

屈振江,刘新生,王景红,等. 陕西省林果业农用天气预报业务系统研究[J]. 气象,2012,38(10):1301-1306.

# 陕西省林果业农用天气预报业务系统研究<sup>\*</sup>

屈振江<sup>1</sup> 刘新生<sup>2</sup> 王景红<sup>1</sup> 刘璐<sup>1</sup> 梁轶<sup>1</sup>

1 陕西省经济作物气象服务台,西安 710015

2 陕西省咸阳市气象局,咸阳 712000

**提 要:** 利用模糊综合评判方法和专家打分法建立了套袋指数等 5 种农事活动和苹果等陕西 10 种主栽林果分生育期生长气象适宜度预报模型。在此基础上开发了基于 B/S 的陕西省林果业农用天气预报业务系统,实现了 3 d 时效 24 h 间隔的农事活动和林果生长气象适宜度预报自动计算与输出。

**关键词:** 林果, 农用天气预报系统, 模糊数学

## Study on the Agro-Weather Forecast System for the Forest Fruits of Shaanxi Province

QU Zhenjiang<sup>1</sup> LIU Xinsheng<sup>2</sup> WANG Jinghong<sup>1</sup> LIU Lu<sup>1</sup> LIANG Yi<sup>1</sup>

1 Shaanxi Meteorological Service Office for Economical Crops, Xi'an 710015

2 Xianyang Meteorological Office of Shaanxi, Xianyang 712000

**Abstract:** Five agronomic activities such as the fruit bagging index and a seasonal growth suitability prediction model for main forest fruits such as apple were respectively established by using the fuzzy comprehensive evaluation method and the expertise assessment. On this basis, we developed agro-weather forecast system for the forest fruits of Shaanxi Province based on a B/S (Browser/Server), and the automatic calculation and output were therefore achieved for predicting the agricultural activities and the growth suitability weather each 24-h before 3 days.

**Key words:** forest fruit, agro-weather forecast system, fuzzy mathematics

## 引 言

陕西是我国林果产业大省,全省园林水果面积 107 hm<sup>2</sup>,年产量 1238 万吨,产值超过 120 亿元,全省核桃、红枣等五大干杂果经济林总面积 100.5 hm<sup>2</sup>,年产量 60 万吨,产值超过 50 亿元。其中苹果、猕猴桃的面积和产量均为全国第一,是全国乃至世界集中连片面积最大的优质生产基地<sup>[1]</sup>。同时林果产业是对气象条件最为敏感的产业之一,陕

西南北狭长,纵跨三个气候带,是中国气候高度敏感区和灾害频发区<sup>[2]</sup>。研究和开展林果业农用天气预报业务,为政府和生产者提供科学的决策依据,对有效减轻气象灾害,合理利用气候资源,提高种植效益有着十分重要的现实意义。

目前国内已经开展的农用天气预报基本针对大宗粮食作物或部分经济作物的重要关键农事季节预报、生育期预报和病虫害预报<sup>[3-10]</sup>。根据生产部门和果农的实际需求,本文针对陕西主栽林果业的逐日生长气象适宜性和农事活动气象适宜度预报开展

\* 陕西省“13115”科技创新工程公共服务平台建设项目(2010FWPT-17)和中国气象局业务化建设项目(陕西省苹果产量预报及农用天气预报业务能力建设)共同资助

2011 年 5 月 20 日收稿; 2012 年 3 月 6 日收修定稿

第一作者:屈振江,从事农业气象研究工作. Email: nju\_qzj@hotmail.com

研究。利用模糊综合评判和专家打分法建立了套袋指数等 5 种农事活动和苹果等陕西 10 种主栽林果分生育期气象生长适宜性预报模型。在此基础上开发了基于 B/S 的陕西省林果业农用天气预报业务系统,实现了 3d 时效 24h 间隔的农事活动和生长气象适宜度预报自动计算与输出。

## 1 预报模型

### 1.1 气象因子的选取及指标

作物的生长或农事活动与气温、降水、日照等气象因子关系密切<sup>[11-12]</sup>。考虑预报过程由计算机自动实现,预测值选自分县城镇预报和数值预报,因此气象影响因子的范围确定为天气现象、平均气温、最大

风速和空气平均相对湿度。

在作物生长的不同生育期各种气象因子的适宜范围是不同的,结合已有研究成果和陕西生产实际,确定苹果、红枣、猕猴桃、柑橘、梨、樱桃、核桃、葡萄、柿子、石榴等不同作物不同生育期的气象指标<sup>[11-17]</sup>。以苹果为例,见表 1。其中生育期确定考虑到其预测的准确率,直接应用生态监测网的各作物实时物候监测资料。

不同农事活动对气象指标各有不同的要求,特别是林果农事活动,对气象指标的要求更加严格<sup>[11-12]</sup>。结合已有研究成果和本地农事实况,确定了陕西省林果业套袋、解袋、着色、农药喷洒、灌溉等农事活动的气象指标<sup>[11-17]</sup>。以套袋指数为例,见表 2。

表 1 苹果分生育期气象指标库

Table 1 The meteorological indices at different stage of apple seasonal growth

发育期	天气现象 ( $I_w$ )	平均气温/ $^{\circ}\text{C}$ ( $I_t$ )		最大风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ( $I_f$ )		平均相对湿度/ $\%$ ( $I_a$ )	
		最适宜	不适宜	最适宜	不适宜	最适宜	不适宜
萌动期	雪	3~8	<3 或 $\geq 16$	$\leq 5$	>9	60~70	<40 或 $\geq 80$
芽膨大期	雪	8~15	<8 或 $\geq 25$	$\leq 5$	>9	50~80	<30 或 $\geq 90$
芽开放期	雪	8~15	<8 或 $\geq 25$	$\leq 5$	>9	50~80	<30 或 $\geq 90$
展叶始期	雪	8~15	<8 或 $\geq 25$	$\leq 5$	>9	50~80	<30 或 $\geq 90$
展叶盛期	雪	8~15	<8 或 $\geq 25$	$\leq 5$	>9	50~80	<30 或 $\geq 90$
开花始期	雪、雨夹雪、雨、霜冻	15~20	<14 或 $\geq 25$	$\leq 5$	>9	60~70	<40 或 $\geq 80$
开花盛期	雪、雨夹雪、雨、霜冻	15~20	<14 或 $\geq 25$	$\leq 5$	>9	60~70	<40 或 $\geq 80$
...	...	...	...	...	...	...	...

表 2 套袋指数气象指标库

Table 2 The meteorological indices for forest fruit bagging

天气现象 ( $I_w$ )	平均气温/ $^{\circ}\text{C}$ ( $I_t$ )		最大风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ( $I_f$ )		平均相对湿度/ $\%$ ( $I_a$ )	
	最适宜	不适宜	最适宜	不适宜	最适宜	不适宜
阴天转小雨、小到中雨或中雨或小阵雨或阵雨	14~30	<12 或 $\geq 33$	$\leq 3$	$\geq 5$	60~70	$\leq 30$ 或 $\geq 80$

### 1.2 指标模型及其权重

如果用上述 1.1 所建指标体系中适宜或不适宜气象指标来直接评判赋值并构造指标模型,这样的确定性评价或预测显然偏离了客观事实。模糊综合评价是通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模

糊指标进行量化,然后利用模糊变换原理综合各指标,此理论和方法在气候资源评价模型、污染综合评价中已经得到了充分应用和实践<sup>[18-20]</sup>。

设定隶属函数为线性关系,并综合上述指标体系,建立分作物分生育期的气象生长适宜度隶属函数,以苹果萌动期为例:

$$\mu(I_w) = \begin{cases} 1 & \text{天气预报用语中无雪} \\ 0.5 & \text{其他} \\ 0 & \text{天气预报用语中出现暴雪、大雪} \end{cases}$$

$$\mu(I_t) = \begin{cases} 1 & 3 \leq I_t \leq 8 \\ \frac{16 - I_t}{8} & 8 < I_t \leq 16 \\ 0 & I_t < 3, I_t > 16 \end{cases}$$

$$\mu(I_f) = \begin{cases} 1 & I_f \leq 5 \\ \frac{9 - I_f}{4} & 5 < I_f \leq 9 \\ 0 & I_f > 9 \end{cases}$$

$$\mu(I_u) = \begin{cases} 1 & 60 \leq I_u \leq 70 \\ \frac{I_u - 40}{20}, \frac{80 - I_u}{10} & 40 \leq I_u < 60, \\ & 70 < I_u \leq 80 \\ 0 & I_u < 40, I_u > 80 \end{cases}$$

隶属函数模型中,  $I_w$ : 天气现象;  $I_t$ : 平均气温;  $I_f$ : 风速;  $I_u$ : 相对湿度。

结合有关研究<sup>[11-17]</sup>和当地实际情况, 并采用针对性较强、较为直观的专家打分评价方法来确定生长气象适宜度预报因子权重集。专家打分共进行三轮, 征询专家涵盖林果业省级技术指导和管理部门、一线农技人员、种植农民专家。确定的苹果不同发育期生长气象适宜度预报因子权重集如下:

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0.3, 0.5, 0.1, 0.1 \\ 0.3, 0.5, 0.1, 0.1 \\ 0.3, 0.5, 0.1, 0.1 \\ 0.2, 0.6, 0.1, 0.1 \\ 0.2, 0.6, 0.1, 0.1 \\ 0.2, 0.6, 0.1, 0.1 \\ 0.1, 0.7, 0.1, 0.1 \\ 0.1, 0.6, 0.1, 0.2 \end{pmatrix}$$

其中苹果萌动期生长气象适宜度各预报因子的权重为:

$$\alpha = \{0.3, 0.5, 0.1, 0.1\}$$

建立预报模型  $P = \sum \mu(x_i)\alpha_i$ , 其中  $P$  为预报值,  $\mu(x_i)$  为第  $i$  个预报因子隶属度,  $\alpha_i$  为该预报因子的权重,  $0 < \alpha_i < 1$ ,  $\sum \alpha_i = 1$ 。根据分析结果, 结

合中国气象局农用天气预报有关规定, 将适宜度预报分为三级, 即适宜、较适宜和不适宜。按照本地气候状况和生产实际, 确定  $P \geq 0.7$  为适宜,  $0.7 \sim 0.3$  为较适宜,  $\leq 0.3$  为不适宜。

则苹果萌动期生长气象适宜度预报模型为:

$$P = 0.3\mu(I_w) + 0.5\mu(I_t) + 0.1\mu(I_f) + 0.1\mu(I_u)$$

参照上述方法, 分别建立苹果、红枣、猕猴桃、柑橘、梨、樱桃、核桃、葡萄、柿子和石榴等不同作物不同生育期的预报模型库和林果业套袋、解袋、着色、农药喷洒和灌溉等农事活动的预报模型库<sup>[11-17]</sup>。通过对 2006—2010 年陕西省开展林果业生态气象观测以来的资料进行分析整理, 分果区挑选了洛川、白水、旬邑和凤翔等四个代表站的气象资料, 结合上述方法构建的分生育期和农事活动气象适宜度预报模型及分级标准进行检验, 预报符合率在 76% 以上, 达到了业务化的水平。

## 2 系统设计

### 2.1 系统流程设计

林果业农用天气预报业务系统的开发是为支持省级业务单位进行农用预报业务的开展, 并对所属市县气象部门进行业务指导, 设计考虑系统的安全性和扩展性的同时, 充分考虑了系统的维护成本和便捷访问, 因此选择了基于 C# 的 B/S 架构体系设计开发。此结构下, 用户工作界面是通过 WWW 浏览器来实现, 极少部分事务逻辑在前端 (Browser) 实现, 主要事务逻辑在服务器端 (Server) 实现, 形成所谓三层结构。减轻了系统维护与升级的成本和工作量, 既能有效地保护数据平台和管理访问权限, 又为市县多用户提供了方便快捷的访问方式<sup>[21]</sup>。系统流程设计见图 1。

通过农事活动预报模型库与分林果分县物候库交互, 确定目前各县需要预测气象适宜度的各农事活动, 并提取各农事活动适宜度预报模型供系统调用。通过分林果分生育期气象适宜度模型库与分林果分县物候库交互, 提取分县分林果所在物候期的生长气象适宜度模型供系统调用。通过提取 3 d 时效 24 h 间隔分县要素预报与分县农事活动的预报模型运算, 得到农事活动分县 3 d 时效 24 h 间隔适

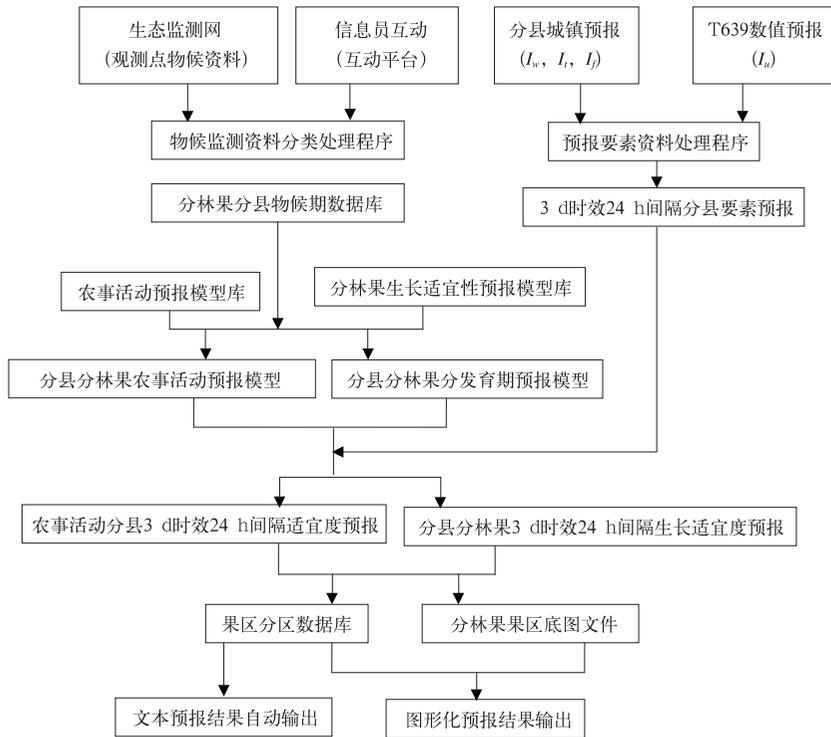


图 1 陕西林果业农用天气预报业务系统流程设计图

Fig. 1 The flow chart of the agro-weather forecast system for the forest fruits of Shaanxi Province

宜性预报结果。通过提取 3 d 时效 24 h 间隔分县要素预报与分县分林果生长气象适宜度预报模型得到分县分林果 3 d 时效 24 h 间隔生长适宜度预报结果。

系统通过对陕西省气象局已经建立的生态监测网的物候监测资料、信息员互动中提供的物候数据资料进行分类处理程序处理后形成分林果分县的物候期数据库。预报要素库主要包括天气现象、温度、风速和相对湿度,时间尺度为 3 d 时效 24 h 间隔。其中前 4 种预报资料主要取自每日 16:00 制作的分县城镇预报报文。通过对陕西省气象局运行的 T639 和 WRF 数值预报结果进行对比分析并征求有关预报专家的建议,提取 T639 每日 16:00 输出的 2 m 高度的相对湿度输出结果作为相对湿度预报值,通过预报要素资料处理程序形成 3 d 时效 24 h 间隔分县预报因子库<sup>[22-25]</sup>。其中报文及资料获取程序单独以可执行程序列入计划任务,定时运行。物候资料处理程序、预报要素资料处理程序在 SQL 存储过程中,自动驱动调用完成运算。

预报结果通过叠加各种林果的果区分区信息,

形成文本形式的分果区农事活动及分林果气象适宜度预报结果,自动存储在省级文件服务器下,以不同文件名标示。同时通过对预报结果叠加分林果分果区的地理信息系统底图文件,制作输出图形化分县预报结果。

按照上述流程,系统每日下午 16:30 自动制作每种林果的当前生育期未来 3 d 时效 24 h 间隔的生长气象适宜度分县产品和未来 3 d 时效 24 h 间隔的农事活动气象适宜度分县预报产品。产品以文本和分布图形式通过网页和 FTP 文件浏览方式供有关业务单位调用。其中文本预报产品包含站点名称、站点经纬度、预报时效、预报时效内的适宜度。图形预报产品则以分县色斑图的格式对文本产品进行表述。

## 2.2 系统功能

林果业农用天气预报业务系统设计较为完善,综合设计了农事活动气象适宜度预报、分作物生长气象适宜度预报、灾害指数预报、农用预报参考和系统维护等功能。

其中农事活动预报提供林果业套袋指数、解袋

指数、着色指数、农药喷洒指数和果园冬春灌溉指数等未来 3 d 的 24 h 间隔预报结果;分作物生长气象适宜度预报提供了苹果、红枣、猕猴桃、柑橘、梨、樱桃、核桃、葡萄、柿子和石榴等不同作物未来 3 d 的 24 h 间隔生长气象适宜度预报;灾害指数<sup>[26-29]</sup>预报提供花期冻害指数、冰雹灾害指数、伏旱指数、高温热害指数和连阴雨指数共 5 种灾害指数预报结果。其中农事活动和分林果生长气象适宜度预报结果分为 3 级,文本中以 0,1,2,图标以绿、红和黄分别表示适宜、不适宜和较适宜。灾害指数预报结果分为 5 级:1 为弱,2 为较弱,3 为一般,4 为较强,5 为强。农事活动预报与分作物生长气象适宜度预报每天 16:30 由系统自动运行并将运行结果入库。

农用预报参考用于调用省市县三级的预报及服务产品,用于制作农用预报服务产品时的参考,同时可以调用察看分县分要素预报。

系统维护功能设计了对指标体系及气象指标权重修改功能、分县分林果发育期人工干预功能和信息员短信互动功能等模块。

### 3 小结与讨论

(1) 利用模糊评判理论和专家打分法确定林果农事活动和作物生长气象适宜度预报模型,通过与物候监测资料的交互,在方法上为农用天气预报提供了较为完整的解决方案,并为实现农用预报业务的程序化和自动化运算提供了基础。经过分果区回报检验,达到了业务化的水平。

(2) 采用 B/S 模式进行农用预报业务系统的开发,保证了市县气象部门用户的便捷访问,节约了维护的成本。利用 SQL 存储过程驱动运算程序可以使没有权限的用户在控制之下间接地存取数据库,从而保证了数据的安全性,当指标体系和预报模型发生变化时在服务器中改变存储过程即可,无须修改任何应用程序。

(3) 影响作物生长的气象要素多样,且各生育期对气象要素的要求是不同的。该研究在选择影响指标时,主要考虑了业务运行的计算机自动实现,预报因子取自每日的分县城镇预报报文,因此,预报指标的范围被确定为天气现象、温度、风速和相对湿度。而降水量、光照等指标虽然对作物生长也非常

敏感,但鉴于其难以实现自动化处理而忽略,这在以后的应用中应予以考虑。

(4) 农用天气预报的前提是精细化天气预报的准确率,而气象指标体系及各指标的权重集则是农用预报的基础,研究过程中结合了现有的研究成果,并考虑了本地化的生产实践经验,但缺乏试验验证的理论基础。同时,鉴于多种林果发育期预测的误差较大,预报发育期从物候观测中取得,其建立在未来 3 d 发育期未有突变的假设之上。这些都是农用预报进一步优化和完善的研究方向。

### 参考文献

- [1] 陕西省统计局. 2010 年陕西省果业发展统计公报[EB/OL]. <http://www.sn.stats.gov.cn/news/qsgb/201132390305.htm>
- [2] 杜继稳,雷向杰,杜川利,等. 陕西省 2000 年天气气候异常变化与自然灾害[J]. 灾害学,2001,10(3):76-81.
- [3] 王馥棠,冯定原,张宏铭,等. 农业气象预报概论[M]. 北京:农业出版社,1991:133-135.
- [4] 冯秀藻,陶炳炎. 农业气象学原理[M]. 北京:气象出版社,1991:134-150.
- [5] 刘锦鑫,何健,陈新光. 广东省农用天气预报技术研究[J]. 气象,2006,32(2):116-120.
- [6] 曾凯,周玉,宋忠华. 气候变暖对江南双季稻灌浆期的影响及其观测规范探讨[J]. 气象,2011,37(4):468-473.
- [7] 王建林. 现代农业气象业务[M]. 北京:气象出版社,2010.
- [8] 程玉琴,张少文,徐玉强,赤峰地区夏季干旱强度预测方法研究[J]. 气象,2010,36(1):49-53.
- [9] 易雪,王建林,宋迎波. 气候适宜指数在早稻产量动态预报上的应用[J]. 气象,2010,36(6):85-89.
- [10] 毛留喜,吕厚荃. 国家级农业气象业务技术综述[J]. 气象,2010,36(7):75-80.
- [11] 陈尚谟. 果树气象学[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [12] 王利溥. 经济林气象[M]. 昆明:云南科技出版社,1995.
- [13] 朱琳,郭兆夏,李怀川,等. 陕西省富士系苹果品质形成气象条件分析及区划[J]. 中国农业气象,2001,22(4):50-53.
- [14] 张洁. 猕猴桃栽培与利用[M]. 北京:金盾出版社,2003.
- [15] 毛明策,刘敏茹,姜创业,等. 苹果初花期与温度的关系研究[J]. 中国农业气象,2005,26(2):123-128.
- [16] 王景红. 果树气象服务基础[M]. 北京:气象出版社,2010.
- [17] 李化龙. 陕西黄土高原果业气候生态条件研究及应用[M]. 北京:气象出版社,2010.
- [18] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京:气象出版社,1995:58-100.
- [19] 中国农林作物气候区划协作组. 中国农林作物气候区划[M]. 北京:气象出版社,1987:174-184.

- [20] 郭兆夏,朱琳,叶殿秀,等. GIS 在气候资源分析及农业气候区划中的应用[J]. 西北大学学报(自然科学版),2000,30(4):357-359.
- [21] Andrew Troelsen. C# 与 .NET 4 高级程序设计(第 5 版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [22] 邹书平. 地面人工增雨防雹作业信息采集系统[J]. 气象,2011,37(3):369-372.
- [23] 陈起英,佟华,管成功,等. T639L60 全球中期预报系统预报试验和性能评估[J]. 气象,2008,34(6):11-16.
- [24] 蔡芎宁. 2009 年 9—11 月 T639、ECMWF 及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象,2010,36(02):130-135.
- [25] 陈法敬,矫梅燕,陈静. 一种温度集合预报产品释用方法的初步研究[J]. 气象,2011,37(01):14-20.
- [26] 柴芊,栗珂,刘璐. 陕西果业基地苹果花期冻害指数及预报方法[J]. 中国农业气象,2010,(4):621-626.
- [27] 刘璐,栗珂,柴芊. 陕西果业基地伏旱指数及其预报方法[J]. 气象科学,2010,30(3):382-386.
- [28] 刘璐,郭兆夏,柴芊,等. 陕西省苹果花期冻害风险评估[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):251-255.
- [29] 刘映宁,王景红,李艳莉,等. 运用马尔科夫链方法预测陕西苹果花期冻害年型[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):272-280.