

赵梦凡,景元书. 夏季持续高温天气对低丘红壤区稻田蒸散的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):287-291.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.02.069

夏季持续高温天气对低丘红壤区稻田蒸散的影响

赵梦凡^{1,2,3}, 景元书^{1,2}

(1. 气象灾害预报预警与评估协同创新中心/江苏省农业气象重点实验室,江苏南京 210044;
2. 南京信息工程大学应用气象学院,江苏南京 210044; 3. 青海省气象科学研究所,青海西宁 810001)

摘要:高温天气随气候变暖趋势逐渐频发,研究高温天气背景下的稻田蒸散对分析区域水分平衡和季节性高温干旱防治有重大意义。2016 年 8 月 11—26 日形成夏季持续高温天气(日最高温度 $\geq 35^{\circ}\text{C}$),期间稻田蒸散相较 2014 年、2015 年同期的波动趋势与热力因子变化明显不同,并且随着持续高温的累积,稻田日蒸散变化由最初明显的“双峰”曲线变为典型的“单峰”曲线。主成分分析与相关性分析研究气象因子与稻田蒸散的关系,结果显示:净辐射、相对湿度对稻田蒸散的作用不受持续高温胁迫影响;当水稻田受到夏季持续高温胁迫影响时,稻田蒸散受热力因子影响减小,受降水、风速因子影响增加;当水稻田未受到夏季持续高温胁迫影响时,稻田蒸散主要受到净辐射、热力因子影响。

关键词:稻田蒸散;高温;气象因子;主成分分析

中图分类号: S161.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)02-0287-05

政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第 5 次评估报告指出^[1-2]:20 世纪中叶以来,全球极端天气事件的强度和频率发生明显变化,极端暖事件增多,极端冷事件减少,高温天气发生频率更高,持续时

收稿日期:2017-09-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:41575111、41175098);公益性行业(气象)科研专项(编号:GYHY201406025、GYHY200906030)。

作者简介:赵梦凡(1991—),女,陕西西安人,硕士研究生,主要从事农业气象研究。E-mail:zhaomengfan1001@163.com。

通信作者:景元书,博士,教授,主要从事农业气象研究。E-mail:jingyushu@163.com。

通过对新疆酿酒葡萄园中酵母多样性的研究,探明了新疆本土酿酒葡萄园中酵母菌种群的分布特征,为本地区酿酒葡萄的种植和潜在的酵母菌资源利用提供了理论基础与实践基础。

参考文献:

- [1] 刘凤之. 中国葡萄栽培现状与发展趋势[J]. 落叶果树,2017(1):1-4.
- [2] 李华,兰玉芳,王华. 中国酿酒葡萄气候区划指标体系[J]. 科技导报,2011,29(1):75-79.
- [3] 张伟伟,陈曦,钟其顶,等. 不同品种酿酒葡萄表皮微生物群落多样性分析[J]. 生物技术通报,2017,33(3):128-137.
- [4] 汤晓玉,肖泽仪,王文国,等. 利用硅橡胶膜生物反应器适应性进化培育耐持久力酵母菌株[J]. 酿酒科技,2014(3):4-8.
- [5] Kurtzman C P, Fell J W, Boekhout T, et al. Chapter 7—Methods for isolation, phenotypic characterization and maintenance of yeasts[J]. Yeasts, 2011, 1(14):87-110.
- [6] Saksinchai S, Suzuki M, Chantawannakul P A, et al. A novel ascosporogenous yeast species, *Zygosaccharomyces siamensis*, and the sugar tolerant yeasts associated with raw honey collected in Thailand

间更长。与全球一致,1961 年以来,我国区域性高温、气象干旱和强降水事件增多,低温事件明显减少。报告还指出,预计 2016—2035 年全球地表平均温度将上升 $0.3 \sim 0.7^{\circ}\text{C}$,随着全球平均温度上升,极端暖事件将进一步增多。高温天气频发对水资源、生态环境等影响重大,但对于不同地区影响程度各有不同^[3-7]。

稻田蒸散(evapotranspiration, ET)是地表热量平衡及水量平衡的重要组成部分,由土壤蒸发和作物蒸腾共同组成,与水稻作物生理生态过程、土壤水分状况和气候因素密切相关,ET 分析对农田灌溉管理、作物产量模拟、提升作物水分利用率、农业节水研究等意义重大^[8-9]。在全球极端高温天气频

- [J]. Fungal Diversity, 2012, 52(1):123-139.
- [7] 周新丽,李治滢,杨丽源,等. 云南程海湖酵母菌多样性及应用[J]. 微生物学报,2011,51(4):547-553.
- [8] Drozd I, Makarewicz M, Sroka P, et al. Comparison of the yeast microbiota of different varieties of cool-climate grapes by PCR-RAPD[J]. Potravinarstvo, 2015, 9(1):293-298.
- [9] Spencer J, Rawling S, Stratford M, et al. Yeast identification: reassessment of assimilation tests as sole Universal identifiers[J]. Letters in Applied Microbiology, 2011, 53(5):503-508.
- [10] 郭小芳,德吉,刘洋. 我国土壤及淡水酵母菌多样性研究进展[J]. 西藏科技,2017(5):12-21.
- [11] 李双石,陈晶瑜,韩北忠. 中国本土葡萄酒酵母种群多样性分布的研究进展[J]. 中国酿造,2011,30(12):4-8.
- [12] 李艳,卢君,张利中. 沙城龙眼葡萄园土壤中酵母菌多样性研究[J]. 食品科学,2010,31(19):313-316.
- [13] Ashton H. Ainsworth and bisby's dictionary of the fungi (10th edition)[J]. Reference Reviews, 2009, 23(5):42.
- [14] 王海英,郭守玉,黄满荣,等. 子囊菌较担子菌具有更快的进化速率和更高的物种多样性[J]. 中国科学(生命科学),2010,40(8):731-737.

发的背景下,不同区域 ET 特征的研究一直是众多学科研究的焦点^[10-14],但关于红壤地区 ET 对高温天气响应的研究较少,研究多数集中在高温天气对作物产量的影响^[15-17]。试验区土壤母质为第四纪红黏土与红砂岩,是典型的红壤土质,且多为坡地,极易发生水土流失,因此研究持续高温天气背景下的稻田 ET,对分析低丘红壤区域土壤水分平衡和季节性高温干旱防治有重大意义。

本试验以江西省鹰潭市余江县孙家小流域的典型低丘红壤区稻田为研究对象,试验时间为 2014—2016 年的 8 月,试验研究资料为 2014—2016 年 8 月 11—26 日完整的晚稻 ET 数据及相应时段气象数据(日平均相对湿度 RH、日平均气温 T 、日最高气温 T_{\max} 、日最低气温 T_{\min} 、净辐射 R_n 、日降水量 P 、日平均风速 u)。对比分析不同高温天气背景下稻田 ET 的差异,同时通过主成分分析研究不同气象因子与稻田 ET 的关系,了解低丘红壤区稻田 ET 对高温天气的响应,同时也对科学管理田块和小流域水资源、提高水稻应对持续高温干旱天气的水分管理措施、改善红壤地区农业生态环境具有一定意义。

1 研究地区与方法

1.1 研究地区自然概况

研究地点选择具有代表性的江西省鹰潭市余江县刘家站垦殖农场三分场孙家小流域(28°15'N, 116°55'E),该地区属亚热带湿润季风气候,年平均太阳能辐射总量为 4 541.7 MJ/m²,年光合有效辐射量 222.3 MJ/m²。年平均气温为 17.6℃,其中 1 月平均气温 5.2℃,7 月平均气温 29.3℃。年平均降水量 1 788.8 mm,但季节分布不均,雨季大多集中在每年的 4—6 月,约占全年降水的 50%。多年平均蒸发量为 700~800 mm,夏秋季节高温少雨,7—9 月蒸发量接近全年的 50%,高温少雨、蒸发量大于降水量、雨热不同期常造成夏秋伏旱。平均年日照时数 1 739.4 h,无霜期 258 d。

试验地区由耕地、林地、水田、果园、建设用地复合构成,土壤多为第四纪红黏土与红砂岩发育的普通红壤,蓄水能力较低,易发生水土流失。小流域按照排水界线确定,面积 46 hm²,海拔在 41~55 m 之间,坡度小于 8°,为一完整的小流域。

1.2 观测内容与数据处理

1.2.1 ET 数据 稻田 ET 具体数值使用波文比仪观测数据。波文比仪安装在稻田中间,采集高度差为 1.5 m 的空气温、湿度,净辐射值通过 NR-Lite 净辐射传感器(Kipp & Zonen, NED)测得,土壤热通量值通过埋深 5 cm 的土壤热通量板(Hukseflux, HFPO1, 荷兰)采集。输出数据频率为 20 min/次,为了与气象数据序列一致,进行插补形成完整的 30 min 数据。在无风或风速较低条件下,环境中的温、湿梯度不易受水平气流影响,观测得到的波文比值基本能反映环境波文比特征,测算的蒸散量较为准确,能够代表环境实际蒸散量。

1926 年英国物理学家 Bowen 提出波文比的概念,并将波文比与能量平衡方程联立,提出了 BRER^[18]。波文比即地表能量平衡方程中显热通量与潜热通量之比:

$$\beta = H/(\lambda ET) = \gamma(\Delta T/\Delta e); \quad (1)$$

$$H = (R_n - G)/(1 + 1/\beta); \quad (2)$$

$$\lambda ET = (R_n - G)/(1 + \beta). \quad (3)$$

因此,波文比仪计算 ET 可表示为:

$$ET = (R_n - G)/[\lambda(1 + \beta)]. \quad (4)$$

式中: β 为波文比(Bowen ratio); γ 为干湿表常数, $\gamma = 0.067 \text{ kPa}/^\circ\text{C}$; ΔT 为 2 层高度温差,℃; Δe 为 2 层高度水汽压差,kPa; R_n 为到达地表的净辐射通量,W/m²; G 为土壤热通量,W/m²; H 为显热通量,W/m²; λET 为潜热通量,W/m²,其中 λ 为水的汽化潜热, $\lambda = 2.45 \text{ MJ/kg}$;因此,BRER 只需测量温、湿梯度 2 个参数以及 R_n 和 G 即可计算出 ET。

波文比仪数据处理:BRER 在日出、日落时刻或发生水平降水时,可能会产生较大误差,应根据 Perez 等提供的动态确定无效 β 的方法剔除异常值,并进行插补^[19-20]。

1.2.2 气象数据 自动气象站(HOBO U30, ONSET, USA)架设在混合农田中间,观测逐日气象资料,包括空气温度、相对湿度、2 m 高度风速、降水量、气压等数据。输出数据频率为 30 min/次。

气象数据处理:剔除强降水数据,并对异常、缺失数据采用插值法进行补全。

1.3 研究方法

主成分分析(principal component analysis, PCA)最早由 Pearson 于 1901 年提出,是一种把多个彼此之间存在着一定相关性的变量,通过降维过程分为少数几个综合指标的一种统计分析方法,具体体现在从众多可观的变量中抽取少数或几个潜在的综合因子,并使这些综合因子能尽可能地反映原来变量的信息量,而且彼此之间互不相关,从而揭示原事物的本质,有效地实现降维达到简化数据的目的^[21-24]。具体计算过程见文献[25-27]。

本研究通过 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 21.0 统计软件,采用主成分分析和相关分析对气象因子与稻田 ET 进行统计分析和相关性检验。

2 结果与讨论

2.1 2016 年夏季高温天气特征分析

2.1.1 2016 年夏季持续高温天气特征分析 国内外常用水稻高温指标有^[28]:高温日数(HSD),即连续 3 d 日最高气温到达或超过 35℃的累积天数;高温持续日数(CHD),即一次高温事件中,日最高气温超过 35℃时持续的日数。由图 1 可知,余江县孙家小流域 2011—2016 年 8 月,HSD、CHD 最高值均出现在 2016 年,其中 2011—2015 年平均 HSD 为 11 d,平均 CHD 为 8.2 d,2016 年 HSD 为 21 d,CHD 为 16 d(2016 年 8 月 11—26 日),增长明显。2016 年夏季持续高温天气正好处于晚稻拔节孕穗末期和抽穗开花初期,这段时间正是水稻对温度最为敏感的时期,此时形成持续高温天气,且期间日平均气温和日最高气温均创历史同期新高,对晚稻之后的生长发育及产量品质均产生不利影响。

由图 2 可知,2016 年 8 月 11—26 日持续高温, T_{\max} 波动不明显,最高值与最低值之间仅相差 2.53℃,日均 T_{\max} 为 36.36℃,总体呈现出略微上升的趋势。2014 年、2015 年同期 T_{\max} 波动均较为明显,其中 2015 年 T_{\max} 没有表现出明显上升或下降的趋势,日均 T_{\max} 为 32.83℃,而 2014 年则表现出

明显的上升趋势,日均 T_{\max} 为 29.73 ℃;2014 年 8 月 11—26 日的 T_{\max} 全部小于 35 ℃,2015 年同期 T_{\max} 仅有 3 d 大于 35 ℃,其余均小于 35 ℃,而 2016 年同期 T_{\max} 则全部大于 35 ℃,2014—2016 年 T_{\max} 的变化也从一定程度上表现了气候变暖的趋势。

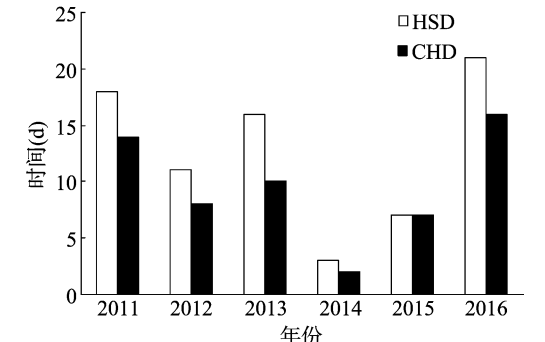


图1 2011—2016 年 8 月高温天气比较

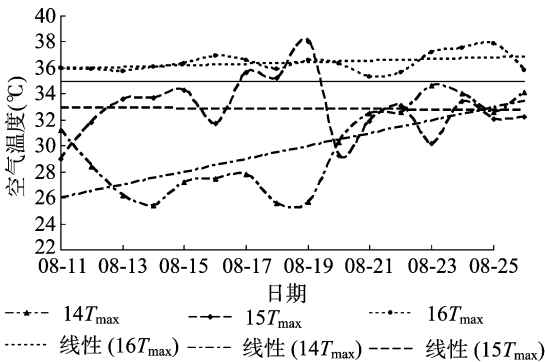


图2 2014—2016 年 8 月 11—26 日日最高气温比较

2.1.2 2016 年夏季持续高温天气气象数据特征分析 2016 年 8 月 11—26 日 R_n 、 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 与 2014 年、2015 年同期相比,均表现为正增长,增长率从高到低排序依次为 R_n 、 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} ,其中 R_n 增长率最高,达到 65.59%, T_{\min} 增长率最低,为 15.35%。 RH 、 P 、 u 均表现为负增长,其中 P 降幅最大,达 99.30%, u 次之,为 67.74%, RH 降幅最小,为 21.93% (表 1)。定义 R_n 为辐射因子, T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 为热力因子, RH 、 P 为水分因子, u 为动力因子,即 2016 年受夏季持续高温天气影响,辐射因子、热力因子表现为正增长趋势,水分因子、动力因子表现为负增长趋势,这一变化趋势与长江中下游地区总体趋于一致^[29]。

表 1 2014—2016 年 8 月 11—26 日气象因子日均值特征对比

年份	R_n [MJ/(m ² ·d)]	T (℃)	T_{\max} (℃)	T_{\min} (℃)	RH (%)	P (mm)	u (m/s)
2014—2015	8.66	26.57	31.28	23.91	88.13	4.27	1.55
2016	14.34	31.69	36.36	27.58	68.80	0.03	0.50
变化率(%)	65.57	19.28	16.24	15.34	-21.94	-99.42	-67.79

2.2 夏季高温天气影响下的稻田 ET 对比分析

2.2.1 2014—2016 年夏季高温天气影响下的稻田日尺度 ET 对比分析 由图 3 可知,2014 年受夏季高温天气影响,稻田 ET 呈现上升趋势,其拟合方程系数为 0.20,同一时期 T_{\max} 拟合方程系数为 0.50,两者均为正值,且 ET 上升趋势小于 T_{\max} 。ET 波动较为显著,极差为 7.06 mm/d;2015 年夏季气

温波动显著,稻田 ET 与之相似也表现出明显的波动,ET 极差为 4.53 mm/d,且两者拟合方程系数均为 -0.01,无明显上升或下降趋势。从图 4 可以看出,2016 年夏季受持续高温天气影响,ET 首先在 8 月 11—17 日呈现微弱的上升趋势,此时段拟合方程系数为 0.05,与 2016 年夏季持续高温全时段 T_{\max} 拟合方程系数(0.06)接近。之后在 8 月 18—26 日 ET 呈现下降趋势,拟合方程系数为 -0.14,与整个持续高温天气下的 ET 拟合系数接近(-0.17)。表明受超过 35 ℃ 的持续高温天气影响,ET 首先表现为与 T_{\max} 相近的趋势,但在高温持续一段时间后,ET 表现出下降的趋势。这一结果表明随着高温胁迫天数的逐渐增加,作物光合速率逐渐降低,因光合与蒸散密切相关,进而导致稻田 ET 逐渐降低。

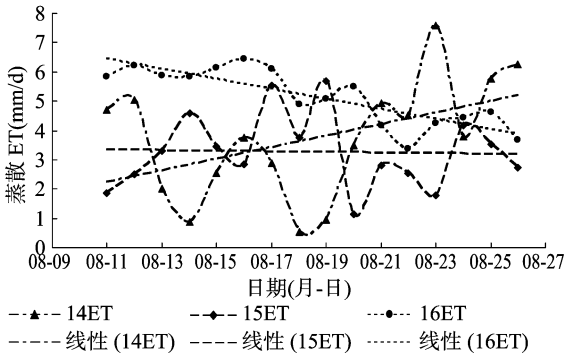


图3 2014—2016年8月11—26日稻田蒸散

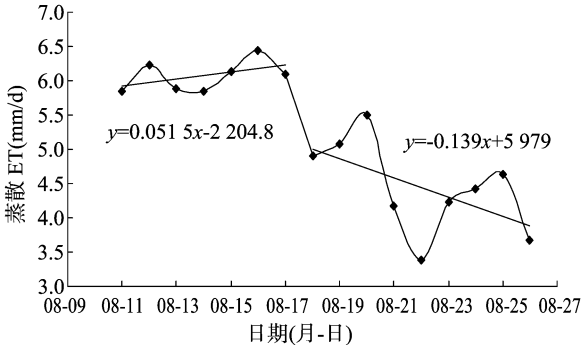


图4 2016年8月11—26日稻田蒸散分段趋势

2016 年受夏季持续高温影响(日最高气温均存在 $T_{\max} \geq 35$ ℃),8 月 11—18 日,稻田 ET 均大于 2014 年、2015 年同期,随着高温的持续,之后的 ET 逐渐呈现下降的趋势。与气温变化特征相似,2015 年同期 ET 基本均低于 2016 年,2014 年同期则表现为前期 ET 低于 2016 年(8 月 11—19 日),后期基本高于 2016 年(8 月 20—26 日);2014 年与 2015 年同期稻田 ET 相比,基本与气温变化相近,但由于 2015 年 8 月 20—26 日受到低风速高湿度影响,与 2014 年同期 ET 差异较温度差异更大。

2.2.2 2016 年夏季持续高温天气影响下的稻田 ET 日变化对比分析 为了解夏季持续高温天气下稻田 ET 日变化特征,选择时间间隔相同的 8 月 12、18、24 日稻田 ET 日变化数据进行分析。从图 5 可以看出,12、18 日稻田 ET 变化曲线相似,00:00—6:00、18:00—24:00 ET 均为负值或趋近于 0,07:00—17:00 ET 均为正值,并且 2 日 ET 均呈现明显的双峰曲线,正午过后稻田 ET 表现出明显的减少趋势,之后又有所增加。造成这一结果的原因可能是由于水稻的“午休”现象,

即水稻的气孔导度通常随气温升高而增大,达到最高值之后,在正午时刻由于高温导致水稻内部水分传输出现断层进而引起叶片水分亏缺、气孔闭合,最终使得稻田 ET 开始减小^[30];经过 13 d 超过 35 ℃ 的持续高温胁迫后,24 日的稻田 ET 呈现单峰曲线,00:00—06:00、18:00—24:00 的稻田 ET 与 12、18 日同一时刻相近且均为负值,07:00—17:00 稻田 ET 均为正值,正午前后稻田 ET 明显低于 12、18 日。稻田是水田,因此这一现象可能是由于持续高温胁迫对水稻生理造成破坏而引起的,高温胁迫降低水稻根系活力、减缓叶片光合速率,最终导致水稻生理受损进而降低 ET^[31]。

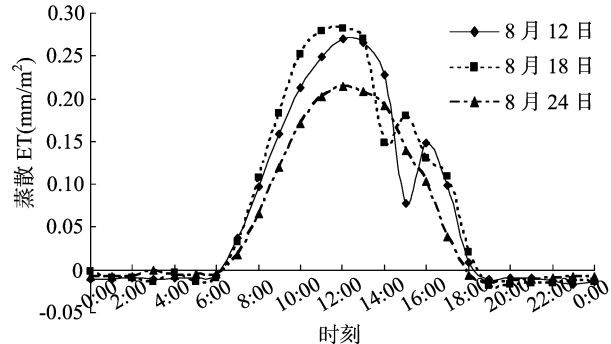


图5 2016年典型夏季高温天气影响下的稻田蒸散日变化

2.3 夏季高温天气背景下气象因子对稻田 ET 的影响

2.3.1 2014—2016 年夏季高温天气背景下气象因子与稻田 ET 的主成分分析 影响稻田 ET 的气象因子众多,并且不同的气象因子之间也相互影响,将影响稻田 ET 的气象因子,包括 RH(日平均相对湿度)、 T (日平均气温)、 T_{\max} (日最高气温)、 T_{\min} (日最低气温)、 R_n (净辐射)、 P (日降水量)、 u (日平均风速),通过 SPSS 软件进行主成分分析。为了更清楚地解释各个主成分组成因子对稻田 ET 的影响,对载荷矩阵进行方差最大化旋转。

通过主成分分析对 2014 年夏季高温天气背景下的稻田 ET 与气象因子进行研究,由于前 2 个主成分的特征值占总方差的百分比达 83.45%,因此气象影响因子分为 2 种。从表 2 可以看出,第 1 主成分在 R_n 、 T_{\max} 、 T 、RH、 T_{\min} 、 P 上有较大载荷,且载荷值依次降低; u 在第 2 主成分上载荷较大。

表 2 2014 年研究时段旋转成分矩阵

变量	R_n	T	T_{\max}	T_{\min}	RH	P	u
第 1 主成分	0.98	0.92	0.93	0.90	-0.92	-0.66	0.09
第 2 主成分	-0.26	0.02	-0.16	0.21	-0.05	-0.06	0.78

2015 年同期主成分分析表明前 2 个主成分的特征值占总方差的百分比为 70.08%,因此选用前 2 个主成分代表稻田 ET 影响因子。从表 3 可以看出,第 1 主成分在 R_n 、 T_{\max} 、RH、 T_{\min} 、 T 上有较大载荷,且载荷值依次降低; P 、 u 在第 2 主成分上载荷较大。

表 3 2015 年研究时段旋转成分矩阵

变量	R_n	T	T_{\max}	T_{\min}	RH	P	u
第 1 主成分	0.94	0.78	0.92	0.82	-0.85	-0.02	0.01
第 2 主成分	-0.16	0.57	0.12	0.02	0.49	0.82	0.77

对 2016 年夏季持续高温天气时段稻田 ET 与气象因子进行主成分分析,发现前 3 个主成分的特征值占总方差的百分

比为 84.00%,即前 3 个主成分已经对 7 个气象因子所涵盖的信息进行了概括,因此选用前 3 个主成分代替原有稻田 ET 影响因子。表 4 是旋转后的主成分载荷矩阵,可以看出第 1 主成分在 RH、 R_n 上有较大载荷,且载荷值依次降低; P 、 u 在第 2 主成分上载荷较大; T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 在第 3 主成分上载荷较大。

表 4 2016 年研究时段旋转成分矩阵

变量	R_n	T	T_{\max}	T_{\min}	RH	P	u
第 1 主成分	0.93	0.51	0.50	0.28	-0.96	-0.35	0.42
第 2 主成分	0.42	0.55	0.58	0.32	-0.55	-0.79	0.82
第 3 主成分	0.03	0.65	0.77	0.82	-0.12	0.06	0.16

2.3.2 2014—2016 年夏季高温天气背景下气象因子与稻田 ET 的相关性分析 通过对变量进行相关检验,能更好地反映稻田 ET 与气象因子的相关关系。在夏季高温天气条件下,2014 年 R_n 、 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 与稻田 ET 均为正相关,相关系数全部在 0.6 以上且均在 0.01 水平上显著相关。ET 与 RH、 P 有显著负相关关系,与 u 相关关系不显著。2015 年研究时段稻田 ET 与 R_n 、 T_{\max} 、 T 均在 0.01 水平上显著相关, T_{\min} 与 ET 在 0.05 水平上显著相关,且均为正相关关系。稻田 ET 与 RH 表现出显著的负相关关系,但与 P 、 u 相关关系不显著;2014 年、2015 年夏季高温天气背景下,辐射因子、热力因子、水分因子(其中 RH 影响较大, P 影响较小)是影响稻田 ET 的主要影响因子,动力因子基本无影响。这一结果与张雪松等的研究结果^[32]一致,即 R_n 对稻田 ET 影响最大, u 与 ET 无明显相关关系。2016 年同期稻田 ET 与 R_n 为正相关,与 RH、 P 、 u 为负相关,其中 ET 与 R_n 、RH 在 0.01 水平上显著相关,与 P 、 u 在 0.05 水平上显著相关。即 2016 年夏季持续高温胁迫下,辐射因子和水分因子是影响 ET 的主要影响因子,动力因子次之,热力因子影响较低(表 5)。

表 5 2014—2016 年 8 月 11—26 日稻田蒸散与气象因子的相关系数

年份	与 ET 的相关系数						
	R_n	T	T_{\max}	T_{\min}	RH	P	u
2014	0.99 **	0.88 **	0.87 **	0.69 **	-0.79 **	-0.41 *	-0.09
2015	0.96 **	0.66 **	0.90 **	0.47 *	-0.82 **	0.05	-0.07
2016	0.91 **	-0.09	0.18	-0.39	-0.63 **	-0.44 *	0.43 *

注:**表示在 0.01 水平上显著相关(双侧检验);*表示在 0.05 水平上显著相关(双侧检验)。

对比 2014—2016 年夏季同一时段稻田 ET 与气象因子的相关关系,发现 ET 与 R_n 、RH 的相关关系不受持续高温天气影响,始终在 0.01 水平上显著相关,且正负相关关系一致。当受到夏季持续高温胁迫影响时,稻田 ET 受热力因子影响减小,受 P 、 u 影响增加。在持续高温胁迫条件下,风速对稻田 ET 影响作用加强,风速增加/减小使得稻田小环境内的对流加剧/减弱,最终引起稻田 ET 的增加/减少,根据这一结论可以考虑减小水稻种植密度,增加行间距离,加强水稻内部空气对流,促进稻田 ET。热力因子影响降低的原因可能是由于稻田受到夏季持续高温天气的影响,使得水稻在高温天气开始阶段蒸散作用旺盛,但随着高温的持续,水稻根部来不及吸水,引起叶片缺水从而导致气孔关闭,最终使得光合作用受到抑制,水稻蒸腾作用受阻,导致稻田 ET 总体上呈减弱趋势。

3 结论

本研究选取低丘红壤区稻田为研究对象,通过对2014—2016年8月11—26日完整的晚稻ET数据及相应时段气象数据进行分析,研究不同高温天气背景下稻田ET的差异,同时通过主成分分析研究不同气象因子与稻田ET的关系。结论如下:(1)2016年夏季持续高温天气显著,CHD达16 d, R_n 、 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 相较2014年、2015年同期均呈现一定程度上的正增长,RH、 P 、 u 则表现为一定程度上的负增长。(2)2016年受夏季持续高温胁迫影响,稻田ET首先随气温同步小幅增加,之后变化又与气温不同,呈现稳步大幅下降趋势。2014年、2015年同期未受持续高温胁迫影响,稻田ET变化与气温变化特征相似。(3)进一步研究2016年受夏季高温胁迫条件下的稻田日蒸散变化,发现受胁迫初期稻田日ET变化曲线相似,均呈现明显的双峰曲线,凌晨至正午表现出上升趋势,正午过后稻田ET表现出明显的减少趋势,之后又有所增加。在经过13 d超过35℃的持续高温胁迫后,稻田日蒸散则表现为单峰曲线,正午达到峰值,日出前日落后稻田ET小于0。(4)通过对2014—2016年研究时段的稻田ET与7个气象因子进行主成分分析和相关检验,发现 R_n 、RH对稻田ET的作用不受持续高温胁迫影响, R_n 与ET呈正相关,RH与ET呈负相关。2014年、2015年未受到夏季持续高温胁迫影响时,稻田ET主要受到辐射因子、热力因子影响,当受到夏季持续高温胁迫影响时,稻田ET受热力因子影响减小,受 P 、 u 影响增加。

参考文献:

- [1] Church J, Clark P, Cazenave A, et al. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate Change[J]. Climate Change, 2013, 1138: 1138–1191.
- [2] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(7): 874–883.
- [3] Goyal R K. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India) [J]. Agricultural Water Management, 2004, 69(1): 1–11.
- [4] 邱新法, 刘昌明, 曾燕. 黄河流域近40年蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 437–442.
- [5] 荣艳淑, 张行南, 姜海燕, 等. 长江上游区域蒸发皿蒸发量变化及其对水分循环的影响[J]. 地球物理学报, 2012, 55(9): 2889–2897.
- [6] 罗伯良, 李易芝. 2013年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 593–598.
- [7] 王国华, 赵文智, 刘冰, 等. 河西走廊荒漠—绿洲蒸散对夏季高温天气响应的初步研究[J]. 干旱区研究, 2013, 30(1): 173–181.
- [8] 刘渡, 李俊, 于强, 等. 涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5309–5317.
- [9] 李鸿雁, 薛丽君, 王世界, 等. 基于水热耦合平衡理论的嫩江流域蒸散发估算[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 47–53.
- [10] 王建兵, 王素萍, 汪治桂. 1971—2010年若尔盖湿地潜在蒸散量及地表湿润度的变化趋势[J]. 地理科学, 2015, 35(2): 245–

250.

- [11] 吕晓蓉, 王学雷. 湖北省潜在蒸散量的时空变化及其影响因子分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2016, 50(5): 764–769.
- [12] 王晓燕, 陈洪松, 王克林. 红壤坡地不同土地利用方式土壤蒸发和植被蒸腾规律研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 41–45.
- [13] 张晓艳, 褚建民, 孟平, 等. 环境因子对民勤绿洲荒漠过渡带梭梭人工林蒸散的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2390–2400.
- [14] 贾秋洪, 景元书, 景桂洪. 典型小流域气候变化及其对潜在蒸散量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2016(1): 1–7.
- [15] 陈昆, 黄淑娥, 景元书. 江西省早稻高温逼熟规律及其对产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 143–148.
- [16] 赵鸿, 王润元, 尚艳, 等. 粮食作物对高温干旱胁迫的响应及其阈值研究进展与展望[J]. 干旱气象, 2016, 34(1): 1–12.
- [17] 王品, 魏星, 张朝, 等. 气候变暖背景下水稻低温冷害和高温热害的研究进展[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2316–2326.
- [18] Bowen I S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface[J]. Physical Review, 1926, 27(6): 779–787.
- [19] 吴家兵, 关德新, 张弥, 等. 涡动相关法与波文比—能量平衡法测算森林蒸散的比较研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(10): 1245–1249.
- [20] Perez P J, Castellvi F, Ibanez M, et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 97(3): 141–150.
- [21] Pearson K. Principal components analysis [J]. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal, 1901, 6(2): 566.
- [22] 唐启义, 冯明光. DPS数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [23] 张倩, 蔡焕杰, 魏新光, 等. 基于主成分分析的参考作物腾发量预测研究[J]. 节水灌溉, 2010(12): 64–66.
- [24] 王莺, 王静, 姚玉璧, 等. 基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价[J]. 生态环境学报, 2014, 23(12): 1897–1904.
- [25] 张文霖. 主成分分析在SPSS中的操作应用[J]. 市场研究, 2005(12): 31–34.
- [26] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和SPSS软件——兼与刘玉玫、卢纹岱等同志商榷[J]. 统计研究, 2005, 22(3): 65–69.
- [27] 何亮. 主成分分析在SPSS中的应用[J]. 山西农业大学学报, 2007, 6(增刊1): 20–22.
- [28] 熊伟, 冯灵芝, 居辉, 等. 未来气候变化背景下高温热害对中国水稻产量的可能影响分析[J]. 地球科学进展, 2016, 31(5): 515–528.
- [29] 刘维, 韩丽娟. 2016年夏季气候对农业生产的影响[J]. 中国农业气象, 2016, 37(5): 611–613.
- [30] Turner N C. Measurement and influence of environmental and plant factors on stomatal conductance in the field [J]. Agricultural and forest Meteorology, 1991, 54(2/3/4): 137–154.
- [31] 吉喜斌, 康尔泗, 赵文智, 等. 黑河流域山前绿洲灌溉农田蒸散发模拟研究[J]. 冰川冻土, 2004, 26(6): 713–719.
- [32] 张雪松, 闫艺兰, 胡正华. 不同时间尺度农田蒸散影响因子的通径分析[J]. 中国农业气象, 2017, 38(4): 201–210.