

海涂高位养殖系统中盐份变化特征与脱盐趋势预测*

陈铭达¹ 赵耕毛¹ 刘兆普^{1†} 隆小华¹ 罗以筛² 徐抒涵³

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 大丰市南京农业大学试验基地, 江苏大丰 224145)

(3 如东县土地局, 江苏如东 226400)

摘要 1992 年开始围田围蓄养殖, 对海涂大面积引咸蓄淡高位养殖系统中池水和底泥盐份变化进行了动态研究。由 1996 年至 2005 年的测定结果表明: (1) 以 NaCl 型高矿化河水 ($> 3.5 \text{ g L}^{-1}$) 为抽提补充池塘水源, 同时雨季池塘大面积围蓄降水, 池塘水体盐份浓度由 3.67 g L^{-1} 下降至 2.28 g L^{-1} 。(2) 池塘底泥盐份逐年降低, 1 m 剖面底泥盐份由 3.22 g kg^{-1} 下降至 1.06 g kg^{-1} ; 回归统计底泥盐份与 Na^+ 、 Cl^- 离子相关性均达到极显著水平。(3) 利用指数曲线模型预测底泥脱盐趋势, 获得的后续每 2 a 脱盐预测值分别为 $\delta_{2007} = 0.824 \text{ g kg}^{-1}$, $\delta_{2009} = 0.638 \text{ g kg}^{-1}$, 为后续旱改提供了理论依据。

关键词 海涂; 蓄淡高位养殖; 盐份变化特征; 脱盐趋势

中图分类号 S15 文献标识码 A

我国沿海滩涂北起辽东, 南至广西, 总面积 $220 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1], 其中江苏滩涂面积最大, 约 $70 \times 10^4 \text{ km}^2$, 黄河三角洲 $20.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 珠江三角洲 $7.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 均连片分布, 且大多继续淤长, 是当今开发利用的重点。我国开发利用滩涂已有 2000 多年历史, 20 世纪 60 年代以后特别是 80 年代以来的 40 多年里, 随着国民经济的迅速发展和人民生活水平的提高, 滩涂资源的开发利用有了较大规模的发展。在开发利用过程中, 各地都有适合于当地经济、环境条件的开发利用滩涂经验。诸多研究学者开展了对沿海新围海涂进行快速改良利用途径的研究, 以便在海涂盐滩地获得较大的经济和生态效益; 归纳起来有引淡水种稻洗盐改土、围田围蓄雨水养鱼改土、种植耐盐作物如棉花、大麦及植树蓄养牧草^[2-6]等, 为海涂盐渍土改良做出了有益的探索, 取得了一些重要的成果。在滩涂养殖系统中, 池塘水质和底泥盐份变化的研究均未见报道。本文就海涂长期引咸蓄淡养殖中池塘水体与底泥盐份的动态变化进行了初步研究, 并对其脱盐趋势进行了预测, 为海涂的可持续利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在南京农业大学大丰王港试验站进行, 该

站位于 1977 年筐圩的江苏大丰市王港垦区, 垦区总面积 4400 km^2 , 区西侧开垦以农作为主, 东侧围田零星蓄养或抛荒地, 1992 年开始逐渐筐围形成规模化养殖池。垦区内中心河与区外二卯西河相通。该区域属于北亚热带湿润季风气候区, 年均气温 14.2°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 4543°C , 年日照时数 2267 h , 无霜期 230 d , 太阳年辐射总量 $476.5 \text{ kJ cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。受海洋季风气候影响, 年均降雨量 1064 mm , 降水的 78% 主要集中在 7 月至 10 月, 年均相对湿度 79.8%。该垦区东临黄海, 受海潮风速影响较大, 年均风速 5 m s^{-1} , 暴雨、台风是该区域主要灾害性气候。

试验区内设高位蓄淡养殖面积 160 km^2 , 挖鱼塘 $8 \sim 18 \text{ km}^2$ 不等, 东侧为 1 个成鱼大池, 由东向西依次为 15 个蓄养鱼池, 东侧 270 号和 1~11 号为精养池, 西侧 12、13、14 号用作鱼种池。试验地东侧为 933.3 km^2 的大丰盐场 (2003 年纳潮闸封闭, 盐场改种盐角草或自然淋盐的抛荒地), 有四中沟相隔。试验用水一部分来自于围蓄降雨水, 一部分抽取垦区内中心河下游的河水补充, 以保证广盐性鱼类养殖用水需求, 排水由垦区内四中沟向东南隅的围海闸口排出。1977 年围圩时 1 m 土体盐份含量为 $5.78 \pm 0.32 \text{ g kg}^{-1}$, pH8.57, 地形较平坦, 主要植被类型生长零散稀疏盐蒿, 湿凹地生长少量芦苇, 微起伏地长

* 国家自然科学基金项目(3060086)资助

† 通讯作者, Tel: 025-84396678, E-mail: sea@njau.edu.cn

作者简介: 陈铭达(1955~), 男, 江苏无锡人, 副研究员, 主要从事海岸带农业资源利用与盐碱土改良研究

收稿日期: 2007-01-16; 收到修改稿日期: 2007-03-23

有獐毛、大穗结缕草等耐盐与盐生植物构成的自然植被。

1.2 样品采集与分析

试验于 1996 年 3 月至 2005 年 4 月进行。池塘进水前的 1 m 土体盐份为 $3.72 \pm 0.12 \text{ g kg}^{-1}$, pH 8.15。

试验期内的池塘进水,分别在水泵的进水渠道口采集水样和在试验塘内多点采集混合水样,以分析蓄水口和池塘内水体盐份含量,每次抽水时计算实际抽水量;每次降雨量达 20 mm 以上时,池塘内 S 型多点采集水样,自然降水前后得到池水盐份的变化;试验期间的 12 月至 3 月在成鱼起捕时,池塘总排水口的四中沟布点采集排出水样,以控制实际外排的盐份以及池塘盐份变化状况。降雨量由大丰市气象局提供。

每隔 2a 待成鱼捕捞干塘后的 3 月或 4 月采集土壤样品,分别在试验区内的 9 号、13 号、270 号(成鱼大池)的三个围田蓄淡试验池确定采集点,根据试验地块面积,每地块采集 2~3 个样点,深度为 0~5 cm、5~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm,样品自然风干。

土壤可溶性盐及离子组成用水土比 5:1 浸提液, EC-214 Conductivity Meter 型电导仪测定电导值; CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 用双指示剂滴定法; Cl^- 用 AgNO_3 滴定法; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接络合滴定法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 滴定法; K^+ 、 Na^+ 用火焰光度计测定; 全盐和矿化度为各盐份离子质量值的总和^[7], 1 m 土体盐份均为加权平均值。

1.3 数据统计

利用 Microsoft Excel 软件进行试验数据的统计,采用 Duncan 检验进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 海涂高位围蓄雨水养殖系统中水体盐份变化特征

2.1.1 池水、抽提水及排水盐份离子含量变化

养殖用水一部分为中心河下游的河水,经提水泵抽入鱼池,另一部分为围蓄降雨水。表 1 是引咸蓄淡养殖试验期间采集的池塘水、抽提补充用水时水泵抽取中心河水的渠道口水、成鱼起捕后的养殖塘剩余池水以及四中沟外排水的盐份特征值。养殖池水体盐份离子组成规律与滨海盐土、沿海岸水的性质类同,其中 Na^+ 和 Cl^- 占绝对优势,为典型的 NaCl 型盐水^[8]。养殖系统中,所有水体均未检出 CO_3^{2-} ,除了养殖池水的 pH 为 8.1 外,其余水体的 pH 均大于 8.5(表 1); 残余碳酸钠(RSC) < 1,池塘剩余水和外排水趋于负值; 钠吸附比(SAR) < 1,而易溶性钠百分率(SSP) $\geq 80\%$; $\text{HCO}_3^- / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 在 $0.5 \sim 1.5 \text{ mmol L}^{-1}$ 范围; 海涂围田蓄淡高位养殖抽提中心河下游的高矿化咸水用于养殖补充用水,试验时的 2003 年 3 月至 11 月,池塘养鱼期间抽提补充用水大致为 $12\,000 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 。虽然水体盐份、SSP^[11]、pH 等指标超过了引发土壤碱化的限值,由于在整个养殖期间围蓄 $10\,000 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 的自然降水,加之养殖池内迴游鱼类等动物的频繁活动,使得抽提补充用水注入养殖池水中的高盐浓度扩散,且改变了盐份离子组成的性质,因此不具备碱化过程的地球化学条件^[8]。

2.1.2 高位养殖池水体盐份状况 表 2 是 2003 年度围田蓄淡高位养殖期间测得的蓄淡前后池塘水体盐份含量变化。可以看出,养殖期间所监测的补

表 1 水体盐份离子之间的特征值

Table 1 Characteristic values of waters used in the experiment

水样来源 Water sources	样品数 Sample number	矿化度 Salinity (g L^{-1})	$\text{HCO}_3^- /$ ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) (mmol L^{-1})	残余碳酸钠 ¹⁾ RSC (mmol L^{-1})	钠吸附比 ²⁾ SAR	易溶性钠 ³⁾ 百分率 SSP (%)	pH
养殖池水 Fish pond water	28	2.21 ± 0.23	1.32	0.09	0.15	85.80	8.10
抽提水 Replenishing water	23	3.88 ± 0.18	0.67	0.01	0.26	87.13	8.54
池塘余水 Remaining pond water	12	6.74 ± 0.11	0.54	-0.51	0.54	84.12	8.74
外排水 Drained water	15	8.26 ± 0.32	0.44	-0.98	0.88	80.14	8.77

1) 残余碳酸钠 $\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$; 2) 钠吸附比 $\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}$; 3) 易溶性钠百分率 $\text{SSP} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100\%$

充抽提水中的盐份含量较高,其盐份在 $2.52 \sim 4.81 \text{ g L}^{-1}$ 范围,平均达 $3.67 \pm 0.81 \text{ g L}^{-1}$ 。抽提水的盐

份变化与降雨量及沿岸径流密切相关,春季 3 月、4 月、5 月的降水仅有 96.3 mm,河水位低,河岸耕作土

壤返盐, 降雨引起的冲刷或径流, 提高了河水的盐份含量, 含盐量达 $4.49 \pm 0.32 \text{ g L}^{-1}$; 夏季 7 月、8 月、9 月的降雨量大, 降水量达到 623.2 mm, 河水位高, 河水盐份相对低, 含盐量为 $2.73 \pm 0.32 \text{ g L}^{-1}$, 较春季低 39.2%, 这一结果与茆泽圣等的研究基本一致^[9]。

围田蓄淡高位养殖抽提补充用水的河水盐份浓度随着季节性降水的变化而变化, 而养殖池大面积囤蓄的雨水淡化了高浓度抽提水中的盐份, 使养殖池水体中的盐份迅速达到较低浓度状态, 池水盐份为 $2.28 \pm 0.65 \text{ g L}^{-1}$, 与补充抽提水相比降低了 37.9%。

表 2 养殖池塘抽提水与降雨后的水体盐份含量(2003 年)

Table 2 Calculated salt contents of pond water(in 2003)

测定项目 Items	补充抽提水量 Amount of replenishing water ($\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$)	降雨蓄淡水量 Amount of pooled rainwater ($\text{m}^3 \text{ hm}^{-2}$)	抽提水口含盐 量 Salt in replenishing water(g L^{-1})	降雨后池水含 盐量 Salt in pond water after rainfall(g L^{-1})
2月~4月 Feb~ Apr	6 000	538	$4.18 \pm 0.46(5)^3$	$3.43 \pm 0.81(3)$
5月~6月 May~ Jun	2 000	1 823	$4.81 \pm 0.38(4)$	$2.52 \pm 0.93(4)$
7月~8月 Jul~ Aug	1 500	4 520	$3.03 \pm 0.23(7)$	$1.87 \pm 0.45(6)$
9月~10月 Sep~ Oct	2 000	2 750	$2.52 \pm 0.36(5)$	$1.56 \pm 0.47(5)$
11月~12月 Nov~ Dec	1 000	505	$3.83 \pm 0.35(4)$	$2.04 \pm 0.81(4)$
合计 Total	12 500	10 136	$3.67 \pm 0.81^{(1)}$	$2.28 \pm 0.65^{(2)}$

1) 补充抽提水时池塘口测定平均值 Mean of the measurements of the replenishing water at the inlet of the pond; 2) 降雨后池塘内水体测定平均值 Mean of the measurements of the pond water after rainfall; 3) 括号内为样品数 n Date represent mean

2.2 海涂高位养殖池底泥盐份含量及组成变化

2.2.1 底泥土壤盐份动态变化

在长期引咸蓄淡养殖过程中, 虽然抽提补充用水含有一定量的盐份, 但从多年来的底泥土壤剖面盐份变化分析, 土壤盐份逐年递减, 土层中 0~40 cm 盐份的递减速度较明显, 其下降量为 1996 年 4.21 g kg^{-1} , 1998 年 2.94 g kg^{-1} , 2000 年 1.86 g kg^{-1} , 2003 年 1.84 g kg^{-1} , 2005 年 1.37 g kg^{-1} , 40 cm 以下的土壤盐份的下降要慢得多, 且盐份的垂直分布明显(图 1)。海涂高位池塘蓄淡养殖的 10 a 内, 1 m 土体盐份由 3.22 g kg^{-1} 下降为 1.06 g kg^{-1} 。这是因为围滩池塘土体中盐份的主要组成是 NaCl 和 Ca、Mg 等可溶性盐类, 土体中 NaCl 的溶解度不受温度影响, 同时土壤胶粒对一价离子吸附力较弱, 极易淋洗; 而 Ca、Mg 盐类在土体中的溶解度虽受温度的影响, 但在池塘蓄养过程中的 4 月至 10 月份, 随着气温持续上升, 水体

温度足以满足 Ca、Mg 盐类的溶解度。因此在整个蓄淡养殖中, 底泥 0~40 cm 土壤盐份随着杂食性底栖鱼(鲤、鲫)、蟹类的频繁活动, 使池塘底泥表土中大量的可溶性盐基离子被溶解并重新回到上层水体参与化学的、物理的物质循环, 土体盐份由高浓度向低浓度扩散, 水体盐份最终达到平衡, 待排水清塘或池水下渗、侧渗随水排出土体。对海涂高位蓄淡池塘水渗漏的观察表明⁽¹⁾: 当池塘水位保持在 1.35 m 时, 除了日蒸发和水体动、植物的日耗水量以外, 池塘周边围埂的侧渗和入渗速率达 $0.37 \sim 0.53 \text{ mm h}^{-1}$, 若养殖池塘水盐份含量在 $3 \sim 5 \text{ g L}^{-1}$ 时, 土壤容重为 1.43 g cm^{-3} , 则在此条件下, 渗漏每 1 m^3 水体中, 当池水矿化度 3 g L^{-1} 时向外渗漏而外排的水体盐份为 $0.016 \sim 0.023 \text{ g h}^{-1}$; 当池水矿化度 5 g L^{-1} 时外排的水体盐份达 $0.026 \sim 0.038 \text{ g h}^{-1}$ 。因此在池塘养殖系统中, 海涂重盐渍土高位蓄淡养殖

是加速脱盐改土的重要途径。

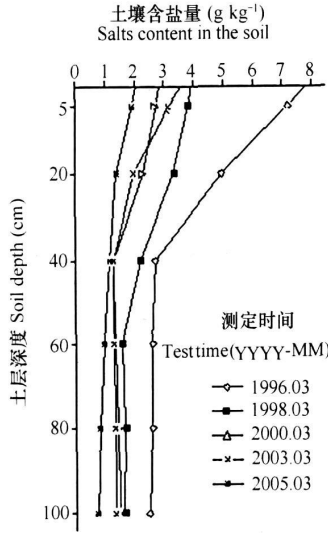


图1 1 m 土层盐份含量变化

Fig 1 Salt variation in 1m profile of pond mud

2.2.2 池塘底泥土壤盐份与离子组成的关系 以 NaCl 为主的盐土中含有较多的交换性钠, Cl^- 和 Na^+ 在土壤溶液中的溶解度大, 而土壤胶粒对它们的吸附力较其他离子为小, 因此在长期水改后, 池塘底泥土壤盐份中的可溶性盐基离子由高浓度向低浓度扩散, 使得池塘水质盐份离子组成重新分配。图 2、图 3 是 1996 年至 2005 年间 9 号、13 号、270 号的三个池塘底泥中采集土壤样品分析得到 0~20 cm 和 0~100 cm 土壤盐份与离子组成之间的回归分析。可以看出, 土壤中的 Cl^- 和 Na^+ 离子相关性均处于极显著水平, 而 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 与其他离子相关性不显著, 且在土层中的 Cl^- 含量均相对低于 Na^+ , 10a 测得的 0~20 cm 土体中的 Cl^- 要低于 Na^+ 的 9.6%, 0~100 cm 土体中的 Cl^- 要低于 Na^+ 的 17.3%, 反映了围滩池塘大面积蓄淡高位养殖池底泥土壤盐份中的 Cl^- 在土壤剖面中的运移较 Na^+ 强。若在淹水条件下⁽¹⁾, 池塘底泥的生物活动过程比较一致的情况下, 在外界因素影响下, Cl^- 在土壤中的运移主要是物理过程控制, 化学过程的影响显得比较轻微; 而 Na^+ 受化学的与物理的过程共同作用, 化学过程对 Na^+ 运移的影响往往是负面的, 从而造成 Na^+ 在土壤剖面中的淋移作用要滞后于 Cl^- 。

2.3 池塘底泥土壤脱盐趋势预测模型

2.3.1 指数曲线脱盐趋势预测模型的建立 在大丰王港海涂试验区, 经多年蓄淡高位养殖并补充抽提中心河下游的高矿化水进行养殖后, 海涂大面

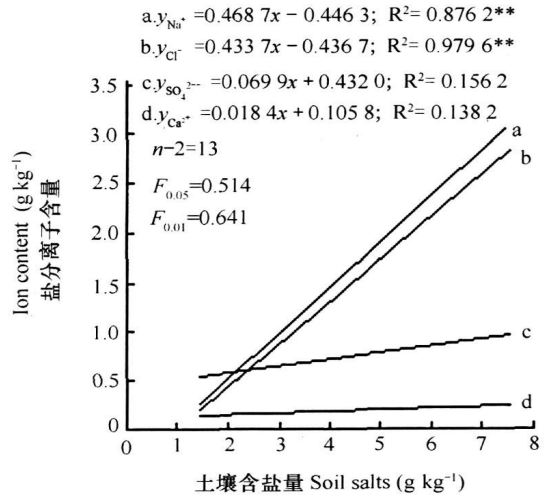


图2 0~20 cm 土壤含盐量与盐份离子组成的关系

Fig 2 Relationship between content and ion composition of the salt in the 0~20 cm soil layer

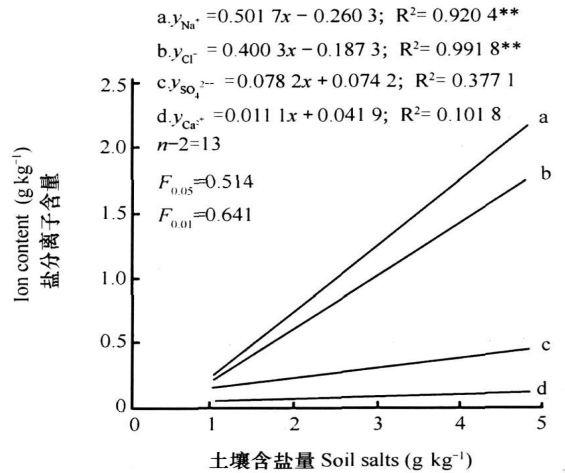


图3 0~100 cm 土壤含盐量与盐份离子组成的关系

Fig 3 Relationship between content and ion composition of the salt in the 0~100 cm soil layer

积蓄淡养殖池底泥的土壤盐份, 经杂食性底栖鱼、蟹类的频繁活动, 高盐浓度的土壤盐份溶解于池塘水体中, 土壤盐份逐年下降, 随池塘水侧渗和外排水排出养殖区域。多年来池塘底泥土壤的脱盐趋势到底如何, 为了进一步验证底泥土壤盐份的变化速率, 采用脱盐趋势曲线模型预测池塘底泥土壤盐份的变化趋势。

指数曲线脱盐趋势预测模型是在一定年限时间序列下, 配以适合的曲线模型, 外推预测未来的脱盐趋势值, 其指数曲线预测模型为^[10]:

$$\delta_t = ab^t \tag{1}$$

式中, a, b 为参数; t 为年次(即年限, 以试验年次的中间值为零, 依次取上为负, 取下为正, 以便在 t^2 值中的 Σ 值满足式(2)和式(3)的计算)。

指数曲线预测模型的优势是当脱盐速率假设为一常数时, 则 $\delta_t/\delta_{t-1} = b$, 对模型式(1)两边取对数得: $\lg \delta_t = \lg a + t \lg b$; 在半对数的坐标中, 指数曲线转化为直线时, 其对数的一价差分为一常数, 得 $\nabla(\lg \delta_t) = \lg b$; 因此, 当一定年限时间序列的脱盐速率大体相等或对数一价差分 $\nabla(\lg \delta_t)$ 近似为一常数时, 可配合指数曲线模型来预测未来脱盐的趋势值。

指数曲线预测模型的参数可用最小平方方法估计得到, 则:

$$\lg \hat{a} = \frac{\sum_{t=-1}^n \lg \delta_t}{n} \quad (2)$$

表 3 指数曲线预测模型参数计算

Table 3 Parameter of the exponential curve predictive model

年份 Year	年次 Times (a)	1 m 土体实测含盐量 Soil salinity δ_t (g kg ⁻¹)	脱盐速率 Salt lost rate δ_t/δ_{t-1}	$\lg \delta_t$	t^2	$t \lg \delta_t$
1996	- 2	3.224	-	0.508	4	- 1.016
1998	- 1	2.120	1.52	0.326	1	- 0.326
2000	0	1.591	1.33	0.202	0	0.0
2003	1	1.524	1.04	0.183	1	0.183
2005	2	1.059	1.44	0.025	4	0.050
Σ		-		1.244	10	- 1.109

将表 3 参数计算值代入指数曲线预测模型式(2)和式(3)计算式(1), $\delta_t = a \cdot b^t$ 得:

$$\lg \hat{a} = \frac{1.244}{5} = 0.2488; \lg \hat{b} = \frac{-1.109}{10} = -0.1109$$

$$\hat{a} = 1.7734 \quad \hat{b} = 0.7746$$

因而, 所求得指数曲线预测模型为: $\delta_t = 1.7734 \times 0.7746^t$, 将 $t = 3$ 和 $t = 4$ 的后续预测年次分别代表 2007 年和 2009 年代入预测模型, 可以求得大丰王港海涂高位养殖试验区, 经多年蓄淡养殖以后, 2007 年和 2009 年池塘底泥土体脱盐预测值分别为 $\delta_{2007} = 0.824 \text{ g kg}^{-1}$ 和 $\delta_{2009} = 0.638 \text{ g kg}^{-1}$ 。

参考文献

[1] 任美镔. 中国滩涂开发利用的现状与对策. 中国科学院院刊, 1996(6):440~ 443. Ren M E. Countermesure and actuality of exploiting China sea beach soil (In Chinese). Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 1996(6):440~ 443

[2] 潘宏, 严少华, 葛兆健, 等. 千秋滩涂种稻和养鱼初期土壤化学环境的变化及对策. 垦殖与稻作, 1996(1): 31~ 32. Pan H,

$$\lg \hat{b} = \frac{\sum_{t=-1}^n t \lg \delta_t}{\sum_{t=-1}^n t^2} \quad (3)$$

2.3.2 指数曲线脱盐趋势预测模型的计算实例

在构架脱盐趋势预测模型之前, 首先确定脱盐指标的选择。作者长期在沿海滩涂实地工作的大丰王港蓄淡高位养殖试验区域内, 由 1996 年 3 月至 2005 年 4 月, 每隔 2 a 采集的池塘底泥, 1 m 土体盐份的加权平均值列于表 3, 对式(2)和式(3)计算验证, 并将计算值代入模型式(1), 模型式(1)中的 t 假设为后续年次内池塘土壤脱盐速率的变化值, 以便提供未来旱作时, 经多年蓄淡高位养殖以后, 海涂土壤盐份变化的脱盐趋势值, 为后续改良利用提供理论依据。

Yan SH, Ge Z J, *et al.* Countemmeasure and changes of soil chemical environments at the beginning of rice and fish cultivation on saline soil (In Chinese). *Reclaim and Rice Cultivation*, 1996(1): 31~ 32

[3] 阮成江. 盐城滩涂草场类型及开发利用研究. 水土保持学报, 2002, 16(5): 56~ 59. Ruan C J. Study on types and utilization of grassland in Yancheng tideland zone (In Chinese). *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(5): 56~ 59

[4] 欧维新, 杨桂山, 于兴修, 等. 盐城海岸带土地利用变化的生态环境效应研究. 资源科学, 2004, 26(3): 76~ 83. Ou W X, Yang G S, Yu X X, *et al.* Effect of coastal land use changes on ecor-environment in the coastal zone of Yancheng (In Chinese). *Resources Science*, 2004, 26(3): 76~ 83

[5] 尹金来, 周春霖, 洪立洲, 等. 海涂盐土农业的兴起及展望. 江苏农业科学, 1999(6): 49~ 51. Yin J L, Zhou C L, Hong L Z, *et al.* Emergence and prospect of sea beach soil agriculture (In Chinese). *Jiangsu Agricultural Sciences*, 1999(6): 49~ 51

[6] 齐清, 李传荣, 许景伟, 等. 沙质海岸不同植被类型土壤水源涵养功能的研究. 水土保持学报, 2005, 19(6) 102~ 105. Qi Q, Li C R, Xu J W, *et al.* Study on water conservation capacity of different vegetation types in sandy sea coastal area (In Chinese). *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(6): 102~ 105

[7] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社,

2000. Bao S D. Soil and Agrichemistry Analysis (3rd Ed) (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [8] 方明, 陈邦本, 胡蓉卿. 江苏海涂土壤盐份地球化学特征的初步研究. 土壤学报, 1992, 22 (2): 208~ 217. Fang M, Chen B B, Hu R Q. A preliminary study on saline geochemical characteristics of sea beach soil in Jiangsu (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1992, 22(2): 208~ 217
- [9] 茆泽圣, 方明, 陈效民, 等. 江苏大丰王港垦区河水水质监测及其评价. 南京农业大学学报, 1996, 19(4): 40~ 44. Mao Z S, Fang M, Chen X M, *et al.* Survey and evaluation of river quality in Dafeng Wanggang Reclamation area (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 1996, 19(4): 40~ 44
- [10] 徐向红著. 江苏沿海滩涂开发利用与可持续发展. 北京: 海洋出版社, 2004. Xu X H. ed. Sustainable Development and Exploitation of Jiangsu Sea Beach Soil (In Chinese). Beijing: China Ocean Press, 2004
- [11] Greene R A. Using Salty Land. Rome: FAO Studies 3, 1948

SALT VARIABILITY AND DESALINIZATION TENDENCY OF AQUACULTURE SYSTEMS ON COASTAL LAND

Chen Mingda¹ Zhao Gengmao¹ Liu Zhaopu[†] Long Xiaohua¹ Luo Yisai² Xu Shuhan³

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Dafeng Experimental Station of Nanjing Agricultural University, Dafeng, Jiangsu 224145, China)

(3 Land Management Bureau of Rudong County, Rudong Jiangsu, 226400, China)

Abstract Since 1992 when polders began to appear along the coast for aquaculture, a long-term experiment has been carried on to study dynamic variation of salts in the water and bottom mud of the polders as affected by aquaculture in Defang region. Results of the monitoring between 1996 and 2005 show 1) salt concentration in the waterbody decreased from 3.67 to 2.28 g L⁻¹ in the aquaculture system with river water high in mineralization (NaCl > 3.5 g L⁻¹) and rainfall as water sources for replenishment; 2) total soluble salts in the pond mud decreased year by year, from 3.22 to 1.06 g kg⁻¹; and, a significant linear relationship was observed between total soluble salts and Cl⁻ content in pond mud; and 3) an exponential curve model could be used to predict desalinization trend of the mud; and the predicted values of the years to follow are $\delta_{2007} = 0.824$ g kg⁻¹ and $\delta_{2009} = 0.638$ g kg⁻¹, respectively, which may serve as a scientific basis for future reclamation of the polder into farmland.

Key words Coastal salinity land; Coastal land aquaculture system; Salt variability; Desalinization trend