

# 新美洲星和 6-BA 对低温胁迫下 稻茬小麦光合和产量的影响

汪强, 黄正来, 张文静, 刘明超, 周晓楠, 刘亮

(安徽农业大学农学院, 农业部黄淮南部小麦生物学与遗传育种重点实验室, 安徽合肥 230036)

**摘要:** 为了解植物生长调节剂 6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)和叶面肥 6-BA 和对稻茬小麦低温胁迫伤害的缓解效应, 以半冬性小麦品种烟农 19 和弱春性小麦品种淮麦 30 为材料, 通过盆栽试验研究了喷施 6-BA 和新美洲星对分蘖期 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和拔节期 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温胁迫下小麦叶片光合参数、叶绿素荧光参数及产量性状的影响。结果表明, 与喷施蒸馏水的对照相比, 喷施 6-BA 和新美洲星处理显著降低了两个小麦品种的叶片初始荧光, 显著提高了叶片净光合速率、气孔导度、PS II 光化学效率、光化学猝灭系数, 增加了穗粒数、千粒重和产量。说明喷施 6-BA 和新美洲星能有效缓解分蘖期和拔节期低温胁迫对小麦功能叶片光合性能和产量的影响。

**关键词:** 小麦; 低温胁迫; 6-BA; 新美洲星; 光合性能

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2015)09-1269-06

## Effect of Spraying 6-BA and New Meizhouxing on Photosynthesis and Yield of Wheat after Rice under Low Temperature Stress

WANG Qiang, HUANG Zhenglai, ZHANG Wenjing, LIU Mingchao, ZHOU Xiaonan, LIU Liang

(Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Improvement in South Yellow & Huai River Valley, Ministry of Agriculture / College of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

**Abstract:** With two wheat cultivars (semi-winter wheat Yannong 19 and semi-spring wheat Huaimai 30) with different cold resistance as the materials, pot experiment was performed to investigate the effects of spraying 6-Benzylaminopurine (6-BA, plant growth regulator,  $10\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) and New Meizhouxing (foliar fertilizer, diluted 300-fold) on the photosynthetic parameters, chlorophyll fluorescence characteristics and yield of wheat under low-temperature stresses of  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  at tillering stages and  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  at elongation stage. The results showed that spraying 6-BA and New Meizhouxing significantly reduced the minimal fluorescence ( $F_0$ ) and significantly increased the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomata conductance ( $G_s$ ), maximum quantum yield of PS II ( $F_v/F_m$ ), photochemical quenching ( $q_p$ ) of wheat plants, significantly improved grain number and 1 000-grain weight of wheat. In conclusion, spraying 6-BA and New Meizhouxing treatments effectively relieved the influences of low temperature stress at tillering and stem elongation stages on photosynthetic performance and yield of wheat.

**Key words:** Wheat; Low temperature; 6-BA; New Meizhouxing; Photosynthetic performance

近年来气候变化异常, 极端低温天气出现频繁<sup>[1]</sup>, 冬前苗期冻害及年后返青拔节期冷害是小

麦生产中遭受的主要低温灾害, 严重影响小麦品质和产量<sup>[2]</sup>。稻茬麦在安徽省小麦生产中占有较

大比重,面积约占全省小麦面积的1/3,常年播种面积在100万 $\text{hm}^2$ 以上。稻茬麦由于播种较晚,苗期要求较多基本苗,群体过大和壮苗不足常导致越冬期冻害发生;春季分蘖较多,消耗养分较大,小麦品种受倒春寒的影响较大。植物的抗寒性与光合作用的关系密切,低温胁迫对植物光合速率、光合色素含量、叶绿体亚显微结构、光合能量代谢、PSII活性等都有明显影响<sup>[3-5]</sup>。植物在遭受低温后,各种生理活动都会受到干扰,代谢减弱,含水量降低,保护物质增多,细胞膜透性增加,严重时植物生长基本停止甚至死亡。

施用生长调节剂是作物抗逆栽培中的常用技术手段<sup>[6]</sup>。研究表明,添加适当浓度外源物质,如氯化钙( $\text{CaCl}_2$ )、水杨酸(SA)、脱落酸(ABA)、多效唑(PP333)等,均能减轻低温对番茄、棉花、香蕉等幼苗的伤害,提高作物产量和品质,增强作物抗寒能力,促进植株抗氧化酶活性上升<sup>[7-13]</sup>。6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)是第一种人工合成的细胞分裂素,具有提高植物抗逆性的作用。6-BA可使气孔保持一定开度,有利于植株在逆境条件下维持光合作用<sup>[14]</sup>;同时可增强植株清除自由基的能力,维持细胞膜的稳定性<sup>[15]</sup>,进而提高植株抗寒能力<sup>[16]</sup>。新美洲星是一种叶面肥,能够平衡养分供给,增强作物抗逆能力。有研究认为,新美洲星能有效改善冬小麦的受冻情况,增加产量<sup>[17]</sup>。目前有关喷施植物生长调节剂或叶面肥缓解植物低温伤害的研究已有报道,但其应用结果往往因生态条件、栽培因素等不同而异。本试验以两个小麦品种为材料,研究了6-BA和新美洲星对低温胁迫下稻茬麦叶片的光合、叶绿素荧光、产量的影响,以期对稻茬麦高产抗逆栽培提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验于2012年10月至2014年6月在安徽农业大学校内试验基地进行。供试品种为准麦30(弱春性)和烟农19(半冬性)。小麦采用盆栽种植,土壤取自稻茬田0~20 cm土层。土壤为黄棕壤土,pH为6.5,有机质含量 $17.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮含量 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效氮含量 $105.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷含量 $23.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量 $161.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。盆直径30 cm,高30 cm,每盆装土10 kg,播种前每盆施入有机肥75 g、纯氮 $1.05 \text{ g}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$   $1.35 \text{ g}$ 和 $\text{K}_2\text{O}$   $2.25 \text{ g}$ ,并在小麦

拔节期每盆追施纯氮 $1.05 \text{ g}$ 。播种时间与大田稻茬麦一致,2012年为10月21日,2013年为10月28日。每品种60盆,埋于试验田中,齐苗后进行间苗,每盆留苗15株,田间管理按高产栽培要求进行。采用植物生长调节剂6-BA( $10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )和叶面肥新美洲星(水剂稀释300倍,安徽省农科院)进行叶面喷施。

### 1.2 试验设计

分蘖期处理:分别于2013年1月1日和2013年12月30日取盆栽小麦移入室内,20:00移入 $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ 人工气候室中,于次日8:00取出,移回大田,连续处理3 d,于2013年1月4日和2014年1月2日处理结束当日9:00,对每盆小麦分别喷施330 mL蒸馏水(CK)、6-BA(A)和新美洲星(B)后移回大田,3次重复。在2013年1月9日和2014年1月7日对喷施蒸馏水(CK)、6-BA(A)和新美洲星(B)的盆栽小麦叶片进行光合性能的测定,2013年6月8日和2014年5月27日收取小麦穗并进行考种。

拔节期处理:分别于2013年3月17日和2014年3月14日取盆栽小麦移入室内,20:00移入 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 人工气候室中,于次日8:00取出,移回大田,连续处理3 d,于2013年3月20日和2014年3月17日结束当日9:00,对每盆小麦分别喷施330 mL蒸馏水(CK)、6-BA(A)和新美洲星(B)后移回大田,3次重复。在2013年3月25日和2014年3月22日对喷施蒸馏水(CK)、6-BA(A)和新美洲星(B)的盆栽小麦叶片进行光合性能的测定,2013年6月8日和2014年5月27日收取小麦穗并进行考种。

### 1.3 测定内容与方 法

#### 1.3.1 光合参数的测定

利用美国LI-COR公司生产的LI-6400XT便携式光合作用测定仪,内置红蓝光源光照强度设定为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,环境 $\text{CO}_2$ 浓度为 $300 \sim 400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,分别测定各处理小麦主茎倒二叶的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ ),每盆随机测定3株。

#### 1.3.2 叶绿素荧光参数的测定

利用美国LI-COR公司生产的LI-6400XT便携式光合作用测定系统,分别测定各处理经过20 min暗适应后的小麦主茎倒二叶初始荧光( $F_0$ )、PSII最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、光化学猝灭系数( $q_p$ )和PSII非循环光合电子传递速率

(ETR),每盆随机测定3株。

### 1.3.3 产量的测定

小麦成熟后,每处理随机选取15个长势基本一致的麦穗,统计穗粒数,计算平均值。数1000粒称重,三次重复。各盆实收测产。

### 1.4 数据处理

数据采用DPSv7.05软件进行差异显著性检验(LSD法)。用Excel 2010进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 6-BA和新美洲星对低温胁迫下小麦光合参数的影响

喷施6-BA和新美洲星均不同程度提高了小麦叶片光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ ) (表1)。其中,喷施6-BA和新美洲星后,小麦叶片 $P_n$ 分别增加23.0%~127.4%和92.6%~254.9%,与对照差异均显著;除2014年拔节期喷施6-BA的淮麦30叶片 $G_s$ 值与对照无显著差异外,喷施6-BA和新美洲星后,两个品种

叶片 $G_s$ 值较对照分别上升1.3%~97.9%和11.9%~72.6%; $C_i$ 值除烟农19的2013年拔节期和2014年分蘖期施6-BA处理与对照无显著差异外,喷施新美洲星和6-BA的小麦叶片 $C_i$ 值均与对照差异显著。说明喷施新美洲星和6-BA可改善低温胁迫条件下小麦的光合能力。

### 2.2 6-BA和新美洲星对低温胁迫下小麦叶绿素荧光参数的影响

低温胁迫下,喷施6-BA和新美洲星后,小麦叶片 $F_0$ 值降低, $F_v/F_m$ 、 $q_p$ 和ETR值均不同程度提高(表2)。其中喷施6-BA和新美洲星后,除2014年分蘖期淮麦30的 $F_0$ 值与对照无显著差异外,其余情况下小麦叶片 $F_0$ 值较对照分别下降2.8%~21.4%和4.7%~41.2%;喷施6-BA和新美洲星使小麦叶片 $F_v/F_m$ 值较对照分别上升0.4%~10.8%和0.6%~8.3%;除2014年拔节期淮麦30喷施6-BA的小麦叶片 $q_p$ 值和对照无显著差异外,喷施6-BA和新美洲星的小麦叶片 $q_p$ 值分别提高2.1%~35.3%和11.7%~

表1 6-BA和新美洲星对低温胁迫下小麦光合参数的影响

Table 1 Effects of leaf spraying 6-BA and New Meizhouxing on photosynthetic parameters of wheat under low temperature stress

年份 Year	低温时期 Low-temperature stage	品种 Variety	处理 Treatment	$P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$G_s/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$C_i/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$
2012—2013	分蘖期 Tillering stage	烟农19 Yannong 19	CK	5.17c	0.08c	186.15c
			A	9.04b	0.10b	204.34b
		B	12.02a	0.12a	239.93a	
		淮麦30 Huaimai 30	CK	3.73b	0.05c	166.60b
			A	8.20b	0.06b	195.76a
		B	9.38a	0.08a	233.89a	
	拔节期 Elongation stage	烟农19 Yannong 19	CK	4.11c	0.23c	201.89b
			A	7.06b	0.25b	210.59b
		B	11.34a	0.32a	273.88a	
		淮麦30 Huaimai 30	CK	3.61b	0.19b	157.52b
			A	4.44b	0.24b	190.46a
		B	12.81a	0.29a	195.04a	
2013—2014	分蘖期 Tillering stage	烟农19 Yannong 19	CK	6.13c	0.07c	180.61b
			A	10.30b	0.13a	202.87b
		B	11.80a	0.08b	243.30a	
		淮麦30 Huaimai 30	CK	3.43c	0.05c	168.92c
			A	7.80b	0.07a	197.71b
		B	8.81a	0.06b	227.36a	
	拔节期 Elongation stage	烟农19 Yannong 19	CK	5.22c	0.24c	208.90c
			A	8.04b	0.26b	232.65b
		B	11.72a	0.32a	250.23a	
		淮麦30 Huaimai 30	CK	4.67c	0.24b	213.27b
			A	6.55b	0.24b	230.82a
		B	10.18a	0.30a	215.71b	

各列数值后不同小写字母表示品种内不同处理间在0.05水平上差异显著( $P < 0.05$ )。下表同

Values followed by different small letters within the same column are significantly different among the treatments for a variety at the 0.05 level. The same as in table 2

表 2 6-BA 和新美洲星对低温胁迫下小麦叶绿素荧光参数的影响  
Table 2 Effects of leaf spraying 6-BA and New Meizhouxing on chlorophyll fluorescence of wheat under low temperature stress

年份 Year	低温时期 Low-temperature stage	品种 Variety	处理 Treatment	$F_o$	$F_v/F_m$	$q_p$	ETR
2012—2013	分蘖期 Tillering stage	烟农 19 Yannong 19	CK	96.49a	0.786c	0.417c	82.90c
			A	79.939b	0.822b	0.478b	98.86b
			B	69.23c	0.852a	0.526a	109.09a
		淮麦 30 Huaimai 30	CK	106.15a	0.776c	0.419c	85.89c
			A	87.45b	0.820b	0.474b	94.64b
			B	75.19c	0.834a	0.521a	104.18a
	拔节期 Elongation stage	烟农 19 Yannong 19	CK	169.52a	0.763c	0.425c	71.01c
			A	158.84b	0.814a	0.575b	90.80b
			B	143.09c	0.784b	0.585a	96.36a
		淮麦 30 Huaimai 30	CK	184.68a	0.756c	0.448c	67.09c
			A	163.05b	0.838a	0.488b	108.17a
			B	155.61c	0.817b	0.528a	98.95b
2013—2014	分蘖期 Tillering stage	烟农 19 Yannong 19	CK	98.55a	0.820c	0.445c	82.30c
			A	86.65ab	0.833b	0.489b	95.46b
			B	75.84b	0.848a	0.523a	111.68a
		淮麦 30 Huaimai 30	CK	107.75a	0.809c	0.425c	88.42b
			A	94.06a	0.828b	0.472b	93.34b
			B	84.79a	0.839a	0.523a	109.80a
	拔节期 Elongation stage	烟农 19 Yannong 19	CK	176.00a	0.830c	0.464c	99.27b
			A	168.30b	0.833b	0.474b	102.17a
			B	154.74c	0.838a	0.518a	103.80a
		淮麦 30 Huaimai 30	CK	182.48a	0.827c	0.446b	93.59c
			A	177.51b	0.831b	0.475ab	100.65b
			B	174.27b	0.832a	0.533a	102.09a

37.9%；除 2014 年分蘖期淮麦 30 喷施 6-BA 的小麦叶片 ETR 值与对照无显著差异外，喷施 6-BA 和新美洲星的小麦叶片 ETR 值较对照分别增加 2.9%~61.2% 和 4.6%~47.5%。这表明喷施 6-BA 和新美洲星能够减轻 PS II 的光损伤，促进光合电子传递，提高 PS II 活性。

### 2.3 6-BA 和新美洲星对低温胁迫下小麦产量及其构成因素的影响

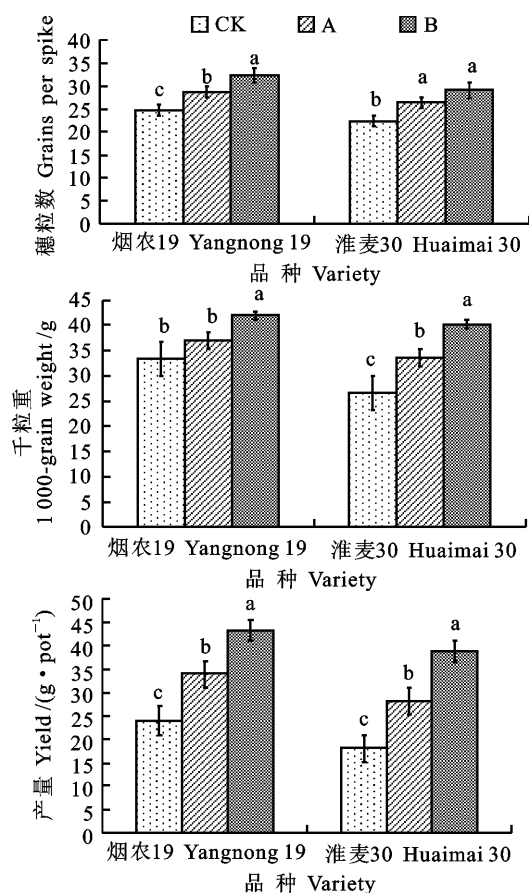
分蘖期低温胁迫下，喷施 6-BA 和新美洲星后，烟农 19 穗粒数分别较对照增加了 16.2% 和 31.1%，千粒重分别增加 10.7% 和 25.5%，产量分别提高 41.4% 和 81.0%；淮麦 30 穗粒数分别较对照增加 17.9% 和 29.9%，千粒重分别增加 26.1% 和 50.6%，产量分别提高 55.4% 和 115.3%。喷施 6-BA 和新美洲星处理与对照基本上均差异显著(图 1)。拔节期低温胁迫下，喷施 6-BA 和新美洲星后，烟农 19 穗粒数分别较对照增加 6.5% 和 13.0%，千粒重分别增加 9.6% 和 18.3%，产量提高 14.5% 和 36.2%；淮麦 30 穗粒数只有喷施美洲星处理显著高于对照，千粒重分别较对照增加 18.7% 和 35.1%，产量分别提高 35.3% 和 60.1% (图 2)。说明喷施 6-BA 和新美洲星有利于低温胁迫下小麦产量的形成，尤以喷

施新美洲星效果最好。

### 3 讨论

光合作用是作物产量形成的基础，也是受低温影响最明显的生理过程之一<sup>[18-19]</sup>。低温可以破坏抗寒性弱的小麦品种的光合机构，影响抗寒性强的小麦品种气孔闭合<sup>[2]</sup>。徐田军等<sup>[20]</sup>研究发现，聚糠萘合剂对低温胁迫下玉米幼苗光合作用有增强效果。本试验结果表明，低温胁迫下，喷施 6-BA 和喷施新美洲星后，小麦叶片的  $P_n$ 、 $C_i$  和  $G_s$  值较对照都有一定幅度的上升，说明新美洲星和 6-BA 都对受低温胁迫后小麦光合性能具有一定的缓解修复作用，并且新美洲星的效果总体上优于 6-BA。

叶绿素荧光与光合作用各反应过程密切相关，环境因子对光合作用的影响可通过叶绿素荧光参数反映出来<sup>[21]</sup>。胁迫环境会引起植物叶片基础荧光( $F_o$ )的升高<sup>[22]</sup>。本试验结果表明，喷施 6-BA 和新美洲星的小麦叶片  $F_o$  值显著低于对照，其中喷施新美洲星的  $F_o$  值最低。PS II 光化学效率( $F_v/F_m$ )是环境胁迫的指标<sup>[23]</sup>，在非环境胁迫条件下变化极少。一旦胁迫程度加剧，光系统 PS II 中心受到不可逆的伤害， $F_v/F_m$  会不同



图柱上字母不同表示同一品种不同处理间差异显著。下图同  
The different letters on the columns indicate significant difference among the treatments for a variety at 0.05 level. The same as below

图 1 6-BA 和新美洲星对分蘖期低温胁迫下小麦产量及其构成因素的影响 (2013—2014)

Fig. 1 Effects of 6-BA and New Meizhouxing on yield components of wheat under low temperature stress at tillering stage(2013—2014)

程度下降。Downes 和 Crowell 发现,6-BA 可通过调节核内编码叶绿体蛋白基因的表达,增加光诱导的硝酸还原酶 mRNA 和捕光色素结合蛋白 mRNA 的含量<sup>[24]</sup>。本试验中,喷施 6-BA 和新美洲星后烟农 19 和淮麦 30 叶片的  $F_v/F_m$  值都显著高于对照,说明 PS II 光化学效率增强。 $q_p$  反映 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,在一定程度上反映了光合活性的高低。有研究表明,低温使油菜叶片的  $q_p$  下降<sup>[22]</sup>。李天来等<sup>[25]</sup>认为,低温下番茄叶片的光合电子传递速率 ETR 降低。本研究表明,喷施新美洲星和 6-BA 均不同程度提高了小麦叶片  $q_p$ 、ETR 值低。说明新美洲星和 6-BA 能有效缓解了低温对小麦光合系统的伤害,增加其活性。

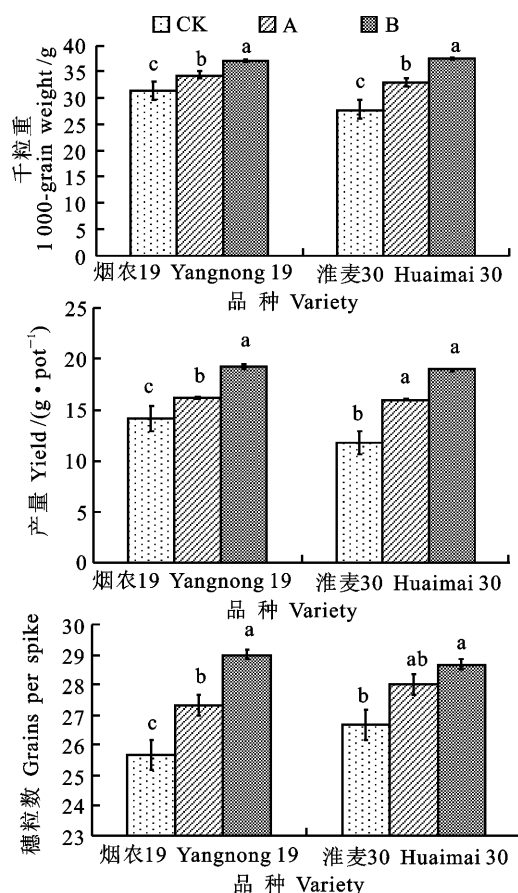


图 2 6-BA 和新美洲星对拔节期低温胁迫下小麦产量及其构成因素的影响 (2013—2014)

Fig. 2 Effects of 6-BA and New Meizhouxing on yield components of wheat under low temperature stress at elongation stage(2013—2014)

喷施 ABA 和 BR 显著增加了受冻害油菜的角果数和每角粒数,降低了冻害对油菜产量的影响<sup>[22]</sup>。马连<sup>[17]</sup>研究显示,返青期和拔节期叶面喷施新美洲星增强了小麦的抗冻害能力,提高产量,有利于小麦抵御低温冷害,减轻了受损程度。本试验中,喷施新美洲星和 6-BA 后小麦穗粒数、千粒重和平均盆栽产量都有一定程度增加。说明新美洲星和 6-BA 都能有效减轻低温胁迫对小麦产量形成的影响,有利于小麦高产稳产。

参考文献:

[1]Sun F(孙 富), Yang L T(杨丽涛), Xie X N(谢晓娜), et al. Effect of chilling stress on physiological metabolism in chloroplasts of seedlings of sugarcane varieties with different chilling resistance [J]. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2012, 38 (4): 732-739(in Chinese with English abstract).

[2]Guan Y N(关雅楠), Huang Z L(黄正来), Zhang W J(张文静), et al. Effects of low temperature stress on photosynthetic performance of different genotypes wheat cultivars [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, 24

- (7);1895-1899(in Chinese with English abstract).
- [3] Yamori W, Noguchi K, Terashima I. Temperature acclimation of photosynthesis in spinach leaves; analyses of photosynthetic components and temperature dependencies of photosynthetic partial reactions [J]. *Plant Cell and Environment*, 2005, 28(4):536-547.
- [4] Zhang S W, Miao F, Wang C F. Low temperature wheat germplasm and its leaf photosynthetic traits and structure characteristics [J]. *Progress in Natural Science*, 2004, 14(6):483-488.
- [5] Stefanowska M, Kuras M, Kacperska A. Low temperature-induced modifications in cell ultra structure and localization of phenolics in winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera* L.) leaves [J]. *Annals of Botany*, 2002, 90(5):637-645.
- [6] Xu S(徐胜), Li J L(李建龙), He X Y(何兴元), et al. Research advances in thermo-tolerance regulation of cool-season turfgrass [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2006, 17(6):1117-1122(in Chinese with English abstract).
- [7] Nayyara H, Bains T S, Kumara S. Chilling stressed chickpea seedlings; Effect of cold acclimation, calcium and abscisic acid on cryoprotective solutes and oxidative damage [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 54:275-285.
- [8] Yu X H(于锡宏), Jiang X M(蒋欣梅), Diao Y(刁艳), et al. Effect of ABA, SA and CaCl<sub>2</sub> on cold tolerance of tomato seedlings [J]. *Journal of Northeast Agricultural University(东北农业大学学报)*, 2010, 41(5):42-45(in Chinese with English abstract).
- [9] Liu G Q(刘国强), Wu J C(吴锦程), Zhu Y(朱颖), et al. Effect of salicylic acid on some physiological and biochemical indexes in young loquat fruits under low temperature stress [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops(热带作物学报)*, 2009, 30(3):254-258(in Chinese with English abstract).
- [10] Wang Y H(王友华), Liu J J(刘佳杰), Chen B L(陈兵林), et al. Physiological mechanisms of growth regulators 6-BA and ABA in mitigating low temperature stress of cotton fiber development [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2011, 22(5):1233-1239(in Chinese with English abstract).
- [11] Aroca R, Vernieri P, Irigoyen J J, et al. Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress [J]. *Plant Science*, 2003, 165:671-679.
- [12] Xu Q M(徐秋曼), Chen H(陈宏). Study on the mechanism of improvement cool proof of wheat seedlings treated with PP333 [J]. *Journal of Tianjin Normal University; Natural Science(天津师范大学学报:自然科学版)*, 2006, 26(1):25-27(in Chinese with English abstract).
- [13] Kraus T E, Fletcher R A. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved? [J]. *Plant Cell Physiology*, 1994, 35:45-52.
- [14] Dong Y H(董永华), Shi J P(史吉平), Zhou H X(周慧欣). Effect of 6-BA on drought resistance in wheat seedlings [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报)*, 1999, 5(1):72-75(in Chinese with English abstract).
- [15] Wang Y, Yang Z M, Zhang Q F, et al. Enhanced chilling tolerance in *Zoysia matrella* by pretreatment with salicylic acid, calcium chloride, hydrogen peroxide or 6-benzylaminopurine [J]. *Biologia Plantarum*, 2009, 53(1):179-182.
- [16] Yang F F(杨芳芳), Zhang G B(张国斌), Jie J M(颀建明), et al. Effects of 6-BA pretreatment on chlorophyll fluorescence parameter and lipid peroxidation in pepper seedlings under low temperature and weak light stress [J]. *Plant Physiology Communications(植物生理学通讯)*, 2009, 45(6):575-578(in Chinese with English abstract).
- [17] Ma L(马连). Effects of spraying New American Stars on yield of wheat [J]. *Modern Agricultural Science and Technology(现代农业科技)*, 2013(17):34-37(in Chinese with English abstract).
- [18] He J(何洁), Liu H X(刘鸿先), Wang Y R(王以柔), et al. Effects of low temperature stress on photosynthesis of plants [J]. *Plant Physiology Communications(植物生理学通讯)*, 1986, 25(2):1-6(in Chinese).
- [19] Bertamini M, Zulini L, Muthuchelian K, et al. Low night temperature effects on photosynthetic performance on two grapevine genotypes [J]. *Biologia Plantarum*, 2007, 51:381-385.
- [20] Xu T J(徐田军), Dong Z Q(董志强), Lan H L(兰宏亮), et al. Effects of PASP-KT-NAA on photosynthesis and antioxidant enzyme activities of maize seedlings under low temperature stress [J]. *Acta Agronomica Sinica(作物学报)*, 2012, 38(2):352-359(in Chinese with English abstract).
- [21] Hui H X(惠红霞), Xu X(许兴), Li Q R(李前荣). Exogenous betaine improves photosynthesis of *Lycium barbarum* under salt stress [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica(西北植物学报)*, 2003, 23(12):2137-2142(in Chinese with English abstract).
- [22] Ma N(马霓), Liu D(刘丹), Zhang C L(张春雷), et al. Regulation effects of exogenous hormones on growth and photosynthesis and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) after frozen [J]. *Acta Agronomica Sinica(作物学报)*, 2009, 35(7):1336-1343(in Chinese with English abstract).
- [23] Chen J M(陈建明), Yu X P(俞晓平), Cheng J A(程家安), et al. The application of chlorophyll fluorescence kinetics in the study of physiological responses of plants to environmental stresses [J]. *Acta Agricultural Zhejiangensis(浙江农业学报)*, 2006, 18(1):51-55(in Chinese with English abstract).
- [24] Downes B P, Crowell D N. Cytokinin regulates the expression of a soybean  $\beta$ -expansin gene by a post-transcriptional mechanism [J]. *Plant Molecular Biology*, 1998, 37:437-444.
- [25] Li T L(李天来), Liu Y F(刘玉凤), Song L Y(宋礼毓). Effect of sub-low night temperature treatment and recovery on the photoinhibition of tomato leaves [J]. *Acta Horticulturae Sinica(园艺学报)*, 2008, 35(7):1003-1010(in Chinese with English abstract).