

淠史杭灌区中稻作物系数试验研究

李艳婷¹, 石梅² (1. 安徽省淠史杭灌溉试验总站, 安徽六安 237158; 2. 安徽省淠史杭总局设计院, 安徽六安 237158)

摘要 [目的] 计算淠史杭灌区中稻作物系数。[方法] 利用中稻各生育期参考作物蒸散量和实际蒸发蒸腾量求得作物系数。[结果] 淠史杭灌区参考作物蒸散量日均值拔节孕穗期最高为 5.1 mm; 作物实际蒸发蒸腾量抽穗开花期日平均最大为 6.3 mm, 其次是拔节孕穗期, 日平均为 6.2 mm。拔节孕穗期作物系数为 0.97~1.57, 平均为 1.33; 其次是抽穗开花期为 1.02~1.59, 平均为 1.31。因此, 拔节孕穗期和抽穗开花期为中稻水分敏感期。在浅湿间歇的灌溉制度下, 淠史杭灌区中稻作物系数与移栽后天数和积温具有较好的 3 次多项式关系, 相关系数分别为 0.985 7 和 0.993 2。[结论] 该研究找出淠史杭灌区中稻需水敏感期, 可为灌区水稻科学灌溉提供理论基础; 构建作物系数曲线, 可为淠史杭灌区中稻蒸散蒸腾量的计算提供科学依据。

关键词 中稻; 作物系数; 参考作物蒸散量; 实际蒸发蒸腾量

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)23-07799-03

Study on Middle-season Rice Crop Coefficient of Pishihang Irrigation District

LI Yan-ting et al (Anhui Province Pishihang Irrigation District Test Central Station, Liuan, Anhui 237158)

Abstract [Objective] The aim was to calculate the middle-season rice crop coefficient of Pishihang Irrigation District. [Method] The crop coefficient was obtained by reference crop evapotranspiration and actual evapotranspiration and transpiration in every growth periods of middle-season rice. [Result] The daily average value of reference crop evapotranspiration was highest at jointing-booting stage and was 5.1 mm; and the daily average value of actual evapotranspiration and transpiration was highest at heading-blooming stage and was 6.3 mm, and the next was at jointing-booting stage and the value was 6.2 mm. The crop coefficient at jointing-booting stage was 0.97-1.57, and the average value was 1.33; the next was at heading-blooming stage by 1.02-1.59, and the average value was 1.31. So the jointing-booting stage and heading-blooming stage were the moisture sensitive period of middle-season rice. Under the shallow wet and intermittent irrigation system, the crop coefficient of middle-season rice in Pishihang Irrigation District had better cubic polynomial relationship with days after transplanting and accumulated temperature, and their correlation coefficient was 0.985 7 and 0.993 2, resp. [Conclusion] The study finds out the moisture sensitive period of middle-season rice in Pishihang Irrigation District to provide a theoretical basis for rice scientific irrigation in irrigation areas, constructs crop coefficient curve to provide a scientific basis for calculating evapotranspiration and transpiration of middle-season rice in Pishihang Irrigation District.

Key words Middle-season rice; Crop coefficient; Reference crop evapotranspiration and transpiration; Actual evapotranspiration and transpiration

目前, 许多研究成果常采用计算参考作物蒸发蒸腾量后, 考虑植株因素函数项即作物系数, 换算出作物实际蒸散蒸腾量^[1]。作物实际蒸散量也可以通过水量平衡方程直接求得。作物系数是作物实际蒸散量和实测或估算的参考作物蒸腾量的比值, 是计算作物需水量的必要参数^[2]。Steele 等以播种后的天数为变量, 采用 5 次多项式进行回归, 分析确定了玉米的作物系数曲线。由于不同地点、不同年份的作物发育速率有所不同, 许多研究者还提出了另一种构建作物系数曲线的方法, 即以热量指标为变量, 将作物系数曲线与形态发育更好地联系起来。在这类方法中, 温度指标通常采用生长过程中的累积积温^[3]。

为此, 笔者利用 Penman - Monteith 公式计算参考蒸散量, 通过观测获得中稻实际蒸散蒸腾量, 求出作物系数; 找出淠史杭灌区中稻需水敏感期, 为灌区水稻科学灌溉提供理论基础; 并构建作物系数曲线, 为淠史杭灌区中稻实际蒸发蒸腾量的计算提供科学依据。

1 材料与与方法

1.1 试验区概况 试验于 2011~2013 年在安徽省淠史杭灌区灌溉试验总站进行。试验站位于六安市金安区城北乡甘铺村, 地理位置 116°33'E、31°51'N, 海拔 39 m (废黄河口基面), 处于北亚热带向暖温带转换过渡地带, 属低丘陵地区。

作物种植以水稻为主, 实行油 - 稻、麦 - 稻轮作, 历年平均日照时数为 2 040 h, 年平均气温为 15℃左右, 无霜期为 220~230 d。多年平均降雨量为 1 100 mm, 水面蒸发量为 700~900 mm (E601), 地下水埋深为 7 m。

试验在钢筋混凝土有底测坑中进行, 回填土层厚度为 1 m, 测坑土壤耕作层属重壤土, 底土多为黏土, 土壤容重 (0~100 cm 平均) 为 1.40 g/cm³, 田间持水量为 31.35%, 土壤有机质含量为 1.96%, pH 为 7.5, 全氮含量为 1.24 g/kg, 全磷含量为 0.28 g/kg, 全钾含量为 1.32 g/kg。

供试水稻品种为冈优渝九, 秧苗在 35 d 左右移栽, 移栽密度为 20 cm×25 cm, 每年播种日期为 4 月 15~5 月 1 日, 成熟日期为 9 月 20~30 日。

1.2 试验设计 根据灌区中稻生长发育特征将中稻全生育期划分为返青期、分蘖期、拔孕期、抽开期、乳熟期、黄熟期 6 个阶段, 采用浅湿间歇灌溉制度, 各生育期水层设计、间歇天数、蓄雨深度和各生育期天数如表 1 所示。

测坑面积为 2.5×1.6=4.0 m², 3 次重复, 采用浅湿间歇灌溉制度。测坑施红四方复合肥 0.5 kg/坑, 复合肥 N、P、K 有效含量分别为 13%、5%、7%, 相当于施纯 N 150 kg/hm², 五氧化二磷 60 kg/hm²。每个小区除水分管理外, 其他管理方式完全一致。

安徽省淠史杭灌溉试验总站小区为有底钢筋混凝土测坑, 无水分渗漏和侧渗。在水分覆盖田面的时候每天 08:00 用测针测定水面蒸发, 来确定有水层时的田间实际蒸发蒸散

量;当地表露出水面时用土钻法测定0~100 cm土壤水分,每隔20 cm测定一次,各生育阶段初末、灌溉前后、降水前后加测,确定有水层时的田间实际蒸发蒸散量。

表1 2011~2013年中稻水稻各生育期水层、间歇天数、蓄雨深度、各生育阶段天数设计标准

各生育阶段	设计水层	间歇天数	蓄雨深度	各生育期阶
	mm	d	mm	段天数//d
返青期	10~30	不脱水	30	8
分蘖期	0~40	3~5	40	33
拔节孕穗期	0~40	落干烤田	60	25
抽穗开花期	0~40	1~3	80	10
乳熟期	0~40	1~3	100	18
黄熟期	0~40	3~5	50	14
全生育期	干干湿湿			107

在田间利用量筒测定降雨量,气象资料来源于安徽省淠史杭灌溉试验总站自动气象站。田间管理保证中稻正常生长发育,未受病虫害影响,为当地气候、土壤背景条件下最佳产量。

1.3 研究方法 作物系数 K_c 可由式(1)求得:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (1)$$

式中, K_c 为作物系数(比值,无量纲); ET_c 为作物实际蒸发蒸腾量,mm,指在适宜的土壤水分条件下,作物正常生长发育,获得较高产量作物的蒸腾和棵间蒸发量之和; ET_0 为时段内参考作物蒸发蒸腾量,mm。可通过FAO推荐的Penman-Monteith公式计算参考蒸散量,见式(2):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

式中, ET_0 为参考作物蒸散量,mm/d; R_n 为地表净辐射,MJ/(m²·d); G 为土壤热通量,MJ/(m²·d); T 为2 m高处

表2 2011~2013年中稻各生育阶段参考作物蒸散量

年份	返青期		分蘖期		拔节孕穗期		抽穗开花期		乳熟期		黄熟期		全生育期	
	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均
2011	34.8	4.3	141.1	4.2	126.8	4.5	49.5	4.5	73.7	3.9	50.8	3.6	476.7	4.2
2012	32.0	4.0	150.1	4.3	106.4	5.3	22.7	2.5	67.3	3.4	53.5	3.6	435.3	4.1
2013	33.3	4.2	130.6	4.5	142.7	5.5	40.9	4.1	65.7	4.4	58.3	4.5	479.5	4.7
平均	33.4	4.2	140.9	4.3	126.1	5.1	37.0	3.7	69.8	3.9	54.5	3.9	465.5	4.3

续时间最长的两个阶段,分别为33和25 d,所以这两个阶段的总参考作物需水量占全生育期的57.3%。参考作物蒸散量日均值拔节孕穗期最高为5.1 mm,其次是分蘖期为4.3 mm。

2.2 中稻各生育阶段实际蒸发蒸腾量 从表3可以看出,中稻在整个生育期内平均实际蒸发蒸腾量为546.1 mm。中稻各生育阶段的日均蒸发蒸腾量和总蒸发蒸腾量都呈现明显的单峰变化趋势。其中,抽穗开花期日均蒸发蒸腾量最大平均为6.3 mm,其次是拔节孕穗期平均为6.2 mm;分蘖期 ET_c 总量最大为156.8 mm,其次是拔节孕穗期为152.9 mm;返青期日均和总量都是最小分别为3.9和31.2 mm。从生育

日平均气温,℃; U_2 为2 m高处风速,m/s; e_s 为饱和水汽压,kPa; e_a 为实际水汽压,kPa; Δ 为饱和水汽压曲线斜率,kPa/℃; γ 为干湿表常数,kPa/℃。

式(1)中作物实际蒸发蒸腾量 ET_c 利用测坑水量平衡原理计算,因安徽省淠史杭灌溉试验总站试验小区采取的是有底钢筋混凝土建成,下雨后多余的水会由小区底部的管道排出,渗漏和径流默认为0。因此在测坑地表有水的情况下公式为:

$$EC_c = W_1 - W_2 - I - P \quad (3)$$

式中, W_1 为第1次测针测得的水深,mm; W_2 为第2次测针测得的水深,mm; I 为时段内灌溉量,mm; P 为时段内降雨量,mm。

地表无水的情况下公式为:

$$ET_c = I + P + \Delta W - D \quad (4)$$

式中, I 为时段内灌溉量,mm; P 为时段内降雨量,mm; ΔW 为相邻两次取土测定土壤水分时间间隔内,根区土壤储水量的变化,mm; D 为时段内排水量,mm。

2 结果与分析

2.1 中稻各生育阶段参考作物蒸散量分析 利用最近3年淠史杭灌区灌溉试验总站自动气象站的气象资料,根据式(2)计算逐日参考作物蒸散量及该灌区气候条件下各生育阶段内总参考作物蒸散量和日平均值。

从表2可以看出,3年内中稻生长季内各生育阶段参考作物蒸散量总量最大的为分蘖期,其次是拔节孕穗期,3年中分蘖期参考作物蒸散量分别占全生育期参考作物蒸散量的29.6%、34.4%、27.2%,拔节孕穗期分别占全生育期参考作物蒸散量的26.6%、24.4%、29.8%。因为分蘖期和拔节孕穗期恰逢7、8月份,这两个阶段的气候特点是辐射强、气温一年中最高。此外,阶段性参考作物蒸散量与作物该阶段持续时间的长短有关,分蘖期和拔节孕穗期是中稻生长季内持

阶段作物系数来看,拔节孕穗期和抽穗开花期为中稻日均需水量最大的两个生育阶段。

2.3 中稻各生育阶段作物系数分析 从表4可以看出,中稻全生育期的作物系数在0.97~1.23,平均为1.16。中稻的作物系数在生育期内各生育阶段呈现明显的单峰变化趋势。其中,拔节孕穗期最大为0.97~1.57,平均为1.33;其次是抽穗开花期为1.02~1.59,平均为1.31;返青期最小为0.78~1.24,平均为0.93。从生育阶段作物系数来看,拔节孕穗期和抽穗开花期为中稻水分敏感期。这一结果与前人对早稻作物系数的研究结果一致^[4]。

2.4 作物系数与积温及移栽后天数的关系分析 根据3年

的田间试验结果,构建了作物系数与积温和移栽后天数的相关关系。作物系数与作物生长发育有直接的关系,而积温和移栽后天数反映了作物生长发育过程特征。因此,该研究以

热量指标为变量,建立作物系数与作物生长发育过程的直接关系,为简易求算中稻作物系数提供直接方法。

表 3 2011~2013 中稻各生育阶实际蒸发蒸腾量

mm

年份	返青期		分蘖期		拔节孕穗期		抽穗开花期		乳熟期		黄熟期		全生育期	
	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均	总量	日均
2011	27.2	3.4	136.0	4.0	123.2	4.4	50.6	4.6	74.1	3.9	54.6	3.9	465.7	4.1
2012	32.0	4.0	157.5	4.5	154.0	7.7	36.0	4.0	102.0	5.1	64.5	4.3	546.0	5.1
2013	44.8	5.6	162.4	5.6	223.6	8.6	54.0	5.4	81.0	5.4	54.6	4.2	620.4	6.1
平均	31.2	3.9	156.8	4.8	152.9	6.2	63.0	6.3	91.8	5.1	50.4	3.6	546.1	5.1

表 4 2011~2013 年各生育阶段作物系数

mm

年份	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期	全生育期
2011	0.78	0.96	0.97	1.02	1.01	1.07	0.97
2012	0.91	1.05	1.45	1.59	1.51	1.21	1.29
2013	1.09	1.24	1.57	1.32	1.23	0.94	1.23
平均	0.93	1.09	1.33	1.31	1.25	1.07	1.16

图 1 为中稻移栽后天数与作物系数的曲线关系,图 2 为移栽后累积积温与作物系数的关系。结果表明,中稻的作物系数与移栽后天数和积温都呈 3 次多项式关系,分别见式(5)、(6)。

$$y = ax_1^3 + bx_1^2 + cx_1 + d \quad (5)$$

$$y = ax_2^3 + bx_2^2 + cx_2 + d \quad (6)$$

式中, y 为作物系数; x_1 为移栽后天数; d ; x_2 为积温, $^{\circ}\text{C}$ 。

图 1 和 2 曲线拟合结果见表 5。回归系数(R^2)分别为

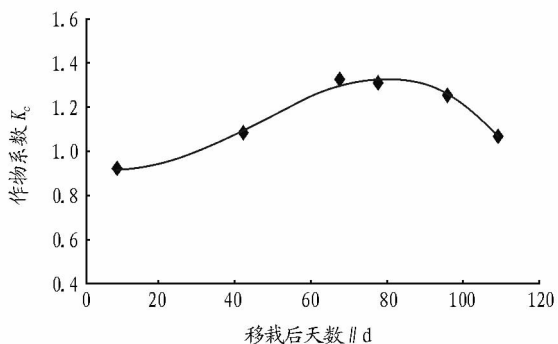


图 1 作物系数与移栽后天数的关系

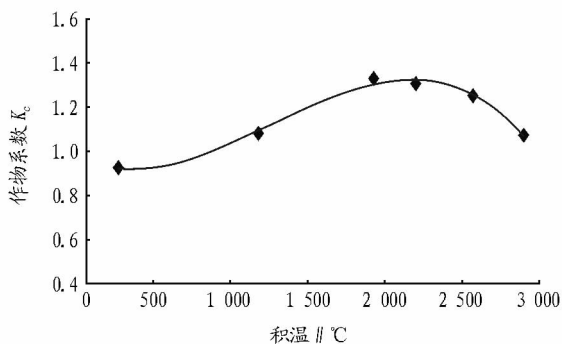


图 2 作物系数与累积积温的关系

0.985 7 和 0.993 2,表明两条曲线与实测数据拟合都非常好。

表 5 中稻作物系数与移栽后天数及积温回归方程

变量	回归系数				R^2
	a	b	c	d	
移栽后天数	-2×10^{-6}	3×10^{-4}	-0.005 7	0.948 7	0.985 7
积温	-1×10^{-10}	5×10^{-7}	-0.000 3	0.958 8	0.993 2

在相似的气候背景条件下,可以根据表 5 中的方程系数,在已知积温或移栽后天数的前提下,估算中稻的作物系数,使用较为方便。

3 结论

(1)3 年内中稻生长季内各生育阶段参考作物蒸散量总量最大的为分蘖期,其次是拔节孕穗期。参考作物蒸散量日均值拔节孕穗期最高为 5.1 mm,其次是分蘖期为 4.2 mm。中稻在整个生育期内总的实际蒸发蒸腾量为 546.1 mm。抽穗开花期日均最大,平均为 6.3 mm;其次是拔节孕穗期,日均为 6.2 mm;返青期最小,日均为 3.9 mm。从而得出抽穗开花期和拔节孕穗期为水稻对水分的敏感程度最高。

(2)中稻作物系数在全生育期内各生育阶段内呈现很好的单峰变化趋势。拔节孕穗期最大平均为 1.33,其次是抽穗开花期平均为 1.31,返青期最小平均为 0.93。

(3)中稻作物系数与移栽后天数和积温都呈 3 次多项式关系,回归曲线与实测数据拟合很好,且相关系数(R^2)分别为 0.985 7 和 0.993 2,在相似气候背景条件下,可利用移栽后天数和累积积温估算作物系数,使用较为方便。

参考文献

- [1] 陈玉民,郭国双. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京:水利水电出版社,1995:50-128.
- [2] ALLEN R G, LUIS S P, RAES D, et al. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements [M]. Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage, 1998:56.
- [3] HUNSAKER D J. Basal crop coefficients and water use for early maturity cotton [J]. Trans of the ASAE, 1999, 42(4): 927.
- [4] 杨晓光, BOUMAN B A M, 张秋平, 等. 华北平原旱稻作物系数试验研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 37-41.