应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2022, 59(1): 148–155. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2022.016

两种生态型空心莲子草对莲草直胸跳甲发育和繁殖的影响*

周细欢** 王在凌 王佳博 赵常伟 李传仁***

（湖北省农林病虫害预警与调控工程技术研究中心，长江大学农学院，荆州 434025）

摘 要 【目的】评价空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 2 种生态型食物对莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 生长发育和繁殖的影响。【方法】建立莲草直胸跳甲在水生型和旱生型空心莲子草上的实验种群两性生命表。【结果】2 种生态型空心莲子草对莲草直胸跳甲 2 龄和 3 龄幼虫的历期、产卵前期、产卵期、雌虫寿命、雄成虫寿命和繁殖力的影响无显著差异，但取食水生型空心莲子草的莲草直胸跳甲具有较短的蛹历期（6.28 d）、较高的幼虫期存活率（99.00%）和较高的成虫前期存活率（95.00%）；取食旱生型空心莲子草的莲草直胸跳甲在内禀增长率和周限增长率都显著低于水生型食物，但莲草直胸跳甲的净增殖率（R_0）和平均世代周期（T）在旱生型和水生型食物间并无显著差异。【结论】与旱生型空习莲子草相比，水生型空心莲子草是莲草直胸跳甲的较适宜食物，但旱生型空心莲子草并不显著影响莲草直胸跳甲的发育和繁殖。

关键词 莲草直胸跳甲；空心莲子草；生态型；两性生命表

The effects of feeding on different ecotypes of *Alternanthera philoxeroides* on the development and reproduction of *Agasicles hygrophila*

ZHOU Xi-Huan** WANG Zai-Ling WANG Jia-Bo ZHAO Chang-Wei LI Chuan-Ren***

(Forewarning and Management of Agricultural and Forestry Pests, Hubei Engineering Technology Center & College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

Abstract **[Objectives]** To evaluate the effects of feeding on different *Alternanthera philoxeroides* ecotypes on the development and reproduction of *Agasicles hygrophila*. **[Methods]** We compiled a TWO-Sex life table for *A. hygrophila* fed on different ecotypes of *A. philoxeroides.* **[Results]** *A. philoxeroides* ecotype had no significant effect on the duration of the 2nd and 3rd larval instars, female longevity, male longevity or fecundity, of *A. hygrophila*. However, *A. hygrophila* that fed on the aquatic ecotype of *A. philoxeroides* had a shorter pupal developmental duration (6.28 d), higher larval survival (99.00%) and higher pre-adult survival (95.00%), than those fed on the terrestrial ecotype. Moreover, *A. hygrophila* that had fed on the terrestrial ecotype of *A. philoxeroides* had significantly lower intrinsic and finite rates of increase than those that had fed on the aquatic ecotype. Prey ecotype had no significant effect on either net growth rate (R_0) or mean generation time (T). **[Conclusion]** *A. hygrophila* that fed on the aquatic ecotype of *A. philoxeroides* had faster pupal development, higher larval survival and higher pre-adult survival than those that fed on the terrestrial ecotype. The development and reproduction of *A. hygrophila* were not, however, significantly affected by feeding on the terrestrial ecotype of *A. philoxeroides*.

Key words *Agasicles hygrophila*; *Alternanthera philoxeroides*; ecotype; two-sex life table

---

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（31572010）

**第一作者 First author，E-mail：zxh15171207267@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：lichuanren63@163.com

收稿日期 Received：2021-02-23；接受日期 Accepted：2021-07-22

空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 属苋科 Amaranthaceae，莲子草属 *Alternanthera*，原产于南美洲的阿根廷和巴西等地，是一种水陆两栖多年生的世界性恶性杂草，具有生命力旺盛，繁殖力强等特点（Julien and Broadbent，1980；沈国军等，2005）。空心莲子草自 20 世纪 30 年代传入我国上海后，大面积蔓延，严重危害了我国的农业生产、水利设施、水产养殖及航运事业，给我国的经济造成极大的损失（沈国军等，2005）。根据空心莲子草的生长环境，将空心莲子草分为水生型和旱生型，不同生态型在不同的生态环境下可以互相转换，这对于空心莲子草的治理造成巨大的阻碍（Wang，1989）。

莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 又名空心莲子草叶甲，属鞘翅目 Coleoptera 叶甲科 Chrysomelidae 跳甲亚科 Halticinae，以幼虫和成虫取食空心莲子草的嫩叶和茎秆，是空心莲子草的专食性天敌（胡中昀和莫圣书，2014）。莲草直胸跳甲具有繁殖力高、世代周期短、成虫扩散能力强等特点，可以在野外快速建立田间种群，从而大范围地抑制空心莲子草的生长（丁波，2017）。莲草直胸跳甲自 1986 年从美国引入之后，经过人工饲养、低温驯化和田间释放，已在我国长江中下游及其以南地区定殖并建立了密度较高的野外种群（宋振等，2018），成功控制了水生型空心莲子草的发生发展态势（Wang，1989；陈燕芳等，2008；胡中昀和莫圣书，2014；刘雨芳等，2014），成为了防控空心莲子草的主要技术手段。

空心莲子草的生态型分化是影响莲草直胸跳甲控害能力的重要因子（马瑞燕和王韧，2004）。现有研究表明，莲草直胸跳甲对不同生态型空心莲子草的选择性差异与寄主植物生态型密切相关，在水生型上化蛹能力显著高于湿生型和旱生型，且水生型空心莲子草的茎秆直径并不影响跳甲的化蛹能力，而旱生型空心莲子草的茎秆直径与其化蛹能力正相关（马瑞艳等，2003；马瑞艳和王韧，2004），暗示莲草直胸跳甲对空心莲子草生态型的选择机制在于茎秆化蛹限制。在引入莲草直胸跳甲后的 30 余年间，我国学者尚未关注寄主植物生态型分化对莲草直胸跳甲生长发育和繁殖的影响。为此，本研究利用两性生命表技术，研究莲草直胸跳甲在水生型和旱生型 2 种生态型空心莲子草上的种群生态学特征，为解析莲草直胸跳甲对空心莲子草生态型的选择性提供科学数据。

1　材料与方法

1.1　供试植物

旱生型空心莲子草在长江大学西校区植物园中采集，水生型空心莲子草于长江大学西校区作物基地的池塘中采集。在 2 种空心莲子草附近插上警示牌禁止对供试植物喷洒农药，以免造成实验误差。实验过程中均采集生长茂盛且植株较大的空心莲子草茎叶饲养莲草直胸跳甲。

1.2　供试虫源

莲草直胸跳甲成虫于 5 月中旬在水生型空心莲子草上采集，带回实验室分别用旱生型空心莲子草和水生型空心莲子草饲养，直至莲草直胸跳甲成虫产卵，作为供试虫源。

1.3　试验数据调查

莲草直胸跳甲实验处理：莲草直胸跳甲饲养于温度为（25 ± 1）℃、相对湿度为 80%±5%、光周期为 12L∶12D 的光照培养箱中。将同一天的卵 100 粒放置在垫有湿润滤纸的塑料培养皿（直径 9 cm）中，卵孵化后用毛笔将初孵幼虫轻轻挑至培养皿中单头饲养。待幼虫老熟时，取粗壮的空心莲子草茎杆让其化蛹。待羽化后，选择雌雄成虫各 1 头进行配对，并置于垫有滤纸的塑料培养皿中观察雌虫产卵和雌雄虫的寿命情况，直至所有的成虫死亡。每天记录幼虫的蜕皮情况，根据蜕皮情况确定幼虫的历期。如果幼虫体色变红后臃肿且用毛笔刷轻戳不动，即可以判断幼虫死亡。幼虫饲养过程中，塑料培养皿中放置脱脂棉以保湿，空心莲子草叶片每 2 d 更换一次。本实验参考胡良雄等（2014）及 Wang 等（2017）的处理方法，避免生命表实验中雄虫数量少于雌虫的情况发生。

1.4 年龄-阶段生命表的构建和种群动态预测

参照 Chi 和 Liu（1985）及 Chi（1988）提出的两性生命表研究方法，组建莲草直胸跳甲在 2 种生态型植物上的年龄-阶段两性生命表。s_{xj} 表示莲草直胸跳甲从卵到成虫的每个阶段的存活率，l_x 为忽略龄期的情况下，种群在阶段 x 时的存活率（齐心等，2019；Chi *et al.*，2020）。两者的关系为：

$$l_x = \sum_{j}^{k} S_{xj} m_x ,$$

k 为莲草直胸跳甲的龄期。f_{xj} 指年龄 x、阶段 j 处所有存活的雌性莲草直胸跳甲的平均每天产卵量，m_x 表示在年龄 x、阶段 j 处所有存活的莲草直胸跳甲的平均每天产卵量。m_x 和 f_{xj} 的关系为：

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^{k} S_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{k} S_{xj}} ,$$

净增殖率 R_0 是种群个体从出生到死亡的 $l_x m_x$ 之和，计算公式为：

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x ,$$

内禀增长率 r 对分迭代方法（Goodman，1982）：

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1 ,$$

周限增长率 λ 使用如下公式计算：

$$\lambda = e^{r} 。$$

1.5 数据处理与分析

年龄-龄期存活率（s_{xj}）、年龄特征存活率（l_x）、年龄-龄期特征繁殖力（f_x）、种群特征繁殖力（m_x）、种群年龄特征净增值率（$l_x m_x$）、内禀增长率 r（d^{-1}）、周限增长率 λ（d^{-1}）、净增值率 R_0 和平均世代周期 T（d）均采用年龄-龄期两性生命表软件 TWOSEX-MSChart（Chi，2020a）处理和分析。莲草直胸跳甲在 2 种生态型上 160 d 后的种群数量预测通过 TIMG-MSChart 软件实现（Chi，1990，2020b）。莲草直胸跳甲莲草直胸跳甲的发育历期、寿命和繁殖力等参数的标准误均通过 Bootstrap 技术重复 100 000 次来计算。显著性差异水平通过 Paired bootstrap test（5%）进行差异性检验。

2 结果与分析

2.1 空心莲子草生态型对莲草直胸跳甲幼虫发育历期和存活率的影响

莲草直胸跳甲在 2 种生态型空心莲子草上的发育历期及存活率见表 1。莲草直胸跳甲 2 龄和 3 龄幼虫的发育历期以及整个幼虫期在 2 种生态型上并无显著性差异（P>0.05），而 1 龄幼虫取食旱生型空心莲子草的发育历期显著短于取食水生型的发育历期（P<0.05）。水生型的莲草直胸跳甲蛹期显著短于取食旱生型的莲草直胸跳甲蛹期（P<0.05）。莲草直胸跳甲取食旱生型空心莲子草的幼虫期的存活率（90.00%）和成虫前期的存活率（69.00%）显著低于水生型的幼虫

表 1 2 种生态型空心莲子草对莲草直胸跳甲幼虫和蛹发育历期和存活率的影响

Table 1 Development period and survival rate of larvae and pupae of *Agasicles hygrophila* on two ecotypes of *Alternanther philoxeroides*

生态型 Ecotypes	1 龄（d） 1st instar (d)	2 龄（d） 2nd instar (d)	3 龄（d） 3rd instar (d)	幼虫期（d） Total larval state (d)	蛹期（d） Pupa (d)	幼虫存活率（%） Larvae survival rate (%)	成虫前期存活率（%）Preadult survival rate (%)
水生型 Aquatic type	3.13±0.00a	2.30±0.00a	3.69±0.00a	9.00 ±0.01a	6.28±0.00a	99.00 ± 0.99 a	95.00 ± 2.18 a
陆生型 Terrestrial type	3.03±0.00b	2.18 ±0.00a	3.70±0.01a	9.04±0.00a	7.38±0.01b	93.75±2.46 b	69.00 ± 4.62 b

表中数据是平均值±标准误，同一列数据后标有不同小写字母表示使用 bootstrap（B =100 000）程序检验在 0.05 水平差异显著。表 3 同。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant differences by the paired bootstrap test (B = 100 000) at the 0.05 level. The same as table 3.

存活率（99.00%）和成虫前期的存活率（93.75%）（P<0.05）。

2.2　两种生态型空心莲子草对莲草直胸跳甲成虫寿命和繁殖力的影响

莲草直胸跳甲成虫在水生型空心莲子草上的总产卵前期显著短于旱生型上的总产卵前期（表 2）。然而，莲草直胸跳甲成虫的产卵前期（Adult preoviposition period，APOP）、总产卵前期（Total preoviposition period，TPOP）、产卵期、总产卵量和雌雄寿命在 2 种生态型空心莲子草上并无显著性差异（P>0.05）。水生型空心莲子草上的莲草直胸跳甲成虫产卵前期（4.68 d）、产卵期（18.97 d）、雄成虫寿命（70.94 d）均长于取食旱生型的莲草直胸跳甲。

表 2　莲草直胸跳甲在 2 种生态型空心莲子草上的寿命和繁殖力

Table 2　The longevity and fecundity of *Agasicles hygrophila* on two ecotypes of *Alternanther philoxeroides*

生命参数 Life parameters	生态型 Ecotypes	
	水生 Aquatic	旱生 Terrestrial
产卵前期（d） Adult preoviposition period (d)	4.60±0.01a	4.53±0.00a
总产卵前期（d） Total preoviposition period (d)	23.98±0.01a	24.97±0.00b
产卵期（d） Oviposition period (d)	18.97±0.00a	18.35±0.00a
雌成虫寿命（d） Female longevity (d)	46.25±0.00a	49.14±0.00a
雄成虫寿命（d） Male longevity (d)	70.94±0.00a	64.89±0.00a
繁殖力（单雌/卵）Fecundity (female/eggs)	709.96±0.07a	668.47±0.06a

表中数据是平均值±标准误，同一行数据后标有不同小写字母表示使用 bootstrap (B = 100 000) 程序检验在 0.05 水平差异显著。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same row indicate significant difference by the paired bootstrap test (B = 100 000) at the 0.05 level.

2.3　寄主生态型对莲草直胸跳甲年龄-龄期存活率（s_{xj}）的影响

年龄-龄期存活率 s_{xj} 曲线不仅反应了昆虫各个发育阶段以及雌雄之间存活率的差异，而且可以显示幼虫期和蛹期的阶段分化和龄期重叠（图 1）。旱生型和水生型莲草直胸跳甲卵期、1 龄幼虫和 2 龄幼虫最高 s_{xj} 并没有发生改变，而取食旱生型的莲草直胸跳甲 3 龄幼虫和蛹的最高 s_{xj} 均明显的下降。取食 2 种生态型的莲草直胸跳甲成虫存活率在 30 d 后缓慢下降，并且雌虫的死亡速度快于雄虫的死亡速度。以水生型为食物的莲草直胸跳甲成虫最长的寿命达 134 d，而旱生型的跳甲最长寿命只有 97 d。莲草直胸跳甲在水生型和旱生型空心莲子草的雄雌比分别为 1∶0.98 和 1∶0.92。

2.4　寄主生态型对莲草直胸跳甲繁殖力的影响

种群特征存活率（l_x）是年龄-龄期存活率（s_{xj}）的简化，种群特征存活率能展现出整个种群在某一段时间的存活情况（图 2）。取食旱生型空心莲子草的莲草直胸跳甲种群在整个生长周期的存活率都处于一个缓慢下降的状态。但是在蛹期（第 20 天）存活率急剧下降。取食水生型空心莲子草的莲草直胸跳甲在 37 d 以前的存活率没有显著的变化，在 37 d 之后的存活率缓慢降低。莲草直胸跳甲在水生型空心莲子草的 f_x 在整个产卵期都处于上下波动的状态，并没有出现显著的峰值，m_x 和 l_xm_x 在整个产卵期呈现缓慢下降的趋势。取食旱生型空心莲子草的莲草直胸跳的 f_{x5} 在整个产卵期的第 50 天明显下降，然后再上升，而 m_x 和 l_xm_x 在整个产卵期的前期达到最大值后，在第 35 天后缓慢下降。

2.5　莲草直胸跳甲在两种生态型空心莲子草上的种群动态参数

使用 bootstrap（B=100 000）计算莲草直胸跳甲在两种生态型空心莲子草上的种群参数：内禀增长率 r（d^{-1}）、周限增长率 λ（d^{-1}）、净增值率 R_0 和平均世代周期 T（d）的平均值和标准误

如表 3 所示。莲草直胸跳甲在水生型空心莲子草的净增率（R_0）和平均世代周期（T）高于旱生型，但并无显著差异。而取食水生型的莲草直胸跳甲的内禀增长率(0.181)和周限增长率(1.198)都显著大于取食旱生型跳甲的内禀增长率（0.167）和周限增长率（1.182）。

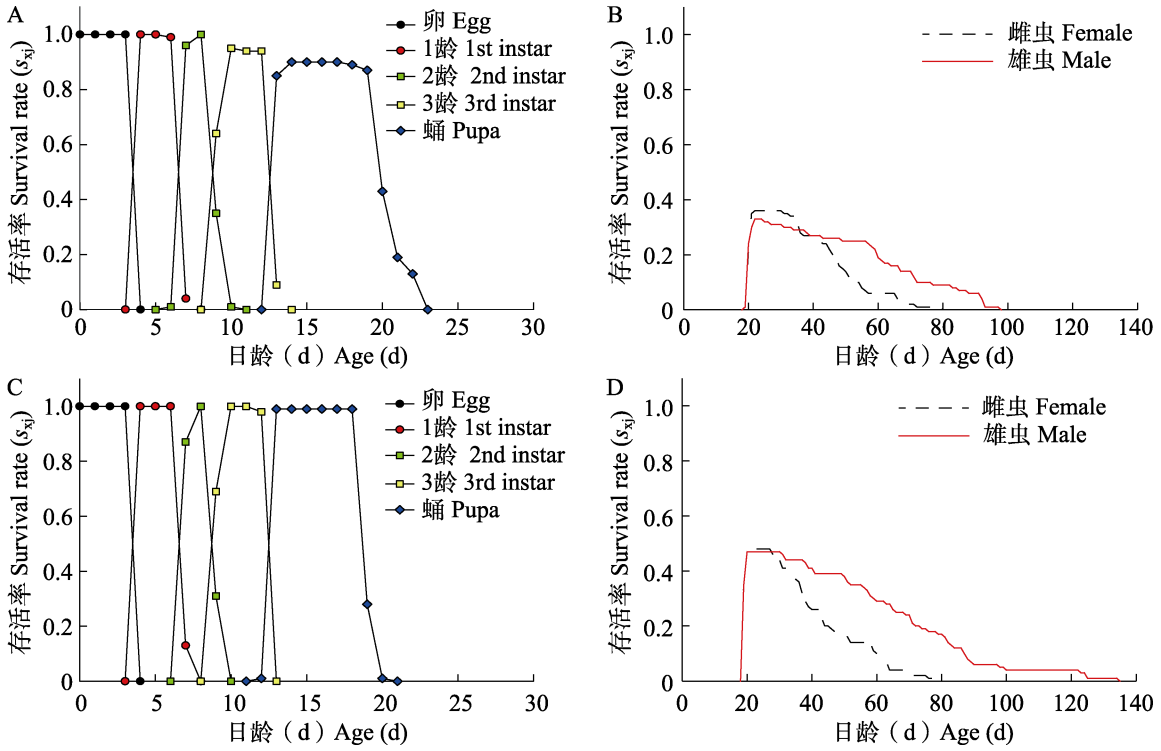

图 1　莲草直胸跳甲在 2 种生态型空心莲子草上的年龄-龄期存活曲线

Fig. 1　Age-stage-specific survival rate of *Agasicles hygrophila* reared on the two ecological types of *Alternanther philoxeroides*

A. 莲草直胸跳甲卵、幼虫和蛹在旱生型上的存活率曲线；B. 表示莲草直胸跳甲雌雄虫在旱生型上的存活率曲线；C. 表示莲草直胸跳甲卵、幼虫和蛹在水生型上的存活曲线；D. 表示莲草直胸跳甲雌雄虫在水生型上的存活率曲线。

A. The survival rate curves of egg, larvae and pupae of *Agasicles hygrophila* on terrestrial type;
B. The survival rate curves of female and male of *Agasicles hygrophila* on terrestrial type;
C. The survival rate curves of egg, larvae and pupae of *Agasicles hygrophila* on aquatic type;
D. The survival rate curves of female and male of *Agasicles hygrophila* on aquatic type.

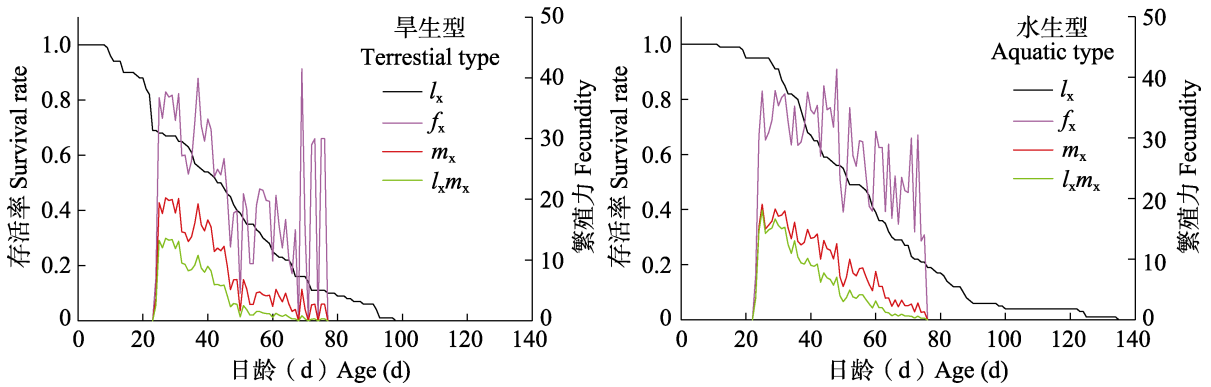

图 2　莲草直胸跳甲虫在水生型和旱生型空心莲子草上的年龄特征存活率和种群繁殖力

Fig. 2　The age-specific survival rate and fecundity of *Agasicles hygrophila* reared on the two ecological types of *Alternanther philoxeroides*

表 3　莲草直胸跳甲在两种生态型空心莲子草上的种群动态参数

Table 3　Mean of population parameters of *Agasicles hygrophila* fed on the two ecological types of *Alternanther philoxeroides*

生态型 Ecotypes	内禀增长率 Intrinsic rate of increase	周限增长 Finite rate of increase	净增值率 Net reproductive rate	世代平均周期 Mean generation time
水生型 Aquatic type	0.181±0.004a	1.198±0.005a	340.78±0.049a	32.857±0.000a
旱生型 Terrestrial type	0.167±0.005b	1.182±0.006b	240.65±0.038a	32.278±0.000a

2.6　不同生态型食物上的莲草直胸跳甲种群动态预测

莲草直胸跳甲在 2 种生态型上 160 d 后的种群预测数量和种群预测动态如图 3 所示。莲草直胸跳甲取食两种生态型空心莲子草在 160 d 后均可以发生 5 代。以旱生型为食物的莲草直胸跳甲种群预测数量低于水生型食物。取食旱生型的第 5 代莲草直胸跳甲幼虫种群数量最大值为 11.5 个数量单位，雌虫种群数量的最大值为 9.91 个数量单位，分别低于取食水生型幼虫的种群数量（12.35 个数量单位）和雌虫的种群数量（11.08 个数量单位）。

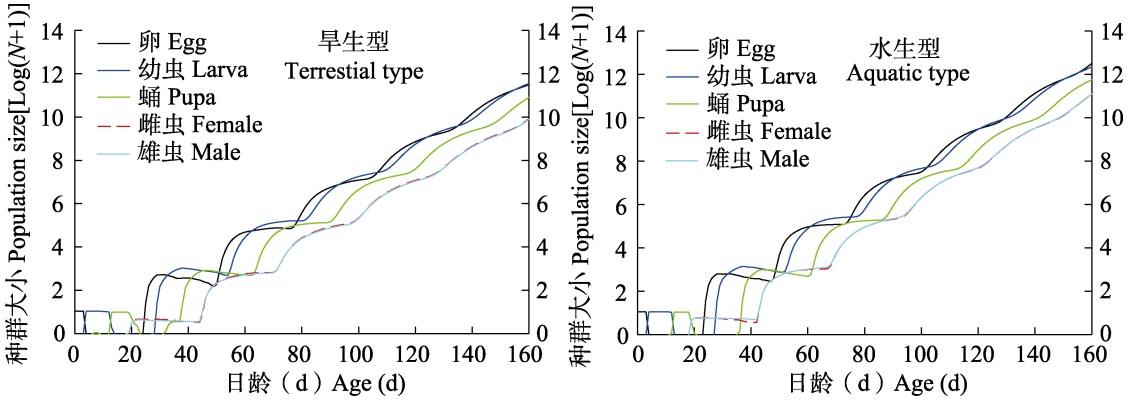

图 3　不同生态型食物植物上的莲草直胸跳甲种群动态预测

Fig. 3　Prediction of the population dynamics of *Agasicles hygrophila* on different ecological type host plants

3　结论与讨论

生命表是种群生态研究的基础，清楚的反映种群的生存、发展和繁殖能力，是评价寄主抗性差异及制定种群数量预测模型的重要方法（齐心等，2019）。本研究基于两性生命表的理论和方法评价空心莲子草 2 种生态型对莲草直胸跳甲幼虫发育历期、存活率、成虫繁殖力、寿命等生命参数及内并增长率、周限增长率等种群参数的影响，确定水生型空心莲子草是莲草直胸跳甲是最适宜的生态型食物。尽管莲草直胸跳甲的 2 龄、3 龄幼虫期、产卵前期、产卵期雌虫寿命、雄成虫寿命在 2 种生态型空心莲子草上并无显著性差异，然而莲草直胸跳甲在旱生型的空心莲子草的蛹期显著长于在水生型上的蛹期，且莲草直胸跳在旱生型的蛹期前的存活率（69%）显著低于水生型的空心莲子草蛹的存活率（95%）（图 1，表 1）。实验结果表明不同生态型的空心莲子草并不影响莲草直胸跳甲幼虫的发育和成虫的寿命和繁殖，但是却显著影响了莲草直胸跳甲的化蛹、蛹期发育以及蛹的存活。说明空心莲子草生态环境的差异可能并没有影响空心莲子草的营养物质，尤其是当旱生型的空心莲子草生长较茂盛且植株个体较大时（在实验过程中，为了减少实验误差，作者采集生长茂盛且植株较大的旱生型空心莲子草）。而马瑞燕等（2003）研究发现在旱生型空心莲子草上，莲草直胸跳甲更偏向于取食生长在水分含量较高的旱生型空心莲子草。这表明莲草直胸跳甲对于生长条件适宜，土壤水分充足的旱生型空心莲子草也有非常好的

生态防控效果。旱生型的空心莲子草显著影响莲草直胸跳甲蛹的发育历期和存活率（表 1）。马瑞燕和王韧（2004）通过形态解剖的研究角度发现水生型的空心莲子草并无次生结构，而旱生型空心莲子草的维管柱的厚度、髓部薄壁细胞厚度、皮层密度和皮层厚度降低了空心莲子草直径的大小，从而不同程度影响莲草直胸跳甲的化蛹能力。

内禀增长率可以准确的反应种群的生长、发育和繁殖能力，是衡量种群数量增长的综合参数，可以作为衡量昆虫在不同寄主植物上适应度的重要指标（胡良雄等，2014；Wang *et al.*，2017；Liu *et al.*，2018）。水生型空心莲子草上的莲草直胸跳甲的内禀增长率 r（d^{-1}）、周限增长率 λ（d^{-1}）、净增值率 R_0 和平均世代周期（T）均高于旱生型空心莲子草，其中取食水生型的莲草直胸跳甲的内禀增长率（0.180 6）显著高于取食旱生型的莲草直胸跳甲（0.166 9）（表 3），从营养学角度证实水生型空心莲子草是莲草直胸跳甲最适宜食物。旱生型空心莲子草的营养成分与水生型有显著差异，其粗纤维、蛋白质和粗脂肪含量高于水生型，其水分含量低于水生型（郝炯等，2011），但本文的两性生命表数据表明，旱生型空心莲子草能够满足莲草直胸跳甲发育和繁殖的需要，推测空心莲子草叶片营养在莲草直胸跳甲的寄主生态型选择中没有明显价值。

致谢：感谢齐心老师在实验过程中的指导和提供两性生命表数据整理的所有的分析软件。

参考文献 (References)

Chen YF, Guo WM, Ding JL, Cheng GH, Ding W, 2008. The research progress on biological control of *Alternanthera philpxerpodes*. *Weed Science*, 1(1): 9–12. [陈燕芳, 郭文明, 丁吉林, 程光辉, 丁伟, 2008. 空心莲子草生物防除研究进展. 杂草科学, 1(1): 9–12.]

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1): 26–34.

Chi H, 1990. Timing of control based on the stage structure of pest populations: A simulation approach. *Journal of Economic Entomology*, 83(4): 1143–1150.

Chi H, 2020a. TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. http://140.120. 197.173/Ecology/.

Chi H, 2020b. TIMING-MSChart: A computer program for the timing of pest management. http://140.120. 197.173/Ecology/.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24(2): 225–240.

Chi H, You M, Atlıhan R, Smith C, Kavousi A, Özgökçe M, Güncan A, Tuan SJ, Fu JW, Xu YY, 2020. Age-Stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*,40(2): 102–123.

Chi H, Fu JW, You MS, 2019. Age-stage, two-sex life table and its application in population ecology and itegrated pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 62(2): 255–262. [齐心, 傅建炜, 尤民生, 2019. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学与害虫综合治理中的应用. 昆虫学报, 62(2): 255–262.]

Ding B, 2017. The responses of *Alternanthera philoxeroides* and its natural enemy *Agasicles hygrophila* to elevated CO_2. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [丁波, 2017. 空心莲子草及其天敌莲草直胸跳甲对 CO_2 浓度升高的响应. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]

Goodman D, 1982. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. *The American Naturalist*, 119(6): 803–823.

Hao J, Liu YH, Zhang PP, Wang H, Ma RY, 2011. Effects of nutritional ingredients of *Alternanthera Philoxeroides* on pupation rate of *Agasicles hygrophila*. *Journal of China Agricultural University*, 16(4): 48–51. [郝炯, 刘艳红, 张萍萍, 王慧, 马瑞燕, 2011. 喜旱莲子草的营养累积及对莲草直胸跳甲化蛹能力的影响. 中国农业大学学报, 16(4): 48–51.]

Hu LX, He ZS, Zhang XG, 2014. Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *Problepsis superans* (Lepidptera: Geometridae) on three *Ligustrum* species. *Acta Entomologica Sinica*, 57(12): 1408–1417. [胡良雄, 何正盛, 张小谷, 2014. 猫眼尺蠖在三种女贞属植物上的实验种群两性生命表. 昆虫学报, 57(12): 1408–1417.]

Hu ZY, Mo SS, 2014. Research progress on introduced *agasicles hygrophila* Selma & Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae) in China. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 35(5): 1034–1039. [胡中昀, 莫圣书, 2014. 莲草直胸跳甲的引种研究进展. 热带作物学报, 35(5): 1034–1039.]

Julien M, Broadbent J, 1980. The biology of Australian weeds 3. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 46(3): 150–155.

Liu YH, Jia D, Yuan XF, Wang YX, Chi H, 2018. Response to

short-term cold storage for eggs of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Caryophyllales: Amaranthaceae). *Journal of Economic Entomology*, 111(4): 1569–1576.

Liu YF, Wang XX, Li F, Gui FY, Liu WH, Wang FH, 2014. Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleptera: Chrysomelidae) to overwinering protection and its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amarnthaces: Alternanthera). *Acta Ecologica Sinica*, 34(10): 2638–2644. [刘雨芳, 王秀秀, 李菲, 桂芳艳, 刘文海, 万方浩, 2014. 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能. 生态学报, 34(10): 2638–2644.]

Ma RY, Ding JQ, Li BT, Wu ZQ, Wang R, 2003. The pupation adaptability of *Agasicles hygrophila* on different ecotypes Alligatorweed. *Chinese Journal of Biological Control*, 19(2): 54–58. [马瑞燕, 丁建清, 李佰铜, 吴珍泉, 王韧, 2003. 莲草直胸跳甲在不同生态型空心莲子草上的化蛹适应性. 中国生物防治学报, 19(2): 54–58.]

Ma RY, Wang R, 2004. Effect of morphological and physiological variations in the ecotypes of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides* on the pupation rate of its biocontrol agent *Afasicles hygrophila. Chinese Journal of Plant Ecology,* 28(1): 24–30. [马瑞燕, 王韧, 2004. 不同生态型的喜旱莲子草对莲草直胸跳甲化蛹能力的影响. 植物生态学报, 28(1): 24–30.]

Shen GJ, Xu ZH, Yu GS, 2005. Distribution and damage of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* and its control. *Plant Protection*, 31(3): 14–18. [沈国军, 徐正浩, 俞谷松, 2005. 空心莲子草的分布, 危害与防除对策. 植物保护, 31(3): 14–18.]

Song Z, Zhang RH, Zhang GL, Yu WC, Xiong JL, Wang R, Huang CC, Fu WD, 2018. The effect of *Agasicles hygrphila* release on the control of *Alternanthera philpxerpodes*. *Ecology and Environmental Sciences*, 27(11): 2033–2038. [宋振, 张瑞海, 张国良, 余文畅, 熊佳林, 王然, 黄成成, 付卫东, 2018. 空心莲子草叶甲释放量对空心莲子草防控效果的研究. 生态环境学报, 27(11): 2033–2038.]

Wang R, 1989. Biological control of weeds in China: A status report. Proceedings of the 7th International Symposium on Biological Control of Weeds. Rome: 689–693.

Wang ZL, Li CR, Yuan JJ, Li SX, Chi H, 2017. Demographic comparison of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (F.)(Coleoptera: Coccinellidae) reared on three cultivars of *Solanum melongena* L. and a wild hostplant *Solanum nigrum* L. *Journal of Economic Entomology*, 110(5): 2084–2091.