应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2016, 53(1): 157−163. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2016.020

栎黄枯叶蛾生长发育与几种寄主内含物的关系*

温冬梅[1**] 刘永华[2] 任利利[1] 陆鹏飞[1] 骆有庆[1***]

（1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室，北京 100083；2. 榆林学院生命科学学院，榆林 719000）

摘 要 **【目的】** 探讨饲喂不同寄主植物对栎黄枯叶蛾 *Trabala vishnou gigantina* Yang 生长发育及繁殖的影响，分析寄主植物内含物与其生长发育及繁殖的关系，为研究不同寄主植物对栎黄枯叶蛾种群动态的影响提供理论依据。**【方法】** 在室内条件下，利用沙棘 *Hippophae rhamnoides*、山杏 *Armeniaca sibirica*、山杨 *Populus davidiana*、旱柳 *Salix matsudana* 饲养该虫，观察幼虫发育历期、蛹历期、蛹重及产卵量等指标，同时测定寄主叶片中可溶性糖、可溶性蛋白质、水分、单宁及黄酮的含量，并进行线性回归分析。**【结果】** 不同寄主植物饲喂栎黄枯叶蛾幼虫的发育历期、蛹历期、蛹重及产卵量均存在显著差异。取食沙棘的幼虫历期最短，仅为（74.50±1.76）d，而取食旱柳历期最长，达（106.00±1.51）d。取食山杨的蛹历期最长，为（44.00±1.41）d，最短的是取食旱柳的，仅为（32.70±3.13）d。饲喂沙棘和山杏的雌、雄蛹重和成虫产卵量显著高于饲喂山杨和旱柳的。对不同寄主的营养物质、次生物质和水分含量测定结果表明：不同寄主间营养物质、次生物质与水分的含量差异显著。回归相关分析表明：幼虫发育历期与寄主植物可溶性蛋白质含量呈显著负相关；雌蛹重和产卵量与寄主植物可溶性糖含量呈显著负相关；雌、雄蛹重与寄主植物含水量呈显著正相关；蛹历期与单宁含量呈显著正相关，但黄酮含量的高低与栎黄枯叶蛾生长发育等指标无相关性。**【结论】** 沙棘是栎黄枯叶蛾生长发育及繁殖的最适寄主植物；并且寄主植物中可溶性糖、单宁的含量低、含水量和可溶性蛋白质含量高有利于栎黄枯叶蛾的生长发育和繁殖。

关键词 寄主植物，栎黄枯叶蛾，生长发育，营养物质，次生物质

The effect of host plant species on the development of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae)

WEN Dong-Mei[1**] LIU Yong-Hua[2] REN Li-Li[1] LU Peng-Fei[1] LUO You-Qing[1***]

(1. The Key Laboratory of Beijing for Control to Forest Pest, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. College of Life Sciences, College of Yulin, Yulin 719000, China)

Abstract **[Objectives]** To examine the effects of feeding on different host plant species on the development of *Trabala vishnou gigantina* Yang, and determine the relative impact of different hosts on the population dynamics of *T. vishnou gigantina*. **[Methods]** The pupae weight, fecundity, and the duration of larvae and pupal stages of *T. vishnou gigantina,* reared on four different host plants (*Hippophae rhamnoices*, *Armeniaca sibirica*, *Populus davidiana*, *Salix matsudana*) under laboratory condition, were compared, and secondary compounds, soluble sugar, soluble protein and water content of the four host plants, determined. The relationship between larval development, adult fecundity, and host plant inclusion contents was analyzed. **[Results]** Host plant species had a significant effect on the duration of larval and pupal stages, pupal weight, and reproduction. Larvae fed on sea-buckthorn had the shortest larval stage (74.50±1.76) d, and those fed on willow the longest (106.00±1.51) d. Larvae fed on poplar had the longest pupal stage (44.00±1.41) d and those fed on willow the shortest

* 资助项目 Supported projects：“十二五”国家科技支撑项目“生态林重大病虫害监测预警与防控技术研究”（2012BAD19B07）；北京市自然科学基金（6142015）；榆林市产学研合作项目（2014cxy-11）

**第一作者 First author，E-mail：wendongmei1982@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：youqingluo@126.com

收稿日期 Received：2015-05-07，接受日期 Accepted：2015-11-02

(32.70±3.13) d. Larvae reared on sea-buckthorn, or apricot, had significantly higher pupal weight and adult fecundity than those reared on poplar or willow. Nutrients, water and secondary compounds differed significantly between the different host plants. Soluble sugar content was significantly, negatively correlated with female pupal weight and fecundity, and soluble protein content was significantly negatively correlated with duration of the larval stage. Female and male pupal weights were positively correlated with water content. There was no relationship between flavone content and the duration of the larval stage or adult fecundity, but tannin content was significantly, positively correlated with the duration of pupal stage. **[Conclusion]** The results indicate that sea-buckthorn was the most suitable of the four host plants for *T. vishnou gigantina*. The development and adult fecundity of *T. vishnou gigantina* are better when larvae feed on host plants with lower soluble sugar and tannin content, and higher water and soluble protein content.

Key words host plant, *Trabala vishnou gigantina* Yang, development, nutrients, secondary compounds

栎黄枯叶蛾 *Trabala vishnou gigantina* Yang 属鳞翅目（Lepidoptera）枯叶蛾科（Lasiocampidae）黄枯叶蛾属（*Trabala*），是为害北方沙棘 *Hippophae rhamnoides* 的主要食叶性害虫，广泛分布于陕西、宁夏、甘肃、青海、河北、河南、山西、内蒙古等（刘永樵和武春生，2006）。该虫寄主植物广泛，主要危害栎类 *Quercus* spp.、板栗 *Castanea mollissima*、核桃 *Juglans regia*、苹果 *Malus pumila*、沙棘 *Hippophae rhamnoides*、榆树 *Ulmus pumila* 等植物（刘永樵和武春生，2006）。2008 年以来该虫在陕西吴起人工沙棘林中大面积发生，连年危害，严重影响林木生长及该地区生态建设和经济发展（刘永华等，2013），引起了国内学者的广泛关注。目前我国学者已对其生物学、生态学习性及防治方法进行了较为系统的研究（同长寿，1966；王金玉，2007；王世飞等，2012；刘永华等，2013），并取得了较为突出的成果；但对栎黄枯叶蛾的生长发育与寄主植物之间关系的研究仍处于空白。

植食性昆虫能够利用广泛、不同的植物作为其寄主，完成其生长发育，这是植食性昆虫适应不理想食物条件的普遍现象（Awmack and Leather，2002）。由于不同植物叶片中所含营养物质及次生物质的不同，被同种植食性昆虫取食后，会对该昆虫的生长发育、存活和繁殖等方面产生一定影响（Tsai and Wang，2001；Kim and Lee，2002；Razmjou *et al.*，2014）。因此，本研究选取同一区域内 4 种有代表性的寄主植物，研究栎黄枯叶蛾在不同寄主植物上的适应性，有助于明确寄主植物对昆虫种群动态影响的内在原因，对有效控制该区域栎黄枯叶蛾的发生及防治有重要指导意义。

本研究比较取食不同植物后栎黄枯叶蛾的生长发育及繁殖特性；同时测定不同植物叶片营养物质及次生物质的含量；并分析营养物质及次生物质含量的变化与栎黄枯叶蛾发育指标之间的关系，以期从寄主植物适应性的角度解释该虫的危害机理，并为栎黄枯叶蛾的种群控制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

陕西省吴起县新寨乡位于东经 107°38′57″~108°32′49″，北纬 36°33′33″~37°24′27″之间，地势西北高东南低，平均海拔 1 355.95 m。地貌属黄土高原梁状丘陵沟壑区，境内为半干旱温带大陆性季风气候，年平均气温 7.8℃，年降水量约 380 mm，无霜期 131d 左右。该地区是沙棘 *Hippophae rhamnoides* 的主要种植区域，林地为 10 年生人工沙棘灌木林，间山杏 *Armeniaca sibirica*、山杨 *Populus davidiana*、旱柳 *Salix matsudana*、刺槐 *Robinia pseudoacacia*、柠条 *Caragana korshinskii*。

1.2 供试虫源

试验于 2014 年 5—10 月进行。从沙棘林中采集栎黄枯叶蛾卵，带回室内将卵浸泡于次氯酸钠溶液中 2 min，再用蒸馏水冲洗 5 min 后，晾干备用。在室内自然光照条件下，将上述处理好的卵块置于塑料养虫盒内（高 5 cm×直径 15 cm），

盒内用滤纸保湿，盒盖上有小孔，以便透气。待卵孵化后，将活动力强的幼虫置于已消毒的养虫盒内，进行单头饲养至 3 龄。3 龄后，将幼虫转移至养虫笼（40 cm×40 cm×40 cm）内饲喂与之前相同取食经历的寄主植物，直至幼虫化蛹。

1.3　供试植物

供试树种采于吴起县新寨乡，根据幼虫发生林分的主要乔木与灌木群落类型选择 4 种树种进行实验，包括沙棘 *Hippophae rhamnoides*、山杏 *Armeniaca sibirica*、山杨 *Populus davidiana*、旱柳 *Salix matsudana*。每天从样树上采集长度为 20~25 cm 的新鲜枝条，用水冲洗干净后，用水培法维持枝条及叶片新鲜，并饲喂栎黄枯叶蛾幼虫。

1.4　不同寄主植物对栎黄枯叶蛾生长发育与繁殖的影响

采用叶片离体饲养法，将栎黄枯叶蛾初孵幼虫置于食料为沙棘、山杏、山杨、旱柳叶片的养虫盒内单头饲养，每天定时观察幼虫取食情况。3 龄前每天定时更换寄主植物叶片，3 龄后每隔 1 d 定时更换 1 次新鲜寄主植物枝条，以满足幼虫的取食需要。各寄主设置 30 个重复。

待幼虫开始取食后，每天 9：00 和 24：00 观察各组幼虫生长发育情况，记录各龄幼虫蜕皮时间，直到幼虫化蛹，记录化蛹日期。每头幼虫化蛹后 2 d 称量其蛹重，并将其转移至养虫笼，每天观察记录一次蛹的发育情况，直至所有蛹全部羽化，记录成虫羽化时间。将取食同种寄主植物，刚羽化的一对雌、雄成虫置于一个养虫笼内，养虫笼内预先放入直径约 3 cm 的寄主植物枝条，以便雌虫产卵记录每雌产卵量，直到成虫自然死亡。以上试验均在室内自然光照条件下进行。

1.5　寄主植物营养物质及次生物质的测定

1.5.1　可溶性含糖量的测定　本研究采用蒽酮比色法测定寄主植物中可溶性糖的含量，植物叶片中可溶性糖提取液的制备参考李合生（2000）方法。选取与上述试验中同一时期供试植物叶片，称取干燥粉碎叶片 0.5 g，加入三角瓶中，加入 10 mL 80% 乙醇，在 80℃水浴中 40 min，冷却后 4 000 r/min 离心 10 min，过滤。残渣加入 5 mL 80% 乙醇重提取 2 次，合并上清液再 4 000 r/min 离心 10 min。80%乙醇定容至 50 mL，为待测液。取待测液 0.2 mL，加入 0.8 mL 蒸馏水，再加入 4.0 mL 蒽酮试剂显色，沸水浴 10 min，冷却后在波长 620 nm 处测定光密度。用葡萄糖绘制标准曲线。每个样品设置 3 个重复。

1.5.2　可溶性蛋白质含量的测定　本研究采用考马斯亮蓝法测定寄主植物中可溶性蛋白质的含量，按李合生（2000）的测定方法，选取与上述试验中同一时期供试植物叶片，剪碎后，称取 1 g，加入 5 mL 蒸馏水冰浴中研磨成浆，在 4 000 r/min 离心 10 min，将上清液倒入 10 mL 容量瓶中，再向残渣中加入 2 mL 蒸馏水，悬浮后再离心 10 min，合并上清液，定容。取 0.1 mL 待测液，加入 0.9 mL 蒸馏水及 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂，混匀，显色后在 595 nm 波长下测定光密度。用牛血清蛋白绘制标准曲线，每个样品设置 3 个重复。

1.5.3　单宁酸含量测定　参照杨秀平等（2008）采用磷钼酸-磷钨酸比色法（F-D 法）测定不同寄主植物叶片中单宁酸的含量。准确称取粉碎后的样品 0.5 g 放入三角瓶中，再加入 20 mL 70% 乙醇置于 90℃恒温水浴中回流 15 min，冷却后过滤，残渣用 70%乙醇每次 20 mL 重复提取 3 次，滤液合并于 100 mL 容量瓶中，用 70%乙醇定容、摇匀。取待测液 5 mL，置于已盛有 25 mL 水，2.5 ml F-D 试剂的 50 mL 容量瓶中，再加入 10 mL 饱和 Na_2CO_3 溶液，蒸馏水定容至 50 mL，并充分摇匀。于 30℃恒温箱中放置 1.5 h，在 680 nm 波长下测定吸光度，用单宁酸绘制标准曲线。

1.5.4　黄酮含量测定　采用亚硝酸钠-硝酸铝法（张秀梅等，2008）测定不同寄主植物叶片中黄酮含量。准确称取粉碎后样品 1 g 于 250 mL 三角瓶中，加入 50 mL 60%乙醇 90℃加热回流 100 min，收集上清液。残渣中加入 30 mL 60%乙醇，再次回流 1 h，收集合并上清液，用 60%乙醇定容至 100 mL。吸取样品溶液 10 mL 于 50 mL 容量瓶中，分别加入 5%（g/L）$NaNO_2$ 1.5 mL，摇匀，静置 6 min。再加入 10%（g/L）$Al(NO_3)_3$ 1.5 mL，摇匀，放置 6 min，再加入 4% NaOH 溶液 20 mL

摇匀，用 60%乙醇定容至刻度，摇匀。15 min 后于 510 nm 波长处进行比色测定。用芦丁绘制标准曲线。

1.5.5 叶片含水量测定 采用干燥法测定不同寄主植物叶片的含水量。野外采集 4 种植物叶片洗净晾干后，称取新鲜叶片 10 g，置于 105℃的烘箱中杀青处理 10 min，之后保持 80℃烘干至恒重。干燥后用电子天平称取相应叶片的质量，计算出 4 种植物叶片的含水量，各处理重复 5 次。

1.6 数据处理

试验数据用 SPSS22.0 应用程序进行方差分析、线性回归分析，探讨栎黄枯叶蛾与寄主植物营养物质与次生物质的关系。采用 Duncan 氏新复极差检测法比较取食不同寄主后幼虫发育历期、蛹历期、蛹重、产卵量及不同寄主营养物质、次生物质及含水量的差异显著性（$P<0.05$）。

2 结果与分析

2.1 不同寄主植物对栎黄枯叶蛾幼虫生长发育和繁殖的影响

2.1.1 不同寄主植物对栎黄枯叶蛾各虫态历期的影响 取食 4 种供试植物，栎黄枯叶蛾均能完成整个生活史。幼虫发育历期（$F_{3,35}$=68.43，$P<0.0001$）和蛹期（$F_{3,35}$=21.19，$P<0.0001$）均存在显著差异（表 1）。幼虫历期在沙棘上发育最快，仅为（74.50±1.76）d；在旱柳上发育最慢，为（106.00±1.51）d。在沙棘、山杏、旱柳上幼虫发育经过 7 个龄期，而在山杨上幼虫发育经过 6 个龄期。因此，可能由于前期食物累积的影响，蛹期在旱柳（32.73±0.95）d 上的发育显著快于沙棘、山杏，在山杨上的发育最慢，为（44.00±1.00）d。

2.1.2 不同寄主植物对栎黄枯叶蛾繁殖的影响 取食不同植物的栎黄枯叶蛾，其雌蛹重（$F_{3,46}$=72.82，$P<0.0001$）与雄蛹重（$F_{3,46}$=80.06，$P<0.0001$）存在显著差异（表 1）。取食沙棘的雌蛹最重，为（3.34±0.10）g；最轻的为取食旱柳的，仅为（1.63±0.10）g，两者差异显著。取食山杨与旱柳的雌蛹重差异不显著。栎黄枯叶蛾雄蛹最重的是取食山杏的，为（1.20±0.10）g；取食旱柳的最低，仅为（0.76±0.06）g。取食不同寄主植物的栎黄枯叶蛾成虫，其生殖力影响显著（$F_{3,23}$＝102.11，$P<0.0001$）。取食沙棘的成虫繁殖力最强，每头雌成虫平均产卵量为（319.78±11.60）粒/雌，取食旱柳的成虫平均产卵量最少，仅为（125.29±5.94）粒/雌。经相关分析表明，本研究中取食不同寄主的栎黄枯叶蛾雌蛹重与其成虫的繁殖力具有显著的线性正相关（r=0.901，P=0.033<0.05）。由此可见，不同植物对栎黄枯叶蛾蛹的重量产生影响使产卵数量发生变化，从而影响其繁殖能力。总体趋势是取食沙棘和山杏的蛹重和繁殖能力要显著大于取食山杨和旱柳的。

2.2 不同寄主植物营养物质、水分及次生物质的含量

2.2.1 不同寄主植物的可溶性糖含量 由表 2 可

表 1 不同寄主对栎黄枯叶蛾生长发育及繁殖的影响

Table 1 The development period and pupae weight and fecundity of *Trabala vishnou gigantina* on various host plants

寄主 Host	幼虫历期（d） Larval period	蛹历期（d） Pupae period	蛹重（g）Pupae weights		产卵量 Fecundity
			雌蛹 Female	雄蛹 Male	
沙棘 Sea-buckthorn	74.50±1.76c	39.64±0.36b	3.34±0.10a	0.98±0.04b	319.78±11.60a
山杏 Apricot	95.50±1.51b	38.50±0.88b	3.25±0.08a	1.20±0.10a	255.50±8.52b
山杨 Popular	89.50±0.50b	44.00±1.00a	1.75±0.15b	0.81±0.05bc	126.40±7.07c
旱柳 Willow	106.00±1.51a	32.73±0.95c	1.63±0.10b	0.76±0.06c	125.29±5.94c

表中数据为平均值±标准误，同一列数据后标有不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著，采用 Duncan 氏新复极差测验法。下表同。

Data are presented as mean±SE, and followed by different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same below.

以看出，4 种寄主植物叶片可溶性糖含量显著不同（$F_{3,8}$=102.02，P<0.0001）。按干重计算，旱柳的可溶性糖含量最高，为（8.31±0.20）mg/g，其余依次为山杨>山杏>沙棘，最高值是最低值的 1.97 倍。通过建立可溶性糖含量与影响栎黄枯叶蛾生长发育各项指标线性回归相关分析表明，可溶性糖含量与雌蛹重及雌虫产卵量呈显著负相关，回归方程分别为 y=5.39–0.46x 和 y=499.74–46.24x，相关系数分别是 r=-0.966（F=86.81，P=0.011<0.05）和 r=-0.931（F=41.59，P=0.023<0.05）。这说明可溶性糖含量的增加，不利于雌蛹重及繁殖力。

2.2.2　不同寄主植物的可溶性蛋白质含量　由表 2 可见，4 种寄主植物可溶性蛋白含量存在显著差异（$F_{3,8}$=13.18，P<0.0001）。按干重的计算，含量高低依次为沙棘>山杨>山杏>旱柳。将栎黄枯叶蛾生长发育各项指标与寄主叶片中蛋白质含量进行线性回归分析，栎黄枯叶蛾幼虫发育历期仅与寄主植物叶片中蛋白质含量呈显著负相关，回归方程为 y=140.69–4.42x，相关系数 r=-0.946（F=53.68，P=0.018<0.05）。该方程回归效果显著，由此可以明确，寄主植物可溶性蛋白含量越高，幼虫发育历期越短，即寄主植物可溶性蛋白质含量的变化是影响幼虫发育历期的主要因素。

2.2.3　不同寄主植物的含水量　测定供试寄主植物含水量结果表明，4 种植物的含水量存在显著性差异（$F_{3,16}$=180.01，P<0.0001）（表 2），其中山杏的含水量最高，沙棘、山杨次之，旱柳的最低。寄主植物含水量与幼虫发育各项指标线性回归分析表明，含水量与幼虫发育历期、蛹历期及产卵量均无显著相关，而与雌、雄蛹重呈显著正相关。雌蛹重与含水量回归方程为 y=-7.26+0.16x，相关系数 r=0.872（F=21.38，P=0.044<0.05）；雄蛹重与含水量回归方程为 y=-1.18+0.04x，相关系数 r=0.903（F=28.78，P=0.033<0.05）；说明 4 种寄主植物的含水量均处于栎黄枯叶蛾的适应范围，并且含水量与雌、雄蛹重成正比，即含水量越高，雌、雄蛹重越重。

2.2.4　不同寄主植物主要次生物质的含量　本研究表明，4 种植物单宁（$F_{3,8}$=50.66，P<0.0001）和黄酮（$F_{3,8}$=36.66，P<0.0001）含量均达到显著差异（表 2）。单宁含量由高到低依次是山杨>沙棘>山杏>旱柳，黄酮含量依次是沙棘>旱柳>山杏>山杨。通过线性回归相关分析表明，单宁含量与蛹历期呈显著正相关关系，回归方程是 y=13.60+1.38x，相关系数 r=0.892（F=25.78，P=0.037<0.05）。说明单宁含量越高，蛹历期越长。而黄酮含量的高低与幼虫的生长发育及产卵量无显著相关性。

表 2　4 种植物中营养物质、次生物质及含水量

Table 2　Mean content of different biochemical components in four plants

寄主 Host	可溶性糖（mg/g） Soluble sugar	可溶性蛋白质（mg/g） Soluble protein	含水量（%） Water	单宁（%） Tannins	黄酮（%） Flavonoids
沙棘 Sea-buckthorn	4.21±0.11d	14.82±1.19a	64.40±0.00a	19.58±0.12b	14.59±1.10a
山杏 Apricot	4.99±0.29c	11.06±1.02b	67.37±0.00a	16.81±0.56c	7.35±0.15bc
山杨 Popular	7.63±0.14b	11.14±0.01b	57.96±0.01b	21.94±0.48a	7.06±0.04c
旱柳 Willow	8.31±0.20a	7.66±0.77c	55.30±0.00c	14.52±0.52d	9.08±0.31b

3　结论与讨论

国内外许多学者研究了昆虫与寄主植物的关系，认为植物是昆虫生命活动所需营养的主要来源。广食性昆虫取食不同植物后，会对不同寄主植物产生不同的适应性（Naseri *et al.*，2009；Razmjou *et al.*，2014）。进而昆虫各种生长发育指标受到不同程度的影响（高俊平等，2007；Saeed *et al.*，2010；Najar-Rodriguez *et al.*，2013）。本研究结果表明，取食沙棘、山杏、山杨、旱柳后，栎黄枯叶蛾幼虫发育历期、蛹历期、蛹重及产卵量等指标均受到显著影响，但栎黄枯叶蛾均

可完成整个生命周期，这说明本研究中所选取的4 种植物均是栎黄枯叶蛾的寄主，其对营养成分不同的寄主植物具有不同程度的生理调节能力。对昆虫而言，幼虫发育历期、蛹的重量、每雌产卵量等指标可以作为评判昆虫最适寄主植物的标准（Greenberg *et al.*，2002）。研究结果表明，取食沙棘、山杏、山杨、旱柳后，取食沙棘可使栎黄枯叶蛾的幼虫历期短、产卵量高，蛹重重，但在各项发育指标中，产卵量的差异最突出，仅从这一角度看，产卵量较高的沙棘是对栎黄枯叶蛾的生长发育及繁殖较适宜的寄主，山杏次之，山杨和旱柳是最不适合的寄主植物。这一结论的形成，一方面可能由于寄主植物山杨、旱柳叶片的物理结构对栎黄枯叶蛾幼虫取食有一定的阻碍作用，影响幼虫的取食量，从而导致幼虫发育历期延长、蛹体较轻、产卵量下降（Lavoie and Oberhauser, 2004；Lee *et al.*，2004）。另一方面可能是寄主植物叶片组成成分差异所致。进一步的化学测试及相关分析结果表明，寄主植物叶片可溶性糖含量与栎黄枯叶蛾雌蛹重及产卵量呈显著负相关，但不能缩短其幼虫发育历期及蛹历期；而寄主植物可溶性蛋白质含量与幼虫发育历期呈显著负相关；单宁含量与蛹历期呈显著正相关关系，黄酮含量与幼虫生长发育的各项指标无显著相关。相似的研究在其它昆虫上也有报道，戴小华等（2001）研究发现美州斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 产卵量与寄主叶片中的蛋白质含量无关，而与寄主叶片中可溶性糖含量呈负相关，这与本研究结论一致。但也有研究表明含糖量高的植物对小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemerg 生长繁殖有利（刘征涛，1988）。另外，研究发现寄主植物体内较低的蛋白质含量不利于鳞翅目幼虫的发育（张娜等，2009；张林林等，2013），这一结论与本研究结论一致。从寄主内含物角度分析，植物叶片中较高的蛋白质、较低可溶性糖含量对评判栎黄枯叶蛾与寄主植物的适合度起到关键作用。可见，幼虫取食可溶性蛋白质含量高和可溶性糖低的寄主，幼虫发育历期缩短，增长速度加快，产卵量增加（Chen *et al.*，2004；Barbehenn *et al.*，2013）。尽管本研究表明寄主植物含水量的不同影响着栎黄枯叶蛾的蛹重，含水量越高，蛹重越重，这与张林林等（2013）报道的小地老虎生长发育与植物组织含水量的关系并不一致。以上研究结论的差异，说明不同寄主植物对不同昆虫的生长发育及繁殖产生的影响因素不同，不同昆虫对不同寄主的适应机制也不尽相同，即昆虫为适应不同的环境条件所采取的策略不同，从而得出不一致的研究结论。

综上所述，寄主植物对栎黄枯叶蛾生长发育的影响主要取决于植物营养物质的含量，尤以可溶性糖和可溶性蛋白质含量最为重要。影响昆虫对寄主植物的适应性的因素很多，不仅包括寄主植物的营养物质及次生物质的含量和种类的不同，亦包括昆虫取食后对寄主植物的消化吸收能力（Liu *et al.*, 2004）。而且取食不同植物后可能诱导昆虫体内一系列酶系的变化导致生理功能上产生相应的适应机制不同（Saha *et al.*，2012；张林林等，2013），有关这方面的研究本文尚未涉及，继续进行深入的研究仍是必要的。

目前，陕西吴起县沙棘人工林种植区域，山杨、旱柳、山杏等树种的混栽现象非常普遍，这为栎黄枯叶蛾在不同植物之间的转移危害提供了有利条件。本研究结果表明，取食山杏后栎黄枯叶蛾的蛹重及产卵量仅次于取食沙棘的。本研究仅在室内条件下、离体的植物上的实验结果，与野外调查结果尚有一定的差异。结合本研究成果，应进一步研究栎黄枯叶蛾在不同寄主上的田间种群动态变化情况，并深入研究幼虫、成虫对不同寄主植物的取食及产卵选择性。

参考文献 (References)

Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47(1): 817–844.

Barbehenn RV, Niewiadomski J, Kochmanski J, 2013. Importance of protein quality versus quantity in alternative host plants for a leaf-feeding insect. *Oecologia,* 173(1): 1–12.

Chen YZ, Lin L, Wang CW, Yeh CC, Hwang SY, 2004. Response of two *Pieris* (Lepidoptera: Pieridae)species to fertilization of a host plant. *Zoological Studies,* 43(4): 778–786.

Dai XH, You MS, Fu LJ, 2001. The relationship between the host-selection by *Liriomyza sativae* and the content of nutritional

substances in foliage. *Journal of Shandong Agricultural University,* 32(3): 311–313. [戴小华, 尤民生, 付丽君, 2001. 美洲斑潜蝇寄主选择性与寄主植物叶片营养物质含量的关系. 山东农业大学学报(自然科学版), 32(3): 311–313.]

Greenberg SM, Sappington TW, Sétamou M, Liu TX, 2002. Beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host plant preferences for oviposition. *Environmental Entomology*, 31(1): 142–148.

Gao JP, Pang BP, Meng RX, Wang J, 2007. Ralationships between host preference of *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) and nutrient and chlorophy contents in host foliage. *Chinese Journal of Applied Ecology,* 18(3): 701–704. [高俊平, 庞保平, 孟瑞霞, 王娟, 2007. 南美斑潜蝇寄主选择性与植物营养物质及叶绿素含量的关系. 应用生态学报, 18(3): 701–704.]

Kim DS, Lee JH, 2002. Egg and larval survivorship of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) in apple and peach and their effects on adult population dynamics in orchards. *Environmental Entomology*, 31(4): 686–692.

Lavoie B, Oberhauser KS, 2004. Compensatory feeding in *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Nymphalidae) in response to variation in host plant quality. *Environmental Entomology*, 33(4): 1062–1069.

Lee KP, Raubenheimer D, Simpson SJ, 2004. The effects of nutritional imbalance on compensatory feeding for cellulose-mediated dietary dilution in a generalist caterpillar. *Physiological Entomology*, 29(2): 108–117.

Li HS, 2000. The Principle and Technology of Plant Phsiology and Biochemistry Experiment. Beijing: Higher Education Press. 194–197, 184–185. [李合生, 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社. 194–197, 184–185.]

Liu YH, Zhang YQ, Yan XF, Zong DL, Zong SX, Luo YQ, 2013. Damage of *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae) to the sea-buckthorn forest and its biological characteristic. *Plant Protction,* 39(2): 147–151. [刘永华, 章一巧, 阎雄飞, 宗德禄, 宗世祥, 骆有庆, 2013. 栎黄枯叶蛾对沙棘林的危害及生物学特性. 植物保护, 39(2): 147–151.]

Liu YJ, Wu CS, 2006. Fauna Sinica Insecta. Vol. 47. Beijing: Science Press. 338–339. [刘永樵, 武春生, 2006. 中国动物志. 第 47 卷. 北京: 科学出版社. 338–339.]

Liu ZD, Li DM, Gong PY, Wu KJ, 2004. Life table studies of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae), on different host plants. *Environmental Entomology,* 33(6): 1570–1576.

Liu ZT, 1988. The effect on the performance and reproduction of *Agrotis ypsilon*(Rottemberg) on different host plants. *Jiangxi Plant Protection,* (2): 9–11. [刘征涛, 1988. 不同食料对小地老虎生长发育与繁殖的影响. 江西植保, (2): 9–11.]

Najar-Rodriguez A, Bellutti N, Dorn S, 2013. Larval performance of the oriental fruit moth across fruits from primary and secondary hosts. *Physiological Entomology,* 38(1): 63–70.

Naseri B, Fathipour Y, Moharramipour S, Hosseininaveh V, 2009. Comparative life history and fecundity of Helicoverpa armigera (Hubner)(Lepidoptera: Noctuidae) on different soybean varieties. *Entomological Science,* 12(2): 147–154.

Razmjou J, Naseri B, Ali HS, 2014. Comparative performance of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*(Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) on various host plants. *Journal of Pest Science*, 87(1): 29–37.

Saeed R, Sayyed AH, Shad SA, Zaka SM, 2010. Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection,* 29(2): 178–182.

Saha D, Mukhopadhyay A, Bahadur M, 2012. Effect of host plants on fitness traits and detoxifying enzymes activity of *Helopeltis theivora*, a major sucking insect pest of tea. *Phytoparasitica,* 40(5): 433–444.

Tong CS, 1966. A Preliminary study on *Trabala vishnou gigantina* Yang of life habit and control. *Chinese Bulletin of Entomology,* 10(2): 96–97. [同长寿, 1966. 栎黄枯叶蛾的生活习性与防治初步研究. 昆虫知识, 10(2): 96–97.]

Tsai JH, Wang JJ, 2001. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 30(1): 44–50.

Wang JY, 2007. The prevention and control of *Trabala vishnou gigantina* Yang. *Forestry of China*, (19): 52–52. [王金玉, 2007. 沙棘栎黄枯叶蛾的防治. 中国林业, (19): 52–52.]

Wang SF, Zong SX, Zhang JT, Qi Z, Zhang YF, 2012. Biological Characteristics of the *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Journal of Shanxi Agricultural University* (*Nature Science Edition*), 32(3): 235–239. [王世飞, 宗世祥, 张金桐, 齐忠, 张永飞, 2012. 栎黄枯叶蛾生物学特性研究. 山西农业大学学报, 自然科学版, 32(3): 235–239.]

Yang XP, Wei Q, Xin ZX, Gao AQ, 2007. The improve method of tannin extraction. *Education Science & Culture Magazine,* (2): 100. [杨秀平, 尉芹, 辛转霞, 高爱琴, 2007. 单宁提取与测定实验的改进. 科教文汇, (2): 100.]

Zhang LL, Li YH, Wu JX, 2013. Effects of various host plants on the development and protective enzyme activity of the black cutworm, *Agrotis ypsilon*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50（4）: 1049–1054. [张林林, 李艳红, 仵均祥, 2013. 寄主植物对小地老虎生长发育和保护酶活性的影响. 应用昆虫学报, 50(4): 1049–1054.]

Zhang N, Gou JY, Wan FH, Wu G, 2009. Effects of three kinds of host plants on development and some digestive enzyme activities of beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Journal of Plant Protection,* 36(2): 146–150. [张娜, 郭建英, 万方浩, 吴刚, 2009. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育和消化酶活性的影响. 植物保护学报, 36(2): 146–150.]

Zhang XM, Zeng ZP, Wang YH, 2008. Study on the extraction process of tatal flavones in persimm on leaves. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 19(1): 35–36. [张秀梅, 曾祖平, 王永红, 2008. 柿叶总黄酮提取工艺的研究. 时珍国医国药, 19(1): 35–36.]