

王纯枝,毛留喜,杨晓光,等. 黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系的构建[J]. 气象与环境科学,2019,42(1):3-10.
Wang Chunzhi,Mao Liuxi,Yang Xiaoguang,et al. Construction of Agrometeorological Index System for Winter Wheat in HuangHuaiHai Region[J]. Meteorological and Environmental Sciences,2019,42(1):3-10.
doi:10.16765/j.cnki.1673-7148.2019.01.001

黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系的构建

王纯枝¹, 毛留喜¹, 杨晓光², 郭安红¹, 姜月清¹, 侯英雨¹

(1. 国家气象中心,北京 100081; 2. 中国农业大学资源与环境学院,北京 100094)

摘 要: 冬小麦农业气象指标体系是定量评价冬小麦农业气象条件优劣和发布灾害预警预报的基础,更是农业气象业务服务的基础。在解释冬小麦农业气象指标内涵的基础上,参照冬小麦农业气象指标体系构建的通则,综合农业气象指标研究方法的优缺点,构建了由 4 个一级指标、21 个二级指标构成的我国黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系。其中一级指标由冬小麦品种特性农业气象指标、关键生育期农业气象指标、主要农业气象灾害指标、主要病虫害指标四大类构成。冬小麦品种特性农业气象指标由反映品种特性和地域布局的指标构成,包括品种类型、区域布局和耕作栽培管理气象指标;关键生育期农业气象指标由反映关键生育阶段气象条件适宜与否的指标构成,包括播种出苗期、分蘖期、越冬期、返青期、拔节期、抽穗开花期、乳熟期、成熟收获期气象指标;主要农业气象灾害指标由反映受灾程度的指标构成,包括干旱、越冬冻害、晚霜冻、湿渍害、干热风、烂场雨等;主要病虫害指标由反映病虫害发生发展程度的指标构成,包括白粉病、赤霉病、锈病、蚜虫等。此外,还对指标的筛选和综合集成及赋权方法进行了探讨。

关键词: 黄淮海;冬小麦;农业气象;指标体系
中图分类号: S512.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-7148(2019)01-0003-08

引 言

农业气象指标体系是农业精准化作业与信息化的科学依据和重要内容,对带动常规农业技术升级、科学指导农业生产具有重要意义。农业气象指标是气象部门开展农业气象业务服务的重要基础。自 20 世纪 50 年代中期以来,我国各地陆续开展相关的农业气象研究工作,特别是 70 年代后期至 80 年代中期,随着一些研究项目的开展,提出了不少农业气象指标并取得了很好的应用效果。但是,现有农业气象指标仍有不少空白点,例如不同降水年型的最佳灌溉指标,冬小麦灌浆中后期高温热害指标,气候变暖背景下冬小麦主栽品种类型冻害指标等,现有指标^[1-2]已不能全面反映作物与气象要素间的关

系,难以准确评价气象条件对农作物的影响。20 世纪 90 年代以来,更是鲜有农业气象指标研究的文献报道,且已有指标不能完全满足近年来不断增长的业务服务需求。农业气象指标的“不适应问题”,已经成为制约现代农业气象业务发展的瓶颈。

随着农业种植结构合理布局、农业精准化作业、作物品种改良与换代、农作物栽培技术和耕作方式的改进,针对高产、优质、高效的现代农业生产开展农业气象指标体系研究,已经是农业气象业务发展亟待解决的非常重要且极其复杂的基础性问题。构建农业气象指标体系,对准确评估气象条件对粮食生产的影响、科学指导农业生产、增强气象服务能力、保障国家粮食安全尤为重要;也是提高农业气象灾害监测预警水平,开展定量化精细化的气象灾害

收稿日期:2018-04-16;修订日期:2018-08-16
基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106030)
作者简介:王纯枝(1976-),女,河南新乡人,高级工程师,博士,从事农业气象应用和农业气象灾害研究. E-mail:wcz_bj@163.com
通讯作者:郭安红(1972-),女,陕西商州人,研究员,博士,从事农业气象防灾减灾研究. E-mail:guoah@cma.gov.cn

监测、预报、评估与风险分析,提高农业适应气候变化和防灾减灾能力的需要。冬小麦是我国主要的粮食作物,黄淮海地区是我国冬小麦的最主要产区,在我国粮食安全保障体系中占有举足轻重的地位。本文选择黄淮海地区冬小麦为研究对象,研究农业气象指标体系并确立构建方法,对指导冬小麦生产具有重要作用,对其他地区冬小麦及其他作物的农业气象指标体系研究也具有重要的参考和借鉴价值。

1 冬小麦农业气象指标的内涵

农业气象指标是反映气象条件对农业生产条件影响的特征量。冬小麦农业气象指标是反映气象条件对冬小麦生产影响的特征量,表示冬小麦生长发育过程对气象条件的要求和反应的数值或数学表达式,并由冬小麦生物学特性所决定,不受地区气候条件的影响而变化。所谓体系,泛指一定范围内或同类的事物按照一定的秩序和内部联系组合而成的整体,是不同小系统组成的大系统。所以,冬小麦农业气象指标体系,就是冬小麦生长发育对气象条件的要求和反应的数值或数学表达式构成的,按照一定的秩序和内部联系组合而成的集合。一系列有关冬小麦农业气象特征指标的集合,构成冬小麦农业气象指标体系。

2 冬小麦农业气象指标体系的构建方法

构建冬小麦农业气象指标体系是定量评价冬小麦农业气象条件优劣和灾害预警预报的基础,而构建科学、健全、合理的指标体系是科学评价的重要前提。黄淮海平原地处暖温带半湿润气候区,局部为半干旱气候区,降雨较少且年际、季节变化大,空间分布也不均,由北向南逐渐增加;受季风气候影响,旱涝频繁;主要种植制度为一年两熟制,是冬小麦主产区。研究构建黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系,对指导冬小麦生产、保障粮食安全具有重要意义。指标选择的恰当准确与否,直接影响农业气象条件评价结果的准确性、科学性和客观性。由于建立指标体系是一项科学、严谨、富有创造性的工作,因此确定指标的指导思想既要实事求是,又要结合现代农业的需求与时俱进,勇于创新;既要借鉴国内外的相关指标,又要结合本地实际,因地制宜,突出区域特征。

2.1 关于冬小麦农业气象指标的研究现状

国内对冬小麦农业气象指标的研究始于 20 世

纪 50 年代中期。长期以来,农业气象专家对小麦等作物生长发育的气象环境指标有较多研究,并且主要集中在两大方面:一是基本农业气象指标的研究,如各个发育阶段、各个生理过程的三基点温度,不同品种各发育阶段的积温指标等^[3-6];二是各种农业气象灾害指标的建立,确定各种气象灾害发生的临界值及其对冬小麦生长发育与产量的影响程度^[7-20]。与此同时,诸多国外学者通过田间试验和作物生长箱,利用统计和作物模型等方法,分析不同品种特性小麦的农业气象指标;基于小麦不同的品种、生育期、种植区域、品种特性,得出小麦不同的三基点温度和水分需求,对小麦植株不同部位生长的三基点温度也进行了研究^[21-22]。

但冬小麦农业气象指标多是在 20 世纪 90 年代以前(尤其是 80 年代以前)建立的(图 1),20 世纪 50 年代中期至 60 年代中期,指标研究侧重于建立光、温、水单要素指标为主,如晚霜冻;60 年代中期至 70 年代末,指标研究侧重于越冬冻害和湿渍害为主,指标由单要素指标开始向综合指标过渡;70 年代末至 90 年代初,指标研究范围明显扩大,为我国冬小麦农业气象指标研究史上一个空前活跃的时期,指标研究扩展到除冻害外的关键期适宜温度指标、冬前形成壮苗的热量指标等,指标研究也向综合指标的纵深发展,如建立干热风、干旱、灌溉量等综合指标;90 年代中期以来,指标研究发展了光、温、水等综合指标,研究成果向业务应用中不断渗透并支持了农业气象业务的迅速发展。

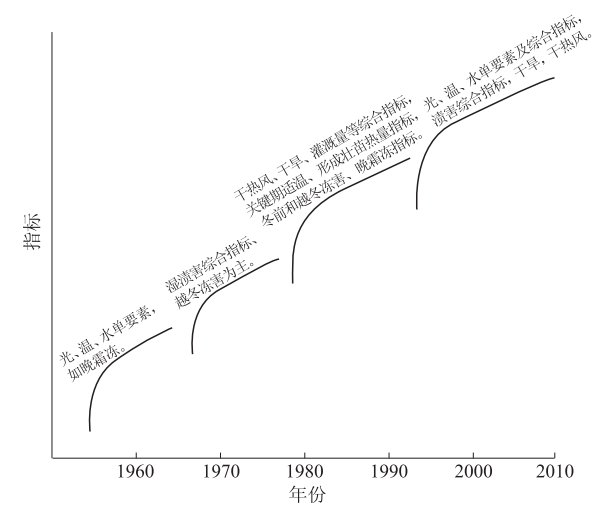


图 1 冬小麦农业气象指标研究的发展历程

随着气候变化、作物品种更替和布局的改变、耕作栽培技术的进步,现有的指标已不能完全满足业

务服务和生产应用的需求,一些已有指标的阈值也有待进一步佐证或修订完善,因此亟需研究更精确、时效性和针对性更强的农业气象指标体系,以更好地为农业生产和防灾减灾服务是农业气象指标研究的大势所趋。为此,需要首先弄清楚农业气象指标各种研究方法的优缺点,以建立科学、针对性较强的

指标体系。冬小麦农业气象指标研究方法归纳起来主要有田间试验法、人工环境模拟法、文献追踪分析判别法、统计分析法、遥感监测法^[23-24]。各种农业气象指标研究方法有着各自的优缺点(见表 1)。在综合考虑表 1 中 5 种方法优缺点的基础上,选用前 4 种方法构建研究区冬小麦农业气象指标体系。

表 1 农业气象指标研究方法的优缺点

研究方法	优点	缺点
田间试验法 (包括分期播种法、地理播种法、 地理移植法等)	接近实际生产情形,试验结果较客观;试验点覆盖地区越少,求出指标越精准,越能反映当地实际情况。	试验周期长,效率低,对重复试验的管理措施、土壤条件等很难达到完全一致。
人工模拟法	不受自然条件限制,可严格定量控制某气象要素,试验误差低于田间试验;设备简单易操作,实验周期短,效率高。	作物群体条件、结构相关研究工作很难开展;设备模拟精度较低,试验结果需经田间试验验证后才可推广应用,常作为田间辅助试验。
文献追踪分析判别法 (包括专家经验法、农谚谚语分析法)	研究对象不受时空限制,不易受环境因素影响制约,具有很强的灵活性、高效性。	具有很强的地方性和时代性,人为主观性较大,客观一致性差。
统计分析法 (包括资料对比分析法、图解法、 回归分析法等)	操作简便,成本低,指标获取省时、效率高。	受资料质量局限大,指标必须经过统计检验和实际验证方可推广应用。
遥感监测法	观测视域范围广,可大面积观测。不仅能获得地面可见光波段信息,还可获得紫外、红外、微波等波段信息。信息获取速度快,信息量大,通过不同时间成像资料对比,可研究地面物体动态变化,便于研究事物发生变化规律。	遥感数据库不足,有待进一步完善补充;农业遥感的解译体系有待完善和提高。

2.2 农业气象指标体系构建的原则

关于建立指标体系的原则,目前有两种典型的表述:一是全面、不重叠(或交叉、或冗余)和指标易于取得;二是科学性、合理性和适用性^[25-27]。本文采用第一种相对更加明确的方法。一套科学的指标体系首先应根据评价目的反映有关冬小麦农业气象条件的各方面状况,如果指标体系不全面,就无法对冬小麦生长的农业气象条件做出整体判断;其次,指标间尽可能不重叠,过多的重叠会导致评价结果失真^[28],也会增加计算的难度和工作量;最后,计算指标所需要的数据应是容易采集的,指标容易计算或估计,否则指标体系就无法应用。因此,建立指标体系应遵循评价指标尽可能全面、不重叠和数据易于取得的原则。

2.2.1 科学性原则

选择的指标必须科学地反映冬小麦生长状况的水平,不能选择没有意义的指标而影响整个指标体系的效用;二是指标设计在名称、涵义、内容和监测、计算方法等方面必须科学明确、没有歧义,以减少指标数据收集和统计工作中的录入误差。

首先要大量收集有关指标文献,进行细致的梳理、甄别、筛选,确定已验证的指标、待验证的指标和

难以验证的指标。在大量繁琐的指标整理甄选过程中,本研究得出了梳理甄选农业气象指标的一套方法准则:1)优先参考气象行业标准,如冬小麦霜冻害、湿渍害等。2)无气象行业标准的主要农作物气象灾害指标等则通过书刊、文献并依据权威性排序查询初步确认,并结合近年来发生的农业气象灾情采用分析法研判传统灾害指标的适用性。3)通过农业气象灾害典型年进行细致分析,着重考查近 30 年情况。

例如,灾害指标筛选校验具体思路和方法:1)划分灾害主体年型、非主体年型。主体年型即为灾害指标平均气候态,其要素范围即为灾害指标;再根据最终产量,把非主体年型划分为丰产年型和歉收年型,得到各年型的非致灾气象单要素指标、致灾指标。2)采用 Bayes 准则方法筛选验证。利用典型年历史灾害分布、发生实况、气象数据序列进行指标应用比对分析验证。3)采用试验方法验证待验证的指标,如人工气候箱模拟、田间试验方法等。难以验证的指标采用专家法判定。

2.2.2 完备性原则

要求指标体系覆盖面要广,能综合地反映冬小麦生长发育和产量形成的主要影响因素,如单要素

指标、综合性指标。

2.2.3 可行性原则和权威性原则

建立的指标不但要能评价冬小麦生长的基本状况,而且要让想利用该指标体系的人员便于获取到相应指标,所选取的指标应具有可验证性、权威性,指标概念明确,易获取,应用者能够运用这些指标准确做出相应分析、判断。

2.2.4 层次性原则和无重复原则

根据科学、实用的原则,完整的冬小麦农业气象指标体系应包括总体指标、主体指标、群体指标三个层次,即指标体系分为一级指标、二级指标和三级指

标,同一层次的指标彼此独立。上层指标是对下层指标的总结,下层指标则是对上层指标的系统阐释。该指标体系要简洁明了不重复。

2.2.5 定性指标与定量指标相结合原则

由于冬小麦农业气象指标的一些构成要素属于定性指标,无法用定量指标描述,而这些要素又是必须考虑的,故有必要采用定性和定量指标相结合建立冬小麦农业气象指标体系。

借鉴管理学、经济学等^[29]学科构建指标体系的方法,本文确立了农业气象指标体系的构建流程,具体内容见图 2。

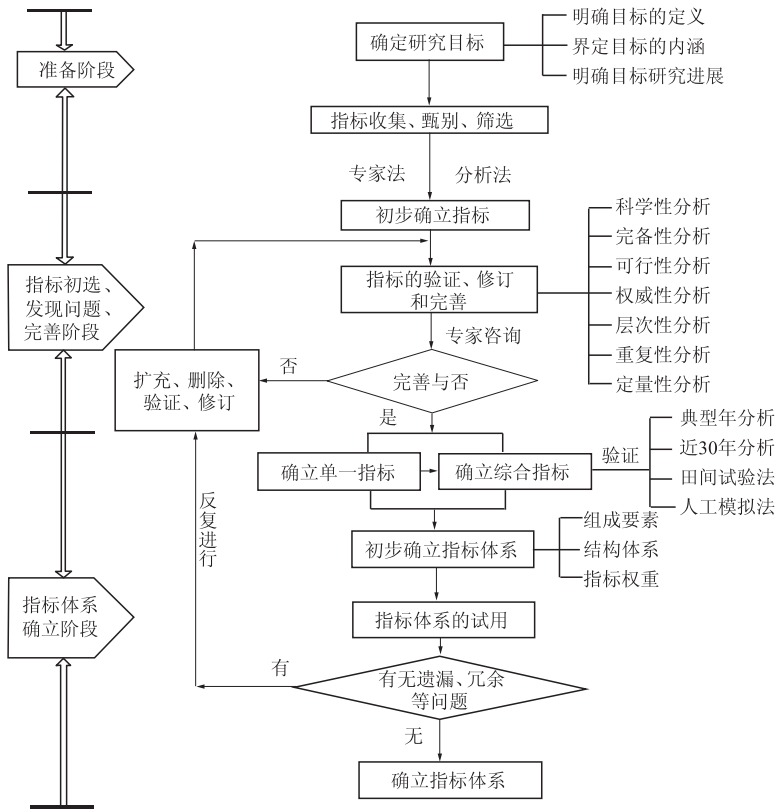


图 2 农业气象指标体系构建流程图

2.3 冬小麦农业气象指标体系构建

在构建冬小麦农业气象指标体系过程中,充分考虑了温度、空气湿度、降水、光照、土壤水分、风速等因子在冬小麦农业气象指标中的核心作用,在此基础上确定了相应的指标。其中一级指标由冬小麦品种特性农业气象指标、关键生育期农业气象指标、主要农业气象灾害指标、主要病虫害指标四大类构成。

2.3.1 品种特性农业气象指标

冬小麦品种特性农业气象指标由反映品种特性和地域布局的指标构成,包括品种类型、区域布局和

耕作栽培管理气象指标 3 个二级指标。黄淮海地区冬小麦品种类型包括冬性、半冬性、弱春性 3 个三级指标。冬小麦区域布局指标包括气候生态区划指标、临界气候条件指标 2 个三级指标,由于地域、气候条件等的差异,对应冬小麦品种类型和农业气象指标临界值等也不同。耕作栽培管理气象指标包括冬前壮苗指标、缺墒灌溉及灌溉量指标、蹲苗与防倒伏指标等三级指标。每个三级指标分别由气温、积温、水分和日照时数指标组成。

区域布局指标中对临界气候条件应增加的指标:需水关键期指标。冬小麦全生育期需水量指标

相对明确,但需水关键期指标在文献中少有体现,而其对指导现代农业防灾减灾必不可少。

2.3.2 关键生育期农业气象指标

冬小麦关键生育期农业气象指标由反映冬小麦关键生育阶段气象条件适宜与否的指标构成,包括播种出苗期、分蘖期、越冬期、返青期、拔节期、抽穗开花期、乳熟期、成熟收获期 8 个二级气象指标。每个二级指标分别由适宜和不适宜指标 2 个三级指标构成,每个三级指标又分别由气温、土壤水分、光照、积温和降水量等组成。据此,建立关键生育期冬小麦农业气象指标集和指标库。

2.3.3 主要农业气象灾害指标

冬小麦主要农业气象灾害指标由反映受灾程度的指标构成,包括干旱、越冬冻害、晚霜冻、湿渍害、干热风、烂场雨 6 个二级指标。每个二级指标分别由轻度、中度和重度指标 3 个三级指标构成,每个三级指标又分别由气温、空气湿度或土壤湿度、风速、

积温和降水量等单个或多个指标组合构成。

2.3.4 主要病虫害指标

冬小麦主要病虫害指标由反映病虫害发生发展程度的指标构成,包括白粉病、赤霉病、锈病、蚜虫等 4 个二级指标,也是小麦主要病虫害指标。每个二级指标又分别由适宜病虫害发生的生理气象指标和不适宜病虫害发生的生理气象指标 2 个三级指标构成,每个三级指标分别由气温、空气湿度、光照和雨日指标组成。

为了从不同层面全面反映冬小麦农业气象指标,根据冬小麦农业气象指标体系构建的原则,综合农业气象指标研究方法的优缺点,本文从冬小麦农田生态系统土壤-植物-大气连续体 (SPAC) 的角度,提出由分别反映上述四大类的 4 个一级指标、21 个二级指标构成的我国黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系框架(图 3)。



图 3 黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系框架图

3 指标筛选和综合集成及赋权方法

指标的筛选,是一项庞大而复杂的系统工程,筛选评估者需要对指标系统有全面充分的认识和多方

面的综合知识积累。目前,筛选指标的方法,主要有专家咨询法、层次分析法和频度分析法等^[30-31]。对于层次分析法 (AHP 法),专家在进行两两比较时,特别是指标数量较多时,由于思维上两两比较的模

糊性,判断结果在一致性检验上存在一定差异。故本文在构建指标体系过程中,采用的指标筛选方法以专家咨询法和频度分析法为主。频度分析法是对黄淮海地区冬小麦农业气象指标的相关文献中关于指标部分加以整理、分类,对各类指标进行汇总或统计分析,选择那些出现频度较高的指标和指标值;同时结合黄淮海地区气候特点,根据数据可获得性等指标体系选取原则,选择那些针对性较强的指标,在此基础上,对指标进行筛选,必要时应用专家咨询法(Delphi)适当调整,综合指标甄选、历史气候资料序列分析和试验验证等结果,最终得到黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系。

在构建指标体系过程中,仅有指标筛选和层次的划分还不够,还必须确定综合指标获取时同一类指标在综合集成过程中各指标的权重,其大小直接影响预测、评价结果,权重确定的好坏、客观与否,将直接影响到冬小麦农业气象条件优劣评价或受灾等级计算的科学性和客观性。目前,指标权重的确立,常见的方法基本上可以归结为主观赋权法和客观赋权法两大类。其中,主观赋权法有专家咨询法(Delphi)、专家排序法、专家打分法、层次分析法(AHP)、秩和比法(RSR)、相关系数法等,客观赋权方法有主成分分析、因子分析法等^[32-33]。本研究中采用客观赋权法和主观赋权法相结合的方式确定各指标的权重,尽可能减小主观因素对结果的影响。以国家气象中心的国家级农业气象业务服务系统(CAgMSS)中的综合农业干旱指数^[34]计算为例,业务中该指数使用了土壤相对湿度指数、作物水分亏缺距平指数、降水距平指数和遥感干旱指数进行综合干旱监测。为便于将4个指标进行综合集成,将不同的干旱监测指数进行标准化处理,采用客观赋权法将各干旱监测指标进行各自的干旱监测等级划分,不同的等级按照统一规定赋予特定数值;在集成方法上,干旱综合监测集成方法采用多指标的权重合成方法,其综合评估模型为

$$DRG = \sum_{i=1}^n (f_i \times w_i)$$

其中,DRG为集成后的综合农业干旱指数; $i=1, 2, \dots, n$; $f_1, f_2, \dots, f_n$ 为各干旱指标; $w_1, w_2, \dots, w_n$ 为各指标的权重值。

每个标准化后的干旱指标均分为5级,取值为0~4,分别代表无旱0级(赋值为0,后同)、轻旱

1级、中旱2级、重旱3级、特旱4级。经处理后的各指标数据均为无量纲的相对值,且具有相同的量级,各指标大小等级划分一致,在1~4范围内,数值取值越大,表示越干旱。该5个级别划分标准取自前人通过数理统计等方法已取得的研究成果,即客观赋权法获取; $w_1, w_2, \dots, w_n$ 各指标权重值的选取采用专家打分法确定,全国被划分为9个区,各区内分别取相应的权重进行计算。此外,在干旱综合监测集成结果中,引入了背景地理信息数据,河流、湖泊等水体及裸地、荒漠等特定地物类型被赋予了特定的DRG数值,该DRG数值及集成后的综合农业干旱指数等级划分方法采用主客观方法相结合确定。该方法计算的综合干旱指标监测结果经业务验证比较可靠。因此,采用单一方法定权,受赋权方法的影响容易造成偏倚,建议采用组合赋权的方法进行赋权,以校正单一赋权方法的偏倚性,即采用不同类的赋权方法进行组合,汇集其各自的优点,以得出最佳的权重进行指标综合集成。

4 讨论与结论

本文确立了黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系的建立方法和构建技术流程,构建原则为科学性、完备性、可行性、层次性和无重复、定性与定量相结合等,提出了筛选指标时较佳的方法为运用专家咨询法和频度分析法为主,获取综合指标时的集成方法为客观赋权法和主观赋权法相结合,并分析归纳了农业气象指标不同研究方法的优缺点,确定了获取农业气象指标的方法为田间试验法、人工模拟法、文献追踪分析判别法、统计分析法四种方法综合运用。在此基础上,本研究构建了由4个一级指标、21个二级指标构成的我国黄淮海地区冬小麦农业气象指标体系,具体包括^[35]华北冬性和半冬性、黄淮半冬性和弱春性品种,各关键生育阶段指标、农业气象灾害指标(包括干旱、越冬冻害、晚霜冻、湿渍害、干热风、烂场雨等)、冬小麦病虫害(白粉病、赤霉病、锈病、蚜虫)指标、冬小麦品种特性及区域布局指标,以及主要栽培品种类型农业气象指标等。其中通过田间试验法、人工模拟法,利用统计及作物模型模拟等手段,新建了不同冬春性小麦越冬冻害指标^[36]、不同降水年型的最佳灌溉指标^[37]、灌浆期高温积热指标^[38]、改进型的干热风综合评价指标^[39]。该研究方法可供对我国其他地区冬小麦及其他作物

的农业气象指标体系研究时参考和借鉴。

由于冬小麦农业气象指标体系涉及指标类型繁多,本研究所获得的指标因时间所限和试验条件所限,难以逐一验证,尤其冬小麦病虫害生理气象指标更是缺乏甄别验证条件,所确定的指标体系构建方法也有待更加完善,因此相关指标和指标体系仍需要在今后进一步研究、不断验证与修正完善。农业气象指标体系对气象业务服务具有支撑作用,然而由于作物本身的差异和适应能力,农业气象指标应因地、因时、因作物品种和农业措施差异,不断完善和修订。

参考文献

[1] 中国农业科学院. 中国农业气象学[M]. 北京: 中国农业出版社,1999.

[2] 农业部小麦专家指导组. 全国小麦高产创建技术读本[M]. 北京: 中国农业出版社,2012.

[3] 王芳,刘宏举,邹定荣,等. 近 30 年华北平原冬小麦有效积温的变化[J]. 气象与环境科学,2017,40(2):20-27.

[4] 曲曼丽. 北京地区冬小麦穗分化与气候条件关系的分析[J]. 农业气象,1986(3):1-6.

[5] 高金成,张发寿,卢小扣,等. 小麦生殖生长阶段综合温度指标研究[J]. 中国农业气象,1993,14(5):6-9.

[6] 毛瑞洪. 对冬小麦适播期适温指标的探讨[J]. 陕西农业科学,1986(3):14-16.

[7] 陶祖文,琚克德. 冬小麦霜冻气象指标的探讨[J]. 气象学报,1962,32(3):215-223.

[8] 竺可桢. 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系[J]. 科学通报,1964(3):189-199.

[9] 崔读昌. 寒地小麦越冬冻害指标及其防御措施[J]. 气象,1978(2):4-5.

[10] 于玲. 河北省冬麦冻害指标的初步分析[J]. 农业气象,1982(4):10-13.

[11] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风气象指标的研究[J]. 中国农业科学,1983(4):68-75.

[12] 郑大玮, 刘中丽. 冬小麦冻害监测的原理与方法[J]. 华北农学报,1989(2):8-14.

[13] 李军玲,张弘,曹淑超. 基于 GIS 的河南省冬小麦晚霜冻风险评估与区划[J]. 干旱气象,2015,33(1):45-51.

[14] 康绍忠,熊运章. 作物缺水状况的判别方法与灌水指标的研究[J]. 水利学报,1991(1):34-39.

[15] 王春玲,申双和,王润元,等. 中原地区地温对冬小麦发育期、生长量和产量的影响[J]. 干旱气象,2012,30(1):66-70.

[16] 单新兰,苏占胜,张智,等. 宁夏山区春季降水对冬小麦生长发育的影响[J]. 干旱气象,2012,30(3):426-431.

[17] 盛绍学,石磊,张玉龙. 江淮地区冬小麦渍害指标与风险评估模型研究[J]. 中国农学通报,2009,25(19):263-268.

[18] 崔读昌. 中国农业气候学[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1998.

[19] 郝宏飞,辜永强,郝宏蕾. 巴楚县冬小麦生育期气温变化及其对小麦产量的影响[J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(5):52-57.

[20] 杨光仙,胡程达,彭记永,等. 冬小麦冬季灌水适应性温度指标研究[J]. 气象与环境科学,2017,40(2):39-43.

[21] Miglietta F. Effect of photoperiod and temperature on leaf initiation rates in wheat (*Triticum* spp.) [J]. Field Crops Research,1989,21(2):121-130.

[22] Slafer G A, Rawson H M. Photoperiod temperature interactions in contrasting wheat genotypes: Time to heading and final leaf number [J]. Field Crops Research,1995,44(2):73-83.

[23] 姚克敏. 农业气象试验研究方法[M]. 北京:气象出版社,1995.

[24] 韩湘玲. 农业气候学[M]. 太原:山西科学技术出版社,1999.

[25] 刘贤龙,胡国亮. 综合评价结果的合理性研究[J]. 统计研究,1998,20(1):38-40.

[26] 赵国强,陈立文,穆佳,等. 生态环境质量评价体系建设的探讨[J]. 气象与环境科学,2018,41(1):1-11.

[27] 杨雄胜,臻黛. 企业综合评价指标体系研究[J]. 财政研究,1998,17(5):39-46.

[28] 胡永宏. 综合评价中指标相关性的处理方法[J]. 统计研究,2002,24(3):39-40.

[29] 游海燕. 基于 BP 原理的指标体系建立模型方法研究[M]. 重庆:第三军医大学,2004.

[30] 王敏,上官铁梁,郭东罡. 生物入侵危害的指标体系探讨[J]. 中国农学通报,2008,24(2):394-398.

[31] 姜汉侨,段昌群,杨树华,等. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:289-290.

[32] 倪少凯. 7 种确定评估指标权重方法的比较[J]. 华南预防医学,2002,28(6):54-55,62.

[33] 姚秀萍,张晓美,吕明辉. 公众气象服务满意度评价指标体系的构建方法[J]. 气象与环境科学,2014,37(4):102-108.

[34] 王建林. 现代农业气象业务[M]. 北京:气象出版社,2010:163-165.

[35] 毛留喜,魏丽. 大宗作物气象服务手册[M]. 北京:气象出版社,2015.

[36] 慕臣英,杨晓光,杨婕,等. 黄淮海地区不同冬春性小麦抗冻能力及冻害指标 I. 隆冬期不同冬春性小麦抗冻能力比较[J]. 应用生态学报,2015,26(10):3119-3125.

[37] 朱津辉,郭建茂,毛留喜. 基于 WOFOST 模型的河北省保定市冬小麦最佳灌溉方案研究[J]. 气象,2014,40(11):1398-1407.

[38] 谭凯炎,杨晓光,任三学,等. 高温胁迫对华北地区冬小麦灌浆及产量的影响[J]. 生态学报,2015,35(19):6355-6361.

[39] 李森,韩丽娟,毛留喜,等. 小麦干热风灾害综合强度指数研究[J]. 自然灾害学报,2018,27(2):174-183.

Construction of Agrometeorological Index System for Winter Wheat in HuangHuaiHai Region

Wang Chunzhi¹, Mao Liuxi¹, Yang Xiaoguang², Guo Anhong¹, Jiang Yueqing¹, Hou Yingyu¹

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081, China;
2. College of Resources and Environmental Sciences of China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The agrometeorological index system of winter wheat is the basis of quantitatively evaluating agricultural meteorological condition of winter wheat and issuing agricultural meteorological disaster warning and forecasting, also the basis of agrometeorological services. This paper explained the connotation of agrometeorological index of winter wheat, and the advantages and disadvantages of the research methods on agrometeorological index were comprehensively compared and analyzed, then based on general rule of establishing agrometeorological index system of winter wheat, the agrometeorological index system of winter wheat in HuangHuaiHai (HHH) region is established, which consists of four first grade indices and twenty-one second grade indices. The first grade indices consist of four categories: agrometeorological index of winter wheat varieties properties, agrometeorological index in the key development periods of winter wheat, the main agricultural meteorological disaster index, the main physiological and meteorological index of diseases and pests of winter wheat. The agrometeorological index of winter wheat varieties properties consists of meteorological index of variety types, regional layout and cultivation management reflecting varieties properties and regional layout. The agrometeorological index in the key development periods of winter wheat consists of meteorological index of sowing and seedling stage, tillering stage, wintering stage, regreen stage, jointing stage, heading and flowering stage, milk ripe stage, maturing stage, which is mainly composed of index reflecting whether meteorological condition suitable or not in the key growth period. The main agricultural meteorological disaster index of winter wheat consists of the index of drought, winter freezing, late frost, waterlogging, dry hot wind, continuous rain in harvest time which reflects different disaster degree. The main disease and pest index is mainly composed of wheat powdery mildew, wheat scab, wheat rust, wheat aphids. This paper also researches the methodologies in filtering index and comprehensive integration index and weighting method.

Key words: HuangHuaiHai (HHH); winter wheat; agrometeorology; index system