

不同农业耕作模式下崇明盐碱土壤低碳化改良效应的模型评价

张文俊, 王磊, 颜一青, 李艳丽, 王红丽, 贾建伟

(同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要:对不同农业耕作模式的崇明滨海盐碱土进行了为期 15 个月的跟踪采样, 通过分析土壤的 10 余种物理、化学和生物指标, 在原始数据呈现季节性波动的情况下, 借助主成分分析的数学方法将对土壤的多指标评价转化为单一综合指标的评价。在通过数学模型强化土壤改良效果的显著性和规律性的同时, 将土壤呼吸和生物量作为评价指标之一, 得出了不同于传统土壤评价系统的结论。模型评价结果显示, a、b、c 3 区传统评价体系的综合主成分得分为 0.413 1、-2.621 7 和 2.208 58, 3 区加和土壤呼吸和生物量后的综合主成分得分为 -1.698 9、-2.287 24 和 3.986 12, 3 区的耕作模式的差异表明不同样地的综合主成分得分和农业利用模式的多样性相关, 多样化的耕作模式虽然加强了土壤的呼吸, 但同时导致了该样区生物量的显著提高。因此加和了土壤呼吸和生物量的综合主成分得分仍然高于未加和这两项指标的得分。就实验样地而言, 多样化的土壤利用模式可能得到比较理想的改良效果。

关键词:土壤呼吸; 主成分分析; 土壤改良; 模型评价

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)05-1006-09

Assessment of Different Agricultural Pattern for Amelioration of Salty Soil by Low Carbon Model in Chongming, China

ZHANG Wen-quan, WANG Lei, YAN Yi-qing, LI Yan-li, WANG Hong-li, JIA Jian-wei

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to assess amelioration effect of different agricultural pattern on salty soil in Chongming Island, several kinds of physical, chemical and biological indexes of the soil samples area A, B, C with different agricultural patterns of cauliflower-orange, forage grass, corn-barley-watermelon-cauliflower respectively, had been monitored for 15 months. Although the original data fluctuated seasonally, the principal components analysis method transferred the multiple indicators into single aggregative indicators to intensify the regularity and significance of the results and efficiently assess the soil fertility. Furthermore, the model involved the soil respiration and biomass as indicators for the assessment of carbon sink capacity of different patterns. The traditional aggregative principal components remarks in sample areas A, B and C, were 0.413 1, -2.621 7 and 2.208 58 respectively. This implied that amelioration effect were relevant with the diversity of agricultural pattern. The corn-barley-watermelon-cauliflower pattern was the most effective way to ameliorate the soil among three patterns. After combining the soil respiration and biomass indicators, the remarks were -1.698 9, -2.287 24 and 3.986 12 respectively. The corn-barley-watermelon-cauliflower pattern intensified the soil respiration while the biomass rose at the same time. Consequently, its remark was still higher than the one without the two indicators. That means this pattern may still get a better result in the views of both fertility and carbon sink.

Keywords: soil respiration; principal components analysis; soil amelioration; model assessment

在有关土壤肥力的探讨中, 人们多侧重于土壤营

养物质的储量及其有效性的研究。在大量的研究工作中, 虽然增添了土壤物理和土壤生物化学内容, 但指导思想仍是着重土壤肥力的不同属性, 探讨决定土壤肥力水平的某些限制因子及其生成原因和消除方法。在对土壤肥力进行等级划分和评价过程中, 并无客观的数量化指标, 一般只分成上、中、下三等^[1]。到目前为止, 学术界对土壤肥力的等级划分仍没有一个统一的

收稿日期: 2009-11-11

基金项目: 国家科技部科技支撑重大项目(2006BAC 01A 14)

作者简介: 张文俊(1984—), 男, 上海市人, 在读硕士研究生, 主要从事土壤修复和环境污染防治研究。

E-mail: mic_0202@yahoo.com.cn

通讯作者: 王磊 E-mail: celwang@yahoo.com

标准。主要原因是由于土壤肥力水平差异较大,而且这种差异不仅体现在空间尺度上,在时间尺度上也有变化,因此数量化分级指标,在不同区域之间、不同时期之间很难比较。尤其是我国领土辽阔,自然条件多种多样,土壤肥力高低差异很大,给出一个统一的土壤肥力评价标准相当困难^[2]。

土壤是个巨大的物质储存库和转化器。地球上每年约有 55×10^{10} t 植物有机体在土壤中形成和分解,其中 90% 成为气体转入大气,10 % 则转化为中间产物保存在土壤圈中^[3]。农业生态系统自然凋落形式输入土壤的有机物质随作物种类不同而异,平均占净生物量的 18% 左右;根系沉淀作用输入土壤的有机碳也相当可观,小麦等作物可占净固碳量的 5%~24%,根系沉淀作用输入土壤的有机碳极易被微生物分解,绝大部分以 CO_2 形式释放^[4]。

土壤呼吸使大量的有机碳以 CO_2 形式释放到大气中。土壤呼吸作用释放的 CO_2 量是相当可观的,农田生态系统可达 $640 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;据估计,全球每年由土壤释放到大气中的碳量约为 $(0.8 \sim 4.6) \times 10^{15} \text{ g}^{[5]}$ 。因此,土壤呼吸的微量变化将导致大气中 CO_2 浓度的显著变化,从而影响由于 CO_2 浓度升高所伴随的全球变暖和其他气候因素(如降水、辐射)的变化。

虽然由农业引发逸出的气体所占比例仍不清楚,但大气中痕量气体增加的部分原因是由水田和旱地释放所引起的。全球土壤有机碳贮量高达 $25 \times 10^{11} \text{ t}$,土壤呼吸的微量变化将导致大气 CO_2 浓度的显著变化^[6]。因此,土地的利用方式、土壤的耕作方法和管理措施都将影响 CO_2 的去向和强度。

上海市崇明县作为农业大县,发展农业主要面临滨海盐碱土的改良问题,滨海地区新围垦的土地盐分含量高,肥力低,难以作为农业用地。当地目前普遍采用鱼塘养殖洗盐,结合多种不同农业模式轮作的方法对土壤进行改良。

为客观、定量地评价目前崇明当地不同农业模式对土壤改良的效果,本文采用主成分分析模型对土壤的质量做出量化综合评价。多指标的综合评价一方面增加了评价工作量,另一方面势必淡化主要指标的

作用。为此,需要从现有指标中精选出若干个主要的有代表性的指标。但人为地精选指标难免带有主观随意性,因而可能丢失部分有价值的原始信息。因此必须对所考虑的众多指标,利用数理统计法,经过正交化处理,使其成为少数几个相互独立的综合指标,再根据这些指标来评价土壤质量,而主成分分析模型正好为实现这一思路提供了十分有效的数学方法^[7]。

在选取各个传统监测指标的同时,本研究还增加了土壤呼吸强度这一评价参数,在考虑土壤肥力增效的同时,还对不同农业耕作模式下土壤的碳源/汇效应进行了比较。以期从低碳化角度评价不同农业耕作模式对崇明盐碱土壤的改良效应,为崇明岛今后发展低碳农业经济提供一种有效的评价模型和方法。

1 材料与方法

1.1 样地概况

本研究选取崇明瀛东村地区($31^{\circ}30'N$, $121^{\circ}45'E$) 3 块相邻的不同农业模式的土壤进行分析,当地属北亚热带海洋气候,气候湿润,年平均气温 18.15°C ,年降水量约为 $1\,350 \text{ mm}$ 。

该地区为围垦土壤,2007 年前通过鱼塘养鱼的模式对滨海盐碱土壤进行洗盐,2007 年将鱼塘改为耕地,开始种植作物。由于所选样地背景基本一致,所以讨论时基本忽略不同样地间的背景差异。采样时间为 2008 年 10 月至 2009 年 10 月,每季度采样一次,共进行 5 次采样。采样地点的农业模式包括 a 区:花菜(2008 年秋—2009 年春)—橘树(2009 年春—2009 年秋);b 区:牧草(2008 年秋—2009 年秋);c 区:玉米(2008 年秋—2008 年冬)—大麦(2009 年春)—西瓜(2009 年夏)—花菜(2009 年秋)。不同样区的耕作模式区别见表 1。

1.2 样品采集与预处理

各样点间距在 $100 \sim 200 \text{ m}$ 。分别于 2008 年 10 月、2009 年 1、4、7 和 10 月在每个样点采样。每个样点在 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 内采用梅花形布点取样法,取 5 个点的次表层土($-5 \sim -20 \text{ cm}$)500 g,土壤现场混合均匀,取其中约 1 kg 装入自封袋带回实验室,于 4°C 冰箱保

表 1 不同农作物的种植密度和施肥方式

Table 1 Planting density and fertilizer application of different farm crops

项目	花菜	橘树	玉米	大麦	西瓜	牧草
种植密度/株·hm ⁻²	10 万	810	8.5 万	210 万	12 万	340 万
施肥方式	土面撒施	环状沟施	土面撒施	土面撒施	土面撒施	免耕不施肥

存备用。取一半土壤风干研碎,过 100 目筛,装瓶测土壤总有机碳含量和酶活性。

1.3 监测指标与分析方法

检测指标包括:容重、含水率、含盐量、总氮、总磷、总钾、总有机碳、脱氢酶、脲酶、纤维素酶、土壤呼吸强度和地表生物量。

常规指标测定方法见文献[8]~[11]。
土壤微生物呼吸强度采用OxiTop-C 仪器法测定。预设 OxiTop Controler110 控制器参数,于 28 ℃ 培养 3 d。称取适量新鲜土样至OxiTop-C 仪器配备的 600 mL 培养瓶中,加 1%的葡萄糖再加水定容至 100 mL,用带有 OxiTop-C 测量头的专用瓶盖密封使其与外界空气隔绝。将培养瓶放入28 ℃的摇床恒温振荡培养,立即用 OxiTop-C Controller110 控制器激活测量头开始测量。在预设的培养天数后,用 OxiTop-C Controller110 控制器读取全部数据^[14]。

1.4 模型评价的原理与方法

主成分分析模型(principal components analysis PCA)是一种简化数据集的数学模型。简单而言,该模型就是通过一种线性变换,把数据变换到一个新的坐标系统中,使得任何数据投影的第一大方差在第一个坐标(称为第一主成分)上,第二大方差在第二个坐标(第二主成分)上,依次类推。主成分分析有减少数据集的维数,同时保持数据集对方差贡献最大的特点。这是通过保留低阶主成分,忽略高阶主成分实现的。这样低阶成分往往能够保留数据的最重要方面^[12-13]。

本研究采用 SPSS13.0 软件,通过“主成分分析模型”对结果进行数学分析,其基本步骤为:首先将影响土壤肥力的多个指标的原始数据标准化,以解决各指标的可综合性问题;其次进行因子分析,计算特征根和特征向量表,形成指标的主成分表达式,进而计算得到主成分和综合主成分的分值。

2 结果与分析

2.1 不同农业耕作模式土壤理化与生物指标的季节动态

为定量评价不同农业耕作模式对土壤的改良效果,采集和分析了各季节土壤的理化和生物指标,整个采样监测时间为 15 个月,各季度各个样地数据取 5 个平行样的平均值。各区的土壤物理、化学和微生物指标见表 2 至表 4。
由各表数据可见,5 个季度土壤的物理、化学和生物数据规律性不强,季节性因素对土壤的物理、化

表 2 不同农业模式下土壤物理指标				
Table 2 Soil physical indicators of different agricultural pattern				
模式	pH 值	含盐量/%	含水率/%	容重/g·cm ⁻³
2008 年秋季				
a	7.102	0.165	0.179	1.399
b	7.118	0.16	0.21	1.436
c	7.008	0.16	0.188	1.445
2008 年冬季				
a	7.756	0.17	0.184	1.48
b	7.766	0.143	0.197	1.418
c	7.804	0.211	0.191	1.283
2009 年春季				
a	7.724	0.162	0.224	1.525
b	7.89	0.066	0.239	1.42
c	7.722	0.064	0.225	1.397
2009 年夏季				
a	6.62	0.177	0.22	1.475
b	6.44	0.048	0.243	1.423
c	6.62	0.152	0.228	1.205
2009 年秋季				
a	7.341	0.169	0.143	1.445
b	7.127	0.087	0.15	1.306
c	7.471	0.161	0.196	1.354

表 3 不同农业模式下土壤化学指标					
Table 3 Soil chemical indicators of different agricultural pattern					
模式	总氮/mg·kg ⁻¹	总磷/mg·kg ⁻¹	总钾/mg·kg ⁻¹	总钠/mg·kg ⁻¹	TOC/%
2008 年秋季					
a	395.748	1.69	9.646	1.287	0.535
b	369.98	1.735	9.459	1.395	0.562
c	484.672	2.18	10.694	1.287	1.067
2008 年冬季					
a	273.224	2.117	12.37	2.096	0.708
b	174.195	2.425	13.506	2.281	0.652
c	417.726	2.542	11.733	1.831	0.867
2009 年春季					
a	212.594	3	17.11	1.528	1.088
b	221.184	2.201	12.3	1.017	0.94
c	187.837	2.484	15.157	1.163	1.809
2009 年夏季					
a	295.119	3.124	18.039	1.498	0.706
b	359.117	2.109	11.189	0.986	0.758
c	263.119	2.298	15.35	1.113	0.811
2009 年秋季					
a	195.753	3.254	15.393	1.395	0.703
b	120.807	2.233	12.31	1.115	0.6
c	318.697	2.32	15.685	1.047	0.822

表 4 不同农业模式下土壤微生物活性与生物产出量

Table 4 Soil microbiological indicators and biomass of different agricultural pattern

模式	脱氢酶/ μg TPF·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹	纤维素酶/ mg glucose·10 g ⁻¹ ·72 h ⁻¹	脲酶/ mgNH ₄ -N·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹	细菌总数	土壤呼吸/ mg CO ₂ ·g ⁻¹ ·48 h ⁻¹	生物量/ g 植物干重·m ⁻²
2008 年秋季						
a	2.663	7.224	0.107	7 670 000	-0.209	2 206
b	2.462	5.32	0.144	8 980 000	-0.188	3 528
c	20.067	7.281	0.077	12 200 000	-0.229	6 382
2008 年冬季						
a	17.409	2.044	0.051	9 690 000	-0.15	2 740
b	18.387	2.7	0.063	8 820 000	-0.186	149
c	27.036	7.069	0.103	11 800 000	-0.272	5 896
2009 年春季						
a	6.094	3.902	0.029	8 120 000	-0.238	1 897
b	5.324	3.103	0.011	9 290 000	-0.382	3 604
c	24.375	7.476	0.072	10 100 000	-0.394	2 100
2009 年夏季						
a	4.392	6.349	0.045	4 740 000	-0.215	1 698
b	6.052	5.231	0.04	9 790 000	-0.323	4 890
c	22.592	8.903	0.067	5 250 000	-0.231	6 113
2009 年秋季						
a	2.165	7.224	0.107	6 900 000	-0.19	2 009
b	2.462	5.32	0.144	6 760 000	-0.282	3 701
c	20.067	9.101	0.077	18 200 000	-0.226	2 502

学和生物指标有显著的影响。可能是季节性的波动掩盖了实际的改良效果。虽然可得出 a、b、c 3 种不同农业模式的土壤性质存在一定差异的结论,但是难以进一步评价不同模式的改良效果。不同指标之间的量纲与数量级的巨大差异直接导致无法综合分析各个因素的整体影响。

2.2 土壤原始理化与生物参数的标准化处理

为了消除量纲与数量级的差异,便于在同一体系下比较分析各参数,需要对上述数据进行标准化处理。数据的标准化是将数据按比例缩放,使之落入一个较小的特定区间。由于指标体系的各个指标度量单位是不同的,为了使指标参与评价计算,需要对指标进行规范化处理,通过函数变换将其数值映射到某个数值区间。上述结果经过 SPSS13.0 处理后,将原始数据标准化,消除不同指标量纲的差异,解决其可综合性的问题。

SPSS 采用的是最常用的 Z 标准化,其均值为 0,方差为 1。标准化后的数据见图 1 至图 3。

由图 1~图 3 的结果可见, 标准化后的数据已消除指标间的量纲和数量级的差异,所有数据落在(-4,+4)区间内,消除了量纲。但数据整体仍缺乏明显的规律,季节差异和 3 块样地之间的差异都对数据的变化

产生影响,无法比较不同模式的改良效果。

3 讨论

3.1 改良效应的模型评价

为了综合分析上述数据, 通过 SPSS13.0 软件对标准化后的数据进行主成分分析得到相关性关系,计算特征根和特征向量,形成各个指标的主成分表达式,该表达式用矩阵表达(见表 5~表 7)。

SPSS 软件得出的主成分矩阵中的各个系数分别表示不同指标与各个主成分的相关性,正值表示正相关,负值为负相关,绝对值越大,相关性越大。主成分列向量矩阵与标准化后的指标矩阵的乘积即为各个主成分值,所得主成分值的列向量求和得出综合主成分的得分,作为评价不同农业模式对土壤改良效果的依据,得分越高,改良效果越理想。

在计算综合主成分得分时,分别进行了 3 次评分,第 1 次仅输入土壤理化指标和生物指标,未加和土壤呼吸和产出的生物量的影响,第 2 次加和了土壤呼吸指标,第 3 次同时输入所有指标,结果见图 4~图 6。

综合主成分得分的结果可知:b 区评价价值相对偏低,各个季度的数值大多为负值,表明改良效果相当差,这可能与长期种植牧草,缺少耕种与施肥有关;

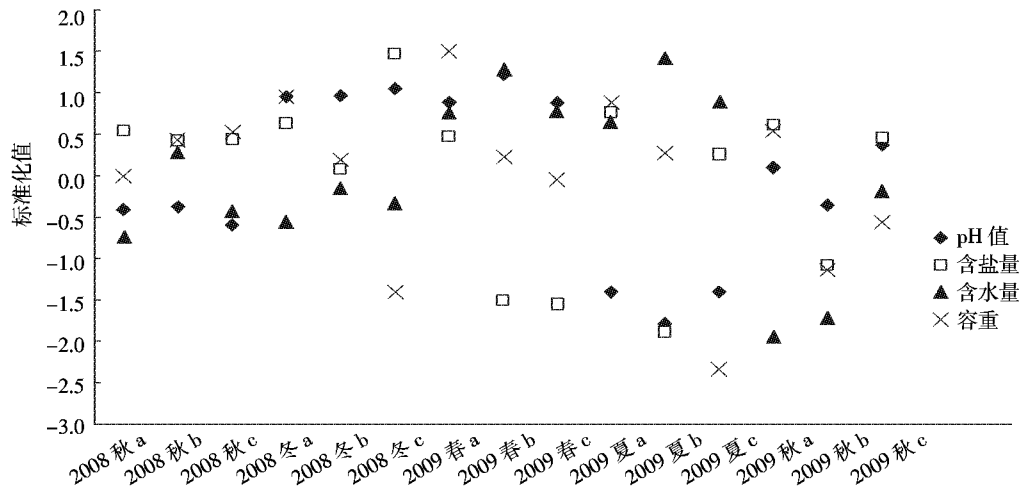


图 1 标准化后不同农业模式下土壤物理指标

Figure 1 Standardized soil physical indicators of different agricultural pattern

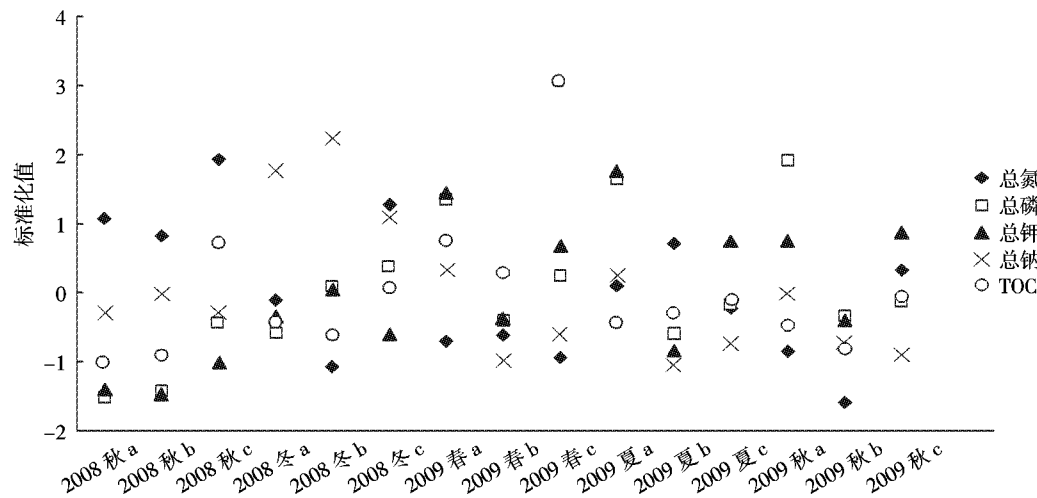


图 2 标准化后不同农业模式下土壤化学指标

Figure 2 Standardized soil chemical indicators of different agricultural pattern

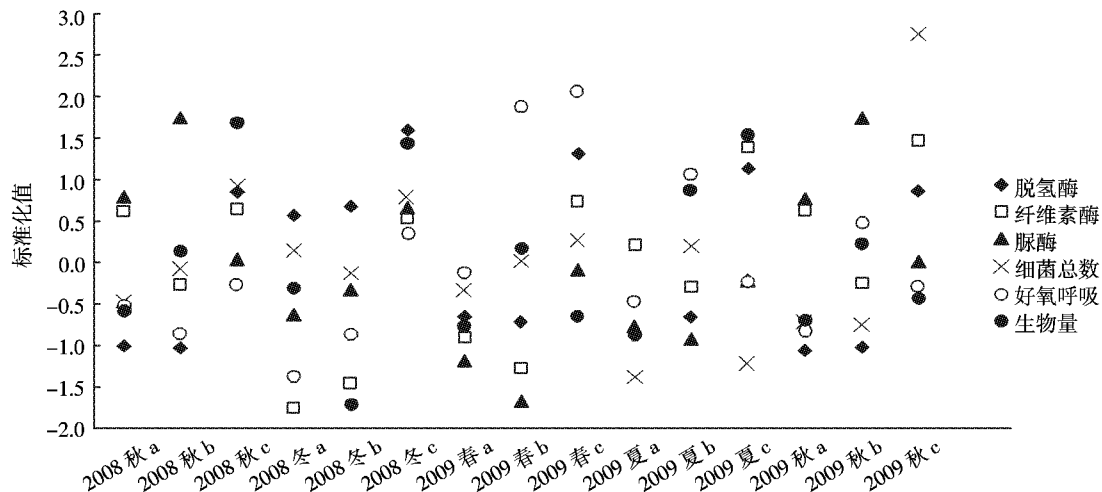


图 3 标准化后不同农业模式下土壤生物活性与生物产出量

Figure 3 Standardized soil microbiological indicators and biomass of different agricultural pattern

表 5 未加和土壤呼吸和生物量的主成分矩阵

Table 5 Principal components matrix without soil respiration and biomass

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
pH	0.237 1	-0.091 3	0.409	-0.249 3	-0.375 3
含盐量	-0.132	-0.264 1	0.424 6	0.229 7	0.398 7
含水率	0.219 9	0.366 2	-0.197 1	-0.245 6	0.320 1
容重	0.282 1	-0.252 8	-0.069 7	-0.249 6	0.315 8
总氮	-0.355 3	0.129 2	0.139 2	-0.183	0.561
总磷	0.38	-0.076 3	0.106 3	0.453 2	0.129 2
总钾	0.409 2	0.089 2	0.062 5	0.448 8	0.105 4
总钠	0.135	-0.395 8	0.401	-0.129 6	0.094 2
总有机碳	0.272 1	0.432 8	0.141 6	-0.033 3	-0.163 3
脱氢酶	0.004 7	0.339 9	0.499 5	-0.025	-0.043 8
脲酶	-0.272	0.356 6	0.079 6	0.446 9	0.083 3
纤维素酶	-0.425 3	-0.183 4	0.060 8	0.205 1	-0.332
细菌总数	-0.114 5	0.270 5	0.366	-0.248 3	-0.022 8

表 6 未加和生物量的主成分矩阵

Table 6 Principal components matrix without biomass

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
pH	0.085 2	0.253 7	0.327	-0.320 9	-0.398 1
含盐量	-0.387 8	0.157 4	0.326 8	0.145 6	0.24
含水率	0.377 2	-0.065 4	-0.052 6	-0.144 6	0.445 5
容重	0.031 8	0.353 7	-0.148 7	-0.251 3	0.284 6
总氮	-0.200 4	-0.310 3	0.163 1	-0.169 7	0.519 4
总磷	0.128 2	0.383	0.118 9	0.430 9	0.051 3
总钾	0.227 3	0.317 2	0.141 9	0.461 2	0.103
总钠	-0.231 8	0.393 8	0.236 5	-0.225 4	-0.014
总有机碳	0.423 9	-0.033 2	0.283 5	0.007 5	-0.076 4
脱氢酶	0.098 2	-0.110 7	0.582 7	-0.041 3	-0.013 4
脲酶	-0.025 3	-0.367 1	0.219 8	0.472 3	0.080 7
纤维素酶	-0.362 8	-0.223 4	-0.022 4	0.141 9	-0.410 1
细菌总数	0.033 8	-0.199 8	0.414	-0.255 8	0.011 5
土壤呼吸	0.462 9	-0.211 5	-0.065 8	-0.058 3	-0.200 4

表 7 加和所有参数的主成分矩阵

Table 7 Principal components matrix with all parameters

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
pH	-0.245 4	0.041 1	0.341 6	-0.321 6	-0.370 4
含盐量	-0.030 7	-0.401 3	0.344 4	0.146 5	0.245
含水率	0.010 7	0.385 1	-0.051 6	-0.142 8	0.439 8
容重	-0.339 8	-0.030 5	-0.115 7	-0.245	0.293 3
总氮	0.350 6	-0.139 5	0.138 7	-0.173	0.460 9
总磷	-0.335 3	0.067	0.160 9	0.436 2	0.099 3
总钾	-0.313 4	0.172 5	0.174 4	0.464 7	0.122 2
总钠	-0.284 8	-0.289 6	0.273 7	-0.220 9	0.050 3
总有机碳	-0.033 3	0.424 7	0.277 8	0.004 5	-0.093 7
脱氢酶	0.133 2	0.123 4	0.571 5	-0.046 4	-0.022 6
脲酶	0.331 6	0.036 3	0.182 6	0.464 5	-0.005
纤维素酶	0.229 4	-0.325 1	-0.05 2	0.136 3	-0.444 7
细菌总数	0.167 9	0.066 1	0.385 1	-0.263 3	-0.068
土壤呼吸	0.097 5	0.489 2	-0.086 8	-0.061 3	-0.211 7
生物量	0.435 2	0.063 7	0.050 4	0.010 9	0.164 3

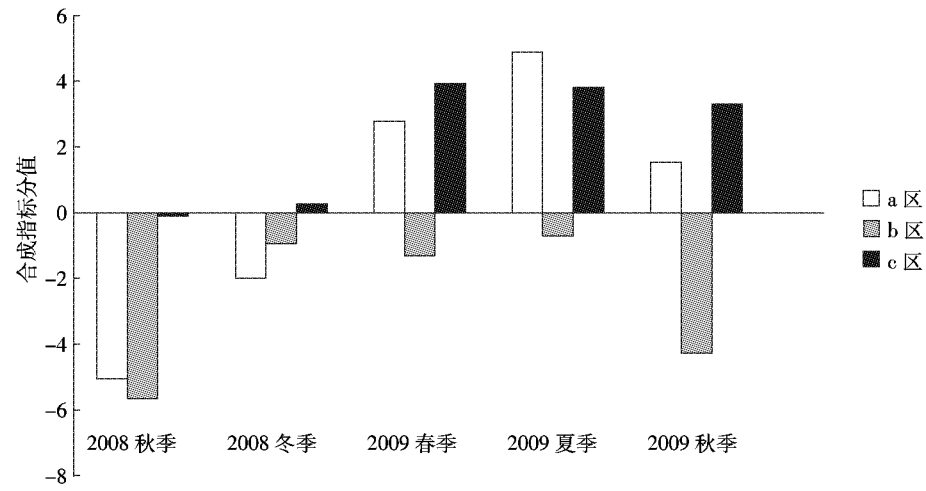


图 4 未加和土壤呼吸和生物量的合成指标

Figure 4 Aggregative indicators without soil respiration and biomass

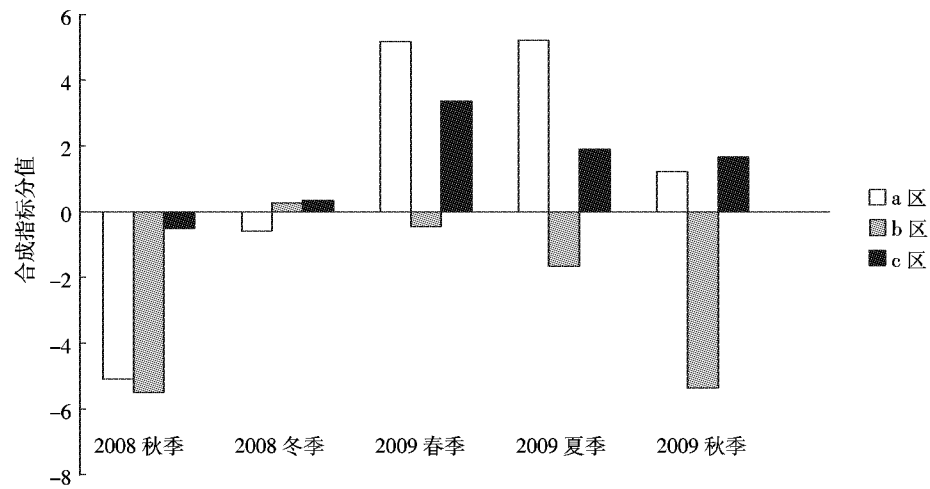


图 5 未加和生物量的合成指标

Figure 5 Aggregative indicators without biomass

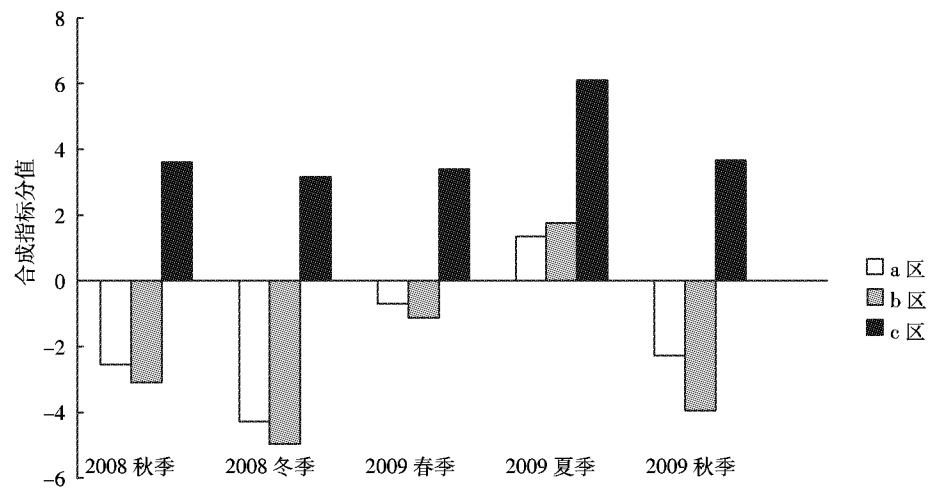


图 6 加和所有参数的合成指标

Figure 6 Aggregative indicators with all parameters

a 区经过花菜-橘树的农业模式发展,整体评价有所提高,同时受季节性的外部条件影响而存在一定的波动;c 区的改良效果最为明显,相对值较高,且季节波动小,可能与玉米-大麦-西瓜-花菜的多样性种植模式有关。

3.2 加和土壤呼吸及生物量的评价结果

传统评价体系对崇明 3 块样地的评价结果表明,不同改良模式的效果存在差异,c 区的 5 个季度平均得分最高,意味着仅考虑土壤肥力,其改良效应最强。但加和土壤呼吸强度(碳支出)和生物量(碳收入)等重要因素后,同一块样地的评价结果表现出明显差异,结果见图 7。

加和土壤呼吸强度后,a 区的评价值明显提高,这可能是 a 区的呼吸因素对于 a 区为正向指标所导致的,即在考虑二氧化碳排放后,整体评价升高。因此该模式有利于消减土壤的 CO_2 释放。但加和产出的生物量(固定的 CO_2 量)后,分值却进一步下降。该模式种植的花菜和橘树的生物量可能比较小,从而提高了单位生物量的土壤呼吸强度。综合碳收支因素后,总体上该模式改良效果一般。

b 区仅种植牧草,免耕不施肥,受人为因素干扰最小,导致 3 种评价体系差异不明显。

c 区的农业模式较为多样化,强化了土壤的呼吸作用。土壤呼吸作为逆向指标,使加和后的评价值大大降低。但加和生物量后,得到了最高的评分值。这是由于该样区生物量较大,降低了单位生物量的土壤呼吸强度而导致的。综合考虑土壤肥力和碳收支因素,该模式有比较理想的改良效果。

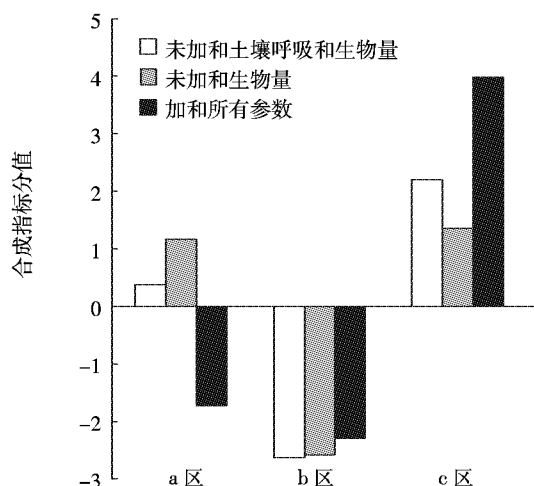


图 7 3 块样地的各个季节合成指标平均值

Figure 7 Average remarks of aggregative indicators in three sample regions

4 结论

研究结果表明,直接的土壤的物理、化学和微生物指标由于受到季节性因素的影响无法在短时间内反映改良效果,各个指标的原始数据在为期 15 个月的采样周期内没有表现出明显的规律性变化。但经过主成分分析模型处理后,首先消除了不同监测指标的量纲与数量级的差异,进而得出综合主成分得分这一个指标,便于对结果进行直观的比较。

主成分分析模型评价结果表明,综合主成分得分高低与种植模式的多样性呈现正相关,不同的农业利用模式对崇明瀛东村盐碱土壤肥力的提升存在差异,多样化的土地利用模式相对于单一的种植模式有更好的改良效果。

将土壤呼吸加和到主成分模型中,结果与原综合主成分得分存在明显差异。从模型评价的结果看,土壤呼吸强度对整体评价得分的影响和农业利用模式的多样性相关,利用模式越单一,土壤呼吸对整体评价得分的影响越小。同时加和生物产出量和土壤呼吸后,评价结果依然和改良模式的多样性相关,玉米-大麦-西瓜-花菜轮作的农业种植模式虽然加强了土壤的呼吸,但同时导致了该样区生物量的显著提高,使相应的主成分得分远高于只加和土壤呼吸的结果。

综合土壤肥力和碳汇能力,玉米-大麦-西瓜-花菜轮作的农业耕作模式对崇明瀛东村盐碱土壤的改良效果最佳。

参考文献:

- [1] 郑立臣, 宇万太, 马 强, 等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 156-161.
ZHENG Li-chen, YU Wan-tai, MA Qiang, et al. Advances in the integrated evaluation of farmland fertility[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(5): 156-161.
- [2] 夏建国, 李廷轩, 邓良基, 等. 主成分分析法在耕地质量评价中的应用[J]. 西南农业学报, 2000, 13(2): 51-55.
XIA Jian-guo, LI Ting-xuan, DENG Liang-ji, et al. The application of the principal component analysis method in quality evaluation of cultivated land[J]. *Southwest China Journal of Agriculture Science*, 2000, 13(2): 51-55.
- [3] Lal R. Soil erosion and the global carbon budget[J]. *Environment International*, 2003, 29(4): 437-450.
- [4] Liming Zhang, Dongsheng Yu, Xuezheng Shi, et al. Simulation of global warming potential(GWP) from rice fields in the Tai-Lake region, China by coupling 1:50,000 soil database with DNDC model[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 2737-27.
- [5] ZHANG Xu-hui, LI Lian-qing, PAN Gen-xing. Topsoil organic carbon

- mineralization and CO₂ evolution of three paddy soils from South China and the temperature dependence[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(3):319-326
- [6] 刘德辉, 陶于祥. 土壤、农业与全球气候变化[J]. 火山地质与矿产, 2000, 21(4):290-295.
- LIU De-hui, TAO Yu-xiang. Soil, agriculture and global climatic evolution[J]. *Volcanology and Mineral Resources*, 2000, 21(4):290-295.
- [7] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(8):32-35.
- FENG Li-hua. Principal component analysis of environmental quality [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2003, 33(8):32-35
- [8] 李祚泳, 丁 晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- LI Zuo-yong, Ding Jing, Peng Li-Hong. Principles and methods of environmental quality assessment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [9] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(7):778-783.
- ZHANG Dong-qiu, SHI Pei-li, ZHANG Xian-zhou. Some advance in the main factors controlling soil respiration[J]. *Advance in Earth Science*, 2005, 20(7):778-783.
- [10] 曹 慧, 孙 辉, 杨 浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1):105-109.
- CAO Hui, SUN Hui, YANG Hao, et al. A review: soil enzyme activity and its indication for soil quality[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(1):105-109.
- [11] 欧国箐. 土壤理化分析实验指导书[M]. 北京: 北京林业大学出版社, 2002.
- OU Guo-jing. Tutorial book for soil physical and chemical indicators analysis[M]. Beijing Forestry University Press, 2002.
- [12] Critto Andrea, Carlon Claudio, Marcomini Antonio. Characterization of contaminated soil and groundwater surrounding an illegal landfill (S. Giuliano, Venice, Italy) by principal component analysis and kriging [J]. *Environmental Pollution*, 2003, 122 :235-244.
- [13] 高吉喜, 段飞舟, 香 宝. 主成分分析在农田土壤环境评价中的应用[J]. 地理研究, 2006, 25(5):836-841.
- GAO Ji-xi, DUAN Fei-zhou, XIANG Bao. The application of principal component analysis to agriculture soil contamination assessment [J]. *Geographical Research*, 2006, 25(5):836-841.
- [14] 李艳丽, 肖春玲, 王 磊, 等. 上海崇明东滩两种典型湿地土壤有机碳汇聚能力差异及成因[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1310-1316.
- LI Yan-li, XIAO Chun-ling, WANG Lei, et al. Difference and its formation cause in soil organic carbon accumulation capability of two typical tidal wetlands at Dongtan of Chongming Island in Shanghai[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(6): 1310-1316.