

任 云,关 欣,李巧云. 农业地质因素对农用地分等定级的影响——以湖南省为例[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):266-270.

农业地质因素对农用地分等定级的影响 ——以湖南省为例

任 云¹,关 欣¹,李巧云²

(1. 湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙 410128; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院,湖南长沙 410128)

摘要:探讨了地下水水位与基准作物产量之间的关系及其对农用地分等定级的影响,同时根据勘察地球化学和农业地质研究工作中积累的大量土壤有益元素、有害元素含量资料,探讨与农用地分等定级相关的土壤质量标准。

关键词:土壤;潜育化;农用地;分等定级;元素

中图分类号:F301.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)05-0266-05

湖南省位于长江中游,湖泊洼地分布广泛,其中河网密集,地势低洼,地下水位高,垌田土壤潜育化、沼泽化严重,经常导致农作物泽害,对农业生产有很大的影响。由于在原有的农用地分等定级中没有重视南方土壤潜育化问题,因此南方地区农用地等级与实际相差较大。另外,根据在湖南省境内勘察的地球化学资料可知,土壤中重金属元素含量超过正常值的土地约有 2.8 万 km²,土壤有害元素的增加不仅会影响农作物的生长,而且会通过食物链毒害人畜健康;而含有有益元素及良好质地的土壤类型则会成为优势作物和名优农作物的产地,这些都应该反映到农用地分等定级中去。

1 洞庭湖区农用地土壤潜育化对土壤质量及农业生产的影响

1.1 洞庭湖区土壤潜育化现状

洞庭湖湖区河湖众多,水面宽广,地下水丰富,潜水位高。在潜水面以下,土壤空隙全部充水,处于还原状态,高价铁锰还原,形成青灰色的潜育层——青泥层,称为土壤潜育化。除此之外,湖区长期推行双季稻—绿肥轮作制,水稻土的耕作层和犁底层处于充水和过湿状态,常形成与地下潜水无直接联系的高位青泥层,称为次生潜育化。

湖区潜育化水稻土主要有青紫潮泥和青黄潮泥,面积 8.2 万 hm²,约占水稻土总面积的 16.9%,次生潜育化水稻土在湖区称为青隔紫潮泥和青隔黄潮泥,约占水稻土总面积的 43.1%。潜育化和次生潜育化水稻土面积之和占湖区水田面积的 60%。以湖南省华容、湘阴 2 县为例,平原湖区 38%~49%的耕地、41%~78%的水田均发生了不同程度的泽害。华容县常年受灾面积达 4 万 hm²,占耕地面积的 70%,其中重灾面积和中灾面积所占比例为 80%~90%;湘阴县常年受灾面积达 3.3 万 hm²,占耕地的 80%,其中 90%为重灾和中灾。该地区泽涝灾害常常发生在每年 3—5 月,以 4 月尤为严重

(主要是对夏作物而言),当降水量在这 3 个月中累计超过 300 mm 时,土壤便会产生泽害;超过 400 mm 时,便会产生严重泽害^[1-5]。

1.2 地下水位与作物生长和产量的关系

1.2.1 地下水位与水稻产量的关系 有资料表明,地下水位的高度除了会直接影响水稻的株高、根长、鲜质量等指标外,还会影响其对养分的吸收能力,最终影响水稻的产量,尤其在不施肥的情况下更为突出(表 1、表 2)。

表 1 不同地下水位对水稻植株生长的影响

测定时间 (年-月-日)	地下水位 (cm)	株高 (cm)	密积层 根长 (cm)	10 株 鲜质量 (g)	10 株 根质量 (g)	叶梢速 效磷含量 (mg/kg)
1977-06-08	34	35	5	38	18	80
	63	45	7	64	34	100
1977-06-20	39	50	6	61	19	40
	64	60	7	97	23	80

表 2 地下水位对水稻产量的影响

潜育化类型	地下水位 (cm)	单季稻产量 (kg/hm ²)	比 1972 年增产 (%)
重	<30	6 330	100
中	18~50	7 125	113
轻	40~50	6 750 *	107 *

注: * 表示插秧迟的产量。

1.2.2 地下水位对旱作物的影响 地下水位对旱作物如小麦、油菜和大豆的产量影响很大,小麦、油菜、大豆在脱潜育化土壤上能获得高产,但在重潜育化土壤中种旱作物会导致减产,甚至颗粒无收。模拟地下水位试验时,在 4.67 m² 的水泥地里池内填入不同厚度的土层,人为造成不同高度的地下水位,然后种上大豆和油菜。结果(表 3)表明,地下水位对大豆和油菜的产量影响很大,大豆的生物产量和籽粒产量随地下水位升高而明显降低。地下水位高于田面 20 cm 且不低于田面 100 cm 的小区减产 98%,地下水位平田面的小区减产 83%~98%,地下水位高的小区比地下水位低的小区减产 38%~54%。由于泽害,随处可见泽死的油菜,导致油菜提前 20 d 收获,产量受到严重影响。

收稿日期:2013-12-09

作者简介:任 云(1989—),男,湖南汨罗人,硕士研究生,主要从事土地资源利用与管理研究。E-mail:416485693@qq.com。

通信作者:李巧云,博士,副教授,硕士生导师,主要从事景观生态学。E-mail:1065596897@qq.com。

表 3 地下水位对旱作物的影响

地下水位 (m)	大豆生物产量(kg/hm ²)			大豆籽粒产量(kg/hm ²)			油菜籽产量 (kg/hm ²)
	重复 I	重复 II	平均	重复 I	重复 II	平均	
20	175	150	165	25	5	15	450
0	300	400	350	100	50	75	500
-30	1 500	950	1 225	350	550	450	975
-60	2 000	1 650	1 825	550	600	575	750
-100	2 250	1 800	2 025	700	650	675	725

1.3 土壤潜育化指标的提出

通过以往土壤潜育化的研究,对潜育化土壤中 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 4)。

其中特征值贡献率大于 10% 的有 3 个主组元,第一主组元为活性还原物质浓度,其贡献率为 47.40%。在淹水条件下有机质分解产生还原物质,其中能为高锰酸钾迅速氧化的部分称作活性还原物质,该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%,该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(Eh),其贡献率为 14.42%,此值反映土壤氧化还原状况,与土壤中的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 5)。

表 4 土壤潜育化指标主组元特征值贡献率

主组元	特征值贡献率 (%)	累积方差贡献 (%)
活性还原物质	47.401 7	47.401 7
沉淀态亚铁	17.491 9	64.893 6
氧化还原电位	14.420 8	79.314 4
活性铁	6.243 6	85.588 0
活化度	3.960 4	89.518 5
活性还原物质/有机质	3.168 2	92.686 7
沉淀态亚铁/活性铁	2.616 9	95.303 6
络合度	1.809 0	97.112 6
潜育度	1.736 6	98.849 2
络合铁	0.670 5	99.519 6
活性锰	0.287 2	99.806 9
黏粒	0.157 1	99.964 0
沉淀态亚锰	0.036 0	100.000 0

表 5 区分不同潜育化类型土壤的指标体系

类型	活性还原物质浓度 (cmol/kg)	亚铁量 (cmol/kg)	氧化还原电位 (mV)	地下水离地表 (cm)	土色	土质
沼泽型	>3.0	>2.5	<100	地表积水	青黑	黏重
重潜育型	0.7~3.0	0.5~2.5	100~300	<40	青黑	黏重
中、轻潜育型	0.1~0.7	0.05~0.5	300~500	50~80	灰褐	黏
脱潜育型	<0.1	<0.05	>500	>85	灰黄	黏壤粉黏

2 土壤元素对土壤质量的影响

2.1 农作物与土壤中化学元素的关系

农作物的产量和品质与许多因素有关,一般除与品种、耕作方式、管理技术和气候条件有关外,还与土壤环境状况和质量密切相关,尤其是与土壤化学元素的含量及其有效形态关系极为密切。由国内外研究结果可知,对作物生长发育和增产起显著作用的元素有 N、P、K、S、Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo、V、Ti、Mg、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Y、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu,对作物生长发育和增产有一定作用的元素有 Ga、Co、Ni、F、Tl、Si、Na,对作物生长发育和增产有害的元素有 Cr、Pb、Cd、Hg、Se、Ba、Te、Ta。

目前已知的化学元素有 112 种,植物体内有 70 多种,与植物生长发育有关的有 44 种,元素对植物生长发育的作用主要表现在以下 3 个方面:一是植物细胞的结构组成部分;二是作为植物生命活动的调节者参与酶的活动;三是起化学作用即离子浓度平衡、胶体的稳定和电荷的中和作用等。以往的研究已证实农作物生长发育与元素有密切联系,例如 Zn 是植物 200 多种酶的组成元素,参与叶绿素和生长素的合成,在磷

代谢和碳水化合物代谢中,Zn 起重要作用,它能促使核酸和蛋白质的合成,调节淀粉的合成,提高籽实量和籽粒质量。江西省农业科学院耕作所 1975—1988 年进行了 139 个点的水稻施 Zn 肥试验,其中 97 个点增产;Cd 对作物的毒害作用很大,含有 Cd 的废水排入农田能使秧苗枯死,即使成活,作物吸收、积累的 Cd 在粮食内,人吃了会中毒。日本的相关研究结果表明,一般情况下,土壤中 Cd 含量为 0.5~10 μg/g 时,大米中的 Cd 含量为 0.05~0.1 μg/g。

2.2 土壤中有益元素及其组合与优势作物

众所周知,香米是大米中的珍品,被誉为“一亩稻花香千里,一家煮饭万家香”,通过对香米和非香米的比较发现,香米香味浓,外观品质好,垩白面积小,垩白粒率低,蛋白质含量较高,食味好。

在湖南江永源口乡黄土坳、黔阳深度乡花洋溪、永顺颗砂乡桂溶坪有香米田 13.33、6.67、1.33 hm²。通过研究发现,香米田和非香米田在小气候、土壤、土层结构等方面均相同,香米田有“出水”,“出水”蔓延范围就是香米田,“出水”四周是最佳香米田。因此,对香米田起重要作用的是一种特殊水文地质条件下形成的“出水”,对“出水”进行分析后发现其中含

有多种微量元素,其中 Zn、Ca、S、La、V、Ti、Cr、Sr 等较当地非
香米田灌溉水含量高(表 6)。微肥田间试验结果进一步表

明,施用 La、V、Co 等可以明显降低稻米垩白面积和垩白颗
粒,并能提高稻米香味。

表 6 湖南江永源口乡黄土坳香米田中“出水”与非香米灌溉水元素含量

水源	元素含量(mg/kg)							
	Zn	Ca	S	La	V	Ti	Cr	Sr
香米田“出水”	0.05	11.20	1.15	0.001 60	0.020 0	0.004 0	0.011 0	0.028 8
非香米灌溉水	0	3.10	0.25	0.000 33	0.007 6	0.002 9	0.005 7	0.017 6

2.3 农作物受到土壤有害元素影响状况

近年来,随着湖南省有色金属采矿业规模的不断扩大和
众多以个人和集体的小型矿藏的非法开采,违规作业及废水
废渣的随意排放,土壤受到不同程度的污染。根据勘察地球
化学资料的整理,超过土壤正常值的重金属元素、有毒元素和
放射性元素对土壤造成的污染面积有 2.8 万 km²,约占全省
面积的 15%。其中,以郴州市最为严重,郴州是湖南“有色金
属之乡”,采选有色金属引起 Pb、As、Cd、Hg 等污染的土地面
积达 2 250 km²,以上 4 种元素含量在该片土地上分别超过土
壤正常值 148、25、19、4 倍。土壤受到有色金属元素的污染,
不仅使粮食作物和其他作物的产量明显下降,并不同程度地
存在品质问题,而且影响到该区域内的水源。当地群众长期
饮用受到污染的地下水、河水,食用受到污染的粮食、蔬菜、水
果,致使地方病流行,其中包括由多种重金属在人体中积累所
导致的各种疾病。

2.4 土壤地球化学质量标准等级的初步拟定

2.4.1 现有我国土壤环境质量等级的划分 我国土壤环境
质量标准以土壤应用功能分区,土地保护为目标,考虑土壤
的主要性质,把土壤环境质量划分为 3 类:Ⅰ类主要适用于国家
规定的自然保护区(原有背景重金属含量高除外),集中式生
活饮用水源地、茶园、牧场和其他保护地区的土壤,土壤质量
基本保护在自然背景水平;Ⅱ类主要适用于一般农田、蔬菜
地、茶园、果园、牧场等土壤,土壤质量基本上保持在对植物
和环境不造成危害和污染;Ⅲ类主要适用于林地土壤及污染
物容量较大的高背景值土壤和矿产附近等地的农田土壤(蔬菜
地除外),土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染。
上述 3 类土壤分别执行三级标准:一级标准为保护区域自然
生态、维持自然背景的土壤环境质量的限制值;二级标准为保
障农业生产、维护人体健康的土壤限制值;三级标准为保障农
林生产和植物正常生长的土壤临界值(表 7)。

表 7 土壤环境质量标准值

级别	土壤 pH 值	元素标准含量 (mg/kg)										
		镉	汞	砷		铜		铅	铬		锌	镍
				水田	旱地	农田等	果园		水田	旱地		
一级	自然	≤0.20	≤0.15	≤15	≤15	35	—	≤35	≤90	≤90	≤100	≤40
二级	<6.5	≤0.30	≤0.30	≤30	≤40	50	≤150	≤250	≤250	≤150	≤200	≤40
	6.5 ~ 7.5	≤0.60	≤0.50	≤25	≤30	100	≤200	≤300	≤300	≤200	≤250	≤50
	>7.5	≤1.00	≤1.0	≤20	≤25	100	≤200	≤350	≤350	≤250	≤300	≤60
三级	>6.5		≤1.5	≤30	≤40	400	≤400	≤500	≤400	≤300	≤500	≤200

注:重金属铬(主要是三价离子)和砷均按元素量计,适用于阳离子交换量>5 cmol/kg 的土壤,若≤5 cmol/kg,其标准值为表内数值的一
半;对于水旱轮作地的土壤环境质量标准,砷采用水田值,铬采用旱地值。

2.4.2 土壤污染程度评价 以国家土壤环境质量标准中二
级标准值作为评价标准,计算 8 种重金属元素 Cd、Hg、As、Cr、
Cu、Ni、Pb、Zn 的单项污染指数以及尼梅罗综合污染指数,结
果发现其符合污染指数(也简称为 CPI 值),累乘指数,再根
据指数值由低到高依次划分为清洁(非污染)、轻度污染、中
度污染和重污染^[6]。

2.4.3 对土壤环境质量等级的补充 在自然土壤中适宜的有
益元素含量及其组合会产生富有当地特色的优势作物和名优
农产品^[7]。例如,在小气候、耕作方式、同等品种等相同条件
下,其土壤类型及其有益元素含量及组合决定江永县源口乡
的香米、优质柑橘等产品的名优特性。因此,在对农用地分等定
级过程中应该充分考虑土壤中有益元素对农用地等级的影响。

3 在农用地分等中运用

3.1 原有土地自然质量因素及权重计算农用地自然质量分
本次外业调查获得七宝山河沿岸、江永源口、华容垸田基

本资料,结果见表 8。

依据《农用地分等规程》中农用地分等评价指标及其分
级的相关规定,对七宝山河沿岸、江永源口、岳阳华容垸田相
关资料进行打分,结果见表 9。

根据《农用地分等规程》全国各区自然质量因素及权重
得出长江中下游区土地自然质量选取因素及权重(表 10)。

3.2 新土地自然质量因素及权重计算农用地自然质量分

此次研究除上述土地自然因素外,还补充收集了七宝山
河沿岸土壤污染状况、江永源口优质土壤对农业生产的影响
以及华容垸田土壤潜育化状况^[8]。

3.2.1 七宝山河沿岸 河流沿岸土壤 pH 值为 8.1,镉含量
为 0.97 mg/kg。该区域土壤按照表 7,土壤环境质量地球化
学标准值相关规定执行二级标准,判定七宝山河沿岸土壤为
重污染,给出的分数为 10 分。该地区基本上无土壤潜育化和
富有当地特色的优势农作物和名优农产品^[9]。因此,在土壤
潜育化程度和有益元素这 2 项给出的分数为 95、0 分。

表 8 外业资料统计结果

指标区域	有效土层厚度	表层土层质地	剖面构型	土壤有机质含量	土壤 pH 值	障碍层深度	排水条件	地形坡度	灌溉保证率	地表岩石露头情况
七宝山河沿岸	二级: 135 cm	黏土	—	二级: 3.7%	二级: 8.1	—	—	水田作为平地处理	二级: 基本满足	一级: 岩石露头率 2.0% 不影响耕作
江永源口	二级: 142 cm	壤土	—	二级: 3.8%	一级: 6.5	—	—	水田作为平地处理	二级: 基本满足	一级: 岩石露头率 1.8% 不影响耕作
华容垸田	—	黏土	均质质地剖面构型; 通体壤	二级: 3.4%	二级: 5.8	一级: 71 cm	二级: 排水系统基本健全, 丰水年暴雨后有短期洪涝发生 (田面积水为 1~2 d)	—	一级: 充分满足	—

表 9 3 个指标区域得分情况

指标区域	得分(分)									
	有效土层厚度	表层土层质地	有机质含量	土壤酸碱度	地形坡度	灌溉保证率	地表岩石露头情况	剖面构型	障碍层深度	排水条件
七宝山河沿岸	75	70	73	80	95	70	75	—	—	—
江永源口	78	80	85	75	95	70	80	—	—	—
华容垸田	—	70	70	80	—	85	—	75	80	70

表 10 土地自然质量因素及权重

指标区域	权重									
	有效土层厚度	表层土层质地	剖面构型	土壤有机质含量	土壤酸碱度	障碍层次	排水条件	地形坡度	灌溉保证率	地表岩石露头情况
山地丘陵地区	0.29	0.08	—	0.06	0.06	—	—	0.26	0.15	0.1
平原区	—	0.14	0.18	0.09	0.07	0.05	0.2	—	0.27	—

采用加权平均法计算出七宝山河沿岸、江永源口、华容垸田三地的农用地自然质量分数,结果见表 11。

3.2.2 江永源口 江永源口产的香米在市场上价格高,具有一定品牌效益,深受广大消费者喜爱,根据香米与普通大米价格上的差异和一定的比例关系,给出江永源口在土壤有益元素对农业生产影响这一因素的单项分数,为 98 分。此外,该地区基本上没有重金属污染的土壤与潜育化土壤,因此土壤污染状况和潜育化程度分别为 98、95 分。

3.2.3 华容垸田 土壤潜育化相关数据如下,活性还原物质为 0.62 mol/kg,亚铁含量为 0.47 mol/kg, Eh 值为 460 mV,地下水离地表深度为 56 cm,土色为灰褐色,土质为黏质^[10]。从

表 5 区分不同潜育化类型土壤的指标体系中可以得出华容垸田土壤潜育化类型为中潜育型,依据脱潜育型(80,100]、轻潜育型(60,80]、中潜育型(40,60]、重潜育型(20,40]、沼泽型[0,20]的记分规则,给出华容垸田在土壤潜育化程度上的单项得分为 46 分。另外,华容垸田没有发现重金属污染和富有当地特色的优势农作物和名优农产品,所以给出的土壤污染状况和有益土壤元素的分数分别为 95、10 分。

此次研究针对湖南省农用地特点,在原有土地自然质量因素的基础上添加了有益土壤元素、土壤污染状况、潜育化程度 3 项因素指标,并依据特尔菲法制定出湖南省土地自然质量选取因素及权重(表 12)。

表 11 指标区域自然质量综合得分

指标区域	得分(分)										自然质量综合得分
	有效土层厚度	表层土层质地	有机质含量	土壤酸碱度	地形坡度	灌溉保证率	地表岩石露头情况	剖面构型	障碍层深度	排水条件	
七宝山河沿岸	21.75	5.6	4.38	4.8	24.7	10.50	7.5	—	—	—	79.23
江永源口	22.62	6.4	4.50	5.1	24.7	10.50	8.0	—	—	—	81.82
华容垸田	—	5.6	6.30	5.6	—	22.95	—	13.5	4	14	71.95

表 12 湖南省土地自然质量选取因素及权重

指标区域	权重												
	有效土层厚度	表层土层质地	土壤有机质含量	土壤酸碱度	地形坡度	灌溉保证率	地表岩石露头情况	剖面结构	障碍层深度	排水条件	有益土壤元素	土壤污染状况	潜育化程度
丘陵山地区	0.22	0.08	0.06	0.06	0.18	0.12	0.06	—	—	—	0.1	0.08	0.04
平原区	—	0.12	0.08	0.06	—	0.18	—	0.14	0.04	0.08	0.1	0.08	0.12

运用湖南省土地自然因素及其权重表重新对湖南省浏阳市七宝山河沿岸、江永源口、华容垸田农用地进行农用地

分等自然质量打分(表 13)。

表 13 指标区域新自然质量综合得分

指标区域	得分(分)													自然质量 综合得分 (分)
	有效土层厚度	表层土层质地	有机质含量	土壤酸碱度	地形坡度	灌溉保证率	地表岩石露头情况	剖面结构	障碍层深度	排水条件	有益土壤元素	土壤污染状况	潜育化程度	
七宝山河沿岸	16.50	5.6	4.38	4.8	17.1	8.4	4.5	—	—	—	0	0.80	3.80	65.88
江永源口	17.16	6.4	5.10	4.5	17.0	8.4	4.8	—	—	—	9.8	7.84	3.80	84.90
华容垸田	—	8.4	5.60	4.8	—	15.3	—	10.5	3.2	5.6	1.0	7.60	5.52	67.52

3.3 结果比较

浏阳市七宝山河沿岸自然质量因土壤污染由原来的 79.23 分下降至 65.88 分,降幅达到 16.85%;江永源口由于当地土壤含有有益微量元素能生长出香米,土地自然质量综合得分由 81.82 分上升至 84.90 分,上升幅度为 3.76%;华容垸田受地质条件影响,农用地潜育化严重,自然质量综合得分从 71.95 分下降到 67.52 分,降幅为 6.16%。

农用地自然质量分数的变化进而相应的引起农用地等划分的变化,使得新的农用地等级与原有农业地等级成果出现差异,新的农用地自然质量综合得分的确定所选取的数据更加详细,符合湖南农用地分等的客观要求,使农用地等级与实

际情况相吻合。

4 小结

通过实地调查获取当地资料,研究地下水位变化与农作物产量关系、土壤污染对农作物的影响和对人畜的影响、土壤中有益微量元素与区内优势作物的关系。确定地下水位、土壤污染、土壤中有益元素对土地质量的影响程度,在传统的农用地质量因素分等技术中添加农业地质因素(图 1、图 2),使之能较为全面地鉴定土壤和农用地质量,完善农用地分等定级体系和估价标准。

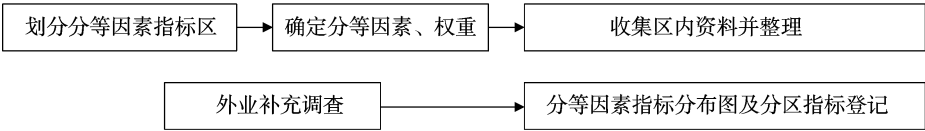


图1 传统的农用地质量因素分等技术路线

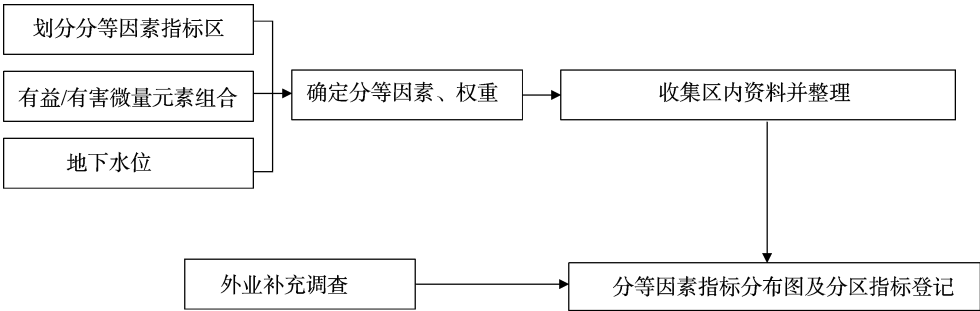


图2 增加农业地质因素后农用地质量因素分等技术路线

参考文献:

[1]潘淑贞. 长江中游不同潜育化土壤诊断指标探讨[J]. 长江流域资源与环境,1997,6(2):60-67.

[2]赵美芝,邓友军,马毅杰. 长江中游潜沼化土壤的限制因子及其对策研究[J]. 长江流域资源与环境,1997,6(1):19-24.

[3]马毅杰,陆彦椿,赵美芝,等. 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[J]. 土壤,1997(1):1-5.

[4]董元华,李伟波,徐 琪. 长江中游土壤潜沼化现状及其利用[J]. 长江流域资源与环境,1993(2):119-124.

[5]董元华,徐 琪. 土壤潜育化作用的特点及其研究进展[J]. 土

壤学进展,1990,6(1):9-14.

[6]周国华,秦绪文,董岩翔. 土壤环境质量的制定原则与方法[J]. 地质通报,2005,24(8):721-727.

[7]何忠俊,梁社往,洪常青,等. 土壤环境质量标准研究现状及展望[J]. 云南农业大学学报,2004,19(6):700-704.

[8]曾昭华. 农业生态的化学元素分类及其与作物优质高产的关系[J]. 湖南地质,2001,20(4):277-283.

[9]曾昭华. 农业生态与土壤中化学元素关系的研究[J]. 中国生态农业学报,2002,10(1):41-43.

[10]奚小环. 土壤污染地球化学标准及等级划分问题探讨[J]. 物探与化探,2006,30(6):471-474.