

土壤地质(七)

土壤地质与资源环境

STRANG DIZHI YU ZIYUAN HUANJIN

赵小敏 主编

地质出版社

土壤地质 (七)

土壤地质与资源环境

主 编 赵小敏

副主编 陈金印 吴蔚东 邵 华
张杨珠 陈美球 东野光亮

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系 2000 年 10 月在江西南昌召开的“中国土壤学会第八届土壤地质学术讨论会”的论文选编,共收入论文 50 篇。内容包括:土壤地质与生态环境保护、水土流失治理,土壤地质与农、林业生产和土壤肥料,土壤地质与土地资源评价、土地利用规划和地价评估,以及土壤地质与土地资源可持续发展等。

本书可供农业、地质、地理、环保及土壤地质、土壤生态、土地资源等科技工作者及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

土壤地质与资源环境/赵小敏主编. -北京:地质出版社,2001.11

ISBN 7-116-03478-1

I. 土… II. 赵… III. ①土壤地理-研究-中国 ②土地资源-资源保护-可持续发展-研究-中国 IV. S159.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 072259 号

责任编辑:蔡卫东 赵安民

责任校对:黄苏晔

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092¹/₁₆

印 张:16.75

字 数:380000

印 数:1— 800 册

版 次:2001 年 11 月北京第一版·第一次印刷

定 价:40.00 元

ISBN 7-116-03478-1/S·27

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序 言

土壤地质学是土壤科学的基础理论学科。它主要从地质科学的角度来研究土壤，不仅研究地壳表面大环境对土壤发育的影响，同时研究土壤作为大气圈、岩石圈、生物圈和水圈之间界面物质的运动特征。土壤地质学的研究促进了应用土壤科学的发展，所以从人类生活一开始，它就具有无所不在的重要性（庄卫民，2000），这已被无数事实所证明。

这册论文集以“土壤地质与生态环境”研究成果为首，是切中当前应用土壤学问题要害的。所研究的生态环境多种多样，包括特殊环境湿地与高山、特殊土壤清水砂与新疆旱成土，种植类型有多种作物、果园和天然林，地面状况有覆盖与不同含水量等等。从生态环境再联系到土壤中的有机质与氮、磷等养分、多种栽培技术与高产措施等，这是文集的第二部分。集中这些研究成果，方可很好地讨论土地资源的可持续利用与发展，最后可归结到对土地或土壤作出合理评价，并能列出宏观的管理措施，成为文集的第三部分。所以文集中多项成果虽是零星分散的，但其间存在着逻辑上的联系，它们的基本出发点都是土壤地质学的基础理论。

论文集里也有一批成果属于基础研究，如土壤积钙过程、沸石对土壤养分的活化，还有对土壤荒漠化及水土流失的发展与防治等，这是十分可贵的，因为只有搞清基本原理，方能更有效地联系实际应用。土壤学的历史证明：在未弄清古红土发生实质时，田间不能掌握其特殊的理化性质；未阐明土壤发育中的积钙过程时，曾误作钙层土的分类；未深入探讨矿物性质时，不能有效地用沸石改良土壤。而这些常不同程度地导致了农业生产上的失误，应引起重视。此外，论文集里还提出了一些新概念，如“数字地球”、“土地健康”、“地租量化”等，虽然还不算成熟，但都是联系地学的新尝试，它们将更丰富学科内容，值得提倡。

从1986年全国第一届土壤地质学术讨论会在南京召开，尔后乌鲁木齐、昆明、保定、呼和浩特、哈尔滨、泰安、武夷山，直至此次南昌，已是第八届会议。这本文集已编号为《土壤地质（七）》，表明土壤地质学在不断前进，在其发展中它与更多的其他学科相互渗透。不仅在更多的理论与实际问题起着应有的作用，而且也在国内外引起更多学者的重视。这是发展的必然趋势。在此我愿重温土壤地质学先驱李连捷先生遗言：“地与土是血肉相连不可分割的，所谓地学基础也就是如此。”、“土壤地质工作者面对形势发展，应认识自身责任的重大……，应主动作出贡献……，应从不同角度，提出自己的项目……”。相信土壤地质学在新千禧之年会作出更大的成绩，是为序。

陆景冈
2001年7月于杭州

目 录

序 言

I 土壤地质与生态环境

土壤钙积过程模拟中的逐步逼近算法	段建南	王改兰	任世芳	李旭霖	(1)				
基于 GIS 的江西省低产田改造研究	艾亮辉	赵小敏	张宁珍		(8)				
稻作制、有机肥、地下水位对稻田甲烷排放的影响	荣湘民	袁正平	胡瑞芝	朱红梅	黄运湘	周 清	张杨珠	肖永兰	(13)
红壤丘陵柑橘园生草栽培高温干旱期的生态生理效应研究	陈金印	徐小彪							(19)
油松枯落物对不同流量高含沙径流的拦沙效应								何小武	(22)
土壤条件对陆稻根系生长发育的影响	程建峰	潘晓云	陈凤梅	方加海	刘宜柏				(26)
盛夏干旱期桃园地面覆盖的生态生理效应	徐小彪	陈金印	黄国庆						(35)
江西省地质环境的保护与规划管理	赖发英	陈素珍							(38)
荒漠化防治条件下区域土地利用结构典型相关分析——以山西省河曲县为例	贾宁凤	段建南	毛俊跃						(42)
高含沙水流及其植被防治效益研究综述	何小武	吴钦孝							(46)
黄泽江流域水土流失成因与治理对策研究			张才德						(51)
赣南茶园土壤地球化学特征	廖万琪	雷瑞铭	陈志斌						(56)
清水沙土气温变化的特点及对作物的影响	陈国鹰	吴炳龙	刘仁华						(63)
科学利用土壤资源, 促进哈密农业持续发展	倪克文	邢树香	石 峥						(68)
鄱阳湖区生态环境问题成因分析及对策	刘士余	赵小敏	郭 熙	蔡海生					(71)
江西省红壤资源可持续利用研究初探	邵 萍	余 左	丁 蕾	朱大双	蒋 珊				(76)

II 土壤地质与土壤肥料利用

湖南主要类型稻田土壤固定态铵的研究	张杨珠	廖继佩	黄运湘	冯跃华	胡瑞芝	袁正平	(80)
红壤地区不同母质上天然常绿阔叶林下的土壤质量性状	吴尉东	卢志红	郑诗樟	章俊霞			(93)
北方石灰性土壤中用沸石活化磷矿粉的效果	周恩湘	姜 淳	魏 静	张桂银	姚艳荣	李淑莲	(98)
杂交水稻及其亲本根系吸氮特性的差异研究	涂起红	石庆华	李木英				(104)

III

不同供水条件下夏玉米的水分利用和水分动态变化规律的研究	李凤英	(114)
湖南省主要类型水稻土有机磷形态分级研究	冯跃华 张杨珠 黄运湘 周清	(119)
大棚蔬菜连作年限对土壤微形态的影响	夏艳玲 王德科 刘长庆 东野光亮	(126)
毛竹笋用林土壤养分限制因子研究	肖舜祯 郭晓敏 龚春风	(131)
不同肥料结构氮在稻田生态系统的效应研究	吴建富 张美良 王海辉 朱美英 刘经荣	(136)
早稻草全还田新技术的尝试	祝财兴 刘小芬	
..... 黄玉芬 陈东富 周曰飞 朱夏芬 章锦扬 王小廉 施灵央		(140)
江西省红壤资源及其可持续利用	卢志红 郑诗樟 章俊霞 张频 王景明 吴尉东	(145)
江西省不同母质对水稻土特性和水稻产量的影响	赵小敏 邵华 朱大双 余左 丁蕾	(149)
缙云县高山茭白生产的现状及对策	祝财兴 黄玉芬 刘小芬 朱夏芬	
..... 陈东富 周曰飞 章锦扬 王小廉 施灵央		(154)
河北土壤的养分状况与施肥对策	任士魁 张月辰 周大迈 王英杰	(160)
水稻“三省二高”栽培技术开发与推广——茆畦免耕直播早稻高产栽培技术推广	祝财兴 刘小芬 黄玉芬 朱夏芬 陈东富 王小廉 周曰飞	(165)
清水沙土水分特性及其对作物的影响	吴炳龙 潘振刚	(176)
多孔塑料波纹管改造山区冷浸低产田机理、方法与前景	潘振刚 周晓锋	(180)
遥感提取水稻种植面积信息	沈润平	(186)
锌、锰复混微肥在水稻喷施效果试验研究	丁蕾 邵华 朱大双 余左	(191)
肥料技术与现代农业	邵华 余左 朱大双 丁蕾 蒋珊	(195)
测配产供施一体化服务初探	谢恒 胡春英 熊小兴 肖红	(198)

III 土壤地质与土地资源可持续发展

模糊综合评判法在宗地估价中的应用	谢建春 张宁珍	(201)
鄱阳湖地区新构造运动与土地资源利用	赵小敏 陈美球 鲁成树 黄宏胜	(205)
土地健康与土地健康评价	陈美球	(210)
GIS在土地中的应用状况及发展趋势	赵小敏 余敦	(217)
应用基准地价修正系数法评估宗地地价	江立武 吴宏昌 张世红 张宁珍	(222)
论土地利用结构调整及其措施	汤江龙 邹自力	(228)
数字地球与数字规划	邹自力 汤江龙	(232)
林地地租量化研究	邹秀清	(238)
农村城镇化进程中的土地集约利用	李琳 温珍梁 陈素珍	(242)
关于消化闲置土地的几点思考	田心尉 谢建春	(245)
论RS和GIS一体化在小城镇发展监控中的应用	赵小敏 艾亮辉	(249)
浅议福建省耕地占补平衡	陈文强 庄卫民	(254)
城市土地经济评价的理论与方法探讨	吴良才 陶国强	(257)

I 土壤地质与生态环境

土壤钙积过程模拟中的逐步逼近算法^①

段建南^① 王改兰^② 任世芳^① 李旭霖^①

(^①山西大学黄土高原研究所, 太原 030006;

^②山西省农业科学院旱地农业研究中心, 太原 030031)

摘 要 在土壤碳酸钙淋溶淀积过程的建模中, 需要根据土壤碳酸钙化学热力学平衡原理解土壤溶液中的 Ca^{2+} 浓度和 pH 值, 其中有些参数难以获得 (如有关离子的活度系数), 不能直接求解, 导致无法实现其过程的计算机模拟。本文针对这一难题, 提出了一种逐步逼近算法, 在已知土壤空气中的二氧化碳分压和土壤温度的情况下, 可求得干旱地区土壤溶液中的 Ca^{2+} 浓度和 pH 值, 为土壤碳酸钙淋溶淀积过程的计算机模拟提供了重要的技术支持。本算法在 CAEDP 模型中已得到了应用和验证, 表明本算法理论依据充分、结果稳定精度高、程序简便易实现。

关键词 土壤碳酸钙 逐步逼近算法 土壤溶液 模拟与建模

钙积过程是黄土高原以及干旱半干旱地区土壤形成发育的主要过程。碳酸钙在土壤剖面中淀积的深度和类型是土壤发育的重要标志。钙积层是土壤发育环境的历史信息库, 反映了土壤发生的环境条件和土壤发育程度, 其隔水、保水性能和物理强度对植物根系生长的影响, 制约着农林牧业生产中的土壤利用。同时土壤剖面碳酸钙的分布对土壤的物理、化学、生物性状起着重要的作用。含碳酸钙的石灰性土壤, 其 pH 值是由碳酸钙的水解所决定的 (于天仁等, 1987)。

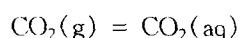
土壤碳酸钙淋溶淀积是一个比较复杂的过程, 影响其过程的状态因子包括气候、母质、地貌、生物和时间。研究土壤钙积过程的机理, 建立数学模型, 用以综合这些多变的状态因子, 对土壤钙积层的发育进行定量描述和解释, 定量估计自然因子和人类活动对土壤钙积过程的影响, 是一个有效的方法。它可为干旱地区环境变化的研究和土壤发生分类、土壤资源持续利用提供新的理论和方法。但是在建模过程中常常遇到一些不易获得的参数, 迫使模拟仅停留在理论研究上, 而难以通过计算机实现。段建南等 (1997) 创建了一个称为“土壤发育过程模拟系统”的数学模型 SOLDEP, 其中包含了干旱地区土壤碳酸钙淋溶淀积过程子模型 CAEDP (段建南等, 1999)。在该模型中, 设计了一系列的迭代逼

① 国家自然科学基金资助项目, 批准号: 49971040

近算法,在仅给出土壤空气 CO_2 分压和温度的条件下,即可模拟土壤中复杂的 CaCO_3 化学热力学平衡过程,求解土壤溶液中 Ca^{2+} 浓度和 pH 值,并以晋西北黄土丘陵土壤为例进行了初步验证。CAEDP 模型的原理、结构与验证已在另文作了报道(段建南等,1999),本文将其中的逐步逼近算法作具体介绍。

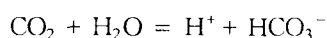
1 土壤碳酸钙化学热力学平衡体系

土壤 CaCO_3 化学热力学平衡体系所包含的化学平衡方程式为



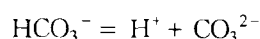
$$\frac{\alpha(\text{CO}_2)}{p_{\text{CO}_2}} = K_1 \quad (1)$$

$$\text{p}K_1 = 1.14 + 0.0131t \quad (2)$$



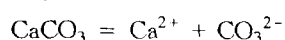
$$\frac{\alpha(\text{H}^+)\alpha(\text{HCO}_3^-)}{\alpha(\text{H}_2\text{O})\alpha(\text{CO}_2)} = K_2 \quad (3)$$

$$\text{p}K_2 = 6.54 - 0.0071t \quad (4)$$



$$\frac{\alpha(\text{H}^+)\alpha(\text{CO}_3^{2-})}{\alpha(\text{HCO}_3^-)} = K_3 \quad (5)$$

$$\text{p}K_3 = 10.59 - 0.0102t \quad (6)$$



$$\alpha(\text{Ca}^{2+})\alpha(\text{CO}_3^{2-}) = K_4 \quad (7)$$

$$\text{p}K_4 = 7.96 + 0.0125t \quad (8)$$

式中, K_i 为化学平衡常数; $\text{p}K_i$ 为平衡常数的负对数; $i = 1, 2, 3, 4$; t 为温度($^{\circ}\text{C}$); p_{CO_2} 为 CO_2 分压(kPa); α 为离子活度。式(1)中的 g 表示气态, aq 表示液态(Garrels 和 Christ, 1965; Marion 等, 1985)。

离子活度(α)和浓度(c)的关系为

$$\alpha = \gamma \times c \quad (9)$$

式中, γ 为离子的活度系数, 用 Davies 方程(Sposito, 1981)计算:

$$\log \gamma = -0.505Z^2 \left[\frac{\sqrt{I}}{1.0 + \sqrt{I}} - 0.3I \right] \quad (10)$$

式中, Z 为离子的价数; I 为离子强度, 计算式为

$$I = 3.0c(\text{Ca}^{2+}) \quad (11)$$

这是一个纯二价盐溶液的理论关系(Marion 和 Babcock, 1976)。

对于一个纯 CaCO_3 系统, 在 pH 值从 7.5~8.5 范围内, 存在以下电离平衡

$$2c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) \quad (12)$$

式中, c 表示离子浓度。将方程(1)、(3)、(5)和(7)代入方程(12)中, 得

$$\frac{2K_4\alpha(\text{H}^+)^2}{\gamma_{\text{Ca}^{2+}}K_3K_2K_1p_{\text{CO}_2}} = \frac{K_1K_2p_{\text{CO}_2}}{\alpha(\text{H}^+)\gamma_{\text{HCO}_3^-}} + \frac{2K_1K_2K_3p_{\text{CO}_2}}{\alpha(\text{H}^+)^2\gamma_{\text{CO}_3^{2-}}} \quad (13)$$

式中, γ 为相应下标离子的活度系数。当给出 CO_2 分压时, 可用式 (13) 求氢离子活度, 进一步由式 (3)、(5) 和 (7) 分别求得土壤溶液中的 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} 离子的平衡活度。

2 求解土壤溶液中 Ca^{2+} 浓度和 pH 值的逐步逼近法

在土壤温度和土壤空气 CO_2 分压已知的条件下, 可由上述有关方程式求解土壤溶液的 Ca^{2+} 浓度, 可是在式 (13) 中, 几种离子的活度系数 ($\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$ 、 $\gamma_{\text{HCO}_3^-}$ 和 $\gamma_{\text{CO}_3^{2-}}$) 仍是未知数, 无法直接求解, 可采取逐步逼近算法解决。以下是算法的具体步骤 (算法流程见图 1)。

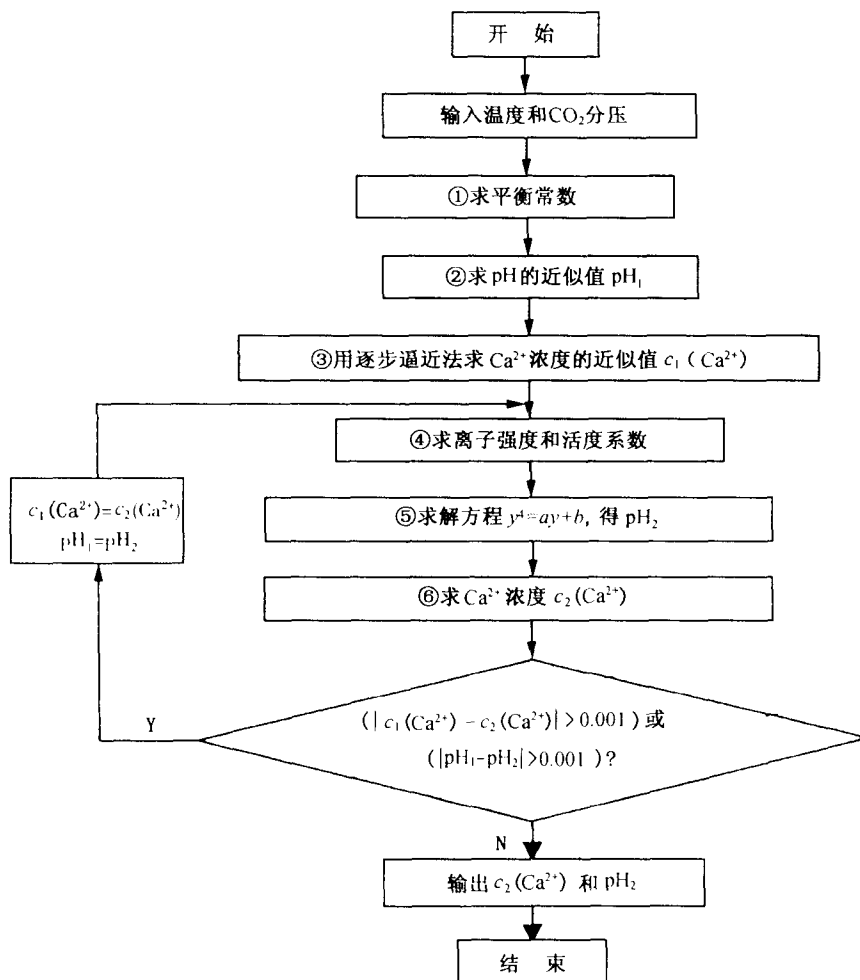


图 1 求 Ca^{2+} 浓度和 pH 值的逐步逼近算法流程

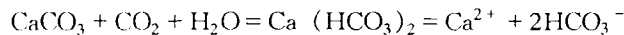
Fig. 1 A flowchart of the successive approximation algorithm for solving Ca^{2+} concentration and pH value

2.1 求平衡常数 (K_i)

根据温度, 由式 (2)、(4)、(6) 和 (8) 求平衡常数 K_i 。

2.2 求 pH 的近似值 (pH_1)

在 $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ 体系中 (袁可能, 1983; 赵玉萍, 1991; Greenland 和 Hayes, 1981)



$$K = \frac{c(\text{Ca}^{2+})c(\text{HCO}_3^-)^2}{c(\text{CO}_2)} \quad (14)$$

根据 (1)、(3)、(5) 和 (7) 可推导出

$$K = \frac{K_4 K_2 K_1}{K_3} \quad (15)$$

在电中性条件下 (蒋以超和张一平, 1993)

$$2c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{HCO}_3^-)$$

由此可推出

$$\text{pH} = -\frac{1}{3} \lg \frac{\frac{1}{2} K_1^2 K_2^2 K_3}{K_4} - \frac{2}{3} \lg p_{\text{CO}_2} + \frac{1}{3} [\lg \alpha(\text{HCO}_3^-) - \lg \alpha(\text{Ca}^{2+})] \quad (16)$$

如以 $\frac{1}{3} [\lg \alpha(\text{HCO}_3^-) - \lg \alpha(\text{Ca}^{2+})]$ 为 $0.02 \sim 0.06$, 平均为 0.04 计 (袁可能等, 1983), 则上式可简化为

$$\text{pH} = -\frac{1}{3} \lg \frac{\frac{1}{2} K_1^2 K_2^2 K_3}{K_4} - \frac{2}{3} \lg p_{\text{CO}_2} + 0.04 \quad (17)$$

在石灰性土壤中, pH 值的变化和这一关系式大致是吻合的 (袁可能等, 1983)。一般土壤中 CO_2 分压大致在 $10 \sim 10^{-2} \text{kPa}$ 之间, 而 pH 值则在 $6 \sim 8.5$ 之间变化。

2.3 求 Ca^{2+} 浓度的近似值 [$c_1(\text{Ca}^{2+})$]

由上述土壤 CaCO_3 化学热力学平衡体系的方程式可导出土壤 Ca^{2+} 的活度求解公式的对数形式为 (蒋以超和张一平, 1993)

$$\lg \alpha(\text{Ca}^{2+}) = -\lg K_1 - \lg K_2 - \lg K_3 - \lg p_{\text{CO}_2} + \lg K_4 - 2\text{pH} \quad (18)$$

由此式求得 Ca^{2+} 活度 $\alpha(\text{Ca}^{2+})$, 设其为浓度的初始值 $C_1(\text{Ca}^{2+})$, 由式 (11) 和 (10) 先后求得离子强度 (I) 和活度系数 (γ), 再由式 (9) 求浓度 $C_2(\text{Ca}^{2+}) = \alpha(\text{Ca}^{2+}) / \gamma$, 当 $C_2(\text{Ca}^{2+})$ 与 $C_1(\text{Ca}^{2+})$ 相差绝对值大于给定精度值时, 将 $C_2(\text{Ca}^{2+})$ 赋给 $C_1(\text{Ca}^{2+})$ [即 $C_1(\text{Ca}^{2+}) = C_2(\text{Ca}^{2+})$], 重复求离子强度 (I) 和活度系数 (γ) 及 $C_2(\text{Ca}^{2+})$, 直到 $C_2(\text{Ca}^{2+})$ 与 $C_1(\text{Ca}^{2+})$ 相差绝对值小于给定精度时, 所得的 $C_2(\text{Ca}^{2+})$ 值, 即为初次近似的 Ca^{2+} 浓度值 $C_1(\text{Ca}^{2+})$ 。本步骤算法流程见图 2。

2.4 求活度系数 ($\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$ 和 $\gamma_{\text{HCO}_3^-}$)

由 Ca^{2+} 浓度的近似值 $c_1(\text{Ca}^{2+})$ 求离子强度 (I) 以及 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的活度系数 ($\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$ 和 $\gamma_{\text{HCO}_3^-}$)。

2.5 求 pH 值 (pH_2)

由式 (13), 经变换得

$$\alpha(\text{H}^+)^4 = \frac{p_{\text{CO}_2}^2 K_1^2 K_2^2 K_3 \gamma_{\text{Ca}^{2+}}}{2 K_4 \gamma_{\text{HCO}_3^-}} \alpha(\text{H}^+) + \frac{K_1^2 K_2^2 K_3^2 p_{\text{CO}_2}^2}{K_4} \quad (19)$$

$$\text{设 } y = \alpha(\text{H}^+) \quad (20)$$

$$a = \frac{p_{\text{CO}_2}^2 K_1^2 K_2^2 K_3 \gamma_{\text{Ca}^{2+}}}{2 K_4 \gamma_{\text{HCO}_3^-}} \quad (21)$$

$$b = \frac{K_1^2 K_2^2 K_3^2 p_{\text{CO}_2}^2}{K_4} \quad (22)$$

式 (19) 即可表达为一个简单明了的 4 次方程式

$$y^4 = ay + b \quad (23)$$

解此高次方程式即求得 $\alpha(\text{H}^+)$ 。

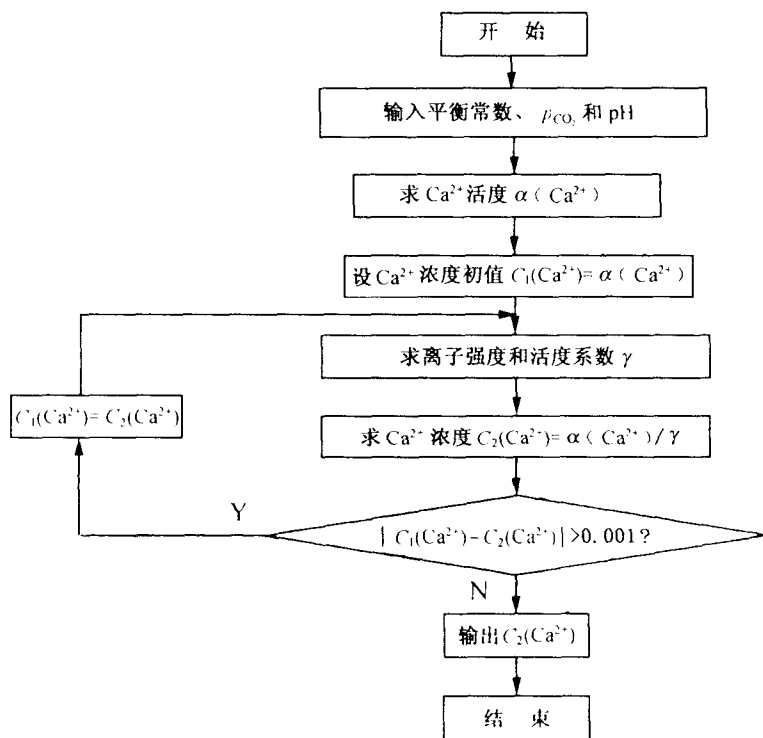


图 2 求 Ca^{2+} 浓度的逐步逼近算法流程

Fig. 2 A flowchart of solving Ca^{2+} concentration with the successive approximation algorithm

本算法中采用迭代逼近方法求 4 次方程式 (23) 的近似解。即给 y 赋一初始值, 求 $e_1 = y^4 - (ay + b)$, 再将 y 加一增量, 求 $e_2 = (y + \Delta)^4 - [a(y + \Delta) + b]$, 比较 e_1 与 e_2 , 如果 $|e_2| < |e_1|$, 则将 e_2 值赋给 e_1 , $y + \Delta$ 赋给 y , 再求 e_2 , 如此迭代, 逐步逼近, 直到 e_2 的绝对值不再小于 e_1 的绝对值时的 y 值即为所求的近似解。由此得到 pH_2 。本步骤算法流程见图 3。

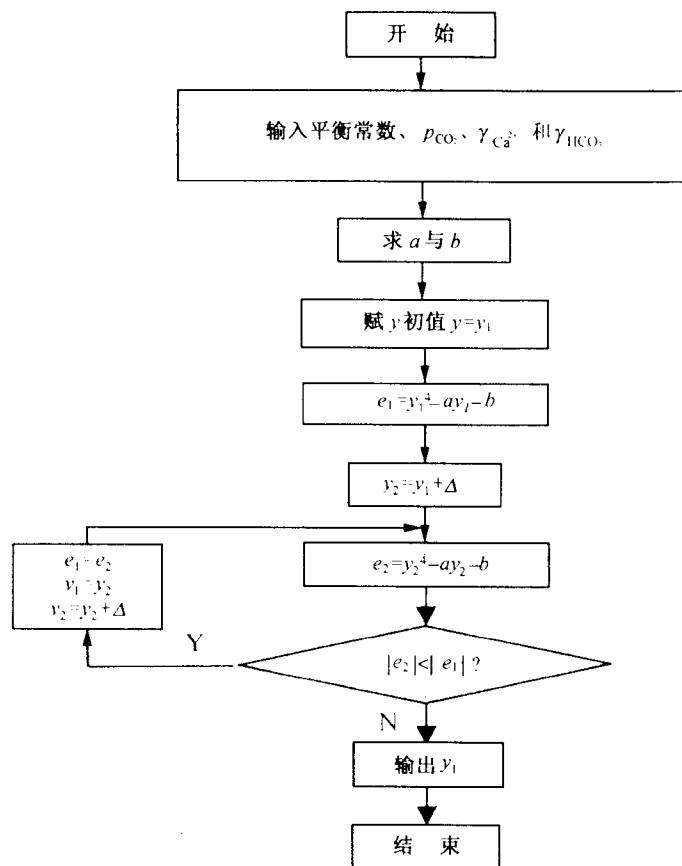


图3 求解方程 $y^4 = ay + b$ 的迭代逼近算法流程

Fig.3 A flowchart of solving the equation $y^4 = ay + b$ with the successive approximation algorithm

2.6 逐步逼近求解 Ca^{2+} 浓度 [$c_2 (Ca^{2+})$]

由式 (18) 求 Ca^{2+} 活度，并由步骤④求得的活度系数求浓度 $c_2 (Ca^{2+})$ ，将 $c_2 (Ca^{2+})$ 与 $c_1 (Ca^{2+})$ 比较，当两者差值的绝对值大于给定的精度值时，将 $c_2 (Ca^{2+})$ 值赋给 $c_1 (Ca^{2+})$ ，重复步骤④~⑥。逐步逼近，直到 $c_2 (Ca^{2+})$ 与 $c_1 (Ca^{2+})$ 相差满足精度要求时的 $c_2 (Ca^{2+})$ 值即为所求的 Ca^{2+} 浓度。

在求解 Ca^{2+} 浓度的同时，以同样的方法比较 pH_1 与 pH_2 ，以求得 pH 值（见图 1）。

3 结语

土壤碳酸钙淋溶淀积过程的机理研究及建模，必然要涉及到碳酸钙溶解和沉淀的化学热力学平衡体系的数学模型与计算。本文针对数学建模与模拟过程中，遇到有些重要参数难以获得，影响模型的计算机实现的难题，提出了逐步逼近算法，在土壤碳酸钙化学热力学平衡体系的模拟中，仅需要输入土壤空气中的二氧化碳分压和土壤温度，即可求得土壤溶液的钙离子浓度和 pH 值，为实现土壤碳酸钙过程的计算机模拟提供了重要的技术支

持。本算法在 CAEDP 模型（段建南等，1999）中得到了应用和验证，结果表明本算法化学理论和数学基础可靠、计算结果稳定精度高、运算程序简便容易实现。算法程序是用 Borland C++ V3.1 语言开发实现的，可在 386 以上微机的 DOS 环境下运行。

参 考 文 献

- [1] 于天仁. 土壤化学原理. 北京: 科学出版社, 1987.352
- [2] 段建南, 李保国, 石元春等. 确定人类活动与土壤变化之关系的建模研究. 见: 黄巧云主编, 迈向 21 世纪的土壤与植物营养科学. 北京: 中国农业出版社, 1997.266~270
- [3] 段建南, 李保国, 石元春等. 干旱地区土壤碳酸钙淀积过程模拟. 土壤学报, 1999, 36 (3): 318~326
- [4] Garrels R M, Christ C L. Solutions, Minerals, and Equilibria. New York: Harper and Row, 1965
- [5] Marion G M, Schlesinger W H, Fonteyn P J. CALDEP: A regional model for soil CaCO_3 (caliche) deposition in southwestern deserts. Soil Sci., 1985, 139 (5): 468~481
- [6] Sposito G. The Thermodynamics of Soil Solutions. Oxford: Clarendon Press, 1981
- [7] Marion G M, Babcock K L. Predicting specific conductance and salt concentration in dilute aqueous solutions. Soil Sci., 1976, 122: 181~187
- [8] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983.232~237
- [9] 赵玉萍. 土壤化学. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.278~283
- [10] Greenland D T, Hayes M H B. The Chemistry of Soil Processes. Bath, Avon: John Wiley & Sons, Ltd., 1981. 82~85
- [11] 蒋以超, 张一平. 土壤化学过程的物理化学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.261~269

基于 GIS 的江西省低产田改造研究

艾亮辉^① 赵小敏^② 张宁珍^②

(①宁波市土地管理局, 宁波 315012;

②江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘 要 本文论述了中低产田改造的必要性。通过引入 GIS 技术, 将江西省 4548.86 万亩农田分为六等, 从空间和属性两方面对江西省低产田信息进行提取。通过对江西省低产田成因分析, 提出改造江西省低产田的措施。

关键词 低产田 改造 地理信息系统 江西省

根据全国土地详查汇总, 1990 年底我国耕地数量为 20.16 亿亩,^① 人均耕地为 1.66 亩, 不及世界人均耕地 3.75 亩的 44%。而且我国耕地质量差, 生产力水平低, 全国耕地单产水平按统计数计算为 233kg, 比发达国家相差 100~200kg, 且全国自然灾害多, 农业生产不稳定。^[4] 另外, 耕地后备资源不足, 据原国家土地管理局保护耕地专题调研组分析, 我国耕地后备资源具有以下特点: ①数量少, 将全国所有后备资源全部开发为耕地, 人均耕地增加尚不足 0.1 亩; ②地区分布不均衡, 山地、丘陵及高原地区所占比重较高; ③质量差, 开垦难度大; ④开垦成本高, 开发出的耕地质量偏低。^[5] 由上述分析可知, 人多地少, 人均耕地资源贫乏, 土地生产率低, 后备耕地资源不足是我国的基本国情。缓和我国人地矛盾的尖锐程度, 从本质上实现耕地动态平衡, 为我国社会经济可持续发展提供基本粮食保障, 主要应走中低产田改造之路。

1 江西省低产田信息提取^[1,6,7]

以 GIS 为技术手段, 先通过影响农田质量的多因素迭加分析, 对江西省农田划分等级, 然后将较低等级的农田归为低产田, 从空间和属性上提取江西省低产田信息, 具体过程如下:

1.1 评价农田质量的因素、因子的确定

在综合考虑江西省具体情况的基础上, 应用以下 2 个步骤选择影响农田质量的因素、因子: 第一步应用特尔菲法初步选定因素、因子体系; 第二步应用主成分分析法对参评因子进行筛选。均匀分布地选取 50 个样本点, 将各因子中样本点的相应值组成主成分分析原始矩阵, 进行主成分分析变换, 得到各因子相对应的特征值, 通过设置累计贡献率 $K_i > 95\%$, 最终确定本次研究 3 个因素下共 10 个有效的因子 (表 1)。

① 1 亩 = 666.6m², 编者注, 后文同。

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n} > 95\%$$

1.2 评价因素、因子权重的确定

应用层次分析法确定各因素、因子的权重。提供已确定的因素、因子体系和因子间相对重要性标度内涵给专家,应用特尔非法确定因素判断矩阵(T_1)、土壤因子判断矩阵(T_2)、气候因子判断矩阵(T_3)的值,将以上原始数据输入计算机,得到各因素、因子权重结果如表1。对各矩阵进行检验得, $CR_1 = 0.033$ 、 $CR_2 = 0.018$ 、 $CR_3 = 0.055$,均具有满意一致性($CR < 0.1$)。对层次总排序进行检验 $CR = 0.0283 < 0.1$,结果具有满意的一致性。因此,接受各因子权重值。

1.3 因子级别指标及分值确定

本次研究所选参评因子资料大都为二手资料。其中土壤因素各因子资料来源于江西省第二次土壤普查结果资料;气候因素各因子资料来源于气象局根据分布全省的十多个站点多年累计资料平均值。这些因子级别指标直接采用因子资料本身的级别划分标准;农田有效排灌率资料由江西省水利统计年鉴数据资料整理制图而得,各因子指标值如表1。

本次研究因子级别分值按100分制标准赋分,即各因子最高级别分值为100分,其余各级别分值则按其实际指标值对农田质量影响衰减程度赋予不同分值。采用特尔非法确定各因子不同级别分值如表1。

表1 参评因素(因子)权重、级别指标值及级别分值表

因素	因子	1级	2级	3级	4级	5级	6级
(权重)		指标/分值	指标/分值	指标/分值	指标/分值	指标/分值	指标/分值
土壤因素 (0.6)	有机质含量/% 0.18	>4 (100)	3~4 (90)	2~3 (70)	1~2 (50)	0.6~1 (30)	<0.6 (10)
	全P含量/% (0.072)	>0.1 (100)	0.08~0.1 (90)	0.06~0.08 (75)	0.04~0.06 (60)	0.02~0.04 (40)	<0.02 (20)
	全K含量/% (0.15)	>2.50 (100)	2.01~2.50 (85)	1.51~2.00 (65)	1.01~1.51 (50)	0.50~1.00 (30)	<0.50 (10)
	土壤质地 (0.09)	中壤 (100)	重壤-中壤 (90)	轻粘-重壤 (70)	粘土-轻粘 (50)	沙土-粘土 (30)	沙土 (10)
	耕层厚度/cm (0.108)	>18 (100)	16~18 (90)	14~16 (75)	12~14 (60)	10~12 (40)	<10 (20)
	年降雨量/mm (0.12)	>1800 (100)	1700~1800 (90)	1600~1700 (80)	1500~1600 (60)	1400~1500 (40)	<1400 (10)
气候因素 (0.3)	年有效积温/℃ (0.09)	>6250 (100)	6000~6250 (90)	5750~6000 (80)	5500~5750 (60)	5250~5500 (40)	<5250 (10)
	年日照时数 (0.06)	>2000 (100)	1900~2000 (90)	1800~1900 (75)	1700~1800 (60)	1600~1700 (40)	<1600 (20)
	灾害性气候 (0.03)	汛期降雨量 <700	汛期降雨量 <800	汛期降雨量 <800	汛期降雨量 <900	汛期降雨量 <900	汛期降雨量 >1000
		春季低温率 <40.6% (100)	春季低温率 <40.6% (90)	春季低温率 <46.2% (70)	春季低温率 <51.5% (50)	春季低温率 >51.5% (30)	春季低温率 >51.5% (10)
社会 (0.1)	有效排灌率/% (0.1)	>90 (100)	80~90 (90)	75~80 (70)	65~75 (50)	58~75 (30)	<58 (10)

1.4 因子空间分析

在拓扑叠加中，根据叠加的不同目的，应用不同的叠加方式，可以得到不同的输出结果图层。本次研究应用 ARC/INFO 系统为技术手段，从保证结果图有一致的边界出发，选用 Identity 命令，将参评的 10 个因子图层进行叠加 (Overlay)。

1.5 江西省低产田界定

完成对所有因子图层叠加 (Overlay) 分析后，ARC/INFO 系统自动为叠加后的图层生成拓扑关系。在 Tables 模块下，以叠加后的图层中图斑为评价单元，再应用以下模型计算各评价单元综合分值 P_j 。式中， W_i 为第 i 因子的影响权重； F_{ij} 为第 i 因子对第 j 单元的影响分值； n 为农田分等所选因子个数； j 为评价单元序号。

$$P_j = \sum_{i=1}^n (W_i \times F_{ij}) \quad (i = 1, 2, 3 \cdots, n)$$

采用自然断点法 (Natural Break) 进行农田等级划分，先将各单元分值按从小到大的顺序排列，应用统计方法 (Jenk' s Optimization)，以各划定等级内分值离差最小化为目标，设置各等级的临界值。本次研究将江西省 4548.86 万亩农田分为六等，具体数据如表 2。将五、六等田划入低产田，全省低产农田 (包括五等田和六等田) 为 1154.9 万亩，占全省农田总数的 25.39%，完成从属性方面对江西省低产田的界定。应用 ArcView 系统，对 $P_j < 59.76$ 的农田进行着色，即完成从空间上对江西省低产田的界定 (图略)。对结果分析可知，全省中低产田面积占全省农田总数的 72.31%。可见，江西省耕地资源内涵潜力还很大，今后应加大投入力度，有目的、有步骤地启动中低产田改造工程，挖掘农业自然资源潜力。

表 2 江西省农田等级结构表 (单位：万亩、%)

等 级	一等田	二等田	三等田	四等田	五等田	六等田	合 计
综合分值	> 74.35	69.03 ~ 74.35	64.44 ~ 69.03	59.76 ~ 64.44	54.06 ~ 59.76	< 54.06	
面 积	507.70	751.82	1004.88	1129.56	775.10	379.8	4548.86
结 构	11.16	16.53	22.09	24.83	17.04	8.35	100.0

2 江西省低产田成因分析^[2]

通过对最终结果数据库 (PAT 文件) 中，划入五、六等田的所有评价单元的统计分析，根据不同评价单元中各单因子级别值，设定从全磷含量 (p)、全钾含量 (k)、耕层厚度 (gc)、土壤质地 (zd)、气候灾害 (zh) 和农田基本建设 (有效排灌率 ps) 等 6 个限制性要素，对江西省低产田进行成因分析。按地 (市) 将各地低产田所受的主要限制要素列出，并统计出受各主要限制性要素的农田面积如表 3 (各限制性要素面积有部分重叠)。其中第一限制性要素为该地面积最广、限制最严重的要素，其余次之。各主要限制性要素对应的农田可根据其数据库文件中的有关字段直接成图，本次研究由于输出结果图比例尺过小，图件省略。

表3 江西省低产田限制性因素分析表

(单位:万亩)

	南昌市	萍乡市	景德镇市	九江市	新余市	鹰潭市	赣州地区	宜春地区	上饶地区	吉安地区	抚州地区
面积	21.11	30.94	74.7	319.9	50.91	13.2	58.08	229.8	154.8	148.9	52.93
比率/%	4.84	47.41	44.11	65.79	39.09	10.6	8.75	35.04	21.38	23.26	11.62
第一限制	p	k	zh	p	k	p	gc	ps	p	p	ps
第二限制	zd	gc	p	ps	p	k	k	k	zd	gc	p
第三限制				zd	ps	ps		p	ps		gc

注:上表中比率行为各地(市)低产田占该地(市)农田面积的比率。

通过分析,各地主要限制性因素可综合为:①土壤全磷含量限制(p)为普遍存在限制性因素,除萍乡市和鹰潭市外,各地低产田的成因都不同程度地来源于此;②农田基本建设投入不足,造成农田有效排灌率过低限制(ps)。除南昌市、吉安地区受有效排灌率过低限制较少外,其余各地都在较大程度受该因素限制;③土壤全钾含量限制(k)是全省低产田的重要成因。萍乡市、新余市、鹰潭市、赣州地区、宜春地区都在较大程度上受该因素的限制;④各地特有的限制因素。根据农田不同环境,各地低产田有其特殊成因。如景德镇市和九江市的部分地区易受洪涝灾害,其灾害性气候限制因素(zh)比较严重;萍乡市、赣州地区等山区,则受耕层过薄(gc)限制较大。

3 江西省低产田改造对策建议^[2,3]

针对以上限制性因素,提出综合治理低产田的几点措施:

(1)转变观念。改变我国地大物博、资源丰富的观念,认清我国人多地少、人均耕地资源贫乏、后备资源不足的国情,树立中低产田改造是实现耕地总量平衡主要途径的意识,是综合治理低产田首要条件。

(2)农田整理。根据低产田分布零散、位置偏远等特点,加大农田整理力度。采取包括兴修水利,营造防护林,归并零散地块,农田平整,农田道路和沟渠综合建设等措施,实现“沟渠成网,园田成方”的田园化管理,做到遇旱有水,逢涝能排,以改善农业经营条件,提高农田生产率。

(3)平衡肥力。平衡肥力主要包括两方面的内容:其一是增施有机肥,提高土壤有机质含量。土壤有机质含量与水稻产量呈正相关,增施有机肥是水稻增产的重要措施。其二是合理施用化肥,调节土壤养分状态。对有机质和氮素含量达丰富水平,而受磷、钾肥限制的养分不协调低产田,应在保证有机肥的同时,根据各地块的具体限制程度,增施磷、钾肥料,以平衡肥力,提高作物产量。针对全省较大范围缺磷、缺钾的实际,在农田施肥过程中,应着重增施磷、钾肥料。

(4)工程治水。洪涝和干旱都是低产田的重要原因,搞好水利建设,特别是农田沟渠建设,是改造低产田的重要措施。“修一塘、挖三沟、治五水、成七田”是解决渍水问题的高标准要求。对于受排灌条件限制的低产田,应采取修建山塘水库,蓄供灌溉用;整治好田间灌溉系统,以防止水土流失;挖沟(明沟、暗沟)排除多余积水等手段,有针对性地进行改造。同时,也要兴修水利,防止洪涝灾害给农业生产带来损失。

(5)培肥改土。肥料是作物的粮食,要改造低产田,无疑要增加施肥量。对于受土壤