

黄河三角洲滨海盐渍土区土壤质量综合评价

吕真真¹, 刘广明¹, 杨劲松^{1,2}, 刘洪强¹, 李金彪³

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 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; 3. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘 要: 以黄河三角洲滨海盐渍土区为研究区域, 选择对该区植物生长密切相关的 0~30 cm 土层土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、全盐含量、pH 值和粘粒含量作为土壤质量综合评价的评价指标, 应用模糊综合指数法计算土壤质量综合评价值, 对综合评价值进行克里格插值, 采用自然分段法划分等级, 并对土壤质量进行综合评价。结果表明: 土壤质量综合评价值介于 0.194~0.376 之间, 研究区土壤质量总体较差; 东北部沿海滩涂土壤质量最差, 随距海岸线距离的增大, 土壤质量综合评价指数逐渐增大, 呈环状分布, 分别在研究区西南部和西北角出现相对高值区; 质量最差的四、五级地面积分别为 804.60 km² 和 834.73 km², 总计占整个研究区面积的 51.46%, 主要为滩涂、光板地和盐荒地, 其特点是养分缺乏、土壤盐分含量高、土壤脱盐困难。合理利用该类型土地途径是改变土地利用方式, 如种植耐盐碱作物和发展海水养殖或兴建盐场等。对其它等级土壤也提出相应的改良利用措施。

关键词: 滨海盐渍土; 土壤质量; 模糊综合指数法; 综合评价; 黄河三角洲
中图分类号: S159.2 **文献标志码:** A

Synthetic evaluation of soil quality of the coastal saline soil in Yellow River Delta Area

LV Zhen-zhen¹, LIU Guang-ming¹, YANG Jin-song^{1,2}, LIU Hong-qiang¹, LI Jin-biao³

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China;
2. Dongtai Institute of Tidal Flat, Nanjing Branch of Chinese Academy of Sciences, Dongtai, Jiangsu 224200, China;
3. Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: To provide a comprehensive evaluation of soil quality, soil from coastal saline area in the Yellow River delta was used to examine soil organic matter, total nitrogen, alkaline hydrolysis nitrogen, available phosphorus, available potassium, total salt content, pH and clay content of 0~30 cm soil layer, which are relevant with plant growth in this area. The values of soil quality were measured by the method of fuzzy comprehensive index. Kriging interpolation method and natural breaks were additionally used for the comprehensive evaluation of soil quality. A soil quality classification was established through interpolation and natural breaks in ARCGIS. The result showed that: value of the soil quality comprehensive evaluation fell down to somewhere between 0.194 and 0.376, indicating that the soil quality in this area was generally poor. The soil quality in northeastern coastal shoal was the worst. With the increase of distance from the coastline, soil quality comprehensive evaluation value became increased, and the high values appeared in the southwest and northwest regions of the research area, suggesting a circular spatial distribution. According to the classification result, grades 4 and 5 were lowest in soil quality with areas of 804.60 km² and 834.73 km², respectively, accounting for 51.46% of the entire research region. In addition, this particular area included beach, bare land and salt wasteland, which have been characterized as deficiency in nutrients, high level of soil salt content and difficultness in soil desalinization. Making reasonable use of the soil might be a primary approach for its quality improvement, such as planting salt tolerant crops and developing aquaculture or constructing salt pond. Additional improvement measures should

收稿日期: 2015-03-31
基金项目: 公益性行业(海洋)科研专项经费项目(201105020); 江苏省科技支撑计划项目(BE2013357); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-359); 国家自然科学基金(41171181; 41171178)
作者简介: 吕真真(1987—), 女, 山东菏泽人, 博士研究生, 主要从事土壤盐渍化防控管理与盐渍土资源利用方面的研究。E-mail: zzlv@issas.ac.cn。
通信作者: 杨劲松(1959—), 男, 江苏靖江人, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业水土资源利用与管理研究。E-mail: jsyang@issas.ac.cn。

also be put forward to soil lands with other grade.

Keywords: coastal saline soil; soil quality; method of fuzzy comprehensive index; synthetic evaluation; Yellow River Delta

黄河三角洲是由黄河携带大量泥沙在入海口淤积而成的新生陆地,且继续每年携带大量泥沙入海,使得黄河三角洲向渤海推进,面积逐渐扩大,从而使黄河三角洲成为中国最大的河口三角洲,且是世界上土地面积自然增长最快的地区之一。黄河三角洲是我国非常重要的后备土地资源,但该地区属于退海之地且受河流和海洋等多种动力作用,致使该地区地下水埋深较浅^[1],矿化度较高,土壤质地以粉砂和细砂为主,毛管水作用强烈,地下水盐分易集聚地表,土壤盐渍化普遍存在^[2]。该地区地广人稀,广种薄收,土地利用效率极低。土壤盐分含量高^[3],肥力低下^[4]是制约黄河三角洲农业利用的障碍因子。土壤是不均一的时空连续体,其性质具有高度空间异质性,因此,十分有必要开展黄河三角洲地区土壤质量调查与综合评价研究,这对高效利用该区土地资源、提高土壤生产力具有重要意义。

影响土壤质量的属性很多,如土壤的理化性状^[5-6]、生物学性质^[7],但不同地区主要控制因素不同,本研究建立针对滨海盐渍土区的土壤质量评价指标体系,对黄河三角洲土壤质量评价。目前,土壤质量综合评价方法国内外尚没有统一的标准^[8],主要方法有:综合指数法^[9]、模糊综合评价法^[10-11]和灰色关联分析法^[12]、主成分分析综合得分法^[13]。本研究以影响土壤质量的主要理化性质为评价指标,将 GIS 与模糊数学方法相结合,对黄河三角洲滨海盐渍土区土壤质量状况进行综合评价与分级评定,旨在提高黄河三角洲滨海盐渍土区土地利用效率和土地生产力,为土壤生态系统的保护与恢复重建提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区域覆盖面积为 3 186 km²,位于黄河三角洲东营境内,包括河口区大部、利津县东北部及垦利县北部,主要为现代黄河三角洲。该区属于北温带大陆性季风型气候,年均降水量为 530 ~ 630 mm,主要集中在 7—8 月份,占全年降水量的 70%^[14];蒸发量大于降雨量,具有较大蒸降比。由于黄河多次改道和决口,使研究区微地貌复杂多样,岗地、坡地、洼地相间排列。研究区地表水系发达,黄河是其主要灌溉水源,也是地下水的主要补给源。地下水均为咸水、微咸水或卤水,矿化度较高,海水浸渍严重^[15],致使研究区土壤盐渍化较严重,滨海潮盐土

分布广泛。土壤盐渍化类型以硫酸盐—氯化物型和氯化物型为主,整体属于滨海氯化物盐渍化土类型,盐分离子组成以氯离子为主^[16]。

1.2 材料与方法

于 2011 年 7 月在研究区选取不同土地利用方式,不同地貌类型的样地进行土壤样品采集。在所选取样地随机选取 3 点进行 0 ~ 30 cm 土层混合采样,用 GPS 记录采样点经纬度信息,对采样点周围地形地貌、植被类型、植被覆盖度等要素进行描述,并收集当地的灌溉方式、灌溉制度、管理模式等信息,采样点分布见图 1,采集样品带回实验室进行自然风干,研磨过筛。

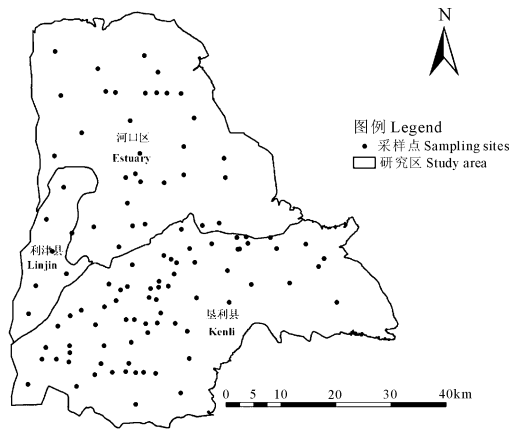


图 1 采样点分布图

Fig.1 Locations of soil sampling points

室内分析测试项目包括土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、土壤盐分和土壤颗粒组成。土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化外加热法;全氮采用半微量开氏法;碱解氮采用碱解扩散法;有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用中性醋酸铵浸提—火焰光度法;土壤盐分含量采用离子总和法,Ca²⁺、Mg²⁺用 EDTA 络合滴定法测定,K⁺、Na⁺用火焰光度法测定;HCO₃⁻、CO₃²⁻用双指示剂滴定法测定;Cl⁻用标准 AgNO₃ 滴定法测定;SO₄²⁻用 EDTA 络合滴定法测定;土壤 pH 值采用电位法;土壤颗粒组成采用比重计法测定,按照国际制划分标准^[17]。

2 结果与分析

2.1 各项指标统计特征值

土壤盐分变异较大,属于强变异程度,最大值高达 1%,属于盐土范畴,均值为 0.118%,属于轻度盐

渍化土,盐渍土划分标准根据滨海土壤盐碱化的分级标准^[18];从土壤酸碱状况来看,土壤 pH 范围为 8.54~9.87,土壤呈现碱性特征;按照全国第二次土壤普查养分分级标准对各土壤养分分级,土壤碱解氮和全氮属于很缺乏和极缺乏状态,平均处于很缺

乏水平,有效磷平均处于中等水平,土壤速效钾属于中等和缺乏水平,平均属于中等水平,土壤有机质处于缺乏以下水平,平均处于很缺乏水平。根据国际制土壤质地划分标准,研究区土壤质地多属于粉砂壤土和砂壤土。

表 1 土壤质量评价指标的统计特征值
Table 1 Statistical feature values of soil quality evaluation indexes

土壤指标 Soil indexes	极差 Range	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 Std. D	偏度系数 Skewness	峰度系数 Kurtosis	变异系数 C. V/%
a	9.525	9.620	0.095	1.118	1.715	3.180	11.490	153.350
b	1.330	9.870	8.540	9.130	0.290	0.750	0.360	3.140
c	48.000	64.000	15.000	47.000	12.000	-0.750	-0.510	26.740
d	20.300	24.300	4.000	12.800	5.600	0.030	-1.380	44.090
e	62.000	146.000	83.000	113.000	16.000	-0.160	-0.700	14.110
f	10.590	14.720	4.120	8.980	2.160	0.340	0.980	24.090
g	0.450	0.680	0.230	0.530	0.110	-1.040	1.010	19.770
h	33.700	37.500	3.800	17.300	8.500	0.810	0.340	49.060

注:a 为全盐(g·kg⁻¹),b 为 pH,c 为碱解氮(mg·kg⁻¹),d 为有效磷(mg·kg⁻¹),e 为速效钾(mg·kg⁻¹),f 为有机质(g·kg⁻¹),g 为全氮(g·kg⁻¹),h 为粘粒含量(%),以下相同。

Note: a: salt content (g·kg⁻¹), b: pH, c: alkalytic nitrogen (mg·kg⁻¹), d: available phosphorus (mg·kg⁻¹), e: readily available potassium (mg·kg⁻¹), f: organic matter (g·kg⁻¹), g: total nitrogen (g·kg⁻¹), and h: clay content (%), and hereinafter.

2.2 土壤质量单项指标等级划分和指标值的计算

进行土壤肥力评价首先要对各评价因素的优劣进行分析研究。土壤属性具有空间变异性,对土壤质量的影响也处在动态变化中,因此,对各评价指标应进行模糊性评价。本研究通过建立土壤属性与生产功能之间的隶属度函数,其隶属度值表明各指标在土壤中的状态,通过隶属度值来体现各评价指标的优劣即对土壤功能影响的贡献率,同时实现评价指标量纲归一化,使评价指标间具有可比性。由于土壤因子变化具有连续性,故各评价指标采用连续性质的隶属度函数。土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾为 S 型,pH、土壤全盐、物理性粘粒含量为抛物线型^[19],并将曲线函数转化为折线函数以利于计算。

S 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关系,若低于或超过此范围,指标变化对土壤生产力影响则很小。属于该类型的评价指标包括碱解氮、速效磷、速效钾、有机质、全氮。其隶属函数的解析式为:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

抛物线型隶属函数、土壤含盐量、土壤粘粒含量则属于此类函数。实际上,该类指标对作物生长均有一个最佳的范围,在此范围之外,偏离程度越大,

对作物的生长越不利,这类指标与作物生长呈现出抛物线的变化关系,需要先确定指标对作物生长的最适宜区间,其隶属函数的解析式为:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 - 0.9(x - x_3)/(x_4 - x_3) & x_3 < x \leq x_4 \\ 0.1 & x_2 < x \leq x_3 \\ 1.0 + 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) & x_1 < x \leq x_2 \\ 0.1 & x \leq x_1 \text{ 或 } x > x_4 \end{cases}$$

综合前人的研究结果^[20-21]并结合黄河三角洲作物生长的实际情况确定隶属函数的临界值(表 2 和 3)。根据上述公式可计算出各项评价指标的隶属度,该值大小在 0.1~1.0 之间。

2.3 土壤质量指标权重确定

主成分分析法把人的主观判断用数量方式表达和处理,实现了定性分析和定量分析相结合,解决了评价模型中确定权重的问题。

表 2 S 型隶属度函数曲线转折点
Table 2 Values of turning point in S-type membership function

临界值 Threshold	c	d	e	f	g
x ₁	50	4	40	8	0.65
x ₂	135	30	175	35	1.75

主成分分析把一些错综复杂的成分归结为几个综合因子,求出各个评价指标主成分的特征值和贡献率(表 4),然后计算相应的载荷矩阵,并求出各项指标的公因子方差,方差的大小表示该项指标对总体

变异的贡献,由此可以得出各项指标的权重(表 5)。

表 3 抛物线型隶属度函数曲线转折点

Table 3 Values of turning point in parabola-type membership function

临界值 Threshold	a	b	h
x_1	0.5	5.5	20
x_2	1.0	7.5	40
x_3	1.5	8.5	60
x_4	4.0	9.5	80

表 4 主成分特征根和贡献率

Table 4 Eigenvalues and variance contributions of the principal components

主成分 Component	相关矩阵的特征值 Initial eigenvalues			提取因子载荷的平方和 Extraction sums of squared loadings		
	特征值 Eigenvalues	各成分解释方差占总方差的百分比/% % of Variance	累计方差百分比 Cumulative/%	特征值 Eigenvalues	贡献率 Rate of variance/%	累计贡献率 Cumulative rate/%
1	3.266	40.829	40.829	3.266	40.829	40.829
2	1.690	21.129	61.958	1.690	21.129	61.958
3	1.071	13.394	75.351	1.071	13.394	75.351
4	0.918	11.477	86.828	0.918	11.477	86.828
5	0.570	7.128	93.956			
6	0.405	5.062	99.018			
7	0.060	0.747	99.765			
8	0.019	0.235	100.000			

注:1-8 编码分别为第一至第八主成分。 Note: Code1-8 is the first to eighth principal component respectively.

表 5 土壤质量评价指标公因子方差和权重

Table 5 Communnality and weights of evaluation index for soli quality evaluation

土壤指标 Soil indexes	公因子方差 Communnality	权重 Weights
a	0.789	0.114
b	0.879	0.127
c	0.783	0.113
d	0.776	0.112
e	0.834	0.120
f	0.941	0.135
g	0.965	0.139
h	0.979	0.141

评价综合指标值即土壤质量水平总的得分值,它综合反映了土壤质量状况,是进行土壤质量等级划分的依据。按照综合评价指标值,参照前人划分标准^[20]将土壤质量划分为高($IQI > 0.7$)、中($0.5 \sim 0.7$)、低(< 0.5)3 级。根据上述数学模型计算各采样点的土壤质量综合评价值,并对土壤质量综合评价进行半方差函数拟合,进行克里格插值,采用地理信息系统中的自然分段法(Natural Breaks)把黄河三角洲研究区域土壤质量状况划分成 5 个等级,获得研究区域土壤质量综合评价图 2,并进行各等级面积统计见表 6。

2.4 土壤质量综合评价

土壤质量等级根据各指标综合评价价值来确定。综合指标值(IQI)的计算采用指数和法,根据各指标的隶属度值和权重,计算土壤评价指标的综合指标值,其计算公式:

$$IQI = \sum_1^n W_i' \times N_i$$

式中, n 表示所有参评指标; N_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。

从土壤质量综合评价图中(图 2)可以看出,研究区域土壤质量综合评价值介于 0.194 ~ 0.376 之间,按照前述分级标准均属于低级,土壤质量总体水平低下。

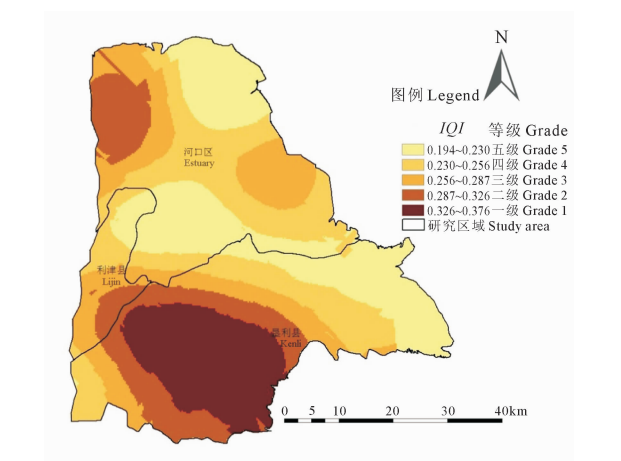


图 2 黄河三角洲研究区土壤质量综合评价图
Fig.2 Soil quality classification map in the Yellow River Delta

从图 2 和表 6 可以看出,研究区域面积最大的是难以利用的四、五等地,面积分别为 804.60 km² 和 834.73 km², 占研究区域面积的 25.26% 和 26.20%,总计占总面积的 51.46%。该类型地主要分布在研究区东北部沿海滩涂,这部分土地土壤有

机质、全氮和碱解氮含量较低,均处于很缺乏和缺乏状态^[4],含盐量较高,大部分高于 4 g·kg⁻¹^[22],属于重度盐渍化土或盐土,土壤盐渍化程度较高。并且该区域,地下水埋深较浅平均低于 1 m,地下水矿化度较高,平均高于 10 g·L⁻¹^[23],土壤脱盐过程较弱。该区域土地大多为滩涂、光板地和盐荒地,农业生产利用较为困难,可以改变土地利用方式,进行种植耐盐碱经济植物,如盐地碱蓬、怪柳等;在沿海滩涂发展海水养殖或建立盐场。随距海岸线距离的增大,土壤质量综合评价指数逐渐增大,呈环状分布,分别

在研究区西南部和西北角出现相对高值区,属于一、二等地。该区域引黄灌溉便利,人口居住集中,农业生产较为发达。经过多年农业围垦,使得该区土壤质量较其它地区稍高,但是由于灌排不当,导致地下水位抬升,地下水盐分蒸发积聚土体,该类地区应当成为黄河三角洲重点改良利用土地。应完善排灌措施,合理进行排灌,促进土壤的淋盐、排盐降低土壤盐分含量,并控制土壤次生盐渍化,合理施肥并增加有机肥投入,提高土壤肥力。

表 6 不同土壤质量等级面积统计
Table 6 Statistics in areas with different soil quality grades

等级 Grades	一级 Grade 1	二级 Grade 2	三级 Grade 3	四级 Grade 4	五级 Grade 5
面积 Area/km ²	480.67	482.33	583.42	804.60	834.73
百分比 Percent/%	15.09	15.14	18.31	25.26	26.20

3 结 论

本文以与作物生长密切相关的土壤理化性质包括土壤养分,土壤盐分及土壤质地特征为评价指标,采用 ArcGIS 与模糊数学方法相结合的方法进行黄河三角洲滨海盐渍土区土壤质量综合评价。研究结果表明:(1) 由土壤质量综合评价值得出黄河三角洲滨海盐渍土区土壤质量极其低下,应当引起足够重视。(2) 应用土壤质量综合评价值得进行克里格插值,把黄河三角洲研究区域土壤状况划分成 5 个等级,并对主要等级土壤提出相应的改良利用措施。期望此次土壤质量调查与评价,能为今后黄河三角洲滨海盐渍土区的土地资源合理规划、改良和可持续利用提供依据。

参 考 文 献:

[1] 荣丽杉,刘高焕,束龙仓,等.黄河三角洲地下水生态水位埋深研究[J].水电能源科学,2010,28(6):92-95.
[2] 范晓梅,刘高焕,唐志鹏,等.黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J].水土保持学报,2010,24(1):139-144.
[3] Lv Z Z, Liu G M, Yang J S, et al. Spatial variability of soil salinity in Bohai Sea coastal wetlands, China: Partition into four management zones[J]. Plant Biosystems, 2013, 147(4):1201-1210.
[4] 吕真真,刘广明,杨劲松,等.环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局[J].土壤学报,2014,51(5):944-952.
[5] 贡璐,张雪妮,吕光辉,等.塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价[J].资源科学,2012,34(1):120-127.
[6] 姚国征,丁国栋,臧荫桐,等.基于判别、因子分析的采煤沉陷风沙区土壤质量评价[J].农业工程学报,2012,28(7):200-207.
[7] 张子龙,王文全,缪作清,等.主成分分析在三七连作土壤质量综合评价中的应用[J].生态学杂志,2013,32(6):1636-1644.
[8] Stocking M A. Tropical soils and food security: the next 50 years[J]. Science, 2003, 302(5649):1356-1359.
[9] 王秀萍,张国新,鲁雪林,等.河北沿海区耕地土壤质量综合评

价[J].中国农学通报,2013,(30):136-142.
[10] 姚荣江,杨劲松,陈小兵,等.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):2019-2027.
[11] Liu Z, Zhou W, Shen J, et al. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity[J]. Biol Fertil Soils, 2014, 50(3):537-548.
[12] 张磊,苏芳莉,郭成久,等.灰色关联分析在不同生态修复模式土壤质量评价中的应用[J].沈阳农业大学学报,2009,(6):703-707.
[13] 王恒旭,胡永华,王文成,等.主成分分析在杞县大蒜种植区土壤质量评价中的应用[J].中国农学通报,2006,(8):297-301.
[14] 赵延茂,宋朝枢.黄河三角洲自然保护区科学考察集[M].北京:中国林业出版社,1995:13.
[15] Shi C X, Zhang D. Processes and mechanisms of dynamic channel adjustment to delta progradation: the case of the mouth channel of the Yellow River, China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2003, 28(6):609-624.
[16] 刘庆生,刘高焕,薛凯,等.近代及现代黄河三角洲不同尺度地貌单元土壤盐渍化特征浅析[J].中国农学通报,2006,11(22):353-359.
[17] 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,1999:87-282.
[18] 朱庭芸,何守成.滨海盐渍土的改良和利用[M].北京:中国农业出版社,1985:1-11.
[19] Larson W E, Pierce F J. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Madison, Wisconsin: Soil Society of America Special Publication, 1994:37-51.
[20] 姚荣江,杨劲松,曲长风,等.海涂围垦区土壤质量综合评价的指标体系研究[J].土壤,2013,45(1):159-165.
[21] 张同娟,杨劲松,刘广明,等.长江河口地区土壤肥力质量综合评价研究—以启东市为例[J].土壤通报,2011,42(3):513-517.
[22] Lv Z Z, Liu G M, Yang J S, et al. Spatial variability of soil salinity in Bohai Sea coastal wetlands, China: Partition into four management zones[J]. Plant Biosystems, 2013, 147(4):1201-1210.
[23] 赵军.黄河三角洲(东营)土地资源空间格局及其优化配置研究[D].北京:中国科学院,2009.