

李德,张学贤,刘瑞娜. 冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数研究[J]. 气象,2012,38(12):1565-1571.

冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数研究^{*1}

李 德¹ 张学贤¹ 刘瑞娜²

1 安徽省宿州市气象局,宿州 234000
2 安徽省气象科学研究所,合肥 230061

提 要: 对 1955—2010 年宿州市冬季降水量和气温变化的数理统计分析结果表明:宿州市冬小麦冬季仍处于缓慢生长状态,特别是在干旱和暖冬的双重影响下,冬季麦田一般需要灌溉一次。在此基础上,采用德尔菲法(Delphi technique),确定了影响冬季麦田实施灌溉的降水、日最低气温和风速 3 个气象要素的各自的量化等级和影响灌溉适宜与否的权重系数,给出了冬季干旱时段灌溉气象适宜指数概念和计算模型,再结合天气预报产品的释用方法,得到了冬小麦冬季干旱时段灌溉农用天气预报产品。经实例应用,可适应对外发布冬季麦田灌溉农用天气产品的需要。

关键词: 冬小麦, 冬季干旱, 灌溉气象适宜指数

Research on Meteorological Suitability Index for Winter Wheat Irrigation in Winter Drought Period

LI De¹ ZHANG Xuexian¹ LIU Ruina²

1 Suzhou Meteorological Office of Anhui Province, Suzhou 234000
2 Institute of Meteorological Science of Anhui Province, Hefei 230061

Abstract: Based on the mathematical statistics analysis on temperature changes and precipitation data in Suzhou City of Anhui Province in winter from 1955 to 2010, the study has shown that winter wheat in Suzhou always grows slowly in winter, especially under the double influences of drought and warmer winter, when irrigation is needed. According to the above results, by using Delphi technique, the three meteorological factors (precipitation, daily minimum temperature, and wind speed) are chosen, which have effects on winter irrigation, and their quantitative grades and weight coefficients affecting irrigation suitability are set up. And then, the meteorological suitability index for winter wheat irrigation in winter drought period is proposed and its computational model is built. Finally, combined with the appropriate technology of weather forecast, the study presented the weather forecast products for winter wheat irrigation in winter drought period. The case validation shows that the model has the ability to satisfy the needs of issuing the weather forecast products for farming.

Key words: winter wheat, winter drought, meteorological suitability index for irrigation

引 言

农用天气预报是从农业生产实际需要出发,结合农业气象指标,依据天气学原理,采用现代预报技

术和分析方法,分析预测未来天气气候条件及其对农业生产活动,如播种、收获期以及日常田间管理(施肥、灌溉和喷洒农药等)的影响等^[1-3]。近年来,随着农业生产的不断发展和精细化服务工作的逐渐深入,农用天气预报技术方法的研究工作受到众多

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006027)和安徽省气象局新技术集成项目(AHQXJ201207)共同资助
2011 年 11 月 2 日收稿; 2012 年 7 月 15 日收修定稿
第一作者:李德,主要从事农业气象业务和气象灾害风险评估研究. Email:szlide@sohu.com

学者的关注^[4-6]。

20 世纪 60 年代,欧美和日本气象部门开始对外发布农用天气预报。如英国在冬季为农场冬耕开展冻土深度预报。美国国家海洋大气局除国家级开展未来 10、30 和 90 天的农用天气展望外,还为主要农业州制作播种、灌溉、施肥、治虫及收获等农用天气咨询和预报产品。日本气象部门在 20 世纪 70 年代前主要开展水稻生产天气预报,其后增加果蔬园艺、畜禽饲养等天气预报。中国自 20 世纪 60 年代开始结合农业生产实际需求开展夏收夏种和秋收秋种农用天气预报;80 年代开始将农业天气预报向农林牧副渔业拓展,并开展了相应的科学研究^[2-3]。

安徽省宿州市位于黄淮平原南部,是中国冬小麦主产区和重要的商品粮出口基地,但是,由于其地处南北气候过渡带,降水多集中在夏季,旱涝灾害发生频繁^[7],尤其是近年来冬季少雨甚至旱情发生十分严重^[8],2008 年 11 月至 2009 年 2 月中旬,安徽省北部冬小麦主产区出现 30 年一遇的干旱灾害^[9-11]。李德等^[9]的研究揭示自 1980 年以来,宿州市冬季气温明显升高,冬小麦越冬期间仍处于缓慢生长状态,特别是干旱暖冬年份,在气温偏高、小麦缓慢生长的双重影响下,麦田失墒加速,促使旱情进一步加重。这时适时进行麦田灌溉已成为小麦增产的重要农事活动之一,如 2010—2011 年冬春连旱期间冬季未灌水田块的单产仅有灌水一次田块的 60% 左右。

生产实践与研究表明,天气条件是影响冬季灌溉的最主要的制约因素。然而,中国对定量化农用天气预报的研究和应用,目前尚处于探索阶段^[1-3]。刘金銮等^[4]采用数理统计方法,探讨了广东省菜田土温、果园气温和鱼塘水温等农业气候要素预报方法。2009 年,国家气象中心根据天气预报产品和农业气象条件开展了“北方冬季干旱区温度适宜灌溉区域预报”。栗珂等^[6]开展了苹果花期冻害指数预报研究,相关研究还有很多。但是,由于有关技术成果受到地域性限制而不能推广应用到其他地区。因此,针对安徽省冬小麦主产区冬季干旱实际,从影响灌溉活动开展而降水、气温和风速要素入手,构建麦田灌溉气象适宜指数,研究探讨适用安徽省宿州市冬季干旱期间的麦田灌溉气象适宜指数预报技术,形成具有区域特色的农用天气预报技术方法,对冬季开展灌溉气象预报服务工作具有一定的实际意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据

文中所用 1955—2010 年的气象数据,取自安徽省宿州市国家气象观测站(33°38'N、116°59'E,海拔 25.9 m)逐年观测报表。某一气象要素的气候平均值按世界气象组织(WMO)规定的取 1971—2000 年的 30 年平均值来表示。

分析中所用到的冬小麦部分生长发育数据取自宿州市国家农业气象试验站。

1.2 研究方法

(1)分析宿州市冬季某一气候要素变化趋势,采用一元线性回归方法,即以气候要素的时间序列(x 表示年份)为自变量,某气候要素(y)为因变量,建立一元回归方程

$$\hat{y}(x) = a_0 + a_1 x \quad (1)$$

式中, a_0 为回归方程常数项, a_1 为气候变化倾向率,单位为 $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。并进行 F 检验^[12],判断变化趋势是否显著,取显著性水平 $\alpha=0.05$ 和 0.01 ,分别代表为显著和极显著。

(2)降水量的波动变化采用变异系数(ζ)^[12]进行分析,即

$$\zeta = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, \bar{x} 为分析序列的平均值, σ 为分析序列的标准差。

(3)冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数的定义

针对安徽省宿州市冬季发生干旱期间,需要实施灌溉农事活动时,影响一日实施灌溉活动的日降水、日最低气温和日平均风速 3 个气象要素^[13-14]各自按一定的权重系数与其相应的量化等级相乘之后的累加的和(K),称为冬季干旱时段灌溉气象适宜指数,其为一无量纲数。其中,某一影响气象要素的权重系数和相应的量化等级值,采用德菲尔法^[15](又称专家调查法)和文献查阅法进行确定。

2 研究结果与分析

2.1 宿州市冬小麦冬季气候背景分析

2.1.1 冬季降水量变化

文献^[7]和^[9]揭示,安徽省宿州市地处南暖温带

与北亚热带的气候过渡带,1955—2010 年冬小麦全生育期间的降水总量是随年际不断波动的,尤其近 5 年的降水量极不稳定,易造成旱涝灾害。对 55 年的冬小麦全生育期间的降水量进行 5 年滑动处理^[9,11]后再分析其趋势变化,结果其变化呈准正弦波型波动,目前正处在降水偏少期内。同时,据测算^[7,11],宿州市冬小麦全生育期耗水总量约在 320~380 mm(平均值为 350 mm)。然而,宿州市冬小麦全生育期自然降水量(1971—2000 年气候均值为 269 mm)较需水量短

缺 80 mm 以上,且缺水时段主要集中在秋、冬、春三季,其中冬季缺水量占总缺水量的 35% 以上。可见,正如文献[14]指出的“冬季干旱缺水是宿州市冬小麦生产中最重要气象问题之一”。

表 1 给出了 1955—2010 年冬季(12 月至次年 2 月)降水量的变异系数(ζ),由表 1 可看出,2001—2010 年的变异系数($\zeta=65.05$),比 1955—1960、1971—1980 和 1991—2000 年的 ζ 偏大。再次表明冬季降水量年际间波动显著。

表 1 1955—2010 年宿州市各年代冬季降水变异系数 ζ (单位:%)和平均降水量(单位:mm)
Table 1 Decadal winter precipitation variation coefficient (unit:%) and decadal mean winter precipitation (unit: mm) in Suzhou City during 1955—2010

| 时间 | 1955—1960 年 | 1961—1970 年 | 1971—1980 年 | 1981—1990 年 | 1990—2000 年 | 2001—2010 年 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 变异系数/% | 39.91 | 84.38 | 44.01 | 68.18 | 56.67 | 65.05 |
| 平均降水量/mm | 51.16 | 51.32 | 62.71 | 61.47 | 57.37 | 61.6 |
| 降水量与 30 年气候均值的差/mm | -9.36 | -9.2 | 2.19 | 0.95 | -3.15 | 1.08 |

同时,将各年代冬季降水量均值与 30 年气候均值进行比较,可发现除 1981—1990 和 2001—2010 年降水量与气候均值相近,其他时段降水量波动大,波动大的直接表现是干旱或多水。干旱或多水对冬小麦越冬均不利,尤其是冬季干旱对小麦越冬的影响十分明显。文献[9]研究指出,55 年间宿州市冬季出现 20.2 mm 以下的少雨干旱年的重现期约 7.4 年一遇。

2.1.2 冬季气温变化

1955—2010 年宿州市冬季日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温呈显著上升趋势(图 1),气候倾向率为 $31.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,相关系数为 0.65,通过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验。自 1988—1989 年以来的 22 年间,有 20 年(占 90% 以上)的冬季 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温高于 30 年气候均值。

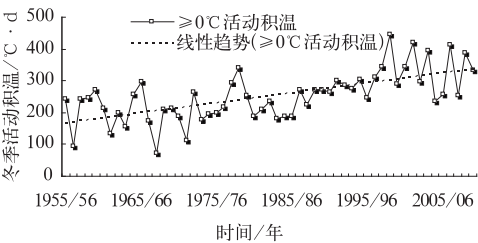


图 1 1955—2010 年宿州市冬季 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 活动积温变化(单位: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)
Fig. 1 The variation of $\geq 0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature in Suzhou during 1955—2010 (unit: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)

与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温变化情况相反,55 年间宿州市冬季日平均气温 $< 0^{\circ}\text{C}$ 的有害温度累积值的气候倾向率为 $-17.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,即每 10 年减少 $17.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,其相关系数为 0.61,通过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验。自 1986/87 年以来的 24 年间,冬季负积温多于 30 年气候均值的仅有 2 个年份(1991/92 和 1992/93)。

图 2 给出 55 年间宿州市冬季出现冬小麦缓慢生长要求的日平均气温 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ ^[9]的日数变化情况。由图 2 可以看出,55 年间宿州市冬季逐日日平均气温 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 的日数变化呈上升趋势,气候倾向率为 $4.5\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,相关系数为 0.62,通过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验。其中,1986/87 年以来的 24 年间,仅有 3 年的 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 的日数少于 30 年气候均值,分别为 1989/90 年(37 d)、1995/96 年(31 d)和 2004/05 年(28 d),可见,宿州市冬小麦冬季仍在缓慢生

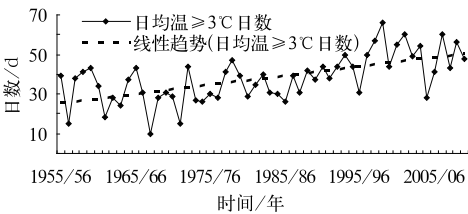


图 2 1955—2010 年宿州市冬季日平均气温 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 的日数(单位:d)
Fig. 2 The number of days with daily mean temperature $\geq 3^{\circ}\text{C}$ over Suzhou in winter during 1955—2010 (unit: d)

长。如宿州国家农业气象观测站的冬小麦苗情监测资料显示,暖冬的 1998/99 年度,小麦返青时单株分蘖数平均比越冬前(即冬小麦停止生长时)增加0.41 个。冬季严重干旱的 2008/09 年度的 2 月 7 日调查结果显示,冬季灌水一次的麦田小麦单株次生根条数和长度均接近或达到壮苗标准,未补水麦田小麦单株次生根数量和长度分别为灌溉麦田的32.4%和 14.6%。

因此,无论是冬季干旱期间,还是正常年份,冬季气温增高的趋势促使宿州市冬小麦越冬期间仍处于缓慢生长状态,尤其是暖冬干旱年份,越冬期间进行补水已成为小麦冬季管理的重要农事活动,因而制作发布冬季干旱时段内麦田灌溉的农用天气预报就显得十分紧迫和必要。

2.2 冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数设计

王建林等^[1-2]研究指出,农用天气预报是普通天气预报与作物发育进程和关键农事季节等农业生产实际的有机结合。即在常规天气预报的基础上,进行天气预报产品的解释应用。按照此思路,本研究首先确立冬季灌溉的农业气象指标和常规天气预报产品的释用方法,继而确立冬季灌溉气象适宜指数预报技术。

2.2.1 冬季灌溉的农业气象指标

研究表明^[13-14],冬季干旱时段内影响麦田灌溉的气象要素主要有日降水量(R)、日最低气温(T)和风速(W)。其中,降水情况是决定是否需要灌溉的首要因素。灌溉日的日最低气温,是决定灌溉适宜与否的第二要素,如灌溉时,日最低气温低于

-3.0°C ,麦田灌水后,会出现麦田地表冻结现象,尤其是日最低气温低于 -5.0°C 时,灌溉后的麦田即使在中午前后气温回升后,也无法解冻,轻则导致麦苗叶片冻伤;重则发生凌抬,导致死苗^[13]。风速是影响灌溉适宜与否的第三个气象要素,如灌溉日出现 5~6 级以上的大风时,会吹散喷灌的水滴,乃至人员无法进行喷水操作等。经过采取专家调查法(又称德菲尔法)和文献查阅等方法,确定了日降水量、日最低气温和风速 3 个要素影响灌溉适宜与否的各自独立的具体量化等级(见表 2)。

表 2 影响冬季灌溉的气象要素适宜、次适宜与不适宜量化等级

Table 2 Quantitatively meteorological suitability index for winter wheat irrigation

| 气象要素 | 日降水量(R) /mm | 日最低气温(T) / $^{\circ}\text{C}$ | 平均风速(W) /级 | 量化等级 |
|------|--------------------|--------------------------------------|-------------------|------|
| 适宜 | $R\leq 5$ | $T\geq -3$ | $W\leq 3$ | 3 |
| 次适宜 | $5<R\leq 10$ | $-5\leq T<-3$ | $3<W\leq 5$ | 2 |
| 不适宜 | $R>10$ | $T<-5$ | $W>5$ | 1 |

2.2.2 天气预报产品的解释应用

(1)日降水量和晴雨天气的解释应用方法。按照天气预报术语等级^[16]规定,安徽省宿州市冬季有晴天、多云、阴天、降雨和降雪 5 种天气类型。在解释应用时,首先判断天气预报产品的晴雨预报。如果无降水,即预报次日为“晴—多云—阴天”,则从降水这个单一指标看,次日适宜灌溉。当预报次日有降水发生时,要判断是什么性质的降水。若为降雨,则按降雨释用方法释用;若为降雪,则按降雪对应的释用方法释用。表 3 为不同天气预报产品对应的降水量临界值及其所对应的灌溉气象指数的量化等级。

表 3 冬季逐日晴雨和降水预报产品解释应用

Table 3 Interpretation of forecast products

| 适宜灌溉等级 | 晴雨预报 | 降雨预报 | | 降雪预报 | | 量化等级 |
|--------|----------|------|--------------|------|---------------------|------|
| | | 预报等级 | 日降水量/mm | 预报等级 | 日降水量/mm | |
| 适宜 | 晴天、多云、阴天 | 小雨 | $R\leq 5$ | 小雪 | $0.1\leq R\leq 2.4$ | 3 |
| 次适宜 | — | 小到中雨 | $5<R\leq 10$ | 小到中雪 | $2.4<R\leq 4.9$ | 2 |
| 不适宜 | — | 中雨以上 | $R>10$ | 中雪以上 | $R>4.9$ | 1 |

(2)日最低气温与日平均风速预报产品的解释应用方法。由于在常规天气预报产品中,日最低气温和日平均风速预报本身即是量化值,可以直接按照表 2 给出的量化等级进行释用。其中,日最低气温预报值 $T\geq -3^{\circ}\text{C}$,则量化等级值取“3”。日最低气温为 $-5^{\circ}\text{C}\leq T<-3^{\circ}\text{C}$,相应量化等级值取“2”。当日最低气温 $T<-5^{\circ}\text{C}$ 时,相应的量化等级值取

“1”。风速级别与实际风速大小的对应关系,按照天气预报风速评级标准^[16]执行,即风速级别 ≤ 3 级,其风速值 $W\leq 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,量化等级值取“3”。风速级别 3~5 级时,对应的风速值为 $5\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,量化等级值取“2”。当风速级别 >5 级时,对应的风速值为 $>10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,量化等级值取“1”。

综合上述分析,可以给出常规日天气预报产品

释用方案流程图(图 3)。

2.3 冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数应用实例

2.3.1 灌溉气象适宜指数预报模型

由于一日之内,影响灌溉活动的 3 个气象要素,并非都是适宜或不适宜。同时,每种要素对灌溉影响的权重系数也各有差异。如当有降水发生时,即

使当日的风速适宜灌溉活动,那么,还要判断降水量的大小和日最低气温的高低后,再决定当日是否适宜实施灌溉。因此,如何将 3 种影响气象要素对灌溉活动的影响综合在一起,形成一个灌溉气象适宜指数,是冬季干旱时段灌溉天气预报的关键。本文对 3 种气象要素的处理,采取德尔菲法确定各自的权重系数(见表 4)。

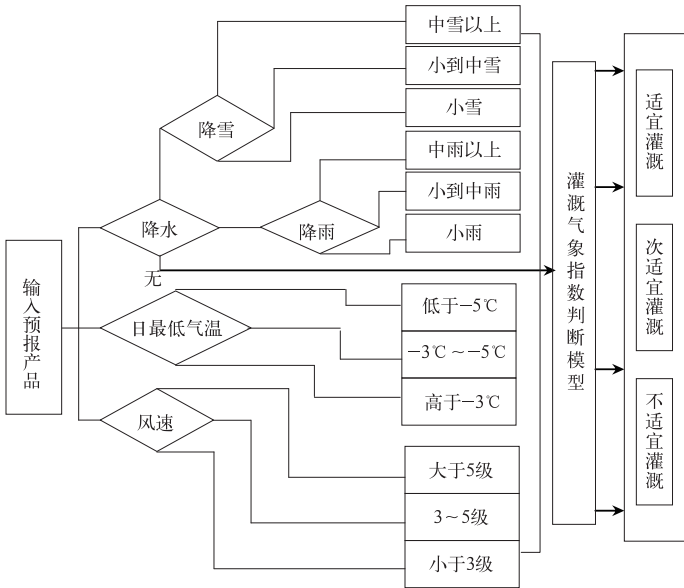


图 3 日预报产品释用流程图
Fig. 3 The flow chart of forecast products interpretation

表 4 影响灌溉活动进行的 3 种气象要素的权重系数

Table 4 The weight coefficients of meteorological elements affecting irrigation

| 气象要素 | 降水和晴雨(KR) | 日最低气温(KT) | 风速(KW) |
|------|-----------|-----------|--------|
| 权重系数 | 0.5 | 0.4 | 0.1 |

由此,可得到宿州市冬季干旱时段内灌溉气象适宜指数(K)的预报模型见式(3)。

$$K = 0.5KR + 0.4KT + 0.1KW \tag{3}$$

实例应用:
某一日常规天气预报产品如下:次日有小雨并渐止,日最低气温为-5~-3℃,偏北风4级左右。
依据表 2 和表 3 给出的量化等级数值,对本日预报产品进行释用,可知:KR=3,KT=2,KW=2。
按式(3)计算,K=2.5,预报日的灌溉气象适宜指数为 2.5,实际灌溉适宜程度为“不适宜”。

2.3.2 灌溉气象适宜指数等级的确定

表 5 为宿州市 2010 年 12 月 11—20 日、2011 年 1 月 5—10 日和旱情解除日 2011 年 2 月 25 日的天气实况。按照式(3)计算了每日的灌溉气象适宜指数。同时,采用专家调查法与实际调查相结合的方法得到两个时段内逐日农田实际适宜与否的灌溉情况。农田实际适宜与否的灌溉情况,主要依据灌溉次日上午麦田有无冻害发生来判断。

对表 5 给出的农田实际灌溉适宜情况和计算得到的灌溉气象适宜指数作点聚图(图 4)。由图 4 可见,灌溉气象适宜指数(K)可分为 3 类,即 $K > 3.0$ 、 $2.5 < K \leq 3.0$ 和 $K \leq 2.5$ 。经与实况灌溉适应情况比较,可以将灌溉气象指数划分为 3 个等级,即适宜、次适宜和不适宜。其对应的灌溉气象指数分别为:Ⅰ适宜,对应的灌溉气象指数值 $K > 3.0$;Ⅱ次适宜,对应的灌溉气象指数值 $2.5 < K \leq 3.0$;Ⅲ不适宜,对应的灌溉气象指数值 $K \leq 2.5$ 。

表 5 不同时间实况天气的灌溉气象指数与实际灌溉等级

Table 5 Comparison between actual irrigation and weather forecasting irrigation level index

| 时间 (年—月—日) | 天气实况 | | | 灌溉气象 指数 | 实际灌溉 适宜情况 |
|---------------|-----------------|-------------|--------------------------|------------|--------------|
| | 天气情况/降水量 /mm | 日最低气温 /℃ | 阵风 /m·s ⁻¹ | | |
| 2010—12—11 | 晴到多云 | 2.8 | 4.1 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—12 | 阴天,有小雨/0.0 | 5.4 | 4.5 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—13 | 小雨/2.7 | 2.4 | 4.5 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—14 | 小雪/1.7 | -1.1 | 4.2 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—15 | 多云 | -1.6 | 3.3 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—16 | 晴到多云 | -5.4 | 4.7 | 2.2 | 不适宜 |
| 2010—12—17 | 多云到阴天 | -2.0 | 3.7 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—18 | 晴到多云 | -0.7 | 4.7 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—19 | 晴到多云 | 2.7 | 3.7 | 3.0 | 适宜 |
| 2010—12—20 | 阴天多云 | 1.0 | 2.6 | 3.0 | 适宜 |
| 2011—1—5 | 阴天 | 0.4 | 3.0 | 3.0 | 适宜 |
| 2011—1—6 | 晴到多云 | -4.3 | 4.6 | 2.6 | 次适宜 |
| 2011—1—7 | 阴天 | -6.5 | 2.3 | 2.2 | 不适宜 |
| 2011—1—8 | 阴天 | -8.2 | 2.9 | 2.2 | 不适宜 |
| 2011—1—9 | 晴到多云 | -2.7 | 5.3 | 2.9 | 次适宜 |
| 2011—2—10 | 阴天 | -6.2 | 2.7 | 2.2 | 不适宜 |
| 2011—2—25 | 中雨/20.5 | 1.5 | 3.2 | 2.0 | 不适宜 |

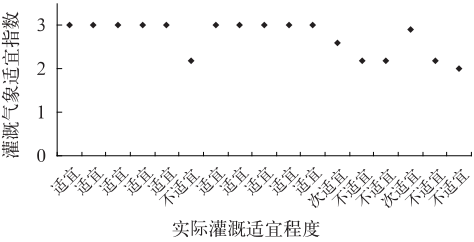


图 4 不同时间实况天气的灌溉气象指数点聚图

Fig. 4 Scatter diagram of irrigation weather index

对照上节给出的实例,当日为“不适宜”等级,与实际灌溉适宜情况相符合。

3 结语与讨论

(1)经分析 1955—2010 年安徽省宿州市冬季降水和气温变化情况,发现宿州市冬季干旱多发重发趋势凸显,已成为影响小麦高产稳产的主要限制因素之一,特别是在暖冬条件下,宿州市冬小麦越冬期间仍处于缓慢生长状态,暖冬和干旱的双重影响,使得麦田失墒进一步加重,因此,冬季干旱时段及时进行麦田灌溉气象预报十分必要。

(2)研究表明影响冬季实施灌溉农事活动的气象要素主要有降水、日最低气温和风速等级。由于这 3 个气象要素对实施灌溉活动的适宜与否的影响

程度不同,客观确定其各自权重系数是做好冬季灌溉天气预报的技术关键之一。本文采取专家调查法(即德菲尔法)给出各自的权重系数和 3 个气象要素的量化等级数值,可以在本区域内参考使用。但要给出更科学客观的权重系数和量化等级数值,尚需进一步细化研究,尤其需要开展田间试验来确定。

(3)给出宿州市冬季灌溉气象适宜指数计算公式及相应的预报模型。通过模型可以依据常规天气预报产品制作出次日的灌溉气象适宜指数预报值,然后,依据给出“适宜、次适宜和不适宜”3 个等级标准进行判断确定次日实施灌溉农事活动的等级标准,其结论可用于对外发布的灌溉农用天气预报产品,经与实况灌溉适宜程度相比较,预报结论基本相符。

(4)如何将天气预报产品进行科学释用是农用天气预报的又一关键技术问题。本文对影响冬季实施灌溉农事活动的降水、日最低气温和风速 3 种要素采取 3 个等级标准进行量化。虽然在实践中取得一定效果,但是,对于更精细化的农用天气预报技术需求来说,尚需对 3 种气象要素的量化等级再作更进一步细分,方能较好地适应冬季麦田灌溉对天气预报产品的精细化需求。

(5)本文只是就冬季干旱时段麦田灌溉气象适宜指数预报方法进行了初步尝试,如何推广到春、夏季干旱等时段开展灌溉气象适宜指数预报服务,由

于时段不同,涉及到的作物的生育进程和生理需求也有较大差异,因此,这方面的工作亦需进一步深入研究。

参考文献

[1] 王建林. 现代农业气象业务[M]. 北京:气象出版社,2010:264-271.

[2] 王建林,吕厚荃,张国平,等. 农业气象预报[M]. 北京:气象出版社,2005:135-140.

[3] 冯定远. 农用天气预报[J]. 气象,1986,12(2):39-42.

[4] 刘金鑫,何健,陈新光. 广东省农用天气预报研究[J]. 气象,2006,32(2):116-120.

[5] 杜筱玲. 江西省农用天气预报服务思考[J]. 气象与减灾研究,2010,33(4):9-11.

[6] 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,2010,31(4):112-115.

[7] 李德,王昉,戚尚恩. 淮北平原冬小麦气候生态条件变化研究[J]. 气象与减灾,2006,(1):13-19.

[8] 李德. 近 30 年淮北平原冬小麦物候期演变特征[J]. 气象科技,2009,37(5):607-612.

[9] 李德,杨太明,张学贤. 1955—2010 年淮北平原冬季农业气候变化基本特征[C]. 2010 年农业环境科学峰会论文摘要集,2010,5:17-18.

[10] 陶诗言,卫捷,孙建华,等. 2008—2009 年秋冬季我国东部严重干旱分析[J]. 气象,2009,35(4):3-10.

[11] 李德,杨太明,张学贤,等 2008—2009 年宿州秋冬低温干旱成因分析与影响评估[J]. 气象,2011,37(5):666-672.

[12] 魏淑秋. 农业气象统计[M]. 福州:福建科学技术出版社,1985:68-69.

[13] 北京农业大学农业气象专业. 农业气象学[M]. 北京:科学出版社,1982:156-161.

[14] 黄义德,姚维传. 作物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:311-323.

[15] 王伟军,蔡国沛. 信息分析方法与应用[M]. 北京:北京交通大学出版社,2010:98-121.

[16] 伍荣生. 现代天气学原理[M]. 北京:高等教育出版,2008:158-160.