江苏夏收夏种期间连阴雨时空分布特征及其对墒情的影响

任义方 项瑛*

（江苏省气候中心，南京 210008）

摘要 在气候变暖大背景下，掌握夏收夏种期连阴雨发生规律，对规避油菜/小麦成熟收获、水稻/旱作物播种出苗阶段趋于频发的连阴雨灾害风险至关重要。本文利用 1981—2020 年气象、土壤水分、作物生产进度等资料，基于夏收夏种起止时间和连阴雨判定条件，测算连阴雨强度指数；建立连阴雨强度指数与 10 cm 土壤相对湿度增量对应关系，确定夏收夏种期连阴雨强度影响等级；利用时空统计和 EOF（Empirical Orthogonal Function）方法，划分不同区域、不同年代、不同等级、不同阶段，分析江苏夏收夏种期连阴雨时空分布特征和发生规律。结果表明：时间上，江苏各区域连阴雨强度呈 0.15～0.25/10a 上升趋势，强发时段集中在 2001—2020 年，轻度、强、特强连阴雨多发于 5 月下旬、6 月中旬、6 月下旬；空间上，连阴雨发生频次和强度呈南多北少、北部轻中南部重，各强度等级连阴雨发生次数均表现为苏南多于苏中多于苏北地区。在实际生产过程中，需重点关注夏收夏种期连阴雨常发、重发区域和时段，科学防御农田渍涝、优化配置农机装备，合理实现风险转移。

关键词 连阴雨；夏收夏种；强度指数；变化特征；江苏

中图分类号： P49 **DOI：** 10.19517/j.1671-6345.20250083 **文献标识码：** A

引言

江苏地处亚热带和暖温带过渡地带，南北冷暖气团交汇频繁，连阴雨是常发的气象灾害之一。江苏省作为南方核心农业区域，在粮食作物与经济作物种植中兼具战略性地位，其中水稻和小麦种植面积约 2.2×10^6 hm^2 和 2.3×10^6 hm^2，全国排名第四和第三位，其丰收丰产关乎到国家粮食安全。在气候变化背景下，长江中下游地区连阴雨灾害事件呈强发趋势[1]。作物生长期间出现连阴雨会导致洪涝、寡照、低温、湿渍等灾害，给农业生产造成极大影响。在粮经作物产量和品质上升趋势过程中，因连阴雨灾害出现反向波动问题[2]，对农业高质量发展提出了新的挑战和考验。

连阴雨在粮经作物生长的各阶段均有发生，其中连阴雨对夏收夏种期农业生产影响突出。江苏夏收夏种阶段包含了油菜/小麦成熟收获、水稻及大豆玉米等旱作物播种出苗等农事活动和作物生育阶段，主要集中 5 月中旬至 6 月底，覆盖了春季、夏季梅雨等降水多发时段。据统计，江苏春、夏季连阴雨发生次数分别占全年的 25% 和 36%[3]。夏收夏种期出现持续阴雨天气，一方面会造成油菜/小麦倒伏，严重时会伴随籽粒霉变、穗发芽，导致油菜/小麦产量和品质降低，出现“丰产不丰收”的情况[4-5]；另一方面，会造成田间湿度过大，机械作业无法正常开展，油菜/小麦收获、水稻/旱作物播种受阻，导致秋熟作物适播比例低，出现苗弱、生育期推迟等现象[6]。江苏夏收夏种阶段出现连阴雨的情况屡见不鲜，对农业生产造成了巨大损失。例如，2012 年，小麦收获期间出现“烂麦场”，仅溧阳市小麦生长损失在 50 万元以上已达 10 多户。因此，开展江苏夏收夏种期连阴雨灾害时空特征分析，是反映油菜/小麦末期和水稻/旱作物初期生产与气象条件的关系、合理配置农业生产机械资源、认识灾害发生规律的基

“十四五”国家重点研发计划项目（2022YFD2300200）、中国气象局创新发展专项（CXFZ2024J023）共同资助

作者简介：任义方，女，1986 年生，硕士，高工，从事农业气象灾害风险评估、天气指数保险等研究，Email：renyifang2006@126.com

收稿日期：2025 年 3 月 7 日；定稿日期：2025 年 8 月 18 日

* 通信作者，Email：jsqxxy@163.com

础，对于决策和生产部门优化夏收夏种管理进程和开展风险防御、转移等工作具有重要意义。

目前，已有很多学者结合各地连阴雨过程，对连阴雨成因、时空分布特征及其对农业生产的影响等方面开展了深入的研究[7-9]。例如，罗连升等[10]分析了安徽省春季连阴雨变化特征，并探讨了厄尔尼诺/拉尼娜衰减年对连阴雨发生的影响。王丽娟等[11]运用 EOF（Empirical Orthogonal Function）、距平合成和 t 检验等方法，探究了浙江省连阴雨日数时空分布形态与大气环流和海温场的对应关系。冯博等[12]、赵辉等[13]分析了云南、河南省春季连阴雨时空分布特征及其对农业的影响。张永红等[14]分析了陕西关中棉花吐絮期连阴雨发生规律并开展风险区划评估工作。出于不同侧重点，关于连阴雨研究所聚集的时段各有不同。从气候背景角度开展连阴雨相关研究中，其研究时段以春、秋季较多；从连阴雨对作物生长影响角度开展的研究中，主要是针对作物关键生长期或整个生长阶段。例如，研究者结合主要粮油作物油菜花期[15]、夏玉米花期[16]、小麦灌浆期[4]、花生全生育期[17]，以及特色作物葡萄全生育期[18]、苹果始花-幼果期、着色-成熟期和采收期三个生育阶段[19]、枣树果实成熟期[20]，开展了连阴雨灾害损失评估指标建立、连阴雨时空变化特征分析、连阴雨灾害风险区划评估，以及连阴雨灾害对作物生长发育和产量影响、阴雨灾害气象指数保险设计等方面的研究。

在连阴雨灾害分作物、分时段的发生特征分析及其影响评估、转移等成果不断涌现的同时，涉及关键农事活动阶段所发生连阴雨的相关研究则相较甚少，且其影响评述也主要集中在秋收秋种方面[21]，相关江苏省夏收夏种期连阴雨分布特征等相关研究尚属空白。因此，面对江苏夏收夏种期连阴雨频发的实际问题，本文基于江苏本地连阴雨标准[22]，考虑结合油菜/小麦收获、水稻和旱作物（大豆、玉米等）播种起止时间，建立夏收夏种期连阴雨强度指数；综合连阴雨强度指数与土壤相对湿度增量之间的关系模型，划分夏收夏种期连阴雨强度影响等级；利用统计和 EOF 方法分析江苏夏收夏种期连阴雨时空分布特征和发生规律，以期为农田水分管理、收播机械设备配置以及渍涝监测防御等工作提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本文以江苏省为研究区域，自北向南，以淮河和长江为界，划分为苏北、苏中和苏南三个区域。所用的数据资料包括：

气象资料：江苏省 72 个气象站（图 1）1981—2020 年逐日气象要素，包括日照时数、降水量。气象数据来自于江苏省气象信息中心，主要用于夏收夏种连阴雨时空特征分析。

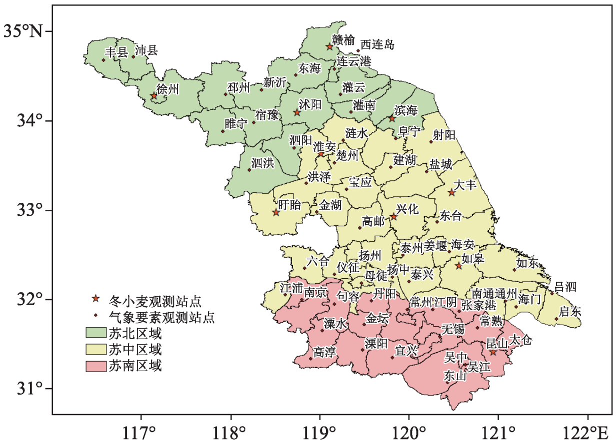

图 1 研究区域情况

Fig. 1 Situations of study area

土壤相对湿度资料：考虑到江苏土壤水分人工观测在 2009—2013 年逐步被自动水分观测仪所取代，以及夏种夏收期间机械下田作业对田间表层土壤湿度的要求、播栽深度以及表层土壤湿度的代表性[23]等情况。采用对应 72 个气象站位置，由自动水分观测仪测定的 2014—2020 年逐日 10 cm 土壤相对湿度数据。土壤相对湿度数据来自于江苏省气象信息中心，主要用于确定综合连阴雨强度指数与土壤相对湿度增量之间的关系模型。

夏收夏种进度资料：考虑到机械作业效率、作物品种特性等因素影响，采用江苏省近 10 年的 2011—2020 年苏南、苏中、苏北区域的油菜/冬小麦收获进度、水稻和旱作物（大豆、玉米等）播种进度。数据来自于江苏省农业农村厅种植业管理处，主要用于确定江苏各区域油菜/冬小麦收获的平均起止时间，以及水稻/旱作物播种的平均起止时间。

1.2　夏收夏种期连阴雨过程确定及强度指数构建

1.2.1　夏收夏种期连阴雨过程研究时段确定

整个夏收夏种期：综合江苏省夏收夏种常年起止时间(油菜/小麦成熟收获在5月下旬至6月中旬、水稻/旱作物播种出苗在6月上旬至下旬)以及地方标准《连阴雨强度指数和风险等级划分》[22]中有关连阴雨过程的定义，本文选取连阴雨开始时间在5月20日至6月30日之间的情况作为夏收夏种期连阴雨过程。

夏收夏种不同关键阶段：考虑到连阴雨过程在夏收夏种不同关键阶段发生，其影响不同。若发生在夏收夏种前期，会造成油菜/小麦倒伏、籽粒霉变、穗发芽，收获进度推迟，对油菜/小麦产量和品质影响较大；若发生在夏收夏种后期，会导致水稻漂秧、分蘖搁田不足，对水稻齐苗壮秧影响较大，也会导致玉米、大豆等旱作物根腐病等病害加重、出苗率降低，形成"高脚苗"，抗逆性差。考虑到江苏小麦成熟期呈南早北晚特征，收获存在自南往北的规律。为此，本文以苏南、苏中、苏北小麦常年收获结束日(6月14日、6月18日、6月20日)作为夏收夏种前中期和后期划分的判识时间，统计不同区域对应时段内不同等级连阴雨发生占比，来分析连阴雨过程对油菜/小麦成熟收获和水稻/旱作物(玉米、大豆等)播种出苗至营养生长期的影响。

1.2.2　夏收夏种期连阴雨强度指数构建

在确定夏收夏种阴雨过程中，参考江苏地方标准《连阴雨强度指数和风险等级划分》[22]，在判别连阴雨过程的基础上，综合考虑连阴雨过程所涉及到的持续时间和过程雨量两个关键因子，构建夏收夏种期连阴雨强度指数(I_{cr})：

$$I_{\mathrm{cr}}=\frac{\sum R}{\sum \overline{R}}+\frac{L_{\mathrm{R}}}{\overline{L_{\mathrm{R}}}}+0.5\times\frac{\sum R/L_{\mathrm{R}}}{\sum \overline{R}/\overline{L_{\mathrm{R}}}} \tag{1}$$

其中，R为夏收夏种期连阴雨过程累计降水量，$\overline{R}$为历史同期累计降水量的常年均值；L_{R}为夏收夏种期连阴雨过程的降水总日数，$\overline{L_{\mathrm{R}}}$为历史同期降水总日数的常年均值。

夏收夏种期连阴雨强度指数I_{cr}由夏收夏种期连阴雨过程累计降水量相对强度$\frac{\sum R}{\sum \overline{R}}$、连阴雨过程相对持续时间$\frac{L_R}{\overline{L_R}}$以及连阴雨过程日均降水量相对强度$\frac{\sum R/L_R}{\sum \overline{R}/\overline{L_R}}$三部分组成。

1.3　夏收夏种期连阴雨强度等级划分

1.3.1　与土壤相对湿度增量建立关系

考虑到连阴雨发生前各地墒情差异较大，同量级的降水量对缺墒地区来说可在一定程度上补给土壤水分的不足，而对于墒情过多地区则会产生渍涝等对农业生产造成较大的损失。评估夏收夏种期间连阴雨的实际危害情况，需要综合考虑各地前期墒情和连阴雨过程带来的土壤水分增量。

因此，本研究基于土壤水分和气象要素同步可获取的年份(2014—2020年)，以及与土壤水分自动观测站相对应的72个气象站点所观测的降水量，根据式(1)测算各气象站夏收夏种期连阴雨强度指数，并与10 cm土壤相对湿度增量(即夏收夏种期每次连阴雨过程结束日与开始日10 cm土壤相对湿度值之差)生成数据对，通过样本筛选后，通过回归分析法，建立夏收夏种期连阴雨强度指数和10 cm土壤相对湿度增量间关系。

在两者客观定量关系建立时，需考虑开展样本的合理筛选。在长期采用基于FDR(Frequency Domain Reflectometry，频域反射法)的土壤湿度传感器自动测定土壤水分数据过程中，会因站点搬迁或仪器设备损坏等原因导致观测数据失真、监测结果异常。因此，本文对样本进行质量控制和筛选时，首先采用SNHT(Standard Normal Homogeneity Test，标准正态均匀性检验)方法[24]对10 cm土壤相对湿度$H_{10\mathrm{cm}}$观测数据进行均一性检验；其次，根据《中国气象灾害大典》[25]、《中国气象灾害年鉴》[26]以及江苏省气象局有关农业气象灾害监测评估服务工作中对连阴雨造成渍涝实况的记载和描述进行样本筛选；最终筛选出165个样本。

1.3.2　连阴雨强度等级划分

参考《气象灾害快速评估技术规范》[27]，根据江苏夏收夏种期(5月20日至6月30日)连阴雨强度指数(I_{cr})分布特征，分别设定98%、80%和50%三个百分位测算阈值，将连阴雨强度划分为特强、强、中等、轻度4个等级。结合夏收夏种阶段I_{cr}与土壤相对湿度增量$\Delta H_{10\mathrm{cm}}$之间所建立的线性关系，给出对应不同连阴雨强度等级下的范围。因此，不同等级连阴雨的时空分布特征，可表征不同等级土壤相

对湿度增量的时空分布特征，结合各地前期墒情条件和田间生产的需求量，可判断夏收夏种期间连阴雨的实际危害情况。

1.4 夏收夏种期连阴雨强度 EOF 分析

EOF 分析即对要素场进行自然正交函数分解，基本思想是把包含 p 个空间点(或 p 个变量)n 个时次观测场随时间进行分解，即将某一区域气象要素场序列 $F_{ij}(i=1,2,\cdots,p;j=1,2,\cdots,n)$ 分解成相互正交的时间函数与空间函数的乘积之和。应用中，常把空间函数 v_{ik} 看作典型场，时间函数 t_{kj} 看作典型场的权重系数，则气象要素场可以表示为：

$$F_{ij}=\sum_{k=1}^{p} v_{ik}t_{kj}=v_{i1}t_{1j}+v_{i2}t_{2j}+\cdots+v_{ip}t_{pj} \quad (2)$$

本文利用式(1)计算结果得到江苏省 72 个站点 1981—2020 年共 40 a 夏收夏种连阴雨强度指数(即 72×40 指数矩阵)。对该矩阵进行经验正交分解，得到特征向量和时间系数。特征向量的物理意义为夏收夏种连阴雨强度指数向量方差贡献越大，则越能反映其 40 a 中主要空间分布特征；时间系数代表了由特征向量所表征空间分布型式的时间变化特征。时间系数为正，表示与空间模态变化方向一致，反之则相反；其数值绝对值越大，表明该年此类分布型越典型。

2 结果与分析

2.1 夏收夏种期连阴雨强度等级划分

对夏收夏种连阴雨强度指数(I_{cr})与 10 cm 土壤相对湿度增量(ΔH_{10cm})相匹配样本进行筛选后，对 I_{cr} 与 ΔH_{10cm} 进行相关性分析。结果表明，两者皮尔逊相关系数为 0.72，且均通过 0.01 显著性检验。通过 I_{cr} 与 ΔH_{10cm} 散点图(图 2)分布特征和回归分析发现，夏收夏种阶段两者存在较好的一元线性关系，且通过 0.01 显著性检验。

进一步，根据江苏夏收夏种期(5 月 20 日至 6 月 30 日)连阴雨强度指数(I_{cr})分布特征，利用百分位测算法，将其划分为轻度、中等、强、特强等 4 个等级。参考夏收夏种阶段 I_{cr} 与 ΔH_{10cm} 之间的线性关系，给出对应不同连阴雨强度等级下的土壤相对湿度增量范围(表 1)。

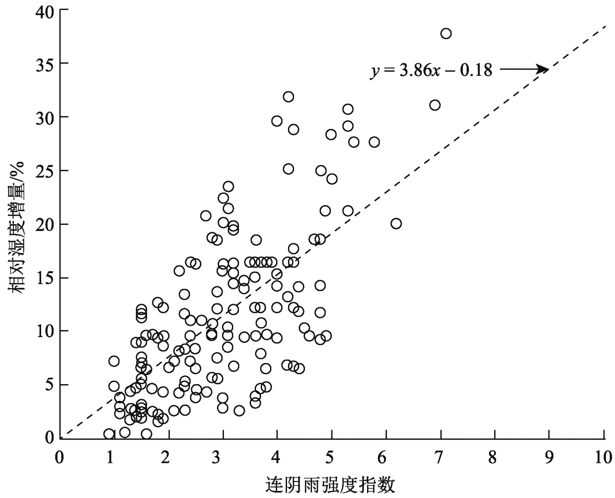

图 2 夏收夏种连阴雨强度指数与土壤相对湿度增量的关系

Fig. 2 The relationship between continuous rain intensity index and soil relative humidity increment during the period of summer harvesting and sowing

表 1 夏收夏种连阴雨强度影响等级划分

Table 1 Classification of intensity levels of continuous rain during the period of summer harvesting and sowing

	连阴雨强度指数	土壤相对湿度增量/%
特强	≥9.0	≥35
强	[5.0, 9.0)	[20, 35)
中	[3.0, 5.0)	[10, 20)
轻	<3.0	<10.0

2.2 夏收夏种期连阴雨时间变化特征

2.2.1 年代际特征

从 1981—2000 年江苏各区域内夏收夏种期连阴雨过程发生总次数(图 3a)和发生强度年变化(图 3b)来看，大多数年各区域连阴雨灾害发生总次数为 0～2 次，1989 年、1991 年、1995 年、2001 年、2007 年、2016 年和 2020 年苏中和苏南地区发生次数较高，达到 4 次。大多数年份各区域连阴雨强度为 0～3.0，以轻度等级为主，1991 年、1999 年、2003 年、2011 年和 2015 年部分区域连阴雨强度在 5.0 以上，达到强度以上等级。

连阴雨发生总次数的年代际变化特征和发生趋势存在区域差异(图 3a 和表 2)。从年代际变化来看，苏中和苏南地区连阴雨高发时段集中在 2010—

2020 年间，平均发生次数在 2.4～2.5 次/a，其他年代平均发生次数为 1.8～2.3 次/a；苏北地区连阴雨高发时段集中在 1981—1990 年间，平均发生次数为 1.7 次/a，其它年代平均发生次数为 1.0～1.5 次/a。从发生趋势来看，连阴雨发生次数在苏北地区呈下降趋势，其变化率为－0.06/10a；苏中和苏南地区均呈上升趋势，其变化率分别为 0.05/10a 和 0.22/10a。

连阴雨强度的年代际变化特征和发生趋势存在区域差异（图 3b 和表 2）。从年代际变化来看，苏南、苏中、苏北地区连阴雨强发时段分别出现在 2011—2020 年、2001—2010 年和 2001—2010 年，平均发生强度分别为 3.57、3.47 和 2.91；其他年代各区域连阴雨平均发生强度为 2.58～3.43、2.74～3.23 和 1.63～2.53。从发生趋势来看，江苏各区域连阴雨发生强度均呈上升趋势，其变化率为 0.15/10a～0.25/10a。

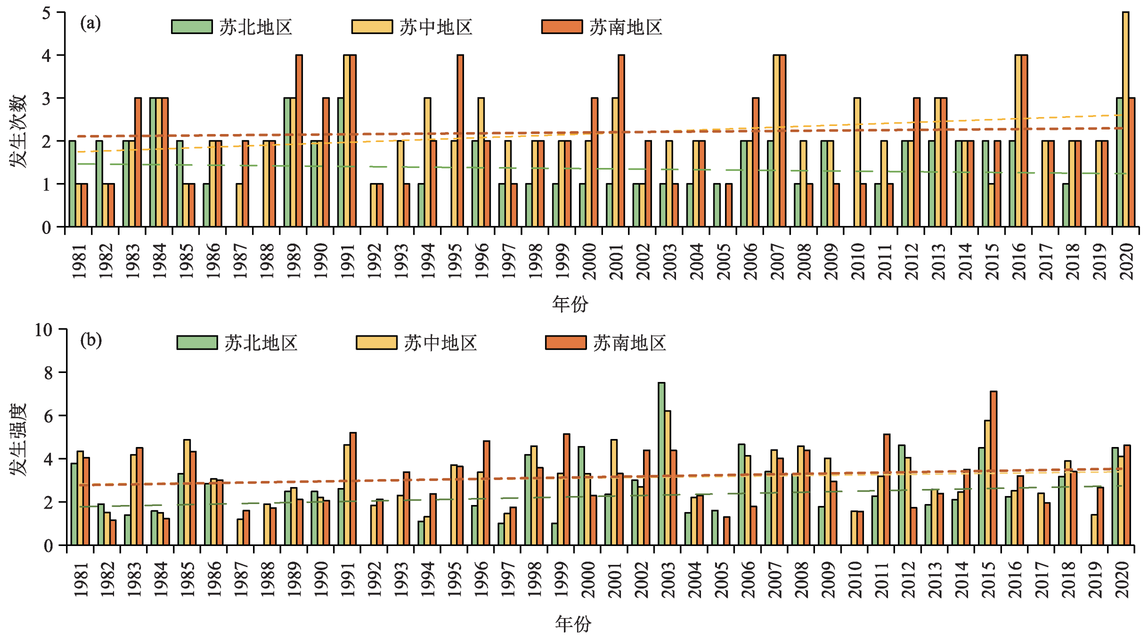

图 3　1981—2020 年江苏省各区域夏收夏种期连阴雨过程总发生次数（a）和发生强度（b）的逐年变化

Fig. 3　Year by year variation of total occurrence number (a) and occurrence intensity (b) of continuous rain during the period of summer harvesting and planting in different regions of Jiangsu Province from 1981 to 2020

表 2　江苏省各区域夏收夏种期连阴雨年代际发生特征

Table 3　Decadal characteristics of continuous rain during the period summer harvesting and planting in different regions of Jiangsu Province

		1981—1990	1991—2000	2001—2010	2011—2020
平均发生次数	苏北	1.70	1.00	1.20	1.50
	苏中	1.80	2.30	2.10	2.50
	苏南	2.20	2.20	2.00	2.40
平均发生强度	苏北	1.98	1.63	2.91	2.53
	苏中	2.74	2.98	3.47	3.23
	苏南	2.58	3.43	3.04	3.57

2.2.2　关键阶段特征

江苏各区域夏收夏种期不同阶段不同强度等级连阴雨发生特征不同（图 4）。通过分析可以发现江苏各区域强-特强连阴雨主要发生在夏收夏种后期，苏北、苏中和苏南地区发生占比分为 98.12%、85.84% 和 59.83%，对水稻/旱作物（玉米、大豆等）播种出苗营养生长的影响较大；中等强度连阴雨在夏收夏种前中期和后期的发生占比基本相当，各区域发生占比为 53.39%～64.13%，对油菜/小麦成熟收获、水稻/旱作物播种出苗均有影响；轻度连阴雨主要发生在夏收夏种前中期，苏北、苏中和苏南的发生占比分为 63.86、68.90% 和 71.50%，对油菜/小麦成熟收获影响较大。其中，夏收夏种后期发生的强-特强连阴雨多与梅雨期强降水过程相关。

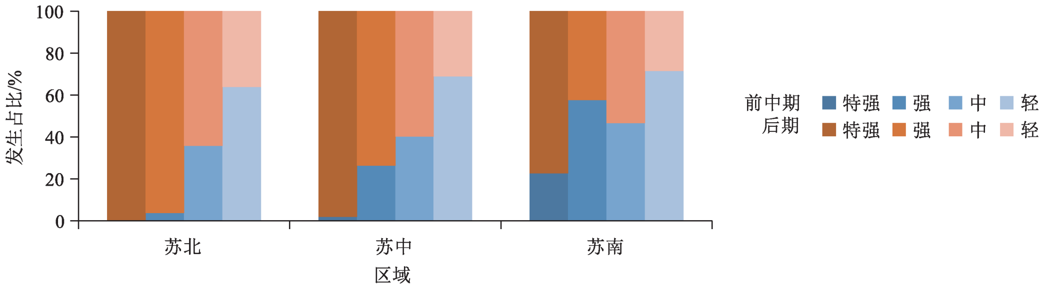

图 4 江苏各区域不同等级连阴雨强度在夏收夏种前中期(a)和后期(b)的发生占比

Fig. 4 The proportion of continuous rain intensity at different levels in different regions of Jiangsu Province during the early-middle (a), and late stages (b) of summer harvesting and sowing

2.3 夏收夏种期连阴雨空间分布特征

2.3.1 总体发生次数和强度

从不同区域连阴雨发生特征统计结果(表 3)和江苏夏收夏种期连阴雨过程多年平均发生次数空间分布(图 5a)来看,夏收夏种期连阴雨过程发生次数呈北少南多分布特征。淮河以南地区是夏收夏种期连阴雨高发地区,平均发生次数在0.72～0.98 次/a,持续时间长,平均连续降水日数为 7.69～8.05 d,且降水强度大,连阴雨发生期间平均总降水量为 132.15～134.59 mm;淮北地区是夏收夏种期连阴雨的低发、弱发区域,连阴雨平均发生次数、连续降水日数和总降水量分别为 0.38 次/a、6.48 d 和 120.56 mm。

从江苏夏收夏种期连阴雨过程多年平均发生强度空间分布(图 5b)和不同区域连阴雨发生特征统计结果(表 3)来看,夏收夏种期连阴雨过程发生强度呈北部轻中南部重分布特征,高值集中在沿淮和江淮之间北部,苏中地区平均连阴雨强度值为2.83;次低、最低值集中在沿江苏南和苏北北部,苏南和苏北地区平均连阴雨强度值分别为 2.60 和 2.38。

表 3 江苏省不同区域夏收夏种期连阴雨平均发生特征统计

Table 3 Statistical characteristics of continuous rain during the period of summer harvesting and planting in different regions of Jiangsu Province

	发生次数	总降水量/mm	连续降水日数/d	连阴雨强度值
苏北	0.38	120.56	6.48	2.38
苏中	0.72	134.59	7.69	2.83
苏南	0.98	132.15	8.05	2.60
全省平均	0.69	129.68	7.40	2.63

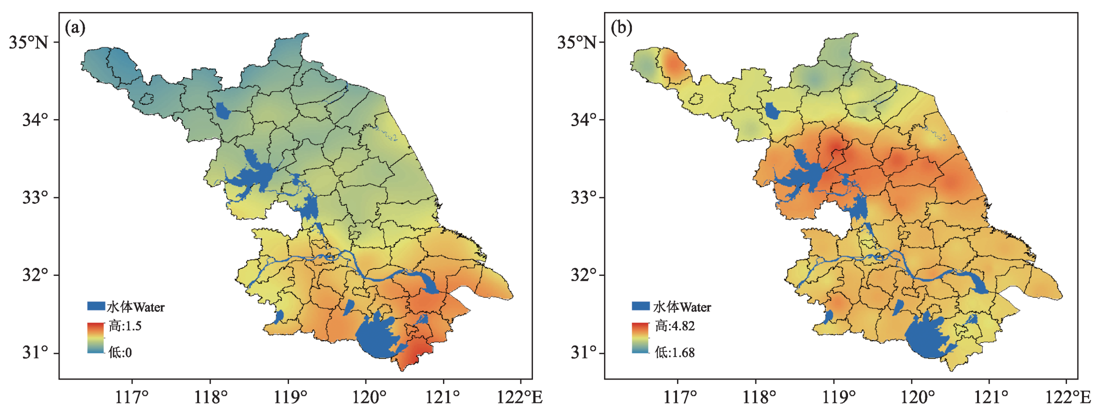

图 5 江苏夏收夏种期连阴雨过程多年平均发生次数(a)和发生强度(b)空间分布(1981—2020 年)

Fig. 5 Multi-year average spatial distribution of occurrence frequency (a) and occurrence intensity (b) of continuous rain during the period of summer harvesting and sowing in Jiangsu (1981—2020)

2.3.2　不同强度发生频率

结合表 1 给出的夏收夏种连阴雨强度影响等级划分结果,先测算 1981—2020 年间江苏各区域内每个站点夏收夏种期不同连阴雨强度等级的发生频率(发生次数/总年份数),再对区域内各站点发生频率求均值得到不同连阴雨强度等级的区域平均发生频率。从江苏各区域夏收夏种期连阴雨发生次数和强度特征(表 3),以及不同连阴雨强度等级发生频率(图 6)来看,夏收夏种期连阴雨发生强度具有区域特征。主要表现为,苏北地区夏收夏种连阴雨发生次数最少且程度最轻,特强、强度、中度、轻度连阴雨发生频率分别为 0.71%、6.31%、10.95%和 19.76%;苏中地区夏收夏种连阴雨发生次数次多但程度最重,特强、强度、中度、轻度连阴雨发生频率分别为 1.47%、14.74%、23.79%和 32.16%;苏南地区夏收夏种连阴雨发生次数最多但程度次重,特强、强度、中度、轻度连阴雨发生频率分别为 2.75%、18.88%、27.62%和 48.25%。

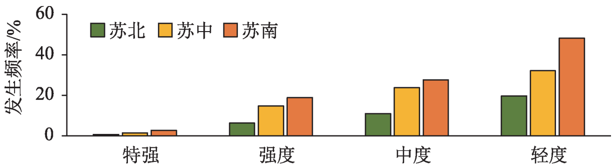

图 6　江苏夏收夏种期不同连阴雨强度等级在不同区域的发生频率

Fig. 6　Probability of different intensity levels of continuous rain during the period of summer harvesting and planting in different regions of Jiangsu Province

2.4　夏收夏种期连阴雨强度 EOF 分析

对夏收夏种期连阴雨强度进行 EOF 分析结果表明,第一、二个特征向量分别占总方差 42.5%和 20.4%,前两个特征向量的累积方差贡献均大于 60%,说明前两个 EOF 特征向量场可以代表江苏地区夏收夏种期连阴雨强度状态主要空间分布特征,其中第一特征向量反映了夏收夏种期连阴雨强度的最主要特征。下面仅就前两个特征向量进行讨论。

江苏夏收夏种期连阴雨强度 EOF 分析第一模态的特征向量空间上(图 7a)呈全省一致型(均为负值)分布特征,该空间模态说明连阴雨强弱状况全省呈同步变化,即整个区域连阴雨强度同时偏大或同时偏小。从第一模态特征向量所对应的时间系数序列来看(图 8a),2010 年后全省各地夏收夏种期连阴雨强度以偏大为主,其中 2003 年、2015 年和 2020 年各地连阴雨发生强度较大,且里下河地区连阴雨发生强度最大;2010 年前全省各地以连阴雨偏弱为主,1987—1990 年、1992—1995 年全省各地连阴雨强度持续偏弱。

江苏夏收夏种期连阴雨强度 EOF 分析第二模态的特征向量空间上(图 7b)呈南北反向型(北正南负)分布特征,该空间模态说明连阴雨强弱状况南北相反变化,即江苏区域存在“北强南弱”或“南强北弱”特征。从第二模态特征向量所对应的时间系数序列来看(图 8b):夏收夏种期连阴雨强弱变化年际间波动较大,2000—2012 年间全省连阴雨发生强度以“北强南弱”分布形态为主,其中 2003 年、2006 年和 2012 年江淮之间中北部地区连阴雨发生强度最大;1991—1999 年、2015—2020 年全省连阴雨发生强度以“南强北弱”分布特征为主,其中 1991 年、1999 年、2015 年、2020 年,苏南中部地区连阴雨发生强度最大。

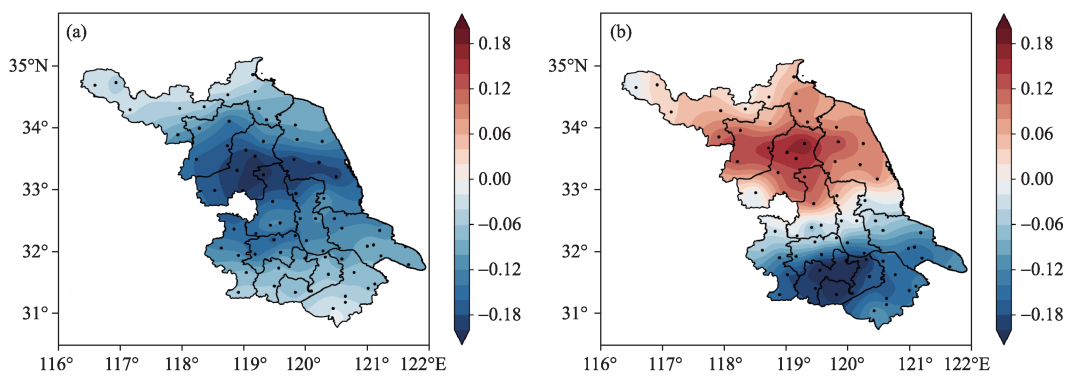

图 7　江苏夏收夏种期连阴雨强度 EOF 分析空间分布特征:(a)第一模态,(b)第二模态

Fig. 7　Spatial distribution characteristics of continuous rain intensity after taking EOF analysis during the period of summer harvesting and sowing in Jiangsu: (a) first mode, (b) second mode

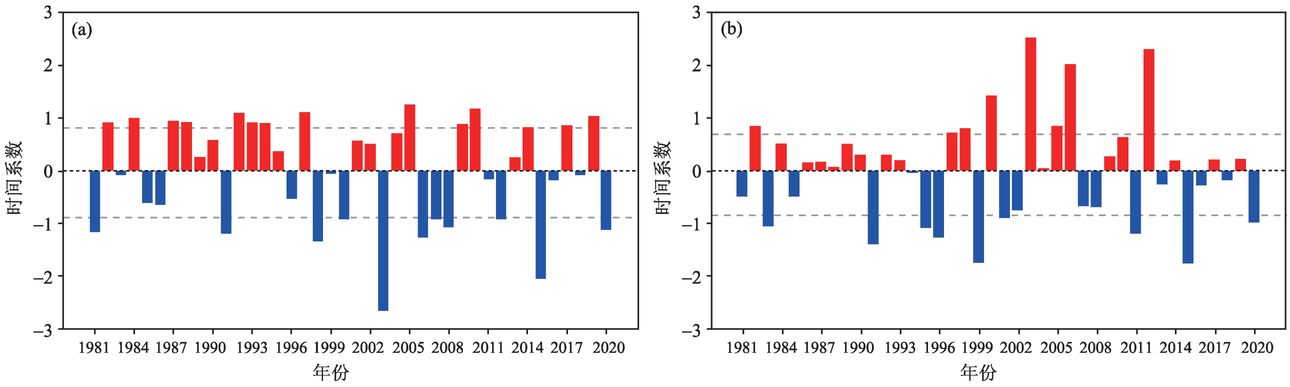

图8 江苏夏收夏种期连阴雨强度EOF分析时间系数序列：(a)第1模态，(b)第2模态

Fig. 8 Time coefficient series of the first mode of continuous rain intensity after taking EOF analysis during the period of summer harvesting and sowing in Jiangsu: (a) first mode, (b) second mode

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1)夏收夏种期连阴雨强度等级划分和表征意义。建立夏收夏种连阴雨强度指数与10 cm土壤相对湿度增量关系并划分等级，可以及时有效地开展油菜/小麦成熟收获期、水稻/旱作物播种-营养生长期连阴雨等级监测和影响预估工作。夏收夏种连阴雨强度指数间接表征了连阴雨过程对农事生产活动、田间作物生长等影响。随着指数值的增加，夏收夏种连阴雨强度等级趋高，意味着降水量逐渐超出作物生长需水量和机械下田适宜湿度，可能造成渍涝灾害和夏收夏种进度受阻。在连阴雨的监测预警和防灾减灾服务过程中，需要结合连阴雨发生前各地墒情的实时监测情况，根据连阴雨强度预测结果[28]以及不同等级连阴雨强度判定土壤相对湿度增量，估测连阴雨过程后各地土壤相对湿度绝对值，进而根据田间生产作业适宜水分条件，判识其土壤水分盈亏状况，以实现连阴雨过程对农业生产的定量化影响预估。例如，2020年夏收夏种期间(6月中下旬)江苏出现强度连阴雨(连阴雨强度指数在5.8～7.2)，苏北和苏中地区、苏南地区的10 cm土壤相对湿度分别从40%～55%增至75%～85%、68%～75%增至95%～100%。此次连阴雨过程造成的影响，从各区域土壤相对湿度增量看，基本与强连阴雨所对应的10 cm土壤相对湿度增量(20%～35%)相吻合；从土壤相对湿度绝对值看，苏北和苏中地区墒情仍处于较适宜范围，而苏南地区墒情已超出田间生产适宜范围。衡量对在田作物生长和收获进度实际影响时，还需要综合连阴雨发生时间、区域内田间作物种植类型、排水条件、机械收获进度等条件后判断。未来可以结合相关作物模型和生产信息，进一步开展深入研究。

(2)夏收夏种期连阴雨典型年份发生情况判识。基于统计方法和EOF方法所判定的江苏夏收夏种期连阴雨典型发生年份和出现时段、出现区域均与连阴雨发生实况有较好的对应关系。例如，由连阴雨强度指数分析发现，1991年在淮河以南地区、2003年在长江以北地区、2015年在苏中和苏南地区、2020年江苏大部分地区出现强-特强连阴雨。通过对《中国气象灾害大典》[25]、《中国气象灾害年鉴》[26]以及农业气象服务情报、报纸记载等渠道收集的信息分析发现，1991年5月上旬至7月中旬江苏沿江苏南地区降雨异常偏多，夏秋作物受灾大减产，江宁、江浦水稻田被淹，小麦大量发芽、霉变；南京农田绝收3.7×10^4 hm^2。2003年6月下旬至7月下旬江苏沿淮地区累计降水量异常偏多，水稻、玉米等秋熟作物田块被淹，其中徐州在田作物受灾严重面积达25.2×10^4 hm^2，死苗2.7×10^4 hm^2。2015年6月中旬至7月上旬苏南地区出现2次连阴雨过程，田间渍涝达重度、夏收进度受阻，地势低洼的玉米、大豆等旱作物、播栽较迟的水稻出现受淹死苗、烂种烂芽及漂种漂秧现象。2020年6月中至下旬江苏出现了强度连阴雨(过程降水量在236～314.6 mm，连续降水日数5～20 d)，各地渍涝严重，苏北局部地区玉米、大豆有烂种烂苗现象。苏州、南京等地受灾面积1.7×10^4 hm^2。

(3)夏收夏种期连阴雨强度时空特征分析的意

义。连阴雨主要由中高纬度西风带系统和中低纬度副热带系统共同作用，形成冷暖气流长期交汇而形成，具有较好的系统性和区域性[29]。相较于普通的统计分析，EOF 分析可以将连阴雨强弱变化的最敏感区域及其对应的时间变化联系在一起，对普通统计分析结论起到佐证和补充深化作用，具有广泛的应用价值。一方面，通过对比发现，江苏夏收夏种期间连阴雨强度 EOF 第一模态分析结果（图 7a、图 8a）与连阴雨强度多年平均态在整个江苏区域发生情况及其年代际变化特征的统计分析结果（图 3b、图 5b）基本一致，除了对不同连阴雨强发年份能较准确的把握外，对其空间分布也能精准地展示。另一方面，连阴雨强度 EOF 第二模态强-弱相间的空间分布形态，为连阴雨保险产品设计和示范区域选择提供参考，可避免保险目标存在强连阴雨风险关联[30-31]。此外，基于研究结果，在实际生产过程中，可以对夏收夏种连阴雨重发区域（沿淮和江淮之间北部地区）、常发区（苏南地区）和强发时段（6 月下旬）加以重点关注，结合田间墒情监测结果及相关环境因子的影响[32]，做好渍涝监测、防御、减缓和补救等工作[33-36]。此外，本文以各区域小麦常年收获结束日作为夏收夏种前中期和后期划分的判识时间，可以较好地分区域、分等级地评价连阴雨过程对油菜/小麦成熟收获和水稻/旱作物播种出苗的影响。但不同年份各地收获进度也会因农事生产、机械调度、天气情况等因素存在差异。今后，可进一步细化不同年份、不同地区、不同作物收获-播种起止时间，来分析连阴雨对夏收夏种的影响。

3.2　结论

本文基于江苏本地化的连阴雨判识条件，构建夏收夏种期连阴雨强度指数，划分不同连阴雨强度等级并关联土壤相对湿度增量，建立连阴雨强度对墒情的影响模型；利用统计和 EOF 方法，分区域、分强度、分时段，从强度和频次两个角度，分析夏收夏种期连阴雨时空分布特征，有效实现了江苏夏收夏种期连阴雨发生规律及其对墒情影响的定量化评估。主要结论如下：

（1）从空间分布特征上看，江苏连阴雨发生次数呈南多北少，苏北、苏中、苏南地区分别为 0.38 次/a、0.72 次/a 和 0.98 次/a；连阴雨强度呈“北部轻中南部重”，各强度等级连阴雨发生次数均为苏南＞苏中＞苏北地区。

（2）从时间变化规律来看，发生次数方面，苏南、苏中连阴雨高发时段集中在 2010—2020 年间，苏北集中在 1981—1990 年间；发生强度方面，苏南、苏中、苏北连阴雨强发时段分别集中在 2011—2020 年、2001—2010 年和 2001—2010 年，且均呈上升趋势，其变化率 0.15～0.25/10a。

（3）从发生关键时段来看，江苏各区域强-特强连阴雨主要发生在夏收夏种后期（6 月下旬）；中等强度连阴雨在前中、后期发生占比基本相当，轻度连阴雨主要发生前中期（5 月下旬至 6 月中旬）。

（4）从夏收夏种期连阴雨时空变化模式显著性来看，江苏里下河地区连阴雨发生强度在 2003 年、2015 年和 2020 年最大；江淮之间中北部地区连阴雨发生强度在 2003 年、2006 年和 2012 年较强，苏南中部地区连阴雨发生强度在 2003 年、2015 年和 2020 年较强。

参考文献

[1]　王荣，邹旭恺．长江中下游地区连阴雨变化特征分析[J]．长江流域资源与环境，2015，24(9)：1483-1490.　Wang R，Zou X K．Analysis on the change characteristics of consecutive rainfall in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]．Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese)，2015，24(9)：1483-1490.

[2]　郭其乐，郭鹏，师丽魁，等．连阴雨胁迫下成熟期麦穗发芽霉变估测[J]．农业工程学报，2024，40(22)：124-135.
Guo Q L，Guo P，Shi L K，et al．Estimating ear germination and moldiness under continuous rainfall stress during wheat maturity [J]．Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (in Chinese)，2024，40(22)：124-135.

[3]　项瑛，程婷，王可法，等．江苏省连阴雨过程时空分布特征分析[J]．气象科学，2011，31 (增刊 1)：39-42.　Xiang Y，Cheng T，Wang K F，et al．The analysis on spatial and temporal distribution features of continuous rain in Jiangsu [J]．Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese)，2011，31 (S1)：39-42.

[4]　李德，景元书，祁宦．1980—2012 年安徽淮北平原冬小麦灌浆期连阴雨灾害风险分析[J]．资源科学，2015，37(4)：700-709.　Li D，Jing Y S，Qi H．An analysis of disaster risk for continuous cloudy-rainy weather during the filling stage of winter wheat on the Huaibei Plain，Anhui [J]．Resources Science (in Chinese)，2015，37(4)：700-709.

[5]　高晶，高辉．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[J]．气象，2023，49(10)：1227-1234.
Gao J，Gao H．“Wheat-soaked persistent rainfall” in late spring 2023 in the Huang-Huai-Hai Plain and the large-scale

circulation pattern [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 2023, 49(10): 1227-1234.

[6] 顾品强，费蕾. 2011年6月旱涝急转天气对上海奉贤地区农业夏收夏种的影响评估[J]. 上海农业科技，2011(6)：14-15. Gu P Q, Fei L. Impact assessment of sudden weather of drought and flood on summer sowing agricultural summer harvest in Fengxian district in June 2011 [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology (in Chinese), 2011(6): 14-15.

[7] 陈光宇，沈杭锋，方陆俊，等. 2019年初浙江罕见连阴雨过程的成因分析[J]. 气象科技，2023，51(4)：532-540. Chen G Y, Shen H F, Fang L J, et al. Cause analysis of rarely continuous rainy weather in Zhejiang Province during early 2019 [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2023, 51(4): 532-540.

[8] 武强，毕淼，何佳洋，等. 1991—2020年重庆水稻生育期连阴雨气候特征及成因[J]. 干旱气象，2024，42(4)：629-636. Wu Q, Bi M, He J Y, et al. Climate characteristics and cause analysis of continuous rain events during growth duration of rice in Chongqing from 1991 to 2020 [J]. Journal of Arid Meteorology (in Chinese), 2024, 42(4): 629-636.

[9] 赵艺，郭翔，王鑫，等. 四川盆区油菜花期低温阴雨灾损评估及风险区划[J]. 中国农业气象，2024，45(6)：629-642. Zhao Y, Guo X, Wang X, et al. Loss assessment and risk zoning of low-temperature and rainy weather disasters on rape yield during the flowering period in the Sichuan basin [J]. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2024, 45(6): 629-642.

[10] 罗连升，吴蓉，邓汗青，等. 安徽春季连阴雨与不同类型厄尔尼诺/拉尼娜衰减年的关系[J]. 暴雨灾害，2023，42(2)：170-178. Luo L S, Wu R, Deng H Q, et al. Relationship between spring continuous rain over the Anhui province and different types of El Niño/La Niña decaying years [J]. Torrential Rain and Disasters (in Chinese), 2023, 42(2): 170-178.

[11] 王丽娟，邓方俊，陈小素. 近45 a浙江连阴雨时空分布的环流特征及成因[J]. 大气科学学报，2020，43(4)：707-717. Wang L J, Deng F J, Chen X S. Circulation characteristics and causes of time-space distribution of continuous rainy weather in Zhejiang Province over the past 45 years [J]. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2020, 43(4): 707-717.

[12] 冯博，杨欣洁. 近17年浙江省春季连阴雨时空分布特征及对农业的影响[J]. 农业灾害研究，2022，12(10)：19-21+24. Feng B, Yang X J. Spatial and temporal distribution characteristics of spring continuous rain and its impact on agriculture in Zhejiang Province in recent 17 years [J]. Journal of Agricultural Catastrophology (in Chinese), 2022, 12(10): 19-21+24.

[13] 赵辉，王媛，李刚，等. 春季低温连阴雨灾害对农作物产量影响评估[J]. 气象科技，2011，39(1)：102-105. Zhao H, Wang Y, Li G, et al. Method for estimating impact of spring low-temperature and continuous-rain disasters on crop yields [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2011, 39(1): 102-105.

[14] 张永红，葛徽衍，郭建茂. 棉花吐絮收获期连阴雨灾害风险区划[J]. 气象科技，2014，42(6)：1095-1099. Zhang Y H, Ge H Y, Guo J M. Disaster risking regionalization of continuous rainfall in cotton boll-opening period [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2014, 42(6): 1095-1099.

[15] 刘瑞娜，杨太明，陈鹏，等. 安徽省油菜花期连阴雨灾害损失评估指标[J]. 中国农业气象，2016，37(4)：471-478. Liu R N, Yang T M, Chen P, et al. Evaluation index of continuous rain to rape during anthesis in Anhui Province [J]. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2016, 37(4): 471-478.

[16] 成林，刘荣花. 河南省夏玉米花期连阴雨灾害风险区划[J]. 生态学杂志，2012，31(12)：3075-3079. Cheng L, Liu R H. Disaster risk zoning of continuous rain during florescence of summer maize in Henan Province, Central China [J]. Chinese Journal of Ecology (in Chinese), 2012, 31(12): 3075-3079.

[17] 王新伟，杜明哲，王丽，等. 河南省花生连阴雨灾害气象指数保险设计[J]. 生态学杂志，2018，37(11)：3390-3395. Wang X W, Du M Z, Wang L, et al. Design of the continuous rainfall days index insurance of peanut in Henan Province [J]. Chinese Journal of Ecology (in Chinese), 2018, 37(11): 3390-3395.

[18] 杨晓娟，刘园，白薇，等. 1961—2018年陕西葡萄连阴雨时空特征及对产量的影响[J]. 生态学杂志，2022，41(7)：1398-1405. Yang X J, Liu Y, Bai W, et al. Spatiotemporal characteristics of continuous rain and its impacts on grape yield in Shaanxi Province over 1961-2018 [J]. Chinese Journal of Ecology (in Chinese), 2022, 41(7): 1398-1405.

[19] 韩文静，姜会飞，霍治国，等. 中国北方苹果连阴雨灾害时空分布特征[J]. 中国农业资源与区划，2022，43(6)：81-91. Han W J, Jiang H F, Huo Z G, et al. Spatial: temporal distribution characteristics of apple continuous cloudy-rainy weather disaster in northern China [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning (in Chinese), 2022, 43(6): 81-91.

[20] 张颖，樊鑫，樊保国. 北方枣区果实成熟期连阴雨致灾因子的时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境，2023，37(3)：106-112. Zhang Y, Fan X, Fan B G. Spatio-temporal variation characteristics of disaster causing weather of continuous rain at fruit maturation period in northern jujube production areas [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment (in Chinese), 2023, 37(3): 106-112.

[21] 张翠英，樊景豪，冯雪. 鲁西南连阴雨发生规律及对秋收秋种的影响[J]. 中国农业资源与区划，2016，37(4)：142-146. Zhang C Y, Fan J H, Feng X. Law of continuous precipitation occurrence and its influence on autumn harvesting and planting in southwestern Shandong province [J]. Chinese Journal of

Agricultural Resources and Regional Planning (in Chinese), 2016, 37(4): 142-146.

[22] 项瑛，任义方，杨杰，等. 连阴雨强度指数和风险等级划分：DB32/T 4653-2024 [S]. 北京：中国标准出版社，2024. Xiang Y, Ren Y F, Yang J, et al. Index of Continuous Rainy Weather Intensity and Risk Level Classification: DB32/T 4653-2024 (in Chinese) [S]. Beijing: Stardards Press of China, 2024.

[23] 任义方，张蕾，李玉涛，等. 江苏冬小麦生育阶段干旱时空分布特征[J]. 生态学杂志，2023，42(8)：1890-1901. Ren Y F, Zhang L, Li Y T, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of drought during winter wheat growth stages in Jiangsu Province [J]. Chinese Journal of Ecology (in Chinese), 2023, 42(8): 1890-1901.

[24] Alexandersson H, Moberg A. Homogenization of Swedish temperature data. part i: homogeneity test for linear trends [J]. International Journal of Climatology, 1997, 17(1): 25-34.

[25] 卞光辉.《中国气象灾害大典 江苏卷》[M]. 北京：气象出版社，2008. Bian G H. The Great Canon of Meteorological Disasters in China: Jiangsu Volume (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008.

[26] 中国气象局.《中国气象灾害年鉴 2014》[M]. 北京：气象出版社，2015. China Meteorological Administration. China Meteorological Disaster Yearbook 2014 (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015.

[27] 宋刘明，周秋林，陆琛莉，等. 气象灾害快速评估技术规范：DB3304/T 030 - 2018[S]. 北京：中国标准出版社，2018. Song L M, Zhou Q L, Lu C L, et al. Technical Specifications for Rapid Assessment of Meteorological Disasters: DB3304/T 030 - 2018 (in Chinese) [S]. Beijing: Stardards Press of China, 2018.

[28] 曹欣沛，梁萍，黄文娟，等. 人工智能大模型对 2024 年长江中下游梅雨的预测评估[J]. 热带气象学报，2024，40(6)：1045-1062. Cao X P, Liang P, Huang W J, et al. Evaluation of AI model predictions for the 2024 Meiyu season in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2024, 40(6): 1045-1062.

[29] 孙锦铨，陈永秀. 长江中下游春季连阴雨天气气候分析[J]. 气象，1991，17(5)：29-34. Sun J Q, Chen Y X. Climatic analysis of continuous rainy weather in spring in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 1991, 17(5): 29-34.

[30] 任义方，赵艳霞，王春乙. 河南省冬小麦干旱保险风险评估与区划[J]. 应用气象学报，2011，22(5)：537-548. Ren Y F, Zhao Y X, Wang C Y. Winter wheat drought disaster insurance risk assessment and regionalization in Henan Province [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 2011, 22(5): 537-548.

[31] 盛绍学，霍治国，石磊. 江淮地区小麦涝渍灾害风险评估与区划[J]. 生态学杂志，2010，29(5)：985-990. Sheng S X, Huo Z G, Shi L. Risk assessment and regionalization of waterlogging disaster for wheat in Jianghuai Region [J]. Chinese Journal of Ecology (in Chinese), 2010, 29(5): 985-990.

[32] 赵平伟，王佳妮，张云秋，等. 云南及周边地区土壤水分时空演变及其与环境因子的相关性[J]. 气象科技，2025，53(2)：259-270. Zhao P W, Wang J N, Zhang Y Q, et al. Temporal and spatial evolution of soil moisture in Yunnan and surrounding areas and its correlation with environmental factors [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2025, 53(2): 259-270.

[33] 石耀辉，王海龙，朱永超，等. 宇宙射线中子法土壤水分监测在不同生态系统雨季的适用性[J]. 气象科技，2024，52(1)：1-9. Shi Y H, Wang H L, Zhu Y C, et al. Suitability of cosmic ray neutron probe for soil moisture in different ecosystems during rainy season [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2024, 52(1): 1-9.

[34] 姜涛，倪皖莉，李玮，等. 沿江及环湖渍涝区灾后改种秋播荞麦栽培技术[J]. 现代农业科技，2016(24)：34-35. Jiang T, Ni W L, Li W, et al. Cultivation techniques of autumn sowing buckwheat after disaster in waterlogged areas along the Yangtze River and around the lake [J]. Modern Agricultural Science and Technology (in Chinese), 2016(24): 34-35.

[35] 郑宏艳，米长虹，刘书田，等. 墒情诊断模型的理论分析、综合评价和展望[J]. 生态学杂志，2017，36(12)：3456-3461. Zheng H Y, Mi C H, Liu S T, et al. Theoretical analysis, comprehensive evaluation and prospect of soil moisture diagnostic models [J]. Chinese Journal of Ecology (in Chinese), 2017, 36(12): 3456-3461.

[36] 李翠娜，王柏林，张广周，等. 自动土壤墒情监测管理系统设计与应用[J]. 气象科技，2016，44(3)：381-386. Li C N, Wang B L, Zhang G Z, et al. Design and application of soil moisture monitoring management system [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 2016, 44(3): 381-386.

Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Impacts of Continuous Rain on Soil Moisture Conditions during Period of Summer Harvesting and Sowing in Jiangsu Province

REN Yifang XIANG Ying
(Jiangsu Climate Centre, Nanjing 210041)

Abstract: Against the backdrop of global warming, understanding the occurrence patterns of continuous rain during the summer harvest and planting period is crucial for avoiding the increasingly frequent risks of continuous rain disasters during the maturation and harvest stages of rapeseed/wheat, as well as the sowing and emergence stages of rice/dryland crops. Using data on meteorology, soil moisture, and crop production progress from 1981 to 2020, this study calculates the continuous rain intensity index based on the start and end times of the summer harvest and planting period and the criteria for determining continuous rain. It establishes the corresponding relationship between the continuous rain intensity index and the increment of 10 cm soil relative humidity and defines the impact levels of continuous rain intensity during the summer harvest and planting period. By employing spatial-temporal statistics and EOF (Empirical Orthogonal Function) methods, the study classifies different regions, decades, intensity levels, and stages to analyse the spatial-temporal distribution characteristics and occurrence patterns of continuous rain during the summer harvest and planting period in Jiangsu Province. The results show that, in terms of time, the number of continuous rain occurrences in southern, central, and northern Jiangsu is 0.38 times/year, 0.72 times/year, and 0.98 times/year, respectively. The high-incidence period is concentrated in 2010—2020, with the occurrence intensity showing an upward trend of 0.15—0.25 per decade. The periods of strong occurrence are concentrated in 2001—2020, and mild, strong, extra strong continuous rains mostly occur in late May-early June and late June. In terms of space, the frequency and intensity of continuous rain show a pattern of "more in the south and less in the north" and "lighter in the north and heavier in the central and southern regions." The number of occurrences of continuous rain at all intensity levels follows the order: southern Jiangsu > central Jiangsu > northern Jiangsu. In terms of typical years, the intensity of continuous rain in the Lixiahe region of Jiangsu is the strongest in 2003, 2015, and 2020; the intensity is relatively strong in the north-central part of the area between the Yangtze and Huaihe Rivers in 2003, 2006, and 2012; and the intensity is relatively strong in the central part of southern Jiangsu in 2003, 2015, and 2020. In actual production, focus should be placed on the frequent and severe occurrence regions and periods of continuous rain during the summer harvest and planting period, so as to scientifically prevent farmland waterlogging, optimise the allocation of agricultural machinery and equipment, and rationally achieve risk transfer.

Keywords: continuous rainy; summer harvesting and sowing; intensity index; change characteristic; Jiangsu

Received: 2025-3-7 Accepted: 2025-8-18