

温湿度对金蝉虫卵保存的影响*

曹 焱^{1**} 邓 盼¹ 孙德永² 唐楚飞¹ 魏兰君¹ 廖怀建^{1***} 孙洪武^{1***}

(1. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 南京 210014; 2. 徐州君晓生态农业科技有限公司, 徐州 221732)

摘 要 【目的】为提升金蝉 *Cryptotympana atrata* 虫卵孵化质量, 提高金蝉养殖经济效益, 本研究对金蝉虫卵保存的适宜温湿度条件进行研究。【方法】通过正交实验设计, 设置温度 (10、15、20、25 和 30 °C) 和湿度 (35%、45%、55%、65% 和 75%) 梯度, 测定金蝉虫卵在不同温湿度条件下保存 60 d 的生物学参数, 包括虫卵干瘪程度、虫卵剩余量、虫卵孵化时间及虫卵孵化率。【结果】在温度为 10 °C 和湿度为 35%-75% 的条件下金蝉虫卵保存效果最佳, 保存 60 d 后, 虫卵孵化率可达 73% 以上, 虫卵横截面厚度可达 374.23-400.00 μm。不同温湿度条件下, 金蝉虫卵干瘪程度不同。温度为 10 °C 和湿度为 35%-75% 的条件下, 干瘪程度最低; 温度为 15-20 °C 和湿度为 45%-75% 下保存次之; 25-30 °C 和湿度 65%-75% 下保存干瘪程度最高。金蝉虫卵于 10-15 °C 和湿度 35%-75% 条件下剩余量最多; 20 °C 和湿度 45%-75% 下保存次之; 25 °C 和湿度 75% 下保存再次之; 30 °C 下保存的虫卵剩余量最少, 35% 湿度下保存 60 d, 虫卵全部干瘪死亡。同一保存湿度下, 金蝉虫卵孵化时间随保存温度升高显著缩短, 金蝉虫卵孵化率随保存温度升高而显著降低; 温度 10-20 °C 时, 不同湿度条件下保存的虫卵, 孵化率无显著差异; 温度 25-30 °C 时, 虫卵孵化率随保存湿度升高而显著提升。【结论】温度和湿度均能显著影响金蝉虫卵的保存效果。温度为 10 °C 和湿度为 35%-75% 是金蝉虫卵保存的最佳温湿度条件, 且保存温度越低, 虫卵对湿度的要求就越低; 保存温度为 15-20 °C 时, 湿度越高, 虫卵保存效果越好; 当温度达到 25 °C 时, 虫卵保存湿度需在 65% 以上; 当温度达到 30 °C 时, 虫卵保存湿度需在 75% 以上。

关键词 金蝉; 虫卵保存; 温度; 湿度; 存活; 孵化

Effects of temperature and humidity on the preservation of *Cryptotympana atrata* eggs

CAO Ye^{1**} DENG Pan¹ SUN De-Yong² TANG Chu-Fei¹
WEI Lan-Jun¹ LIAO Huai-Jian^{1***} SUN Hong-Wu^{1***}

(1. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Institute of Leisure Agriculture, Nanjing 210014, China;

2. Xuzhou Junxiao Ecological Agriculture Technology Co. LTD, Xuzhou 221732, China)

Abstract 【Objectives】To improve the hatching rate of *Cryptotympana atrata* eggs and increase the cost effectiveness of breeding this species in captivity. 【Methods】An orthogonal experimental design was used to determine the effects of different temperatures (10, 15, 20, 25 and 30 °C) and humidity (35%, 45%, 55%, 65% and 75%) on the biological parameters of *C. atrata* eggs over a 60 day period, including the degree of shriveling, survival, incubation period and hatching rate. 【Results】A temperature of 10 °C and humidity of 35%-75% were best; under these conditions the hatching rate was >73% and the average cross sectional thickness of eggs was up to 374.23-400.00 μm. Eggs underwent different degrees of shriveling under the different temperature and humidity conditions. The least shriveling occurred at a temperature of 10 °C and a humidity of 35%-75%. A greater amount of shriveling was observed at temperatures of 15-20 °C and humidity of 45%-75%, but the most shriveling was observed at temperatures of 25-30 °C and humidity of 65%-75%. The number of surviving eggs was highest at temperatures of 10-15 °C and humidity of 35%-75%. Fewer eggs survived after storage at 20 °C and

*资助项目 Supported projects: 江苏省重点研发计划 (现代农业) 面上项目 (BE2019316)

**第一作者 First author, E-mail: 18205690458@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: lhj@jaas.ac.cn; sunhw0617@sina.com

收稿日期 Received: 2020-12-15; 接受日期 Accepted: 2021-08-17

45%-75% humidity, and even fewer when stored at 25 °C and 75% humidity. The least number of eggs survived after storage at 30 °C; all eggs stored at 30 °C and 35% humidity withered and died after 60 days. At the same humidity, the incubation time and the hatching rate of eggs decreased significantly at higher storage temperatures. There was no significant difference in the hatching rate of eggs preserved under various humidity conditions at temperatures between 10-20 °C, but the hatching rate of eggs increased significantly with increasing humidity in the 25-30 °C range. **[Conclusion]** Both temperature and humidity significantly affected the success of preserving *C. atrata* eggs. 10 °C and humidity 35%-75% were the best conditions for preserving the eggs of this species. Lower temperatures reduce the humidity required for successful egg preservation. At temperatures of 15-20 °C, the higher the humidity, the more eggs survived. Humidity of >65% was required to preserve eggs at 25 °C, and >75% humidity was required to preserve eggs at 30 °C.

Key words *Cryptotympana atrata*; egg preservation; temperature; humidity; survival; incubation

温度和湿度是影响昆虫生存和生长发育的主要环境因素(刘向东等, 2016), 其对昆虫个体的影响, 贯穿从卵至成虫的各个生长发育阶段(李爱华等, 2006; Zhang *et al.*, 2013)。温度通过干扰昆虫生殖适应性, 降低个体和种群存活率(高桂珍等, 2012; 李千金等, 2015; 向敏等, 2017)。湿度通过调节昆虫体内水分平衡, 加速、减缓或限制昆虫的生长发育(常晓娜, 2008)。

金蝉 *Cryptotympana atrata* 作为重要的资源昆虫, 具有非常高的食药价值, 在我国江苏北部、安徽北部、山东和河南等地均有分布(曹馨慈, 2020)。金蝉因其高营养价值, 深受人们喜爱, 全国多地设有专门的金蝉交易市场, 金蝉日交易量最高可达 20 余吨。据不完全统计, 养殖金蝉每 667 m² 产值最高超过 1.2 万元(马仁华等, 2018)。因此, 金蝉养殖已成为农民和企业重要的增收途径之一。然而, 目前的金蝉养殖技术存在诸多问题(王建伟等, 2018), 如因金蝉虫卵保存的适宜温湿度条件尚不明确, 易导致虫卵失水、霉变或坏死, 从而显著降低虫卵孵化率和若虫入土存活率, 极大程度的制约金蝉养殖效益和农民收益。因此, 明确金蝉虫卵保存适宜的温湿度条件, 可提高金蝉虫卵保存质量, 提升金蝉产业效益。

自然环境条件下, 金蝉雌成虫于每年 7-8 月份产卵于树木枝条内, 次年 6 月孵化, 卵期接近 300 d。研究发现, 温度和湿度均影响金蝉虫卵的孵化, 且虫卵孵化率随虫卵保存时间的延长而下降(宋月芹等, 2011; 王锦锦等, 2011)。然而, 在金蝉虫卵保存过程中出现的干瘪型虫卵,

究竟是缺水导致的, 还是高温和缺水双重作用的结果, 尚不清楚; 且虫卵在保存过程中发育和存活情况也缺乏系统性研究。鉴于此, 本研究在温度 10-30 °C, 相对湿度 35%-75% 的范围内, 观察金蝉虫卵保存 60 d 后, 虫卵干瘪程度、虫卵剩余量、虫卵孵化时间以及虫卵孵化率, 探索金蝉虫卵保存适宜温湿度条件, 为金蝉虫卵保存技术优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2019 年 11 月于山东省烟台市招远县郊区苹果园采集附着有金蝉虫卵的枝条, 将枝条沿产卵痕剖开, 获取虫卵。选取饱满圆润不变形, 表皮无皱缩的虫卵, 作为本研究供试虫源。获取虫卵的过程中应轻拿巧取, 避免虫卵受到机械损伤。当天选取的虫卵当天即用于实验处理。

1.2 供试植株

将沙壤土栽培的一年生柳树栽种至直径 50 cm 花盆中, 用于饲养金蝉若虫。

1.3 金蝉虫卵保存温湿度条件设置

根据预实验的结果, 虫卵置于 10 °C 以下的环境时, 极易出现冻伤现象。因此, 本研究将保存金蝉虫卵的温度范围设置为 10-30 °C。同时, 当环境温度超过 25 °C 时, 虫卵在湿度低于 35% 的条件下, 极易失水干瘪; 虫卵孵化湿度在 75% 以上为宜。因此, 本研究中将虫卵保存的湿度范围设置为 35%-75%。在实验可操作范围内, 本

研究设置了 10、15、20、25 和 30 ℃ 5 个温度处理, 以及 35%、45%、55%、65%和 75% 5 个相对湿度处理, 正交设计不同的温湿度组合保存虫卵。每个温湿度处理设 10 个重复, 每个重复保存 50 粒虫卵。

1.4 不同温湿度下金蝉虫卵形态变化观察

将金蝉虫卵置于直径为 3 cm 的塑料培养皿, 并置于人工气候培养箱(南京耀捷智能仪器设备有限公司, 型号 RXZ-500L)中保存。根据 1.3 设置人工气候培养箱的温湿度, 光周期设置为 12L : 12D。采用自带成像系统的体式解剖镜(尼康 SMZ475)观察虫卵在保存过程中横截面厚度的变化, 每 12 d 拍照记录 1 次虫卵形态。利用 Image J 软件测量虫卵横截面厚度, 作为虫卵干瘪程度的判定指标。同时, 每 2 d 在体式解剖镜下观察虫卵 1 次, 记录各温湿度下霉变、失水和坏死的虫卵数量。

1.5 金蝉虫卵孵化情况观察

将 1.4 方法中保存结束后的剩余虫卵, 转移至人工气候培养箱内孵化, 孵化条件设置为温度 29 ℃, 相对湿度 85%, 光周期 12L : 12D。每天 8: 00, 于体式解剖镜下观察虫卵的发育情况。当虫卵出现红色眼点时, 则将其转移至表面湿润

的纱布上, 再将纱布置于柳树盆栽土壤表面, 观察各组虫卵的孵化情况, 并记录每粒虫卵的孵化时间, 直至所有虫卵全部孵化。实验期间, 每天给纱布喷水, 以保证纱布始终处于湿润的状态。将干燥纸巾置于纱布表面且不会被迅速沾湿, 为纱布最佳湿润状态。在为纱布喷水保湿的过程中, 若虫卵表面不慎沾染水滴, 应迅速使用纸巾吸干水滴, 防止虫卵表面积水, 影响孵化。

1.6 数据分析

采用双因素方差分析温度和湿度对金蝉虫卵保存的影响, 具体包括虫卵干瘪程度、虫卵剩余量、虫卵孵化时间和虫卵孵化率 4 个参数; 同时采用单因素方差分析不同温湿度组合间 4 个参数的差异, 若差异达到显著水平, 则采用 Tukey's HSD 进行检验。孵化率数据在方差分析前进行反正弦平方根转换, 以满足方差齐性。数据统计分析在 SPSS 20.0 中完成, 文中全部数据均以平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 温湿度对金蝉虫卵保存影响的显著性分析

温度和湿度均显著影响金蝉虫卵的保存质量(表 1)。温度对虫卵保存质量的影响, 显著

表 1 温湿度对虫卵保存影响显著性分析
Table 1 Significance analysis of temperature and humidity on egg preservation

分析指标 Analysis index	影响因素 Interfering factors	自由度 <i>df</i> Degrees of freedom	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	显著性 Significance
虫卵干瘪程度 Shriveling degree of eggs	温度 Temperature	4	820.17	<i>P</i> <0.01
	湿度 Humidity	4	45.39	<i>P</i> <0.01
	温度+湿度 Temperature+Humidity	16	6.25	<i>P</i> <0.01
虫卵剩余量 Remaining amount of eggs	温度 Temperature	4	349.05	<i>P</i> <0.01
	湿度 Humidity	4	31.53	<i>P</i> <0.01
	温度+湿度 Temperature+Humidity	16	8.02	<i>P</i> <0.01
孵化时间 Incubation time of eggs	温度 Temperature	4	141.55	<i>P</i> <0.01
	湿度 Humidity	4	22.34	<i>P</i> <0.01
	温度+湿度 Temperature+Humidity	16	23.94	<i>P</i> <0.01
孵化率 Hatching rate of eggs	温度 Temperature	4	290.22	<i>P</i> <0.01
	湿度 Humidity	4	13.22	<i>P</i> <0.01
	温度+湿度 Temperature+Humidity	16	2.83	<i>P</i> <0.01

强于湿度。同时,温湿度对虫卵保存质量具有显著的交互作用(表 1)。

2.2 不同温湿度下金蝉虫卵的干瘪程度分析

未经实验保存的金蝉虫卵,通体乳白色,饱满且有光泽,呈长椭圆形,微弯曲,长约 2.3-2.5 mm,一端钝圆,一端稍尖,钝圆端带有一条黄带(图 1: A)。虫卵置于不同温湿度条件下保存一段时间后,虫卵表皮会因失水而发生不同程度的皱缩,皱缩严重的虫卵出现明显的干瘪状,甚至变形(图 1: B, C)。

不同温湿度条件下保存的金蝉虫卵,虫卵干瘪程度存在显著差异(表 2)。保存时间与保存湿度相同时,虫卵干瘪程度随保存温度的升高而显著增大($P<0.05$)。保存温度为 10 °C 时,相同保存时间内,各湿度条件下保存的虫卵和干瘪程度无显著差异($P>0.05$),保存 60 d 后,虫卵横截面厚度约 374.23-400.00 μm 。虫卵在温度 15-20 °C、湿度 35%-75% 环境下保存不超过 48 d 时,相同保存时间内,虫卵干瘪程度无显著差异($P>0.05$);而当保存至 60 d 时,虫卵干瘪程度随湿度的增加而显著降低($P<0.05$)。虫卵于 15 °C 条件下保存 60 d,其横截面厚度约为 331.31-405.77 μm ;虫卵于 20 °C 条件下保存 60 d,横截面厚度约为 269.18-395.19 μm 。温度 25 °C 时,各湿度条件下保存 36 d 的虫卵,干瘪程度无显著差异($P>0.05$);保存 48-60 d 的虫卵,

相同保存时间内,干瘪程度随湿度的增加而显著降低($P<0.05$);虫卵于 25 °C 条件下保存 60 d,其横截面厚度约为 104.65-310.82 μm 。温度 30 °C 时,相同保存时间内,虫卵干瘪程度均随湿度的增加而显著降低($P<0.05$)。虫卵于温度 30 °C、湿度 35% 条件下保存 60 d,全部干瘪死亡;虫卵于湿度 45%-75% 条件下保存 60 d,横截面厚度约为 44.23-95.49 μm 。虫卵于温度 10 °C、湿度 35% 条件下保存 60 d,卵粒表面虽然轻微干瘪,但胚胎依旧能够正常发育,在后期人工孵化时仍可顺利孵化。综上所述,虫卵于 10 °C 和湿度 35%-75% 下保存,虫卵干瘪程度最低;其次为温度 15-20 °C 和湿度 45%-75% 组合;再次为温度 25-30 °C 和湿度 65%-75% 组合。

2.3 不同温湿度保存后虫卵剩余量分析

金蝉虫卵于不同温湿度下保存 60 d 后,淘汰失水、霉变、坏死以及横截面厚度不足(50.00 ± 5.77) μm 的虫卵,剩余虫卵数量存在差异($F_{16,225}=8.02$, $P<0.01$)。相同保存温度下,湿度越大,虫卵剩余量越多;相同保存湿度下,温度越高,虫卵剩余量越少(表 3)。虫卵于 10-15 °C 和 35%-75% 湿度条件下保存 60 d,剩余量无显著差异(10 °C: $F_{4,49}=1.26$, $P=0.30$; 15 °C: $F_{4,49}=0.26$, $P=0.90$),普遍在 37 粒以上。虫卵于 20-30 °C 条件下保存,剩余量随湿度升高而显著增多(20 °C: $F_{4,49}=2.89$, $P=0.03$; 25 °C: $F_{4,49}=41.29$,

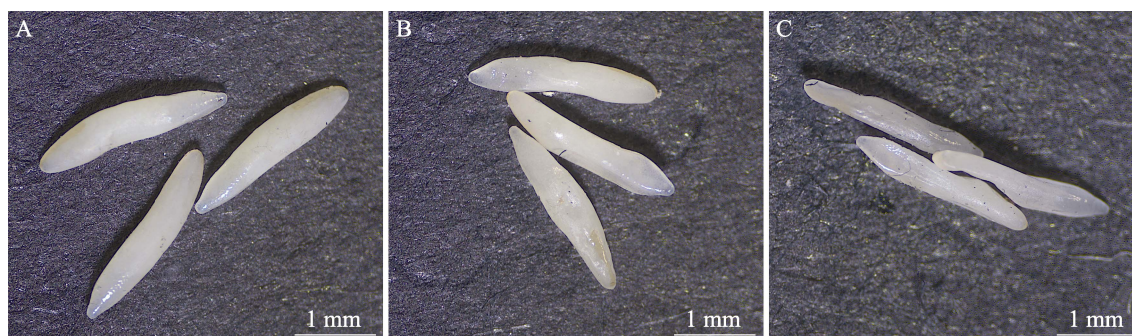


图 1 金蝉虫卵形态变化

Fig. 1 Morphological changes of eggs of *Cryptotympana atrata*

- A. 实验前饱满虫卵; B. 温度 15 °C、湿度 75% 条件下保存 60 d 的金蝉虫卵;
C. 温度 25 °C、湿度 35% 条件下保存 60 d 的金蝉虫卵。

A. Plump eggs before the experiment; B. Eggs preserved under the condition of 15 °C and 75% humidity after 60 days storage; C. Eggs preserved under the condition of 25 °C and 35% humidity after 60 days storage.

表 2 金蝉虫卵保存不同时间的干瘪程度

Table 2 Statistics of shriveling degree of eggs of *Cryptotympana atrata* stored for different time

保存时间 (d)		相对湿度 (%)	虫卵横截面厚度 (μm)				Cross-section thickness of eggs (μm)		统计分析
Preservation time (d)	Relative humidity (%)		10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	Statistical analysis	
24	35		450.00±5.77Aa	433.33±24.04Aa	420.00±15.28Aa	413.33±8.82Aab	343.33±8.82Bbc	$F_{4,14}=8.35, P=0.003$	
	45		446.67±3.33Aa	443.33±3.33Aa	426.67±3.33Aa	410.00±15.28Aab	326.67±6.67Bc	$F_{4,14}=38.88, P<0.0001$	
	55		446.67±3.33Aa	440.00±11.55Aa	423.33±12.02Aa	376.67±3.33Bb	383.33±6.67Bab	$F_{4,14}=15.11, P<0.0001$	
	65		450.00±5.77Aa	440.00±5.77Aa	416.67±16.67ABa	400.00±5.77ABab	380.00±15.28Bab	$F_{4,14}=6.70, P=0.007$	
	75		453.33±3.33Aa	453.33±6.67Aa	450.00±5.77Aa	423.33±3.33ABa	393.33±12.02Ba	$F_{4,14}=14.16, P<0.0001$	
统计分析			$F_{4,14}=0.39, P=0.81$		$F_{4,14}=0.33, P=0.85$	$F_{4,14}=1.25, P=0.35$	$F_{4,14}=4.29, P=0.03$	$F_{4,14}=7.58, P<0.05$	
36	35		430.00±5.77Aa	430.00±25.17Aa	373.33±12.02ABa	340.00±11.55Ba	186.67±8.82Cc	$F_{4,14}=49.04, P<0.0001$	
	45		423.33±3.33Aa	416.67±3.33Aa	400.00±5.77Aa	363.33±29.63Aa	226.67±14.53Bbc	$F_{4,14}=28.87, P<0.0001$	
	55		426.67±6.67Aa	420.00±5.77Aa	383.33±12.02Ba	343.33±3.33Ca	256.67±3.33Dab	$F_{4,14}=99.02, P<0.0001$	
	65		426.67±3.33Aa	416.67±3.33Aa	393.33±12.02ABa	363.33±3.33Ba	280.00±15.28Cab	$F_{4,14}=42.26, P<0.0001$	
	75		426.67±3.33Aa	426.67±8.82Aa	416.67±8.82Aa	396.67±3.33Aa	283.33±12.02Ba	$F_{4,14}=57.50, P<0.0001$	
统计分析			$F_{4,14}=0.25, P=0.90$		$F_{4,14}=0.24, P=0.91$	$F_{4,14}=2.50, P=0.11$	$F_{4,14}=2.44, P=0.12$	$F_{4,14}=12.09, P<0.05$	
48	35		410.00±5.77Aa	403.33±23.33ABa	333.33±20.28Ba	220.00±15.28Cc	93.33±8.82Db	$F_{4,14}=69.89, P<0.0001$	
	45		403.33±3.33Aa	390.00±5.77Aa	360.00±5.77Aa	260.00±26.46Bbc	123.33±12.02Cb	$F_{4,14}=74.44, P<0.0001$	
	55		406.67±3.33Aa	396.67±3.33Aa	353.33±12.02Ba	286.67±3.33Cabc	120.00±5.77Db	$F_{4,14}=327.68, P<0.0001$	
	65		413.33±3.33Aa	390.00±5.77Aa	373.33±6.67Aa	320.00±5.77Bab	180.00±15.28Ca	$F_{4,14}=122.63, P<0.0001$	
	75		416.67±3.33Aa	410.00±5.77Aa	393.33±26.67Aa	350.00±20.82Aa	183.33±12.02Ba	$F_{4,14}=35.342, P<0.0001$	
统计分析			$F_{4,14}=1.79, P=0.21$		$F_{4,14}=0.58, P=0.69$	$F_{4,14}=9.10, P<0.05$	$F_{4,14}=12.50, P<0.05$		
60	35		380.00±5.77Aa	343.33±12.02ABb	290.00±20.82Bb	116.67±12.02Cc	0.00±0.00Dc	$F_{4,14}=173.07, P<0.0001$	
	45		383.33±3.33Aa	363.33±3.33Aab	326.67±12.02Aab	156.67±23.33Bbc	50.00±5.77Cb	$F_{4,14}=142.78, P<0.0001$	
	55		390.00±5.77Aa	373.33±3.33Aa	333.33±12.02Bab	190.00±5.77Cb	50.00±5.77Db	$F_{4,14}=410.15, P<0.0001$	
	65		393.33±3.33Aa	376.67±3.33Aa	343.33±8.82 Bab	280.00±5.77Ca	86.67±8.82Da	$F_{4,14}=368.87, P<0.0001$	
	75		396.67±3.33Aa	400.00±5.77Aa	373.33±21.86Aa	290.00±20.82Ba	86.67±8.82Ca	$F_{4,14}=84.55, P<0.0001$	
统计分析			$F_{4,14}=2.39, P=0.12$		$F_{4,14}=5.29, P=0.02$	$F_{4,14}=3.54, P<0.05$	$F_{4,14}=24.40, P<0.0001$	$F_{4,14}=28.58, P<0.0001$	

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示相同温度和时间及不同湿度下保存的金蝉虫卵干瘪程度差异显著 (Tukey's HSD 检验, $P<0.05$); 同行数据后标有不同大写字母表示相同湿度和时间及不同温度下保存的金蝉虫卵干瘪程度差异显著 (Tukey's HSD 检验, $P<0.05$)。

Data are mean ± SD, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference of shriveling degree of eggs of *Cryptotympana atrata* stored at the same temperature, time and different humidity, while followed by different uppercase letters in the same row indicate significant difference of shriveling degree of eggs of *Cryptotympana atrata* stored at the same humidity, time and different temperature (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

表 3 金蝉虫卵在不同温湿度下保存 60 d 后的剩余量
Table 3 The remaining amount of eggs of *Cryptotympana atrata* stored at different temperature and humidity after 60 days of storage

相对湿度 (%) Relative humidity (%)	虫卵剩余量 (粒) Surplus of plump eggs (number)				
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
35	40.30±1.60Aa	40.50±1.64Aa	27.60±2.12Bb	5.70±1.04Cc	0.00±0.00Cb
45	43.70±1.23Aa	41.10±1.65Aa	32.00±1.53Bab	10.30±1.65Cbc	0.90±0.41Db
55	44.30±0.98Aa	41.30±1.99Aa	34.00±2.06Bab	13.10±1.60Cb	2.30±0.70Db
65	40.90±2.84Aa	39.40±1.88Aa	32.40±2.77ABab	25.10±1.70BCa	17.30±2.65Ca
75	44.30±1.39Aa	41.60±1.23Aa	37.40±1.76ABa	30.90±2.06Ba	18.10±3.32Ca

表中数据为平均值±标准误; 同列数据后标有不同小写字母和同行数据后标有不同大写字母表示差异显著 (Tukey’s HSD 检验, $P<0.05$)。下表同。
Data are mean ± SD, and followed by different lowercase letters in the same column and different uppercase letters in the same row indicate significant difference (Tukey’s HSD test, $P<0.05$). The same below.

$P<0.000\ 1$; 30 °C: $F_{4,49}=22.38$, $P<0.000\ 1$)。温度 20 °C 时, 虫卵于 35% 湿度条件下保存 60 d, 剩余量不足 30 粒; 虫卵于 45%-75% 湿度条件下保存 60 d, 剩余量均在 30 粒以上。温度 25 °C 时, 虫卵于 35%-55% 湿度条件下保存 60 d, 剩余量仅约 5-15 粒; 而于 65%-75% 湿度条件下保存 60 d, 剩余量可达 23-33 粒。温度 30 °C 时, 虫卵于 35% 湿度条件下保存 60 d, 全部干瘪死亡, 剩余量为 0; 超过 95% 的虫卵于 45%-55% 湿度条件下保存 60 d 后干瘪死亡; 即使在 65%-75% 湿度条件下, 60 d 后, 虫卵剩余量也不足 20 粒。因此, 10-15 °C 和 35%-75% 湿度条件下保存的虫卵, 剩余量最多; 其次为 20 °C 和 45%-75% 的湿度组合; 再者是 25 °C 和 75% 湿度组合; 而于 30 °C 条件下保存的虫卵, 剩余量最少。

2.4 不同温湿度保存后虫卵的孵化时间

不同温湿度下保存的金蝉虫卵, 孵化时间存

在差异 ($F_{16,225}=23.94$, $P<0.01$, 表 4)。同一保存湿度下, 虫卵孵化时间随保存温度升高显著缩短 (RH 35%: $F_{3,38}=35.69$, $P<0.000\ 1$; RH 45%: $F_{4,42}=212.42$, $P<0.000\ 1$; RH 55%: $F_{4,48}=169.74$, $P<0.000\ 1$; RH 65%: $F_{4,49}=988.38$, $P<0.000\ 1$; RH 75%: $F_{4,49}=426.18$, $P<0.000\ 1$)。10 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间约 41-43 d; 15 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间约 40-42 d; 20 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间约 38-41 d; 25 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间约 32-38 d; 30 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间约 33-37 d。虫卵在 30 °C、35% 湿度条件下保存 60 d 后, 全部失水干瘪死亡, 因此无虫卵孵化, 不计孵化时间。结果表明, 10 °C 条件下保存的虫卵孵化时间最长, 30 °C 下保存的虫卵孵化时间最短。

2.5 不同温湿度保存后虫卵的孵化率

不同温湿度条件下保存的金蝉虫卵, 孵化率

表 4 金蝉虫卵在不同温湿度条件保存所需的孵化时间
Table 4 Incubation time of eggs of *Cryptotympana atrata* at different temperature and humidity after 60 days of storage

相对湿度 (%) Relative humidity (%)	虫卵孵化时间 (d) Incubation time of eggs (d)				
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
35	42.33±0.10Aa	41.67±0.04Aa	38.79±0.12Bc	37.74±0.78Ba	NH
45	42.16±0.07Aa	41.61±0.03Aa	39.14±0.12Bbc	35.60±0.35Cbc	35.00±0.58Cab
55	41.78±0.05Ab	40.62±0.04Bc	40.33±0.07Ba	35.01±0.24Cc	33.96±0.60Cb
65	41.65±0.05Ab	40.50±0.04Bc	39.39±0.14Cb	32.16±0.10Dd	36.15±0.20Ea
75	42.19±0.04Aa	41.16±0.07Bb	38.71±0.07Cc	36.64±0.17Dab	35.13±0.25Eab

NH: 无虫卵孵化 No eggs hatched.

表 5 金蝉虫卵在不同温湿度下保存 60 d 后的孵化率

Table 5 The hatching rate of eggs of *Cryptotympana atrata* stored at different temperature and humidity for 60 days

相对湿度 (%) Relative humidity (%)	虫卵孵化率 (%) Hatching rate of eggs (%)				
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
35	76.80±2.92Aa	79.80±3.29Aa	54.20±4.44Ba	9.56±1.81Cc	0.00±0.00Cb
45	87.20±2.43Aa	81.80±3.30Aa	59.00±3.89Ba	11.40±1.52Cc	2.67±0.37Cb
55	86.80±2.39Aa	79.40±4.21Aa	64.40±4.15Ba	19.80±4.65Cbc	5.11±1.38Cb
65	79.00±5.71Aa	78.00±3.76Aa	57.60±6.14Ba	36.00±4.06Cab	20.20±2.14Ca
75	87.40±3.24Aa	79.60±2.65ABa	72.60±3.16Ba	49.60±6.32Ca	25.80±4.97Ca

亦存在差异 ($F_{16, 225}=4.85$, $P<0.01$, 表 5)。相同保存湿度下, 虫卵孵化率随保存温度升高显著降低 (RH 35%: $F_{4, 48}=105.12$, $P<0.000 1$; RH 45%: $F_{4, 42}=87.50$, $P<0.000 1$; RH 55%: $F_{4, 48}=67.96$, $P<0.000 1$; RH 65%: $F_{4, 49}=26.08$, $P<0.000 1$; RH 75%: $F_{4, 49}=29.27$, $P<0.000 1$)。保存温度相同时, 在 10-20 °C 范围内, 不同湿度条件下保存的虫卵, 孵化率无显著差异 (10 °C: $F_{4, 49}=2.09$, $P=0.10$; 15 °C: $F_{4, 49}=0.12$, $P=0.98$; 20 °C: $F_{4, 49}=2.39$, $P=0.07$); 25-30 °C 范围内, 虫卵孵化率随保存湿度升高而显著提升 (25 °C: $F_{4, 48}=16.17$, $P<0.000 1$; 30 °C: $F_{4, 41}=14.89$, $P<0.000 1$)。10-15 °C 范围内, 虫卵于不同湿度下保存, 孵化率均可达 73% 以上。20 °C 时, 虫卵于 35%-65% 湿度条件下保存, 孵化率普遍低于 65%; 虫卵于 75% 湿度条件下保存, 孵化率可达 70% 以上。30 °C 时, 虫卵于 35%-55% 湿度条件下保存, 孵化率均在 7% 以下; 虫卵于 65%-75% 湿度条件下保存, 孵化率均不足 31%。综上所述, 在温度 10 °C, 湿度 35%-75% 范围内保存虫卵, 虫卵孵化率最高。

3 讨论

环境温湿度通过调控昆虫体内水分平衡, 来影响并限制其生长发育 (刘向东等, 2016)。本研究中金蝉虫卵在不同温湿度条件下保存, 可发生不同程度的失水干瘪, 10 °C 和湿度 35%-75% 环境下保存的虫卵, 干瘪程度最低, 剩余量最多; 25-30 °C 条件下, 虫卵保存效果不佳。在高温低湿的环境下, 易导致虫卵内水分损失, 造成虫卵

干瘪、死亡。因此, 在 8、9 月份采集的金蝉虫卵枝条, 需频繁喷水保湿, 避免枝条内虫卵失水干瘪坏死; 11 月以后, 随着气温逐渐转凉, 为虫卵枝条喷水的频率应降低; 次年 3 月以后, 气温回升, 尤其当气温超过 15 °C 时, 应再次提高为虫卵枝条喷水的频率。

温度显著影响昆虫卵孵化时间, 低温延长孵化时间, 高温可缩短孵化时间 (刘向东等, 2016)。如食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* 卵发育速度随温度升高而加快 (林彩清等, 2019)。中华蜜蜂 *Apis cerana* 受精卵, 31 °C 条件下发育历期为 109.2 h, 37 °C 条件下发育历期为 64.8 h; 意大利蜜蜂 *Apis mellifera* 受精卵, 31 °C 条件下发育历期为 110.3 h, 36 °C 条件下发育历期为 66.8 h (江天宝, 2004)。金蝉虫卵在同一湿度下, 孵化时间随温度升高显著缩短; 10 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间最长; 30 °C 条件下保存的虫卵, 孵化时间最短。因此, 在金蝉饲养过程中, 通过调控温度来控制金蝉虫卵孵化时间, 以提高孵化整齐度, 可用于金蝉标准化养殖技术的优化。

温湿度共同影响昆虫存活与繁殖的现象较为普遍。本研究结果表明, 低温条件下 (10-20 °C), 湿度对金蝉虫卵保存与孵化质量影响不显著, 但在相对适宜温度下 (25-30 °C), 湿度越高则卵孵化率越高; 在高温高湿下, 虫卵虽未变形, 但孵化率显著降低, 孵化时间延长, 甚至不孵化。落叶松毛虫 *Dendrolimus superans* 在 (27.5±0.5) °C、湿度 35%-65% 的环境下, 虫卵孵化率随湿度的增加而升高 (马小博, 2017)。当环境湿度恒定时, 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

在 25 ℃条件下虫卵孵化率最高, 可达 92.6%; 当温度提升至 37 ℃时, 虫卵孵化率则下降为 47.1%; 当温度继续提升至 39 ℃时, 虫卵孵化率仅为 43.3%; 当温度达 41 ℃时, 没有虫卵孵化 (Zhang *et al.*, 2014)。稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 在 25.7 ℃、60%湿度条件下, 虫卵孵化率为 80%; 而当温度不变, 湿度达到 70%-100% 时, 虫卵孵化率则提高至 90%以上 (张孝羲等, 1980)。在温度高于 28 ℃、湿度低于 48%的环境下, 稻纵卷叶螟虫卵孵化失败; 当温度达 37 ℃时, 虫卵在任意湿度环境下均不能孵化 (方源松等, 2013)。由此可见, 高温虽然能够促进虫卵发育, 但温度过高也会损伤虫卵; 在适宜温度范围内, 提高湿度可提升昆虫卵的孵化率, 而当温度超过一定限度时, 湿度的变化并不能改善虫卵受高温损伤, 无法孵化的现象。因此, 在温度处于适宜区间时, 可调控湿度大小, 提升虫卵保存与孵化质量, 提高金蝉养殖产量。

综上所述, 温度和湿度均显著影响金蝉虫卵的保存效果; 轻微失水并不会致死金蝉虫卵, 且对胚胎发育和虫卵孵化也无显著性影响。温度 10 ℃和湿度 35%-75%是金蝉虫卵保存的最佳温湿度条件, 且保存温度越低, 虫卵对湿度的要求就越低; 高温环境并不适宜保存金蝉虫卵。因此, 在实际操作中, 秋冬季节保存金蝉虫卵, 无需为含虫卵的树木枝条频繁喷水; 春夏季节气温高, 应提高为虫卵枝条喷水的频率, 同时做好枝条的遮荫防晒工作, 防止枝条内的金蝉虫卵失水干瘪死亡。

参考文献 (References)

Cao CX, 2020. Commercial samples investigation and quality evaluation of Cicadae periostracum. Master's dissertation. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine. [曹馨慈, 2020. 蝉蜕商品调查与质量评价研究. 硕士学位论文. 南京: 南京中医药大学.]

Chang XN, Gao HJ, Chen FJ, Zhai BP, 2008. Effects of environmental moisture and precipitation on insects: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 27(4): 619–625. [常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 翟保平, 2008. 环境湿度和降雨对昆虫的影响. 生态学杂志, 27(4): 619–625.]

Fang YS, Liao HJ, Qian Q, Liu XD, 2013. Combined effects of

temperature and relative humidity on eggs of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(7): 786–791. [方源松, 廖怀建, 钱秋, 刘向东, 2013. 温湿度对稻纵卷叶螟卵的联合作用. 昆虫学报, 56(7): 786–791.]

Gao GZ, Lv SZ, Xia DP, Sun P, 2012. Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton. *Acta Ecologica Sinica*, 32(23): 7568–7575. [高桂珍, 吕昭智, 夏德萍, 孙平, 2012. 高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响. 生态学报, 32(23): 7568–7575.]

Jiang TB, 2004. Studies on effect of temperature on development of honeybee eggs. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [江天宝, 2004. 温度对蜜蜂卵发育影响的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]

Li AH, Sun RH, Zhang Y, Liu XF, 2006. Influence of temperature and humidity on fecundity of peach fruit borer, *Carpocapsa niponensis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(6): 867–869. [李爱华, 孙瑞红, 张勇, 刘秀芳, 2006. 温湿度对桃小食心虫成虫生殖力的影响. 昆虫知识, 43(6): 867–869.]

Li GJ, Xu XH, Zhang HL, Zhu M, Cui XH, 2015. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Nilaparvata lugens*. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(9): 1747–1755. [李千金, 徐显浩, 张海亮, 朱敏, 崔旭红, 2015. 短时高温暴露对褐飞虱存活和生殖特性的影响. 中国农业科学, 48(9): 1747–1755.]

Lin CQ, Chen H, Yin YY, Zhang SC, Yu Y, Zhuang QY, Zheng L, Zhai YF, 2019. Effects of temperature on the development and predation of *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(1): 79–84. [林清彩, 陈浩, 尹园园, 张思聪, 于毅, 庄乾营, 郑礼, 翟一凡, 2019. 不同温度对食蚜瘿蚊生长发育和幼虫捕食能力的影响. 应用昆虫学报, 56(1): 79–84.]

Liu XD, Wang X, Wang MQ, Yang G, Wu JC, Wang SS, Lu YY, Jiang MX, Zhai BP, 2016. Insect Ecology and Forecast (4th Edition). Beijing: China Agricultural Publishing House Press. 12–27. [刘向东, 王星, 王满囤, 杨广, 吴进才, 汪四水, 陆永跃, 蒋明星, 翟保平, 2016. 昆虫生态及预测预报 (第 4 版). 北京: 中国农业出版社. 12–27.]

Ma RH, Zeng XY, Ma X, Ma H, Zeng H, 2018. Q&A on new technology of efficient rearing of *Cryptotympana atrata*. Beijing: China Agricultural Publishing House Press. 10–11. [马仁华, 曾秀云, 马啸, 马浩, 曾浩, 2018. 金蝉高效养殖新技术问答. 北京: 中国农业出版社. 10–11.]

Ma XB, 2017. Temperature and humidity effects on *Dendrolimus superans* Butler grow and develop. Master dissertation. Haerbin:

- Northeast Forestry University. [马小博, 2017. 温度和湿度对落叶松毛虫生长发育的影响. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]
- Song YQ, Dong JF, Wang JJ, Jing YP, Wang H, 2011. Study on the effects of enviromental factors on eggs hatching rate of *Cryptotympana atrata*. *Hubei Agricultural Sciences*, 50(16): 3299–3301. [宋月芹, 董钧锋, 王锦锦, 荆彦平, 王辉, 2011. 不同环境因素对蚱蝉卵孵化影响研究. 湖北农业科学, 50(16): 3299–3301.]
- Wang JJ, Wang SB, Li CX, Jing YP, Wang H, 2011. Primary research on artificial hatching of the eggs of *Cryptotympana atrata*. *Hubei Agricultural Sciences*, 50(3): 514–516. [王锦锦, 王少博, 李彩新, 荆彦平, 王辉, 2011. 蚱蝉卵人工孵化技术初探. 湖北农业科学, 50(3): 514–516.]
- Wang JW, Lu JZ, Jing YL, Liu YZ, 2018. Key technology of rearing of *Cryptotympana atrata*. *Special Economic Animals and Plants*, 21(12): 5–6. [王建伟, 卢建珍, 景雅兰, 刘有志, 2018. 金蝉养殖的关键技术. 特种经济动植物, 21(12): 5–6.]
- Xiang M, Fan TS, Hu HX, Yu F, Ji R, Wang H, 2017. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 426–433. [向敏, 樊泰山, 扈鸿霞, 于非, 季荣, 王哈, 2017. 短时高温对意大利蝗存活和生殖的影响. 应用昆虫学报, 54(3): 426–433.]
- Zhang S, Cao Z, Wang Q, Zhang F, Liu TX, 2014. Exposing eggs to high temperatures affects the development, survival and reproduction of *Harmonia axyridis*. *Journal of Thermal Biology*, 39(1): 40–44.
- Zhang W, Zhao F, Hoffmann AA, Ma CS, 2013. A single hot event that does not affect survival but decreases reproduction in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *PLoS ONE*, 8(10): e75923.
- Zhang XX, Geng JG, Lu ZQ, Liu WJ, 1980. Studies on biological and ecological characteristics of rice leaf folder. *Entomological Knowledge*, 17(6): 241–245. [张孝羲, 耿济国, 陆自强, 刘文娟, 1980. 稻纵卷叶螟生物学生态学特性研究初报. 昆虫知识, 17(6): 241–245.]