

# 长江中游平原湖区土壤潜育化沼泽化的发展趋势与改良利用\*

马毅杰 陆彦椿 赵美芝 潘淑贞

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

## 摘 要

通过室内模拟试验和野外调查分析对比,探讨了荆江南北地区土壤潜育化作用的化学过程。在判断土壤潜育化程度的13项诊断指标中,确立3项主组元作为土壤潜育化程度划分的诊断指标。运用遥感技术和实地调查,划分出轻度、中度和重度潜育化土壤空间分布范围和确定其分布的面积;并在大量调查和田间试验基础上,提出了适用于当地的潜育化土壤改良利用措施。

**关键词** 长江中游;土壤潜育化、沼泽化;改良利用

荆江南北湖区位于长江中游地区,地势低平,大小湖泊密布。南有我国最大的淡水湖——洞庭湖地区,北是湖北省的四湖地区,其总面积分别为18780平方公里和12120平方公里,是长江中游地区主要的蓄洪和分洪区<sup>[1-3]</sup>。该地区广泛分布潜育化沼泽化土壤,土壤抗逆能力较低,作物因渍害而稳产性较差。因此,改良利用潜育化土壤成为本地区提高生产力的一项极其重要任务。本文针对该地区土壤潜育化沼泽化机理、指标体系、分布及其综合改良利用进行研究和探讨。

## 1 土壤潜育化沼泽化的机理和指标体系

### 1.1 土壤潜育化沼泽化的机理

过去一般认为潜育化、沼泽化过程是以铁的还原作用为主的化学过程,随着研究的深入,至今已认识到此过程是一个由生物化学过程和化学过程相互联系,相互影响的复杂的成土过程。土壤潜育化的必要条件是有充分水分和丰富有机质,有机质易分解部分在淹水条件下被微生物厌氧分解,土壤中大量氧消耗,形成土壤强还原条件,在还原条件下有机质分解产生有机和无机还原物质及一系列中间产物。其中间产物(包括酸类、低分子量的碳水化合物、硫化物和酚类化合物等一系列物质)能影响土壤矿物如铁、锰的溶解和活化,也能与铁、锰等形成水溶性络合物。在铁、锰活化的同时,有 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的溶解和迁移及Ca、Mg和K等盐基离子的变化。并可能伴有粘粒的损失和可能产生的粘土矿物蚀变。但对土壤潜育化作用中铁的活化、还原、亚铁的形态变化等尚缺乏较为系统的研究。

我们采用模拟和田间试验,着重研究潜育化过程中铁的还原及其形态变化,深入探讨土壤潜育化的机理,并在此基础上提出一个适用于本地区土壤潜育化综合性的诊断指标,作为

\* 国家“八五”攻关课题“三峡库区与沿江地区环境与生态建设研究”部分成果。

评价其土壤的一项重要依据。

研究中采用模拟实验土样为四湖地区湖泊沼泽淀积土和江陵下蜀黄土。田间土样采集于洞庭湖地区的岳阳市和华容县，四湖地区的洪湖县和潜江县。实验和分析结果<sup>[4,5]</sup>表明：

(1)在淹水和添加有机物质或者含有机质量比较高的土壤中，氧化还原电位明显下降，甚至可达负值。从湖南省和湖北省4个地方测得土壤氧化还原电位数据来看，潜育化土壤的氧化还原电位明显低于脱潜土壤的氧化还原电位。4个地方所测得土壤剖面中潜育层(G层)的氧化还原电位都低于其他层次，也就是说，潜育层(G层)氧化还原电位最低。

(2)在淹水和添加有机物质或者含有机质量比较高的土壤中，活性还原物质的数量明显增加，并且潜育层(G层)含量相对最高，促进了铁的活化与还原，生成水溶态、交换态和沉淀态3种类型亚铁，其80%以上是沉淀态亚铁。

### 1.2 区分不同程度沼泽化潜育化土壤的指标体系

我们在模拟和田间采样分析结果基础上，通过对13项指标进行主组元分析和系统聚类法分析，得到各组元的特征值贡献率(表1)，其中特征贡献率大于10%的有3个主组元，第一主组元为活性还原物质，其贡献率为47.40%，这部分表示在淹水条件下有机质分解产生

表1 各组元的特征值贡献率

主组元	特征值贡献率 (%)	累积方差贡献 (%)
活性还原物质	47.4017	47.4017
沉淀态亚铁	17.4919	64.8936
氧化还原电位	14.4208	79.3144
活性铁	6.2436	85.5580
活化度	3.9604	89.5185
活性还原物质/有机质	3.1682	92.6867
沉淀铁亚铁/活性铁	2.6169	95.3036
络合度	1.8090	97.1126
潜育度	1.7366	98.8492
络合铁	0.6705	99.5196
活性锰	0.2872	99.8069
粘粒	0.1571	99.9640
沉淀态亚锰	0.0360	100.0000

还原物质，其中为高锰酸钾迅速氧化的部分称作活性还原物质，此值与氧化还原电位呈负相关。第二主组元为用硫酸铝提取的亚铁量，其贡献率为17.49%，其值与氧化还原电位呈负相关，与活性铁量呈正相关。第三主组元为氧化还原电位，其贡献率为14.42%，此值反映土壤氧化还原状况，与土壤中有机质含量和淹水状况密切相关。以上3个主组元累积方差贡献为79.31%，可以认为这三者已包括了原始变量中绝大部分信息。可以作为划分土壤潜育化程度的一项重要指标。根据这样的研究结果得出主要诊断指标(表2)。

表2 不同程度沼泽化潜育化土壤主要诊断指标

类型	活性还原物质 (mmolkg <sup>-1</sup> )	亚铁	Eh (mV)	地下水 离地表 (cm)	土色	土质
沼泽型	> 30	> 25	< 100	地表积水	黑青	粘重
重潜育型	7.0—30	5.0—25	100—300	< 40	黑青	粘重
中、轻度潜育型	1.0—7.0	0.5—5.0	300—500	50—80	灰褐	粘
潜育型	< 1.0	< 0.5	> 500	> 80	灰黄	粘壤 粉粘

## 2 土壤潜育化、沼泽化现状及其发展趋势

### 2.1 土壤潜育化、沼泽化现状

荆江南北湖区地势低平，大小湖泊众多，千百年来受长江泥沙影响而淤积和大面积围

垦, 湖泊面积不断缩小, 土壤潜育化和沼泽化现象十分严重。我们根据 1991 年 1 月份卫星磁带, 经计算机转绘成彩色图象(1/25 万), 然后在典型地段进行土壤调查核对, 并参考当地土壤普查成果图件, 编绘到相同比例尺的地形图上, 编绘成土壤类型现状图, 经量算并与典型地段相核实, 计算出土壤类型的面积(表 3)。沼泽化和潜育化土壤在四湖和洞庭湖地区约为 24.3 万公顷。

表 3 四湖、洞庭湖地区土壤类型分布  
(万公顷)

土 壤	四湖地区	洞庭湖地区	合计
沼泽土	3.4	5.0	8.4
潜育水稻土	10.5	5.4	15.9
脱潜育水稻土	15.2	10.5	25.7
潜育水稻土	6.2	62.4	68.6
渗育、侧渗水稻土	1.5	8.4	9.9
潮土	22.2	1.7	23.9
地带性土壤等	12.4	43.1	55.5

表 4 四湖、洞庭湖地区土壤沼泽—  
潜育化潜在威胁 (万公顷)

类 型	四湖地区	洞庭湖地区	合计
沼泽化潜在威胁	3.4	6.4	9.8
潜育化潜在威胁	25.2	36.3	61.5
重潜育化	10.8	4.4	15.2
中潜育化	10.0	14.3	24.3
轻潜育化	4.4	17.6	22.0
渍害潜在威胁*	18.7	42.6	61.3

\*包括中、轻潜育化威胁的土壤

## 2.2 土壤潜育化沼泽化的发展趋势

长江对四湖与洞庭湖地区的影响是极其深远的。三峡建坝后可以缓解荆江南北地区的洪水威胁, 减轻洞庭湖地区在盛水期洪涝灾害, 同时因夹带泥沙减少而减缓洞庭湖的淤积, 湘、资、沅、澧四水将更大的影响洞庭湖的演变, 涝渍灾害的威胁也将产生新的情况, 在冬春枯水期因长江流量的增加, 荆江、洞庭湖与支流水位不同程度的抬升, 一方面影响洞庭湖的排水, 另一方面引起地下水位的抬升顶托, 造成土壤潜层水位的抬升, 对土壤的沼泽—潜育化带来威胁, 对四湖地区因新滩口排水受阻, 影响四湖地区排除积水, 同时因荆江水位抬升造成侧向补给和承压压力传递影响地下水位抬升, 也影响土壤潜层水位的抬升, 威胁土壤沼泽—潜育化, 并将加剧冬作物渍害的威胁。根据“四水”对土壤影响特点, 在编制土壤图的基础上编制了土壤潜育化、沼泽化潜在威胁图, 据量算沼泽化潜在威胁面积 9.8 万公顷, 潜育化潜在威胁 61.5 万公顷(表 4)。

## 3 潜沼化土壤综合改良利用

上述资料表明, 长江中游地区, 特别是四湖和洞庭湖地区广泛分布潜沼化土壤。从目前来看, 改良潜沼化土壤, 治理渍害, 仅就单一的技术措施, 已经不能适应当地农业生产发展的需要, 建立综合改良利用的生产技术体系势在必行。

### 3.1 工程措施

渍害低产田或潜育化水稻土的改良, 首先要排除土壤积水, 降低地下水位, 以增加土壤的通透性, 降低土壤的还原性物质, 促进潜在养分的释放。因此开沟排水, 建立完善的排灌网络是达此目的的有效途径, 也是治渍的根本举措。以湖北省监利县新兴垸生态农业示范区的农田水利改造措施为例, 新兴垸生态农业示范区位于监利县城关西部, 1992 年开始对试区进行以农田水利建设为先导的综合治理, 区域范围包括新兴垸境内的农科村、姜老湾村、东湖渔场及其周围的 550 公顷面积。第一期工程投资 66.8 万元, 共挖大小渠道 28 条, 总长 3.5 公里, 渡槽 6 处, 涵管 60 处, 涵闸 2 处, 泵站 2 座, 植树 3 万树株。6 条东西向干渠将试区分成庭院经济带、优质稻带、水生生物带和水产品开发带四块。第二期工程完善渠网水系建设, 平整农田 70 公顷, 植树 1.8 万株, 使试区生态景观进一步改善, 取得了明显的经

济、生态和社会效益。

### 3.2 生物措施

如上所述, 工程措施是治渍的根本, 但由于条件的限制, 目前难以实现配套工程, 因而改为以生物措施为主, 结合工程措施进行综合性改良利用, 才是治渍改土的切实可行的方案。

#### 3.2.1 优化农业结构, 建立合理的湿地农业生态系统

长江中游湿地农田土壤按潜育化程度大致可分为轻中重3种类型, 针对不同类型湿地土壤的特点, 因地制宜, 优化农业结构。

##### 3.2.1.1 重潜育化土壤: 采用以下4种优化模式

(1)退田还湖(塘): 将低湖田改挖鱼塘, 不仅可以增加内湖的调蓄能力, 还由于退田还湖(塘)后, 改种粮食为养鱼或其它特种养殖, 可以极大地提高经济效益, 有助于生态系统的良性循环。在湖北小港农场的试验表明, 将7377亩低湖田退田还湖或改挖鱼塘后, 1993年收获鲜鱼2220吨, 平均亩产301公斤, 其产值约1505元, 纯收入达904.60元/亩; 而习惯种植双季稻两季800公斤/亩, 其产值为560元/亩, 纯收入407元/亩。养鱼的收入为二季稻的2.2倍。若发展特种养殖如牛蛙、河蟹、甲鱼等收入更丰。

(2)发展水生经济植物: 种植莲藕、席草等, 经济效益也是相当高的。在湖南华容护城的试验结果表明, 在低湖田上轮种莲藕一晚稻, 5.2亩试验地可收莲藕13000公斤, 亩平均2500元; 晚稻550公斤/亩, 亩平均385元, 全年平均每亩总收入为2885元; 若以习惯种植和一季或二季稻亩产460-750公斤, 折合平均每亩322-525元, 则藕一稻的收入为单季水稻的5.5-9倍。席草一稻的收入虽不及莲藕一稻丰厚, 但也是一季稻收入的2倍, 双季稻的1.3倍。

(3)垄稻沟鱼: 在潜育性稻田中, 开沟之垄, 垄上种稻, 沟中养鱼。据在湖北省监利县桥市试验表明, 1992和1993年, 垄稻沟鱼每年纯收入分别为1391.2元和1500.4元/亩, 而对照田(只种中稻)纯收入分别为163.6元/亩和296.6元/亩, 垄稻沟鱼的收入是只种一季稻的8.5倍和5倍, 经济效益十分显著。

(4)稻(R)—鱼(F)—鸭(D)模式: 在低洼稻田四周开深沟养鱼, 同时稻田养鸭。据在湖北省潜江市老新镇连续三年的结果(表5)表明, 其经济效益较种稻高出2.67倍。各种处理的经济效益顺序是RFD > RF > RD > R, 以稻—鱼—鸭共栖的生态体系的经济效益最好。

表5 稻—鱼—鸭模式的经济效益\*

处理	产量(kg/亩)			经济效益(元/亩)		
	水稻	鲜鱼	鸭蛋	产值	成本	纯收入
RFD	462	73.9	22.5	664.8	167.6	497.2
RF	444	63.2		519.0	162.6	356.4
RD	470		22.3	370.2	137.0	233.2
R	431			258.0	122.4	135.6

\*R—水稻; F—鱼; D—鸭。

3.2.1.2 中等潜育化土壤: 这类稻田以改制改土为宜, 变传统的稻—稻为水旱轮作, 如麦—稻、豆—稻、油—稻—稻等。在洪湖小港农场的试验结果, 改制之初虽除油—稻—稻的产值

稍高于二季稻外,其余均低于二季稻的总收入;但是,水改旱后地下水可下降60cm左右,从不同轮作试验地的土壤含水量结果表明,双季稻田含水量为70.2%,而小麦一水稻田则为57.6%,双季稻田的含水量为水旱轮作的1.22倍。由此可见,水旱轮作是综合治理、改良潜育化土壤的一项重要措施。

**3.2.1.3 轻度潜育化土壤:**这类土壤所处地势较高,排水条件良好,一般为高产区,良好的轮作方式是高产的关键。1992—1993年在湖北省监利县桥市的轮作试验结果(表6)表明,肥(绿肥)一稻的经济效益最差,但产出/投入比值较高,而麦一瓜一稻模式无论是经济效益和产出/投入比都最高,年纯收入达千元以上。

表6 各种轮作制度经济效益的比较

轮作制度	产量(kg/亩)					经济效益(元/亩)			产出/投入
	紫云英	油菜	水稻	小麦	西瓜	产值	成本	纯收入	
肥一稻	500		550			410	71	339	5.8
肥一稻一稻	500		820			634	115	519	5.5
油一稻		85	584			528	87	441	6.1
油一稻一稻		65	798			650	143	507	4.5
麦一稻			500	250		513	102	411	5.0
麦一瓜一稻			550	250	3000	1448	210	1238	6.9

### 3.2.2 选用耐潜稻种组合

在当地选用的优良品种的基础上,我们先后在洪湖和监利引进了早香稻和单季香粳稻二个优良的水稻品种均获成功,其中早香稻穗大质优,比常规早稻增产15.7—20%。单季香粳稻产量可达449—500kg/亩,增幅平均为25%左右。

### 3.2.3 增肥改土

我们分别在荆江南北的洞庭湖地区和江汉平原开展了配方施肥和肥效函数试验,提出适合本地区合理施肥配比(NPK)和经济施肥原则。不仅提高了产量,而且将整个施肥过程都置于严格的科学管理之下,显著地提高了产/投比和经济效益,有利于改土培肥。

### 参 考 文 献

- [1] 席承藩等,长江流域土壤与生态环境建设,科学出版社,1994,108—121.
- [2] 濮培民等,三峡工程与长江中游湖泊洼地环境,科学出版社,1994,20—79.
- [3] 董元华等,长江中游土壤潜沼化现状及其利用,长江流域资源与环境,1993,2(2):119—124.
- [4] 潘淑贞,不同潜育化土壤还原物质的变化,土壤通报,1996,27(4):158—161.
- [5] Pan Shusheng, Characterization of gleyization of paddy soils in the middle reaches of the Yangtze River. Pedosphere, 1996, 6(2): 111—119.