

宁夏稻作区水分胁迫对水稻分蘖动态及产量的影响

冯伟东¹ 马建平² 曾宝安¹ 王淑梅³ 王晓萍³ 刘立丰² 冒海军²

(¹宁夏农林科学院农作物研究所, 宁夏 永宁 750105; ²平罗县农技推广服务中心, 宁夏 平罗 753400; ³灵武市农技推广服务中心, 宁夏 灵武 751400)

摘 要:研究了不同灌溉方式对水稻分蘖能力及产量的影响。结果表明,灌溉条件越好,水稻分蘖能力越强,收获穗数越多,产量越高;全生育期间歇灌溉和胁迫灌溉对水稻分蘖能力以及产量均有较大影响。在宁夏水资源紧缺的条件下,应通过调整种植业结构、增加轮作面积、延长轮作周期等措施压减控制水稻种植面积,保证有限的水资源能够充分灌溉一定面积的水稻,并通过完善改进水利设施,达到减少渗漏浪费、提高水资源利用效率的目的。

关键词:水稻;水分胁迫;分蘖动态;产量

中图分类号:S511.07 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2017)03-0048-05

水稻全生育期的需水量由叶面蒸腾量、株间蒸发量和稻田渗漏量 3 部分组成,前两者又合称腾发量,一般占总需水量的 60%~80%^[1]。稻田渗漏可以输氧、排毒,有更新土壤环境的良好作用,但渗漏量过大会增加养分的流失。有资料显示,水稻植株全生育期需水量为 154 m³/667 m², 占总用水量的 11%, 蒸发量为 249 m³/667 m², 占 17%; 而渗漏量则多达 1 044 m³/667 m², 占 72%^[1], 其结论认为水稻大量的灌溉水是消耗在蒸发和渗漏上, 合理运用灌溉技术调节水稻需水量是节水栽培的一项关键技术。近年来,有报道水稻滴灌技术在部分地区示范节水达 50%, 产量达 500 kg/667 m² 以上^[1]。

在水稻节水的问题上, 育种者从提高品种自身抗旱能力的角度进行亲本选择和定向筛选, 研究证明, 品种间抗旱能力存在差异, 但产量与品质兼顾的抗旱新品种还鲜有报道。栽培人员从农艺技术方面提出节水栽培的措施, 正如上述水稻控灌和滴灌, 通过人为强制减少灌溉, 或延长灌水间隔期, 或过早停水, 来达到节水的目的。但在北方稻作区既大幅节水又能增产或不减产的技术措施, 笔者始终持怀疑态度。

宁夏引黄灌区水稻面积近年来稳定在 7.3 万 hm² 左右, 但是受黄河来水量减少的影响和全流域统一调配的限制, 水稻灌溉用水较为紧张, 春夏季节性用水矛盾十分突出, 部分稻田由于强制节水的要求, 灌水间隔期有的长达 10~15 d, 对产量和品质造成十分不利的影响。为确保宁夏银北低洼地区水稻种植, 自治区对水稻做出了“南压北扩”的布局。笔者进行过一些调查走访, 反映小水勤灌的节水增产效果要好于因灌水间隔过长、每次灌水都大水漫灌的效果, 缺水直接导致减产和肥料、除草、用工等成本投入增加。为了深入客观地掌握不同水分胁迫程度对水稻分蘖及产量的影响, 并区

别以往的相关研究多建立在盆栽条件下, 通过测定盆栽小环境的土壤水势等指标进行水分胁迫研究^[2-6], 特在大田实际生产条件下开展本试验。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为小粒型优质晚熟水稻品种宁粳 27 号, 全生育期 150~155 d。

1.2 试验设计

试验设不同灌溉条件和不同插植丛苗数 2 个因素。不同灌溉条件设全生育期正常灌溉(CK)、间歇灌溉、胁迫灌溉 3 个处理。其中正常灌溉处理全生育期灌水 20 次, 灌水量 920 m³, 平均灌水间隔期为 6 d; 间歇灌溉处理全生育期灌水 15 次, 灌水量 780 m³, 灌水间隔期为 7~8 d; 胁迫灌溉处理全生育期灌水 11 次, 灌水量 620 m³, 灌水间隔期 10~11 d。不同插植丛苗数设每丛插 1 苗、2 苗、3 苗、4 苗、5 苗 5 个处理。

采用裂区设计, 不同灌溉条件为主区, 不同插植丛苗数为副区, 重复 3 次, 主区间打埂并做防渗处理, 小区面积 18 m²(6 行×0.3 m×10 m), 插植行株距 30 cm×13.3 cm。4 月 10 日育秧, 5 月 12 日插秧, 9 月 5 日停水。田间管理按照水稻旱育稀植技术标准执行, 每间隔 7 d 调查 1 次分蘖动态。

2 结果与分析

2.1 不同处理群体分蘖动态调查

图 1、图 2、图 3 显示, 水稻分蘖能力随灌水条件变化明显, 正常灌溉处理水稻分蘖能力最强, 间歇灌溉处

收稿日期: 2017-01-18

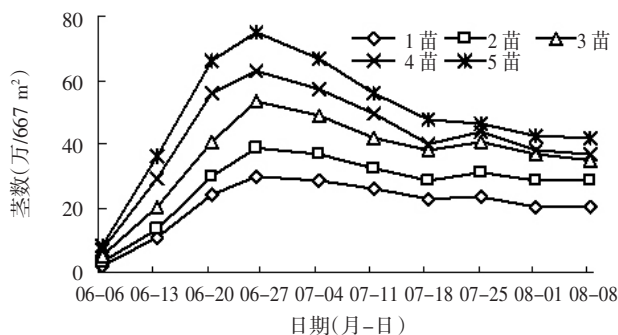


图1 正常灌溉分蘖动态

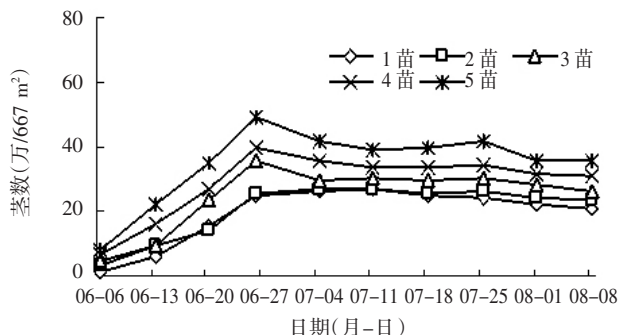


图2 间歇灌溉分蘖动态

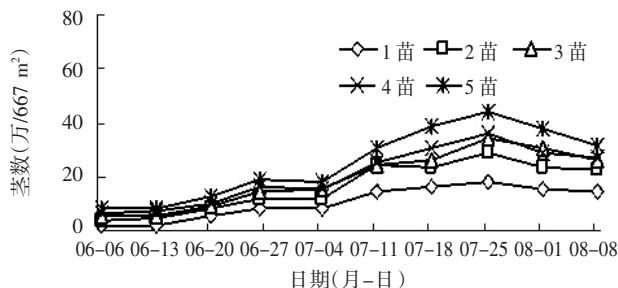


图3 胁迫灌溉分蘖动态

理次之,6月27日正常灌溉和间歇灌溉处理总茎数即达到最大值,胁迫灌溉处理直到7月25日才达到分蘖高峰期。不同灌溉条件下,收获穗数均随丛苗数的增加而增加。

2.2 不同处理单株分蘖动态比较

从图4、图5、图6和表1可以看出,不同灌溉条件下单株分蘖能力随缺水程度的加大而降低,最高总茎数、收获穗数随灌溉条件的不同而有显著变化。正常灌溉处理分蘖能力最强,最高总茎数和收获穗数最高,分别为52.0万/667 m²和33.7万/667 m²,而胁迫灌溉处理仅分别为32.0万/667 m²和24.3万/667 m²,分别较正常灌溉降低38.5%和27.9%。间歇灌溉和胁迫灌溉处理分蘖成穗率均高于正常灌溉,分别高20.4%和16.1%,主要原因可能是缺水导致分蘖减少,最高总茎数降低,群体密度小,有效分蘖终止期推迟所致。不同

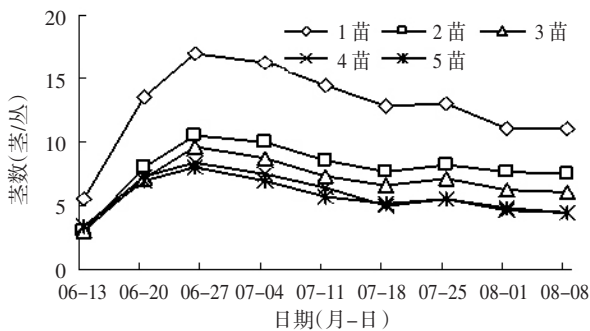


图4 正常灌溉单株分蘖动态

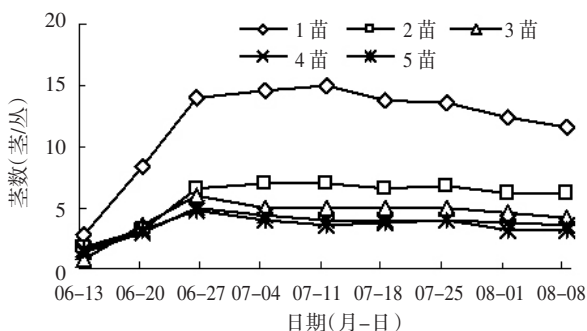


图5 间歇灌溉单株分蘖动态

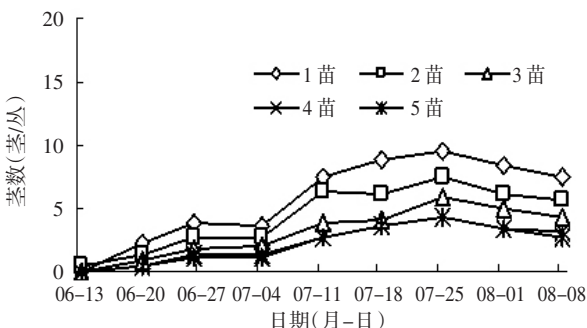


图6 胁迫灌溉单株分蘖动态

灌水条件下最高总茎数和收获穗数随丛苗数的增加而增加。正常灌溉插植1苗的处理最高总茎数和收获穗数分别为30.1万/667 m²和20.0万/667 m²,而插植5苗的处理分别为74.8万/667 m²和48.4万/667 m²。胁迫灌溉插植1苗的处理最高总茎数和收获穗数分别为17.7万/667 m²和14.0万/667 m²,而插植5苗的处理分别为43.8万/667 m²和31.7万/667 m²。邵玺文等^[4]的研究结果也表明,分蘖期水分胁迫抑制了水稻的生长发育,影响了分蘖的发生与生长,最终导致单位面积的有效穗数不足、每穗粒数低而严重影响产量。

2.3 不同灌溉处理的分蘖期比较

对图4、图5、图6分别求其平均新增单株分蘖动态,相当于求一阶导数得到图7、图8、图9,其意义是:横轴上方曲线向上表示加速增加分蘖,向下表示减速增加分蘖;横轴下方曲线向下表示加速死亡无效分蘖,

表 1 不同处理水稻苗茎穗比较

处理	丛苗数 (苗/丛)	基本苗数 (万/667 m ²)	最高总茎数 (万/667 m ²)	收获穗数 (万/667 m ²)	苗:茎:穗	分蘖成穗率 (%)
正常灌溉(CK)	1	1.67	30.1	20.0	1:18.0:12.0	64.5
	2	3.34	38.8	28.4	1:11.6:8.5	70.7
	3	5.01	53.4	35.1	1:10.7:7.0	62.2
	4	6.68	63.1	36.7	1:9.4:5.5	53.2
	5	8.35	74.8	48.4	1:9.0:5.8	60.3
	平均	5.01	52.0	33.7	1:10.4:6.7	62.2
间歇灌水	1	1.67	26.7	21.0	1:16.0:12.6	77.2
	2	3.34	26.7	23.8	1:8.0:7.1	77.6
	3	5.01	35.5	26.3	1:7.1:5.2	69.8
	4	6.68	39.8	31.1	1:6.0:4.7	73.7
	5	8.35	49.1	35.4	1:5.9:4.2	66.4
	平均	5.01	35.6	27.5	1:7.1:5.5	74.9
比正常灌溉增减(%)			-31.5	-18.4		20.4
胁迫灌溉	1	1.67	17.7	14.0	1:10.6:8.4	76.9
	2	3.34	28.4	22.1	1:8.5:6.6	74.9
	3	5.01	34.2	26.3	1:6.8:5.2	72.9
	4	6.68	36.1	27.4	1:5.4:4.1	70.4
	5	8.35	43.8	31.7	1:5.2:3.8	65.9
	平均	5.01	32.0	24.3	1:6.4:4.9	72.2
比正常灌溉增减(%)			-38.5	-27.9		16.1

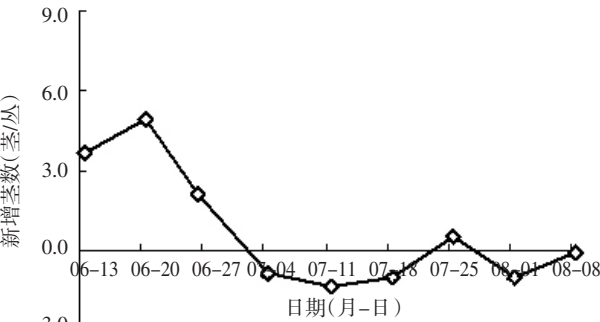


图 7 正常灌溉新增单株分蘖动态

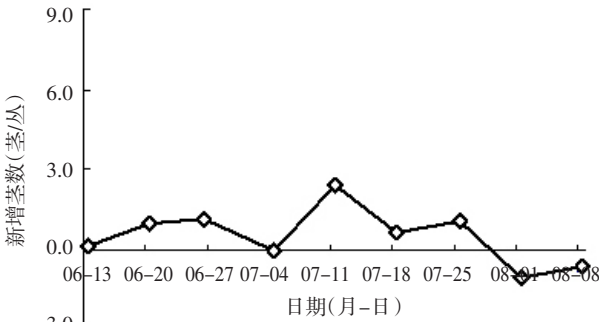


图 9 胁迫灌溉新增单株分蘖动态

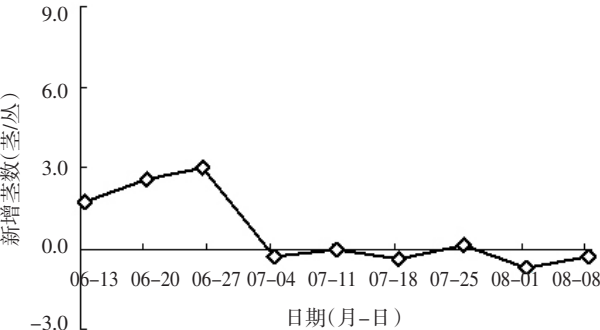


图 8 间歇灌溉新增单株分蘖动态

向上表示减速死亡无效分蘖;第 1 个与横轴相交点为不再发生分蘖的时间,第 2 个与横轴相交点为停止死亡无效分蘖的时间。

为了便于更深入的分析比较,根据上图曲线,将水稻分蘖期由原来的分蘖始期、有效分蘖终止期、分蘖盛期 3 个时期,再增加快速分蘖期和慢速分蘖期 2 个概

念,快速分蘖期即新增分蘖每日较前日持续加速发生的时期;慢速分蘖期即新增分蘖每日较前日减慢发生,以至无效分蘖加速死亡,新增分蘖不再发生的时期。

表 2 显示,随缺水程度的加重,分蘖始期、分蘖盛期、有效分蘖终止期均有所推迟。胁迫灌溉处理分蘖始期、分蘖盛期、有效分蘖终止期分别较正常灌溉推迟 5 d、30 d 和 25 d,快速分蘖期延长 17 d,慢速分蘖期缩短 19 d。由图 7 可以看出,正常灌溉单株分蘖起点早、增速快、总茎数高,无效分蘖也多(6 月 20 日以前曲线向上);之后很快减慢速度(6 月 20 日至 7 月 4 日曲线向下),使大量无效分蘖死亡(7 月 4 日以后的时间曲线在横轴下方),这一过程实际上造成大量养分消耗浪费,使分蘖成穗率降低(表 2)。间歇灌溉的分蘖相对适宜,无效分蘖死亡的幅度较小。胁迫灌溉只是在 8 月 1 日以后有少量无效分蘖死亡。其中 6 月 26 日至 7 月 4 日胁迫灌溉处理持续 9 d 田面干裂,对分蘖速度影响

表 2 不同灌溉处理分蘖期对比

处理	分蘖始期	快速分蘖期	分蘖盛期	减速分蘖期	有效分蘖终止期
正常灌溉(CK)	06-09	06-09-06-20(11)	06-26	06-20-08-08(48)	06-16
间歇灌溉	06-09	06-09-06-27(18)	06-26	06-27-08-08(41)	06-20
较对照增减(±)	0	7	0	-7	5
胁迫灌溉	06-13	06-13-07-11(28)	07-25	07-11-08-10(29)	07-11
较对照增减(±)	5	17	30	-19	25

表 3 不同灌溉条件植株性状及产量构成因素对比

处理	株高 (cm)	穗长 (cm)	有效穗数 (万/667 m ²)	实粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	总颖花数 (万/667 m ²)	理论产量 (kg/667 m ²)	实产 (kg/667 m ²)	减幅 (%)
正常灌溉(CK)	82.4	17.4	34.1	89.2	95.6	21.9	3 112.8	652.2	583.8	
间歇灌溉	74.5	16.3	27.1	89.2	95.8	21.9	2 490.9	523.3	477.4	
较对照增减(±)	-7.9	-1.1	-7.0	0	0.1	0	-621.9	-128.9	-106.4	-18.2
胁迫灌溉	66.3	16.5	25.3	85.1	93.1	22.3	2 296.7	475.8	413.6	
较对照增减(±)	-16.1	-0.9	-8.8	-4.1	-2.5	0.3	-816.1	-176.4	-170.2	-29.1

表 4 正常灌溉条件不同丛苗数水稻植株性状及产量构成因素对比

处理	丛苗数 (苗/丛)	株高 (cm)	穗长 (cm)	收获穗数 (万/667 m ²)	实粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	总颖花数 (万/667 m ²)	理论产量 (kg/667 m ²)	实产 (kg/667 m ²)
正常灌溉(CK)	1	85.7	18.1	27.0	108.8	94.7	21.8	3106.9	641.3	583.3 a
	2	81.2	17.0	29.7	99.5	98.3	21.8	3004.6	644.0	563.7 a
	3	82.3	17.8	35.1	83.2	95.6	22.2	3051.1	647.8	592.6 a
	4	81.4	17.0	36.7	81.0	95.4	22.2	3119.2	660.7	603.8 a
	5	81.5	17.2	41.9	73.7	94.1	21.6	3282.3	667.3	575.7 a
相关系数		-0.689*	-0.567	0.989**	-0.971**	-0.396	0.001	0.699*	0.965**	0.255

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。“*”和“**”表示差异达显著和极显著水平。下同。

表 5 间歇灌溉条件不同丛苗数处理水稻植株性状及产量构成因素对比

处理	丛苗数 (苗/丛)	株高 (cm)	穗长 (cm)	收获穗数 (万/667 m ²)	实粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒重 (g)	总颖花数 (万/667 m ²)	理论产量 (kg/667 m ²)	实产 (kg/667 m ²)
间歇灌溉	1	77.3	16.9	21.0	92.2	97.1	21.6	1 999.0	419.1	434.5 a
	2	76.1	16.9	23.8	98.5	96.4	21.8	2 432.1	511.0	474.6 b
	3	76.5	16.1	26.3	92.2	94.7	21.6	2 561.9	523.8	489.4 b
	4	70.9	15.9	31.1	76.9	96.4	22.4	2 478.7	535.1	491.8 b
	5	73.3	17.0	35.4	76.3	95.1	21.4	2 839.4	578.1	496.6 b
相关系数		-0.785*	-0.244	0.990**	-0.841**	-0.616*	0.0822	0.9006**	0.9254**	0.8823**

表 6 胁迫灌溉条件不同丛苗数处理水稻植株性状及产量构成因素对比

处理	丛苗数 (苗/丛)	株高 (cm)	穗长 (cm)	收获穗数 (万/667 m ²)	实粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	总颖花数 (万/667 m ²)	理论产量 (kg/667 m ²)	实测产量 (kg/667 m ²)
胁迫灌溉	1	66.7	17.4	14.0	89.3	89.0	23.0	1 407.0	288.1	357.4 a
	2	68.8	16.5	22.1	94.1	94.4	21.8	2 206.1	453.9	392.7 b
	3	65.8	17.0	26.3	81.6	93.0	22.6	2 306.7	485.1	422.6 b
	4	64.4	16.0	27.4	79.6	91.7	22.4	2 377.3	488.3	438.2 bc
	5	62.0	16.1	31.7	76.4	91.8	22.4	2 639.9	543.0	457.3 c
相关系数		-0.858**	-0.823**	0.961**	-0.874**	0.232	-0.219	0.897**	0.888**	0.986**

显著,使分蘖速率减慢,从分蘖动态(图 3)、单株分蘖(图 6)及平均新增单株分蘖(图 9)均明显反映。

2.4 不同灌溉处理对水稻植株性状及产量的影响

从表 3~表 6 可见,随缺水程度的加重,水稻株高、穗长、实粒数、收获穗数及产量均有不同程度的降低,其中,间歇灌溉产量较正常灌溉减 18.2%,胁迫灌溉产量较正常灌溉减 29.1%。由此说明,缺水直接导致水稻

植株总体生长量不足,影响分蘖,降低收获穗数,最终造成产量降低。随丛苗数的增加,各灌水条件水稻株高、穗长、实粒数、收获穗数均有不同程度的降低。主要是由于随丛苗数的增加,最高总茎数也增加,植株群体加大,不利于个体生长发育所致。正常灌溉处理,产量与丛苗数关系不明显,间歇灌溉和胁迫灌溉处理产量随丛苗数的增加有增加趋势;从产量构成来看,正常灌

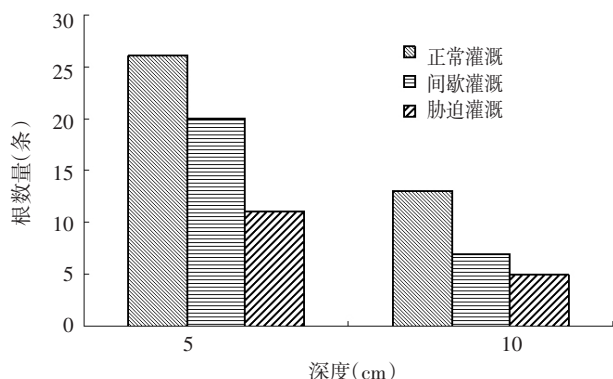


图 10 不同灌溉处理根系分布比较

溉处理随丛苗数的增加,收获穗数的增加效应与每穗粒数的减少效应相抵消,与以往的研究结论一致^[7];间歇灌溉和胁迫灌溉处理收获穗数的增加效应大于每穗粒数的减少效应。由此证明,在缺水条件下适当增加种植密度有利于保证产量。

2.5 不同灌溉处理根系分布

在行间对离植株基部 5 cm 和 10 cm 处的地面竖直切成剖面,调查 20 cm²(横 4 cm×竖 5 cm)面积上的根系分布数量发现(图 10),水稻根系分布密度明显受到灌水的影响,灌水条件好,土壤环境更适宜根系生长,根系密度大,根量多;胁迫灌溉,土壤缺水,土壤紧密度高,硬度变大,容重提高,根系密度小,植株吸收养分必将受到一定程度的影响,这可能也是导致减产的一个因素。朱德峰等^[8]的研究也表明,耕层以下土壤容重提高,根系生长量下降,同时深层根系比例下降。

3 结论与讨论

研究证明,灌水的状况直接影响水稻的分蘖能力,进而影响产量。单株分蘖虽然随丛苗数的增加而降低,但是苗数过低影响到总茎数,从而导致因收获穗数不足影响最终产量。水稻全生育期正常灌溉虽然耗水量较大,但能够保证产量,间歇灌溉和胁迫灌溉耗水量减

少,对产量均影响较大。王成瑗等^[7]开展了水分胁迫对水稻品质的研究,结果表明,分蘖期、孕穗期、灌浆期土壤水分胁迫导致单丛有效穗数降低,每穗粒数减少,生物产量与经济产量降低,功能叶变短,糙米率、米粒长宽比、千粒重、整精米率、食味值下降,垩白粒率和垩白度明显增高,胶稠度、蛋白质含量降低。

笔者认为,在水资源紧张的情况下,要保证水稻产量和品质,应通过调整种植结构、增加水旱轮作面积、延长水旱轮作周期等综合措施控制水稻种植面积。同时,通过农艺和工程措施提高田间保水能力,保证有限的水资源在一定面积上的充分灌溉。宁夏稻作区应从水资源高效利用、避免浪费方面进行考虑,主要解决上下游协调配水、水资源渗漏流失等问题,如灌溉系统的衬砌,有条件的可改渠灌为管灌,缩短行水时间,提高灌水效率,灌溉期间田埂包膜减少渗漏,排毛打坝或修筑节制闸抬高农田地下水位,提高整地质量保证浅水层时田间均匀保水,改良土壤和完善耕作技术以提升田间持水能力等。

参考文献

- [1] 彭世彰,徐俊增. 水稻控制灌溉理论与技术[M]. 南京:河海大学出版社,2011:6.
- [2] 张玉屏,朱德峰,林贤青,等. 不同时期水分胁迫对水稻生产特性和产量形成的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):48-53.
- [3] 杨建昌,王维,王志琴,等. 水稻早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.
- [4] 邵玺文,阮长春,赵兰坡,等. 分蘖期水分胁迫对水稻生长发育及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报,2005,27(1):6-10.
- [5] 陆建飞,丁艳峰,黄丕生. 持续土壤水分胁迫对水稻生育与产量构成的影响[J]. 江苏农业研究,1998,19(2):43-48.
- [6] 王成瑗,王伯伦,张文香,等. 土壤水分胁迫对水稻产量和品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(1):131-137.
- [7] 冯伟东,王兴盛,王晓娟,等. 水稻插秧栽培丛苗数精确定量研究[J]. 中国稻米,2013,19(6):75-76.
- [8] 朱德峰,林贤青,曹卫星. 水稻根系生长及其对土壤紧密度的反应[J]. 应用生态学报,2002,13(1):60-62.

Effects of Water Stress on Tillering Dynamics and Yield of Paddy Rice in Ningxia

FENG Weidong¹, MA Jianping², ZENG Baoan¹, WANG Shumei³, WANG Xiaoping³, LUI Lifeng², MAO Haijun²

(¹ Crop Research Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yongning, Ningxia 750105, China; ² Pingluo County Agricultural Extension and Service Center, Pingluo, Ningxia 753400, China; ³ Lingwu City Agricultural Technology Extension and Service Center, Lingwu, Ningxia 751400, China)

Abstract: A field experiment was carried out to explore the effects of different irrigation method on tillering ability and yield of rice. The results showed that the better irrigation conditions would gain more tillerings and effective panicles and higher yields of rice. During the whole growth period, intermittent irrigation and stress irrigation had great effects on tillering ability and yield of rice. Under the condition of the shortage of water resources in Ningxia, the rice planting area should be controlled to ensure the limited water resources could be fully used by adjusting the planting structure, increasing the rotation area and prolonging the rotation cycle. In addition, improving the water conservancy facilities is also a better way to reduce the leakage and improve the utilization efficiency of water resources.

Key word: rice; water stress; tillering dynamics; yield