

张建军, 马晓群, 许莹. 2013. 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用. 气象, 39(1): 88-93.

# 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用<sup>\*1</sup>

张建军 马晓群 许莹

安徽省气象科学研究所, 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 合肥 230031

**提 要:** 结合已有研究成果和一季稻的生理特征, 采用模糊数学方法分别建立了安徽省分区域一季稻温度、降水和日照适宜度模型, 并在此基础上建立了综合反映多因子对一季稻影响的气候适宜度模型。通过对不同时段内单要素适宜度和气候适宜度的集成, 构建了分区域一季稻单要素适宜指数和气候适宜指数模型, 并对两种集成方法进行了比较。基于气候适宜指数与一季稻产量的关系, 建立了不同时间尺度的气候适宜性评价指标。结果表明: 归一化法气候适宜指数模型优于绝对值法, 气候适宜指数与产量丰歉指数具有显著相关性; 气候适宜性评价指标对一季稻的产量具有较好的区分度, 指标回代检验准确率较高, 业务试用效果良好, 可以用之评价气候条件对一季稻生长发育和产量形成的适宜程度。

**关键词:** 一季稻, 气候适宜度, 气候适宜指数, 模型, 指标, 评价

中图分类号: S162

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.01.011

## Establishment and Application of Growing Climatic Suitability Indicator of Single Cropping Rice in Anhui Province

ZHANG Jianjun MA Xiaoqun XU Ying

Anhui Key Laboratory of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing, Anhui Institute of Meteorological Science, Hefei 230031

**Abstract:** On the basis of the physiological characteristics of single cropping rice and existing research results, the suitability models in different regions about temperature, precipitation and sunshine are constructed. In order to express the synergetic effect of meteorological factors and yields, a climatic suitability model of single cropping rice is established. According to suitability of single cropping rice in different periods, suitability indicator models on different time scales are set up by two methods. Based on the relationship between climate suitability index and single cropping rice yield, climatic suitability indicators on different time scales are set up. The results indicated that the climatic suitability index constructed by the normalization method is much better than that by the absolute value method. The discrimination of climatic suitability indicators is suitable for measuring the level of single cropping rice yield. Climatic suitability indicators have high evaluation accuracy, thus it can meet the needs of operational services and can be used in evaluating the suitable level of climatic condition on rice growth and yield.

**Key words:** single cropping rice, climatic suitability, climatic suitability index, model, indicator, evaluation

### 引 言

农业气象情报是气象部门分析过去和当前的天

气气候条件, 鉴定评价其对农业生产影响的专业气象情报, 有农业气象旬报、月报、年报以及关键农时季节的农业气象专题报告等种类, 是农业生产重要的基础信息(王建林, 2010)。长期以来, 对农作物生长发育

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906022 和 GYHY201006027)共同资助

2011年12月19日收稿; 2012年3月8日收修定稿

第一作者: 张建军, 主要从事农业气象业务与科研工作. Email: jianjun\_z@163.com

气象条件评价的业务服务基本以定性评价为主,主观性较强。随着现代农业生产的发展,定性分析评价已经不能满足农业生产的需求,引入指标诊断、模型计算等客观定量评价方法是必然的发展方向(毛留喜, 2010)。广泛应用于区域气候资源评价的气候适宜度模型近年来逐步用于农作物生长发育的气候适宜性评价,研究结果多为气候适宜度的时间变化趋势分析或产量预报(任玉玉等, 2006; 魏瑞江等, 2007; 2009; 俞芬等, 2008; 易雪等, 2010),一些研究将气候适宜度应用于草地植被和华北冬小麦发育期(李昊宇等, 2012)生长气象条件的评价(钱拴等, 2008),但通过分析气候适宜度和产量丰歉的关系,建立农作物生长期不同时间尺度(各发育阶段和全生育期)农业气象条件定量评价指标的研究并用于业务服务的还较少。而且,由于地理和气候条件的差异导致作物生长发育进程的差异,气候适宜度评价模型和指标具有较大的区域适用性,而且气候适宜度方法本身也在逐步发展和改进。因此,针对不同地区的主要农作物,尝试利用气候适宜度模型建立农业气象条件定量评价模型和指标,从而提高农业气象情报水平是很有必要的。

水稻是安徽省三大粮食作物之一,其中一季稻的种植面积占水稻种植面积的 70% 以上。实时开展一季稻生长发育的影响评价,有针对性地提出田间管理建议是安徽省农业气象服务的主要内容和重点工作之一。研究试图通过一季稻不同发育阶段光、温、水供需程度的定量化(即生长适宜度),结合其与产量丰歉的相关分析,建立一季稻不同发育阶段的气象条件适宜性评价指标,并进行业务试用,为政府相关部门决策提供客观定量的依据,也为其他作物气象生长条件的定量评价积累经验。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

安徽省一季稻主要种植区 45 个气象台站 1961—2009 年逐日平均气温、降水量和日照时数资料来源于安徽省气候中心。1961—2009 年一季稻产量资料来源于安徽省农业统计年鉴。

### 1.2 资料处理

根据地理、气候的差异,耕作制度特点和生产水

平等因素,将安徽省一季稻主要种植区分为沿淮、江淮和沿江三个区域,各区所含气象观测站依次分别为 12、14 和 19 站。分别利用各站点气象要素的逐日观测值得到逐旬值,并分别取各区域内某要素所有站点的平均值作为该区域相应气象要素的区域平均值。

区域一季稻单产为区域内各县一季稻总产量和总面积之和的比,根据中国气象局《农业气象产量预报业务质量考核办法(试行)》中增减百分比的计算方法,本研究中产量丰歉指数计算方法如下:

$$\text{产量丰歉指数} = [(\text{当年实际产量} - \text{近 5 年平均值}) / \text{近 5 年平均值}] \times 100\% \quad (1)$$

## 2 模型构建

### 2.1 逐旬气候适宜度模型

根据一季稻生长期间每一旬所对应的发育期,确定该旬一季稻所需的温度、水分和日照条件,构造一季稻逐旬的温度、降水、日照适宜度模型。

温度适宜度模型(马树庆, 1994):

$$S_i(t) = [(T - T_1)(T_2 - T)^B] \div [(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B], \quad B = (T_2 - T_0) / (T_0 - T_1) \quad (2)$$

式中,  $S_i(t)$  为作物生长的逐旬温度适宜度,  $T$  是某旬的平均气温(单位:  $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_0$  分别是该阶段一季稻生长发育的下限温度、上限温度和最适温度,某旬气温的三基点温度由该旬一季稻所处的发育期决定,  $B$  为与三基点温度有关的常数。

降水量适宜度模型(徐学选等, 2000; 蒋定生等, 1992):

$$S_i(r) = \begin{cases} R/R_0 & R < R_0 \\ R_0/R & R \geq R_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $S_i(r)$  为作物生长的逐旬降水适宜度,  $R$  为某旬的降水量(单位: mm),  $R_0$  为作物生理需水量(单位: mm)。

日照时数适宜度模型为(赵峰等, 2003):

$$S_i(s) = \begin{cases} e^{-[(s-s_0)/b]^2} & s < s_0 \\ 1 & s \geq s_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $S_i(s)$  为作物生长的逐旬日照适宜度,  $s_0$  为日照百分率为 70% 时的日照时数,  $b$  为常数,各发育期的  $b$  值取自文献(黄璜, 2003),并通过插值得到逐旬  $b$  值。

为了表达温度、降水、日照等多个气象要素对一季稻生长的综合影响,以温度、降水、日照适宜度模型为基础,建立综合的多要素气候适宜度模型(魏瑞江等,2007):

$$S_i = \sqrt[3]{S_i(t) \times S_i(r) \times S_i(s)} \quad (5)$$

式中, $S_i$ 为作物生长的逐句气候适宜度,其他字母含义同式(2)~(4)。

## 2.2 全生育期和各发育阶段的气候适宜指数模型

一季稻产量的高低与生长期气象条件的适宜程度密切相关,但在不同发育阶段对气象条件的需求和敏感程度存在较大差异。全生育期或各发育阶段(播种后至某发育期,下同)的气候适宜程度通常用从播种至某一发育期逐句气候适宜度加权累加得到的气候适宜指数来表征,其权重系数根据该句气象要素对产量贡献的大小从而确定。对产量的贡献通常以该句气候适宜度与气象产量(在此为丰歉指数)的相关系数占全生育期(或某发育阶段)所有各句相关系数总和的比例表示。在以往的研究中,为避免计算全生育期(或某发育阶段)各句相关系数总和出现相关系数正负抵消的情况,通常通过对相关系数( $r_i$ )取绝对值后再相加(简称为绝对值法),由于绝对值法人为取消了负号,混淆了适宜程度的正负影响,使得计算结果存在较大误差,本研究对相关系数求和方法进行了改进,即将一季稻生育期内逐句单要素气候适宜度和多要素气候适宜度与一季稻产量丰歉指数的相关系数进行归一化[式(6)],消除正负号的影响,且数值的大小方向顺序不变。

$$R_{sd} = \frac{r_i - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \quad (6)$$

式中, $R_{sd}$ 为相关系数的标准化数值, $r_i$ 为相关系数序列的当前值, $r_{\max}$ 为相关系数序列的最大值, $r_{\min}$ 为相关系数序列的最小值。

最终,用逐句相关系数归一化数值与全生育期或某发育阶段各句相关系数归一化数值之和的比值

作为该句单要素气候适宜度和多要素气候适宜度的权重系数(简称为归一化法),建立一季稻全生育期或各发育期的作物生长适宜指数模型,并与绝对值法进行了比较。

温度、降水和日照单要素适宜指数和气候适宜指数模型如下:

$$\begin{aligned} S_m(t) &= \sum_{i=m_1}^{m_2} \left[ \frac{r_{ti}}{\sum_{i=m_1}^{m_2} r_{ti}} S_i(t) \right] \\ S_m(r) &= \sum_{i=m_1}^{m_2} \left[ \frac{r_{ri}}{\sum_{i=m_1}^{m_2} r_{ri}} S_i(r) \right] \\ S_m(s) &= \sum_{i=m_1}^{m_2} \left[ \frac{r_{si}}{\sum_{i=m_1}^{m_2} r_{si}} S_i(s) \right] \\ S_m &= \sum_{i=m_1}^{m_2} \left[ \frac{r_i}{\sum_{i=m_1}^{m_2} r_i} S_i \right] \end{aligned} \quad (7)$$

式中, $r_{ti}$ 、 $r_{ri}$ 、 $r_{si}$ 和 $r_i$ 分别逐句温度、降水、日照适宜度和气候适宜度与产量丰歉指数的相关系数归一化数值。

当 $m_1 = 1$ 、 $m_2 = 16$ (一季稻全生育期的旬数)时, $S_m(t)$ 、 $S_m(r)$ 、 $S_m(s)$ 和 $S_m$ 分别为全生育期的温度、降水、日照单要素适宜指数和多要素气候适宜指数;当 $m_1 = 1$ 、 $m_2$ 为第 $m$ 个生育期的结束旬时, $S_m(t)$ 、 $S_m(r)$ 、 $S_m(s)$ 和 $S_m$ 分别为一季稻播种后至第 $m$ 个发育期的温度、降水、日照单要素作物生长适宜指数和气候适宜指数。

## 2.3 气候适宜指数模型检验

### 2.3.1 单要素模型检验

采用归一化法建立沿淮、江淮、沿江区域的一季稻全生育期单要素作物生长适宜指数与产量丰歉指数的相关性大多通过了0.05显著性水平检验(表1,沿江温度适宜指数除外),而用绝对值法得到的单

表 1 一季稻全生育期单要素作物生长适宜指数与产量丰歉指数的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between the crop growing suitability index of single meteorological element during whole growing period and the bumper or poor harvest index of single cropping rice

区域	温度适宜指数		降水适宜指数		日照适宜指数	
	归一化法	绝对值法	归一化法	绝对值法	归一化法	绝对值法
沿淮	0.4138**	0.2287	0.5034**	0.3841*	0.3854*	0.3509*
江淮	0.3236*	0.0766	0.5820**	0.5119**	0.4904**	0.4930**
沿江	0.2871	0.1197	0.5638**	0.3071	0.4793**	0.3245

注:\*表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,\*\*表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

要素适宜指数与产量丰歉指数的相关系数均低于归一化法(仅绝对值法建立的江淮日照适宜指数稍高于归一化法),且通过显著性检验的较少,各发育阶段单要素适宜指数也存在类似特点(表略),说明归一化法建立的单要素适宜指数更为合理。

### 2.3.2 多要素模型的检验

利用归一化法和绝对值法分别确定权重系数并建立模型,得出分区一季稻全生育期多要素气候适宜指数与产量丰歉指数的相关系数(见表 2),采用归一化法得到的气候适宜指数与产量丰歉指数的相关系数在三个区域均优于绝对值法,并均通过了 0.01 显著性水平的检验,表明采用归一化法建立的气候适宜指数计算模型能动态客观反映一季稻生长期内的气候条件对一季稻生长发育和产量的影响。

表 2 一季稻全生育期作物生长气候适宜指数与产量丰歉指数的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between the crop growing climatic suitability index during whole growing period and the bumper or poor harvest index of single cropping rice

	沿淮	江淮	沿江
归一化法	0.6427	0.6853	0.6598
绝对值法	0.6362	0.6798	0.5891

对各发育阶段一季稻生长的气候适宜指数与产量丰歉指数的相关系数的比较也表明,归一化法建立的一季稻生长气候适宜度与产量丰歉指数的相关系数在各区域均明显高于绝对值法(表略)。

## 3 评价指标的建立和检验

### 3.1 适宜性评价指标

利用 1971—2008 年安徽省各区域全生育期的一季稻生长气候适宜指数( $S$ )和产量丰歉指数( $W$ )构建的模型如下:

$$W_{yh} = 135.37S_{yh} - 66.39 \quad (8)$$

$$W_{jh} = 128.02S_{jh} - 68.20 \quad (9)$$

$$W_{yj} = 117.49S_{yj} - 66.63 \quad (10)$$

式(8)~(10)的  $F$  值分别为 25.4、31.9 和 27.8,均通过了 0.001 显著性水平的检验。 $W_{yh}$ 、 $W_{jh}$  和  $W_{yj}$  分别为沿淮、江淮和沿江一季稻的产量丰歉指数, $S_{yh}$ 、 $S_{jh}$ 、 $S_{yj}$  分别为沿淮、江淮和沿江全生育期一季稻生长气候适宜指数。

中国气象局《农业气象产量预报业务质量考核办法(试行)》规定,产量丰歉指数  $W \geq 5\%$  的年份为丰年,  $-5\% \leq W < 5\%$  的年份为平年,  $W < -5\%$  的年份为歉年。根据产量丰歉指数将气候适宜指标分为三级,将产量丰歉指数( $W$ )丰、平、歉年所对应的气候条件分别定义为适宜、较适宜和不适宜。将产量丰歉( $W$ )的临界值分别代入式(6)~(8),得到相应的各区域产量丰歉一季稻生长气候适宜度指数的临界值,即为一季稻气候适宜性评价指标。从各发育期气候适宜度和产量丰歉指数的相关性来看,各发育期的一季稻生长气候适宜度与产量丰歉指数的相关性均通过了 0.05 显著性水平的检验(表 3)。各发育期的一季稻生长气候适宜性评价指标建立思路同上,结果见表 4。

表 3 一季稻各发育期生长气候适宜指数与产量丰歉指数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between the crop growing climatic suitability index during different growing periods and the bumper or poor harvest index of single cropping rice

	播种至 苗期	播种至 分蘖期	播种至拔节 孕穗期	播种至抽穗 开花期
沿淮	0.4002*	0.5479**	0.5568**	0.5627**
江淮	0.4303**	0.6470**	0.6772**	0.6484**
沿江	0.3481*	0.4682**	0.4980**	0.6339**

注: \* 表示通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验, \*\* 表示通过  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验。

### 3.2 适宜性评价指标的回代检验

利用 1961—2008 年一季稻产量资料计算当年产量的丰歉指数,并确定当年实际的气候条件适宜等级。利用一季稻生长气候适宜指数模型和相应年份不同阶段的气象要素计算气候适宜指数,并确定气候适宜性等级,通过逐年产量丰歉指数所对应的气候适宜性等级与计算的气候条件适宜等级比较,检验评价指标的可靠性。如果指标评价的等级和实际等级相同,即为一致,文中将指标评价等级与实际一致或相差一个等级(如将适宜评价为较适宜)定义为基本一致。检验结果表明,48 年中沿淮和江淮指标评价结果与实际一致的准确率在 70% 以上(江淮播种至苗期稍低),沿江接近 60%,各区域基本一致的正确率均在 90% 以上(表 5 江淮播种至苗期稍低),评价指标对一季稻的长势(产量)有较好的区分度,基本能够区分不同年份一季稻生长期内气候条件对其生长发育的适宜程度,且评价稳定性较好,

表 4 一季稻生长气候适宜性评价指标

Table 4 Crop growing climatic suitability indicators of single cropping rice

区域	气候适宜等级	评价指标				
		播种至苗期	播种至分蘖期	播种至拔节孕穗期	播种至抽穗开花期	全生育期
沿淮	适宜	$S \geq 0.48$	$S \geq 0.53$	$S \geq 0.54$	$S \geq 0.55$	$S \geq 0.52$
	较适宜	$0.30 \leq S < 0.48$	$0.40 \leq S < 0.53$	$0.43 \leq S < 0.54$	$0.44 \leq S < 0.55$	$0.45 \leq S < 0.52$
	不适宜	$S < 0.30$	$S < 0.40$	$S < 0.43$	$S < 0.44$	$S < 0.45$
江淮	适宜	$S \geq 0.53$	$S \geq 0.55$	$S \geq 0.57$	$S \geq 0.58$	$S \geq 0.57$
	较适宜	$0.35 \leq S < 0.53$	$0.43 \leq S < 0.55$	$0.47 \leq S < 0.57$	$0.48 \leq S < 0.58$	$0.49 \leq S < 0.57$
	不适宜	$S < 0.35$	$S < 0.43$	$S < 0.47$	$S < 0.48$	$S < 0.49$
沿江	适宜	$S \geq 0.58$	$S \geq 0.57$	$S \geq 0.59$	$S \geq 0.61$	$S \geq 0.61$
	较适宜	$0.40 \leq S < 0.58$	$0.43 \leq S < 0.57$	$0.47 \leq S < 0.59$	$0.51 \leq S < 0.61$	$0.52 \leq S < 0.61$
	不适宜	$S < 0.40$	$S < 0.43$	$S < 0.47$	$S < 0.51$	$S < 0.52$

表 5 1961—2008 年安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标检验

Table 5 Validation of crop growing climatic suitability indicators of single cropping rice in Anhui from 1961 to 2008

区域	评价结果与实际对比	正确率/%				
		播种至苗期	播种至分蘖期	播种至拔节孕穗期	播种至抽穗开花期	全生育期
沿淮	一致	70.8	70.8	77.1	79.2	72.9
	差一个等级	25	27.1	20.8	18.7	22.9
	基本一致	95.8	97.9	97.9	97.9	95.8
江淮	一致	64.6	70.8	72.9	72.9	70.8
	差一个等级	31.2	18.8	18.8	18.8	20.9
	基本一致	95.8	89.6	91.7	91.7	91.7
沿江	一致	52.1	60.4	62.5	52.1	58.3
	差一个等级	37.5	31.3	29.2	41.7	35.5
	基本一致	89.6	91.7	91.7	93.8	93.8

可以用之作为气候条件对一季稻生长发育适宜程度定量评判的标准。

### 3.3 适宜性评价指标应用

利用 2009 年《安徽农村统计调查资料》中发布的一季稻分县产量信息,对一季稻生长气候适宜指数模型进行分阶段和全生育期的应用检验(见表 6)。检验结果表明,各发育期阶段和全生育

期指标评价结果与实际基本一致,发育后期的评价结果与实际一致的符合率高于前期,各区播种至抽穗开花期评价等级与实际一致,全生育期仅江淮地区评价结果比实际差一个等级(将较适宜评价为适宜),总体看来,分区域气候适宜指数的动态评价结果能够较为真实地反映一季稻生长期间气候条件的适宜程度,表明建立的一季稻生长气候条件适宜性评价模型和指标可用于业务服务。

表 6 一季稻生长气候条件适宜性评价指标 2009 年应用结果

Table 6 Application of crop growing climatic suitability indicators of single cropping rice to 2009

地区	产量丰歉指数	气候条件实况	气候条件评价				全生育期
			播种至苗期	播种至分蘖期	播种至拔节孕穗期	播种至抽穗开花期	
沿淮	5.7(丰)	适宜	适宜	较适宜	较适宜	适宜	适宜
江淮	0.9(平)	较适宜	适宜	适宜	较适宜	较适宜	适宜
沿江	6.1(丰)	适宜	适宜	较适宜	较适宜	适宜	适宜

## 4 结论和讨论

(1)根据一季稻不同时期对气候条件需求不同的特点,采用模糊数学的方法,结合已有研究成果,

建立了安徽省分区域全生育期及不同发育阶段的一季稻生长单要素和多要素气候适宜指数模型,并对全生育期和不同发育阶段适宜指数的集成方法进行了改进,提高了一季稻气候适宜指数模型的准确性。所建模型计算得到的全生育期和不同发育阶段的一

季稻生长气候适宜指数与产量丰歉指数相关显著。

(2)根据一季稻生长气候适宜指数模型建立了全发育期及不同发育阶段的一季稻生长气候适宜性评价指标,指标回代检验基本一致的准确率在 90%左右,并具有较好的稳定性,试用结果较好,可用于诊断一季稻生长期气候条件的适宜程度。

(3)由于本研究建立的一季稻生长气候适宜指数模型以旬为基本单位,气象要素取旬平均值,有可能平滑了一些气候极端情况,难以反映持续时间较短的气象灾害对一季稻生产的不利影响,对评价结果的准确性会产生一定的影响。在后续的研究中可考虑通过缩短时间步长,或添加灾害订正因子等方法进行改进,以便能反映气象灾害对一季稻生长的影响。

## 参考文献

黄璜. 2003. 中国红黄壤地区作物生产的气候生态适宜性研究. 资源科学, 11(6): 76-82.  
 蒋定生, 黄国俊, 帅启富, 等. 1992. 渭北旱塬降水对农作物生长适宜度的模糊分析. 中科院水利部西北水土保持研究集刊, (16): 61-

71.  
 李昊宇, 王建林, 郑昌玲, 等. 2012. 气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用. 气象, 待发表.  
 马树庆. 1994. 吉林省农业气候研究. 北京: 气象出版社, 33.  
 毛留喜, 吕厚荃. 2010. 国家级农业气象业务技术综述. 气象, 36(7): 75-80.  
 钱拴, 毛留喜, 侯英雨, 等. 2008. 北方草地生态气象综合监测预测技术及其应. 气象, 34(11): 62-68.  
 任玉玉, 千怀遂. 2006. 河南省棉花气候适宜度变化趋势分析. 应用气象学报, 17(1): 87-92.  
 王建林. 2010. 现代农业气象业务. 北京: 气象出版社, 4.  
 魏瑞江, 宋迎波, 王鑫. 2009. 基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法. 应用气象学报, 20(5): 622-627.  
 魏瑞江, 张文宗, 康西言, 等. 2007. 河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用. 干旱地区农业研究, 25(6): 5-9.  
 徐学选, 高鹏, 蒋定生. 2000. 延安降水对农作物生长适宜性的模糊分析. 水土保持研究, 7(2): 73-76.  
 易雪, 王建林, 宋迎波. 2010. 气候适宜指数在早稻产量动态预报上的应用. 气象, 36(6): 85-89.  
 俞芬, 千怀遂, 段海来. 2008. 淮河流域水稻的气候适宜度及其变化趋势分析. 地理科学, 28(4): 537-542.  
 赵峰, 千怀遂, 焦士兴. 2003. 农作物气候适宜度模型研究. 资源科学, 11(6): 76-82.