

## 基于模糊评价法的小麦生长期气象因子定量评价

王辉,王鹏云,田燕,李万春,曾艳  
(云南省昆明农业气象试验站,昆明 650228)

**摘要:**为了从温度、降水、日照等角度,分析小麦各发育期气象条件的适宜度,为作物气候评价的定量化提供参考和依据,运用模糊数学理论,分别建立气温、降水量和日照时数对昆明小麦生长发育适宜程度的隶属函数模型,据此模型分别计算小麦不同生育阶段的温度、降水、日照及光温水综合因子对小麦生长发育的隶属度,进而分析气象条件的适宜程度;除生殖生长阶段温度适宜度偏低外,其余发育期温度适宜度较高;日照适宜度在小麦整个生长阶段都较高,降水适宜度较低,且变化幅度较大,说明日照条件能够满足小麦生长发育的需要,自然降水偏少和生殖生长阶段的温度偏低是昆明小麦产量形成的限制因子。运用模糊数学理论建立的作物气候适宜度动态模型,能客观地反映气象条件对作物生长发育的适宜程度,为提高气象服务质量提供了依据。

**关键词:**小麦;气象因子;适宜度;模糊数学理论

**中图分类号:**S162.5

**文献标志码:**A

**论文编号:**2011-0800

### Assessment on Meteorological Factors of Wheat Growing Period Based on Fuzzy Evaluation Method

Wang Hui, Wang Pengyun, Tian Yan, Li Wanchun, Zeng Yan  
(Kunming Agrometeorological Station, Kunming 650228, Yunnan, China)

**Abstract:** Based on temperature, natural precipitation and sunshine time, the suitability degree of meteorological factors in wheat growing stage were analyzed in Kunming, Yunnan, China. Based on fuzzy mathematics theory, the membership function model of temperature, precipitation and sunshine time for wheat was established and calculated to estimate the climatic suitability to wheat quantitatively. The meteorological factors during the growth and development of wheat in 2008 and 2009 and multi-annual average climatic data were calculated. It is found that that the suitability degree for the temperature was relative high except for the reproductive growth phase, the suitability degree for the sunshine was relative high in the whole growing stage, but that for the precipitation was low with large variable extents. These explained that the sunshine was able to satisfy the growth and development of wheat. The lack of the natural precipitation and the lower temperature in the reproductive growth phase were limited factors for the formation of wheat yield. Dynamic model for crop climatic suitability degree based on the fuzzy mathematics theory could objectively reflect the suitability degree of meteorological factors for crop growth, and it could provide the basis for the improvement of weather service quality.

**Key words:** Wheat; Meteorological Factors; Suitability Degree; Fuzzy Mathematics Theory

### 0 引言

小麦的生长发育、产量形成离不开光、温、水、光、

温、水数值的高低直接决定了小麦生长发育的适宜程度,并且这些影响因子在一定条件下都有可能成为主

**基金项目:**云南省科技计划项目“基于粮食安全生产的干旱灾害预警技术研究及应用”(2010CA017)。

**第一作者简介:**王辉,男,1982年出生,江苏泗洪人,工程师,硕士,研究方向:气候与土壤资源。通信地址:650228 云南省昆明市下西坝五家堆昆明农业气象试验站, Tel: 0871-4144791, E-mail: wanghui4704@163.com。

**通讯作者:**王鹏云,男,1963年出生,天津人,高级工程师,本科,研究方向:应用气象与气候资源。通信地址:650228 云南省昆明市下西坝五家堆昆明农业气象试验站, Tel: 0871-4144791, E-mail: info9988@gmail.com。

**收稿日期:**2011-09-23, **修回日期:**2011-10-19。

导因子<sup>[1-3]</sup>。因此,定量评价小麦生长期的气象因子适宜程度非常必要。在以往评价分析气象条件是否利于小麦生长发育的过程中,常常用到“气象条件适宜小麦生长发育”、“气象条件不适宜小麦生长发育”等术语。但“适宜”或“不适宜”是一个模糊概念,从“适宜”到“不适宜”是一个连续过渡过程,且以定性分析为主。随着农业气象业务现代化建设的发展,这种定性的评价已不能满足业务发展的需求。因此,定量判定气象条件对小麦生长发育影响在提高农业气象服务工作质量方面具有重要意义。

目前,作物气候适宜性研究主要侧重于作物产量的统计分析、作物生理生态模拟及作物响应全球气候变化的试验研究等<sup>[4-8]</sup>。相对而言,基于模糊数学理论建立的作物适宜度动态模型能客观反映气候条件对作物生长发育的适宜程度,并取得了实质性进展。例如,顾颖等<sup>[9]</sup>应用数学模糊聚类方法对中国农业抗旱能力进行了评价分类;丁朝阳等<sup>[10]</sup>运用多级模糊综合评价法对气象服务保障能力进行评估试验;刘晓宁等<sup>[11]</sup>将模糊综合评价应用于关中灌区干旱评价中等。这些研究成果促使农业气候资源评价逐步客观化和定量化。但是,研究采用的数据多为多年平均值或历年平均值,不适于评价实时的光、温、水等气象要素对农作物生长发育的适宜程度,而温度、降水、日照等是影响作物生长的气候因子,它们在一定条件下都有可能成为主导因子<sup>[12-13]</sup>。因此,笔者运用模糊数学理论,在前人研究基础上,并结合当地情况,建立了温度、降水、日照对昆明市小麦生长发育适宜度模型,定量评价气象条件对小麦生长发育的适宜程度,以期能为农业生产者、决策者提供定量化的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于昆明西南部,距昆明主城31.6 km,属低纬高原季风气候,主要的气候特征是干湿分明、雨热同季,年平均气温14.9℃;年降水量991.3 mm,在每年11月一次年4月的旱季,平均降水量为124.9 mm,仅占年降水量的12.6%。

### 1.2 数据来源

《农业气象观测规范》(上卷)在观测地段2008年、

2009年的小麦大田发育期观测资料以及小麦生长发育数据;1971—2000年30年平均气象资料以及小麦生长发育期逐日气温、逐日降水、逐日日照时数等气象数据由昆明国家气候基准站提供。

### 1.3 研究方法

通过计算小麦生育期内温度( $T$ )、降水( $R$ )、日照( $S$ )的适宜度 $S(T)$ 、 $S(R)$ 、 $S(S)$ ,即温度( $T$ )、降水( $R$ )、日照( $S$ )对小麦生长发育的适宜程度,从而达到评价光温水等气象条件对小麦生长发育适宜程度的目的。

1.3.1 温度适宜度判定 温度与农作物生长发育的关系十分密切,对于农作物的生长发育过程来说都有3个基点温度:最适温度、最低温度、最高温度。温度适宜度是判定作物各生长发育阶段内所出现的温度的适宜程度。根据赵峰等<sup>[14]</sup>的研究,温度适宜度计算见公式(1)。

$$S(T) = \frac{(T - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{其中, } B = \frac{T_2 - T_0}{T_0 - T_1} \dots\dots\dots (2)$$

式中: $S(T)$ 为温度对作物生长发育适宜程度; $T$ 为某发育期内的平均温度(℃); $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_0$ 分别为小麦某发育期所需的最低温度、最高温度和适宜温度。当 $T=T_0$ 时, $S(T)=1$ ;当 $T>T_2$ 或者 $T<T_1$ 时, $S(T)=0$ ;当 $T_1<T<T_2$ 时, $S(T)$ 在0和1之间取值。小麦发育期 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_0$ 不同<sup>[15]</sup>,见表1。

1.3.2 降水适宜度判定 降水是小麦生长发育过程中不可缺少的气象要素之一,小麦生长好坏、产量高低与降水有密切关系。为评价降水对小麦生长发育的影响,运用降水适宜度来判定。降水适宜度计算<sup>[1]</sup>见公式(3)。

$$S(R) = \begin{cases} R / R_0 & R < R_0 \\ 1 & R \geq R_0 \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

式中: $S(R)$ 为降水适宜度, $R$ 为自然降水量, $R_0$ 为作物需水量;由于昆明十年九旱,一般年份,降水量难以达到作物不能承受的程度,因此当 $R$ 略大于 $R_0$ ,且完全可被土壤贮存接纳时,可认为 $S(R)=1$ 。表2是小麦

表1 昆明小麦各发育期的最低温度( $T_1$ )、最高温度( $T_2$ )和适宜温度( $T_0$ )值

基点温度	播种出苗期	三叶期	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗期	乳熟期	成熟期
$T_1$	8	10	6	5	10	9	12	12
$T_2$	22	20	18	20	22	27	28	28
$T_0$	15	17	24	13	15	19	20	20

℃

表2 昆明市小麦各发育期生理需水量

mm

	播种出苗期	三叶期	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗期	乳熟期	成熟期
需水量	8.6	26.3	15.3	71.6	85.9	41.3	65.3	39.7

各生育期适宜需水量。

1.3.3 日照适宜度判定 农作物进行光合作用制造有机物质需要光照。本研究以日照时数达可日照时数的70%为临界点,大于70%为日照条件达到适宜状态<sup>[1,9]</sup>。日照适宜度计算<sup>[16]</sup>见公式(4)。

$$S(S) = \begin{cases} e^{-[(s-s_0)/b]^2} & S < S_0 \\ 1 & S \geq S_0 \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $S(S)$ 为日照对作物生长发育适宜程度,  $S$ 为某

发育期日照时数,  $S_0$ 表示日照百分率为70%时的日照时数,  $b$ 为常数。小麦不同生育期的  $S_0$ 和  $b$ ,见表3<sup>[12,16]</sup>。

1.3.4 综合气象因子对小麦生长发育的适宜度计算 上述温度、降水、日照适宜度的判定,仅能反映单个因素的影响,光温水综合适宜度则反映三要素对小麦适宜性的综合影响。光温水综合适宜度表达式<sup>[12]</sup>见公式(5)。

$$S_{rs} = [S(T)S(R)S(s)]^{1/3} \dots\dots\dots (5)$$

表3 小麦不同生育期的  $S_0$ 和  $b$

	播种出苗期	三叶期	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗期	乳熟期	成熟期
$S_0$	7.69	7.41	7.68	7.68	8.55	8.75	9.21	9.25
$b$	4.15	4.00	4.14	4.14	4.61	4.72	4.93	4.99

式中:  $S_{rs}$ 为某发育期光温水综合适宜度。

## 2 结果与分析

### 2.1 昆明小麦生长发育基本概况

昆明小麦播种期一般在10月中下旬,成熟期在次年的4月中旬—5月上旬,生长期日数为171~196天,平均生长期日数为181天,根据固定观测点的小麦观测资料,昆明小麦的生育期资料见表4。

### 2.2 小麦温度适宜度

应用1.3.1方法对2008年和2009年昆明小麦各生育期的温度适宜度进行计算,结果见图1。由图1可知,在昆明2008、2009年以及多年平均气候条件中,温度适宜度在小麦发育前期稳定在0.6以上,说明小麦在营养生长阶段温度对小麦的生长发育较为有利。但小麦进入生殖生长阶段(孕穗-抽穗期),2008年和2009

表4 昆明小麦生育期

年份	播种期 (月-日)	出苗期 (月-日)	三叶期 (月-日)	分蘖期 (月-日)	拔节期 (月-日)	孕穗期 (月-日)	抽穗期 (月-日)	乳熟期 (月-日)	成熟期 (月-日)
2008	10-19	10-28	11-14	11-16	12-25	2-3	2-25	4-11	4-28
2009	10-24	11-3	11-18	11-25	12-31	1-24	2-8	4-1	4-16
平均生育期	10-22	10-31	11-15	11-24	12-31	2-12	2-25	4-4	4-21

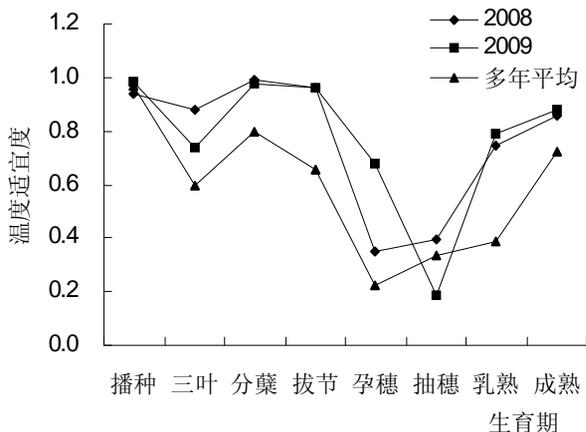


图1 小麦各发育期温度适宜度

年2个年度以及多年平均温度,小麦的温度适宜度偏

低,特别是在小麦孕穗期,多年平均温度适宜度在0.2左右,这一阶段的温度已基本不适宜小麦的生长发育。在抽穗期和乳熟期,多年平均温度适宜度也不足0.4,温度条件较差,对小麦的产量形成具有较大影响。2008年、2009年2个年度中,也体现出孕穗-抽穗期温度适宜度偏低。总体而言,不论是2008年和2009年的温度,还是多年平均温度,在小麦营养生长阶段和乳熟-成熟阶段,温度适宜度较高,在孕穗-抽穗期温度适宜度则较低。

### 2.3 小麦降水适宜度

应用1.3.2方法对2008年、2009年昆明小麦各生育期的降水适宜度进行计算,结果见图2。由图2可知

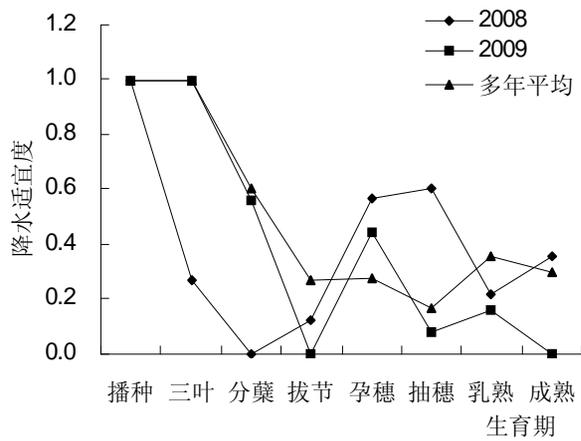


图2 小麦各发育期降水适宜度

小麦降水适宜度在分蘖期之前都较高,其中播种-三叶期,水分条件非常适宜小麦的出苗和生长。但小麦在拔节期,由于降水偏少,水分适宜度基本都在0.3左右,水分条件较差,而这一阶段刚好是小麦产量形成的水分关键期,直接影响小麦的产量形成,从而造成小麦的空粒秕粒较多。由图2可知,2008年、2009年2个年度的降水适宜度变化幅度都较大,在0~1之间,除出苗期和三叶期外,大部分发育期在0.5以下,2009年小麦拔节期、开花期和成熟期、2008年小麦拔节期,降水适宜度更是低于0.1。2008年、2009年小麦的出苗期和三叶期的降水量充分,土壤墒情较好,有利于小麦的出苗和生长。

#### 2.4 小麦日照适宜度

应用1.3.3方法对2008年、2009年昆明小麦各生育期的降水适宜度进行计算,结果见图3。由图3可知,小麦在整个发育期内,多年平均日照适宜度都较高,除播

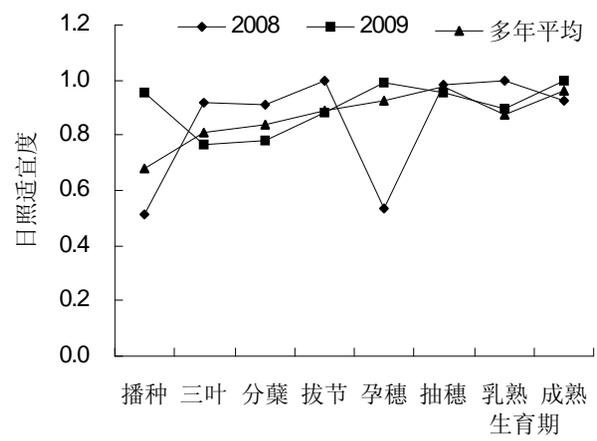


图3 小麦各发育期日照适宜度

种期略低于0.7外,其余发育期都在0.8以上,说明小麦在整个发育期内光照条件较好,有利于小麦的光合作用以及干物质的积累。在2008年、2009年2个年度中,除2008年小麦在播种期和孕穗期日照适宜度在0.5左右,其余发育期日照适宜度都大于0.7,说明光照条件较好。

#### 2.5 小麦光温水综合适宜度

对2008年、2009年2个年度以及多年平均气候条件下小麦各生育期的光温水综合适宜度进行计算(见表5),结果表明,2008年度小麦在分蘖期光温水综合适宜度为0,说明这一时期的气象条件不适宜小麦生长发育的需要;其余生育期的光温水综合条件基本能满足小麦生长发育的需要( $S_{ms} > 0.5$ )。2009年度,在小麦的拔节期、抽穗期和成熟期综合气象条件较差( $S_{ms}$ 均低于0.3)。多年平均气候条件下,小麦光温水综合适宜度在生殖生长阶段偏低。总体而言,2008年、

表5 昆明市2008、2009年度小麦各生育期的光温水综合适宜度

年份	播种期	三叶期	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗期	乳熟期	成熟期
2008	0.786	0.602	0.000	0.494	0.474	0.616	0.547	0.658
2009	0.981	0.826	0.754	0.106	0.669	0.243	0.482	0.000
多年平均	0.868	0.785	0.740	0.540	0.387	0.377	0.493	0.593

2009年2个年度以及多年平均气候条件下,小麦在整个生育期中综合气象条件中等偏下。

从以上分析可以看出,除少数发育期外,温度和日照对小麦生长发育适宜程度的适宜度较高,说明温度和日照条件能够满足小麦生长发育的需要,而降水适宜度普遍较低且变化幅度大,说明自然降水不能满足小麦生长发育需要。总体而言,小麦生殖生长阶段的温度较低和分蘖期之后的降水偏少是小麦产量形成的限制因素。此结果与昆明市的实际情况相符。

### 3 结论与讨论

通过对2008年、2009年2个年度以及多年平均气

候条件下小麦各生育期温度、降水、日照3大气象因子的评价得出:除少数生育期外,温度和日照对小麦生长发育的适宜度较高,一般接近0.8或在0.8以上,说明温度和日照条件能够满足小麦生长发育的需要,而降水的适宜度变化幅度较大,且适宜度普遍较低,说明自然降水不能满足小麦生长发育需要,总体而言,小麦生殖生长阶段的温度偏低和分蘖期之后的降水偏少是昆明地区小麦产量形成的限制因素。

(下转第17页)