

# 中宁县影响红枣产量的主要农业气象灾害分析

段晓凤<sup>1,2</sup>, 戴小笠<sup>1</sup>, 张玉兰<sup>3</sup>, 官景德<sup>4</sup>

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象科学研究所, 宁夏 银川 750002;

3. 宁夏中卫市气象局, 宁夏 中卫 755000; 4. 宁夏银川市气象局, 宁夏 银川 750002)

**摘要:** 通过对试验基地中宁 1981—2008 年气象资料和红枣产量资料的分析, 结合历年主要农业气象灾害记录, 得出了 5 类影响红枣产量的主要农业气象灾害, 分别是萌芽展叶期高温( $B_1$ )、盛花期空气的高温低湿( $B_2$ )、盛花期连阴雨( $B_3$ )、果实生长期连阴雨( $B_4$ )、果实成熟期连阴雨( $B_5$ ); 采用层次分析法对上述气象灾害进行量化分析, 得到其对红枣生产的影响权重顺序:  $B_5 > B_4 > B_2 > B_3 > B_1$ ; 将趋势产量进行灾害订正, 预测红枣各生育期的实际产量, 并建立了基于农业气象灾害的中宁红枣的动态产量预报模型, 可为实际预报业务提供参考依据。

**关键词:** 红枣; 产量; 农业气象灾害

中图分类号: S165+.25 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0136-06

## The analysis of main agro-meteorological disasters affecting on the productivity of red jujube at Zhongning County

DUAN Xiao-feng<sup>1,2</sup>, DAI Xiao-li<sup>1</sup>, ZHANG Yu-lan<sup>3</sup>, Guan Jing-de<sup>4</sup>

(1. Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China;

2. Ningxia Institute of Meteorological Sciences, Yinchuan 750002, China;

3. Meteorological Bureau of Zhongwei, Zhongwei, Ningxia 755000, China;

4. Yinchuan Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** Through the analysis of meteorological data and yield of red jujube in the experimental station in Zhongning County of Ningxia, combined with the records of main agro-meteorological disasters, it was discovered that there were mainly 5 kinds of agro-meteorological disasters affecting the productivity of red jujube, i. e., high temperature in sprouting and leaf expansion stage ( $B_1$ ), high temperature and low humidity in florescence stage ( $B_2$ ), continuous rain in florescence stage ( $B_3$ ), continuous rain in fruit growing stage ( $B_4$ ), and continuous rain in maturity stage ( $B_5$ ). The analytic hierarchy process (AHP) was adopted for quantitative analysis of these disasters, which indicated that the influencing weight of different disasters to the production of red jujube was sequenced as  $B_5 > B_4 > B_2 > B_3 > B_1$ . The trend yields were corrected so as to forecast the actual output of red jujube in different stages, and to set up the models of dynamic forecast of productivity, which could be used as references in actual forecasting activities.

**Keywords:** red jujube; productivity; agro-meteorological disasters

实验基地中宁县位于宁夏回族自治区中部西侧的卫宁灌区, 北纬  $37^{\circ}10'$ , 东经  $105^{\circ}36'$ , 东临利通区、青铜峡市, 西依中卫城区, 南接同心县, 北靠内蒙古阿拉善左旗。年平均气温  $9.3^{\circ}\text{C}$ , 有效积温  $3\ 349^{\circ}\text{C}$ , 年降雨量一般在  $180\ \text{mm}$  以上。属温带半干旱区, 气候干燥少雨, 昼夜温差大, 日照时间长, 黄河纵穿县境, 是耐旱喜温的大枣的理想适生区, 到目前, 已发展到将近  $5\ 000\ \text{hm}^2$ 。本文在对影响红枣生长主要

影响因素分析的基础上, 得出红枣不同生育期动态产量预报模型, 对 2006 年前的红枣产量序列进行回代, 并对 2007 年、2008 年进行预报。

红枣皮薄肉厚、果实饱满、肉质细腻、含糖量高、口味浓郁、营养丰富, 深受消费者的喜欢, 是中宁经济收入的主要来源之一。但由于各类农业气象灾害的影响, 导致红枣产量的不稳定, 甚至有时质量也受到影响。因此, 红枣产量的动态预报尤为重要。近

收稿日期: 2013-06-18

基金项目: 宁夏回族自治区科技厅科技攻关项目“枣树病虫害演变规律及预测预报和综合防控技术研究”

作者简介: 段晓凤(1983—), 女, 内蒙古人, 工程师, 硕士, 主要从事农业气象应用研究。E-mail: dxd\_1127@163.com。

年来,关于产量预报的研究不少,但大部均未分作物生育期或分时段预报产量<sup>[1-12]</sup>,只有个别学者,如刘伟昌、陈怀亮等<sup>[13]</sup>基于气候适宜度指数,分旬对河南省冬小麦的产量进行了动态预报技术研究,模型能够较准确地反映实际产量与气象条件的关系及较准确地预报产量,该研究方法为本文分析问题提供了思路。本文利用构建中宁县枣园气象数据序列的方法,建立了基于农业气象灾害的动态产量预报模型。

## 1 材料、实验与方法

### 1.1 材料与实验

(1) 单产资料 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ): 由中宁县统计局 1981—2009 年红枣总产与面积统计资料计算求得; (2) 气象资料: 中宁县 1981—2009 年逐日气温、日照时数、相对湿度、降水量、平均风速、最大风速等,取自中宁县气象局; (3) 发育期资料来自宁夏红枣气象灾害预警系统研究项目试验观测和气象服务调查资料。试验地在中宁轿子山林场,观测树种为圆枣、骏枣、困枣。

### 1.2 红枣气象产量

作物产量形成的主要因素可分为自然因素和社会因素两大类。按这两大类因素的影响,将作物产量分为趋势产量、气象产量和随机产量 3 部分。其中,趋势产量指由农业生产技术(包括作物品种、农业科技水平、管理水平等)非自然因素影响的那部分产量,通常表现为随时间的后延,产量不断提高;气象产量指由于天气气候的变化而影响的那部分产量,具有脉动的特点;随机产量指由病虫害、风雹及其它随机因素影响的那部分产量,忽高忽低,基本无规律可循,故在做产量分析时忽略不计。因此,一般将实际产量分为趋势产量和气象产量 2 部分,但由于中宁圆枣已规模发展,种植方式和田间管理措施基本一致,社会因素对 1981—2008 年产量变化的影响很小,气象因素对产量变化可以说起决定性作用。因此,可以对红枣单产数据进行如下分解<sup>[14]</sup>:

$$Y = Y_t + Y_w + E \quad (1)$$

式中,  $Y$  为红枣单产;  $Y_t$  为反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量,称为趋势产量;  $Y_w$  为受以气象要素为主的短周期变化因子影响的产量分量,称为气象产量;  $E$  为受其他随机因素影响的产量分量,量级较小,可忽略不记,上述公式简化为:

$$Y = Y_t + Y_w \quad (2)$$

采用三次多项式进行趋势产量的拟合以求得各年的趋势产量<sup>[15]</sup>:

$$Y_t = -0.4176t^3 + 36.466t^2 - 747.66t + 5917.6, \quad R^2 = 0.5862 \quad (3)$$

$t$  为时间序列,1981年:  $t = 1$ ; 1982年,  $t = 2$ ; ...; 2008年,  $t = 28$ 。

从实际产量中扣除趋势产量,就得到了气象产量:

$$Y_w = Y - Y_t \quad (4)$$

考虑到由式(4)分离出的气象产量  $Y_w$  有较大的波动性,因此,对其采取相对化处理,即:

$$Y_r = (Y - Y_t) / Y_t \times 100\% \quad (5)$$

### 1.3 分析方法

本研究经分析得到各类气象灾害对红枣生产的影响权重,进而将趋势产量进行灾害订正,来预测红枣各生育期的实际产量。

1.3.1 红枣产量预测 本文将各年趋势产量经过灾害权重订正,求出当年预测的实际产量,如下所示:

$$Y_i = Y_t(1 - A) \quad (6)$$

式中,  $Y_i$  为预测的第  $i$  个生育期的红枣产量;  $A$  为农业气象灾害订正值。

1.3.2 层次分析法求红枣气象灾害订正值 采用层次分析法对各类气象灾害进行量化分析,得到其对红枣生产的影响权重。

中宁农业气象灾害较多,给红枣生产带来潜在风险。由于多种气象灾害常常并发或交替发生,不同气象灾害对红枣生产的影响程度也各不相同,因此不仅需要单一灾种进行分析,更有必要综合考虑多灾种气象灾害的灾情。其中的难点是如何较准确地评判各种灾害对红枣产量的影响程度,即确定他们的影响权重。

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是一种将半定性、半定量的决策问题转化为定量问题的多准则决策方法<sup>[16-17]</sup>,它将人们对复杂问题划分成内部具有相关联系的、不同层次的问题的集合,层间具有隶属关系,层内同属一个级别。再请专家对每一层次的各因素进行客观判断,相应给出各因素相对重要性的标度。进而建立数学模型,计算出每一层次不同指标的相对重要性的权值。本文尝试将层次分析法引入农业气象灾害的综合分析中,以揭示其影响程度和规律,进而预测红枣不同生育期的产量。

1.3.3 模型效果检验 将红枣各年各生育期灾害天数回代各生育期产量模型,计算预测各年红枣产量,分析其与实际产量的误差。

## 2 结果与分析

### 2.1 相对气象产量

利用正交多项式将中宁红枣单产序列进行产量趋势分离,从实际产量中扣除趋势产量(公式 3~5),就可估算出红枣的相对气象产量。结果如下:

由图 1 得出 1990 年、1996 年、1997 年、1998 年由于气象灾害造成的红枣产量损失较大,其次为 1988 年、1993 年、1994 年、1995、2004 年、2005 年、2006 年。

将气象因子逐日数据处理为逐旬数据,每旬气象因子消除量纲(因为在实际应用中,往往存在指标的量纲不同,所以在计算之前须先消除量纲的影响,将原始数据标准化)后分别膨化叠加,筛选影响红枣

生长与产量的主要气象因子(分生育期),分别分析其与红枣相对气象产量的相关关系(表 1)<sup>[15]</sup>。

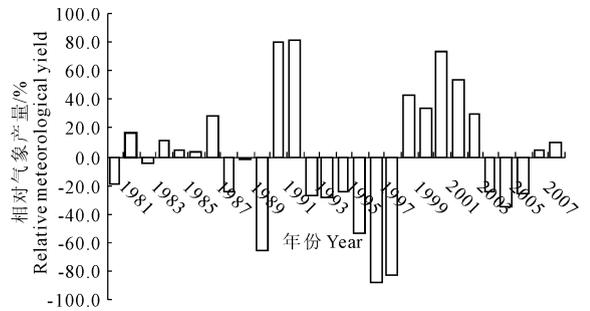


图 1 1981—2008 年中宁红枣相对气象产量值 (%)

Fig.1 Relative meteorological yield of Zhongning red jujube during 1981—2008

表 1 气象产量与气象因子达到显著相关的系数

Table 1 Significant correlation coefficient between meteorological yield and meteorological factors

日期 Date	日照时数 Sunshine hours	气温 Temperature	降水量 Precipitation	相对湿度 Relative humidity	平均风速 Average wind speed	最大风速 Maximum wind speed
下/4 - 上/5 Late Apr. to early May	-0.398*	—	—	—	—	—
中/6 - 下/6 Mid Jun. to late Jun.	—	—	—	0.374*	—	—
上/8 - 中/8 Early Aug. to mid Aug.	0.416*	—	—	—	—	—
下/4 - 中/5 Late Apr. to mid May	0.458*	-0.436*	—	—	—	—
上/7 - 下/7 Early Jul. to late Jul.	0.396*	—	-0.378*	—	—	—
下/7 - 中/8 Late Jul. to mid Aug.	0.499**	—	—	—	—	—
上/8 - 下/8 Early Aug. to late Aug.	0.468*	—	—	—	—	—
下/7 - 下/8 Late Jul. to late Aug.	0.520**	—	—	—	—	—
上/7 - 上/9 Early Jul. to early Sep.	0.592**	—	-0.396*	—	—	—
中/7 - 下/8 Mid Jul. to late Aug.	0.401*	—	—	—	—	—
下/6 - 中/8 Late Jun. to mid Aug.	0.469*	—	—	—	—	—
上/7 - 下/8 Early Jul. to late Aug.	0.493**	—	—	—	—	—
下/6 - 下/8 Late Jun. late Aug.	0.476*	—	—	—	—	—
下/5 - 下/8 Late May to late Aug.	0.375*	—	—	—	—	—

注:表中只标明显著相关、极显著相关系数。Note: Only significant correlation coefficients were listed. \* Significant at  $P < 0.05$ ; \*\* significant at  $P < 0.01$ .

结合历年枣园灾害记录,得出中宁红枣产量的主要农业气象灾害是萌芽展叶期高温(4月下旬—5月下旬)、盛花期空气高温低湿(6月中旬—6月下旬)、盛花期连阴雨(6月中旬—6月下旬)、果实生长期连阴雨(7月上旬—8月下旬)、果实成熟期连阴雨(9月上旬—9月下旬)。

### 2.2 农业气象灾害

红枣农业气象灾害指标见表 2。根据历年(1981—2008)红枣各低产年的灾害记录实况,对照表 2,得出历年中宁枣园低产年农业气象灾害的详细情况(表 3)。

由表 3 可见,果实生长期连阴雨和成熟期连阴雨是红枣减产年的主要农业气象灾害,其次为盛花期高温和盛花期连阴雨,还有萌芽展叶期高温。

### 2.3 各生育期产量模型的建立

#### 2.3.1 气象灾害权重的求算

##### 1) 建立红枣气象灾害指标体系。

首先要请若干名专家对影响红枣产量的气象灾害进行诊断,把对气象灾害综合分析作为目标层(A),把红枣各生育期作为准则层(B),再把各生育期内不同灾害作为指标层(C层),即将红枣气象灾害体系层次结构分为三层,如图 2 所示。

表 2 气象灾害参考指标

Table 2 Reference values of meteorological disasters

生育期 Growth period	时间段 Time	指标 Index	天数 Days
萌芽展叶期高温(X <sub>1</sub> ) High temperature in sprouting and leaf expansion stage	4月下旬—5月下旬 Late Apr. to late May	高温(>30℃) High temperature (>30℃)	4天以上(D <sub>1</sub> ) More than 4 days
盛花期空气高温低湿(X <sub>2</sub> ) High temperature and low humidity in florescence stage	6月上旬—6月下旬 Early Jun. to late Jun.	高温低湿(>30℃) High temperature and low humidity(>30℃)	6天以上(D <sub>2</sub> ) More than 6 days
盛花期连阴雨(X <sub>3</sub> ) Continuous rain in florescence stage	6月中旬—6月下旬 Mid Jun. to late Jun.	连阴雨 Continuous rain	5天以上(D <sub>3</sub> ) More than 5 days
果实生长期连阴雨(X <sub>4</sub> ) Continuous rain in fruit growing stage	7月上旬—8月下旬 Early Jul. to late Aug.	连阴雨 Continuous rain	6天以上(D <sub>4</sub> ) More than 6 days
果实成熟期连阴雨(X <sub>5</sub> ) Continuous rain in maturity stage	9月 Sep.	连阴雨 Continuous rain	8天以上(D <sub>5</sub> ) More than 8 days

注:如果实际灾害天数为指标天数的 2 倍以上,则此指标的权重为响应权重的 2 倍。

Note: When the actual disaster days are more than twice of the index value, the corresponding weight of the index is doubled.

表 3 1981—2008 年中宁红枣农业气象灾害天数/d

Table 3 Agricultural meteorological disasters of Zhongning red jujube during 1981—2008

年份 Year	萌芽展叶期高温(X <sub>1</sub> ) High temperature in sprouting and leaf expansion stage X <sub>1</sub>	盛花期空气高温低湿(X <sub>2</sub> ) High temperature and low humidity in florescence stage X <sub>2</sub>	盛花期连阴雨(X <sub>3</sub> ) Continuous rain in florescence stage X <sub>3</sub>	果实生长期连阴雨(X <sub>4</sub> ) Continuous rain in fruit growing stage X <sub>4</sub>	果实成熟期连阴雨(X <sub>5</sub> ) Continuous rain in maturity stage X <sub>5</sub>
1988	—	6	—	—	—
1990	—	—	—	6	9
1993	—	—	—	6	—
1994	—	7	7	7	—
1995	—	—	—	6	—
1996	—	—	—	8	—
1997	4	14	—	6	—
1998	—	6	—	7	8
2004	—	—	—	6	—
2005	—	15	—	—	—
2006	—	6	—	—	—

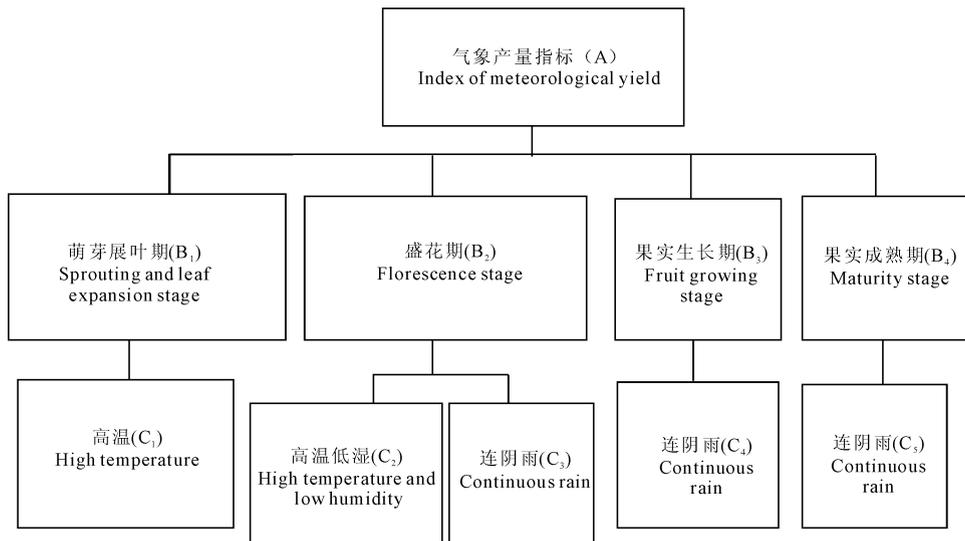


图 2 气象灾害体系结构

Fig.2 Structure chart of meteorological disasters

2) 构造判断矩阵。

判断矩阵是通过元素间两两比较而得来的,其比较数值通常取 1-9 及其倒数(表 4)<sup>[17]</sup>。

表 4 判断矩阵重要性标度及其含义

Table 4 Importance degree and meaning of judgment matrix

重要性标度 Importance degree	含义 Meaning
1	表示因素一与因素二具有同等重要性 Factor 1 is equally important as factor 2
3	表示因素一比因素二稍重要 Factor 1 is slightly more important than factor 2
5	表示因素一比因素二明显重要 Factor 1 is markedly more important than factor 2
7	表示因素一比因素二明显重要 Factor 1 is mightily more important than factor 2
9	表示因素一比因素二明显重要 Factor 1 is exactly more important than factor 2
2,4,6,8	2,4,6,8 分别表示相邻判断 1-3,3-5,5-7,7-9 的中值 2, 4, 6 and 8 mean the median of adjacent judgment between 1-3, 3-5, 5-7 and 7-9, respectively
倒数 Reciprocal	表示因素一与因素二比较得判断 $b_{ij}$ , 则因素二与因素一比较得判断 $1/b_{ij}$ If the comparison of factor 1 with factor 2 results in the judgment $b_{ij}$ , the comparison of factor 2 with factor 1 results in the judgment $1/b_{ij}$

结合历年灾害记录,经对具有专业知识造诣的专家和有丰富生产实践经验的技术干部进行咨询,听取有关专家和有实践经验的技术人员的意见,分别比较了各因素的相对重要性,构造了各因子判断矩阵,通过该矩阵计算出各因子的权重,A-B 层如下:

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
B <sub>1</sub>	1	1/3	1/4	1/5
B <sub>2</sub>	3	1	3/4	3/5
B <sub>3</sub>	4	4/3	1	4/5
B <sub>4</sub>	5	5/3	5/4	1

B-C 层如下:

B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
C <sub>2</sub>	1	4
C <sub>3</sub>	1/4	1

3) 层次单排序。

层次单排序就是根据判断矩阵计算 K 层次与 K=1 层次某元素有联系的元素之间重要性程度的相对值,其归结为求判断矩阵的特征向量问题。

例如根据 A-B 判断矩阵,去推算  $B_i(i=1,2,$

3) 对问题 A 的相对重要性系数,记成  $Wb_i(i=1,2,3)$ 。用向量表示成:

$$Wb_i = \begin{bmatrix} Wb_1 \\ Wb_2 \\ Wb_3 \end{bmatrix}, \text{ 且 } \sum_1^3 Wb_i = 1$$

同样,  $c_x(x=1,2,3)$  对问题 B 的相对重要性系数,记成  $Wc_x(x=1,2,3)$ 。用向量表示成:

$$Wc_x = \begin{bmatrix} Wc_1 \\ Wc_2 \\ Wc_3 \end{bmatrix}, \text{ 且 } \sum_1^3 Wc_x = 1$$

(用几何平均值法求  $Wb_i, Wc_x$ )。

4) 层次总排序(确定权重)  $Wi_x$ 。

层次总排序是指根据各层排序结果,推算最底层各因素对第一层问题的相对重要性排序。如果问题的层级结构分三层,则总排序的计算方法见表 5。

表 5 各因素总排序

Table 5 Total sequence of each factor

A-C 排序 A-C sequence	层次(权重)总排序 Total sequence of weight	$Wi_x$
C <sub>1</sub>	$\sum_{i=1}^n Wb_i, Wc_1$	0.09
C <sub>2</sub>	$\sum_{i=1}^n Wb_i, Wc_2$	0.11
C <sub>3</sub>	⋮	0.15
C <sub>4</sub>	⋮	0.30
C <sub>5</sub>	$\sum_{i=1}^n Wb_i, Wc_5$	0.35
$\sum C_x$	1.000	1.000
一致性检验 Consistency test	0.013 0.9	0.014

(当  $Wb_i$  与  $Wc_x$  无关时,  $Wc_x=0$ )

2.3.2 气象灾害订正值 将预测年红枣各生育期的受灾天数(d) 消除量纲,用  $A_i(A_i = d/D_i)$ ,其中,  $i$  为第  $i$  种气象灾害,  $D_i$  为各气象灾害参考指标天数)来计算。

1) 萌芽展叶期。

参考表 2,将预测年份萌芽展叶期连续出现 30℃ 以上高温天气(满足  $D_1$ ) 消除量纲,即:

$$Y_1 = Y_t \times (1 - C_1 \cdot A_1) \quad (7)$$

式中,  $Y_1$  为萌芽展叶期预测产量;  $A_1$  为萌芽展叶期枣树高温气象灾害消除量纲值。

2) 盛花期。

参考表 2,将预测年份达到盛花期连续出现 30℃ 以上高温天气天数(满足  $D_2$ ) 消除量纲,即:

$$Y_2 = Y_t \times [1 - (C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 + C_1 \cdot A_1)] \quad (8)$$

式中,  $Y_1$  为盛花期预测产量;  $A_2$ 、 $A_3$  为盛花期枣树高温低湿、连阴雨气象灾害消除量纲值。

3) 果实生长期。

参考表 2, 将预测年份达到果实生长期连阴雨天数(满足  $D_4$ ) 消除量纲, 即:

$$Y_3 = Y_1 \times [1 - (C_4 \cdot A_4 + C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3)] \quad (9)$$

式中,  $Y_1$  为果实生长期预测产量;  $A_4$  为果实生长期连阴雨灾害消除量纲值。

4) 果实成熟期。

参考表 2, 将预测年份达到果实成熟期连阴雨天数(满足  $D_5$ ) 消除量纲, 即:

$$Y_4 = Y_1 \times [1 - (C_5 \cdot A_5 + C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + C_4 A_4)] \quad (10)$$

式中,  $Y_1$  为果实成熟期预测产量;  $A_5$  为果实成熟期红枣连阴雨灾害消除量纲值。

将红枣各年各生育期灾害天数回代各生育期产量模型, 结果如图 3。

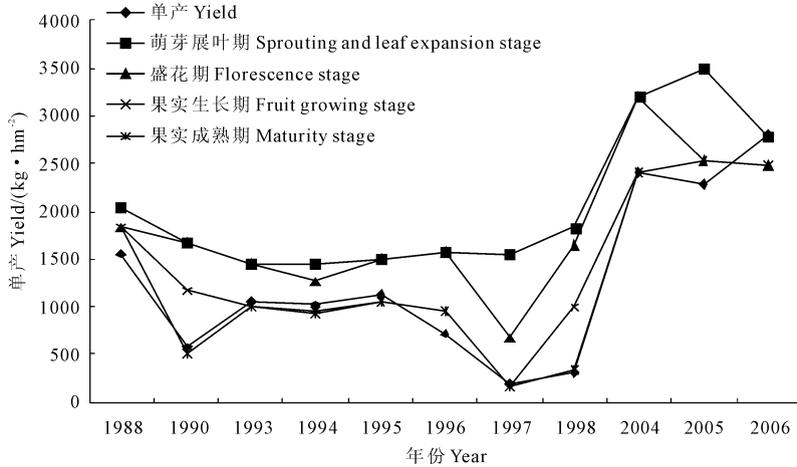


图 3 各生期预测产量与实际产量对比

Fig. 3 Comparison of predicted and actual yield of each growth period

由图 3 可见, 预测结果接近实际产量的程度为萌芽展叶期 < 盛花期 < 果实生长期 < 果实成熟期, 即越往红枣生长的后期, 越容易精确地预测红枣的产量。

2.4 模型效果检验

采用趋势产量与农业气象灾害订正相结合的方法建立产量预报方程, 将中宁红枣 1981—2008 年的实际产量和预测产量进行检验, 相关检验结果为萌芽展叶期相关系数为 0.838, 盛花期 0.856, 果实生长期 0.941, 果实成熟期 0.980, 均达到 0.01 水平上显著相关。此方法适合用于预测中宁红枣各生育期产量。

3 结论与讨论

采用趋势产量灾害订正方法, 建立红枣动态产量预报模型, 预报结果与实际产量的相关性普遍达到 0.8 以上, 预报效果较理想, 且越往红枣生长的后期, 越容易精确地预测红枣的产量, 说明此方法是可行的, 具有理论研究和实际应用价值, 在服务中有较强的参考价值, 可以在此基础上, 建立中宁红枣气象灾害等级预报。但红枣实际产量除受气象灾害的影

响外, 还有其他因素如土壤等农业条件、生产力水平等影响, 本研究将趋势产量只做气象灾害订正, 与实际产量相比势必产生误差, 应在今后的进一步研究中考虑。另外, 本文建立的预报模型具有很强地区性, 其他地方不能简单套用, 对于产量主要受气象灾害影响的作物来说, 可以根据介绍的方法, 建立适合本地的模型。

参考文献:

[1] 姜丽霞, 那济海, 朱海霞, 等. 基于 Logistic 方程的大豆产量预报方法[J]. 大豆科学, 2008, 27(3): 414-419.  
 [2] 杨海鹰, 付祥建, 马振生, 等. 河南省夏玉米产量预报方法[J]. 河南气象, 2005, (2): 25-26.  
 [3] 邓 欧, 尹忠东, 冯仲科, 等. 四川省长江上游水土保持工程生态经济综合评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 88-95.  
 [4] 张玉龙. 合肥市小麦产量预报业务化运行模式的建立[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 373, 392.  
 [5] 莫 结, 刘中秋, 吴永常. 国内外农业生产监测及产量预报系统的现状与分析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 434-437.  
 [6] 王安林, 王 备, 陈中云. 赫章县观测地段小麦单产预报模型研究[J]. 贵州气象, 2005, 29(6): 33-35.

势基本一致。从图 9 可以看出,再分布过程中  $\text{NO}_3^-$  浓度值均大于初始值, $\text{NO}_3^-$  浓度随时间延长而增加,0~30 cm 深度内再分布 1、5、10、20 d 较地下水中初始浓度分别增加 0.04、0.08、0.13、0.21  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,增加速率分别是 0.04、0.016、0.013、0.010  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ,表明土壤中部分  $\text{NO}_3^-$  进到了地下水中,地下水中  $\text{NO}_3^-$  增加速率随分布时间的延长而减少;我国生活饮用水水质标准规定地下水水源中硝酸盐浓度低于 20  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  即合格<sup>[10]</sup>,表明波涌灌间歇入渗地下水水质完全可以满足生活饮用水的标准,不构成地下水环境污染;30~60 cm 深度内再分布 1、5、10、20 d 时  $\text{NO}_3^-$  浓度较地下水中初始浓度分别增加 0.02、0.04、0.07、0.11  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,分别占地下水 0~30 cm 深度  $\text{NO}_3^-$  浓度增加值的 49.04%、54.10%、51.85%、51.30%,说明深层地下水比浅层地下水受到污染的程度小。图 10 表明,间歇入渗较连续入渗地下水中  $\text{NO}_3^-$  浓度低,0~30 cm 深度内再分布 5 d 和 20 d 间歇入渗  $\text{NO}_3^-$  浓度增加值分别占连续入渗下的 82.48%、82.00%,30~60 cm 深度内再分布 5 d 和 20 d 间歇入渗  $\text{NO}_3^-$  浓度增加值分别占连续入渗下的 67.85%、84.26%,说明地下水中  $\text{NO}_3^-$  浓度增加值间歇入渗较连续入渗低,间歇入渗可以降低地下水环境污染,保护地下水水质。

### 3 结 论

通过连续垂直入渗和间歇垂直入渗试验,得到以下结论:

1) 土壤水在停水期的再分布降低了土壤水水势梯度,使间歇入渗较连续入渗的土壤水入渗和再分布更均匀;

2) 间歇入渗较连续入渗将水分与  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  多而均匀地保存在浅层土壤中, $\text{NH}_4^+$  向  $\text{NO}_3^-$  转化减弱,水分与养分的深层渗漏降低;

3) 间歇入渗较连续入渗进入地下水的  $\text{NO}_3^-$  含量低,说明波涌灌具有保肥和减小地下水污染等优点;

4) 间歇入渗地下水  $\text{NO}_3^-$  的浓度及其再分布的增长率较连续入渗低,对地下水水质的影响小,可以有效缓解农业施肥带来的地下水环境污染。

### 参 考 文 献:

- [1] 宰松梅.水肥一体化灌溉模式下土壤水分养分运移规律研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [2] 刘洪禄,吕 露,杨培岭,等.波涌灌间歇供水表面密实层特性的实验研究[J].灌溉排水,1997,16(4):6-11.
- [3] 尹 娟,费良军,朱悦发.灌水定额对波涌灌溉土壤中硝态氮浓度的影响[J].农业工程学报,2009,25(5):31-34.
- [4] 吴军虎,费良军,赵 茜,等.土壤间歇入渗水肥耦合特性试验研究[J].农业工程学报,2006,22(4):28-31.
- [5] 贾 辉.波涌灌间歇入渗氮素运移特性与地下水环境效应试验研究[D].西安:西安理工大学,2004.
- [6] 王 丁.层状土壤波涌灌间歇入渗氮素运移及对地下水环境影响试验研究[D].西安:西安理工大学,2009.
- [7] 费良军,贾 辉,孙廷容.波涌灌肥液间歇入渗土壤和地下水中  $\text{NO}_3^-$  运移特性试验研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5):411-413.
- [8] 尹 娟.波涌灌间歇入渗氮素运移及对地下水  $\text{NO}_3^-$  分布特性影响试验研究[D].西安:西安理工大学,2008.
- [9] 习金根,周建斌.不同灌溉施肥方式下尿素态氮在土壤中迁移转化特性的研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):271-275.
- [10] 中华人民共和国卫生部.GB5749-2006.生活饮用水卫生标准[S].河北秦皇岛:中国标准出版社,2006.
- [7] 顾本文,吉文娟.灰色关联度分析在云南小春作物产量预报中的应用[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):45-48.
- [8] 黄中雄.南宁市水稻产量预报方法研究与实践[J].广西气象,2006,27(增刊):93-95.
- [9] 顾 宁,刘 静,陈彦虎,等.宁夏石嘴山市枸杞产量与气象条件的关系[J].宁夏农林科技,2009,(4):18-19.
- [10] 尹 东.农业产量预报技术的研究和应用[J].干旱气象,2007,25(2):12-16.
- [11] 侯志坚,姜 洋,赵志宇.商丘市棉花生长气候条件分析及产量预报模式研究[J].现代农业科技,2009,8:122.
- [12] 高永刚,王育光,Yannick CURNEL,等.世界粮食研究模型在黑龙江省作物产量预报中的应用[J].中国农业气象,2006,27(1):27-30.
- [13] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J].气象与环境科学,2008,31(2):21-24.
- [14] 孙 芳,林而达,武艳娟.宁夏气候变化及其对马铃薯生产的影响[J].中国农学通报,2008,24(4):265-471.
- [15] 张风华.城市防震减灾能力指标权重确定研究[J].自然灾害学报,2002,11(4):23-29.
- [16] 段晓凤,戴小笠,张玉兰,等.中宁红枣生长气象条件影响因素分析[J].中国农业气象,2010,31(增2):236-239.
- [17] 介玉新,胡 韬,李青云,等.层次分析法在长江堤防安全评价系统中的应用[J].清华大学学报(自然科学版),2004,44(12):1634-1637.
- [18] 段晓凤.黑龙江省黑土区气候-土壤生产潜力计算与分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.

(上接第 141 页)