研 究 简 报
Research Notes

短期低、高温对草地贪夜蛾蛹和成虫的影响

杨艺炜[1]， 袁冬贞[2]， 谢飞舟[2]， 王家哲[1]， 杨 洁[3]，
魏佩瑶[1]， 陈志杰[1]， 洪 波[1*]

（1. 陕西省生物农业研究所，西安 710043；2. 陕西省植物保护工作总站，西安 710003；
3. 西安市农业技术推广中心，西安 710061）

摘要 为了明确短期低温和高温对草地贪夜蛾蛹和成虫生长发育的影响，设置低温 10、13、16、19℃和高温 35、38、41、44℃共 8 个温度梯度，将初化蛹和新羽化成虫分别处理 2 d 和 4 d，之后置于 28℃下继续饲养，观察了不同处理下蛹的发育历期、羽化率、成虫寿命、成虫产卵期及繁殖力等生物学指标。结果表明，草地贪夜蛾蛹经 10～19℃低温 2 d 和 4 d 处理，羽化率随着温度和时间的增加而逐渐增加，最高达到 100.0%，而经 35～38℃高温2 d 和 4 d，其羽化率降至 30%～60%。发育历期随温度的升高逐渐缩短，41℃以上高温处理 2 d 时蛹全部死亡，即蛹的致死高温≤41℃。在 10～19℃时，成虫寿命随着温度升高表现为先增加后减少的趋势，在 16℃处理 4 d 时雄成虫和雌成虫寿命达到最高值，分别为 10.2 d 和 11.1 d，44℃处理 2 d 成虫不能存活，即成虫的致死高温≤44℃。雌蛾产卵量随温度升高而增加，19℃处理 4 d 的产卵量最高，为 984.5 粒。35～41℃处理 2 d 或 4 d，雌蛾不产卵或产卵量显著降低。综上所述，16～19℃短期低温有利于草地贪夜蛾雌成虫产卵，而 16℃以下短期低温或 35℃以上短期高温对草地贪夜蛾蛹和成虫的生长发育有抑制作用。

关键词 草地贪夜蛾； 温度； 羽化率； 发育历期； 繁殖力
中图分类号： S435.132 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2021381

Impact of short-term low or high temperature on pupa and adult survival, development and fecundity of *Spodoptera frugiperda*

YANG Yiwei[1]， YUAN Dongzhen[2]， XIE Feizhou[2]， WANG Jiazhe[1]， YANG Jie[3]，
WEI Peiyao[1]， CHEN Zhijie[1]， HONG Bo[1*]

（1. *Bio-Agriculture Institute of Shaanxi*, *Xi'an* 710043, *China*; 2. *Plant Protection Station of Shaanxi Province*, *Xi'an* 710003, *China*; 3. *Xi'an Agricultural Technology Extension Center*, *Xi'an* 710061, *China*）

Abstract To understand the impact of the transient exposure to high and low temperature on survival, development, and fecundity of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, the pupa and adult were firstly exposed to 10℃, 13℃, 16℃, 19℃, 35℃, 38℃, 41℃, and 44℃ for two days or four days, respectively, and then reared at 28℃. The developmental time and eclosion rate of pupa, adult life span, female oviposition period and fecundity were compared to the control at 28℃ of constant temperature. The results showed that the pupal eclosion rate increased gradually with the increase of treatment temperature from 10℃ to 19℃, and the highest rate was 100.0%. In contrast, the eclosion rate declined to 30%－60% in the temperature range from 35℃ to 38℃. The developmental time of pupa was shortened gradually with rising temperature, but pupa could not survival at 41℃ for two days, which indicated that the lethal high temperature of pupa was less than 41℃. The life span of adults increased at first and then decreased in the temperature range of 10－19℃. The life span of male and female adults reached the highest value of 10.2 d and 11.4 d, respectively, at 16℃ for four days, but it would be shortening regardless of the treatment temperature was going down or going up. All adults died within two days at 44℃, indicating that the

收稿日期： 2021－07－06 **修订日期**： 2021－08－19
基金项目： 陕西省科学院科学研究专项(2021K-8)
* 通信作者 E-mail：hb54829@163.com

lethal high temperature of adult was less than 44℃. The number of eggs laid per female increased gradually with treatment temperature from 10℃ to 19℃, and reached the highest number of 984.5 at 19℃ for four days. None or few eggs were laid per female at temperature from 35℃ to 41℃ for two or four days. In conclusion, the transient exposure to low temperature of 16—19℃ favors female oviposition of fall armyworm, while the growth and development of pupa and adult could be inhibited at the temperature below 16℃ and above 35℃.

Key words fall armyworm; temperature; eclosion rate; developmental duration; fecundity

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 又名行军虫、秋黏虫,属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae。2018 年 12 月草地贪夜蛾入侵我国云南[1],目前已在全国 27 个省(自治区、直辖市)发生[2],对我国农业生产和粮食安全带来很大威胁。

昆虫为变温动物,对温度的变化较敏感,温度也是影响昆虫正常发育的重要因子。研究表明,在 17～35℃恒温下,草地贪夜蛾幼虫期、蛹期及世代历期均随着温度的升高而缩短[3-5]。幼虫在 21℃饲养,其蛹最重[3],在 42℃条件下仅少数 1 龄幼虫能短暂存活[5],16℃低温对草地贪夜蛾的耐寒性具有明显的驯化作用,32℃高温也可以提高其耐寒能力[6]。在高温 38℃持续 6 h 或 42℃持续 2 h 以上草地贪夜蛾种群增长会受到抑制[7]。短时低温处理对草地贪夜蛾生长发育的影响研究目前未见报道。

近年来,在全球气候变暖背景下,极端温度频繁出现[8],导致昆虫种群动态及地理分布区域发生变化[9]。因此,研究温度对昆虫生存能力的影响尤为重要。本文研究了短期高、低温度处理对草地贪夜蛾蛹和成虫的生存、发育和繁殖能力的影响,进一步明确草地贪夜蛾的生物学特性,为陕西省草地贪夜蛾的发生预测和综合防控提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

草地贪夜蛾卵块于 2020 年 4 月采自海南省乐东县玉米田,带回陕西省大荔县陕西省科学院渭南科技示范基地,待 1 龄幼虫孵化后移入 24 孔养虫板,在实验室人工气候箱(LRX-450D-LED 型,宁波普朗特)内用新鲜盆栽玉米叶片进行饲养。饲养条件为温度 28℃,相对湿度(65±5)%,光周期 L//D=16 h//8 h,光照强度 5 000 lx。选取大小一致、健康活泼的 6 龄幼虫,单头置于养虫罐内饲养直至化蛹。

1.2　短期低、高温处理草地贪夜蛾蛹试验

试验在人工气候箱中进行。相对湿度和光照条件同幼虫饲养。将同一天化蛹的草地贪夜蛾在体视显微镜下区分雌雄蛹后,单头转移至养虫罐中覆盖土壤(棕壤土,土壤相对湿度为 60%,土壤厚度 5 cm),分别放置在 10、13、16、19、35、38、41℃和 44℃共 8 个不同温度、无光照气候箱中,处理 2 d 或 4 d,之后放入 28℃气候箱中继续培养待其羽化,以 28℃恒温为对照。每个处理雌蛹和雄蛹各 10 头,重复 3 次。养虫罐上标记编号,每12 h 观察记录各个温度处理蛹的羽化情况。蛹的平均发育历期计算方法为:

$D=(n_1d_1+n_2d_2+\cdots+n_id_i)/(n_1+n_2+\cdots+n_i)$[10],其中 n_i 和 d_i 分别为第 i 次观测到的蛹羽化的个数和由化蛹到羽化的天数。

羽化率=羽化蛹数/总蛹数×100%。

1.3　短期低、高温处理草地贪夜蛾成虫试验

将同一天羽化的成虫雌雄配对置于养虫笼中,每个养虫笼内 1 对成虫,放入 10%蜂蜜水浸湿的脱脂棉球补充营养。分别在不同温度的气候箱中处理,之后放入 28℃气候箱。成虫处理温度梯度和时间设置与蛹相同,即 9 个温度(包括对照)、2 个时间处理,每个处理 10 对成虫,重复 3 次。养虫笼上标记编号,每 12 h 观察记录各温度处理的成虫死亡情况、雌成虫产卵日和产卵量,计算成虫寿命、产卵前期和产卵期。

1.4　试验设计与数据统计分析方法

不同处理雌雄蛹的羽化率(数据经反正弦平方根转换)的差异显著性进行双因素方差分析,雌雄蛹发育历期、雌雄成虫寿命、雌成虫产卵前期、产卵期和产卵量等生物学参数不同处理间的差异显著性进行单因素方差分析,平均数间的差异显著性采用 Duncan 氏新复极差法检验。统计计算使用 DPS 7.05 软件[11]。

2　结果与分析

2.1　短期低、高温处理对蛹生存和发育的影响

试验结果表明,当温度达到 41℃以上时,处理 2 d 蛹全部死亡。在 10～38℃处理 2 d 或 4 d,雄蛹和雌蛹的平均存活率分别为 88.2%和 91.0%。蛹

经过不同温度处理后的羽化率差异显著(雄:df=6,28,F=74.108,P=0.000 1;雌:df=6,28, F=47.852,P=0.000 1),经过不同时间处理后的羽化率差异显著(雄:df=1,28,F=24.356,P=0.000 1;雌:df=1,28,F=33.901,P=0.000 1),相同温度处理4 d的蛹平均羽化率(雄:81.9%;雌:85.2%)高于处理2 d的平均羽化率(雄:71.9%;雌:73.8%)(表1),这说明短时温度的剧烈变化对蛹的生存影响较大。

温度和时间交互作用对蛹的羽化率有显著影响(雄:df=6,28,F=2.549,P=0.042 7;雌:df=6,28,F=3.200 0,P=0.016 1)。在10～19℃温度范围内,随着温度和时间的增加,草地贪夜蛾蛹的羽化率有逐渐增加的趋势(表1)。低温(10～16℃)处理2 d时,各处理间蛹的羽化率差异不显著,且均显著低于对照,低温处理4 d时,除雌蛹在16℃与对照差异不显著外,其余各处理蛹的羽化率显著低于对照。当处理温度达到19℃时,蛹的羽化率达到93.3%以上,与对照差异不显著,可见蛹的最低适生温度>16℃。经35℃和38℃处理2 d或4 d,蛹的羽化率降至30%～60%,显著低于对照,即蛹的亚致死高温≤35℃。35℃处理2 d和4 d的蛹羽化率差异不显著,而38℃处理4 d的蛹羽化率显著高于处理2 d。当处理温度达到41℃和44℃时,蛹不能羽化,说明蛹的最低致死高温≤41℃。在10～38℃处理2 d或4 d,处理间存活蛹的发育历期存在显著差异(雄:df=12,280,F=594.858,P=0.000 1;雌:df=12,291,F=532.960,P=0.000 1)。随处理温度下降和时间的增加,蛹的发育历期逐渐延长(表1)。与对照相比,经10～19℃处理2 d或4 d,蛹的发育历期延长约2～5 d,经35℃和38℃处理2 d或4 d,蛹的发育历期缩短约2 d。

表1 草地贪夜蛾蛹在短期低、高温处理下的羽化率和发育历期[1)]

Table 1 Eclosion rate and developmental duration of the pupa of *Spodoptera frugiperda* with transient exposure to low or high temperatures

温度/℃ Temperature	时间/d Time	羽化率/% Eclosion rate		蛹历期/d Pupa developmental duration	
		雄蛹 Male pupa	雌蛹 Female pupa	雄蛹 Male pupa	雌蛹 Female pupa
10	2	(73.3±5.8)d	(76.7±11.6)d	(14.0±0.5)b	(13.0±0.5)b
	4	(86.7±3.3)c	(90.0±0.0)bc	(14.7±0.5)a	(14.2±0.4)a
13	2	(76.7±5.8)d	(80.0±0.0)cd	(12.6±0.5)c	(11.0±0.7)cd
	4	(90.0±10.0)bc	(93.3±5.8)bc	(14.8±0.9)a	(13.2±0.8)b
16	2	(73.3±5.8)d	(73.3±5.8)de	(12.2±0.4)cd	(11.3±0.7)c
	4	(90.0±0.0)bc	(96.7±5.8)ab	(14.1±1.0)ab	(11.5±0.5)c
19	2	(96.7±3.3)ab	(93.3±5.8)ab	(11.8±0.5)d	(10.7±0.5)d
	4	(100.0±0.0)a	(100.0±0.0)a	(12.8±0.4)c	(11.3±0.5)c
28	—	(100.0±0.0)a	(100.0±0.0)a	(9.3±1.0)e	(8.9±0.9)e
35	2	(53.3±5.8)e	(56.7±5.8)f	(7.5±0.5)f	(7.2±0.6)f
	4	(50.0±10.0)e	(56.7±5.8)f	(7.3±0.8)f	(6.9±0.7)f
38	2	(30.0±0.0)f	(36.7±5.8)g	(7.0±0.7)f	(6.8±0.5)f
	4	(56.7±5.8)e	(60.0±10.0)f	(7.2±0.4)f	(6.8±0.7)f
41	2	0.0±0.0	0.0±0.0	—	—
	4	0.0±0.0	0.0±0.0	—	—
44	2	0.0±0.0	0.0±0.0	—	—
	4	0.0±0.0	0.0±0.0	—	—

1) 数据为平均值±标准误,同一列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。28℃为对照。下同。
Data in the table are mean±SE, and different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05). 28℃ is the control. The same applies below.

2.2 短期低、高温处理对成虫寿命与繁殖力的影响

不同处理间的雌、雄成虫寿命、产卵前期和产卵期存在显著差异(雄成虫寿命:df=14,414, F=55.041,P=0.000 1;雌成虫寿命:df=14,405, F=44.841,P=0.000 1;产卵前期:df=12,325, F=21.042,P=0.000 1;产卵期:df=14,325, F=20.313,P=0.000 1)。在10～19℃温度范围内,成虫寿命随温度升高表现为先增加后减少的趋势(表2),在16℃处理4 d达到最高值,雄成虫和雌成虫寿命分别为10.2 d和11.1 d,显著高于对照。各处理雌蛾的产卵前期比对照显著增加1.1～3.7 d,产卵期比对照显著减少1.7～3.5 d,但处理间差异不显著(表2)。

各处理间雌蛾产卵量差异显著($df=12,325$, $F=22.769$, $P=0.000\ 1$),经 16℃和 19℃处理 4 d 的产卵量显著高于对照和其他处理(表 2),19℃处理 4 d 的产卵量最高,为 984.5 粒,经 10℃和 13℃处理 4 d 的雌蛾产卵量与对照差异不显著;在 10～19℃处理 4 d 的成虫寿命和雌蛾产卵量显著高于处理2 d,说明雌蛾最适温度在 16℃到 28℃之间,短时剧烈的变温会显著降低成虫的生存和繁殖能力。

在 35～41℃处理 2 d 或 4 d,雌蛾不产卵或产卵期显著缩短以及产卵量显著降低(表 2),说明这一温度范围属亚致死高温。当处理温度达到 44℃时,成虫不能存活,可知成虫的致死高温≤44℃。

表 2　草地贪夜蛾成虫在短期低、高温处理下的寿命、产卵前期、产卵期和产卵量

Table 2　Life span, pre-oviposition, oviposition periods and fecundity of *Spodoptera frugiperda* adults with transient exposure to low or high temperatures

温度/℃ Temperature	时间/d Time	寿命/d Life span		产卵前期/d Pre-oviposition period	产卵期/d Oviposition period	产卵量/粒 Fecundity
		雄成虫 Male adult	雌成虫 Female adult			
10	2	(6.3±0.3)ef	(8.3±0.7)cd	(5.4±0.7)abc	(2.2±0.6)bc	(386.8±47.0)f
	4	(8.3±0.5)bcd	(8.2±0.5)cd	(6.2±0.6)ab	(2.0±0.6)bc	(645.0±52.0)d
13	2	(8.0±0.6)cd	(8.3±0.4)cd	(5.8±0.9)ab	(1.8±0.4)bc	(540.3±78.2)e
	4	(9.8±0.5)ab	(9.9±0.6)ab	(6.5±0.8)ab	(2.8±0.6)bc	(684.8±61.0)cd
16	2	(8.2±0.4)bcd	(9.5±0.5)b	(5.8±0.5)ab	(2.6±0.2)bc	(638.7±38.0)d
	4	(10.2±0.9)a	(11.1±0.5)a	(7.1±0.7)a	(3.6±0.6)b	(822.5±33.1)b
19	2	(6.8±0.4)de	(7.1±0.5)de	(4.5±0.3)bcd	(2.5±0.4)bc	(755.3±54.1)bc
	4	(8.9±0.5)bc	(9.0±0.4)bc	(5.9±0.7)ab	(3.1±0.7)bc	(984.5±75.4)a
28	—	(8.6±0.6)bc	(9.0±0.5)bc	(3.4±0.6)e	(5.3±0.3)a	(714.8±41.4)cd
35	2	(5.8±0.5)efg	(7.9±0.5)cd	(3.8±0.4)de	(3.5±0.5)b	(306.0±20.5)fg
	4	(4.9±0.5)fgh	(5.5±0.8)ef	(4.0±0.5)cde	(1.4±0.2)c	(240.3±31.0)g
38	2	(5.0±0.6)fgh	(6.0±0.6)ef	(3.7±0.5)de	(2.1±0.6)bc	(380.7±22.9)f
	4	(3.5±0.8)h	(4.8±0.6)fg	—	—	—
41	2	(4.4±0.5)gh	(5.9±0.6)ef	(3.9±0.5)cde	(1.8±0.3)bc	(274.0±30.4)fg
	4	(3.3±0.3)h	(3.7±0.5)g	—	—	—
44	2	0.0±0.0	0.0±0.0	—	—	—
	4	0.0±0.0	0.0±0.0	—	—	—

3　讨论

昆虫是一种变温动物,对于温度的变化异常敏感。有研究报道,草地贪夜蛾蛹可耐受短时(2h、4h)38℃高温,但 38℃(雄蛹)或 42℃短时高温对蛹的羽化有一定抑制作用[7]。本研究结果表明,温度和时间交互作用对蛹的羽化率有显著影响,蛹的最低适生温度>16℃,亚致死高温≤35℃。该结果与前述结论差异较大,主要原因在于本研究将高温处理时间延长至以天为单位,蛹的能量消耗加快,存活率降低。说明高温影响不仅与温度高低有关,还与高温持续时间有关。除此之外,本研究发现短期相同温度处理 2 d 的羽化率较处理 4 d 的羽化率显著降低,表明短期温度的剧烈变化对蛹的生存影响较大。

温度变化对昆虫繁殖力的影响已有大量研究,如小菜蛾 *Plutella xylostella*[12]、康氏粉蚧 *Pseudococcus comstocki*[13]、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*[14]等的繁殖力随温度增加多呈现先增加后降低的趋势。有研究报道草地贪夜蛾在 27℃恒温下产卵量最高(565 粒)[5], 24℃为雌蛾最适产卵温度[15]。本研究结果表明,在 28℃下饲养的成虫给予 4 d 低温 19℃处理能显著提高其产卵量,16℃或 19℃处理 4 d 的产卵量最高,达到 984 粒。说明一定的变温能够提高草地贪夜蛾的繁殖力。成虫的致死高温≤44℃;在 35～41℃处理 2 d 或 4 d,雌蛾不产卵或产卵期显著缩短以及产卵量显著降低,说明这一温度范围属亚致死高温,这与已报道的雌蛾在 37℃不产卵的结果相近[5]。

综上所述,16℃以下低温或 35℃以上的高温持续 2～4 d 对草地贪夜蛾蛹和成虫生长发育有抑制作用,蛹的致死高温≤41℃,成虫的致死高温≤44℃, 16～19℃低温处理 4 d 能够提高雌蛾繁殖力。

这些研究结果对于草地贪夜蛾在陕西省的适生性分布预测及田间种群监测具有重要意义。

参考文献

[1] 杨学礼，刘永昌，罗茗钟，等. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾[J]. 云南农业，2019(1)：72.

[2] 姜玉英，刘杰，吴秋琳，等. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查[J]. 植物保护，2021，47(1)：212－217.

[3] 赵琳超，廖用信，陈壮美，等. 不同温度对草地贪夜蛾幼虫和蛹生长发育的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报，2020，43(1)：41－47.

[4] 张红梅，尹艳琼，赵雪晴，等. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性[J]. 环境昆虫学报，2020，42(1)：52－59.

[5] 鲁智慧，和淑琪，严乃胜，等. 温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响[J]. 植物保护，2019，45(5)：27－31.

[6] 谢殿杰，张蕾，程云霞，等. 不同饲养温度对草地贪夜蛾过冷却点和体液冰点的影响[J]. 植物保护，2020，46(2)：62－71.

[7] 张红梅，王燕，尹艳琼，等. 卵和蛹短时高温对草地贪夜蛾生长发育的影响[J]. 植物保护学报，2020，47(4)：831－838.

[8] 王冀，江志红，丁裕国，等. 21世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. 资源科学，2008(7)：1084－1092.

[9] 马罡，马春森. 气候变化下极端高温对昆虫种群影响的研究进展[J]. 中国科学：生命科学，2016，46(5)：556－564.

[10] 洪波，程登发，吐尔逊，等. 新疆地区马铃薯甲虫发育与温度关系的研究[J]. 植物保护，2009，35(6)：60－63.

[11] 唐启义，冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统[M]. 北京：科学出版社，2002.

[12] 但建国，梁广文，庞雄飞. 不同温度条件下小菜蛾实验种群的研究[J]. 华南农业大学学报，1995(3)：11－16.

[13] 徐盼，徐志宏，李绍进，等. 不同温度下康氏粉蚧实验种群生命表[J]. 昆虫学报，2012，55(12)：1362－1367.

[14] 韩兰芝，翟保平，张孝羲. 不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究[J]. 昆虫学报，2003(2)：184－189.

[15] 谢殿杰，张蕾，程云霞，等. 不同温度下草地贪夜蛾年龄-阶段实验种群两性生命表的构建[J]. 植物保护，2019，45(6)：20－27.

（责任编辑：田 喆）

（上接245页）

[7] KLEIN R，LIVINGSTON C. Eradication of potato virus X from potato by ribavirin treatment of cultivated potato shoot tips [J]. American Journal of Potato Research，1982，59：359－365.

[8] WAMBUGU F M，SECOR G A，GUDMESTAD N C. Eradication of potato virus Y and S from potato by chemotherapy of cultured axillary bud tips [J]. American Potato Journal，1985，62：667－672.

[9] GRIFFITHS H M，SLACK S A，DODDS J H. Effect of chemical and heat therapy on virus concentrations in *in vitro* potato plantlets [J]. Canadian Journal of Botany，1990，68：1515－1521.

[10] KUSHNARENKO S，ROMADANOVA N，ARALBAYEVA M. Combined ribavirin treatment and cryotherapy for efficient *Potato virus M* and *Potato virus S* eradication in potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* shoots [J]. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant，2017，53：425－432.

[11] GONG Huiling，IGIRANEZA C，DUSENGEMUNGU L. Major *in vitro* techniques for potato virus elimination and post eradication detection methods [J]. American Journal of Potato Research，2019，96：379－389.

[12] YANG Lijie，NIE Bihua，LIU Jun，et al. A reexamination of the effectiveness of ribavirin on eradication of viruses in potato plantlets *in vitro* using ELISA and quantitative RT-PCR [J]. American Journal of Potato Research，2014，91：304－311.

[13] LI Yanmei，ZHANG Zhongkai，JIA Yantao，et al. 3-Acetonyl-3-hydroxyoxindole：a new inducer of systemic acquired resistance in plants [J]. Plant Biotechnology Journal，2008，6(3)：301－308.

[14] 陈永对，刘春明，李宏光，等. 植物源天然产物AHO对烟草花叶病毒的田间防效试验[J]. 中国植保导刊，2013，33(4)：45－48.

[15] 陈永对，张洁，吴阔，等. 植物源天然产物AHO对番茄斑萎病毒属病毒病的田间防效[J]. 南方农业学报，2014，45(12)：2167－2171.

[16] CHEN Yongdui，DONG Jiahong，BENNETZEN J L，et al. Integrating transcriptome and microRNA analysis identifies genes and microRNAs for AHO-induced systemic acquired resistance in *N. tabacum* [J/OL]. Scientific Reports，2017，7(1)：12504. DOI：10.1038/S41598-017-12249-y.

[17] MURASHIGE T，SKOOGE F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture [J]. Physiologia Plantarum，1962，15：473－479.

[18] 方琦，丁铭，董家红，等. 云南澳洲坚果苗木感染番茄斑萎病毒属病毒初报[J]. 园艺学报，2013，40(2)：350－354.

[19] CASSELLS A C，LONG R D. The elimination of potato viruses X，Y，S and M in meristem and explant cultures of potato in the presence of virazole [J]. Potato Research，1982，25：165－173.

[20] KARIMPOUR S，DAVARYNEJAD G，AGHL M Z，et al. *In vitro* thermotherapy and thermo-chemotherapy approaches to eliminate some viruses in *Pyrus communis* L. cv. 'Natanz' [J]. Journal of Agricultural Science and Technology，2020，22(6)：1645－1653.

（责任编辑：田 喆）