

• 技术与方法 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2021.10.031
网络首发 <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.r.20201125.0854.002.html>(2020-11-25)

基于灰色残差修正的神经系统疾病粗死亡率及死亡占比预测^{*}

赵冠华¹,刘 涛²,吴 丹¹
(1.天津中医药大学研究生院 301617;2.国家气象中心预报系统开放实验室,北京 100081)

[摘要] **目的** 利用灰色残差修正对我国 2019—2023 年神经系统疾病的粗死亡率及死亡占比进行预测。**方法** 先对 2009—2018 年我国城市和农村、男性和女性神经系统疾病粗死亡率和死亡占比的发展趋势及状况进行分析,继而建立灰色残差修正的预测模型,使用 MATLAB 编程,对神经系统疾病的粗死亡率及死亡占比的历年数据进行拟合,再预测 2019—2023 年的数据走势。**结果** 我国神经系统疾病的粗死亡率及死亡占比将逐年升高,农村神经系统疾病将高于城市,男性的粗死亡率高于女性,并呈现增长态势。**结论** 神经系统疾病是我国未来几年的主要死亡原因之一,有关部门应当做好应对措施。
[关键词] 神经系统疾病;粗死亡率;死亡占比;灰色残差修正预测;MATLAB 编程
[中图法分类号] R311 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2021)10-1760-05

Prediction of crude death rate and death proportion of neurological diseases based on gray residual correction^{*}
ZHAO Guanhua¹,LIU Tao²,WU Dan¹
(1. Graduate School, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China;
2. Forecast System Open Laboratory, National Meteorological Centre, Beijing 100081, China)

[Abstract] **Objective** To use the gray residual correction to predict the crude death rate and the death proportion of neurological diseases in China during 2019—2023. **Methods** Firstly the development trend and status of the crude death rate and death proportion of neurological diseases in urban and rural areas, males and females in our country during 2009—2018 were analyzed. Then the gray residual correction prediction model was established, the MATLAB programming was used to fit the historical data of the crude death rate and death proportion of neurological diseases, and the data trend during 2019—2023 was predicted. **Results** The crude death rate and death proportion of neurological diseases in our country will be increased. Neurological diseases in rural areas will be higher than that in urban areas, the crude death rate of males will be higher than that of females, showing an increasing trend. **Conclusion** Nervous system diseases are one of the main causes of death in our country in the next few years, and the relevant government departments should take measures to deal with it.
[Key words] neurological diseases; crude death rate; death proportion; gray residual correction; MATLAB programming

灰色系统理论(grey system theory)的建模法由邓聚龙教授创立,该系统已在社会、经济、农业、事故、生态等许多部门应用,20 世纪 90 年代以来,灰色预测理论在医学中的应用增多,主要是疾病发病率和流行病学等预测的应用^[1-7]。

随着人口老龄化的加剧,神经系统疾病已经成为导致人类死亡和残疾的主要原因之一,神经系统疾病有着结构复杂、症状广泛、诊断依赖性强、疾病症状严重、病情难治等特点^[8-9]。作者查阅文献发现对我国神经系统疾病的致死情况的预测鲜有研究。为了进一步了解神经系统疾病致死率的现况及对人民生命的威胁程度,本文选取神经系统疾病导致的城市、农村的死亡率及死亡人数占比数据,研究神经系统疾病近 10 年的发展状况,以及男、女和城、乡不同主体之间的发展差异,同时通过构建灰色残差修正对数据进行拟合,预测未来 5 年神经系统疾病的粗死亡率走势及占总死亡人数比重,拟对神经系统疾病致死的严峻情况有着更加详细的了解。

^{*} **基金项目:**国家自然科学基金青年科学基金项目(81804049);“十三五”期间天津市高等学校“创新团队培养计划”项目(TD13-5050)。
作者简介:赵冠华(1992—),在读博士研究生,主要从事脑病防治研究。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本研究数据来源于国家统计局(<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>),查阅 2009—2018 的中国统计年鉴,获取我国城市神经系统疾病粗死亡率、城市男性神经系统疾病粗死亡率、城市女性神经系统疾病粗死亡率、农村神经系统疾病粗死亡率、农村男性神经系统疾病粗死亡率、农村女性神经系统疾病粗死亡率、城市神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重、城市男性神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重、城市女性神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重、农村神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重、农村男性神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重、农村女性神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重等数据。

1.2 方法

1.2.1 灰色残差修正预测

本文运用 MATLAB 软件对上述数据建立灰色预测模型 GM(1,1),并参照文献[10-12]利用残差修正对模型的相对误差进行修正。

1.2.1.1 灰色预测 GM(1,1)模型

灰色预测模型 GM 是在原始时间数列数据进行一次累加生成新的数列的基础上用微分方程来刻画。一般采用阶数 M 和自变量个数 N 表示,记为 GM(M,N),通常应用最广泛的是 GM(1,1)模型。(1)数学模型的建立。通常借助累加或累减生成的方法来处理原始数据的随机性,设原始数据序列 $X^{(0)}(t)$ 是关于 t 的时间序列,见公式(1)~(4)。(2)模型参数向量的确定。构造数据矩阵 B, Y_n , 见公式(5)~(7)。(3)模型求解。将参数向量代入上述微分方程,对微分方程进行求解,得 GM(1,1)模型的预测值,见公式(8)。(4)还原模型建立。因为 $\hat{x}^{(1)}(1)=\hat{x}^{(0)}(1)$, 得出公式(9)。

$$X^{(0)}(t)=\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots x^{(0)}(n)\}$$
 (1)

对 $X^{(0)}(t)$ 作一次累加生成,即:

$$x^{(1)}(t)=\sum_{j=1}^t x^{(0)}(j)(t=1,2,\cdots,n)$$
 (2)

得一次累加生成数据序列如下:

$$X^{(1)}(t)=\{x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots x^{(1)}(n)\}$$
 (3)

GM(1,1)模型的白化微分方程为:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt}+ax^{(1)}(t)=u$$
 (4)

其中 a 和 u 参数分别被称为发展中系数和灰色输入,待定常数。

$$B=\begin{bmatrix}-\frac{1}{2}(x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n)) & 1\end{bmatrix}$$
 (5)

$$Y_n=(x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\cdots,x^{(0)}(n))^T$$
 (6)

运用最小二乘法原理,求出上式中参数 a 和 u,即

$$[\hat{a},\hat{u}]^T=[a,u]^T=(B^TB)^{-1}B^TY$$
 (7)

$$\hat{x}^{(1)}(t+1)=(x^{(0)}(1)-\frac{\hat{u}}{\hat{a}})e^{-\hat{a}t}+\frac{\hat{u}}{\hat{a}}$$
 (8)

$$\hat{x}^{(0)}(t+1)=\hat{x}^{(1)}(t+1)-\hat{x}^{(1)}(t)$$
 (9)

式中 $\hat{x}^{(0)}(t)$ 为时刻 GM(1,1)模型求得的预测值。

1.2.1.2 模型精度检验

检验模型精度通常用后验差比值 c,小误差频率 p 等指标,其预测精度等级如表 1 所示。如果模型精度不高或没有达到预期效果,此时要通过改进模型解决此问题。

表 1 预测精度级别		
预测精度等级	p	c
1 级(好)	≥ 0.95	≤ 0.35
2 级(合格)	$0.8\leq p\leq 0.95$	$0.8\leq c\leq 0.95$
3 级(勉强)	$0.7\leq p\leq 0.8$	$0.5\leq p\leq 0.65$
4 级(不合格)	<0.7	>0.65

1.2.2 灰色残差修正模型

由于神经系统死亡率的各项指标均呈现增长趋势,因此本文选取灰色预测 GM(1,1)算法对未来 5 年的死亡率指标进行预测,同时为了减少误差,消除单个算法拟合性能的局限性,提出了灰色残差修正预测算法。

由于传统的 GM(1,1)模型的建立过程可知^[13],模型的拟合和预测出的数据精度由参数 a 和 b 决定。在传统的建模过程中估计白化微分方程式,是利用最小二乘方法求得参数 a 和 b 的。由微分方程的一般解可知,此白化方程的解为指数形式的解。然后再通过累减得到预测的结果。在这个过程中模型很大程度上依赖参数 a 和 b 的拟合效果,对于一些误差较大或者异常的点,会对 a 和 b 产生重大的影响从而对最终的预测结果产生较大的影响。通过建立灰色残差修正模型,就是对于残差就行拟合,将残差拟合并且准确预测,弥补灰色预测模型本身的缺点从而带来的预测精度低的问题。原始数据和灰色预测模型预测的数据计算公式如下:

$$x^{(0)}(t)=\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots x^{(0)}(n)\}$$
 (10)

$$\hat{x}^{(0)}(t)=\{\hat{x}^{(0)}(1),\hat{x}^{(0)}(2),\cdots\hat{x}^{(0)}(n)\}$$
 (11)

将原始值[公式(10)]和预测值[公式(11)]相减得到残差序列,见公式(12)。先用求得的累加数据通过最小二乘法来进行正弦函数拟合,见公式(13)。通过最小二乘法计算得到参数 A,ω,φ 的值,然后 t 计算并对残差进行预测,再将预测的残差加到预测的数据中去即得到修正的预测值,见公式(14)。

$$e(t)=x^{(0)}(t)-\hat{x}^{(0)}(t)$$
$$e(t)=A*\sin(\omega*t+\varphi)$$
$$\hat{x}_c^{(0)}(t)=\hat{x}^{(0)}(t)+e(t)$$

(12)

(13)

(14)

2 结 果

2.1 神经系统疾病的发展现状

2009—2018 年城市和农村神经系统疾病的粗死亡率及死亡人数占总死亡人数的比重,见表 2、3。综合 2008—2018 年的神经系统疾病的死亡率及死亡人数占比,采用线性回归的方法,进行趋势对比分析。

表 2 2009—2018 年神经系统疾病粗死亡率(1/10 万)

项目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
城市粗死亡率	6.89	5.84	7.63	6.86	6.85	6.91	6.90	7.50	7.84	8.62
城市男性粗死亡率	7.57	6.33	8.01	7.28	7.16	7.13	7.16	7.63	8.00	8.63
城市女性粗死亡率	6.20	5.34	7.25	6.43	6.54	6.69	6.64	7.37	7.67	8.62
农村粗死亡率	5.08	3.84	4.85	6.26	6.81	6.66	6.51	7.54	7.57	8.39
农村男性粗死亡率	5.47	3.98	4.93	6.6	6.98	6.81	6.64	7.43	7.60	8.29
农村女性粗死亡率	4.68	3.69	4.76	5.9	6.62	6.49	6.37	7.65	7.55	8.49

表 3 2009—2018 年神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重(%)

项目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
城市死亡比重	1.11	0.94	1.23	1.12	1.11	1.12	1.11	1.22	1.27	1.37
城市男性死亡比重	1.09	0.90	1.14	1.04	1.01	1.01	1.01	1.09	1.14	1.21
城市女性死亡比重	1.13	1.00	1.35	1.23	1.24	1.28	1.25	1.40	1.45	1.60
农村死亡比重	0.77	0.62	0.76	0.95	1.04	1.00	0.98	1.11	1.12	1.21
农村男性死亡比重	0.72	0.56	0.67	0.86	0.92	0.89	0.87	0.96	0.98	1.05
农村女性死亡比重	0.85	0.70	0.88	1.07	1.21	1.17	1.13	1.32	1.31	1.44

表 4 各项目线性回归结果

项目	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>r</i> ²
城市粗死亡率	0.03	1.01	0.51
城市女性粗死亡率	0.05	1.03	0.71
农村粗死亡率	0.06	0.65	0.84
农村男性粗死亡率	0.04	0.60	0.78
农村女性粗死亡率	0.07	0.71	0.87
城市死亡比重	0.18	6.21	0.51
城市男性死亡比重	0.11	6.86	0.30
城市女性死亡比重	0.24	5.56	0.65
农村死亡比重	0.42	4.02	0.84
农村男性死亡比重	0.38	4.37	0.78
农村女性死亡比重	0.47	3.65	0.89
城市男性粗死亡率	0.02	0.98	0.25

2.2 基于灰色残差修正的神经系统疾病预测

下面以农村神经系统疾病粗死亡率(1/10 万)2009—2018 年的数据为例,介绍基于灰色残差修正的

一元线性回归算法通过拟合年份与粗死亡率与和死亡占比的回归关系即: $y=a+bx$,其中 x 为年份, y 为各个指标的值, b 为回归系数, a 为截距项。通过已有数据 x 和 y 经过最小二乘法拟合,便可以得到对应的回归方程 a 和 b 的值。进而可以分析近些年的神经系统疾病的发展情况,其中回归系数能够量化时间和神经系统疾病的粗死亡率、死亡占比的相关关系。计算结果见表 4。

神经系统疾病粗死亡率预测过程。

首先依据 1.2.1.1 中介绍的 GM(1,1)算法,将农村神经系统疾病粗死亡率(1/10 万)2009—2018 年的数据代入计算得到 $a=-0.070\ 6$, $b=4.294\ 5$,将拟合的参数代入方程最后得到的预测值,灰色预测结果见表 5。对预测结果进行检验其中后验差比值 $c=0.387$,小误差频率 $p=0.9$,预测结果合格。发现残差波动性较大并且波动存在周期性,因此,使用正弦函数对残差进行拟合,并对灰色预测结果进行修正。根据公式(13)对残差进行拟合得到的公式(15)。正弦函数可以很好地拟合残差走势(图 1),进而得出最后的残差修正的灰色预测模型,预测结果见图 2。灰色预测相对误差及残差修正后的相对误差见表 6。按照上述方法,对其他指标进行了拟合,根据表 1 的检验标准得到表 7;发现该模型对于各个指标拟合精度较好,拟合效果可以接受,对各主要项指标后 5 年(2019—2023 年)发展走势进行预测,见表 8、9。

$$e(t)=0.553\ 2*\sin(0.994*t+2.792)$$

(15)

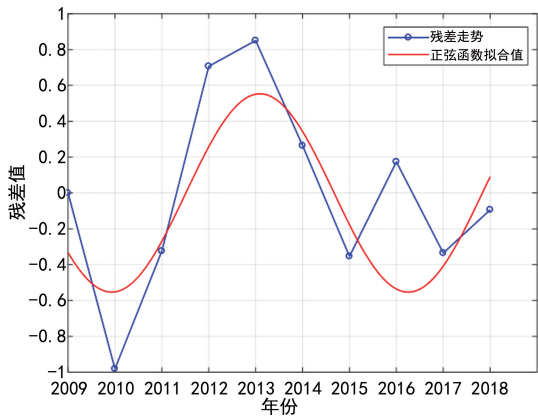


图 1 残差拟合图

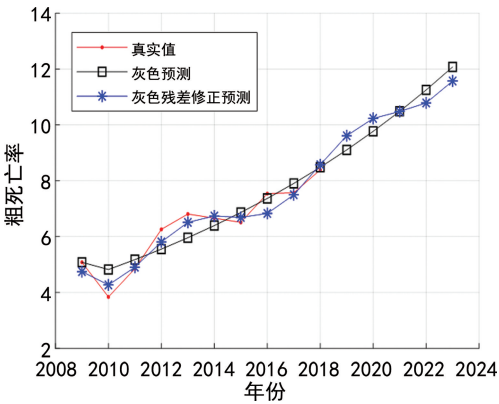


图 2 农村神经系统疾病粗死亡率的预测结果

表 5 灰色预测结果(%)

项目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
真实值	5.08	3.84	4.85	6.26	6.81	6.66	6.51	7.54	7.57	8.39
预测值	5.08	4.82	5.17	5.55	5.96	6.39	6.86	7.36	7.90	8.48
残差值	0.00	-0.98	-0.32	0.71	0.85	0.26	-0.35	0.17	-0.34	-0.09

表 6 农村神经系统疾病粗死亡率的灰色残差修正预测误差值与灰色预测误差值对比

项目	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
残差修正相对误差	0.065	-0.112	-0.011	0.072	0.044	-0.012	-0.027	0.094	0.010	-0.022
灰色预测相对误差	0.000	-0.256	-0.067	0.113	0.125	0.040	-0.054	0.023	-0.044	-0.011

表 7 各个项目的预测精度

项目	<i>p</i>	<i>c</i>	结果
城市粗死亡率	0.80	0.46	勉强合格
城市男性粗死亡率	0.80	0.51	勉强合格
城市女性粗死亡率	0.80	0.42	勉强合格
农村粗死亡率	1.00	0.25	精度好
农村男性粗死亡率	1.00	0.27	精度好
农村女性粗死亡率	1.00	0.24	精度好
城市死亡比重	0.80	0.47	勉强合格
城市男性死亡比重	0.80	0.52	勉强合格
城市女性死亡比重	0.80	0.40	勉强合格
农村死亡比重	1.00	0.26	精度好
农村男性死亡比重	1.00	0.27	精度好
农村女性死亡比重	1.00	0.25	精度好

续表 9 城市和农村神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重灰色残差修正预测结果(%)

项目	2019	2020	2021	2022	2023
农村神经系统疾病死亡比重	1.36	1.43	1.44	1.47	1.57
农村男性神经系统疾病死亡比重	1.38	1.46	1.48	1.51	1.59
农村女性神经系统疾病死亡比重	1.64	1.75	1.79	1.83	1.94

3 讨 论

人体内的各器官、系统的功能和各种生理过程都不是孤立进行的,是在神经系统的直接或间接的调节控制下,相互联系、相互影响、密切配合。神经系统的疾病导致一系列感觉运动功能及认知障碍,主要包括神经退行性疾病(如帕金森病、阿尔茨海默病、肌萎缩侧索硬化症等)、脊髓损伤、脑卒中、外周神经损伤等,截止到 2015 年,成为世界第二大致死原因,因为神经系统疾病是神经系统病变发生后,病变的神经细胞不能有效地进行再生修复,从而导致其高致死率、高致残率。神经系统疾病症状复杂、其确诊对影像学和实验室检查较为依赖,同时很多疾病(如阿尔茨海默病、帕金森病等)并没有特效药,因而导致其粗死亡率及死亡占比逐年升高^[8-9]。

根据国家统计局的统计结果显示,城市和农村的神经系统疾病的死亡率位次均从 2009 年的第 11 位提高至 2018 年的第 8 位。因此,本研究根据 2009—2018 年神经系统疾病的粗死亡率及死亡占比对未来 5 年神经系统疾病的粗死亡率和死亡占比进行了预测,对神经系统疾病未来的致死情况有更加详细和深刻的了解。根据表 4 线性回归的结果,决定系数 r^2 大

表 8 城市和农村神经系统疾病粗死亡率灰色残差修正预测结果(1/10 万)

项目	2019	2020	2021	2022	2023
城市神经系统疾病粗死亡率	8.77	8.70	8.60	8.76	9.26
城市男性神经系统疾病粗死亡率	8.71	8.55	8.39	8.50	8.95
城市女性神经系统疾病粗死亡率	8.84	8.87	8.86	9.08	9.64
农村神经系统疾病粗死亡率	9.61	10.23	10.48	10.79	11.57
农村男性神经系统疾病粗死亡率	9.55	10.08	10.18	10.34	11.05
农村女性神经系统疾病粗死亡率	9.68	10.41	10.84	11.30	12.18

表 9 城市和农村神经系统疾病死亡人数占总死亡人数的比重灰色残差修正预测结果(%)

项目	2019	2020	2021	2022	2023
城市神经系统疾病死亡比重	1.32	1.32	1.35	1.43	1.50
城市男性神经系统疾病死亡比重	1.22	1.19	1.17	1.20	1.28
城市女性神经系统疾病死亡比重	1.64	1.75	1.79	1.83	1.94

于 0.3 即证明该回归拟合效果就可以接受, r^2 越大拟合效果越好,故除了城市男性粗死亡率其他结果均可以接受,得出的结论是神经系统疾病粗死亡率和死亡占比一直在升高。本文以农村神经系统疾病粗死亡率为例,用灰色预测和残差修正预测分别对其进行建模和计算,通过表 6 可以看出,残差修正的预测结果明显优于灰色预测的结果。表 7 显示残差修正预测对各个项目的预测精度均符合要求。表 8、表 9 的灰色残差修正预测结果显示:城市神经系统疾病的粗死亡率 5 年后会提高将近 0.5/10 万,农村将近提高 2/10 万,城市和农村的神经系统疾病死亡占比会逐渐升高约 0.2%,这预示着神经系统疾病对人民群众的生命危害程度越来越高。根据本研究的方法,残差修正后模型的后验差比值明显降低,残差修正后模型精确度得到提高,预测值与实际值拟合度更高。但由于本文所使用数据为年数据,同时城市和农村差异较大,可能受到各种因素的影响,使得预测具有一定的局限性,还有待进一步的探索研究。

随着医学诊断技术的不断发展,对神经系统疾病的诊断、确诊和治疗有着极大的帮助。因此,对神经系统疾病进行有效治疗,防止其死亡率逐年攀升危害生命,迫切需要培养更多的专业人才来进行临床研究。

神经系统疾病现状:(1)城市和农村的神经系统疾病的粗死亡率和死亡占比均逐年升高,并且继续上升的势头可能持续存在,且农村粗死亡率和死亡占比的增长速度明显快于城市,城乡之间的差距正在逐步减小。(2)农村神经系统疾病粗死亡率 2011 年及 2011 年之前均低于城市,此后逐年升高,截至 2018 年与城市的粗死亡率几乎持平;(3)城市在 2009—2011 年的粗死亡率和死亡占比明显高于农村,可能与城市医疗水平较高因而神经系统疾病的就诊率和确诊率比农村高有关,随后从 2012 年起,可能由于农村医疗水平有提高,从农村去城市就诊求医数量增多,就诊率和确诊率均有提高,导致农村的神经系统疾病的粗死亡率及死亡占比均升高。

神经系统结构复杂,发病后症状广泛,为其诊断增加了难度,随着医学技术的发展,神经系统疾病的诊断水平也有了明显的提高。神经系统疾病中包括神经变性疾病、运动神经元病等,人口老龄化程度的加重也使得老年性痴呆、帕金森病等神经变性疾病的确证人数越来越多,在世界范围内的公共卫生领域,都一致认为神经系统疾病将是威胁人类健康的重要原因^[14-15]。本预测分析显示,神经系统疾病对人类的健康威胁越来越严重,应予以重视并加快治疗神经系统疾病的相关人才的培养、招聘,增加配套设施,为缓解未来的医疗风险和负担提前做必要的准备工作。

参考文献

[1] 周霞,邱宏,王鹏.灰色预测建模方法及在医学中

的应用[J].数理医药学杂志,2007,20(1):73-75.

[2] 邵珠艳,王春梅,魏曼莎.灰色 GM(1,1)预测模型在疾病预测中的应用[J].中国医院统计,2003,10(3):146-148.

[3] 赵晶,郭晓雷,吴炳义,等. GM(1,1)灰色预测模型和 ARIMA 模型在拟合山东省心脑血管疾病死亡率中的应用[J].现代预防医学,2016,43(10):1732-1734,1749.

[4] 李论.基于灰色预测模型的我国心脑血管疾病死亡率预测[J].现代电子技术,2015,38(11):107-111.

[5] 宋晨晓,徐爱军,王丹丹.基于灰色 GM(1,1)模型的中医医院人力资源需求预测研究[J].中国研究型医院,2018,5(6):1-5.

[6] 虞亚平.灰色关联、聚类、预测的研究及其在医学方面的应用[D].南通:南通大学,2009.

[7] 杨敏杰.基于灰色马尔可夫的气阴两虚型慢性肾脏病中医疗效预测模型的设计与构建[D].北京:北京中医药大学,2018.

[8] FEIGIN V L, ABAJOBIR A A, ABATE K H, et al. Global, regional, and national burden of neurological disorders during 1990—2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015[J]. Lancet Neurol, 2017, 16(11):877-897.

[9] 贾建平,陈生弟.神经病学[M].9版.北京:人民卫生出版社,2018:1-2.

[10] 姜启源,谢金星,叶俊.数学模型[M].4版.北京:高等教育出版社,2011:325-356.

[11] 吴礼斌,李柏年,闫云侠.经济数学实验与建模[M].北京:国防工业出版社,2013:4-55.

[12] 杨华龙,刘金霞,郑斌.灰色预测 GM(1,1)模型的改进及应用[J].数学的实践与认识,2011,41(23):39-46.

[13] 吴笋,夏莉莉,高一欣,等.基于马尔科夫修正的江苏省医护比灰色预测研究[J].中国卫生统计,2020,37(1):33-36.

[14] VARDI G, MERRICK J. Neurological Disorders. Public Health Challenges[J]. J Policy Pract Intellect Disabil, 2007, 5(1):215-215.

[15] MURRAY C, LOPEZ A. The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020[M]. Boston: Harvard School of Public Health, 1996:37-38.

(收稿日期:2020-06-29 修回日期:2020-11-23)