

文章编号: 1000-5862(2015)01-0094-07

# 基于 SPSS 因子分析的养猪废水中藻生长适应性综合评价

黄学平<sup>1,2</sup> 李 薇<sup>3</sup> 万金保<sup>1\*</sup> 柯 颖<sup>4</sup> 洪 涛<sup>2</sup> 谢友林<sup>2</sup> 陈孝挺<sup>2</sup>

(1. 南昌大学环境与化学工程学院 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室 江西 南昌 330047;

2. 南昌工程学院土木与建筑工程学院 江西省水利土木特种加固技术与安全监控工程研究中心 江西 南昌 330099;

3. 江西省生物科技职业学院经济贸易系 江西 南昌 330200; 4. 南昌工程学院学报编辑部 江西 南昌 330099)

**摘要:** 基于 SPSS 软件的因子分析法, 对小球藻、栅藻、微囊藻 3 类藻在养猪废水 8 种不同处理阶段的水样中进行藻生长适应性综合评价研究, 旨在为分析评价藻在养猪废水中的生长适应性、养猪废水作为藻类培养基的可能性. 研究结果表明: 8 种水样中原水的营养成分较适合藻生长, 3 种藻类中小球藻生长的综合适应能力最强, 小球藻能在养猪废水中生长成为优势藻种.

**关键词:** SPSS; 因子分析; 养猪废水; 藻生长适应性; 小球藻

**中图分类号:** X 713

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2015.01.18

## 0 引言

人类正面临着能源危机的挑战, 必须加紧开发新的能源尤其是清洁的生物新能源<sup>[1]</sup>. 同时, 水资源短缺、水体污染也正成为制约 21 世纪人类发展的主要瓶颈, 对水污染的合理治理已经刻不容缓. 作为生物新能源的能源微藻被认为是最具潜力的生产生物柴油的替代原料<sup>[2]</sup>. 人们通过实验室研究成功培养出能源微藻生产生物柴油, 但是生产成本太高, 制约了该技术的发展<sup>[3]</sup>. 利用养猪废水培养能源微藻, 以用于生产生物柴油, 不仅可以减少微藻的培养费用、降低生物柴油的生产成本、缓解能源短缺问题, 而且可以变废为宝, 使废物资源化, 同时达到治理、净化养猪场废水的目的<sup>[4]</sup>.

目前, 国内外对于微藻能源的研究很多, 但是以养猪废水作为培养基的研究还是近几年才开始兴起<sup>[5-8]</sup>. 对微藻在养猪废水中的生长适应性综合评价的研究报道更是不多. 本文基于 SPSS 软件的因子分析法, 进行养猪废水中藻生长适应性综合评价研究, 旨在为分析评价藻在养猪废水中的生长适应性、

养猪废水作为藻类培养基的可能性进行探索.

“因子分析”由 Thurstone 于 1931 年首次提出, 其概念起源于 20 世纪初 Karl Pearson、Charles Spearman 等关于智力测验的统计分析<sup>[9]</sup>. 在计算机技术快速发展的今天, 因子分析法已成功应用于生物学、经济学、心理学等多个领域, 其理论和方法也不断得到丰富和完善. SPSS 因子分析法是一种反映降维思想的多元统计分析方法, 主要研究以最少的信息丢失、将众多原有变量提取成少数几个因子, 并使因子对原有变量具有较强的命名解释性<sup>[10]</sup>.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与试剂

试验所用小球藻取自某湖, 经本文研究者分离提纯培养所得; 四尾栅藻、微囊藻购自中国科学研究院武汉水生生物研究所. 小球藻用 SE 培养基、微囊藻和栅藻用 BG11 培养基经实验室扩大培养, 用于本实验.

试验所用水样取自某养猪场不同处理阶段的废

收稿日期: 2014-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(41261097, 51209115), 江西省科技计划课题(20121BBF60052), 江西省科技厅自然科学基金(20132BAB203024), 南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室开放基金(13005875), 江西省高等学校大学生创业计划(指导教师: 黄学平)和南昌工程学院大学生科研训练计划(指导教师: 黄学平)资助项目.

作者简介: 黄学平(1973-), 女, 江西丰城人, 副教授, 博士研究生, 主要从事水污染控制及资源化技术方面的研究.

万金保(1952-), 男, 江西南昌县人, 教授, 博士生导师, 主要从事水污染控制及资源化技术研究.

水. 废水水质分析所用化学试剂均为化学纯或分析纯.

1.2 主要试验仪器与设备

SPX-450B-Z 型生化培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂)、UV1 901 紫外可见分光光度计(上海凤凰)、SFC-28 生物显微镜、AL204 电子天平(梅特勒-托利多公司,瑞士)、AVANTIJ-E 高速离心机(Beckman Coulter 公司)、PB-40 型 pH 计(北京赛多利斯)、DRB 消解器(哈希公司)、高压灭菌锅(TOMY 公司,日本)等.

1.3 测定方法

废水水质指标检测包括 COD、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N 的测定,均采用国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》颁布的标准方法,COD 采用重铬酸钾滴定法、NH<sub>3</sub>-N 采用纳氏试剂分光光度法、TP 采用过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法、TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法、pH 值采用玻璃电极法测定.

藻生物量的测定采用藻细胞计数法与测吸光度值.藻细胞计数用显微镜和 XB-K-25 型血球计数板计数藻细胞数目,再换算出培养液中的藻细胞密度;采用浊度法测定藻液在紫外可见分光光度计 650 nm 处的吸光度值( $OD_{650}$ ).

锥形瓶内藻样液的温度采用玻璃液体温度计测量.

1.4 试验设计与数理统计方法

将采集的不同处理阶段的养猪废水水样,经布氏漏斗+直径 12.5 cm 的中速定性滤纸真空抽滤处理,过滤去除悬浮物,并于 24 h 内测定水质指标.

试验用小球藻、四尾栅藻、微囊藻 3 种藻种经实验室扩大培养,将对数生长期的 3 种藻接种到过滤后的各养猪废水水样中,采用国际标准“瓶法”置于室内阳光照射充裕的南面窗台上培养.藻的初始接种浓度均为  $5 \times 10^5$  个  $\cdot$  mL<sup>-1</sup>,试验期间培养环境温度为 25 ~ 30 ℃,每组试验均设置 2 个平行样,每日定时手摇 3 次.每日进行藻生物量的测定,以观察藻的生长情况;记录稳定生长期各藻的细胞计数与吸光度值,用于后续数据处理.

采用 SPSS 数据统计软件因子分析对试验数据进行数据处理分析,依据因子分析结果,对藻在养猪废水中的生长适应性进行综合评价.

2 结果与分析

2.1 水质指标测定结果

经过滤处理后的各养猪废水水样,按废水水质指标国标测试方法测定,水质指标 COD、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、pH 值的测定结果见表 1.

表 1 样品废水水质检测值及藻稳定生长期生物量测定结果

样品类	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg · L <sup>-1</sup> )	温度/℃	pH 值	藻细胞密度/ (10 <sup>6</sup> 个 · mL <sup>-1</sup> )	吸光度 ( $OD_{650}$ )
囊、SBBR 出	1 920	108.36	119.15	31.43	27.0	7.9	7.450	0.872
囊、沼进	3 667	235.06	244.05	15.28	27.3	7.2	11.50	1.734
囊、匀出	3 333	229.00	237.09	26.99	27.5	7.8	6.375	0.737
囊、接混	2 667	172.57	185.51	53.82	27.2	7.7	5.750	0.769
囊、调混	3 253	232.36	245.86	23.89	27.1	8.0	8.050	0.813
囊、SBBR 进	2 333	135.33	144.25	48.56	27.3	8.8	7.875	0.898
囊、沼出	3 400	204.28	211.96	38.18	27.4	8.1	9.625	0.972
囊、原水	4 627	248.68	262.09	37.22	27.1	7.9	12.500	1.858
球、接混	2 700	175.67	187.40	49.11	27.0	8.2	15.875	1.556
球、SBBR 进	2 420	137.34	145.43	46.31	27.3	7.8	15.425	1.402
球、SBBR 出	2 000	113.39	121.34	33.06	27.4	7.7	12.975	1.276
球、沼进	3 533	242.28	255.75	15.33	27.1	8.0	28.725	2.076
球、匀出	3 430	219.45	224.05	28.34	27.5	7.8	24.375	1.922
球、调混	3 367	233.90	249.85	25.61	27.5	8.1	8.625	0.487
球、沼出	3 350	219.05	228.69	38.51	27.2	7.9	10.225	0.901
球、原水	4 560	255.33	271.59	35.95	27.1	8.2	10.450	1.213
栅、沼进	3 483	233.47	242.53	16.53	27.3	7.8	3.552	0.365
栅、SBBR 出	1 967	109.20	117.71	32.87	27.4	7.7	3.775	0.389
栅、接混	2 867	184.72	193.71	56.64	27.2	8.0	3.530	0.373
栅、调混	3 267	245.59	256.27	22.79	27.4	7.8	4.050	0.485
栅、匀出	3 300	228.16	235.11	27.71	27.1	8.1	3.025	0.302
栅、原水	4 487	253.35	263.71	35.51	27.3	7.9	2.811	0.278
栅、SBBR 进	2 370	133.08	142.28	46.94	27.1	8.2	3.495	0.388
栅、沼出	3 267	217.07	226.42	35.61	27.4	7.8	3.225	0.325

2.2 藻生长测定结果

每日对各组试验的藻样液进行藻生物量的测

定,各组测定结果均取试验样批的均值,绘制生长曲线,记录稳定生长期各组试验藻样液的温度、藻细胞

密度与吸光度值(见表1)。

2.3 SPSS 因子分析结果

把表1中pH值所在列的数据替换为pH值-7的计算值,将作此处理后的表1数据进行SPSS因子分析。将COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、温度、pH值-7、藻细胞密度、吸光度值分别设为变量X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、X<sub>4</sub>、X<sub>5</sub>、X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub>、X<sub>8</sub>,各变量均为正值,SPSS19.0统计软件能自行对处理后的表1数据作标准化处理,消除各指标间不同量纲、不同数量级的影响。标准化后的数据,均值为0,方差为1。

表2 相关矩阵

	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP (mg·L <sup>-1</sup> )	温度/℃	pH 值-7	藻细胞密度/ (10 <sup>6</sup> 个·mL <sup>-1</sup> )	吸光度 (OD <sub>650</sub> )
相关	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.000	0.916	0.917	-0.327	-0.014	0.323	0.102
	NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.916	1.000	0.999	-0.488	0.072	0.301	0.091
	TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.917	0.999	1.000	-0.481	0.049	0.313	0.092
	TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	-0.327	-0.488	-0.481	1.000	-0.229	-0.039	-0.205
	温度/℃	-0.014	0.072	0.049	-0.229	1.000	-0.459	-0.068
	pH 值-7	0.323	0.301	0.313	-0.039	-0.459	1.000	0.086
	藻细胞密度/ (10 <sup>6</sup> 个·mL <sup>-1</sup> )	0.102	0.091	0.092	-0.205	-0.068	0.086	1.000
	吸光度(OD <sub>650</sub> )	0.186	0.093	0.096	-0.149	-0.171	0.133	0.903
Sig (单侧)	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )			0.059	0.475	0.062	0.317	0.193
	NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )			0.008	0.368	0.076	0.336	0.333
	TN/(mg·L <sup>-1</sup> )			0.009	0.410	0.068	0.334	0.328
	TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.059	0.008	0.009		0.141	0.428	0.168
	温度/℃	0.475	0.368	0.410	0.141		0.012	0.376
	pH 值-7	0.062	0.076	0.068	0.428	0.012		0.345
	藻细胞密度/ (10 <sup>6</sup> 个·mL <sup>-1</sup> )	0.317	0.336	0.334	0.168	0.376	0.345	
	吸光度(OD <sub>650</sub> )	0.193	0.333	0.328	0.243	0.212	0.268	0

2.3.2 KMO 和 Bartlett 检验 对数据进行KMO检验法和Bartlett球形度检验法检验,检验结果见表3。由表3可知,KMO值为0.624,Bartlett球形度检验值为212.422;相应的概率p值为0<显著性水平0.01,拒绝原假设,认为变量间的相关矩阵不是单位阵,各变量间具有一定的相关性,可以进行因子分析。

表3 KMO 和 Bartlett 的检验

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	0.624
Bartlett 的球形度检验 近似卡方	212.422
d <sub>f</sub>	28
Sig	0

2.3.3 公因子方差 表4为SPSS因子分析法采用主成分分析的公因子方差结果,表4中数据显示了所有变量的共同度。表4第1列为8个原始变量名;第2列数据是因子分析初始解下的变量共同度且均为1;原有变量标准化后的方差为1;第3列的数据

本文进行SPSS因子分析时采用主成分分析法,按特征值大于1确定因子的数目。SPSS因子分析结果如下。

2.3.1 相关矩阵 采用SPSS因子分析,计算了相关系数矩阵及每个相关系数的单尾假设检验水平,结果见表2。表2显示COD、NH<sub>3</sub>-N、TN之间的相关系数高达0.916以上,藻细胞密度、吸光度之间的相关系数也高达0.903,且其对应的Sig值普遍较小,由此可大致认为本文原始数据适合做因子分析。

是根据因子分析最终解计算出的变量共同度,所有8个原始变量中有7个变量的共同度超过了0.709,其中4个原有变量的共同度超过了0.945,提取的因子能解释原有变量方差的大部分,信息缺失少。

表4 公因子方差

变量名	初始	提取
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.000	0.873
NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.000	0.971
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.000	0.971
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.000	0.525
温度/℃	1.000	0.777
pH 值-7	1.000	0.709
藻细胞密度/ (10 <sup>6</sup> 个·mL <sup>-1</sup> )	1.000	0.949
吸光度(OD <sub>650</sub> )	1.000	0.945

提取方法:主成分分析。

2.3.4 方差解释表 表5为SPSS因子分析法采用

主成分分析解释的总方差,它是因子分析后因子提取和因子旋转的结果.依据特征值大于 1 的原则,在初始解中可提取 3 个公因子(主成分),此 3 个公因子(主成分)的累积方差贡献率达 83.994%,包含了原有 8 个指标的绝大部分信息,可以很好地解释自变量.

2.3.5 碎石图 SPSS 系统输出的按大小排列的因

子变量特征值散点图——碎石图(见图 1).图 1 显示:第 1 个因子(成分)特征值最大,其值为 3.361,这意味着该因子对原有变量的解释贡献也最大;第 4 个以后的因子(成分)特征值变化趋缓且它们的值均小于 1,对解释原有变量的贡献很小,进一步证明本文提取 3 个公因子是比较恰当的.

表 5 解释的总方差

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差 / %	累积 / %	合计	方差 / %	累积 / %	合计	方差 / %	累积 / %
1	3.361	42.015	42.015	3.361	42.015	42.015	3.241	40.512	40.512
2	1.890	23.627	65.642	1.890	23.627	65.642	1.939	24.241	64.753
3	1.468	18.352	83.994	1.468	18.352	83.994	1.539	19.241	83.994
4	0.655	8.191	92.185						
5	0.451	5.638	97.823						
6	0.123	1.540	99.363						
7	0.050	0.624	99.986						
8	0.001	0.014	100.000						

提取方法:主成分分析.

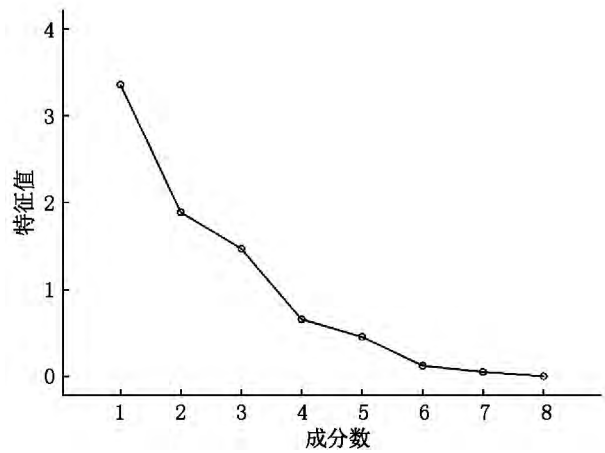


图 1 碎石图

2.3.6 公因子命名及变量表达形式 为进一步明确公因子所表达的含义,本文将因子载荷阵进行正交旋转(方差极大旋转),得到旋转后的因子载荷矩阵(见表 6).

表 6 旋转成份矩阵<sup>a</sup>

变量名	成分		
	1	2	3
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.918	0.056	0.166
NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.984	0.016	0.055
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.982	0.016	0.077
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	-0.586	-0.231	0.358
温度/℃	0.133	-0.098	-0.866
pH 值-7	0.310	0.050	0.781
藻细胞密度/(10 <sup>6</sup> 个·mL <sup>-1</sup> )	0.061	0.972	0.010
吸光度(OD <sub>650</sub> )	0.070	0.962	0.120

提取方法:主成分.旋转法:具有 Kaiser 标准化的正交旋转法. a: 旋转在 5 次迭代后收敛.

由表 6 可知,因子 1( $F_1$ )即成分 1 主要与 COD(因子负荷为 0.918)、NH<sub>3</sub>-N(因子负荷为 0.984)、TN(因子负荷为 0.982)、TP(因子负荷为 -0.586)有关,因此可将因子 1 解释为耐营养冲击负荷因素;该因子的方差贡献率为 40.512%.因子 1( $F_1$ )得分越高,表明藻生长对营养冲击负荷的耐受能力越强.

因子 2( $F_2$ )即成分 2 主要与藻细胞密度(因子负荷为 0.972)、吸光度值(因子负荷为 0.962)有关,因此可将因子 2 解释为藻细胞生长状态因素;该因子的方差贡献率为 24.241%.因子 2( $F_2$ )得分越高表明藻细胞生长越好.

因子 3( $F_3$ )即成分 3 主要与温度(因子负荷为 -0.866)、pH 值(因子负荷为 0.781)有关,因此可将该因子解释为抗环境冲击负荷因素;该因子方差贡献率为 13.421%.因子 3( $F_3$ )得分越高表明藻类生长对外界环境的适应能力越强.

因此可以利用新提取出的 3 个因子( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ )对试验样本藻生长适应性加以描述与评价.

由表 6,各变量可按下列等式表达:

$$Z(X_1) = 0.918F_1 + 0.056F_2 + 0.166F_3 + \varepsilon_1,$$
$$Z(X_2) = 0.984F_1 + 0.016F_2 + 0.055F_3 + \varepsilon_2,$$
$$\cdots$$

依次类推,8 个变量均可表达为 3 个公共因子  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的线性组合 + 特殊因子  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, \cdots$ ) 的形式.

2.3.7 载荷散点图 SPSS 系统自动输出 3 个因子的 3 维因子载荷散点图(见图 2).

图 2 是旋转后因子载荷矩阵的图形化表示方

式,每个变量在图形中为 1 个数据点,各数据点在图 2 中有较明显的分组现象: COD (因子负荷为 0.918)、NH<sub>3</sub>-N (因子负荷为 0.984)、TN(因子负荷为 0.982) 载荷接近 1,分布在成分 1 坐标轴的远端;藻细胞密度(因子负荷为 0.972)、吸光度值(因子负荷为 0.962) 载荷接近 1,分布在成分 2 坐标轴的远端;温度(因子负荷为 -0.866)、pH 值(因子负荷为 0.781) 载荷较接近 ±1,分布在成分 3 坐标轴的两端.该载荷散点图表明本文因子分析效果较好.

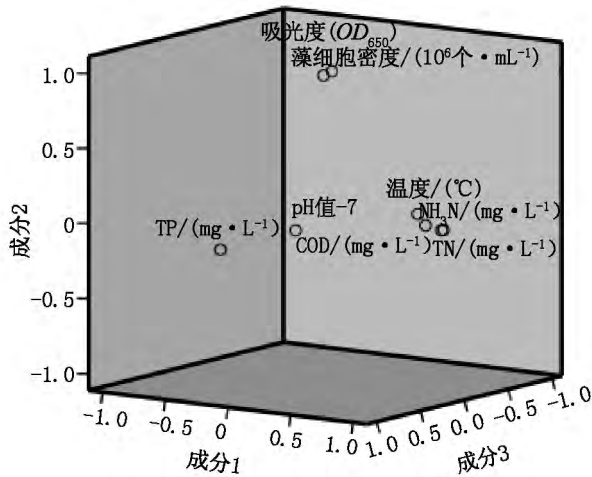


图2 载荷散点图

2.3.8 因子得分及排名 SPSS 系统自动输出成分得分系数矩阵(见表 7).成分得分系数矩阵表明了 8 个变量与 3 个因子(成分)之间的得分系数关系.

表7 成分得分系数矩阵

	成分		
	1	2	3
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.282	-0.028	0.073
NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.309	-0.047	-0.001
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.307	-0.048	0.014
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	-0.186	-0.110	0.271
温度/℃	0.079	-0.012	-0.572
pH 值-7	0.067	-0.032	0.502
藻细胞密度/(10 <sup>6</sup> 个·mL <sup>-1</sup> )	-0.033	0.512	-0.048
吸光度(OD <sub>650</sub> )	-0.033	0.500	0.025

提取方法:主成分.旋转法:具有 Kaiser 标准化的正交旋转法.构成得分.

根据因子得分系数矩阵(见表 7),得旋转后的因子得分表达式:

$$F_1 = 0.282X_1 + 0.309X_2 + 0.307X_3 - 0.186X_4 + 0.079X_5 + 0.067X_6 - 0.033X_7 - 0.033X_8, \quad (1)$$

$$F_2 = -0.280X_1 - 0.047X_2 - 0.048X_3 - 0.110X_4 - 0.012X_5 - 0.032X_6 + 0.512X_7 + 0.500X_8, \quad (2)$$

$$F_3 = 0.073X_1 - 0.001X_2 + 0.014X_3 + 0.271X_4 - 0.572X_5 + 0.502X_6 - 0.048X_7 + 0.025X_8. \quad (3)$$

由因子表达式(1)~(3),可计算各试验样品在 3 个公共因子 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>上的得分及排名;以提取的各公共因子的方差贡献率/提取公共因子的总方差贡献率的比值作为权重,计算 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>得分并进行加权汇总,得出各试验样品的综合得分.

得分及排名如表 8 所示.各因子得分的均值为 0,标准差为 1;F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>得分及综合得分有正有负,正值表示高于平均水平,负值表示低于平均水平.

表8 各试验样品在各公因子上的得分及排名表

样品类	因子 1 得分	因子 1 得分排名	因子 2 得分	因子 2 得分排名	因子 3 得分	因子 3 得分排名	综合 得分	综合得 分排名
囊、SBBR 出	-1.634 27	24	0.071 54	9	0.638 82	7	-0.62	21
囊、沼进	0.997 58	3	0.908 82	5	0.271 36	10	0.81	4
囊、匀出	0.636 01	9	-0.383 02	14	-1.393 51	23	-0.12	15
囊、接混	-0.883 42	18	-0.488 10	15	-0.055 47	13	-0.58	20
囊、调混	0.594 72	10	-0.174 05	13	0.550 33	8	0.36	7
囊、SBBR 进	-1.329 96	21	-0.102 94	12	-0.296 64	15	-0.74	22
囊、沼出	0.216 11	14	-0.037 89	11	0.092 96	12	0.11	12
囊、原水	0.966 03	4	0.893 72	6	0.714 33	6	0.89	3
球、接混	-0.766 71	17	0.937 71	3	1.989 14	1	0.36	6
球、SBBR 进	-1.309 29	20	0.932 77	4	-0.372 55	16	-0.45	18
球、SBBR 出	-1.515 55	23	0.831 14	7	-1.367 18	22	-0.80	23
球、沼进	0.779 10	8	2.570 29	1	0.287 56	9	1.18	1
球、匀出	0.354 69	12	2.040 81	2	-1.434 64	24	0.43	5

表 8( 续)

样品类	因子 1 得分	因子 1 得分排名	因子 2 得分	因子 2 得分排名	因子 3 得分	因子 3 得分排名	综合 得分	综合得 分排名
球、调混	0.898 08	5	-0.490 33	16	-0.565 77	17	0.16	10
球、沼出	0.207 35	15	-0.031 78	10	0.227 16	11	0.14	11
球、原水	1.224 59	1	0.114 71	8	1.577 83	2	0.98	2
栅、沼进	0.854 10	7	-0.826 23	19	-0.894 18	19	-0.03	13
栅、SBBR 出	-1.475 02	22	-0.641 10	17	-1.348 07	21	-1.21	24
栅、接混	-0.579 04	16	-1.114 68	23	0.909 88	5	-0.39	17
栅、调混	0.872 50	6	-0.765 88	18	-1.125 53	20	-0.06	14
栅、匀出	0.554 39	11	-1.049 64	22	0.947 65	4	0.18	9
栅、原水	1.220 40	2	-1.232 83	24	-0.058 95	14	0.22	8
栅、SBBR 进	-1.208 64	19	-0.927 65	20	1.573 35	3	-0.49	19
栅、沼出	0.326 26	13	-1.035 38	21	-0.837 88	18	-0.33	16

3 结论

表 8 中各因子得分排名表明 ,试验用养猪场水样中原水的因子 1 得分普遍最高 ,这意味着养猪场水样中原水的 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 营养成分较适合藻生长; 试验样品中小球藻类的因子 2 得分普遍最高 ,这说明样品中小球藻的藻细胞繁殖快、生长状态好; 试验样品中小球藻类的因子 3 得分普遍较高 ,这说明样品中小球藻生长对温度、pH 值变化的适应能力较强.

按表 8 中综合得分排名可知 ,试验样品中小球藻类的综合得分占据了前几位( 如球、沼进样品排第 1 球、原水样品排第 2) ,这表明小球藻生长的综合适应能力强. 为了进一步评价各藻类生长的综合适应性 ,将表 8 中综合得分按藻种归类汇总计算得小球藻总得分为 2.0 ,排第 1; 微囊藻总得分为 0.11 ,排第 2; 四尾栅藻总得分为 -2.11 ,排第 3.

综上 ,按 SPSS 因子分析的结果 ,认为样品中小球藻类生长的综合适应能力最强 ,小球藻能在养猪废水中生长成为优势藻种. 此结论与试验的实际情况也是相吻合的 ,这表明采用 SPSS 因子分析法能对本文试验样品的相关数据做出很好地描述、分析与评价.

4 参考文献

[1] Groom M J ,Gray E M ,Townsed P A. Biofuels and biodiversity: principles for creating better policies for biofuel

production [J]. Conservation Biology ,2008 ,22( 3) : 602-609.

[2] Gouveia L ,Oliveira A C. Microalgae as araw material for biofuels production [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 2009 ,36( 2) : 269-274.

[3] Zhang Yong ,Dube M A ,Mclean D D ,et al. Biodiesel production from waste cooking oil. 1. Process design and technological assessment [J]. Bioresource Technology ,2003 ,89( 1) : 1-16

[4] 黄学平 ,李凤 ,蔡志文 ,等. 养猪废水污染防治及资源化培养微藻探索 [J]. 南昌工程学院学报 ,2013 ,32( 4) : 42-46.

[5] 王翠 ,李环 ,韦萍. 沼液培养小球藻生产油脂的研究 [J]. 环境工程学报 ,2010 ,4( 8) : 1753-1758.

[6] Elizabeth K W ,Carolina P ,Walter W M. Treatment of swine manure effluent using freshwater algae: Production , nutrient recovery ,and elemental composition of algal biomass at four effluent loading rates [J]. Journal of Applied Phycology 2006 ,18( 1) : 41-46.

[7] An J Y ,Sim S J ,Lee J S ,et al. Hydrocarbon production from secondarily treated piggery wastewater by the green alga *Botryococcus braunii* [J]. Journal of Applied Phycology 2003 ,15: 185-191.

[8] 李岩 ,周文广 ,张晓东 ,等. 微藻培养技术处理猪粪厌氧发酵废水效果 [J]. 农业工程学报 ,2011 ( S1) : 101-104.

[9] 卢纹岱. Spss for windows 统计分析 [M]. 北京: 电子工业出版社 2006.

[10] 杜强 ,贾丽艳. SPSS 统计分析从入门到精通 [M]. 北京: 人民邮电出版社 2011.

## The Comprehensive Evaluation about Algal Growth Adaptability in Swine Wastewater Based on Factor Analysis of SPSS Software

HUANG Xueping<sup>1,2</sup>, LI Wei<sup>3</sup>, WAN Jinbao<sup>1\*</sup>, KE Ying<sup>4</sup>, HONG Tao<sup>2</sup>, XIE Youlin<sup>2</sup>, CHEN Xiaoting<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education, School of Environment and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang Jiangxi 330047, China;

2. Deptment of Civil Engineering and Architecture, Nanchang Institute of Technology, Jiangxi Provincial Engineering Research Center of the Special Reinforcement and Safety Monitoring Technology in Hydraulic & Civil Engineering, Nanchang Jiangxi 330099, China;

3. Economic and Trade Department, Jiangxi Biotech Vocational College, Nanchang Jiangxi 330200, China;

4. Journal Editorial Department, Nanchang Institute of Technology, Nanchang Jiangxi 330099, China)

**Abstract:** Based on factor analysis of SPSS software, it was researched that the growth adaptability of three kinds algae such as *Chlorella*, *Scenedesmus* and *Microcystis* in eight different stages of swine wastewater treatment. It aimed at making a certain exploration to analysis and evaluation about the adaptability of algal growth in swine wastewater and the possibility of pig wastewater as algae culture medium. The research results showed that in all the eight wastewater samples, the raw wastewater's nutrition is more suitable for algal growth, and *Chlorella* grow strongest in swine wastewater and can become dominant species.

**Key words:** SPSS; factor analysis; swine wastewater; algae growth adaptability; *Chlorella*

(责任编辑: 刘显亮)

(上接第 54 页)

## The Analytic Solutions of a Circular Hole with Four Cracks of One-Dimensional Hexagonal Piezoelectric Quasicrystals

ZHANG Feng<sup>1</sup>, LI Xing<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Mathematics and Computer Science, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021, China;

2. School of Mathematics and Computer Science, Ningxia Teachers University, Guyuan Ningxia 756000, China)

**Abstract:** By using the complex variable function method and the conformal mapping technique, the antiplane problem of one-dimensional hexagonal piezoelectric quasicrystals with a circular hole with four cracks is analyzed. The solutions of the stress intensity factors and electric displacement intensity factor is given in analytical form. For some special cases, such as a circular hole with symmetrical four cracks, a circular hole with three cracks, a circular hole with two collinear cracks, a circular hole with a single crack, a cross crack and a T shape crack in one-dimensional hexagonal piezoelectric quasicrystals, the analytic expressions of the stress intensity factor and the electric displacement intensity factor can be obtained by taking a limiting process from our present solution.

**Key words:** one-dimensional hexagonal piezoelectric quasicrystal; an circular hole with four cracks; complex variable method; SIFs

(责任编辑: 曾剑锋)