

焦 阳, 姜晓旭, 吴 艳, 等. 柞蚕胚胎对高温胁迫的耐受性及其遗传[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(3): 316-322.

JIAO Yang, JIANG Xiaoxu, WU Yan, et al. High temperature tolerance and inheritance of tussah silkmoth embryos[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(3): 316-322.

柞蚕胚胎对高温胁迫的耐受性及其遗传

焦 阳, 姜晓旭, 吴 艳, 钟 亮, 戚 俐, 陈俊山, 徐 亮

(辽宁省蚕业科学研究所, 辽宁 凤城 118100)

摘 要: 为探索柞蚕胚胎对高温胁迫的耐受性及其遗传规律, 对试验群体辽蚕 527 及 5 个亲本 10 个 F_1 组合的柞蚕受精卵采取 43 °C 以上的高温胁迫。结果表明: 高温胁迫对不同发育阶段胚胎的影响存在显著差异。有效积温在 5~10 °C 时对高温胁迫的耐受性最弱, 而有效积温在 20 °C 时对高温胁迫的耐受性最强。高温胁迫对胚胎生命力的影响存在显著差异, 随着温度的升高, 孵化率降低。高温胁迫也会延长胚胎的发育时期, 并且对孵化整齐度产生重要影响, 使孵化时间延长。不同品种对高温胁迫的耐受性存在显著差异, 其中辽蚕 527 对高温胁迫的耐受性最强, 小白蚕的耐受性最弱。遗传分析表明: 柞蚕胚胎对高温胁迫的耐受性受 4 对主基因控制, 主基因效应明显, 其遗传率为 91.97%, 而微效多基因对其影响较小, 遗传率仅为 5.77%。综上, 通过杂交后代胚胎对高温胁迫耐受性进行早期选择, 可以选育出对高温胁迫耐受性强的柞蚕品种。

关键词: 柞蚕; 卵胚胎; 高温胁迫; 耐受性; 遗传

中图分类号: S885.1

文章编号: 1000-1700(2024)03-0316-07

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



High Temperature Tolerance and Inheritance of Tussah Silkmoth Embryos

JIAO Yang, JIANG Xiaoxu, WU Yan, ZHONG Liang, QI Li, CHEN Junshan, XU Liang

(Sericultural Reserch Institute of Liaoning Province, Fengcheng Liaoning 118100, China)

Abstract: To explore the tolerance of tussah silkmoth (*Antheraea pernyi*) embryos to high temperature and its genetic patterns, the fertilized eggs of tussah silkmoth were subjected to high temperature above 43 °C. There were significant differences in the effects of high temperature on embryos in different developmental stages, with the weakest at the effective accumulated temperature of 5-10 °C and the strongest at 20 °C. Different high temperatures showed significant impacts on embryos. As the temperature increases, the tolerance of embryos decreases and the hatching rate decreases. High temperature stress can also prolong the developmental period of embryos and have a significant impact on the uniformity of hatching, prolonging hatching time and reducing daily hatching rates. There were significant differences in tolerance to high temperature stress among different varieties, with Liaocan 527 having the strongest tolerance to high temperature stress and Xiaobaican having the weakest tolerance; The results of genetic research showed that the tolerance of tussah silkworm embryos to high temperature stress was controlled by four major genes, with significant major gene effects and a heritability rate of 91.97%. However, the influence of minor polygenes on it was relatively small, with a heritability rate of only 5.77%.

收稿日期: 2024-01-12

基金项目: 辽宁省农业科学院院长基金项目(2021QN2010); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目(CARS-18); 柞蚕品种选育学科建设项目(2022DD175629); 农业农村部辽宁野蚕科学观测实验站项目(23-S-15); 国家桑蚕改良中心辽宁柞蚕分中心项目(2015-A2211-210682-A0105-002)

第一作者: 焦 阳(1978-), 男, 硕士, 助理研究员, 从事柞蚕遗传育种研究, E-mail: jy0889@163.com

通信作者: 徐 亮(1972-), 男, 硕士, 研究员, 从事柞蚕育种及复杂性状数量遗传研究, E-mail: xulianglcs@126.com

In summary, early selection of hybrid offspring embryos for tolerance to high temperature stress can lead to the breeding of oak silkworm varieties with strong tolerance to high temperature stress.

Key words: tussah silkmoth; egg embryo; high temperature stress; tolerance; heredity

温度是影响昆虫生长发育最重要的环境因子之一^[1],一定范围内温度升高有利于昆虫的生长发育和繁殖^[2]。但当超过虫体的温度耐受范围后,会引起昆虫的各种生理反应,如呼吸速率及生长发育缓慢^[3-4]、虫体内酶活性降低、抗逆物质含量下降、失去耐受能力、死亡率增加^[5-6]。同时,高温胁迫也会导致卵孵化率降低、幼虫细胞大量死亡、繁殖性能减弱^[7-9]。

柞蚕属变温动物,其保持和调节体温的能力较弱,自身无稳定的体温^[10]。柞蚕幼虫饲养在适温环境(16.5~22 °C)中,食欲旺盛、体质强健、生命力强、茧质优良。反之,则生命力减弱、易发生病害、死亡率高^[11]。环境温度超过柞蚕最高的生活温度范围时,柞蚕生长发育异常,严重时引起死亡,这是因为高温能引起蚕体原生质变性或代谢酶系统被破坏^[12]。高温的这种不良影响除直接作用当龄幼虫或虫态,而且还影响以后的生长发育。卵期、小蚕期接触高温,常常会出现大蚕期体弱进而导致发病率高的现象;大蚕期接触高温,常常会导致大蚕直接死亡或于茧期死亡;蛹期高温,会引起蛾羽化不齐、易发生卷翅蛾以及造卵数减少等^[13]。刘程哲等^[14]研究认为,高温干燥会导致柞蚕受精卵孵化率降低,幼虫生命力下降,甚至会诱发蚕病;高青等^[15]研究表明,高温会导致柞蚕不受精卵率增加,造成减产;夏润喜等^[16]研究表明,高温胁迫时间越长,柞蚕体内保护酶CAT的活性上升幅度越大,温度越高酶活性上升速度越快、变化幅度越大。目前,关于柞蚕受精卵对高温的耐受性研究方面所做工作较少,仅有少量的利用高温处理柞蚕卵防治微粒子病方面的报道^[17]。

秋柞蚕放养采取的是纸面挂卵收蚁的方法,孵化前胚胎需于室内自然温保护10 d,并于孵化前一天下午将产有柞蚕卵的产卵纸挂于柞枝上,此段期间如遇高温天气将会对柞蚕胚胎的生长发育产生不良影响。为了进一步探明高温胁迫对柞蚕胚胎生长发育的影响及其对高温胁迫耐受性的遗传规律,本研究对不同发育阶段的柞蚕卵胚胎进行了短时高温胁迫,以期为柞蚕耐高温品种的选育和对高温的预防提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以柞蚕品种辽蚕527、辽蚕582、抗大、9906、小白蚕、H04、大白1号、吉青、K6、黑蛾、黄蛾及部分品种杂交F₁代受精卵为试验材料。

1.2 不同发育历期柞蚕胚胎的高温胁迫

2022年秋季,以辽蚕527优良母蛾为材料,在26 °C,相对湿度70%的条件下,混合产卵6 h。蚕卵置温度20 °C,相对湿度70%条件下催青,然后根据发育时期的不同进行水浴处理。每次处理3次重复,每次重复130粒卵,水浴处理温度为47 °C,处理时间为6 min,孵化后调查孵化率。

2023年春季,仍以辽蚕527优良母蛾为材料,在室温20 °C、相对湿度70%的条件下,混合产卵12 h后,置温度20 °C、相对湿度70%条件下催青。每次处理3次重复,每次重复145粒卵,处理温度为47.5 °C,处理时间为7 min。

1.3 不同温度和时间对柞蚕胚胎的高温胁迫

2022年秋季,以辽蚕527优良母蛾为材料,在26 °C,相对湿度70%的条件下,混合产卵6 h。在蚕卵的4个不同发育时期(0.25, 0.5, 0.75, 1 d)进行3个温度(43, 45, 47 °C)和3个时间(6, 12, 18 min)的水浴处理。每次处理3次重复,每次重复102粒卵。处理后继续在温度20 °C、相对湿度70%条件下催青,孵化后调查孵化率。

1.4 不同柞蚕品种胚胎的高温胁迫

2022年秋季,以辽蚕527、辽蚕582、抗大、9906、小白蚕、H04、K6和吉青为材料,在卵期有效积温为50 °C时,46 °C水浴处理6 min。每个品种3次重复,每次重复120粒卵量。高温胁迫后在室温25 °C、

相对湿度70%条件下进行催青,孵化结束后调查孵化率。

1.5 柞蚕胚胎耐高温胁迫的双列杂交试验

以辽蚕527、吉青、大白1号、黑蛾和黄蛾为试验材料,于2023年春配制 F_1 代正交组合及亲本在内共15个交配形式。每个组合3次重复,每次重复120粒卵。于有效积温 $50\text{ }^\circ\text{C}$ (反转期)进行水浴处理,温度 $47.5\text{ }^\circ\text{C}$,时间7 min。处理后置温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度70%条件下催青。每天调查孵化数,计算孵化率。

1.6 统计方法

方差分析采用的是DPS 20.0数据处理软件,作图采用的是Graphpad 10.0分析软件,对高温耐受性的遗传分析采用主-微位点组遗传分析方法^[18]。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫对柞蚕胚胎生命力及发育历期的影响

由图1可知,短时高温处理对不同发育时期的秋柞蚕受精卵的孵化率具有显著影响($p<0.05$)。其中,对发育时期为0.5 d和0.75 d(有效积温 $6.5\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $9\text{ }^\circ\text{C}$)的柞蚕卵影响最大,此时的孵化率小于50%;对发育时期在0.25,4,5,10 d(有效积温4,41.5,51.5,101.5 $^\circ\text{C}$)的柞蚕卵影响次之,这4个时期处理后的孵化率在65%~70%之间;对发育时期在2 d(有效积温 $21.5\text{ }^\circ\text{C}$)的柞蚕卵影响最小,其孵化率为91.54%。

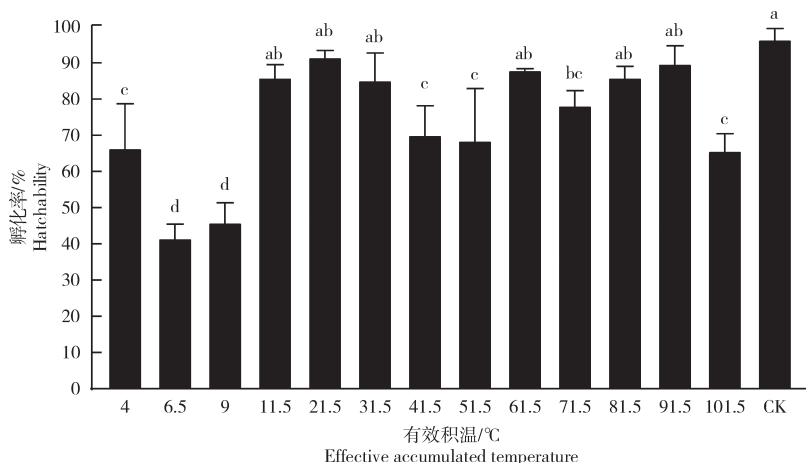


图1 高温胁迫对柞蚕胚胎生命力的影响

Figure 1 Effect of high temperature on the embryonic vitality of tussah silkworm

由图2可知,当有效积温超过 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时,秋柞蚕卵胚胎的发育时期延长1~2 d不等,尤其当有效积温在 $60\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $90\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ 时,其发育时期均延长2 d。

2.2 不同胁迫温度和胁迫时间对秋柞蚕卵胚胎生长发育的影响

不同温度和时间处理下,不同有效积温的秋柞蚕受精卵对其胚胎生命力的影响均达到极显著差异($p<0.01$)(图3),同时处理温度与处理时间、处理温度与有效积温之间的互作均达到极显著水平($p<0.01$),并且处理温度、处理时间和有效积温三者之间的互作也达到了极显著水平($p<0.01$)。高温胁迫处理的时间越长其孵化率越低,43 $^\circ\text{C}$ 处理后胚子的孵化率可达83.85%,45 $^\circ\text{C}$ 处理后胚子的孵化率为64.98%,47 $^\circ\text{C}$ 处理后胚子的孵化率仅为39.30%。

在不同的高温胁迫下,其共同的规律是随着胁迫时间的延长,对胚子的生命力影响越大,其孵化

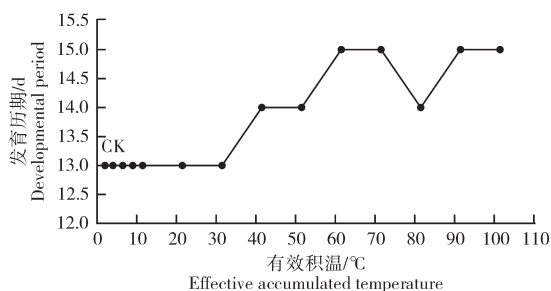


图2 高温胁迫对秋柞蚕卵胚胎发育时期的影响

Figure 2 Effect of high temperature on the development duration of autumn tussah silkmoth embryos

率也就越低,在有效积温为6.5℃时,胚子对高温胁迫的耐受性最差,并且随着胁迫温度的升高,其孵化率也越低;温度的变化对胚子的生命力也有较大影响,随着胁迫温度的升高其孵化率也随之降低。

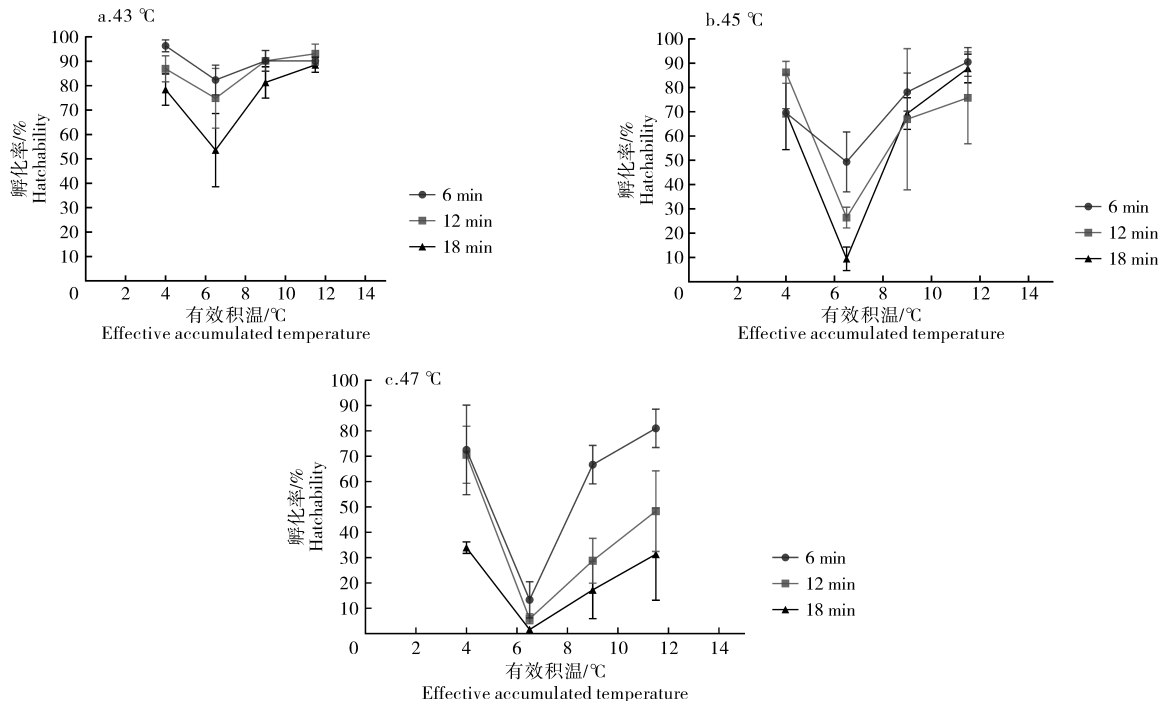


图3 胁迫温度、胁迫时间对柞蚕胚子生命力的影响

Figure 3 Effect of treatment temperature and time on the vitality of tussah silkmoth embryos

2.3 高温胁迫对不同柞蚕品种胚胎生命力的影响

由图4可知,不同柞蚕品种的柞蚕卵通过高温胁迫后,其孵化率存在显著差异,其中以辽蚕582和辽蚕527的孵化率最高,其次是9906和吉青,再次是抗大和“k6”,高温对小白蚕和H04卵期胚子生长发育的影响最大。由此可见,不同柞蚕品种的受精卵胚胎对高温胁迫的耐受性存在显著差异,此为耐高温品种的选育提供理论依据。

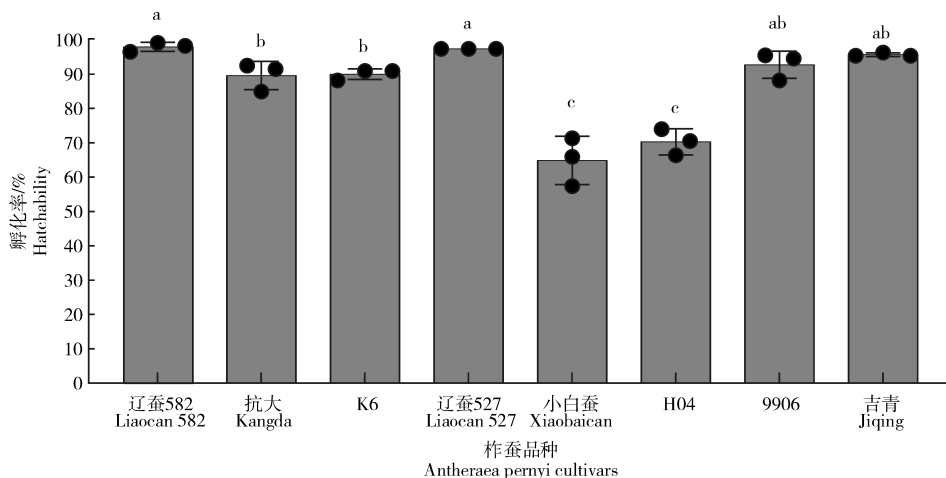


图4 高温胁迫对不同柞蚕品种胚子生命力的影响

Figure 4 Effect of high temperature on embryo vitality of different tussah silkmoth varieties

2.4 高温胁迫对柞蚕卵孵化效果的影响

由图5可知,高温胁迫对春柞蚕受精卵孵化率也有较大影响,其中影响最大的是在有效积温为80℃和110℃,影响较小的是在有效积温为20,40,50,60℃。高温胁迫对孵化整齐度也有较大影响,

其中对孵化整齐度影响较小的是在有效积温为 20 °C 和 50 °C,而在其他发育阶段均产生较大影响,不仅在孵化数量上有较大影响,同时在孵化批次上也有较大影响。在高温胁迫条件下,几乎在所有的发育阶段其孵化批次均有所增加,其中批次增加最少的是在有效积温为 5, 20, 40, 60, 100 °C,批次增加最多的是在有效积温为 70 °C 和 90 °C。

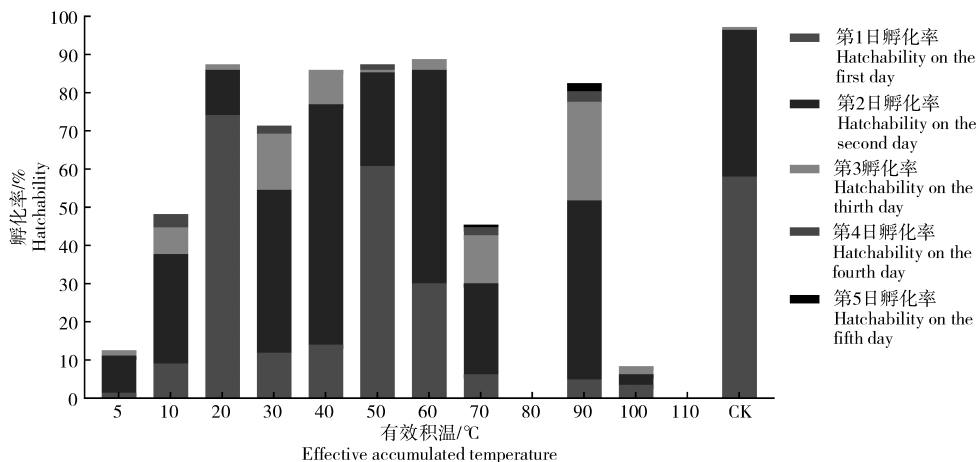


图5 高温胁迫对柞蚕孵化效果的影响

Figure 5 Effect of high temperature on the hatching rate of tussah silkmoth embryos

2.5 柞蚕受精卵胚胎对高温胁迫耐受性的遗传

2023年春季,以5个柞蚕品种为亲本,配制10个F₁杂交组合,47.5 °C 7 min 短时高温胁迫后调查孵化率,结果如表1。由表1可知,5个柞蚕亲本品种的孵化率平均为 74.63%,变幅为 31.28% ~ 95.81%,其中,亲本品种辽蚕 527 的孵化率最高(95.81%),大白 1 号的孵化率最低(31.28%)。10 个杂交组合的孵化率平均为 80.71%,变幅为 28.65% ~ 95.54%,其中,辽蚕 527×大白 1 号的孵化率最高(95.54%),其次是辽蚕 527×吉青(94.42%),吉青×大白 1 号的孵化率最低(28.65%)。

表1 5 个柞蚕亲本品种及其杂交组合孵化率的平均值

品种 Variety	吉青 Jiqing	辽蚕 527 Liaocan 527	黄蛾 Yellow-moth	大白 1 号 Dabai 1	黑蛾 Black-moth
吉青 Jiqing	84.34				
辽蚕 527 Liaocan 527	94.42	95.81			
黄蛾 Yellow-moth	92.31	89.70	71.18		
大白 1 号 Dabai 1	28.65	95.54	60.79	31.28	
黑蛾 Black-moth	80.81	93.22	82.16	89.45	91.53

由表 2 可知,不同柞蚕亲本品种及杂交组合间孵化率的差异达到极显著水平($p=0$),即柞蚕孵化率的遗传构成在不同亲本及杂交组合间是不同的,因此需要进一步分析其产生差异的原因。另外,柞蚕孵化率的主位点组效应达到了极显著水平($p=0$),其遗传率为 91.97%,微位点组效应也达到极显著水平($p=0$),其遗传率为 5.77% (表 3)。

表2 5 个柞蚕亲本品种及其杂交组合孵化率的主—微位点组方差分析

Table 2 Analysis of variance of major-minor loci groups for hatchability of 5 parent varieties and their hybrid combinations

变异来源 Source of variation	DF	平方和 SS	均方 MS	F	p
亲本及组合 Parents & crosses	14	13 599.99	971.43	87.47	0.00
主位点组 Major locus groups	8	13 204.46	1 650.56	148.63	0.00
微位点组 Minor locus groups	6	395.53	65.92	5.94	0.00
区组 Within groups	1	1.77	1.77	0.16	0.70
误差 Error	14	155.47	11.11		
总变异 Total variance	29	13 757.23			

表3 5个柞蚕亲本品种及其杂交组合孵化率的主-微位点组遗传参数估值

Table 3 Genetic parameter estimation of major-minor loci group for hatchability of 5 parent varieties and their hybrid combinations of *Antheraea pernyi*

变异来源 Source of variation	方差 Variance	调整后方差 Adjusted variance	遗传率/% Heritability
亲本及组合 Parents & crosses	480.16	480.16	97.74
主位点组 Major locus groups	437.19	451.83	91.97
微位点组 Minor locus groups	27.41	28.33	5.77
误差 Error	11.11	11.11	2.26
总变异 Total variance	491.27	491.27	100

5个柞蚕亲本品种孵化率的4个主位点组的基因型可分为5种类型(表4)。其中,亲本吉青的4个主位点组基因型为纯合显性,但J1=3主位点组的加性效应为-17.17,使胚胎对高温的耐受性降低,其余3个主位点组的加性效应分别为9.48,15.08,4.04,使胚胎对高温的耐受性增强;亲本辽蚕527的4个主位点基因型有2个是纯合隐性,2个是纯合显性,J1=3和J2=14主位点组的加性效应为纯合隐性,使胚胎对高温的耐受性降低,但J1主位点组的加性效应为负值(-17.17),反而使胚胎对高温的耐受性增强,另外2个主位点组的基因型为纯合显性,且加性效应为正值,使胚胎对高温的耐受性增强,亲本黄蛾的主位点组基因型有3个为纯合隐性,1个为纯合显性,亲本大白1号的主位点组基因型有1个为纯合显性,3个为纯合隐性;亲本黑蛾的主位点组基因型有3个是纯合隐性,1个是纯合显性。辽蚕527对高温胁迫的耐受性最强,加性效应总和为21.21;大白1号对高温胁迫的耐受性最低,加性效应总和为-45.77。

表4 5个柞蚕亲本品种孵化率主位点组的基因型和遗传效应

Table 4 Genotypes and genetic effects of the major loci groups for hatchability of 5 parent varieties of *Antheraea pernyi*

J	亲本基因型 Parental genotype					遗传效应 Genetic effects	
	吉青 Jiqing	辽蚕527 Liaocan 527	黄蛾 Yellow-moth	大白1号 Dabai 1	黑蛾 Black-moth	加性 Additive	显性 Dominance
3	++	--	--	++	--	-17.17	25.67
14	++	--	--	--	--	9.48	-23.81
12	++	++	--	--	++	15.08	8.36
10	++	++	++	--	--	4.04	-7.53

注:J为主位点组遗传差异类型序号。

Note: J represents pattern of genetic difference between major locus groups.

由表5可知,5个柞蚕品种中微效基因加性效应最大的是大白1号,为4.12,最小的是辽蚕527,为-3.92;10个杂交组合中显性效应最高的是辽蚕527×黑蛾,为7.09,最低的是黄蛾×大白1号,为-8.58。

表5 5个柞蚕亲本品种及其杂交组合孵化率微位点组的遗传效应

Table 5 Genetic effects of hatchability minor loci groups in 5 parent varieties and their hybrid combinations of *Antheraea pernyi*

亲本 Parents	吉青 Jiqing	辽蚕527 Liaocan 527	黄蛾 Yellow-moth	大白1号 Dabai 1	黑蛾 Black-moth
吉青 Jiqing	0.00	2.48	4.32	-6.18	-1.46
辽蚕527 Liaocan 527		-3.92	-2.16	5.49	7.09
黄蛾 Yellow-moth			1.60	-8.58	-0.02
大白1号 Dabai 1				4.12	-5.99
黑蛾 Black-moth					-0.13

注:对角线为加性效应;上三角为显性效应。

Note: Diagonal is an additive effect; upper triangle is a dominant effect.

3 讨论与结论

本研究旨在通过短时高温胁迫探明耐高温柞蚕品种选育的可能性和可行性。研究表明,不同发

育阶段的胚胎对高温耐受性存在较大差异,其中耐受性最差的是有效积温为6~10℃,此时正是合子(受精卵)形成的关键时期及胚胎发育初期,所以对高温的耐受性较弱。有效积温为40~50℃时,虽然胚胎已完全形成,但其正处于反转期而需要较多的能量来维持其正常发育,所以高温胁迫对其发育还是有较大影响,孵化率并不很高。耐受性最强的是有效积温为20℃时,此时胚胎已完全形成,发育至最长期,卵黄中营养物质全部吸收完成,此时的胚胎处于能量旺盛期,对高温的耐受性最强,这一结果与生产实际符合,生产上产卵48h后,要经过24h的常温(20℃)保卵,才能冷藏而不影响孵化率;高温胁迫对柞蚕卵胚胎的发育有明显的抑制作用,这一研究结果与油松毛虫、黄斑长翅卷叶蛾有高度一致性^[19-20];高温胁迫不仅对胚胎的生命力有负面影响,同时也影响其孵化整齐度,这为柞蚕耐高温个体的选择提供了理论依据,通过高温胁迫选择第1日孵化的个体及第1日孵化率高的蛾区有利于提高选择效果;不同柞蚕品种对高温胁迫的耐受性存在较大差异,与张博等^[21]研究不同柞蚕品种幼虫的耐热性有相同规律;林健荣等^[22]研究认为,家蚕胚胎对高温的耐受性是一种遗传性性状,控制家蚕对高温干燥催青的耐受性的基因数目不少于2个,在本研究中探明了胚胎对高温的耐受性受4对主基因和微效多基因控制,其中主基因起主导作用,遗传率为91.97%,微效多基因遗传率为5.77%。由此可以看出,亲本对高温的耐受性较易于传递给子代,因此,在耐高温品种的选育中,应在分离的早期世代进行选择效果较为理想。

本研究表明,有效积温在5~10℃时对高温的耐受性最弱,有效积温在20℃时对高温的耐受性最强;随着温度的升高,胚胎的耐受性降低,随着高温胁迫时间的延长,胚胎的耐受性也随之降低;高温胁迫延长了孵化时间,降低了孵化整齐度;在高温胁迫下,辽蚕527对高温的耐受性最强,小白蚕的耐受性最弱;遗传分析表明,胚胎对高温胁迫的耐受性受4对主基因调控,主基因遗传率为91.97%。通过上述研究,探明了胚胎的最佳耐受时期,阐明了柞蚕胚胎对高温耐受性的遗传规律,并筛选出在胚胎期耐高温的柞蚕品种,为在柞蚕生产中预防温高和耐高温遗传资源的创新与利用提供理论参考。

参考文献:

- [1] 何善勇,温俊宝,骆有庆,等.气候变暖情境下松材线虫在我国的适生区范围[J].应用昆虫学报,2012,49(1):236-243.
- [2] 陈瑜,马春森.气候变暖对昆虫影响研究进展[J].生态学报,2010,30(8):2159-2172.
- [3] 高峰,苏建伟,戈峰,等.温度对龟纹瓢虫呼吸代谢的影响[J].湖北农业科学,2007,46(4):562-564.
- [4] NEVEN L G. Physiological responses of insects to heat[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 21(1): 103-111.
- [5] BOINA D, SUBRAMANYAM B. Relative susceptibility of *Tribolium confusum* life stages exposed to elevated temperatures[J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(6): 2168-2173.
- [6] 韩冰,郭天凯,全爽,等.4个柞蚕品种对人工饲料的适应性及其SOD、CAT酶活性差异分析[J].沈阳农业大学学报,2023,54(3):275-281.
- [7] ZHOU J C, LIU Q Q, HAN Y X, et al. High temperature tolerance and thermal-adaptability plasticity of Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis* Guenée) after a single extreme heat wave at the egg stage[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2018, 21(3): 1040-1047.
- [8] HUANG Y Y, GU X P, PENG X Q, et al. Effect of short-term high-temperatures on the growth, development and reproduction in the fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae)[J]. Scientific Reports, 2020, 10: 6418.
- [9] GUO J Y, CONG L, WAN F H. Multiple generation effects of high temperature on the development and fecundity of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B[J]. Insect Science, 2013, 20(4): 541-549.
- [10] 高声鹏,秦利.气象因子对柞蚕生产的影响[J].中国蚕业,2013,34(4):91-94.
- [11] 秦利,李树英.中国柞蚕学[M].北京:中国农业出版社,2017.
- [12] 张国德,姜德富.中国柞蚕[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2003.
- [13] 马彦辉,陈凤林,姜欣雨,等.高温干旱天气对柞蚕幼虫体态的影响[J].北方蚕业,2018,39(4):40-41.
- [14] 刘程哲.高温干旱对柞蚕生产的影响及预防措施[J].现代农业科技,2020(5):194,198.
- [15] 高青,祖莲英,陆宏良,等.高温干旱对柞蚕生产的影响及预防措施[J].农家之友,2010(6):59-60.
- [16] 夏润玺,曹慧颖,刘限,等.高温条件下柞蚕血淋巴过氧化氢酶活性的变化[J].蚕业科学,2009,35(2):415-417.
- [17] 吴玉林,郭殿荣,李健男.热汤浴卵防治柞蚕微孢子病的研究[J].沈阳农业大学学报,1993,24(1):38-42.
- [18] 贺建波,管荣展,盖钧镒.双列杂交设计的主-微位点组遗传分析方法研究[J].作物学报,2010,36(8):1248-1257.
- [19] 韩瑞东,徐延熙,王勇,等.高温对油松毛虫卵发育的影响[J].昆虫知识,2005,42(3):294-297.
- [20] 刘永华,阎雄飞,李鲜花,等.短时高温对黄斑长翅卷叶蛾生长发育及繁殖的影响[J].陕西农业科学,2020,66(7):4-6.
- [21] 湛苗苗,冀万杰,钟亮,等.不同柞蚕品种的热应激反应差异及2个热激蛋白基因的表达特征[J].蚕业科学,2019,45(1):67-74.
- [22] 林健荣,严会超,钟生泉.家蚕胚胎期对高温干燥催青耐受性的遗传分析[J].遗传,2000,22(6):372-374.