

福建明溪山区耕地烟稻轮作对鸟类群落组成的影响

邓博文^a, 陈莹^{a,b}, 孟凡因^a, 周安强^a

(福建农林大学 a.林学院;b.菌草与生态学院,福州 350002)

摘要:轮作模式是农田集约化中最常见的一种农田经营方式,研究烟稻轮作对鸟类群落结构及多样性的影响,探讨不同耕作阶段下鸟类群落组成变化特征,能更好地了解轮作模式对鸟类群落的潜在影响,为保护农田生态系统中鸟类群落多样性提供科学依据.研究于2021年12月至2022年12月期间,选择福建省明溪县中溪村及周边村落为研究区域,采用样线法对5种耕作阶段的鸟类群落进行研究.结果发现:本次调查鸟类总个体数量为6712只,包含12目37科80种,以雀形目为主.水稻成熟期鸟类多样性指数、优势度及均匀度指数最高,烟叶成熟期最低;鸟类群落组成在不同耕作阶段受到水稻和烟叶的显著影响,同时人为干扰对每个耕作阶段鸟类群落组成均有显著影响.植食性鸟类在烟叶生长期与烟叶面积呈显著负相关,而在水稻生长和成熟期,则与水稻面积呈显著正相关.各环境因子对鸟类群落构成具有显著性影响,水稻种植阶段农田鸟类的丰富度和多样性提高,而烟叶成熟期鸟类丰度大幅下降.

关键词:鸟类群落;轮作模式;季节更替;多样性

中图分类号:Q958.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2026)01-0121-08

农田是世界上重要的生态系统,守护了生物多样性,但由于人类活动频繁,农业呈现集约化趋势(劳动力与生产资料集中投入土地中,并采用相应技术增加产量的农业模式)^[1].这一趋势影响着农业措施改革,如作物轮作方式、景观组成改变、农药及化肥的使用等,也因此导致非作物栖息地的快速丧失和农田内动植物群落结构单一化^[2].在我国南方地区,由于山区耕地面积紧缺,无法满足农田和生态经济的高标准发展,常采用烟稻轮种经营模式(在生长季先种植烟草,收割后再种植水稻)^[3].该模式维持了水稻及烟叶高产量,有效解决了烟粮土地矛盾问题^[4].然而,烟稻轮作也导致农田休耕周期缩短、植被结构受到破坏^[5]、植食类动物群落栖息地遭受破坏^[6].新烟碱杀虫剂大量喷洒,土壤重金属累积加剧,土壤有害微生物数量增多,而节肢动物数量明显下降,群落稳定性及自我调节能力降低^[6].食物资源改变进而影响食物链发生变化,农田动物存活率与繁殖率下降,影响农田生物自然分布、行为节律等^[7],同时造成部分生物在生理、形态方面发生变异,严重影响农田生物多样性.因此,深入了解烟稻轮作模式对生物多样性的影响在全球范围内具有重要意义.

鸟类作为农田生态系统中的重要组成成分,因其分布广泛,其群落组成以及多样性指数变化一直被视为衡量农田生态系统质量的指标^[8].农田集约化对鸟类多样性及其群落组成产生何种影响是近几年农业生态学讨论的热门话题^[9].而轮作模式是农田集约化中最常见的一种农田经营方式,其周期性耕作和长期使用农用化学品导致鸟类食物资源匮乏,影响其觅食和繁殖.鸟类在农田的主要生境为非种植区(荒地、草丛等),植被结构复杂性不仅可提供隐秘栖息环境,还可提供丰富的食物资源^[10].但单一化作物耕作使得农田内栖息地

收稿日期:2024-01-20;**修回日期:**2024-03-12.

基金项目:明溪县林业局鸟类环志与迁徙研究项目(KH210257A);国家自然科学基金(31700345).

作者简介:邓博文(1999-),女,重庆人,福建农林大学硕士研究生,研究方向为农田鸟类群落保护研究,E-mail:943172775@qq.com.

通信作者:陈莹,E-mail:yeye0914@163.com.

引用本文:邓博文,陈莹,孟凡因,等.福建明溪山区耕地烟稻轮作对鸟类群落组成的影响[J].河南师范大学学报(自然科学版),2026,54(1):121-128.(Deng Bowen,Chen Ying,Meng Fannan,et al.Effects of tobacco-rice crop rotation on bird community composition in cultivated land in the mountainous area of Mingxi,Fujian,China[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2026,54(1):121-128.DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2024.01.20.0003.)

异质化程度降低,栖息地面积缩小,适应于特定作物类型的食性鸟类可能因此而被迫改变栖息场所,种间竞争加剧,降低物种间的生态相似性,鸟类群落过度分散,最终导致物种丰富度、多样性下降和种群变化^[9].

福建省多为山地丘陵,地形环境复杂,具有较丰富的生物多样性资源,是东亚-澳大利西亚鸟类迁徙主干线的重要停歇中转站.随着农田集约化的增强和烟稻轮作的模式推广,农田植被覆盖面积下降,农业生态系统质量、结构有所衰退^[11].鉴于此,以三明市明溪县中溪村及周边村落为研究区域,于 2021 年 12 月至 2022 年 12 月对农田鸟类进行数量监测,对鸟类个体数量、物种数目及觅食偏好、栖位偏好进行分析,了解鸟类群落是如何利用不同耕作阶段的农业景观,探究烟稻轮作模式不同耕作阶段对鸟类群落组成的影响,为烟稻模式转化环境友好型提供科学理论依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域隶属福建省明溪县(29°33′39.81″N-26°29′36.98″N,116°55′53.15″E-117°03′24.62″E),位于福建省西北部.属于亚热带海洋性季风气候,温度适宜,年平均气温为 18℃,年平均降雨量达到 1 800 mm.地势以山地为主,耕地资源相对稀缺、零散分布,地域间差异性较大.耕地有水田、水浇地及旱地 3 种类型.中溪村及周边村落因良好的自然环境,是明溪县主要烟稻种植区,水稻在秋季(7 至 12 月)种植,烟叶则在冬季(12 月至次年 1 月)播种、于夏季(5 至 6 月)收获.多样的农田布局,营造了适宜鸟类的生存环境.明溪县作为我国生物多样性最为丰富的县份之一^[12],生态系统的多样性赋予其丰富的生物资源.该地区已监测到野生鸟类约 316 种,占全省的 60%,分布国家Ⅰ级保护鸟类,如黄腹角雉(*Tragopan caboti*)、白颈长尾雉(*Lophura nycthemera*)等 4 种,国家Ⅱ级保护,如勺鸡(*Pucrasia macrolopha*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)等 34 种.

1.2 鸟类监测

根据研究区域农田耕地状况,结合谷歌卫星影像进行样线布置(图 1),共布设 22 条样线,总计长度为 13.04 km.于 2021 年 12 月至 2021 年 12 月在不同耕作阶段(T-1:烟播种-1 月;T-5:烟生长-5 月;T-7:烟成熟-7 月;P-10:稻生长-10 月;P-12:稻成熟-12 月),划分依据见附录表 S1.采用样线法对鸟类进行 5 次调查,样线内每隔 200 m 设置一个观测点,共计 81 个观测样点,每个样点停留 5 min,记录下样线两侧 50 m 范围内出现的鸟类种类、数量、行为及所在生境.监测时间夏季为 05:30 至 09:30 和 15:30 至 18:30;冬季为 06:30 至 10:30 和 15:00 至 18:00 进行,每次安排 2~3 人调查.当鸟类集群数量较少时,采用直接计数法记录鸟类种类与数量,当鸟类集群数量较多时,采用集团统计法进行估计,同时,监测样线上空盘旋觅食的鸟类(如家燕(*Hirundo rustica*)),对飞行途经的鸟类都不予记录.鸟类分类参考《中国鸟类分类与分布名录》(第四版)^[13].

1.3 鸟类觅食功能团和栖位划分依据

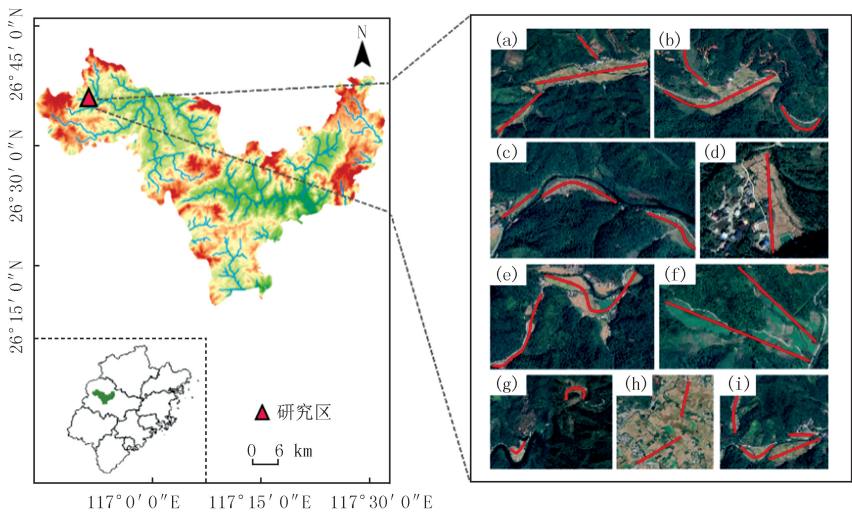
观测过程中,记录鸟类的行为以及所处的位置.行为类型主要包括(1)觅食行为:鸟类有明显啄食、吞咽等活动,具体表现为鸟类用喙不停找食或将喙直接插入土中;(2)栖息行为:鸟类单脚站立,将头偏向一侧并埋于翅下或者警戒、理羽等其他动作.鸟类所处的位置包括:地面、草丛、灌木、乔木、稻田、烟田.

根据食性选择和觅食方式,鸟类可划分为 4 种觅食功能团:(1)食虫性(G1):啄食昆虫的比例高于食物组成 60%的鸟类;(2)植食性(G2):啄取植物种子;(3)肉食性(G3):以肉食为主,兼食动物腐尸等;(4)杂食性(G4):啄取植物、动物、昆虫等多种食物^[14].

1.4 数据统计分析

采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')、Simpson 多样性指数(C')、种群密度(D')计算鸟类群落的多样性、均匀度和密度^[15].利用单因素方差分析(One-Way ANOVA)以及 Tukey 事后成对比较不同耕作阶段鸟类个体数量及物种数目的差异性.统计分析在 SPSS.26 和 Origin 2022 中进行,概率设置为 $p<0.05$.同时采用非度量多维排序方法(NMDS)^[16],基于 Bray-Curtis 距离,结合不同耕作阶段鸟类个体数量多度数据矩阵(每条样线鸟类数量除以每条样线长度),构建 NMDS 图以分析不同耕作阶段间鸟

类群落组成差异.得出应力值:应力值<0.05 为理想;0.05≤应力值<0.15 为比较理想;0.15≤应力值<0.2 为可用.统计分析在 R 4.2.3 的 vegan 软件包中进行.



注:红线为样线轨迹, 图片来自谷歌卫星影像.

图1 研究区样线示意图

Fig.1 Study area transect diagrams

为进一步对烟稻轮作模式下鸟类群落的响应特征进行研究,根据研究区域实际农耕情况(主要作物、居民点位于农田附近以及大部分田缘与森林接壤),选定以下 4 项指标作为影响农田鸟类群落的潜在环境因子.(1)农田作物面积占比:使用谷歌地图地理图像预先了解样线区域内不同土地利用类型的覆盖情况,在实际调查中验证,每 200 m 设置 1 个点位,计算半径为 100 m 内的农田作物面积比例.(2)农田边缘一重山树种占比:使用谷歌地图预先了解样线区域内森林覆盖率,在实际调查中验证,每两百米设置一个点位,计算农田边缘第一重山树种占比度.(3)居民区面积占比:使用谷歌地图地理图像计算每条样线区域内居民区面积占该条样线区域面积的比例.(4)人为干扰强度:根据干扰特点和实地调查,采用变化表衡量人类农业实践活动、来往车辆等人为干扰水平.(附录表 S2).基于以上数据,建立 3 个矩阵(鸟类个体数量×潜在环境因子、鸟类觅食功能团×潜在环境因子、鸟类栖位个体数量×潜在环境因子),利用 Canoco 5.0 排序软件中使用冗余分析(RDA)对鸟类与各环境因子之间的关系进行分析,以揭示影响鸟类群落组成变化的关键因子.

2 结果与分析

2.1 不同耕作阶段鸟类群落的组成变化

通过对研究区域内 22 条样线的全年监测,共记录到鸟类 12 目 37 科 80 种(详见附录表 S3),共计 6 712 只.5 个耕作阶段中,鸟类物种数目与个体数量的变化趋势大致相同.水稻成熟时期记录到鸟类种类数目最多($n=52$ 种),较烟叶成熟期鸟类种类高出 73%.

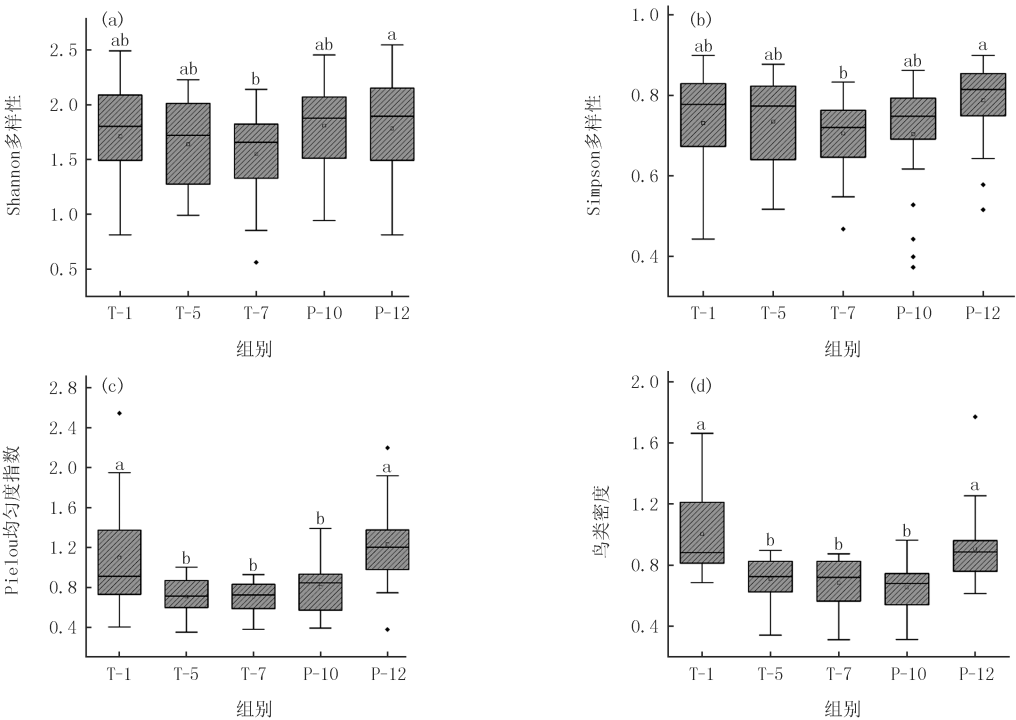
鸟类群落的居留型分析显示(附录图 S1),留鸟是不同耕作阶段中最为显著的组成部分,全年记录留鸟占总物种数目的 78.7%,尤其在烟叶生长期和烟叶成熟期的占比最高,分别为 87.5%和 83.3%.冬候鸟在烟叶播种和水稻成熟时期物种数目一致,均为 14 种.夏候鸟物种数目较少,物种数目最高值仅为 5 种.区系组成分析显示上看,不同耕作阶段均以东洋界鸟类占绝对优势,古北界鸟类与广布种鸟类占比随耕作阶段而发生变化.鸟类群落觅食功能团分析显示,杂食性鸟类在各个耕作阶段都占据主导地位,超过 50%.在烟叶播种期,杂食鸟类的个体数量约为最低食性数的 8 倍;食虫鸟在烟叶成熟期物种数目和个体数均最低,为 6 种、181 只.

2.2 不同耕作阶段下鸟类群落的多样性差异性

通过单因素方差及 Tukey 事后检验(附录图 S2),显示烟稻轮作对鸟类群落结构组成产生影响.烟叶播种期和水稻成熟期的鸟类个体数目、鸟类物种数目与其他 3 个耕作阶段存在显著差异($p<0.05$).

对研究区域不同耕作阶段间鸟类多样性特征分析可知(附录表 S4),鸟类群落结构在不同耕作阶段 4 种

结构参数均呈现先降再增的趋势,在烟叶成熟期明显下降,而后上升.5 个耕种阶段中鸟类多样性指数、均匀度指数与鸟类密度均存在差异(图 2).*H* 指数与 *C* 指数最高的阶段均为水稻成熟期(3.13 ± 0.509 、 0.98 ± 0.136),最低值在烟叶成熟期(2.48 ± 0.419 、 0.79 ± 0.143),两者均有显著差异($p < 0.05$).*J* 指数与鸟类密度在烟叶播种和水稻成熟期与其他 3 个阶段具有显著差异($p < 0.05$).



注: 箱形图上方不同小写字母表示差异显著, 相同小写字母表示通过Tukey两两比较检验计算出彼此之间无显著差异.

图2 不同耕作阶段鸟类群落多样性指数差异

Fig.2 Differences in bird community diversity index at different tillage stages

利用 NMDS 分析对不同耕作阶段鸟类个体数量、觅食功能团进行排序.由图 3(a)可知,鸟类群落在烟叶播种期和水稻成熟期相近,与其他耕作阶段距离较大,说明这 2 个耕作阶段鸟类群落结构与其他阶段的群落差异性最大,与单因素方差分析结果一致(附录图 S2).烟叶成熟期与水稻生长期鸟类群落重叠较多,群落结构较为相似.觅食功能团结果显示,烟叶播种、水稻生长与水稻成熟期的鸟类觅食功能团较为聚集(图 3 (b)),说明这 3 个阶段能为鸟类提供相似的食物资源.综上可知,不同耕作阶段鸟类群落与觅食功能团组成的相似性受到食物资源的影响.

2.3 影响农田鸟类群落组成的因素

通过对鸟类群落构成影响的环境因子进行 RDA 排序,得到 11 个环境因子与鸟类物种组成形成的相关关系.结果显示,不同环境因子随耕作阶段变化而对鸟类群落组成起关键作用,尤其是人为干扰与其显著相关.在 5 个耕作阶段中,第一排序轴解释了鸟类物种组成约 24.20%,与环境因子之间的相关系数约为 0.904;第二排序轴继续解释了鸟类物种构成的约 18.28%,与环境因子之间的相关系数约为 0.917(附录表 S5).人为干扰在 5 个阶段均对鸟类组成产生显著影响,尤其是在烟叶播种期和烟叶成熟期表现得极为显著(附录表 S6).烟叶农田占比在烟叶生长期与鸟类物种组成有显著负相关,而水稻农田占比则在该时期对鸟类物种组成呈显著正相关;同时荒地在水稻生长期对鸟类物种组成呈极显著影响(附录表 S6).

不同耕作阶段,鸟类觅食偏好受到烟叶与水稻面积占比等环境因子的显著影响(图 4).在烟叶生长期,植食鸟类受到阔叶林组成与烟叶面积占比的影响($p < 0.050$; $p < 0.05$),而在水稻生长期、水稻成熟期两个时期,水稻面积占比与其呈正相关($p < 0.05$),其次是杉木林和竹林;其他作物种植面积和人为干扰程度($p < 0.01$; $p < 0.05$)则是对该觅食集团产生负面影响.对于食虫鸟类和杂食性鸟而言,其他作物面积占比在水稻生长期与其有相关性,其次是荒地面积与马尾松;烟叶面积占比在烟叶生长期、水稻成熟期对其呈负面影响.

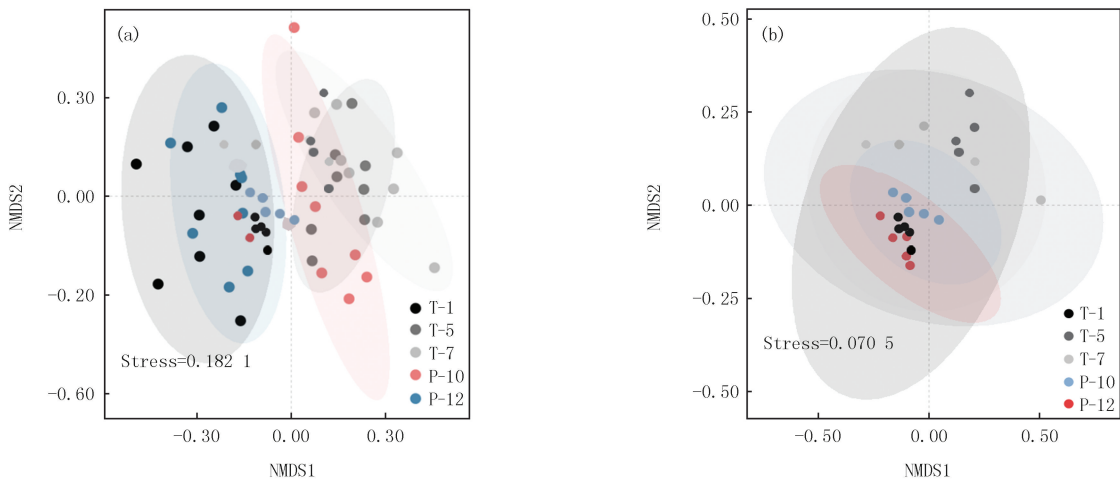
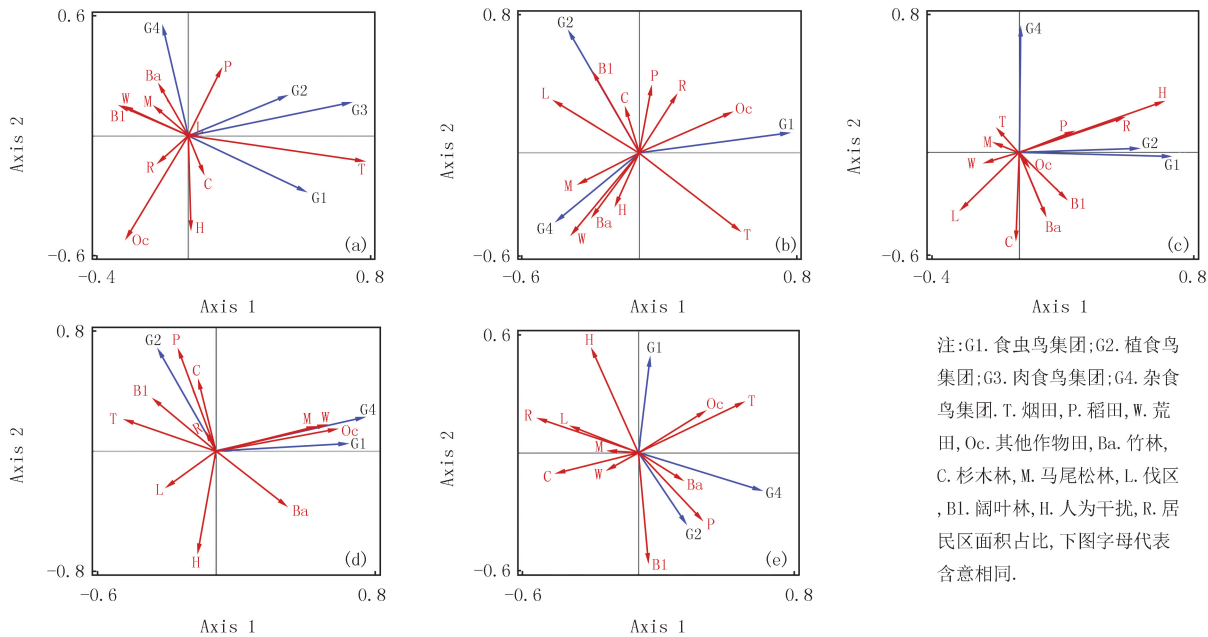


图3 不同耕作阶段鸟类群落非度量多维比较

Fig.3 Non-metric multidimensional comparison of bird communities at different tillage stages



(a) 烟叶播种期; (b) 烟叶生长期; (c) 烟叶成熟期; (d) 水稻生长期; (e) 水稻成熟期。

图4 烟稻轮作下各觅食偏好鸟类与环境因子的RDA排序图

Fig.4 RDA ranking diagram of birds and environmental factors with foraging preference under tobacco rice rotation

烟叶和水稻在不同耕作阶段为鸟类提供多样的庇护生境,供其选择(图 5)。水稻面积占比在烟叶播种和水稻成熟两个时期对 S80(灰头鸫 *Emberiza spodocephala*)等冬候鸟栖息偏好有显著影响($p<0.05$),并为之呈正相关;而人为干扰与烟叶面积占比对其产生负面效应。烟叶面积占比在烟叶成熟期对大多数鸟类选择栖息地产生负面影响($p<0.05$),居民点面积占比与人为干扰则在该时期对家燕等夏候鸟有积极影响。

3 讨 论

3.1 烟稻轮作下鸟类群落组成对不同耕作阶段的响应

自然界中,鸟类群落组成往往会受到农田生境的影响,其主要体现在农田作物是鸟类主要的食物来源之一,而不同轮作阶段中农田作物具有明显的季节性变化,这使得农田景观中鸟类物种分化明显,多样性较高^[17]。本研究中,从烟叶播种期到水稻成熟期,整个调查区域内农田鸟类数量及物种数目呈现先降后增的趋势,优势鸟类个体数量主要集中于少量种类(斑鸠科、椋鸟科、文鸟科、鹎科及鹊鸂科),这些物种以杂食性和

植食性为主.这可能是因为农田周边植被受耕作阶段交替影响较小,可持续性提供植物类食物资源.

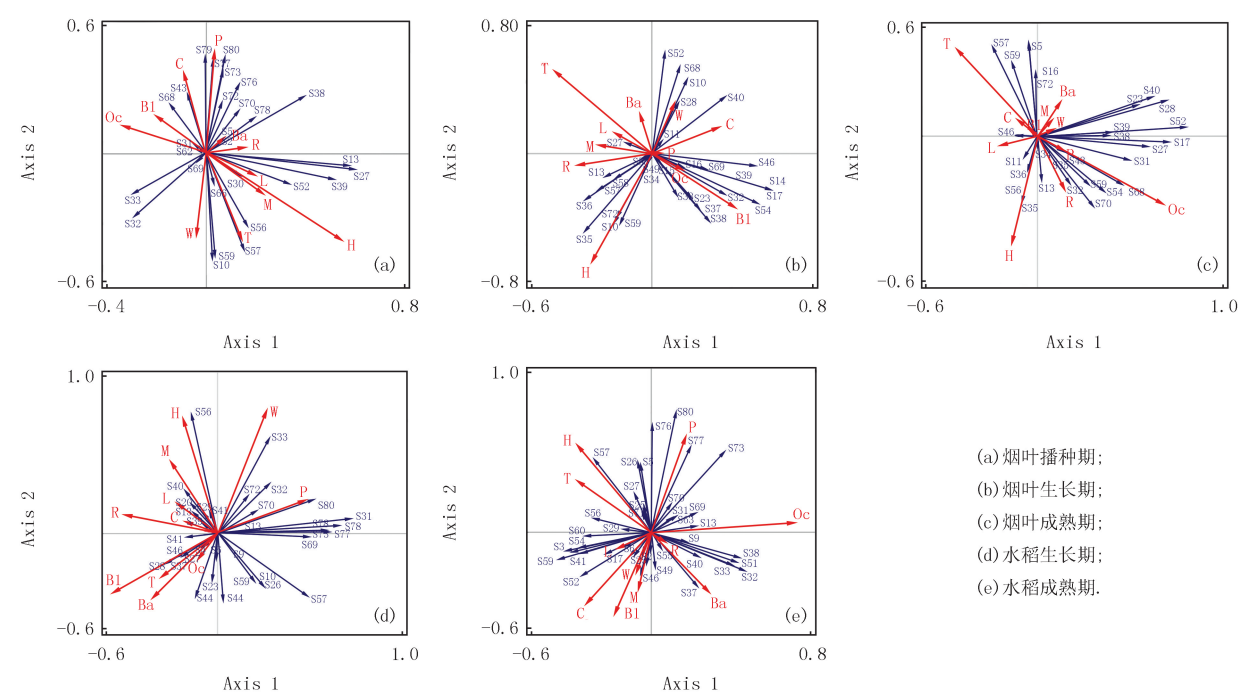


图5 烟稻轮作下栖位偏好鸟类与环境因子的RDA排序图

Fig.5 RDA ranking diagram of birds and environmental factors with foraging preference under tobacco rice rotation

不同时期鸟类多样性可能受到鸟类迁徙影响,本次调查过程中不同耕作阶段各多样性指数差异达到显著水平,这可能是由于各阶段虽以留鸟种类居多,占总鸟种数的74%,但迁徙鸟的迁入迁出频率较多,使得鸟类群落组成也有显著差异性.鸟类物种变化与农田生境耕作变化具有显著相关性,当农田作物组成在不同耕作时期表现出明显差异时,鸟类群落组成差异性往往越大^[18].这也表明了鸟类在同一区域内的觅食和栖息行为会受到多种环境因子共同作用,从而影响鸟类群落组成^[17].本研究中鸟类群落指数、物种数目及个体数量的较大值均出现在水稻成熟与烟叶播种阶段.以往的研究表明冬季农田鸟类多样性较高^[19],这也与本研究结果相似,可能因为冬季稻田排水作物成熟,收割作物后使得田间谷物残留,植食性和杂食性鸟类食物资源丰富度提高,满足迁徙鸟类进行能量补充的需求,因此迁徙鸟类会将农业用地当作其中途停歇点.此外,在监测过程中还发现,如灰头鹀、树鹀(*Anthus hodgsoni*)等雀形目常采用混群的策略过冬,鸟类群落种类和个体数量丰富,这也是冬季农田鸟类多样性增加的原因之一.

3.2 烟稻轮作下鸟类群落组成的影响因素分析

明溪县农田鸟类群落结构是由于烟稻轮作模式以及随耕作时期变化而导致的.结果表明,草丛、水稻及收割后裸地的物种多样性更高,猜测草本植物的存在及水稻的种植对提高物种多样性有显著作用,可为植食性、食谷性及杂食性鸟类提供更多元化资源.尤其是大多雀形目鸟类,其表现出较高的环境适应性与广泛的食性^[20].乔木和人为建筑对鸟类栖息地选择影响显著,尤其是一些特定物种,如家燕(*Hirundo rustica*)、领雀嘴鹀(*Spizixos semitorques*).人工林与农田混合形成马赛克式农业,使得鸟类拥有多元栖息地选择.不仅如此,附近的林缘也是影响农田生物多样性水平的因素之一,如白鹇、鸳鸯等国家二级保护动物常在农田进行觅食^[21],这是因为农田为其提供觅食机会,而农田边缘附近茂密的植被便于其快速隐藏.因此,农业景观内或周边完整的森林或森林斑块有助于维持某些鸟类物种生存.作物随耕作时期变化及农耕活动频繁也会影响鸟类对栖息地的选择与利用,不同觅食偏好和生活习性也对鸟类与环境因子的关系产生影响.在栖位排序图中,黑领椋鸟(*Sturnus nigricollis*)与八哥(*Acridotheres cristatellus*)表现出相近的栖息地偏好,受人为干扰影响也较小;而灰头鹀(*Emberiza spodocephala*)等鹀科类呈现集群生活的冬候鸟,更偏好水稻茬和周边植物,便于其觅食和栖息.水稻田及周边其他作物水域形成的生境同样可以为大部分鸟类提供良好的栖息

环境^[22].由此可见,农田生境通过影响鸟类觅食栖息资源选择,进而对鸟类群落组成产生影响.因此,在分析农业景观中的农田鸟类群落结构时,须考虑农田作物不同耕作时期变化.

综上,福建山区农田景观为不同的鸟类群落提供了合适的栖息地.烟稻轮作模式下不同时期的作物类型是形成农田鸟类及其各种功能群组合的基本因素.在研究中发现,周边的林缘、农田中斑块等植被结构层次丰富的生境可以增加鸟类物种丰富度.但同时也发现,烟叶种植面积广泛使得鸟类在繁殖季的可获得食物资源减少.为提高农田鸟类群落丰富度,鸣溪湿地公园应建立生态监测站,及时掌握候鸟类群迁徙信息,开展农田鸟类种类和数量监测的日常工作.在大力农田集约化的同时,强调生态种植,营造农田鸟类适宜生境.对于农田鸟类保护优先,在农田管理时以生态效益为主导,确保有效农田面积供鸟类使用,并进一步加大对农业实践、农药使用等方面的管理,为鸟类及其栖息地的保护提供科学依据.

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2024.01.20.0003).

参 考 文 献

[1] NEWBOLD T, HUDSON L N, HILL S L L, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity[J]. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50.

[2] CUNNINGHAM S A, ATTWOOD S J, BAWA K S, et al. To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 173: 20-27.

[3] CHEN T, HU R W, ZHENG Z Y, et al. Soil bacterial community in the multiple cropping system increased grain yield within 40 cultivation years[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 804527.

[4] 辜尊荣, 谢金水, 申昌优, 等. 赣南单季稻区烟稻轮作的生态环境及其配套技术研究[J]. *中国烟草科学*, 2000, 21(3): 33-36.

[5] GU Z R, XIE J S, SHEN C Y, et al. Study on ecological environment and supporting techniques of tobacco-rice rotation in single cropping rice area of southern Jiangxi Province[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2000, 21(3): 33-36.

[6] GANGULY K, LEVÄNEN B, PALMBERG L, et al. Cadmium in tobacco smokers: a neglected link to lung disease[J]. *European Respiratory Review*, 2018, 27(147): 170122.

[7] 巫厚长, 邹运鼎, 程週年. 不同烟草品种烟田捕食性节肢动物群落的结构和动态研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 637-640.

[8] WU H C, ZOU Y D, CHENG X N. Community structure and its dynamics of predatory arthropod in different tobacco varieties fields[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 637-640.

[9] CABODEVILLA X, ESTRADA A, MOUGEOT F, et al. Farmland composition and farming practices explain spatio-temporal variations in red-legged partridge density in central Spain[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 799: 149406.

[10] CARRASCAL L M, CAYUELA L, PALOMINO D, et al. What species-specific traits make a bird a better surrogate of native species richness A test with insular avifauna[J]. *Biological Conservation*, 2012, 152: 204-211.

[11] MONCK-WHIPPLE L, MARTIN A E, FRANCIS C M, et al. Farmland heterogeneity benefits bats in agricultural landscapes[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 253: 131-139.

[12] MAEDA T. Patterns of bird abundance and habitat use in rice fields of the Kanto Plain, central Japan[J]. *Ecological Research*, 2001, 16(3): 569-585.

[13] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5): 843-850.

[14] ZHANG T L, LI Z P, WANG X X. Soil degradation and its eco-environmental impact under highly-intensified agriculture[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 843-850.

[15] 范兆峰. 三明市现代烟草农业集约化经营 SWOT 分析[J]. *台湾农业探索*, 2013(2): 53-57.

[16] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2023.

[17] 殷鲁秦, 王成, 韩文静. 基于取食行为探究北京居民区鸟类的食源特征及多样性[J]. *生物多样性*, 2023, 31(5): 37-50.

[18] YIN L Q, WANG C, HAN W J. Food source characteristics and diversity of birds based on feeding behavior in residential areas of Beijing[J]. *Biodiversity Science*, 2023, 31(5): 37-50.

[19] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下)[J]. *生物多样性*, 1994, 2(4): 231-239.

[20] MINCHIN P R. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination[J]. *Vegetatio*, 1987, 69(1): 89-107.

[21] LEE A T. Why birds matter: avian ecological function and ecosystem services[J]. *Ostrich*, 2018, 89(2): 203-204.

[22] BASELGA A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(1): 134-143.

[23] REDHEAD J W, HINSLEY S A, BECKMANN B C, et al. Effects of agri-environmental habitat provision on winter and breeding season abundance of farmland birds[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 251: 114-123.

[20] JOSEFSSON J,BERGÅ,HIRON M,et al.Sensitivity of the farmland bird community to crop diversification in Sweden:does the CAP fit [J].Journal of Applied Ecology,2017,54(2):518-526.

[21] 康祖杰,贺春容,康艺馨,等.湖南夹山国家森林公园鸟类群落结构与物种多样性研究[J].林业调查规划,2021,46(3):184-190.

KANG Z J,HE C R,KANG Y X,et al.Avian community structure and species diversity in Jiashan national forest park of Hunan Province [J].Forest Inventory and Planning,2021,46(3):184-190.

[22] 石秀雄,杨广斌,李亦秋,等.基于国家公园体制的贵州自然保护地资源整合及体系转换研究[J].河南农业大学学报,2021,55(3):504-513.

SHI X X,YANG G B,LI Y Q,et al.Research on resource integration and system transformation of natural protected area based on National Park system:a case study of Guizhou Province[J].Journal of Henan Agricultural University,2021,55(3):504-513.

Effects of tobacco-rice crop rotation on bird community composition in cultivated land in the mountainous area of Mingxi, Fujian, China

Deng Bowen^a, Chen Ying^{a,b}, Meng Fannan^a, Zhou Anqiang^a

(a. Forestry College; b. College of JunCao Science and Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The rotation model is the most common form of farmland management in intensive farming. Studying the impact of tobacco-rice rotation on the structure and diversity of bird communities and exploring the characteristics of changes in bird community composition at different farming stages can better understand the potential impact of rotation models on bird communities and provide a scientific basis for protecting the diversity of bird communities in farmland ecosystems. The research was conducted from December 2021 to December 2022, selecting Zhongxi Village and surrounding villages in Mingxi County, Fujian Province as the research area, and using the transect method to study the bird communities at five farming stages. The results showed that the total number of birds surveyed was 6 712, including 80 species from 37 families of 12 orders, with passeriformes being the dominant order. The diversity index, dominance index, and evenness index of the bird community were the highest during the rice maturity stage and the lowest during the tobacco maturity stage. The composition of the bird community was significantly affected by rice and tobacco at different farming stages, and human disturbance had a significant impact on the composition of the bird community at each farming stage. The abundance of herbivorous birds was significantly negatively correlated with the area of tobacco during the tobacco growth stage, while it was significantly positively correlated with the area of rice during the rice growth and maturity stages. Each environmental factor had a significant impact on the composition of the bird community. The richness and diversity of farmland birds increased during the rice planting stage, while the abundance of birds decreased significantly during the tobacco maturity stage.

Keywords: bird community; crop rotation pattern; seasonal alternation; diversity

[责任编辑 刘洋 赵晓华]

附 录

表 S1 不同农田耕作阶段划分
Tab. S1 Classification of different farmland cultivation stages

阶段划分		划分依据	农田基质情况
烟叶播种期	T-1	每条样线内农田烟叶种植覆盖率为 90％以上.	旱田
烟叶生长期	T-5	每条样线内农田烟叶种植覆盖率为 90％以上.	旱田
烟叶成熟期	T-7	每条样线内农田烟叶种植覆盖率为 85％以上,小部分田块已整地、蓄水或植入水稻苗.	旱田、部分水田
水稻生长期	P-10	每条样线内农田水稻种植覆盖率为 90％以上.	半水生农田
水稻成熟期	P-12	每条样线内农田水稻种植覆盖率为 85％以上,小部分田块已整地或培育烟苗.	旱田

表 S2 潜在环境因子参数表
Tab. S2 Potential environmental factor parameters

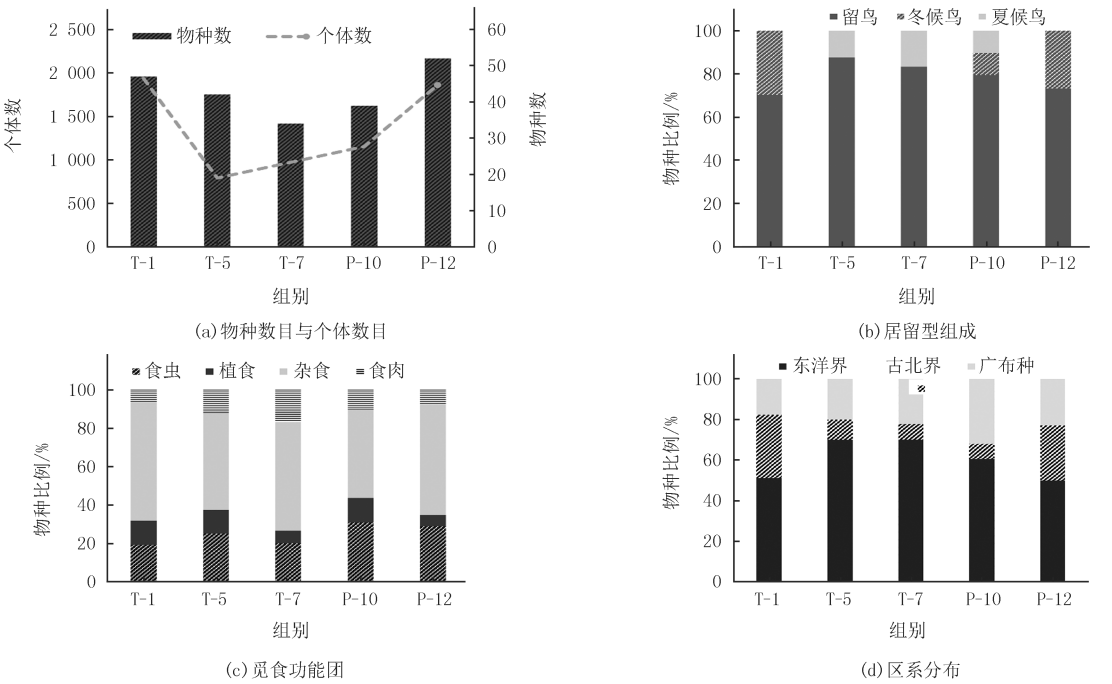
指标	类型	含义
作物面积占比	烟叶	烟叶种植面积在 100 m 范围内占比
	水稻	水稻种植面积在 100 m 范围内占比
	荒地	无农耕活动痕迹农田在 100 m 范围内占比
	其他作物	如玉米等其他作物在 100 m 范围内占比
树种占比	杉木	杉木在第一重山的树种占比
	竹林	竹林在第一重山的树种占比
	阔叶树	阔叶树种在第一重山的树种占比
	马尾松	马尾松在第一重山的树种占比
	伐木区域	伐木区在第一重山的树种占比
人为干扰	1 级	无人活动;家禽数量≤5 只
	2 级	从事日常活动人数≤5 人;家禽数量≤10 只;狗数量≤2 只
	3 级	从事农业活动人数≤10 人;来往车流量≤5 辆
	4 级	从事农业活动人数≤20 人;来往车流量≤10 辆
	5 级	从事机械农业活动人数≤20 人;狗数量≤5 只;来往流量≤15 辆

表 S3 明溪山区烟稻轮作田中鸟类物种名录											
Tab. S3 Bird species in tobacco and rice rotation fields in Mingxi Mountain area											
目	科	物种	耕作时间					保护 级别	IUCN 红色名 录等	居留 型	物种 序号
			T-1	T-5	T-7	P-10	P-12				
鸡形目 Galliformes	雉科 Phasianidae	鹌鹑 <i>Coturnix japonica</i>					□			R	S1
		灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracica</i>	□	□		□		II		R	S2
		白鹇 <i>Lophura nycthemera</i>				□		II		R	S3
		白颈长尾雉 <i>Syrnaticus ellioti</i>					□	I		R	S4
		环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i>	□	□				II		R	S5
雁形目 Anseriformes	鸭科 Anatidae	鸳鸯 <i>Aix galericulata</i>				□	□	II		W	S6
		斑嘴鸭 <i>Anas zonorhyncha</i>	□	□						R	S7
鸊鷉目 Podipediformes	鸊鷉科 <i>Tachybaptus ruficollis</i>	小鸊鷉 <i>Tachybaptus ruficollis</i>					□			R	S8
鸽形目 Columbiformes	鸠鸽科 Columbidae	山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>					□			R	S9
		珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	□	□	□	□	□			R	S10
夜鹰目 Caprimulgiformes	雨燕科 <i>Apodidae</i>	小白腰雨燕 <i>Apus affinis</i>		□	□					R	S11
鸛形目 Cuculiformes	杜鹃科 <i>Cuculidae</i>	褐翅鸦鹑 <i>Centropus sinensis</i>					□	□	II	R	S12
鹤形目 Gruiformes	秧鸡科 <i>Rallidae</i>	白胸苦恶鸟 <i>Amauornis phoenicurus</i>		□	□	□				R	S13
鹈形目 Pelecaniformes	鹭科 <i>Ardeidae</i>	池鹭 <i>Ardeola bacchus</i>		□	□					S	S14
		白鹭 <i>Egretta garzetta</i>		□	□	□	□			R	S15
鹰形目 Accipitriformes	鹰科 <i>Accipitridae</i>	赤腹鹰 <i>Accipiter soloensis</i>		□	□			II		S	S16
佛法僧目 Coraciiformes	佛法僧科 <i>Coracii formes</i>	三宝鸟 <i>Eurystomus orientalis</i>				□	□			S	S17
	翠鸟科 <i>Alcedinidae</i>	白胸翡翠 <i>Halcyon smyrnensis</i>					□		II	R	S18
		普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	□			□	□	□		R	S19
啄木鸟目 Piciformes	啄木鸟科 <i>Picidae</i>	大斑啄木鸟 <i>Dendrocopos major</i>						□		R	S20
雀形目 Passeriformes	莺雀科 <i>Certhidea olivacea</i>	白腹凤鹑 <i>Erpornis zantholeuca</i>		□				□		R	S21
	山椒鸟科 <i>Campephagidae</i>	灰喉山椒鸟 <i>Pericrocotus solaris</i>		□						R	S22
		赤红山椒鸟 <i>Pericrocotus flammeus</i>		□			□	□		R	S23
		黑卷尾 <i>Dicrurus macrocercus</i>						□		S	S24
	伯劳科 <i>Laniidae</i>	红尾伯劳 <i>Lanius cristatus</i>		□						R	S25
		棕背伯劳 <i>Lanius schach</i>	□	□	□	□	□			R	S26
	鸦科 <i>Corvidae</i>	红嘴蓝鹇 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	□	□	□	□	□			R	S27
		灰树鹇 <i>Dendrocitta formosae</i>		□	□	□	□			R	S28
		冕雀 <i>Melanochlora sultanea</i>						□		R	S29
	山雀科 <i>Paridae</i>	黄颊山雀 <i>Parus spilonotus</i>	□							R	S30
		大山雀 <i>Parus major</i>	□	□	□	□	□			R	S31
		黄腹山鹪莺 <i>Prinia flaviventris</i>		□			□	□		R	S32
		纯色山鹪莺 <i>Prinia inornata</i>	□	□	□	□	□			R	S33
		长尾缝叶莺 <i>Orthotomus sutorius</i>	□	□						R	S34
	燕科 <i>Hirundinidae</i>	家燕 <i>Hirundo rustica</i>		□	□					S	S35
		金腰燕 <i>Cecropis daurica</i>			□	□	□			S	S36
	鹎科 <i>Pycnonotidae</i>	领雀嘴鹎 <i>Spizixos semitorques</i>	□	□	□	□	□			R	S37
		白头鹎 <i>Pycnonotus sinensis</i>	□	□	□	□	□			R	S38
		绿翅短脚鹎 <i>Ixos mcclellandii</i>	□	□	□		□			R	S39
		栗背短脚鹎 <i>Hemixos castanonotus</i>	□	□	□	□	□			R	S40

续表

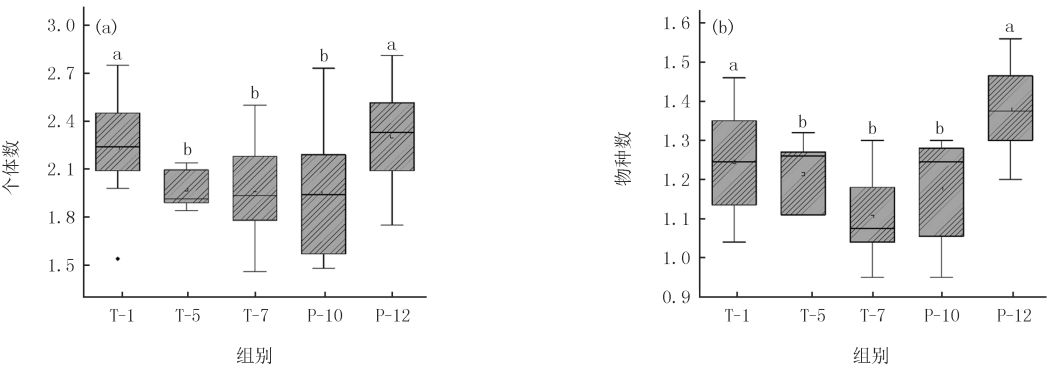
目	科	物种	耕作时间					保护 级别	IUCN 红色名 录等	居留 型	物种 序号
			T-1	T-5	T-7	P-10	P-12				
		黑短脚鹀 <i>Hypsipetes leucocephalus</i>	□	□			□			R	S41
	柳莺科 <i>Phylloscopidae</i>	褐柳莺 <i>Phylloscopus fuscatus</i>	□							W	S42
		黄腰柳莺 <i>Phylloscopus proregulus</i>	□				□			W	S43
		黄眉柳莺 <i>Phylloscopus inornatus</i>	□				□			W	S44
		树莺科 <i>Cettiidae</i>									
		棕脸鹟莺 <i>Seicercus albogularis</i>	□	□			□			R	S45
	长尾山雀科 <i>Aegithalidae</i>	红头长尾山雀 <i>Aegithalos concinnus</i>			□	□	□			R	S46
	绣眼科 <i>Zosteropidae</i>	栗颈凤鹛 <i>Staphida torqueola</i>	□							R	S47
		暗绿绣眼鸟 <i>Zosterops japonicus</i>					□			R	S48
	林鹀科 <i>Timaliidae</i>	华南斑胸钩嘴鹀 <i>Pomatorhinus swinhoei</i>	□	□	□					R	S49
		棕颈勾嘴鹀 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>					□			R	S50
		红头穗鹀 <i>Stachyris ruficeps</i>					□			R	S51
		幽鹀科 <i>Pellorneidae</i>									
		灰眶雀鹀 <i>Alcippe hueti</i>	□	□	□	□	□			R	S52
	噪鹛科 <i>Leiothrichidae</i>	画眉 <i>Garrulax canorus</i>			□			II		R	S53
		黑脸噪鹛 <i>Garrulax perspicillatus</i>	□	□	□	□	□			R	S54
		白颊噪鹛 <i>Pterorhinus sannio</i>					□			R	S55
		棕鸟科 <i>Sturnidae</i>									
		八哥 <i>Acridotheres cristatellus</i>	□	□	□	□	□			R	S56
		黑领棕鸟 <i>Sturnus nigricollis</i>	□	□	□	□	□			R	S57
		丝光棕鸟 <i>Sturnus sericeus</i>					□			R	S58
	鸫科 <i>Turdidae</i>	乌鸫 <i>Turdus merula</i>	□	□	□	□	□			R	S59
	鹟科 <i>Muscicapidae</i>	红胁蓝尾鸫 <i>Tarsiger cyanurus</i>	□				□	□		W	S60
		鹡鸰 <i>Copsychus saularis</i>		□	□	□				R	S61
		北红尾鸫 <i>Phoenicurus auroreus</i>	□				□			W	S62
		红尾水鸫 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	□							R	S63
		灰背燕尾 <i>Enicurus schistaceus</i>	□							R	S64
		白冠燕尾 <i>Enicurus leschenaulti</i>	□				□	□		R	S65
		黑喉石鹀 <i>Saxicola stejnegeri</i>	□				□	□		W	S66
	花密鸟科 <i>Nectariniidae</i>	叉尾太阳鸟 <i>Aethopyga latouchii</i>	□							R	S67
	梅花雀科 <i>Estrildidae</i>	白腰文鸟 <i>Lonchura striata</i>	□	□	□	□	□			R	S68
		斑文鸟 <i>Lonchura punctulata</i>	□	□	□	□	□			R	S69
	雀科 <i>Passeridae</i>	麻雀 <i>Passer</i>	□	□	□	□	□			R	S70
	鹊鸲科 <i>Motacillidae</i>	灰鹊鸲 <i>Motacilla cinerea</i>					□	□		W	S71
		白鹊鸲 <i>Motacilla alba</i>	□	□	□	□	□			R	S72
		树鹊 <i>Anthus hodgsoni</i>	□				□			W	S73
	燕雀科 <i>Fringillidae</i>	燕雀 <i>Fringilla montifringilla</i>					□			W	S74
		黑尾蜡嘴雀 <i>Eophona migratoria</i>	□							W	S75
	鹀科 <i>Emberizidae</i>	白眉鹀 <i>Emberiza tristrami</i>	□				□			W	S76
		小鹀 <i>Emberiza pusilla</i>	□				□			W	S77
		黄眉鹀 <i>Emberiza chrysophrys</i>	□				□			W	S78
		田鹀 <i>Emberiza rustica</i>	□				□			W	S79
		灰头鹀 <i>Emberiza spodocephala</i>	□				□			W	S80

注：NT, 近危.R, 留鸟 (resident) ; S, 夏候鸟 (summer migrant) ; W, 冬候鸟 (winter migrant) .



图S1 不同耕作阶段鸟类物种组成基本特征

Fig.S1 Basic characteristics of bird species composition in different farming periods



注: 箱形图上方不同小写字母表示差异显著, 相同小写字母表示通过Tukey两两比较检验计算出彼此之间无显著差异.

图S2 基于单因素方差分析的不同耕作阶段鸟类群落比较

Fig.S2 Comparison of bird communities at different stages of cultivation based on one-way ANOVA

表 S4 不同耕作阶段鸟类群落的结构参数

耕作阶段	Shannon-Wiener(H)	Simpson(C)	Pielou(J)	Density(D)
T-1	2.961±0.468	0.913±0.131	0.767±0.174	1.484±0.417
T-5	2.876±0.429	0.885±0.111	0.779±0.156	0.618±0.176
T-7	2.483±0.419	0.791±0.143	0.735±0.531	0.746±0.154
P-10	2.841±0.382	0.867±0.119	0.778±0.412	0.882±0.162
P-12	3.135±0.509	0.980±0.136	0.792±0.245	1.435±0.177

表 S5 鸟类群落组成-环境因子 RDA 排序

Tab. S5 Structural parameters of bird communities between different farming modes

T-1 特征参数	第 1 轴	第 2 轴	第 3 轴	第 4 轴
特征值	0.134	0.085	0.069	0.055
累计贡献率/%	13.430	21.980	28.940	34.500
相关系数	0.881	0.969	0.836	0.859
累积贡献率/%	25.190	41.220	54.280	64.720
T-5 特征参数	第 1 轴	第 2 轴	第 3 轴	第 4 轴
特征值	0.117	0.109	0.086	0.077
累计贡献率/%	11.770	22.720	31.350	39.110
相关系数	0.880	0.959	0.916	0.951
累积贡献率/%	21.890	42.250	58.280	72.720
T-7 特征参数	第 1 轴	第 2 轴	第 3 轴	第 4 轴
特征值	0.169	0.120	0.081	0.049
累计贡献率/%	16.960	28.960	37.080	41.960
相关系数	0.932	0.791	0.868	0.762
累积贡献率/%	32.590	55.650	71.240	80.620
P-10 特征参数	第 1 轴	第 2 轴	第 3 轴	第 4 轴
特征值	0.167	0.142	0.098	0.075
累计贡献率/%	16.690	30.850	40.620	47.550
相关系数	0.963	0.830	0.780	0.766
累积贡献率/%	29.310	54.190	71.350	85.060
P-12 特征参数	第 1 轴	第 2 轴	第 3 轴	第 4 轴
特征值	0.092	0.086	0.065	0.056
累计贡献率/%	9.170	17.760	24.310	29.880
相关系数	0.820	0.863	0.935	0.922
累积贡献率/%	21.160	40.980	56.090	68.960

表 S6 各耕作时期间对鸟类群落组成具有显著影响的环境因子

Tab. S6 Environmental factors with significant effects on bird species composition across farming periods

耕作模式	环境因子	解释度/%	贡献率/%	pseudo-F	<i>p</i>
T-1	杉木	6.100	11.500	1.300	0.022 *
	松树	6.700	13.800	1.500	0.046 *
	人为干扰	6.700	12.600	1.400	0.012 *
T-5	烟叶	3.700	8.900	0.800	0.045 *
	水稻	8.600	18.600	1.700	0.009 * *
	人为干扰	5.800	13.800	1.300	0.036 *
T-7	荒田	7.800	16.800	2.000	0.023 *
	竹林	7.500	15.200	1.800	0.028 *
	人为干扰	11.600	26.500	2.600	0.002 * *
P-10	荒田	9.600	20.400	2.100	0.022 *
	人为干扰	8.700	17.200	2.000	0.006 * *
P-12	烟叶	4.100	8.300	1.000	0.042 *
	人为干扰	7.400	15.000	1.700	0.022 *

注：* 表示 $p < 0.05$ ；* * 表示 $p < 0.01$ 。