角倍蚜干母的刺探取食行为分析*

刘 平** 杨子祥*** 吕 翔 李 杨

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室 昆明 650224)

摘 要 本文采用 EPG 技术监测角倍蚜 *Schlechtendalia chinensis* (Bell) 干母在第一寄主植物盐肤木(*Rhus chinensis* Mill)上的取食行为。获得干母在盐肤木小叶及叶翅上的取食波形 7 个,分别为 np、C(A + B + C)、pd、E_1、E_2、F、G 波。对干母在盐肤木小叶或叶翅上的取食部位组织进行切片实验。切片结果显示,干母取食时口针末端到达部位多在韧皮部。根据 EPG 记录和切片结果确定角倍蚜主要在盐肤木的韧皮部取食,极少在木质部取食。

关键词 角倍蚜,取食行为,刺探电位(EPG),组织学

The analysis of feeding behaviour electrical penetration graph (EPG) in *Schlechtendalia chinensis* fundatrix

LIU Ping** YANG Zi-Xiang*** LV Xiang LI Yang

(Research Institute of Resource Insects, CAF; Key Laboratory of Breeding and Utilization of Resource Insects of State Forestry Administration, Kunming 650224, China)

Abstract The feeding behaviour of *Schlechtendalia chinensis* (Bell) fundatrix on its primary host-plant *Rhus chinensis* Mill was monitored using an electrical penetration graph (EPG). 7 EPG waves were obtained on leaflets or leaf-wings; np, C (A + B + C), pd, E_1, E_2, F and G waves. The tissue of leaflets or leaf-wings on which *S. chinensis* had fed were sectioned and examined with an optical microscope. The results revealed that the aphid stylets had mostly just touched the phloem. Based on these results we conclude that *S. chinensis fundatrix* obtains food mainly from the phloem.

Key words *Schlechtendalia chinensis*, feeding behaviour, EPG, histology

角倍蚜 *Schlechtendalia chinensis* (Bell) 是形成五倍子的主要蚜虫种类,以干母在盐肤木(*Rhus chinensis* Mill) 复叶叶翅或小叶上取食形成角状虫瘿。由角倍蚜形成的角倍分布范围广、数量多,产量约占五倍子总产量的 80%,具有较高的经济价值。五倍子是我国传统的林特产品和重要的出口商品,其主要成分为五倍子单宁,是生产单宁酸、没食子酸和焦性没食子酸的主要原料,在医药、矿冶、电子、纺织和化工等行业中广泛应用。

刺吸电波图(electrical penetration graph, EPG) 技术是一种研究刺吸式昆虫在寄主植物上刺探和取食行为的电生理技术,是一种将昆虫口针在植物组织内的活动转化成一种看得见的电信号的技术,被广泛应用于蚜虫(McLean and Kinsey, 1964; Tjallingii, 1988; Daniels *et al.*, 2009)、蓟马(Hunter *et al.*, 1993; Kindt *et al.*, 2006)、粉虱(雷宏和徐汝梅, 1998; 高庆刚等, 2006)、叶蝉(Youn, 1998; 苗进, 2008) 等的取食行为研究。根据电信号可以看出昆虫在植物体内的刺探行为、取食过程及取食部位。角倍蚜体小,生活习性复杂,需要在盐肤木和蓼类植物上交替寄生,经历有翅孤雌蚜、无翅孤雌蚜、性母、性蚜(雌、雄性蚜) 和干母 5 种不同虫型(张广学和钟铁森, 1983),以干母在盐肤木叶翅或小叶上取食形成虫瘿。迄今为止,关于角倍蚜干母取食行为的研究尚未见报道。本文采用 EPG 技术监测角倍蚜

* 资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Riri200701Z)、云南省应用基础研究专项(2008ZC105M)。

** E-mail: liuping0101@yahoo.cn

通讯作者,E-mail: yzx1019@163.com

收稿日期:2010-10-21,接受日期:2011-03-06

干母在盐肤木上的刺探和取食过程;结合石蜡切片技术,分析干母口针的穿刺取食路径,探讨干母对寄主植物的适应机制,为研究角倍蚜虫瘿的形成机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 寄主植物和蚜虫

选取 2 ~ 3 年生、长势好的盐肤木植株,修剪为 20 ~ 40 cm 高,栽植于花盆内,置于温室中常规管理。

角倍蚜取自四川峨眉五倍子蚜虫培育基地。收集自然迁飞的角倍春迁蚜,装于牛皮纸袋内。带回实验室室温保存,每 2 天观察 1 次。春迁蚜在纸袋内产下雌雄性蚜并交配,待雌性蚜产下干母时,将虫袋挂放在盐肤木主干上,让干母自然上树取食。

1.2 EPG 记录与分析

采用 DC-EPG Giga-8 刺探电位图谱记录仪,将放大器的昆虫电极用铜丝和金丝(直径 10 μm,长约 4 cm)连接,用导电银胶将金丝的另一端粘连到角倍蚜干母的背部(雷宏和徐汝梅,1998);放大器的植物电极(直径 2 mm,长约 10 cm 铜棒)接插到栽植有盐肤木花盆的土层内。当蚜虫口针刺入植物组织取食时,电流回路接通,回路电流经 AD 转换器转换放大为数字信号,再由 Probe 3.4 软件转化为波形图谱。波形的定义参照 Tjallingii (1988),Tjallingii 和 Hogen(1993)对蚜虫取食过程定义,将刺探波形分为 3 个波段:(1)路径波(A、B、C 波的混合);(2)木质部取食(G 波);(3)韧皮部取食(包括 E_1、E_2 波)。

检测在室温下进行,1 头蚜虫用于 1 个记录,每个记录持续 24 h,重复 15 次。采用昆虫刺探电位仪自带软件 ANA 34 对波形图谱进行分析。为消除环境电磁干扰,整个操作在 80 cm × 60 cm × 60 cm 的法拉第笼内进行。

1.3 组织切片分析

切片材料选用干母取食后变色、凹陷或已形成雏瘿的盐肤木叶翅或小叶组织,约 2 mm × 2 mm(一个雏瘿大小)。

采用常规石蜡切片法,具体步骤参照李和平(2009),略有改动。

2 结果与分析

根据口针穿刺路径的振幅和频率不同,角倍蚜干母在盐肤木叶片上刺探取食的 EPG 波形可分为 np、C(A + B + C)、pd、E_1、E_2、F、G 波 7 个波形,包括了刺探波形和非刺探波形,典型波形如图 1。角倍蚜干母爬至盐肤木嫩叶的叶翅或小叶,到出现取食波形之前的刺探时间最短为 3 s,最长则在整个记录时间(24 h)内均未出现取食波形。对具有取食波形记录的统计结果,刺探路径 C 波的记录时间最长可占整个记录的 87%,最短也有 46%。在路径 C 波中,A 波发生频率高但不稳定,其振幅常高于其它 2 种波形;B 波频率高且不稳定,振幅变化较 A 波小;C 波发生频率和振幅变化较大,无法与 A、B 波相比较。

E 波表示口针刺探韧皮部并在韧皮部筛管取食的过程,分为 E_1、E_2 2 个亚波。EPG 记录中,E_1 波常在路径 C 波间出现,持续时间较短。E_2 波之前常有 E_1 波出现,波峰向上,波峰的振幅常有变化,波峰之间的时间间隔不一。角倍蚜的 EPG 记录中,E_2 波呈现出的是一个稳定并有规律的波形,波形信号的平均频率为 0.34 Hz,振幅在 0.94 ~ 2.85 V 间变化。E_2 波的持续时间变化较大,最短仅 15 s,最长 568 s,均不超过 10 min。

角倍蚜取食穿刺过程中,反映胞外电势水平的波形除 C 波外,还有 F 波。F 波揭示角倍蚜口针在穿刺过程中,在细胞膜外胞间或细胞壁内的机械穿刺受阻。F 波振幅较大,频率在所有波形中最高,时常伴随于 C 波,较 C 波容易辨认。角倍蚜的 EPG 记录中,G 波仅出现在 C 波中,形状不规则,不太容易辨认。G 波出现的次数极少,时间极短,说明 G 波可能是干母在 C 波阶段的试探性主动吸食过程。

角倍蚜在第一寄主盐肤木叶翅或小叶上的取食部位组织切片显示,盐肤木组织内的维管束与乳汁道伴生,角倍蚜在盐肤木上取食时口针直接穿透组织细胞,口针鞘尖端常到达维管束韧皮部或韧皮部和乳汁道附近,多有分叉现象,显示了角倍蚜在穿刺中找寻维管束韧皮部并在韧皮部中取食的过程,如图 2 所示。

3 讨论

角倍蚜的 EPG 记录中,刺探路径 C 波的记录

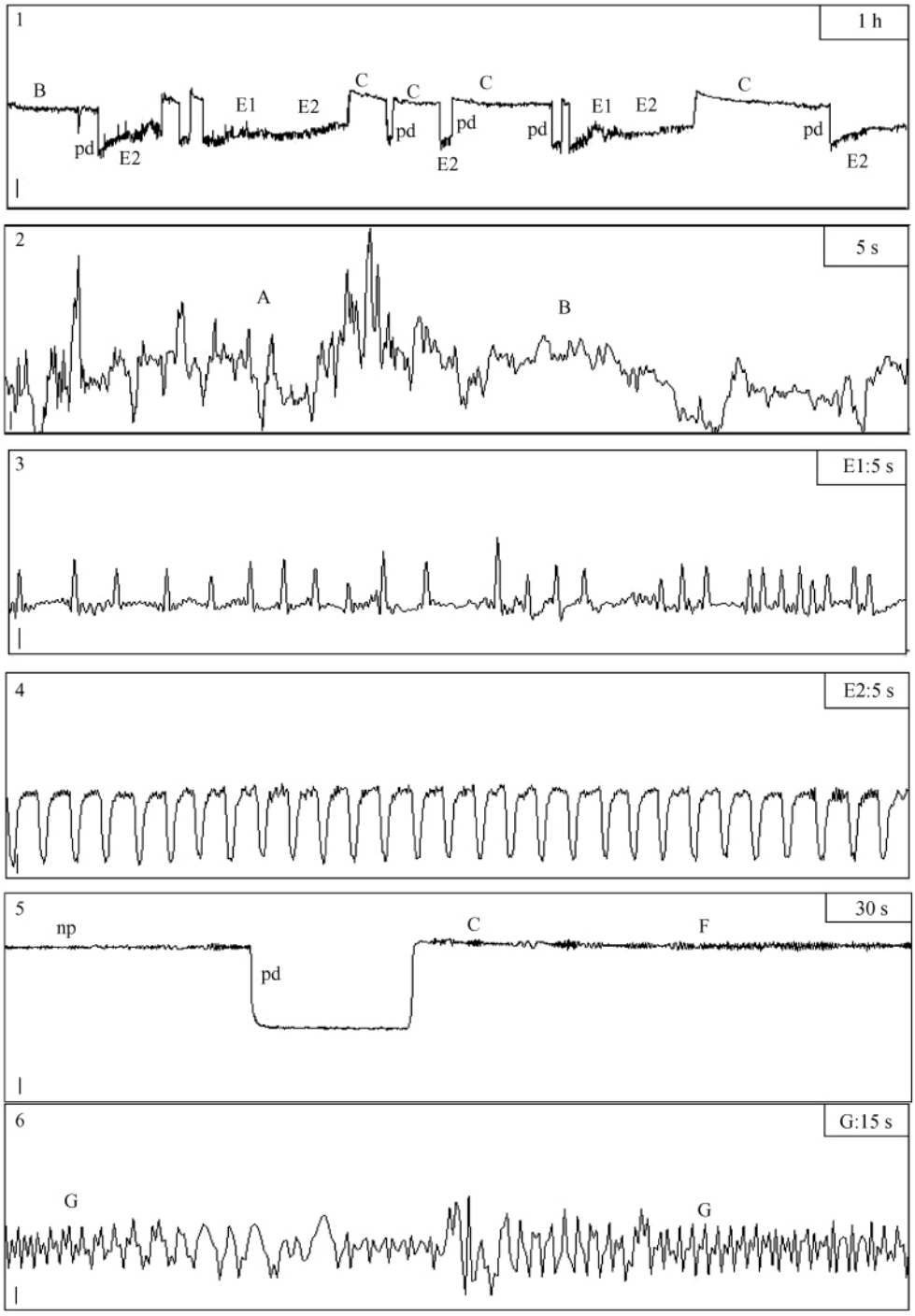

图 1　角倍蚜干母的刺探波形

Fig. 1　The EPGs of *Schlechtendalia chinensis* fundatrix

1: 1 h **刺探过程总观图**; 2: A、B、C **波,刺探路径,表皮与维管束之间刺探,胞外水平**; 3: E_1 **波,韧皮部取食波形的一种**; 4: E_2 **波,韧皮部取食波形的另一种**; 5: np: **非刺探时期(基线)**, pd: **电势落差**; F **波,胞外水平机械穿刺受阻**; 6: G **波,木质部主动取食波形。波形图左下角的竖线表示** 0. 5 V。

1: The total process of 1 h penetration; 2: Pathway waveforms A, B, C; 3: Waveform E_1, a species of ingestion in phloem; 4: Waveform E_2, another species of ingestion in phloem; 5: Waveform np: non-penetration (baseline), waveform pd: the drop of voltage; waveform F, prevention of mechanical probe outside the cell membrane; 6: Waveform G, initiative ingestion in xylem. Vertical lines in left figured 0. 5 V.

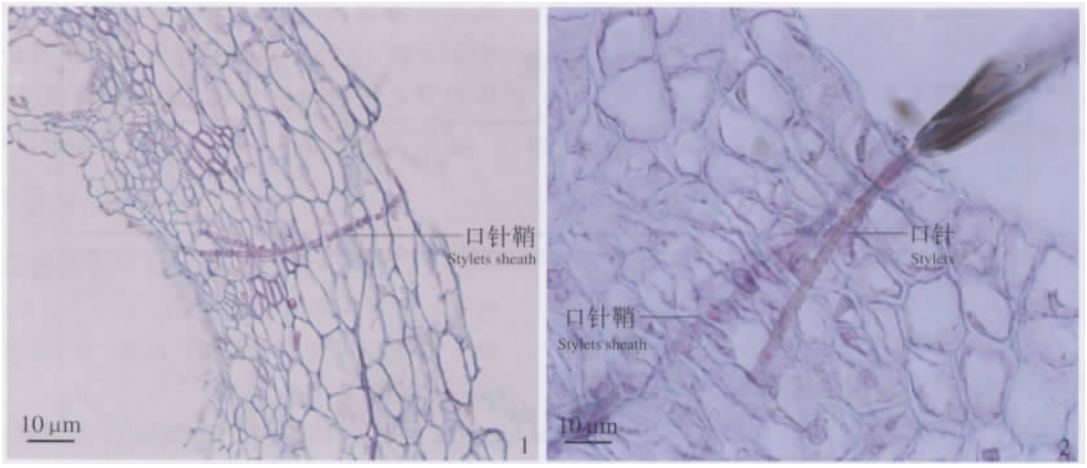

图 2 角倍蚜干母口针在植物组织内的穿刺路径

Fig. 2 The stylets pathway of *Schlechtendalia chinensis* fundatrix in plant tissue

1: 口针鞘,2 条, × 40; 2: 组织内的蚜虫口针, × 100。

1: Stylets sheath (two), × 40; 2: Aphid stylets in tissue, × 100.

时间较长,最长占整个记录的 87%,最短占 46%。在没有出现取食波形的记录中几乎全是刺探 C 波,部分记录显示为基线,即电流回路断开状态。对取食部位切片进行观察,口针鞘尖端直接到达维管束筛管的记录较少,但在维管束与叶片表皮之间的口针鞘较多,尤其在韧皮部周围口针鞘常常出现分叉现象。表明角倍蚜干母在取食过程中不能精确定位维管束的韧皮部筛管,而是通过口针刺入植物组织、直接穿透细胞并数次改变刺探方向的方式到达目标取食部位。

Tjallingii (1985) 对蚜虫口针穿刺细胞进行研究,E_1 波后跟随着 E_2 波,表明口针到达韧皮部并成功取食,而 E_1 波后没有跟随 E_2 波,则表明蚜虫口针达到韧皮部分泌了水溶性唾液,但取食未能成功。在角倍蚜干母的 EPG 记录中,初始阶段多为 E_1 波,E_1 波后伴随有 E_2 波的出现,表示干母成功地在韧皮部取食。同时,Tjallingii 和 Moyoral (1992) 认为 E_2 波持续时间达 10 min,蚜虫被韧皮部筛管接受并在筛管持续取食。本研究中的 E_2 波持续时间变化较大,从 15 s 到 568 s 不等,但最长时间不超过 10 min。盐肤木体内具有次生酚类化合物如单宁和鞣酸等,当植物受到外来生物侵袭时,这些次生化合物作为化学防御物质起着拒绝外来生物取食的作用(焦懿, 2000)。干母在盐肤木上取食时间的长短是否与避免盐肤木体内次生酚类化合物的伤害有关,还需进一步研究和证明。Tjallingii 和 Hogen (1993) 等将正在取食的蚜虫快速杀死,对留于植物组织内的口针残体作连续切片,得出口针在植物组织中并非穿透细胞,而是沿着细胞的外壁曲折前进。角倍蚜取食组织切片显示,干母口针是直接穿透盐肤木组织细胞,取食路径呈直线,这一结论与前人报道的蚜虫口针穿刺行径不一致。盐肤木体内的次生代谢物贮存于某些组织细胞内,角倍蚜在穿刺过程中是以什么方式避免寄主次生代谢物质的影响还需进一步研究。

参考文献(References)

Daniels M, Bale JS, Newbury HJ, Lind RJ, Pritchard J, 2009. A sublethal dose of thiamethoxam causes a reduction in xylem feeding by the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*), which is associated with dehydration and reduced performance. *J. Insect Physiol.*, 55: 758—765.

高庆刚, 罗晨, 郭晓军, 墨铁路, 张芝利, 2006. 烟粉虱和温室粉虱在甘蓝上的刺探取食行为比较. 昆虫知识, 43(6): 802—805.

Hunter WB, Ullman DE, Moore A, 1993. Electronic monitoring: characterizing the feeding behavior of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) // Elsbury MM, Backus EA, Ullman DE (eds.). History, Development, and Application of AC Electronic Insect Feeding Monitors. Thomas Say Publications in Entomology. Entomological

Society of America, Maryland. 73— 85.

焦懿, 2000. **植物次生物质对十字花科蔬菜害虫的控制作用. 博士学位论文. 广东: 华南农业大学.**

Kindt F, Joosten NN, Tjallingii WF, 2006. Electrical penetration graphs of thrips revised: Combining DC- and AC-EPG signals. *J. Insect Physiol.*, 52(1): 1—10.

雷宏, 徐汝梅, 1998. **温室白粉虱取食行为的刺探电位(EPG)研究. 昆虫学报**, 41(2): 113—123.

李和平, 2009. **植物显微技术. 北京: 科学出版社**. 1—48.

McLean DL, Kinsey MG, 1964. A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. *Nature*, 202: 1358—1359.

苗进, 2008. **外源 MeSA 诱导茶树防御假眼小绿叶蝉机理的研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.**

Tjallingii WF, 1985. Membrance potentials as an indication for plant-cell penetration by aphids stylets. *Entomol. Exp. Appl.*, 38: 187—193.

Tjallingii WF, 1988. Electrical recording of stylet penetration activities // Minks AK, Harrewijn P (eds.). Aphids: Their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier, Amsterdam. 95—108.

Tjallingii WF, Hogen ET, 1993. Fine structure of aphid stylets routes in plant tissue in correlation with EPG signals. *Physiological Entomology*, 18: 317—328.

Tjallingii WF, Mayoral A, 1992. Criteria for host-plant acceptance by aphids // Menken SBJ, Visser JH, Harrewijn P (eds.). Proceedings 8th International Symposium on Insect-Plant Relationships. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 280—282.

Youn YN, 1998. Electrically recorded feeding behavior of *Nephotettix cincticeps*. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 1(2): 147—161.

张广学, 钟铁森, 1983. **中国经济昆虫志, 第 25 册, 同翅目, 蚜虫类(一). 北京: 科学出版社**. 78—80.

菜豆—二斑叶螨—伪钝绥螨相互关系的研究*

孙月华[1,2] 郅军锐[1]**

(1. 贵州大学昆虫研究所 贵州山地农业病虫害重点实验室 贵阳 550025; 2. 安顺学院 安顺 561000)

摘 要 本文利用 Y-型嗅觉仪和叶碟法测定了伪钝绥螨 *Amblyseius fallacis* (Garman)对不同处理菜豆植株的选择性,并用气相色谱-质谱联用仪分别对菜豆健康植株、被机械损伤过的菜豆植株和被二斑叶螨 *Tetranychus urticae* (Koch)危害过的植株挥发性物质的成分进行了分析,并对其相对含量进行了比较。结果表明:伪钝绥螨对二斑叶螨为害过的带虫带粪、去虫带粪和去虫去粪3类虫害植株表现出很强的趋性,对机械损伤、添加了二斑叶螨虫粪的健康虫害植株虽然也有趋性,但趋向程度远不如3类虫害植物强。菜豆在不同状态下挥发物的种类和成分差异显著,植株受到二斑叶螨为害后,挥发性物质的种类显著增加且大多数为分子量大的物质。在各状态菜豆植株中,甲氧基苯基肟、2,4-二叔丁基苯酚、α-法尼烯、桧烯和烷类均占较大的比例。

关键词 伪钝绥螨,二斑叶螨,菜豆,选择性,挥发性物质

Studies on the interactions among *Phaseolous vulgaris*, *Tetranychus urticae* and *Amblyseius fallacis*

SUN Yue-Hua[1,2] ZHI Jun-Rui[1]**

(1. Institute of Entomology, Guizhou University; The Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region, Guiyang 550025, China; 2. Anshun College, Anshun 561000, China)

Abstract The relative preferences of *Amblyseius fallacis* (Garman) for healthy host plants, mechanically injured host plants and host plants infested with the spider mite *Tetranychus urticae* (Koch) were determined using a Y-tube olfactometer and leaf disc test. The composition and relative contents of the volatiles of healthy, mechanically injured and mite infested *Phaseolous vulgaris* host plants were analyzed and identified by gas chromatography-mass spectra (GC/MS). The results showed that odors from the leaves plants that had, or were, infested with *T. urticae*, which included plants with mites and their feces, plants without mites but with their feces and plants without mites or their feces, were significantly more attractive to *A. fallacis* than either mechanically injured or healthy plants. *A. fallacis* could be attracted by the odors from mechanically injured plants and healthy plants to which *T. urticae* feces had been added, but showed a greater preference for odors from mite-infested plants. The composition and content of volatiles differed significantly between healthy, mechanically injured and mite-infested plants. The volatiles of plants infested with *T. urticae* had more components than those from mechanically injured or healthy plants, and were of higher molecular weight. Methoxy-phenyl-oxime, 2,4-di-tert-butylphenol, (*E*,*E*)-α-farnesene, junipene and alkyl comprised the greater proportion of the volatiles collected from all three kinds of plants.

Key words *Amblyseius fallacis*, *Tetranychus urticae*, *Phaseolous vulgaris*, selectivity, volatile substance

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* (Koch)是世界性害螨,给各国的农业生产带来了极大的威胁(Park and Lee, 2005)。在贵州省贵阳地区二斑叶螨对豆类蔬菜造成了严重的危害,调查发现伪钝绥螨 *Amblyseius fallacis* (Garman)是其优势种天敌,对二斑叶螨有很好的控制作用(陈春丽等,2009; 孙月华等,2009)。如何更好的利用天敌进行害螨的防治是值得深入探讨的问题。

* 资助项目:贵州省自然科学基金(黔科合J字〔2006〕2047)。

** 通讯作者:E-mail: jrzhi@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-12-13,接受日期:2011-04-25