

电子舌信号与理化指标的信息融合区分不同养殖水的研究

赵煜, 韦真博, 王俊*

(浙江大学生物系统工程系, 杭州 310029)

摘要: 为优化金鱼的养殖环境, 应用电子舌结合理化指标对不同的金鱼养殖水进行了跟踪分析和研究。采用离子选择型电子舌对金鱼养殖水进行了检测, 同时采用化学方法检测了养殖水的常用理化指标; 通过主成份分析、聚类分析和典型判别分析 3 种模式识别方法, 对不同养殖密度和不同养殖天数的金鱼养殖水进行了分析和区分, 并探讨了电子舌信号与理化指标进行融合区分不同金鱼养殖水的能力。结果表明: 将电子舌信号与理化指标的融合可有效区分不同的金鱼养殖水。在选取适当的模式识别方法的前提下, 单独使用电子舌信号即可有效区分不同养殖密度和不同养殖天数的金鱼养殖水; 采用典型判别分析方法, 电子舌具有极强的区分不同养殖密度和不同养殖天数的养殖水的能力; 而采用主成份分析方法, 电子舌基本具有区分不同养殖密度和不同养殖天数养殖水的能力, 若将电子舌信号与理化指标进行融合, 则其区分能力将大大增强; 采用聚类分析方法, 电子舌信号、电子舌信号与理化指标融合的区分能力均最差。该文研究结果可为金鱼的养殖环境的检测分析提供参考。

关键词: 检测, 养殖, 水, 电子舌, 理化指标, 模式识别

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.028

中图分类号: S951.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0153-08

赵煜, 韦真博, 王俊. 电子舌信号与理化指标的信息融合区分不同养殖水的研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 153-160.

Zhao Yu, Wang Jun. Detection and analysis of fish culture water by electronic tongue[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 153-160. (in Chinese with English abstract)

0 引言

水产养殖系统对水质有着较高的要求, 受养殖区域的局限性很大。而在养殖过程中, 养殖系统产生的大量有机物和营养物质, 若其含量过高, 会消耗大量溶解氧, 使水生生态系统的正常功能受到损害, 导致水质严重恶化^[1]。

水质的综合评定是一个十分复杂的过程, 无法用某一参数来简单表述。影响水质的因素主要有: 温度、pH 值、溶解氧含量和氮化合物(氨和亚硝酸盐)等。在养殖过程中, 这些因素需要被控制在一定范围以便维持一个较好的养殖环境。John^[2]研究发现, 氮应用超过池塘同化能力可导致含氮化合物如氨和亚硝酸盐等的累积, 而这种累积将对鱼虾产生毒性。Szumski^[3]则指出, 去离子氨的毒性对测量鱼鳃表面 pH 值, 温度, 碱度和总氨含量有着密切的关系。Claude^[4]研究发现, 氧对水生生物如鱼虾等有着非常重要的作用, 而水中饱和溶解氧含量(DO)则受温度、盐度和压力等因素的综合影响。

电子舌是一种用于检测复杂液体的新型工具, 它由传感器阵列、信号处理和模式识别系统组成。与传统的

检测仪器相比, 电子舌系统在得到检测信号后, 不是简单的给出检测值, 而是通过模式识别系统对被测物质做出综合评价, 并且同时可以对一些成分含量进行测量^[5]。目前, 它已广泛应用于医药^[6-7]、乳品^[8-9]、饮料^[10-11]和食品^[12-14]等众多领域。众多研究证明: 电子舌系统对复杂液体甚至是相似液体都有着良好的分辨能力。

然而, 还没有类似的电子舌系统应用于养殖水方面的相关研究中。因此, 本研究将以普通草种金鱼作为试验对象, 应用电子舌对不同养殖密度和不同养殖天数的金鱼养殖水进行检测, 并融合相关理化指标和不同的模式识别方法对不同养殖密度和不同养殖天数的金鱼养殖水进行辨别分析。

1 材料和方法

1.1 电子舌系统

试验采用法国 Alpha 公司生产的 α -Astree 系列电子舌。该电子舌系统的传感器阵列由 7 根不同的化学传感器组成(ZZ、BA、BB、CA、GA、HA 和 JB)。每根传感器由一层有机薄膜和转换器组成, 这层有机薄膜对样品中的味道敏感, 而转换器则可以把薄膜的反应转换成数字信号以便进行分析。各传感器对 5 种基本味道(酸、甜、苦、鲜、咸)有不同的敏感度, 各传感器的特性见表 1, 反映在数值上表现为不同传感器对不同味道敏感的极限浓度(mol/L)不同。在本电子舌系统中, 主要通过检测化学电极和 Ag/AgCl 参比电极之间的电压信号(mV)变化来进行分析。因此, 一个完整的样品检测信号是一

收稿日期: 2010-07-03 修订日期: 2011-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(31071548)。

作者简介: 赵煜(1982-), 女, 河南三门峡人, 博士生, 主要从事基于电子舌技术的养殖水研究。浙江 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029。Email: zhaoyu1982811@126.com

※通信作者: 王俊(1965-), 男, 浙江东阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工工程与装备的研究。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310029。Email: jwang@zju.edu.cn

个由 7 根独立传感器的检测信号组成的向量集。7 根传感器信号的综合包含了大量的信息, 因此可以用于分析大量样品。

表 1 电子舌传感器特性
Table 1 Sensors of E-tongue and their attribution

基本味道	味物质	ZZ	BA	BB	CA	GA	HA	JB
酸	柠檬酸	10^{-7}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-6}
咸	氯化钠	10^{-6}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}
甜	葡萄糖	10^{-7}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
苦	咖啡因	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
鲜	味精	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}

注: ZZ, BA, BB, CA, GA, HA, JB 为 7 个电子舌传感器。

1.2 养殖水的主要理化指标检测

1.2.1 温度和 pH 值

在试验过程中, 温度检测使用普通的玻璃温度计 ($\pm 1^\circ\text{C}$), 为保证测量结果的精确度, 测量五次取平均值。pH 值测量使用的是一台瑞士梅特勒-托利多公司生产的 pH 计 (FE20-FiveEasy™), 相对 pH 测量精度为 0.01。

1.2.2 溶解氧测量 (DO)

DO 测量方法采用碘量法 (GB7489-87)^[15]。该方法专门用于检测水中溶解氧含量。在无干扰情况下, 碘量法的测量范围是 0.2~20 mg/L。在 DO 测量过程中, 采用专门的溶解氧取样装置取样, 每次取样量大于 300 mL。取完样后的样品被立即处理, 之后每次取 100 毫升处理过的样品进行滴定。滴定共进行 3 次, 最终将滴定结果取平均值并进行计算以得到 DO 含量。

1.2.3 亚硝酸盐的测量

对亚硝酸盐的测定使用分光光度法 (GB 7493-87)^[16]。该方法用于测定饮用水、地下水、地面水及废水中的亚硝酸盐含量。当试份体积最大取 50 mL 时, 用本方法可以测定的亚硝酸盐的最高浓度达 0.2 mg/L。在本试验过程中, 每次测量取 50 mL 样品进行测量。在检测过程中, 首先使用特殊的显色剂对样品进行处理, 然后取适量处理过的样品置于玻璃比色皿中, 使用分光光度计测量其吸光度。最后使用空白试验做出的标准曲线来计算样品中的亚硝酸盐含量。

1.2.4 氨的测量

氨的测定采用水杨酸分光光度法 (GB7481-87)^[17]。该方法用于测量饮用水, 大部分原水及废水中的氨含量。使用的试份体积为 8 mL 时, 最高检出量为 1 mg/L。检测过程与亚硝酸盐的检测过程相似。本试验中样品体积为 20 mL。

1.3 样品和试验步骤

试验使用的金鱼是在杭州一个大型宠物市场选购的体长在 4~6 cm 的健康有活力的普通草种金鱼。这些金鱼被分别饲养在 3 个体积为 60 L 的玻璃鱼缸内, 在试验过程中, 使用空气泵以增加养殖水中的溶解氧含量。放置鱼缸的房间使用空调将室温稳定在 26℃ 左右。

在试验进行前, 首先要对试验用水进行处理: 取新鲜自来水放在无盖容器中晾晒 3 d, 然后按每 10 L 水加一

片鱼乐宝 (一种可以用来消毒净化自来水的药品, 它也可以去除水中的余氯) 的用量投放, 从而达到去除水中余氯, 并消毒净化水质的目的。

将处理好的试验用水加入 3 个鱼缸, 每个鱼缸加入 50 L。缸 1、缸 2 和缸 3 分别设为 3 个组: 组 1、组 2 和组 3。3 个组依次代表高养殖密度 (24 条/50 L)、中养殖密度 (12 条/50 L) 和低养殖密度 (6 条/50 L)。在试验过程中, 空气泵 24 h 打开, 金鱼每天喂食 2 次 (一次早上 8:00, 另一次下午 5:00), 喂食量按每条鱼两粒普通鱼食投放。每个养殖周期为 4 d。

在电子舌检测过程中, 每次检测取 8 个 80 mL 水样进行检测。每个样品的检测时间为 120 s, 每检测完一个样品, 使用去离子水对传感器进行清洗, 清洗时间为 10 s。检测完毕后, 提取每个传感器的反应值用来分析。

对理化指标的检测使用的是化学方法, 所用仪器主要有分光光度计等。

1.4 主成份分析 (PCA)、聚类分析 (CA) 和典型判别分析 (CDA)

主成份分析 (principal component analysis, PCA) 是一种比较常用的多元统计分析方法, 主成分的中心目的是将数据降维, 以排除众多化学信息共存中互相重叠的信息^[18]。它是将原变量进行转换, 使少数几个新变量是原变量的线性组合, 并能尽可能多地表征原变量的数据结构特征而不丢失信息。同时这些新变量互不相关, 即正交。研究通过 PCA 方法对电子舌采集的信号以及检测到的理化指标进行分析。通过主成份得分图, 对不同养殖天数和不同养殖密度的养殖水进行区分辨识。

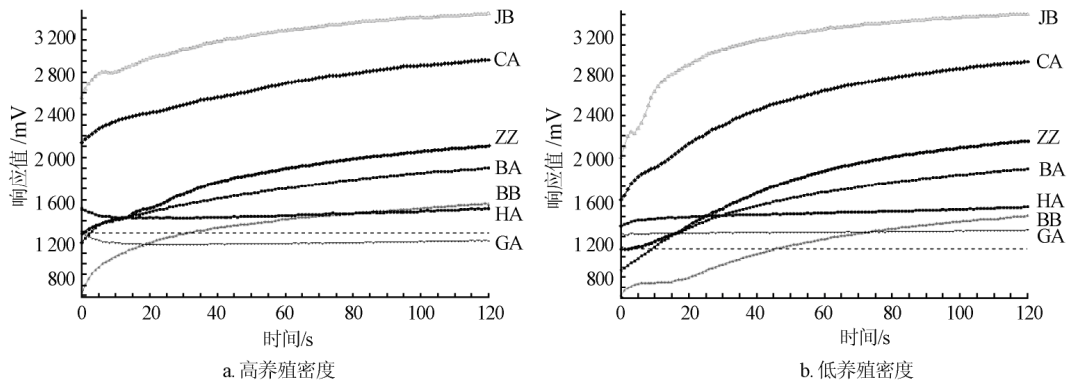
聚类分析 (cluster analysis, CA) 是研究物以类聚的一种统计分析方法, 它实质上是寻找一种能客观反映元素之间亲疏关系的统计量 (称之为相似系数), 然后根据这种统计量把元素分成若干类^[18]。聚类分析方法主要有 2 种^[19]: 凝聚分层法和分裂分层法, 本文使用的是前一种方法。

典型判别分析 (canonical discriminant analysis, CDA) 是典型相关的特例^[18]。在典型相关中, 通过寻找若干个数值型变量之间的各种线性组合 (称之为典型变量, Cans), 使得分组因素各水平间的差异达到最大, 同时各典型变量之间线性独立。Giovanna^[20]指出, 典型判别分析的降维方式是通过沿使组内点聚集的尽可能紧密同时组间分离最大化的方向降低维数。本文通过各典型变量的得分图来对不同的养殖水进行区分辨识。采用的统计分析 PCA、CA 和 CDA 方法均在 SAS V8 软件环境下运行。

2 结果与分析

2.1 电子舌响应信号

图 1 为电子舌的 7 个化学传感器在不同养殖水中的典型响应曲线, 其中总采样时间为 120 s, 采样间隔 1 s。不同曲线代表不同的传感器响应变化。从图 1 中可以看出, 在初期阶段, 各传感器的响应值很低, 之后大多上升, 在 110 s 后逐渐趋于稳定。在本研究中, 提取各传感器在 120 s 的响应信号来进行分析。



注：ZZ、BA、BB、CA、GA、HA、JB 为 7 个电子舌传感器。

图 1 7 个传感器对水样的响应曲线

Fig.1 Response curves of seven sensors to water samples

其中，图 1a 代表电子舌对组 1 样本的响应；图 1b 代表电子舌对组 2 样本的响应。对比图 1a 和图 1b，在初期阶段，传感器对高养殖密度样本的响应值均大于低养殖密度下的传感器响应值。在响应终止的时候，相比低养殖密度，高养殖密度下的传感器 BA、HA、GA 和 BB 的响应值更大。从图中可以看出，整个响应阶段，高养殖密度下，除了传感器 HA 和 GA，所有的传感器响应值呈现增加趋势，而在低养殖密度下，除了传感器 GA，所有的传感器响应值呈现增加趋势，而 GA 在整个响应阶段则几乎没有变化。可以看出，不同养殖密度下的电子舌响应差别很大，因此完全可能将电子舌用于区分不同养殖密度和不同养殖天数的养殖水。

2.2 典型理化指标

随着养殖天数和养殖密度的变化，相应的各项理化指标也发生了变化。表 2 显示了在养殖第 3 天时，不同养殖密度下的养殖水的各项理化指标。从表 2 可以看出，在室温（26℃）下，随着养殖密度从高到低的变化，各项理化指标呈规律性的变化。当养殖密度降低时，pH 值和 DO 值反而变大了。而亚硝酸盐和氨的含量变化情况则相反，当养殖密度由高到低时，氨含量由 0.04 mg/L 减少到 0.01 mg/L，而亚硝酸盐含量则由 0.27 mg/L 增加到 1.18 mg/L。在本研究中，各项理化指标根据分析需要被用于区分不同养殖密度和不同养殖天数的养殖水。

表 2 不同养殖密度的典型理化指标(第 3 天)

Table 2 Typical physico-chemical indexes in different density in the third cultured day

密度	pH 值	DO/(mg·L ⁻¹)	温度/℃	亚硝酸盐含量/(mg·L ⁻¹)	氨含量/(mg·L ⁻¹)
组 1 (高密度)	7.06	4.72	26	0.27	0.04
组 2 (中密度)	7.09	5.42	26	1.50	0.02
组 3 (低密度)	7.15	5.49	26	1.18	0.01

2.3 电子舌信号与理化指标的融合

为了探讨电子舌信号与理化指标进行融合区分不同养殖水的能力，得到更好的区分效果，除了使

用不同的模式识别方法对电子舌信号进行分析外，本文也考虑将电子舌信号与理化指标相融合进行了相应的模式识别分析：即将各项理化指标作为几组新变量与电子舌响应信号的几组变量进行了合并，然后使用相应的模式识别方法进行分析。这种方法意味着引入更多的信息用于区分辨识，相应的分析结果与只用电舌数据进行分析的结果进行了比较，以有效评价电子舌信号以及电子舌信号与理化指标融合进行区分不同金鱼养殖水的能力。

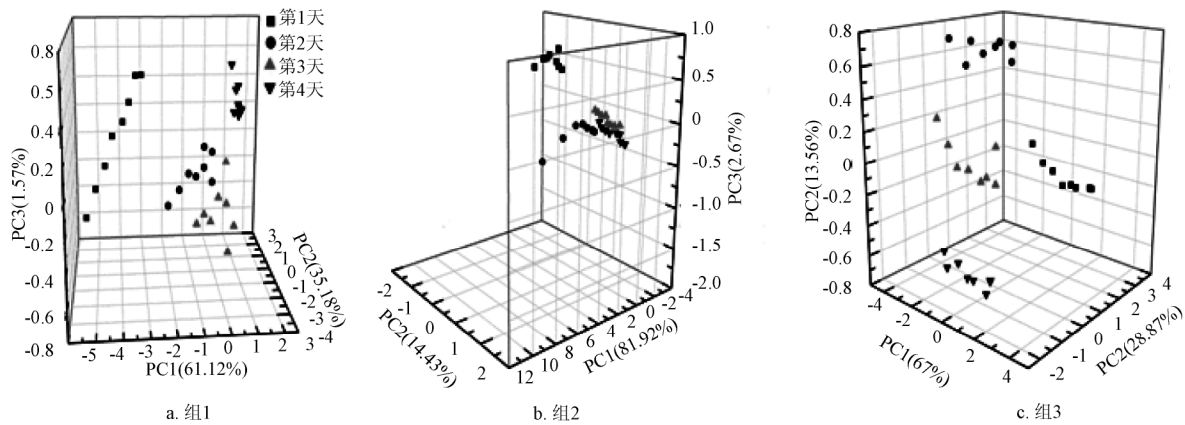
2.4 不同养殖天数的养殖水的区分

2.4.1 主成份分析 (PCA) 结果

采用 PCA 方法对同养殖密度不同养殖天数下养殖水的电子舌响应信号进行分析。图 2 表示各组的主成份得分图。分析结果表明：对于不同养殖密度，高养殖密度下（组 1），第 1、2 和 3 主成分的累计贡献率为 97.87%；中养殖密度下（组 2），前 3 个主成分的累计贡献率为 99.02%；而低养殖密度下（组 3），前 3 主成分累计贡献率则为 95%。可以看出，前 3 主成份的累计贡献率均超过了 95%，这说明第 1、2 和 3 主成分可以代表原始响应信号的大部分信息。

如图 2 所示，运用 PCA 方法，电子舌可基本区分不同养殖天数的养殖水。对比 3 组的区分情况，图 2a 表明，在高养殖密度下，运用 PCA 方法基本可以区分不同养殖天数的养殖水，但是第 2 天和第 3 天的得分区域非常靠近，有重叠趋势；而图 2b 则表明，中养殖密度下，不同养殖天数的养殖水的区分效果不是很好，第 2、3 和 4 天的得分区域非常接近，重叠趋势更加鲜明；值得注意的是，组 3 的区分情况非常好（图 2c），不同养殖天数的养殖水可以被明显区分开来，这可能与其较低的养殖密度有关。

为了得到更好的区分效果，考虑将电子舌信号与理化指标相融合进行 PCA 分析：即将各项理化指标作为几组变量与电子舌响应信号融合，然后用 PCA 方法对合并后的数据进行分析的方法。这种方法意味着引入更多的信息用于区分辨识，相应的分析结果如图 3。



注: PC1, PC2, PC3 表示第一, 第二, 第三主成分。(下同)

图2 PCA 分析结果(仅电子舌信号)

Fig.2 PCA without physico-chemical indexes

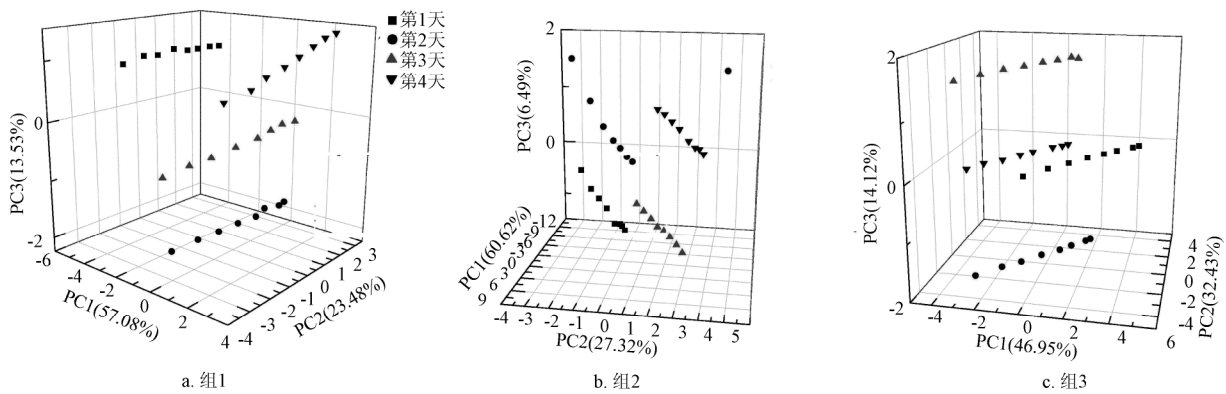


图3 PCA 分析结果(电子舌信号与理化指标相融合)

Fig.3 PCA with physico-chemical indexes

对比图 2 和图 3, 可以看出: 融合理化指标后导致了各主成份贡献率的变化。以图 3b 为例, 随着理化指标的加入, 组 2 的第 1 主成分的贡献率从 81.92%变为 60.62% 而第 2、3 主成份的贡献率则从 14.43%、2.67%变为 27.32% 和 6.49%。因此, 虽然加入理化指标后, 第 1 主成份的贡献率降低了, 但随着第 2、3 主成份贡献率的增加, 整体区分效果反而更好, 规律性也更强, 之前的重叠趋势也消失了。由此可以得出结论: 将理化指标和电子舌信号相融合进行 PCA 分析可以有效的区分不同养殖天数的养殖水; 与电子舌区分不同养殖天数养殖水的能力相比, 电子舌信号与理化指标相融合后的区分能力更强。

2.4.2 聚类分析(CA)结果

首先用 CA 方法对同养殖密度不同养殖天数下养殖水的电子舌响应信号进行了分析, 并根据计算得到的相似系数将数据进行了分类。结果表明, 数据的顺序被完全打乱了, 以组 2 为例, 图 4 表示用 CA 方法对电子舌信号的分析结果(其中, OB1~OB8 代表第 1 天的 8 组数据, OB9~OB16 代表第 2 天的 8 组数据... 依次类推)。结果表明, 4 d 的检测数据最终被分成了两组, 第 1 组包含了第 1 天的八组数据, 而第 2 组包含了剩下所有数据, 换句话说, 使用这个方法无法有效的区分不同的养殖天数。而将电子舌信号与理化指标融合后再使用 CA

方法分析的分析结果也不理想, 图 5 表示将 CA 方法对电子舌信号与理化指标融合后组 2 的分析结果。从图 5 可以看出, 理化指标的加入对提高同一天的 8 组数据的相似程度并没有很大的帮助, 区分效果也没有因此有所改善。或者说, 运用 CA 方法, 电子舌信号、电子舌信号与理化指标相融合均不能有效区分不同养殖天数的养殖水。

2.4.3 典型判别分析(CDA)结果

在 SAS V8 运行平台下, CDA 方法被用来对不同养殖天数养殖水的电子舌信号进行分析区分。运行结果表明, 每组得到了 3 个典型变量, 每个典型变量都经过 F 检验以决定其显著。表 3 是各典型变量上的类平均值。

以组 1 为例, 从表 3 可以看出, 第 1 典型变量在第 1 天的正载荷(82.586)最大, 而在第 3 天的负载荷最大(-31.921)。这说明, 根据第 1 典型变量的取值可以将第 1 天的养殖水样本从 4 d 的养殖水样本中区分出来。同样可以根据第 2 和第 3 典型变量的取值来区分剩下的天数。组 2 和组 3 的区分方法相同。图 6 是各组的 3 个典型变量的得分图。因此可以得出结论: CDA 方法可以有效的区分不同养殖天数的养殖水。这表明, 通过使用 CDA 方法, 无需与理化指标相融合, 电子舌即具有很强的有效区分不同养殖天数的养殖水的能力。

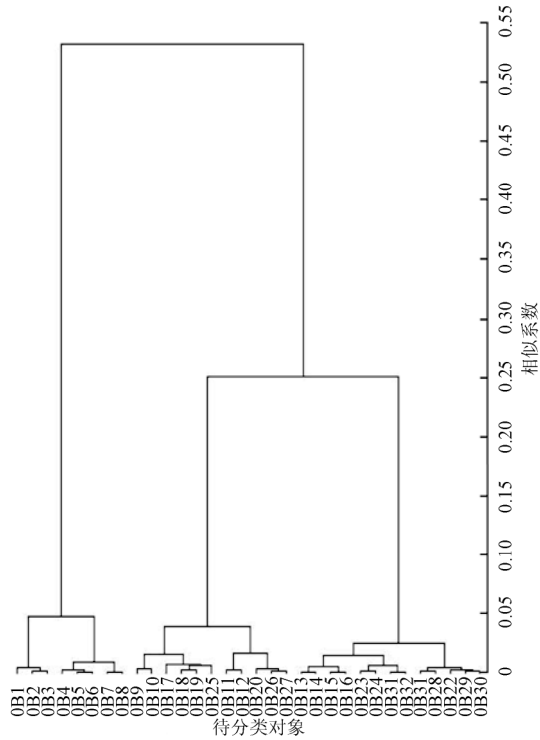


图 4 CA 分析结果 (组 2, 仅电子舌信号)

Fig.4 CA without physico-chemical indexes, group 2 (appropriate density)

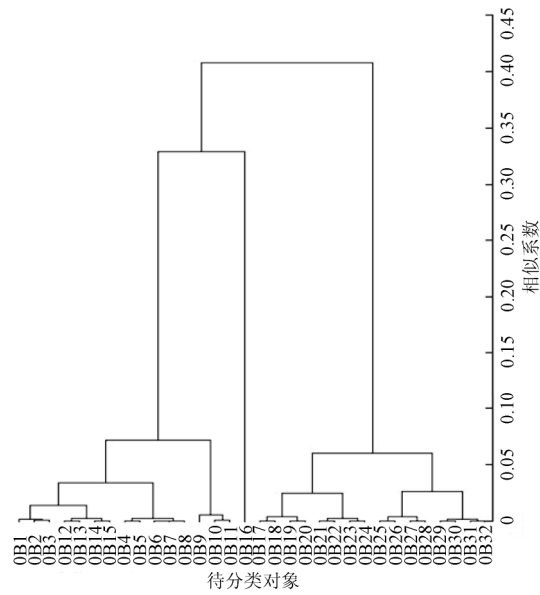


图 5 CA 分析结果 (组 2, 电子舌信号与理化指标相融合)

Fig.5 CA with physico-chemical indexes, group 2 (appropriate density)

表 3 各组典型变量的类平均值

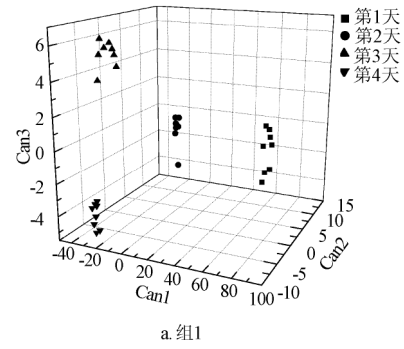
Table 3 Class means on canonical variables of each group

组	养殖天数	Can1	Can2	Can3
组 1 (高密度)	第 1 天	82.586	-0.868	0.209
	第 2 天	-21.486	11.466	-1.208
	第 3 天	-31.921	-3.209	5.122
	第 4 天	-29.179	-7.389	-4.123
组 2 (中密度)	第 1 天	29.021	1.205	1.306
	第 2 天	2.129	-0.485	-3.524

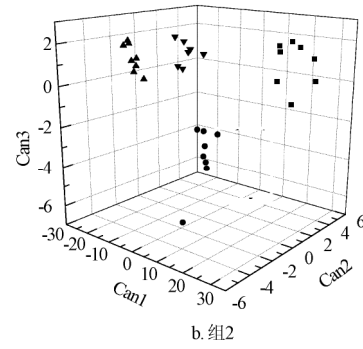
续表

组	养殖天数	Can1	Can2	Can3
组 3 (低密度)	第 3 天	-9.204	-3.904	1.469
	第 4 天	-21.947	3.184	0.767
	第 1 天	37.901	4.980	0.164
	第 2 天	1.483	-10.940	-1.255
	第 3 天	-14.545	-2.376	2.206
	第 4 天	-24.838	8.337	-1.116

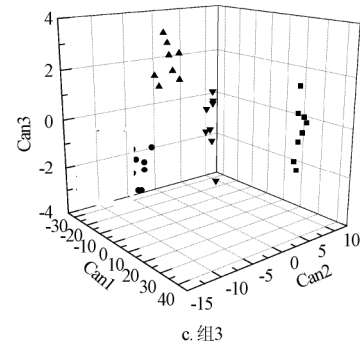
注: Can1, Can2, Can3 表示第一, 第二, 第三典型变量。(下同)



a. 组1



b. 组2



c. 组3

图 6 CDA 分析结果 (仅电子舌信号)

Fig.6 CDA without physico-chemical indexes

2.5 不同养殖密度的养殖水的区分

2.5.1 主成份分析 (PCA) 结果

PCA 方法被用于对同 1 天不同养殖密度的养殖水的所有信号进行了分析, 分析结果见图 7~8。首先, 对电子舌检测的信号进行了 PCA 分析 (图 7), 然后将电子舌信号与理化指标融合进行 PCA 分析 (图 8)。

从图 7 可以看出, 运用 PCA 方法, 电子舌基本可以有效区分不同养殖密度的养殖水。但是, 在养殖第 2 天 (图 7b), 组 2 和组 3 之间的距离非常近, 有重叠趋势。

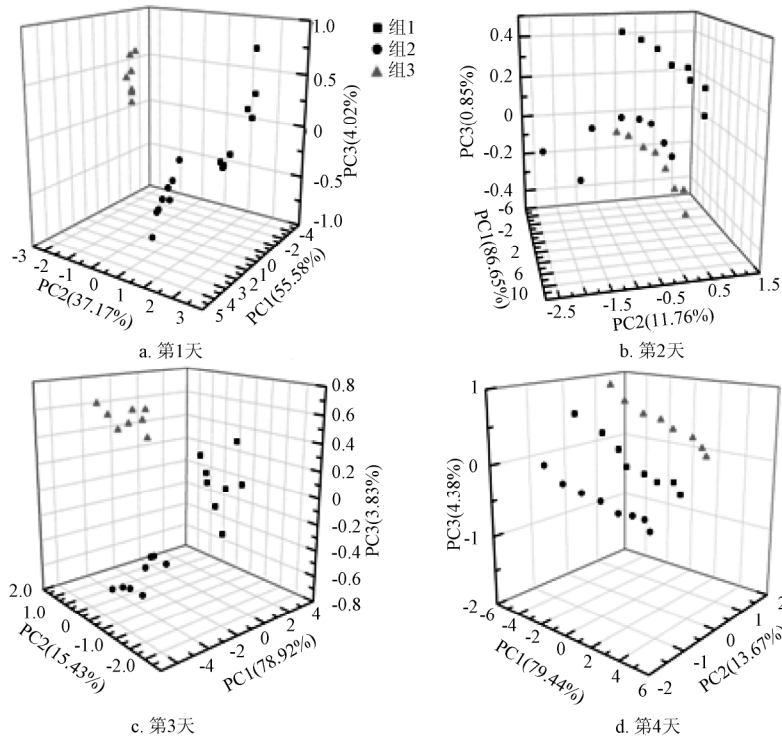


图 7 PCA 分析结果 (仅电子舌信号)

Fig.7 PCA without physico-chemical indexes

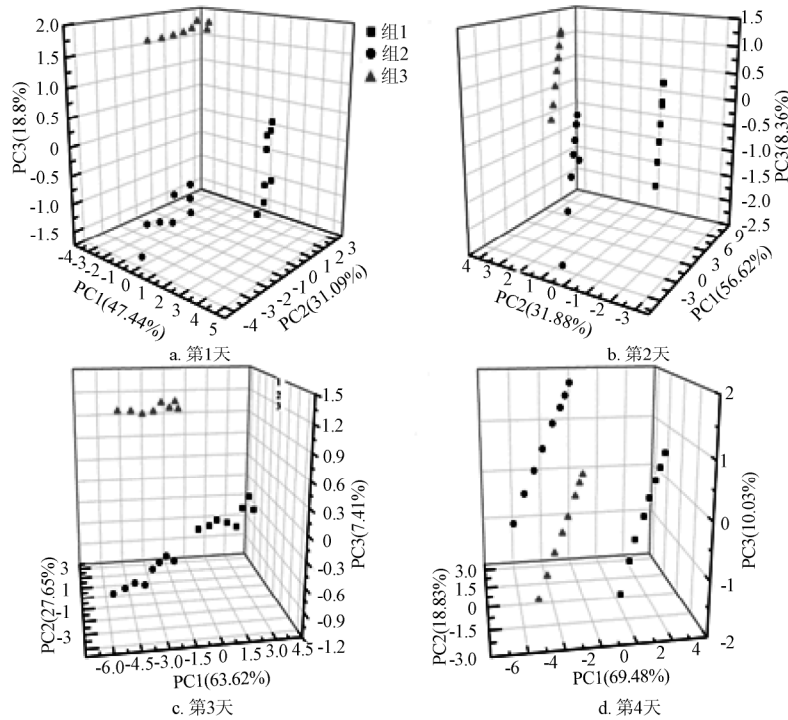


图 8 PCA 分析结果 (电子舌信号与理化指标相融合)

Fig.8 PCA with physico-chemical indexes

为了得到更好的区分效果,考虑加入理化指标以改变区分效果(图 8)。分析结果表明,在第 2 天(图 8b),不同养殖密度可以被有效区分,而其他养殖天数的不同养殖密度的养殖水也可以被很好的区分。值得注意的是,在加入理化指标后,整个养殖周期中,第 1 主成份的贡献率依次从 55.58%, 86.65%, 78.92%和 79.44%变为 47.44%, 56.62%, 63.62%和 69.48%。理化指标的加

入使第 1 主成份的贡献率呈规律性下降趋势,而第 2、3 主成份的贡献率则增加了,整体区分效果也较理化指标加入前要好。由此:运用 PCA 方法,电子舌有区分不同养殖密度养殖水的能力,而电子舌信号与理化指标融合后的区分能力更强。

2.5.2 聚类分析(CA)结果

同样用 CA 方法对同天不同养殖密度下养殖水的电

子舌响应信号、电子舌信号与理化指标相融合后分别进行了分析。分析结果表明，运用 CA 方法，电子舌不能有效区分不同养殖密度的养殖水。而将电子舌信号与理化指标融合后的分析结果也不理想。以养殖第 2 天为例，图 9 表示用 CA 方法对电子舌信号和理化指标融合后的分析结果（其中，OB1~OB8 代表组 1 的 8 组数据，OB9~OB16 代表组 2 的 8 组数据...依次类推）。从图 9 可以看出，基于计算得到的相似系数，3 个养殖密度的检测数据最终被分成了两组，第 1 组包含了中养殖密度的大部分数据，而第 2 组仅包含了中养殖密度的 1 组数据数据。这表明，使用 CA 方法，电子舌信号、电子舌与理化指标相融合均无法有效的区分不同的养殖密度。

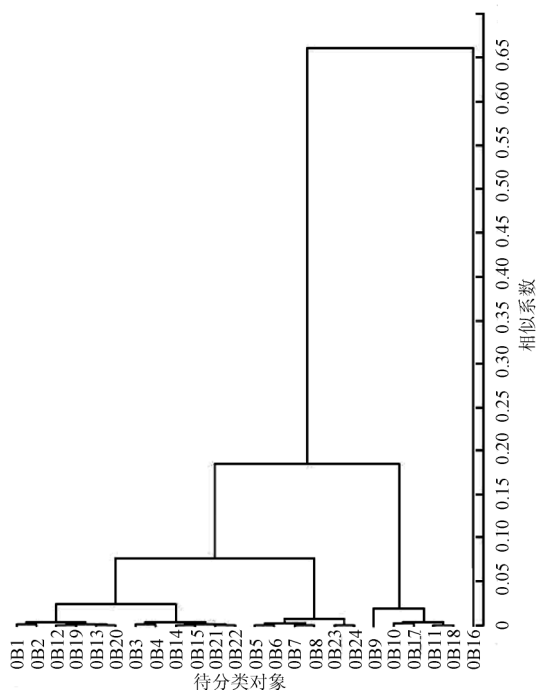


图 9 CA 分析结果（养殖第 2 天）

Fig.9 CA without physico-chemical indexes (the second cultured day)

2.5.3 典型判别分析 (CDA) 结果

CDA 方法被用来对同一天不同养殖密度养殖水的电子舌信号进行分析。结果表明，每组得到了两个典型变量，每个典型变量都经过 F 检验以决定其显著。表 4 是每天各典型变量上的类平均值。

从表 4 中可以看到，在养殖第 1 天，第 1 典型变量在组 1（高养殖密度）的正载荷 (29.183) 最大，而在组 3（低养殖密度）的负载荷最大 (-24.173)。这说明，根据第 1 典型变量的取值可以将高养殖密度下的养殖水样本从 3 个养殖密度中区分出来。同样可以根据第 2 典型变量的取值来区分组 2 和组 3。其他天的不同养殖密度的区分方法和第 1 天相同。图 10 是各组的两个典型变量的得分图。因此可以得出结论：CDA 方法可以有效的区分不同养殖密度的养殖水。这也表明，使用 CDA 方法，无需与理化指标相融合，电子舌即具有很强的区分不同养殖密度养殖水的能力。

表 4 每天典型变量的类平均值

Table 4 class means on canonical variables of each cultured day

养殖天数	组	Can1	Can2
第 1 天	组 1 (高密度)	29.183	3.123
	组 2 (中密度)	-5.009	-8.694
	组 3 (低密度)	-24.173	5.571
第 2 天	组 1 (高密度)	12.358	-3.405
	组 2 (中密度)	2.036	5.544
	组 3 (低密度)	-14.395	-2.139
第 3 天	组 1 (高密度)	19.908	1.404
	组 2 (中密度)	-7.422	-8.983
	组 3 (低密度)	-12.486	7.579
第 4 天	组 1 (高密度)	32.441	-0.627
	组 2 (中密度)	-17.257	-14.412
	组 3 (低密度)	-15.184	15.039

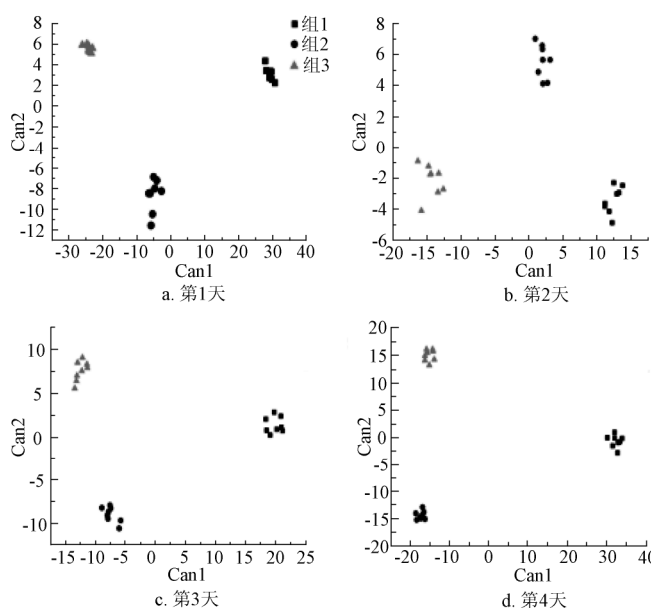


图 10 CDA 分析结果（仅电子舌信号）

Fig.10 CDA without physico-chemical indexes

3 结 论

本文旨在研究电子舌信号以及理化指标对金鱼养殖水的综合分析能力，并应用主成份分析 (PCA)、聚类分析 (CA) 和典型判别分析 (CDA) 3 种模式识别方法，结果如下：

- 1) 采用 CDA 模式识别方法，电子舌具有极强的区分不同养殖天数和不同养殖密度的养殖水的能力。
- 2) 采用 PCA 方法，电子舌基本具有区分不同养殖密度和不同养殖天数养殖水的能力，若将电子舌信号与理化指标相融合，其区分能力将大大增强。
- 3) 采用 CA 方法，电子舌以及电子舌与理化指标相融合的区分能力均最差。

[参 考 文 献]

[1] 朱杏冬, 涂金珠, 崔绍荣, 等. 养殖水中总有机碳与化学需氧量和生化需氧量相关性的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 196-198.
Zhu Xingdong, Tu Jinzhu, Cui Shaorong, et al. Study on the

- correlation of total organic carbon with chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand in Water[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(3): 196—198. (in Chinese with English abstract)
- [2] John A. Hargreaves. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. Aquaculture, 1998, 166(3/4): 181—212.
- [3] Szumski D S, Barton D A, Putnam H D, et al. Evaluation of EPA un-ionized ammonia toxicity criteria[J]. Water Poll. Ctrl. Fed, 1982, 54(2): 281—291.
- [4] Claude A, Boyd E. Pond water aeration systems[J]. Aquacultural Engineering, 1998, 18(1): 9—40.
- [5] 王俊, 胡桂仙, 于勇, 等. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 292—295.
Wang Jun, Hu Guixian, Yu Yong, et al. Research and application of electronic nose and electronic tongue in food inspection[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(23): 292—295. (in Chinese with English abstract)
- [6] Lvova L, Martinelli E, Dini F, et al. Clinical analysis of human urine by means of potentiometric Electronic tongue[J]. Talanta, 2009, 77(8): 1097—1104.
- [7] Di Natale C, Paolesse R, Macagnano A. et al. Application of a combined artificial olfaction and taste system to the quantification of relevant compounds in red wine[J]. Sensors and Actuators, 2000, 6: 342—347.
- [8] 谈国凤, 田师一, 沈宗根, 等. 电子舌检测奶粉中抗生素残留[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 361—365.
Tan Guofeng, Tian Shiyi, Shen Zonggen, et al. Electronic tongue detection for residual antibiotic in milk powder[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 361—365. (in Chinese with English abstract)
- [9] 吴从元, 王俊, 韦真博, 等. 电子舌预测不同体积分数牛奶的表观黏度[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 226—230.
Wu Congyuan, Wang Jun, Wei Zhenbo, et al. Prediction of apparent viscosity of milk with different volume fraction using electronic tongue[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 226—230. (in Chinese with English abstract)
- [10] 姜莎, 陈芹芹, 胡雪芳, 等. 电子舌在红茶饮料区分辨识中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 345—349.
Jiang Sha, Chen Qinqin, Hu Xuefang, et al. Application of electronic tongue on black tea beverage discrimination[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 345—349. (in Chinese with English abstract)
- [11] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 基于电子舌技术的绿茶滋味品质评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 378—381.
Wu Ruimei, Zhao Jiewen, Chen Quansheng, et al. Quality assessment of green tea taste by using electronic tongue[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 378—381. (in Chinese with English abstract)
- [12] Wei Z, Wang J. Technique potential for classification of honey by electronic tongue[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94(1): 260—266.
- [13] Beullens K, Mészáros P, Kirsanov D, et al. Analysis of tomato taste using two types of electronic tongues[J]. Sensors and Actuators, 2008, 131(1): 10—17.
- [14] Di Natale C, Paolesse R, Macagnano A, et al. Electronic nose and electronic tongue integration for improved classification of clinical and food samples[J]. Sensors and Actuators, 2000, 64(1): 15—21.
- [15] GB7489-87. 水质-溶解氧的测定-碘量法[S]. 1987.
- [16] GB7493-87. 水质-亚硝酸盐氮的测定-分光光度法[S]. 1987.
- [17] GB7481-87. 水质-铵的测定-水杨酸分光光度法[S]. 1987.
- [18] 黄燕等. SAS 统计分析及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [19] Andre H. On the number of clusters[J]. Computational Statistics and Data Analysis, 1996, 23(1): 83—96.
- [20] Torre L, La Pera G L, Rando L, et al. Classification of Marsala wines according to their polyphenol, carbohydrate and heavy metal levels using canonical discriminant analysis[J]. Food Chemistry, 2008, 110(3): 729—734.

Detection and analysis of fish culture water by electronic tongue

Zhao Yu, Wei Zhenbo, Wang Jun^{*}

(Department of Biosystems Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: In this research, an electronic tongue was employed to distinguish goldfish's cultured water. Three pattern recognition methods were used, which were principal component analysis (PCA), cluster analysis (CA) and canonical discriminant analysis (CDA), and different cultured density and different cultured day were distinguished by data obtained by e-tongue and physico-chemical index. By results comparison of these three methods, different cultured density and different cultured day could be better distinguished by CDA, and could also be distinguished by PCA combined with physico-chemical index. However, different cultured water could not be distinguished by CA effectively. The results also showed that e-tongue can be employed to distinguish different cultured water by CDA and PCA.

Key words: detection, fish, cultured water, e-tongue, pattern recognition