文章编号：1005-0906(2014)03-0077-04

烟嘧磺隆对糯玉米光合特性和叶绿素荧光参数的影响

胡海军,史振声,吕香玲,于艳杰,
郭佳丽,吕颖颖,李致闻
(沈阳农业大学特种玉米研究所,沈阳 110866)

摘 要：以沈糯 509 抗、不抗近等基因系为试材,研究烟嘧磺隆除草剂对玉米光合色素含量、叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响。结果表明,烟嘧磺隆处理使沈糯 509 抗、不抗近等基因系的叶绿素含量、净光合速率和 PSⅡ光化学效率等均不同程度的降低,使胞间 CO_2 浓度和非光化学猝灭系数呈升高趋势,且表现出一定的剂量-效应关系。在供试浓度范围内,抗系各参数变化幅度均小于不抗系,说明抗系具有较强的光合调节机制,用以减轻或消除烟嘧磺隆的胁迫反应。

关键词：糯玉米;近等基因系;烟嘧磺隆;光合特性;荧光参数
中图分类号：S513.01 文献标识码：A

Effect of Herbicide Nicosulfuron on Photosynthesis Traits and Chlorophyll Fluorescence Parameters of Wax Maize

HU Hai-jun, SHI Zhen-sheng, LÜ Xiang-ling, YU Yan-jie,
GUO Jia-li, LÜ Ying-ying, LI Zhi-wen
(*Specialty Maize Institute, Shenyang Agricultural University , Shenyang* 110866, China)

Abstract: Using Nicosulfuron-resisted and Nicosulfuron-sensitive near-isogenic lines of wax maize Shennuo R-509, S-509 as materials to research photosynthetic pigment contents, photosynthetic traits and chlorophyll fluorescence parameters within paired near-isogenic lines. The results showed that Nicosulfuron caused the decline of photosynthetic pigment content, photosynthesis rate and primary light energy in leaves of wax maize, but intercellular CO_2 concentration and non-photochemical quenching increased gradually. All parameters of R-509 showed little change than S-509. It indicated that R-509 might had photosynthetic regulation mechanism in some degree under herbicide stress, and there was a certain difference between the Nicosulfuron-resisted and Nicosulfuron-sensitive near-isogenic lines in tolerating to herbicide Nicosulfuron stress.

Key words: Wax maize; Nicosulfuron; Near-isogenic line; Photosynthesis trait; Chlorophyll fluorescence parameter

烟嘧磺隆是一种高效、低毒、强选择性、内吸性磺酰脲类除草剂，因其可在玉米苗后有效防除 1 年生或多年生杂草,而倍受农民欢迎[1,2]。人们在防除杂草的同时却忽视了除草剂对玉米生长发育的影响。已有研究表明，除草剂对目标作物的净光合速率和气孔导度均有不同程度的影响，会降低作物的光合速率和叶绿素含量,最终导致产量下降[3,4]。因此,研究烟嘧磺隆除草剂对玉米光合特性及叶绿素荧光参数的影响,对除草剂的安全使用具有重要意义。

本试验以糯玉米抗感近等基因系为试材，通过不同浓度烟嘧磺隆处理,对抗、不抗近等基因系苗期

收稿日期：2013-04-08
基金项目："十二五"国家科技支撑计划项目"东北平原南部(辽宁)春玉米水稻持续丰产高效技术集成创新与示范"(2011BAD16B12)、辽宁省科技厅重大、重点项目"玉米高产、优质、多抗新品种选育"(011201018)
作者简介：胡海军(1983-),男,博士,主要从事玉米遗传育种研究。Tel:13998228634 E-mail:huhaijun234@126.com
史振声为本文通讯作者。E-mail:shi.zhensheng@163.com

的叶绿素含量、光合速率及荧光参数等方面的差异进行研究，为玉米抗烟嘧磺隆生理及抗性育种等方面研究提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

玉米品种：沈糯509抗、不抗近等基因系，由沈阳农业大学特种玉米研究所选育并提供。

1.2 药剂

除草剂：4%烟嘧磺隆悬浮剂，由日本石原产业株式会社生产；

其他试剂：均为国药集团化学试剂有限公司分析纯试剂。

1.3 试验设计

试验于2012年在沈阳农业大学试验基地进行。采用随机区组设计，行长2 m，株距10 cm，行距60 cm，4行区。烟嘧磺隆设8个浓度，分别为8、20、40、80(推荐剂量)、160、240、320、400 mg/kg，以喷施等量清水为对照，每个处理3次重复。在5～6叶期进行喷施，处理后第3天进行各指标测定。

1.4 测定项目与方法

采用乙醇和丙酮(1∶1)混合浸提法[5]测定叶绿素含量；采用美国Li-6400便携式光合测定仪测定净光合速率(*P*n)、气孔导度(*G*s)、细胞间CO_2浓度(*C*i)和蒸腾速率(*T*r)等光合参数的变化，植株叶片暗适应30 min后，测定暗适应后叶绿素荧光参数。基础荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)、PSⅡ光化学效率(F_v/F_m)、光化学猝灭(*qP*)和非光化学猝灭(*qN*)。

$F_v=F_m-F_o$

$F_v/F_m=(F_m-F_o)/F_m$

采用DPS软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 烟嘧磺隆对玉米叶片光合色素含量的影响

表1 烟嘧磺隆对玉米叶片光合色素含量的影响

Table 1 Effect of Nicosulfuron on photosynthetic pigment contents of maize leaves

品种 Variety	浓度 (mg/kg) Concentration	叶绿素a (mg/g) Chl a	比CK± (%) Than CK±	叶绿素b (mg/g) Chl b	比CK± (%) Than CK±	总叶绿素 (mg/g) Chl a+b	比CK± (%) Than CK±
沈糯509抗	0 (CK)	1.74		0.36		2.10	
	8	1.75	0.57	0.33	−8.33	2.08	−0.95
	40	1.70	−2.3	0.35	−2.78	2.05	−2.38
	80	1.71	−1.72	0.32	−11.11	2.03	−3.33
	120	1.68	−3.45	0.32	−11.11	2.00	−4.76
	160	1.60	−8.05	0.33	−8.33	1.93	−8.10
	240	1.56	−10.34*	0.33	−8.33	1.89	−10.00*
	320	1.47	−15.52**	0.30	−16.67*	1.80	−14.29**
	400	1.37	−21.26**	0.25	−30.56**	1.62	−22.86**
沈糯509不抗	0 (CK)	1.25		0.22		1.47	
	8	0.88	−29.60**	0.17	−13.64	1.05	−28.57**
	40	0.89	28.80**	0.19	−22.73*	1.08	−26.53**
	80	0.66	−47.20**	0.13	−40.91**	0.79	−46.23**
	120	0.64	−48.80**	0.13	−40.91**	0.77	−47.62**
	160	0.33	−73.60**	0.07	−68.18**	0.40	−72.79**
	240	0.15	−88.00**	0.04	−81.82**	0.19	−87.07**
	320	0.15	−88.00**	0.03	−86.36**	0.18	−87.76**
	400	0.07	−94.40**	0.02	−90.91**	0.09	−93.87**

从表1可以看出，沈糯509抗、不抗近等基因系各光合色素含量对烟嘧磺隆的反应一致，叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量均有不同程度降低，且随浓度的增加其下降幅度加大；不抗系较抗系各光合色素含量的下降幅度更明显。当烟嘧磺隆浓度为8～160 mg/kg时，抗系叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量较对照略有下降，均未达显著水平；不抗系叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量较对照降低29.60%～73.60%、13.64%～68.18%和28.57%～72.79%，均达显著或极显著水平。在烟嘧磺隆浓度

高达 400 mg/kg时,抗系和不抗系总叶绿素含量较对照分别降低 22.86%和 93.87%,均达极显著水平,但抗系的变化幅度明显小于不抗系。说明沈糯 509 抗系对烟嘧磺隆具有更强的适应性。

2.2　烟嘧磺隆对玉米叶片光合特性的影响

表 2 结果表明,随着烟嘧磺隆浓度的增加,*P*n、*G*s 和 *T*r 均呈下降趋势,而 *C*i 呈上升趋势。沈糯 509 抗系的变化幅度明显小于沈糯 509 不抗系。当烟嘧磺隆浓度为 80 mg/kg(田间推荐浓度)时,抗系的 *P*n、*G*s 和 *T*r 与对照相比分别减少 12.97%、27.27%和 16.93%;不抗系的 *P*n、*G*s 和 *T*r 分别减少 35.22%、41.67%和 30.17%,均达显著和极显著水平。说明药剂浓度低于 80 mg/kg时,抗系的光合作用基本不受影响,而不抗系表现出一定程度的药害反应。当烟嘧磺隆浓度为 400 mg/kg 时,抗系和不抗系的净光合速率分别为 21.10 和 1.05 μmol/(m²·s),说明抗系在该浓度下仍能基本保持正常的光合代谢,而不抗系的光合作用已基本停止,甚至出现枯萎死亡。随着烟嘧磺隆浓度的增加,沈糯 509 不抗系的 *C*i 上升幅度明显大于沈糯 509 抗系,表明沈糯 509 不抗系对烟嘧磺隆除草剂的适应能力较差,光合速率急剧下降。沈糯 509 抗系光合作用参数随烟嘧磺隆浓度增加变化幅度相对较小,在高浓度条件下仍能保持较高的光合效率,这可能是其对烟嘧磺隆具有较强忍耐性的原因之一。

表 2　烟嘧磺隆对玉米叶片光合特性的影响

Table 2　Effect of Nicosulfuron on photosynthetic traits of maize leaves

品种 Variety	浓度 (mg/kg) Concentration	净光合速率 [μmol/(m²·s)] *P*n	比 CK± (%) Than CK±	细胞间 CO_2 浓度 [μmol/(m²·s)] *C*i	比 CK± (%) Than CK±	气孔导度 [mmol/(m²·s)] *G*s	比 CK± (%) Than CK±	蒸腾速率 [mmol/(m²·s)] *T*r	比 CK± (%) Than CK±
沈糯 509 抗	0 (CK)	36.23		110.10		0.33		7.56	
	8	35.47	−2.1	112.77	2.43	0.26	−21.21	6.86	−9.26
	40	31.86	−12.06	116.60	5.90	0.24	−27.27	6.34	−16.14
	80	31.53	−12.97	121.97	10.78**	0.24	−27.27	6.28	−16.93
	120	29.93	−17.39	122.87	11.60**	0.23	−30.30	6.40	−15.34
	160	29.27	−19.21	122.90	11.63**	0.22	−33.33*	6.05	−19.97
	240	26.47	−26.94*	122.90	11.63**	0.20	−39.39*	5.73	−24.21
	320	23.90	−34.03*	123.07	11.78**	0.20	−39.39*	5.67	−25.00
	400	21.10	−41.76**	131.37	19.32**	0.18	−45.45*	5.54	−26.72
沈糯 509 不抗	0 (CK)	25.27		153.57		0.24		5.80	
	8	22.43	−11.24*	160.40	4.45	0.18	−25.00**	4.84	−16.55*
	40	18.47	−26.91**	183.67	19.60**	0.15	−37.50**	4.16	−28.28**
	80	16.37	−35.22**	208.07	35.49**	0.14	−41.67**	4.05	−30.17**
	120	15.33	−39.34**	218.17	42.07**	0.13	−45.83**	2.90	−50.00**
	160	9.06	−64.15**	257.23	67.50**	0.11	−54.17**	2.40	−58.62**
	240	7.69	−69.57**	299.80	95.22**	0.05	−79.17**	1.04	−82.07**
	320	3.65	−85.56**	319.40	107.98**	0.03	−87.50**	0.86	−85.17**
	400	1.05	−95.84**	344.00	124.00**	0.01	−95.83**	0.27	−95.34**

2.3　烟嘧磺隆对玉米叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光参数能够准确可靠的探测光合系统原初信息。经烟嘧磺隆处理后,沈糯 509 抗、不抗近等基因系叶绿素荧光参数变化见表 3。PSⅡ光化学效率和光化学猝灭系数均随烟嘧磺隆浓度的增加而降低,且在相同浓度条件下,抗系光合活性高于感系;而非光化学猝灭的变化与上述参数呈相反趋势。说明烟嘧磺隆处理会使沈糯 509 抗、不抗近等基因系的光合作用受到不同程度的抑制,抗系受到抑制的程度小于不抗系;*qN* 逐渐升高,说明天然色素吸收并用于光合作用的光能比例下降,热耗散比列升高,过剩的热能如不能及时耗散将破坏光合作用或造成其失活。烟嘧磺隆处理后,抗系具有较高的 F_v/F_m 和 *qP*,较低的 *qN*,表现为很好的抗性协调。此结果与烟嘧磺隆对光合色素和光合速率的影响基本一致,进一步说明沈糯 509 抗系对烟嘧磺隆具有更强的忍耐性。

表3 烟嘧磺隆对玉米叶绿素荧光参数的影响

Table 3 Effect of Nicosulfuron on chlorophyll fluorescence parameters of maize

品 种 Variety	浓度(mg/kg) Concentration	PSⅡ光化学效率 F_v/F_m	比CK± (%) Than CK±	光化学猝灭系数 qP	比CK± (%) Than CK±	非光化学猝灭系数 qN	比CK±(%) Than CK±
沈糯 509抗	0 (CK)	0.816		0.934		0.467	
	8	0.811	−0.61	0.912	−2.36	0.484	3.64
	40	0.801	−1.84	0.890	−4.71	0.504	7.92
	80	0.798	−2.21	0.875	−6.32*	0.529	13.28*
	120	0.777	−4.78*	0.855	−8.46**	0.569	21.84**
	160	0.758	−7.11**	0.849	−9.10**	0.569	21.84**
	240	0.755	−7.46**	0.799	−14.45**	0.615	31.69**
	320	0.730	−10.54**	0.746	−20.13**	0.650	39.19**
	400	0.717	−12.13**	0.670	−28.27**	0.695	48.82**
沈糯 509不抗	0 (CK)	0.810		0.938		0.472	
	8	0.793	−2.10	0.880	−6.18**	0.489	3.60
	40	0.781	−3.58*	0.869	−7.36**	0.520	10.17**
	80	0.766	−5.43**	0.825	−12.05**	0.540	14.41**
	120	0.747	−7.78**	0.764	−18.55**	0.554	17.37**
	160	0.744	−8.15**	0.612	−34.75**	0.592	25.42**
	240	0.711	−12.22**	0.537	−42.75**	0.621	31.57**
	320	0.683	−15.68**	0.459	−51.07**	0.672	42.37**
	400	0.663	−18.15**	0.394	−57.60**	0.719	52.33**

3 结论与讨论

Peter和Renee等[6,7]研究表明,除草剂能够降低植物叶片中光合色素的含量。本试验结果表明,烟嘧磺隆处理后,沈糯509抗、不抗近等基因系的叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量均降低,且光合色素含量与净光合速率下降趋势基本一致,说明光合色素的减少是引起光合速率降低的重要原因之一。

F_v/F_m是逆境条件下植物发生光抑制的敏感指标[8,9]。本试验中F_v/F_m随烟嘧磺隆浓度的增加而降低,说明玉米叶片在烟嘧磺隆处理后发生了光抑制或PSⅡ复合体受损害;qN升高,表明烟嘧磺隆处理时,玉米有较强的非光化学猝灭机制以耗散过剩的光能,减少对光合机构的破坏,增强对烟嘧磺隆的适应性。随着烟嘧磺隆浓度增加,沈糯509抗系光合色素含量、净光合速率及叶绿素荧光参数的变化幅度均小于沈糯509不抗系,这可能是因为沈糯509抗系具有更强的调节机制。

参考文献:

[1] 李致闻,史振声,吕香玲,等.玉米抗烟嘧磺隆基因研究进展[J].辽宁农业科学,2011(6):32−35.
Li Z W, Shi Z S, Lü X L, et al. Research progress of maize resistance gene to nicosulfuron[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2011(6): 32−35.

[2] 徐加利,王金信.烟嘧磺隆的研究进展[J].农药科学与管理,2007,28(6):35−39.
Xu J L, Wang J X. Areview on research and development of herbicide nicosulfuron[J]. Pesticide Science and Administration, 2007, 28(6): 35−39.

[3] Enrique M N, Susana R G, Jesus C, et al. Growth and photosynthetic responses to copper stress of an invasive cordgrass, Spartina densflora [J]. Marine Environmental Research, 2008, 66: 459−465.

[4] 梁文斌,薛生国,沈吉红,等.锰胁迫对垂序商陆光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J].生态学报,2010,30(3):619−625.
Liang W B, Xue S G, Shen J H, et al. Effects of manganese stress on photosythesis and chlorophyll fluorescence parameters of phytolacca Americana[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(3): 619−625.

[5] 邹 琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.

[6] Peter J R. Herbicide toxicity of Halophila ovalis assessed by chlorophyll fluorescence[J]. Aquatic Botany, 2000, 66: 141−152.

[7] Renee M, Ulrich S, Beate I E, et al. Rapid exposure assessment of PSII herbicides in surface water using a novel chlorophyll a fluorescence imaging assay[J]. Science of the Total Environment, 2008, 401: 51−59.

[8] 郭春芳,孙 云.叶绿素荧光动力学在植物抗性生理研究中的应用[J].福建教育学院学报,2007(7):119−123.
Guo C F, Sun Y. Approches on chlorophyll flurescence kinetics in resistance physiology of plant[J]. Journal of Fujian Institute of Education, 2007(7): 119−123.

[9] 李 晓,冯 伟,曾晓春.叶绿素荧光分析技术及应用进展[J].西北植物学报,2006,26(10):2186−2196.
Li X, Feng W, Zeng X C. Advances in chlorophyll fluorescence analysis and its uses[J]. Acta Bot. Boreal.−Occident. Sin., 2006, 26(10): 2186−2196.

(责任编辑:姜媛媛)