

谢万里,蒲斌,王涛,等. 人工神经网络在活鱼运输中水质评价的应用[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):134-139.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.033

# 人工神经网络在活鱼运输中水质评价的应用

谢万里<sup>1</sup>,蒲斌<sup>2</sup>,王涛<sup>1</sup>,尹绍武<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学生命科学学院/江苏省生物多样性与生物技术重点实验室,江苏南京 210023; 2. 云南大学软件学院,云南昆明 650504)

**摘要:**如何在活鱼运输中对水质进行全面评价进而实现水质精准调控是当前亟需解决的问题。创新性地将反向传播(back propagation,简称BP)和径向基函数(radial basis function,简称RBF)人工神经网络的评估方法运用于活鱼运输中,并进行比较。基于GB3838—2002《地表水环境质量标准》及专家调查问卷,建立活鱼运输水质等级变化模型。比较不同训练函数及不同隐含层神经元个数对BP神经网络的影响。结果表明,河川沙塘鳢在密度为6.26 g/L、温度为20℃的自然运输状态下(未加麻醉剂MS-222),运输超过2 h后已不能满足渔业用水要求。杂交黄颡鱼在密度为28.08 g/L、温度为20℃的麻醉运输水质(加入麻醉剂MS-222)好于自然运输状态下(未加麻醉剂MS-222)的水质。采用BP或RBF神经网络可对活鱼运输中的水质进行综合评价,能够突破传统运输水质评价方法的局限性与单一性,对防止水质恶化,实现活鱼运输水质的精准调控有重要意义。

**关键词:**活鱼运输;水质评价;BP神经网络;RBF神经网络;水质评价模型

**中图分类号:**TP183

**文献标志码:**A

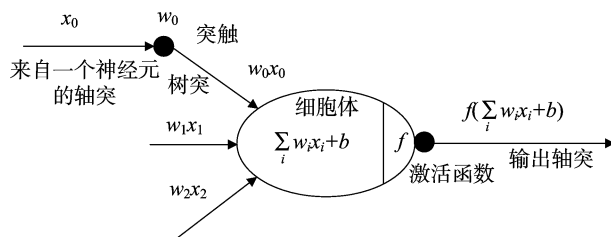
**文章编号:**1002-1302(2019)04-0134-05

我国水产品种类繁多,其中鱼类具有营养丰富、脂肪含量低的特点,其脂肪酸被证实有降糖、护心和防癌的作用<sup>[1-3]</sup>。近年来随着鲜活水产品市场的扩大,运输量也随之持续增长,如香港鲜活水产品占水产市场总量的90%<sup>[4]</sup>。我国幅员辽阔,南北海岸线长,在长途运输中,水质恶化、活鱼死亡现象(长距离运输损耗率>10%<sup>[5]</sup>)屡见不鲜<sup>[6-7]</sup>。活鱼运输中的水质问题与酸碱度(pH值)、溶解氧(DO)浓度、氨氮(TAN)浓度具有紧密联系<sup>[8]</sup>。在长途运输中,当水体DO值低于鱼类窒息点时,鱼类会因缺氧而大量死亡<sup>[9]</sup>;当pH值达10以上或4以下时,会损坏鱼类呼吸器官的表皮细胞,进而影响鱼呼吸<sup>[10-11]</sup>;当非离子氨进入鱼体后,鱼表现出呼吸困难、昏迷甚至死亡等现象<sup>[12]</sup>。在现代活鱼运输体系中,运输水质评价是水质污染防治的重要环节之一<sup>[13]</sup>。运输用水污染防治手段的选择取决于鱼的种类<sup>[14]</sup>,如河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)缺乏肌间刺,不能有效保护身体<sup>[15-17]</sup>;杂交黄颡鱼(Hybrid yellow catfish)的胸鳍和背鳍上有带锯齿的硬刺<sup>[18-19]</sup>,运输中会刺伤其他个体,这些均可能引发不同程度的鱼体应激<sup>[20-22]</sup>,加速呼吸代谢,污染水质,因此更加精准的水质评价将为运输水质的污染防治提供决策依据。如何在活鱼运输中对水质进行合理评价以保证运输水环境安全是一项亟需解决的问题。

传统的活鱼运输水质评价往往采用线性函数模型或单因

素评价方法,而运输水环境是各因素交错构成的复杂系统,传统方法不能全面地对水质进行综合评价<sup>[23]</sup>。与传统的方法不同,人工神经网络(artificial neural network,简称ANN)<sup>[24-25]</sup>通过模拟生物神经网络中信号的输入、传递、激活,依照大量的人工神经元相互连接,不断调整神经元之间的权值进行计算,具有较强的非线性切分能力,图1为人工神经网络模型。张垒等利用人工神经网络对水体中的溶解氧浓度进行了预测,结果显示,神经网络预测精度高,可对溶解氧浓度进行预测<sup>[26]</sup>。陈怡用人工神经网络评价方法对成都市中心城区三河水质进行评价<sup>[27]</sup>。但目前为止,将人工神经网络用到活鱼运输水质评价上的研究尚未见报道。

本研究以神经网络为基础,建立活鱼运输水质评价模型,以为活鱼运输用水的科学管理提供理论参考。



$x_0$  为神经网络的输入;  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$  为网络权重;  
 $b$  为网络阈值;  $f$  为网络激活函数

图1 人工神经网络数学模型

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以河川沙塘鳢与杂交黄颡鱼为试验材料,均取自江苏省南京市水产科学研究所禄口基地。选取2龄活体河川沙塘鳢,体湿质量为 $(41 \pm 5.30)$  g;选取人工繁殖的同一批杂交黄颡鱼,体湿质量为 $(28 \pm 5.26)$  g,均暂养于南京市水产科学研究所饲养池内,池内DO值>5.0 mg/L,自然光照,饲养培育3周。每天给河川沙塘鳢投喂小杂鱼,给杂交黄颡鱼投喂鱼苗

收稿日期:2018-02-13

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)重点项目(编号:BE2017377);江苏省农业重大新品种创制项目(编号:PZCZ201742);江苏省研究生科研与实践创新计划(编号:SJCX18\_0364)。

作者简介:谢万里(1992—),男,江苏淮安人,硕士,研究方向为鱼类种质资源与渔业信息。E-mail:870194104@qq.com。

通信作者:尹绍武,博士,教授,研究方向为鱼类种质资源与遗传育种。Tel:(025)85891840;E-mail:yinshaowu@163.com。

微粒子饲料(山东升索渔用饲料研究中心)2 次(08:00、17:00 各 1 次),正式试验前停食 2 d,确定健康无病后进行试验。

### 1.2 试验方法

河川沙塘鳢组(未加麻醉剂):试验于 2017 年 6 月 3 日在南京师范大学生命科学学院进行,气温 18~29℃,将河川沙塘鳢放入塑料泡沫箱(24.3 cm×24.3 cm×11.1 cm)中,随后将塑料泡沫箱置于摇床上(转速为 70 r/min),模拟运输密度为 6.26 g/L,模拟运输 9 h,温度控制在 20℃,运输初始环境:氨氮浓度为 0 mg/L,溶解氧浓度为 8.33 mg/L,pH 值为 8.01,自然光照,每隔 15~30 min 用多功能水质测定仪(multi340i,WTW,德国)测定水体 DO 值与 pH 值,用水样瓶(500 mL)取水样 50 mL,用氨氮测定仪(Hi96715,HANNA,意大利)测定水样氨氮值,并记录。

杂交黄颡鱼组( $C_0$  为对照组未加麻醉剂, $C_1 \sim C_5$  组加入麻醉剂):试验于 2017 年 5 月 9 日在南京市水产科学研究所禄口基地进行,运输密度为 28.08 g/L,气温 18~29℃,称取 0、0.100、0.200、0.325、0.400、0.450、0.475、0.500、0.550 g MS-222 麻醉剂及等量碳酸氢钠,加入 5 L 池塘水中,配制成浓度为 0、20、40、65、80( $C_1$ )、90( $C_2$ )、95( $C_3$ )、100( $C_4$ )、110 mg/L( $C_5$ )的麻醉剂,分别倒入盛有杂交黄颡鱼的小盆中,根据白艳龙等的方法<sup>[28-29]</sup>,记录入麻时间(鱼进入盆内到鱼呼吸频率几乎为零,侧翻于水面的时间)、复苏时间(放入清水中,恢复正常呼吸频率的时间)、存活率。去除不能使鱼体麻醉或使鱼致死的浓度,将其余浓度的麻醉剂倒入不同的氧气袋中,充入纯氧,迅速打包,以尼龙袋膨胀无凹陷为度。将装有鱼的氧气袋放入转速为 70 r/min,温度为 20℃的摇床内,进行模拟运输。试验时间为 07:40—15:40。试验期间,每隔 2 h 从摇床中取出氧气袋 1 次,用多功能水质测定仪(multi340i,WTW,德国)测定水体 DO 值与 pH 值,用水样瓶(500 mL)取水样 50 mL,用氨氮测定仪(Hi96715,HANNA,意大利)测定水样氨氮值,并记录。

### 1.3 BP 神经网络算法原理

反向传播(back propagation,简称 BP)神经网络是人工神经网络应用最广泛的网络之一,是信号正向传播,误差反向传播的神经网络,包含输入层、隐藏层、输出层。通过不断调整权值和阈值,不断逼近期望输出<sup>[30]</sup>,当误差达到预先设定好的期望值时,视作网络收敛<sup>[31]</sup>。BP 神经网络包含以下几个步骤。

(1)确定网络的输入  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$  与输出  $Y(y_1, y_2, \dots, y_m)$  以及隐含层节点数。初始化系统的连接权值  $w_{ij}$  和  $w_{jk}$ 、阈值  $a_i$ 、 $b_k$ 、学习速率和激活函数,常见的激活函数 Sigmoid 如下,其中  $x$  是激活函数的输入。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

(2)根据输入数据  $X$ 、输入层和隐含层之间的连接权值  $w_{ij}$  以及隐含层的阈值  $a_i$  计算隐含层的输出  $H_j$ 。

$$H_j = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + a_i\right), j = 1, 2, 3, \dots, l_o \quad (2)$$

(3)根据隐含层和输出层之间的连接权值  $w_{jk}$  和输出层的阈值  $b_k$ ,计算神经网络的输出  $y_k$ 。

$$y_k = \sum_{j=1}^l H_j w_{jk} + b_k, k = 1, 2, 3, \dots, m_o \quad (3)$$

(4)根据网络输出  $y_k$  和期望输出  $d_k$ ,计算误差  $err_k$ 。

$$err_k = y_k - d_k, k = 1, 2, 3, \dots, m_o \quad (4)$$

(5)计算误差函数  $err$  对  $w_{jk}$  求偏导,  $y_i$  是输出层的输入。

参考公式为

$$\frac{\partial err}{\partial w_{jk}} = \frac{\partial err}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial w_{jk}} \quad (5)$$

(6)计算误差函数  $err$  对  $w_{ij}$  求偏导,  $h_i$  是隐层的输入。参考公式为

$$\frac{\partial err}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial err}{\partial h_i} \frac{\partial h_i}{\partial w_{ij}} \quad (6)$$

(7)网络参数更新。其中,  $\eta$  为动量因子。权值更新公式为

$$w_{jk}^{n+1} = w_{jk}^n - \eta \frac{\partial err}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial w_{jk}} \quad (7)$$

$$w_{ij}^{n+1} = w_{ij}^n - \eta \frac{\partial err}{\partial h_i} \frac{\partial h_i}{\partial w_{ij}} \quad (8)$$

(8)计算网络的全局误差,参考公式为

$$E = \frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m (d_k - y_k)^2 \quad (9)$$

(9)判断误差是否满足要求,满足则判定网络收敛,不满足返回步骤(2),进行下一步迭代。

### 1.4 径向基函数神经网络算法原理

径向基函数(radial basis function,简称 RBF)神经网络是前向网络,包含 3 层,分别为输入层、隐藏层、输出层<sup>[32]</sup>。RBF 神经网络不需要像 BP 神经网络一样进行训练,其本质是将样本值从一个空间转移到另一个空间,输入层到隐含层之间没有权值,径向基函数一般为高斯函数。与 BP 神经网络不同的是,RBF 根据预设网络误差不断地添加隐含层神经元个数,并动态调整节点中心、标准差及权值,把输入样本映射到另一个空间,经过线性组合后形成网络输出,得到逼近的结果<sup>[33]</sup>。

## 2 人工神经网络模型的建立

### 2.1 样本的生成与预处理

本研究以 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》<sup>[34]</sup> 及专家经验<sup>[35]</sup> 作为水质评价标准(表 1),通过 Matlab 2014a 的 Linspace 函数等隔均匀分布方式内插水质指标标准数据,随机生成 500 个训练样本。为加快收敛必须对数据进行归一化处理,特别是在用梯度下降法寻求最优解时,很有可能走“之”字型路线(垂直等高线走),导致网络模型需要迭代很多次才能收敛<sup>[36-37]</sup>。本研究采用 Matlab 2014a 的自带工具函数 mapminmax 进行样本归一化。mapminmax 的数学公式为

$$y = \frac{(y_{\max} - y_{\min})(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} + y_{\min} \quad (10)$$

式中: $x$  是水质指标,  $y$  是水质等级,  $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$ 、 $y_{\min}$ 、 $y_{\max}$  分别是水质指标和水质等级的最小值和最大值。

函数 mapminmax 逐行地对数据进行标准化处理,将每行数据分别标准化到区间  $[y_{\min}, y_{\max}]$  内,如果某行的数据全部相同,此时  $x_{\max} = x_{\min}$ ,则 Matlab 内部执行  $y = y_{\min}$ 。其中  $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  分别是训练样本的最大值、最小值。

### 2.2 BP 神经网络输入层与输出层的确定

本研究选取 DO、TAN、pH 值 3 个直接关系活鱼运输中死

表 1 运输水质分类标准

项目	溶解氧浓度 (mg/L)	氨氮浓度 (mg/L)	pH 值
I 类	≥7.5	≤0.15	≤8.5
II 类	≥6.0	≤0.50	≤7.5
III 类	≥5.0	≤1.00	≤6.5
IV 类	≥3.0	≤1.50	≤6.0
V 类	≥2.0	≤2.00	≤5.5

亡率的指标作为人工神经网络的输入。对于河川沙塘鳢组,为连续 9 h 的试验数据。对于杂交黄颡鱼组,首先确定所需麻醉剂浓度,由表 2 可知,在浓度为 20、40 mg/L 时,杂交黄颡鱼对外界刺激作出正常反应,游动灵敏;在浓度为 65 mg/L 时,杂交黄颡鱼不能完全进入麻醉状态,游动缓慢,身体可较好地保持平衡,因此神经网络的输入去掉 20、40、65 mg/L 麻醉剂浓度。

表 2 不同 MS-222 浓度对杂交黄颡鱼的麻醉效果

浓度 (mg/L)	麻醉时间 (min)	复苏时间 (min)	复苏率 (%)
0	—	—	100
20	—	—	100
40	—	—	100
65	轻度镇定	—	100
80	18.61	1.50	100
90	15.57	1.28	100
95	14.32	1.20	100
100	4.97	4.06	100
110	3.27	6.45	100

神经网络的输出为水质分类等级,将其映射在[0,1]区间内(表 3)。

表 3 水质等级标准

等级	输出
I 类	(0,0.1)
II 类	(0.1,0.3)
III 类	(0.3,0.5)
IV 类	(0.5,0.7)
V 类	(0.7,0.9)

2.3 BP 神经网络传递函数的确定

不同的传递函数,具有不同的泛化能力<sup>[38-39]</sup>。根据实际水质情况,隐含层选取 Sigmoid 函数,输出层选取 purelin 函数作为传递函数。

2.4 BP 神经网络隐含层的构建

根据 Kolmogorov 定理<sup>[40-41]</sup>的描述,1 个包含 3 层的 BP 神经网络,只要隐含层节点数足够多,便能够对任意非线性函数进行逼近,因此本研究设定网络层数为 3 层。目前隐含层神经元个数的确定没有固定公式,若隐含层的神经元个数太少,则网络的精度不够,容错能力较差;若隐含层神经元个数太多,又会出现“过拟合”现象。因此本研究采用试错法来确定隐含层节点数。

由表 4 所示,当隐含层的节点数为 7 个时,网络的均方误差(mean-square error,简称 MSE)最小,因此本研究选择隐含层的神经元个数为 7 个。

表 4 神经网络模型训练

隐含层节点个数(个)	MSE
5	$1.58 \times 10^{-8}$
6	$1.19 \times 10^{-8}$
7	$8.70 \times 10^{-9}$
8	$1.20 \times 10^{-8}$
9	$1.21 \times 10^{-8}$

2.5 径向基函数神经网络模型的建立

RBF 神经网络的输入与输出以及样本的预处理与 BP 神经网络一致。隐含层的神经元个数由网络在迭代过程中自适应确定。采用 Matlab 2014a 工具函数 newrb 来构建神经网络,每次迭代增加 1 个隐含层神经元,直到达到目标误差或达到最大隐含层神经元个数为止。隐含层的传递函数为高斯函数(Radbas),输出层的传递函数为线性函数(purelin)。RBF 神经网络依然采用 3 层结构,即输入层、隐含层、输出层。

3 网络模型的训练

3.1 BP 神经网络训练函数的确定

BP 神经网络训练函数的选取尤为重要,训练函数如果选取不当,则网络的收敛速度会很慢,并且容易陷入局部最优解<sup>[42]</sup>。因此本研究比较分析选取不同训练函数时的网络性能,结果(表 5)显示,采用 L-M (Levenberg Marquardt) 算法<sup>[43]</sup>(即 Matlab 中 trainlm 函数)的网络误差最小。

表 5 不同训练函数的 BP 神经网络均方误差

训练函数	均方误差
trainbfg	$2.08 \times 10^{-6}$
traingdx	$2.43 \times 10^{-2}$
traincgf	$2.38 \times 10^{-5}$
trainoss	$2.10 \times 10^{-4}$
trainlm	$8.80 \times 10^{-9}$

3.2 BP 神经网络的训练

本研究采用数值计算软件(Matlab 2014a)的工具函数 newff 来建立网络模型,其中学习率与动量因子为网络自动调节,不需指定。训练结果(表 6)显示,最佳网络结构为 3-7-1,即输入层神经元个数为 3 个,隐含层神经元个数为 7 个,输出层神经元个数为 1 个。网络最小误差为  $8.88 \times 10^{-9}$ ,迭代到 193 步时达到期望误差。

表 6 BP 神经网络的训练结果

隐含层节点数(个)	训练 1	训练 2	训练 3	最小误差	步长(次)
5	$1.04 \times 10^{-8}$	$1.06 \times 10^{-8}$	$1.72 \times 10^{-8}$	$1.04 \times 10^{-8}$	399
6	$5.68 \times 10^{-8}$	$2.27 \times 10^{-8}$	$1.02 \times 10^{-8}$	$1.02 \times 10^{-8}$	188
7	$1.00 \times 10^{-8}$	$1.08 \times 10^{-8}$	$8.88 \times 10^{-9}$	$8.88 \times 10^{-9}$	193
8	$1.07 \times 10^{-8}$	$2.03 \times 10^{-8}$	$1.56 \times 10^{-8}$	$1.07 \times 10^{-8}$	210
9	$1.07 \times 10^{-8}$	$1.11 \times 10^{-8}$	$1.14 \times 10^{-8}$	$1.07 \times 10^{-8}$	231

3.3 RBF 神经网络的训练

RBF 神经网络径向基函数的半径为 20,网络的最大神经元个数为 88 个时,达到期望误差  $5.57 \times 10^{-7}$ (表 7)。

4 结果与分析

4.1 河川沙塘鳢运输水质评价结果

由表 8 可知,在选取的 5 个点中,BP 神经网络没有误判,

表 7 RBF 神经网络的训练结果

扩散因子	训练 1	训练 2	训练 3	最小误差	神经元数(个)
22	$1.74 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$	9
21	$1.84 \times 10^{-6}$	$1.84 \times 10^{-6}$	$1.84 \times 10^{-6}$	$1.84 \times 10^{-6}$	9
20	$5.57 \times 10^{-7}$	$5.57 \times 10^{-7}$	$5.57 \times 10^{-7}$	$5.57 \times 10^{-7}$	88
19	$2.52 \times 10^{-6}$	$2.52 \times 10^{-6}$	$2.52 \times 10^{-6}$	$2.52 \times 10^{-6}$	10
18	$6.34 \times 10^{-6}$	$6.34 \times 10^{-6}$	$6.34 \times 10^{-6}$	$6.34 \times 10^{-6}$	45

表 8 BP 神经网络的预测结果与期望结果对比

预测类别	真实类别	溶解氧浓度 (mg/L)	pH 值	氨氮浓度 (mg/L)
I 类	I 类	7.5	8.5	0.15
II 类	II 类	6.0	7.5	0.50
III 类	III 类	5.0	6.5	1.00
IV 类	IV 类	3.0	6.0	1.50
V 类	V 类	2.0	5.5	2.00

网络预测整体良好。

由表 9 可知,在选取的 5 个点中,RBF 神经网络只有 1 个点出现误判,网络预测整体良好。

表 9 RBF 神经网络的预测结果与期望结果对比

预测值	真实值	溶解氧浓度 (mg/L)	氨氮浓度 (mg/L)	pH 值
I 类	I 类	7.5	0.15	8.5
II 类	II 类	6.0	0.50	7.5
III 类	III 类	5.0	1.00	6.5
V 类	IV 类	3.0	1.50	6.0
V 类	V 类	2.0	2.00	5.5

通过 2 种神经网络模型与单因素评价结果对比,综合分析水质的变化情况,水质等级越高,表示水质污染越严重。单因素评价选取溶解氧作为评价指标。河川沙塘鳢组、杂交黄颡鱼组评价结果分别见表 10、表 11。

4.2 杂交黄颡鱼运输水质评价结果

通过比较发现,无论是河川沙塘鳢组还是杂交黄颡鱼组 RBF 神经网络和 BP 神经网络输出结果完全一致。对于河川沙塘鳢,单因素评价方法与 2 种网络的输出有 9 不同;对于杂交黄颡鱼,麻醉组的水质等级整体低于对照组。

5 讨论

水质评价存在很多不确定因素,这些不确定因素与水质的恶化存在一定的联系。传统的单因素评价方法是一种悲观的水质评价方法,时常片面评价水质,不可以综合利用水环境,降低了水环境的使用功能<sup>[23]</sup>。本研究利用 BP、RBF 神经网络首次建立了活鱼运输水质变化模型。结果表明,BP、RBF 神经网络的预测精度较单因素评价方法高,拥有较强的泛化能力,且这 2 种神经网络模型的评价结果完全一致,说明将其用于综合评价实际的活鱼运输水质是可行的。人工神经网络具有客观性<sup>[33]</sup>,克服了传统方法的局限性。

BP 神经网络需要人为确定隐含层的神经元个数,隐含层神经元个数选取的好坏直接影响网络的预测精度<sup>[44]</sup>,因此本研究采用试错法来确定隐含层神经元的个数,以避免盲目选择。传统的梯度下降法容易陷入局部最优解,使得预测误差大,因此本研究采用 L-M 算法,它是介于牛顿法与梯度下降

表 10 河川沙塘鳢组 3 种评价方法结果对比

运输时间 (min)	BP 神经网络 评价结果	RBF 神经网络 评价结果	单因素 评价结果
0	II 类	II 类	II 类
19	II 类	II 类	IV 类
35	II 类	II 类	IV 类
50	III 类	III 类	IV 类
73	III 类	III 类	V 类
96	III 类	III 类	V 类
116	III 类	III 类	V 类
136	III 类	III 类	V 类
159	IV 类	IV 类	V 类
183	IV 类	IV 类	V 类
205	V 类	V 类	V 类
227	V 类	V 类	V 类
252	IV 类	IV 类	V 类
269	IV 类	IV 类	V 类
289	IV 类	IV 类	V 类
310	V 类	V 类	V 类
335	V 类	V 类	V 类
355	V 类	V 类	V 类
375	V 类	V 类	V 类
395	V 类	V 类	V 类
419	V 类	V 类	V 类
445	V 类	V 类	V 类
467	V 类	V 类	V 类
499	V 类	V 类	V 类
524	V 类	V 类	V 类
548	V 类	V 类	V 类

法之间的一种非线性优化方法,对于过参数化问题不敏感,能有效处理冗余参数问题,使代价函数陷入局部极小值的机会大大减小<sup>[45-46]</sup>。与 BP 神经网络相比,RBF 神经网络的收敛速度较快,网络预测精度高,且不容易陷入局部最小值<sup>[47]</sup>。RBF 神经网络需要确定的参数较少,通常只有 1 个 spread (径向基函数的分布密度),由于该参数的选取直接影响网络的预测精度,因此本研究采用试错法来选取 spread 的最优值。

对于河川沙塘鳢组,试验结果显示,运输 2 h 后已不能满足渔业用水标准,运输 5 h 后水质持续保持在 V 类,说明污染等级很高,污染已经不可逆转。河川沙塘鳢运输过程中,水质恶化现象严重,往往是由大量排泄物导致的,这可能是由于其缺乏肌间刺,应激强烈<sup>[15-16]</sup>。对于杂交黄颡鱼组,神经网络输出显示,麻醉组的水质等级总体上好于未加麻醉剂的对照组。随着麻醉剂浓度的增高,水质整体变好。加入麻醉剂后,杂交黄颡鱼运输超过 2 h 仍有可能保持较好的水质,而未加入麻醉剂的对照组,杂交黄颡鱼在运输 2 h 后,水质等级已超过 III 类,证明麻醉剂 MS-222 在水质调控中起到了很好的效果。本研究对活鱼运输水质进行评价,并将结果作为运输水

表 11 杂交黄颡鱼组 2 种评价方法结果对比

组别	时间(h)	BP 神经网络结果	RBF 神经网络结果
C <sub>0</sub>	0	Ⅱ类	Ⅱ类
	2	Ⅲ类	Ⅲ类
	4	V类	V类
	6	V类	V类
	8	V类	V类
C <sub>1</sub>	0	Ⅱ类	Ⅱ类
	2	Ⅲ类	Ⅲ类
	4	Ⅲ类	Ⅲ类
	6	V类	V类
	8	V类	V类
C <sub>2</sub>	0	Ⅱ类	Ⅱ类
	2	Ⅲ类	Ⅲ类
	4	V类	V类
	6	V类	V类
	8	V类	V类
C <sub>3</sub>	0	Ⅱ类	Ⅱ类
	2	Ⅲ类	Ⅲ类
	4	Ⅲ类	Ⅲ类
	6	V类	V类
	8	Ⅳ类	Ⅳ类
C <sub>4</sub>	0	I类	I类
	2	Ⅲ类	Ⅲ类
	4	Ⅲ类	Ⅲ类
	6	Ⅲ类	Ⅲ类
	8	V类	V类
C <sub>5</sub>	0	Ⅱ类	Ⅱ类
	2	Ⅲ类	Ⅲ类
	4	Ⅱ类	Ⅱ类
	6	Ⅱ类	Ⅱ类
	8	V类	V类

质等级的划分依据,最大限度地克服了人为的主观臆断,使评价具有客观通用性,但网络输出通常受评价指标标准值和评价指标上下限极值范围的影响,如何确立活鱼运输水质更为合理的标准值与极限值还有待进一步研究。

参考文献:

[1]徐钢春,顾若波,张呈祥,等.刀鲚两种生态类群——“江刀”和“海刀”鱼肉营养组成的比较及品质的评价[J].海洋渔业,2009,31(4):401-409.

[2]何小龙.低压水煮草鱼肉的品质及营养特性研究[D].扬州:扬州大学,2015:15-16.

[3]张春芳,杨文鸽,徐大伦,等.电子束辐照对美国红鱼肉营养成分的影响[J].辐射研究与辐射工艺学报,2011,29(4):219-225.

[4]李利,江敏,马允,等.水产品保活运输方法综述[J].安徽农业科学,2009,37(15):7303-7305.

[5]刘骁,谢晶,黄硕琳.鱼类保活运输的研究进展[J].食品与发酵工业,2015,41(8):255-260.

[6]史为良.活鱼运输中死亡原因和预防方法[J].中国水产,1980(2):20-21.

[7]霍长江,贾延民,任静,等.亲鱼长途运输技术探讨[J].科学养鱼,2015(3):21-23.

[8]程守坤.鳊鱼活体运输技术基础研究[D].上海:上海海洋大学,2015:11-12.

[9]余来宁,杨东,刘红艳,等.十二种淡水鱼类血红蛋白与窒息点的相关分析[J].动物学杂志,2017,52(3):478-484.

[10]强俊,李瑞伟,王辉.pH对奥尼罗非鱼仔鱼活力及仔、稚鱼生长的影响[J].南方水产,2009,5(2):69-73.

[11]区又君,罗奇,李加儿.卵形鲳鲹消化酶活性的研究Ⅲ.pH对幼鱼和成鱼消化酶活性的影响[J].海洋渔业,2010,32(4):417-421.

[12]Sinha A K, Liew H J, Diricx M, et al. The interactive effects of ammonia exposure, nutritional status and exercise on metabolic and physiological responses in gold fish (*Carassius auratus* L.) [J]. Aquatic Toxicology, 2012, 109: 33-46.

[13]梁养贤.模拟长途运输中草鱼血液和水质变化研究[D].长沙:湖南农业大学,2008:4-6.

[14]张晓林,王秋荣,刘贤德.鱼类保活运输技术研究现状及展望[J].渔业现代化,2017,44(1):40-44.

[15]丁严冬,藏雪,张国松,等.河川沙塘鳢4个不同地理群体的形态差异分析[J].海洋渔业,2015,37(1):24-30.

[16]藏雪.河川沙塘鳢人工育苗的关键因子研究及鸭绿沙塘鳢线粒体DNA基因组分析[D].南京:南京师范大学,2015:1-3.

[17]吴斌,王海华,张燕萍,等.我国河川沙塘鳢生物学研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(8):232-234.

[18]孔令杰.黄颡鱼人工繁殖技术研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2003:1-3.

[19]毛慧玲,赵哲霞,舒汉鼎,等.鄱阳湖4种黄颡鱼形态差异分析[J].安徽农业大学学报,2014,41(5):793-797.

[20]刘小玲.鱼类应激反应的研究[J].水利渔业,2007,27(3):1-3.

[21]赵建华,杨德国,陈建武,等.鱼类应激生物学研究与应用[J].生命科学,2011,23(4):394-401.

[22]胡凯.鱼类应激性出血病及其防治技术[J].现代农业科技,2007(6):117,120.

[23]杨雪冰,焦宇卉,夏杰,等.伊洛河黄河鲤天然产卵场渔业水质评价[J].水生生态学杂志,2011,32(4):42-45.

[24]Bakanovskaya L N. Application of artificial neural networks in the heart electrical axis position conclusion modeling[C]// Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016.

[25]Walczak S, Scorpio R J. Predicting pediatric length of stay and acuity of care in the first ten minutes with artificial neural networks[J]. Pediatric Critical Care Medicine, 2000, 1(1): 42-47.

[26]张垒,邹志红.基于小波神经网络的天然水体溶解氧预测研究[J].数学的实践与认识,2016,46(16):122-127.

[27]陈怡.基于BP神经网络的成都市中心城区三河水质评价研究[D].成都:西南交通大学,2012:1-41.

[28]白艳龙.黄颡鱼保活技术研究[D].上海:上海海洋大学,2013:22-28.

[29]赵忠波,胡培培,刘汝鹏,等.运输时间和MS-222浓度对翘嘴鲇皮质醇、乳酸及氧气袋内水质的影响[J].淡水渔业,2016,46(2):94-98.

[30]李晓峰,刘光中.人工神经网络BP算法的改进及其应用[J].四川大学学报(工程科学版),2000,32(2):105-109.

[31]焦志钦.BP人工神经网络的原理及其应用[J].科技风,2010(12):200-201.

[32]Zhang Y Z, Zhou Q, Sun C X, et al. RBF neural network and ANFIS-based short-term load forecasting approach in real-time price environment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2008, 23(3): 853-858.

闫建伟. 我国青饲作物生产的区域优势布局分析——基于 2014—2016 年我国 31 省份面板数据[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 139–144.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.034

# 我国青饲作物生产的区域优势布局分析 ——基于 2014—2016 年我国 31 省份面板数据

闫建伟

(周口师范学院周口发展研究中心, 河南周口 466000)

**摘要:**基于 2014—2016 年我国 31 省份面板数据, 采用显性供给与隐性需求结合的生产集中度与规模比较优势指数分析法。研究发现, 显性供给的青饲生产与关系青饲终端隐性需求的肉牛、肉羊生产区域均比较集中且稳定; 青饲生产具有规模比较优势的区域占较大比重, 但具有较显著规模比较优势的区域数量少于肉牛、肉羊; 全国显性青饲供给与隐性牛羊消费的匹配性优势区域较少; 根据显性青饲供给与隐性牛羊消费区域的匹配性, 可将全国青饲布局划分为四大类型。据此建议, 政府应在把握当前青饲与肉牛、肉羊生产布局的基础上, 根据地区各自比较优势的具体情况, 因地制宜, 合理安排, 针对各不同区域分别采取不同的发展策略等。

**关键词:**粮经饲三元结构; 青饲作物; 区域布局; 比较优势

**中图分类号:** F326.3    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0139-06

随着我国经济腾飞, 农业现代化进程加快, 畜牧业迅速发展, 粮经饲三元种植结构区域的构建与协调发展越来越受到政府重视。2014 年以来, 我国经济进入新常态, 亟需推进供给侧改革来推动经济发展。连续 3 年, 中央一号文件提出, 加快发展草食畜牧业, 支持青贮玉米和苜蓿等青饲作物种植, 开

展粮改饲和种养结合模式试点, 加快构建粮经饲协调发展的三元种植结构<sup>[1]</sup>, 是确保国家粮食安全、促进农民增收和推进农业供给侧结构性改革的重要问题。优化青饲生产布局, 加快推进粮改饲, 是推动粮食去库存的迫切需要, 是降低农牧业成本的现实选择, 是促进种养结合及一二三产业融合的重要途径, 是贯彻落实中央一号文件精神, 推进农业供给侧结构性改革的一项重要举措, 因此, 当前对我国青饲生产布局的研究具有重大意义。

当前, 国内学者对大宗粮食乃至部分经济作物生产布局的研究成果有很多。如朱启荣使用面积指标分析了我国棉花

收稿日期: 2017-11-02

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(编号: 16CGL038); 河南省高校科学研究重点资助项目(编号: 18A630071)。

作者简介: 闫建伟(1984—), 男, 河南商丘人, 博士, 讲师, 主要从事农业经济研究。E-mail: 1540513949@qq.com。

[33] Yang F, Paindavoine M. Implementation of an RBF neural network on embedded systems: real-time face tracking and identity verification[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2003, 14(5): 1162–1175.

[34] 国家环保总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 1–3.

[35] 王瑞梅, 傅泽田, 何有缘, 等. 渔业水域水质模糊综合评价模型研究[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(6): 51–55.

[36] 米江, 纪国宜. 改进的 BP 神经网络在风机故障诊断中的应用[J]. 噪声与振动控制, 2011, 31(2): 94–98.

[37] 刘长良, 陈琛. 改进的 BP 神经网络在数字图像识别中的应用[J]. 仪器仪表与分析监测, 2011(1): 16–19.

[38] Singh K P, Basant A, Malik A, et al. Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study[J]. Ecological Modelling, 2009, 220(6): 888–895.

[39] May D B, Sivakumar M. Prediction of urban stormwater quality using artificial neural networks[J]. Environmental Modelling and Software, 2009, 24(2): 296–302.

[40] Nyström K, Polidoro S. Kolmogorov–Fokker–Planck equations: comparison principles near Lipschitz type boundaries[J]. Journal de

Mathématiques Pures et Appliquées, 2016, 106(1): 155–202.

[41] 王志明. Kolmogorov 定理的一个变形[J]. 数学杂志, 2008, 28(4): 393–398.

[42] 何庆中. 防止 BP 神经网络训练函数进入局部误差振荡缺陷的一种方法[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2007, 20(3): 98–100.

[43] Wang P, Zhu D T. An inexact derivative-free Levenberg–Marquardt method for linear inequality constrained nonlinear systems under local error bound conditions[J]. Applied Mathematics and Computation, 2016, 282: 32–52.

[44] Tan X H, Bai Y P, Shen D W. Analysis and prediction of bore pressure based on BP ANN[J]. Advanced Materials Research, 2013, 740: 82–85.

[45] 李雪芝, 周建平, 许燕, 等. 基于 L–M 算法的 BP 神经网络预测短电弧加工表面质量模型[J]. 燕山大学学报, 2016, 40(4): 296–300, 318.

[46] 朱博浩, 周栋, 陈首学, 等. 用 L–M 法改进的 BP 神经网络评价边坡稳定性[J]. 西部探矿工程, 2011, 23(10): 21–24.

[47] Pechác P, Sága M. Memetic algorithm with normalized RBF ANN for approximation of objective function and secondary RBF ANN for error mapping[J]. Procedia Engineering, 2017, 177: 540–547.