
2023 年春末黄淮海麦区“烂场雨”极端性特征 及大尺度大气环流场

高晶¹ 高辉^{2*}

1 内蒙古自治区气候中心，呼和浩特 010051

2 国家气候中心，北京 100081

提 要：基于中国气象局逐日降水和日照资料及 NCEP/NCAR 再分析数据集，分析了 2023 年 5 月下旬黄淮海麦区高影响“烂场雨”事件的极端性特征及大气环流配置型，发现就旬平均而言，黄淮海麦区寡照的极端性要强于降水。但各省份间差异明显，其中河南省最为严重。为和历史事件对比，首次提出了河南“烂场雨”事件的客观定义指标，并由此筛选出 1981 年以来全省 18 次最为典型的“烂场雨”事件。本次“烂场雨”事件在所有事件中雨量为第六多，日照为第二少。因此，对河南省而言，寡照时长的极端性亦更为明显。对 1981—2022 年所有事件合成结果显示，造成“烂场雨”的大尺度大气环流形势为西太平洋副热带高压偏西偏强且西段脊线偏北，欧亚中高纬地区为“西低东高”环流型。对比发现，2023 年 5 月下旬“烂场雨”事件的大气环流型在中高纬度和历史事件相似，但热带地区受超强台风玛娃的影响，副热带高压西段发生挤压形变，西北侧的西南风水汽输送明显偏强。同时因“玛娃”长时间稳定维持在菲律宾以东附近，台风东北侧引导的东南风气流较副热带高压西北侧的西南风距平更为强盛。两支水汽在黄淮海地区汇合叠加造成小麦产区持续降水和寡照。

关键词：黄淮海平原，冬小麦，“烂场雨”，台风玛娃，西太平洋副热带高压

资助项目：国家自然科学基金项目（42175048）、内蒙古自然科学基金项目（2022LHMS04004）共同资助
第一作者：高晶，主要从事短期气候预测方面研究。E-mail: 50184845@qq.com
通讯作者：高辉，主要从事短期气候预测方面研究。E-mail: gaohui@cma.gov.cn

"Wheat-soaked" Persistent Rainfall in Late Spring 2023 in the Huang-Huai-Hai Region and the Large-scale Circulation Pattern

2023 年春末黄淮海麦区“烂场雨”极端性特征及大尺度大气环流场

GAO Jing¹ GAO Hui^{2*}

1 Inner Mongolia Climate Centre, Hohhot 010051

2 National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on the daily observations of precipitation and sunshine duration from China Meteorological Administration and the NCEP/NCAR reanalysis data, this paper analyzes the extremity features of a high-impact “wheat-soaked” persistent rainfall event in the Huang-Huai-Hai Plain, which covers the five provinces of Hebei, Shandong, Henan, Jiangsu and Anhui, in late May of 2023 and the atmospheric circulation patterns. The findings suggest that, for the dekad average of five provinces during 21-31 May, the extremity of absent sunshine is more intense than precipitation. However, obvious differences exist among the five provinces, of which the situation in Henan Province is the most serious. To compare both the weather condition and the circulation pattern with historical events, this paper proposes an objective definition of “wheat-soaked rainfall” event in Henan Province for the first time and selects out 18 typical cases during 1981-2022. For the “wheat-soaked rainfall” event in late May 2023, it has the sixth highest rainfall amount and the second lowest sunshine duration among all events. The synthesis of general circulation patterns displays a more westward-northward and stronger western Pacific subtropical high (WPSH), and a “lower in the west while higher in the east” geopotential height anomaly in the mid-high latitudes of Eurasia. Therefore, for Henan Province, the extremity of absent sunshine is more obvious. The results of the synthesis of all events from 1981 to 2022 show that the large-scale atmospheric circulation pattern that causes the “wheat-soaked rainfall” event is that the western Pacific subtropical high (WPSH) is westward stronger and the its western ridge line is northward, while the middle and high latitudes of Eurasia is under the “low in the west and high in the east” circulation pattern. In contrast, the circulation pattern of the “wheat-soaked rainfall” event in late

资助项目：国家自然科学基金项目（42175048）、内蒙古自然科学基金项目（2022LHMS04004）共同资助

第一作者：高晶，主要从事短期气候预测方面研究。E-mail: 50184845@qq.com

通讯作者：高辉，主要从事短期气候预测方面研究。E-mail: gaohui@cma.gov.cn

May 2023 is similar to that of the historical events in the mid-high latitudes. However, in tropical regions, affected by the super typhoon “Mawar”, the western section of the WPSH is squeezed and deformed, and the moisture transport by the southwesterly wind in the northwest side of the WPSH is significantly much stronger. At the same time, because “Mawar” remained stable near the east of the Philippines for a long time, the southeast wind flow guided by the northeast side of the typhoon is stronger than the southwest wind anomaly on the northwest side of the subtropical high. The two branches of water vapor superposes, leading to persistent precipitation and long-time absence of sunshine in the Huang-Huai-Hai region.

Key words: the Huang-Huai-Hai Plain, winter wheat, “wheat-soaked rainfall”, typhoon “Mawar”, western Pacific subtropical high

引言

我国是全球小麦产量最高的国家。联合国粮农组织数据表明，自 20 世纪 90 年代中期开始我国小麦产量一直稳居全球首位，这其中冬小麦占到了绝对比例。作为小麦生长全过程的最后一个环节，收储工作尤为重要。收储期间的气象条件可影响小麦的质量和数量，或引起小麦价格波动并改变市场供需平衡，甚至直接关系到国家粮食安全和人民群众美好生活。因此，小麦收储期间气象条件的重要性不言而喻。

根据国家统计局 2021 年统计数据，我国冬小麦产量最多的省份主要集中在冀鲁豫苏皖五省，也即黄淮海地区。上述五省产量占全国总产量份额的 83%。黄淮海平原地处暖温带半湿润气候区，受冬/夏季风气候的作用，种植区冷暖气和旱涝事件频繁，对小麦生长影响较大。因此研究该地区冬小麦的主要气象灾害具有重要的意义（王纯枝等，2019）。尤其是随着全球气候变暖，我国北方季风区极端天气气候事件增多，冬小麦产量的不确定性正在加大（冯立坤和李喜贵，2021）。冬小麦省生长的不同阶段气象灾害影响不同，春季主要是倒春寒天气的影响（赵广才等，2015）。干热风则是冬小麦生长后期主要气象灾害，易造成小麦灌浆不足甚至枯萎死亡，最终影响产量和品质（郑大玮等，2005）。黄淮海平原冬小麦收获期主要集中在 5 月中下旬至 6 月上中旬，这一期间若遭遇持续阴雨寡照天气，将导致麦粒发霉变质，后期气温快速回升还将造成麦穗发芽，对小麦产量和品质影响大，因此这一时段的持续阴雨也被称之为“烂场雨”。气候变暖下，黄淮海地区因“烂场雨”造成的麦穗发芽事件发生频次逐渐增多（陈天锡等，1997；赵广才等，2011；2015）。

2023年5月中下旬至6月中旬，黄淮海多地出现连续降雨和寡照天气，且伴有短时强降水、雷暴大风等强对流活动。“烂场雨”天气引发多地麦穗发芽。此次事件发生在冬小麦成熟即将收获时段，对小麦产量、品质和种麦收益都造成了不同程度的影响。其中河南省“烂场雨”事件最为典型，具有持续时间长、影响范围广、过程雨量大三大特点，是近十年最为严重的“烂场雨”天气。本次“烂场雨”事件虽已结束，但其降水和日照的时空异常特征尚需进一步分析，尤其是和历史事件比较。目前对春季持续性降水的研究主要集中在南方连阴雨天气，尤其是长江流域（朱盛明，1991；何慧根等，2015）。吴洪颜等（2017）还构建了基于春季阴雨过程的江苏冬小麦涝渍指数模型。相比之下，北方“烂场雨”事件的研究较少，且主要基于降水单一要素开展（王秀文和李月安，2005）。结合历史事件的降水和日照等资料，对“烂场雨”事件尚未有定义和共性归纳，因此需要基于长时段日照、降水等资料给出“烂场雨”事件的可行性定义，进而筛选出典型历史事件加以总结。

一般而言，受我国夏季雨带阶段性北跳大背景的影响，黄淮海地区雨季主要发生在每年江淮出梅之后，也即7月后半月。2023年5月中下旬至6月中旬的“烂场雨”发生于春末夏初，此时尚未进入雨季集中期，历史上该时段强降水通常以1~2d的过程性降水为主，其环流型也必然和雨带北跳后的典型夏季风雨带不同。本文着重分析此次“烂场雨”能够持续维持的大尺度大气环流背景，以及与历史事件环流相比本次过程的异同点。

1 资料简介

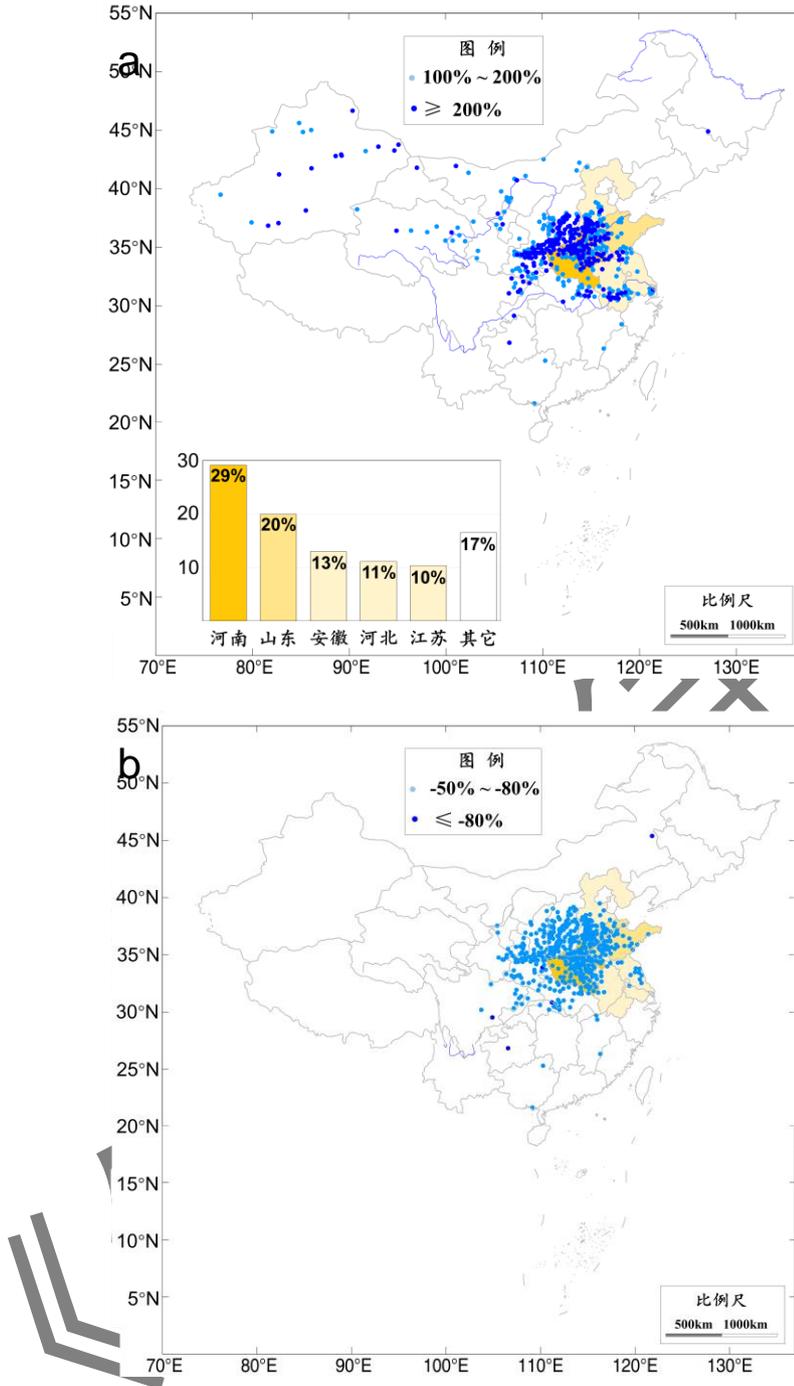
本文使用的逐日降水和日照时长资料源自中国气象局国家气象信息中心发布的“中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集V3.0”（任芝花等，2012），时段为1961—2023年。该数据集集中解决基础气象资料质量和国家级-省级存档资料不一致的问题，数据质量和空间分辨率（测站数）较之前资料明显提高，且经过严格的质量控制，已在科研和实际业务中得到全面的验证和广泛的使用。同时段的逐日大气环流资料取自NCEP/NCAR再分析资料集，资料水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，所用要素包括500 hPa位势高度场、850 hPa水平风场和比湿场（Kalnay et al, 1996; Kistler et al, 2001）。

文中所用我国各省冬小麦产量比资料源自农业部官网数据 (<http://zdscxx.moa.gov.cn:8080/nyb/pc/sourceArea.jsp>), 这里用2021年作为参考。1981年以来逐年南海夏季风爆发日期(精确到候)来自国家气候中心。

2 2023年春末黄淮海麦区“烂场雨”降水和日照极端性特征

由于本次“烂场雨”主要发生在5月下旬, 因此首先分析该旬降水和日照时长距平百分率的大尺度空间分布特征。在全国旬降水距平百分率分布图上(图1a), 黄淮海地区5月下旬降水量普遍偏多一倍以上。根据国家统计局数据, 2021年我国冬小麦产量位居前五的省份分别为河南、山东、安徽, 河北、江苏。从图1a可以看出, 偏多一倍以上的多雨中心恰好主要位于上述五个小麦主产区以及山西和陕西南部, 尤其是河北南部、山东西部、江苏北部、安徽北部和河南, 降水较常年偏多两倍以上。

旬累计日照时长异常偏少的区域空间分布与降水类似。由距平百分率分布可见(图1b), 整个华北平原均偏少50%以上, 尤其是河南省, 全省均偏少50%~80%。结合图1a, 河南本次事件多雨寡照的特征最为显著, 这也是河南麦收受影响最大的直接原因。此外, 河北南部、山东西部、安徽西部等小麦产区累计日照时长也偏少50%~80%。

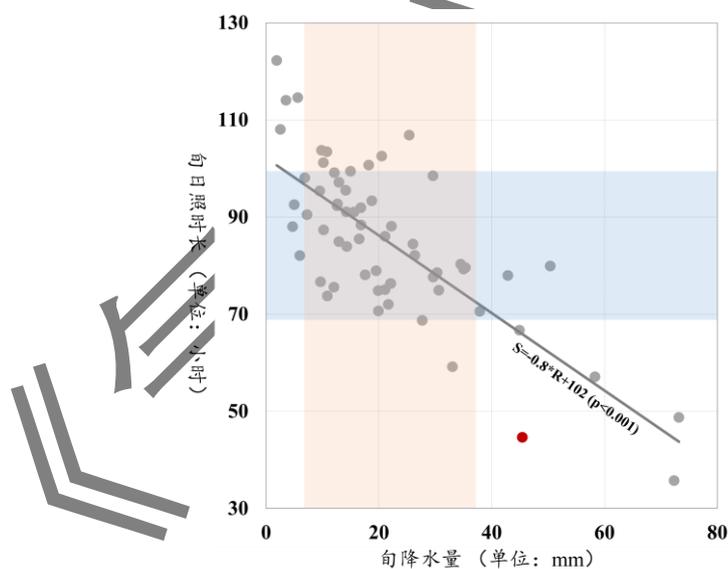


注：图 a 中只给出距平百分率在 100%~200%和 200%以上两级，图 b 中只给出距平百分率在 -80%~-50%和-80%以下两级；涂色省份为冬小麦产量位居全国前五的省份；图 a 左下侧为各省份产量占全国产量百分比。

图 1 2023 年 5 月下旬 (a) 降水和 (b) 日照时长距平百分率

Fig.1 Anomaly percentage of (a) precipitation and (b) sunshine duration during 21-31 May 2023

由图 2 可见黄淮海 5 月下旬降水和日照的极端性。图 2 给出了 1961 年以来，冀鲁豫苏皖五个冬小麦主产区旬降水量和日照时长区域平均值，同时给出了各自的平均态和正负一个标准差范围。由图 2 可知，2023 年 5 月下旬上述五省平均降水量为 45 mm，较气候值 22.8 mm 偏多一倍，在研究时段内（1961—2023 年）位列历史同期第五多。这一旬降水距平超过了一个标准差，但未及两个标准差。同时，日照时长明显少于常年，全旬累积时长为 44.6 h，也即日均 4 h。这一日照时长在研究时段内位列历史第二少，较气候态偏少两个标准差以下，仅高于 1991 年。就旬累积量而言，降水和日照表现出显著的线性关系，降水越多日照总时长越少，二者关系通过 0.001 的显著性水平检验。研究表明，黄淮海地区日照时长可能受到多种因子影响，如气溶胶光学厚度、总云量、低云量和降水量等（王钊等，2012）。但从图 2 结果看，对应旬降水距平超过 1 个标准差的 8 年中无一例外日照时长偏少，因此可以认为 2023 年 5 月下旬日照时长极端偏少的最直接原因是降水偏多所致。因此在下文分析中主要考虑降水和日照要素。



注：蓝色范围为日照时长距平在正负一个标准差之内，黄色范围为降水量距平在正负一个标准差之内，实线为二者线性拟合；红色点为 2023 年。

图 2 1961—2023 年逐年 5 月下旬冀鲁豫苏皖平均的降水量和日照时长散点图

Fig.2 Scatter plot of average precipitation (abscissa) and sunshine duration (ordinate) in the provinces of Hebei, Shandong, Henan, Jiangsu and Anhui in 21-31 May of 1961-2023

由上可见，在旬时间尺度上，黄淮海地区此次“烂场雨”过程中各省降水和日照表现出很好的反相关对应关系。但在日尺度上，上述五省间存在一定的差异。图3给出5月下旬各省逐日降水量和日照时长。可以很清楚地看出，就强降水持续性而言，安徽、河南和江苏更为明显，其中安徽在26—29日的日降水量均超过5 mm，尤其是27日达到26 mm，但这一过程日照时长并不短，除26日不及1 h外，其余均超过4 h·d⁻¹，对小麦影响较小。江苏降水主要集中在27—29日，但日照时长较长，过程平均日照时数为3.5 h·d⁻¹，因此对小麦收获影响也较小。相比于其他省份，河南省在27—30日持续4 d日降水量超过10 mm；同时日照时长在26—29日4 d累计仅为0.37 h。持续强降水和无日照导致了河南省小麦发芽并影响麦收，这也是本次“烂场雨”最主要影响省份是河南省的直接原因。

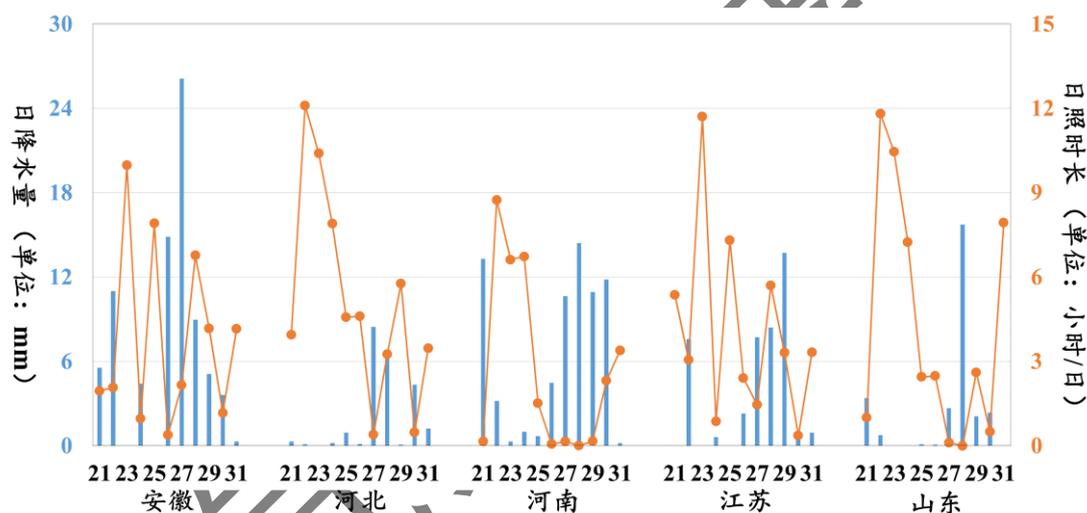


图3 2023年5月下旬冀鲁豫苏皖各省平均的逐日降水量（蓝色直方图，左纵坐标）和日照时长（黄色折线，右纵坐标）

Fig.3 Daily precipitation (blue bar, left ordinate) and sunshine duration (yellow curve, right ordinate) in Hebei, Shandong, Henan, Jiangsu and Anhui

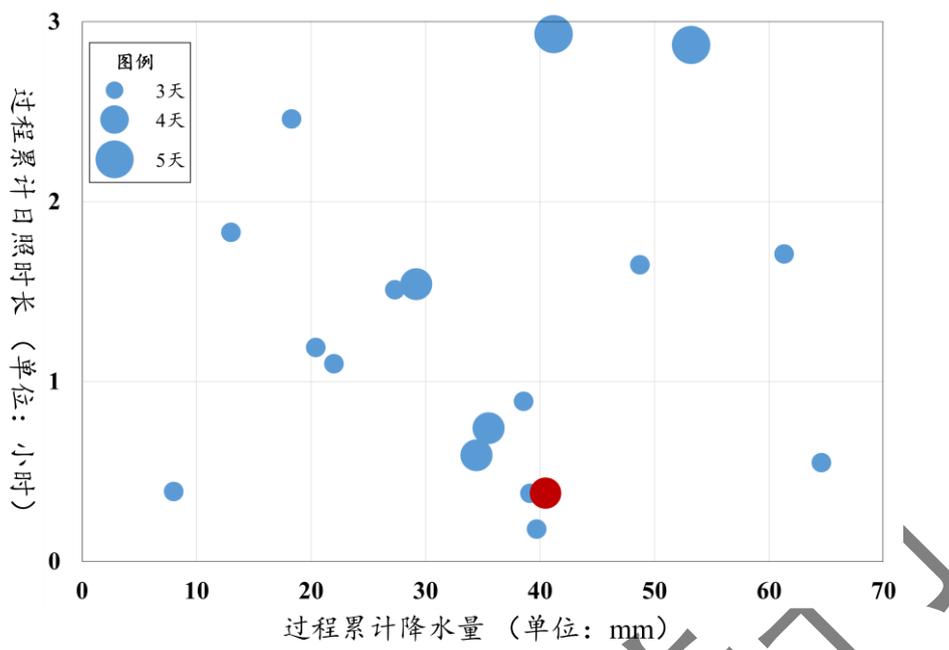
上文从苏皖冀鲁豫五省5月下旬时空平均的角度分析了本次事件降水强度和日照时长在历史上的极端性，但对历史上其他典型事件并未给出分析。本次“烂场雨”主要影响河南省，考虑到不同年份小麦收获时段并不完全一致，因此这里将研究时段拓展到5月中旬至6月中旬，选取典型个例进一步分析河南“烂场雨”事件过程降水量和日照时长分布情况。因“烂场雨”通常是一种通俗性说法，目前气象部门并未有明确的标准，这里首先给出本文定义。在分析全省平均日降水

和日照的概率分布基础上，结合历史上典型事件，本文将河南“烂场雨”定义为：

(1) 时段集中于 5 月中旬至 6 月中旬；(2) 一次“烂场雨”过程至少持续 3 d 以上；(3) 一次过程中每日日照时长均小于 1 h，同时日降水量均超过 1 mm；(4) 一次过程允许有 1 降水或者日照中断，但中断日的日照时长也须在 1~2 h 且该日降水量超过 5mm，或者该中断日的日降水量不及 1 mm，但日照时长低于 0.5 h。由此筛选出 1981 年以来河南省共 18 次“烂场雨”事件（表 1）。图 4 给出了这 18 次事件过程累计降水量和日照时长及持续天数。由图 4 可见，本次“烂场雨”事件过程累计降水为 40.5 mm，在研究时段内（1981—2023 年）位列历史同期第六多，持续 4 d。同时，过程累计日照时长为 0.38 h，位列历史同期第二少，仅高于 1983 年 5 月 22—24 日的累计值（0.18 h）。因此从事件对比看，河南本次“烂场雨”过程同样具有极端性特征。

表 1 1981—2023 年 5 月中旬至 6 月中旬河南省典型“烂场雨”事件
Table 1 Eighteen “wheat-soaked rainfall” cases in Henan Province from mid-May to mid-June during 1981-2023

日期	累计降水量/mm	累计日照/h
1982 年 5 月 28—30 日	27.3	1.51
1983 年 5 月 22—24 日	39.7	0.18
1984 年 6 月 12—14 日	48.7	1.65
1990 年 6 月 18—20 日	61.3	1.71
1991 年 5 月 29 至 6 月 2 日	53.2	2.87
1997 年 6 月 6—8 日	22.0	1.1
1999 年 5 月 15—18 日	29.2	1.54
2007 年 6 月 18—20 日	39.1	0.38
2011 年 5 月 20—22 日	13.0	1.83
2014 年 6 月 14—16 日	8.0	0.39
2016 年 5 月 31 至 6 月 2 日	18.3	2.46
2017 年 6 月 3—5 日	38.6	0.89
2018 年 5 月 18—21 日	34.5	0.59
2020 年 6 月 15—17 日	64.6	0.55
2021 年 5 月 13—16 日	35.5	0.74
2021 年 6 月 13—17 日	41.2	2.93
2023 年 5 月 26—29 日	40.5	0.38
2023 年 6 月 2—4 日	20.4	1.19



注：圆圈大小表示事件日数，红色点为2023年5月末事件，事件选取详见表1。

图4 1981—2023年逐年5月中旬至6月中旬河南典型“烂场雨”事件累计降水量（横坐标）和日照时长（纵坐标）散点图

Fig.4 Precipitation (abscissa) and sunshine duration (ordinate) of 18 typical “wheat-soaked rainfall” cases in Henan Province from mid-May to mid-June during 1981-2023

3 本次黄淮海“烂场雨”过程大气环流型及与历史事件对比

上文从多个角度揭示了本次“烂场雨”的降水和日照时空特征，但对延伸期时段预测而言，了解其发生发展过程中典型的大气环流型也同样重要。由于“烂场雨”发生时段并非在黄淮海地区雨季的最集中时间段(即7月后期至8月前期)，因此其环流型和典型的雨季期间夏季风环流形势并不一致。这里首先合成了除2023年之外的16次事件。图5a给出了合成的500 hPa位势高度场及距平场分布。可以很清楚看出，对前16次事件而言，西太平洋副热带高压(以下简称副高)西伸脊点位置较气候态偏西约5°，前者位于116°E附近，后者位于121°E。此外，合成的副高西段脊线位置也较气候态更偏北，强度也强于气候值。这样的环流配置有利于热带洋面水汽沿着副高西侧南风气流向黄淮海地区输送。合成场上，欧亚中高纬度地区为典型的“西低东高”环流，在朝鲜半岛和我国黄淮以东地区有

一个显著的正位势高度距平区，中心数值高于 30 gpm。在新疆至西亚则为一个负距平区，中心数值低于 10 gpm。黄淮海地区位于上述正负距平中心的中间位置，负距平中心东侧为向南的逆时针距平环流，同时正距平西侧也为向南的顺时针距平环流。在这种偶极型分布的共同作用下，有利于水汽往北方地区输送。

风场和水汽场的分布与 500 hPa 位势高度场基本一致。图 5b 给出了 16 次典型事件合成的 850 hPa 风场距平和比湿场距平。可以看到在南海和西太平洋为一个反气旋式距平风场，对应于副高偏西偏强。在我国东北上空为另一个反气旋式距平环流，对应于 500 hPa 的正位势高度距平中心，但强度弱于其南侧。这样的环流型一方面有利于副高西北侧的西南风气流向北输送，同时中高纬度的“西低东高”环流型导致华北北部基本为平直气流，经向度较小，有利于南北向水汽辐合。另一方面，来自北部正位势高度距平中心南侧的偏东风气流将日本海的水汽输送至西侧的黄淮海地区，受到太行山大地形的阻挡，东西向水汽也较强。因此在黄淮海地区低层为一个气旋式风场距平环流，同时也是强的水汽正距平中心，容易形成低空水汽辐合，造成较强降水且云量增大，导致“烂场雨”事件。

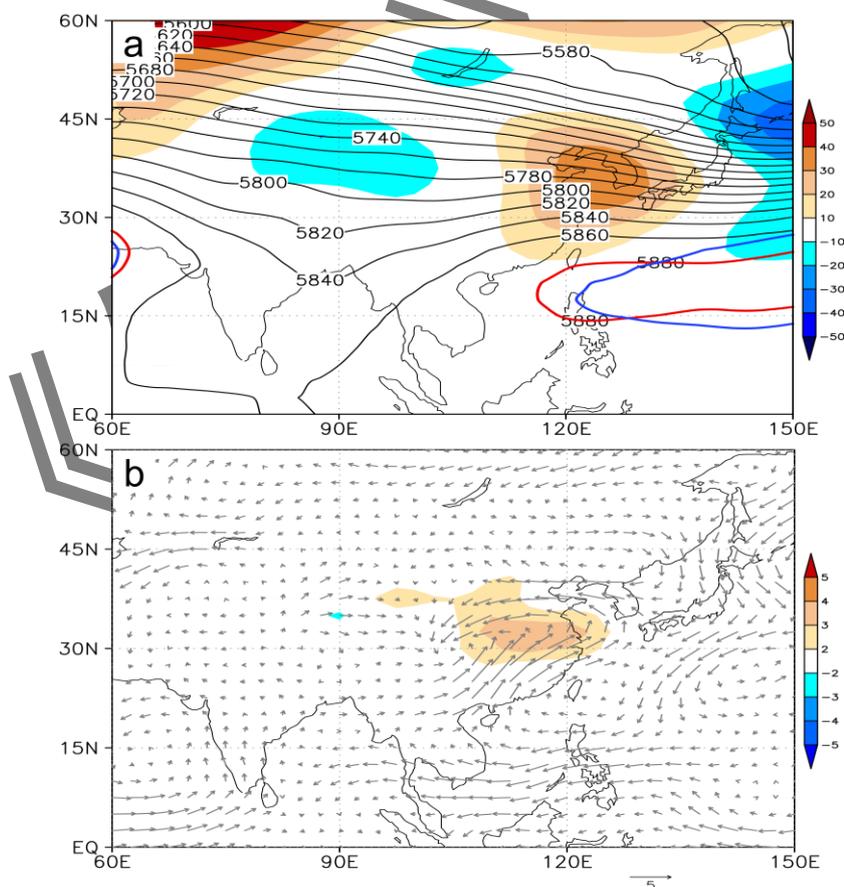


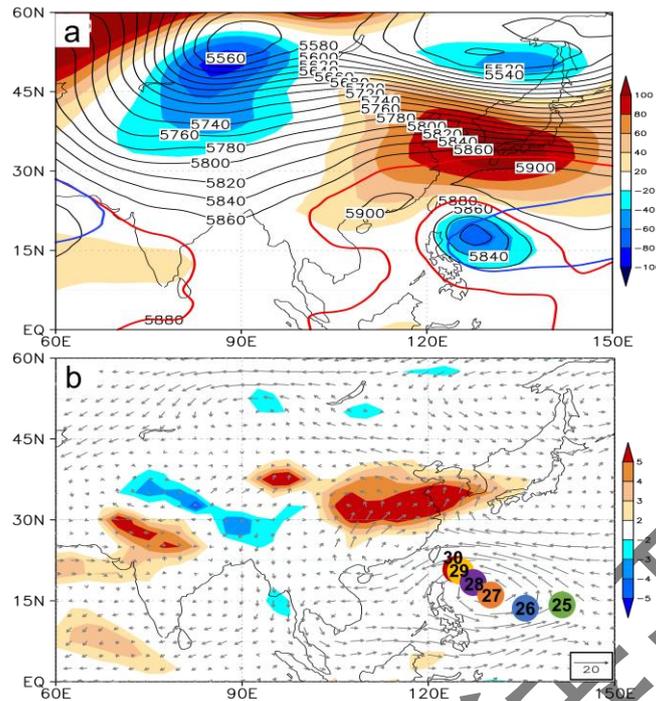
图 5 1981—2022 年典型事件合成的 (a) 500 hPa 位势高度场 (等值线, 单位:

gpm) 及距平场 (填色, 单位: gpm), (b) 850 hPa 风场距平 (风矢) 和比湿场距平 (填色, 单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Fig.5 (a) The 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and the anomalies (colored, unit: gpm), (b) the 850 hPa wind anomalies (vector, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and special humidity anomalies (colored, unit: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) of all events from 1981 to 2022

但 2023 年 5 月下旬“烂场雨”的环流形势与历史事件合成环流不完全相同 (图 6)。本次过程在中高纬度地区也基本维持“西低东高”的环流分布结构, 这与图 5a 的结果类似。但与历史合成结果相比, 今年环流异常性更强。东侧的正距平中心区数值超过 100 gpm, 而西侧负距平中心低于 -80 gpm, 也即东西向的位势梯度更强。但热带地区的环流形势有很大差异。受超强台风玛娃的影响, 菲律宾以东洋面上有很强的位势高度低值中心, 中心负距平小于 -80 gpm。受其影响, 副高西段发生挤压形变, 5880 gpm 特征等值线控制在华南和江南上空, 北界位于长江中下游地区。

和其他事件合成的水汽场相比, 副高西北段的西南风水汽输送明显偏强。同时因“玛娃”长时间稳定维持在菲律宾以东附近, 在 850 hPa 层的气旋式距平环流非常强盛。图 6b 中用圆点标注逐日的低层风场涡度中心, 用来近似代表台风玛娃的中心位置。随着台风沿西北路径移动, 台风东北侧引导的东南风分量较副高西北侧的西南风距平更为强盛。在 27—30 日台风位置相对稳定少动, 南北向移动少于 10 个纬度, 东西向移动约 10 个经度。“玛娃”的稳定少变使两支水汽都持续输送至黄淮海地区, 同时中高纬的“西低东高”环流型, 尤其是华北上空高压脊的存在, 阻碍了大部分水汽继续往北方输送。因此两支水汽在黄淮海地区形成汇合叠加, 造成小麦产区的持续降水和寡照。



注：图 b 中圆点对应该层风场涡度中心，用以近似代表台风玛娃中心位置，圆点中心数值为日期，如 25 为 5 月 25 日。

图 6 2023 年 5 月 27—30 日平均的 (a) 500 hPa 位势高度场 (等值线, 单位: gpm) 及距平场 (填色, 单位: gpm), (b) 850 hPa 风场距平 (风矢) 和比湿场距平 (填色, 单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Fig.6 (a) The 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm) and the anomalies (colored, unit: gpm), (b) the 850 hPa wind anomalies (vector, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and special humidity anomalies (colored, unit: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) for the case in 27-30 May 2023

下文进一步分析造成“烂场雨”的气候异常机理。考虑到本次个例受台风玛娃影响大，这里对 1981—2022 年的 16 次事件对应的月尺度环流场做合成分析。由于每次事件的发生时段并不完全一致，因此主要分析 5 月大气环流异常以便归纳有利的气候背景场。从合成的 5 月 850 hPa 风场距平和 500 hPa 副高可以看出 (图略)，对应的 5 月环流型为副高偏西，其西侧的南风分量将南海和西太平洋水汽输送至长江以北，但由于黄河下游为平直西风距平环流或者西北风距平分量，不利于南侧的南风水汽进一步向北输送，在黄淮地区形成底层辐合。这一结果和图 5b 非常相似。鲁坦等 (2017) 对 2003—2014 年河南 4 月中旬至 5 月的暴雨事件归纳了天气学物理概念模型，其中最主要的低槽/低涡型 (约占 85% 比例)

表现为经向度大的低槽或一致的西南气流影响，中低层低涡明显加强，系统缓慢东移且湿层很厚，多以稳定性、混合性降水为主，雨量明显偏大。这一概念图结论和 5 月合成场及图 5b 结果也一致。5 月副高偏西可能和热带印度洋为东风距平有直接关联。合成场上，索马里和孟加拉湾越赤道气流不强，孟加拉湾上空为较强的反气旋式环流，其南部为东风距平，不利于推动副高东撤。这种情况往往对应南海夏季风爆发偏晚。对 1982—2022 年的个例统计表明，南海夏季风爆发在第 29 候及以后的概率高达 60%，第 28 候也即正常爆发概率为 33%，而在第 27 候之前概率仅为 7%。另一方面，这样的环流型在气候尺度上将造成典型的 5 月降水北多南少分布格局（图略）。

4 结论和讨论

黄淮海是我国冬小麦最重要的主产区，收储期间气象条件的好坏直接关系到我国粮食产量。2023 年春末夏初，黄淮海多地出现连续降雨和寡照天气，引发麦穗发芽，其中河南省尤其严重。本文分析了本次“烂场雨”事件的极端性特征及不同于历史事件的独特大气环流配置型，得到主要结论如下：

旬尺度上，2023 年 5 月下旬黄淮海地区降水量普遍偏多一倍以上，尤其是苏皖鲁豫冀这五个小麦主产省份。五省平均旬降水量位列 1961 年以来历史第五多。旬日照时长华北平原均偏少 50% 以上，位列 1961 年以来历史次少。日尺度上，河南省在 27—30 日持续 4 d 日降水量超过 10 mm，同时日照时长在 26—29 日 4 d 累计日照时数为 0.37 h。为和历史事件对比，本文首次结合日照时长和降水量提出了河南“烂场雨”事件的一种定义标准，并由此筛选出 1981 年以来河南省共 18 次最为典型的“烂场雨”事件。与历史事件相比，本次“烂场雨”过程累计降水强度位列第 10 多，累计日照时长位列第二少。因此，对河南省而言，寡照时长的极端特征更为明显。

对 1981—2022 年期间事件合成结果显示，副热带地区副高西伸脊点位置较气候态偏西，西段脊线位置更偏北，强度也强于气候值。副高的形态有利于热带洋面水汽沿其西侧南向黄淮海地区输送。同时欧亚中高纬度地区为典型的“西低东高”环流型，朝鲜半岛和我国黄淮以东地区为显著的正位势高度距平区，新疆至西亚则为负距平区。黄淮海位于上述正负距平中心的中间位置。这种偶极型

分布导致华北北部基本为平直气流，经向度较小，有利于南北向水汽辐合。另一方面，正位势高度距平中心南侧的偏东风气流也将日本海的水汽输送至西侧的黄淮海地区，受到太行山大地形的阻挡，东西向水汽辐合也较强。从而容易形成低空水汽辐合，造成较强降水且云量增大，诱发“烂场雨”事件。

但 2023 年 5 月下旬“烂场雨”事件的大气环流型和历史事件有所不同。虽然在中高纬度地区也基本维持“西低东高”的环流分布结构，但热带地区的环流形势有很大差异。受超强台风玛娃的影响，副高西段发生挤压形变，西北侧的西南风水汽输送明显偏强。同时因“玛娃”长时间稳定维持在菲律宾以东附近，台风东北侧引导的东南风气流较副高西北侧的西南风距平更为强盛。再加上中高纬“西低东高”环流型尤其是华北上空高压脊的存在，阻碍了大部分水汽继续往北方输送。因此两支水汽在黄淮海地区形成汇合叠加，造成小麦产区持续降水和寡照。

本文仅仅从河南“烂场雨”期间的大尺度大气环流角度对比了本次事件和历史事件的异同。初步的分析表明，由于“烂场雨”发生时段通常未进入西北太平洋台风活跃的主要季节，黄淮海雨季亦尚未开始，类似于 2023 年“烂场雨”事件的环流型在历史上非常罕见。对绝大部分此类事件而言，中高纬度环流异常扮演着重要角色。因此，从气候预测的角度尤其是在延伸期时段，还需要进一步分析这种中高纬度大气环流型的动态演变特征进而识别其前兆环流信号，尤其是西风带槽脊在前期的传播移动，从而结合数值模式提供更丰富的预测信息。此外，已有研究表明，印度洋东风距平或孟加拉湾反气旋式环流距平与热带印度洋海温及南半球马斯克林高压均有一定关联（金燕等，2020）。同时，澳大利亚高压北侧的环流异常也有一定贡献（Ding and Gao, 2020）。但对于副高而言，其西侧下方即西太平洋热力异常也是影响因素之一。其中的详细机理还需要结合个例的背景场逐一诊断，才能得到更为客观的结论。

参考文献

- 陈天锡, 张长松, 吴书军, 等, 1997. 麦收期连阴雨长期预报方法[J]. 河南气象, (2): 25. Chen T X, Zhang C S, Wu S J, et al, 1997. Long-term forecast method of continuous rain during wheat harvest[J]. Meteor J Henan, (2): 25 (in Chinese).
- 冯立坤, 李喜贵, 2021. 全球小麦供应、贸易及饲用形势[J]. 中国粮食经济, (10): 40-44. Feng

-
- L K, Li X G, 2021. Global wheat supply, trade and feed situation[J]. Chin Grain Econ, (10): 40-44 (in Chinese).
- 何慧根, 唐红玉, 李永华, 等, 2015. 重庆春季连阴雨的气候特征和气候信号分析[J]. 气象, 41(10): 1190-1202. He H G, Tang H Y, Li Y H, et al, 2015. Analysis on climatic characteristics of spring continuous rain in Chongqing and its relationship with climatic signals[J]. Meteor Mon, 41(10): 1190-1202 (in Chinese).
- 金燕, 晏红明, 万云霞, 等, 2020. 初夏孟加拉湾风暴与前期印度洋海温的关系研究[J]. 大气科学学报, 43(2): 358-369. Jin Y, Yan H M, Wan Y X, et al, 2020. Study on the relationship between early summer storm in the Bay of Bengal and previous Indian Ocean SST[J]. Trans Atmos Sci, 43(2): 358-369 (in Chinese).
- 鲁坦, 徐文明, 俞小鼎, 等, 2017. 2003—2014 年河南春季暴雨特征及影响系统分析[J]. 气象与环境科学, 40(2): 92-99. Lu T, Xu W M, Yu X D, et al, 2017. Analysis of characteristics and influence systems on spring rainstorm in Henan during 2003-2014[J]. Meteor Environ Sci, 40(2): 92-99 (in Chinese).
- 任芝花, 余予, 邹凤玲, 等, 2012. 部分地面要素历史基础气象资料质量检测[J]. 应用气象学报, 23(6): 739-747. Ren Z H, Yu Y, Zou F L, et al, 2012. Quality detection of surface historical basic meteorological data[J]. J Appl Meteor Sci, 23(6): 739-747 (in Chinese).
- 王纯枝, 毛留喜, 杨晓光, 等, 2019. 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, 42(1): 3-10. Wang C Z, Mao L X, Yang X G, et al, 2019. Construction of agrometeorological index system for winter wheat in Huanghuaihai Region[J]. Meteor Environ Sci, 42(1): 3-10 (in Chinese).
- 王秀文, 李月安, 2005. 北方麦收期间连阴雨天气环流特征[J]. 气象, 31(9): 52-56. Wang X W, Li Y A, 2005. Analysis of continued cloudy-rainy weather during wheat harvest season in the north[J]. Meteor Mon, 31(9): 52-56 (in Chinese).
- 王钊, 彭艳, 白爱娟, 等, 2012. 近 60 年西安日照时数变化特征及其影响因子分析[J]. 高原气象, 31(1): 187-194. Wang Z, Peng Y, Bai A J, et al, 2012. Analysis on variation of sunshine duration in Xi'an in recent 60 years and its influencing factor[J]. Plateau Meteor, 31(1): 187-194 (in Chinese).
- 吴洪颜, 高苹, 谢志清, 等, 2017. 基于春季阴雨过程的冬小麦涝渍指数模型构建与应用[J].

-
- 气象, 43(3): 373-377. Wu H Y, Gao P, Xie Z Q, et al, 2017. Construction and application of waterlogging index model of winter wheat based on spring rainy weather[J]. Meteor Mon, 43(3): 373-377 (in Chinese).
- 赵广才, 常旭虹, 王德梅, 等, 2011. 农业隐性灾害对小麦生产的影响与对策[J]. 作物杂志, (5): 1-7. Zhao G C, Chang X H, Wang D M, et al, 2011. Hidden disasters on agricultural production and countermeasures[J]. Crops, (5): 1-7 (in Chinese).
- 赵广才, 常旭虹, 王德梅, 等, 2015. 2015 年冬小麦春季管理技术建议[J]. 作物杂志, (2): 166-168. Zhao G C, Chang X H, Wang D M, et al, 2015. Technical suggestions for spring management of winter wheat in 2015[J]. Crops, (2): 166-168 (in Chinese).
- 郑大玮, 王砚田, 潘学标, 等, 2005. 农牧交错带综合治理及生态保护型农业技术体系与模式研究进展[J]. 中国农业大学学报, 10(4): 55-61. Zheng D W, Wang Y T, Pan X B, et al, 2005. Progresses on integrated management and dryland farming technical system for ecological protection in ecotone of the North China[J]. J China Agric Univ, 10(4): 55-61 (in Chinese).
- 朱盛明, 1991. 长江中下游春季连阴雨、连晴天气研究[J]. 气象, 17(5): 20-28. Zhu S M, 1991. The studies on the persistent rainy and sunny weather processes in spring in the middle and lower reaches of the Changjiang River[J]. Meteor Mon, 17(5): 20-28 (in Chinese).
- Ding T, Gao H, 2020. The record-breaking extreme drought in Yunnan province, southwest China during spring-early summer of 2019 and possible causes[J]. J Meteor Res, 34(5): 997-1012.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 77(3): 437-472.
- Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al, 2001. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation[J]. Bull Amer Meteor Soc, 82(2): 247-268.