

文章编号: 2096-1618(2020)05-0554-06

广西贵港甘蔗产量气象预报

黄海迅¹, 周筠珺¹, 曾勇², 邹书平³, 杨哲⁴

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 贵州省冰雹防控技术工程中心, 贵州 贵阳 550081; 3. 贵州省山地气候环境研究所, 贵州 贵阳 550001; 4. 贵州省人工影响天气办公室, 贵州 贵阳 550081)

摘要:为提高威宁地区甘蔗产量,利用1995–2013年贵港市历史气象资料,通过SPSS对相对气象产量和各气象因子进行Pearson相关性分析,得出:4月的温度以及日照时数、12月的日照时数、1月的降水与甘蔗相对气象产量的相关性分别为-0.352、-0.407、-0.399、0.445,分别经过0.2、0.1、0.1、0.1水平的显著性检验,是影响甘蔗产量的主要因子;通过逐步回归分析、BP神经网络方法建立甘蔗产量预报模型并作对比分析,得出:神经网络模式在历史产量拟合效果(拟合平均误差0.0031%)以及预测效果(预测相对误差5.3758%)均好于其他两种方法。

关键词:大气科学;农业气象;逐步回归;BP神经网络;灰色预测

中图分类号:S162.4

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.05.013

0 引言

甘蔗产量与气象条件息息相关。中国有很多学者做探究甘蔗产量与气象条件之间关系的研究:付建涛等^[1]利用广东、广西和云南三地近26年的气象资料以及国家统计局的甘蔗单位面积产量数据,研究了温度、降水对全国单位面积甘蔗产量的影响。谭佳勇等^[2]利用宜州、罗城、环江3个站点的近35年气温、降雨、日照等气象资料及生育期资料,建立了甘蔗各生育适宜度模型以及全生育期适应度模型,并分析了气候变化与河池市甘蔗生长的关系。卢小凤等^[3]利用广西近50年的降水和甘蔗生长资料,研究了气候变化背景下甘蔗在广西秋季干旱条件下的演变特征。吴炫柯等^[4]对2005、2006年柳州市郊甘蔗伸长期的旬伸长量与主要气象因子之间的关系进行相关和回归分析,结果发现:大气湿度与甘蔗旬伸长量有极大关系。也有研究^[5]对广西柳州2003–2006年4年的甘蔗茎伸长时期、甘蔗茎伸长量与大气湿度、温度与日照时数进行回归和通径分析。结果表明:相对湿度是影响甘蔗伸长最重要的因素。钟楚等^[6]通过研究2007–2012年云南耿马的甘蔗伸长量和气象资料发现,积温、平均气温、降水量和日照时数是影响甘蔗茎伸长的主要气象因子,其中积温、平均气温、降水量对甘蔗茎伸长量呈显著效应,并建立了综合预测模型。

贵港市甘蔗产业发展历史悠久,曾有“中国糖都”

之称,甘蔗种植面积为22134 hm²,为广西主要的甘蔗生产区域之一^[7–9]。但是近年来,甘蔗的生产受到气候等自然条件的影响较严重,农民种蔗成本提高,收益相对减少。由于对贵港甘蔗产量与气象关系的研究还较缺乏,而甘蔗的生长发育又与气象条件有密切关系,故旨在探索气象条件对甘蔗生长发育的影响,并得到有利于贵港甘蔗生长的气象条件,为提高当地甘蔗产量提供理论支持。

1 数据来源

利用贵港地区1995–2013年的历史气象数据:气温、日照、降水量及贵港市对应的年甘蔗产量,通过相关分析得出各个气候因子(气温、日照、降水量)对产量的影响,最后做出甘蔗产量气象预报的研究。

2 甘蔗各发育期的气象因子对产量的影响分析

甘蔗的一生从种苗下种至蔗茎成熟收获,可分为萌芽、成苗、分蘖、茎伸长、工艺成熟5个时期,其中广西地区将萌芽、成苗、分蘖3个时期合称为发株期,甘蔗生长的快慢、产量的高低和含糖量的多少与气候条件有密切的关系,尤其以温度、水分和光照条件的影响最大。根据广西贵港1995–2013年历年甘蔗各发育期出现日期以及各发育期的平均持续时间可以知:发株期为3.1–3.30,茎秆伸长期为4.1–10.30,工艺成熟期为11.1–2.30。

收稿日期:2019-11-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41875169);国家重点研发计划资助项目(2018YFC1505702);贵州省科技计划资助项目(黔科合支撑[2019]2387号);四川省教育厅资助项目(16CZ0021)

甘蔗产量 X 可以分解为趋势产量 X_t 、气象产量 X_m 、和随机产量 ΔX ,即

$$X=X_t+X_m+\Delta X \tag{1}$$

趋势产量 X_t 反映农业技术和经营管理的改进和发展对产量的贡献,由当时的社会生产水平决定,具有渐进性和稳定性;气象产量 X_m 主要由天气气候条件决定,受气象因子年际变化的影响;随机产量 ΔX 由一些随机因素造成,一般忽略不计,则式(1)简化为

$$X=X_t+X_m \tag{2}$$

表 1 贵港市甘蔗相对气象产量与各发育期气象因子的 Pearson 相关性

发育期	发株期			茎秆生长期			工艺成熟期		
	温度	日照	降水	温度	日照	降水	温度	日照	降水
气象因子	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
Pearson 相关性	-0.146	-0.161	0.051	-0.397	-0.236	0.312	-0.176	-0.287	0.184
显著性(双侧)	0.564	0.524	0.841	0.103	0.347	0.208	0.484	0.248	0.465

由表 1 分析可知:贵港市甘蔗相对气象产量与各发育期的气温、日照时数、降水有一定的相关性,其中与茎秆生长期的温度X4、降水 X6、工艺成熟期的日照 X8 的相关系数分别为-0.397、-0.312、-0.287,说明贵港市的甘蔗相对气象产量与茎秆伸长期的温度和降水有较大关系,在工艺成熟期与日照时间有较大关系。由于发株期各个气象因子与相对气象产量的相关系数

由于随着生产技术的提高,粮食生产效率也会不断提高, X_m 的变化也在不断变大,前后期不再具备可比性,故做如下变换:

$$X'_m=X_m/X_t \tag{3}$$

式中 X'_m 为相对气象产量。根据贵港市 1995-2013 年甘蔗各个发育期的温度、日照时数和降水量和甘蔗产量等气象资料,采用 SPSS 软件对相对气象产量和各发育期气温、日照时数、降水量的 Pearson 相关性进行分析,结果见表 1。

较小,因此对其做上、中、下旬各气象因子与相对气象产量的相关性分析,结果见表 2。由表 2 分析可知:发株期上旬内,甘蔗相对气象产量与温度、日照时数以及降水相关性较弱,而发株期中旬的降水 Xa6 与下旬的日照的相关系数 Xa8 分别为0.221、-0.258,说明甘蔗相对气象产量与发株期中旬的降水以及下旬的日照时数有一定关系。

表 2 贵港市甘蔗发株期(3 月)各气象因子与相对气象产量的 Pearson 相关性

	上旬			中旬			下旬		
	温度	日照	降水	温度	日照	降水	温度	日照	降水
气象因子	Xa1	Xa2	Xa3	Xa4	Xa5	Xa6	Xa7	Xa8	Xa9
Pearson 相关性	-0.048	0.008	-0.16	-0.082	-0.034	0.221	-0.142	-0.258	-0.036
显著性(双侧)	0.849	0.976	0.526	0.748	0.894	0.378	0.573	0.301	0.888

由于茎秆伸长期为 7 个月,时间较长,所以也对 1995-2013 年茎秆生长期每月各个气象因子与相对气象产量进行相关性分析,结果见表 3、表 4。观察表 3 可以发现,4 月的温度 Xb1、日照时数 Xb2、5 月的日照时数 Xb5 及 9 月的降水 Xb18 和日照时数 Xb17 的相关系数分别为-0.352、-0.407、0.210、-0.206、0.231。

经查阅相关系数界值表可知:Xb1、Xb2 分别经过了 0.2、0.1 水平的的显著性检验,可知茎秆生长期内甘蔗相对气象产量与茎秆伸长期中 4 月的温度以及 9 月的日照时数相关关系最强,而与 4 月、5 月的日照时数以及 9 月的降水也有一定的关系。

表 3 贵港市甘蔗茎伸长期(4-10 月)各气象因子与相对气象产量的 Pearson 相关性

	4 月			5 月			6 月		
	温度	日照	降水	温度	日照	降水	温度	日照	降水
气象因子	Xb1	Xb2	Xb3	Xb4	Xb5	Xb6	Xb7	Xb8	Xb9
Pearson 相关性	-0.352	-0.407	0.109	0.082	0.21	0.161	0.05	-0.078	0.031
显著性(双侧)	0.152	0.094	0.667	0.745	0.402	0.525	0.845	0.758	0.902

表 3(续)

	7 月			8 月			9 月			10 月		
	温度	日照	降水	温度	日照	降水	温度	日照	降水	温度	日照	降水
气象因子	$Xa10$	$Xb11$	$Xb12$	$Xb13$	$Xb14$	$Xb15$	$Xb16$	$Xb17$	$Xb18$	$Xa19$	$Xb20$	$Xb21$
Pearson 相关性	-0.014	-0.06	-0.1	-0.079	-0.043	0.07	0.024	-0.206	0.231	-0.171	0.05	-0.022
显著性(双侧)	0.957	0.814	0.694	0.756	0.866	0.782	0.925	0.412	0.356	0.496	0.844	0.932

对工艺成熟期各月气象因子与相对气象产量进行相关性分析,结果见表 4。由表分析可得:12 月的日照时数 $Xc5$ 、1 月的降水 $Xc9$ 的相关系数分别为-0.399、0.445。经查阅相关系数界值表可知: $Xc5$ 、 $Xc9$ 均分别通过了0.1水平的显著性检验。说明甘蔗工艺成熟期的相对气象产量与日照时数和降水有较大关联。

表 4 贵港市甘蔗工艺成熟期(11~1 月)各气象因子与相对气象产量的 Pearson 相关性

	11 月			12 月			1 月		
	温度	日照	降水	温度	日照	降水	温度	日照	降水
气象因子	$Xc1$	$Xc2$	$Xc3$	$Xc4$	$Xc5$	$Xc6$	$Xc7$	$Xc8$	$Xc9$
Pearson 相关性	-0.142	0.101	-0.074	-0.2	-0.399	0.148	-0.017	-0.203	0.445
显著性(双侧)	0.575	0.69	0.77	0.425	0.101	0.557	0.945	0.418	0.064

3 贵港市甘蔗产量的预报模型建立

文中利用贵港市 1995-2013 年甘蔗生育期各阶段的温度、降水量和日照时数等气象资料,采用逐步回归分析、BP 神经网络、GM(1,1)灰色预测 3 种方法建立甘蔗产量预报模型,并对 3 种模型的历史拟合及预报结果进行对比分析。

3.1 逐步回归统计预报模型建立

3.1.1 模型建立过程

采用双重检验的逐步回归方案^[10-11],模型建设好后需要检验预报模型的实用性:使用 1995-2012 年资料进行逐步回归分析建模,将 2013 年的资料用作试预报使用。运用表 5 中 Pearson 相关性显著的因子 $Xa6$ 、 $Xa8$ 、 $Xb1$ 、 $Xb2$ 、 $Xb18$ 、 $Xc5$ 、 $Xc9$,与甘蔗相对气象产量数据序列,借助统计分析软件 SPSS 进行逐步回归分析,得到相对气象产量 X'_m 逐步回归统计预报模型为

$X'_m=0.334+0.005Xc9+0.004Xb5-0.046Xb1-0.006Xa8$ (4)
式中因子 $Xc9$ 、 $Xb5$ 、 $Xb1$ 、 $Xa8$ 分别代表 1 月的降水量、5 月的日照、4 月的温度以及 3 月下旬的日照, X'_m 为相对气象产量。该模型的复相关系数 $R=0.725$, $F=3.594>F(0.1)$,说明该回归方程在0.1水平(双侧)是显著的。运用式(2)、(3)可以推出甘蔗产量预报方程为

$$X=(1+X'_m)X_T$$
 (5)

把(4)带入(5)可以得出:

$$X=(1.334+0.005Xc9+0.004Xb5-0.046Xb1-0.006Xa8)X_T$$
 (6)

3.1.2 模型检验与预报

将贵港市 1995-2012 年甘蔗各发育期的相关气象因子回代到上述模型进行历史拟合检验,其结果见表 5。从表 5 中 1995-2012 年的实际产量与预报产量的相对误差来看,17 年的平均拟合误差为14.9%,说明该模型历史模拟效果一般,其中 2003 年和 2008 年误差绝对值甚至达到了 40% 以上。

表 5 逐步回归统计预报模型的历史拟合及预报

年份	实产 /(kg/hm ²)	拟合产量 /(kg/hm ²)	相对误差/%	年份	实产 /(kg/hm ²)	拟合产量 /(kg/hm ²)	相对误差/%	年份	实产 /(kg/hm ²)	拟合产量 /(kg/hm ²)	相对误差/%
1995	78580.13	69937.21	11.00	2001	79528.68	58336.18	26.65	2007	87004.35	78698.46	9.55
1996	58494.52	59405.19	-1.56	2002	47058.45	47056.5	0.00	2008	54708.64	77688.15	-42.00
1997	59997	69821.28	-16.37	2003	37498.97	53694.58	-43.19	2010	95298.86	101153.87	-6.14
1998	42859.24	48475.67	-13.10	2004	82500.02	67102.41	18.66	2011	78000	72869.74	6.58
1999	59999.9	47173.23	21.38	2005	67499.97	64140.97	4.98	2012	101999.7	88102.63	13.62
2000	30001.5	32884.52	-9.61	2006	46500.02	41932.42	9.82	2013*	82500.02	77851.08	5.64

注: * 表示预报年份

利用上述逐步回归统计预报模型,对 2013 年进行产量预报。首先,使用调和权重对 2013 年的趋势产量做出预报,在运用式(6)可以对 2013 年甘蔗产量进行预报。预报结果及相对误差(表 5)分别为77851.08 千克/亩、5.64%,说明该模型预报效果良好。随着时间推移,资料不断补充,可对预报模型进行逐年补充订正,使之更加完善。

3.2 BP 神经网络预报模型建立

3.2.1 BP 神经网络基本思想

人工神经网络是由大量简单处理元件相互连接构成的高度并行的非线性系统,具有非线性、非局域性、非定性和大规模并行处理的特点,其兼备自组织、自适应和自学习能力。BP 神经网络^[12-13]包括多层前馈网络和 BP 算法。最基本的 BP 网络是 3 层前馈网络,即

输入 LA、隐含 LB 和输出 LC 之间前连结,采用的就是这种 3 层的前馈网络。BP 算法的主要设计思想是,将输入信号通过隐层和输出层节点的处理计算得到的网络实际输出,进一步与期望输出相比较,并计算实际输出与期望输出的误差,将误差作为修改权值的依据反向传播至输入层,再修正各层的权系数,并反复这一过程,直到实际输出与期望输出的误差达到预先设定的误差收敛标准,从而获得最终的网络权值^[14]。

3.2.2 学习建模及预报检验

选取贵港市 1995-2012 年的甘蔗产量以及各发育期的相关气象因子资料作为训练样本,选取 2013 年资料作为检验样本。训练样本的期望与实际输出之间的相对误差,见表 6。从表 6 分析可知:训练样本的相对误差最大值为0.0074%,1995-2012 年的历史拟合平均相对误差为0.0031%。

表 6 训练样本历史拟合相对误差

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
相对误差/%	0.0033	0.0004	0.0036	0.0049	0.0048	0.0074	0.0029	0.0050	0.0013
年份	2004	2005	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013 *
相对误差/%	0.0009	0.0035	0.0031	0.0006	0.0048	0.0025	0.0019	0.0010	5.3758

注: * 表示预报年份

将 2013 年作为检验样本,其预报结果见表 7。由表 7 分析可知:2013 年的相对误差为5.3758%,表明模型预报结果良好。由于资料有限,训练样本少,导致模型的训练次数有限,对模型的预报效果有一定的影响,随着样本数量的增加,在原有基础上继续学习训练,模型的精度将会在一定程度上得到提高,该项工作有待进一步进行。

3.3 GM(1,1)灰色预测

灰色预测是一种对含有不确定因素的系统进行预测的方法。灰色预测通过鉴别系统因素之间发展趋势的相异程度,即进行关联分析,并对原始数据进行生成处理来寻找系统变动的规律,生成有较强规律性的数

据序列,然后建立相应的微分方程模型,从而预测事物未来发展趋势的状况。

选取贵港市 1995-2013(09 资料缺失)年中前 17 年的甘蔗产量作业样本,选取 2013 年资料作为检验样本。利用 MATLAB 编程语言对上述模型进行计算,得出 1995-2012 年的拟合产量以及相对误差,并且得出 2013 年的预报结果以及相对误差,如表 7 所示。由表 7 分析可知:17 年的样本拟合产量和实际产量的平均相对误差为25.73%,拟合效果并不理想;而 2013 年的相对误差为10.29%。预报效果也一般。由于资料有限,对模型的预报效果有一定的影响,随着样本数量的增加,模型的精度将会在一定程度上得到提高,该项工作有待进一步进行。

表 7 拟合产量以及相对误差

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000
实产/(kg/hm ²)	78580	58495	59997	42859	60000	30002
拟合/(kg/hm ²)	78580	45183	47203	49315	51520	53824
相对误差/%	0.00	22.76	21.32	15.06	14.13	79.40
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006
实产/(kg/hm ²)	79529	47058	37499	82500	67500	46500
拟合/(kg/hm ²)	56231	58746	61373	64118	66985	69981
相对误差/%	29.29	24.84	63.67	22.28	0.76	50.50
年份	2007	2008	2010	2011	2012	2013 *
实产/(kg/hm ²)	87004	54709	95299	78000	102000	82500
拟合/(kg/hm ²)	73111	76380	79796	83365	87093	90988
相对误差/%	15.97	39.61	16.27	6.88	14.61	10.29

3.4 各预报模型对比分析

逐步回归模型、BP 神经网络模型、灰色预测模型历史拟合产量以及预测产量比较见表 8、表 9。由表 8 和表 9 分析可知:采用 BP 神经网络模型对实产的历史拟合相对误差为 0.003%,明显小于逐步回归模型

以及灰色预测模型。而就预报相对误差而言,BP 神经网络预报误差为 5.38%,与逐步回归模型的预报误差相近,比灰色预报模型的预报误差小。就总体来看,采用 BP 神经网络方法建立的预报模型在历史产量拟合以及产量预报方面均优于其他两种方法。

表 8 GM(1,1)灰色预测模型、BP 神经网络模型、逐步回归模型历史拟合比较

类型	逐步回归模型	BP 神经网络模型	灰色预报模型
历史拟合平均相对误差/%	14.95	0.003	25.73

表 9 2013 年逐步回归模型、BP 神经网络模型、灰色预测模型预报比较

实际产量 /(kg/hm ²)	逐步回归模型		BP 神经网络模型		灰色预报模型	
	预报产量 /(kg/hm ²)	相对误差/%	预报产量 /(kg/hm ²)	相对误差/%	预报产量 /(kg/hm ²)	相对误差/%
82500	77851.07566	5.64	78065	5.38	90988	10.29

4 结论

以广西 1995–2013 年各旬温度、降水量、日照时数、等气象资料为基础,运用甘蔗产量资料对影响甘蔗产量的气象因子进行相关性分析,采用逐步回归分析、BP 神经网络分析和 GM(1,1)灰色预测分析建立甘蔗产量预报模型,并对比分析 3 种模型的历史拟合及预报效果,最终得出以下结论:

(1)4 月的温度 X_{b1} 、日照时数 X_{b2} 、12 月的日照时数 X_{c5} 、1 月的降水 X_{c9} 与相对气象产量的 Pearson 相关性分别为-0.352、-0.407、-0.399、0.445,分别经过了0.2、0.1、0.1、0.1水平的显著性检验,表明上述因子是影响甘蔗产量的主要因子。

(2)通过对逐步回归统计预报模型、BP 神经网络模型和 GM(1,1)灰色预报模型的分析比较,结果得出:无论是拟合精度还是预报精度,BP 神经网络模型均比逐步回归统计预报模型和 GM(1,1)灰色预测模型高,说明在贵港甘蔗产量预报中,BP 神经网络方法具有更好的应用前景。

提取了对影响甘蔗产量的主要气象因子,但是在因子筛选过程中还不够仔细,使用的筛选依据知识基于甘蔗生长发育适应性以及统计学意义两个角度,考虑不甚全面。同时对于产量分离所选步长的研究还不够深入,后续将对其进行进一步探讨,选出最佳滑动步长,从而提高预测的准确度。

致谢:感谢成都市科技治霾新技术新产品应用示范项目(2018-ZM01-00038-SN)对本文的支持

参考文献:

[1] 付建涛,孙东磊,陈立君,等. 温度和降水变化与甘蔗产量的关系分析[J]. 热带农业科学,2018,38(6):13–17.

[2] 谭佳勇,刘芳,黄秀秀. 河池甘蔗气候适宜度特征及其变化趋势分析[J]. 贵州气象,2017,41(3):61–64.

[3] 卢小凤,匡昭敏,李莉,等. 气候变化背景下广西甘蔗秋旱演变特征分析[J]. 南方农业学报,2016,47(2):217–222.

[4] 吴炫柯,刘永裕,刘梅. 气象因子对甘蔗茎伸长的影响[J]. 气象,2008,34(6):116–118.

[5] 吴炫柯,李家文,刘永裕,等. 主要气象因子对甘蔗茎伸长的通径分析[J]. 中国糖料,2008(3):25–26.

[6] 钟楚,周臣,李金惠,等. 气候变化对云南耿马甘蔗生长发育的影响[J]. 中国糖料,2011(3):38–43.

[7] 张春美,黄红娣,曾一. 乡村旅游精准扶贫运行机制、现实困境与破解路径[J]. 农林经济管理学报,2016(6):625–631.

[8] 彭梦春. 乡村旅游扶贫现状及趋势分析——以湖南省张家界市为例[J]. 农业展望,2016(12):20–23,37.

[9] 鲁春阳,文枫,王锦峰,等. 乡村旅游与精准扶贫联动研究[J]. 农业经济与科技,2017(3):92–94.

[10] 刘志红,张雷,燕亚菲,等. BP 神经网络在小麦赤霉病气象预测中的应用[J]. 云南农业大学

学报(自然科学版),2010,25(5):680-685.

[11] 韩力群. 人工神经网络教程[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2006:58-59.

[12] 金龙. 神经网络气象预报建模理论方法与应用[M]. 北京:气象出版社,2005:1-39.

[13] 向卫国,何树林,胡毅,等. 用神经网络法进行稻飞虱发生量及程度的预报[J]. 成都气象学院学报,1995,10(2):144-148.

[14] 孙立谭,赵殿军. 气象保障常用软件包[M]. 北京:国防工业出版社,2002:266-273.

[15] 乔加新,周森鑫,马季. 基于 BP 神经网络的农业气象产量预报系统[J]. 微计算机信息,2009,25(35):44-46.

Meteorological Forecast of Sugarcane Production in Guigang, Guangxi

HUANG Haixun¹, ZHOU Yunjun¹, ZENG Yong², ZOU Shuping³, YANG Zhe⁴

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Guizhou Hail Prevention and Control Technology Engineering Center, Guiyang 550081, China; 3. Guizhou Institute of Mountain Climate and Environment, Guiyang 550001, China; 4. Guizhou Provincial Office of Weather Modification, Guiyang 550081, China)

Abstract: In order to increase sugarcane production in Weining area, using the historical meteorological data of Guigang City from 1995 to 2013, the pearson correlation of the relative meteorological yield and various meteorological factors were processed through SPSS. The results are as follows: temperature and hours of sunshine in April, the The hours of sunshine in December and precipitation in January were the main factors affecting sugarcane yield. Their correlations of with the relative meteorological yields of sugarcane are -0.352, -0.407, -0.399, 0.445, which have passed the significance test of 0.2, 0.1, 0.1 and 0.1, respectively. The stepwise regression analysis and BP neural network method were used to establish a sugarcane yield forecasting model and made a comparative analysis. It is concluded that the neural network model is better than the other two methods in the historical yield fitting effect (the average error of the fitting is 0.0031%) and the prediction effect (the relative error of the prediction is 5.3758%).

Keywords: atmospheric sciences; agricultural meteorology; stepwise regression; BP neural network; grey prediction