

南方季节性干旱区再生稻降水资源高效利用研究

刘正辉, 毕俊国, 江德权, 林赵森, 李 侠, 丁艳锋*

(南京农业大学农学院; 农业部南方作物生理生态重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘 要: 以四川、湖北、江西、广西和重庆季节性干旱危害严重的 69 个县为研究对象, 依高产栽培的水分管理要求, 基于作物需水量和自然降水量的时空分布特点, 提出不同稻区再生稻水分管理策略: (1) 四川、重庆大部分地区的降水量大于或等于该地区的作物需水量, 可以采用水稻生长前期适当露田、中期烤田和后期干湿交替的高产水分管理策略; (2) 湖北省大多数地区降水仅能满足作物需求, 达不到高产栽培的水分管理要求; (3) 广西大部分地区可在水稻生长前期适当露田, 但头季稻后期及再生季秋旱严重, 不宜中期烤田; (4) 江西多数地区在水稻生长前期可以烤田, 头季稻后期及再生季秋旱严重, 降水不足, 较难实现干湿交替。

关键词: 再生稻; 季节性干旱区; 降水资源利用

中图分类号: S511.05 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0025-06

我国南方处于属亚热带季风气候区, 自然降雨与蒸发量分布不同步, 其降水常年约 50% 集中在 4~6 月, 夏秋之间高温少雨, 而 7~9 月蒸发量接近全年的一半, 常出现季节性干旱, 造成该区出现严重伏、秋干旱灾害^[1]。特别是 2000 年以后, 素以降水丰沛的我国南方反而干旱频发, 有的年份甚至旱情严重^[2]。因此, 亟需加强南方季节性干旱区稻田降水资源高效利用研究, 以提升南方农业抗旱减灾的综合能力。

再生稻栽培体系是利用水稻的再生特性, 在头季水稻收割后利用稻桩上的休眠芽萌发生长成穗而收割的一季水稻^[3]。我国现有再生稻面积 46.67 万 hm^2 , 适宜种植区面积为 333.33 万 hm^2 ^[4], 由于管理粗放, 产量低而不稳, 平均产量不足 2 250 kg/hm^2 ^[5]。制约当前再生稻产量提高的一个主要原因在于水分管理不善^[6]。以水稻精确定量栽培为代表的我国作物高产栽培理论和技术在群体指标设计和肥料运筹的定量上取得了突破性进展, 但在水分管理的定量上还相对薄弱^[7], 特别是对于缺少灌溉设施且主要依赖降水的南方丘陵山区, “高产栽培条件下的水稻作物需水量”、“自然降水与水稻作物需水量之间的匹配程度”、以及“中期排水晒田的可能性”等水分管理的关键问题至今尚未解决。

本研究针对南方季节性干旱为害较重的川东、川中、重庆、桂北、鄂西和江西等地区, 基于水稻高产栽培的水分需求特征, 以本课题组现有多点多点气

象资料并参考相关研究结果, 估算不同稻区再生稻不同生育阶段的作物需水量, 结合当地自然降水量时间分布特征, 评价不同稻区雨养稻田(冬水田)再生稻水分满足程度及中期晒田的适宜性, 并提出针对性的降水资源高效利用模式, 为南方丘陵季节性干旱区再生稻的稳产、高产栽培及低碳稻作提供理论依据和技术支撑。

1 研究方法

1.1 南方季节性干旱区再生稻作物需水量的时空分布研究

依照王立祥和王龙昌按季节性干旱对南方旱区的划分结果^[2], 以干旱最为严重的夏伏旱区为研究对象, 通过实地调查、专家访问和文献资料查阅, 在四川、重庆、江西、广西和湖北等省区共选择适宜再生稻种植的 54 个县市, 以当地多年气象资料(1951 年至今), 利用 FAO 修正的彭曼公式^[8]计算再生稻不同生育阶段参考作物需水量 ET_0 。查阅水稻作物系数 K_c 相关研究结果, 确定再生稻不同生长期的作物系数^[9], 最终计算不同生育阶段作物需水量 ET_c 、 ET_0 和 ET_c 计算公式如下:

$$ET_0 = \frac{\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma} R_n + E_a}{\frac{P_0}{P} \frac{\Delta}{\gamma} + 1} \tag{1}$$

$$ET_c = ET_0 \times K_c \tag{2}$$

式中, P_0 为标准大气压, $P_0 = 1\,013.25\text{ hPa}$; P 为计

收稿日期: 2011-03-31
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(200903002); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0472); 教育部博士点新教师基金(200803071017)
作者简介: 刘正辉(1975—), 辽宁辽阳人, 博士, 副教授, 主要从事水稻产量、品质形成生理与环境调控机制研究。E-mail: Liuzh@njau.edu.cn.
通讯作者: 丁艳锋(教授、博导), 主要从事水稻高产栽培及作物生理生态研究。E-mail: dingyf@njau.edu.cn.
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

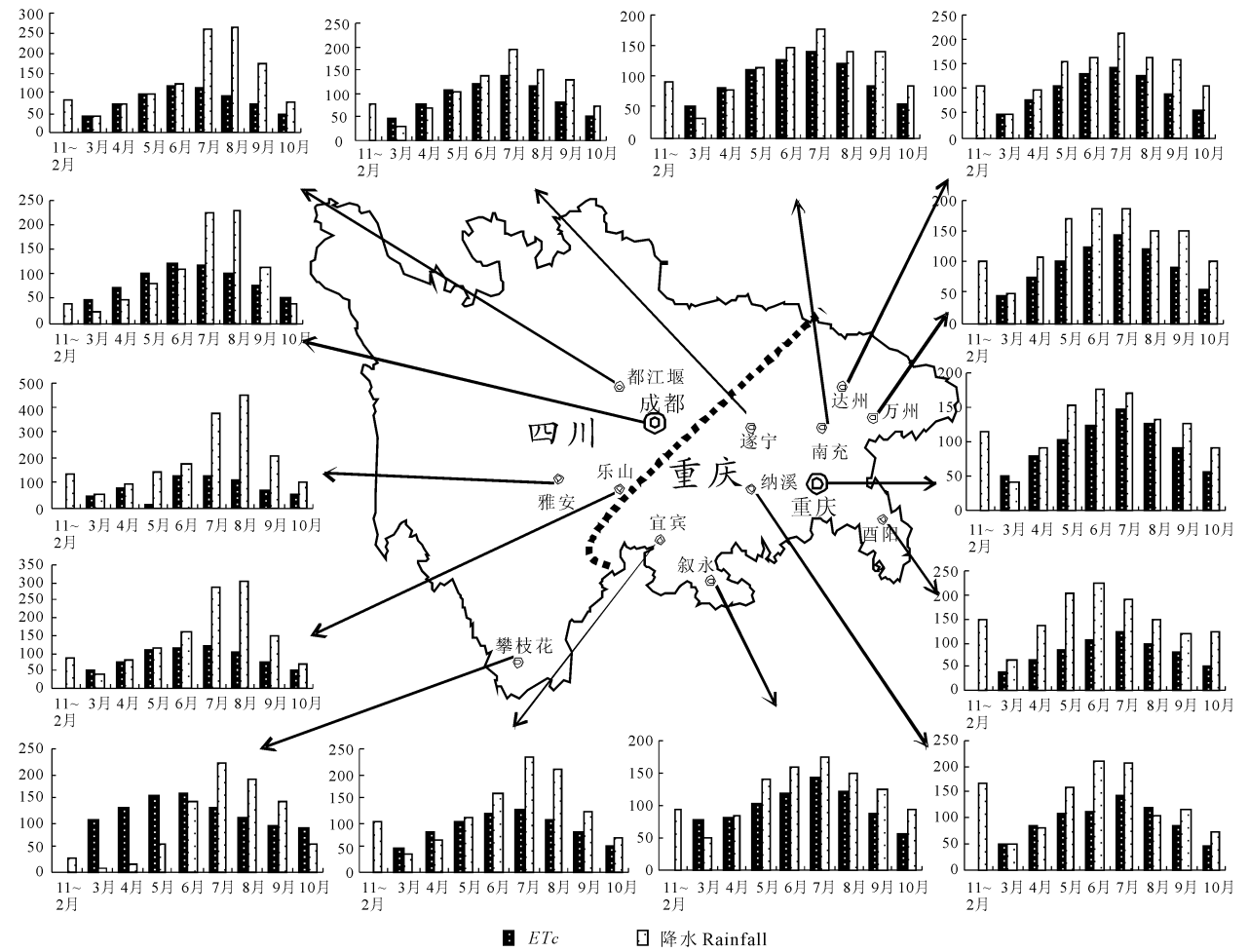
算地点平均气压(hPa); Δ 为平均气温时饱和水汽压随温度的变率, $\Delta = de_a/dt$; e_a 为饱和水汽压(hPa); t 为平均气温($^{\circ}\text{C}$); γ 为湿度计常数, $\gamma = 0.66 \text{ hPa}/^{\circ}\text{C}$; R_n 为太阳净辐射, 以所能蒸发的水层深度计(mm/d); E_a 为干燥力(mm/d); K_c 为作物系数。

1.2 南方季节性干旱区再生稻生育期降水量的时空分布研究

利用 54 个县市多年气象资料, 结合所研究地区再生稻生育期的长短 (见表 1), 分析再生稻不同生育阶段的降水分布特征。

表 1 四川、重庆、湖北、江西和广西再生稻生育期划分^[10~14]

省区市 Province	头季稻 Main crop rice					再生季 Ratoon	
	播种 Sowing date	移栽 Transplanting	够苗 Critical leaf-age	齐穗 Full heading stage	成熟 Maturity stage	齐穗 Full heading stage	成熟 Maturity stage
川渝 Sichuan & Chongqing	3 月上旬 Early March	4 月上旬 Early April	5 月中旬 Middle May	7 月上旬 Early July	8 月中旬 Middle August	9 月中旬 Middle September	10 月中旬 Middle October
广西 Guangxi	3 月下旬 Late March	4 月下旬 Late April	5 月下旬 Late May	6 月下旬 Late June	8 月上旬 Early August	9 月中旬 Middle September	10 月下旬 Late October
湖北 Hubei	3 月上旬 Early March	4 月上旬 Early April	5 月中旬 Middle May	7 月上旬 Early July	8 月中旬 Middle August	9 月上旬 Early September	10 月中旬 Middle October
江西 Jiangxi	3 月上旬 Early March	4 月上旬 Early April	5 月中旬 Middle May	7 月上旬 Early July	8 月中旬 Middle August	9 月中旬 Middle September	10 月中旬 Middle October



注:图中“11~2月”所表示的是上年11月到当年1,2月份的降水量。下同。
Note:“11~2月” indicates the rainfall of November and December last year and January and February this year. The same as below.

图 1 四川、重庆再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布(mm)
Fig.1 The temporal and spatial distribution of ET_c of ratoon rice and rainfall in Sichuan and Chongqing
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2 研究结果

2.1 四川、重庆、湖北、江西和广西再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布

由四川、重庆不同地区再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布(图 1)可看出,多数地区(除攀枝花)在水稻生长的前期,降雨量与作物需水量基本持平,能够基本满足作物的水分需要。而在中后期及再生稻生长季,该地区的降雨量远远大于作物的需水量,其中,以 7、8 两个月份的降雨量最大。

广西不同地区再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布如图 2。广西大部分地区的降雨量集中在 5、6、7、8 四个月份,全年降雨大部分集中在这四

个月份。在水稻生长的后期及再生稻生长期,该地区的降雨量小于作物需水量,自然降水不能够满足生长的需要。

湖北恩施、五峰和来风三个地区在水稻生长季内,降雨量都大于作物需水量,三峡和宜昌两地在水稻生长季前期,降雨量与作物需水量基本持平,基本能满足水稻生长的水分需要,后期降雨量大于作物需水量(图 3);其他地区水稻生长季内的作物需水量要大于自然降水量。

江西不同地区再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布见图 4。该地区的降雨量主要集中在水稻生长前期,后期容易出现伏旱和秋旱,自然降水不能够满足水稻生长的水分需要。

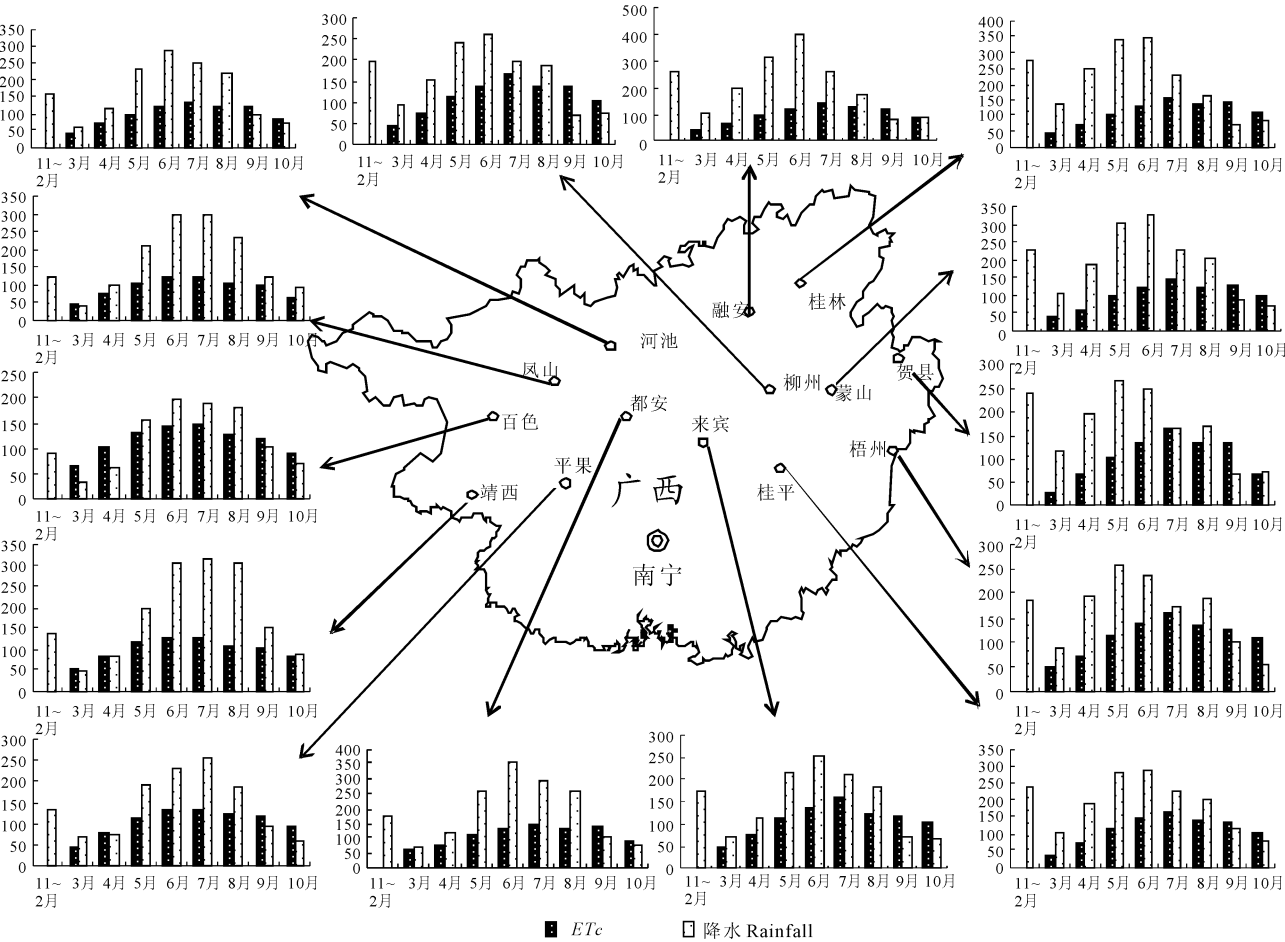


图 2 广西再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布(mm)

Fig.2 The temporal and spatial distribution of ET_C ratoon rice and rainfall in Guangxi

2.2 四川、重庆、湖北、江西和广西再生稻降水资源的高效利用策略

本研究主要针对无灌溉水源而只靠自然降水的丘陵、山地稻田,这些稻田实行露田、烤田和干湿交替等田间水分管理措施必须借助较为准确的气象预报。由于自然降水难以准确预知,致使再生稻水分

的精确管理难度较大。本文根据不同地区的降水量的分布和水稻的作物需水量,依水稻高产栽培对水分管理的要求,初步拟定了以下地区的水分管理策略。

2.2.1 四川、重庆水分管理策略 四川、重庆两地区头季稻苗期虽然易遭遇春旱,但降水基本能满足水稻生长需要,且可以利用冬水田蓄积的冬季降水。

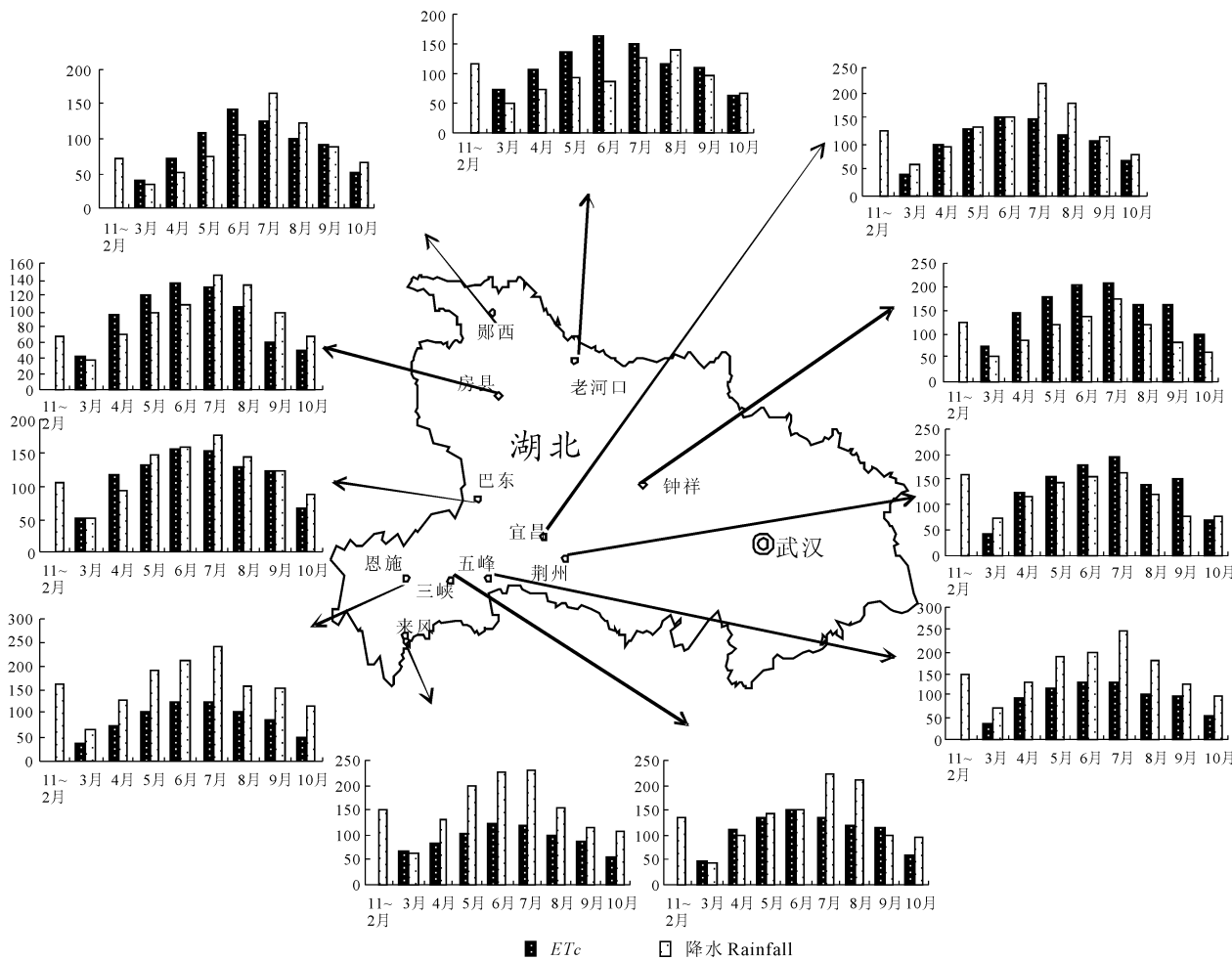


图 3 湖北再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布(mm)

Fig.3 The temporal and spatial distribution of ET_c of ratoon rice and rainfall in Hubei

建议加强冬水田建设,最大限度蓄留冬季降水。这样在苗期依降水情况适度露田,增强土壤透气性,促进长根分蘖。头季稻中期,多数地区降水能满足需要,建议适度烤田,控制无效分蘖的发生。头季稻后期及再生季,灌浆期、再生季降水充足,依降水控制出水口开关,实现干湿交替。总体来说,四川、重庆两地是再生稻适宜区,具备高产潜力。

2.2.2 广西水分管理策略 该地区头季稻苗期降水量较大,完全能满足作物需水,可以露田 2~3 次以促进分蘖生根。而头季稻中期,桂西北地区伏旱较为严重,降水虽能基本满足需求,但考虑到后期秋旱严重,不宜烤田,而需蓄水抗旱。其它地区的降水充足,但为应对后期秋旱,建议适度烤田。在头季稻后期及再生季,秋旱严重,降水仅能基本满足需求,不宜采用高效的水分管理策略。总之,该地区通过塑造高质量群体确保头季稻产量是该区的主攻方向。

2.2.3 湖北水分管理策略 湖北省内除恩施、来凤和五峰三地整个水稻生长季降水量较大,完全能满足作物需水,可以完全按照高产栽培的水分管理要求实

施外,三峡和宜昌的降雨量与作物需水量的时空分布与重庆相近,水分管理策略应与其相同。其它大多数地区降水仅能基本满足作物需求,冬季蓄水充足,苗期可露田,但不宜进行中期烤田,除非有一定的灌溉条件。如果仅依靠自然降水,湖北省内只有恩施等三个地区的局部地区具备再生稻高产潜力。

2.2.4 江西水分管理策略 江西省头季稻苗期降水量远超过水稻需水量,建议进行适度露田。而头季稻中期,除井冈山、遂川和寻乌等地外,伏旱严重,降水无法满足水稻需要,多数地区不宜进行中期烤田。头季稻后期及再生季秋旱严重,降水不足,很难通过控制水口开关实现干湿交替。总的来说,该地区在缺少灌溉水源的条件下,不适宜进行再生稻生产。通过露田、适度烤田塑造高质量群体,确保头季稻产量是该区的主攻方向。

3 讨论与展望

3.1 再生稻降水资源高效利用研究的必要性

3.1.1 水稻高产的必然要求 以四川为例,2010 年

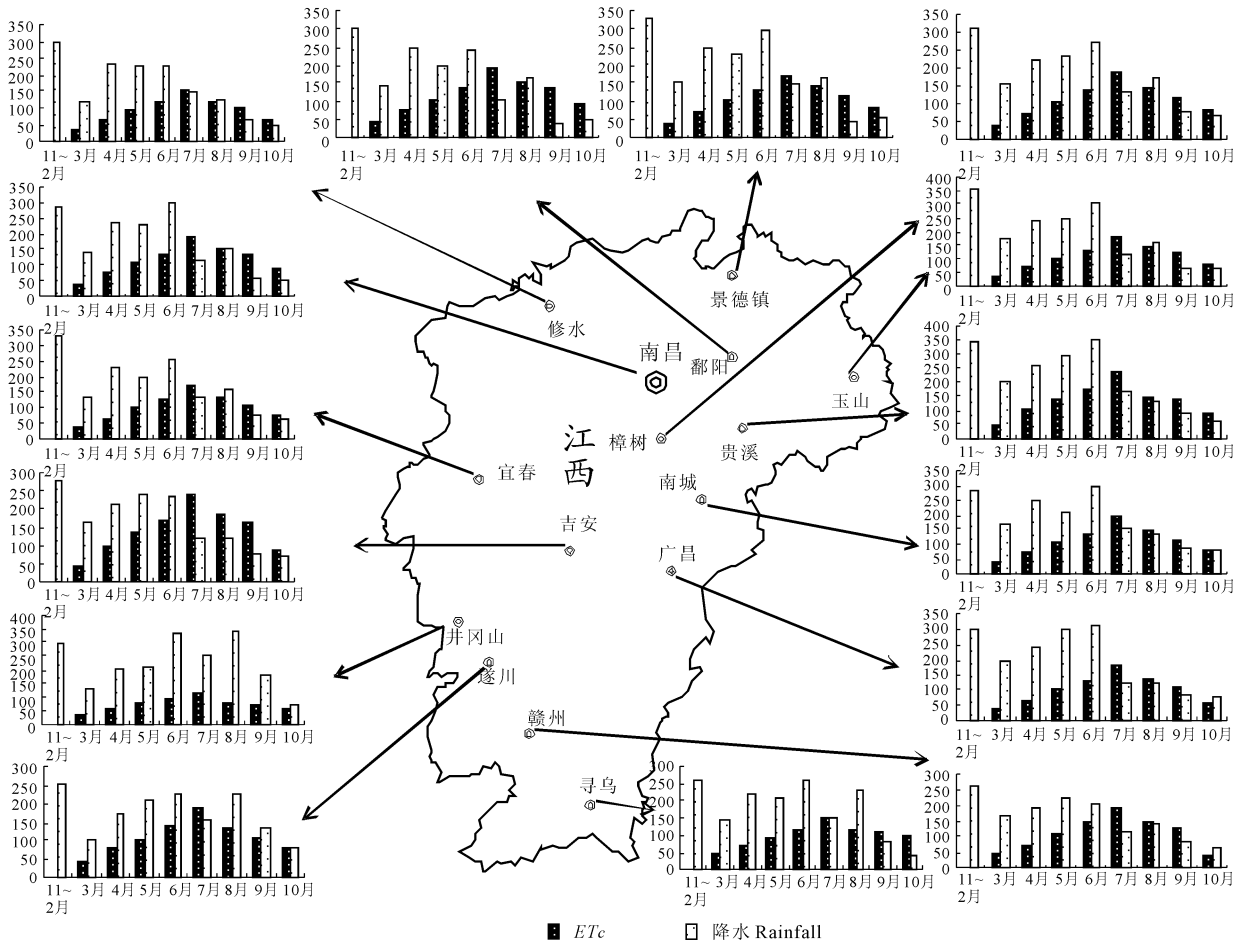


图 4 江西再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布(mm)

Fig.4 The temporal and spatial distribution of ET_c of ratoon rice and rainfall in Jiangxi

该省再生稻面积接近 33.33 万 hm^2 , 约占全国总面积的 60%。四川再生稻生产主要利用冬水田, 平均产量不足 2 250 kg/hm^2 。据我们 2010 年的调研结果, 该地区再生稻生产的关键问题在于冬水田的水管理。即冬水田前期较低的土、水温度不利于水稻分蘖发生; 因无灌溉水源, 又不能在水稻分蘖盛期排水晒田以及灌浆结实期实行干湿交替。在再生稻生长过程中, 大部分地区稻田存在长期淹水的现象^[15]。水稻高产栽培在水分管理上要求苗期(分蘖期)适度露田, 促进根系生长; 中期够苗后烤田, 控制无效分蘖, 促进根系发育; 灌浆结实期干湿交替灌溉, 维系根系活力, 防止叶片早衰, 促进光合产物制造和转运, 提高头季稻产量, 并促进再生芽萌发^[7]。本研究在分析自然降水和作物需水量之间匹配程度的基础上, 初步提出了不同地区再生稻水分管理策略, 针对不同的地区实行不同的水分管理模式, 实现再生稻水分的高效利用, 提高产量, 可为我国南方季节性干旱区再生稻降水高效利用研究提供了参考。

3.1.2 低碳稻作的必然要求 迄今有关再生稻生

长季甲烷排放的研究尚鲜见报道。笔者于 2010 年 8 月中旬和 10 月中旬在四川省隆昌县考察时发现, 再生稻在头季稻收获时, 农民习惯将嫩绿的茎叶留在田中。这时秸秆水分含量高, 极易腐烂, 在长期淹水条件下更易产生甲烷, 脚踩在田中会放出大量的甲烷气泡。因此, 再生稻生产中迫切需要改进水分管理方式, 改变长期淹水的习惯, 这样不仅是高产的要求, 对降低甲烷排放、发展低碳稻作也具有重要意义。

3.2 再生稻降水资源高效利用研究展望

再生稻具有一种两收、省工节本的特点, 扩大再生稻面积是我国一季有余、两季不足的地方增加复种指数、提高水稻产量的重要途径。基于水稻生育期内的热量条件, 我国再生稻适宜面积估算为 333.33 万 hm^2 ^[4]。但再生稻多集中于南方没有灌溉水源、主要依赖自然降水的丘陵山地。因而, 有必要基于再生稻作物需水量和自然降水量的时空分布及两者之间的耦合程度, 提出南方季节性干旱区发展再生稻的适宜区和不宜区, 并据此提出针对不同稻

区的水分管理策略。

本研究基于 56 a 气象资料的理论推算,初步明确了南方季节性干旱区再生稻水分高效利用的潜力和方向,提出了不同稻区再生稻降水资源高效利用模式。在实际生产中,必须结合降水、温度、湿度等气象因子以及田间水稻长势的实际情况,灵活确定实时的水分管理措施。因此,有必要选取再生稻生产的代表性地区,在不同降水年型下开展再生稻水分高效管理的实践研究,以提出针对不同稻区的水分管理模式和技术。

致谢:感谢福建省农科院谢华安院士对本研究的关心和支持。在调查研究中得到四川省内江市农科院肖培村研究员、重庆市水稻研究所李经勇研究员和四川省隆昌县农技中心主任范琼勇、作栽站站站长蓝兵的帮助。在论文撰写过程中得到西北农林科技大学农业部旱地作物生产与生态重点开放实验室主任贾志宽教授的指导。谨向以上各位专家致以诚挚的谢意。

参考文献:

- [1] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等.基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 a 演变特征[J].农业工程学报,2010,26(7):50—59.
- [2] 王立祥,王龙昌.中国旱区农业[M].南京:江苏科学技术出版社,2009,176—200.
- [3] 张桂莲,屠乃美.再生稻研究现状与展望[J].作物研究,2001,15(3):64—69.
- [4] 陈鸿飞,林瑞余,梁义元,等.不同栽培模式早稻—再生稻头季干物质积累运转特性研究[J].中国生态农业学报,2008,16(1):129—133.
- [5] 吕泽林,钟顺清,杨航.再生稻高产稳产栽培技术研究[J].安徽农业科学,2010,38(17):8886—8891.
- [6] 黄友钦,刘仕琳,王贵学,等.伏旱期土壤水分对再生稻的影响[J].西南农业大学学报,1995,17(6):481—485.
- [7] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等.水稻高产精确定量栽培[J].北方水稻,2007,(2):1—9.
- [8] 谢立群,郑淑红.作物需水量的计算方法[J].农业与技术,2007,27(1):128—129.
- [9] 陈玉民,郭国双.中国主要农作物需水量等值线图研究[M].北京:中国农业科技出版社,1993:10—18.
- [10] 赵式英,胡慧英.水稻主作物生育期与再生稻的研究[J].江西农业科技,1987,(5):8—10.
- [11] 廖必长,陈叶平,季日鹤.覆膜栽培对中稻—再生稻生育期及产量的影响[J].耕作与栽培,2001,(5):25—26.
- [12] 方文,罗文质,张景国,等.四川再生稻的生态条件及区域适应性研究[J].西南农业学报,1994,7(3):15—22.
- [13] 湖南省作物学会水稻学组.湖北再生稻高产栽培考察报告[J].作物研究,1986,(增刊):4—6.
- [14] 彭春瑞,涂田华,邱才飞,等.“超级稻—再生稻”模式在江西的应用效益及关键技术初步研究[J].杂交水稻,2006,21(6):56—58.
- [15] 刘代银,朱旭霞.四川冬水田管理和利用中存在的问题及对策[J].四川农业科技,2007,(12):5—6.

Improving rainfall use efficiency of ratoon rice in seasonal drought areas of South China

LIU Zheng-hui, BI Jun-guo, JIANG De-quan, LIN Zhao-miao, LI Xia, DING Yan-feng*

(College of Agronomy, Nanjing Agricultural University; Key and Open Lab of Physiology and Ecology of Southern Crops of the Chinese Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study is to investigate the strategies for high rainfall use efficiency of ratoon rice in seasonal drought areas of southern China. Crop evapotranspiration (ET_C) was calculated by means of the Penman—Monteith equation using meteorological and crop data from 69 counties of five provinces (Sichuan, Hubei, Jiangxi, Chongqing and Guangxi). According to the spatial and temporal distribution and its congruence between rainfall and ET_C , strategies for rainfall management of different areas are outlined as follows: (1) In most counties of Sichuan and Chongqing, amount of rainfall match to that of ET_C during rice growing season. Drying paddy field in sunshine at early stage and alternate drying and wetting at middle and late stage are suggested as the rainfall management practices for these areas; (2) Most counties, except three in Hubei, are not suitable for ratoon rice production; And (3) Guangxi and Jiangxi are similar in rainfall temporal distribution, with the majority of rainfall occurring in the early rice growing season. Therefore, drying paddy field in sunshine at early stage is strongly recommended, while alternate drying and wetting at middle and late stage are not suitable for these areas. At the end of this paper, the importance of high rainfall use efficiency for reducing methane emission in ratoon rice field is highlighted according to our experiences of field experiments.

Keywords: ratoon rice; seasonal drought area; rainfall use efficiency