

海藻糖——昆虫的血糖*

于彩虹^{1**} 卢丹¹ 林荣华^{2***} 王晓军² 姜辉² 赵飞¹

(1. 中国矿业大学(北京)化学与工程学院 北京 100083;

2. 农业部农药检定所生物技术研究测试中心 北京 100026)

Trehalose—the blood sugar in insects. YU Cai-Hong^{1**}, LU Dan¹, LIN Rong-Hua^{2***}, WANG Xiao-Jun², JIANG Hui², ZHAO Fei (1. College of Chemistry and Environment Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing Campus), Beijing 100083, China; 2. Center of Agrochemicals for Biological and Environmental Technology, Institute of the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture, Beijing 100026, China)

Abstract Trehalose is a nonreducing disaccharide in which the two glucose units are linked in an α , α -1, 1-glycosidic linkage. As the main blood sugar in insects, trehalose plays an important role in metabolism and stress resistance in insects. The paper reviewed the discovery of trehalose and its chemical properties, physiological function and catabolism pathways of trehalose in insects as well. The further research of trehalose was prospected in the end of the paper.

Key words trehalose, blood, sugar, insect, metabolism pathway, trehalose synthesis

摘要 海藻糖(trehalose)是由2个葡萄糖分子通过 α , α -1, 1糖苷键连接的一种非还原性双糖。海藻糖作为昆虫的血糖,对于生物的能量代谢和抗逆等方面具有重要的作用。文章从昆虫海藻糖的发现、海藻糖的化学性质、昆虫中海藻糖的生理作用、代谢途径等方面进行综述,并对昆虫中海藻糖的进一步研究作了展望。

关键词 海藻糖,血糖,代谢途径,海藻糖合成

昆虫是地球上种类最为繁盛的一个类群,地球上的昆虫可能达1 000万种,约占全球生物多样性的一半。目前已经被命名的昆虫超过100万种。昆虫数量大约是人类的10亿倍,没有任何一个纲的生物像昆虫这样分布广泛,从赤道到两极,从高山到海底,遍布地球上的每个角落,有些昆虫甚至能分布于盐池、原油等特殊环境里。许多科学家都在致力研究昆虫是如何生存繁殖并且如何成功遍布地球的每个角落。昆虫采用的生存策略与人类是不同的,其中有一个典型的例子就是昆虫的血糖,它不同于哺乳动物体内的葡萄糖和植物中的蔗糖而是选择了海藻糖作为其血糖^[1-3]。

海藻糖,也称为蕈糖,英文名称为Trehalose, Mycose, 化学名称 α -D-吡喃(型)葡萄糖基- α -D-吡喃葡萄糖苷(α -D-glucopyranosyl-[1,1]- α -D-glucopyranoside),是由2个葡萄糖分子通过半缩醛羟基结合而成的一种非还原性双

糖,广泛存在于低等植物、藻类、细菌、真菌、酵母、昆虫及其它无脊椎动物中,既是一种贮藏性糖类,又是应激代谢的重要产物^[4-9]。海藻糖的性质非常稳定,能够在高温、高寒、干燥失水等恶劣的条件下在细胞表面形成特殊的保护膜,有效地保护生物分子结构不被破坏,从而能有效维持生命体的生命过程和生物特征。而在自然界中如蔗糖、葡萄糖等其它糖类,均不具备这一功能^[3]。对许多生命体而言,海藻糖的有与无,意味着生存或者死亡。作为昆虫体内重要血糖,海藻糖存在于昆虫几乎所有的组织和器官中^[1]。尤其是,血淋巴中海藻糖含量的变化对于昆虫调控碳水化合物的摄取以及体内营

* 国家自然科学基金(编号:30671393);北京市科技新星计划(2007097)。

** E-mail: caihongy@yahoo.com.cn

*** 通讯作者, E-mail: linronghua@agri.gov.cn

收稿日期:2007-12-04;修回日期:2008-03-24

养的动态平衡具有重要意义^[3]。本文主要就昆虫海藻糖的发现、特性、生理功能和代谢等方面进行综述。

1 海藻糖的发现

海藻糖于 1832 年由 Wiggers 博士首次在黑麦的麦角菌中发现^[10], 1958 年由 Mitscherlich 从蘑菇当

中分离出来, 最初被命名为 Mycose^[11]。同年 Berthelot 在对象鼻虫属 *Larinus* 研究中对其作了描述和重新命名^[11, 12]。Trehala 也被称为 Tricara 或 Tricala, “Trehala”一词源自甲虫的蛹室或茧。这些蛹室或茧通常在甲虫寄主植物茎的周围形成, 小亚细亚各地的人们将其采集后作为甜味食品和药物^[12]。目前在细菌、真菌、酵母、线虫、动物以及植物中都发现有海藻糖的存在。海藻糖广泛存在于真菌的孢子、子实体和营养细胞中^[4, 5], 例如, 毛霉状网柄菌 *Didyostelium mucoroides* 孢子和大孢囊的海藻糖占干重的 7% 左右^[6], 四孢孢菌 *Neurospora tetrasperma* 子囊孢子中海藻糖高达干重的 10%; 在多种细菌中, 如链霉菌^[7]、分支杆菌^[8]和棒状(杆)菌^[13]都发现有海藻糖的存在; 在蛔虫的成虫以及线虫的幼虫中海藻糖的含量达到干重的 6%^[14]; 在很多的无脊椎动物中也同样存在海藻糖。海藻糖如此广泛地分布在自然界生物物种中, 我们可以推测出海藻糖在生物界中一定发挥着重要的功能。

昆虫中海藻糖是同时在美洲野蚕 *Antheraea polyphemus* 的蛹^[15]和沙漠蝗 *Schistocerca gregaria*^[16]中发现的。昆虫也是人们在动物界最早发现有海藻糖存在的生物物种。研究发现海藻糖是昆虫血淋巴中最主要的糖类, 占到了整个血淋巴中糖类含量的 80% ~ 90%, 并且在昆虫特殊的发育阶段, 海藻糖占到了昆虫整个碳水化合物的 20%^[16]。在昆虫成虫中, 当进行某些耗能运动时(例如飞行)会导致海藻糖的水平急剧下降^[17]。这就表明海藻糖可以作为葡萄糖的储备用于提供能量。当然, 在最近几年里人们发现海藻糖在昆虫中的

生理作用并不仅仅局限于能量储备^[11]。

2 海藻糖的化学性质

海藻糖是一种稳定的非还原性双糖, 其结构在 1891 年被鉴定出来的^[8], 它是由 2 个吡喃环葡萄糖分子以 $\alpha, \alpha-1, 1$ 糖苷键连结而成, 分子式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$, 分子量为 342.31, 是自然界中发现的唯一的一种异构体, 即: α, α 型。当然在理论上还存在着另外 2 种异构体 α, β 型和 β, β 型, 并且目前人工已经合成了这 2 种异构体^[19~21]。海藻糖高度溶于水并且和乙醇互溶, 可以形成带有 2 个结晶水的晶体, 其熔点大约为 96℃, 2 个结晶水在 130℃失去, 无水海藻糖的熔点为 203℃^[19~21]。

海藻糖同植物当中的双糖——蔗糖一样, 属于非还原性二糖。不同于葡萄糖、麦芽糖和果糖, 海藻糖和蔗糖不能够与 Fehling's 和 Benedict's 试剂发生反应(Fehling 试剂或 Benedict 试剂常用于检测糖的还原性)。同还原糖相比, 非还原糖由于其反应的惰性而被称为“低毒的”^[22], 这就使它们能够以高浓度存在于生物体液中。海藻糖主要存在于昆虫血淋巴中, 而蔗糖存在于维管束植物中。与蔗糖相比, 海藻糖对酸具有极大的稳定性。蔗糖的酸水解常数为 $14\,600 \times 10^6$, 而海藻糖的为 0.864×10^{12} ^[23]。蔗糖和海藻糖相应的反应活化能分别为 25.83 kcal/mole 和 40.18 kcal/mole。这可能是由于蔗糖形成的五元呋喃环降低了内部作用力, 而海藻糖形成的是六元吡喃环^[24]。海藻糖对酸极其稳定的特性可能比其他特性更能解释为什么昆虫选择海藻糖作为血糖而不是蔗糖。昆虫的血淋巴中普遍含有高浓度的蛋白质、多肽以及游离的氨基酸。如果海藻糖很容易被代谢物中的 α -胺和自由氨基水解, 随后在醛和伯胺、仲胺之间就会发生美拉德反应(maillard)反应(发生在氨基酸和还原糖之间的一种非酶褐变, 它包括胺基化合物和羰基化合物之间的类似反应)和聚合反应, 结果就会使蛋白质形成亚氨和烯胺, 改变了其化学特性并可能产生有害的结构修饰。类似的情况发生在食物保存期

间的褐色反应,由于上述反应最终导致形成色素,这时海藻糖比葡萄糖更能有效地防止蛋白质的降解^[25,26]。同样,这也可以解释为什么绝大多数昆虫的血淋巴中只有低水平的葡萄糖。除此之外,海藻糖作为双糖分子,其比葡萄糖的分子量大,扩散的速度也就更慢。因此,在海藻糖穿过膜进入细胞之前就可以在血淋巴中保持较高的浓度。与葡萄糖相比,相同浓度的海藻糖更利于其通过扩散作用分布到昆虫的所有细胞中。昆虫选择海藻糖而不是葡萄糖还有一个原因是有利于释放肠道从食物中吸收的葡萄糖。因为葡萄糖从肠道的吸收主要依靠于被动运输,如果血淋巴中葡萄糖的水平比较高,就会干扰葡萄糖的吸收。保持血淋巴中较低的葡萄糖浓度,有利于肠壁对葡萄糖的吸收。一旦血淋巴中的葡萄糖在脂肪体中被转变成海藻糖,其他细胞就可以很快水解海藻糖成为葡萄糖用以氧化分解提供能量^[28]。由此可见,昆虫选择海藻糖作为其血糖较葡萄糖和蔗糖具有更大的生理优势。

3 海藻糖的代谢途径

3.1 海藻糖的合成代谢

不同生物中海藻糖的合成途径并不完全相同,根据海藻糖合成的底物和催化的酶系,在生物当中至少存在 5 种海藻糖的合成途径^[29-36]。在昆虫和绝大多数的真核和原核生物中,研究比较深入的海藻糖的生物合成途径是由 6-磷酸海藻糖合成酶(TPS)催化完成的。其过程是首先由 6-磷酸海藻糖合成酶(TPS) [EC = 2.4.1.15] 催化尿苷二磷酸葡萄糖(UDP-G) 和 6-磷酸葡萄糖合成 6-磷酸海藻糖,然后在 6-磷酸海藻糖磷酸酯酶(TPP) [EC = 3.1.3.12] 的催化作用下生成海藻糖^[28]。这个反应最初是在酵母中发现的,随后在包括昆虫在内的很多的其它生物中都有发现^[29-32]。具体的催化步骤如下(图 1)^[27]:

昆虫中海藻糖的合成是由 Candy 和 Kilby 首次在沙漠蝗中发现的^[28],随后通过对多种昆虫脂肪体制备液中的葡萄糖进行 ¹⁴C 同位素标

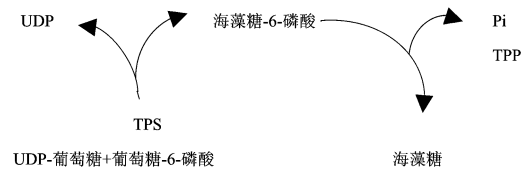


图 1 海藻糖生物合成途径^[27]

6-磷酸海藻糖合成酶(TPS)催化尿苷二磷酸葡萄糖(UDP-G) 和 6-磷酸葡萄糖合成 6-磷酸海藻糖,然后在 6-磷酸海藻糖磷酸酯酶(TPP)的催化作用下生成海藻糖

记该途径在多种昆虫得到了证实^[1-3]。尽管一些早期的研究表明海藻糖合成发生在肌肉和血淋巴中,但现在认为海藻糖的合成专一地发生在脂肪体中^[3]。昆虫海藻糖的合成主要以外源或摄入的葡萄糖为原料,通过 2 分子葡萄糖合成一分子海藻糖的方式完成,也可以由氨基酸经糖异生途径合成葡萄糖进而合成海藻糖,另外糖原降解也可以生成葡萄糖。一般来讲海藻糖主要是由取食葡萄糖合成的,只有在昆虫取食的碳水化合物含量很低时,才用糖的异生途径合成。对于大多数昆虫,由食物中摄入的葡萄糖很快在脂肪体中合成海藻糖,然后扩散入血淋巴中,作为主要的血糖存在于血淋巴中^[3]。当昆虫组织需要时,如飞行,海藻糖被运输到飞行肌中供机体利用,当血液海藻糖降低时,则由脂肪体糖原来补充,使血糖维持在一定的浓度水平。关于这些途径的具体催化步骤由于篇幅的限制,在这里就不一一赘述。

3.2 海藻糖的分解代谢

为了利用海藻糖,昆虫组织中必须存在一种能够分解海藻糖的酶,即海藻糖水解酶。海藻糖水解酶,又称海藻糖酶,国际酶学编号为(EC 3.2.1.28),它可以水解 1 分子海藻糖为 2 分子的葡萄糖,是昆虫体内重要的糖酶,在昆虫几乎所有的组织中都有发现,是昆虫体内惟一能够水解海藻糖的酶类,海藻糖酶专一性地将海藻糖水解为 2 分子葡萄糖^[1],产生的葡萄糖最终作为昆虫细胞进行糖酵解的原料,从而为各组织器官提供能量(图 2)^[37-39]。昆虫利用糖作为能量的来源,如飞行或渗透调节,都是由海藻糖酶来进行调控的。昆虫的海藻糖酶是由海

藻糖酶基因编码的, 在昆虫中海藻糖酶有 2 种类型, 一种为可溶型, 另一种为膜结合型, 它们是由同一种基因表达而形成的两种不同产物。在昆虫中肠细胞中, 可溶性的海藻糖酶存在于细胞的糖被膜上, 而膜结合型的存在于微绒毛或基侧膜上^[40], 除了基侧膜以外的所有的海藻糖酶为真正的消化酶; 在昆虫的飞行肌中, 存在线粒体及微粒体膜结合型海藻糖酶; 在唾腺及

生殖附属腺中, 具有大量的可溶性海藻糖; 而在卵巢及马氏管内则存在膜结合型海藻糖酶^[41]。正是由于海藻糖及海藻糖酶对昆虫生存的重要作用, 加之, 虽然海藻糖酶存在于小肠和各种生物中, 但是海藻糖在高等物种(哺乳纲动物)并未发现, 海藻糖酶作为开发选择性农药的靶标近年来越来越受到重视^[42~44]。

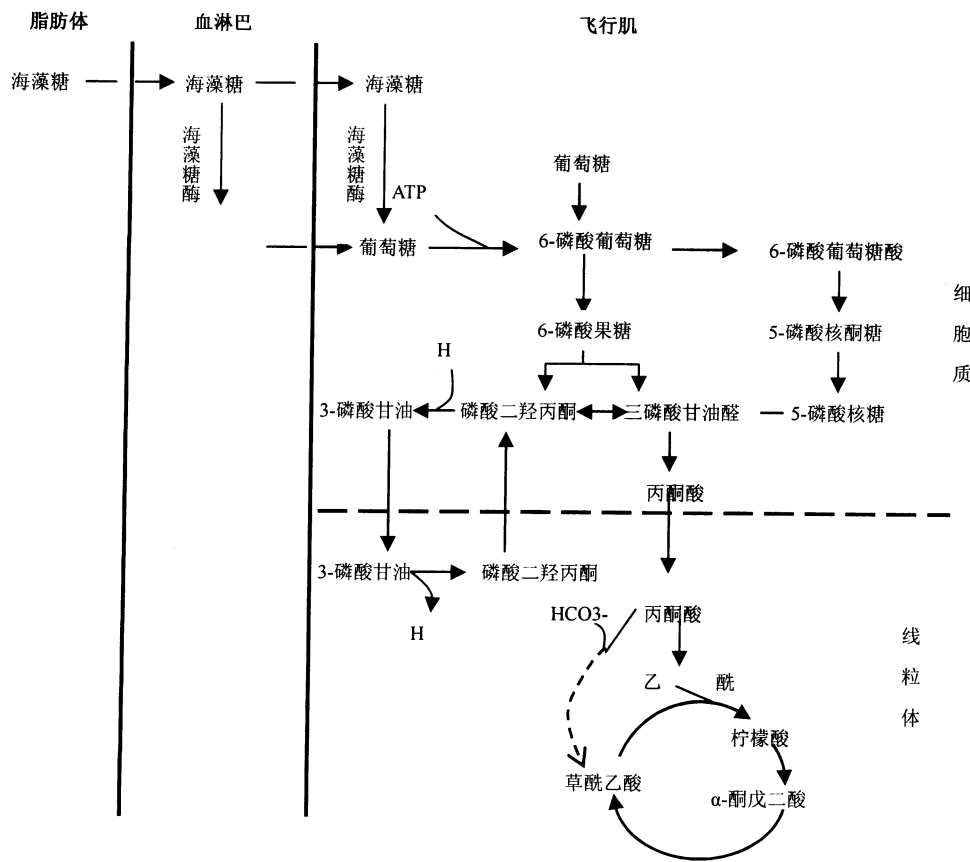


图2 海藻糖在昆虫体内的代谢过程^[37-39]

4 海藻糖的功能

海藻糖最初是作为一种储存物质而被人们所了解^[3]。在某些生物静止期细胞以及休眠和繁殖结构中, 海藻糖的含量可达到干重的 15%~20%。但随着人们研究的不断深入, 海藻糖在生物中还表现为很多其它的功能^[45, 46]。海藻糖是细胞内一种典型的应激代谢物, 在细胞处于应激状态时可以大量合成, 而恢复到正常状

态下时又能被迅速水解。海藻糖还可以在植物生长发育过程中作为感应化合物、生长调控因子^[45]以及细菌细胞壁的结构组分^[4~9]。昆虫血液中的海藻糖浓度并不是体内稳态调控的。相反, 依据环境条件、生理状态和营养情况, 昆虫血液的海藻糖的浓度是经常变化的, 一般维持在 5~50 mmol/L 之间。海藻糖通过其浓度的变化主要来实现以下 4 个方面的功能: (1) 作为能

量的储备,转化成葡萄糖提供能量^[1~3,36]; (2) 作为防冻剂,降低过冷却点来使昆虫躲避冻害; (3) 作为蛋白质稳定剂,以保护昆虫躲避渗透和热压力情况,这项功能也是最近研究刚刚发现的^[1]; (4) 作为取食行为和营养摄入的反馈调节物质,包括海藻糖在内的血液代谢物通过调节味觉感受器和中枢神经系统从而影响昆虫取食过程中对食物的选择^[1]。

5 展望

长期以来人们对海藻糖的认识主要集中在能量储备方面^[1]。近年来,人们对其在抵抗周围恶劣环境方面如抗冻、躲避渗透和热压力等方面的功能也逐渐得到认识,目前海藻糖已被广泛用于生物制剂、医药、食品、化妆品及农业科学等各个行业^[13,14,47~51]。但是人们对于海藻糖的研究,尤其是昆虫方面的研究,还是冰山一角。海藻糖作为昆虫中最重要的血糖,参与了多种生理功能,因此研究昆虫中海藻糖的代谢以及代谢调控具有重要的理论和实践意义。一方面通过了解昆虫中的高海藻糖和低海藻糖因子对海藻糖的合成和降解的影响,对于揭示昆虫正常生理发育和对极端环境的适应机制具有重要的价值;另外一方面虽然海藻糖在低等生物有机体能量代谢过程中具有重要作用,但是哺乳动物血液中并不含有海藻糖这就使开发对人类健康相对安全的新型农药成为一种可能。

参 考 文 献

- Wyatt G. R. *Adv. Insect Physiol.*, 1967, **4**: 287~ 360.
- Friedman S. *Ann. Rev. Entomol.*, 1978, **23**: 389~ 407.
- Thompson S. N. *Adv. Insect Physiol.*, 2003, **31**: 205~ 285.
- Dashnau J. L., Conlin L. K., Nelson H. C. M., et al. *Biophys. Acta (BBA) - Gener. Subj.*, 2008, **1780**(1): 41~ 50.
- Nwaka S., Prog H. H. *Nucl. Acid Res. Mol. Biol.*, 1998, **58**: 197~ 237.
- Francois J., Parrou J. L. *FEMS Microbiol. Rev.* 2001, **25**(1): 125~ 145.
- Martin M. C., Diaz L. A., Manzanal M. B., et al. *FEBS Micro. Lett.*, 1986, **35**(1): 49~ 54.
- Elbein A. D., Mitchell M. J. *Bacteriol.*, 1973, **113**(2): 863~ 873.
- Shimakata T., Minatagawa Y. *Arch. Biochem. Biophys.*, 2000, **380**(2): 331~ 338.
- Wiggers H. A. L. *Justus Liebig's Annln. Chem.*, 1832, **1**: 129~ 182.
- Harding T. S. *Sugar.*, 1923, **25**: 476~ 478.
- Pierce A. H. *Psychol. Bull.*, 1915, **12**(5): 205~ 212.
- Roser B. *Trends Food Sci. Technol.*, 1991, **2**(7): 166~ 169.
- Singer M. A. *Mol. Cell.*, 1998, **1**(5): 639~ 648.
- Wyatt G. R., Kalf G. F., *J. Gen. Physiol.*, 1957, **40**(6): 833~ 847.
- Howen G. F., Kilby B. A. *Chem. Ind.*, 1956, 1453~ 1454.
- Evans D. R., Dethier V. G. *J. Insect Physiol.*, 1957, **1**(1): 3~ 17.
- Maquenne L. *Compt. Rend. Hebd. Seanc. Acad. Sci.*, 1891, **112**: 947.
- Richards A. B., Krakowka S., Dexter L. B., *J. Food. Chem. Toxicol.*, 2002, **40**(7): 871~ 898.
- Elbein A. D. In: Tipson R. S., Horton D. (ed.), *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry.*, vol. 30. New York: Academic Press, 1974. 227~ 256.
- Dowd M. K., Reilly P. J. *J. Comput. Chem.*, 1992, **13**(1): 102~ 114.
- Candy D. J., Becker A., Wegener G. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1997, **117B**: 497~ 512.
- Moelwyn-Hughes E. A. *Trans. Faraday Soc.*, 1929, **25**: 503~ 520.
- Eliel E. L., Michael H. G. *Tetrahedron Lett.*, 1962, **3**(3): 97~ 101.
- Rosser B. *TFST.*, 1991, **2**(7): 166~ 169.
- O'Brien J. J. *Food Sci.*, 1996, **61**(4): 679~ 682.
- De Smet S., Webb E. C., Claeys E., et al. *Meat Sci.*, 2000, **56**(1): 73~ 79.
- Klowden M. J. In: Klowden M. J. (ed.), *Physiological Systems in Insects*, (Sec. Ed.), Burlington: Elsevier Inc. Academic Press, 2007. 293~ 356.
- Candy D. J., Kilby B. A. *Nature.*, 1959, **183**(4675): 1594~ 1595.
- Murphy T. A., Wyatt G. R. *J. Biol. Chem.*, 1965, **240**(4): 1500~ 1508.
- Lomitzo F. A., Goldman D. J. *Biol. Chem.*, 1964, **239**(9): 2730~ 2734.
- Roth R., Sussmann M. *Biophys. Acta.*, 1966, **122**(2): 225~ 231.
- Nakada T., Maruta K., Tsusaki K., et al. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 1995, **59**(12): 2210~ 2214.
- Wannet W. J. B., Camp H. J. M. O., Wisselink H. W., et al. *Biophys. Acta (BBA) - Gener. Subj.*, 1998, **1425**(1): 177~ 188.

35 Kim Y. H ., Kwon T. K. , Park S. *Appl. Environ. Microbiol.* , 2000, **66**(11) : 4 620~ 46 241.

36 Schwarz A, Goedl C. , Minani A. , Nidetzky B. *J. Biotechnol.* , 2007, **129**(1): 140~ 150.

37 Montooth K.L. , Marden J. H. , Clark A. G. *Genetica* , 2003, **165** (2) : 623~ 635.

38 Kunieda T. , Fujiyuki T. , Kucharski R. , *Insect Mol. Biol.* , 2006, **15**(5) : 563~ 576.

39 Suarez R. K. , Darveau C. A. , Welch K. C. , O' J. *Exp. Biol.* , 2005, **208**(18): 3 573~ 3 579.

40 Santos C. D. , Ribeiro, A. F. , Terra W. R. *Insect Biochem.* , 1986, **16**(5) : 819~ 824.

41 Capella A. N. , Terra W. R. , Ribeiro A. F. , Ferreira C. *Insect Biochem. Mol. Biol.* , 1997, **27**:93~ 801.

42 Jin L. Q. , Xue Y. P. , Zheng Y. G. , Shen Y. C. *Catal. Commun.* , 2007, **7**(3) : 157~ 161.

43 Silva M. C. P. , Terra W. R. , Ferreira C. *Comp. Biochem. Physiol. Part B*. 2006, **143**: 367~ 373.

44 Hirayama C. , Konno K. , Wasano N. , Nakamura M. *Insect Biochem. Mol. Biol.* , 2007, **37**(12) : 1 348~ 1 358.

45 Vogel G. , Aeschbacher R. A. , Muller J. , Boller T. , *Plant J.* , 1998, **13**(5) : 673~ 683.

46 Elbein A. D. , Pan Y. T. , Pastuszek I. , David C. *Glycobiology* , 2003, **13**(4) : 17~ 27.

47 Kidd G. , Devorak J. *Biotechnology* , 1994, **12**: 1 328~ 1 329.

48 Roser B. *Biopharmacology* , 1991, **4**(8): 47~ 53.

49 Roser B. , Colaco C. A. A. *New Scientist* , 1993, **15**(5) : 25~ 28.

50 Lairion F. , Disalvo E. A. *Chem. Phys. Lipids* , 2007, **150**(2) : 117~ 124.

51 Kopjar M. , Pilišota V. , Hribar J. *J. Food Eng.* , 2008, **87** (3) : 341~ 350

会讯

第 23 届国际昆虫学大会在南非德班举行

第 23 届国际昆虫学大会于今年 7 月 6 日至 12 日在南非德班举行,这是自举办国际昆虫大学以来第一次在非洲举办的昆虫学大会。出席本次会议的代表有来自 86 个国家的近 2 000 名代表,其中代表人数超过百名以上的国家有美国(391 名),南非(319 名),澳大利亚(113 名),英国(111 名);来自非洲的代表超过 400 名;我国参加会议的代表共计 36 名,其中 24 名来自台湾。

本次大会的主题是“昆虫学对现代科学的贡献”(Celebrating Entomology: Contributions to Morden Sceince)。

大会授予 3 位昆虫学家在昆虫学领域做出杰出贡献奖,他们是美国新奥尔良福摩 地下白蚁研究中心的 Ashok K. Raina 博士、澳大利亚西澳大学的 Leigh W. Simmons 博士和日本 Nagoya 大学的 Okitsugu Yamashita 教授。

大会举行了 6 个大会报告,报告人和题目分别为:美国佛罗里达州立大学 Walter R. Tschinkel 博士的“外来火蚁和本地蚂蚁: 一个令人深思的故事”(Exotic fire ants and native ants: a cautionary tale); 荷兰瓦格林根大学 Louise E. M. Vert 教授的“多营养层世界的昆虫- 植物相互关系”(Insect-plant interactions in a multitrophic world); 肯尼亚国际昆虫生理生态学研究 中心 Zeyaur Khan 博士的“一种以化学生态学为基础, 适用于非洲小农户害虫综合治理的“推- 拉”策略”(Push-Pull-“a chemical ecology-based IPM strategy from smallholder farmers in Africa); 印度生态科学研究中心 Raghavendra Gadagkar 教授的“热带社会性昆虫的功能性结构”(The functional organization of a trophical insect society); 南非 Witwatersrand 大学, 国家传染性疾病研究所 Maureen Coetzee 教授的“疟疾和蚊子: 抗药性会成为防治失败的原因吗?” (Malaria and Mosquitoes: will insecticide resistance be our downfall); 英国牛津大学 H. Charles J. Godfray 教授的“什么构建了植物和植食性昆虫群落结构?” (What structures the communities of plant-feeding insects?)。