

四种菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫线粒体膜流动性的影响

李海平^{1*} 张 丛¹ 牛婧玮¹ 常 静¹ 刁青云²

(1. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019; 2. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093)

摘要: 为明确菊酯类杀虫剂对昆虫线粒体膜流动性的影响, 以1,6-二苯基-1,3,5-己三烯(1,6-diphenyl-1,3,5-hexatriene, DPH)为荧光探针, 采用荧光偏振法研究了4种菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫 *Aphis* sp. 线粒体膜流动性的影响。结果表明, 4种菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫线粒体膜流动性均有显著影响, 其荧光偏振度显著增大, 线粒体膜流动性显著减小。当药剂浓度为100 $\mu\text{mol/L}$ 时, 对照组枸杞蚜虫线粒体膜的荧光偏振度为0.239, 高效氯氟菊酯的影响最大, 线粒体膜的荧光偏振度为0.315, 联苯菊酯的影响最小, 线粒体膜的荧光偏振度为0.287。4种菊酯类杀虫剂对线粒体膜流动性的影响都存在一定的浓度效应, 当药剂浓度在0~100 $\mu\text{mol/L}$ 范围内, 浓度越大影响越大。4种菊酯类杀虫剂在不同温度下对枸杞蚜虫线粒体膜流动性的影响不同, 高效氯氟菊酯、联苯菊酯和甲氰菊酯对线粒体膜流动性的影响基本不受温度影响, 而氯菊酯在高温条件下产生的影响大, 在低温条件下产生的影响小, 表现为明显的正温度系数。表明DPH可以作为荧光探针研究枸杞蚜虫线粒体膜的流动性。

关键词: 枸杞蚜虫; 菊酯类杀虫剂; 线粒体膜; 流动性; 温度

Effects of four pyrethroids on mitochondrial membrane fluidity of *Aphis* sp.

Li Haiping^{1*} Zhang Cong¹ Niu Jingwei¹ Chang Jing¹ Diao Qingyun²

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia Autonomous Region, China; 2. Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: To determine the effects of pyrethroids, bifenthrin, β -cypermethrin, fenpropathrin and permethrin, on the fluidity of mitochondrial membrane in insects, four pyrethroids were studied by using 1,6-diphenyl-1,3,5-hexatriene (DPH) as a fluorescence probe in *Aphis* sp. The results showed that the fluidity of mitochondrial membrane could be affected by the four pyrethroids. The four pyrethroids increased the values of DPH polarization of mitochondrial membrane, while the fluidity of mitochondrial membrane decreased. When the concentration of pyrethroids was 100 $\mu\text{mol/L}$, the extent of effect caused by β -cypermethrin was the largest, with a DPH polarization value of 0.315 (the value of CK was 0.239). The smallest value (0.287) was detected in bifenthrin among the tested pyrethroids. In the range of 0–100 $\mu\text{mol/L}$, the effects increased with increasing concentrations of the four pyrethroids. The effects of pyrethroids on the fluidity of mitochondrial membrane were different at different temperatures. The effect caused by permethrin was greater at higher temperature than at lower temperature, showing a positive temperature coefficient to permethrin. There was no interaction between the effects of the other three pyrethroids on the fluidity of membrane and the temperature. The results indicated that DPH could be used as a fluorescence probe to study the fluidity of mitochondrial membrane of *Aphis* sp.

Key words: *Aphis* sp.; pyrethroids; mitochondria membrane; fluidity; temperature

基金项目: 国家自然科学基金(31260440)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: lihaiping5820@hotmail.com

收稿日期: 2017-09-25

生物膜是生命体进行正常生理功能的结构,膜的流动性是生物膜结构的基本特征,适合的流动性对生物膜表现正常生理功能具有非常重要的作用(Shinitzky, 1984)。生物膜也是杀虫剂进入昆虫细胞的必经之路, Antunes-Mederia & Maderia (1979)认为杀虫剂可以进入膜,并与非能化态的生物膜发生作用,从而引起膜流动性的改变,增加生物膜对 K^+ 、离子载体、电解质及非电解质的通透性。所以杀虫剂进入细胞时,生物膜会最先受到毒物的损害,主要表现在对膜酶的生化性质及膜流动性的影响(黄伯俊和黄毓麟, 2004)。

在众多膜流动性的研究方法中,荧光偏振法最为简便,能定量说明膜脂分子的运动情况。研究膜流动性的荧光探针有多种,其中1,6-二苯基-1,3,5-己三烯(1,6-diphenyl-1,3,5-hexatriene, DPH)是一种比较敏感的荧光探针,在应用荧光偏振法研究膜的流动性试验中被经常使用(Harrells & Simon, 1987; 许金钩和王尊本, 2006; 李海平等, 2012)。荧光偏振法测出的参数如荧光偏振度、各向异性等均能够定量描述膜脂的流动性,在各类研究中经常被应用(林克椿和聂松青, 1985)。

关于杀虫剂对膜流动性的影响已经在医学领域被证实,研究对象多为高等动物的生物膜。如Braquini et al. (2004)研究了溴氰菊酯对老鼠脑突触体膜流动性的影响; Nasuti et al. (2003)和唐促跃等(1989)都以DPH作为荧光探针,分别比较研究了2种菊酯类杀虫剂氯菊酯和氰菊酯对老鼠血浆红细胞膜、老鼠突触体膜流动性的影响;周哲等(1992)研究了4种菊酯类药剂对人红细胞膜上DPH光谱及荧光各向异性的影响。而关于杀虫剂对昆虫生物膜流动性的影响报道并不多,仅见曾晓芃等(1998)和Li et al. (2009)分别以DPH为荧光探针,研究了不同杀虫剂对家蝇 *Musca domestica* L. 和二化螟 *Chilo suppressalis* Walker 线粒体膜的影响。

枸杞是我国西部地区重要的经济作物,在宁夏、甘肃、内蒙古等省区分布广泛,是当地农民主要的经济收入来源,俗称“红宝”。枸杞蚜虫 *Aphis* sp. 是枸杞上的3大害虫之一,严重影响枸杞的产量和品质。菊酯类杀虫剂是目前防治枸杞蚜虫的主要药剂,在农业生产中也是最常用的杀虫剂之一。关于菊酯类杀虫剂的杀虫机制研究较多,但其杀虫机制比较复杂,需从多角度研究探索。因此本试验选用枸杞蚜虫作为研究对象,探讨4种菊酯类杀虫剂对枸杞

蚜虫线粒体膜流动性的影响,以期更深一步研究菊酯类杀虫剂的毒理机制。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫及植物:枸杞蚜虫采自内蒙古自治区呼和浩特市托克托县团结乡,采回后在室内培育的枸杞植株上饲养。枸杞品种为宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L., 幼苗购自呼和浩特市托克托县五申镇,在实验室内培育3年。枸杞蚜虫采回后在温度为25℃、相对湿度为50%~70%、光照周期为17 L:7 D的条件下饲养1周后,选用个体大小、发育状况大体一致的无翅蚜用于试验。

药剂:96%联苯菊酯(bifenthrin)原药、27%高效氯氰菊酯(β -cypermethrin)原药、40%甲氰菊酯(fenpropathrin)原药、95%氯菊酯(permethrin)原药,江苏扬农化工股份有限公司。

试剂及仪器:99%牛血清白蛋白,美国Sigma公司;考马斯亮蓝G-250、98% DPH,美国Fluka公司;其它所选试剂均为国产分析纯。LS-55型荧光分光光度计,美国PE公司。

1.2 方法

1.2.1 枸杞蚜虫线粒体膜及荧光探针DPH的制备

参照Voss et al. (1961)方法并略有改进。挑取100头蚜虫加入1 mL冷蔗糖提取液,在冰浴条件下匀浆,匀浆液于4℃下以3 000×g离心10 min,取上清液,再次于4℃下以10 000×g离心30 min,弃去上清液,获得线粒体沉淀后用上述冷蔗糖提取液悬浮沉淀,备用。所有操作均在0~4℃进行。

将DPH储备液浓度用四氢呋喃调至 2×10^{-3} mol/L,低温保存于棕色瓶中。试验所需DPH溶液,使用前用PBS(pH 7.4的0.01 mol/L磷酸缓冲液、0.14 mol/L NaCl)稀释储备液至 2×10^{-6} mol/L,现配现用。因四氢呋喃为有机溶剂,配制时需猛烈振摇5~10 min。

1.2.2 DPH标记线粒体膜及荧光偏振度的测定

调整1.2.1制备的线粒体膜悬浮液蛋白含量为200~300 μ g/mL,再加入 2×10^{-6} mol/L DPH荧光探针2 mL,反应总体积为4 mL,在25℃下温育30 min,进行标记。参照林克椿等(1981)方法对标记的线粒体膜悬浮液进行线粒体膜偏振度的测定,使用带偏振附件的荧光分光光度计测定。主要测量参数为:激发波长 λ_{ex} 为365 nm,发射波长 λ_{em} 为438 nm,狭缝宽度均为10 nm,采用恒温水浴控制测试温度。用read

方法测得荧光偏振度 P 、各向异性 A ,并计算微粘度 η , $\eta=2P/(0.46-P)$ 。每处理3次重复,以非标记的线粒体膜悬浮液作为空白对照,以消除散射光和其它因素的影响。荧光偏振度 P 值增大,表征线粒体膜流动性减小;反之,荧光偏振度 P 值减小,表征线粒体膜流动性增大。

1.2.3 菊酯类杀虫剂的浓度效应测定

参照1.2.2的方法,测定时在温育好的线粒体膜体系中加入不同浓度的菊酯类杀虫剂,4种菊酯类杀虫剂联苯菊酯、高效氯氰菊酯、甲氰菊酯、氯菊酯的浓度均为20、40、60、80、100 $\mu\text{mol/L}$,分别测定不同浓度菊酯类杀虫剂对线粒体膜流动性的影响。以不加菊酯类杀虫剂的线粒体膜为对照。

1.2.4 菊酯类杀虫剂的温度效应测定

参照1.2.2方法,首先将线粒体膜体系在不同温度下温育,温度范围为15~45 $^{\circ}\text{C}$,间隔为5 $^{\circ}\text{C}$,调整机器的温度为线粒体膜温育温度,然后在温育温度下

测定线粒体膜的流动性。每个温度处理3次重复。

1.3 数据分析

试验数据采用Graphpad InStat 3.00软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA),应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫线粒体膜流动性的影响

枸杞蚜虫线粒体膜分别加入100 $\mu\text{mol/L}$ 浓度的4种菊酯类杀虫剂后,荧光偏振度均较对照显著增大,即供试药剂均显著降低了线粒体膜的流动性。其中高效氯氰菊酯对线粒体膜流动性的影响最大,荧光偏振度为0.315,联苯菊酯对线粒体膜的流动性影响最小,荧光偏振度为0.287,而对照的荧光偏振度为0.239;且高效氯氰菊酯对线粒体膜偏振度的影响与其它3个药剂差异显著(表1)。各向异性和微粘度也反应了相同的影响趋势。

表 1 菊酯类杀虫剂(100 $\mu\text{mol/L}$)对DPH标记的枸杞蚜虫线粒体膜流动性的影响
Table 1 Effects of 100 $\mu\text{mol/L}$ pyrethroids on the fluidity of mitochondrial membrane in *Aphis* sp.

杀虫剂 Insecticide	偏振度 Polarization	各向异性 Anisotropy	微粘度 Microviscosity
对照 CK	0.239±0.005 a	0.225±0.005 a	2.163
联苯菊酯 Bifenthrin	0.287±0.002 b	0.251±0.007 b	3.318
甲氰菊酯 Fenpropathrin	0.301±0.004 b	0.274±0.002 c	3.786
氯菊酯 Permethrin	0.305±0.009 b	0.275±0.003 c	3.935
高效氯氰菊酯 β -cypermethrin	0.315±0.009 c	0.295±0.005 d	4.345

表中数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2 菊酯类杀虫剂对线粒体膜流动性的浓度效应

4种菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫线粒体膜的影响均呈现浓度效应关系,整体趋势表现出均随浓度的增加对线粒体膜的荧光偏振度影响增大。在所测定的浓度范围内,高效氯氰菊酯的影响最大,而甲氰菊酯和氯菊酯在低浓度20 $\mu\text{mol/L}$ 时影响较小,之后随着浓度的增加影响逐渐加大,当浓度达到80 $\mu\text{mol/L}$ 时,与高效氯氰菊酯的影响几乎相同,此时加入甲氰菊酯、氯菊酯和高效氯氰菊酯后线粒体膜的荧光偏振度分别为0.299、0.303和0.300,之后甲氰菊酯和氯菊酯对线粒体膜荧光偏振度的影响趋于平缓,而高效氯氰菊酯对线粒体膜荧光偏振度的影响继续增加(图1)。联苯菊酯对枸杞蚜虫线粒体膜流动性的影响在所测浓度范围内都是最小的。

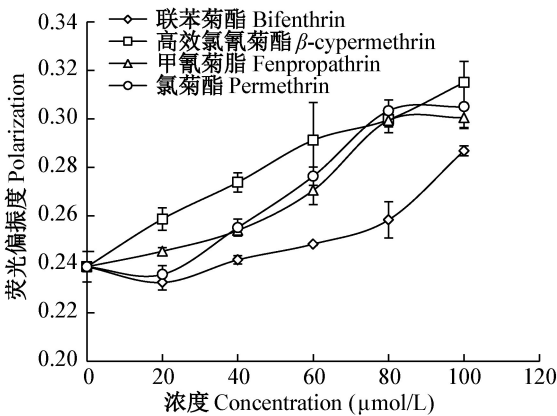


图 1 菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫线粒体膜流动性的浓度效应
Fig. 1 Effects of pyrethroids on membrane fluidity of *Aphis* sp. at different concentrations

图中数据为平均数±标准误。Data are mean±SE.

2.3 菊酯类杀虫剂对线粒体膜流动性的温度效应

4种菊酯类杀虫剂在所测定温度范围内对枸杞蚜虫线粒体膜的流动性均有影响。甲氰菊酯、联苯菊酯和高效氯氰菊酯对线粒体膜荧光偏振度的影响程度并不随着温度的变化而变化,而氯菊酯在不同温度下对线粒体膜光偏振度的影响不同。当温度为

45℃时,对照线粒体膜荧光偏振度为0.168,加入氯菊酯后荧光偏振度为0.238,增加了0.070;在温度为15℃时,对照线粒体膜的荧光偏振度为0.274,加入氯菊酯后荧光偏振度为0.304,增加了0.030,表明在高温下影响比较大,而随着温度的降低影响减弱,呈现正温度系数的特点(图2)。

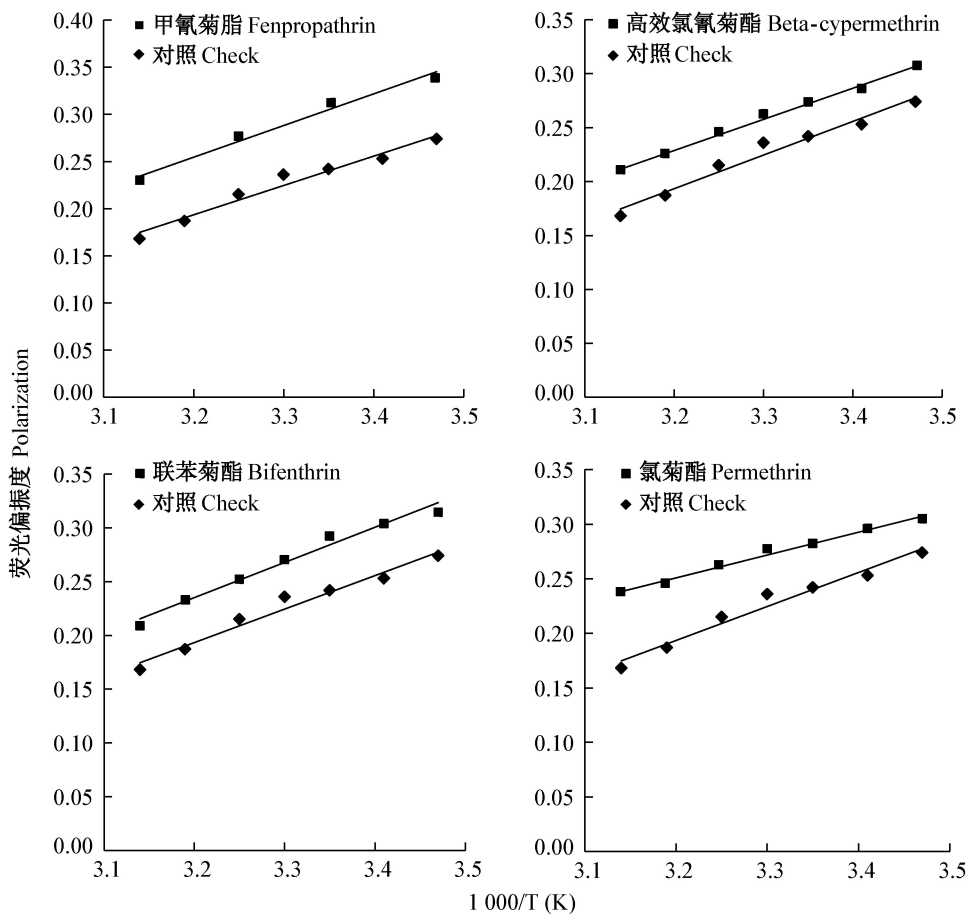


图2 不同温度下菊酯类杀虫剂对DPH标记的枸杞蚜虫线粒体膜偏振度的影响

Fig. 2 Effects of pyrethroids on DPH polarization of mitochondrial membrane in *Aphis* sp. at different temperatures

3 讨论

膜脂流动性是生物膜结构的主要特征之一,适当的流动性对生物膜表现其正常功能具有极为重要的作用。当毒物因其趋脂性而插入生物膜脂质双分子层与其发生反应时,可明显改变膜的转运功能,影响膜的完整性。唐促跃等(1989)以DPH作为荧光探针,比较研究了不同菊酯类杀虫剂对老鼠突触体膜流动性的影响,发现2种类型的杀虫剂对老鼠突触体膜流动性的影响不同,其中不含 α -氰基的I型杀虫剂降低了膜中DPH的荧光偏振度,即增加了膜的流动性,而含有 α -氰基的II型杀虫剂则增加了DPH的荧光偏振度,即降低了膜的流动性;曾晓茆

等(1998)研究杀虫剂对家蝇飞翔肌线粒体膜流动性的影响时,也发现I型拟除虫菊酯杀虫剂可以增加膜的流动性,而II型拟除虫菊酯杀虫剂则降低膜的流动性;Braguini et al. (2004)在研究溴氰菊酯对老鼠脑突触体膜流动性的影响时,也表明溴氰菊酯可降低膜的流动性。但Nasuti et al. (2003)研究了II型菊酯类杀虫剂氯菊酯和氯氰菊酯对老鼠血浆红细胞膜的影响,发现都可以降低老鼠血浆红细胞膜中的荧光偏振度,增加膜的流动性,氯菊酯比氯氰菊酯的影响更大,与是否含有 α -氰基无关;Sarkar et al. (1993)研究氰戊菊酯对老鼠脑突触体膜和人工合成膜的影响时发现,氰戊菊酯可增加脑突触体膜的流

动性,与上述研究结论不同。Li et al.(2015)也发现醚菊酯对二化螟和拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* 线粒体膜流动性的影响不同。本研究中,4种菊酯类杀虫剂都可增加枸杞蚜虫线粒体膜的荧光偏振度,显著降低了膜的流动性。一般认为,不含 α -氰基的I型拟除虫菊酯易于进入膜脂双层的烃链区,从而干扰膜脂双层的排列,削弱脂质分子层的相互作用,增加膜的流动性;而含 α -氰基的II型拟除虫菊酯因其分子中含有极性基团,更易作用于脂质双分子的极性基团和膜蛋白分子中的极性基团,从而降低膜的流动性(杨福愉等,1985)。但从目前的研究结论看,菊酯类杀虫剂对昆虫生物膜流动性的影响比较复杂,除与菊酯类杀虫剂的结构有关外,可能与研究对象也有关系。

杀虫剂对线粒体膜流动性的影响程度与杀虫剂的浓度也有关系。本试验结果显示,杀虫剂在一定的浓度范围内,一般随浓度的增加对线粒体膜流动性的影响加大。Sarkar et al.(1993)的研究发现,氰戊菊酯在浓度为0~80 $\mu\text{mol/L}$ 的范围内,随着浓度的增加,对老鼠脑突触体膜偏振度的影响加大,与浓度呈正相关关系,与本研究结论一致。周哲等(1992)以及Li et al.(2009;2015)也有类似的研究结论,说明药剂浓度与对生物膜流动性的影响程度密切相关。

膜的流动性受很多因素的影响,其中温度是最主要的因素之一。一般认为拟除虫菊酯类杀虫剂具有负温度系数。Sparks et al.(1982)认为,不含 α -氰基的拟除虫菊酯比含 α -氰基的拟除虫菊酯更趋向于负温度系数。负温度系数受到很多因素的影响,Scott & Georgiou(1984)认为膜脂溶性的差异是负温度系数的产生机制之一。Braguini et al.(2004)在研究氰戊菊酯对老鼠脑突触体膜流动性的影响时发现,氰戊菊酯无论是对老鼠脑突触体膜还是人工膜,都是在低温下影响大,高温下影响小,表现为负温度系数;曾晓芃等(1998)研究了不同温度下菊酯类杀虫剂对家蝇飞翔肌线粒体膜流动性的影响,发现氯菊酯在低温下对膜荧光偏振度的影响大,而溴氰菊酯在高温下对膜流动性的影响更大;Li et al.(2009)在研究菊酯类杀虫剂对二化螟线粒体膜流动性的影响时发现,溴氰菊酯、联苯菊酯、氟氯氰菊酯都表现为典型的负温度系数。本试验结果中,除氯菊酯表现为典型的正温度系数外,其它3种菊酯类杀虫剂

受温度的影响都不明显。因为神经膜主要由磷脂组成,高温下多处于液晶态,从而使膜上结合的农药增多,所以应该拥有正温度系数(杨福愉,1981)。但从研究结果来看,多数菊酯类杀虫剂在对生物膜流动性的影响方面表现为负温度系数。关于温度对拟除虫菊酯类杀虫剂的影响,目前有很多的研究,结论各异,菊酯类杀虫剂是否表现为负温度系数,除与菊酯类杀虫剂的结构有关外,还和供试的昆虫有关,即使是同一种菊酯类杀虫剂,对不同的昆虫也表现为不同的温度系数。因此温度对菊酯类杀虫剂的影响比较复杂,还需要进一步探索研究。

参考文献 (References)

- Antunes-Mederia MC, Maderia VMC. 1979. Interaction of insecticides with lipid membranes. *Biochimica et Biophysica Acta*, 550(3): 384-392
- Braguini WL, Cadena SM, Carnieri EG, Rocha ME, de Oliveira MB. 2004. Effects of deltamethrin on function of rat liver mitochondria and on native and synthetic model membranes. *Toxicology Letters*, 152(3): 191-202
- Harris RA, Simon FR. 1987. What should hepatologists know about membrane fluidity? *Hepatology*, 7(1): 177-180
- Huang BJ, Huang YL. 2004. *Pesticide toxicology*. Beijing: People's Military Press, pp. 166-188 (in Chinese) [黄伯俊, 黄毓麟. 2004. 农药毒理学. 北京: 人民军医出版社, pp. 166-188]
- Li HP, Chang J, Feng T, Gao XW. 2015. Differential effects of insecticides on mitochondrial membrane fluidity and ATPase activity between the wolf spider and the rice stem borer. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(12): 2574-2580
- Li HP, Feng T, Shi XY, Liang P, Zhang Q, Gao XW. 2009. Effects of pyrethroids and endosulfan on fluidity of mitochondria membrane in *Chilo suppressalis* (Walker). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 95(2): 72-76
- Li HP, Shi XY, Liang P, Gao XW. 2012. Effect of insecticides on mitochondrial membrane fluidity of *Chilo suppressalis* measured by a fluorescent DPH probe. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(2): 342-347 (in Chinese) [李海平, 史雪岩, 梁沛, 高希武. 2012. DPH标记法研究杀虫剂对二化螟线粒体膜流动性的影响. *应用昆虫学报*, 49(2): 342-347]
- Lin KC, Nie SQ. 1985. Fluidity of cell membrane. *Progress in Physiology*, 16(1): 83-89 (in Chinese) [林克椿, 聂松青. 1985. 细胞膜的流动性. *生理科学进展*, 16(1): 83-89]
- Lin KC, Nie SQ, Bo HQ, Qiao YL. 1981. Membrane fluidity of ascites tumor by fluorescence probe DPH. *Acta Biochemistry and Biophysics Sinica*, (6): 32-35 (in Chinese) [林克椿, 聂松青, 薄慧卿, 乔玉兰. 1981. 用荧光探针DPH研究腹水癌细胞膜脂流动. *生物化学与生物物理学报*, (6): 32-35]

- Nasuti C, Cantalamessa F, Falcioni G, Gabbianelli R. 2003. Different effects of type I and type II pyrethroids on erythrocyte plasma membrane properties and enzymatic activity in rats. *Toxicology*, 191(2/3): 233–244
- Sarkar SN, Balasubramanian SV, Sikdar SK. 1993. Effect of fenvalerate, a pyrethroid insecticide on membrane fluidity. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1147(1): 137–142
- Scott JG, Georgiou GP. 1984. Influence of temperature on knock-down, toxicity and resistance to pyrethroids in the house fly, *Musca domestica*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 21(1): 53–62
- Shinitzky M. 1984. Membrane fluidity and cellular functions physiology of membrane fluidity. New York: CRC Press, pp. 1–51
- Sparks TC, Shour MH, Wellemeyer EG. 1982. Temperature-toxicity relationships of pyrethroids on three lepidopterans. *Journal of Economic Entomology*, 75: 643–646
- Tang CY, Ma TG, Liu YG. 1989. Study on effects of two kinds of pyrethroids to synaptosome membrane fluidity. *Journal of Healthy Toxicity*, 3(3): 146–149 (in Chinese) [唐促跃, 马谭庚, 刘毓谷. 1989. 两型拟除虫菊酯类杀虫剂对突触体膜流动性影响研究. *卫生毒理学杂志*, 3(3): 146–149]
- Voss DO, Campelo AP, Bacial M. 1961. The respiratory chain and oxidative phosphorylation of rat brain mitochondria. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 4: 48–51
- Xu JG, Wang ZB. 2006. *Fluorophotometric analysis* (3rd edition). Beijing: Science Press, pp. 8–9, 64–70, 137–138, 184–197 (in Chinese) [许金钩, 王尊本. 2006. 荧光分析法(第3版). 北京: 科学出版社, pp. 8–9, 64–70, 137–138, 184–197]
- Yang FY. 1981. Fluidity of biological membrane. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, (5): 1–6 (in Chinese) [杨福愉. 1981. 生物膜的流动性. *生物化学与生物物理进展*, (5): 1–6]
- Yang FY, Huang F, Wang JF. 1985. Lipid-protein interaction of membrane. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, (5): 2–7 (in Chinese) [杨福愉, 黄芬, 王金凤. 1985. 膜脂-膜蛋白的相互作用(上). *生物化学与生物物理进展*, (5): 2–7]
- Zeng XF, Ma Y, Tong Y, Han YH, Xue SQ. 1998. Study on the effect of insecticides on the fluidity of mitochondrial membrane in housefly (*Musca domestica* L.). *China Journal Vector Biology and Control*, 9(6): 429–435 (in Chinese) [曾晓芑, 马彦, 佟颖, 韩玉华, 薛素琴. 1998. 杀虫剂对家蝇线粒体膜脂流动性影响的研究. *中国媒介生物及控制杂志*, 9(6): 429–435]
- Zhou Z, Cong RJ, Liu YG. 1992. Study on fluorescence polarization to effect of pyrethroid to DMPC liposome membrane. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 19(4): 311–313 (in Chinese) [周哲, 丛蓉娟, 刘毓谷. 1992. 拟菊酯对DMPC脂质体膜脂排列影响的荧光偏振研究. *生物化学与生物物理进展*, 19(4): 311–313]

(责任编辑:李美娟)