

# 河北省设施农业寡照概率时空分布规律的研究

张 欣<sup>1,2,3</sup>, 杨再强<sup>1</sup>, 魏瑞江<sup>3,4</sup>, 谷永利<sup>5</sup>

(1. 南京信息工程大学 应用气象学院, 江苏 南京 210044; 2. 河北省气象服务中心, 河北 石家庄 050021;  
3. 河北省气象与生态环境重点实验室, 河北 石家庄 050021; 4. 河北省气象科学研究所, 河北 石家庄 050021;  
5. 河北省气象信息中心, 河北 石家庄 050021)

**摘 要:**基于河北省 141 个气象观测台站 1981—2012 年日照观测资料的统计, 结合寡照灾害指标利用 K-means 聚类分析法对冷半年(10 月至翌年 4 月)和暖半年(5—9 月)设施农业寡照灾害的时空分布特征进行了分析。结果表明:冷半年全省分为东南部和西北部 2 个分区, 东南部分区从 11 月第 2 候至翌年 1 月第 4 候是易发寡照和持续性寡照的时段, 西北部分区发生寡照的可能性整体相对较小, 近 30 年 2 个分区不同强度的寡照事件发生次数均呈显著上升趋势;暖半年全省分为南部、中部和东北部、西北部 3 个分区, 前 2 个分区易发寡照的时段都是 7 月第 2 候至 8 月第 4 候, 中部和东北部分区从 8 月第 5 候开始寡照概率较南部分区明显减小, 西北部分区发生寡照的可能性整体相对较小, 近 30 年南部与中部和东北部分区不同强度的寡照事件发生次数都呈显著上升趋势, 该研究为河北省设施农业生产布局及寡照灾害防御提供依据。

**关键词:**寡照; 设施农业; 聚类分析; 河北省

**中图分类号:**S-03 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)01-0053-05

近年来, 河北省设施农业发展迅速, 截止到 2013 年, 河北省蔬菜种植面积 122.0 万  $\text{hm}^2$ , 总产量 7 902.1 万 t, 其中设施蔬菜播种面积 38.4 万  $\text{hm}^2$ , 产量 2 584.6 万 t。

**第一作者简介:**张欣(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为设施农业气象服务。E-mail:hebqx\_xin@126.com.

**责任作者:**杨再强(1967-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事设施作物环境调控机理等研究工作。E-mail:yzq@nuist.edu.cn.

**基金项目:**国家公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201306039)。

**收稿日期:**2014-09-22

然而, 设施农业生产受大风、强降雪、低温、寡照等灾害性天气的影响较大, 其中寡照灾害已经成为影响河北设施农业的主要灾害<sup>[1-4]</sup>。寡照天气往往造成设施作物无法有效获得必需的光照环境, 致使设施作物出现生长缓慢、长势弱、病害多等症状, 从而严重影响产量与品质<sup>[5-11]</sup>。因此, 研究包括寡照在内的各类灾害性天气气候事件概率时空分布特征, 对设施农业生产布局、趋利避害、防灾减灾具有重要的现实意义。

到目前为止, 国内有关设施农业寡照灾害的研究有较多报道。河北省气象科学研究所魏瑞江最早提出了日光温室低温寡照灾害指标<sup>[1]</sup>, 并分析了低温寡照下日

**Abstract:** Taking spring spinach as experimental material, the effect of foliar nitrogen fertilizer on yield of spinach and content of nitrate were studied. The results showed that yield of spinach was between 27 714.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$  and 53 714.3  $\text{kg}/\text{hm}^2$  among the different treatments, spraying nitrogenous fertilizer on foliar could all increase the yield of spinach significantly; the average content of nitrate of spinach was between 118.83  $\text{mg}/\text{kg}$  and 450.63  $\text{mg}/\text{kg}$ , and with the more the nitrogen application, the more the content of nitrate, and at the later term of the growth of spinach, spraying nitrogenous fertilizer causes the accumulation of nitrate spinach. Treatment 6(spraying nitrogenous fertilize at the 6—7 leaves and 9—10 leaves only once respectively) was nearly to the classification and rating criteria of domestic nitrate, and the content of nitrate in treatment 7(spraying nitrogenous fertilize at the three stages respectively) had exceed the standard, the left treatments are all normal. Comprehensively, treatment 4(spraying nitrogenous fertilize at the 3—4 leaves and 6—7 leaves only once) was the best fertilizer way by the yield and nitrate content of spinach, and it could be applied in production.

**Keywords:** spinach; spraying; nitrogenous fertilizer; yield; nitrate content

光温室小气候的变化规律<sup>[2]</sup>。魏瑞江等<sup>[3-4]</sup>对河北日光温室低温寡照灾害进行了风险区划,建立了低温寡照灾害的监测预警系统,并分析了低温寡照天气形势及温室蔬菜致灾环境。叶彩华<sup>[12]</sup>和关福来等<sup>[13]</sup>探讨了日光温室发生连阴寡照时的小气候特征及危害成因,并提出相应的连阴寡照灾害气象预警指标及其防御对策。杨再强等<sup>[14]</sup>对江苏省设施农业寡照灾害时空分布规律进行了研究,构建了北方日光温室气象灾害风险评价模型,其中对寡照气象灾害确定了指标及分级标准<sup>[15]</sup>。于飞等<sup>[16]</sup>建立了贵州省综合农业气象灾害风险评价模型,并利用 GIS 空间分析对农业气象灾害进行了综合风险区划。

然而,针对可能引发设施农业灾害的各类天气气候事件概率时空分布的研究并不多见。该文旨在基于河北省日照观测资料的统计,探讨寡照概率的时空分布特征,以期服务于河北省设施农业生产的优化布局、防灾减灾和科学发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

采用河北省 141 个气象观测台站 1981—2012 年逐日日照时数观测资料,站点分布见图 1。

河北省日光温室一般从 10 月份开始扣棚膜,4 月份随着外界气温的升高,温室的棚膜揭开<sup>[1-4]</sup>,因此该研究将全年划分为冷暖 2 个半年,冷半年为 10 月至翌年 4 月,暖半年为 5—9 月。

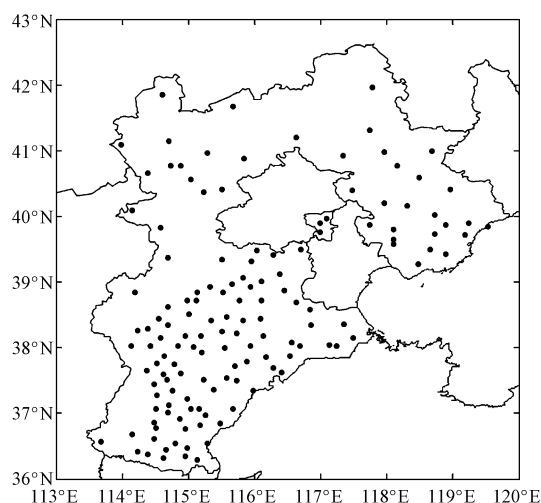


图 1 站点分布图

Fig. 1 Map of the meteorological stations

### 1.2 研究方法

由于温室温度与外界日照条件密切相关,当日照时数达到 3 h 时,日光温室内的温度一般能够达到蔬菜生长发育的要求,而当日照持续不足 3 h 时,则可能发生不

同程度的寡照灾害。因此,该研究将日照 3 h 作为临界值,即日照 $\leq 3$  h 计为一个寡照日<sup>[1-4]</sup>。

以“候”为基本时间单位,分析寡照概率的时间变化。5 d 为 1 候,3 候为 1 气,但因 24 节气的公历日期不恒定,为方便起见,该文将每公历月划分为 6 候,月末不足或超过 5 d 均算作 1 候,全年仍为 72 候。每候的平均日照概率以累年该候出现的寡照频次与候总日数的比值计算。

### 1.3 数据分析

计算采用 Mathworks 公司 Matlab 软件统计工具箱自带程序。采用 Kendall 秩相关系数显著性检验<sup>[20]</sup>分析各等级寡照事件发生次数的长期变化趋势。采用 K-means 聚类分析法<sup>[17-19]</sup>对站点寡照概率曲线的变化类型进行分析,通过不同类别站点的地理分布来分析河北省寡照概率的空间特征。采用魏瑞江等<sup>[1-4]</sup>提出的设施农业寡照等级划分方法,用以统计不同强度寡照事件的发生次数:轻度,连续 3 d 无日照或连续 4 d 中有 3 d 无日照,另 1 d 日照时数小于也 3 h;中度,连续 4~7 d 无日照或逐日日照时数小于 3 h 连续 7 d 以上;重度,连续 7 d 以上无日照或逐日日照时数小于 3 h 连续 10 d 以上。

## 2 结果与分析

### 2.1 冷半年

2.1.1 聚类分区结果 依据 K-means 聚类分析,冷半年(10 月至翌年 4 月)河北省 141 个站点的候平均日照概率变化曲线可划分为 2 个类型(图 2)。黑色和灰色代表站点的类别,圆点的大小表示了站点对所属类别的代表性(圆点越大表示代表性越大)。2 类站点将河北省分成了 2 个分区:第 1 类站点(黑色)分布在邯郸、邢台、

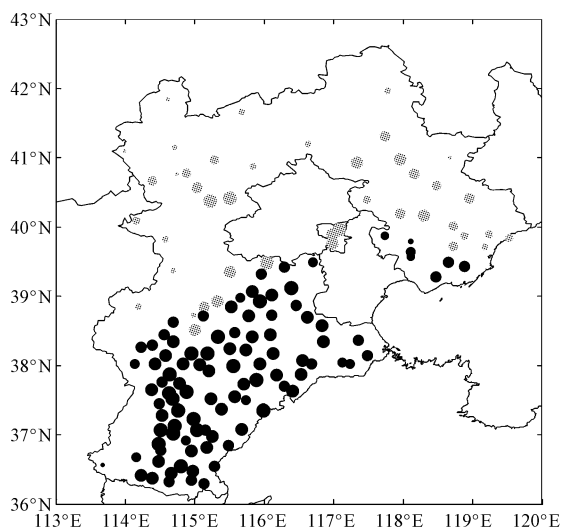


图 2 冷半年(10 月至翌年 4 月)寡照类型

Fig. 2 Clusters of sunshine deficiency in the cold seasons (October to April)

石家庄、沧州,以及保定东南部、唐山西南部和廊坊南部;第2类站点(灰色)分布在张家口、承德、秦皇岛,以及保定西北部、唐山东北部和廊坊北部。实际上,包括北京和天津在内,整个京津冀地区可以划分为东南部和西北部2个分区,分界线还是比较明显的。

**2.1.2 各分区寡照概率特征** 2个分区所对应的2类站点候平均日寡照概率曲线如图3所示。从10月到翌年3月,第1类站点(对应河北省东南分区)较第2类站点(对应河北省西北部分区)发生寡照的概率明显偏高很多。进入4月,第1类站点发生寡照的概率明显降低,接近于第2类站点。第1类站点从11月第2候至翌年1月第4候(即11月6日至翌年1月20日),概率持续在25%以上,最高接近35%,这一时段的寡照和持续性寡照最为高发,如果同时遭遇低温,则容易形成低温寡照灾害。此外,对于第1类站点,10月第2—4候、2月第4—5候、3月第3—5候,这3个时段也是寡照的易发期。而对于第2类站点,10月至翌年4月期间,候平均日寡照概率均多不超过20%,发生寡照和持续性寡照的可能性较小。

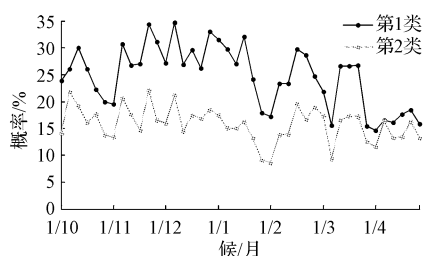


图3 冷半年(10月至翌年4月)2类站点的候平均日寡照概率  
Fig. 3 5-days averaged probabilities of sunshine deficiency for stations from each of the two clusters in the cold seasons (October to April)

**2.1.3 寡照次数年变化特征** 2类站点各等级寡照事件历年平均次数变化曲线如图4所示。2类站点相比,第1类站点重度、中度和轻度寡照事件发生次数明显多于第2类站点。3个等级相比,轻度事件次数>中度事件次数>重度事件次数。为分析1981—2012年各等级寡照事件次数变化趋势,计算了Kendall秩相关系数并进行了显著性检验( $\alpha=0.05$ )。结果认为,2类站点各等级寡照事件平均发生次数均呈显著的上升趋势。从1981—1990年、1991—2000年和2001—2010年3个10年的平均值统计来看,第1类站点重度寡照事件平均次数依次为0.16、0.24、0.33,中度事件平均次数依次为0.71、1.45、1.80,轻度事件平均次数依次为1.19、1.97、2.00。第2类站点各等级寡照事件发生次数亦逐年代增多。

## 2.2 暖半年

**2.2.1 聚类分区结果** 依据K-means聚类分析,暖半

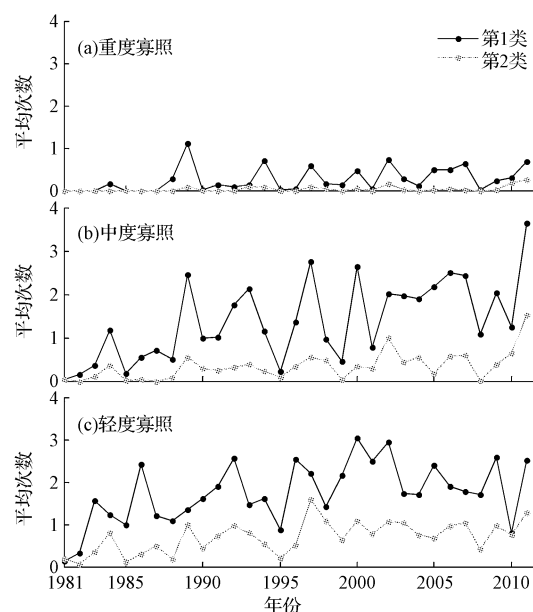


图4 冷半年(10月至翌年4月)2类站点各等级寡照事件  
历年平均次数

Fig. 4 Annual mean number of sunshine deficiency events with different grades for stations from the two clusters in the cold seasons (October to April)

年(5—9月)141个站点的候平均日寡照概率变化曲线被划分为3个类型(图5)。黑色、深灰色和浅灰色分别代表站点的类别,圆点的大小表示站点对所属类别的代表性(圆点越大表示代表性越大)。由图5可知,3个类型的站点将河北省划分成了3个分区:第1类站点(黑色)分布在石家庄、衡水、邢台和邯郸,即河北省南部地区;第2类站点(深灰色)分布主要在承德、秦皇岛、唐山、

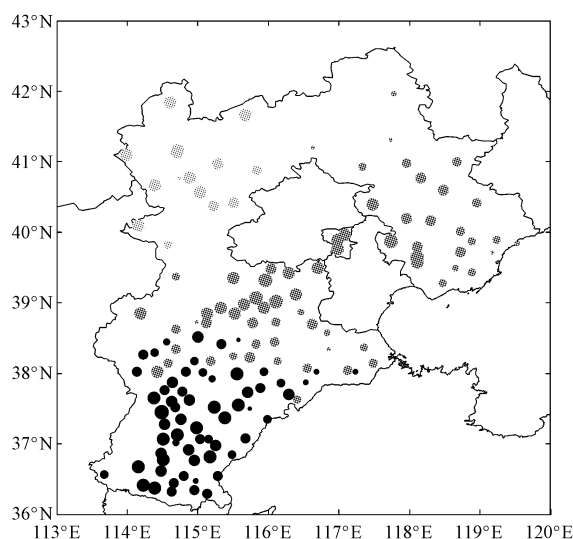


图5 暖半年(5—9月)寡照类型

Fig. 5 Clusters of sunshine deficiency in the warm seasons (May to September)

廊坊、保定和沧州,即河北省中部和东北部地区;第3类站点(浅灰色)都分布在张家口,即河北省的西北部地区。另一方面,上述3个分区中,最具代表性的站点都分布在分区中部,而分区外围,也就是分区交界附近站点的代表性较低。由此可见,3类站点的空间分布特征是非常明显的。

**2.2.2 各分区寡照概率特征** 3个分区所对应的3类站点候平均日寡照概率曲线如图6所示。第1类站点(对应河北省南部分区)与第2类站点(对应河北省中部和东北部分区)的寡照概率在5月上旬至8月中旬都比较接近,而从8月下旬至9月下旬,第2类站点的寡照概率明显较第1类站点减少。第3类站点(对应河北省西北部分区)相比前2类站点,寡照概率在整个5—9月间都明显小很多。从寡照概率随时间的变化来看,第1类和第2类站点在6—7月上旬处于明显的快速上升期,最高值出现在7月中旬至8月中旬期间(基本都在25%以上,最高值接近35%),不同的是第2类站点在8月下旬明显的下降(至20%左右),而第1类站点则没有明显的下降(仍在25%上下),第3类站点的变化则较前2类站点平稳很多,候平均日寡照概率几乎维持在20%以下。由上述分析可见,这3类站点寡照概率曲线的变化,也很好的反映出了3个分区的气候差异。

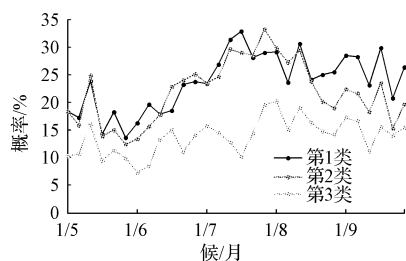


图6 暖半年(5—9月)3类站点的候平均日寡照概率

Fig. 6 5-day averaged probabilities of sunshine deficiency for stations from each of the three clusters in the warm seasons (May to September)

**2.2.3 寡照次数年变化特征** 3类站点各等级寡照事件历年平均次数变化曲线如图7所示。3类站点相比,第1类站点中度和轻度寡照事件发生次数略多于第2类站点,明显多于第3类站点。轻度事件的发生次数多于中度事件。3类站点发生重度寡照事件的次数极少,第3类站点重度事件的发生率接近于0。Kendall 秩相关系数的显著性检验( $\alpha=0.05$ )认为,第1、2类站点各等级寡照事件发平均生次数都呈显著的上升趋势,而第3类站点各等级寡照事件平均发生次数则无显著趋势。

### 3 结论

以河北省141个气象观测台站1981—2012年的日照观测资料为基础,依照河北省农业生产的特点将全年

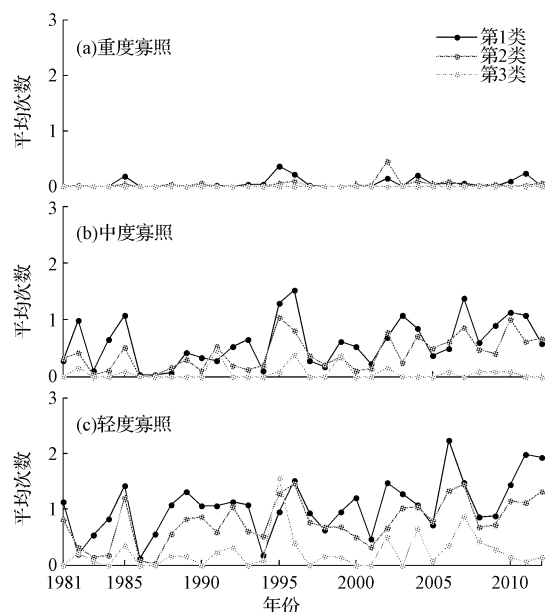


图7 暖半年(5—9月)3类站点各等级寡照事件历年平均次数

Fig. 7 Annual mean number of sunshine deficiency events with different grades for stations from the three clusters in the warm seasons (May to September)

划分为冷半年(10—4月)和暖半年(5—9月),以日照 $\leq 3$  h为寡照日、以候为基本时间单位,统计了候平均日寡照概率,进而采用K-means聚类分析法对站点寡照概率曲线的变化类型进行分析,通过不同类别站点的地理分布分析了寡照概率的空间特征以及相应的时间变化特征。这种空间分析能够自适应于气候特征的地理差异,即反映气候自身的特征,而不受行政区域所限。

该试验结果表明,冷半年河北省分为东南部和西北部2个分区:东南部( $L_1$ 区)包括邯郸、邢台、石家庄、沧州,以及保定东南部、唐山西南部和廊坊南部;西北部( $L_2$ 区)包括张家口、承德、秦皇岛,以及保定西北部、唐山东北部和廊坊北部。 $L_1$ 区从11月第2候至1月第4候是易发寡照和持续性寡照的时段,其次是10月第2—4候、2月第4—5候、3月第3—5候。 $L_2$ 区发生寡照的可能性整体相对较小。 $L_1$ 区重度、中度和轻度寡照事件发生次数明显多于 $L_2$ 区。2个分区各等级寡照事件平均发生次数均呈显著的上升趋势。

暖半年河北省分为南部、中部和东北部、西北部3个分区:南部( $N_1$ 区)包括石家庄、衡水、邢台和邯郸,中部和东北部( $N_2$ 区)包括承德、秦皇岛、唐山、廊坊、保定和沧州,西北部( $N_3$ 区)是张家口。 $N_1$ 区和 $N_2$ 区易发寡照的时段都是7月第2候至8月第4候,不同的是 $N_2$ 区从8月第5候开始寡照概率较 $N_1$ 区明显减小,而 $N_1$ 区仍然较高。 $N_3$ 区发生寡照的可能性整体相对较小。 $N_1$ 区中度和轻度寡照事件发生次数略多于 $N_2$ 区、明显多于 $N_3$ 区。3个分区重度寡照事件发生次数都极少,



$N_3$  区的发生率接近于 0。 $N_1$  和  $N_2$  区各等级寡照事件平均发生次数都呈显著的上升趋势, $N_3$  区则均无显著趋势。

该研究就设施农业的主要气象灾害之一——寡照进行了分析。实际上,对设施农业具有灾害性影响的气象灾害还包括低温、大风、强降雪等。不同类型的气象灾害各自的时空分布特征和变化情况如何,以及气象灾害整体的时空分布特征和变化情况如何,尚有待于进一步的研究和探讨,对服务于未来设施农业的科学发展具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 魏瑞江. 日光温室低温寡照灾害指标[J]. 气象科技, 2003, 31(1): 50-53.
- [2] 魏瑞江. 低温寡照下日光温室小气候的变化规律[J]. 华北农学报, 2004, 19(增刊): 132-134.
- [3] 魏瑞江, 李春强, 康西言. 河北省日光温室低温寡照灾害风险分析[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(3): 56-62.
- [4] 魏瑞江, 康西言, 姚树然, 等. 低温寡照天气形势及温室蔬菜致灾环境[J]. 气象科技, 2009, 37(1): 64-66.
- [5] 朱静, 杨再强, 柳笛, 等. 设施芹菜光合特性对寡照胁迫的响应[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 53-58.
- [6] 黄伟, 王英, 张福漫, 等. 低温弱光对温室番茄苗期光合特性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2004(2): 264-267.
- [7] 陈青君, 张福漫, 王永健, 等. 黄瓜对低温弱光反映的生理特征研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 77-81.
- [8] 艾希珍, 马兴庄, 于立明, 等. 弱光下长期亚适温和短期低温对黄瓜生长及光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2091-2094.
- [9] 张善云, 郑坚强. 灾害天气对日光温室蔬菜生产的影响及对策[J]. 北京农业, 2009(12): 13-14.
- [10] 徐凤霞, 王琪珍. 低温寡照对温室大棚蔬菜的影响[J]. 现代农业科技, 2007(21): 15-16.
- [11] 山义昌, 徐凤霞, 王善芳. 低温寡照对日光温室蔬菜的影响及防御[J]. 山东气象, 2008(1): 35-37.
- [12] 叶彩华. 日光温室连阴寡照的小气候特征、预警指标及防御对策[J]. 农业气象, 2010(3): 60-62.
- [13] 关福来, 杜克明, 魏瑞江. 日光温室低温寡照灾害监测预警系统设计[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 601-604.
- [14] 杨再强, 费玉娟, 朱静, 等. 江苏省设施农业寡照灾害时空分布规律的研究[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(2): 64-69.
- [15] 杨再强, 张婷华, 黄海静, 等. 北方地区日光温室气象灾害风险评价[J]. 中国农业气象, 2013, 34(3): 342-349.
- [16] 于飞, 谷晓平, 罗宇翔, 等. 贵州农业气象灾害综合风险评价与区划[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 267-270.
- [17] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 18-26.
- [18] Seber G A F. Multivariate Observations[M]. New York: Wiley, 1984: 380-382.
- [19] Spath H. Cluster Dissection and Analysis: Theory, FORTRAN Programs, Examples, translated by J. Goldschmidt [M]. New York: Halsted Press, 1985: 1-226.
- [20] Kendall M G. A new measure of rank correlation[J]. Biometrika, 1938, 30: 81-93.

## Study on Spatial and Temporal Distribution of Sunshine Deficiency Probability for Facility Agriculture in Hebei Province

ZHANG Xin<sup>1,2,3</sup>, YANG Zai-qiang<sup>1</sup>, WEI Rui-jiang<sup>3,4</sup>, GU Yong-li<sup>5</sup>

(1. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Hebei Provincial Meteorological Service Center, Shijiazhuang, Hebei 050021; 3. Hebei Provincial Key Lab for Meteorology and Eco-Environment, Shijiazhuang, Hebei 050021; 4. Hebei Provincial Meteorological Institute, Shijiazhuang, Hebei 050021; 5. Hebei Provincial Meteorological Information Center, Shijiazhuang, Hebei 050021)

**Abstract:** The spatial and temporal distribution of sunshine deficiency probability for agriculture in Hebei province was examined both for the cold seasons (October to April) and the warm seasons (May to September) of the year by clustering analysis, based on the statistics of the sunshine duration observations from 141 meteorological stations during 1981 to 2012. The results showed that in the cold seasons the province was divided into two districts, i. e. the Southeast and the Northwest. High probability of agricultural sunshine deficiency and persistent deficiency in the Southeast occurred mainly during November 6 to January 20. The incidence of agricultural sunshine deficiency in the Northwest was overall relatively small. Significant increasing trends were detected in sunshine deficiency events with different grades for the two districts during the recent 30 years. The province was divided into three districts in the warm seasons, i. e. the South, the Central-Northeast and the Northwest. High probability of agricultural sunshine deficiency in the South and the Central-Northeast occurred mainly during July 6 to August 20. The incidence of agricultural sunshine deficiency in the Central-Northeast was obviously smaller than that in the South during August 21 to September 30. The incidence in the Northwest was overall relatively small. Significant increasing trends were detected in sunshine deficiency events with different grades for the South and the Central-Northeast during the recent 30 years.

**Keywords:** sunshine deficiency; probability; spatial and temporal distribution; Hebei Province