土壤水分对寒地水稻穗部性状和产量的影响

陈书强[1]，李金峰[3]，郑桂萍[3]，薛菁芳[2]，徐正进[1]
(1.沈阳农业大学水稻研究所，辽宁 沈阳 110161；2.沈阳农业大学土地与环境学院，辽宁 沈阳 110161；
2.黑龙江八一农垦大学植物科技学院，黑龙江 大庆 163319)

摘　要：选用上育397和绥粳3号两个水稻品种，于分蘖期、穗分化期、抽穗后1～10天、抽穗后11～20天分别进行土壤水势为－0.030～－0.035 MPa和－0.060～－0.065 MPa的控水试验，研究土壤水分对寒地水稻穗部性状和产量的影响。结果表明：分蘖期控水使穗数显著降低，穗粒数减少；穗分化期控水使穗长明显变短，穗节数和穗颈节枝梗数显著降低，穗粒数、成粒率和千粒重均显著降低；抽穗后1～10天控水使穗粒数减少，千粒重变小。控水处理对每穗的二次枝梗数、二次枝梗上的总粒数、成粒率和千粒重的影响均大于对一次枝梗上这些因素的影响。两品种相同水分胁迫条件下的减产幅度以穗分化期＞分蘖期＞抽穗后1～10天处理＞其它处理。对产量构成因素的影响为穗粒数＞成粒率＞每穴穗数＞千粒重。增加各部位的枝梗数、二次枝梗上的实粒数和成粒率更利于产量的提高。

关键词：土壤水分；水稻；穗部性状；产量
中图分类号：S511.01　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-7601(2007)01-0109-07

在我国水资源日益短缺的形势下，研究节水种稻的意义十分重大，近年来国内外学者在这方面做了大量工作，取得了许多成果[1～4]。由于选取材料和试验条件不同，加之土壤水分控制方法的差异，结论不尽一致[5～8]。有的研究认为水分胁迫处理使单位土地面积上水稻的颖花量大量减少，其次是结实率，对籽粒千粒重的影响不大[9]。有的研究认为水稻受旱后产量损失最严重的时期为开花灌浆期，其次为抽穗期及乳熟期[10]，朱庆森等[11]则发现出穗前各生育期对低土壤水势反应的敏感顺序为：分蘖盛期＞生殖细胞形成期＞枝梗分化期＞分蘖末期＞花粉粒充实期。然而这些研究多数都集中在南方稻区，而北方在水资源相对更为短缺的条件下，又作为重要的水稻生产区，对这方面的研究却颇少。

本试验以黑龙江农垦稻区水稻品种为材料，深入研究了寒地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穗部性状和产量及其构成因子的影响，探讨不同时期水稻生长对水分胁迫的敏感性及土壤水分对水稻穗部不同部位产量及产量构成的影响差异。为水稻生产降低成本，提高经济效益，实现寒地水稻优质、高产、高效节水栽培提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

试验于2002～2003年在黑龙江八一农垦大学科研所采用盆栽进行。在防雨棚中人工严格控水，晴天时打开防雨棚。用中国科学院南京土壤研究所生产的负压式土壤湿度计监测土壤水势。供试品种为上育397(S)和绥粳3号(Y)。盆钵直径为28 cm，高30 cm，供试土壤为草甸白浆土，土壤的基础条件为：速效氮203.43 mg/kg，速效磷76.88 mg/kg，速效钾353.00 mg/kg，有机质81.80 g/kg，pH 7.05，盆栽基肥磷酸二胺、尿素各0.46 g/盆(75 kg/hm^2)，硫酸钾0.28 g/盆(45 kg/hm^2)，供试盆数为180盆。盆内安装直径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四排直径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，向每盆中装10 kg过筛混匀的土(土∶腐熟有机肥＝8∶2)，移栽前模拟水耙地搅浆，沉降后插秧。4月5日浸种，4月12日播种，秧田管理按常规方法进行，5月26日移栽，每盆3穴，每穴1苗，均匀分布。

按下列方式进行控水处理：于分蘖期(返青～7.5叶龄即分蘖末)、穗分化期(7.5叶龄～50%抽

收稿日期：2005-11-07
基金项目：国家自然科学基金(30370866)和教育部博士点基金资助
作者简介：陈书强(1976－)，男，黑龙江阿城人，博士研究生，从事水稻产量生理与遗传基础研究。E-mail：chenshuqiang@163.com
通讯作者：徐正进，沈阳农业大学水稻研究所，教授，博士生导师，E-mail：xuzhengjin@126.com
中国知网 https://www.cnki.net

穗)、抽穗后1～10 d(抽穗期开始持续控水10 d)、11～20 d(抽穗第11天起持续控水10 d)四个时期(表示为1～4),分别进行－0.030～－0.035 MPa(A)、－0.060～－0.065 MPa (B)两个梯度的土壤水势控水处理,上育397和绥粳3号各处理表示为S1A～S4A、S1B～S4B,Y1A～Y4A、Y1B～Y4B,各处理以0 MPa(有5 cm水层)为对照,分别以SCK、YCK表示。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。每天7:30、9:30、11:30、13:30和16:30读表,根据处理要求及时补充水分。除处理以外其它盆栽管理同生产田。9月末收获,晾干后考种测产。

1.2 测定项目与方法

考种测产:每个处理从4盆中选有普遍代表性的植株8穴,考查每穴穗数、穗长、每穗的穗节数(穗轴上着生一次枝梗的节数和退化的一次枝梗节数的总和)、穗颈节枝梗数(穗基节着生的一次枝梗数),再将每穗分成6部分(上部、中部、下部的一次枝梗及上部、中部、下部的二次枝梗),分别详细考查一次枝梗数及二次枝梗数及其粒数、成粒率和千粒重。称取每株地上部分草重为生物学产量,由各产量构成因素计算出不同部位的理论产量。

1.3 数据分析

运用DPS系统进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 穗部性状的变化

2.1.1 穗长、穗节数及穗颈节枝梗数的变化 水稻不同生育时期进行不同程度控水处理,某些处理使两个水稻品种的穗长、穗节数及穗颈节枝梗数发生了相似的显著变化规律(图1)。穗节数、穗颈节枝梗数及穗长均以S2A、S2B和Y2A、Y2B最低,与CK和其它处理的差异均达到了极显著水平,S2A与S2B、Y2A与Y2B、其它多数处理之间差异不显著。上育397穗长、穗节数、穗颈节枝梗数在各处理间的变异系数(*CV*)分别为5.10%、5.85%、22.83%;绥粳3号穗长、穗节数、穗颈节枝梗数的变异系数(*CV*)在各处理间分别为8.58%、9.88%、23.73%。两品种各处理间*CV*均以穗颈节枝梗数>穗节数>穗长,可见不同处理对穗颈节枝梗数影响最大,而对穗节数与穗长影响较小。

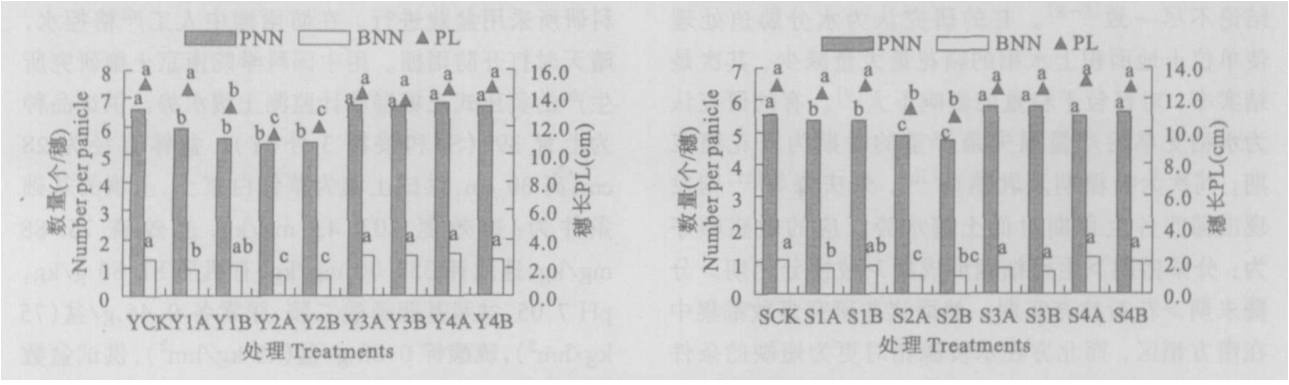

图1 两品种各处理穗节数、穗颈节枝梗数及穗长比较

Fig.1 Comparison of panicle node number and branch on the neck-panicle number and panicle length in two varieties under all treatments

注:S－上育397;Y－绥粳3号。1－分蘖期;2－穗分化期;3－抽穗后1～10天;4－抽穗后11～20 d。A－土壤水势为－0.030～－0.035 MPa;B－土壤水势为－0.060～－0.065 MPa;CK－土壤水势为0 MPa。PNN－穗节数;BNN－穗颈节枝梗数;PL－穗长。不同的小写字母表示在$P\leqslant0.05$水平上差异显著。下同。

Note: S means rice variety Shangyu 397; Y means rice variety Suijing 3; Numbers 1 to 4 indicate water control treatments at tillering stage, panicle initiation stage, 1～10 days after heading, 11～20 days after heading, respectively; A and B represent soil water potentials of －0.030 to －0.035 MPa and －0.060 to －0.065MPa; CK indicates rice grown under submerged condition with soil water potential of 0 MPa. PNN－Panicle node number;BNN－Branches on the neck－panicle number; PL－Panicle length. Values followed by a different lowercase are significant level at $P\leqslant0.05$. The same as below.

2.1.2 每穗枝梗数的变化 上部、中部、下部无论是一次枝梗数,还是二次枝梗数都以处理S2A、S2B、Y2A、Y2B所受影响最大(图2、图3),经*SSR*多重比较均低于CK,达到了极显著水平。其次在不同部位中以处理S1A、S1B、Y1A、Y1B和处理S3A、S3B、Y3A、Y3B所受影响较大,S1A、S1B、Y1A、Y1B在多数部位与CK的差异达到显著水平。而且对二次枝梗数的影响程度都大于一次枝梗。原因是一次枝梗先分化、先发育,输导组织发育优于二次枝梗,故其获得水分、营养等的能力要强,所以它

中国知网 https://www.cnki.net

分化形成受控水影响程度明显低于二次枝梗。土壤水分对上育 397 一、二次枝梗数的影响程度由大→小依次为中部>下部>上部。对绥粳 3 号一次枝梗数的影响上部、中部、下部相同,对二次枝梗数的影响程度依次为中部>上部>下部。

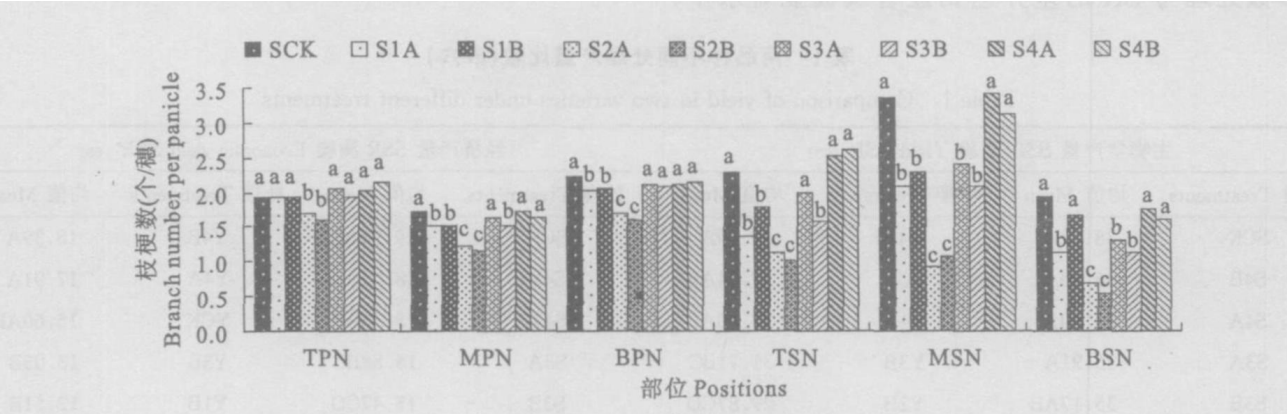

图 2　上育 397 不同部位各处理枝梗数分布比较

Fig.2　Comparison of branch number of different positions in Shangyu 397 variety under every treatment

注:TPN—上部一次枝梗; MPN—中部一次枝梗; BPN—下部一次枝梗; TSN—上部二次枝梗; MSN—中部二次枝梗; BSN—下部二次枝梗。以下字母缩写代表相同意义.

Note: TPN—Top primary branches; MPN—Middle primary branches; BPN—Bottom primary branches; TSN—Top secondary branches; MSN—Middle secondary branches; BSN—Bottom secondary branches; The same as below.

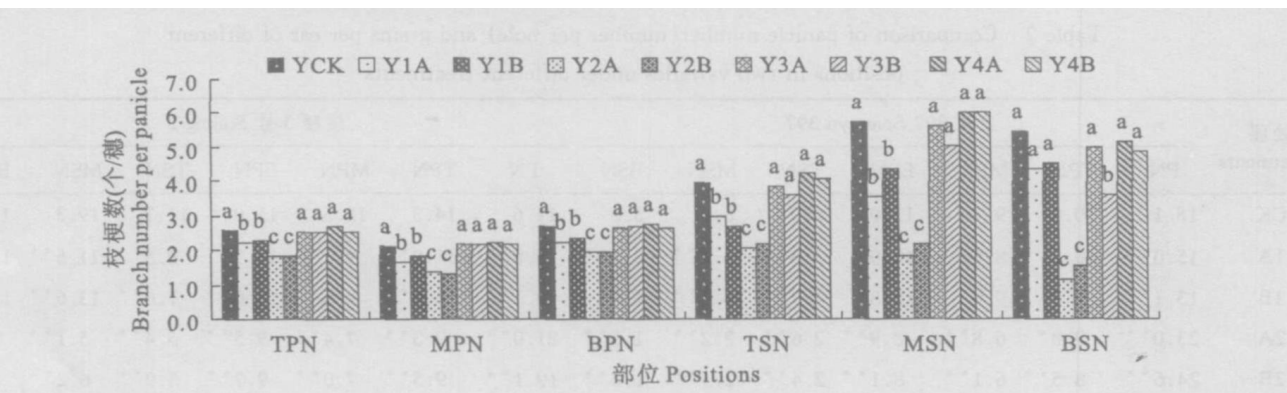

图 3　绥粳 3 号不同部位各处理枝梗数分布比较

Fig.3　Comparison of branch number of different positions in Suijing 3 variety under every treatment

2.2　水稻产量及产量构成因素的变化

2.2.1　水稻产量的变化　不同时期不同强度控水对两个品种产量的影响不同(表 1)。两个品种的生物学产量和经济产量均表现为分蘖期、穗分化期和抽穗后 1～10 天处理低于 CK 和其它处理,生物学产量以分蘖期处理($1A$ 和 $1B$)最低,经济产量以穗分化期处理($2A$ 和 $2B$) 最低,其它 2 个处理与 CK 之间的差异几乎均不显著。上育 397 处理 $S1A$、$S1B$、$S2A$ 和 $S2B$ 的生物学产量和经济产量均极显著低于 CK,处理 $S3A$ 和 $S3B$ 的经济产量也极显著低于 CK。绥粳 3 号处理 $Y1A$～$Y3A$、$Y1B$～$Y3B$ 的生物学产量及 $Y2A$、$Y2B$ 的经济产量与 CK 的差异都达到极显著水平,$Y1A$、$Y3A$ 的经济产量与 CK 的差异也达到了显著水平。

2.2.2　水稻产量构成因素的变化

(1) 每穴穗数的变化

两品种均以处理 $1A$、$1B$ 穗数最少,极显著低于 CK 和其它处理;处理 $2A$、$2B$ 穗数最多,极显著高于 CK 和其它处理;同一时期不同控水强度间无显著差异(表 2)。这是由于处理 $1A$、$1B$ 为分蘖期控水,土壤水势为−0.030～−0.035 MPa 已显著地抑制了水稻分蘖,导致最终穗数减少。处理 $2A$、$2B$ 为分蘖末～抽穗期控水,此期控水分蘖未受影响,但植株明显矮小,复水后又产生了较多分蘖,最终穗数显著增加。其它各时期控水对最终穗数影响不大。

(2) 不同部位穗粒数的变化

两个品种各个部位的一次枝梗粒数均以处理 $1A$、$1B$ 、$2A$、$2B$ 较低,尤其是处理 $2A$、$2B$ 最低,各个部位的二次枝梗粒数处理 $1A$、$1B$ 、$2A$、$2B$、$3A$ 和 $3B$ 较低,仍然以处理 $2A$、$2B$ 最低,但它们之间差异均

中国知网 https://www.cnki.net

不显著。土壤水分对二次枝梗粒数的影响远大于对一次枝梗粒数的影响，不同部位均表现相同规律(表2)。两品种上部、中部、下部的一次、二次枝梗粒数有多数处理与CK的差异达到显著或极显著水平，但同一时期不同控水强度间基本无显著差异。可见，土壤水分对两个品种穗粒数影响最为严重的是穗分化期，其次为分蘖期和抽穗后1～10天的处理。

表1 两品种不同处理产量比较(g/穴)

Table 1 Comparison of yield in two varieties under different treatments

生物学产量 *SSR* 测验 Yield *SSR* test				经济产量 *SSR* 测验 Economic yield *SSR* test			
处理 Treatments	均值 Mean	处理 Treatments	均值 Mean	处理 Treatments	均值 Mean	处理 Treatments	均值 Mean
SCK	38.92A	Y4B	39.89A	SCK	19.91A	Y4B	18.39A
S4B	36.90A	YCK	37.84AB	S4B	18.52AB	Y4A	17.91A
S4A	36.40A	Y4A	37.40AB	S4A	18.33AB	YCK	15.60AB
S3A	35.91A	Y3B	31.71BC	S3A	15.88BC	Y3B	13.03B
S3B	35.17AB	Y2B	29.87CD	S3B	15.47CD	Y1B	12.51B
S2A	30.71BC	Y2A	29.86CD	S1A	13.42CDE	Y3A	11.53BC
S2B	29.55C	Y3A	29.80CD	S1B	12.79DEF	Y1A	11.45BC
S1A	26.11C	Y1B	25.46CD	S2A	10.91EF	Y2A	7.55C
S1B	25.81C	Y1A	24.09D	S2B	10.21F	Y2B	7.47C

注：大写字母表示在 $P\leqslant0.01$ 水平上差异极显著。 Note: Values followed by a different capital letter are significant level at $P\leqslant0.01$.

表2 两品种不同处理穗数(个/穴)和各部位的粒数比较(个/穗)

Table 2 Comparison of panicle number(number per hole) and grains per ear of different positions in two varieties under different treatments

处理 Treatments	上育397 Shangyu 397							绥粳3号 Suijing 3						
	PN	TPN	MPN	BPN	TSN	MSN	BSN	PN	TPN	MPN	BPN	TSN	MSN	BSN
CK	18.1	10.8	9.7	12.0	6.0	8.9	5.6	11.6	14.3	12.5	15.0	11.7	19.3	18.4
1A	15.0**	10.1	8.1*	10.9*	3.3**	5.5**	3.1**	8.8**	11.8**	9.1**	11.7**	8.5**	11.5**	14.1
1B	13.1**	9.8	9.0	10.8*	4.7*	6.6**	4.4	9.1**	12.0**	9.8**	12.0**	7.6**	13.6**	13.8
2A	23.0**	9.3*	6.8**	8.9**	2.6**	2.2**	1.5**	21.0**	9.3**	7.4**	9.5**	5.4**	5.1**	3.0**
2B	24.6**	8.5**	6.1**	8.1**	2.4**	2.5**	1.2**	19.1**	9.5**	7.0**	9.7**	5.9**	6.2**	4.0**
3A	16.4	11.7	9.6	11.3	5.0	6.6**	3.5*	9.5*	13.8	12.0	14.2	11.2	18.4	15.4
3B	17.6	10.9	8.9	11.1	3.8**	5.6**	2.9**	10.1	13.9	12.6	13.8	10.1	15.8*	10.3**
4A	16.4	11.0	9.9	11.4	6.6	8.7	6.0	11.4	14.8	12.5	15.0	12.5	20.0	17.0
4B	17.3	11.9	8.7	11.7	6.8	9.0	4.8	12.9	13.9	12.0	14.9	12.0	19.7	16.0

注：* 达到0.05显著水平，** 达到0.01显著水平，PN—穗数，SN—粒数，下同.

note: * was significant at 0.05 level, ** was significant at 0.01 level, PN-panicle number, SN-grains. The same as below.

(3) 不同部位结实率的变化

在上育397各个部位的一次枝梗和二次枝梗上S2A、S2B的成粒率明显降低，经 *SSR* 多重比较各个部位的成粒率低于CK，均达到极显著水平，其它绝大多数处理间及处理与CK间差异均不显著(表3)。S2A、S2B的成粒率显著降低，是空粒率和瘪粒率共同提高而导致的，说明穗分化期控水会导致空瘪粒率提高。S2A、S2B在一次枝梗和二次枝梗由上部→中部→下部，瘪粒率基本是逐渐增加，尤其在二次枝梗上更明显。控水处理对绥粳3号不同部位成粒率的影响与上育397相类似，以Y2A、Y2B影响最大，一次枝梗的下部和二次枝梗各个部位与CK的差异均达到显著水平。两品种在同一时期不同部位籽粒多数处理以控水强度大的成粒率低于控水强度小的，说明控水强度大提高了空瘪粒率。

(4) 不同部位千粒重的变化

两品种处理1A、1B各个部位的千粒重大于CK和其它各处理，多数达显著或极显著水平，这在绥粳3号的各个部位上更明显；各个部位又都以处理2A、2B的千粒重最低，与CK和绝大多数处理的差异达极显著水平，其次是处理3A、3B的千粒重较低，多数部位低于CK，且都达到了显著或极显著水

中国知网 https://www.cnki.net

平;同一时期不同控水强度间差异大多都不显著,但上育 397 多以控水强度大的千粒重低于控水强度小的千粒重(表 4)。

表 3　两品种不同处理各部位的成粒率比较(%)

Table 3　Comparison of filled grain rate of different positions in two varieties under different treatments

处理 Treatments	上育 397 Shangyu 397						绥粳 3 号 Suijing 3					
	TPN	MPN	BPN	TSN	MSN	BSN	TPN	MPN	BPN	TSN	MSN	BSN
CK	74.6	82.2	85.2	82.8	87.1	84.9	43.5	51.1	58.3	61.2	69.8	71.0
1A	84.2*	87.5	85.9	85.6	89.6	82.7	62.7*	70.7*	77.9**	78.2**	81.1*	82.0
1B	78.6	82.0	85.7	84.8	85.7	86.0	71.5**	77.2**	80.8**	79.7**	83.5*	80.6
2A	62.5**	67.5**	62.6**	75.5*	71.7**	66.2**	35.7	36.9	38.7**	43.1*	46.8**	40.9**
2B	61.3**	66.0**	60.4**	73.0**	62.1**	51.5**	33.6	40.8	40.5*	45.2*	47.2**	42.8**
3A	81.3	84.1	85.8	88.4	87.5	88.0	45.9	53.2	60.5	64.9	70.5	71.5
3B	81.6	85.9	86.0*	88.3	91.9	85.2	56.0	66.4	71.4	73.6	80.1	85.4*
4A	78.5	82.6	83.7	85.5	85.6	85.7	53.9	63.0	69.8	73.2	76.4	81.3
4B	77.6	79.4	83.5	86.0	87.1	84.3	53.3	57.9	67.1	67.6	74.5	78.5

表 4　两品种不同处理各部位的千粒重比较

Table 4　Comparison of 1 000－grain weight of different positions in two varieties under different treatments

处理 Treatments	上育 397 Shangyu 397						绥粳 3 号 Suijing 3					
	TPN	MPN	BPN	TSN	MSN	BSN	TPN	MPN	BPN	TSN	MSN	BSN
CK	25.31	25.63	25.61	23.57	23.99	23.79	25.81	25.77	25.62	24.07	23.58	23.26
1A	26.04*	26.30	25.85	24.27*	24.16	24.22	27.07**	27.75**	27.40**	25.99**	26.22**	25.41**
1B	26.66**	26.71**	26.45*	25.08**	25.02**	24.15	26.31	26.68*	26.58*	25.41**	25.14**	24.38**
2A	23.32**	23.79**	24.05**	21.34**	21.96**	22.03**	22.83**	23.33**	24.10**	21.74**	21.63**	21.90**
2B	23.08**	23.85**	23.67**	22.07**	21.39**	21.48**	23.85**	23.50**	24.05**	21.69**	21.50**	21.90**
3A	24.41**	24.71*	24.70**	22.65*	23.06*	23.19	24.84*	24.90*	24.31**	22.70**	22.53**	21.84**
3B	24.01**	24.16**	24.27**	22.38**	22.62**	22.92*	24.89*	24.73**	24.56**	23.13*	22.74*	22.50*
4A	25.63	25.98	25.91	24.15	24.14	24.36	25.76	25.80	25.35	24.21	23.99	23.53
4B	24.94	25.28	25.29	23.57	23.97	23.62	25.07*	25.43	25.41	23.54	23.40	23.30

总之,穗分化期控水对经济产量影响程度最大,其次为分蘖期控水,然后为抽穗后 1～10 天的处理,抽穗 10 天以后控水的处理对产量的影响较小。两个品种同一时期不同控水强度间生物学产量和经济产量的差异几乎都不显著,表明在抽穗前和抽穗后 1～10 天土壤水势为－0.030～－0.035 MPa 时已经对产量造成了严重影响,再进一步降低土壤水势对产量影响不大。分蘖期控水减产幅度以上育 397＞绥粳 3 号,穗分化期控水减产幅度是绥粳 3 号＞上育 397。水分胁迫对产量构成因素的影响两品种中均为穗粒数＞成粒率＞每穴穗数＞千粒重。

2.2.3　*穗部性状与产量的关系*　相关分析表明,不同部位的产量与穗长、穗节数、穗颈节枝梗数均呈正相关,并且中位粒和劣势粒的相关系数都达到了显著或极显著水平,表明两品种不同处理的穗长越长、每穗节数和穗颈节枝梗数越多则产量越高,尤其是中位粒和劣势粒的产量越高。在本试验中两品种产量与不同部位枝梗数和一、二次枝梗上的实粒数的相关系数均达到极显著水平,表明供试品种在本试验条件下不同处理各部位的枝梗数越多,一、二次枝梗上的实粒数越多则越有利于提高产量;两品种中产量与二次枝梗和一次枝梗下部成粒率的相关系数都达到了显著水平,因此要提高产量,也要设法提高二次枝梗的成粒率;两品种产量与一、二次枝梗的上、中、下部千粒重的相关性不大。

3　讨　论

在水稻的不同生长发育时期进行水分胁迫,对产量的影响机理和减产程度不同。分蘖期土壤水势持续控制在－0.030～－0.035 MPa 时,两个品种的产量均显著降低,主要是影响了正常的分蘖进程,导致穗数显著减少,减产幅度为上育 397＞绥粳 3 号;

中国知网 https://www.cnki.net

上育397无论是生物学产量还是经济产量，同一时期均以控水强度大的处理减产幅度大，而绥粳3号在两个水势下减产幅度相近，可以看出上育397对分蘖期的水分胁迫较绥粳3号敏感，同样强度胁迫减产幅度更大。穗分化期完成水稻的幼穗分化过程，此过程中，最关键的时期是二次枝梗分化期的减数分裂期，因为每穗粒数的多少决定于小穗数和小穗结实率，小穗数多少决定于枝梗数特别是二次枝梗数的多少。水稻的穗分化过程对水分比较敏感。一般土壤含水量要达到最大持水量的90%以上才能满足幼穗发育的要求。土壤干旱时对穗分化不利，尤其是在减数分裂期对水分更敏感，缺水将导致颖花的大量退化[12]。这也正是本试验于穗分化期控水对产量影响最大的原因所在，减产幅度为绥粳3号>上育397。控水处理对每穗的二次枝梗数、二次枝梗上的总粒数、成粒率和千粒重的影响均大于对一次枝梗上这些因素的影响。抽穗后1～10天控水使穗粒数减少，千粒重降低，对产量影响较大，抽穗10天以后控水对产量影响较小。朱庆森等[11]的研究也表明结实期间对低土壤水势反应最敏感的时期为籽粒灌浆初期，籽粒灌浆末期较低的土壤水势有促进籽粒灌浆的倾向。两品种于抽穗后控水的处理对产量影响不大，机理有待于进一步研究。综上，水稻在不同生育时期对水分胁迫的敏感程度不同，不同品种在相同生育期内的敏感性也不同，为此，在节水栽培过程中，首先要从品种选择入手，尽量选用二次枝梗比例少的、颖花形成能力强的品种，以降低对产量的影响程度；二要针对品种特性，在不同时期进行不同程度的控水处理，在水稻颖花形成和减数分裂期尽可能满足水稻生长所需的水，以防止颖花量减少而导致的严重减产，这样才能达到节水高产稳产的目的。

参 考 文 献：

[1] 朱庆森，黄丕生．水稻节水栽培论文集[M]．北京：中国农业科技出版社，1995.

[2] 朱庭芸．水稻高产高效灌溉原理[M]．沈阳：辽宁科学技术出版社，1996.

[3] 王一凡，周毓珩．北方节水稻作[M]．沈阳：辽宁科学技术出版社，2000.

[4] 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.

[5] 周利民，罗怀彬，古璇清．水稻节水灌溉机理研究[J]．广东水利水电，2003，2：29－33.

[6] 姜孝成，徐孟亮，陈良碧，等．干旱对水稻根系活力与结实性状的影响[J]．湖南师范大学自然科学学报，1998，21(3)：64－68.

[7] 刘 聪，张旭晖．作物不同生长时段对水分胁迫敏感性分析[J]．气象科学，1996，19(2)：131－146.

[8] 陆建飞，丁艳锋，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]．江苏农学院学报，1998，19(2)：43－48.

[9] 杨建昌，朱庆森，王志琴．土壤水分对水稻产量与生理特性的影响[J]．作物学报，1995，21，(10)：110－145.

[10] Lafitte H R，Courtois B．Interpreting cultivation environment interactions for yield in up land rice：Assigning value to drought-adaptive traits[J]．Crop Sci，2002，42：1409－1420.

[11] 朱庆森，邱泽森，姜长鉴，等．水稻各生育期不同土壤水势对产量的影响[J]．中国农业科学，1994，27(6)：15－22.

[12] 潘瑞炽．水稻生理[M]．第一版．北京：科学出版社，1979. 347－352.

Effect of soil moisture on panicle traits and yield of rice in cold region

CHEN Shu-qiang[1]，LI Jin-feng[3]，ZHENG Gui-ping[3]，XUE Jing-fang[2]，XU Zheng-jin[1]

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

2. *College of Land and Environment*，*Shenyang Agricultural University*，*Shenyang* 110161，*China*；

3. *College of Plant Science and Technology*，*Heilongjiang August First Reclamation University*，*Daqing* 163319，*China*)

Abstract：Controlling water treatments (CWT) for two rice varieties (Shangyu 397 and Suijing 3) at －0.030 to －0.035MPa and －0.060 to －0.065 MPa of soil water potential were carried out during tillering stage，panicle initiation stage，1～10 days after heading，and 11～20 days after heading，respectively．CWT during tillering stage reduced the panicles per hill and grains per panicle．CWT during panicle formation stage decreased distinctly the panicle length，panicle node number，branches on the neck-panicle，and grains per panicle，filled grain rate and 1 000－grain weight．CWT during 1～10 days after heading stage enabled grains per panicle and 1 000－grain weight to decrease．The effect of CWT on secondary branch number per panicle，total grains，filled grain rate and 1 000－grain on secondary branch weight were greater than that on primary branch．The order of yield reduction in two varieties under the same water stress condition was treated during panicle

中国知网 https://www.cnki.net

formation stage>treated during tillering stage>treated during 1～10 days after heading>other treatments. The sequence of yield components affected by CWT was: panicle grains, filled grain rate, panicles per hill, 1 000-grain weight. Increase of branch number of different positions, grains and filled grain rate on secondary branch will be more beneficial to improve rice yield.

Keywords: soil moisture; rice; panicle traits; yield

(上接第 108 页)

[10] 许振柱,于振文.限量灌溉对冬小麦水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):6-10.

[11] 曹广才,王崇义,卢庆善. 北方旱地主要作物栽培[M].北京:气象出版社,1992.221-256.

[12] 彭世彰,朱成立.作物节水灌溉需水规律研究[J].节水灌溉,2003,2:5-8.

[13] 石　岩,林　琪,位东斌.不同灌水处理冬小麦耗水规律与节水灌溉方案确立[J]. 干旱地区农业研究,1996,14(4):7-11.

[14] 张岁岐,山　仑.有限供水条件下谷子和春小麦的耗水特性[J].水土保持研究,1999,6(1):94-98.

Effect of limited irrigation on yield and water use efficiency of oats

ZHAO Bao-ping[1], PANG Yun[2], ZENG Zhao-hai[1], HU Yue-gao[1], LI Gui-rong[1], LIU Rui-fang[2]

(1. *Forage Industry Engineering Research Center, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing* 100094, *China*; 2. *Hohhot Horticulture Research Center, Inner Mongolia Hohhot* 010070, *China*)

Abstract: This paper studied the effect of limited irrigation on yield, quality and water use efficiency of two oats under rainfall-proof-through in the center of horticulture research in Inner Mongolia Hohhot. Irrigation treatments were allocated as main plots within a split-plot design. Two oats varieties (Neinongdayou No. 1 and Baiyan No. 7) were allocated to sub-plots. The result showed that the dry matter accumulation amount decreased with severe deficiency (treatment A) or over-content (treatment G) of soil moisture although there was difference among different treatments. The highest yield of grass, seed and crude protein of Neinongdayou No. 1 was by treatment E, which irrigated in jointing stage and heading stage before sowing, but that of Baiyan No. 7 was by treatment F. Treatment E had the highest WUE in two cultivars, severe deficiency (treatment A) or over-content (treatment G) of soil moisture remarkably influenced effective use of soil water. Neinongdayou No. 1 had a strong drought resistance, and Baiyan No. 7 was sensitive to soil moisture.

Keywords: limited irrigation; oats; yield and quality; water use efficiency (WUE)

中国知网　https://www.cnki.net