

许莹,王猛,杨太明,等,2020.安徽省一季稻高温热害致灾指标研究[J].气象,46(6):857-862. Xu Y, Wang M, Yang T M, et al, 2020. Research on disaster-causing index of single-season-rice heat injury in Anhui Province[J]. Meteor Mon, 46(6):857-862(in Chinese).

安徽省一季稻高温热害致灾指标研究^{*}

许 莹¹ 王 猛² 杨太明¹ 高 超³ 王晓东¹

1 安徽省农业气象中心,合肥 230031

2 河北省唐山市气象局,唐山 063000

3 宁波大学地理与空间信息技术系,宁波 315211

提 要:以气象行业标准《区域性高温天气过程等级划分》为基础,依据 1981—2018 年 7 月下旬至 9 月上旬安徽省 62 个气象站点逐日气象资料,探讨划分出安徽省一季稻高温热害的单站、区域致灾等级指标,将全省一季稻高温热害致灾等级划分为轻、中、重三个等级。采用该指标,对近 40 年全省一季稻高温热害发生情况进行了试评估。结果表明,该指标可以定量地评估全省一季稻高温热害的致灾程度,历史检验灾害等级符合率达到 97%,因此,该指标可应用于安徽省一季稻产量预报和灾害评估业务服务中。

关键词:致灾指标,一季稻,高温热害,安徽省

中图分类号: S16, P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2020.06.012

Research on Disaster-Causing Index of Single-Season-Rice Heat Injury in Anhui Province

XU Ying¹ WANG Meng² YANG Taiming¹ GAO Chao³ WANG Xiaodong¹

1 Agricultural Meteorological Center of Anhui Province, Hefei 230031

2 Tangshan Meteorological Office of Hebei Province, Tangshan 063000

3 Department of Geography and Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211

Abstract: Based on daily meteorological data from 62 stations from late July to early September during 1981 to 2018, and the meteorological industry standard *Temperature Index of High Temperature Harm for Main Crops*, the single-station and regional disaster-causing index of single-season-rice heat injury were divided. According to the regional index, three provincial grades were classified: i. e., light, medium and severe. In addition, the variation of single-season-rice heat injury in Anhui Province in the recent 40 years was analyzed. The results show that, the coincidence rate of historical test of disaster grade reached 97%. It can be used to quantitatively evaluate the effect of heat injury on single-season-rice in the whole province or in a region. Thus, this index can be applied to the operational services of single-season-rice yield prediction and disaster assessment in Anhui Province.

Key words: disaster-causing index, single-season-rice, heat injury, Anhui Province

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506018)和国家自然科学基金面上项目(41571018)共同资助

2019 年 3 月 1 日收稿; 2020 年 3 月 4 日收修定稿

第一作者:许莹,从事农业气象灾害和农业气候资源研究. Email: xuying6222@sohu.com

引言

水稻是安徽省的主要粮食作物,其种植面积和单产均居全省粮食作物首位。近年来,安徽省一季稻播种面积达到稻谷播种面积的70%以上,产量占稻谷总产量的75%。随着气候变暖和气温变幅增大,高温热害对一季稻的影响日益突出,在一季稻孕穗—抽穗—开花期的7—8月,即一季稻对高温最敏感的阶段,安徽省几乎每年都会出现日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的持续高温时段,高温热害已成为制约安徽省一季稻高产稳产的主要气象灾害之一(高素华等,2009)。

目前对水稻高温热害的研究主要集中在水稻高温热害指标(高素华等,2009)、高温热害分布规律(万素琴等,2009;于堃等,2010;何永坤等,2011;陈升宇等,2013;徐敏等,2018)、高温热害风险评估(杨舒畅和申双和,2016;郭安红等,2018),以及通过田间试验研究高温对水稻生理特性(盛婧等,2007;陈庆全等,2008)、产量和品质的影响(周浩等,2011;段骅等,2012;杨太明等,2013;谢志清等,2013)等方面,而对于区域性水稻高温热害致灾程度没有定量的衡量标准。气象部门一直以来在高温预报预警方面做了大量的工作,但主要是对日最高气温的预报,而对灾害的形成研究不深入,评估工作主要侧重于

对高温的强度、持续时间、范围等的评价,由于没考虑孕灾环境与承灾体,不能完全与灾害损失建立关系。本文根据一季稻高温热害的自然、社会经济属性,通过分析高温热害与灾情之间的关系,建立一季稻高温热害的致灾指标和等级,提出了一种综合评价区域一季稻高温热害损失程度的方法,可应用于省级一季稻产量预报和灾害评估业务服务中。

1 资料与方法

1.1 安徽省一季稻种植地理分区

安徽省水稻种植区主要分布在沿淮及其以南地区。淮北地区受温度 and 水分条件限制,不适宜种植水稻,皖南和大别山区受地形条件限制,水稻种植面积较小,安徽省水稻主产区分布在沿江、江淮和沿淮地区。其中沿江江南是安徽省热量条件最好的地区,双季稻种植面积较大,沿淮和江淮地区则主栽一季稻。由于安徽省地理环境复杂,地形和下垫面差异较大,气候差异明显,因此按气候特征和地形地貌类型,结合行政区域,把一季稻种植区分为5个区域:沿淮(12个县、市)、江淮(14个县、市)、沿江(19个县、市)、皖南(13个县、市)和大别山区(4个县、市)(图1a),其中皖南和大别山区由于地形以山区为主,合并简称为山区。

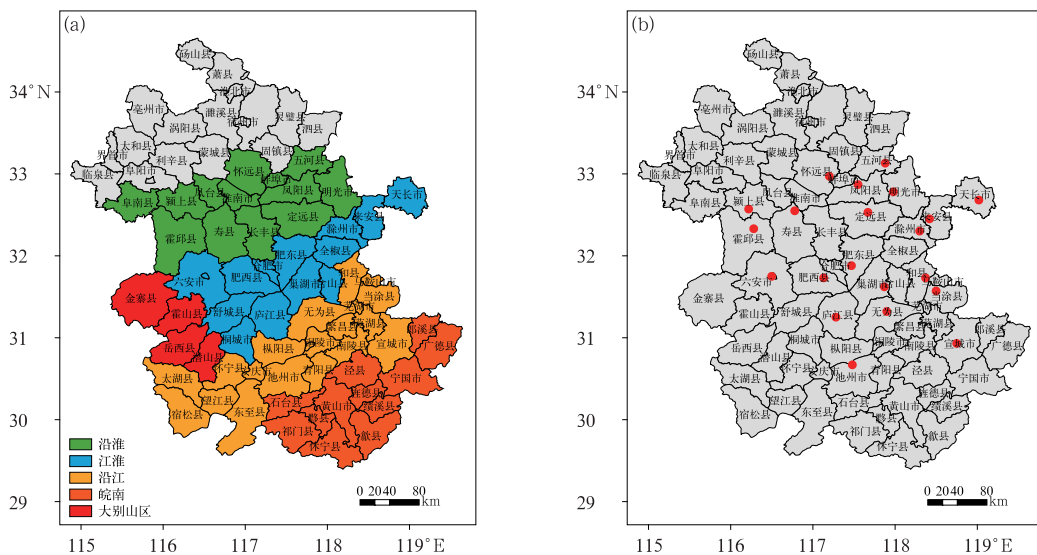


图1 安徽省一季稻种植分区(a)和一季稻观测站点分布(b)

Fig. 1 Planting division (a) and site distribution (b) of single-season-rice in Anhui Province

1.2 资料来源

1981—2018 年安徽省一季稻种植区内 62 个市、县逐日最高气温和日平均气温数据,1981—2018 年 21 个一季稻观测站点(图 1b)的一季稻生育期观测资料均来源于安徽省气象信息中心;1981—2014 年分县一季稻面积数据来源于安徽省统计局;1981—2000 年一季稻高温热害灾情资料来源于《中国气象灾害大典(安徽卷)》(温克刚,2007),2001—2018 年一季稻高温热害灾情资料来源于安徽省农业技术推广总站资料室。

1.3 一季稻高温热害致灾时段确定

根据安徽省近 40 年(1981—2018 年)气象观测数据统计,日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日大多分布在 6—9 月,连续出现的时段主要集中在 7 月上旬至 9 月上旬,其中 8 月上旬出现连续 3 d 以上高温的频率最高,其次是 7 月中旬一下旬和 7 月下旬至 8 月上旬,8 月上旬之前发生连续高温的频率明显高于 8 月上旬以后;而高温热害主要影响孕穗—抽穗扬花期水稻,使花粉发育受影响和开花授粉受精不良,造成空秕粒率上升而减产甚至绝收;从安徽省一季稻观测站点历年发育期来看,7 月下旬至 8 月上旬一季稻普遍处于孕穗期,8 月上旬—中旬为抽穗扬花期,抽穗扬花期最晚可持续到 9 月上旬;因此选择 7 月下旬至 9 月上旬为安徽省一季稻高温热害的观测时段。马晓群等(2001)研究发现,安徽省夏季若 10 d 无有效水分补充,在土壤相对湿度适宜至饱和的情况下,将发生轻旱;在适宜土壤湿度下限至轻旱情况下,10 d 无雨将使干旱加重 1~2 个等级,发生中旱或重旱。因此 7 月下旬即使出现高温天气,由于前期梅雨期降水充足,土壤墒情基本再维持适宜状态,8 月上旬干旱和高温热害叠加,对一季稻产量

的影响较大。

2 安徽省一季稻高温热害致灾等级划分

2.1 单站一季稻高温热害致灾等级指标

根据《主要农作物高温危害温度指标(GB/T 21985—2008)》(中国气象局政策法规司,2008)和安徽省一季稻高温热害指标(高素华等,2009),以日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 或日平均温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 连续出现 3~5 d 为轻度高温热害,连续出现 6~8 d 为中度高温热害,连续出现 9 d 及以上为重度高温热害。统计 1981—2018 年 7 月上旬至 9 月上旬安徽省一季稻高温热害情况发现:在各站点的高温热害年中通常会出现 1~3 次高温热害过程,其中在高温热害比较严重的年份,甚至会出现 2 次重度高温热害过程;如 2013 年 7 月 23 日至 8 月 20 日,长丰县分别出现连续 12 和 15 d 的两次高温热害过程,全椒县则发生连续 27 d 的高温热害过程,虽然两地出现连续高温日数总和相同,但根据水稻高温热害的机理,后者的危害程度显然要强于前者,如果按照原有指标判断,则发生 2 次重度高温热害过程的前者受害程度要重于发生 1 次重度高温热害过程的后者,明显不合理,为了对这种情况进行区分,有必要对原指标重度以上等级进行细分。统计 1981 年以来安徽省一季稻高温热害发生情况,出现 9 d 及以上的高温热害发生概率为 32%,其中 22%持续天数在 9~11 d,7%持续天数在 12~15 d,3%持续天数在 16~30 d;因此把 9 d 及以上重度高温热害又分为极重(12~15 d)和特重(16 d 以上),最终单站一季稻高温热害致灾等级阈值划分见表 1。

表 1 单站一季稻高温热害致灾等级指标

Table 1 Disaster-causing index of single-season-rice heat injury at single station

等级	轻	中	重	极重	特重
日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 或日平均气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 的持续天数/d	3~5	6~8	9~11	12~15	≥ 16

2.2 区域一季稻高温热害致灾等级指标

依据《区域性高温天气过程等级划分(QX/T 228—2014)》(全国气象防灾减灾标准化技术委员

会,2014)对区域性高温天气过程判识的定义,本文把区域一季稻高温热害过程定义为:一个区域出现一季稻高温热害期间至少有连续 3 d 高温天气范围达到设定区域的 5 成或以上的,可判定该设定区域

出现区域性一季稻高温热害天气过程。区域一季稻高温热害致灾等级指标(RI)计算方法均参考区域性高温天气过程等级指标计算方法。

$$RI = \sum_{k=1}^5 G_k W_k \quad (1)$$

式中:RI 为区域一季稻高温热害致灾等级指标, G_k 为区域内单站一季稻高温热害致灾综合强度等级值,取值见表 2; W_k 为区域内 G_k 对应的站点数占总站点数的比例。

单站一季稻高温热害致灾综合强度指标(SI)的计算公式

$$SI = \sum_{j=1}^5 I_j T_j \quad (2)$$

式中:SI 为单站一季稻高温热害致灾综合强度指标; I_j 为单站一季稻高温热害致灾等级,分为轻、中、重、极重和特重(表 1),取值分别为 1,2,3,4,5; T_j 为与 I_j 相对应的高温持续日数。利用式(2)计算设定区域内历史上(1981—2010 年)所有区域性一季稻高温热害过程中每个站点的 SI 值,并统计每个 SI 值出现频次,然后对 SI 做升序排列,采用目前国际上使用最多的百分位数法(翟盘茂和潘晓华,2003)将 SI 进行划分,确定每个等级的 SI 的取值区间,由此确定出单站高温热害致灾强度等级值 G_k (见表 2)。

表 2 单站一季稻高温热害综合强度等级值判断

Table 2 Judgment of comprehensive intensity grade of single-season-rice heat injury at single station	
单站一季稻高温热害综合强度等级值(G_k)	取值条件
$G_1=1$	SI 值所对应的百分位数达 95% 以上
$G_2=2$	SI 值所对应的百分位数达[85%,95%)
$G_3=3$	SI 值所对应的百分位数达[60%,85%)
$G_4=4$	SI 值所对应的百分位数在 60% 以下
$G_5=5$	无高温

3 结果分析

通过计算,1981—2018 年安徽省一季稻高温热害致灾等级指标 RI 值变化(图 2),RI 值越大,高温热害灾害强度越小。安徽省高温热害最严重的是 2013 年,其次是 2016 年,之后是 2003 年和 1992 年。

分析不同年代安徽省一季稻高温热害致灾等级指标 RI 值变化情况(表 3),可以看出,1981—1990 年 RI 平均值最大,即安徽省一季稻高温热害最轻,且 RI 值变率也是最小的。2011—2018 年 RI 平均值最小,是高温热害最严重的时期,同时 RI 值变率也最大,其中 $RI<3$ 的高温热害占 62.5%;2001—2010 年次之, $RI<3$ 的高温热害占 30%。总体来看,

1981 年以来安徽省一季稻高温热害有逐渐加重趋势。

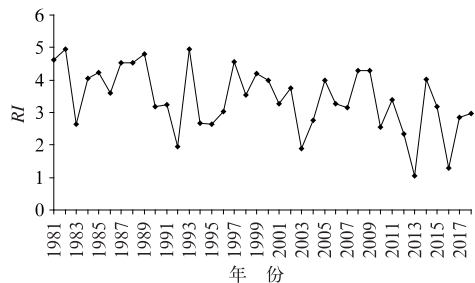


图 2 1981—2018 年安徽省一季稻高温热害致灾等级指标变化

Fig. 2 Variation of disaster-causing single-season-rice heat injury in Anhui Province during 1981—2018

表 3 不同时期安徽省一季稻高温热害致灾等级指标

Table 3 Disaster-causing indice of single-season-rice heat injury in different ages				
RI	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年	2011—2018 年
平均	4.11	3.47	3.32	2.64
最大	4.95	4.94	4.29	4.02
最小	2.63	1.94	1.90	1.06
变率	0.18	0.27	0.23	0.39

从不同种植区域(图 3)来看,高温热害程度(RI 值越小,高温热害越严重)依次为:沿江>山区>江淮>沿淮;各区域 RI 值与全省 RI 值均为极显著相关,其中沿江地区 RI 值与全省 RI 值相关系数最大(0.98),其次是江淮地区(0.97),沿淮地区相关系数相对最小(0.91)。近 40 年安徽省各区域一季稻种植面积比为沿淮:江淮:沿江:山区=3:4:2:1,受种植面积影响,当江淮地区发生比较严重的高温热害时,对安徽省一季稻产量会产生明显影响;这也解释了全省高温热害程度 2013 年、2016 年、2003 年依次递减的原因,2013 年各区域 RI 值均在 1~1.24,属于全省性高温热害严重年份;2016 年则是江淮及其以南地区高温热害重于沿淮地区;2003 年则为沿江江南地区重于沿淮和江淮地区。

4 与实际灾情对比

由于实际灾情记录只针对中等以上高温热害损失,因此本文在验证致灾等级指标时,首先根据安徽省一季稻高温热害 RI 值,把全省一季稻高温热害分为轻、中、重三个致灾等级(表 4),由此判断出 1981—2018 年逐年一季稻高温热害致灾等级;再与温克刚(2007)中 1981—2000 年安徽省一季稻高温热害记载,以及安徽省农业技术推广总站资料室水稻高温热害的灾情记录进行对比。结果表明,利用省级一季稻高温热害致灾等级来判断的一季稻高温热害等级与实际灾情等级的历史检验符合率平均达到 96%,其中重度和轻度以下高温热害符合率达到

100%,中度高温热害符合率为 83%(表 5);最后,结合实际灾损情况,得到安徽省一季稻高温热害不同致灾等级对应减产率。

表 4 安徽省一季稻高温热害致灾等级指标及对应减产率

Table 4 Disaster-causing index and yield reduction rate of single-season-rice heat injury in Anhui Province		
致灾等级	省级一季稻高温热害致灾等级指标范围	对应减产率(y)
轻	$RI \geq 3$	$y \leq 3\%$
中	$2 \leq RI < 3$	$3\% < y \leq 5\%$
重	$RI < 2$	$5\% < y \leq 10\%$

表 5 安徽省一季稻高温热害致灾等级检验

Table 5 Validation of disaster-causing index of single-season-rice heat injury in Anhui Province

致灾等级	无或轻	中	重
完全符合	100%	83%	100%
差一个等级	0	14%	0

5 结论与讨论

本文采用一季稻高温致灾指标分析表明,1981 年以来安徽省一季稻高温热害有加重的趋势,与全球气候变暖趋势相吻合,所幸安徽省沿淮和江淮一季稻主产区热害程度总体轻于非主产区,但是 2001 年以来全省各一季稻种植区高温热害均呈加重趋势,主产区的高温热害胁迫也不容忽视。建议沿淮和江淮地区可以采取选用抗高温较强的品种以及早熟高产品种进行合理搭配,使花期避开 7 月下旬和 8 月上旬高温多发期;沿江和山区宜采用灌深水或大面积喷灌的方法,以水调温来降低穗层温度、提高结实率(高素华等,2009)。

本研究只考虑了高温对一季稻影响的单一作用;而在实况中一季稻高温热害往往伴随干旱发生,高温、干旱叠加对一季稻产量影响增大,而降水则会对高温有缓解和减轻的作用,因此造成了有的年份高温热害致灾指标和实际灾情存在差异。另外,谭诗琪和申双和(2016)研究认为随着水稻品种的改良,应当把日最高气温指标提高到 37℃。本研究指标仍需要在应用过程中不断被改进。

参考文献

陈庆全,余四斌,李春海,等,2008. 水稻抽穗开花期耐热性 QTL 的定位分析[J]. 中国农业科学,41(2):315-321. Chen Q Q, Yu S B, Li C H, et al, 2008. Identification of QTLs for heat tolerance at flowering stage in rice[J]. Sci Agric Sin, 41(2): 315-321 (in

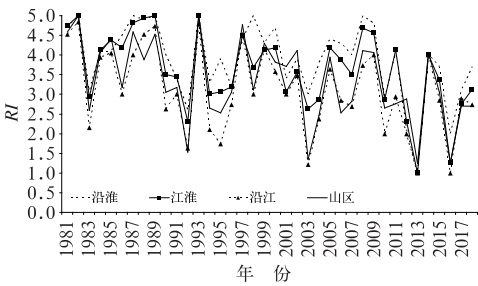


图 3 1981—2018 年安徽省不同区域一季稻高温热害致灾等级指标变化

Fig. 3 Variation of disaster-causing indice of single-season-rice heat injury in different regions of Anhui Province during 1981—2018

- Chinese).
- 陈升学,刘安国,张亚杰,等,2013.气候变化背景下湖北省水稻高温热害变化规律研究[J].气象与减灾研究,36(2):51-56. Chen S B, Liu A G, Zhang Y J, et al, 2013. Dynamic variations of heat injury on rice in Hubei Province under climate change[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 36(2): 51-56(in Chinese).
- 段骅,唐琪,剧成欣,等,2012.抽穗灌浆早期高温与干旱对不同水稻品种产量和品质的影响[J].中国农业科学,45(22):4561-4573. Duan H, Tang Q, Ju C X, et al, 2012. Effect of high temperature and drought on grain yield and quality of different rice varieties during heading and early grain filling periods[J]. Sci Agric Sin, 45(22): 4561-4573(in Chinese).
- 高素华,王培娟,万素琴,等,2009.长江中下游高温热害及对水稻的影响[M].北京:气象出版社:73-76. Gao S H, Wang P J, Wan S Q, et al, 2009. High Temperature Heat Damage in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River and the Impact on Rice [M]. Beijing: China Meteorological Press: 73-76(in Chinese).
- 郭安红,何亮,韩丽娟,等,2018.早稻高温热害强度指数构建及气候危险性评价[J].自然灾害学报,27(5):96-106. Guo A H, He L, Han L J, et al, 2018. Construction of heat damage intensity index of early rice and its climate risk assessment[J]. J Nat Disaster, 27(5): 96-106(in Chinese).
- 何永坤,范莉,阳园燕,2011.近50年来四川盆地东部水稻高温热害发生规律研究[J].西南大学学报(自然科学版),33(12):39-43. He Y K, Fan L, Yang Y Y, 2011. Study on the occurrence of high temperature-induced heat damage in rice in the east of Sichuan Basin in the past 50 years[J]. J Southwest Univ (Nat Sci), 33(12): 39-43(in Chinese).
- 马晓群,盛绍学,张爱民,2001.降水对安徽省长江以北地区旱情演变趋势的影响[J].中国农业气象,22(3):15-19. Ma X Q, Sheng S X, Zhang A M, 2001. Influence of precipitation on drought developing in north of the Yangtze River of Anhui[J]. Chin J Agrometeor, 22(3): 15-19(in Chinese).
- 全国气象防灾减灾标准化技术委员会,2014.区域性高温天气过程等级划分:QX/T 228—2014[S].北京:气象出版社:1-2. National Technical Committee for Standardization of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, 2014. Classification of regional high temperature weather process: QX/T 228—2014[S]. Beijing: China Meteorological Press: 1-2(in Chinese).
- 盛婧,陶红娟,陈留根,2007.灌浆结实期不同时段温度对水稻结实与稻米品质的影响[J].中国水稻科学,21(4):396-402. Sheng J, Tao H J, Chen L G, 2007. Response of seed-setting and grain quality of rice to temperature at different time during grain filling period[J]. Chin J Rice Sci, 21(4): 396-402(in Chinese).
- 谭诗琪,申双和,2016.长江中下游地区近32年水稻高温热害分布规律[J].江苏农业科学,44(8):97-101. Tan S Q, Shen S H, 2016. Distribution of high thermal damage to rice in middle and lower reaches of the Yangtze River in recent 32 years[J]. Jiangsu Agric Sci, 44(8): 97-101(in Chinese).
- 万素琴,陈晨,刘志雄,等,2009.气候变化背景下湖北省水稻高温热害时空分布[J].中国农业气象,30(S2):316-319. Wan S Q, Chen C, Liu Z X, et al, 2009. Space-time distribution of heat injury on rice in Hubei Province under climate change[J]. Chin J Agrometeor, 30(S2): 316-319(in Chinese).
- 温克刚,2007.中国气象灾害大典(安徽卷)[M].北京:气象出版社:67-73. Wen K G, 2007. China Meteorological Disaster Canon (Anhui volume)[M]. Beijing: China Meteorological Press: 67-73(in Chinese).
- 谢志清,杜银,高苹,等,2013.江淮流域水稻高温热害灾损变化及应对策略[J].气象,39(6):774-781. Xie Z Q, Du Y, Gao P, et al, 2013. Impact of high-temperature on single cropping rice over Yangtze-Huaihe River Valley and response measures[J]. Meteor Mon, 39(6): 774-781(in Chinese).
- 徐敏,吴洪颜,张佩,等,2018.基于气候适宜度的江苏水稻气候年景预测方法[J].气象,44(9):1200-1207. Xu M, Wu H Y, Zhang P, et al, 2018. Long-term prediction method of rice annual agricultural climate status in Jiangsu Province based on climatic suitability[J]. Meteor Mon, 44(9): 1200-1207(in Chinese).
- 杨舒畅,申双和,2016.水稻高温热害及其风险评估的研究进展[J].农学报,6(2):122-125. Yang S C, Shen S H, 2016. Research progress of high temperature injury of rice and its risk assessment[J]. J Agric, 6(2): 122-125(in Chinese).
- 杨太明,陈金华,金志凤,等,2013.皖浙地区早稻高温热害发生规律及其对产量结构的影响研究[J].中国农学通报,29(27):97-104. Yang T M, Chen J H, Jin Z F, et al, 2013. Study on the law of rice high temperature induced heat damage and its relationship with rice yield structure in Anhui and Zhejiang Provinces [J]. Chin Agric Sci Bull, 29(27): 97-104(in Chinese).
- 于堃,宋静,高苹,2010.江苏水稻高温热害的发生规律与特征[J].气象科学,30(4):530-533. Yu K, Song J, Gao P, 2010. Characteristics of heat damage for rice in Jiangsu Province[J]. Sci Meteor Sin, 30(4): 530-533(in Chinese).
- 翟盘茂,潘晓华,2003.中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J].地理学报,58(s1):1-10. Zhai P M, Pan X H, 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th Century[J]. Acta Geogr Sin, 58(s1): 1-10(in Chinese).
- 中国气象局政策法规司,2008.主要农作物高温危害温度指标:GB/T 21985—2008[S].北京:中国标准出版社:1. Department of Policies and Regulations, China Meteorological Administration, 2008. Temperature index of high temperature harm for main crops: GB/T 21985—2008[S]. Beijing: China Standards Press: 1(in Chinese).
- 周浩,胡文彬,王作平,等,2011.抽穗扬花期高温对水稻重组自交系群体RIL47结实率的影响[J].中国生态农业学报,19(1):69-74. Zhou H, Hu W B, Wang Z P, et al, 2011. Effect of high temperature at heading and flowering stage on seed-setting rate of rice recombinant inbred line population (RIL47)[J]. Chin J Eco-Agric, 19(1): 69-74(in Chinese).