

水稻干旱动态模拟及干旱损失评估*

宋丽莉 王春林 董永春

(广东省气候应用研究所,广州 510080)

提 要

根据农田水分平衡原理,结合水稻生育特点建立了稻田水分平衡方程;以广东省早、晚稻大田生育期为例,模拟各个生育阶段稻田水分逐日动态变化,得出生育期缺水状况,并分别就自然环境和灌溉条件下的水稻受旱损失进行了客观定量评估。首次根据试验资料就水稻作物的缺水敏感系数进行研究计算,得出了十分有意义的结果。

关键词: 水稻干旱 旱损评估 模拟

引 言

水稻属沼泽植物,对水分要求高,抗旱能力很低。国内外对水田作物的干旱研究很少,在北方一些省份和地区,尤其是黄河流域和西北、东北地区对农业干旱的研究比较深入,但研究的重点主要是旱地作物,有个别省份曾对水稻作物的节水灌溉做过少量试验,但对大田稻作的干旱研究仍极少见。本研究根据农田水分平衡原理,结合水稻生育特点,通过对自然降水、稻田土壤含水、地下水变化及水稻需水量及灌溉水量等多种因素组成的水分平衡的模拟研究,建立干旱动态模型,模拟广东水稻干旱历史情况,分析、摸清农业干旱特征及其规律,得出了干旱损失及其变化的客观评估模型,以及对农业灌溉效益客观定量的评定方法,对合理利用有限的水资源进行灌溉或指导防旱抗旱,减灾增效具有现实意义。

1 资料来源和处理

降水、气温、蒸发资料来自各地气象站。旱情、灾损资料取自广东省防洪防旱防风指挥部办公室。播种面积及产量资料取自《广东省统计年鉴》。

1980年以后水稻生育期资料取自国家农业气象试验站观测数据,其观测取样来自该地大田水稻各生育期样本。1979年以前的水稻生育期资料依据下述方法插补延长。

早稻:早稻的生长发育具有较强的感温性,所以在生育期资料插补时,主要考虑积温指标。利用1980年以后的实测记录,以各地早稻插秧前期(1月1日始至插秧)及各生育阶段积温平均值为依据,再根据被插补年份实际积温计算,确定该年份早稻生育期。

* 由广东省科委自然科学基金资助。

1999-10-13 收到,1999-12-21 收到修改稿。

晚稻:由于晚稻具有感光 and 感温等多重特性,且其插秧时间还受早稻收获时间等因素影响,课题组曾以积温法和日照长度法等多种方式进行计算,发现插补效果均不理想。对实测生育期资料进行综合分析发现,某一地点晚稻插秧日期历年比较接近,所以对晚稻生育期插补以本地多年生育期平均值为准。

2 水稻生育期缺水动态模拟

水田水分平衡方程:

$$H_i = H_{i-1} + R_i + G_i + P_i - E_i - F_i \quad (1)$$

式中, H_i 、 H_{i-1} 为 i 时段末、初的稻田水深 (mm); R_i 、 G_i 、 P_i 、 E_i 、 F_i 为 i 时段降雨量、地下水补给量、人工灌溉水量、作物耗水量 (mm)、稻田渗漏水量 (mm)。

2.1 边界条件和各参数的确定

(1) 稻田初始水深 H_0

本模式自水稻大田移植开始逐日进行模拟。稻田初始水深 H_0 及初始土壤含水率 W_0 是根据插秧前 30 天的降水 R 和蒸发 L 之差值来确定,并设 30 天前土壤含水率为饱和,则

$$X = R - L$$

H_{\max} 为移植至回青期的耐淹水深(见表 1)。

当 $X > H_{\max}$, 则 $H_0 = H_{\max}$;

当 $X < 0$, 则 $H_0 = 0$, 且 $W_0 = W_b + X(W_b$ 为土壤饱和含水率);

当 $0 < X < H_{\max}$, 则 $H_0 = X$, $W_0 = W_b$ 。

表 1 水稻各生育期耐淹水深

水稻生育期	移植—回青	回青—分蘖	分蘖—拔节	拔节—孕穗	孕穗—抽穗	抽穗—乳熟	乳熟—成熟
耐淹水深 (mm)	60	60	90	120	120	100	60

(2) 水稻需水量 E_i

水稻需水量是指作物蒸腾、棵间蒸发以及构成植物组织的水量。通常把作物蒸腾与棵间蒸发之和称为腾发量。由于构成植物组织的水量一般小于腾发量的百分之一,在实际计算时即用腾发量代表水稻需水量,由下式得出,

$$E_i = a_{20} \cdot E_{20} \quad (2)$$

式中, E_{20} 为 20 cm 口径蒸发皿水面蒸发强度, a_{20} 为水稻腾发强度与 E_{20} 之比,由试验资料给出^[1]。

(3) 地下水补给量 G_i

当土壤含水量低于饱和含水量时,地下水补给以潜水蒸发的形式进行,由下列经验公式计算:

$$G_i = K \cdot E_{601} \left(1 - \frac{Z_i}{Z_0}\right)^n \quad (3)$$

式中, E_{601} 、 K 、 Z_i 、 Z_0 、 n 为水面蒸发量、土壤蒸发能力、地下水实际埋深、地下水极限埋

深,与土壤有关的指数。

根据张蔚榛等^[2]的研究,在地下水埋深小于1 m的情况下,潜水蒸发强度达到了由外界条件限制的极限值,约为0.6 mm/d,这较水稻需水强度小一个量级,在干旱持续时,地下水位也不断下降,当埋深大于1 m,其潜水蒸发强度按指数减小,所以在计算中可以忽略不计。

(4) 稻田渗漏量 F

当计划湿润层的土壤含水量超过田间持水量时,超额部分在重力作用下向深层渗漏,渗漏量大小还与土壤稳渗率 F_c 有关。

在计算中采用渗漏强度,由试验资料给出(见表2)。

表2 广东省稻田多年平均渗漏强度 mm/d

	早稻	晚稻
粘土	2.4	2.1
壤土	2.8	2.2
沙壤土	3.4	2.7

2.2 无灌溉条件下的稻田水分动态模拟

当 $H_i > H_{\max}$ 时,则产生排水,排水量为 $H_i - H_{\max}$;

当 $H_i = H_{\max}$ 时,不产生排水;

当 $H_{\max} > H_i > 0$ 时,水稻自由取水,实际耗水量等于理想腾发量;

当 $H_i < 0$ 时,水稻需水由土壤供给,土壤供水能力由下式计算

$$I_i = K \cdot E_{20} \times \frac{W_{i-1} - W_d}{W_m - W_d} \quad (4)$$

式中, W_m 、 W_d 为田间持水量和凋萎含水量, K 为与土壤有关的参数,由试验资料取得。

当土壤供水量小于需水量时,即发生缺水。缺水量:

$$\Delta H_i = E_m - I_i \quad (5)$$

由于作物各生育期需水量不同,相同的缺水量发生在不同的生育期,对作物生长的影响也不同,所以需计算作物各生育期缺水率,由下式计算:

$$D_1(j) = \frac{\Delta H(j)}{E(j)} \times 100\% \quad (j = 1, 2, \dots, 7, \text{为水稻生育期序数}) \quad (6)$$

式中, $D_1(j)$ 、 $\Delta H(j)$ 、 $E(j)$ 为第 j 个生育期缺水率、缺水量和需水量。

3 水稻干旱损失模拟

3.1 水稻缺水减产率

根据作物各生育期水分生产函数 Blank 模式:

$$\frac{Y}{Y_m} = \sum_{j=1}^n \left| \frac{E_a(j)}{E_m(j)} \cdot \lambda_j \right| \quad (7)$$

式中, n 、 $E_a(j)$ 、 $E_m(j)$ 为生育期个数、第 j 生育期实际腾发量和理想腾发量; λ_j 为第 j 生育期作物对水分亏缺的敏感因子; Y 、 Y_m 为作物实际产量、物理想产量。

根据定义,水稻第 j 生育期缺水率:

$$D_1(j) = 1 - \frac{E_a(j)}{E_m(j)}$$

将其代入式(7)中得:

$$\frac{Y}{Y_m} = \sum_{j=1}^n \{ [1 - D_1(j)] \cdot \lambda_j \}$$

则水稻全生育期缺水减产率:

$$Y_1 = 1 - \frac{Y}{Y_m} = 1 - \sum_{j=1}^n \lambda_j + \sum_{j=1}^n [D_1(j) \cdot \lambda_j]$$

根据缺水敏感系数定义: $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, 所以得出水稻缺水减产率计算式:

$$Y_1 = \sum_{j=1}^n [\lambda_j \cdot D_1(j)] \quad (8)$$

式中, D_1 、 Y_1 为无灌溉条件下水稻缺水率和缺水减产率。

3.2 水稻缺水敏感因子的确定

作物生长过程中,缺水发生在不同生育期对作物产量的影响程度差异很大。作物缺水敏感因子即反映了作物在某个生育阶段对水分亏缺的敏感程度,其值越大,说明该生育阶段作物对水分越敏感,缺水对产量的影响也越大。在作物旱损模拟计算中,缺水敏感因子是一个重要的参数。目前,国内对小麦、玉米、花生等旱地作物的缺水敏感因子有比较完整的试验研究,但对水田作物的缺水敏感因子的专门试验研究尚属空白。广东省水利科学研究所于1987~1989年进行水稻节水灌溉试验时,取得一些有意义的试验资料,在该所有关技术人员协助下,课题组对该项试验资料进行了分析计算,初步得出了水稻生育期缺水敏感系数 λ_j (见表3)。

表3 广东水稻生育期缺水敏感系数

生育期	移植—分蘖	拔节—孕穗	抽穗—开花	乳熟
早稻	0.01	0.23	0.54	0.22
晚稻	0.13	0.26	0.35	0.26

由表3可见,水稻在抽穗—开花期对缺水最敏感,且早稻比晚稻更为敏感。在实际计算时,将水稻分为7个生育期,故在试验资料计算的基础上,对缺水敏感系数略作调整,并使早、晚稻均适用(见表4)。

表4 广东早、晚稻各生育期缺水敏感系数

生育期	移植至回青	回青至分蘖	分蘖至拔节	拔节至孕穗	孕穗至抽穗	抽穗至乳熟	乳熟至成熟
缺水敏感系数	0.01	0.01	0.07	0.15	0.34	0.40	0.02

3.3 计算结果分析

为便于分析,根据减产率大小将旱损划分等级(见表5):

表5 干旱损失等级划分指标

等级	0	1	2	3	4
	无旱	轻旱	中旱	重旱	极旱
减产(%)	0~9.9	10~29.9	30~49.9	50~79.9	≥80

广东早稻常年平均自然缺水减产率,呈南北两端大、中间地区小的分布形式(见图

1)。减产率最大的雷州半岛南端的徐闻,达45.9%(属中旱区),该区有51.2%的年份达到重旱以上量级,有7.3%的年份出现极旱,也是广东早稻唯一出现极旱的地区。年平均减产率较大的还有粤北山区和汕头沿海,平均为10%~18%(属轻旱区),其中韶关一带有50%~60%的年份出现中等以上干旱,达到重旱的年份占48.5%。全省其余地区早稻自然缺水减产率在10%以下。

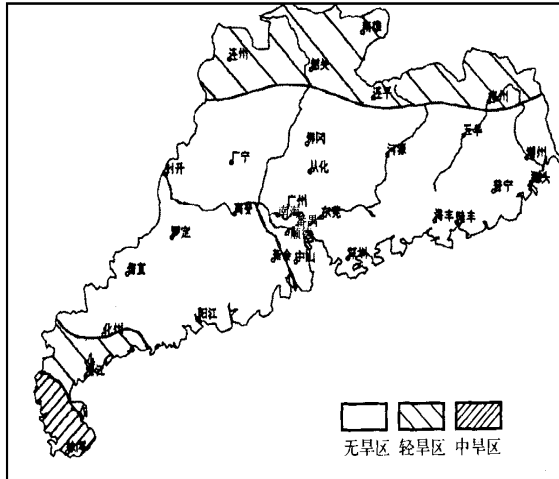


图1 广东省早稻自然旱区分布图

晚稻常年平均自然缺水减产率呈自南向北逐渐增大的分布趋势(见图2)。粤北北部自然缺水减产率最大达50%~57%,属重旱区,且有8%~9%的年份出现极旱;粤中、粤西地区自然缺水减产率11%~20%,属轻旱,重旱年出现机率在12%以下;其余地区自然缺水减产率在20%~40%之间,重旱出现机率在15%~30%,个别站点出现1次极旱。

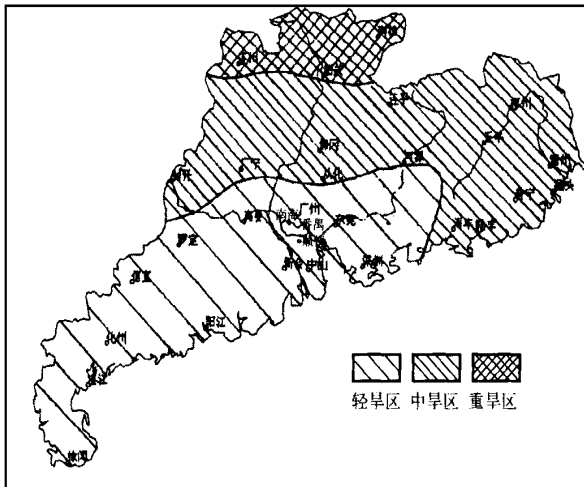


图2 广东省晚稻自然旱区分布图

根据旱损等级利用下式计算水稻历年旱损等级系数:

$$D_k = \frac{\sum_{i=1}^N D_{ki}}{N}$$

式中, D_k 、 D_{ki} 、 N 为第 K 年全省平均旱损等级系数;第 K 年第 i 站点旱损等级系数和统计站点个数。计算结果表明,广东早稻旱损较重的年份依次为 1963、1991、1967 和 1988 年。晚稻旱损较重的年份有 1966、1969、1986 和 1959 年。

4 灌溉条件下水稻受旱减产模拟

上述的模拟分析,均假设水稻无灌溉条件的情况。实际上,在水稻产区均具备一定的灌溉条件,尤其建国以后,广东兴建了大批灌溉工程,灌溉能力不断提高,有效灌溉和保证灌溉面积逐步扩大,至 1997 年全省有效和保证灌溉面积占耕地面积百分比分别达到了 87% 和 76%,比建国初的 1950 年增加了 65% 和 66%,因而作物受旱减产量逐年减少。

4.1 模拟计算

目前较完整的灌溉记录是有效灌溉面积和保证灌溉面积资料。有效灌溉面积是指水利设施能够灌及的区域,保证灌溉面积指水利工程设计灌溉标准达到 90% 左右的保证率所灌及的面积。实际生产中,通常在发生自然缺水时方进行灌溉,但灌溉效益大小很大程度上取决于当时水利设施蓄水量。由于广东每年有明显的干季、雨季之分,水库蓄水量年内变化很大,通常在春季和初夏,全省在经历了秋冬干季之后,蓄水量显著减少,随着前汛期的到来,蓄水才逐渐增多,至 7、8 月份以后,一般年份蓄水达到全年最多,所以,早、晚稻生育期灌溉条件是有所区别的。经调查研究认为:早稻灌溉效益以保证灌溉为依据;而晚稻生育期通常蓄水比较丰富,则认为凡水利工程可灌及的区域均可满足灌溉,故晚稻灌溉条件以有效灌溉来计算。

设某地 K 年份保证灌溉率(保证灌溉面积与当时耕地面积之比)为 $P(k)$,有效灌溉率(有效灌溉面积与当时耕地面积之比)为 $B(k)$,且在水稻第 j 个生育期自然缺水率为 $D_1(j)$,则水稻第 j 个生育期灌溉后缺水率 $D_2(j)$ 由下式计算:

$$\text{早稻: } D_2(j) = D_1(j) - P(k) \cdot A \quad \text{晚稻: } D_2(j) = D_1(j) - B(k) \cdot B$$

A 、 B 为灌溉利用率折算系数,在此 $A = 0.9$, $B = 1$,若

$$D_1(j) \leq P(k) \cdot A \quad \text{或} \quad D_1(j) \leq B(k) \cdot B \quad \text{则} \quad D_2(j) = 0$$

$$\text{灌后缺水减产率 } Y_2 \text{ 为: } Y_2 = \sum_{j=1}^m [\lambda_j \cdot D_2(j)] \quad (9)$$

4.2 灌溉条件下受旱减产特点

建国后由于灌溉能力的逐渐增强,灌后减产率随时间变化十分明显。粤北山区和雷州半岛在 20 世纪 50 年代至 60 年代初,灌后减产率一般在 10%~20% 左右,早稻重旱年 1963 年,粤北北部减产率达 30%,雷州半岛在极旱的 1955 年灌后减产率达 50%。自 60 年代中后期以来,广东早稻灌后受旱减产率除粤北北部和雷州半岛外,大部分地区只有在重旱年份有轻微减产,其它年份灌后即无减产。

晚稻灌溉后减产率仍以粤北北部最为严重,该区在50~60年代,平均减产率达18.2%,极旱和重旱年份减产率达30%~60%;70年代以后,减产率显著下降;至80年代以后,平常年份基本无减产,重旱年份减产率也在5%以下。全省其它大部分地区晚稻灌后减产率一般于50年代较大;70年代以后,重旱年份减产率在2%以下;其它年份灌后无减产。

4.3 灌溉效益评估

灌溉效益应指灌溉投入如工程、人力、物力、水资源等的投入与灌溉收益(即因灌溉而减少的损失之差值)。在此只分析灌溉收益。

(1) 在广东,晚稻灌溉收益大于早稻。晚稻的自然缺水率明显大于早稻,但晚稻生育期恰遇丰富的可灌溉用水,能基本弥补作物缺水,从而满足了其生长需要而避免减产。

(2) 重旱区和重旱年灌溉收益大于轻旱区和轻旱年。在重旱区和重旱年,人为因素影响要比平常大得多。建国后,党和各级政府十分重视抗旱救灾,遇重旱时,会采取一切可能的措施进行灌溉,水利工程常常会超常发挥作用,再加上干旱常伴随着更优越的光温条件,所以往往大旱年并不减产。

(3) 随着灌溉条件的改善,灌溉收益也越来越大。20世纪80、90年代灌溉收益一般为50、60年代的几倍,个别地区可达10倍。

5 总结与讨论

(1) 水稻作物在抽穗—开花期对缺水最为敏感,其缺水敏感系数达0.5左右;移植—分蘖期缺水对产量影响最轻。

(2) 广东水稻生产的自然水分状况,地区差异很大。雷州半岛及潮汕沿海一带早稻缺水严重;粤北北部则早、晚稻缺水都严重;广东中部尤其三角洲地区,早、晚稻缺水均较小,是广东省水稻种植自然水分条件比较优越的地区。

(3) 水稻灌溉收益十分显著。在广东,晚稻灌溉收益大于早稻,重旱区、重旱年灌溉收益大于其它地区和年份。

(4) 本研究中缺水敏感系数,虽根据十分相似的节水灌溉试验资料分析得出,但还不够完整,仍需专门的受旱试验结果进行检验。

(5) 以积温指标对1979年以前的早稻生育期资料进行插补时,由于品种变化资料记录极少,所以未能考虑水稻品种的变化。

参考文献

- 1 广东省水利科学研究所.广东省水稻灌溉试验成果汇编,1992.
- 2 张蔚榛,张瑜芳.土壤的给水度与潜水蒸发.平原地区水资源研究.南京:学林出版社,1993.146~153.

DYNAMIC SIMULATION AND DAMAGE EVALUATION OF RICE DROUGHT

Song Lili Wang Chunlin Dong Yongchun

(*Climate Application Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510080*)

Abstract

Based on the farmland water balance principle and the characteristics of rice growth, a rice paddy water balance equation is developed. Using the growth period data of Guangdong Province as a case, the day-to-day dynamic variation of the rice paddy water during all of the growth periods is simulated, and the objective and quantitative evaluation of the damage caused by drought is also given under natural and irrigated conditions. The rice sensitivity coefficient to drought is calculated using the data from experimentation for the first time, and some significant results are obtained.

Key words: Rice drought Evaluation of drought losing Simulation