

土壤水势下限对寒地水稻产量的影响

吕艳东^{1,2,3}, 郑桂萍³, 郭晓红³, 殷大伟^{1,2},
马殿荣^{1,2}, 徐正进^{1,2}, 陈温福^{1,2}

(1. 沈阳农业大学水稻研究所, 辽宁 沈阳 110161; 2. 辽宁省北方粳稻遗传育种重点实验室, 辽宁 沈阳 110161;
3. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要:以垦鉴稻 5 号(J)和垦稻 12 号(D)为试材,采用负压式土壤湿度计严格监测土壤水势,2007~2008 年在建三江科研所、大兴农场园区和庆安试验站进行大田控水试验;2009 年在黑龙江八一农垦大学盆栽场(大庆市)进行盆栽控水试验;于水稻返青至成熟期进行-20 kPa 和-10 kPa 的间歇控水处理,系统地研究土壤水分对寒地水稻产量的影响。大田试验表明,全生育期以-10 kPa 为控水下限进行节水灌溉多有利于不同生态区水稻产量的提高,大兴、庆安不同品种的增产幅度分别为 1.60%~7.67%、1.51%~6.95%。盆栽结果表明,全生育期进行-8~-10 kPa 的间歇控水,减少了两品种的穴穗数,且 D 品种的穗数降低达到极显著水平;控水处理增加了 J 品种的优、中势粒的粒数,增加了 D 品种的中、劣势粒;控水处理增加了两品种优、中、劣势粒的结实率,其中 J 品种控水处理的中势粒与劣势粒的增幅达到显著水平,D 品种的优、中、劣势粒的结实率分别增加 4.86%、5.42%和 13.30%。控水处理使 J 品种的生物产量增加,却使 D 品种的生物产量显著降低;J 和 D 品种的经济系数分别提高 5.73%和 3.21%;J 品种的经济产量增加了 14.47%,但降低了 D 品种的经济产量。两年不同生态区本田以-10 kPa 为控水下限进行节水灌溉,节水率均达到 20%以上。

关键词:寒地水稻;土壤水分;产量

中图分类号:S152.7⁺5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7601(2011)02-0045-08

在 2030 年,我国人口将达到 16 亿,届时我国将面临严峻的水资源危机和巨大的人口压力。依靠传统技术无法从根本上解决农业用水的供需矛盾和保证粮食安全,因此农业节水应该提高到战略的高度,深入持久,坚持不懈地进行到底^[1]。我国是世界上最大的水稻生产国^[2~4],水稻耗水量是农作物里最大的,其耗水量占全国总用水量 54%,占农业总用水量 65%以上。黑龙江省作为主要优质粳米产区,水稻面积逐年扩大,2010 年全省水稻种植面积已突破 266.7 万 hm²,对水资源的需求增多。黑龙江省水资源不丰富,耕地平均占有量为 8 235 m³/hm²,低于全国平均水平,且时空分布极不均匀。水利用率低,浪费严重,灌溉技术落后,灌区未能合理配套,水在输送过程中损失较多,节水灌溉迫在眉睫。中国水稻所的试验表明,水稻只需 4 500 m³/hm² 就可使产量达 6 000 kg/hm² 以上的水平,所以发展水稻节水栽培的潜力巨大,如果平原稻区的节水与节能同步,可降低水稻生产成本 10%~30%^[5]。以往关于土壤水分对水稻影响的研究以结实期的最多,在水稻

的全程生育期不同阶段、不同程度、以及不同历时的水分胁迫对水稻生长发育的影响也有研究^[6~11]。但在寒地关于土壤水势下限对水稻产量影响的系统研究未见报道。为了既能节水,又使控水指标数量化,还能避免盲目节水而导致的水稻产量下降,研究控水下限与水稻产量的关系十分必要。本研究采用负压式土壤湿度计严格监测土壤水势,以大面积生产上应用的主栽品种为材料,研明土壤水势下限对水稻产量及产量构成因素诸性状指标的调控效应,为寒地节水灌溉增产技术指标的制定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 大田试验材料及设计

供试品种及试验生态区于表 1,采用南京土壤研究所生产的负压式土壤湿度计监测土壤水势,设-10 kPa、-20 kPa 两个处理为控水下限,当土壤水势低于-10 kPa、-20 kPa 时灌水,记录灌水定额,若遇降雨则蓄水不超过 5 cm,多余部分及时排出。具体操作作为稻苗移栽至本田后,5~6 cm 水层深水护

收稿日期:2010-09-12
基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD01A01-6);国家科技支撑计划项目(2007BAD65B03-3);公益性行业(农业)科研专项经费项目(nyhyzx07-001);农业科技成果转化资金项目(2008GB2B200089)
作者简介:吕艳东(1978-),男,黑龙江大庆人,博士研究生,主要从事水稻高产生理研究。E-mail:lyuandong336@sohu.com。
通讯作者:陈温福(1955-),男,辽宁法库人,教授,博士生导师,从事水稻超高产育种及高产栽培生理研究。E-mail:wfchen5512@ya-
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

苗,以不没心叶为准,返青后的各个生育阶段,分别以-10 kPa 和-20 kPa 为控水下限,灌水后田面不再保留水层(除草期和施肥期间除外),到减数分裂期遇低温则灌深水达 17 cm 以上,低温过后撤水进

行湿润灌溉(0 kPa),齐穗后恢复到以-10 kPa 和-20 kPa 为控水下限的灌溉方式,蜡熟末停灌。对照按常规旱育稀植三化栽培的水分管理来进行。各处理 3 次重复,共 9 个小区,每处理单排单灌。

表 1 大田试验不同处理及表示方法

Table 1 Different treatments and their representation methods under field experiment			
年度 Year	试验地点 Location	供试品种 Variety for test	处理水平 Treatment level
2007	建三江科研所 Institute of Jiansanjiang	垦鉴稻 10 号(KJ10) 三江 1 号(SJ1) 龙粳 14 号(LJ14)	处理 1;-10 kPa 间歇灌溉 Treatment 1: (ICWT) at -10 kPa 处理 2;-20 kPa 间歇灌溉 Treatment 2: (ICWT) at -20 kPa CK:常规灌溉 CK:conventional irrigation
	大兴农场园区 Daxing Farm Garden	垦鉴稻 10 号(KJ10) 龙粳 14 号(LJ14)	处理 1;-10 kPa 间歇灌溉 Treatment 1: (ICWT) at -10 kPa 处理 2;-20 kPa 间歇灌溉 Treatment 2: (ICWT) at -20 kPa CK:常规灌溉 CK:conventional irrigation
	庆安试验站 Qing'an Experimental Station	绥粳 3 号(SJ3) 绿洲 2 号(LZ2)	处理 1;-10 kPa 间歇灌溉 Treatment 1: (ICWT) at -10 kPa 处理 2;-20 kPa 间歇灌溉 Treatment 2: (ICWT) at -20 kPa CK:常规灌溉 CK:conventional irrigation
2008	大兴农场园区 Daxing Farm Garden	垦鉴稻 10 号(KJ10) 三江 1 号(SJ1) 龙粳 14 号(LJ14) 空育 131(KY131)	处理 1;-10 kPa 间歇灌溉 Treatment 1: (ICWT) at -10 kPa 处理 2;-20 kPa 间歇灌溉 Treatment 2: (ICWT) at -20 kPa CK:常规灌溉 CK:conventional irrigation

1.2 盆栽试验材料及设计

试验于 2009 年在黑龙江八一农垦大学盆栽场

进行,在防雨棚中人工严格控水,晴天时打开防雨棚。供试土壤为草甸土,土壤的基础条件见表 2。

表 2 试验土壤养分含量状况

Table 2 The condition of soil nutrient content on test				
碱解氮(mg/kg) Available N	有效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	有机质(%) Organic matter	pH
200.00	15.22	170.20	2.51	7.61

供试品种垦鉴稻 5 号(J)和垦稻 12 号(D),主茎均为 12 片叶。试验中两品种处理及表示方法如表 3。4 月 10 日浸种,4 月 19 日播种(水 9 L/m²,可溶性育苗专用肥 60 g/m²,移栽灵 2 mL/m²,三者混匀喷施苗盘),4 月 26 日出苗,秧田管理正常进行,5 月 20 日进行移栽,每盆 3 穴,每穴 3 苗,选叶龄均为 3.1~3.5 的秧苗,均匀分布。盆栽基肥磷酸二铵(美国)1.06 g/盆、尿素(大庆)1.65 g/盆,硫酸钾(50%)2.31 g/盆,5 月 30 日施分蘖肥尿素 0.58 g/盆。7 月 20 日施穗肥尿素 0.13 g/盆,硫酸钾 0.33 g/盆。

采用盆栽人工控制水分方法,盆钵直径为 28 cm,高 30 cm,盆内中央安装直径 6 cm 的供水管,以保证从下部供水,为防止进水速度差异的影响,在供水管的下端十字交叉打三排直径 4 mm 孔,并系上一个装石子的 10 cm×15 cm 尼龙网袋,将其放置于盆底正中央,手持上端使管处于盆的中心位置,每盆装过筛混匀的土 10 kg,移栽前模拟水耙地搅浆,沉降几日 after 插秧。用南京土壤研究所生产的负压式土

壤湿度计监测土壤水势。开始控水时安装负压式土壤湿度计,安装时陶头中部离土表 10 cm,在土表湿度计管的周围用泥将缝隙塞严,以免影响试验效果。处理:插秧后浅水层 3~5 cm,返青后,自然落干至-8~-10 kPa;然后覆水至 3~5 cm,再自然落干至-8~-10 kPa,如此反复直至成熟。全生育期土壤水势最低控制在-10 kPa 以内,生育期间人工除草。对照:三化栽培方式进行。供试盆数为 150 盆。9 月末收获,晾干后考种测产。

表 3 两品种的不同处理及表示方法

Table 3 Treatments and symbols of two varieties used			
处理时期 Period of treatment	水分管理 Water management	处理表示方法 Code	
		垦鉴稻 5 号 Kenjian dao5	垦稻 12 号 Kendao12
整个生育期 Whole growth period	处理 Treatment	JS	DS
整个生育期 Whole growth period	对照 CK	JCK	DKK

1.3 考种测产

每个处理选有代表性的植株 7 穴,测定项目主要有每株穗数、草重,将每穗分成优势粒(上部一次枝梗上的粒)、中势粒(枝梗上除了优势粒和劣势粒的所有粒)和劣势粒(下部二次枝梗上的粒)3 部分,分别计数各部分的、实粒数、空秕粒数,并称取粒重,计算结实率、千粒重。

2 结果与分析

2.1 土壤水分对水稻产量及产量构成因素的影响

产量是基因型与环境条件相互作用的综合表现,与内外因素有关^[12]。产量构成因素是决定产量的直接因素,遗传因素与环境因素的影响,无不通过产量构成因素表现出来。在相同的环境条件下,土壤水分是影响产量的重要因素之一。

2.1.1 土壤水分对大田水稻产量及产量构成因素的影响 2007~2008 年于不同生态区的大田进行了两个水势梯度控水对水稻产量影响的研究。2007 年建三江科研所三个品种的产量均低于对照(如图 1),不同品种降低程度不同,以三江 1 号处理 1 的降幅最大,垦鉴稻 10 和龙粳 14 以处理 2 的降低幅度大于处理 1,但所有处理的降低幅度均未达到显著水平。大兴农场 2007~2008 两年处理 1 均较对照增产(如图 2, 3),产量构成如表 4,增幅为 1.60%~7.67%,处理 2 产量多低于对照,减幅为一 1.13%~一 3.67%,但未达到显著水平。庆安试验站 2007 年两个品种的处理 1 均增产,绿洲 2 号和绥粳 3 号分别增产 1.51%和 6.95%,处理 2 则均减产(如图 4)。两年的研究基本明确了土壤水势下限一 10 kPa 多有利于寒地水稻产量的提高。

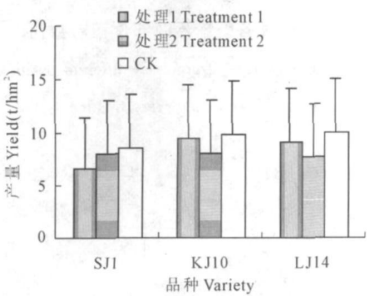


图 1 2007 年建三江科研所控水处理水稻产量变化

Fig.1 The change of rice yield by controlling water in institute of Jiansanjiang in 2007

2.1.2 土壤水分对盆栽水稻产量及产量构成因素的影响 全生育期进行一 8~一 10 kPa 的间歇控水,每穴穗数的结果如图 5。控水处理不同程度地减少

了两品种穗数的收获。与 JCK 的每穴 27.9 个穗数相比,JS 穗数减少了 0.4 个,减少了 1.54%,两者差异不显著;与 DCK 的每穴 31.7 个穗数相比,DS 穗数减少了 6.3 个,减少了 19.8%,两者差异达极显著水平。

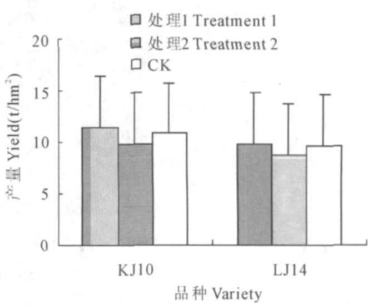


图 2 2007 年大兴农场园区控水处理水稻产量变化

Fig.2 The change of rice yield by controlling water in Daxing farm garden district in 2007

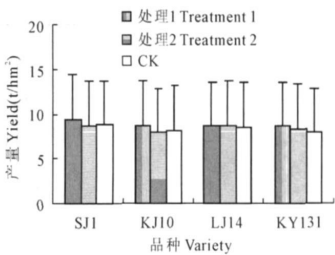


图 3 2008 年大兴农场园区控水处理水稻产量变化

Fig.3 The change of rice yield by controlling water in Daxing farm garden district in 2008

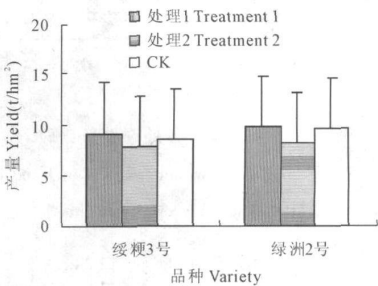


图 4 2007 年庆安试验站控水处理水稻产量变化

Fig.4 The change of rice yield by controlling water in Qing'an experimental station in 2007

全生育期进行一 8~一 10 kPa 的间歇控水对每穗粒数的影响如图 6。控水处理不同程度地增加了两品种的穗粒数。与 JCK 的每穗 65.9 个粒相比,JS 增加了 2.6 个,增加了 3.93%,两者差异不显著;与 DCK 的每穗 61.1 个粒相比,DS 增加了 3.4 个,增加了 5.51%,两者差异不显著。分析两品种不同粒位

穗粒数差异,结果如图 7 和 8,J 品种主要由中位粒 粒数增多。
增加、D 品种主要由中位粒和劣势粒增加导致了穗

表 4 2008 年大兴农场园区控水处理对水稻产量及产量构成因素的影响
Table 4 Effects of controlling water on rice yield and yield components in Daxing fam garden in 2008

处理 Treatment	品种 Variety	穗数/m ² PPSM	粒数/穗 GNPP	结实率 KSR (%)	千粒重 1000GW (g)	理论产量 TY (t/hm ²)	实测产量 AY (t/hm ²)	实测增产率 AYGR (%)
处理 1 Treatment 1	SJ1	490.5	98.8	88.8	27.5	11.83	9.30	5.69
	KJ10	363.1	119.4	92.5	25.0	10.02	8.63	5.68
	LJ14	452.6	91.4	93.8	26.3	10.20	8.50	1.60
	KY131	480.3	83.7	95.3	29.1	11.15	8.51	7.67
处理 2 Treatment 2	SJ1	420.1	82.6	95.3	28.7	9.49	8.70	−1.13
	KJ10	381.5	120.8	90.0	25.4	10.53	7.87	−3.67
	LJ14	452.8	94.0	94.5	25.5	10.25	8.65	3.39
	KY131	492.5	74.5	95.3	27.8	9.72	8.27	4.63
CK	SJ1	508.1	92.1	96.3	27.5	12.39	8.80	—
	KJ10	343.3	120.8	93.6	24.3	9.44	8.17	—
	LJ14	379.2	85.8	89.6	25.4	7.41	8.37	—
	KY131	514.6	76.0	96.0	27.0	10.14	7.90	—

注:PPSM:穗数/m²;GNPP:粒数/穗;KSR:结实率;1000GW:千粒重;理论产量:TY;实测产量:AY;实测增产率:AYGR:PPH:穗数/穴;SG:优势粒;MG:中势粒;IG:劣势粒;HI:经济系数:EY:经济产量。

Note: PPSM: Panicles per square meter; GNPP: Grain number per panicle; KSR: Kernel seting rate; 1000GW: 1000-grain weight; TY: Theoretical; AY: Actual yield; AYGR: Actual yield growth rate; PPH: Panicles per hill; SG: Superior grains; MG: Middle grains; IG: Inferior grains; HI: Harvest index; EY: Economic yield.

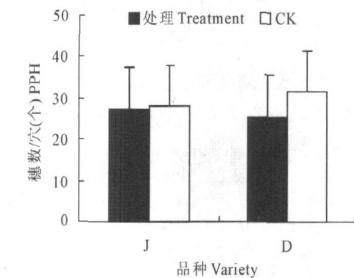


图 5 品种 J 和 D 各处理穗数比较

Fig.5 Comparison of panicle number in J and D varieties under every treatment

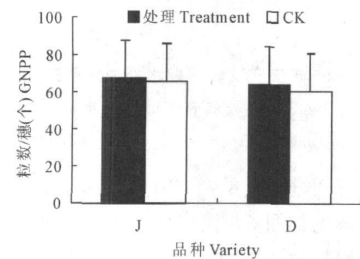


图 6 品种 J 和 D 各处理穗粒数比较

Fig.6 Comparison of panicle number in J and D varieties under every treatment

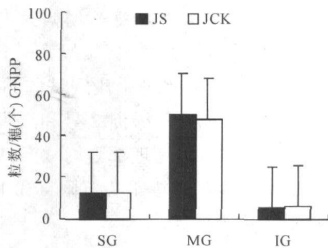


图 7 J 品种各处理不同部位穗粒数比较

Fig.7 Comparison of grains of different positions in J variety under every treatment

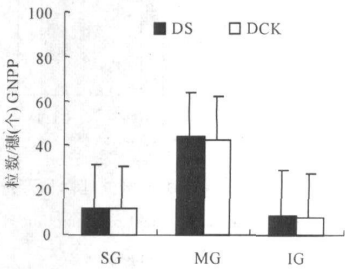


图 8 D 品种各处理不同部位穗粒数比较

Fig.8 Comparison of grains of different positions in D variety under every treatment

全生育期进行-8~-10 kPa 的间歇控水,对两品种不同粒位的结实情况影响规律相同。图 9 是 J 品种不同处理优、中、劣势粒的结实率,可见控水处理不同程度地增加了 J 品种优、中、劣势粒的结实率,与 CK 相比分别增加了 3.53%、12.77% 和 28.97%,其中中势粒和劣势粒与 CK 相比达到差异显著水平;控水处理使 D 品种的优、中、劣势粒的结实率均有不同程度的增加,与 CK 相比分别增加了 4.86%、5.42%和 13.30%,但差异不显著(图 10)。J 品种不同粒位结实率的变化幅度大,D 品种的小,这与品种特性有关。

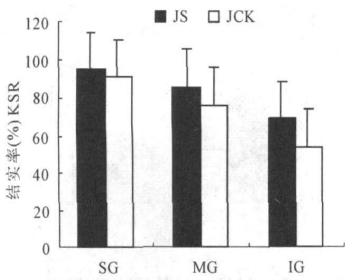


图 9 J 品种各处理不同部位结实率比较
Fig.9 Comparison of kernel setting rate of different positions in J variety under the treatments

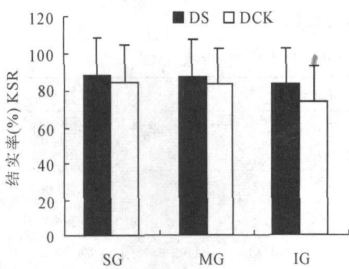


图 10 D 品种各处理不同部位结实率比较
Fig.10 Comparison of kernel setting rate of different positions in D variety under the treatments

J 品种不同处理优、中、劣势粒的千粒重,如图 11,可见控水处理不同程度地增加了 J 品种优、中、劣势粒的千粒重,与 CK 相比分别增加了 0.96%、0.47%和 0.60%,均未达到差异显著水平。D 品种优势粒部分,与 CK 相比减少了 0.38%;中势粒和劣势粒部分,与 CK 相比分别增加了 0.31%和 1.70%,均未达差异显著水平(图 12)。

从物质生产角度分析,产量等于生物产量与经济系数的乘积。全生育期进行-8~-10 kPa 的间歇控水对两品种生物产量的影响如图 13。控水处理增加了 J 品种的生物产量,与 JCK 的 15.7 t/hm² 相比,JS 增加了 1.3 t/hm²,增加了 8.27%;控水处理

降低 D 品种的生物产量,与 DCK 的 16.9 t/hm² 相比,DS 降低了 2.2 t/hm²,与 DCK 相比降低了 12.94%,两者差异显著。

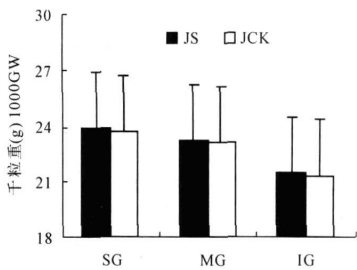


图 11 J 品种各处理不同粒位千粒重
Fig.11 1000-grain weight of different positions in J variety under the treatments

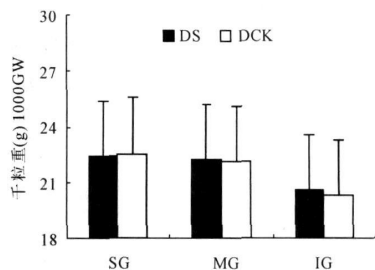


图 12 D 品种各处理不同粒位千粒重
Fig.12 1000-grain weight of different positions in D variety under the treatments

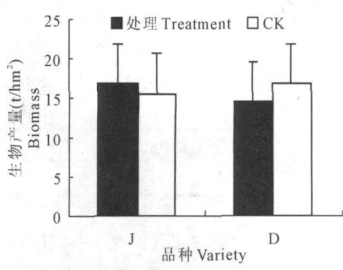


图 13 品种 J 和 D 各处理的生物产量比较
Fig.13 Comparison of biomass in J and D varieties under every treatment

全生育期进行-8~-10 kPa 的间歇控水对两品种经济系数的影响如图 14。控水处理增加了 J 品种的经济系数,与 JCK 的 0.52 相比,JS 增加了 0.03,增加了 5.73%,两者差异不显著;控水处理也增加了 D 品种的经济系数,与 DCK 的 0.52 相比,DS 增加了 0.02,增加了 3.21%。

全生育期进行-8~-10 kPa 的间歇控水对两品种经济产量的影响如图 15。控水处理增加了 J 品种的经济产量,与 JCK 的 8.19 t/hm² 相比,JS 增加了

1.19 t/hm²,与JCK 相比增加了 14.47%;控水处理降低 D 品种的经济产量,与 DCK 的 8.77 t/hm² 相比,DS 降低了 0.89 t/hm²,与 DCK 相比降低了 10.15%。两品种处理与 CK 之间的差异均未达显著水平。

为了考查控水处理使两品种产量发生变化的原因,分别对不同处理的优、中、劣势粒的产量及其对产量的贡献进行了测定,结果如表 5。J 品种 CK 的优、中、劣势粒分别构成产量的 22.14%、72.20%和 5.66%,D 品种 CK 的优、中、劣势粒分别构成产量的 19.06%、71.16%和 9.77%。即 J 品种优势粒对产量的贡献大于 D 品种;J 品种劣势粒对产量的贡献小于 D 品种;两品种中势粒对产量的贡献相差不多,这是由品种特性决定的。控水处理增加了 J 品种优、中、劣势粒的经济产量,与 JCK 相比,JS 分别增加 0.10、0.99 t/hm² 和 0.09 t/hm²。增加幅度分别为 5.68%、16.74%和 19.86%;控水处理降低了 D 品种优势粒和中势粒的经济产量,与 DCK 相比,DS 分别降低 0.23 t/hm² 和 0.75 t/hm²。降低幅度分别为 13.93%和 11.98%,控水处理增加了 D 品种劣势粒的经济产量,与 DCK 相比,DS 增加了 0.09 t/hm²。增加幅度为 10.58%。两品种处理与 CK 之间的差异均未达显著水平。

表 5 品种 J 和 D 不同部位产量百分比(%)									
Table 5 Percentage of yield of different positions in J and D varieties									
处理 Treatment	优势粒 SG			中势粒 MG			劣势粒 IG		
	产量(t/hm ²) Yield	贡献率(%) Contribution rate	±△ (%)	产量(t/hm ²) Yield	贡献率(%) Contribution rate	±△ (%)	产量(t/hm ²) Yield	贡献率(%) Contribution rate	±△ (%)
JS	1.92	20.44	5.68	6.91	73.63	16.74	0.56	5.92	19.86
JCK	1.81	22.14	0.00	5.92	72.20	0.00	0.46	5.66	0.00
DS	1.44	18.26	-13.93	5.49	69.71	-11.98	0.95	12.02	10.58
DCK	1.67	19.06	0.00	6.24	71.16	0.00	0.86	9.77	0.00

综上所述,全生育期进行-8~-10 kPa 的间歇控水引起了两品种的产量变化。从产量构成因素角度分析,J 品种产量增加的原因主要是:尽管控水处理引起 J 品种穴穗数的小幅度降低,但同时使 J 品种的穗粒数增加、结实率提高、千粒重增加,最终使得 J 品种产量增加;D 品种的情况却不同:控水处理使 D 品种的穴穗数极显著降低,尽管控水处理使 D 品种的穗粒数增加、结实率提高、千粒重增加,但都不显著,最终使得 D 品种产量降低。从中我们可以得出如下结论:控水处理能够降低穴穗数、增加穗粒数、提高结实率、增加千粒重,这一点两品种的反应是一致的;不同的是控水处理使 D 品种的穴穗数极显著的降低,以至于不能通过穗粒数增加、结实率提高、千粒重增加来弥补其对产量所造成的损失,致使

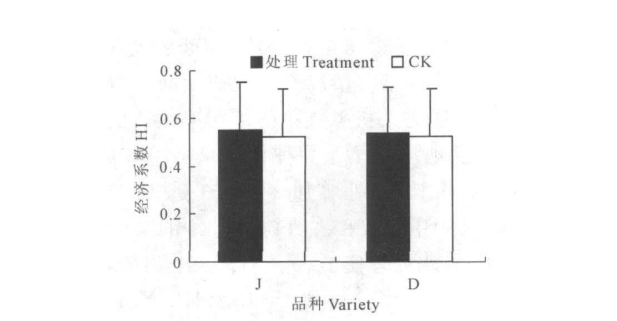


图 14 品种 J 和 D 各处理的经济系数比较
Fig. 14 Comparison of harvest index in J and D varieties under every treatment

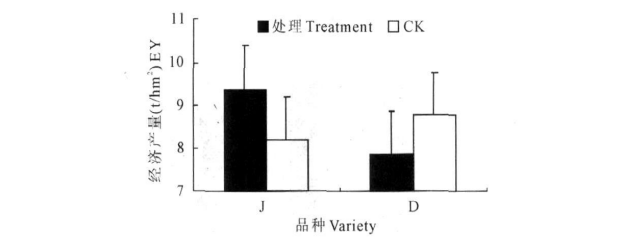


图 15 品种 J 和 D 各处理的经济产量比较
Fig. 15 Comparison of economic yield in J and D varieties under every treatment

控水处理降低了 D 品种的产量,控水处理使 J 品种的穴穗数小幅度降低,但却能够通过穗粒数增加、结实率提高、千粒重增加来弥补其对产量所造成的损失,致使控水处理增加了 J 品种的产量。

从物质生产角度分析,控水处理使 J 品种的生物产量和经济系数提高,最终使得 J 品种产量增加;控水处理提高了 D 品种的经济系数,但却显著地降低了该品种的生物产量,致使 D 品种产量降低。尽管两品种对控水反应的结果不同,但我们可以得到一条启示:就寒地水稻而言,在保证较高生物产量的基础上提高经济系数将成为育种和栽培的主攻方向;节水程度要因品种而异。

2.2 不同控水处理的节水效果

通过计量不同处理的生育期用水量,发现 2007

~2008 两年不同试验区控水处理的节水率均在 20%以上(表 6),这在全球水资源日益紧张的情况下意义极为重大。另外,庆安试验站节水效果更为显著,节水率超过 40%。但常规用水量庆安试验站较大兴农场园区高 3 210 m³/hm²。根据黑龙江省农

田逐年用水量与农田灌溉面积指标分析,黑龙江现实用水量节水空间还较大,1980 年至 2000 年黑龙江水田灌溉用水量由 25 170 m³/hm² 下降至 10 215 m³/hm²。

表 6 2007~2008 各试验区不同控水处理的节水效果
Table 6 Water saving effect of different water controlling treatments in different locations in 2007~2008

处理 Treatment	年份 Year	大兴农场园区 Daxing farm garden		庆安试验站 Qing'an experimental station	
		用水量(m ³ /hm ²) Water consumption	±△%	用水量(m ³ /hm ²) Water consumption	±△%
处理 1 Treatment 1	2007	4020	—22.3	4725	—21.5
	2008	4410	—21.8	5100	—42.4
处理 2 Treatment 2	2007	4020	—22.2	4560	—24.2
	2008	4275	—24.2	3225	—63.6
CK	2007	5175	—	6015	—
	2008	5640	—	8850	—

3 结论与讨论

2007~2008 年本田试验结果表明,全生育期以—10 kPa 为控水下限进行节水灌溉多有利于不同生态区水稻产量的提高,大兴、庆安不同品种的增产幅度分别为 1.60%~7.67%、1.51%~6.95%;全生育期以—20 kPa 为控水下限,则不利于水稻产量的提高。2009 年盆栽结果表明,全生育期进行—8~—10 kPa 的间歇控水,减少了两品种的穴穗数,且 D 品种的穗数降低达到极显著水平;控水处理增加了 J 品种的优、中势粒的粒数,增加了 D 品种的中、劣势粒;控水处理增加了两品种优、中、劣势粒的结实率,其中 J 品种控水处理的中势粒与劣势粒的增幅达到显著水平,D 品种的优、中、劣势粒的结实率分别增加 4.86%、5.42%和 13.30%;两品种各粒位子粒的千粒重除 D 品种的优势粒外均略有增加。控水处理使 J 品种的生物产量增加,却降低了 D 品种的生物产量,其降低幅度达到显著水平;提高了两品种的经济系数 J 和 D 品种分别增加 5.73%和 3.21%;J 品种的经济产量增加达 14.47%,却降低了 D 品种的经济产量。从产量性状看 D 品种较 J 品种对控水更敏感。综合 2007 年和 2008 年两生态区的试验结果,全生育期进行—8~—10 kPa 的间歇控水,节水率均在 20%以上,节水效果明显。

杨建昌等研究表明节水栽培有增产作用,其原因这是由于穗数、穗粒数和粒重均增加的综合效应,节水栽培下穗数比常规栽培有所减少,但显著增加了每穗实粒数,提高了千粒重,进而提高了产量。但李

金才等^[13]研究表明覆膜旱作条件下,每穗粒数、结实率和千粒重均较水作有不同程度降低,可是有效穗数增加,进而产量提高。本研究发现,大田试验不同试验区全生育期进行—8~—10 kPa 的间歇控水后,水稻的产量有增有减,且不同的品种其增减的幅度也不同;盆栽试验全生育期进行—8~—10 kPa 的间歇控水,引起两品种有效穗数降低,一、二次枝梗数增多,穗粒数增多,结实率提高,千粒重增加,最终引起 J 品种产量增加、D 品种产量降低。上述结果表明,品种的抗旱性不同,尤其不同生育阶段敏感性不同,其产量及其构成对水分胁迫的反应存在一定差异,最终导致产量的不同。因此,在水稻节水栽培过程中,应选用抗旱性强品种,因品种采取适宜的栽培技术措施和科学的水分管理,充分发挥品种的节水高产潜力,最终实现高产。

参 考 文 献:

[1] 徐建华.我国农业可持续发展面临的困境与对策[J].生态经济,2001,(1):4—6.
[2] 茹 智.水稻节水灌溉及其对环境的影响[J].中国工程科学,2002,4(7):8—16.
[3] 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.
[4] Borrell A, Garaside A, Fukai S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a emi-tropical environment [J]. Field Crops Res, 1997,52(3):231—248.
[5] 司徒淞,王和洲,张 薇.中国水稻节水若干问题的探讨与建议[J].灌溉排水,2000,19(1):30—33.
[6] 蔡一霞,朱庆森,王志琴,等.结实期土壤水分对稻米品质的影响[J].作物学报,2002,28(5):601—608.

- [7] 赵步洪, 叶玉秀, 陈新红, 等. 结实期水分胁迫对两系杂交稻产量及品质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 3(1): 45—50.
- [8] 杨建昌, 袁莉民, 唐 成, 等. 结实期干湿交替灌溉对稻米品质及籽粒中一些酶活性的影响[J]. 作物学报, 2005, 8(31): 1052—1057.
- [9] 吕艳东, 郑桂萍, 钱永德, 等. 土壤水分对水、陆稻品质的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(1): 22—26.
- [10] 郑桂萍, 李金峰, 钱永德, 等. 土壤水分对水稻产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(8): 1261—1264.
- [11] 王成媛, 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.
- [12] 陈温福, 徐正进. 水稻超高产育种理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] 李金才, 黄义德, 魏凤珍, 等. 旱作对水稻干物质积累、分配及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(1): 56—57.

Effects of lower limit soil water potential on rice yield in cold region

LU Yan-dong^{1,2,3}, ZHENG Gui-ping³, GUO Xiao-hong³, YIN Da-wei^{1,2}, MA Dian-rong^{1,2},
XU Zheng-jin^{1,2}, CHEN Wen-fu^{1,2}

(1. Rice Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China;

2. Key Laboratory of Northern Japonica Rice Breeding of Liaoning, Shenyang, Liaoning 110161, China;

3. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: With the rice varieties of Kenjiandao 5 (J) and Kendao 12 (D) as test materials, soil water potential (SWP) was examined rigorously with negative pressure soil moisture tensiometer. Field water-controlling experiments were carried out in the Institute of Jiansanjiang, Daxing Farm Garden and Qing'an Experimental Station from 2007 to 2008. Pot water-controlling experiments were carried out in potted trial base of Heilongjiang Bayi Agricultural University (Daqing), and intermittent controlling water treatments (ICWT) at -20 kPa and -10 kPa of SWP were carried out from re-green to mature. The effects of soil moisture on yield of rice were studied systematically in cold region. The results are as follows: the ICWT at -10 kPa of SWP was beneficial to improve the rice yield of different regions. The yield increasing ranges of different varieties in Daxing and Qingan were $1.60\% \sim 7.67\%$ and $1.51\% \sim 6.95\%$ respectively. The results of potted experiments showed that panicles per hill of two varieties was decreased under the condition of controlling-water treatment, and D variety reached the extremely significant level; Grain numbers of superior and middle-position of J variety and middle and inferior-position of D variety were increased; Kernel setting rate of two varieties were increased, the increasing ranges of middle and inferior-position of J variety reached the significant level, kernel setting rate of superior, middle and inferior-position of D variety increased 4.86% , 5.42% and 13.30% respectively. Biomass of J variety was increased, biomass of D variety was significantly decreased, and economic indexes of two varieties increased 5.73% and 3.21% respectively; Economic yield of J variety increased 14.47% , economic yield of D variety was decreased. ICWT at -10 kPa of SWP were carried out in different ecological regions, the rates of water saving were all above 20% .

Keywords: rice in cold region; soil moisture; yield