

文章编号: 1005-0906(2013)03-0052-05

化学药剂处理对灌浆期低温条件下玉米光合特性及产量的影响

祁利潘, 陶洪斌, 周祥利, 吴景玉, 赵丽晓, 王 璞

(中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘要: 研究灌浆期低温条件下, 喷施脱落酸、甜菜碱和水杨酸对玉米灌浆中后期光合特性及产量的影响。结果表明, 喷施脱落酸降低了叶片的净光合速率, 低、中浓度脱落酸处理提高了 PS II 的光化学效率(F_v/F_m), 高浓度处理使 PS II 的光化学效率降低, 脱落酸处理使产量下降 8.0%~14.6%; 喷施甜菜碱增加了叶片的净光合速率和 PS II 光化学效率, 甜菜碱处理使产量提高 0.9%~6.9%; 喷施水杨酸可有效维持并提高玉米叶片的光合性能, 除中浓度处理产量较对照增加 1.4% 之外, 其他浓度处理产量下降 1.2%~3.4%。喷施脱落酸、甜菜碱和水杨酸主要通过调节千粒重来实现对产量的调控, 其中, 高浓度甜菜碱(10 mmol/L)在提高光合能力和产量方面表现最优。

关键词: 玉米; 低温胁迫; 化学调控; 光合特性; 产量

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Chemical Regulation on Maize Photosynthesis and Yield under Low Temperature Stress during Grain Filling Stage

Qi Li-pan, TAO Hong-bin, ZHOU Xiang-li, WU Jing-yu, ZHAO Li-xiao, WANG Pu

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Field experiment was conducted to compare the effect of three chemicals on leaves photosynthesis and grain yield of maize growing under low temperature stress during grain filling stage. The main results showed that spraying of abscisic acid (ABA) reduced the net photosynthesis rate, 30 $\mu\text{mol/L}$ and 10 $\mu\text{mol/L}$ improved the PS II photochemical efficiency (F_v/F_m), while 60 $\mu\text{mol/L}$ ABA decreased the PS II photochemical efficiency, and spraying of ABA decreased grain yield by 8.0% - 14.6%. The spraying of betaine increased leaves net photosynthesis rate and PS II photochemical efficiency, and spraying of betaine increased yield by 0.9% - 6.9%. Salicylic acid enhanced leaves photosynthesis effectively, but decreased yield by 1.2% - 3.4% with the exception of 0.5 mmol/L. Generally, grain yield was mainly affected due to the regulation on grain weight by spraying of chemicals. High concentration of betaine (10 mmol/L) was the optimal treatment concerning the improving of the leaves photosynthesis and grain yield.

Key words: Maize; Low temperature stress; Chemical regulation; Photosynthesis; Yield

农作物低温冷害是我国北方地区主要农业气象灾害之一, 在东北地区发生尤为严重和频繁^[1]。东北地区冷害以延迟性冷害为主, 即整个生育期内热量不足, 致使玉米生育期滞后, 抽雄延迟, 使灌浆期处

于较低温度, 一般在秋霜前玉米不能正常成熟而减产。一般每隔 3~5 年有一次严重的低温冷害, 低温冷害导致东北大部分地区玉米单位面积产量减产 10% 以上, 严重年份减产 15% 以上^[2]。

灌浆期低温会降低玉米有效光合叶面积, 光合速率下降, 减弱干物质生产能力, 造成了源的不足, 从而产量降低^[3-4]。已有研究表明, 应用植物生长调节剂及其他化学物质处理可有效提高玉米抵御低温能力^[5-9], 主要集中于抗氧化酶系统活性的提高, 对生育后期提高光合性能影响产量的研究较少。本试验通过大田推迟播种以创建灌浆期低温环境, 以不同

收稿日期: 2012-06-18

基金项目: 国家现代玉米产业技术体系(CARS-02-26)

作者简介: 祁利潘(1987-), 女, 河北石家庄人, 硕士。

E-mail: mynameisqlp@126.com

王 璞为本文通讯作者。E-mail: wangpu@cau.edu.cn

浓度的脱落酸(ABA)、甜菜碱(GB)、水杨酸(SA)于玉米灌浆中期进行喷施,研究化学药剂调节玉米光合特性及产量进而缓解灌浆期低温胁迫的作用,探索低温胁迫条件下稳定玉米产量的有效化控技术。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及供试材料

试验在中国农业大学上庄实验站进行(39°54'N, 116°24'E)。试验地土壤为砂质壤土,0~20 cm 土壤含有机质 11.18 g/kg、全氮(N)1.20 g/kg、速效磷(P) 10.32 mg/kg、速效钾(K)103.13 mg/kg。

供试品种选用夏玉米杂交种郑单 958。供试试剂为脱落酸、甜菜碱、水杨酸。

1.2 试验设计及田间管理

试验使用脱落酸、甜菜碱、水杨酸 3 种药剂处理植株,每种药剂下设 3 种喷施浓度,脱落酸(ABA)浓度为 10、30、60 $\mu\text{mol/L}$;甜菜碱(GB)浓度为 1、5、10 mmol/L;水杨酸(SA)浓度为 0.1、0.5、1 mmol/L。于玉米灌浆中期(吐丝后 25 d)进行叶面喷施,药剂由上到下整株均匀喷施,同期喷清水为对照。

于 2011 年 7 月 1 日播种,10 月 22 日收获。密度为 67 500 株 hm^2 。氮肥(尿素)施用量为 180 kg/ hm^2 ,

分基肥和大喇叭口期追肥 2 次施用,基追比为 1:2;钾肥(硫酸钾)和磷肥(过磷酸钙)均为一次性基施,施肥量分别为 K_2O 90 kg/ hm^2 、 P_2O_5 90 kg/ hm^2 。其他按常规大田管理。3 次重复,小区面积 42 m^2 (6 m \times 7 m),10 行区,行距 60 cm。

1.3 测定方法与数据统计

在药剂喷施前 1 d 和喷施后 7 d 用 LI-6400 光合仪测定玉米棒三叶的净光合速率。药剂喷施 7 d 后用便携式叶绿素荧光仪(PAM, 2000 Walz, Germany)测定玉米穗位叶叶绿素荧光参数。每小区收获内侧 4 行 \times 5 m 测产。

采用 SAS version 8e 软件和 Microsoft Excel 2007 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 灌浆期温度分析

试验利用晚播手段创建灌浆期低温,灌浆期(50 d)平均温度为 20.8 $^{\circ}\text{C}$,灌浆前期(吐丝-吐丝 25 d)平均温度为 23.6 $^{\circ}\text{C}$;灌浆中后期(吐丝 25~50 d)平均温度为 18.1 $^{\circ}\text{C}$ (表 1)。灌浆期温度低于玉米适宜灌浆期温度 22 $^{\circ}\text{C}$ ~24 $^{\circ}\text{C}$ ^[10]。本研究气象数据来自中国气象科学数据共享服务网平台。

表 1 北京上庄试验站灌浆期温度与东北部分地区灌浆期温度的比较
Table 1 The temperature comparison between Shangzhuang experiment station in Beijing and parts of northeast of China during grain filling stage $^{\circ}\text{C}$

温度 Temperature	灌浆期(吐丝-吐丝 50 d) Whole grain filling stage				灌浆前期(吐丝-吐丝 25 d) Early grain filling stage				灌浆中后期(吐丝 25~50 d) Later grain filling stage			
	上庄	桦甸	乾安	公主岭	上庄	桦甸	乾安	公主岭	上庄	桦甸	乾安	公主岭
最高温度	26.1	24.3*	25.6*	26.4	28.8	26.4*	27.4*	27.8*	23.6	22.4*	23.8	25.1*
最低温度	16.1	12.6*	14.8*	16.4	18.9	16.1*	17.8*	18.9	13.2	9.4*	11.9*	13.9
平均温度	20.8	17.7*	19.9*	21.2	23.6	20.5*	22.4*	23.1	18.1	15.0*	17.5	19.3*
有效积温	544.0	384.0*	497.0*	560.0	339.0	263.0*	309.0*	328.0	203.0	156.0*	188.0	232.0*

注: * 表示与上庄差异显著, $\alpha=0.05$, 东北吐丝日期参考李梁博士论文^[11]。

Note: Values followed by* were significantly different with Shangzhuang at 0.05 level, the silking Date in the Northeast of China reference

Li Liang doctor thesis.

利用中国气象局采集的东北 3 个地区 20 年间的历史气象数据^[12]与北京进行配对分析得出,上庄灌浆期温度高于桦甸和乾安地区,与公主岭地区基本一致,在灌浆中后期温度低于公主岭地区。上庄灌浆期和灌浆前期的最低温度、平均温度、有效积温与公主岭地区无显著差异;灌浆中后期的平均温度、有效积温显著低于公主岭地区。采取延期播种的方法,可以在上庄试验站模拟东北公主岭地区及其以南地区的灌浆后期低温环境。

2.2 化学药剂对灌浆期低温条件下玉米光合特性的影响

2.2.1 化学药剂对灌浆期低温条件下玉米净光合速率的影响

药剂喷施前 1 d 各处理玉米棒三叶的净光合速率无显著性差异(表 2)。喷水后 7 d 的净光合速率较喷水前 1 d 上升 8.4%。喷施脱落酸后随浓度升高各处理叶片净光合速率较对照分别下降 8.5%、19.4%、20.2%,且中、高浓度脱落酸处理与对照差异显著;

喷施甜菜碱后随浓度升高各处理叶片净光合速率较对照分别增加 16.3%、31.8%、40.3%，且随喷施浓度的增加而上升，中、高浓度甜菜碱与对照差异显著；喷施水杨酸后随浓度升高各处理叶片净光合速率较对照分别增加 2.3%、39.5%、74.4%，且随喷施浓度的增加而上升，中、高浓度水杨酸与对照差异显

著。在提高净光合速率方面，选取各药剂的最优浓度进行比较，10 mmol/L 甜菜碱、1 mmol/L 水杨酸显著提升了叶片的净光合速率，而 10 μ mol/L 脱落酸无明显作用。低温胁迫下，喷施 10 mmol/L 甜菜碱和 1 mmol/L 水杨酸能够有效维持并提高玉米棒三叶的净光合速率。

表 2 不同药剂浓度对灌浆期低温条件下玉米棒三叶净光合速率的影响

Table 2 Photosynthesis rate of maize three ear leaves under chilling stress after treated with different types and concentrations of chemicals

药剂处理 Chemical treatment	药剂浓度 Chemical concentration	喷施前 1 d 1 day before spray	喷施后 7 d 7 day after spray	比对照 \pm (%) Compared with CK
脱落酸(ABA)	10 μ mol/L	13.2 a	11.8 a	-8.5
	30 μ mol/L	12.2 a	10.4 b	-19.4
	60 μ mol/L	12.1 a	10.3 b	-20.2
清水		11.9 a	12.9 a	
甜菜碱(GB)	1 mmol/L	11.5 a	15.0 ab	16.3
	5 mmol/L	12.0 a	17.0 a	31.8
	10 mmol/L	12.8 a	18.1 a	40.3
清水		11.9 a	12.9 b	
水杨酸(SA)	0.1 mmol/L	12.5 a	13.2 b	2.3
	0.5 mmol/L	12.6 a	18.0 a	39.5
	1.0 mmol/L	12.6 a	22.5 a	74.4
清水		11.9 a	12.9 b	

注：表中同列数据同种药剂后不同字母表示不同药剂浓度间 0.05 水平差异显著。下表同。

Note: Values followed by different letters within each column and chemical indicated significantly different at 0.05 level with different concentrations of chemicals. The same below.

表 3 不同药剂对灌浆期低温条件下玉米棒三叶净光合速率的影响

Table 3 Photosynthesis rate of maize three ear leaves under chilling stress after treated with different types of chemicals

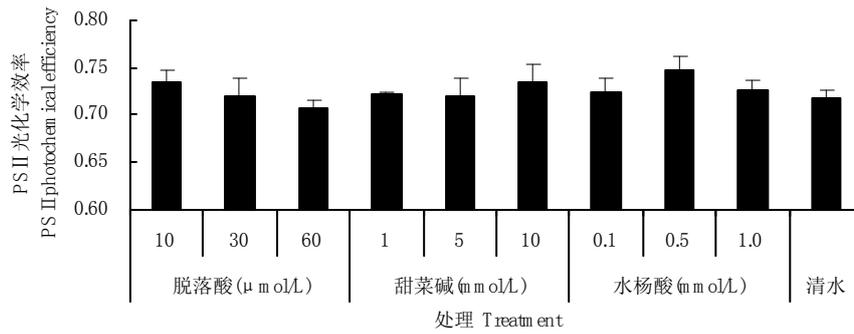
药剂 Chemical	药剂浓度 Chemical concentration	喷施前 1 d 1 day before spray	喷施后 7 d 7 days after spray	比对照 \pm (%) Compared with CK
脱落酸(ABA)	10 μ .mol/L	13.2 a	11.8 b	-8.5
甜菜碱(GB)	10 mmol/L	12.8 a	18.1 a	40.3
水杨酸(SA)	1 mmol/L	12.6 a	22.5 a	74.4
清水		11.9 a	12.9 b	

2.2.2 化学药剂对灌浆期低温条件下玉米叶绿素荧光的影响

PS II 光化学效率(F_v/F_m) 表示光反应中心 PS II 原初光能转化效率，反应了环境胁迫对 PS II 的影响。原初光能转化效率的提高有利于光合色素把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能，从而提高光合效率并增加光合产量^[13]。

与对照相比，除喷施高浓度脱落酸降低叶片 PS II 的光化学效率以外，其他各处理均不同程度提高了叶片 PS II 的光化学效率(图 1)。随脱落酸喷施

浓度的增加，叶片 PS II 的光化学效率呈下降趋势，低、中浓度分别较对照增加了 2.3%、0.4%，高浓度较对照降低 1.4%，且低浓度与对照差异显著；随甜菜碱喷施浓度的增加，叶片 PS II 的光化学效率分别增加 0.5%、0.1%和 2.4%，高浓度与对照差异显著；喷施中浓度水杨酸显著增加了 PS II 的光化学效率，较对照增加 4%，低、高浓度水杨酸分别较对照增加 0.5%、0.1%，且与对照差异不显著。喷施 10 μ mol/L 脱落酸、10 mmol/L 甜菜碱、0.5 mmol/L 水杨酸处理较对照显著增加了叶片 PS II 的光化学效率。

图1 化学药剂对灌浆期低温条件下玉米穗位叶 PS II 光化学效率(F_v/F_m)的影响Fig.1 PS II photochemical efficiency (F_v/F_m) of maize ear leaves under chilling stress after treated with different types and concentrations of chemicals

2.3 化学药剂对灌浆期低温条件下玉米产量的影响
各药剂处理对产量影响不同(表 4)。在设置浓度范围内,随脱落酸浓度的升高产量先下降后增加;随甜菜碱浓度的升高产量增加;随水杨酸浓度的升高产量先增加后下降。与对照相比,喷施脱落酸后随浓度的增加产量分别降低了 0.8%、14.6%、8.0%;喷施甜菜碱后随浓度的增加产量分别提高了 0.8%、4.2%、6.9%;喷施低、高浓度水杨酸后产量分别降低了 3.4%、1.2%,喷施中浓度水杨酸后产量增加了 1.4%。由此可知,低浓度脱落酸、高浓度甜菜碱、

中浓度水杨酸在增产效果方面为设置药剂的最优浓度。

各药剂处理对产量构成因素的影响也不同。各处理的单位面积穗数与对照差异不显著。除脱落酸中、高浓度处理的穗粒数与对照相比显著降低 8.8%、6.1%以外,其他各处理与对照差异不显著。与对照相比,脱落酸中浓度处理下千粒重显著降低 5.6%;甜菜碱高浓度处理下千粒重显著增加 6.0%;水杨酸低浓度处理下千粒重显著降低 5.6%;其他处理千粒重与对照差异不显著。

表 4 不同药剂浓度对灌浆期低温条件下玉米产量及其构成因素的影响

Table 4 Yield and yield components of maize during chilling stress after treated with different types and concentrations of chemicals

药剂 Chemical	药剂浓度 Chemical concentration	穗数(穗/hm ²) Number of ear	穗粒数(粒) Grains per ear	千粒重(g) 1 000-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
脱落酸(ABA)	10 μmol/L	64 455 a	444 ab	235 a	6 488 a
	30 μmol/L	63 930 a	429 bc	220 b	5 700 b
	60 μmol/L	63 900 a	417 c	239 a	6 060 ab
清水		63 555 a	457 a	233 a	6 540 a
甜菜碱(GB)	1 mmol/L	63 210 a	451 a	233 b	6 600 ab
	5 mmol/L	63 375 a	454 a	239 ab	6 825 ab
	10 mmol/L	65 040 a	460 a	247 a	7 028 a
清水		63 555 a	457 a	233 b	6 540 ab
水杨酸(SA)	0.1 mmol/L	62 070 a	456 ab	220 b	6 323 c
	0.5 mmol/L	62 355 a	467 a	233 a	6 630 a
	1.0 mmol/L	63 105 a	450 b	227 ab	6 458 b
清水		63 555 a	457 ab	233 a	6 540 ab

表 5 不同药剂对灌浆期低温条件下玉米产量及其构成因素的影响

Table 5 Yield and yield components of maize during chilling stress after treated with different types of chemicals

药剂 Chemical	药剂浓度 Chemical concentration	穗数(穗/hm ²) Number of ear per	穗粒数(粒) Grains per ear	千粒重(g) 1 000-grain weight	产量(kg/hm ²) Yield
脱落酸(ABA)	10 μmol/L	64 455 a	444 b	235 ab	6 488 b
甜菜碱(GB)	10 mmol/L	65 040 a	460 a	247 a	7 028 a
水杨酸(SA)	0.5 mmol/L	62 355 a	467 ab	233 b	6 630 b
清水		63 555 a	457 ab	233 b	6 540 b

选取各药剂的最高产量浓度处理进行比较可知,10 mmol/L 甜菜碱较对照产量增加显著,其他药剂与对照差异不显著,且甜菜碱处理的产量显著高于脱落酸和水杨酸处理。各处理与对照相比,穗数和穗粒数差异不显著,甜菜碱较对照显著增加了子粒的千粒重,脱落酸和水杨酸处理的千粒重与对照差异不显著(表 5)。

3 结论与讨论

本试验结果表明,不同药剂处理对灌浆期低温条件下玉米的光合特性影响不同。喷施脱落酸降低了叶片的净光合速率,高浓度脱落酸处理降低了 PS II 的光化学效率。研究表明,ABA 增强植物的抗逆性与 ABA 诱导抗氧化防御系统有关^[4],也有研究表明,脱落酸处理抑制了玉米幼苗的生长与光合作用^[5]。在低温胁迫条件下,甜菜碱通过保持 PS II 复合体蛋白的稳定性来保持光系统的活性^[6]。本试验中甜菜碱处理增加了叶片的净光合速率和 PS II 的光化学效率,能够有效维持并提高玉米的光合性能,水杨酸能够有效维持并提高叶片的净光合速率和 PS II 的光化学效率,提高其低温耐性。

本试验中药剂喷施调控产量主要通过调节千粒重实现。低浓度脱落酸处理的光合能力在设置浓度中降低幅度最小,光合产物积累相对增加;高浓度处理促使叶片衰老,子粒千重较对照增加了 2.6%,这与王纪华等研究外源施用脱落酸使千粒重增加的结果一致^[7]。中浓度脱落酸处理显著降低了子粒千粒重,这是因为中浓度脱落酸处理既降低了叶片的光合能力,又不能有效促进干物质向子粒转运,因此千粒重最低。甜菜碱各处理有效促进了光合性能进而使千粒重增加。水杨酸促进了光合速率,但千粒重较对照并未增加,这可能是由于水杨酸有延缓叶片衰老的功能^[8],导致干物质不能有效地向子粒转运,这点还有待于讨论。

本试验针对北方春玉米区生育后期低温影响玉米光合与子粒灌浆成熟的问题,运用化学调控的方法减轻低温对玉米生长的影响。试验表明,适当喷施

化学药剂可减轻灌浆中后期低温带来的伤害,增强叶片的光合能力,提高子粒干重,从而达到提高产量的目的。

参考文献:

- [1] 马树庆,刘玉英,王琪.玉米低温冷害动态评估和预测方法[J].应用生态学报,2006,17(10):1905-1910.
- [2] 马树庆,袁祝香,王琪.中国东北地区玉米低温冷害风险评估研究[J].自然灾害学报,2003,12(3):137-141.
- [3] 张毅,顾慰连,戴俊英.低温对玉米光合作用、超氧化物歧化酶活性和子粒产量的影响[J].作物学报,1992,18(5):397-400.
- [4] 李月梅,马莹莹,杨英良,等.低温对玉米光合和呼吸作用的影响及与冷害关系的研究[J].黑龙江农业科学,1997(12):4-8.
- [5] Farooq M, Aziz T, Hussain M, et al. Glycinebetaine improves chilling tolerance in hybrid maize[J]. Agronomy & Crop Science, 2008, 194: 152-160.
- [6] 张富平,张蕊.低温下外源水杨酸对玉米幼苗保护酶活性的影响[J].玉米科学,2007,15(4):83-85.
- [7] 黄丽华,黄晓伟,麦焕钿.水杨酸对玉米幼苗抗寒性的影响[J].作物杂志,2005(5):16-17.
- [8] 王志斌,葛云侠,王建民,等.水杨酸和赤霉素复配剂对低温下玉米光合特性的影响[J].玉米科学,2010,18(6):43-45.
- [9] 刘伟,艾希珍,梁文娟,等.低温弱光下水杨酸对黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J].应用生态学报,2009,20(2):441-445.
- [10] 胡昌浩.玉米栽培生理[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [11] 李梁.吉林省不同生态类型区春玉米生长发育特征及产量差异分析[D].北京:中国农业大学博士论文,2011.
- [12] China meteorological data sharing service system[EB]. <http://cdc.cma.gov.cn/>[2012-10-9].
- [13] 周祥利,陶洪斌,李梁,等.花后水分亏缺对玉米叶绿素荧光动力学参数及产量的影响[J].华北农学报,2010,25(6):187-190.
- [14] Jiang MY, Zhang J H. Abscisic acid and antioxidant defense in plant Cells[J]. Acta. Botanica Sinica, 2004, 46(1): 1-9.
- [15] 贾虎森.外源 ABA 对玉米幼苗光抑制的调节[D].北京:中国科学院研究生院(植物研究所)博士论文,2003.
- [16] 孟凤,郁松林,郑强卿,等.甜菜碱与植物抗逆性关系之研究进展[J].中国农学通报,2008,4(24):225-228.
- [17] 王纪华,王树安,赵冬梅,等.玉米子粒发育的调控研究 II - 田间条件下的源库调节机理探讨[J].玉米科学,1995,3(3):47-50.
- [18] 李惠民,贺军民.水杨酸对离体小麦叶片衰老的影响[J].安徽农业科学,2008,36(6):2211-2212.

(责任编辑:胡娟)