

多维输入在尘肺发病人数预测模型中的对比

郑林江^{1,2}, 周龙辉^{1,2}, 黄靖^{1,2}, 陈艳秋^{1,2}, 邹喆^{1,2}, 李春晖^{1,2}

(1. 重庆大学计算机学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学信息物理社会可信服务与计算教育部重点实验室)

摘要: **目的** 以我国2000—2016年尘肺病发病统计数据为样本数据, 针对我国尘肺病发病组合预测模型的性能展开研究。**方法** 从国家统计数据库中选取采矿业从业人数、不同性质采矿企业数量、规模以上企业数量、原煤产量等作为模型预测的相关辅助决策因素, 使用不同组合方式的灰色神经网络和灰色-广义回归神经网络预测模型, 对未来全国尘肺病发病人数进行预测。**结果** 灰色模型的预测结果较差, 其他组合方式的预测模型精度未达到理想的预测精度, 而6维输入的灰色-广义回归神经网络模型的预测精度较高, 均方根误差(RMSE)也是所有组合模型中最小的。**结论** 通过对比分析和模型评价验证了多维输入的灰色-广义回归神经网络预测模型在尘肺病发病人数预测上的可行性和有效性。

关键词: 尘肺病; 发病人数; 灰色神经网络; 广义回归神经网络; 预测

中图分类号: R135.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2018)05-0347-05 DOI: 10.13631/j.cnki.zggyx.2018.05.014

Comparative study of multi-dimension input in pneumoconiosis incidence prediction models

ZHENG Lin-jiang*, ZHOU Long-hui, HUANG Jing, CHEN Yan-qiu, ZOU Zhe, LI Chun-hui

(* . College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: **Objective** Take the statistical number of pneumoconiosis incidence in China from 2000 to 2016 as sample data, to study the performance of the combination forecasting models of pneumoconiosis incidence. **Methods** The data such as number of mining industry workers, number of different types of mining companies, number of enterprises above designated size, raw coal output, etc. were obtained from national statistical database as the related auxiliary decision factors for model prediction; different combinations of gray neural network and gray-generalized regression neural network prediction model were used to predict the national morbidity number of pneumoconiosis in the future. **Results** The results showed that the results of gray model was poor, the prediction accuracy could not reach satisfied prediction accuracy; while the prediction accuracy of 6-dimensional input gray-generalized regression neural network model was quite high, and the RMSE (root-mean-square error) was the smallest in all the combined models. **Conclusion** Through the comparison analysis and model evaluation, the feasibility and effectiveness of multi-dimensional grey-generalized regression neural network prediction model for predicting the number of pneumoconiosis patients were well verified.

Key words: pneumoconiosis; morbidity number; gray neural network; generalized regression neural network; prediction

尘肺病在我国职业病的危害程度中居于首位, 对作业工人的健康可造成极为严重且不可逆的危害。针对尘肺病发病情况建立精确的预测模型, 对于我国在尘肺病预防监控、相关政策的制定与实施将起到指导决策的重要作用。目前在尘肺病发病人数的预测研究中, 主要采用的研究方法有季节性自回归滑动平均混合模型、BP (back propagation) 神经网络和灰色模型等^[1]。上述单一模型预测时皆误差较大, 未达到较高预测精度的要求。将上述预测模型按照一定方式进行组合的预测模型, 能够将各种预测方法进行优势互补, 现有研究中的组合预测模型均采用发病人数做

单输入参数的研究, 缺少其它非线性因素对我国尘肺病发病人数的影响^[2~4]。为了充分发掘数据隐含的信息, 提高预测的稳定性, 本文引入影响尘肺病发病人数的多个因子, 并与单一输入模型进行对比, 研究多参数输入的尘肺病发病人数预测模型的准确性。

1 资料与方法

1.1 灰色GM (1, 1) 预测模型

灰色系统理论 (grey system theory, GST) 简称灰色理论^[5], 专用于解决数据量少的不确定性问题^[6]。灰色GM (1, 1) 模型是应用最为广泛的灰色预测模型, 只有一个变量, 并采用一阶微分方程求解, 根据已有的数据信息, 将无规律的初始数据序列经过一次累加产生新的序列, 使数据集具有更高的规律性, 之后对新的数据序列采用一阶线性微分方程进

收稿日期: 2018-05-04; 修回日期: 2018-08-08

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2016YFC0801707, 2017YFC0805208)

作者简介: 郑林江 (1983—), 男, 博士, 副教授, 博士生导师, 从事行业大数据相关研究。

行求解^[7]。

1.2 灰色神经网络模型

灰色神经网络模型是在灰色 GM（1，1）预测模型的基础上，通过连续函数对其进行拟合和预测。传统上，根据灰色预测模型与 BP 神经网络不同的组合方式，其结构可以分为串联型、并联型和嵌入型 3 种。串联型结构是将灰色预测的结果作为 BP 神经网络的输入；并联型结构是将灰色预测和 BP 神经网络单独对数据进行处理，并将两者的预测结果进行加权平均；嵌入型结构即灰色神经网络，是用 BP 神经网络对灰色模型中的微分方程进行白化的方式将两者结合^[8]。由于并联型结构不属于非线性组合预测，弱化了预测中的非线性因素，本文不对其进行研究。

1.3 广义回归神经网络模型

广义回归神经网络（GRNN）由 Specht^[9]提出，在径向基函数（RBF）上做以改进，由输入层、模式层、求和层以及输出层 4 层组成。GRNN 的学习速度和非线性映射能力都非常快，相比于径向基神经网络更加具有优势，在样本数据量比较少时，预测的效果

也通常比较好。对比 BP 神经网络，GRNN 的训练由于不需要进行迭代，过程比 BP 网络快很多，更加适用于对在线实时数据的处理；GRNN 相比 BP 需要的样本数量更少，且能达到同样的预测效果；GRNN 和 BP 一样能够以任意精度对非线性连续函数进行逼近，且预测效果在样本较少的情况下要优于 BP 神经网络。

1.4 数据来源及处理

本文采用卫生部、国家卫计委公布的 2000—2016 年我国尘肺病发病例数作为样本数据，同时考虑到尘肺病发病人数会受到多种因素的影响，包括国家的宏观政策、煤炭行业的行业状况等，因此在本文的研究中，决定选取多个与尘肺病发病相关且有历史统计的相关数据作为预测时辅助决策的相关参数选择。通过灰色关联分析的方法计算每个参数与尘肺病发病人数之间的关联度，得出尘肺病发病人数与各参数的关联度，最终选择了关联度较高的原煤产量（0.7238）、大中型企业数（0.722616）、规模以上企业数（0.634581）、私营企业数（0.603616）、从业人数（0.587057）。见表 1。

表 1 2000—2016 年国家统计尘肺发病的相关数据

年份	尘肺病 发病人数	从业人数 （万人）	私营 企业数	规模以上 企业数	大中型 企业数	原煤产量 （亿 t）
2000	9 100	597	111	2 666	283	13.84
2001	10 505	561	212	2 603	276	14.72
2002	12 248	558	347	2 812	269	15.5
2003	8 364	488.3	653	3 139	467	18.35
2004	8 423	500.7	1714	5 249	628	21.23
2005	9 173	509.2	2217	5 787	707	23.65
2006	8 783	529.7	2991	6 797	835	25.7
2007	10 963	535	3601	7 537	928	7.6
2008	10 829	540.4	5181	9 212	1 218	29.03

年份	尘肺病 发病人数	从业人数 （万人）	私营 企业数	规模以上 企业数	大中型 企业数	原煤产量 （亿 t）
2009	14 495	553.7	5 206	8 798	1 246	31.15
2010	23 812	562	5 531	9 016	1 500	34.28
2011	26 401	611.6	4 420	7 695	2 324	37.64
2012	24 206	631	4 472	7 869	2 280	39.45
2013	23 152	636.5	4 484	7 929	2 182	39.74
2014	26 873	596.5	3 865	6 850	1 998	38.74
2015	26 081	545.8	3 229	5 924	1 746	37.47
2016	27 992	490.9	2 621	5 049	1 574	34.11

注：2006 年公布的尘肺病发病数据为全国 29 省的统计结果，其余均为全国 30 个省份的数据，采用平均值比例插补法对其进行标准化处理，以便提高预测的准确度

以 2005 年的数据作为参照，分别计算两年中每个省份的尘肺病发病数平均值，分别为 2005 年的 305.767 和 2006 年的 302.862，单个省份两年的尘肺病发病数的平均值之差为 2.905，计算出调整系数。

$$P = \frac{\text{尘肺病发病平均数之差}}{\text{2005 年的尘肺病发病平均数}} = \frac{2.905}{305.767} = 0.0095$$

计算 2006 年修正后的尘肺病发病数，即为实际统计的 29 省发病数 ×（1+P）= 8 866。

2 结果

2.1 灰色 GM（1，1）预测

以数据预处理后的 2000—2014 年的尘肺病发病数为灰色系统输入值，对 2015—2016 年的发病数进行预测。为保证灰色模型具有更好的预测效果，通常进行灰色预测前需要对数据进行级比偏差值检验，要保证级比偏差尽可能小，理论研究表明，当级比偏差 <0.1 时，可以认为灰色模型的预测值符合要求^[6]。记原始尘肺队列为 $x^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \cdots, x_n^{(0)})$ ，依据公式： $\lambda(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$ ， $k = 2, 3, \cdots, n$ ，计算级比 $\lambda(k)$ ，当队列的级比位于区间 $(e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}})$ 时，将队列

$x^{(0)}$ 作为灰色模型的输入队列; 否则, 需要对尘肺队列做适当的平移处理。经过计算, 2000—2014 年级比偏差最高时达到 0.6 以上, 对其进行平移变换。见图 1。

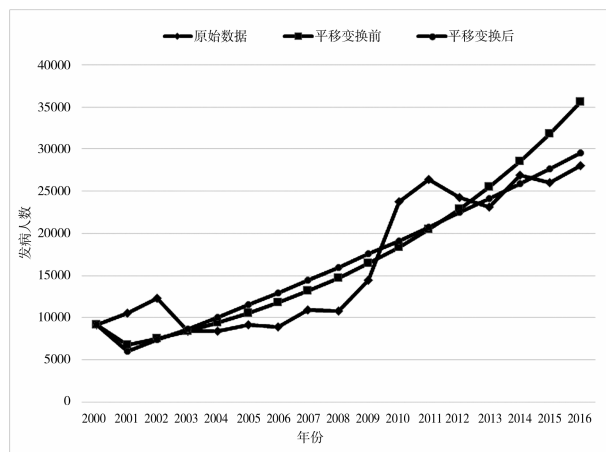


图 1 平移变换前后的拟合及预测效果

2.2 灰色神经网络模型预测

由灰色神经网络模型结构和选取的 5 个影响尘肺病发病人数的因素构建预测模型, 将各输入变量的数据进行累加作为网络输入, 网络输出为尘肺病发病人数的累加值。设置各层的学习速率均为 0.05, 采用 2000—2014 年的数据对网络进行训练, 对 2015—2016 年发病人数进行预测, 本文中灰色神经网络共训练 100 次, 网络收敛的速度非常快, 在达到局部最优后很难跳出再对参数进行优化。

为了对比不同的 BP 神经网络组合模型的预测效果, 采用灰色预测与 BP 神经网络串联的组合方式进行对比实验。由两种模型的预测效果对比 (图 2) 可见, 灰色神经网络的整体预测效果相比灰色预测和 BP 神经网络的串联模型拟合的更好, 但对后两年进行预测时出现指数增长的情况, 可见其过拟合现象比较严重。灰色神经网络的过拟合情况存在但相对较弱。整体来看, 这两种组合方式的拟合过程均存在严重的滞后性, 并未完全真实反映当年的尘肺病发病情况, 其预测结果仍需要进行修正。

2.3 灰色-GRNN 模型预测

采用 2000—2014 年数据作为训练数据, 取 $K=10$ 进行折叠交叉验证^[10]。经过多次尝试后, 最终确定光滑因子的初始值从 0.1 开始, 每次增加 0.1 直至 2 结束, 在交叉验证过程中计算预测值与真实值的均方根误差 (RMSE) 值, 当光滑因子取 0.2 时, RMSE 值最小, 此时的平滑参数即为最优值。因此本文确定的 Spread 值为 0.2。

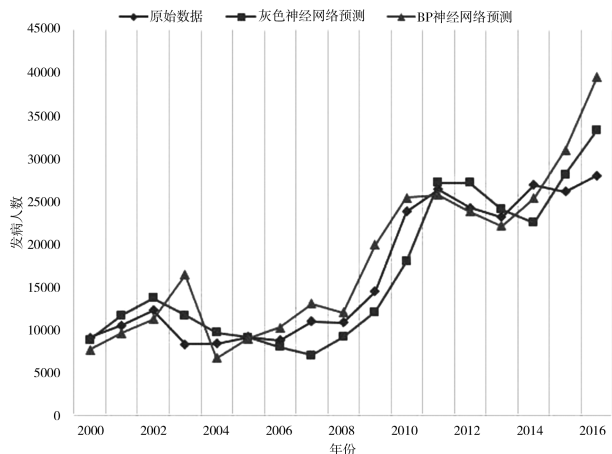


图 2 灰色预测与 BP 神经网络不同组合方式的拟合效果对比

用确定好的光滑因子构建灰色-GRNN 组合模型, 对 2015、2016 年尘肺病发病人数进行预测, 同时采用只有尘肺病发病序列的灰色预测值 1 维输入的灰色-GRNN 预测作对比实验。

由拟合对比效果 (图 3) 可以看出, 6 维输入的 GRNN 预测拟合及预测效果非常好, 1 维输入的拟合曲线基本处于上升趋势, 未做到跟随样本的波动情况而有所震荡。实验中引入影响尘肺病发病人数相关因素的预测方法是非常有效的, 为之后的职业危害发病人数预测的相关研究提供了新的思路, 并将预测的准确率做了进一步的提升。

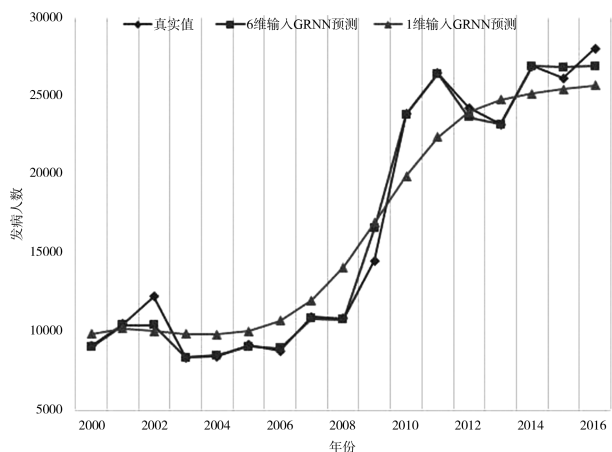


图 3 不同维度输入的灰色-GRNN 拟合效果对比

2.4 模型评价

选取平均绝对误差 (MAE)、平均相对误差 (MRE) 和 RMSE 作为评价标准。计算公式分别为

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|, \quad MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{Y}_i - Y_i|}{Y_i}, \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}$$
，公式中 $\hat{Y}_i$ 、 Y_i 分别表示

尘肺病发病人数的预测值和真实值。各模型对我国尘肺病发病人数的拟合及预测整体效果对比见表 2。

表 2 各模型对我国尘肺病发病人数的拟合预测效果对比

指标	灰色预测	灰色-BP 组合	灰色神经网络	1 维灰色-GRNN	6 维灰色-GRNN
MAE	2 753. 471	2 651. 176	2 489. 363	1 781. 235	409. 000
MRE	0. 205	0. 186	0. 153	0. 123	0. 026
RMSE	3 269. 271	3 995. 070	3 051. 667	2 102. 008	755. 482

相关研究指出，模型拟合及预测的 $MRE \leq 10\%$ 时用于预测时准确度和精度较高， $MRE \leq 5\%$ 时为理想状态^[11]。从表 2 可以看出，6 维输入灰色-GRNN 模型的预测精度较高， $MRE \leq 5\%$ 、 $RMSE \leq 1\ 000$ 达到理想的预测状态，其余的组合模型准确度和精度均不太高。因此，在本文采用的小样本预测中，多维输入的 GRNN 结合灰色预测结果的方法更加适用。采用灰色-GRNN 对我国 2017、2018 年尘肺病发病人数进行预测的结果为 28 247 和 28 598 例，总体呈现缓慢上升的趋势。

3 讨论

根据国家卫计委的统计数据显示，我国每年新发职业病约 3 万例，尘肺病约占九成，所以探索一种准确预测尘肺病发病情况的手段或方法，是职业病防治工作的一项重要任务。而尘肺病发病受多种因素影响，如产业结构调整、企业管理模式的变化等^[12]。目前在尘肺病发病人数的预测研究中，无论是采用季节性自回归滑动平均混合模型、BP 神经网络还是灰色模型，其均采用发病人数做单输入参数的研究，未考虑其他相关因子的影响。因此，本文在其基础上引入相关的多维输入因子，同时使用上述模型的组合模型来提升预测模型的准确度。本次研究对比显示，GM(1, 1)拟合曲线比较平滑，无法反映原始数据的波动性。本次 GM(1, 1)对尘肺病做预测时，其 $MRE > 20\%$ ，预测精度不合格。BP 神经网络的拟合曲线可以较好的反映原始数据的波动性，但其预测结果在真实数据出现较大波动时，容易出现过拟合的情况，在最后两年的发病人数预测中更是出现了指数增长型的预测结果，严重背离了真实数据。灰色神经网络相比 BP 神经网络稍好一些，但拟合出现明显延迟现象，并且本次 BP 神经网络以及灰色神经网络的 MRE 值也远远大于 5%，无法达到理想的预测值。1 维输入的灰色-GRNN 虽然 MAE 、 MRE 、 $RMSE$ 值都有所下降，但是其未做到跟随样本的波动情况而有所震荡，同时其预测精度也无法达到要求。因此，在本文采用的小样本预测中，多维输入的 GRNN 结合灰

色预测结果的方法更加适用。本次 6 维输入的灰色-GRNN 的 MRE 值为 2. 6%，达到了理想的预测精度，同时，其拟合效果较好，能较好的反映本文所采用的小样本的波动性，适用于尘肺病的短期预测。

本研究通过 2000—2016 年我国尘肺病发病数据验证，证明了多维输入的灰色-GRNN 适用于尘肺发病的短期预测。对于样本数据较少且波动性比较强的时间序列，不建议使用单一的 GM(1, 1)进行预测。同时本研究发现，多维输入的 BP 神经网络以及灰色神经网络能一定程度的反映原始数据的波动性，但其未达到理想的预测精度，其预测结果需要做进一步的修正。下一步将研究多维输入的灰色-GRNN 模型在其他疾病发病预测上的可扩展性。

本研究预测结果显示，2017、2018 年我国的尘肺病发病人数仍处于较高水平，提示尘肺病依然是我国的职业病防治重点。

参考文献：

[1] 王永斌, 李向文, 柴峰, 等. 采用灰色-广义回归神经网络组合模型预测我国尘肺病发病人数的方法探讨 [J]. 环境与职业医学, 2016, 33 (10): 984-987.

[2] Huang Z, Yu D, Zhao J. Application of neural networks with linear and nonlinear weights in occupational disease incidence forecast: IEEE APCCAS 2000 [A]. 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. Electronic Communication Systems [C]. (Cat. No. 00EX394), 2000.

[3] Zhang G, Huang S, Duan Q, et al. Application of a hybrid model for predicting the incidence of tuberculosis in Hubei, China [J]. PLoS One, 2013, 8 (11): e80969.

[4] Xia J, Wu W. Application of the gray neural network combination model in forecasting energy demand of China [J]. Computer Science and Application, 2018, 8 (2): 181-189.

[5] 邓聚龙. 灰色系统基本方法: 汉英对照 [M]. 2 版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.

[6] 孙倩倩, 魏勇. 函数变换缩小数据级比偏差效果的比较原则 [J]. 数学的实践与认识, 2014, 44 (8): 254-259.

[7] 谭强, 陈松根, 顾春晖, 等. 某市基于灰色数列模型 GM(1, 1) 的职业病发病趋势预测 [J]. 中国公共卫生管理, 2014 (3): 455-457.

血细胞分析仪 1000i（日本西森美康）行血细胞分析，观察首诊时外周血细胞分析中的白细胞数量。依据白细胞检测结果 183 例患者分为四组：A 组（ $\leq 10 \times 10^9/L$ ）47 例，B 组（ $10 \times 10^9/L \sim 20 \times 10^9/L$ ）88 例，C 组（ $20 \times 10^9/L \sim 30 \times 10^9/L$ ）40 例，D 组（ $> 30 \times 10^9/L$ ）8 例。

1.2.2 治疗 清除毒物（洗胃、白陶土或活性炭吸附，甘露醇导泻，呋塞米利尿，血液净化）、免疫抑制剂（糖皮质激素、环磷酰胺）、抗炎及保护重要脏器常规治疗^[2]，特殊药物如血必净、大剂量维生素 B₆等综合治疗。

1.3 统计分析

采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析，计量资料数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，计数资料比较采用 χ^2 检验， $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

183 例急性百草枯中毒患者经综合治疗，78 例好转（存活），救治成功存活率 42.60%。四组患者的存活率和死亡率见表 1。结果显示，存活率由高至低依次为 A 组 > B 组 > C 组 > D 组，死亡率低至高依次为 A 组 < B 组 < C 组 < D 组。其中 D 组 8 例患者全部死亡。将 A、B、C 三组各例数进行加权，应用 SPSS 18.0 软件多样本率进行比较， $P < 0.001$ ，表明三组间差异有统计学意义。由此可见，早期外周血白细胞计数越高，预后越差，死亡率越高。

表 1 四组患者存活率和死亡率比较			例数 (%)
组别	存活	死亡	合计
A 组	37 (78.72)	10 (21.28)	47 (100.00)
B 组	39 (44.32)	49 (55.68)	88 (100.00)
C 组	2 (5.00)	38 (95.00)	40 (100.00)
D 组	0	8 (100.00)	8 (100.00)
合计	78 (42.62)	105 (57.38)	183 (100.00)

3 讨论

百草枯是目前使用最广泛的有机杂环类接触性和高效非选择性除草剂，对人、畜有很强的毒性，导致较高的急性中毒病死率，尤其是中毒后引起的多器官衰竭，是诱发患者死亡的重要原因^[3,4]。百草枯经消化道、皮肤和呼吸道吸收，毒性累及全身多个脏器，严重时可导致多器官功能不全综合征（MODS），肺是主要靶器官，可导致“百草枯肺”，早期表现为急性肺损伤（ALI）或急性呼吸窘迫综合征（ARDS），后期出现肺泡内和肺间质纤维化，是百草枯中毒致死的主要原因，病死率高达 50%~70%^[5]。

白细胞是机体防御系统的一个主要组成部分，同时也是

反映机体应激及炎症反应的重要指标。有研究表明^[6,7]，百草枯中毒造成外周白细胞计数的增高原因在于患者中毒后发生全身炎症反应综合征（SIRS），可能是导致多器官功能衰竭的一个重要原因。如果去除肺内嗜中性粒细胞的聚集，肺损伤程度会大大减轻。百草枯中毒后其强烈的理化作用及大量氧自由基释放，可造成机体一系列应激反应，刺激神经、内分泌和免疫系统释放大炎症介质及细胞因子。如白细胞介素（IL-1、IL-8）、肿瘤坏死因子（TNF- α ）等具有趋化作用，吸引单核巨噬细胞、中性粒细胞等炎症细胞聚集。而这些炎症细胞可产生大量如前列腺素、溶酶体酶和过氧化氢类物质等炎症介质，进一步加重了炎症反应，形成了一个恶性循环。故在百草枯中毒早期即可出现外周血白细胞计数增高，且白细胞计数升高程度越早、越高，往往提示百草枯中毒程度越重，预后越差^[8]。

本文对 183 例患者起病早期外周血白细胞的分析表明，早期外周血白细胞计数可以作为急性百草枯中毒预后的初步判断，指导预后评估，对急性百草枯中毒临床救治有一定的意义；同时可根据其判断病情的严重程度为及时制定相应的治疗方案提供依据。

参考文献：

[1] 张宝兰, 姚朗, 欧艺. 1991—2008 年我国百草枯中毒文献分析 [J]. 中国急救医学, 2010, 30 (2): 139-141.

[2] 付国强, 曹义战, 仲月霞. 320 例百草枯中毒病例救治回顾分析 [J]. 临床急诊杂志, 2015, 5 (16): 348-350.

[3] Gawarammana IB, Buckley NA. Medical management of paraquat ingestion [J]. Br J Clin Pharmacol, 2011, 72 (5): 745-757.

[4] Dinis-Oliveira RJ, Duarte JA. Paraquat poisonings: mechanisms of lung toxicity, clinical features, and treatment [J]. Crit Rev Toxicol, 2008, 38 (1): 13-21.

[5] 刘骊. 白细胞数量与百草枯中毒预后的相关性分析 [J]. 中国药物与临床, 2016, 16 (11): 1647-1649.

[6] 许国根, 徐远胜, 徐芝君, 等. 全身炎症反应综合征患者血浆 C-反应蛋白变化与内毒素水平关系的研究 [J]. 中国急救医学, 2010, 30 (7): 602-604.

[7] Hongliang T, Rong Z, Xiaojing W, et al. The effects of continuous blood purification for SIRS/MODS patients: a systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials [J]. SRN Hematol, 2012, 986-995.

[8] 詹峰, 宋维, 陈文腾. 急性百草枯中毒患者白细胞计数及凝血功能变化与预后的相关性分析 [J]. 中国急救医学, 2014, 34 (4): 628.

(上接第 350 页)

[8] 袁景凌, 钟珞, 李小燕. 灰色神经网络的研究及发展 [J]. 武汉理工大学学报, 2009 (3): 91-93.

[9] Specht DF. A general regression neural network [J]. IEEE Trans Neural Netw, 1991, 2 (6): 568-576.

[10] Bengio Y, Gr Y. No unbiased estimator of the variance of K-fold cross-validation [J]. Journal of Machine Learning Research, 2004,

5 (2003s-22): 1089-1105.

[11] 郭正军, 武建辉, 尹素凤, 等. 两种神经网络模型预测煤工尘肺发病工龄的性能比较 [J]. 环境与职业医学, 2013, 30 (12): 939-941.

[12] 赵俊琴, 李建国, 赵春香. 三种时间序列模型在尘肺发病预测中的适用性研究 [J]. 中国工业医学杂志, 2017, 30 (3): 168-171.