

双季稻灌溉制度研究

——以云南省勐腊县勐满坝区为例¹

吴霞，陈栋格

（云南省水利水电勘测设计研究院，云南 昆明 650021）

【摘要】双季稻的种植，对于保障云南省边境地区粮食安全具有重要意义。为科学种植，最大程度提高水稻产量，以云南省勐腊县勐满坝区为例，根据有关规范和研究，结合实际，通过时历年法及彭曼法对双季水稻灌溉制度进行了研究，确定了该灌区的双季稻灌溉方案，在 $P=80\%$ 的保证率下，夏季稻灌溉定额 $4976\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，冬季稻灌溉定额 $8855\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，研究结果与云南省地方标准一致，可为类似灌区规划设计提供重要依据。

【关键词】时历年法；彭曼公式；北热带；双季稻；灌溉制度

【中图分类号】 S274 **【文献标识码】** A

大米是我国南方餐桌上必不可少的主食，稻谷种植比例及产量在中国各粮食作物中也一直稳居首位，合理配置种植比例，科学地种植双季稻，提高复种指数，是提高我国水稻生产能力、保证粮食供给的有效举措。受年降水量、最暖月平均气温和稳定通过 18°C 持续日数限制，我国双季稻种植区的潜在分布区主要位于长江中下游以南的广大地区和其他包括云南南部在内的 8 个省（市）。

灌溉制度是制定区域规划、流域规划、灌区水利规划及灌排工程规划设计的重要组成部分，是进行水土资源平衡和确定渠道设计流量的基本依据。如在黑龙江省林甸灌区、青龙山灌区、四川省龙塘灌区、宁夏青铜峡灌区等实例中，均对水稻灌溉制度进行了分析研究，研究结果也中各灌区设计中发挥了重要作用。因此，合理可行的灌溉制度，对优化灌溉规模、水资源调度方案优化及灌溉管理中制定最优配水、调水计划都是十分必要的。由于水稻中粮食作物中占有不可替代的比重和地位，合理制定水稻灌溉制度尤显重要。

除了上述灌区实例，还有对辽宁省、三江平原地区等区域水稻灌溉制度的研究，均只涉及单季稻，而以往对双季稻的研究，主要集中在气候、土壤对双季稻的影响，以及双季稻栽培技术、机械化生产模式等，双季稻灌溉制度相关内容甚少。本文以勐腊县勐满坝区为例，研究双季稻生育期及灌溉制度，旨在为我省乃至我国北热带地区的水稻科学灌溉提供参考。

1 研究区简介

勐腊县是云南省最南端的一个边境县，位于西双版纳州东部，勐满坝区位于勐腊县西南部，介于东经 $101^\circ 12' \sim 101^\circ 27'$ 、北纬 $21^\circ 10' \sim 22^\circ 22'$ 之间。东接国家级磨憨口岸，西南与老挝新县交界，北与勐捧镇接壤，是一个多民族杂居的边境小镇。全镇土地面积 403km^2 ，平均海拔 1100m ，国境线长 42km ，其中坝区面积 187km^2 ，占总面积的 46.3% ，是云南省较大的坝子之一。耕

¹ 收稿日期 2018-05-30

作者简介 吴霞（1988-），女，云南人，学士，研究方向：水利规划。

地总面积 1927hm², 农民人均耕地面积 0.07hm²。勐满镇主要有水稻土和砖红壤。坝区适宜种植水稻、玉米、小麦、豆类等农作物及香蕉等经济作物。根据国土二调统计, 规划区水田面积约 1467hm²。

据有关规划, 勐满镇随着经济口岸建设, 人口迅猛增加, 为保证粮食安全, 应大力发展双季稻。根据实地调查及调查走访, 当地气候适宜种植多季稻谷, 其中冬季稻和夏季稻最适宜种植, 可合理避开高温对稻谷的影响, 根据勐满镇《农业生产综合统计报表》(1991~2014 年) 等有关资料显示, 在 2007 年大规模种植经济作物香蕉以前, 水稻(夏季稻) 种植比例较大, 高达 50% 以上, 但现状水平年水稻的种植比例降低为 8% 左右, 大量粮田改种经济作物香蕉。为了保证粮食安全, 加上考虑到香蕉连作会导致季节性排水不良、土壤缺乏有机质、植株抗逆的能力逐渐减弱、易感染病虫害、产量和品质逐年下降等问题, 规划在合理制定灌溉制度后提高农作物的复种指数, 将水稻种植比例恢复到大规模种植香蕉以前。由于香蕉为常年作物, 香蕉种植面积退减后, 可同时增加冬季稻的种植比例。

2 生育期确定

2.1 气象数据

本文共采用勐腊气象站 1971~2014 年共 44 年气象资料, 主要采用指标为经纬度、海拔、平均气温、相对湿度、最高气温、日照时数、逐日降雨量。

勐腊县属北热带季风气候区, 其特点是热量丰富、夏无酷暑、冬无严寒, 降水丰沛, 旱雨两季分明, 雨热同季, 每年 11 月至次年 5 月为旱季, 6 月~10 月为雨季, 雨季降水占全年降雨量的 83%。据气象资料记载, 勐腊县平均气温为 21℃:, 最冷 1 月平均气温 10~16℃:, 极端低温为-5℃:, 最热 7 月平均气温 25.2~26℃:, 极端高温为 40.1℃, 多年平均日照时数 1850 小时, 相对湿度 86%; 冬天基本无霜; 多年平均风速 0.7m/s, 实测最大风速为 18m/s; 多年平均蒸发量为 1657.3mm, 多年平均降水量为 1550mm。

2.2 生育期

2.2.1 生育期时间。双季稻种植主要自然灾害有低温、高温以及旱涝灾害, 勐腊县主要存在高温影响, 勐腊县高温主要集中在 4~7 月, 8 月后很少出现 30℃ 以上高温。根据有关研究, 高温对水稻的危害主要在孕穗期以后, 抽穗扬花期对高温最敏感, 35℃ 以上的高温就能影响开花受精, 增加空壳率; 灌浆期遇 35℃ 以上的高温, 常出现高温逼熟, 水稻根系早衰, 吸收养分的能力减弱, 叶片功能下降, 半实粒和秕粒增加; 如果花期遇到高温, 则会造成花粉管尖端大量破裂, 失去受精能力, 而形成大量秕粒或空壳, 若同期遇大风, 则危害更大。此外, 勐腊县还与海南天气类似, 4 月下旬至 5 月上旬, 日照充足而强烈, 地面增温极快, 相对湿度小, 形成又干又热的气团, 影响较大范围的水稻尤其是早稻的开花结实。因为干热风会使花药干萎不开裂, 散粉小, 划分生活技能减退, 影响正常开花授粉, 导致花粉发育不正常, 空秕率增加, 结实率降低而减产。

勐腊县夏季温高, 为了将高温灾害对水稻的影响降到最低, 当地水稻种植大致分为夏季稻和冬季稻两类, 夏季稻 5 月育秧, 9 月收割, 冬季稻 11 月育秧 4 月收割, 合理错开了高温逼熟及干热风的影响。

水稻生育期划分: 水稻全生长期灌溉用水包括秧田期和大田期两部分, 大田期又分为移栽返青、分蘖初、分蘖末、拔节孕穗、抽穗扬花、乳熟、黄熟七个生育阶段。

由于气温高, 会加速作物的生长进程, 夏季稻生育期较冬季稻相对较短, 尤其体现在秧田期和拔节孕穗期, 冬季稻秧田期为气温相对较低的 11~12 月, 较夏季稻长 5 天, 而夏季稻拔节孕穗期为温度最高的 7~8 月, 所需时间较冬季稻少 10 天。

夏季稻秧田期一般为 25 天，从 5 月 6 日~5 月 30 日，大田期共 100 天，从 5 月 31 日~9 月 7 日；冬季稻秧田期一般为 30 天，从 11 月 20 日~12 月 19 日，大田期共 120 天，从 12 月 20 日~次年 4 月 18 日。生育期时间对比见表 1。

表 1 研究区双季稻各生育期时间

	生育阶段	天数（天）	夏季稻		冬季稻	
			日期（日/月~	日/月）	天数（天）	日期（日/月~日/月）
本田期	秧田期	25	6/5 - 30/5		30	20/11 ~ 19/12
	移栽返青期	7	31/5 - 6/6		10	20/12 ~ 29/12
	分蘖初期	22	7/6 ~ 28/6		25	30/12 ~ 23/1
	分蘖末期	10	29/6 - 8/7		10	24/1 ~ 2/2
	拔节孕穗期	25	9/7 - 2/8		35	3/2 ~ 9/3
	抽穗扬花	13	3/8 - 15/8		15	10/3- ~ 24/3
	乳熟期	13	16/8 - 28/8		15	25/3 ~ 8/4
	黄熟期	10	29/8 - 7/9		10	9/4 ~ 18/4
	本田期小计	100	31/5 ~ 7/9		120	20/12 ~ 18/4

表 2 勐满坝区水稻生育期与相似区域对比表

灌区名称	种类	秧田期	本田期	起止日期	泡田天数	移栽天数	数据来源
勐腊勐满坝区	夏季稻	25	100	6/5~7/9	5	15	勐腊大沙坝灌区规划
	冬季稻	30	120	20/11~18/4	5	15	
勐腊大沙坝灌区	夏季稻	30	100	1/5~7/9	5	15	
	冬季稻	30	120	20/11~8/4	5	15	
海南东北部灌区	晚稻	30	150	1/5~ 30/9		30	双季稻高效配
	早稻	30	167	15/12~30/5		30	套栽培技术

为了说明数据的可靠性，将拟定的生育期与以往工程中的临近灌区大沙坝灌区及气候相似的海南东北部地区做了对比，与类似区域基本一致，对比情况见表 2。

2.2.2 适宜水层深度。水稻生育期的淹灌水层深度包括适宜下限、适宜上限和降雨滞蓄深度，为充分利用降水，同时达到丰产节水的要求，各生育期水层深度按“浅水勤灌、浅灌深蓄”的灌水模式，并结合各生育阶段的不同要求拟定，生育初期和末期水层较浅，孕穗扬花期较深，收割前的黄熟期落干晒田。

2.2.3 渗漏强度与作物系数。水稻田间渗漏强度主要与土壤性质水文地质条件及管理水平有关，水稻土和砖红壤，拟定水稻生育初、中期的田间渗漏强度为 2.0~3.0mm/d、生长末期落干时渗漏强度为 1.5mm/d。作物系数为潜在需水量与实际需水量之间的换算系数，生育初期和末期较小，取 1.05~0.95,生育中期较大，取 1.20。

2.2.4 泡田定额及移栽进度。按灌区的耕作方式，采用浅水勤灌、浅灌深蓄的灌水方式，在移栽前 5 天开始泡田，根据当地的灌慨经验，泡田定额为 2700m³/hm²。移栽期需 15 天。根据当地习惯秧田与大田比例取 1:15。

3 双季稻溉制度设计

3.1 计算方法

在调查研究区水稻需水特性的基础上，根据《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)设计水稻灌溉制度。本次水稻灌溉制度设计收集了勐腊县气象站 1971~2014 年共 44 年的气象资料，按时历年法逐年计算确定水稻灌溉制度。首先，根据联合国粮农组织推荐的彭曼公式计算农作物各月份潜在需水量；其次，根据水稻各生育期的作物系数及潜在需水量计算出水稻各生育期的实际需水量；最后根据调查确定的泡田天数，泡田定额，泡田进度，水稻移栽时间，进度，考虑田间渗漏损失，扣除同期有效降雨量，按格田水量平衡法，分别推求出水稻秧田期、本田期的灌水量、及灌溉定额。秧田及本田按一定比例分摊，即可得出房年来水稻的灌溉制度。选择与灌溉保证率相近的年份并考虑对灌溉最不利的情况作为设计代表年。

彭曼公式是根据能量平衡原理、水汽扩散原理和空气导热定律等计算参照作物需水量的公式，1948 年由英国 H. L. 彭曼提出，后经多次修正，1992 联合国粮农组织 (FAO) 推荐使用该公式进行参考作物需水量 ET_0 计算，对某一地区计算某时段的 ET_0 ，彭曼公式仅需水汽压、气温、日照时数和风速等资料，理论依据完备，计算误差小，是目前世界上应用最普遍的公式。彭曼公式如下：

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

式中： ET_0 为参考作物腾发量 (mm/d)； T 为平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)； Δ 为平均气温时饱和水汽压与温度曲线在 T 处的切线斜率 (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$)； e_a 为饱和水汽压 (kPa)； e_d 为实际水汽压 (kPa)； R_n 为作物表面的太阳净辐射 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)； G 为土壤热通量 ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)； T_i 、 T_{i-1} ； γ 为湿度表常数，kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ； U_2 为 2m 高处风速，m/s。

水稻需水量又称水稻腾发量，是指植株蒸腾与株蒸腾与株间蒸发两者消耗的水量，它的大小及变化规律，主要取决于气象条件、作物特性、土壤性质和农业技术措施等。其计算公式如下^[19]：

$$ET_t = ET_0 \times K_c \times K_s \quad (2)$$

式中： ET_t 为第 t 时段内的水稻需水量，mm； ET_0 为该时段内参考作物需水量，mm； K_c 为该时段作物系数； K_s 为该时段土壤水分胁迫修正系数。时段长取 1d。

3.2 灌溉制度

本田期作物用水量为泡田水量、田间渗漏量、作物腾发量之和，并扣除同期有效降雨量。作物需水量采用“彭曼公式”求得潜在作物需水量 (ET_0)，再按水稻作物系数折算出水稻需水量。水稻全生育期需水量为秧苗期与本田期需水量之和，秧田需水量按秧田与本田比分配。根据水稻灌溉定额的频率分析，夏季稻选出 1998、2004 年两个基本符合 $P=80\%$ 设计保证率的年份，以其中灌水分配过程不利的一年为典型年，计算结果以 04 年的灌溉制度作为设计灌溉制度， $F=80\%$ 水稻灌溉定额 $4976\text{m}^3/\text{hm}^2$ ；冬季稻选出 1979、2009 年两个基本符合 $P=80\%$ 设计保证率的年份，以其中灌水分配过程不利的一年为典型年，计算结果以 2009 年的灌溉制度作为设计灌溉制度， $P=80\%$ 水稻灌溉定额 $8855\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。规划区典型年水稻灌溉用水过程及灌溉定额详见表 3、表 4。

根据云南省地方标准《用水定额》(DB53/T168-2013)，双季单稻、双季晚稻 $P=75\%$ 用水定额分别为 $8550\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $4500\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，本次规划定额分别为 $8855\text{m}^3/\text{hm}^2$ 、 $4976\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，勐满叛区属热带区、且规划中取的保证率为 $P=80\%$ ，比定额标准中定额稍偏高，满足要求。

表 3 灌区夏季稻全生育期灌溉制度 单位： m^3/hm^2

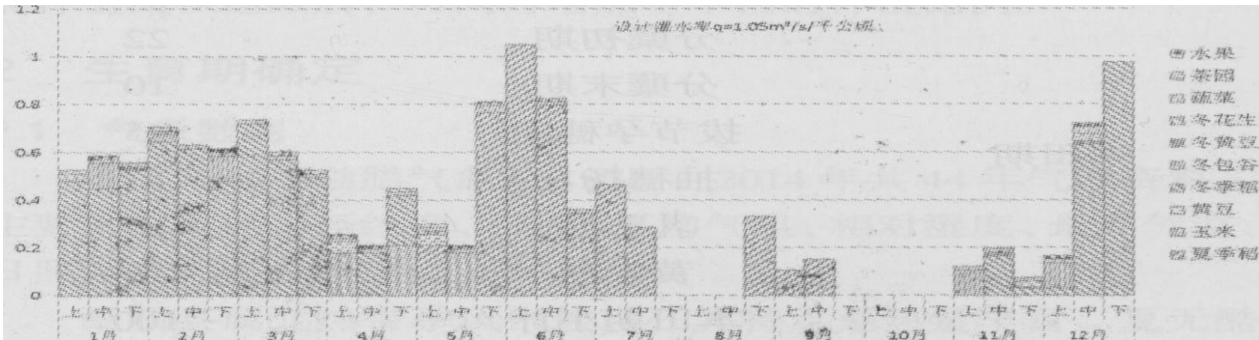
频率	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计
50.0%	941.0	2653.5	0.0	513.0	264.0	4371.0
80.0%	835.5	2974.5	654.0	288.0	219.0	4975.5
95.0%	894.0	3103.5	184.5	549.0	382.5	5113.5
平均	868.5	2604.0	382.5	244.5	307.5	4408.5

表 4 灌区冬季稻全生育期灌溉制度 单位: m^3/hm^2

频率	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	合计
50.0%	213.0	2850.0	1600.5	1662.0	996.0	1150.5	3.0	8473.5
80.0%	213.0	2827.5	1578.0	1881.0	1926.0	418.5	9.0	8854.5
95.0%	210.0	2806.5	1588.5	1624.5	1773.0	1258.5	9.0	9288.0
平均	205.5	2806.5	1455.0	1588.5	1573.5	817.5	7.5	8455.5

3.3 灌水率

灌水率与灌区内的作物组成、种植比例、作物允许灌水延续时间、栽插进度有关。据《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)规定,结合灌区的实际情况,水稻灌水延续时间一般为 5~10 天,泡田期 10~15 天够耨期 10~15 天、大田生育期 5 天,本次规划在水稻灌水高峰期 6 月上旬、12 月下旬为 10 天,其他生育阶段均为 8 天。在对初步绘制出的灌水率图进行合理修正后得设计灌水率为 $1.05\text{m}^3/\text{s}/\text{千 hm}^2$ 设计灌水率见图 1。



4 结论

本文通过时历年法及彭曼公式研究勐满坝区双季稻灌溉制度设计,确定了勐满坝灌区的双季稻灌溉方案,在 $P=80\%$ 的保证率下,夏季稻灌溉定额 $4976\text{m}^3/\text{hm}^2$,用水高峰为 6 月上旬,冬季稻灌溉定额 $8855\text{m}^3/\text{hm}^2$,用水高峰为 12 月下旬,为该灌区规划设计提供了有力支撑,亦可作为类似灌区规划设计的重要依据。