

孙广芳, 邹大为, 闵梦月, 等. 农田传粉者生物多样性及其与不同土地利用方式的关系[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 297–302.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.073

# 农田传粉者生物多样性及其与不同土地利用方式的关系

孙广芳, 邹大为, 闵梦月, 安树青, 冷 欣

(南京大学生命科学院, 江苏南京 210046)

**摘要:**为探讨农田 3 类传粉昆虫(蜜蜂、蝴蝶、食蚜蝇)的群落结构与农田土地利用类型的关系, 于 2015 年 3 月、2015 年 4 月采用改良的陷阱法, 采集长江下游南岸农田的传粉昆虫, 对农田传粉昆虫群落结构进行研究。结果表明: 2 个采样时期共捕获传粉昆虫 1 374 头, 分属 6 科共 22 种; 其中蜜蜂 13 种, 蝴蝶 2 种, 食蚜蝇 7 种。优势种为意大利蜂(*Apis mellifera* Ligustica Spinola)、大隧蜂(*Seladonia magnus* Ebmer)、中华菜粉蝶(*Pieris rapae* Linnaeus)、大灰食芽蝇(*Metasyrphus corolla* Fabricius)、黑带食蚜蝇(*Episyrphus balteatus* de Geer)和凹带食蚜蝇(*Syrphus nitens* Zetterstedt)。油菜是否开花、油菜的种植面积均对农田传粉者个体数量、传粉者群落结构有影响; 花期 3 类传粉昆虫群落的丰富度指数、均匀度指数、多样性指数均值均高于非花期; 在时间动态上, 表现出花期传粉者分布密度普遍高于非花期。CCA(典型关联)分析结果表明, 油菜(开花作物)田是影响农田传粉昆虫群落结构的主要土地利用类型, 其次是以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境。推测开花植物的比例可能是影响传粉昆虫群落结构的重要生物因素。

**关键词:**油菜田; 传粉者; 群落结构; CCA 分析

**中图分类号:** S181      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0297-05

农田生态系统是人类为了满足生存需要, 积极干预自然, 依靠土地资源, 利用农田生物与非生物环境之间以及农田种群之间的关系来进行人类所需食物和其他农产品生产的半自然生态系统。农业用地影响着全球 40% 的陆地面积, 是地球表面最重要的生境类型之一<sup>[1]</sup>。在中国, 2009 年农业用地占国土面积的 56.21%, 并有逐年增加的趋势。在过去的几十年里, 高度集约化的农业土地利用方式是导致农业用地内生物多样性迅速降低的原因<sup>[2-4]</sup>, 也是全球范围生物多样性降低的最重要因素<sup>[5-6]</sup>。与此同时, 生物多样性提供的生态服务功能也在降低, 具体表现为作物的传花授粉行为减少、产量降低、生物控制能力下降等<sup>[7]</sup>。

传粉者是生态系统的重要组成成分, 在高等植物中, 许多被子植物需要通过动物传粉进行有性生殖<sup>[8-9]</sup>。同时, 这些植物又以花蜜和花粉的形式为传粉昆虫提供食物。显花植物-授粉者之间的这种互利共生关系在维护全球生态系统的生物多样性和稳定性上起到了至关重要的作用。但是, 目前对传粉动物带来的生态服务及经济影响方面的研究还不够系统和全面<sup>[10]</sup>。农田传粉昆虫作为农田生物多样性的重要组分, 近年来正越来越受到研究者的关注, 传粉昆虫生物多样性的丧失正在成为国际生物多样性研究的新热点。在过去的 10 年期间, 已经有研究表明传粉昆虫正在减少, 特别是蜜蜂, 无

论是人工养殖的还是野生蜜蜂的下降趋势都已被证明<sup>[11-12]</sup>。虽然尚不完全清楚这一现象的驱动因素, 但是栖息地丧失、碎片化和退化影响了蜜蜂种群觅食和筑巢所需要的关键性的资源可能是重要原因。英国和荷兰的广泛调查显示, 野生蜂类与它们传粉的植物正在一起消失, 双方物种数量下降都将对农田生态系统产生不利影响<sup>[13]</sup>。调查发现, 蜜蜂的多样性随生境多样性而改变, 且与油菜花种子的数量呈正相关。国内关于农业景观格局的研究起步较晚<sup>[14]</sup>。张保华等阐述了农业景观格局演变及其生态效应, 指出目前研究主要集中在农业景观格局及其组分的动态变化<sup>[15]</sup>。许华研究发现, 在自然过程和人类活动的共同作用下, 近 70 年来黄泛区农业景观格局发生了显著变化<sup>[16]</sup>。

虽然关于农业景观格局对物种多样性的研究得到越来越多的关注, 但是鲜有涉及不同土地利用方式与农田植物生物多样性方面的报道<sup>[17-18]</sup>。蜜蜂、蝴蝶、食蚜蝇是农田生态系统 3 种主要传粉类群, 并且三者的传粉距离有所不同。工蜂的传粉距离最大达到几百米<sup>[19]</sup>, 而大黄蜂和蜜蜂则超过几千米<sup>[20]</sup>。蝴蝶也能够作为植物的传粉者, 其传粉能力取决于翅的大小<sup>[21]</sup>。食蚜蝇的传粉能力有限。这 3 种传粉者均易于监测, 其生物习性已被熟知。本研究以不同油菜种植比例的农田为研究对象, 于 2015 年 3 月、2015 年 4 月对不同景观样地的传粉昆虫群落结构及土地利用类型进行调查, 探讨农田系统 3 类不同传粉距离的传粉者(蜜蜂、蝴蝶、食蚜蝇)的群落结构特征与土地利用类型之间的关系, 以期揭示农田景观生物多样性形成机制及其与生态系统服务功能的关系, 为建立农业可持续发展的策略和方法提供理论支持和研究基础。

收稿日期: 2017-06-15

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31470512)。

作者简介: 孙广芳(1990—), 女, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事农田生态系统生物多样性形成机制及保护的研究。E-mail: 983225470@qq.com。

通信作者: 冷 欣, 博士, 副教授, 主要从事保护生物学、种群和群落生态学的相关研究。E-mail: lengx@nju.edu.cn。

1 研究地概况与研究方法

1.1 样地选择

研究区域位于安徽东南部的马鞍山、芜湖一带,地处长江下游南岸,属于北亚热带湿润季风气候,四季分明,光、热、降水资源较为丰富,年降水量为 1 190 mm,气温变化幅度较大,年平均气温为 16.0 ℃,年平均最高气温为 20 ℃,年平均最低气温为 12 ℃。该地区农业资源丰富,基础条件优越,由于长期集约化农业生产的影响,研究区农业用地占据主导地位,其他的自然、半自然生境主要包括一些居民区附近的林地、农田防护林带、农田边界杂草丛以及河岸防护林带或农户自主经营的经济林。栽培作物主要为水稻、油菜和棉花,轮作制度以稻—油为主。该地区油菜的花期为 3 月中旬至 4 月中旬左右,种植的油菜品种绝大多数为国家推广的杂交大油菜。

利用 Google earth 卫星图像结合实地考察选取具有农田景观复杂梯度(不同农用地比例)的 10 个栅格(800 m × 800 m)区域,每个栅格平均分为 25 个样地(160 m × 160 m)。栅格包括农田和其他半自然生境,但不包括城市和村庄。选取的 S1 ~ S10 10 个农田样地见图 1。

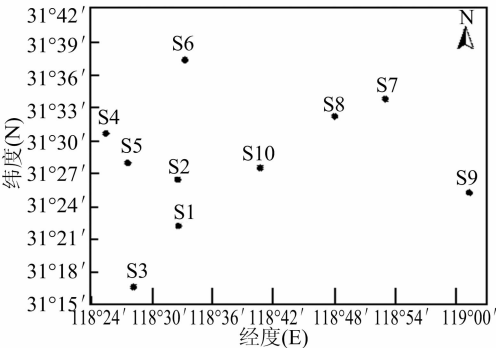


图1 采样区域与采样地点分布

1.2 样品的采集与鉴定

采样时间为 2015 年 3 月(花期)、2015 年 4 月(非花期)。用改良的陷阱法,采集长江下游区域农田的传粉昆虫,对农田传粉昆虫群落结构进行研究。在每个样地内利用木桩固定 1 个上口径 12 cm、下口径 8 cm、高 7.5 cm 的陷阱碗,高度与周围植被的高度一致。每个陷阱碗内均涂有与油菜花一致的反紫外线的黄色颜料,并倒入 5 cm 深纯水和 1 滴洗洁精。陷阱法的持续采样周期为 5 d。在 2015 年的 3 月(油菜花期)和 4 月(油菜非花期)分别取样 1 次。将田间采集的昆虫装入盛有 70% 乙醇的 50 mL 离心管中浸泡保存,带回实验室进行鉴定,同时统计个体数量。

1.3 数据处理

(1)物种多样性指数(H)采用 Shannon's 计算公式:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i。$$

(2)物种均匀度指数(J)采用 Pielou's 计算公式:

$$J = H/\ln S。$$

(3)物种丰富度指数(D)采用 Margalef 计算公式:

$$D = (S - 1)/\ln N。$$

式中:S 为群落中的物种数量, $P_i = N_i/N$ ;N 为采集样品中所有种类的总个体数; $N_i$  为采集样品中第 i 种个体数<sup>[22]</sup>。

根据采样面积和所获得 3 类传粉昆虫的数量,换算得到 3 类传粉昆虫的分布密度,同时对不同物种占 3 类传粉昆虫总数的百分比进行了统计,分析得到不同种的优势度。运用 SPSS 19.0 软件,利用多因素方差分析、多重比较(LSD)、Duncan's 方法对花期和非花期 2 个时期不同景观复杂性的动态数据,分析开花油菜比例、时间动态对传粉昆虫群落的影响,差异显著水平为 0.05。采用 Primer 7.0 对 2 个时期相关数据进行聚类分析(对花期油菜覆盖面积大、花期油菜覆盖面积小、非花期油菜覆盖面积大、非花期油菜覆盖面积小 4 组数据进行平均计算,之后进行平方根转化,采用 Bray - Curtis 相似度进行聚类分析),检验农田油菜开花与非开花及油菜比例高与低的传粉昆虫组成是否有差异。采用 Excel 2010 绘图。

2 结果与分析

2.1 调查区土地利用类型

调查期间,农田的土地利用类型主要分为开花的油菜田,人工林,暂时休耕但基本无植被的休耕地,小麦田,以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境以及无植物覆盖的水域、道路、建筑物用地等其他土地利用用地,共六大类。调查的 10 个栅格中,油菜田面积占栅格面积的比例变化范围为 0.4% ~ 83%,平均为 14.4%。半自然生境的比例最大为 61%,最小为 3.1%,平均为 18.8%。小麦田比例最大为 77%,平均为 26.8%。人工林种植的最大比例为 30%,平均为 5.2%。暂时休耕地的最大比例为 41%,平均为 8.3%。其他生境类型占栅格面积的最大比例为 66%,平均为 8.5%。人工林、休耕地、小麦田、其他生境类型用地占栅格面积的最小比例皆为 0%(表 1)。

表 1 调查区栅格内土地利用类型比例

土地利用类型	最小值 (%)	最大值 (%)	均值 (%)	标准差 (%)
油菜田	0.4	83	14.4	0.227
人工林	0.0	30	5.2	0.091
休耕地	0.0	41	8.3	0.131
小麦田	0.0	77	26.8	0.259
半自然生境	3.1	61	18.8	0.177
其他	0.0	66	8.5	0.194

2.2 传粉昆虫群落结构

本次野外试验共收集了 445 个样本,其中花期收集 226 个样本,缺失 25 个;非花期收集 219 个样本,缺失 31 个。通过整理和鉴定,2 次采样共收集 3 类昆虫共计 1 374 头。其中蝴蝶类 351 头、食芽蝇 129 头、蜜蜂类 894 头,蜜蜂类中有 535 头意大利蜂(*Apis mellifera* Ligustica Spinola)、286 头隧蜂(*Seladonia magnus* Ebmer)以及 49 头其他种类野生蜜蜂,分属 6 科共 13 种(表 2),占总数量的 65.1%,是传粉昆虫的主体。蝴蝶类除在 S8 样地中发现 1 头云粉蝶(*Leucochloe daplidice* L.)外,其他 350 头均为中华菜粉蝶(*Pieris rapae* L.),占总数量的 25.5%。本次调查发现的食芽蝇中比较常见的有大灰食芽蝇(*Metasyrphus corolla* Fabricius)、黑带食蚜蝇(*Episyrphus balteatus* de Geer)和凹带食蚜蝇(*Syrphus nitens* Zetterstedt)等共 7 个种,占总数量的 9.4%。

表 2 传粉昆虫名录

中文名	拉丁名
意大利蜂	<i>Apis mellifera</i> Ligustica Spinola ***
黄胸木蜂	<i>Xylocopa appendiculata</i> Linnaeus
金翅木蜂	<i>Xylocopa auripennis</i> Linnaeus
黑颚条蜂	<i>Anthophora</i> (s. str.) <i>melanognatha</i> Cockerel *
黄芦蜂	<i>Ceratina flavipes</i> Smith
拟黄芦蜂	<i>Ceratinidia hieroglyphica</i> Smith
瘤长须蜂	<i>Eucera tubercular</i> Linnaeus *
长脚长须蜂	<i>Anthophora</i> (s. str.) <i>ongicornis</i> Linne
大隧蜂	<i>Seladonia magnus</i> Ebmer ***
铜色隧蜂	<i>Halictus aerarius</i> Smith
淡翅切叶蜂	<i>Xanthosaurus remota</i> Smith
侧沟茧蜂	<i>Microplitis mediator</i> Halidag
陆马蜂	<i>Polsties rothneyi grahami</i> Vecht
大灰食蚜蝇	<i>Metasyrphus corollae</i> Fabricius **
黑带食蚜蝇	<i>Episyrphus balteatus</i> de Geer **
凹带食蚜蝇	<i>Syrphus nitens</i> Zetterstedt **
狭带条胸芽蝇	<i>Helophilus virgatus</i> Coquillett
羽芒宽盾芽蝇	<i>Phytomia zonata</i> Fabricius
短翅细腹食蚜蝇	<i>Sphaerophoria scripta</i> Linnaeus
狭带食蚜蝇	<i>Syrphus serarius</i> Wiedemann
云粉蝶	<i>Leucochloe daplidice</i> Linnaeus
中华菜粉蝶	<i>Pieris rapae</i> Linnaeus ***

注: \*\*\* 表示优势种; \*\* 表示常见种; \* 表示偶见种。

在油菜花期收集到的传粉昆虫与非花期的在总体丰富度上差异不显著 ( $F=1.925, P=0.087$ )。花期蜜蜂占花期昆虫总数的比例 (51%) 低于非花期 (87%)，花期蝴蝶类所占比例 (39%) 则明显高于非花期 (4%)；食蚜蝇的花期、非花期所占比例比较稳定，分别为 10%、9% (图 2)。花期、非花期蜜蜂类优势种分别为意大利蜂 (*Apis mellifera* Ligustica Spinola)、大隧蜂 (*Seladonia magnus* Ebmer)；中华菜粉蝶 (*Pieris rapae* L.) 大量出现在花期，非花期数量则较少；在花期和非花期食蚜蝇总体数量均较少。3 类传粉昆虫优势物种在花期与非花期丰度上差异明显 (图 3)。3 类传粉昆虫中的优势种意大利蜂在花期与非花期丰度上差异显著 ( $P=0.042, F=4.414$ )。同一地点非花期野生蜂数量与盛花期意大利蜂的数量呈显著负相关 ( $r=0.928, n=10$ ) (图 4)。

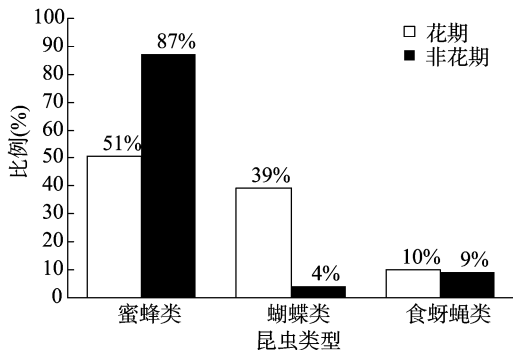


图 2 花期、非花期 3 类传粉昆虫比例

### 2.3 传粉昆虫生物多样性

总体来说，花期、非花期传粉昆虫的多样性指数  $H$  和均匀度指数  $J$  的变化趋势基本保持一致；花期、非花期传粉昆虫丰富度指数  $D$  变化趋势相反。花期物种多样性指数  $H$  和均

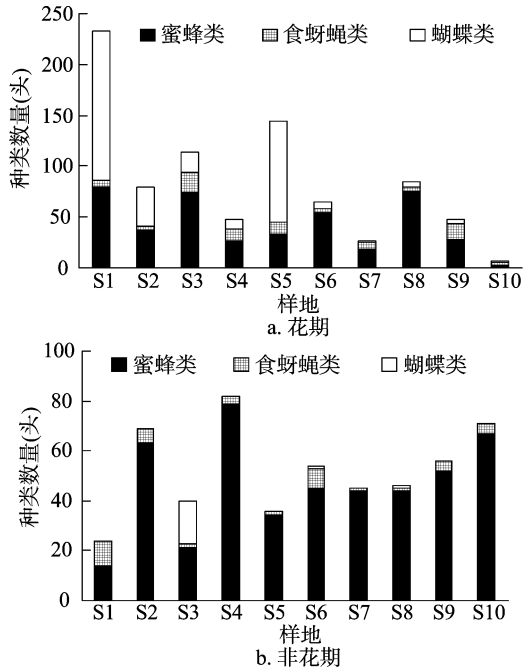


图 3 不同时期 3 类传粉昆虫数量变化

匀度指数  $J$  最高的栅格均是 S3 (分别为 0.424、0.306)；最低的栅格均是 S9、S10 (分别为 0.031、0.028) (图 5)。花期丰富度指数  $D$  最高值出现在 S8，为 1.649，S3 最低，值为 0.445，均值为 0.993；非花期丰富度指数  $D$  最高值出现在 S2，为 1.285，最低值 0.266 出现在 S8，均值为 0.921 (图 5)。相关性分析表明，花期与非花期的多样性指数  $H$  ( $r=-0.635, P=0.054$ )、均匀度指数  $J$  ( $r=-0.831, P=0.104$ ) 和丰富度指数  $D$  ( $r=-0.695, P=0.340$ ) 均呈不显著的负相关。

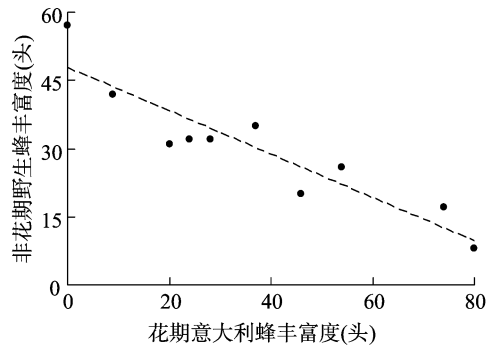


图 4 花期意大利蜂与非花期野生蜂的数量关系

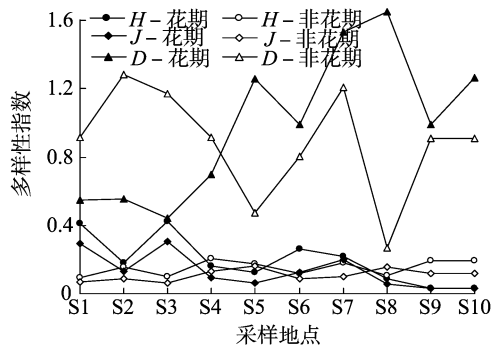


图 5 不同采样时期生物多样性指数变化

2.4 土地利用与传粉昆虫群落结构的关系

3 类传粉昆虫在花期和非花期出现频率大于 30% 的物种共有 6 种,分别为意大利蜂(*Apis mellifera* Ligustica Spinola)、大隧蜂(*Seladonia magnus* Elmer)、中华菜粉蝶(*Pieris rapae* L.)、大灰食芽蝇(*Metasyrphus corollae* Fabricius)、黑带食蚜蝇(*Episyrphus balteatus* de Geer)和凹带食蚜蝇(*Syrphus nitens* Zetterstedt)。

典范对应分析排序图中前 2 个排序轴的特征根分别为 0.356 和 0.223,浮游动物种类与环境因子前 2 个排序轴的相关系数分别为 0.773 和 0.871。前 2 个轴共解释浮游动物种类与环境关系的 83.9% (表 3)。

表 3 农田传粉昆虫物种和土地利用类型间 CCA (典型关联) 分析的统计信息

排序轴	特征值	种类与 环境因 子间相 关性	物种累积 百分数 (%)	物种与环 境间关系 累积百分 比(%)	4 个排 序轴特 征值总 和	全部典 范特征 值总和
轴 1	0.356	0.773	23.3	51.6	1.53	0.69
轴 2	0.223	0.871	37.8	83.9		
轴 3	0.075	0.696	42.7	94.7		
轴 4	0.020	0.564	44.0	97.6		

由表 4 和图 6 可知,油菜田是第 1 排序轴的重要影响因子,与第 1 排序轴呈负相关,相关系数为 -0.625 2,其他因子的相关性较小。以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境是第 2 排序轴的重要影响因子,与第 2 排序轴呈正相关,相关系数为 0.506 8,其他因子的相关性较小。故对农田传粉昆虫群落结构影响较大的主要土地利用类型是油菜田和以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境。

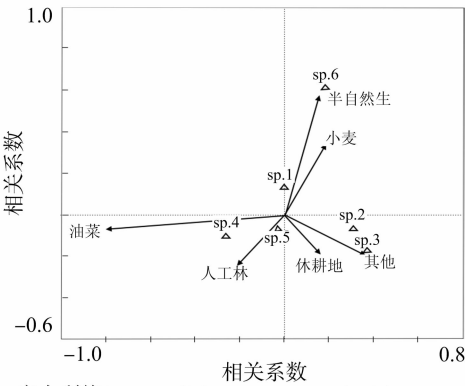
表 4 土地利用类型与前 2 个排序轴的相关系数

土地利用类型	轴 1	轴 2
油菜田	-0.625 2	-0.059 5
人工林	-0.170 9	-0.217 2
休耕地	0.124 6	-0.167 2
小麦田	0.143 9	0.303 5
半自然生境	0.119 7	0.506 8
其他	0.280 0	-0.170 7

3 讨论

本研究结果表明,在油菜花期,传粉昆虫以意大利蜂、中华菜粉蝶为主,野生传粉昆虫种类和数量都较稀少,而其他种类的野生蜂仅有少数成功越冬的个体能出现在早春农田。在非花期,家养蜜蜂数量下降幅度较大,野生传粉昆虫数量和种类都有所增加。本次调查到的野生传粉昆虫种类数量足以说明野生传粉昆虫在开花植物传粉、维护农田生态系统稳定等方面发挥着重要的生态服务功能。以往的研究表明,须要依赖动物传粉的作物的产量很容易受到传粉活动的限制,因此这些作物的相对产量以及产量增幅和稳定性均较低。野生传粉动物多样性的增加有助于稳定和增加受粉作物的产量<sup>[23]</sup>。

研究结果表明,花期大量的意大利蜂对非花期的传粉昆虫尤其是野生蜜蜂的数量造成影响。有研究证明,西方蜜蜂能够凭借其种群数量优势迫使美国本地蜜蜂(*Halictus ligatus*、



sp.1—意大利蜂(*Apis mellifera* Ligustica Spinola); sp.2—大灰食芽蝇(*Metasyrphus corollae* Fabricius); sp.3—大隧蜂(*Seladonia magnus* Ebmer); sp.4—中华菜粉蝶(*Pieris rapae* L.); sp.5—黑带食蚜蝇(*Episyrphus balteatus* De Geer); sp.6—凹带食蚜蝇(*Syrphus nitens* Zetterstedt)

图6 不同土地利用类型与传粉昆虫的 CCA 分析

*Augochlorella striata*) 访问回报较少、质量较差的蜜粉源植物,最终导致本地蜜蜂种群繁殖力下降;其次,西方蜜蜂有较高的取食效率,1 次可取食 90% 左右的花蜜,大大降低了本地蜜蜂(*Exoneura asimillima*)在单位时间内的取食量。印度的 1 个野外相关试验表明,在同一个灌木丛中,本地蜜蜂出现的频率与西方蜜蜂出现的频率存在明显的负相关性,即西方蜜蜂影响了印度本地蜜蜂的采集效率和访花频率<sup>[24]</sup>。本研究表明,大量意大利蜂存在不仅影响当时野生蜜蜂,而且影响到未来 1 个月此地的野生蜜蜂数量和种类。但是,这一影响并不是绝对的,当半自然生境比例较高时,野生蜜蜂数量和种类受意大利蜂影响较小,这可能是因为半自然生境零星的蜜源比较丰富,缓和了本地野生蜂与意大利蜂的直接竞争。

笔者发现,环境要素对传粉昆虫影响明显,且不同土地利用类型对野生的传粉昆虫物种有明显影响。CCA 排序图表明,开花油菜覆盖比例与轴 1 呈负相关,是影响传粉昆虫的最重要因素,受这一要素影响最大的为中华菜粉蝶(*Pieris rapae* L.),即油菜花的覆盖比例直接影响了蝴蝶类的丰度,最大的原因是油菜田是菜粉蝶育幼、产卵的主要场所。半自然生境与第 2 排序轴呈正相关,相关系数为 0.506 8,这说明以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境的分布也是影响传粉昆虫生物多样性的因素。国外研究表明,一些半自然的非作物生境(如多花带、树篱、草带)可以作为附近农田作物的本土传粉者种库<sup>[25]</sup>和避难所<sup>[26]</sup>。因此利用农田边界、田间地头的边角地创建和维护适宜的非作物生境,可以增加田间本土植物的多样性和创造高质量生境,从而提高本地野生传粉动物的多样性<sup>[27-28]</sup>。

本次调查发现,野生蜂的体长集中分布范围为 6.0 ~ 16.5 mm,86% 分布于 6.0 ~ 11.5 mm 之间(图 7)。体长超过 11.5 mm 的野生蜜蜂一般出现在采样区域半径 3 km 范围内森林等半自然生境分布广泛的地点(S3、S8、S9、S10)。蜜蜂的飞行距离受到身体尺寸的限制,根据蜜蜂身体尺寸分为大( $\geq 11.5$  mm)、中(8.0 ~ 11.5 mm)、小( $\leq 8.0$  mm)3 个尺寸,不同尺度下影响不同身体尺寸野生蜂的景观因子也不同<sup>[29]</sup>。残留的自然生境如森林斑块是野生传粉者生存的重要生境,因此对森林的保护有助于增加传粉者的多样性<sup>[30-31]</sup>。

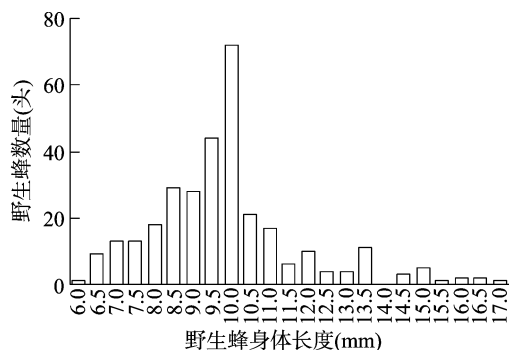


图7 野生蜂长度分布

## 4 结论

### 4.1 农田土地利用类型

调查区农田的土地利用类型主要分为油菜田、人工林、暂时休耕且基本无植被的休耕地、小麦田、以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境以及无植物覆盖的水域、道路、建筑物用地等的其他土地利用用地,共 6 大类。其中小麦在所有区域内种植比例最高,平均为 26.8%。人工林覆盖比例最小,平均为 5.2%。半自然生境覆盖比例平均为 18.8%,总体来说半自然生境比例较高,这与调查区域河流、沟渠等地形比较多样化有一定关系。

### 4.2 农田传粉昆虫群落结构

本研究调查的油菜主要的 3 类访花昆虫共 4 科 22 种,访花昆虫的种类和丰度都比较高。同一取样地点花期与非花期野生蜜蜂在数量和种类上有明显差异。意大利蜂、隧蜂最为常见,每个样地均有发现,其他种类野生蜜蜂偶有发现但数量都比较少。

花期的多样性指数、均匀度指数和丰富度指数的平均值均高于非花期,表明花期的传粉昆虫生物多样性高于非花期;同时花期的多样性指数、均匀度指数和丰富度指数与非花期呈不明显的负相关关系。

### 4.3 土地利用对传粉昆虫群落结构的影响

本研究表明,农田中油菜(开花作物)田是影响农田传粉昆虫群落结构的主要土地利用类型,其次是以荒地、田埂和沟渠为主的半自然生境。

## 参考文献:

- [1] Statistical databased of the food and agriculture otganization of the United Nations [EB/OL]. [2017 - 05 - 30]. <http://faostat.fao.org>.
- [2] Gregory R D, Noble D G, Custance J. The state of play of farmland birds: population trends and conservation status of lowland farmland birds in the United Kingdom[J]. Ibis, 2010, 146(2): 1 - 13.
- [3] Gabriel D, Roschewitz I, Tschamtk T, et al. Beta diversity at different spatial scales: plant communities in organic and conventional agriculture[J]. Ecological applications, 2006, 16(5): 2011 - 2021.
- [4] Henle K, Alard D, Clitherow J, et al. Identifying and managing the conflicts between agriculture and biodiversity conservation in Europe—a review[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 124(1/2): 60 - 71.
- [5] Stoate C, Boatman N D, Borralho R J, et al. Ecological impacts of

- arable intensification in Europe [J]. Journal of Environmental Management, 2001, 63(4): 337 - 365.
- [6] Tilman D, Cassman K G, Matson P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices [J]. Nature, 2002, 418(6898): 671 - 677.
- [7] Meehan T D, Werling B P, Landis D A, et al. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(28): 11500 - 11505.
- [8] Kearns C A, Inouye D W, Waser N M. Endangered mutualisms: the conservation of plant - pollinator interactions [J]. Annual review of ecology and systematics, 1998, 29(1): 83 - 112.
- [9] Ashman T L, Knight T M, Steets J A, et al. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences [J]. Ecology, 2004, 85(9): 2408 - 2421.
- [10] 安建东, 吴杰, 彭文君, 等. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂在温室桃园的访花行为和传粉生态学比较 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1071 - 1076.
- [11] Potts S G, Biesmeijer J C, Kremen C, et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2010, 25(6): 345 - 353.
- [12] Eardley C D, Gikungu M, Schwarz M P. Bee conservation in Sub-Saharan Africa and Madagascar: diversity, status and threats [J]. Apidologie, 2009, 40(3): 355 - 366.
- [13] Hoehn P, Tschamtk T, Tylanakis J M, et al. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield [J]. Proceedings Biological Sciences, 2008, 275(1648): 2283 - 2291.
- [14] 于同雷, 李玉杰, 郭延蜀. 南充秋季农田景观中无脊椎动物的生物多样性初步研究 [J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2007, 28(2): 185 - 190.
- [15] 张保华, 谷艳芳, 丁圣彦, 等. 农业景观格局演变及其生态效应研究进展 [J]. 地理科学进展, 2007, 26(1): 114 - 122.
- [16] 许华. 近 70 年来黄泛区农业景观生态系统动态研究 [D]. 郑州: 河南大学, 2008.
- [17] 陈欣, 王兆骞, 唐建军. 农业生态系统杂草多样性保持的生态学功能 [J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 50 - 52.
- [18] 刘云慧, 张鑫, 张旭珠, 等. 生态农业景观与生物多样性保护及生态服务维持 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7): 819 - 824.
- [19] Gathmann A, Tschamtk T. Foraging ranges of solitary bees [J]. Journal of Animal Ecology, 2010, 71(5): 757 - 764.
- [20] Steffan - Dewenter I, Münzenberg U, Bürger C, et al. Scale - dependent effects of landscape context on three pollinator guilds [J]. Ecology, 2002, 83(5): 1421 - 1432.
- [21] Steffandewenter I, Tschamtk T. Early succession of butterfly and plant communities on set - aside fields [J]. Oecologia, 1997, 109(2): 294 - 302.
- [22] 陈飞鹏, 暨淑仪, 汪殷蓓, 等. 海南南红稻田杂草群落物种多样性指数的测定及评价 [J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(5): 438 - 441.
- [23] Garibaldi L A, Aizen M A, Klein A M, et al. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(14): 5909 - 5914.
- [24] 季荣, 谢宝瑜, 杨冠煌, 等. 从有意引入到外来入侵——以意

李汉广,周秋香,李志敏,等. 丙酮丁醇梭菌 ART18 发酵葛渣水解液生产丁醇的研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):302-305.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.074

# 丙酮丁醇梭菌 ART18 发酵葛渣水解液生产丁醇的研究

李汉广<sup>1</sup>, 周秋香<sup>2</sup>, 李志敏<sup>1</sup>, 吴雅晴<sup>1</sup>, 马星星<sup>1</sup>, 张庆华<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学生物科学与工程学院/江西农业微生物资源开发与利用工程实验室/江西省菌物资源保护与利用重点实验室,江西南昌 330045; 2. 江西农业大学医院,江西南昌 330045)

**摘要:**为降低传统丙酮丁醇发酵成本,以葛渣为原料进行丙酮丁醇发酵。通过研究葛渣经酸水解后残渣的有无、发酵温度、pH 值调节剂的种类和含量以及活性炭的添加量等对发酵的影响,以期提高丁醇的生产强度。试验结果表明,通过对上述试验条件进行优化,丁醇及总溶剂产量均有较大提高,且最优的发酵温度、pH 值调节剂含量及活性炭添加量分别为 37 ℃、4.0 g/L 和 3%,在最优条件下丁醇、总溶剂产量分别为 7.50、12.98 g/L。当将上述试验结果在 5 L 发酵罐进行放大培养时,丁醇产量、丁醇生产强度、总溶剂的生产强度分别达到 7.30、0.08、0.13 g/(L·h)。

**关键词:**葛渣;丙酮丁醇梭菌;丙酮丁醇发酵;丁醇;生产强度;优化条件

**中图分类号:** TQ223.12<sup>+</sup>4;S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0302-04

在全球石油消耗量逐年增加和温室效应日趋严重的今天,当务之急便是寻找一种清洁、可再生的新型能源。丁醇具有燃烧值高、腐蚀性小、疏水性强、挥发性低以及可与汽油以任意比例混合等优点,因此颇受关注且被认为是理想的第 2 代生物质能源<sup>[1-2]</sup>。目前进行丙醇(acetone)、丁醇(butanol)、乙醇(ethanol)发酵(简称丙酮丁醇发酵或 ABE 发酵)所用的微生物主要有丙酮丁醇梭菌(*Clostridium acetobutylicum*)、拜氏梭菌(*C. beijerinckii*)、糖乙酸多丁醇梭菌(*C. saccharoperbutylacetonicum*)和糖丁酸梭菌(*C. saccharobutylicum*)等 4 种<sup>[3]</sup>,这 4 种生产菌均为杆状、产芽孢、具有运动特性的典型厌氧菌。丙酮丁醇产生菌的代谢过

程可分为产酸阶段和产溶剂阶段,在产酸阶段,菌体迅速生长,产生大量的气体(H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub>),同时乙酸、丁酸等有机酸大量积累,因此此时发酵液的 pH 值急剧下降;当发酵液的 pH 值下降到一定值时,丁醇及其他有机溶剂逐渐产生,ABE 发酵过程进入到产溶剂阶段,乙酸和丁酸逐渐被消耗,发酵液 pH 值逐渐回升。有研究表明,当发酵液中的丁酸浓度超过 2.0 g/L 时,将导致相转型的发生,使丁酸重新被利用,发酵由此进入产溶剂阶段<sup>[4]</sup>。

传统的 ABE 发酵主要以玉米粉等粮食作物为发酵原料,这不仅导致传统的 ABE 发酵生产成本过高,还给原本早已匮乏的粮食资源造成沉重负担。于是,利用廉价且来源广泛的生物作物作为原料进行丁醇等溶剂的生产成为各国科研工作者研究的热点<sup>[5]</sup>。

葛根别称葛条、甘葛,为豆科葛属,有透疹、解肌退热、生津止渴、升阳止泻的功效。常用于表证发热、脾虚泄泻、项背强痛、热病口渴、麻疹不透、阴虚消渴、热泻热痢等症状。中国大部地区均有产,且主要分布在辽宁、江西、湖南、甘肃等地。

葛渣中含有丰富的纤维素、半纤维素等,是葛根提取葛根总黄酮、葛根精粉等有效成分后所产生的副产物<sup>[6]</sup>。但由于粗纤维含量高,因此大部分被弃置,造成了资源浪费。若以葛

收稿日期:2017-09-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:21466014);江西省教育厅科学研究项目(编号:GJJ160388);江西农业大学博士启动基金(编号:9232305387);江西农业大学学生创新创业计划(编号:201710410069,201810410015)。

作者简介:李汉广(1978—),男,江西九江人,博士,副教授,主要从事微生物资源开发利用研究。E-mail:lhg7886@sohu.com。

通信作者:张庆华,博士,副教授,主要从事微生物资源开发利用研究。E-mail:zqh\_net@163.com。

大利蜜蜂 *Apis mellifera* L. 为例[J]. 生态学杂志,2003,22(5):70-73.

[25] Ockinger E, Smith H G. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes[J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 44(1):50-59.

[26] Nicholls C I, Altieri M A. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems: a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(2):257-274.

[27] Carvalheiro L G, Veldtman R. Creating patches of native flowers facilitates crop pollination in large agricultural fields; mango as a case study[J]. Journal of Applied Ecology, 2012, 49(6):1373-1383.

[28] Tscheulin T, Neokosmidis L, Petanidou T, et al. Influence of

landscape context on the abundance and diversity of bees in Mediterranean olive groves[J]. Bulletin of Entomological Research, 2011, 101(5):557-564.

[29] Rollin O, Bretagnolle V, Decourtye A, et al. Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2013, 179(4):78-86.

[30] de Marco Jr, Coelho F M. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production[J]. Biodiversity and Conservation, 2004, 13(7):1245-1255.

[31] Ricketts T H, Regetz J, Steffandewenter I, et al. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? [J]. Ecology Letters, 2008, 11(5):499-515.