水稻控灌特性及最佳密度试验研究

施世宽, 施朱峰, 潘德峰

(江苏省沿海水利科学研究所, 江苏 东台 224200)

摘要:为研究控灌条件下的水稻合理密度, 探求最佳栽插密度模式, 连续 3 年在江苏省东台市一 0.34 hm² 试验区内开展水稻控灌特性及最佳密度试验。试验结果表明: 水稻控灌可以节约灌水量 55.7% ~ 61.7%, 增产幅度 7.8% ~ 9.2%, 并具有扎根深、有效分蘖高、茎秆粗壮、抗倒伏等优点; 水稻在相同的控灌条件下最佳密度为 37.5 万穴/hm², 栽插株距 10.0 cm, 行距 26.6 cm, 增产幅度 3.3% ~ 6.9%。

关键词:节水灌溉; 水稻控灌; 栽插密度

中图分类号: S274.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)04-0007-02

水稻控制灌溉技术(以下简称控灌)是河海大学多年试验研究的成果, 并获水利部科技进步二等奖, 1993 年列入《国家科技成果重点推广计划》。该技术充分发挥水稻自身调节机能和适应能力, 根据水稻需水特点, 适时适量灌溉, 以根层土壤含水量的多少作为控制依据, 即在水稻返青后的各个生育阶段田面不再保留水层, 以根层土壤含水量作为控制标准, 控制上限为土壤饱和含水量, 下限取饱和含水量的 60% ~ 70%。江苏省盐城市于 1994 年至 1996 年逐年扩大示范面积, 1997 年至 2000 年全面推广, 面积达 20.73 万 hm², 平均灌水量 4 770 m³/hm², 平均产量 9 984.8 kg/hm², 较常规灌溉平均节水 55%, 增产 9%。由于水稻控灌具有显著经济效益, 而目前水稻栽插密度并不一定为最高产量的合理密度, 也未见有关方面的研究报道, 因此, 研究控灌条件下的水稻合理密度, 求得最佳栽插密度模式, 对于全市乃至江苏省的水稻产量再上新台阶具有重要意义。为此, 江苏省沿海水利科学研究所从 1998 年起连续 3 年在江苏省东台市梁垛三合村较为系统地开展了水稻控灌特性的验证及深化研究和最佳密度试验研究。

1 试验区概况

为研究水稻控灌合理密度, 试验区建立在东台市堤东垦区梁垛三合村, 204 国道东侧。土壤为中壤土, 田间持水量 26.6%, pH 值为 7.4, 土壤有机质 2.07%, 多年平均降水量 1 075.5 mm, 水稻产量 20 世纪 70 年代平均 4 935 kg/hm², 80 年代 6 225 kg/hm², 90

年代初 7 500 kg/hm², 1997 年推广水稻控灌技术以来产量 9 900 kg/hm² 左右。

2 研究方法

a. 试验区布设:试验区布置在农户承包田内, 南北长 77.5 m, 东西宽 43.4 m, 面积 0.34 hm², 南侧为灌溉渠道, 北侧为排水沟, 灌排能灵活掌握。试验区共划分 5 个小区, 其中 4 个小区采用水稻控灌技术, 1 个小区设置常规灌溉的对照区, 在 5 个小区内分 4 种不同的栽插密度, 并在每个小区内再分 3 个小块, 作为同一密度的三次重复, 交错布置。

b. 栽插密度:4 种密度行距均为 26.6 cm, 株距分别为 15.0 cm, 11.7 cm, 10.0 cm, 8.3 cm, 密度分别为 25.1 万穴/hm², 32.1 万穴/hm², 37.5 万穴/hm² 和 45.0 万穴/hm², 实际考种密度略有差异。

c. 供试品种:粳 9516。

d. 观测内容:气象、地下水位、土壤含水量、灌排水量、农艺措施、地温、作物长势、考种及实收产量等。

e. 技术路线:严格按水稻控灌技术, 在同土质条件、同品种、同农业措施和不同栽插密度条件下, 观测收集各项资料并分析整理, 最终提出合理栽插密度和增产幅度的结论性意见。

3 试验结果

3.1 水稻控灌的特性

3.1.1 节水

水稻控灌节水包括生理节水、生态节水和降水

有效利用三部分.控灌创造了更好的水分养分环境,可以促进和控制水稻的生命活力,充分发挥其自身的调节机能,实现高产情况下的生理节水.据试验数据分析,1998年控灌区灌水 $2115\text{ m}^3/\text{hm}^2$,对照区灌水 $4830\text{ m}^3/\text{hm}^2$,1999年控灌区灌水 $2371\text{ m}^3/\text{hm}^2$,对照区灌水 $6180\text{ m}^3/\text{hm}^2$,2000年控灌区灌水 $2835\text{ m}^3/\text{hm}^2$,对照区灌水 $6405\text{ m}^3/\text{hm}^2$,节水幅度达 $55.7\% \sim 61.7\%$.在改变水稻生理生态的同时,还充分利用了天然降雨,降雨有效利用率高于淹灌,雨后允许暂蓄 $1 \sim 2\text{ d}$ 雨水,使得补水灌水量减少.2000年不同生育期灌溉用水量见表1.

3.1.2 增产

水稻控灌在大幅度降低灌水量的同时获得高产,当年控灌平均产量与当年常规灌溉平均产量相比,东台市1997年平均产量 $10003.5\text{ kg}/\text{hm}^2$,增产 $834\text{ kg}/\text{hm}^2$,增幅 9.1% ;1998年平均产量 $10428\text{ kg}/\text{hm}^2$,增产 $796.5\text{ kg}/\text{hm}^2$,增幅 8.27% ,1999年平均产量 $9091\text{ kg}/\text{hm}^2$,增产 $759\text{ kg}/\text{hm}^2$,增幅 9.18% ;2000年平均产量 $10416\text{ kg}/\text{hm}^2$,增产 $756\text{ kg}/\text{hm}^2$,增幅 7.83% .

3.1.3 生理生态

a. 根系.试验表明,控灌调节土壤水分以后,创造了既有水分又有空气的良好条件,水稻根系数量和长度均优于淹灌,根毛数量多,分布范围广,扎根深,一次扎根深达 60 cm 以上,呈倒树枝状,更能有效地吸收水分和养分,而淹灌水稻根系集中分布在 20 cm 土层范围内,呈水平层状分布,根毛少,衰老快,黑根比例高达 20% 以上,根系发育差,吸收功能受阻.

b. 分蘖.控灌提供了分蘖所需的适宜土壤温度,使水稻分蘖早,生长快,低位蘖多,无效分蘖减少,有效分蘖高达 90% 以上,比淹灌提高 30% 左右,并且蘖壮叶挺,株型整齐,形成了合理的高产群体.

c. 茎秆.茎秆矮而整齐,秆茎底节节间短,密实粗壮,具备较强的抗倒伏能力,1999年试验区收割前大风过后,控灌区无倒伏,而对照区倒伏达 80% 以上.据比较可知,对照区水稻底部节间长度 $3 \sim 5\text{ cm}$,外直径 $6 \sim 8\text{ mm}$,内空直径 $4 \sim 6\text{ mm}$,壁厚 1 mm .控灌区水稻底节长度仅为 $1 \sim 2\text{ cm}$,外直径 $9 \sim 10\text{ mm}$,内空直径 $2 \sim 3\text{ mm}$,壁厚 $3 \sim 3.5\text{ mm}$ (是对照区的 $3 \sim 3.5$ 倍).

d. 叶.控灌技术通过水分控制,限制了氮素的过量吸收,抑制了无效分蘖,保持适宜的叶面积指数(5.0 左右),太阳光可透过冠层作用于下层叶片上,扩大光合面积,有利于有机物的合成和运输.不同生育期叶面积指数见表2.

表2 不同生育期叶面积指数

灌溉区	叶面积指数				
	分蘖期	拔节期	抽穗期	乳熟期	黄熟期
控灌区	0.85	4.82	6.29	5.11	3.00
对照区	0.53	3.54	4.79	3.84	2.79

3.2 最佳密度

试验结果表明,控灌条件下4种栽插密度中, 37.5 万穴/ hm^2 产量最高,低于或高于该密度产量均有不同程度减少,与 25.1 万穴/ hm^2 和 45.0 万穴/ hm^2 比较,分别增产 3.3% 和 6.9% .因此,在相同灌溉水量、农业措施、品种等边界条件下,水稻控灌最佳栽插密度为 37.5 万穴/ hm^2 ,株距为 10.0 cm ,行距为 26.6 cm .试验结果见表3.

4 结论

a. 水稻控灌可以节约灌水量 $55.7\% \sim 61.7\%$,增产 $7.8\% \sim 9.2\%$,并具有扎根深、茎秆粗壮、有效分蘖高、抗倒伏等突出优点.

b. 水稻在相同的控灌条件下最佳密度为 37.5 万穴/ hm^2 ,栽插株距 10.0 cm ,行距 26.6 cm ,增产幅度 $3.3\% \sim 6.9\%$.

表1 不同生育期灌溉用水量

生育期	灌溉区	起止日期	时间/d	降雨量/mm	灌水次数	灌水量/mm	排水次数	排水量/mm	耗水量/mm	有效雨量/mm	泡田水量/mm	总耗水量/mm
返青期	控灌区	6月15~22日	8	61.5	1	15	2	53.0	23.5	8.5		
	对照区	6月15~22日	8	61.5	1	20	1	16.0	65.5	45.5		
分蘖期	控灌区	6月23日~7月22日	30	232.5			1	144.5	88.0	88.0		
	对照区	6月23日~7月19日	27	232.5	1	40	3	202.5	170.0	130.0		
拔节期	控灌区	7月23日~8月27日	36	121.5	3	157	1	30.0	248.5	91.5		
	对照区	7月20日~8月24日	36	121.5	5	250	1	25.0	330.5	80.5		
抽穗期	控灌区	8月28日~9月9日	13	4.0	1	17			21.0	4.0		
	对照区	8月25日~9月6日	13	4.0	1	22			45.0	23.0		
乳熟期	控灌区	9月10~26日	17	20.0					20.0	20.0		
	对照区	9月7~23日	17	20.0	2	95			95.0			
黄熟期	控灌区	9月27日~10月13日	17	6.0					6.0	6.0		
	对照区	9月24日~10月13日	20	6.0					26.0	26.0		
全期	控灌区		121	455.5	5	189	4	227.5	407.0	218.0	68	693
	对照区		121	455.5	10	427	4	243.0	732.0		85	817

因为

$$|h_0 - x| \leq \max\{|h - h_0|, |\zeta_b - 1| \cdot h_0\} = \max\left\{a_s, \frac{h}{2} - a_s\right\}$$

所以

$$|\varphi'(x)| < 1$$

计算过程如下: ① $x = \frac{N}{f_{cm}b}$ (先按大偏压计算),

当 $x > x_b$ ($x_b = \zeta_b h_0$) 时, 按小偏压计算; ② 令 $x_1 = \frac{x + \zeta_b h_0}{2}$, 代入式(2)求 A'_s ; ③ 将 A'_s 代入式(1), 求出 ζ ($\zeta = x/h_0$) 和 x 的值, 再代入式(2)求 A'_s ; ④ 两次求得的 A'_s 相差不大 (误差不到 5%) 时, 认为合格, 计算结束。否则以第二次求得的 A'_s 值代入式(1)重求 x 值, 代入式(2)重求 A'_s 值, 直到精度达到要求为止。

3 计算实例

已知: 轴向力设计值 $N = 240 \times 10^4 \text{ N}$, 弯矩 $M = 24 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$, $b \times h = 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$, $a = a' = 35 \text{ mm}$, 混凝土强度等级为 C20, 钢筋 II 级, 构件计算长度 $l_0 = 5 \text{ m}$. 求对称配筋时 $A_s = A'_s$ 的数值。

$$\frac{l_0}{h} = \frac{5000 \text{ mm}}{700 \text{ mm}} = 7.14 < 8$$

取 $\eta = 1$, 则

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{24 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}}{240 \times 10^4 \text{ N}} = 0.1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

$$e_a = 0.12(0.3h_0 - e_0) = 11.94 \text{ mm}$$

$$e_i = e_0 + e_a = 111.94 \text{ mm}$$

$$\eta e_i = 111.94 \text{ mm}$$

$$0.3h_0 = 0.3 \times 665 \text{ mm} = 199.5 \text{ mm}$$

故 $\eta e_i < 0.3h_0$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a = 426.94 \text{ mm}$$

$$x = \frac{N}{f_{cm}b} = 545.45 \text{ mm}$$

$$x_b = 0.544 \times 665 \text{ mm} = 361.76 \text{ mm}$$

可见

$$x > x_b$$

计算结果如下:

$$x_1 = 453.6073 \text{ mm}, A'_{s1} = 768.4186 \text{ mm}^2$$

$$x_2 = 501.1323 \text{ mm}, A'_{s2} = 567.5208 \text{ mm}^2$$

$$x_3 = 510.5161 \text{ mm}, A'_{s3} = 533.8690 \text{ mm}^2$$

$$x_4 = 512.2129 \text{ mm}, A'_{s4} = 527.9958 \text{ mm}^2$$

$$x_5 = 512.5130 \text{ mm}, A'_{s5} = 526.9638 \text{ mm}^2$$

$$x_6 = 512.5659 \text{ mm}, A'_{s6} = 526.7823 \text{ mm}^2$$

$$x_7 = 512.5751 \text{ mm}, A'_{s7} = 526.7504 \text{ mm}^2$$

若将上述计算过程中的 ② 改为 $x_{k+1} =$

$$\frac{1}{1 - 0.0000635} (\varphi(x_k) - 0.0000635 x_k), \text{ 将加快收敛速度.}$$

其中 $L = -0.0000635$, 计算如下:

$$A'_s = \frac{Ne - f_{cm}bx(h_0 - \frac{x}{2})}{f'_y(h_0 - a)} = 1237.8 \text{ mm}^2$$

$$\varphi'(x) \Big|_{x=545.45} = \frac{f_{cm}bh_0 - f_{cm}bx}{f_{cm}be + \frac{1}{0.8 - \zeta_b} \cdot \frac{eA_s}{h_0}} \Big|_{x=545.45} \approx 0.0000635$$

用加速迭代法的计算结果如下:

$$x_1 = 506.8561 \text{ mm}, A'_{s1} = 426.0188 \text{ mm}^2$$

$$x_2 = 508.6656 \text{ mm}, A'_{s2} = 546.7582 \text{ mm}^2$$

$$x_3 = 508.5673 \text{ mm}, A'_{s3} = 540.3479 \text{ mm}^2$$

$$x_4 = 508.5726 \text{ mm}, A'_{s4} = 540.6943 \text{ mm}^2$$

参考文献:

[1] 天津大学, 同济大学, 东南大学. 混凝土结构(上册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.

(收稿日期: 2001-04-19 编辑: 张志琴)

(上接第 8 页)

表 3 栽插密度试验成果

栽插密度 /(万穴·hm ⁻²)	株距 /cm	行距 /cm	基本苗 /(万穴·hm ⁻²)	平均穗 长/cm	有效穗数 /(万穴·hm ⁻²)	穗粒数 /粒	实粒数 /粒	结实率 /%	千粒重 /g	理论产量 /(kg·hm ⁻²)	实收产量 /(kg·hm ⁻²)
45.0	8.3	26.6	81.0	16.4	255.5	136.8	129.0	94.2	30.42	10026.3	10033.5
37.5	10.0	26.6	82.5	15.9	246.3	138.3	133.1	96.3	30.53	10008.5	10380.0
32.1	11.7	26.6	86.7	16.2	222.0	155.5	149.0	95.8	30.43	10065.6	10134.0
25.1	15.0	26.6	75.3	16.4	207.0	160.9	152.3	94.6	30.33	9561.8	9660.0

参考文献:

[1] 吴玉柏, 王学秀. 水稻动态灌溉技术在皂河灌区的推广[J]. 水利水电科技进展, 1998, 18(1): 55~58.

[2] 彭世彰, 边立明, 朱成立. 作物水分生产函数的研究与发展[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(1): 17~20.

(收稿日期: 2001-05-11 编辑: 熊水斌)