

海涂围垦区土壤质量综合评价的指标体系研究^①

姚荣江^{1,2}, 杨劲松^{1,2*}, 曲长凤¹, 张建兵¹, 李芙蓉¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院南京分院东台滩涂研究院, 江苏东台 224200)

摘要:以苏北海涂围垦区为研究区域,选取与作物生长密切相关的理化性质为指标,采用模糊数学方法对土壤质量状况进行了定量评价,获取了区域土壤质量状况分布图,并对不同指标体系下的评价结果进行了比较分析。结果表明:研究区土壤质量状况总体较差,有机质是重要的土壤质量评价因子,土壤盐分与地下水矿化度是土壤质量的主要限制因子;不同评价方案获得的土壤质量状况具有空间相似性,西部棉花种植区土壤质量状况总体优于东部的水稻种植区;体积质量对土壤质量评价差异影响较小,速效养分对土壤质量评价影响较大,基于速效养分的土壤质量评价精度高于全量养分;在其他因素获取困难的情况下,采用土壤有机质、速效养分和盐分或仅采用土壤有机质和盐分作为评价指标亦能较好地反映土壤质量状况。该研究可为海涂围垦区土壤质量快速评价指标体系的构建、中低产地的科学改良和管理提供一定理论依据。

关键词:海涂围垦区; 土壤质量; 综合评价; 指标体系

中图分类号: S158.3

苏北地区海涂资源十分丰富,在江苏省近千公里的海岸线上,苏北沿海拥有占全国 1/4 的滩涂面积,是非常重要的后备土地资源^[1-2]。苏北海涂土壤资源的围垦开发利用历史悠久,为发展江苏沿海经济、缓解人口增长压力、保持耕地动态平衡等方面作出了重要贡献。目前来看,土壤质量偏低依然是制约苏北海涂土壤开发利用的一个主要障碍因子,开展土壤质量调查与评估对实现该区土壤资源的高效可持续利用及现代化管理具有重要意义。

20 世纪 90 年代以来,土壤质量问题逐渐成为国际研究热点,在土壤质量评价指标体系和评价方法方面开展了大量的研究工作。国外学者结合农业的持续利用和土壤持续管理提出了多种指标体系^[3-5]。我国在该领域的系统研究起步较晚,国内学者初步建立了针对几种类型地区的评价指标体系^[6-9],包括土壤物理、化学和生物学 3 大类 20 多个指标^[10-11],但研究重点主要集中在红壤、潮土、黑土和水稻土上^[12-14],对滨海滩涂区的关注较少,且目前的研究中往往采用的指标过多,指标获取难度大,实际可操作性较差,影响了土壤质量的评价。本研究以苏北海涂围垦区为

研究区域,以与作物生长密切相关的理化性质为评价指标对土壤质量状况进行了定量评价,并对不同指标体系下的评价结果进行了比较分析,旨在揭示不同评价指标对评价结果的影响效应,探讨滨海滩涂区简便快速准确评价土壤质量的指标体系的构建。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域为江苏省大丰市金海农场,地理位置介于 $32^{\circ}59' \sim 33^{\circ}1'N$ 、 $120^{\circ}49' \sim 120^{\circ}51'E$,总面积 167 hm^2 ,东距黄海约 4 km,西临大丰麋鹿国家级自然保护区,于 1999 年进行围垦。该区地处北亚热带季风气候区,具有明显的过渡性、海洋性和季风性,四季分明,降水量主要集中在 6—8 月份的雨季。由于当地缺乏蓄水工程,雨季水量丰富但不能调蓄,非雨季淡水资源紧缺,农田灌溉一般采用当地微咸水。土壤主要发育于海相沉积物,土壤质地以砂壤土为主,且整个研究区域内土壤质地变化不明显。研究区域东部的种植制度主要为“水稻-小麦”轮作,西部则是“棉花-大麦”的一年两熟制,当季主要种植棉花和水稻。

* 基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)、国家自然科学基金项目(41101199)、江苏省自然科学基金项目(BK2011423)、江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2011195)和江苏省科技支撑计划项目(BE2010313)资助。

* 通讯作者(jsyang@issas.ac.cn)

作者简介:姚荣江(1980—),男,江苏靖江人,博士,助理研究员,主要从事水土资源空间变异与溶质运移研究。E-mail: rjyao@issas.ac.cn

1.2 样品采集与分析

在研究区范围内布设采样点，采样点位置与数量的确定综合考虑当地土质、植被类型、种植制度等因素，共选取 60 个代表性样点，其中水稻地 25 个，棉花地 29 个，盐蒿、杂草地 6 个，各采样点空间位置如图 1 所示。每个样点剖面均对 0~20 cm 耕作层进行采样，为保证样品的代表性，各样点均在中心点和相邻的 3 个角采集土样并混合，共计采集 60 个混合土样。待样品采集完成后，在中心点位置对每个样点进行剖面挖掘，由于滨海滩涂区地下水埋深较浅，每个剖面都挖到地下水流出，待水位稳定后测量地下水埋深并采集水样，同时进行表土层体积质量测量的环刀采样。考虑到表层 0~5 cm 土壤受外界扰动较大，本文以 5~10 cm 土壤体积质量作为表土层体积质量。各采样点的相对坐标采用差分 GPS 定位技术确定，样品采集于 2007 年 10 月下旬进行，水稻已收割完毕，正处于棉铃吐絮期的晚期(拔秆期)。

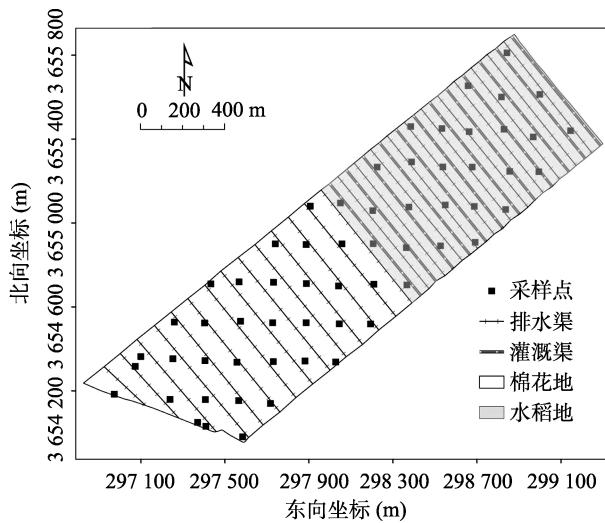


图 1 采样点位置空间分布图
Fig. 1 Spatial distribution of sampling sites

室内分析测试项目包括有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾、土壤盐分和地下水矿化度。土壤有机质测定采用重铬酸钾稀释热法；全氮测定采用半微量开氏法；碱解氮测定采用碱解扩散法；速效磷测定采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法；速效钾测定采用 1 mol/L 中性醋酸铵浸提-火焰光度法。土壤盐分和地下水矿化度的测定采用常规分析法^[15]。

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

表 1 列出了各土壤质量指标的统计值。从平均值来看，有机质、全氮和碱解氮分别为 10.90 g/kg、0.60 g/kg 和 43.91 mg/kg，含量总体偏低，速效磷和速效钾分别为 13.72 mg/kg 和 191.69 mg/kg，总体相对丰富；按全国第二次土壤普查的土壤养分分级标准^[16]，研究区有机质含量总体适量，全氮和碱解氮处于贫乏，速效磷和速效钾较丰富。此外，土壤含盐量均值为 2.22 g/kg，已达到中度盐化土标准；土壤体积质量均值亦较大，达 1.37 g/cm³(肥沃的耕层土壤体积质量一般在 1.0 g/cm³左右)，说明该区域土壤呈现一定的紧实趋势；地下水矿化度和埋深的均值分别为 9.18 g/L 和 1.24 m，矿化度较高且埋深较浅，这也是滨海滩涂区域较为显著的地下水特征。各指标的变异系数介于 5.83%~58.21%，其中体积质量变异系数最小，地下水矿化度变异系数最大。总体上，研究区域土壤质量状况不容乐观；就肥力状况而言，研究区域土壤磷素和钾素相对富余，有机质和氮素偏低，氮素亏缺较为严重，尤其是碱解氮，考虑到滨海滩涂区域多为砂质土壤，保肥供肥性能较差，因而应加强土壤培肥以提高有机质含量，并按照少量多次的方法，针对作物需要及时补充土壤氮素养分。

表 1 土壤质量评价指标的统计特征值
Table 1 Descriptive eigenvalues of evaluation indices of soil quality

土壤指标	最小值	最大值	平均值	中位值	标准差	变异系数(%)	偏度	峰度
SOM(g/kg)	4.44	19.46	10.90	10.56	3.34	30.67	0.48	-0.27
TN(g/kg)	0.34	1.09	0.60	0.59	0.18	30.18	0.87	0.63
AN(mg/kg)	21.28	88.41	43.91	42.57	12.89	29.36	0.75	1.10
AP(mg/kg)	8.10	22.96	13.72	13.07	3.17	23.14	0.87	0.87
AK(mg/kg)	115.49	300.06	191.69	188.35	44.65	23.29	0.56	-0.11
TDS(g/kg)	0.65	6.86	2.22	2.06	1.17	52.82	1.52	3.19
BD(g/cm ³)	1.17	1.56	1.37	1.36	0.08	5.83	0.28	0.48
GM(g/L)	1.57	29.90	9.18	7.44	5.34	58.21	1.16	1.18
GD(m)	0.50	1.65	1.24	1.30	0.24	19.33	-1.17	1.41

注：SOM 表示土壤有机质，TN 表示全氮，AN 表示碱解氮，AP 表示速效磷，AK 表示速效钾，TDS 表示全盐含量，BD 表示体积质量，GM 表示地下水矿化度，GD 表示地下水埋深，下同。

各评价指标间 Pearson 相关系数见表 2。有机质与全氮、碱解氮、速效磷的相关系数分别为 0.529、0.411 和 0.312，均达到 $P < 0.05$ 的显著水平($n = 60$, $r_{0.05} = 0.250$)，其中与全氮、碱解氮的相关系数达到 $P < 0.01$ 的显著水平($n = 60$, $r_{0.01} = 0.325$)；此外，有机质与土壤盐分、体积质量均呈显著负相关性，且与地下水矿化度的负相关性达到极显著水平。这表明有机质是重要的土壤质量评价因子。

土壤盐分和地下水矿化度均与有机质呈显著负相关性，与速效钾呈极显著相关性，说明土壤盐分与地下水矿化度是土壤质量的主要限制因子。土壤盐分与地下水矿化度相关性亦极显著，事实上，滨海地区浅地下水埋深与高地下水矿化度导致地下水中可溶性盐分与土壤盐分存在着关联性，因此可以认为地下水矿化度主要通过土壤盐分进而影响土壤质量。

表 2 各评价指标间的 Pearson 相关系数矩阵 ($n = 60$)
Table 2 Pearson correlation matrix of evaluation indices

土壤指标	SOM (g/kg)	TN (g/kg)	AN (mg/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	TDS (g/kg)	BD (g/cm ³)	GM (g/L)	GD (m)
SOM(g/kg)	1								
TN(g/kg)	0.529**	1							
AN(mg/kg)	0.411**	0.091	1						
AP(mg/kg)	0.312*	0.150	0.193	1					
AK(mg/kg)	-0.167	-0.204	0.053	0.137	1				
TDS(g/kg)	-0.281*	-0.340**	-0.093	0.036	0.707**	1			
BD(g/cm ³)	-0.255*	-0.020	-0.153	-0.185	0.079	-0.006	1		
GM(g/L)	-0.500**	-0.224	-0.128	-0.044	0.536**	0.706**	0.063	1	
GD(m)	-0.171	-0.277*	0.061	0.010	-0.110	-0.118	-0.014	-0.074	1

注：* 表示相关性达到 $P < 0.05$ 显著水平，** 表示相关性达到 $P < 0.01$ 显著水平。

2.2 评价过程与方法

2.2.1 评价方案的设计 根据上文相关系数分析结果，结合研究地区的实际情况，本文以全面评价(即所有指标均用于土壤质量评价)作为参考方案，并依据各指标对土壤质量的影响特点及其相关性设计了如下 7 种评价指标的选择方案：方案 1 采用有机质、养分、含盐量和地下水性质作为评价指标；方案 2 采用有机质、全量养分(全氮)、含盐量和地下水性质作为评价指标；方案 3 选择有机质、速效养分、含盐量和地下水性质作为评价指标；方案 4 采用有机质、全量养分(全氮)和含盐量作为评价指标；方案 5 选择有机质、速效养分和含盐量作为评价指标；方案 6 选择有机质、含盐量和地下水性质作为评价指标；方案 7 选择有机质和含盐量作为评价指标。

2.2.2 隶属函数的确定 土壤质量评价因素的等级指标采用模糊线性隶属函数来确定。首先建立各评价指标的隶属函数，计算其隶属度值 $f(x)$ ，以此来表示各项土壤指标的状态值。根据前人研究经验，综合考虑作物效应和滨海滩涂地区实际情况，本研究采用 2 种方法确定各指标的隶属函数：

(1) 戒上型隶属函数，即在一定范围内，评价指标的增长与作物生长呈正相关，而低于或超过这个范围，指标变化对土壤的生产力影响很小。属于这种类型的评价指标包括有机质、全氮、碱解氮、速效磷、

速效钾和地下水埋深。其隶属函数的解析式为：

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < a_1 \\ 0.9(x - a_1)/(a_2 - a_1) + 0.1 & a_1 \leqslant x < a_2 \\ 1.0 & x \geqslant a_2 \end{cases}$$

(2) 戒下型隶属函数，属于这类函数的评价指标包括土壤含盐量、体积质量和地下水矿化度。事实上，该类指标对作物生长均有一个最佳范围，在此范围之外，偏离程度越大，对作物的影响越不利；这类指标实际与作物生长呈抛物线关系，往往需要先确定最佳适宜区间。由于滨海滩涂区域土壤盐分和地下水矿化度较高、土壤结构性较差，一般已超过最佳阈值，因而采用戒下型隶属函数，其函数为：

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x < a_1 \\ 0.9(a_2 - x)/(a_2 - a_1) + 0.1 & a_1 \leqslant x < a_2 \\ 0.1 & x \geqslant a_2 \end{cases}$$

若根据上述隶属函数确定隶属度值，须先确定各评价指标的转折点 a_1 、 a_2 。结合已有相关文献和滨海滩涂地区种植制度、作物生长的实际情况，分别确定这两种隶属函数中转折点的相应取值，其中养分指标参考全国第二次土壤普查的分级标准，结果列于表 3。根据相应的隶属度函数和转折点取值，可计算各项土壤指标的隶属度值，这些值介于 0.1~1.0 之间。最大值表示土壤指标完全适宜作物生长，最低值取 0.1 是为了避免在计算中零值过多，且实际土壤中作

物并不是完全不能生长。

2.2.3 权重系数的确定 评价指标在土壤质量水平总体构成中的作用大小或者重要性 ,必须根据各个指标对土壤质量实际贡献率的大小来确定权重 ,以保证评价精度和评价结果的准确性。本文采用相关分析

法确定权重。相关分析法利用各指标间相关系数来确定权重系数。首先计算单项评价指标之间的相关系数 ,然后求评价指标之间相关系数的平均值 ,并以该平均值占所有评价指标相关系数平均值总和的比 ,作为该单项评价指标的权重^[17] ,计算结果见表 4。

表 3 隶属函数曲线中各评价指标转折点的取值
Table 3 Values of inflection point of each evaluation index in membership functions

转折点	SOM (g/kg)	TN (g/kg)	AN (mg/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	TDS (g/kg)	BD (g/cm ³)	GM (g/L)	GD (m)
a_1	8	0.65	50	4	40	1.5	1.25	3	0.8
a_2	35	1.75	135	30	175	4	1.45	8	1.5

表 4 不同方案的各评价指标权重系数
Table 4 Weighing values of soil evaluation indices for different schemes

土壤指标	参考方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7
SOM(g/kg)	0.177	0.178	0.230	0.190	0.352	0.245	0.257	0.500
TN(g/kg)	0.123	0.136	0.213		0.378			
AN(mg/kg)	0.08	0.077		0.097		0.157		
AP(mg/kg)	0.072	0.066		0.075		0.142		
AK(mg/kg)	0.134	0.144		0.176		0.223		
TDS(g/kg)	0.154	0.171	0.224	0.200	0.270	0.234	0.299	0.500
BD(g/cm ³)	0.052							
GM(g/L)	0.153	0.166	0.234	0.205		0.346		
GD(m)	0.056	0.062	0.099	0.056		0.098		

2.2.4 综合指标值的计算 土壤质量等级是根据各指标综合评价价值来确定的。综合指标值(IFI)的计算采用指数和法 ,即根据各指标的隶属度值和权重计算土壤质量的综合指标值 ,其计算公式为^[18] :

$$IFI = \sum_{i=1}^n f_i \times w_i$$

式中 , n 表示所有参评指标 ; f_i 和 w_i 分别表示第 i 种参评指标的隶属度值和权重系数。评价综合指标值构成了总的土壤质量水平得分值 ,它综合反映了该单元的土壤质量状况 ,是进行土壤质量等级划分的依据。考虑到滨海滩涂地区土壤质量的实际状况 ,按照主成分分析法计算出的综合评价指标值 ,将土壤质量划分为高($IFI > 0.6$)、中($0.4 \sim 0.6$)、低(< 0.4)3 级。

2.3 评价方案比较

各评价方案下研究区土壤质量的综合评价分级如图 2 所示。尽管根据不同评价方案得到的土壤质量分布差异明显 ,但其在空间上仍具有一定相似性。从图 2a 来看 ,研究区域土壤质量总体偏低 ,但西部棉花种植区土壤质量状况要优于东部的水稻种植区 ,原因在于水稻种植区采用大水漫灌 ,尽管漫灌可淋洗土壤盐分 ,但这导致地下水位抬升 ,再加上淹灌条件下土壤易沉实板结 ,孔隙度降低、体积质量增大 ,这

些都在一定程度上使土壤质量恶化。从局部来看 ,研究区域中间部位土壤质量最差 ,事实上 ,实地调查表明 ,该部位呈现地下水位浅、土壤盐分高、肥力差的特征。此外 ,图 2 的土壤质量综合评价也在一定程度上反映了肥力状况 ,考虑到传统施肥方式一般是凭经验平均施肥 ,忽略了土壤肥力在不同地块的差异性。因而 ,根据图 2 提供的土壤质量综合评价分级图可掌握围垦区范围内的土壤质量状况 ,为中低产地的精确施肥、障碍土壤的科学改良和管理提供一定的科学依据。

为进一步对各方案的评价精度进行定量评价 ,分别计算各评价方案与参考方案间的平均误差 ME、均方根误差 RMSE 和决定系数 R^2 ,结果见表 5。比较可知 ,各方案的偏差均较小 ,平均误差 ME 介于 -0.055 4 ~ 0.128 5 ,其中方案 4 的偏差最大 ,方案 1 偏差最小 ;各评价方案与参考方案的评价结果间均显著相关 ,决定系数 R^2 在 0.726 9 ~ 0.977 3 之间 ,亦表现为方案 1 最高 ,方案 4 最低。从反映评价精度的均方根误差 RMSE 来看 ,方案 4 的 RMSE 值最大 ,为 0.140 5 ,精度最低 ;方案 1 的 RMSE 值最小 ,仅 0.016 2 ,精度最高。从方案 1 可知 ,体积质量对土壤质量评价差异影响较小 ;由方案 1 与方案 2 的比较可知 ,方案 2 的评价误差明

显大于方案1, 表明速效养分对土壤质量评价影响较大; 将方案2和方案3、方案4和方案5进行比较, 方案3和方案5的评价精度均分别优于方案2和方案4,

说明基于速效养分的土壤质量评价精度高于全量养分; 进一步将方案2和方案4、方案3和方案5以及方案6和方案7进行比较可知, 方案2、方案3和方案6

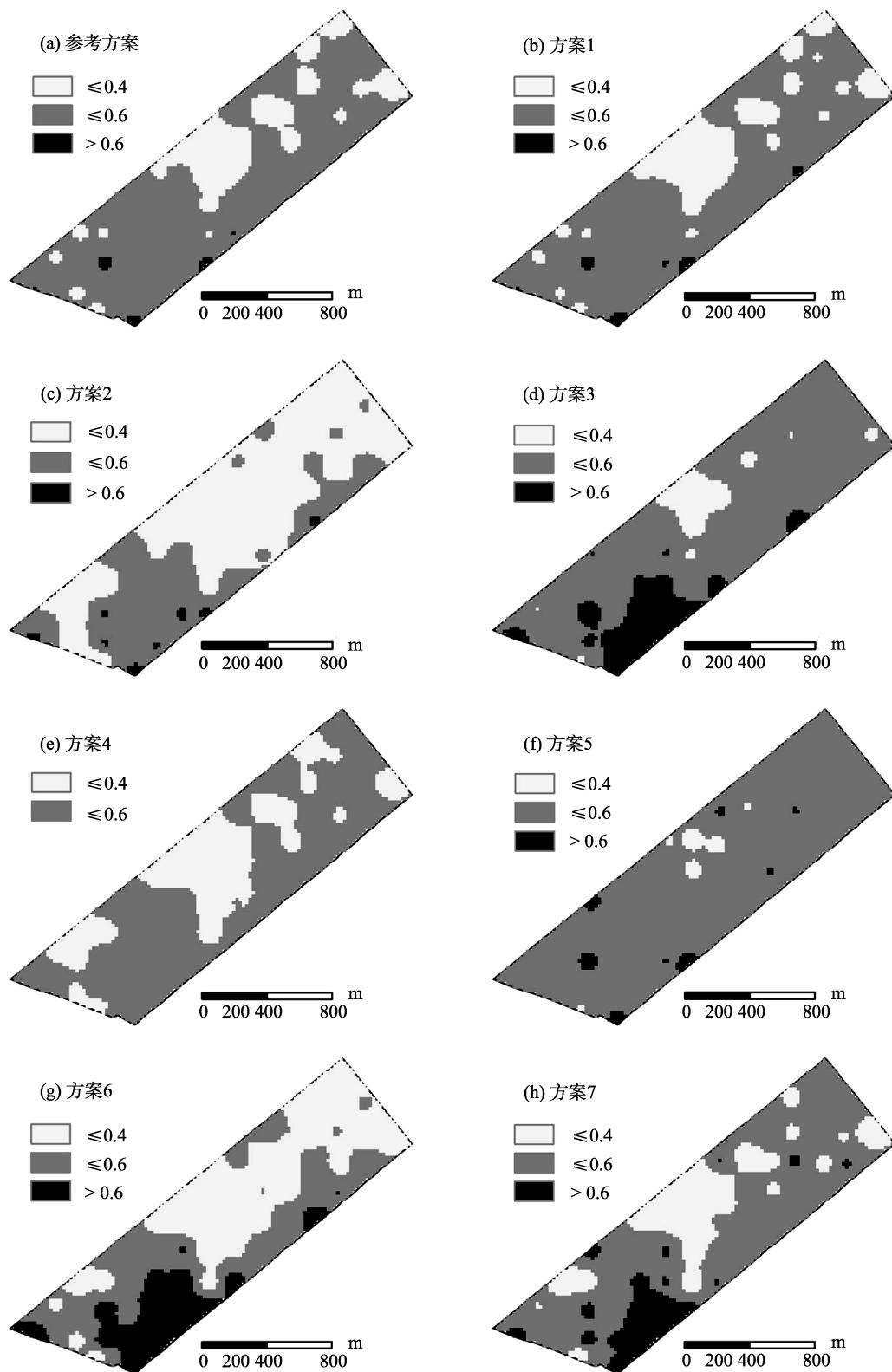


图2 不同方案的土壤质量评价分级图
Fig. 2 Classification maps of soil quality evaluated by different schemes

表 5 各评价方案间的评价精度比较
Table 5 Comparison of evaluation accuracy between different evaluation schemes

指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7
ME	-0.003 5	0.059 0	-0.055 4	0.128 5	-0.059 1	-0.010 4	-0.016 3
RMSE	0.016 2	0.082 1	0.062 8	0.140 5	0.075 6	0.088 3	0.092 1
R ²	0.977 3	0.933 7	0.961 8	0.726 9	0.764 1	0.899 8	0.781 5

的评价精度均分别优于方案 4、方案 5 和方案 7，表明地下水性质亦是土壤质量评价的重要因子。总体而言，各评价方案的精度顺序为：方案 1 > 方案 3 > 方案 5 > 方案 2 > 方案 6 > 方案 7 > 方案 4。综上所述，体积质量对土壤质量评价结果的影响较小，速效养分的影响明显大于全量养分，且地下水影响亦较大；事实上，尽管方案 6 优于方案 7，但精度差异较小，其原因在于滨海滩涂地区浅地下水埋深和高矿化度，导致土壤盐分与地下水要素密切关联，即土壤盐分也是地下水要素的综合反映。因此，在海涂围垦区土壤质量评价过程中，在土壤体积质量、地下水性质和全量养分等因素无法获取的情况下，可用土壤有机质、速效养分和土壤盐分评价土壤质量；此外，仅采用土壤盐分与有机质作为评价指标亦能较好地反映土壤质量状况。

3 结论

(1) 研究区土壤有机质含量总体适量，全氮和碱解氮较为贫乏，速效磷和速效钾相对丰富；土壤体积质量较大且平均含盐量达到中度盐化土标准，地下水呈矿化度较高、埋深较浅的特征；其中有机质是重要的土壤质量评价因子，土壤盐分与地下水矿化度是土壤质量的主要限制因子；研究区土壤质量状况总体不容乐观，氮素亏缺较为严重，应针对作物需要及时补充土壤氮素养分。

(2) 不同评价方案获得的土壤质量空间分布图具有相似性；总体上，研究区土壤质量偏低，但西部棉花种植区土壤质量状况要优于东部的水稻种植区；局部来看，研究区域中间部位土壤质量最差，植被覆盖度亦最低；获取的土壤质量综合分级图可为该地区中、低产地的精确施肥、障碍土壤的科学改良和管理提供参考依据。

(3) 体积质量对土壤质量评价差异影响较小，速效养分对土壤质量评价影响较大，地下水性质亦是土壤质量评价的重要因子，基于速效养分的土壤质量评价精度高于全量养分；各评价方案的精度顺序为：方案 1 > 方案 3 > 方案 5 > 方案 2 > 方案 6 > 方案 7 > 方案 4；在土壤体积质量、地下水性质和全量养分等因素获取困难的情况下，可仅采用土壤有机质、速效养

分和土壤盐分评价土壤质量，仅采用土壤盐分与有机质作为评价指标亦能较好地反映土壤质量状况。

参考文献：

- [1] 王芳, 朱跃华. 江苏省沿海滩涂资源开发模式及其适宜性评价[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 619–628
- [2] 王娟. 基于 GIS 的滩涂围垦管理信息系统—以江苏沿海为例[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(3): 1 603–1 605
- [3] Sant'Anna SAC, Fernandes MF, Ivo WMPM, Costa JLS. Evaluation of soil quality indicators in sugarcane management in sandy loam soil[J]. Pedosphere, 2009, 19(3): 312–322
- [4] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S, van Velthuizen HT, Verelst L, Wiberg D. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008)[J]. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy, 2008
- [5] Tormena CA, da Silva AP, Imhoff SDC, Dexter AR. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index[J]. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), 2008, 65(1): 103–118
- [6] 秦文展, 陈建宏. 平果铝矿高效复垦示范区土壤质量评价[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(3): 304–309
- [7] 陆凤娟, 邰菁菁. 上海绿色食品产地土壤环境质量评价[J]. 环境研究与监测, 2011(1): 57–61
- [8] 卓慕宁, 李定强, 朱照宇. 城乡结合部开发建设扰动土壤质量变化特征[J]. 土壤, 2008, 40(1): 61–65
- [9] 路鹏, 苏以荣, 牛铮, 吴金水. 土壤质量评价指标及其时空变异[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 190–194
- [10] 张雯雯, 李新举, 陈丽丽, 冯书林. 泰安市平原土地整理项目区土壤质量评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 106–109
- [11] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 朱永官. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 901–913
- [12] 王华, 黄宇, 阳柏苏, 黄璜, 张芬. 中亚热带红壤地区稻-稻-草轮作系统稻田土壤质量评价[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3 271–3 281
- [13] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 沈林林, 王芳, 钦绳武. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415–420
- [14] 李新举, 刘宁, 张雯雯, 王霖琳, 马小友. 黄河三角洲土

- 壤质量自动化评价及指标体系研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 145-148
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [17] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 余世鹏, 李晓明. 苏北海涂围垦区土壤质量模糊综合评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2 019-2 027
- [18] 张汪寿, 李晓秀, 黄文江, 李建辉, 任万平, 高中灵. 不同土地利用条件下土壤质量综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 311-318

Study on Synthetic Evaluation Index Systems of Soil Quality in Coastal Reclamation Region

YAO Rong-jiang^{1,2}, YANG Jing-song^{1,2*}, QU Chang-feng¹, ZHANG Jian-bing¹, LI Fu-rong¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Dongtai Institute of Tidal Flat Research, Nanjing Branch of the Chinese Academy of Sciences, Dongtai, Jiangsu 224200, China)

Abstract: Some soil physico-chemical properties relevant with crop growth were selected as the evaluation indices and then soil quality in typical coastal reclamation region in north Jiangsu Province was quantitatively assessed by using fuzzy mathematics. Synthetic evaluation maps of soil quality status were generated and the results of different evaluation index systems were further compared. Results indicated that soil quality across the study area was generally poor. Soil organic matter (SOM) was the most important evaluation factor of soil quality, while soil salinity and groundwater mineralization were the limiting factors of soil quality. Classification maps of soil quality evaluated by different schemes were quite similar in spatial patterns, and soil quality in cotton-growing field was superior to that in rice-growing field generally. Bulk density had an insignificant influence on evaluation results, which was contrary for available nutrients. The evaluation accuracy based on available nutrients was better than that based on total nutrients. Evaluation index systems including SOM, available nutrients and salinity or merely SOM and salinity could be used to evaluation soil quality when evaluation data were limited. The results can serve as a theoretical reference for the establishment of practical evaluation index systems, scientific amelioration and management of moderate-and-low-yield farmlands in coastal reclamation region.

Key words: Coastal reclamation region, Soil quality, Synthetic evaluation, Index system