

# 不同移栽期和灌水量对晚熟水稻 生长发育及产量的影响

肖艳云<sup>1</sup>, 田立双<sup>2</sup>, 谢立勇<sup>1</sup>, 杨恒山<sup>2</sup>, 曹敏建<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028043)

**摘要:**为缓解水资源短缺,增强水稻种植对气候变化的适应性,2008~2009年以晚熟水稻品种辽星1号为试材,在沈阳农业大学试验基地进行了避开春季用水高峰延迟移栽和减少生育期间灌水量,提高水分生产效率的试验,研究了5月5日、5月20日、6月5日三个移栽期和全生育期旱管理(干旱灌溉)、全生育期15~30 mm水层(“浅、薄、湿、晒”灌溉)、全生育期湿润+浅水+干湿交替管理(间控灌溉)和全生育期1~3 cm水层(常规灌溉)几种灌溉处理条件下晚熟水稻品种辽星1号生长发育及产量的变化。结果表明:6月5日移栽,常规灌溉条件下,干物质量、穗长、千粒重及籽粒灌浆速率最大,5月5日与5月20日移栽,均为间控灌溉条件下最大;各移栽期不同灌溉水平的分蘖数均呈单峰曲线变化;6月5日移栽的间控灌溉的灌水量比5月5日与5月20日移栽分别节水658.64、522.86 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,节水效率为6.52%、5.25%,但产量降低,单产为9 297.15 kg/hm<sup>2</sup>,比5月5日与5月20日移栽减产幅度分别为6.54%、12.70%。

**关键词:**晚熟稻;移栽期;灌水量;生长发育;产量

**中图分类号:** S511.3\*3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0022-07

水稻是我国主要粮食作物之一,种植面积3 067万hm<sup>2</sup>,占全国粮食播种面积的28%。但水稻也是耗水、耗肥最多的农作物之一,水稻用水量占全国总用水量的54%左右,占农业总用水量65%以上<sup>[1,2]</sup>;目前,各地根据不同的自然条件,在大量试验研究的基础上,提出了水稻控制灌溉、水稻“薄、浅、湿、晒”灌溉及水稻非充分灌溉等节水灌溉技术<sup>[3]</sup>。这些节水灌溉技术的节水增产效果及对水稻生长发育规律和生理生态特性的影响,对某一特定地区、特定品种,土壤水分何时进行调控、何种调控水平对水稻生长发育更为有利等这些都是水稻节水灌溉研究与应用中需要解决的问题。但在现有气候条件下,针对不同移栽期与水分调控相结合对水稻生产的影响研究少见报道。

因此,研究现有气候条件下,不同移栽期与水分调控对水稻生长发育及产量的影响,不仅可以提高水分利用效率,减少水稻生育期内的用水量,同时还能保证产量的相对平稳、保持稻田的生态系统良性循环,为水稻抗旱节水提供了参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试品种

试验选用晚熟品种辽星1号。辽星1号是辽宁

省稻作研究所选育的优质、高产、抗病水稻新品种。2005年通过辽宁省农作物品种审定委员会审定,2007年被农业部认定为超级稻新品种。

### 1.2 试验设计

试验于2008~2009年在沈阳农业大学试验基地进行,试验设3个移栽期,分别为5月5日、5月20日、6月5日,用(1)、(2)、(3)表示,各个移栽期的育秧时间分别是4月8日、4月21日、5月1日,采用地膜育秧,移栽时叶龄为4~5叶,移栽规格为16.7 cm×33.3 cm,每穴单株。每个移栽期设5个灌溉水平,分别为干旱灌溉、“浅、薄、湿、晒”、间控灌溉Ⅰ、间控灌溉Ⅱ、常规灌溉,分别用A、B、C、D、E表示,每个灌溉处理采用进水口安装水流量仪测定灌水量并记录,灌水量多少依各处理灌溉标准完成,灌溉期若有降雨则停止灌溉。各水分处理间筑埂(宽50 cm),并用塑料薄膜包埂,防止漏水。试验采用完全随机设计,3次重复,共45个处理。每个小区面积为12 m<sup>2</sup>,区间宽0.5 m。施尿素底肥225 kg/hm<sup>2</sup>、粪肥150 kg/hm<sup>2</sup>、孕穗肥75 kg/hm<sup>2</sup>、穗肥60 kg/hm<sup>2</sup>,磷钾肥施磷酸二铵150 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾112.5 kg/hm<sup>2</sup>,作底肥一次施入。其他栽培管理措施如除草、防治病虫害等,与当地一般生产田相同。

收稿日期:2010-04-11

基金项目:国家科技支撑计划“十一五”重大项目(2007BAC03A06)

作者简介:肖艳云(1980—),女,内蒙古赤峰市人,在读博士生,主要研究气候变化与水稻生产。E-mail: ynynxiao@126.com。

通讯作者:曹敏建(1954—),男,教授,博士生导师。

(1) 干旱灌溉(A)标准:移栽前浇透底墒水,移栽后5~7 d浇水以确保秧苗返青成活。以后全生育期旱管理,仅在分蘖盛期、孕穗期、开花期和灌浆盛期各灌一次透水,以不积水为准,其余时间靠降雨灌水。

(2) “浅、薄、湿、晒”灌溉(B)标准:一般为15~30 mm,湿润标准为土壤水分保持在土壤饱和含水量或饱和含水量的80%~90%,分蘖后期晒田可抑制无效分蘖,提高茎秆抗倒伏能力,是一项有利于节水、高产的重要措施。

(3) 间控灌溉Ⅰ(C)标准:即湿润灌溉(移栽至孕穗前)+浅水灌溉(孕穗期)+干湿交替灌溉(抽穗至成熟期),浅水(1 cm左右)栽秧,移栽后5~7 d田间保持2 cm水层以确保秧苗返青成活。以后至孕穗前田面不保持水层,土壤含水量为饱和含水量的70%~80%(用烘干法测定),无效分蘖期“够苗”晒田;孕穗至成熟期土表保持1~3 cm水层;抽穗至成熟期采用灌透水、自然落干的干湿交替灌溉。

(4) 间控灌溉Ⅱ(D)标准:即湿润灌溉(移栽至孕穗前)+浅水灌溉(孕穗期),浅水(1 cm左右)栽秧,移栽后5~7 d田间保持2 cm水层以确保秧苗返青成活。以后至孕穗前田面不保持水层,土壤含水量为饱和含水量的70%~80%(用烘干法测定),无效分蘖期“够苗”晒田;孕穗至成熟期土表保持1~3 cm水层。

(5) 常规灌溉(E)标准:水稻移栽后田面一直保持1~3 cm水层,收获前1周自然落干。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 灌溉水量 用水表准确记载每次灌溉用水量。

1.3.2 分蘖消长动态 定点定期测定分蘖动态直至成熟:每小区两点,每点10穴,每5 d查一次分蘖数量。

1.3.3 干物重测定 每个处理定点的10穴在进入分蘖期、拔节-孕穗期、抽穗扬花期、灌浆期、成熟期后的第10天分别取样,各处理选长势一致,具代表性的植株6穴,将叶、茎、鞘、穗分开,置于烘箱中经105℃杀青0.5 h后,再80℃烘干至恒重称重。

1.3.4 株高与穗长 每个处理选取10穴,在分蘖开始时每10 d观测一次株高,抽穗前为土面至最高叶尖的高度,抽穗后为土面至穗顶(不计芒)的高度;于成熟后测定每个处理的穗长。

1.3.5 叶长、叶宽及叶面积 每个处理定点的10穴植株在进入齐穗期测量叶片的长、宽,叶面积  $S =$

$K \times L \times D$  ( $K$ :叶面积换算系数(0.75); $L$ :叶片长; $D$ :叶片宽)。

1.3.6 灌浆速率的测定 于80%抽穗期每小区分别选取生长基本一致的穗子若干挂牌标记,每个处理随机选取标记穗5个,每隔5 d取样一次,直到成熟。摘下所有籽粒并剔除病粒、空粒,调查一级枝梗数和二级枝梗数,再将一级枝梗粒和二级枝梗粒取下,一级枝梗粒取直接着生于穗顶部(除去二级枝梗粒)的颖果,二级枝梗粒取着生于穗中部的颖果,每份各取50粒,手工剥除颖壳,置于烘箱中105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重,分别称重。

1.3.7 产量的测定 每个小区成熟后去掉边行和区头其余全部收获,面积为9 m<sup>2</sup>,风干后脱粒称重、计算产量。

### 1.4 数据处理方法

用Excel进行原始数据的处理和制图,应用DPS v.7.05数据处理软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同移栽期与灌水量对水稻群体生长的影响

2.1.1 茎蘖变化 由图1可见,3个移栽期分蘖数随生育进程的增加呈单峰曲线变化,于分蘖后30 d达到峰值,各移栽期随灌水量的增加分蘖数逐渐增加。5月5日移栽A、B、C处理分蘖数明显低于5月20日与6月5日移栽。随灌水量增加,5月5日移栽D、E处理分蘖数增加。5月20日移栽E处理分蘖数峰值比5月5日与6月5日移栽分别增加了2.33%、1.15%,5月20日与6月5日移栽D、E处理分蘖后30 d差异不明显,但5月20日移栽分蘖后40 d两处理差异明显。

2.1.2 干物质积累变化 由表1可见,各移栽期随生育进程干物质质量增加,5月5日与5月20日移栽抽穗期至成熟期D处理高于E处理,干旱灌溉低于常规灌溉。3个移栽期相比,5月5日移栽成熟期干物质质量A处理比5月20日与6月5日移栽A处理分别降低了3.73%、1.72%,且5月5日移栽各生育时期A、B处理均与D、E处理达显著水平( $P < 0.05$ )。5月20日移栽各生育时期干物质质量最大,6月5日移栽D处理成熟期干物重比5月20日移栽下降了5.87%,比5月5日移栽减少了4.43%。由表中还可以看出,各移栽期各处理由拔节-孕穗期至抽穗-开花期干物质增幅最大,说明水稻由营养生长转入生殖生长是水分管理的关键时期。

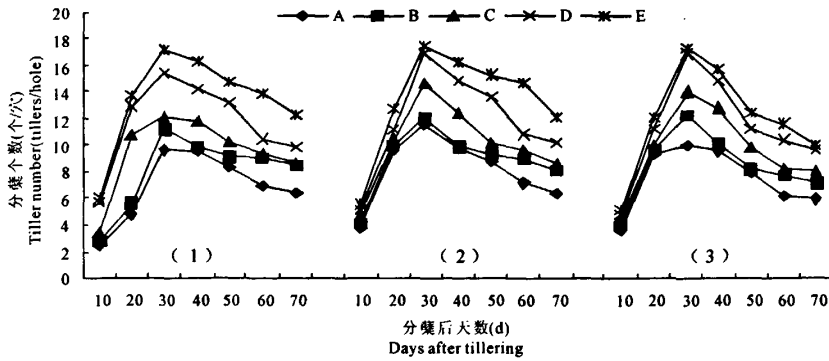


图 1 不同移栽期与灌水量对分蘖的影响

Fig.1 Effects of different transplanting time and irrigation amount on tillering of rice

A:干旱灌溉:Drought irrigation; B:“浅、薄、湿、晒”灌溉:Shallow, thin, wet and dry for irrigation; C:间控灌溉 I :Intermittent irrigation I ;D:间控灌溉 II :Intermittent irrigation II ;E:常规灌溉:Normal irrigation;(1):5月5日移栽:Transplanted on May 5th;(2):5月20日移栽:Transplanted on May 20th;(3):6月5日移栽:Transplanted on June 5th;下同,They are the same in the follows.

表 1 不同移栽期与灌水量对干物质量的影响

Table 1 Effects of different transplanting time and irrigation amount on dry weight of rice

移栽期 Transplanting stage	处理 Treatments	生育时期 Growth periods				
		分蘖期 Tillering stage	拔节-孕穗期 Jointing-booting stage	抽穗-扬花期 Heading-blooming stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
(1)	A	1.28d	17.87c	42.08d	58.46c	64.18d
	B	2.48c	20.74c	45.14cd	62.48c	68.74c
	C	3.06bc	28.51b	47.04bc	67.04b	69.81bc
	D	3.35ab	34.66a	61.43a	75.08a	76.70a
	E	3.93a	38.30a	64.49a	72.02ab	73.82b
(2)	A	2.64d	24.43c	54.81d	61.16d	66.67d
	B	4.15c	29.34bc	58.86c	63.63cd	69.50cd
	C	4.80b	31.67b	61.49b	68.22bc	71.65bc
	D	5.26ab	35.49ab	66.51a	75.30a	77.88a
	E	5.86a	40.70a	61.92a	74.94a	76.27a
(3)	A	4.27c	21.50d	48.07d	57.64c	65.04d
	B	4.93b	29.41c	54.40c	61.21c	68.32c
	C	5.37ab	30.72bc	56.22bc	66.71b	70.73bc
	D	5.52ab	33.47b	58.55ab	70.96ab	73.31ab
	E	5.78a	39.34a	58.81ab	71.71a	73.64b

注:标以不同小写字母的值在 0.05 水平上差异显著,下同。

Note: Numbers marked with different small letters mean significance at level of 0.05. They are the same in the follows.

2.2 不同移栽期与灌水量对水稻植株性状的的影响

2.2.1 株高的变化 由图 2 可以看出,各移栽期各处理株高随生育进程推进增加,干旱灌溉株高低于常规灌溉。3 个移栽期相比,5 月 5 日移栽 A、B、C 处理低于 5 月 20 日与 6 月 5 日移栽,其中 A 处理最大值比 5 月 20 日与 6 月 5 日移栽 A 处理最大值分别降低了 5.9%、3.34%。5 月 20 日移栽各处理株高最大,且 D、E 处理间变化不大。由图中还可以看

出,各移栽期 E 处理间变化不明显,但 5 月 20 日移栽 E 处理最大值比 5 月 5 日与 6 月 5 日移栽分别增加了 0.19%、1.57%。

2.2.2 穗长的变化 由图 3 可见,各移栽期穗长随灌水量的增加而增加,5 月 5 日与 5 月 20 日移栽 D 处理最大。3 个移栽期相比,6 月 5 日移栽 A、B、C 处理相对较小,其中 A 处理与 5 月 5 日、5 月 20 日移栽差异显著,各移栽期 B 处理间差异显著,其中 5 月

20 日移栽比 5 月 5 日与 6 月 5 日移栽分别增加了 1.69%、1.84%，5 月 5 日与 6 月 5 日移栽 D、E 处理间差异不显著，但 5 月 20 日移栽 D、E 处理分别比 5

月 5 日与 6 月 5 日移栽增加了 0.45%、1.92%、0.67%、0.89%。

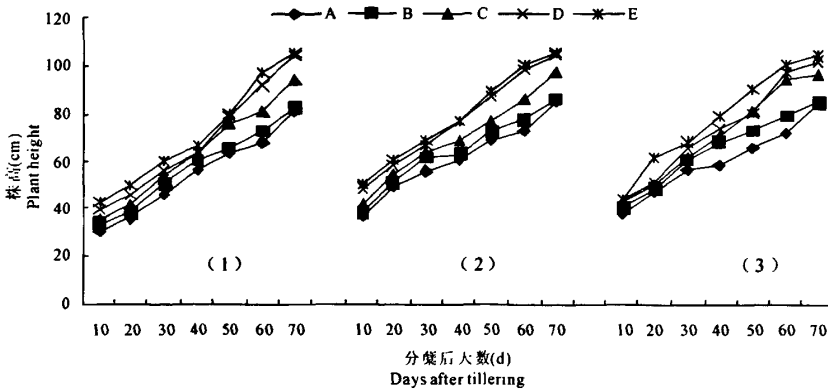


图 2 不同移栽期与灌水量对株高的影响

Fig.2 Effects of different transplanting period and irrigation amount on plant height of rice

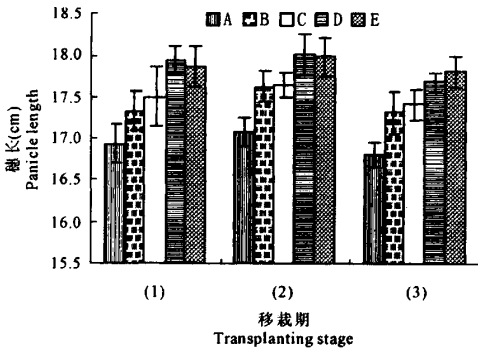


图 3 不同移栽期与灌水量对穗长的影响

Fig.3 Effects of different transplanting time and irrigation amount on ear length of rice

2.2.3 齐穗期叶长、叶宽及叶面积 由表 2 可见，3 个移栽期各处理随灌水量的增加，上 3 叶叶长、叶宽及叶面积均增加，但叶宽变化不明显，说明水分主要影响细胞的伸长，从而影响叶片的长度和叶面积的大小。3 个移栽期相比，5 月 20 日移栽各处理相对较大，6 月 5 日移栽较小，其中 E 处理上 3 叶叶面积比 5 月 5 日与 5 月 20 日移栽分别减小了 10.22%、15.31%、8.93%、12.45%、11.96%、14.49%。各移栽期 D、E 处理间差异不明显。

2.3 不同移栽期与灌水量对水稻干物质运转与籽粒灌浆特性的影响

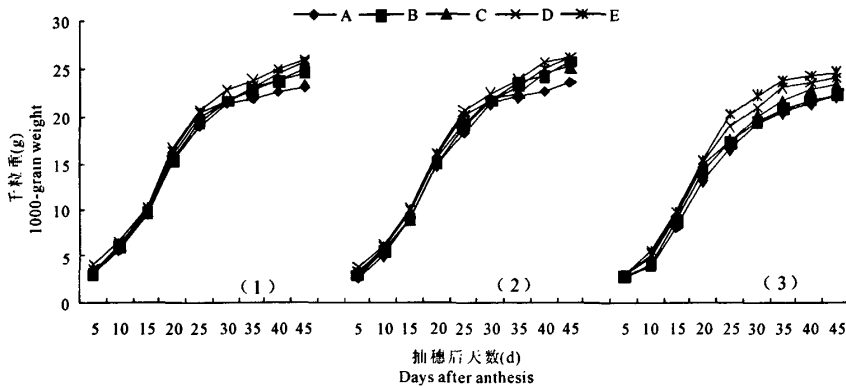
2.3.1 一次及二次枝梗籽粒增重动态变化 由图 4 可见，3 个移栽期一次枝梗籽粒增重呈 Logistic 曲

线变化，于抽穗后 45 d 达到最大值，各移栽期随灌水量的增加籽粒重增加，5 月 5 日与 5 月 20 日移栽 D 处理千粒重最大。随移栽期后延，各处理抽穗后籽粒增重减小，其中 6 月 5 日移栽 D 处理最终籽粒重比 5 月 5 日与 5 月 20 日移栽最终籽粒重分别减少了 7.33%、8.25%，E 处理分别减少了 3.82%、5.43%。由图中还可以看出二次枝梗籽粒增重亦呈 Logistic 曲线变化，各移栽期随灌水量的增加籽粒重增加。3 个移栽期相比，6 月 5 日移栽各处理籽粒增重最小，D、E 处理最终籽粒重比 5 月 5 日 D、E 处理最终籽粒重分别减少了 6.72%、6.24%，比 5 月 20 日移栽分别减少了 8.93%、10.27%。说明晚熟品种辽星 1 号过晚移栽不利于籽粒灌浆，但在节水的前提下，可以适当推迟移栽期。

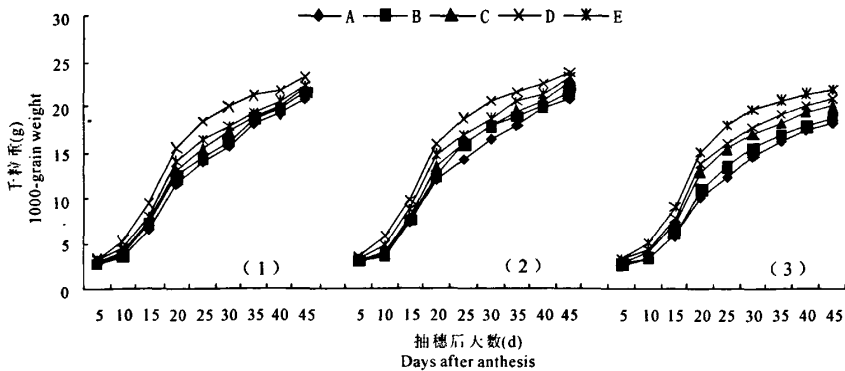
2.3.2 一次及二次枝梗籽粒灌浆速率的变化 由图 5 可见，一次枝梗籽粒及二次枝梗籽粒灌浆速率均呈单峰曲线变化，于抽穗后 15 d 到达最大值，干旱灌溉各处理高于常规灌溉。一次枝梗、二次枝梗籽粒灌浆速率均于 5 月 20 日移栽最小。一次枝梗 5 月 20 日移栽 A 处理峰值比 5 月 5 日与 6 月 5 日移栽 A 处理峰值分别减少了 0.73%、6.05%，二次枝梗 5 月 20 日移栽 A 处理峰值比 5 月 5 日与 6 月 5 日移栽分别减少了 2.79%、3.37%。一次枝梗 3 个移栽期 A 处理峰值分别是 E 处理峰值的 1.07、1.09、1.11 倍，二次枝梗 3 个移栽期 A 处理峰值分别是 E 处理峰值的 1.26、1.42、1.23 倍。

表 2 不同移栽期与灌水量对齐穗期上 3 叶叶长、宽和面积的影响  
Table 2 Effects of different transplanting time and irrigation amount on length, width and area of upper three lobes in full heading stage of rice

移栽期 Transplanting stage	处理 Treatments	剑叶 Flag leaf			倒二叶 Converse second leaf			倒三叶 Converse third leaf		
		长 (cm) Length	宽 (cm) Width	面积 (cm <sup>2</sup> ) Area	长 (cm) Length	宽 (cm) Width	面积 (cm <sup>2</sup> ) Area	长 (cm) Length	宽 (cm) Width	面积 (cm <sup>2</sup> ) Area
(1)	A	22.85	1.75	29.99	29.35	1.32	29.06	31.62	1.28	30.36
	B	23.52	1.72	30.34	31.22	1.33	31.14	32.48	1.25	30.45
	C	25.71	1.81	34.90	33.78	1.45	36.74	34.15	1.33	34.06
	D	27.20	1.80	36.72	34.66	1.51	39.25	34.83	1.34	35.00
	E	29.44	1.83	40.41	35.83	1.50	40.31	36.46	1.40	38.28
(2)	A	22.46	1.72	28.97	29.92	1.44	32.31	32.25	1.26	30.48
	B	24.32	1.81	33.01	31.88	1.42	33.95	32.82	1.30	32.00
	C	26.43	1.80	35.68	34.15	1.51	38.67	34.97	1.32	34.62
	D	27.87	1.92	40.13	35.23	1.50	39.63	35.44	1.41	37.48
	E	29.75	1.92	42.84	36.07	1.55	41.93	36.75	1.43	39.41
(3)	A	21.38	1.68	26.94	28.27	1.38	29.26	30.27	1.15	26.11
	B	22.46	1.65	27.79	29.62	1.36	30.21	31.22	1.16	27.16
	C	24.74	1.72	31.91	31.73	1.39	33.08	33.17	1.20	29.85
	D	26.51	1.76	34.99	33.55	1.40	35.23	34.41	1.22	31.49
	E	27.80	1.74	36.28	34.47	1.42	36.71	35.95	1.25	33.70



a. 一次枝梗籽粒增重动态  
a. Difference of grain weight increasing of primary branches



b. 二次枝梗籽粒增重动态  
b. Difference of grain weight increasing of secondary branches

图 4 不同移栽期与灌水量对籽粒增重的影响

Fig.4 Effects of different transplanting time and irrigation amount on grain gaining of rice

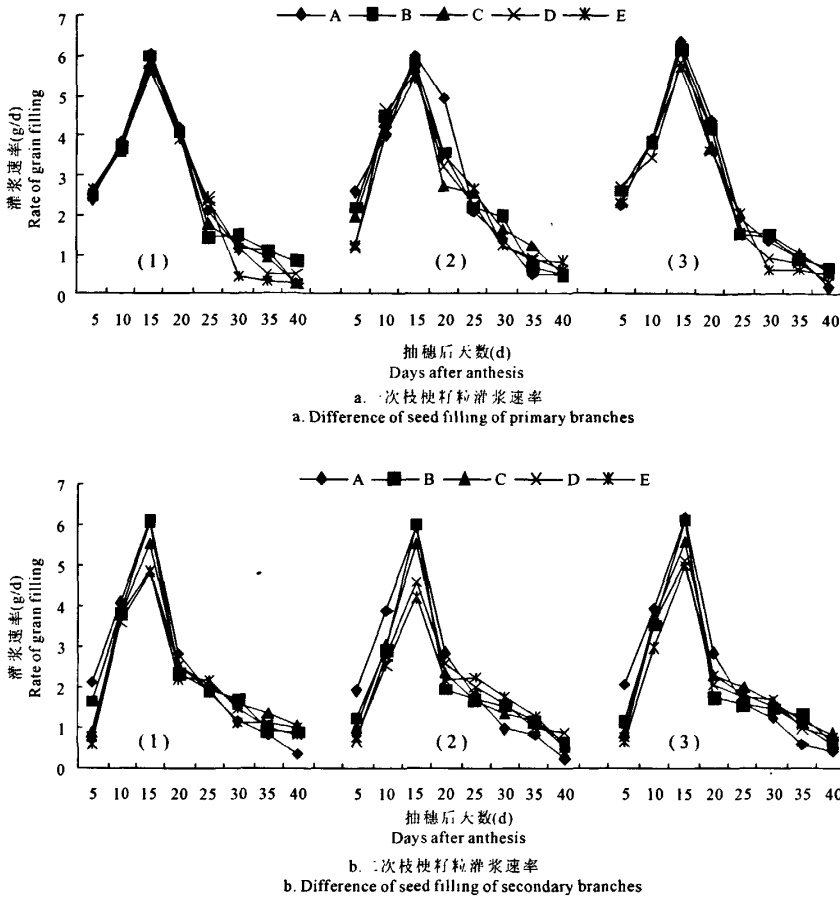


图 5 不同移栽期与灌水量对籽粒灌浆速率的影响

Fig.5 Effects of different transplanting time and irrigation amount on grain filling rate of rice

2.4 不同移栽期与灌水量对水稻实收产量的影响

由图 6 可见,各移栽期产量均随灌水量的增加而增加,5月5日与5月20日移栽 D 处理最大,3个移栽期相比,6月5日移栽产量相对下降,其中 C、D、E 处理产量较低,其中 D 处理比5月5日与5月20日移栽分别减少了 6.54%、12.70%,5月5日移栽 A、B 处理最低,其中 A 处理比5月20日与6月5日移栽分别减少了 7.34%、3.76%。5月20日移栽各处理产量相对最高,其中 D 处理比5月5日与6月5日移栽分别增加了 7.05%、14.55%。由图中还可以看出,6月5日移栽各处理间增幅较小,5月5日移栽各处理间增幅较大。

3 结论与讨论

3.1 不同移栽期及灌水量对群体生长的影响

群体质量是水稻高产栽培的基础,决定着高产的水平。水稻栽培行穴距、光线、土壤水分调控、养

分供应,以及其他环境和栽培条件,都会影响分蘖。分析不同移栽期及灌水量对水稻茎蘖动态的影响可以发现,节水条件下水稻茎蘖动态的变化规律与常规灌溉条件下是一致的,均表现出随生育期延续先迅速增大后逐渐减小,但随灌水量的减少茎蘖数呈下降趋势;随移栽期的后延,各品种分蘖数下降。

在许多作物上开展的研究表明,水分胁迫会限制干物质的生产与累积<sup>[4-8]</sup>,并影响干物质在营养与生殖生长间的分配<sup>[3,9,10]</sup>。本试验研究结果表明,各移栽期干旱灌溉到常规灌溉干物质均呈增加趋势,但随灌水量的减少干物质积累量下降,随着移栽期的推迟,营养生长期缩短,物质积累时间缩短,后期温度低,光积累少,故干物质积累也逐步下降。

旱作水稻灌浆结末期茎鞘储存物质对籽粒的贡献率、以及物质运转率均提高,但由于灌浆速率的降低,特别是齐穗期至成熟期干物质积累量较低,最终粒重和产量低于水作<sup>[11]</sup>。本试验研究结果表明,一

次及二次枝梗籽粒增重动态及籽粒灌浆速率均表现为干旱灌溉籽粒千粒重低于常规灌溉,随移栽期后延,6月5日移栽千粒重及灌浆速率最小。

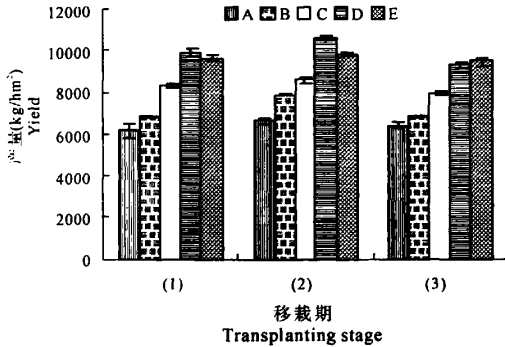


图 6 不同移栽期与灌水量对产量的影响

Fig.6 Effects of different transplanting time and irrigation amount on yield

### 3.2 不同移栽期与灌水量对产量的影响

前人关于水稻旱作后产量的变化有完全不同的报道<sup>[12,13]</sup>,尽管有一些关于旱作水稻增产的例子,但多数研究结果认为旱作会造成不同程度的产量损失。无论水稻的耐旱性如何,就水分供应状况而言,旱作条件总是使水稻作物处于相对的水分胁迫环境之下。与干旱灌溉相比,常规灌溉提高了水稻的产量,可能是常规灌溉协调了“源”的积累与“库”的形成,使产量构成更合理。干旱灌溉下水稻的产量均显著降低,可能是由于水稻长期处于水分亏缺状态,影响了包括蒸腾作用在内的一系列生理过程,造成“源”不足,阻碍了籽粒灌浆结实,导致每穗实粒数、每穗颖花数、结实率和千粒重降低,这与前人的研究结果一致<sup>[14-16]</sup>;辽星 1 号 5 月 20 日移栽各水分处理实收产量最高,6 月 5 日移栽均下降,间控灌溉实收产量比 5 月 20 日移栽常规灌溉实收产量减少了 12.70%,说明晚熟品种在晚移栽的情况下,虽然节约灌水量,但不能达到相对稳产的目的,因此不适宜

移栽 6 月秧。

### 参考文献:

- [1] 程旺大,赵国平,张国平,等.水稻节水栽培的生态和环境效应[J].农业工程学报,2002,18(1):191—194.
- [2] Borrell A, Garaside A, Fukai S. Improving efficiency of wateruse for irrigated rice in a semi-tropical environment[J]. Field Crops Res, 1997,52(3):231—248.
- [3] 彭世彰,俞双恩,张汉松.水稻节水灌溉技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998:18—45.
- [4] 胡继超,曹卫星,姜东,等.小麦水分胁迫影响因子的定量研究: I 干旱和渍水胁迫对光合、蒸腾及干物质分配的影响[J].作物学报,2004,30(4):315—320.
- [5] 胡继超,曹卫星,姜东,等.短期干旱对水稻叶水势、光合作用及干物质分配的影响[J].应用生态学报,2004,15(1):63—67.
- [6] 罗明珠,梁计南.苗期甘蔗对干旱胁迫的反应[J].热带作物学报,2005,26(4):38—41.
- [7] 刘德林,刘贤超.控制性分根交替滴灌对玉米蒸腾日变化和 WUE 的影响[J].节水灌溉,2006,(1):9—12.
- [8] Necdet Dagdelen, Ersel Yilmaz, Fuat Sezgin, et al. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey[J]. Agriculture water management, 2006, 82:63—85.
- [9] 陈国林.水稻节水灌溉的生理生态效应研究[J].江西农业大学学报,1996,18(2):160—166.
- [10] 杨鑫光,傅华,张洪荣,等.水分胁迫对霸王苗叶水势和生物量的影响[J].草业学报,2006,15(2):37—41.
- [11] 王贺正,马均,李旭毅,等.水分胁迫对水稻籽粒灌浆及淀粉合成有关酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,42(5):1550—1558.
- [12] 石英,沈其荣,菲泽圣,等.旱作条件下水稻的生物效应及表层覆盖的影响[J].植物营养与肥料学报,2001,7(3):271—277.
- [13] 杨建昌,朱庆森.亚种间杂交稻光合特性及物质积累与运转的研究[J].作物学报,2002,23(1):82—88.
- [14] 杨建昌,王维,王志琴,等.水稻旱秧大田期需水特性与节水灌溉指标研究[J].中国农业科学,2000,33(2):34—42.
- [15] 徐国伟,王朋,唐成,等.旱种方式对水稻产量与品质的影响[J].作物学报,2006,32(1):112—117.
- [16] 秦江涛,胡锋,李辉信,等.覆草旱作对水稻主要农艺性状的影响及节水效应[J].中国水稻科学,2006,20(2):171—176.

(英文摘要下转第 40 页)

## Responses of soil moisture to climate change and relationship between soil moisture and soybean yield in Heilongjiang

JIANG Li-xia, WANG Ping, LI Shuai, WANG Liang-liang, QU Hui-hui, LU Jia-jia,

GONG Li-juan, WANG Qiu-jing, YAN Ping

(Heilongjiang Provincial Institute of Meteorological Sciences, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

**Abstract:** Based on the 1980 ~ 2007 observation data of ten-day soil moisture, monthly air temperature, and monthly precipitation during crop growth season (from May to September) from 32 agro-meteorological stations in Heilongjiang Province, the spatiotemporal variation of surface soil (0 ~ 30 cm) moisture and its responses to the air temperature and precipitation in the study area were analyzed by using statistical method, and the model for analyzing relationship between soybean yield and soil moisture was built by use of regression methods in the study area. The results showed that in Heilongjiang, the surface soil moisture during crop growth season in 1980 ~ 2007 had a decreasing trend, and tended to be aridified, especially in the west parts. Before the 1990s, the surface soil was relatively humid, but thereafter, the humidity kept decreasing, and partial dryness occurred. In the study period, the mean air temperature during crop growth season had a periodical increase before 1992, with a small fluctuation in a cycle of 6 years, but increased obviously after that. The precipitation during crop growth season had a larger inter-annual variation, with a cycle of 4 ~ 5 years. The surface soil moisture during crop growth season was significantly negatively correlated to air temperature and positively correlated to precipitation. Both air temperature and precipitation were the main climatic factors affecting the variation of surface soil moisture in Heilongjiang. Soybean yield was significantly correlated to the surface soil moisture in the study area, and partial dry or wet soil had a adverse influence on soybean yield.

**Keywords:** soil moisture; air temperature; precipitation; yield

(上接第 28 页)

## Effect of different transplanting time and irrigation amount on growth and yield of late-maturing rice

XIAO Yan-yun<sup>1</sup>, TIAN Li-shuang<sup>2</sup>, XIE Li-yong<sup>1</sup>, YANG Heng-shan<sup>2</sup>, CAO Min-jian<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China;

2. College of Agronomy, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028043, China)

**Abstract:** Climate changes led to gradual reduction of agricultural water and caused lack of water for most of crops, especially for rice production. In order to alleviate the shortage of water resources and enhance the rice planting adaptability to climate changes, experiments were carried out on the test base of Shenyang Agricultural University in 2009 using late-maturing rice variety Liaoxing No. 1 as test material to avoid the spring water peak by delay transplanting and reducing the quantity of irrigation water during rice growth period to improve production efficiency. The test set three transplanting time (May 5, 20 and June 5) and four irrigation treatments (drought irrigation, shallow, thin, wet and dry irrigation, intermittent irrigation and normal irrigation). The growth, development and yield of Liaoxing No. 1 changed under several irrigation conditions. The results showed that the dry weight, ear length, 1000-grain weight and grain filling rate were largest under regular irrigation of transplanting on June 5, and which were maximum when rice transplanted on May 5 and 20. Tiller numbers showed a single peak curve at different transplanting stages. Under intermittent irrigation the irrigation amount of transplanting on June 5 was less than that of transplanting on May 5 and 20, the interval were respectively 658.64 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> and 522.86 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the water saving amount were 6.52% and 5.25%. The yield of transplanting on June 5 under intermittent irrigation was 9 297.15 kg/hm<sup>2</sup>, which decreased by 6.54% and 12.70% compared to that of May 5 and 20.

**Keywords:** late-maturing rice; transplanting time; irrigation amount; growth; yield