不同温度条件下红颈常室茧蜂蛹和成虫过冷却点和结冰点的测定

夏亚运[1,2]， 韦 宁[2]， 蔡笃程[1*]， 罗淑萍[2*]

（1. 海南大学环境与植物保护学院，海口 570228；2. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193）

摘要 通过比较不同温度下红颈常室茧蜂 *Peristenus spretus* Chen *et* van Achterberg 蛹、雌蜂、雄蜂以及不同日龄的滞育蛹的过冷却点和结冰点，以明确红颈常室茧蜂蛹、成虫和滞育蛹耐寒能力的差异。结果表明：蛹的过冷却点和结冰点均显著低于成虫、滞育蛹的过冷却点和结冰点均显著低于非滞育蛹；相同温度下，雄蜂和雌蜂之间的过冷却点、结冰点差异不显著；滞育蛹的过冷却点和结冰点随着滞育时间延长而逐渐降低，在滞育 150 d 时，其过冷却点和结冰点最低，分别为(－23.36±0.60)℃与(－22.92±0.65)℃。该研究结果有助于推测此蜂在我国的越冬分布区，并对其大规模繁殖和滞育蛹的保存具有重要的实用价值。

关键词 红颈常室茧蜂； 过冷却点； 结冰点； 滞育蛹

中图分类号： S 476.3 **文献标识码**： A **DOI**： 10.3969/j.issn.0529－1542.2017.03.010

The supercooling points and freezing points of pupae and adults of *Peristenus spretus* Chen *et* van Achterberg at different rearing temperatures

Xia Yayun[1,2]， Wei Ning[2]， Cai Ducheng[1]， Luo Shuping[2]

（1. *College of Environmental and Plant Protection*, *Hainan University*, *Haikou* 570228, *China*; 2. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*, *Institute of Plant Protection*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*）

Abstract By comparing the supercooling points and freezing points of *Peristenus spretus* Chen *et* van Achterberg pupae, female and male adults, and the diapaused pupae of different ages at different rearing temperatures, we aimed to identify the differences among pupae, adults, and diapaused pupae in terms of cold hardiness. The results showed that the SCP and FP of pupae were lower than those of adults, and SCP and FP of diapaused pupae were lower than non-diapaused pupae at different rearing temperatures. No difference was observed in the SCP and FP between female and male parasitoids. The SCP and FP of diapaused pupae were reduced gradually with diapause prolongation. The lowest average SCP and FP were (－23.36±0.60)℃ and (－22.92±0.65)℃ when *P. spretus* pupae diapaused for 150 days. The results provide insights into the forecast of the overwintering distribution of *P. spretus* in China. Moreover, the results can also provide valuable information for mass rearing and storage of diapaused pupae of *P. spretus*.

Key words *Peristenus spretus*; supercooling point; freezing point; diapaused pupa

盲蝽是一类刺吸性害虫，已在我国华北地区泛滥成灾，其寄主范围广，对棉花、枣树、葡萄等多种农作物造成严重的经济损失[1-2]。红颈常室茧蜂 *Peristenus spretus* Chen *et* van Achterberg 属于膜翅目 Hymenoptera，茧蜂科 Braconidae，常室茧蜂属 *Peristenus*，是盲蝽若虫的一种优势内寄生蜂，在田间主要寄生绿盲蝽低龄若虫。在河北廊坊 5－9 月，在 12 种寄主植物上 2 种常室茧蜂属寄生蜂对盲蝽若虫寄生率可达 8.8%左右，最高达 36.7%；枣园田间释放红颈常室茧蜂，对绿盲蝽 *Apolygus lucorum*

收稿日期： 2016－12－27 **修订日期**： 2017－03－02
基金项目： 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(2013CB127602)
* 通信作者 E-mail：dccai@sina.cn；shp.l@126.com

(Meyer-Dür) 的寄生率为 41.5%,田间罩笼按蜂:蝽为1:50 连续 3 次释放红颈常室茧蜂,对绿盲蝽的平均寄生率可达 60.4%[3-4]。可见,红颈常室茧蜂是一种极具生物防治潜力的天敌昆虫,对控制绿盲蝽的种群数量起着重要作用。

昆虫的过冷却点与其耐低温能力密切相关,是衡量其耐寒能力的一个重要指标[5]。耐寒性强弱直接影响到昆虫的扩散与分布,影响天敌昆虫的应用范围。通过过冷却点的测定,有助于了解昆虫的耐寒机制、抗寒能力、扩散与分布规律、生殖潜力及下一季度的种群发生状况[6-7]。前人对茧蜂科寄生蜂的耐寒能力已有相关研究,例如,明确了不同发育阶段烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 的过冷却点和结冰点,以及变温储藏对其耐寒能力的影响[8-9]。另有研究发现,阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus* (Sonan)的老熟幼虫、不同日龄蛹及不同日龄成虫的过冷却点和结冰点存在一定的差异[10]。

在 15～27℃内,随着温度的升高,红颈常室茧蜂发育历期缩短,并且雌蜂比例显著增加[11]。因此,为了节约生产成本,并取得更佳的生物防治效果,在实际人工扩繁天敌时,采用 25～27℃的温度,生产出雌蜂比例较高的红颈常室茧蜂种群。但尚未明确较高温度生长发育的红颈常室茧蜂种群是否与低温下发育的种群具有相同的耐寒性,从而有利于红颈常室茧蜂的储藏、运输和低温保存。因此,本文比较红颈常室茧蜂在不同温度下蛹的前、中、后期和雌、雄成虫的过冷却点和结冰点,以明确蛹、成虫耐寒力的差异,筛选适宜低温保存的蛹期,推测该蜂潜在的地理分布范围,并对该寄生蜂的冷藏运输提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

绿盲蝽:来自中国农业科学院植物保护研究所人工饲养繁殖 5 代以上的种群。用新鲜的四季豆 *Phaseolus vulgaris* L. 喂养成虫[12],用新鲜的玉米果穗饲养若虫。

红颈常室茧蜂:采自河北廊坊,并在中国农业科学院植物保护研究所廊坊试验基地人工饲养繁殖 5 代以上的种群。具体饲养流程如下:在温度为(23±1)℃,相对湿度为 70%±10%,光照周期为 L//D=14 h//10 h 的养虫室中饲养,1 L 的透明塑料接种盒中放入 100 头 2 龄末的绿盲蝽若虫和 4 对红颈常室茧蜂成虫,并提供 10%蜂蜜水和四季豆供红颈常室茧蜂和绿盲蝽取食。接虫 24 h 后,将绿盲蝽转入 1.2 L 圆柱形塑料养虫盒用新鲜玉米饲养。饲养 8 d 后,红颈常室茧蜂即将化蛹前,在饲养盒底铺 3 cm 厚的湿润蛭石,作为红颈常室茧蜂老熟幼虫化蛹场所。且每日更换含有蛭石的圆柱形塑料养虫盒,并注明日期,使每个养虫盒中的蛹都为同天所化的蛹。待寄生蜂羽化为成虫后,成虫在有机玻璃养蜂箱(30 cm×30 cm×45 cm)中用 10%的蜂蜜水喂养,按此法循环继代饲养[13]。

按上述方法进行红颈常室茧蜂接虫,接虫后的绿盲蝽分别放入 5 个人工气候箱中进行饲养,其中 4 个人工气候箱设置相对湿度 70%±10%,光照周期 L//D=14 h//10 h,温度分别为 15、19、23、27℃,所得红颈常室茧蜂蛹和成虫用以测定过冷却点和结冰点;第 5 个人工气候箱设置相对湿度 70%±10%,光照周期 L//D=8 h//16 h,温度 15℃,用以繁殖红颈常室茧蜂的滞育蛹[14],滞育蛹放入 4℃冰箱用以测定滞育蛹的过冷却点和结冰点。

1.2　蛹、成虫、滞育蛹过冷却点和结冰点的测定

1.2.1　不同温度下发育的红颈常室茧蜂蛹过冷却点和结冰点的测定

根据各温度下蛹的发育历期,设定蛹的前、中、后期。15℃下饲养的测定第 5、15、25 天的蛹;19℃下的测定第 3、8、14 天的蛹;23℃下的测定第 1、5、11 天的蛹;27℃下的测定化蛹后第 1、4、9 天的蛹。各温度处理的前、中、后期蛹至少测定 30 头。在高低温交变试验箱(VM04/100 型,北京切克试验设备有限公司)中用智能过冷却点测定仪 SUN-Ⅱ型(北京鹏程电子有限公司)进行过冷却点和结冰点的测定。用保鲜膜固定蛹和热敏电阻探头,使之紧密接触。高低温交变箱以 1℃/min 的速度迅速降温,虫体温度变化通过过冷却点客户端软件录于计算机中,实时绘制出虫体温度变化曲线。当温度迅速下降达到虫体结冰的温度时,虫体内将迅速释放大量的热能,使虫体温度逐渐上升,此时温度曲线显示上升的转折点为过冷却点;当记录的曲线上升到一定程度后又再次突然下降,此时温度上升的最高点为结冰点。

1.2.2　红颈常室茧蜂滞育蛹过冷却点和结冰点的测定

将进入滞育状态的蛹放入 4℃的冰箱中,在第 30、60、90、120 和 150 天时,分别从冰箱中取出滞育蛹,测量滞育蛹的过冷却点和结冰点,重复数约 20 头,第 150 天时为 10 头。过冷却点和结冰点的测定

方法同上。

1.2.3 红颈常室茧蜂成虫过冷却点和结冰点的测定

同一天羽化的雌、雄成虫分别在有机玻璃养蜂箱中用10%蜂蜜水饲养，饲养温度与幼期生长温度相同。测定第3日龄的雌、雄成虫的过冷却点和结冰点，测定数量不少于25头。每头成虫单独装入指形管，用棉塞封口，放入－20℃冰箱冷冻2 min后取出，然后在高低温交变试验箱内进行过冷却点和结冰点的测定，方法同上。

1.3 数据处理

用SAS软件(SAS Institute, 1999)对试验结果进行统计分析。用Duncan氏新复极差法进行多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 红颈常室茧蜂蛹的过冷却点和结冰点

相同温度条件不同时期蛹的过冷却点、结冰点存在显著差异(表1)。27℃下发育的红颈常室茧蜂蛹后期的过冷却点和结冰点显著低于蛹前中期；但在23℃和15℃下，结果恰好与27℃相反；19℃下，蛹前、中、后期间的过冷却点、结冰点差异不显著。

不同温度条件下同一时期红颈常室茧蜂蛹的过冷却点、结冰点存在差异(表1)。27℃条件下蛹前期的过冷却点、结冰点显著高于其他温度。15℃和19℃下蛹中期的结冰点显著低于23℃和27℃。但27℃和19℃蛹后期的结冰点均显著低于15℃和23℃。

表1 不同温度条件下红颈常室茧蜂蛹前期、中期、后期的过冷却点和结冰点[1)]

Table 1 The supercooling points and freezing points of *Peristenus spretus* at different pupal stages at different temperatures

温度/℃ Temperature	蛹发育时期 Pupal stage	测定数量/头 No. tested	过冷却点/℃ Supercooling point(SCP) 平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum	结冰点/℃ Freezing point(FP) 平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum
27	前期	42	(－21.63±0.18)aA	－24.11	－19.10	(－20.04±0.24)aA	－22.35	－17.00
	中期	32	(－21.83±0.28)abA	－24.10	－16.66	(－19.84±0.27)aA	－22.56	－17.31
	后期	30	(－22.54±0.17)cB	－23.97	－20.48	(－21.58±0.21)bB	－23.57	－21.30
23	前期	74	(－22.22±0.17)bB	－24.99	－18.21	(－21.18±0.22)bB	－25.77	－16.18
	中期	72	(－21.49±0.18)aA	－24.56	－17.69	(－19.24±0.24)aA	－23.43	－14.04
	后期	30	(－21.59±0.22)abA	－23.79	－19.31	(－20.52±0.31)aA	－23.23	－17.68
19	前期	70	(－22.15±0.15)bA	－24.04	－18.18	(－21.14±0.17)bA	－23.41	－17.93
	中期	59	(－22.27±0.13)bA	－25.28	－19.01	(－21.25±0.20)bA	－24.86	－17.44
	后期	40	(－22.16±0.21)bcA	－24.32	－18.20	(－21.28±0.22)bA	－23.40	－17.72
15	前期	30	(－22.67±0.09)bB	－23.68	－21.83	(－21.63±0.20)bB	－23.34	－18.99
	中期	31	(－22.33±0.22)bB	－24.36	－19.69	(－21.31±0.24)bB	－23.87	－18.27
	后期	45	(－21.46±0.24)aA	－24.20	－17.76	(－20.28±0.18)aA	－23.27	－16.26

1) 相同大写字母表示相同饲养温度下蛹不同时期的过冷却点或者结冰点差异不显著，相同的小写字母表示不同温度下同一蛹期过冷却点或结冰点差异不显著($P<0.05$)。

The same capital letters indicate no significant difference in the supercooling points and freezing points between different pupal stages reared at the same temperature. The same lowercase letters indicate no significant difference in the supercooling points and freezing points of the same pupal stage at different temperatures ($P<0.05$).

2.2 滞育蛹的过冷却点和结冰点

红颈常室茧蜂滞育蛹的日龄对其过冷却点、结冰点具有显著的影响(表2)。滞育90～150 d的蛹其过冷却点显著低于滞育30～60 d的蛹，同样，滞育时间越长蛹的结冰点也越低(表2)。在滞育150 d时，红颈常室茧蜂滞育蛹过冷却点和结冰点达到最低，分别为(－23.36±0.60)℃与(－22.92±0.65)℃。

2.3 红颈常室茧蜂成虫过冷却点和结冰点

不同温度下饲养的红颈常室茧蜂雄、雌成虫的过冷却点、结冰点均存在显著差异(表3)。19℃下饲养的雄蜂过冷却点、结冰点最低，15℃和27℃下饲养的雌蜂过冷却点显著低于23℃。相同的温度下，仅在15、19℃下发育的雌雄成虫之间的过冷却点、结冰点差异显著。19℃下饲养的雄成虫过冷却点、结冰点低于雌成虫，而15℃下饲养的雄成虫其过冷却点、结冰点要高于雌成虫。

2.4 成虫和蛹的过冷却点和结冰点的比较

19℃下发育的红颈常室茧蜂成虫和蛹的过冷却点和结冰点显著低于其他温度。同一温度下，红颈常室茧蜂蛹的过冷却点和结冰点均显著低于成虫，并且所有温度下蛹的过冷却点和结冰点均低于－20℃。

表 2　红颈常室茧蜂不同日龄滞育蛹的过冷却点和结冰点[1)]

Table 2　The supercooling points and freezing points of diapaused pupae of *Peristenus spretus* at time of diapause

滞育时间/d Time of diapause	测定数量/头 No. tested	过冷却点/℃ Supercooling points(SCP)			结冰点/℃ Freezing points(FP)		
		平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum
30	19	(−20.92±0.54)a	−24.61	−12.64	(−19.98±0.58)a	−23.68	−15.62
60	30	(−20.81±0.31)a	−23.50	−16.32	(−19.60±0.27)a	−21.69	−16.19
90	26	(−22.36±0.21)b	−23.85	−20.13	(−21.77±0.23)b	−23.62	−19.16
120	19	(−22.89±0.20)b	−24.66	−20.75	(−22.29±0.24)bc	−24.41	−20.66
150	10	(−23.36±0.60)b	−26.30	−20.36	(−22.92±0.65)c	−26.19	−19.52

1) 相同的小写字母表示滞育蛹过冷却点或结冰点的差异不显著($P<0.05$)。
The same lowercase letters indicate no significant difference in the supercooling points and freezing points of diapaused pupae ($P<0.05$).

表 3　不同温度条件下饲养的红颈常室茧蜂 3 日龄雄、雌成虫的过冷却点和结冰点[1)]

Table 3　The supercooling points and freezing points of three-day-old adults of *Peristenus spretus* at different rearing temperatures

性别 Sex	温度/℃ Temperature	测定数量/头 No. tested	过冷却点/℃ Supercooling points(SCP)			结冰点/℃ Freezing points(FP)		
			平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum
雄蜂 Male	27	80	(−18.89±0.13)bA	−21.63	−16.18	(−17.91±0.15)bA	−20.86	−16.63
	23	35	(−17.63±0.18)aA	−19.74	−15.27	(−16.39±0.21)aA	−19.23	−13.56
	19	54	(−20.08±0.36)cB	−23.23	−13.81	(−18.92±0.39)cB	−23.40	−13.01
	15	30	(−17.28±0.47)aA	−22.72	−13.23	(−16.18±0.49)aA	−21.71	−11.84
雌蜂 Female	27	50	(−18.63±0.14)bA	−21.00	−16.82	(−17.72±0.15)bA	−20.20	−16.00
	23	30	(−17.87±0.26)aA	−20.58	−14.15	(−16.47±0.30)aA	−19.59	−12.33
	19	37	(−18.41±0.17)abA	−20.57	−15.35	(−17.03±0.19)abA	−19.37	−14.68
	15	30	(−18.99±0.37)bB	−22.45	−15.35	(−17.67±0.37)bB	−21.12	−13.86

1) 相同的大写字母表示相同温度下雌蜂与雄蜂过冷却点或结冰点差异不显著,相同的小写字母表示不同温度下雌蜂或雄蜂过冷却点或结冰点差异不显著($P<0.05$)。
The same capital letters indicate no significant difference in the supercooling points and freezing points between female and male adults at the same temperature. The same lowercase letters indicate no significant difference in the supercooling points and freezing points of female or male adults at different temperatures ($P<0.05$).

表 4　不同温度条件下饲养的红颈常室茧蜂成虫和蛹的过冷却点和结冰点[1)]

Table 4　The supercooling points and freezing points of adults and pupae of *Peristenus spretus* at different rearing temperatures

温度/℃ Temperature	虫态 Stage	测定数量/头 No. tested	过冷却点/℃ Supercooling points(SCP)			结冰点/℃ Freezing points(FP)		
			平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean±SE	最小值 Minimum	最大值 Maximum
27	成虫 Adult	130	(−18.79±0.10)bA	−21.63	−16.18	(−17.84±0.11)bA	−20.86	−15.63
	蛹 Pupa	104	(−21.93±0.13)abB	−24.11	−19.10	(−20.40±0.16)aB	−22.56	−17.00
23	成虫 Adult	65	(−17.74±0.15)aA	−20.58	−14.15	(−16.43±0.18)aA	−19.59	−12.33
	蛹 Pupa	176	(−21.81±0.11)aB	−24.99	−17.69	(−20.26±0.17)aB	−25.77	−14.04
19	成虫 Adult	91	(−19.40±0.24)cA	−24.32	−13.18	(−18.15±0.26)bA	−23.46	−13.01
	蛹 Pupa	169	(−22.20±0.10)bB	−25.28	−18.18	(−21.21±0.11)bB	−24.86	−17.44
15	成虫 Adult	60	(−18.14±0.32)aA	−22.72	−13.23	(−16.92±0.32)aA	−21.77	−11.84
	蛹 Pupa	106	(−22.05±0.14)abB	−24.36	−17.76	(−20.96±0.16)bB	−23.87	−16.26

1) 相同大写字母表示相同温度下成虫和蛹的过冷却点或结冰点差异不显著,相同小写字母表示不同温度下成虫或蛹的过冷却点或结冰点差异不显著,Duncan 氏多重比较, $P<0.05$。
The same capital letters indicate no significant difference in the supercooling points and freezing points of pupal and adults at the same temperature. The same lowercase letters indicate no significant difference for the supercooling points and freezing points of pupae or adults at different temperatures ($P<0.05$).

3　结论与讨论

昆虫是典型的变温动物,受外界温度变化影响较大,在亚致死低温下就会大量死亡,然而昆虫有过冷却现象,使其具有一定的抵御外界低温的能力。因此,昆虫过冷却点常作为衡量其耐寒性的一种重要指标。昆虫的过冷却点受季节变温、发育阶段、地理位置等多种因素的影响[15]。另有研究认为,昆虫

体内的结冰点、低温存活力及过冷却点以上的亚致死温度与昆虫的耐寒性有关[16-18]。通常过冷却点可作为一个相对抗寒能力指标应用于预测一种昆虫的越冬区[19]。

本研究发现,滞育蛹的过冷却点和结冰点要低于成虫和非滞育蛹,这意味着滞育蛹比非滞育蛹抗寒性更强。非滞育蛹的过冷却点和结冰点显著低于成虫,19℃下发育的红颈常室茧蜂成虫和蛹的过冷却点和结冰点显著低于其他温度。这与郭俊杰等报道的阿里山潜蝇茧蜂 *Fopius arisanus* (Sonan)蛹的过冷却点低于其他虫态结果相同[10]。但与吕宝乾等报道的椰甲截脉姬小蜂 *Asecodes hispinarum* Bouček 和椰扁甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* Ferriere 蛹的过冷却点和结冰点高于成虫恰好相反[20]。红颈常室茧蜂滞育蛹在(4±1)℃冰箱储藏150 d后依然能够存活,且储藏的时间越长,对低温的耐受力也越强,与管侧沟茧蜂 *Microplitis tuberculifer* Wesmael 滞育蛹在0℃和5℃下可长时间存活的结果较为相似[21]。19℃下饲养的红颈常室茧蜂成虫的过冷却点为-19.40℃,而在低于20℃饲养的烟芽茧蜂成蜂过冷却点低于-20℃[9],这一结果说明寄生蜂种类不同,过冷却点也存在差异。此外,研究发现饲养温度与红颈常室茧蜂蛹和成虫的过冷却点相关性不明显,且27℃下饲养的成虫和蛹仍保持着较低的过冷却点和结冰点,这一结果对于人工大量扩繁红颈常室茧蜂及其低温储藏、运输具有重要的理论指导意义。

参考文献

[1] 陆宴辉. 盲蝽蠓生态适应性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2008.

[2] Lu Yanhui, Wu Kongming, Jiang Yuying, et al. Miridbug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China [J]. Science, 2010, 328 (5982): 1151-1154.

[3] 罗淑萍. 盲蝽若虫寄生蜂的研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013.

[4] 罗淑萍,陆宴辉,门兴元,等. 不同释放密度下红颈常室茧蜂对冬枣园绿盲蝽的寄生效果[J]. 中国生物防治学报,2016,32(6):698-702.

[5] McDonald J R, Head J, Bale J S, et al. Cold tolerance, overwintering and establishment potential of *Thrips palmi* [J]. Physiological Entomology, 2000, 25(2): 159-166.

[6] Mcdonald J R, Bale J S, Walters K F A, et al. Temperature, development and establishment potential of *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) in the United Kingdom [J]. European Journal of Entomology, 1999, 96(2): 169-173.

[7] Sage R B, Fell D, Tucker K, et al. Post hibernation dispersal of three leaf-eating beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) colonizing cultivated willows and poplars [J]. Agricultural & Forest Entomology, 1999, 1(1): 61-70.

[8] 张洁,张礼生,陈红印,等. 烟蚜两种寄生蜂成蜂的过冷却点及结冰点测定[M]//吴孔明. 植保科技创新与现代农业建设. 北京:中国农业科学技术出版社,2012:161-163.

[9] 陈珍珍,顾钢,刘长明. 烟蚜和烟蚜茧蜂不同发育阶段的过冷却点[J]. 福建农林大学学报,2015,44(3):236-239.

[10] 郭俊杰,季清娥,王波,等. 阿里山潜蝇茧蜂不同发育阶段过冷却点和结冰点[J]. 环境昆虫学报,2014,36(1):22-27.

[11] Luo Shuping, Zhang Feng, Wu Kongming. Effect of temperature on the reproductive biology of *Peristenus spretus* (Hymenoptera: Braconidae), a biological control agent of the plant bug *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae)[J]. Biocontrol Science and Technology, 2015, 25(12): 1410-1425.

[12] 陆宴辉,吴孔明,蔡晓明,等. 利用四季豆饲养盲蝽的方法[J]. 植物保护学报,2008,35(3):215-219.

[13] 罗淑萍,蒂姆·海,陆宴辉,等. 一种盲蝽寄生蜂的人工饲养方法:中国,ZL201110092491.3.[P]. 2011.

[14] Whistlecraft J W, Haye T, Kuhlmann U, et al. A large-scale rearing method for *Peristenus digoneutis* (Hymenoptera: Braconidae), a biological control agent of *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae)[J]. Biocontrol Science and Technology, 2010, 20(9): 923-937.

[15] 张瑞,马纪. 昆虫过冷却点的影响因素概述[J]. 天津农业科学,2013,19(11):76-84.

[16] Bale J S. Insect cold hardiness: A matter of life and death [J]. European Journal of Entomology, 1996,93(3): 369-382.

[17] Nedved O, Lavy D, Verhoef H A. Modeling the time-temperature relationship in cold injury and effect of high temperature interruptions on survival in a chill-sensitive collembolan[J]. Functional Ecology, 1998, 12(5): 816-824.

[18] Chen Bing, Kang Le. Cold hardness and supercooling capacity in the pea leafminer *Liriomyza huidobrensis*[J]. Cryo Letters, 2002, 23(3): 173-182.

[19] Nedved O. Snow white and the seven dwarfs: a multivariate approach to classification of cold tolerance[J]. Cryo Letters, 2000,21(6):339.

[20] 吕宝乾,韦曼丽,金启安,等. 椰心叶甲两种寄生蜂的过冷却点和结冰点测定[J]. 热带作物学报,2011,32(8):1537-1540.

[21] 路子云,冉红凡,刘文旭,等. 温度和光周期对管侧沟茧蜂滞育诱导及滞育茧的低温冷藏[J]. 昆虫学报,2014,57(10):1206-1212.

(责任编辑:田 喆)