

食物对四个茶尺蠖地理种群发育和生殖的影响*

林 强^{1**} 郑吉澍¹ 李 平¹ 高冬梅¹ 郭 萧^{1***} 韩 霜²

(1.重庆市农业科学院, 重庆 402160; 2.商丘师范学院, 商丘 476000)

摘 要 【目的】明确不同成熟度茶树叶片对浙江等4个地理种群茶尺蠖 *Ectropis oblique* Prout 发育和生殖的影响,旨在揭示不同地理种群茶尺蠖对不同质量食物的适应力差异,为制定各地茶尺蠖种群的差异化防治策略提供依据。【方法】通过对浙江、湖北、福建和江西等地茶尺蠖种群饲喂嫩叶、成叶和老叶3种不同成熟度的茶树叶片后,对比研究其发育历期、死亡率以及内禀增长率等生长发育与生命表参数。

【结果】不同地理种群茶尺蠖发育历期存在显著差异,且均以成叶处理发育历期最短;幼虫3龄前死亡率以老叶处理死亡率最高(达33%),嫩叶处理最低(达15%),每雌产卵量以嫩叶处理最高(达362.23粒),老叶处理最低(达56.67粒);在内禀增长率、净繁殖率、种群加倍时间、周限增长率等5个生命表参数方面,各地理种群在成叶处理下差异不显著($P>0.05$),嫩叶和老叶处理下差异显著($P<0.05$)。通过茶树叶片内含物与茶尺蠖发育相关性分析,发现不同地理种群生命参数与各物质成分的相关性不尽一致,分别有2种物质与湖北种群、江西种群相关性最大,分别有1种物质与浙江种群、福建种群密切相关。

【结论】浙江、福建、湖北和江西4地区茶尺蠖种群在取食适应性方面存在明显差异。其中,浙江种群取食不同发育成熟度茶树叶片后的适应性较强,在幼虫期存活率、每雌产卵量和世代净繁殖率(R_0)等重要参数方面都较突出;而湖北种群对老叶这一不良食物的适应能力最弱(死亡率最高、净繁殖率较低);江西种群对老叶的适应能力较弱(死亡率较高、净繁殖率最低)。

关键词 茶尺蠖, 地理种群, 茶树叶片, 生命表参数, 取食适应性

The effect of food on the development and reproduction of 4 geographic populations of *Ectropis oblique* Prout

LIN Qiang^{1**} ZHENG Ji-Shu¹ LI Ping¹ GAO Dong-Mei¹ GUO Xiao^{1***} HAN Shuang²

(1.Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160, China; 2.Shangqiu Normal University, Shangqiu 476000, China)

Abstract [Objectives] To provide a theoretical foundation for differentiated control strategies for different geographic populations of *Ectropis oblique* Prout. [Methods] Larval and pupal developmental duration, larval mortality rates and the intrinsic rate of increase of larvae collected from 4 geographic populations of *E. oblique* were investigated on young tea leaves, mature tea leaves and old tea leaves, under laboratory conditions. Specimens were collected from populations in Zhejiang Province, Hubei Province, Fujian Province and Jiangxi Province. [Results] Significant differences in larval and pupal developmental duration were found between populations. Larval and pupal development was shortest on mature leaves. Mortality of < 3rd instar larvae was highest (33%) on old tea leaves and lowest (15%) on young tea leaves. The number of eggs per female was highest (362.23 eggs) on young tea leaves and lowest on old tea leaves (56.67 eggs). There were no significant difference in the intrinsic rate of increase, net reproductive rate, doubling time or finite rate of increase of larvae from the four geographic populations on mature tea leaves ($P>0.05$). Significant difference among populations in all these variables were, however, apparent when larvae were kept on young, or old tea, leaves ($P<0.05$). Correlations between population life-history

* 资助项目 Supported projects: 重庆市永川区科技计划项目 (Ycstc, 2013ac1003); 重庆市基本科研业务项目 (NKY, 2014AC017; NKY, 2015Ae013)

**第一作者 First author, E-mail: 1142746002@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: qiyeshu2000@163.com

收稿日期 Received: 2014-08-20, 接受日期 Accepted: 2014-11-15

parameters and the main chemical constituents of tea leaves were clearly inconsistent between the 4 populations. 2 substances found in tea leaves had a significant impact on the Jiangxi and Hubei populations and 1 substance greatly affected the Zhejiang and Fujian populations of the *E. oblique*. **[Conclusion]** There were obvious differences in the ability of *E. oblique* larvae from 4 geographic populations to feed on young, mature and old, tea leaves. The Zhejiang population was the most adaptable in this regard and had the highest larval survival rate, number of eggs per female and net reproductive rate (R_0) of the four populations. The Hubei population had the highest mortality rate and lowest net reproductive rate (R_0) on old tea leaves and the Jiangxi population also displayed relatively high mortality and low fecundity when fed old tea leaves.

Key words *Ectropis oblique*, geographic population, tea leaves, life table parameters, feeding adaptability

地球纬度的变化导致光热分布的变化,进而使地面植被呈现出水平地带性,植被的变化也影响到包括昆虫在内的植食性动物(Manuel, 2000),使得动物某些特征呈现出随纬度变化而变化的现象(Blanckenhorn and Demont, 2004)。有研究表明,某些昆虫生殖力也有随纬度变化的规律(郑加锋, 1988; Schmidt *et al.*, 2005),食物因子、不同纬度光周期变化、水热分布的节律变化等环境因素是导致植食性动物(含昆虫)上述变化的主要原因,同时为动植物地理种群分化提供了环境基础(Leishnam *et al.*, 2008)。茶尺蠖 *Ectropis oblique* Prout 是茶树上主要的食叶类害虫之一,在我国主要茶区均有分布(张汉鹄和谭济才, 2004)。茶尺蠖以幼虫危害,一般喜咀嚼茶树新梢嫩叶,大暴发时会全株危害,造成整株茶树叶片无存,严重影响茶叶的产量和品质(高旭辉等, 2007)。生产上对茶尺蠖的防治主要采用化学防治、喷施病毒、清园灭蛹以及灯光诱杀等措施(朱俊庆, 1999)。其中,喷施核型多角体病毒(*EoNPV*)因对茶尺蠖具有较高的杀伤力、不产生抗性、不杀伤天敌、不产生农药残留等优点而深受茶农欢迎(胡萃等, 1994)。但近年来发现,部分茶区茶尺蠖种群对 *EoNPV* 的敏感性较低,防治效果较差(姜楠等, 2014)。席羽等(2011)通过对浙江等 7 个不同地区茶尺蠖种群的 *EoNPV* 生物测定也发现不同地理种群的茶尺蠖对 *EoNPV* 的敏感性存在较大差异,并推测这种差异可能源于茶尺蠖各地理种群间的遗传分化。对其他昆虫的研究发现,不同地理种群的昆虫在发育繁殖(Ragland and Kingsolver, 2008)、滞育(胡玉伟等, 2008; 陈元生等, 2011;

于洪春等, 2011)、抗逆性(涂小云等, 2012)等生物学与生态学方面存在诸多差异,但目前有关不同地理种群茶尺蠖生物学差异的研究较少(郑加锋, 1988),对其各地理种群间生活史、生态学习性、逆境适应性等方面的差异也不明了(胡萃等, 1994)。相关研究的匮乏直接导致无法制定出具有地理针对性的茶尺蠖防治方法,也阻碍了茶尺蠖 *EoNPV* 制剂的改进。

不同成熟度茶树叶片对茶尺蠖的生长发育影响不尽相同,一方面是因为茶尺蠖不同发育阶段对营养的需求及解毒代谢能力具有差异,另一方面可能与不同成熟度茶树叶片内含物成分具有差异相关(高旭辉等, 2007; 郭萧等, 2012)。但不同地理种群茶尺蠖在取食不同成熟度茶树叶片后的生存反应是否相同,目前尚未见到相关研究报道。明确取食不同成熟度茶树叶片对不同地理种群茶尺蠖生长发育和繁殖能力的影响,对于揭示不同地理种群茶尺蠖对食物适应性的差异,解析茶尺蠖地理种群发生危害程度及其遗传分化机制,指导不同茶区制订茶尺蠖的差异化防治策略具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:供试的茶尺蠖种群分别采自 4 个不同的地区:湖北黄冈地区茶园(北纬 29°~31°, 东经 114°~116°),主栽茶树品种为福鼎大白茶品种;浙江杭州地区茶园(北纬 29°~30°, 东经 118°~120°),主栽茶树品种为龙井 43、乌牛早和福鼎大白茶;江西南昌地区茶园(北纬 28°~29°, 东经 115°~116°),主栽茶树品种为白毫早,有福

鼎大白茶零散分布; 福建福安地区茶园(北纬 $26^{\circ}\sim 27^{\circ}$, 东经 $119^{\circ}\sim 120^{\circ}$), 主栽茶树品种为福云 6 号, 有福鼎大白茶零散分布。采集回的茶尺蠖幼虫于重庆市农业科学院茶叶研究所实验室内进行人工饲养扩繁, 为获得发育进度较一致的茶尺蠖, 利用室内繁育后的第一代幼虫开始进行试验。

供试食物: 试验中饲养茶尺蠖所用茶树叶片均取自重庆市农业科学院茶叶研究所试验基地种植的福鼎大白茶品种。考虑到试验持续时间较长, 而春茶时间较短, 为了尽量减少不同季节茶树叶片化学物质含量变化对试验的影响, 试验时间设置在春茶采摘结束(4 月中下旬)开始。集中利用夏茶进行试验。

1.2 方法

试验设 3 个处理, 每个处理设置 3 个重复。3 个处理分别为嫩叶组: 新生尚未成熟的叶片; 成叶组: 当年生已经成熟的叶片; 老叶组: 隔年生的叶片。成虫均饲喂 10% 蜂蜜水。每个重复 30 头茶尺蠖。饲养温度为 25°C , 空气相对湿度为 80%, 光周期为 L:D=16:8, 光照强度约为 $2\,500\text{ lx}$ 。

实验用的茶尺蠖均为同一天孵化出的幼虫。茶尺蠖幼虫饲养在高约 15 cm, 直径约 10 cm 的圆形玻璃瓶中, 瓶口用尼龙纱布包裹, 以防幼虫逃逸。实验用茶树叶片叶柄用湿润的脱脂棉包裹, 以保持新鲜。茶尺蠖蛹放置在湿润的沙土中直至羽化; 羽化后的成虫按雌雄比 1:1 放置无色透明的圆形塑料罩(高约 25 cm, 直径 10 cm, 尼龙纱布罩顶)内交配, 罩内放置折叠的纸条, 以便收集茶尺蠖卵块, 每罩放置雌雄成虫各 1 头。逐日检查记录茶尺蠖发育状况、死亡数、产卵量等参数, 并补充更换新鲜食物。文中低龄幼虫为 1~2 龄茶尺蠖幼虫, 3 龄及 3 龄以后为高龄茶尺蠖幼虫。

茶树叶片理化物质分析在重庆市茶叶工程技术研究中心进行, 在 5 月初采集不同成熟度叶片测定茶树叶片主要物质。主要物质分析采用钟萝(1989)的方法进行, 粗纤维测定采用 GB/T

8310-2002(周卫龙等, 2004)的方法进行。

1.3 数据分析

茶尺蠖生殖生命参数计算(吴坤君等, 1980; 徐汝梅, 1987; 丁岩钦, 1994)如下:

$$T = \frac{\sum x l_x m_x}{\sum l_x m_x} \quad (1)$$

$$R_0 = \sum l_x m_x \quad (2)$$

$$r_m = (\ln R_0) / T \quad (3)$$

$$\lambda = e^{r_m} \quad (4)$$

$$D_t = (\ln 2) / r_m \quad (5)$$

式中: T 为平均世代周期, R_0 为净繁殖率, r_m 为内禀增长率, λ 为周限增长率, D_t 为种群加倍时间, x 为时间间距, l_x 为 x 年龄段的雌虫存活率, m_x 为 x 年龄段每雌产雌数。

茶树叶片理化成分与茶尺蠖发育参数经标准化消除量纲差异(马立平, 2003; 董志国等, 2010)后进行双变量相关分析, 相关系数为 Pearson 相关系数。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, n 为样本容量, x_i 和 y_i 为两变量对应的样本值。

试验数据的统计分析利用 PASW Statistics 18 统计分析软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度茶树叶片对茶尺蠖不同地理种群生长发育的影响

不同地理种群茶尺蠖的发育历期存在显著差异($P < 0.05$)(图 1), 这种差异在 3 种叶片的处理中均存在。其中, 低龄幼虫发育历期均以浙江种群最长, 其嫩叶处理中浙江种群与湖北种群相当但显著长于江西种群和福建种群($P < 0.05$), 江西和福建种群之间无显著差异($P > 0.05$); 在成叶处理中浙江种群显著长于另外 3 个种群($P < 0.05$), 但 3 种群之间无差异($P > 0.05$); 在

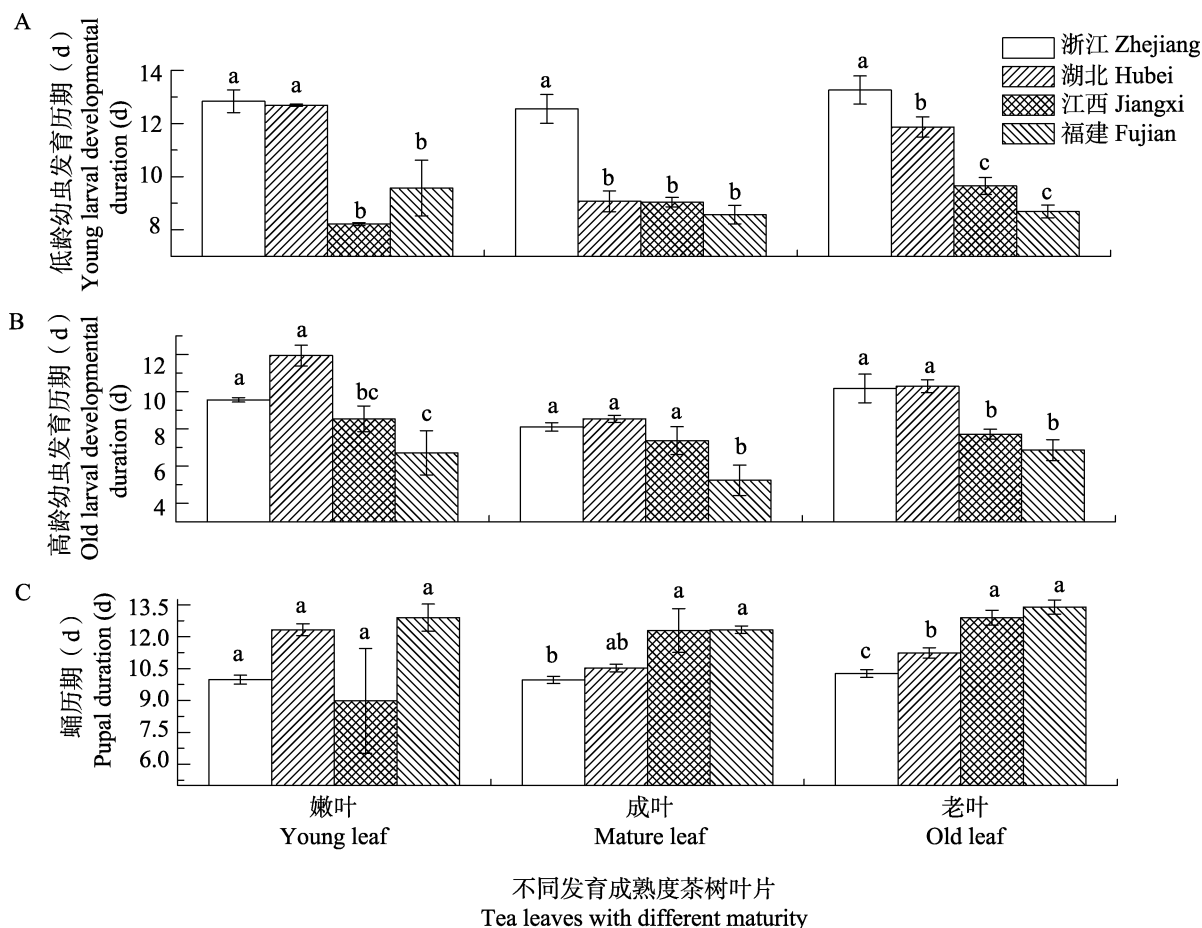


图 1 不同成熟度茶叶叶片对茶尺蠖发育历期的影响

Fig. 1 The effect of the tea leaves in different maturities on the developmental duration of the *Ectopis oblique*

图中数据为平均值 ± 标准误, 经 Duncan's 新复极差检验 (One-way ANOVA, $P > 0.05$), A、B 和 C 图中同一处理具有相同字母者表示差异不显著。下同。

The data in the figures are mean ± SE. Histograms with the same lowercase letters in a treatment mean no significant difference in A, B and C by Duncan's new multiple range test (One-way ANOVA, $P > 0.05$). The same below.

老叶处理中浙江种群显著长于另外 3 个种群 ($P < 0.05$), 但湖北种群又显著长于江西种群和福建种群 ($P < 0.05$) (图 1:A)。从高龄幼虫发育历期来看, 以湖北种群最长; 在嫩叶处理中湖北种群与浙江种群相当但显著长于江西种群和福建种群, 江西种群和福建种群间无显著差异; 在成叶处理中湖北种群与浙江种群和江西种群之间无显著差异, 但均显著长于福建种群; 在老叶处理中湖北种群与浙江种群无差异, 但显著长于江西种群和福建种群 (图 1:B)。蛹历期以福建种群最长; 嫩叶处理中 4 个种群间无显著差异; 成叶处理中福建种群、湖北种群和江西种群

之间无显著差异, 但均显著长于浙江种群; 老叶处理中江西种群和福建种群无差异, 但显著长于湖北种群和浙江种群, 且湖北种群显著长于浙江种群 (图 1:C)。另外, 由图 1 还可看出, 除江西种群外, 其余 3 个地理种群茶尺蠖不同发育阶段的生长发育历期均以成叶处理的为最短, 但嫩叶和老叶处理对发育历期的影响在 4 个地理种群间没有明显的规律性。

2.2 不同成熟度茶叶叶片对茶尺蠖不同种群生殖和存活的影响

各地理种群幼虫 3 龄前死亡率在成叶处理

中存在显著差异 ($P<0.05$), 湖北种群的死亡率显著低于其他种群; 而从各地理种群对老叶、成叶、嫩叶的反应来看, 幼虫 3 龄前死亡率表现出老叶死亡率最高, 嫩叶死亡率最低的趋势 (图 2 : A); 在幼虫 3 龄后死亡率方面, 湖北种群在嫩叶处理和老叶处理中死亡率均显著高于其他种群 ($P<0.05$), 但在成叶处理中湖北种群死亡率均显著低于其他种群 (图 2 : B); 从幼虫期累积死亡率来看, 在嫩叶处理中浙江种群为 37%, 湖北种群为 37%, 江西种群为 32%, 福建种群为 22%; 在成叶处理中浙江种群为 40%, 湖北种群为 20%, 江西种群为 46%, 福建种群为 33%; 在老叶处理中累积死亡率浙江种群为 45%, 湖北种群为 73%, 江西种群为 53%, 福建种群为 34%。

在每雌产卵量方面, 浙江种群在成叶和老叶处理下显著高于其他 3 个地理种群 ($P<0.05$); 不同处理间浙江种群的每雌产卵量变化不大, 而其他地理种群均随着叶片老化出现产卵量下降的趋势 (图 2 : C); 卵孵化率方面, 在 3 种处理中, 均以成叶处理最高, 并且各地理种群间没有显著差异 (图 2 : D); 但在嫩叶和老叶处理中不同地理种群之间存在显著差异。

2.3 不同成熟度茶树叶片对茶尺蠖不同种群生命表参数的影响

不同地理种群茶尺蠖在成叶处理下, 除平均世代周期外, 相同处理的茶尺蠖种群在内禀增长率、净繁殖率、种群加倍时间、周限增长率等方

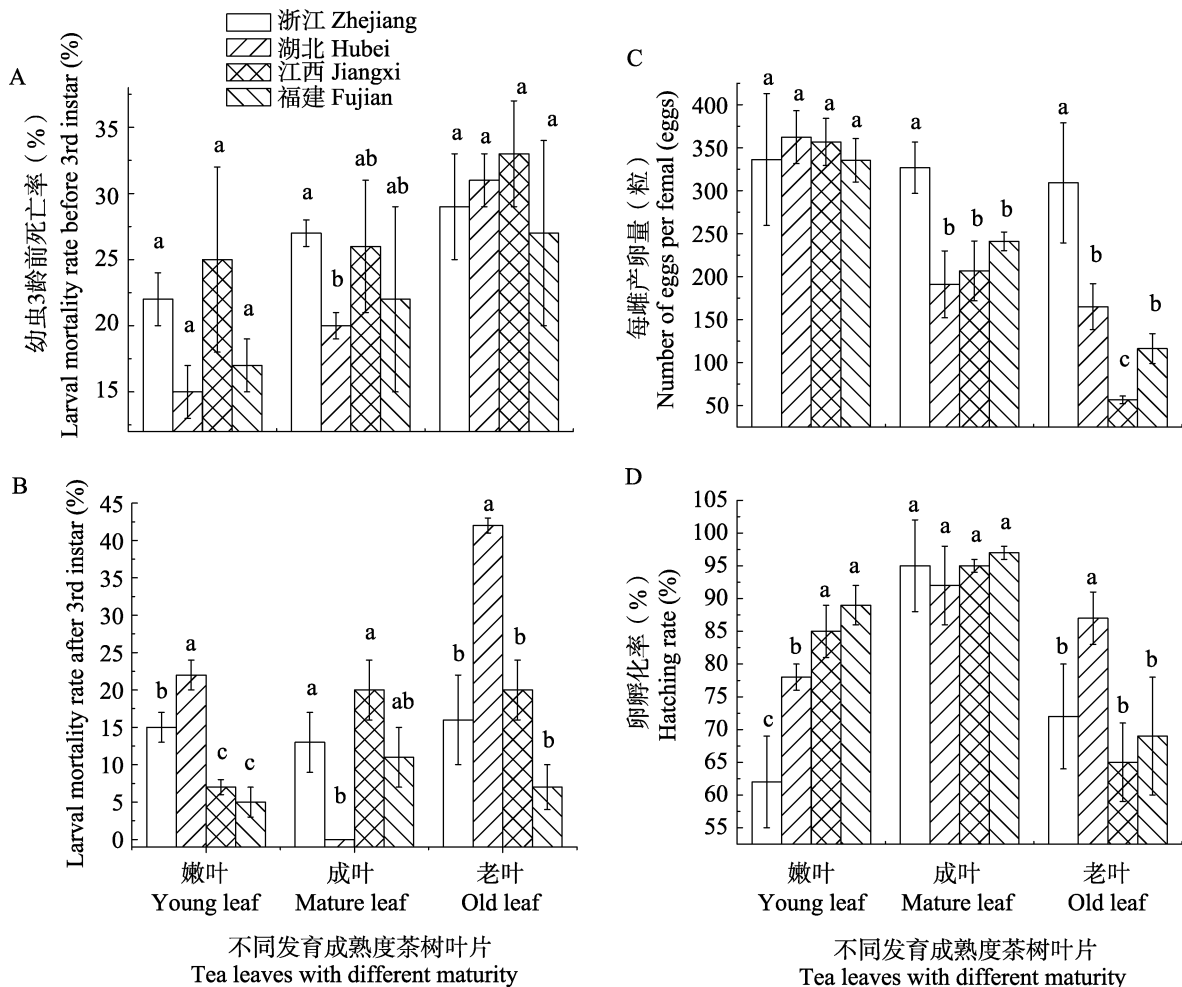


图 2 取食不同成熟度茶树叶片的茶尺蠖的产卵量与存活率
Fig. 2 The fecundity and survival rate of *Ectropis oblique* on tea leaves in different maturities

面差异均不显著 ($P>0.05$), 但嫩叶和老叶处理中不同种群间大多参数存在显著差异 ($P<0.05$), 说明不同地理种群茶尺蠖对嫩叶和老叶的适应性 (在营养、取食适口性等) 方面存在差异 (图 3: A~E); 3 种处理的周限增长率均大于 1, 表明取食不同成熟度叶片的茶尺蠖均能实现种群的增长 (图 3: E)。

2.4 不同发育成熟度茶树叶片主要物质与茶尺蠖发育相关性分析

通过相关性分析发现, 不同地理种群茶尺蠖的生命参数与茶树叶片中主要物质的相关性不

尽相同 (表 1)。茶叶内含物与幼虫死亡率、每雌产卵量相关性最大, 其中咖啡碱、糖类、水浸出物、粗纤维等 4 种物质与 3 龄前死亡率具有显著或极显著相关性 ($P=0.05$, $P=0.01$); 氨基酸与 3 龄后死亡率具有显著相关性 ($P=0.05$), 水浸出物与每雌产卵量具有显著相关性 ($P=0.05$)。从不同地理种群来看, 浙江种群的 3 龄前死亡率与粗纤维 1 种物质呈正相关 ($P=0.01$), 福建种群的产卵量与水浸出物具有显著正相关 ($P=0.05$), 湖北种群的 3 龄前死亡率与水浸出物和咖啡碱 2 种物质均呈负相关 ($P=0.05$), 江

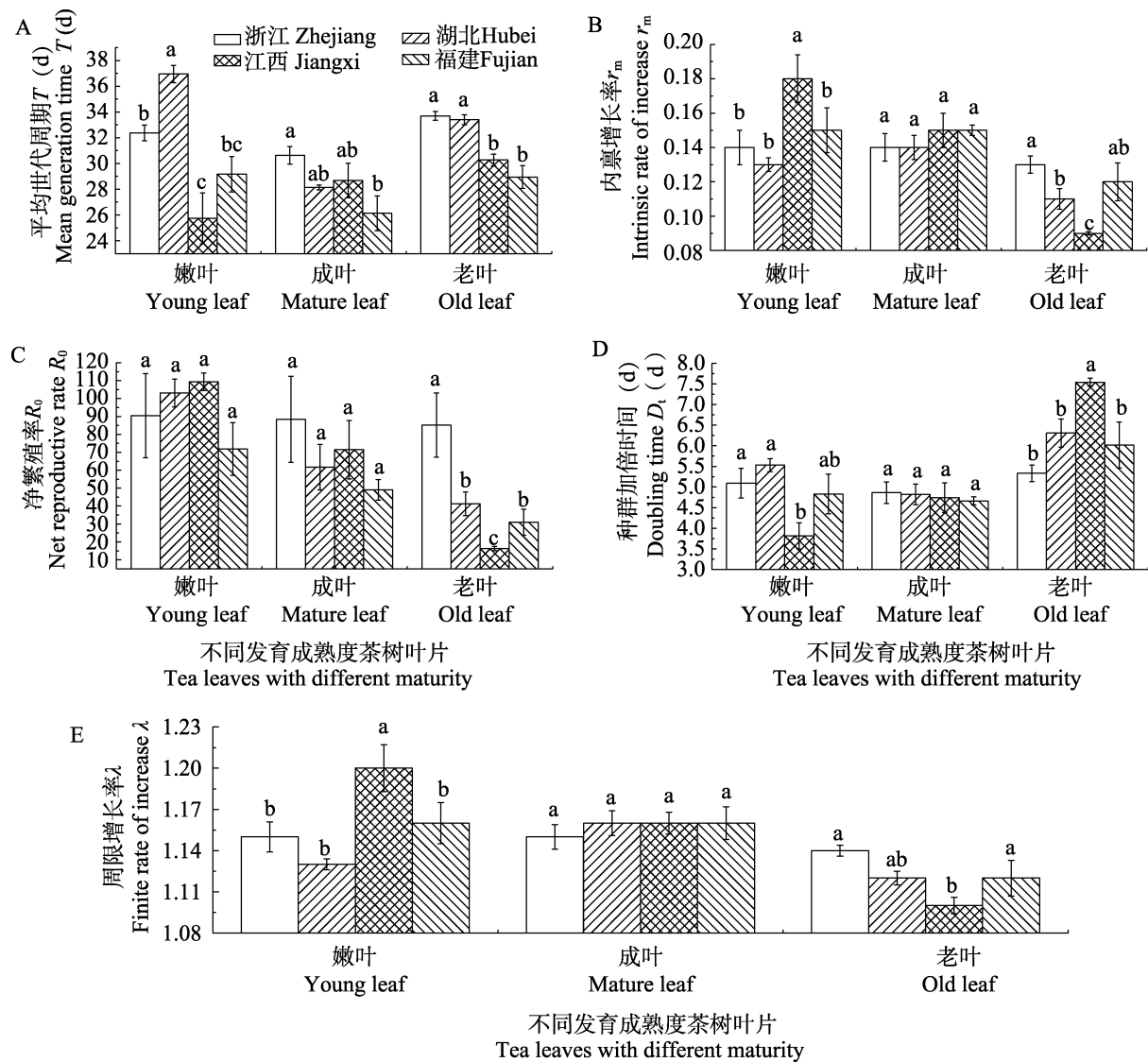


图 3 取食不同成熟度茶树叶片的茶尺蠖的种群生命表参数

Fig. 3 The population parameters of *Ectropis oblique* on tea leaves in different maturity

表 1 茶尺蠖生命参数与茶树叶片主要物质的相关性对比
Table 1 Pearson correlation coefficient between the main substances of tea leaves and the life parameters of *Ectropis oblique*

参数 Parameters	氨基酸 Amino acids	咖啡碱 Caffeine	糖类 Carbohydrate	水浸出物 Water extracts	粗纤维 Crude fiber
3 龄前死亡率 Larval mortality rate before third instar	--	湖北 Hubei - 0.998*	江西 Jiangxi - 1.000**	湖北 Hubei - 1.000*	浙江 Zhejiang 1.000**
3 龄后死亡率 Larval mortality rate after third instar	江西 Jiangxi - 0.999*	--	--	--	--
每雌产卵量 Number of eggs per female	--	--	--	福建 Fujian 0.996*	--

相关性分析采用相关分析中的距离分析。表中地点代表相应的茶尺蠖地理种群，数据为相关系数，--为所有茶尺蠖地理种群中两因子相关性均未达到显著水平 ($P>0.05$)，*为在 0.05 水平上显著相关，**为在 0.01 水平上显著相关。
Distance analysis by used in correlation analysis. In the table, the locations mean the corresponding geographic populations, the data mean the correlation coefficient, -- mean correlation no significant difference between two factors ($P>0.05$), * mean significant correlation at 0.05 levels, ** mean highly significant correlation at 0.01 levels.

西种群的幼虫期死亡率分别与氨基酸和糖类两种物质呈负相关 ($P=0.05$, $P=0.01$)。从茶叶理化分析角度综合来看, 浙江、福建种群受叶片内含物变化的影响较小, 而湖北、江西地理种群对叶片主要成分变化较为敏感。

3 讨论

不同地理种群的动物在逆境适应 (Schmidt *et al.* , 2005) 生殖 (Leisnham *et al.* , 2008) 形态 (董志国等, 2010) 寄主寻找 (王国红等, 2012) 等方面会存在诸多差异。本研究发现不同地理种群茶尺蠖取食不同发育成熟度的茶树叶片后, 其生殖力、幼虫死亡率、发育历期以及相关种群生命表参数间存在显著差异。综合来看, 浙江、福建、湖北和江西 4 地区茶尺蠖种群在取食适应性方面存在明显差异。其中, 浙江种群取食不同发育成熟度茶树叶片后的适应性较强, 在幼虫期存活率、每雌产卵量和世代净繁殖率(R_0) 等重要参数方面都较突出 ; 而湖北种群对老叶这一不良食物的适应能力最弱 (死亡率最高、净繁殖率较低) ; 江西种群对老叶的适应能力较弱(死亡率较高、净繁殖率最低)。根据茶树叶片主要

物质与茶尺蠖生长发育和生殖参数相关性分析初步判定, 不同地理种群茶尺蠖在生长发育过程中营养需求或解毒代谢有所不同, 其中浙江种群、福建种群各有 1 种内含物质与之密切相关; 而对江西和湖北种群相关性较大的内含物质各有 2 种 ; 但不同种群相关的内含物种类彼此有所不同。此外, 在所有处理中, 茶尺蠖均能完成继代培养, 这表明, 虽然不同地理种群茶尺蠖对食物适应性不同, 但都能完成世代循环。

据胡雅辉等 (2012) 根据线粒体 CO 基因遗传距离分析, 寄主植物对黑刺粉虱种群分化具有一定影响, 长期的取食单一寄主可产生寄主转化型。在本实验中, 不同虫源地茶园主栽茶树品种具有一定差异, 但福鼎大白茶在浙江、福建、江西、湖北等地区均有种植, 茶尺蠖幼虫及成虫具有一定的扩散能力, 因此茶尺蠖幼虫不可能长期固定在小范围内取食, 各虫源地的福鼎大白茶也有被取食的可能。因此, 本试验选取福鼎大白茶树叶片作为饲喂试虫的食物来源。

光热水气在不同纬度分布的差异是昆虫形成地理种群的环境基础 (郑加锋, 1988 ; Schmidt *et al.* , 2005 ; Leisnham *et al.* , 2008)。本研究所

涉及的 4 个茶尺蠖地理种群来自北纬 26°~31° 的地理范围, 根据纬度, 大致可划分为 3 组, 由南到北依次为福建种群、江西种群, 湖北和浙江种群。通过分析可以发现, 无论是生殖发育参数还是种群生命表参数虽然存在差异, 但都没有明显的随纬度变化规律。其可能的原因是在自然条件下, 茶尺蠖在低龄幼虫期主要取食茶树新梢嫩叶, 高龄幼虫会部分取食成叶, 仅在大暴发时危害茶树下部老叶。另据报道, 茶尺蠖的这种取食行为是因为存在成叶和嫩叶营养互补的可能(郭萧等, 2012), 但与老叶营养互补的可能性是非常有限的。从而由取食老叶这一个角度也可看出, 上述 4 个地理种群茶尺蠖对取食不同发育成熟度的茶树叶片后生命参数的差异, 不仅反映了不同地理种群长期取食茶树品种(食物)存在明显差异、地理间生态环境的不同, 而且也反映出不同地理种群在历史上的发生危害程度(或暴发频度)可能存在差异, 这些都是今后应该给予关注和加强研究分析的重要问题。

对栖息地环境的长期适应可能会导致不同地理种群动物间具有不同的生存策略(郑加锋, 1988)。茶树光合作用受环境湿度与光照强度影响(Squire, 1977), 因此不同季节茶树叶片内含物含量存在差异(唐晓波等, 2009), 但其内含物种类并无变化(郭桂义等, 2007)。孙建礼等(2004)通过研究发现北草蜥 *Takydromus septentrionalis* 不同地理种群消化酶活性存在显著差异, 并揭示这种由食物组成、能量需求以及遗传因素所造成的差异最终导致对食物利用水平的不同。此外, 对植物次生物质的解毒代谢能力也是影响昆虫取食的重要因素之一(Bernays, 1982), 而昆虫对寄主的长期适应也改变体内相应解毒酶系活力, 进而获得专食性(Nitao, 1989)。由此可见, 不同地理种群茶尺蠖对不同成熟度茶树叶片适应性的差异, 除了与营养需求有关外, 是否与茶尺蠖体内消化酶和解毒酶系活力与分布有关还需进一步的研究。

致谢: 中国科学院动物研究所薛大勇研究员为本研究鉴定茶尺蠖标本, 特此致谢!

参考文献 (References)

- Bernays EA, 1982. Control of food intake//Treherne JE (ed.). *Advances in Insect Physiology*. London: Academic Press. 59–118.
- Blanckenhorn WU, Demont M, 2004. Bergmann and converse Bergmann latitudinal clines in arthropods: two ends of a continuum? *Integrative and Comparative Biology*, 44(6): 413–424.
- Chen YS, Chen C, Tu XY, Kuang CJ, Xue FS, 2011. Effects of thermoperiod on larval development and pupal diapause in different geographic populations of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(11): 1288–1296. [陈元生, 陈超, 涂小云, 匡先钊, 薛芳森, 2011. 温周期对不同地理种群棉铃虫幼虫发育及蛹滞育的影响. 昆虫学报, 54(11): 1288–1296.]
- Ding YQ, 1994. *Insect Mathematics Ecology*. Beijing: Science Press. 210–220. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 210–220.]
- Dong ZG, Li XY, Yan BL, Gao H, Wu XG, Chen YX, Sun XW, 2010. Morphological variation analysis among five populations of the swimming crab *Protunus trituberculatus* from China Sea areas. *Marine Science Bulletin*, 29(4): 421–426. [董志国, 李晓英, 阎斌伦, 高焕, 吴旭干, 成永旭, 孙效文, 2010. 中国海五种群三疣梭子蟹的形态差异分析. 海洋通报, 29(4): 421–426.]
- Gao XH, Wan XC, Yang YQ, Zhen GY, Shen Q, 2007. Studies on the biological habits of *Ectropis oblique* Prout. *Plant Protection*, 33(3): 110–113. [高旭辉, 宛晓春, 杨云秋, 郑高云, 沈强, 2007. 茶尺蠖生物学习性研究. 植物保护, 33(3): 110–113.]
- Guo GY, Hu Q, Liu L, Luo N, 2007. The chemical components and quality of Xinyangmaojian tea in different periods of spring. *Henan Agricultural Sciences*, (12): 48–50. [郭桂义, 胡强, 刘黎, 罗娜, 2007. 信阳毛尖茶春季不同时期化学成份与品质的变化. 河南农业科学, (12): 48–50.]
- Guo X, Wang XQ, Peng P, Lin Q, Hu X, Sheng ZL, Wu XH, 2012. Developmental fitness of *Ectropis oblique* Prout feeding on tea leaves with different maturity. *Journal of Tea Science*, 32(3): 229–235. [郭萧, 王晓庆, 彭萍, 林强, 胡翔, 盛忠雷, 邬秀红, 2012. 茶树不同成熟度叶片对茶尺蠖发育适合度的影响. 茶叶科学, 32(3): 229–235.]
- Hu C, Zhu JQ, Ye GY, Hong J, 1994. *Ectropis oblique* Prout, Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 1–10. [胡萃, 朱俊庆, 叶恭银, 洪健, 1994. 茶尺蠖. 上海: 上海科学技术出版社. 1–10.]
- Hu YW, Zhu F, Xie YJ, Yang QS, Pan Y, Lei CL, 2008. Development characteristics of the nymph of six geographic populations of *Eupolyphaga sinensis* Walker (Blattaria: Corydiidae). *Journal of Environmental Entomology*, 30(2): 153–158. [胡玉伟, 朱芬, 谢永坚, 杨秋生, 潘悦, 雷朝亮,

2008. 中华真地鳖六地理种群若虫生长发育研究. 环境昆虫学报, 30(2): 153–158.]
- Hu YH, Ren SX, Xiao FL, 2012. The COI gene differentiation of orange spiny whitefly population from different region and different host plant in Hunan. *Journal of Environmental Entomology*, 34(2): 128–134.[胡雅辉, 任顺祥, 肖伏莲, 2012. 湖南黑刺粉虱不同寄主植物种群和不同地理种群的 COI 基因分化. 环境昆虫学报, 34(2): 128–134.]
- Jiang N, Liu SX, Xue DY, Tang MJ, Xiao Q, Han HX, 2014. External morphology and molecular identification of two tea Geometrid moth from southern China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 987–1002. [姜楠, 刘淑仙, 薛大勇, 唐美君, 肖强, 韩红香, 2014. 我国华东地区两种茶尺蠖的形态和分子鉴定. 应用昆虫学报, 51(4): 987–1002.]
- Leishnam PT, Sala LM, Juliano SA, 2008. Geographic variation in adult survival and reproductive tactics of the mosquito *Aedes albopictus*. *Journal of Medical Entomology*, 45(2): 210–221.
- Manuel CM, 2000. Ecology: Concepts and Applications. New York: McGraw-Hill Companies. 15–24.
- Ma LP, 2003. Standardization of statistical data-The dimensionless method. *Beijing Statistics*, 3(121): 34–35. [马立平, 2003. 统计数据标准化——无量纲化方法. 北京统计, 3(121): 34–35.]
- Nitao JK, 1989. Enzymatic adaptation in a specialist herbivore for feeding on furanocoumarin-containing plants. *Ecology*, 70(3): 629–635.
- Ragland GJ, Kingsolver JG, 2008. The effect of fluctuating temperatures on ectotherm life-history traits: comparisons among geographic populations of *Wyeomyia smithii*. *Evolutionary Ecology Research*, 10(1): 29–44.
- Schmidt PS, Matzkin L, Ippolito M, Eanes WF, 2005. Geographic variation in diapause incidence, life-history traits, and climatic adaption in *Drosophila melanogaster*. *Evolution*, 59(8): 1721–1732.
- Squire GR, 1977. Seasonal changes in photosynthesis of tea (*Camellia sinensis* L.). *Journal of Applied Ecology*, 14(1): 303–316.
- Sun JL, Zhang YP, Jia SJ, 2004. Comparison of the activities of digestive enzymes of *Takydromus septentrionalis*. *Chinese Journal of Ecology*, 23(4): 61–64.[孙建礼, 张永普, 贾守菊, 2004. 北草蜥几种消化酶活力比较. 生态学杂志, 23(4): 61–64.]
- Tang XB, Liu XJ, Shi DL, Wang XP, 2009. Studies on the differences of chlorophyll content of tea tree in different seasons. *Zhejiang Agricultural Sciences*, (3): 502–503.[唐晓波, 刘晓军, 师大亮, 王小萍, 2009. 茶叶中叶绿素含量的季节性差异研究. 浙江农业科学, (3): 502–503.]
- Tu XY, Chen YS, Xia QW, Chen C, Kuang XJ, Xue FW, 2012. Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Ecologica Sinica*, 32(13): 4160–4165.[涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 陈超, 匡先钊, 薛芳森, 2012. 亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异. 生态学报, 32(13): 4160–4165.]
- Wang GH, Liu Y, Ge F, Wu KT, 2012. Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of *Cotesia glomerata*. *Acta Ecologica Sinica*, 32(3): 351–360.[王国红, 刘勇, 戈峰, 吴开拓, 2012. 粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较. 生态学报, 32(2): 351–360.]
- Wu KJ, Chen YP, Li MH, 1980. Influence of temperature on the growth of laboratory population of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*, 23(4): 359–368.[吴坤君, 陈玉平, 李明辉, 1980. 温度对棉铃虫实验种群生长的影响. 昆虫学报, 23(4): 359–368.]
- Xi Y, Yin KS, Xiao Q, 2011. The susceptibility difference against *EoNPV* in different geograpic populations of tea geometrid (*Ectropis oblique* Prout). *Journal of Tea Science*, 31(2): 100–104.[席羽, 殷坤山, 肖强, 2011. 不同地理种群茶尺蠖对 *EoNPV* 的敏感性差异研究. 茶叶科学, 31(2): 100–104.]
- Xu RM, 1987. Insect Population Ecology. Beijing: Beijing Normal University Press. 150–155. [徐汝梅, 1987. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社 150–155.]
- Yu HC, Wang L, Deng JJ, Xue FS, Zhang Y, 2011. Effects of different foods on diapause induction in three geographic populations of *Colaphellus bowringii*. *Plant Protection*, 37(4): 63–67.[于洪春, 王蕾, 邓佳佳, 薛芳森, 张原, 2011. 食料对大猿叶虫不同地理种群滞育诱导的影响. 植物保护, 37(4): 63–67.]
- Zhang HH, Tan JC, 2004. Pest and its Pollution-free Control of Tea Tree in China. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 251–259.[张汉鹄, 谭济才, 2004. 中国茶树害虫及其无公害治理. 合肥: 安徽科学技术出版社. 251–259.]
- Zheng JF, 1988. Three geographical races of *Ectropis oblique* Prout. *The Tea of Fujian*, (2): 38. [郑加锋, 1988. 茶尺蠖三个地理宗. 福建茶叶, (2): 38.]
- Zhong L, 1989. Physical and Chemical Analysis of Tea Quality. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 35–68. [钟萝, 1989. 茶叶品质理化分析. 上海: 上海科学技术出版社. 35–68.]
- Zhou WL, Sun AH, Zhong L, 2004. Tea: Determination of Crude Fiber. Beijing: China Standard Press. 138–139. [周卫龙, 孙安华, 钟萝, 2004. 茶—粗纤维测定. 北京: 中国标准出版社. 138–139.]
- Zhu JQ, 1999. The Pest of Tea Tree. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 95–97. [朱俊庆, 1999. 茶树害虫. 北京: 中国农业科技出版社. 95–97.]