

半湿润区斑地锦入侵后马铃薯的光合响应

王方¹, 马廷蕊², 柳永强¹, 梁慧光², 李掌¹

(1. 甘肃省农业科学院, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学, 作物遗传资源与种质改良重点开放实验室, 甘肃兰州 730070)

摘 要: 试验以无斑地锦入侵条件为对照, 研究半湿润区斑地锦入侵对马铃薯叶片光合色素含量、PSⅡ荧光特性和吸收光能分配的影响。结果表明, 斑地锦入侵后, 马铃薯叶片 5-氨基乙酰丙酸、叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、PSⅡ原初光能转化效率 F_v/F_m 、PSⅡ有效光化学量子产率 F_v'/F_m' 、光化学量子效率 $\Phi_{PSⅡ}$ 、表观光合电子传递速率 ETR、光化学荧光猝灭 qP 和光化学反应百分率 Pc 在各生育期都有不同程度降低, 非光化学荧光猝灭 NPQ 和天然热耗散百分率 Hd 升高, 非光化学耗散百分率 Ex 变化不大; 斑地锦胁迫对马铃薯叶片叶绿素特性、PSⅡ叶绿素荧光活动和吸收光能分配的影响与马铃薯生育期有关, 随生育期推后, 影响加大, 斑地锦胁迫并没有破坏 PSⅡ荧光随生育期的变化规律。

关键词: 马铃薯; 斑地锦; 胁迫; PSⅡ荧光; 光能分配

中图分类号: S532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0059-04

斑地锦 (*Euphorbia supine* Raf.), 大戟科杂草, 一年生匍匐草本, 侵入田间不及时拔除, 很快蔓延, 抑制农作物生长, 影响产量及品质^[1,2], 作为外来入侵杂草, 常在入侵带发生生殖与扩张的能量二次构建, 与本地生物非协同进化, 呈现生理生态优势^[3]。斑地锦在生长过程中, 一方面分泌化感物质^[4]抑制作物生长, 破坏作物生理代谢^[5,6], 另一方面引起入侵带土壤微生物和营养成分的偏利^[7,8], 导致当地植物物种生长受阻^[7], 产量下降, 品质降低^[9]。叶绿素荧光分析是以光合作用理论为基础, 利用叶绿素为天然探针, 研究和探测植物光合生理状况及外界因子对植物影响的新型活体测定和诊断技术, 对研究植物光合作用过程中光能的吸收、传递、耗散、分配有独特作用, 叶绿素荧光参数更能准确反映植物内在特点^[10-11]。近年来, 斑地锦造成长江流域和湘北地区农田生态系统严重破坏^[2], 在云南、陕西^[2]、甘肃南部^[1]随处可见, 严重威胁当地农业生产, 关于斑地锦入侵对当地作物生产影响及对本地生态系统的破坏鲜见报道, 本试验采用人工模拟试验, 研究斑地锦入侵对马铃薯叶绿素荧光特性和吸收光能分配的影响, 旨在探索斑地锦入侵对作物生长影响机制, 为我国农业生产及保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点与材料来源

试验于 2009 年 5~9 月在甘肃农业大学生物信

息学实验室和农业部会川马铃薯资源重点野外科学观测试验站进行。供试马铃薯材料为 2009 年 1 月采收的 LK99 试管薯, 粒径 0.3~0.45 cm, 颗粒饱满; 斑地锦材料为 2008 年 9 月采集的成熟斑地锦种子, 籽粒饱满, 成色一致。

1.2 实验设计与方法

5 月中旬, 选择芽长一致的 LK99 试管薯, 按 6 cm × 9 cm 株行距点播于蛭石苗床, 160 株/m²^[12], 将斑地锦种子消毒催芽, 幼芽顶破种皮后撒播于苗床, 160 苗/m², 以没撒播斑地锦的苗床为对照。各处理重复 3 小区, 小区 1.6 m², 随即排列。各小区浇水、施肥和喷药中的剂量和次数保持一致。

1.3 指标测定

在马铃薯苗期、现蕾期、块茎膨大期选取植株第 3~5 片完全展开叶进行指标测定。5-氨基乙酰丙酸、叶绿素、类胡萝卜素含量测定参考中国科学院植物生理研究所^[13]的方法。叶绿素荧光动力学参数测定参照张其德等^[14]的方法, 将受入侵胁迫的马铃薯植株与对照植株充分暗适 40 min, 用 PAM-2100 型便携式荧光仪在室温水平下测定每株叶片暗适应的 F_v/F_m ; 在 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$ 光量子通量下测定光系统Ⅱ有效光化学量子产量 (F_v'/F_m')、光化学荧光猝灭 (qP)、非光化学荧光猝灭 (NPQ)、表观光合电子传递速率 (ETR), 光化学量子效率 $\Phi_{PSⅡ} = (F_m - F_t)/F_m$ 。PSⅡ吸收光能分配参考周艳虹等^[15]的方法: 天线热耗散百分率 $Hd = 100\% (1 - F_v/F_m)$, 光化

收稿日期: 2011-01-12

基金项目: 甘肃农业科技创新专项 (GSAS1005); 陇原青年创新人才扶持计划项目 (GSYS08-A05)

作者简介: 王方 (1964—), 男, 甘肃渭源人, 副研究员, 研究方向为马铃薯脱毒与生物技术。E-mail: potato@126.com。

通讯作者: 柳永强 (1982—), 男, 庄浪人, 硕士, 研究方向为马铃薯遗传与分子生理。E-mail: ww.potato@163.com。

学反应百分率 $P_c = 100\% (qP \times F_v/F_m)$, PS II 反应中心非光化学耗散百分率 $E_x = 100\% [(1 - qP) \times F_v/F_m]$ 。每个指标测定重复 3 次,取平均值。数据采用 DPS 与 Microsoft Excel 软件分析。

2 结果与分析

2.1 斑地锦胁迫对马铃薯光合色素代谢的影响

从表 1 可以看出,斑地锦入侵后,马铃薯叶片 5-氨基乙酰丙酸、叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素在三个生育期均有不同程度的降低,并且随生育期推后,斑地锦入侵对马铃薯叶片光合色素含量影响

加大。苗期入侵对马铃薯叶片 5-氨基乙酰丙酸和叶绿素 a 含量影响不明显,对叶绿素 b 和类胡萝卜素含量影响在 0.05 水平显著,其含量分别较对照降低 1.29%、3.79%、3.45%、11.11%;现蕾期入侵使 5-氨基乙酰丙酸和叶绿素 a 含量在 0.01 水平显著,叶绿素 b 和类胡萝卜素含量在 0.05 水平显著,其分别较对照低 10.23%、22.78%、12.88%、16.0%;块茎膨大期 4 种光合色素含量在 0.01 水平均达到显著水平,其含量分别较对照低 12.87%、21.10%、21.79%、25%。

表 1 斑地锦入侵对马铃薯不同生育期叶片光合色素含量的影响
Table 1 Influence of *Euphorbia supina* Raf. invasion on potato leaves' photosynthetic pigment content at different growth stage

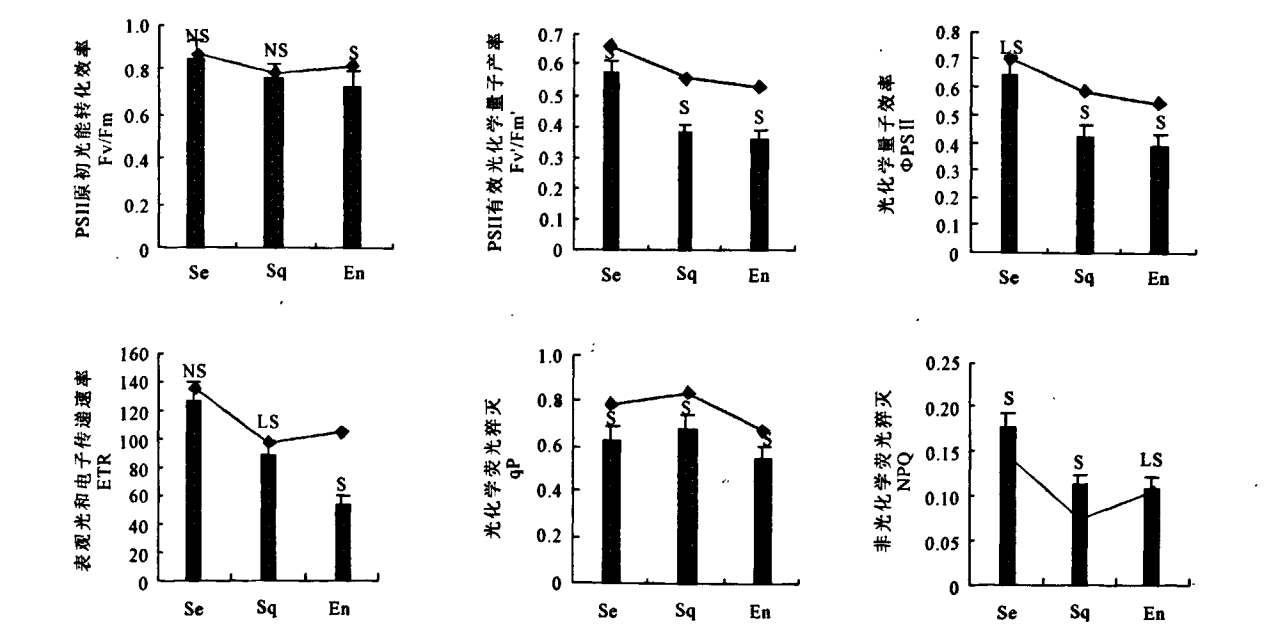
处理 Treatment	5-氨基乙酰丙酸含量 ALA content (FW mg/g)			叶绿素 a 含量 Chl - a content (FW mg/g)			叶绿素 b 含量 Chl - b content (FW mg/g)			类胡萝卜素含量 Cro content (FW mg/g)		
	Se	Sq	En	Se	Sq	En	Se	Sq	En	Se	Sq	En
CK	3.11	3.42	3.03	3.69	3.95	2.18	0.87	1.63	0.78	0.27	0.25	0.12
T	3.07	3.07**	2.64**	3.55	3.05**	1.72**	0.84	1.42*	0.61**	0.24*	0.21*	0.09**

注:CK 指对照,T 指斑地锦入侵处理,Se 指苗期,Sq 指现蕾期,En 指块茎膨大期,* 指 0.05 水平显著,** 指 0.01 水平显著。
Note: CK = control, T = *Euphorbia supina* Raf. invasion treatment, Se = Seedling stage, Sq = Squaring stage, En = tuber enlargement stage, * Significant at 0.05 level, ** Significant at 0.01 level.

2.2 马铃薯 PS II 荧光对斑地锦胁迫的响应

从图 1 可以看出,斑地锦入侵后,马铃薯叶片

F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 、ETR 和 qP 在各生育期都有不同程度的降低,NPQ 相对升高,入侵对苗期马铃薯



注:CK 指对照,T 指斑地锦入侵处理,Se 指苗期,Sq 指现蕾期,En 指块茎膨大期,NS 指不显著,LS 指 0.05 水平显著,S 指 0.01 水平显著。
Note: CK = control, T = *Euphorbia supina* Raf. invasion treatment, Se = Seedling stage, Sq = Squaring stage, En = tuber enlargement stage, NS = No significant, LS = Significant at 0.05 level, S = Significant at 0.01 level

图 1 斑地锦入侵对马铃薯叶片 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 、ETR、 qP 、NPQ 影响

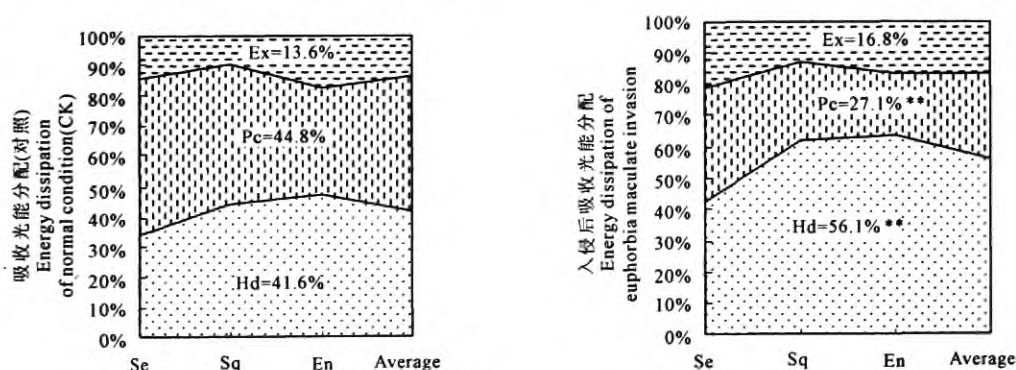
Fig.1 Influence of *Euphorbia supina* Raf. invasion on potato leaves' F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 、ETR、 qP and NPQ

叶片 F_v/F_m 和 ETR 影响不显著,现蕾期与块茎膨大期,对 6 个荧光参数影响显著。现蕾期,入侵对马铃薯叶片 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 和 NPQ 有较大影响,块茎膨大期,对 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 和 ETR 影响较大。并且,斑地锦对马铃薯叶片 PS II 叶绿素荧光活动的影响与马铃薯所在生育期有关,随生育期推后,影响程度加大,现蕾期 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 、ETR 和 qP 较对照条件下降 3.70%、31.60%、29.47%、8.25%、19.40%;块茎膨大期下降 12.36%、31.64%、27.81%、48.08%、18.61%。

2.3 斑地锦胁迫下马铃薯吸收光能分配特性

图 2 表明,从苗期到块茎膨大期,斑地锦入侵后

马铃薯叶片 Pc 平均值为 27.1%,比对照 44.8% 低 17.7%,较对照在 0.01 水平显著, Hd 平均值为 56.1%,比对照 41.6% 高 14.5%,较对照在 0.01 水平显著,入侵对不同时期 Ex 影响不大。斑地锦入侵并没有影响马铃薯叶片 Hd 和 Pc 的变化规律,马铃薯叶片 Hd 从苗期到现蕾期大幅度上升,从现蕾期到块茎膨大期缓慢上升;Pc 从苗期到现蕾期缓慢升高,从现蕾期到块茎膨大期下降。说明,斑地锦入侵对马铃薯吸收光能分配有一定影响,入侵导致马铃薯非光化学反应耗能大幅增加,光化学反应效能减少。



注:CK 指对照,T 指斑地锦入侵处理,Se 指苗期,Sq 指现蕾期,En 指块茎膨大期,* 指 0.05 水平显著,** 指 0.01 水平显著

Note: CK = control, T = *Euphorbia supina* Raf. invasion treatment, Se = Seedling stage, Sq = Squaring stage, En = tuber enlargement stage, * Significant at 0.05 level, ** Significant at 0.01 level

图 2 斑地锦入侵对马铃薯叶片吸收光能分配影响

Fig.2 Influence of *Euphorbia supina* Raf. invasion on potato leaves' absorbed light energy allocation

3 结论与讨论

光合色素是植物捕获利用光能的主要工具,逆境条件下,植物通过叶绿素含量调节增强对光的捕获与利用能力^[10,16]。ALA 可通过调节叶绿素 b/a 来影响植物的捕光能力^[17]。 β -胡萝卜素传递光能和保护叶绿体免受伤害的作用^[10]。本试验发现,斑地锦入侵后,马铃薯叶片 ALA、叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量降低,随生育期推后,其降低幅度增大。说明,斑地锦入侵不但抑制叶绿素合成前体 ALA 的产生,而且对叶绿素合成和转化存在抑制性作用。

PS II 叶绿素荧光为特征的光合电子传递是植物逆境响应的重要信号和抵御逆境胁迫的反应^[16]。PS II 荧光活动中,天线色素分子吸收的光能主要用于反应中心的光化学反应^[18]。正常条件下,PS II 将捕获光能用于光化学反应,形成同化力,推动碳同化反应进行。逆境条件下,PS II 反应中心发生可逆失活,吸收光能不能进行正常光化学反应^[19,20]。本实

验发现,斑地锦入侵后,马铃薯叶片 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、 $\Phi PS II$ 、ETR、qP 和 Pc 在各生育期都有不同程度的降低,Hd 升高。说明作为一种逆境,斑地锦入侵不但使马铃薯对光能的吸收和利用受到影响,而且,入侵使马铃薯应用于光化学反应的吸收光能减少,大部分吸收光能以非光化学荧光猝灭的方式消耗,吸收光能自然热耗散增加。

斑地锦胁迫对马铃薯叶片光合色素代谢、PS II 叶绿素荧光活动和吸收光能分配的影响与马铃薯生育期有关,随生育期推后,影响程度加大。这可能因为,随生育期推后,马铃薯和斑地锦株体增大,对水分、养分、光和空间等要素需求增加,当这些要素不能满足它们生长需求时,生存要素的争夺凸显。作为外来入侵植物的斑地锦,通过分泌化感物质^[4]或诱导土壤微生物^[7]和养分^[8]的偏利,在争夺中占有优势,从而使马铃薯的生理代谢受到影响,进而影响到马铃薯对光能的吸收、利用和分配。

在此提出,这种解释的确切性和斑地锦通过何种方式影响马铃薯叶片色素代谢、PS II 叶绿素荧光

活动和光能分配的效应机制还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 柳永强,张武,王一航,等.斑地锦入侵对马铃薯实生苗生长和活性氧代谢的影响[J].种子,2009,28(9):63—65.
- [2] 顾建中,史小玲,李国红,等.外来入侵植物斑地锦生物学特性及危害特点研究[J].杂草科学,2008,(1):19—22,42.
- [3] Wilsey BJ, Polley HW. Aboveground productivity and root-shoot allocation differ between native and introduced grass species[J]. Oecologia, 2006,(2):300—309.
- [4] 柳永强,马廷蕊,王一航,等.斑地锦入侵对不同生育期马铃薯形态和光特性影响[J].农业现代化研究,2010,31(5):634—637.
- [5] Molly EH, Eric SM. Allelopathic effects and root distribution of Empetraceae on seven rosemary scrub species[J]. American Journal of Botany, 2002,89(7):1113—1118.
- [6] Callaway RM, Ridenour WM. Novel weapons, invasive success and the evolution of increased competitive ability[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004,2(8):436—443.
- [7] Yu XJ, Yu D, Lu ZJ, et al. A new mechanism of invader success: Exotic plants inhibits natural vegetation restoration by change soil microbe community[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(11): 1105—1112.
- [8] Bais HP, Vepachedu R, Gilroy S, et al. Allelopathy and exotic plants invasion: from molecules and genes to species interactions[J]. Science, 2003,122(5):1377—1380.
- [9] Giannopolities CN, Ries SK. Superoxide dismutases, occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 1977,59:309—314.
- [10] Krause GH, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1991,42: 313—349.
- [11] 冯建灿,胡秀丽,毛训甲.叶绿素荧光动力学在研究植物逆生理中的作用[J].经济林研究,2002,20(4):14—18.
- [12] 柳永强,张武,王一航,等.塑模保水集热对马铃薯试管苗移栽适应性影响[J].黑龙江农业科学,2009,(5):38—40.
- [13] 中国科学院上海植物生理研究所.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.
- [14] 张其德,卢从明,冯丽洁,等.CO₂ 加富对紫花苜蓿光合作用原初光能转换的影响[J].植物学报,1996,38(1):77—82.
- [15] 周艳虹,黄黎峰,喻景权.持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J].植物生理与分子生物学报,2004,30(2):153—160.
- [16] 蔡志全,曹坤芳,冯玉龙,等.热带雨林三种树苗叶片光合机构对光强的适应[J].应用生态学报,2003,14(4):493—496.
- [17] Benedetto AHD, Garcia AF. Adoption of ornamental aroids to their indoor light environments[J]. Journal of Horticultural Science, 1992,67:179—188.
- [18] Arnon DI. Copper enzymes isolated chloroplast: polyphenoloxidase in Beta vulgaris[J]. Plant Physiol, 1994,24:1—15.
- [19] Maxwell K, Johnson GN. Chlorophyll fluorescence - a practical guide[J]. J Exp Bot, 2000,51:659—668.
- [20] Lee HY, Hong YN, Chow WS. Photoinactivation of photosystem II complexes and photoprotection by nonfunctional neighbours in capsicum annum leaves[J]. Planta, 2001,212:332—342.

Effect of *Euphorbia supine* Raf. invasion on potato PS II fluorescence characteristics and absorbed light energy allocation

WANG Fang¹, MA Ting-rui², LIU Yong-qiang¹, LIANG Hui-guang², LI Zhang¹

(1. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Agricultural University, Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancement, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: By control with the normal conditions, an experiment was carried out to study the influence of *Euphorbia maculata* invasion on potato leaves' photosynthetic pigment content, PS II fluorescence characteristics and absorbed light energy allocation. The results show that *Euphorbia maculata* invasion decreases potato leaves' ALA content, chlorophyll - a content, chlorophyll - b content, Fv/Fm, Fv'/Fm', ΦPS II, ETR, qP and Pc on different extent, but increases NPQ and Hd, while changes little Ex at different growth stages. The influence of *Euphorbia maculata* invasion on potato leaves' chlorophyll characteristics, PS II chlorophyll fluorescence activity and absorbed light energy allocation is relevant with potato's growth stage, and the influence range increases with the push of growth stage. *Euphorbia maculata* invasion does not break the law that the PS II fluorescence varies with the change of growth stages.

Keywords: potato; *Euphorbia maculata* invasion; PS II chlorophyll fluorescence; absorbed light energy allocation