稳定性和脆弱性并存，共同影响了云南高原农业发展的自然禀赋。稳定性是说云南自然生态环境自我修复能力强，在有效的人为保护或一定开发强度阈值内，生态环境不易恶化，不像高纬度、干旱半干旱地区，一旦破坏则需很长时间来恢复，甚至无法恢复。而脆弱性则是指在极端天气、大规模开垦土地、大规模伐木、大面积种植单一作物或污染严重的影响下，生态系统不易修复，导致农业生产的大面积减产，大规模损失，并且脆弱性与灾害性同时影响了云南农业稳定发展（钟祥浩，2000）。

第三节 高原农业地形地貌及土壤资源状况

一、云贵高原的地理位置和分布

中国境内的高原分布有青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和云贵高原四大高原。青藏高原是中国最大、世界上最高的高原，有“世界屋脊”之称。内蒙古高原是中国第二大高原，古人称之为“瀚海”。最具特色的黄土高原分布在中国地势的第二级阶梯上，是中国第三大高原。云贵高原是中国第四大高原，位于中国西南部，在雪峰山以西，大娄山以南，哀牢山以东，包括云南东部、贵州全部、广西西部，以及四川、湖南、湖北的边境地区。

云贵高原东到湖南雪峰山，西起横断山脉，北邻四川盆地，是我国南北走向和东北—西南走向两组山脉的交汇处，地势西北高，东南低，海拔 1000~2000m。云贵高原西部主要在云南境内，基本上以南北走向山岭为主，如点苍山和乌蒙山等。东部主要在贵州境内，基本上是东北—西南走向山岭，如大娄山和武陵山等。以乌蒙山为界，云贵高原大致可分为云南高原和贵州高原两部分。由于云南高原和贵州高原相连在一起，分界不明，因此合称为“云贵高原”。

二、云贵高原地形地貌

云贵高原位于东经 100°~110°，北纬 23°~28°，土地面积 30 万 km²，红壤分布广，又有“红土高原”之称。云贵高原的典型地貌是岩溶地貌，分布广泛，是世界上岩溶地貌发育最完美、最典型的地区之一。岩溶地貌是石灰岩在高温多雨的条件下，经过长期水溶解和侵蚀而逐渐形成。地下和地表分布着很多溶洞、暗河、石芽、石笋、峰林等稀奇古怪的地貌。云贵高原是个被溶蚀的高原，喀斯特地貌显著，高原上石灰岩分布广，厚度大，经地表和地下水溶蚀作用，形成落水洞、漏斗、圆洼地、伏流、岩洞、峡谷、天生桥、盆地等地貌，是世界上喀斯特地貌最典型的地区之一。喀斯特地貌在云贵高原上以路南石林和贵阳地下公园最为著名。云贵高原面上有一层固结的红色土层（又称风化壳），当被风雨剥蚀后，就显露出石灰岩，形成大片石芽地。高原上发育最典型的石芽地就是路南石林，石林奇峰如笋如菌，如柱如塔，高 5~10m，面积达 26 700hm²。云贵高原是长江、西江（珠江的最大支流）和元江（下游为红河）三大水系的分水岭。这些河流的许多支流如长江水系的金沙江、赤水河、乌江、元江，西江水系的南盘江和北盘江等长期切割地面，形成许多又深又陡的峡谷，使高原的大部分地区尤其是高原边缘，基本上都是高山深谷，峰峦叠嶂。云贵高原发展到今天，山地丘陵占总面积的 90%，已成为了一个山地性的高原，土层薄是云贵高原土壤地力的重要特征。发展高原农业的土壤资源主要有坡耕地、坝区耕地和高原面山地，因此，在云贵高原发展高原农业离不开山地农业的发展。

云南高原海拔在 2000m 以上，高原地形较为明显，高原面保存良好，位于哀牢山以东的云南东部地区，因其在云岭以南，故称为云南高原。云南高原总面积 39.4 万 km²，山地约占 84%，高原、丘陵约占 10%，山间盆地零星散布其中，盆地、河谷约占 6%，最高点为滇西北德钦梅里雪山卡格博峰，海拔 6740m，最低点为滇东南河口县中越大桥下红河与南溪河交界处，海拔 76.4m，两者高差达 6674m。云南高原山地顶部地面多宽广平坦，或缓和起伏，连绵起伏的山岭间，分布着许多湖盆和盆地（俗称坝子）。云南高原分布有 1200 多个坝子，占全省耕地面积的 1/3，低陷形成盆地，有积水的盆地形成湖泊。以云南省会昆明为中心的滇中高原面上，分布着滇池、抚仙湖、阳宗海、星云湖、杞麓湖五大湖泊，被称为“滇中

断陷湖区”。湖盆四周湖水外泄和四周山地沙泥淤积，大多发育成湖岸平原。云南高原中的湖岸平原和坝子土壤肥沃，土层深厚，是高原的主要农业区，人口比较集中，城镇分布较多。

贵州高原海拔在 137~2400m，境内地势西高东低，自中部向东、南、北三面倾斜，位于多雨季风区，雨量充足，河流水量较大，许多河流长期切割地面，形成许多又深又陡的峡谷，地面起伏大，山脉多，因此有“天无三日晴，地无三里平”的说法。贵州高原地貌大致可分为三级地形面：山原、盆地和峡谷。高原面因长期受河流切割而呈山原形态，是高原上最高的一级，以贵州西部最典型。在高原面下，分布着一些盆地（坝子），最大的是贵阳盆地，是高原上的主要农耕地带。峡谷是河流长期下切形成的，如乌江河谷深达 300~500m，在这里“对山唤得应，走路要一天”。著名的北盘江打帮河上的黄果树瀑布，宽约 20m，高超过 50m，从陡崖上飞流直下，气势磅礴，是我国最大的瀑布。

三、云贵高原土壤资源

云贵高原土壤资源主要是红壤，又称红土高原。云南北部、贵州南部有红壤分布，红壤的母质多样，以花岗岩、第四纪红黏土为主，砂岩、泥岩、玄武岩、石灰岩、片麻岩也有相当的面积。红壤土有机质含量一般多在 2%以下，侵蚀地区有机质含量小于 1%，因磷的固定作用，有效磷含量极低，钾元素含量随母质而异，一般也较低。红壤全剖面呈酸性或强酸性，pH 为 4.5~5.5，以 pH 在 5.0 左右居多，盐基饱和度小于 35%。根据红壤黏、酸、瘦的特点，应逐步深耕，合理施用氮、磷，以磷增氮，用养结合等培肥措施，提高土壤肥力。由于水热条件好，适宜种植粮、棉、油料、糖料等多种作物。

西南地区土壤类型比较复杂，优势土壤类型不明显，主要包括红壤、黄壤等地带性土壤类型，石灰土和紫色土等非地带性岩成土壤类型。除红壤外，紫色土也是云贵高原坡耕地的主导土壤类型之一。紫色土是我国南方丘陵地区一种比较肥沃的土壤，具有良好的保肥蓄肥能力，缓冲性强，养分供应平衡，适宜多种作物生长。紫色土质地随母岩的类型而异，由砂壤土到轻黏土。有机质、全氮含量一般较低，有机质小于 1%，而磷钾含量相当丰富，全磷高达 0.15%，全钾高达 2%，紫色土 pH 一般为 5.0~9.0，盐基饱和度 80%~90%，但因其风化快，在利用中要注重预防水土流失。

四、影响云贵高原土壤形成和分布的自然条件

（一）气候、地形和地貌

云贵高原因受西南季风、东南季风和热带大陆气团的控制，具有热带及亚热

带的气候特征。西部云南高原主要受西南季风的影响,以康藏高原为屏障,受西北冷空气影响较小,年温差小,冬暖夏凉,干湿季分明。东部贵州高原受东南季风和西伯利亚冷空气影响较大,年温差大,冬冷夏热,无明显干湿季。云贵高原南北气候差异较大,南部属于热带和亚热带气候,北部属于亚热带气候。除气候特征的影响外,影响云贵高原土壤分布和发育的还有地貌条件,如高山、河谷、高原、盆地和山地的坡向与河流切割程度等地域性的复杂变化。

(二) 地质构造

云贵高原的地质构造主要由康滇台背斜、滇桂台向斜及鄂黔台向斜的一部分构成,地貌类型有高原面、山地、河谷、盆地和喀斯特丘陵。整个地区西北高,东南低,起伏较大,高低悬殊,山地与河谷相对高差一般为 1000~2000m,最大可达 3000m,因而土壤垂直带明显。又因构造运动的间歇上升及长期剥蚀作用,形成不同海拔的高原面。云南高原由南到北主要有海拔 1300~1400m、2000~2500m 和 3000~3500m 三级高原面。贵州高原有海拔 2000~2500m、1700~1800m、1000~1200m 和 800m 左右的各级高原面。各级高原面上,常见残存的大面积红色风化壳。阶梯状高原面的存在,对本区生物气候条件和土壤分布有一定影响。

(三) 山脉、河流

山脉及河流对区域气候、植被类型,以及土壤发生和分布等特征都有显著的影响。云贵高原主要山脉有高黎贡山、怒山、哀牢山、大娄山和乌蒙山等。前三者与怒江、澜沧江及元江等南北并列,而后两者横贯高原东北部。由于河谷切割程度和排列走向的不同,形成特殊的干热或湿热的河谷气候,使区域性水热状况发生分异,成为影响土壤发育的原因之一。例如,云南元江河谷,下游属湿热的热带雨林气候,发育着风化强烈、土层深厚、强酸性的黄色砖红壤;上中游属于热带稀树草原气候,发育着红褐色、中性、淋溶弱、盐基含量较高的热带稀树草原土。

(四) 植被类型

云贵高原西部山地和南部热带地区自然植被保存较好,在植被类型的水平分布上,由南向北为热带雨林(砖红壤)、亚热带常绿阔叶林(砖红壤化红壤)和中亚热带常绿阔叶林(红壤及黄壤)。

五、云贵高原土壤分布规律

云贵高原的土壤分布既有全国和世界范围的普遍性,也有高原山地的特殊性,

虽成土因素复杂,土壤类型繁多,但土壤分布具有明显的规律性(邹国础,1965)。云贵高原土壤地理分布极其复杂,既不同于一般平原地区,也不能单纯作为一个简单的垂直带来看,其特点与高原的特殊生物气候条件、地貌因素、山脉、河流都有密切的关系。

(一) 水平分布规律

东西土壤分布规律:黔中高原(贵阳)一带分布黄壤;滇中高原(昆明)一带分布红壤,其中,红壤由昆明向西至下关逐渐过渡成褐红壤;高黎贡山和芒市一带分布砖红壤性红壤(谢俊奇,2005)。

云南高原土壤类型由南向北的水平地带性分布为:砖红壤→赤红壤→红壤→棕壤。水平分布中的区域性分布为:砖红壤和赤红壤带中干热河谷的燥红土,红壤带的紫色土,岩溶地貌中的石灰(岩)土区(雷宝坤等,2013)。

贵州高原土壤的分布,不仅具有土壤水平地带性和垂直地带性的普遍规律,而且表现出高原土壤分布的特征(邹国础,1965;邹国础和赵其国,1964)。贵州高原土壤类型由南向北为:海拔 500~600m 的红壤带→海拔 800~1200m 的黄壤带。经度地带性由东向西为:海拔 500~600m 的红壤→海拔 700~1400m 的黄壤→海拔 1900m 以上的黄棕壤→棕壤(秦松等,2009;廖德平和龙启德 1997)。中东部地区的湿润性常绿阔叶林带以黄壤为主,西南部地区的偏干性常绿阔叶林带以红壤为主,西北部地区的北亚热带常绿阔叶林带以黄棕壤为主。还有受发育母岩制约的石灰土、紫色土、粗骨土、水稻土、棕壤、潮土、泥炭土、沼泽土、石灰土、石质土、山地草甸土、红黏土、新积土等土类。

(二) 土壤纬度地带性规律

在热带和亚热带土壤气候带中,分布有砖红壤性土地带、砖红壤化红壤地带、红壤地带和黄壤地带。

砖红壤性土地带:分布于云南南部海拔 800m 以下低山丘陵地区,东起河口,西止芒市,南与老挝、越南、缅甸等国的同一地带相连,北与海拔 1000m 以上的高原相连。砖红壤性土地带热量丰富,植被以热带雨林为主,适宜发展热带作物。

砖红壤化红壤地带:分布于云南高原中部海拔 1200~1600m 和贵州高原南部海拔 400~500m 地区,植被为南亚热带常绿阔叶林,土壤发生特性表现有砖红壤性土与红壤土之间的过渡特征,在农业利用上要考虑此特点。海拔较低的河谷盆地热量丰富,可发展甘蔗、咖啡等热带经济作物。海拔较高的高原盆地易于发展樟、茶等亚热带经济林。

红壤地带:分布于滇中和滇北的丘陵盆地地区,土壤基带海拔约 2000m,是具有高原地带性特征的土壤。该地带气候暖和,植被为常绿阔叶林与松栎树混交

林, 是云南主要的粮食作物基地, 丘陵地区可发展经济林。

黄壤地带: 分布于云贵高原东部, 包括贵州高原大部分地区, 土壤基带平均海拔 800~1000m。该地带气候暖和湿润, 植被以常绿阔叶林为主, 次生林为松栎混交林, 农业利用以稻、麦为主, 宜发展茶、油桐、松、杉等亚热带经济林和用材林。

(三) 土壤垂直分布规律

云南高原海拔由低到高的垂直地带谱为: 砖红壤→赤红壤→燥红土→红壤→黄壤→黄棕壤→棕壤→暗棕壤→棕色针叶林土→亚高山草甸土→高山寒漠土。

贵州高原海拔由低到高的垂直地带谱为: 山地草甸土→黄棕壤→黄壤→红壤。

云贵高原的地形地貌复杂、地区性生物气候垂直差异明显、海拔高低悬殊、河流切割程度不同等因素, 导致了该区土壤资源的垂直差异变化较大。总体看, 云贵高原的土壤垂直分布具有以下特点。

(1) 每类土壤水平地带内呈现出一定的、特有的山地垂直带谱。

砖红壤性土地带的垂直带谱: 海拔由高到低, 2200m 以上的山地灌丛草甸区表现为山地灌丛草甸土, 1500~2200m 的湿性常绿阔叶林区表现为山地表面潜育黄壤, 1200~1500m 的热带常绿阔叶林区表现为山地砖红壤化红壤, 800~1200m 的山地雨林区表现为山地砖红壤性红壤, 800m 以下热带雨林区表现为砖红壤性土。

砖红壤化红壤地带的垂直带谱: 海拔由高到低, 山地灌丛草甸土→山地黄棕壤→山地黄壤→山地红壤→山地砖红壤化红壤。

红壤地带的垂直带谱: 海拔由高到低, 包括亚高山草甸土→山地灰棕壤→山地棕壤→山地黄壤→山地红壤等。

(2) 由于“省性”地域的影响, 使同一土壤带内土壤垂直带谱中的某些土壤出现的海拔有所不同。例如, 砖红壤性土地带的垂直带谱中, 东部天宝和西部勐定的山地黄壤分别分布在海拔 1000m 以上和 1500m 以上, 东西垂直差距 500m, 且黄壤发育程度有明显差异。黄壤地带的垂直带谱中, 大娄山区东部正安和西部习水的山地黄壤分别分布在海拔 1300m 以上和 1500m 以上, 两地垂直高差相差 200m。

(3) 由于河流深切, 土壤水平基带以下形成峡谷垂直系列, 出现非所处纬度地带应出现的土壤类型, 造就了云贵高原特殊的“复合”土壤垂直结构。例如, 哀牢山—元江峡谷的复合土壤垂直分布规律为: 海拔由高到低, 山地灌丛草甸土→山地黄棕壤→山地黄壤→山地红壤→山地砖红壤化红壤→热带稀树草原土。由于河谷海拔低于 500m, 加之焚风效应的作用和干热气候的影响, 河谷下部比该区域一般的山地垂直带谱结构中多发育了一类特殊的热带稀树草原土。