

# 土壤水分胁迫对寒地水稻部分生理特性的影响

薛菁芳<sup>1,2</sup>, 陈书强<sup>1,2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 博士后科研工作站/东北林业大学博士后科研流动站, 黑龙江 哈尔滨 150000; 2. 黑龙江省农业科学院 佳木斯水稻研究所, 黑龙江 佳木斯 154026)

**摘要:**为了探明土壤水分胁迫条件下寒地水稻生理特征指标的变化,以两个抗旱性不同的品种为材料,研究了不同时期和不同强度的水分胁迫对水稻生理特性的影响。结果表明:生育前期水分胁迫对叶片含水量的影响比后期胁迫大,胁迫强度对叶片含水量影响不明显,抗旱性强的品种叶片含水量降低幅度小于抗旱性弱的品种。分蘖期、长穗期和抽穗后 1~10 d 控水使叶绿素 a 和 b 的含量均降低, Ca/Cb 值升高,不利于提高光合速率;而抽穗后 11~20 d 控水对叶绿素含量影响不大。水分胁迫使净光合速率降低,蒸腾作用增加,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升高,气孔导度变大;胁迫强度越大变化幅度越大。水分胁迫使 SOD 酶和 POD 酶活性降低,MDA 含量升高;不同品种对水分胁迫的抵抗能力不同,抗旱性强的品种质膜受损伤程度小,清除·O<sub>2</sub>和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的能力较强。

**关键词:**寒地;土壤水分;水稻;生理特性

**中图分类号:**S311;S511.06 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)02-0009-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.02.0009

黑龙江省是我国重要的水稻主产区,种植面积逐年扩大,在保障国家粮食安全中发挥越来越重要的作用。水资源的丰缺对水稻生产发展起着决定性作用,黑龙江水资源总量丰富,但实际可用量较少。而且灌溉水利用率较低,仅为 30%~40%<sup>[1]</sup>。因此,研究节水种稻对水稻生产的可持续发展具有重要意义。关于土壤水分对水稻生长发育和产量的影响已有较多研究<sup>[2-4]</sup>,但由于试验材料、试验条件和土壤控水方法等各种因素的差异,结论也不尽相同<sup>[5-7]</sup>。节水种稻研究主要集中在南方稻区,在北方稻区水资源极为短缺的情况下,此方面研究显得尤为重要。本研究利用负压式土壤湿度计监测土壤水势,以抗旱能力不同的水稻品种为材料,研究了不同生育时期、不同强度、不同历时的土壤水分胁迫对寒地水稻部分生理特性的影响,以期探明水分胁迫条件下水稻生理性状指标的反应规律及其适应性,为水稻的节水栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试水稻品种为不育 397(抗旱能力较弱)和绥粳 3 号(抗旱能力较强)。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 盆栽试验于 2005-2006 年在黑龙江八一农垦大学科研所防雨棚中进行。4 个控水时期分别为:分蘖期、长穗期、抽穗后 1~10 d、抽穗后 11~20 d;2 个控水强度分别为: -35~-30 kPa、-65~-60 kPa,以 0 kPa(有 5 cm 水层)为对照 CK。用负压式土壤湿度计监测土壤水势。盆内安装供水管,每天在固定时间每隔 2 h 读一次表,共读 5 次表,然后根据要求及时补充水分。

供试盆数为 180 盆。盆钵直径为 28 cm,高 30 cm,每盆装土 10 kg。供试土壤为草甸白浆土, pH7.05, 含速效氮、速效磷、速效钾和有机质分别为 203.43 mg·kg<sup>-1</sup>、76.88 mg·kg<sup>-1</sup>、353.00 mg·kg<sup>-1</sup>和 81.80 g·kg<sup>-1</sup>。盆栽试验施基肥量按每公顷磷酸二胺、尿素均为 75 kg、硫酸钾为 45 kg 计算,折合每盆施磷酸二胺、尿素均为 0.46 g、硫酸钾为 0.28 g。

4 月 12 日播种,5 月 26 日移栽,每盆 3 穴,每穴 1 苗。秧田管理和其它管理同常规生产田。

1.2.2 测定项目和方法 在处理时期结束前选取倒 2 叶和倒 3 叶,按照测试指标所要求的重量称好,密封冷冻保存,而后进行 SOD、POD 酶活性及 MDA 含量测定。其它生理指标用鲜样及活体测定。

①叶片含水量采用烘干称重法:叶片含水量=(样品鲜重-样品干重)/样品鲜重×100%。  
②叶绿素含量测定:按照张宪政的作物生理研究

收稿日期:2015-10-15

第一作者简介:薛菁芳(1978-),女,黑龙江省肇源县人,博士,副研究员,从事水稻高产优质育种研究。E-mail:xuejingfang147@163.com。

通讯作者:陈书强(1976-),男,黑龙江省阿城市人,博士,副研究员,从事水稻生理与栽培技术研究。

法<sup>[8]</sup>进行。③光合特性测定:选取倒 2 叶叶片最宽处,用 CI-301 便携式光合仪测定光合速率、蒸腾作用、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度及气孔导度等参数。④叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性及丙二醛(MDA)含量的测定:SOD 活性按邹琦主编的植物生理生化实验指导<sup>[9]</sup>进行测定,POD 活性按张宪政的作物生理研究法<sup>[8]</sup>进行测定,MDA 含量按照刘祖祺和张石城的植物抗性生理<sup>[10]</sup>进行测定。运用 DPS 软件及 Excel2003 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤水分对叶片含水量的影响

由表 1 可知,不同控水时期对两个品种的叶

片含水量影响不同,生育前期(分蘖期和长穗期)控水比生育后期控水影响大;主要是因为生育前期水稻叶片含水量较高,控水处理使它的叶片含水量降低幅度较大。在分蘖期,与 CK 比较,不同控水强度对两个品种的叶片含水量有显著影响,控水强度大的处理叶片含水量小于控水强度小的处理,且两个控水强度之间无显著差异;其它各时期变化无规律。表明不同控水强度对叶片含水量的影响差异不大。不同品种对控水强度反应不同,在处理各个时期,上育 397 叶片含水量降低幅度都大于绥粳 3 号,表明绥粳 3 号耐旱性强于上育 397。

表 1 不同时期控水处理对两个品种叶片含水量的影响

Table 1 Effect of different water-controlled periods treatment on water content in leaf two varieties

处理时期 Stages	品种 Varieties	处理水势/kPa Treatments of water-controlled	叶片鲜重/% FMW	±△%	叶片干重/% DMW	±△%
分蘖期 TS	上育 397	CK(0)	75.58 a	0.00	309.51 a	0.00
		—30~—35	70.66 b	—6.50	240.96 b	—22.15
		—60~—65	70.26 b	—7.03	236.37 b	—23.63
	绥粳 3 号	CK(0)	74.04 a	0.00	285.43 a	0.00
		—30~—35	70.19 b	—5.21	235.45 b	—17.51
		—60~—65	69.65 b	—5.93	229.49 b	—19.60
长穗期 PFS	上育 397	CK(0)	70.98 a	0.00	244.62 a	0.00
		—30~—35	68.75 a	—3.13	220.21 b	—9.98
		—60~—65	68.85 a	—2.99	221.20 a	—9.57
	绥粳 3 号	CK(0)	69.18 a	0.00	224.54 a	0.00
		—30~—35	68.05 a	—1.64	213.10 b	—5.10
		—60~—65	68.90 a	—0.41	221.79 a	—1.22
抽穗后 1~10 d 1—10 day after HS	上育 397	CK(0)	71.98 a	0.00	256.99 a	0.00
		—30~—35	71.07 a	—1.27	245.65 b	—4.42
		—60~—65	71.05 a	—1.29	245.52 b	—4.46
	绥粳 3 号	CK(0)	69.20 a	0.00	224.69 a	0.00
		—30~—35	69.51 a	0.45	228.29 a	1.60
		—60~—65	69.28 a	0.12	225.58 a	0.40
抽穗后 11~20 d 11~20 day after HS	上育 397	CK(0)	69.13 a	0.00	223.98 a	0.00
		—30~—35	67.75 a	—1.99	210.51 b	—6.01
		—60~—65	68.29 a	—1.21	215.71 b	—3.69
	绥粳 3 号	CK(0)	67.44 a	0.00	207.33 b	0.00
		—30~—35	67.72 a	0.42	210.04 b	1.31
		—60~—65	68.27 a	1.23	215.63 a	4.00

分蘖期 TS: Tillering stage; 长穗期 PFS: Panicle formation stage; 抽穗期 HS: Heading stage; 鲜重 FMW: Fresh matter weight; 干重 DMW: Dry matter weight.

## 2.2 叶片叶绿素含量对水分胁迫的反应

由图 1~图 4 看出,分蘖期控水处理使两个水稻品种的叶片中 Ca 和 Cb 的含量均降低,Ca/Cb 值升高,上育 397 的不同控水强度间与 CK 的差异显著,而绥梗 3 号的不同控水强度间与 CK 的差异不显著;长穗期控水也使两个品种叶片的 Ca 和 Cb 的含量降低,Ca/Cb 值升高,绥梗 3 号 2 个控水强度较 CK 差异显著,而上育 397 两个处理较 CK 差异不显著;抽穗后 1~10 d 控水处理对叶绿素含量的影响与分蘖期和长穗期规律一样;抽穗后 11~20 d 控水对叶绿素含量的影响与前面各期略有不同,除上育 397 的 -65~-60 kPa 处理外,两个品种其它各处理和叶绿素含量与 CK 相近或略高于 CK。表明生育前期和灌浆初期水分胁迫使叶绿素含量降低,Ca/Cb 升高,不利于提高光合速率,而灌浆中后期水分胁迫对光合作用影响不大。

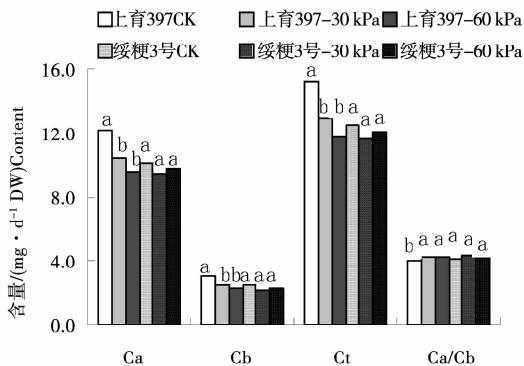


图 1 分蘖期控水处理两品种的叶绿素含量变化  
Fig. 1 Change of chlorophyll content in two varieties under water-controlled treatments at the tillering stage

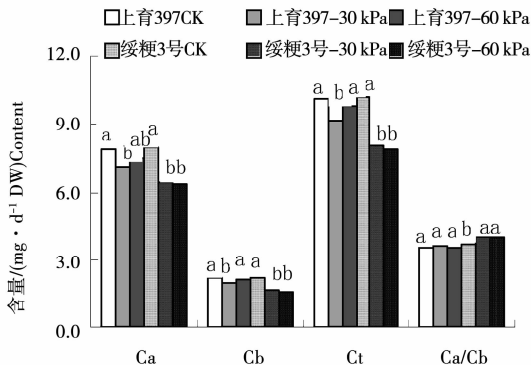


图 2 长穗期控水处理两品种的叶绿素含量变化  
Fig. 2 Change of chlorophyll content in two varieties under water-controlled treatments at the panicle formation stage

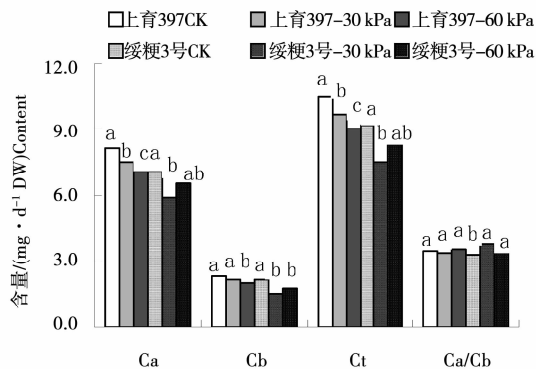


图 3 抽穗后 1~10 d 控水处理两品种的叶绿素含量变化  
Fig. 3 Change of chlorophyll content in two varieties under water-controlled treatments during 1~10 day after heading

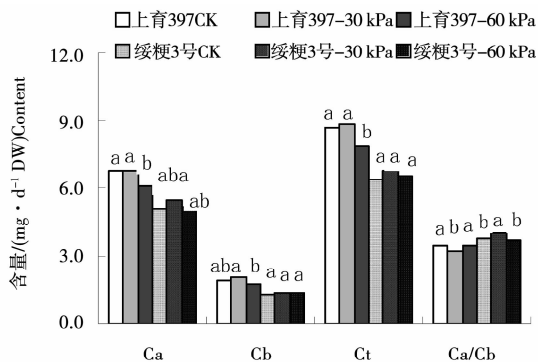


图 4 抽穗后 11~20 d 控水处理两品种的叶绿素含量变化  
Fig. 4 Change of chlorophyll content in two varieties under water-controlled treatments during 11~20 day after heading

## 2.3 叶片光合特性对水分胁迫的反应

从表 2 看出,与 CK 比较,多数控水处理使叶片的净光合速率降低,一般表现为控水强度大的处理降低幅度较大,尤其在长穗期表现最明显;多数控水处理使叶片的蒸腾作用增加,一般表现为控水强度越大增加幅度越大,在分蘖期和抽穗后 11~20 d 表现比较明显;但个别处理表现为蒸腾作用降低,以长穗期的绥梗 3 号、抽穗后 1~10 d 的上育 397 控水处理较显著;多数控水处理的胞间  $\text{CO}_2$  浓度高于 CK,同时它的气孔导度也大于 CK,表明并未因为土壤控水而降低气孔导度,从而影响  $\text{CO}_2$  进入细胞内进行光合作用;个别控水处理使叶片的胞间  $\text{CO}_2$  浓度和气孔导度都小于 CK,表明这时  $\text{CO}_2$  进入细胞受到了一定的限制,也以长穗期的绥梗 3 号、抽穗后 1~10 d 的上育 397 控水处理较显著。

表 2 不同时期控水处理对水稻叶片的光合特性的影响

Table 2 Effect on some photosynthetic traits in rice leaves of two varieties under different treatments

处理 时期 Stages	品种 Varieties	处理水势/kPa Treatments of water-controlled	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度/ ±△% (μmol•L <sup>-1</sup> ) Ci		净光合 速率/ ±△% (μmol• m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> ) Pn		蒸腾作用/ ±△% (mmol• m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> ) Tr		气孔导度/ ±△% (mmol• m <sup>-2</sup> •s <sup>-1</sup> ) Cs		
分蘖期	上育 397	CK(0 )	145.12 b	0.00	3.54 a	0.00	1.36 b	0.00	127.80 b	0.00	
		TS	—30~—35	146.57 b	1.00	3.41 a	—3.63	1.43 a	5.29	132.88 b	3.98
			—60~—65	153.20 a	5.57	3.41 a	—3.72	1.56 a	14.85	140.99 a	10.32
	绥粳 3 号	CK(0)	168.90 b	0.00	3.90 a	0.00	1.35 b	0.00	149.71 b	0.00	
			—30~—35	175.91 a	4.15	3.48 b	—10.65	1.31 b	—2.88	162.53 a	8.56
			—60~—65	173.78 a	2.89	3.48 b	—10.78	1.52 a	13.09	156.06 ab	4.24
长穗期	上育 397	CK(0)	131.82 b	0.00	3.17 a	0.00	1.32 b	0.00	102.55 b	0.00	
		PFS	—30~—35	129.13 b	—2.04	3.23 a	1.89	1.52 a	15.19	101.07 b	—1.45
			—60~—65	155.53 a	17.99	2.68 b	—15.35	1.58 a	20.00	140.27 a	36.78
	绥粳 3 号	CK(0)	153.40 a	0.00	2.65 a	0.00	1.62 a	0.00	129.77 a	0.00	
			—30~—35	118.97 c	—22.45	2.67 a	0.75	0.91 b	—43.86	62.88 b	—51.54
			—60~—65	131.47 b	—14.30	2.32 b	—12.58	1.10 b	—31.89	70.63 b	—45.57
抽穗后	上育 397	CK(0)	168.48 a	0.00	1.51 a	0.00	2.28 a	0.00	143.88 a	0.00	
		1~10 d	—30~—35	169.65 a	0.70	1.68 a	11.42	1.24 b	—45.55	74.28 b	—48.38
1~10 day		—60~—65	155.70 b	—7.58	1.41 a	—6.95	1.14 b	—50.16	73.28 b	—49.07	
after HS	绥粳 3 号	CK(0)	152.15 c	0.00	1.12 a	0.00	1.39 b	0.00	79.92 ab	0.00	
			—30~—35	182.47 a	19.93	0.93 a	—16.44	1.62 a	16.85	89.23 a	11.66
			—60~—65	173.80 b	14.23	1.08 a	—3.44	1.40 b	1.32	71.33 b	—10.74
抽穗后	上育 397	CK(0)	149.95 b	0.00	1.39 a	0.00	1.27 b	0.00	72.55 c	0.00	
		11~20 d	—30~—35	150.75 b	0.53	1.47 a	5.76	1.61 a	26.88	86.90 b	19.78
11~20 day		—60~—65	155.10 a	3.43	1.39 a	0.00	1.67 a	31.23	96.27 a	32.69	
after HS	绥粳 3 号	CK(0)	157.03 a	0.00	1.46 a	0.00	1.37 a	0.00	87.57 a	0.00	
			—30~—35	151.67 b	—3.42	1.35 ab	—7.53	1.49 ab	8.76	74.53 b	—14.89
			—60~—65	157.90 a	0.55	1.05 b	—28.08	1.62 a	18.25	78.43 b	—10.43

2.4 水分胁迫对叶片 SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响

由表 3 可知,上育 397 各控水处理的 SOD 酶活性低于 CK 或与 CK 相近,以抽穗后 11~20 d 处理降低幅度较大;绥粳 3 号各控水处理的 SOD 酶活性都较 CK 升高,以抽穗后 11~20 d 处理升高幅度较大。说明不同品种对逆境的抵抗能力不同,在水分胁迫时,绥粳 3 号清除超氧自由基的能力要大于上育 397。同一时期不同控水强度间变化无明显规律。控水处理使两个品种的 POD 酶活性都低于 CK,表明水分胁迫后植株体内清除

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的能力降低,绥粳 3 号降低幅度小于上育 397,说明绥粳 3 号在控水时清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的能力要强于上育 397;水稻叶片 POD 活性下降的幅度要大于 SOD 活性,表明水分胁迫条件下 POD 活性比 SOD 活性对其反应更敏感。控水处理使两个品种叶片的 MDA 含量均升高,说明不同时期进行不同强度控水促进了膜脂过氧化,使细胞膜结构受到了损伤;相同处理多以上育 397 的升高幅度大于绥粳 3 号,表明绥粳 3 号质膜受损伤的程度低于上育 397。

表 3 抽穗后控水处理对两品种的 SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响

Table 3 Effect on SOD and POD activity and MDA content of two varieties under different treatments after heading

处理时期 Stages	品种 Varieties	处理水势 Treatment of water-controlled	SOD/ (U·g <sup>-1</sup> )	±△%	POD/ (U·(g·min) <sup>-1</sup> )	±△%	MDA/ (μmol·L <sup>-1</sup> )	±△%
抽穗后 1~10 d 1~10 day after HS	上育 397	CK(0 kPa)	171.02 a	0.00	55.37 a	0.00	0.45 b	0.00
		-30~-35 kPa	172.12 a	0.64	56.33 a	1.74	0.47 b	4.16
		-60~-65 kPa	172.47 a	0.85	48.13 b	-13.07	0.82 a	81.42
	绥梗 3 号	CK(0 kPa)	162.16 b	0.00	54.85 a	0.00	0.72 b	0.00
		-30~-35 kPa	168.56 a	3.95	53.42 a	-2.61	0.85 a	17.84
		-60~-65 kPa	164.27 ab	1.30	51.61 b	-5.90	0.78 b	7.37
抽穗后 11~20 d 11~20 day after HS	上育 397	CK(0 kPa)	171.02 a	0.00	55.37 a	0.00	0.45 c	0.00
		-30~-35 kPa	155.91 b	-8.83	41.90 c	-24.33	0.87 a	90.56
		-60~-65 kPa	160.37 b	-6.23	48.49 b	-12.42	0.73 b	59.49
	绥梗 3 号	CK(0 kPa)	162.16 b	0.00	54.85 a	0.00	0.72 b	0.00
		-30~-35 kPa	170.17 a	4.94	49.31 b	-10.09	0.78 a	8.05
		-60~-65 kPa	170.53 a	5.16	52.37 a	-4.53	0.74 b	1.68

3 结论和讨论

多数研究认为,水分胁迫条件下,水稻植株含水量下降,叶水势下降<sup>[11]</sup>,叶片发生卷曲,受光面积和气孔开度下降<sup>[12]</sup>,增大了 CO<sub>2</sub> 扩散到叶片内和进入叶肉细胞的阻力,净光合速率下降<sup>[13]</sup>,叶绿素含量下降<sup>[14-16]</sup>,光合作用降低<sup>[17-18]</sup>,进而影响作物生长和产量形成。也有研究表明,植物在遭受逆境胁迫或在衰老过程中,膜系统受伤害的最重要标志之一是丙二醛(MDA)含量增加,同时清除植物体内超氧化物阴离子自由基 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 及 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,羟基自由基 OH<sup>-</sup> 等的酶促活性氧清除系统(SOD、POD 和 CAT 等)活性均会发生不同程度的增加,可在一定范围内减轻逆境伤害<sup>[19-20]</sup>。朱杭申等<sup>[21]</sup>认为不同类型水稻品种受水分胁迫后,SOD 酶和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 酶活性增强,脂质过氧化提高。研究表明,水稻在水分胁迫后,叶片相对含水量、叶绿素含量、SOD 酶活性、MDA 含量等生理生化指标与水稻品种的抗旱性密切相关<sup>[19,22-24]</sup>,而 POD 活性变化相对比较复杂。

本研究中,分蘖期和长穗期水分胁迫对叶片含水量的影响比生育后期水分胁迫要大,控水处理使叶片水分蒸发量加大。生育前期和灌浆初期水分胁迫使叶绿素含量降低,Ca/Cb 升高,而灌浆中后期水分胁迫对叶绿素含量影响不大。表明分蘖期、长穗期和抽穗开花期正是水稻主要需水量时期,因而此期水分胁迫对叶片含水量和叶绿

素含量影响较大,均显著降低。从光合特征参数来看,水分胁迫条件下一些处理细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度降低,气孔导度降低,这表明 CO<sub>2</sub> 进入细胞受到了一定的限制;一些处理细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度增大,净光合速率下降,气孔导度大,表明水分胁迫并未影响 CO<sub>2</sub> 进入细胞,但使叶肉阻力和羧化阻力增大等因素导致 CO<sub>2</sub> 的利用能力降低,导致干物质生产速率下降。绥梗 3 号在长穗期、上育 397 在抽穗后 1~10 d 水分胁迫处理中两品种气孔导度和蒸腾作用降低幅度较大,且细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度也降低,表明控水处理对光合速率的下降的影响主要是由于气孔因素阻碍了 CO<sub>2</sub> 供应不足所致。两品种气孔导度对水分胁迫的反应的差异表现在不同控水时期可能与品种的抗旱性有关。研究表明外界因素对光合作用的影响有气孔效应和非气孔效应,但本试验多数处理未受气孔的限制,气孔导度升高的原因也有待于进一步研究。

在两种控水强度下,SOD 酶活性、POD 酶活性和 MDA 含量没有明显差异,表明水分胁迫为-35~-30 kPa 时,叶片细胞生物膜就已经完全受到损伤。抽穗后 11~20 d 处理绥梗 3 号 MDA 含量升高幅度小于上育 397,表明绥梗 3 号膜脂过氧化程度并不大,其受伤害的程度也不是太重,这可能与两品种在受水分胁迫时自身防御系统产生的 SOD、POD 等酶活性有关,其生理生化机制有待于进一步的研究。在水分胁迫条件下,与逆境相关的一些生理生化指标都产生了显著的变

化,但不同品种对水分胁迫的抵抗能力存在着差异,绥粳3号要明显强于上育397。因此,在进行节水栽培时要注意品种选择,避免控水影响产量和品质。

#### 参考文献:

- [1] 孙景生,康绍忠.我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策[J].农业工程学报,2000,16(3):1-5.
- [2] 杨建昌,朱庆森,玉志琴.土壤水分对水稻产量与生理特征的影响[J].作物学报,1995,21(1):110-114.
- [3] 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.
- [4] 赵正宜,迟道才,刘宗琦,等.水分胁迫对水稻生长发育影响的研究[J].沈阳农业大学学报,2000-04,31(2):214-217.
- [5] Rawson H M, Constable G A, Howe G N. Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. II, leaf growth[J]. Aust J Physiol, 1980, 7: 575-586.
- [6] 小叶田亨.整个灌浆成熟期间水稻谷粒生长和干物质的分配对水分亏缺的反应[J].日作记,1983,52(3):283-290.
- [7] 余叙文,陈景治,刘存德.水、陆稻的比较生理研究: I 水稻老来青和陆稻南通早的水分关系及抗旱性的比较[J].植物学报,1958,7(4):187-189.
- [8] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:中国农业出版社,1992.
- [9] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [10] 刘祖祺,张石城.植物抗性生理[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [11] 徐孟亮,姜孝成,周广洽,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.
- [12] Boyer J S. Advance in drought tolerance in plants[J]. Ad-

- vances in Agronomy, 1996, 56: 187-218.
- [13] Barlow E W K. The Growth and Functioning of Leaves[M]. London: Cambridge, 1983: 315-345.
- [14] 王泽港,梁建生.半根半干旱胁迫处理对水稻叶片光合特性和糖代谢的影响[J].江苏农业研究,1999,20(3):21-26.
- [15] 郭相平,王琴,刘展鹏,等.旱后复水对玉米后继新生叶片生理特性的影响[J].农业科学研究,2006,27(2):20-29.
- [16] 李刚华,薛利红,尤娟,等.水稻氮素和叶绿素 SPAD 叶位分布特点及氮素诊断的叶位选择[J].中国农业科学,2007,40(6):1127-1134.
- [17] Turner N C, Schulze E D. The response of stomata and leaf exchange to vapour pressure deficit and soil water content. I, in the mesophyllie herbaceous species *Helianthus annuus*[J]. Oecologia, 1985, 65: 348-355.
- [18] 张桂清,李锋,蒋水元,等.两种土壤含水率下匙羹藤的光合及水分利用率的初步研究[J].广西植物,2007,27(3):508-512.
- [19] 张燕之,周毓珩,曾祥宽,等.不同类型稻抗旱性鉴定指标研究[J].沈阳农业大学学报,2002,33(2):90-93.
- [20] 肖新,邓艳萍,李英峰,等.水分胁迫对水稻生理特性和产量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(8):3395-3398.
- [21] 朱杭申,黄丕生.土壤水分胁迫与水稻活性氧代谢[J].南京农业大学学报,1994,17(2):7-11.
- [22] 李长明,刘保国,任昌福.水稻抗旱机理研究[J].西南农业大学学报[J],1993,15(5):410-413.
- [23] 刘鸿艳,邹桂花,刘国兰,等.水分梯度下水稻 CT, LWP 和 SF 的相关及其 QTL 定位研究[J].科学通报,2005,50(2):130-139.
- [24] 刘学俊,童继平,吴跃进,等.籼稻二元不育系 9730A 及三交种的初步研究[J].植物遗传资源学报,2005,6(3):304-309.

## Effect of Water Stress on Partial Physiological Characteristics of Rice in Cold Region

XUE Jing-fang<sup>1,2</sup>, CHEN Shu-qiang<sup>1,2</sup>

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Postdoctoral Programme, Northeast Forestry University Postdoctoral Programme, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Jiamusi Rice Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154026)

**Abstract:** Effect of different periods and different intensities of water stress on rice physiological characteristics were studied with two different drought tolerance rice varieties in order to investigate index changes of rice physiological characteristics under the condition of soil water stress in cold region. The results showed that effect of water stress on water content in leaf at the early growth stage was larger than the effect of water stress on water content in leaf at the late growth stage. Stress intensity had no obvious effect on water content in leaf. Leaf water content in resistant variety was less than that in sensitive variety. Water stress during tillering stage, panicle formation stage, the period of 1~10 day after heading stage made chlorophyll a and chlorophyll b content decreased, Ca / Cb value increased. And water stress had less effect on chlorophyll content at the periods of 11~20 day after heading stage. Water stress made net photosynthetic rate reduced, transpiration rate increased, CO<sub>2</sub> concentration intercellular increased, and stomatal conductance increased. The greater stress intensity, the greater the magnitude of the change. Water stress made POD and SOD enzyme activity decreased, MDA content increased. Different rice varieties differed in their resistance to water stress, Water stress made plasma membrane in resistant variety brought about a small degree of damage, and made ability of removing O<sub>2</sub><sup>-</sup> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> enhanced.

**Keywords:** in cold region; soil moisture; rice; physiological characteristics