

# Hail Disaster Risk Analysis of cotton at Different Growing Stages in China

ZHAO Jintao<sup>1,2,3</sup> WANG Jingai<sup>1,2</sup> YIN Yuanyuan<sup>1,2</sup> MA Jin<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

<sup>2</sup>Key Laboratory of Regional Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

<sup>3</sup>Langfang Normal College, Hebei 065000, China

<sup>4</sup>The Civil Administration Bureau of Suzhou City, AnHui 234000, China

**Abstract:** In China, hail is one of the major hazards that influence the growth of cotton, one of the most important economic crops. In this study, a model coupling the spatio-temporal patterns of both hail-hazard and vulnerability of cotton-growth is established so as to assess the risk of hail disasters in cotton production. Spatial analysis is conducted with GIS tools on a dataset of historical hail disasters in China. The results of the model reveal that: 1) amongst all the growing stages of a cotton plant, hails are most likely to strike in the stages of seedling and budding, with the probabilities of 30.4% and 29.2%, respectively. In contrast, the probability is the lowest in the stage of opening of bolls, 5.4%. 2) From the perspective of the country, cotton planting is under high risk during the growing stages of budding, seedling and boll. The areas of cotton plants under high risk corresponding to those three growing stages account for 31.2%, 22.18% and 13.08% of total area planted across the country, respectively. The risk is relatively low during the stages of sowing and opening of bolls. 3) Cottons exposed to high risk during their growing stages of budding and seed-ling are mainly distributed in Huang-Huai-Hai Plain and Xinjiang cotton-growing districts. Implications from this study can be used for making growing-stage-specific risk reduction plans as well as discriminated pricing of cotton-hail insurance lines.

**Keywords:** hail disaster; cotton; growing stages; risk assessment

## 中国棉花不同生育期冰雹灾害风险评价

\*

赵金涛<sup>1,2,3</sup> 王静爱<sup>1,2</sup> 尹圆圆<sup>1,2</sup> 马进<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京 100875

<sup>2</sup>北京师范大学区域地理研究重点实验室,北京 100875

<sup>3</sup>廊坊师范学院,河北 065000

---

\* 基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD20B03); 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY200906019)

<sup>4</sup>安徽省宿州市民政局,安徽 234000

**摘要:** 冰雹灾害是我国常见的灾害,棉花是我国重要的经济作物,冰雹致灾的危险性与棉花承灾体脆弱性的时空耦合,对估算棉花区域雹灾风险具有重要意义。本文基于冰雹案例数据库,通过构建棉花雹灾风险评价模型,采用GIS技术,评价了棉花不同生育期雹灾风险。结果表明:(1)苗期和蕾期是我国冰雹致灾高发期,降雹概率分别为30.4%和29.2%;吐絮期遭遇雹灾的概率最小,为5.4%。(2)蕾期、苗期和铃期是我国棉花雹灾风险较高的时期,处于高风险区的棉田面积占全国棉花种植面积比例分别为31.2%、22.18%和13.08%,播种期和吐絮期雹灾风险较低。(3)蕾期和苗期高风险区主要集中在黄淮海平原和新疆地区。本研究可以为我国棉花雹灾分期防范和分区保险费率的厘定提供依据。

**关键词:** 冰雹灾害;棉花;生育期;风险评价

## 1. 引言

冰雹灾害是一种常见的气象灾害,虽然其持续时间短,影响范围小,但突发性强,破坏性大,已经引起学者的普遍关注<sup>[1]</sup>。据WMO(World Meteorological Organization)统计,每年冰雹给世界带来的损失约20亿美元<sup>[2]</sup>。中国是世界上雹灾最为严重的国家之一,平均每年遭受雹灾的面积约 $2 \times 10^6 \text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。棉花是我国主要的经济作物之一,冰雹对棉花的破坏力很大,它可以打烂棉叶、打折枝茎、打坏生长点、打落棉铃,甚至造成棉花绝收<sup>[4]</sup>。我国大部分地区降雹主要集中在4月~9月,正值棉花生育期内,降雹对各不同生长阶段的棉花都会造成损害,因此,选择棉花作为承灾体,研究其不同生育期的雹灾风险对防灾减灾有重要的意义。在冰雹机理研究方面,我国学者雷雨顺<sup>[5]</sup>等在二十世纪七八十年代从雹块的微物理机制、云物理过程等方面作了系统阐述,并首次绘制了我国降雹分布图。在冰雹灾害研究方面,主要集中在冰雹灾害时空格局分析、冰雹灾害组合类型、冰雹灾害区划、降雹对作物生长发育的影响和雹灾后作物补救措施等方面<sup>[6]</sup>,如王静爱等对1990年~1996年时段全国尺度冰雹灾害时空动

态格局进行了分析,并提出了冰雹灾害的4种组合类型<sup>[7]</sup>。李存山等对鲁西北地区冰雹对不同生育期棉花影响的研究,得出了“棉花雹灾日期—灾情—产值查对表”<sup>[8]</sup>。在冰雹灾害风险研究方面,国外多以作物保险数据为基础,对农作物雹灾损失风险进行评价<sup>[9]</sup>。国内学者采用降雹频次、人口密度和人均gdp等指标,分析了区域冰雹灾害风险<sup>[10,11]</sup>,近期,有学者对我国汽车雹灾风险进行了评价<sup>[12]</sup>。整体看,关于雹灾风险评价研究并不很多,我国的相关研究刚刚起步,而在全国尺度下,以作物不同生育期为时间序列的雹灾风险研究尚属空白。因此,本文基于冰雹案例数据库,运用区域灾害系统理论<sup>[13]</sup>,以县域棉田为评价单元,通过分析我国棉花不同生育期雹灾危险度和承灾体脆弱度,编制我国棉花不同生育期的雹灾风险时空分布图,以期为我国棉花雹灾分期防雹和分区保险费率的厘定提供科学依据。

## 2. 数据和方法

### 2.1. 数据库建立

本文建立了中国雹灾案例数据库(1949-2008)和棉花承灾体数据库(2008),雹灾案例库数据由《全国报刊灾害案例库》、《中国气象灾害

大典》、《中国气象灾害年鉴》、《中国减灾》和网络等多个信息源整编而成，共有 2.9 万余条降雹与雹灾数据。棉花承灾体数据库来源于《中国国家农业地图集》、《2008 中国社

会经济统计年鉴》和《1: 25 万全国土地利用图》等地图和统计信息，从中提取了全国棉花分布图，县域棉花产量及种植面积数据等（表 1）。

表 1 中国棉花雹灾风险评价数据源

数据库	数据源	主要信息	来源
中国雹灾案例数据库	《全国报刊灾害数据库》	1949 年~2005 年冰雹灾害案例数据	北京师范大学区域地理研究实验室
	《中国气象灾害大典》	1949 年~2000 年全国各县冰雹案例数据	温克刚.中国气象局, 气象出版社, 2008
	《中国气象灾害年鉴》	2005 年~2007 年全国各县冰雹案例数据库	中国气象局, 气象出版社, 2006~2008
	《中国减灾》	2001 年~2004 年全国各县冰雹案例数据库	民政部国家减灾中心
	Google 搜索	2008 年全国各县冰雹案例数据库	互联网
中国棉花承灾体数据库	《中国国家农业地图集》	全国棉区点状空间分布	中国地图出版社,1989
	《1: 25 万全国土地利用图》(电子版)	结合棉区点状分布图, 提取全国县域棉花种植区及面积	中国科学院地理科学与资源研究所
	《中国县(市)社会经济统计年鉴 2008》	全国县域棉花产量	中国统计出版社, 2008

## 2.2. 评价模型与指标

自然灾害风险是在一定区域和给定时段内，由于特定的自然灾害引起的人民生命财产和经济活动的期望损失值，联合国人道主义事务部将风险度 (Risk) 用危险度 (Hazard) 与脆弱度 (Vulnerability) 的乘积表示<sup>[14]</sup>。

$$Risk = Hazard \times Vulnerability \quad (1)$$

本文根据式 (1)，基于棉花不同生育期雹灾损失率的不同，构建了棉花不同生育期雹灾风险评价模型。

$$R_i = h_i \times v_i \quad (2)$$

式 (2) 中， $R_i$  为棉花第  $i$  个生育期的雹灾风险值； $h_i$  为棉花第  $i$  个生育期的雹灾危险度指数； $v_i$  为棉花第  $i$  个生育期雹灾的脆弱度指数，其中

$$h_i = b_i / d_i \quad (3)$$

$$v_i = p \times e \times c_i \quad (4)$$

式 (3) 中， $h_i$  为棉花第  $i$  个生育期的雹灾危险度指数； $b_i$  第  $i$  个生育期降雹

频次； $d_i$  为第  $i$  个生育期天数。式

(4) 中， $v_i$  为棉花第  $i$  个生育期雹灾的脆弱度指数； $p$  为棉花单产指数； $e$  为棉田暴露度指数； $c_i$  为棉花第  $i$  个生育期雹灾易损性指数。

影响冰雹灾害危险度的因素主要有降雹频次和降雹强度等，其中降雹强度由冰雹直径大小、降雹持续时间、降雹密度、降雹面积等因素综合决定。考虑资料的易获取性，本文采用棉花不同生育期日均降雹频次作为冰雹灾风险的致灾因子。

棉花雹灾脆弱度除了和棉花本身的抗雹能力大小有关外，还与棉花单产水平及种植规模有关。同等冰雹致灾强度下，棉花单产水平越高，雹灾损失风险越大；选取棉花种植面积作为暴露度指标，棉花种植规模表示了承灾体的暴露程度，种植区面积越大，承接雹灾的可能性越大。因此，本文选用棉花单产指数 ( $p$ )、棉田面积指数 ( $e$ )、棉花不同生育期雹灾

易损性指数 ( $c_i$ ) 三个指标乘积来表示承灾体的脆弱度。

### 2.3. 生育期雹灾易损性指数

在棉花整个生育过程中，共经历播种期 ( $t_1$ )、苗期 ( $t_2$ )、蕾期 ( $t_3$ )、铃期 ( $t_4$ ) 和吐絮期 ( $t_5$ ) 五个生育时期<sup>[15]</sup>。我国棉花种植范围十分广泛，不同区域的棉花生育期在时间上有较大差异，按棉花生育期时间一致性，分为华南及四川盆地、华

中及新疆南疆区、华北及新疆北疆区和东北南部区等四个棉区。我国棉花最早于 4 月初在华南及四川盆地区已经开始播种，截至 10 月底，东北南部区棉花收获，棉花各个生育期时间段随着种植区域的北移而推后。如果将 4 个棉区的 5 个生育期时间段与降雹日期段一一对应 (图 1)，可以看出， $t_2$ 、 $t_3$  和  $t_4$  是降雹频发时期， $t_1$  和  $t_5$  降雹次数则明显减少。

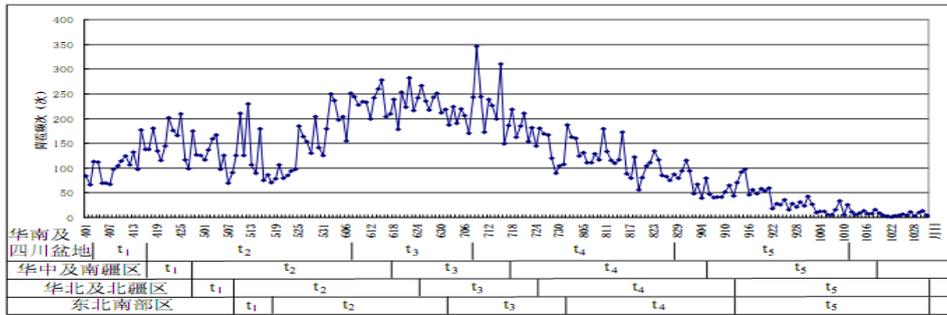


图 1 中国不同区域棉花各生育阶段划分

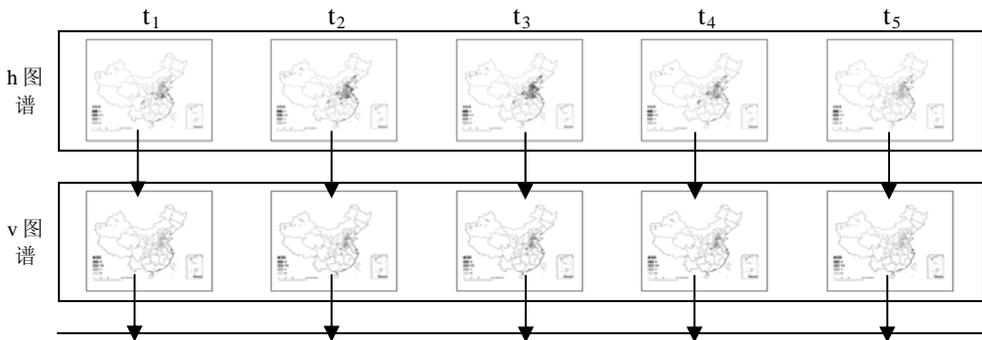
在遭受同等强度的冰雹打击后，不同生长时期的棉花产量损失率存在差异，这是棉花本身所具有的物理特性决定的。从  $t_1$  到  $t_5$ ，棉株雹灾损失率有一个从增加到减少的过程， $t_5$  损失率最低， $t_3$  和  $t_4$  较高。根据“棉花雹灾日期—灾情—产值查对表”<sup>[8]</sup>，求出每个生育期内雹灾损失率的平均值，作为不同生育期雹灾易损性指数 (表 2)。

表 2 棉花不同生育期 ( $t_i$ ) 的雹灾易损性指数 ( $c_i$ )

t	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>
c	0.11	0.25	0.35	0.30	0.09

### 2.4. 图谱的编制

利用 Arcgis 技术，编制棉花冰雹灾害风险图谱，可以系统的揭示冰雹致灾因子、棉花承灾体以及二者相互作用的棉花雹灾风险时空动态格局 (图 2)。



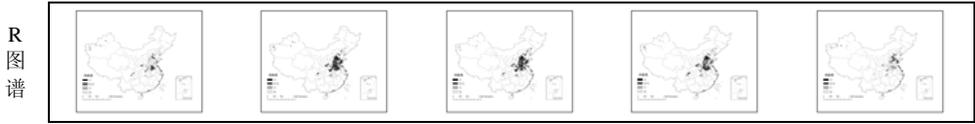


图2 中国棉花雹灾风险成因、时空格局图谱

该图谱编制的步骤：第一，基于不同生育期日均降雹频次，绘制出棉花 5 个生育期 $h$ 图谱；第二，基于脆弱性指数，绘制出棉花 5 个生育期 $v$ 图谱；第三，根据公式（2）进行运算，绘制出棉花 5 个生育期 $R$ 图谱。在图谱编制过程中，为了便于对比分析，进行了数据无量纲化处理，按指数分级法，将危险度（ $h$ ）、脆弱度（ $v$ ）、风险度（ $R$ ）都划分为高、较高、中、低四个级别。

### 3. 时空格局分析

#### 3.1. 不同生育期冰雹致灾危险性（ $h$ ）分析

由于本文雹灾 $h$ 是由降雹频次来决定的，因此，不同生育期 $h$ 空间分布反映了降雹频次的分布，降雹概率越大，危险度越高；降雹概率越小，危险度越低。统计表明，各生育期降雹概率由大到小依次为 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_1$ 和 $t_5$ ，降雹概率分别为 30.4%、29.2%、18.7%、16.3%和 5.4%。从空间分布格局来看，棉花雹灾高危险区分布特点如下： $t_1$ 雹灾高危险区分布在长江以南、安徽北部和江苏东部，这是因为此期正值 4 月上旬，我国降雹主要发生在南方地区； $t_2$ 处于 4 月中旬到 6 月上旬，正值我国降雹高峰期，雹灾高危险区范围较广，集中在新疆、辽宁西部、安徽北部、山东中部、江苏东部和江汉平原多个棉区； $t_3$ 雹灾高危险区范围较 $t_2$ 明显增大，向河北、山西、陕西推移扩散；和 $t_3$ 相比， $t_4$ 雹灾高危险区出现南移，范围缩小，集中在四川盆地、安徽北部、渭河谷地和新

疆； $t_5$ 全国大部分棉区处于低危险，高危险区仅出现在新疆阿克苏地区。随着棉花生育期的变化，我国棉区雹灾高危险区范围呈现由小到大再变小的过程，区域上呈现先北移再南撤的特点，这和我国降雨带随棉花生育期变化而变化的规律基本一致。

#### 3.2. 不同生育期雹灾承灾体脆弱性（ $v$ ）分析

由于棉花雹灾 $v$ 是由棉花单产、种植面积及易损性指数三个指标综合决定，前两个指标无时间维，因此，时间序列上的脆弱度差异取决于棉花不同生育期易损性指数的变化。时间序列上雹灾 $v$ 由高到低依次为 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_2$ 、 $t_1$ 和 $t_5$ ，各生育期雹灾高脆弱度棉田面积占总种植面积的比例分别为 11.2%、8.9%、6.1%、0.9%和 0.8%。空间格局上看，全国 $t_1$ 和 $t_5$ 脆弱度比较低，仅新疆南疆地区脆弱度较高； $t_2$ 高脆弱区除了新疆以外，集中在河北南部，河南北部地区； $t_3$ 棉株遭受冰雹的易损性最大，高脆弱区范围有所扩展，集中在河南东北部、山东和河北交界地带； $t_4$ 高脆弱区集中在河南与山东交界地区。整体来看，棉花雹灾高脆弱区集中在黄淮海平原、江汉平原和新疆地区。这些地区光热充足，是我国主要的植棉区，产量高，种植面积比较广泛，是雹灾风险防范需重点关注的地区。

#### 3.3. 不同生育期雹灾风险（ $R$ ）分析

棉花雹灾 $R$ 由 $h$ 和 $v$ 两个指标综合决定，评价结果受这两方面的共同影响。从生育期序列来看，我国棉花雹灾高风险区范围由大到小依次为 $t_3$ 、

$t_2$ 、 $t_4$ 、 $t_1$ 和 $t_5$ ，雹灾高风险棉田面积所占比例分别为 31.2%、22.18%、13.08%、6.21%和 2.25%（图 4 中统计

表）。可见，蕾期是棉花雹灾高风险期，为重点防范期。

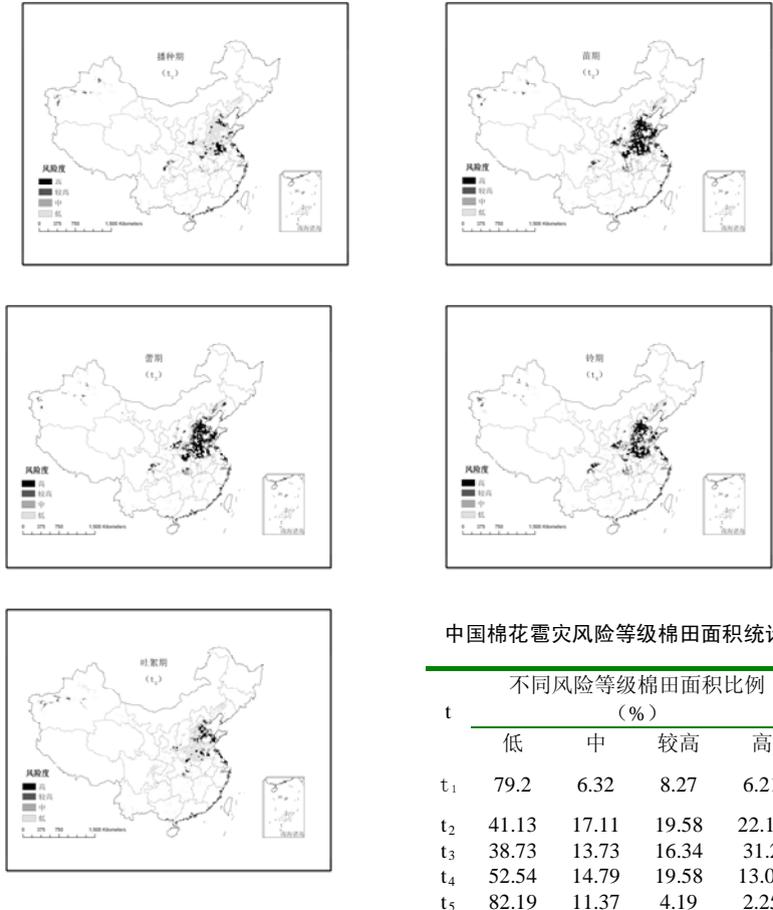


图 4 棉花雹灾不同生育期雹灾风险图谱

我国棉花 5 个生育期雹灾风险空间分布有以下特点（图 4）： $t_1$ 雹灾风险比较低，高风险区范围较小，出现在新疆阿克苏和安徽北部地区； $t_2$ 高风险区主要集中在新疆南疆地区、天山北坡中部区、安徽北部、河南东部、湖北中部、陕西中部和江苏东北部等；和 $t_2$ 相比较， $t_3$ 高风险区范围向北扩展，安徽北部、河南东部、河北南部和山东西北部连成一片，该地区是蕾期重点防范区域； $t_4$ 高风险范围较 $t_2$

和 $t_3$ 相比，有所缩小，分布相对也较为零散，主要集中在新疆地区、渭河谷地和黄淮海平原地区；吐絮期雹灾风险较低。从整个生育期上来看，辽宁西部、四川盆地和华南棉区雹灾风险较低，而西北内陆棉区雹灾风险较大，应重点关注。

#### 4. 结论与讨论

本文基于数据库和灾害系统理论，对中国棉花冰雹灾害风险分 5 个生长阶段进行了评价，并首次绘制了棉花各生育期雹灾危险性、脆弱性和风险性图谱，得出 3 个基本认识：

(1) 苗期和蕾期遭遇雹灾的概率最大，分别为 30.4% 和 29.2%，吐絮期遭遇雹灾的概率最小，为 5.4%。随着棉花从播种期、苗期、蕾期、铃期到吐絮期的变化，我国棉区雹灾高风险区范围呈现由小到大再变小的过程，区域上呈现先北移再南撤的特点。

(2) 蕾期是棉花雹灾高脆弱度范围最大的时期，高脆弱度区域占 11.2%，集中在黄淮海平原、湖北南部和新疆地区。在蕾期高脆弱区加强雹灾防范，可有效的降低棉花雹灾损失。

(3) 棉花雹灾高风险范围最大的时期是蕾期，高风险区域所占比例为 31.2%，蕾期是重点防范期。棉花雹灾高风险区主要集中在黄淮海平原和新疆地区。这些地区不仅是棉花雹灾风险重点防范区，也是我国发展棉花雹灾保险的重点区域。

本文从棉花承灾体的不同生育期进行雹灾风险评价，虽然找出了不同风险水平在不同时段的空间差异，可为棉花分期防雹和重点高风险区雹灾保险费率的厘定提供依据，但是中国地域辽阔，孕灾环境和承灾体区域差异很大，还需要从雹灾区划入手，估算不同区域的不同生长期的棉花雹灾风险，从而更加准确的估算风险，为减灾服务。

## 参考文献

- [1] 张养才，何维勋，李世奎，*中国农业气象灾害概论*，气象出版，北京，1991.
- [2] 董安祥，张强，中国冰雹研究的新进展和主要科学问题，*干旱气象*，22(3)：68-76，2004.
- [3] 中国气象局，*中国气象灾害年鉴*，气象出版社，北京，2008.
- [4] 万艳霞，金卫平等，棉花子叶期雹灾后不同类型棉株生长差异的研究，*中国棉花*，31(10)：12-13，2004.
- [5] 雷雨顺，吴宝俊，吴正华，*冰雹概论*，科学出版社，北京，1978.
- [6] C.Wayne Smith and J.J.Varvil, Jr.Recoverability of Cotton Following Simulated Hail Damage. *Published in Agron J*, 73:597-600,1981.
- [7] 王静爱等，中国 1990~1996 年冰雹灾害及其时空动态分析，*自然灾害学报*，8(3)：46-53，1999.
- [8] 李存山，*棉花种植雹灾保险研究*，海洋出版社，北京，1993.
- [9] H.McMaster. Hailstorm Risk Assessment in Rural New South Wales. *Natural Hazards*, 24:187-196, 2001.
- [10] 罗培，GIS 支持下的气象灾害风险评估模型——以重庆地区冰雹灾害为例，*自然灾害学报*，16(1)：38-44，2007.
- [11] 扈海波，董鹏杰等，北京奥运期间冰雹灾害风险评估，*气象*，34(12)：84-89，2008.
- [12] Yin Yuan-yuan, Wang jing-ai, Zhao jin-tao. Risk assessment of hail disaster based on cars in China. *Natural Disaster Reduction in China*. Number 1 January 2009
- [13] 史培军，三论灾害研究的理论与实践，*自然灾害学报*，11(3)：1-9，2002.
- [14] United Nations Department of Humanitarian Affairs Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and options-A Manual for PolicyMakers and Planners. New York: United Nations,1-164,1991.
- [15] 中国农业科学院棉花研究所主编，*中国棉花栽培学*，上海科学技术出版社，上海，1983.

