

豚草锈菌对三裂叶豚草光合生理特性的影响

曲 波^{1,2}, 杨 红², 陈旭辉¹, 翟 强¹, 董淑萍³, 吕国忠²

¹沈阳农业大学生物科学技术学院, 辽宁 沈阳 110161; ²大连民族学院生物资源与环境研究所, 辽宁 大连 116600; ³辽宁省农业环境保护监测站, 辽宁 沈阳 110500

摘要:【背景】外来入侵恶性杂草——三裂叶豚草在我国迅速蔓延, 并对我国经济、人民健康、生态等方面造成巨大影响。【方法】本文运用光合仪(CIRAS-1)测定豚草锈菌感染后的三裂叶豚草叶片的光合效率、蒸腾速率、叶表面蒸汽压差、胞间CO₂浓度、气孔导度等指标, 以探讨豚草锈菌影响三裂叶豚草光合作用的机制。【结果】豚草锈菌感染三裂叶豚草叶片后, 对叶片水分代谢与光合代谢有明显影响, 从而影响叶片有机物质的合成。豚草锈菌感染显症1~4 d后, 受感染叶片蒸腾速率与气孔导度下降, 光合作用有所加强, 导致胞间CO₂浓度下降, 进而使叶片细胞水分代谢与光合代谢加强。显症4 d后, 随着叶片发病程度增加(4~5级), 胞间CO₂浓度增加, 蒸腾速率与气孔导度大幅降低, 光合速率下降。【结论与意义】豚草锈菌能干扰三裂叶豚草叶片的光合生理活动。该结果可为防治三裂叶豚草提供参考。

关键词: 三裂叶豚草; 豚草锈菌; 光合生理特性; 生物防治; 病菌影响; 生理学

Effects of rust (*Puccinia xanthii* f. sp. *ambrosiae-trifidae*) infection on the photosynthetic characteristics of giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.)

Bo QU^{1,2}, Hong YANG², Xu-hui CHEN¹, Qiang ZHAI¹, Shu-ping DONG³, Guo-zhong LÜ²

¹College of Biological Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China; ²Institute of Bio-Resources and Environment, Dalian Nationalities University, Dalian, Liaoning 116600, China; ³Agricultural Environmental Protection and Monitors Department of Liaoning Province, Shenyang, Liaoning 110500, China

Abstract: 【Background】At present, the alien invasive weed—*Ambrosia trifida* L. is rapidly spreading in China, with grave consequences on economy, ecology, and human health. 【Method】In order to study the influence of the rust (*Puccinia xanthii* f. sp. *ambrosiae-trifidae*) infection on photosynthetic characters of giant ragweed, photosynthesis rate (Pn), transpiration rate (Tr), vapor deficit at the leaf surface (Vpd), intercellular CO₂ concent rations (Ci), and stomatal conductance (Gs) were measured on individuals with photosynthesis measuring system of (CIRAS-1). 【Result】After infection with the rust, Pn increased, while Ci, Tr, Vpd, Gs decreased in the leaves from 1 to 4 days after the disease symptoms appeared. During this period, disease severity rised from one to three degree. From 5 to 9 days after the disease apparition, Pn, Tr, Vpd, Gs decreased, meanwhile, disease severity rised from grade four to grade five. 【Conclusion and significance】We found clear evidence that *P. xanthii* f. sp. *ambrosiae-trifidae* disturbs the photosynthetic ability of ragweed leaves. This agent merits further study as a potential biological control organism of the giant ragweed.

Key words: *Ambrosia trifida*; *Puccinia xanthii* f. sp. *ambrosiae-trifidae*; photosynthetic characteristics; biological control; pathogenic effects; physiology

三裂叶豚草 *Ambrosia trifida* L. 为我国重要外来入侵植物, 自 20 世纪 50 年代入侵我国(中国数字植物标本馆, 2010), 80 年代大面积暴发, 已形成以沈阳、铁岭为发生中心, 广泛分布于黑龙江、吉林、辽宁、河北, 零星分布于山东、江苏、上海、四川等地的格局。其入侵农田、森林、草场等多种生态环境, 威胁人民生活健康, 导致牲畜肉品及奶制品质量下降, 严重影响景观效果, 目前仍以化学防治为主, 替代控制与人工拔除为辅(万方浩等, 1993)。2007 年, 美国 AGROW 发现三裂叶豚草抗草甘膦种群, 因而使化学防治面临严峻挑战。早在 1981 年, Batra 报道了苍耳柄锈菌三裂叶豚草专化型, 简称

豚草锈菌 *Puccinia xanthii* f. sp. *ambrosiae-trifidae*, 出于安全性考虑,我国并未引进此菌对三裂叶豚草进行生物防治。LÜ *et al.* (2004a、2004b) 于沈阳发现了豚草锈菌,并对其形态进行了研究。

光是影响植物生长发育和生存最重要的环境因子之一。植物叶片的光合作用是植物物质生产的基础,光合速率的高低决定光合能力的强弱,是植物生物产量形成的关键。植物受到各种环境因素或病害胁迫时,光合作用与蒸腾作用会受影响(高必达和陈捷,2006)。基于上述认识,作者对豚草锈菌侵染后三裂叶豚草光合生理特性的变化进行研究,以期为进一步分析豚草锈菌影响三裂叶豚草光合作用的机制提供资料。

1 材料与方法

本试验在沈阳东陵天柱山南侧沈阳农业大学教学科研实习基地温室内进行。选取 6 对叶期三裂叶豚草,以喷雾法接种豚草锈菌冬孢子,每天保湿 12 h,待显症后用 CIRAS-1 便携式光合作用测定仪(英国 PP Systems 国际有限公司)进行测定。利用 CO₂ 气源将室内 CO₂ 浓度控制为 350 μmol·mL⁻¹,光照强度为 1500 μmol·m⁻²·s⁻¹。标记相同叶位叶子,每天记录其发病级别:0 级,全叶无病;1 级,病斑面积占叶面积的 1/5 以下;2 级,病斑面积占叶面积的 1/5 ~ 1/3; 3 级,病斑面积占叶面积的

1/3 ~ 2/3; 4 级,病斑面积占叶面积的 2/3 ~ 3/4; 5 级,病斑面积超过叶面积的 3/4。

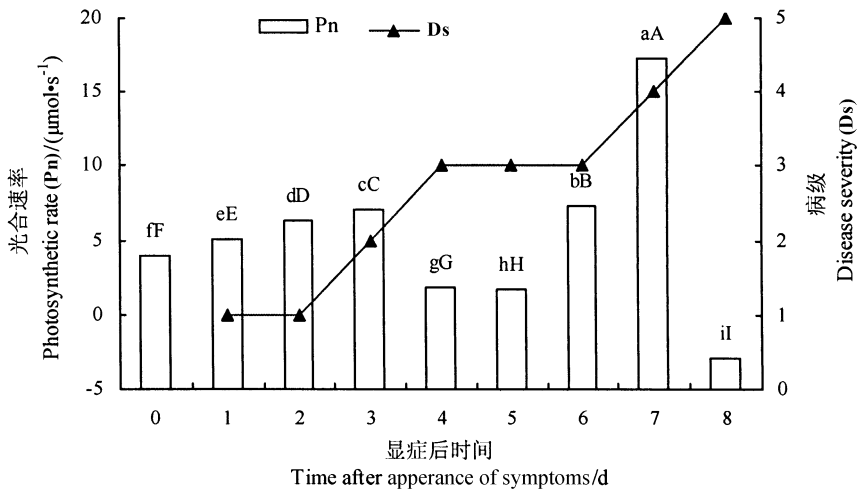
每天上午 8:00 左右进行测定,当仪器显示各项指标的变异系数小于 1% 时,记录三裂叶豚草叶片的光合速率、蒸腾速率、叶表面蒸汽压差、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度等数据。每叶重复测 3 次,每株植物测定 4 ~ 6 片叶。

用 DPS2000 数据处理系统与 Excel 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 豚草锈菌对三裂叶豚草叶片光合速率的影响

豚草锈菌侵染三裂叶豚草后,叶片光合速率变化明显,各时间段之间差异均达到极显著水平(图 1)。三裂叶豚草叶片光合速率在显症后 1 ~ 3 d 内显著上升,第 3 天达到第 1 个峰值,为 7.1 μmol·s⁻¹ (*P* < 0.01),病级低于 3 级;至第 4 天光合速率迅速下降,此时病级达到 3 级;第 5 天时持续下降,说明锈菌侵入初期对豚草光合作用的影响较大;而在第 6 天光合速率迅速回升,达到 7.3 μmol·s⁻¹;第 7 天达到第 2 个峰值,为 17.33 μmol·s⁻¹ (*P* < 0.01),可能由于豚草对锈菌的侵染有了一定的适应能力;第 8 天迅速下降,病级达到 5 级,光合速率极低,说明锈菌侵入后期严重破坏了豚草的光合作用。



不同大、小写字母分别表示在 *P* = 0.01、*P* = 0.05 水平上差异显著。
The different capital and small letters indicate significant differences at *P* = 0.01 and *P* = 0.05.

图 1 锈菌对三裂叶豚草叶片光合速率的影响

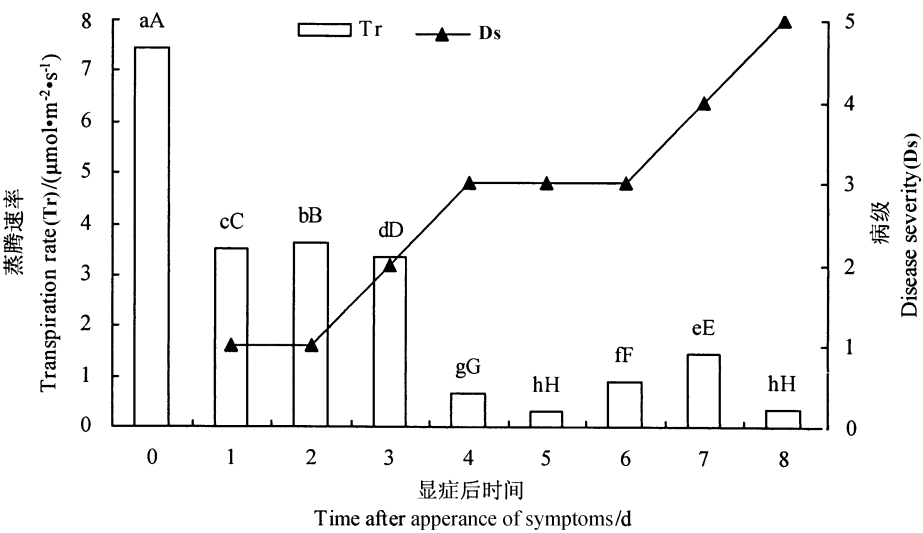
Fig. 1 Effects of rust infection on photosynthetic rates of giant ragweed leaves

2.2 豚草锈菌对三裂叶豚草叶片蒸腾速率的影响

豚草锈菌侵染三裂叶豚草后,叶片蒸腾速率变

化明显,各时间段之间差异均达到极显著水平(图 2)。三裂叶豚草叶片蒸腾速率在锈菌显症前(第 0

天)为 $7.45\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;显症后第1天迅速下降,低,为 $0.33\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;第6、7天有所回升;第8天又有所下降。 $1\sim3\text{ d}$ 趋于平稳;但至第4天时突然下降为 $0.65\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,此时病级为3级;至第5天达到最



不同大、小写字母分别表示在 $P=0.01$ 、 $P=0.05$ 水平上差异显著。
The different capital and small letters indicate significant differences at $P=0.01$ and $P=0.05$.

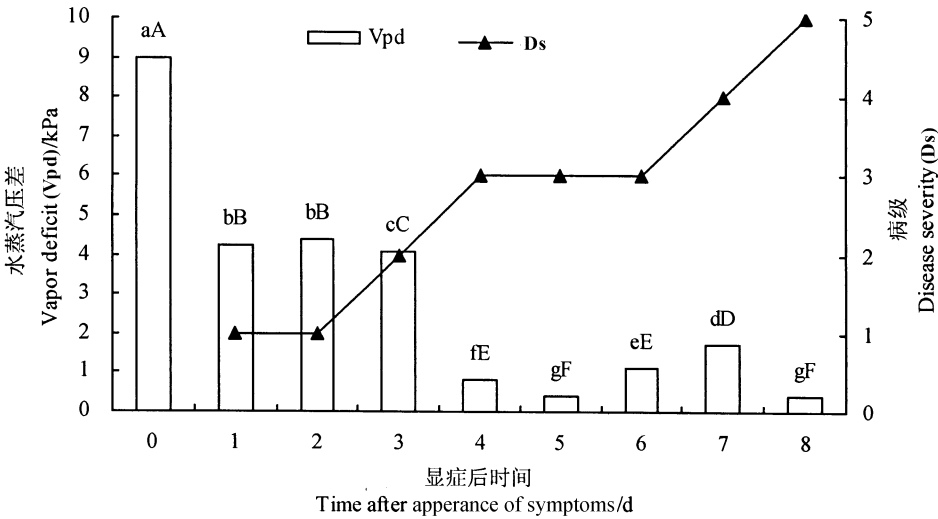
图2 锈菌对三裂叶豚草叶片蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effects of rust infection on transpiration rates of giant ragweed leaves

2.3 豚草锈菌对三裂叶豚草叶片水蒸汽压差的影响

豚草锈菌对三裂叶豚草叶片水蒸汽压差的影响与对蒸腾速率的影响较为一致(图3)。三裂叶豚草叶片水蒸汽压差变化表现:锈菌显症前(第0

天)为 8.99 kPa ;显症后 $1\sim4\text{ d}$,持续下降,第4天水蒸汽压差为 0.80 kPa ,此时病级接近3级;第5天时达到最低,为 0.41 kPa ;第6、7天有所回升。



不同大、小写字母分别表示在 $P=0.01$ 、 $P=0.05$ 水平上差异显著。
The different capital and small letters indicate significant differences at $P=0.01$ and $P=0.05$.

图3 锈菌对三裂叶豚草水蒸汽压差的影响

Fig. 3 Effects of rust infection on vapor deficit of giant ragweed leaves

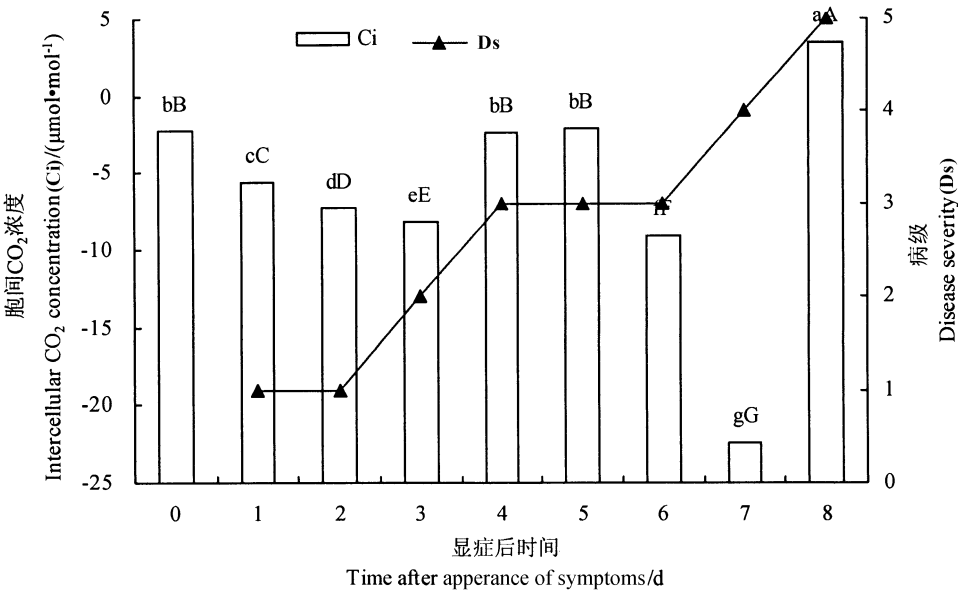
2.4 豚草锈菌对三裂叶豚草叶片胞间CO₂浓度的影响

豚草锈菌对三裂叶豚草叶片胞间CO₂浓度的影响较明显(图4)。豚草叶片胞间CO₂浓度变化

表现:锈菌显症前(第0天)为 $-2.30\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$;之后持续下降,第3天达到 $-8.20\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,可能由于随着锈菌的侵染,叶肉细胞被破坏,导致部

分细胞间隙增大,进而使其 CO₂ 浓度降低;第 4 天叶片胞间 CO₂ 浓度有所回升,此时病级接近 3 级;第 5 天达到 $-2.10\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,可能由于锈菌菌丝在叶肉组织内大量繁殖,使胞间 CO₂ 浓度相对升高;而后

期,随着锈菌菌丝的快速发生,大量冬孢子产生,叶肉组织被严重破坏,导致第 7 天叶片胞间 CO₂ 浓度极显著降低,此时叶片病级达到 4 级以上。



不同大、小写字母分别表示在 $P=0.01$ 、 $P=0.05$ 水平上差异显著。
The different capital and small letters indicate significant differences at $P=0.01$ and $P=0.05$.

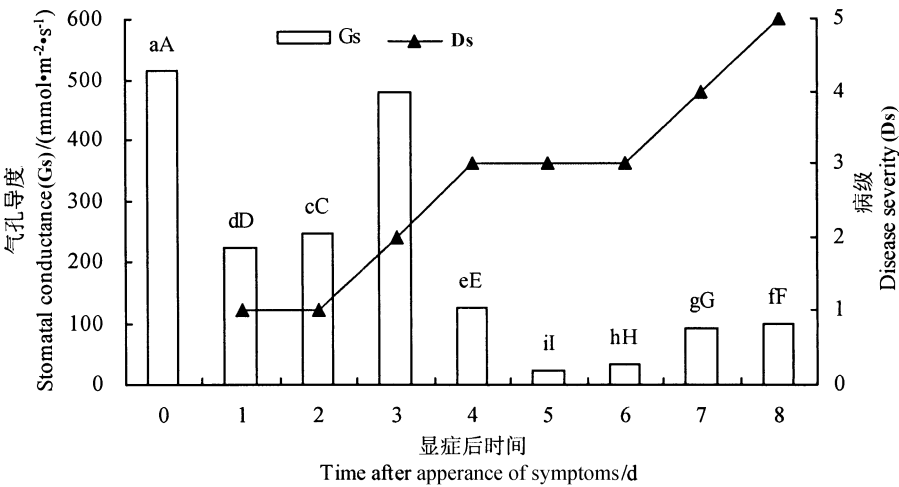
图 4 锈菌对三裂叶豚草胞间 CO₂ 浓度的影响

Fig. 4 Effects of rust infection on intercellular CO₂ in giant ragweed leaves

2.5 豚草锈菌对三裂叶豚草叶片气孔导度的影响

豚草锈菌对三裂叶豚草叶片气孔导度的影响比较复杂,各时间段之间差异均达到极显著水平(图 5)。三裂叶豚草叶片气孔导度变化表现:锈菌显症前(第 0 天)为 $515\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;显症后第 1 天迅速下降至 $221.33\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;第 2 天有所上

升,达到 $245.67\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;第 3 天迅速回升,达到 $480\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,此时病级低于 3 级;至第 4 天时急剧下降,达到 $124.33\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;第 5 天时达到最低,为 $22.33\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;之后变化缓慢,第 7 天出现小幅上升,达到 $92.33\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。



不同大、小写字母分别表示在 $P=0.01$ 、 $P=0.05$ 水平上差异显著。
The different capital and small letters indicate significant differences at $P=0.01$ and $P=0.05$.

图 5 锈菌对三裂叶豚草气孔导度的影响

Fig. 5 Effects of rust infection on stomatal conductance of giant ragweed leaves

3 讨论

光合作用是绿色植物最主要的生理功能,病原物的侵染会对植物光合作用产生多方面的影响,最明显的是破坏叶片绿色组织,减少植物进行正常光合作用的面积,使光合效能减弱。

植物遭受专性寄生菌侵染后,罹病组织的光合作用能力逐渐下降,发病后期更为明显。例如,小麦感病品种接种条锈菌 *Puccinia striiformis* West 后,净光合速率持续降低,显症和产孢以后剧烈下降,降幅可达健株正常值的 50% 左右,在一些病例中发现受害植物的叶绿体和其他细胞器裂解,使 CO₂ 的固定率降低(贾明贵等,1992)。本研究结果表明,豚草锈菌能明显干扰三裂叶豚草叶片的光合生理活动,侵染初期,光合效率有所加强,但随着叶片发病程度的增加,可能由于叶内细胞结构受到破坏,胞间 CO₂ 浓度增加,气孔导度下降,导致光合速率下降;但至豚草病级接近 4 级时,光合速率又迅速上升,其原因有待进一步研究。

植物叶部发病后可提高或降低水分的蒸腾作用,依病害种类不同而异。蒸腾速率的提高是一个渐进的过程,由显症阶段开始,产孢盛期达到高峰。叶面锈菌孢子堆形成时产生的裂口以及气孔机能失控,都降低了水分扩散阻力,导致病叶含水量减少,细胞膨压和水势降低,溶质势增高。但有些病害能明显抑制气孔开放,叶片水分蒸腾减少,从而造成病组织中毒素或乙烯等有害物质积累(李玥仁和商鸿生,2001)。本研究结果表明,豚草锈菌侵染使叶片细胞水分代谢失调,导致蒸腾速率下降,气孔导度下降,可能由于组织中积累了过多有害物质所致。光合速率的变化受胞间 CO₂ 浓度与气孔导度协同影响,光合速率降低可能是气孔导度降低的结果,也可能是气孔导度降低的原因,因此,有关锈菌影响豚草光合生理特性的关键环节还有待进一步探讨。

三裂叶豚草作为入侵我国的恶性杂草,种子量大,生长迅速,抗药性强,物理防治与化学防治均难以达到理想效果。已有研究表明,豚草锈菌寄主专化性较强,只寄生三裂叶豚草,能严重干扰寄主植物的正常生理代谢活动,甚至使寄主植物死亡(曲波,2009a、2009b、2010),以及严重影响三裂叶豚

草的生物量积累和生长发育,削弱豚草与其他植物的竞争能力,使其结实率减少,种群逐渐缩小,因此豚草锈菌可作为防治三裂叶豚草的有效制剂。研究豚草锈菌的致病机理对于评价其防治效果,筛选强致病菌种有重要意义,且有助于建立利用锈菌防治三裂叶豚草的技术体系,充分发挥豚草锈菌的生防潜力。

参考文献

高必达,陈捷. 2006. 植物病理生理学. 北京:科学出版社.

贾明贵,商鸿生,李振岐. 1992. 条锈菌侵染对小麦光合作用和呼吸作用速率的影响. 植物病理学报, 22(2): 125 – 129.

李玥仁,商鸿生. 2001. 条锈菌侵染对小麦光合作用和蒸腾作用的影响. 麦类作物学报, 21(2): 51 – 56.

曲波,黄佳丽,张微,杨红,陈旭辉,吕国忠. 2010. 三裂叶豚草锈菌寄主专化性的研究. 辽宁农业科学, (5): 50 – 52.

曲波,吕国忠,杨红,董淑萍. 2009a. 三裂叶豚草锈病发生和流行规律的研究. 菌物研究, 7(3–4): 180 – 184.

曲波,吕国忠,杨红,刘绍芹,陈伟之. 2009b. 苍耳柄锈菌三裂叶豚草专化型冬孢子萌发过程及萌发条件的研究. 菌物学报, 28(3): 385 – 392.

万方浩,王韧,关广清. 1993. 豚草及豚草综合治理. 北京:中国科学出版社.

中国数字植物标本馆. 2010. 三裂叶豚草 *Ambrosia trifida*. [http://www.cvh.org.cn/data/index.php?sname=Ambrosia trifida](http://www.cvh.org.cn/data/index.php?sname=Ambrosia+trifida), 2010 – 10 – 12.

AGROW. 2007. US glyphosate resistance warning. *AGROW World Crop Protection News*, 511:10.

Batra S W T. 1981. *Puccinia xanthii* forma specialis *ambrosiae-trifidae*, a microcyclic rust for the biological control of giant ragweed, *Ambrosia trifida* (Compositae). *Mycopathologia*, 73:61 – 64.

LÜ G Z, Yang H, Qu B, Huang G K, Chen W Z and Cannon P. 2004a. Ultrastructural observation of *Puccinia xanthii* Schwein. f. sp. *ambrosiae-trifidaetra* S. W. T. Batra. 菌物研究, 2(2): 12 – 14.

LÜ G Z, Yang H, Sun X D, Yang R X and Zhao Z H. 2004b. *Puccinia xanthii* Schwein. f. sp. *ambrosiae-trifidae* S. W. T. Batra, a newly recorded rust taxon on *Ambrosia* in China. 菌物系统, 23(2): 310 – 311.

(责任编辑:杨郁霞)