

DOI: 10.5846/stxb201811112439

卢训令, 刘俊玲, 汤茜, 梁国付, 丁圣彦. 黄淮海平原农业景观非农生境植物功能群特征分析. 生态学报, 2019, 39(18): - .

Lu X L, Liu J L, Tang Q, Liang G F, Ding S Y. Characteristics of non-agricultural habitat plant functional groups in agricultural landscape of Huanghuaihai Plain. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(18): - .

黄淮海平原农业景观非农生境植物功能群特征分析

卢训令^{1,2,3}, 刘俊玲⁴, 汤茜³, 梁国付³, 丁圣彦^{1,2,3,*}

1 河南大学黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004

2 河南大学河南省大气污染综合治理与生态安全重点实验室, 开封 475004

3 河南大学环境与规划学院, 开封 475004

4 河南大学教育科学学院, 开封 475004

摘要:植物功能群的划分有助于对生态系统结构、功能和服务的理解与认知, 为更好的了解农业景观中残存的各非农生境在区域生物多样性保护和生态系统服务中的地位和作用。在黄淮海平原典型区域布点, 对区内主要非农生境(林地、树篱、田间道路、沟渠)中的植物群落进行调查, 并基于植物功能群分类结果探讨了其特征和在生态系统服务上的贡献。结果显示: (1) 从物种数量来看, 双子叶植物占绝对优势, 单子叶植物在各生境中均较少, 但却具有较高的群落地位, 一年生和多年生植物物种丰富度及重要值基本一致; (2) 从生境类别来看, 田间道路和树篱等生境中一年生和单子叶植物更具有优势, 随着人类扰动强度的减弱, 在林地和沟渠生境中, 开始有大量的多年生生物种出现, 尽管这些物种多为偶见种。 (3) 常见种多为一年生双子叶植物, 种类不多, 但群落地位极高, 而偶见种中存在大量的多年生双子叶物种。深入分析认为, 在黄淮海平原农业景观中, 总体上各非农生境均处于群落演替早期, 以一年生和单子叶植物功能群构成了群落主体, 群落结构简单, 优势种群明显, 随着干扰强度的相对降低, 林地与沟渠生境中的多年生和双子叶物种大量出现, 偶见种增加, 优势种地位下降。从物种多样性保护与生态系统服务提供综合考虑的角度看, 尽管这些非农生境发挥了重要作用, 但所能发挥的作用还很有限, 未来仍需进一步减弱人类活动对非农生境的干扰, 从而进一步提高区域生态系统服务的总体水平。

关键词:植物功能群; 生活型; 子叶数量; 常见种; 偶见种; 农业景观

Characteristics of non-agricultural habitat plant functional groups in agricultural landscape of Huanghuaihai Plain

LU Xunling^{1,2,3}, LIU Junling⁴, Tang Qian³, LIANG Guofu³, DING Shengyan^{1,2,3,*}

1 Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions (Henan University), Ministry of Education, Kaifeng 475004, China

2 Henan Key Laboratory of Integrated Air Pollution Control and Ecological Security, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China

3 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China

4 School of Education, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: The Huanghuaihai Plain is one of the most important agricultural landscape areas in China. The division of plant functional groups is conducive to the cognition of ecosystem structure, functions, and services, so as to better understand the status and role of the remaining non-agricultural habitats in the agricultural landscape in regional biodiversity conservation and ecosystem services. In a typical area of the Huanghuaihai Plain, the plant communities in the main non-agricultural habitats (forestland, hedges, field roads, ditches) were investigated. Based on the classification results, the

基金项目:国家自然科学基金(31600374, 41771202), 河南省教育厅科学技术研究重点项目(16A180022), 河南省博士后科研项目(2015049)

收稿日期:2018-11-11; **网络出版日期:**2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: syding@henu.edu.cn

characteristics of plant functional groups in each habitat and their contribution to ecosystem services were discussed. The results showed that (1) in terms of species richness, dicots were dominant, while monocots were less frequent in each habitat but had a higher community status. Species richness and important values of annual and perennial plants were basically the same. (2) From the perspective of habitat categories, annuals and monocots were more dominant in habitats such as field roads and hedges. With less human disturbance, a large number of perennial species start to appear in forest land and ditch habitats, although these species mostly appear only occasionally. (3) The common species are annual dicots, with few species but high community status, and there are a large number of occasional perennial dicot species. Further analysis shows that in the agricultural landscape of Huanghuaihai Plain, most of the non-agricultural habitats are in the early stage of community succession, and the main body of the community is composed of annual and monocot functional groups. The community structure is simple, and the dominant population is clear. With the decrease of disturbance intensity, the perennial and dicot species in the forest and ditch habitats appear in large numbers, and the occasional species increase, while the dominant species declines. From the perspective of comprehensive consideration of species diversity conservation and ecosystem services provision, although these non-agricultural habitats play an important role, their role is still limited. In the future, it is still necessary to further reduce the interference of human activities on non-agricultural habitats, so as to further improving the overall level of regional ecosystem services.

Key Words: plant functional groups; life form; number of cotyledons; common species; occasional species; agricultural landscape

农业景观现已成为地球陆地表层最重要的景观类型,农业景观中生物多样性的持续丧失和生态系统服务的持续性下降与波动已成为影响人类福祉的最主要因素之一^[1-5]。而农业景观中残存的自然、半自然和人工非农生境被认为是区域内重要的生境岛和庇护所,能有效的提高植物、鸟类、地表动物、微生物等的多样性和生态系统服务的供给^[6-14]。农业景观生物多样性保护和生态系统服务维持的持续发展是关乎人类福祉的最主要因素,而不同非农生境对植物群落特征的影响效应分析是未来探讨如何通过景观构建来促进农业景观生物多样性保护和生态系统服务维持的重要前提和基础。

功能群的划分为复杂生态系统的科学简化提供了一个非常有用的思路,在大尺度上,植物功能群的划分简化了对植物群落的描述,有助于更好的理解群落结构、动态和演替过程以及生物多样性对生态系统的影响等^[15-18]。随着研究的深入,研究者们发现,生态系统功能和生态系统服务的发挥更多的依赖于群落内的功能多样性而非分类多样性^[19-24],土地利用强度、景观异质性变化、气候变化等等因素会强烈的影响到生物功能多样性,并进一步作用于区域生态系统功能和服务^[25-29]。而农业景观中基于植物功能群的划分来探讨区域生物多样性保护的研究还很少见,生活周期的划分也是用于探讨人类活动等对植物影响的最优性状之一^[30, 31]。因此本研究通过基于生活周期的划分来分析不同非农生境中植物功能群组成特征,并对其在生态系统服务上的贡献进行探讨,从而为未来区域农业景观的构建和优化提供理论基础。

1 研究区概况

研究区位于河南省新乡市封丘县,属典型的黄河下游冲积平原,是我国重要的商品粮基地县之一,地理坐标为:34°53'—35°14' N,东经 114°14'—114°45' E 之间,总面积约 1225.6 km²。暖温带大陆性季风气候,多年平均降水量约 615mm,多年均温约 13.9℃,地带性植被为落叶阔叶林,但目前自然植被已消失殆尽,代之以农田和人工林地。区内人类耕种活动悠久,形成了以农田为主的景观背景(图 1)。

2 研究方法

2.1 样地设置和数据的收集

在研究区卫星影像和土地利用现状图的基础上,依方格分区的方式进行布点,对各样点中主要非农生境

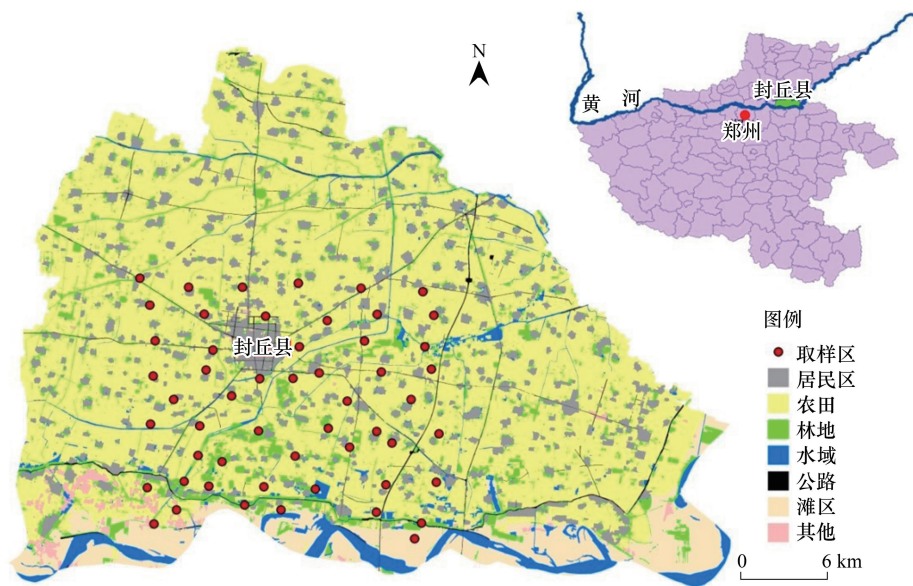


图 1 研究区景观概况和野外样点布设示意图

Fig.1 Landscape classification map and the schematic diagram of plots distribution

(人工林地、树篱、田间道路和沟渠等)中的植物群落进行调查,因各生境多呈块状、条带状等不规则形状(人工林地多为斑块状散布在村庄周边或农田中,树篱为条带状分布在农田中,田间道路为农田中宽度在 1.5m 以下仅供耕作时行人与非机动车通行的小路,沟渠为农田中存在的土质渠底与护岸的河流与灌溉渠),故采用法瑞学派典型样地法进行调查^[32],记录指标包括:物种名称、多优度、群集度、物候期和地理坐标等。植物群落调查在 2011 年—2013 年(每年在春、夏、秋 3 季重复调查)进行,其中 2011 年共设置 26 个样点,2012 年以后将取样点增加到 54 个,每个生境类别 5 个样方,全区共计调查 880 个样方(其中人工林地 255 个,树篱 260 个,田间道路 260 个,沟渠 105 个)。

2.2 数据分析方法

(1)功能群划分:按照生活型(一年生植物 Annual(A)和多年生植物 Perennial(P))和子叶数量(单子叶植物 Monocot(M)和双子叶植物(Dicot)),参照 Puricelli 的功能群分类方法将植物分为 4 类,分别是:一年生单子叶植物功能群(AM),一年生双子叶植物功能群(AD),多年生单子叶植物功能群(PM)和多年生双子叶植物功能群(PD)^[33]。

(2)物种丰富度:以样地中实际出现的物种数目 S 表示。

(3)物种重要值: $IV = PR + FR = \frac{X_i}{X} + \frac{F_i}{F}$

式中, IV 为物种重要值, PR 为物种的相对显著度,由物种的多优度计算获得, FR 为物种的相对频度^[32],所有物种的重要值总和为 2。

(4)群落相似性系数:分别选取 Jaccard 和 Sørensen 相似性系数进行分析。具体公示如下:

$$IS_J = \frac{a}{a + b + c} \times 100\% \quad IS_S = \frac{2a}{2a + b + c} \times 100\%$$

式中, IS_J 、 IS_S 分别为 Jaccard 和 Sørensen 相似性系数, a 为两个群落共有的物种数, b 和 c 分别为两个群落独有的物种数。

(5)常见种与偶见种的划分:常用的物种丰富度指数不考虑常见种与偶见种对群落物种多样性结构贡献

的差异。依据物种出现频率划分为常见种与偶见种,则利于更清晰的认识群落物种丰富度组成及其空间格局特征。参照前人研究方法^[34, 35],将研究区内调查的物种划分为常见种(在所有样方(880个)中出现频率超过25%的物种)和偶见种(仅在不超过5%的调查样方中出现的物种)。

3 研究结果

3.1 植物功能群组成差异性分析

对野外调查数据进行功能群分类,结果显示:研究区内4种主要非农生境中共调查到192种被子植物,从子叶数量分类来看,双子叶植物物种丰富度占绝对优势,计有155种,约占总种数的80.73%,单子叶植物仅有37种,占总物种丰富度的19.27%;从生活型分类看,计有一年生植物92种,约占总种数的47.92%,多年生植物100种,约占总种数的52.08%,二者物种丰富度的比例几乎平分秋色(表1)。

表1 植物功能群组成

Table 1 Plant functional groups composition

生境 Habitat	单子叶植物 Monocot		双子叶植物 Dicot		一年生植物 Annual		多年生植物 Perennial	
FL	25	16.23% (20.65) b	129	83.77% (79.35) d	72	46.75% (55.22) c	82	53.25% (44.78) d
HD	24	15.69% (30.82) c	129	84.31% (69.18) c	79	51.63% (53.55) c	74	48.37% (46.45) c
FR	28	20.74% (42.52) c	107	79.26% (57.48) a	75	55.56% (52.86) b	60	44.44% (47.14) a
DT	25	18.38% (28.96) a	111	81.62% (71.04) b	70	51.47% (50.50) a	66	48.53% (49.50) b
RG	37	19.27%	155	80.73%	92	47.92%	100	52.08%

FL:林地 Forestland; HD:树篱 Hedges; FR:田间道路 Field roads; DT:沟渠 Ditches; RG:区域 Region; 表中百分数为该功能群物种数占该生境全部物种的比例,括号中数字为该功能群物种在该生境中的累积重要值的百分比,单位为%; 同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

从研究区农业景观各生境中不同功能群组成特征来看(表1),单子叶植物与双子叶植物物种丰富度在各生境中态势与全区的情况较相似,双子叶植物功能群在各生境物种丰富度中均占据绝对优势地位,单子叶植物功能群物种丰富度在各生境中的占比均较低(不超过21%)。物种丰富度分析无法显示该功能群组成物种在群落中的地位和贡献,而物种累积重要值则更有助于显示这些信息。从重要值来看,单子叶植物功能群在各生境中的地位均超过了其在物种丰富度中的占比,尤其在田间道路和树篱生境中,其累积重要值的比例均达到物种丰富度比例的2倍以上,而各生境中双子叶植物功能群与单子叶功能群正相反——重要值比例均显著低于物种数量比例。

从生活型来看,一年生植物在田间道路生境中的优势最明显,树篱和沟渠生境中一年生植物仅有微弱的优势,而林地是唯一以多年生植物占优势的,生境中多年生植物物种数量和比例显著高于其他3个生境,而正是林地生境中较多多年生物种的存在,才使得区域内总体物种丰富度中多年生植物物种占据了些许优势(52.08%)。尽管从数量和比例上来看两种功能群物种丰富度在各生境中的差异不大,但方差分析的结果显示二者在各生境间依然存在着显著差异。从功能群累积重要值来看,一年生植物功能群在群落中的地位要更高些。

将子叶数量和生活型结合起来共划分为4类功能群(图2),在单子叶类植物功能群中,一年生与多年生物种的比例几乎持平(19:18),其中林地、沟渠和树篱生境中也基本呈此态势(分别为:13:12、14:11和14:10),仅在田间道路生境中一年生单子叶植物占绝对优势(18:10),几乎涵盖了全区所有的一年生单子叶植物物种。从双子叶类植物功能群来看:该功能群中一年生物种稍低于多年生物种(73:82),但各生境间存在一定差异,树篱和沟渠生境中二者比例基本持平(分别为65:64和56:55),林地中多年生物种的占比更高些(59:70),而田间道路是一年生物种超过多年生物种的生境(57:50)。

各功能群在不同生境中累积重要值变化(图3)显示,一年生单子叶(AM)和一年生双子叶(AD)植物功能群物种丰富度与其累积重要值在群落中的地位基本一致(46%:41%, 166%:164%);而多年生单子叶(PM)和

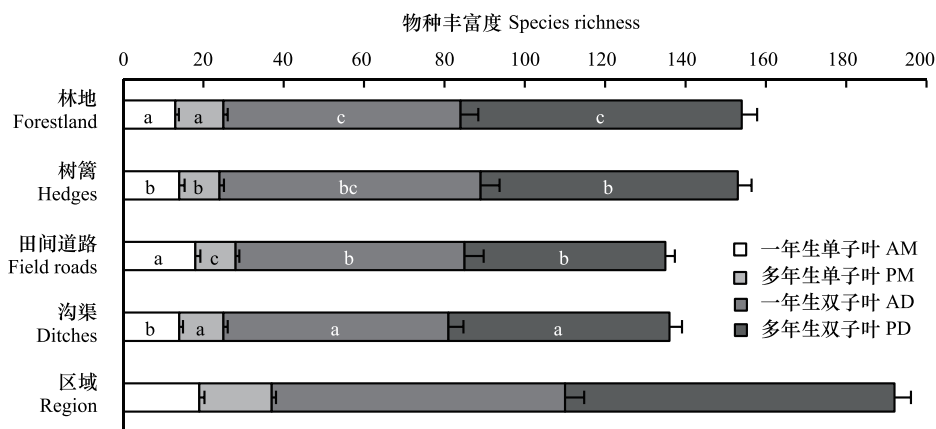


图2 不同生境下物种丰富度中各植物功能群组成比较

Fig.2 Comparison of plant functional group composition in species richness under different habitats

AM; Annual Monocots, PM; Perennial Monocots, AD; Annual Dicots, PD; Perennial Dicots

多年生双子叶(PD)植物功能群在群落中拥有的物种数量与其重要值呈现截然不同的状态:多年生双子叶植物功能群在群落中拥有较多的物种,但其在群落中的重要性(累积重要值)却要低得多(165%:111%),正相反,多年生单子叶功能群中的物种占总物种丰富度的比例却远低于其物种重要值的比例(30%:77%),即少量的多年生单子叶物种在群落中却占据了极其重要的地位,且这种状况尤以田间道路生境中为甚(7%:38%)。

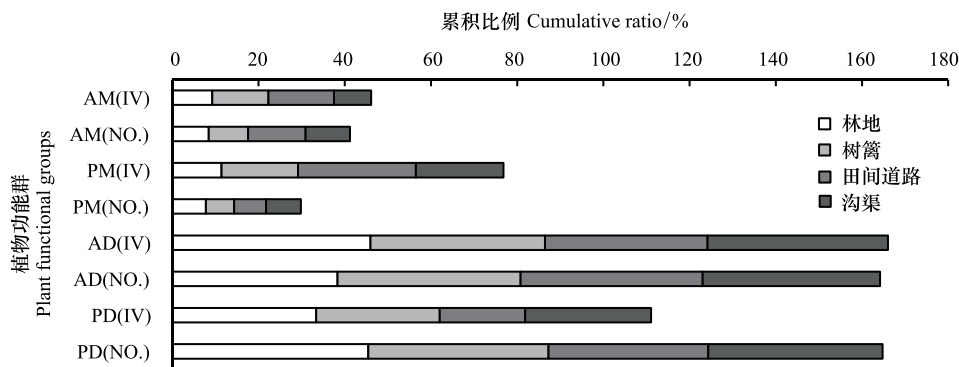


图3 各植物功能群在不同生境中累积物种丰富度和重要值比较

Fig.3 Comparison of the cumulative species richness and importance values of plant functional groups in different habitats

NO.:各功能群物种丰富度占总丰富度的比例;IV:各功能群物种累积重要值占总重要值的比例

3.2 基于植物功能群分类的群落异质性比较

群落相似性指数的比较能够有效的展示不同群落之间关系的远近,是认识群落间关系密切程度的可靠参数,选用 Jaccard 和 Sørensen 两个相似性系数来探讨基于不同植物功能群划分的群落异质性(图4)。

从植物生活型划分的一年生和多年生植物功能群来看,一年生植物功能群在林地-树篱和树篱-田间道路生境间的相似性最高,其次是林地-田间道路、田间道路-沟渠、林地-沟渠生境,树篱-沟渠生境间的相似性最低;多年生植物功能群亦呈现基本相似的态势,但从数值看,多年生植物功能群在各生境间的相似性明显要低于一年生植物功能群。

从子叶数量划分的单子叶植物功能群和双子叶植物功能群来看:单子叶植物功能群在各生境间的相似性呈现树篱-田间道路间最高($J=73.33\%$),林地-沟渠间最低($J=51.51\%$),其他生境组对介于中间;从双子叶植物功能群来看,该功能群在各生境间的相似性系数明显高于单子叶植物,其中林地-树篱生境间的相似性最高, J 值达 80.42% ,林地-沟渠间的相似性最低,但 J 值也达到了 69.01% ,远高于单子叶植物功能群在大多数生

境间的情况。

从将子叶数量和生活型相结合划分的 4 个功能群来看:一年生单子叶植物(AM)在各生境间的相似性均较高;多年生单子叶植物(PM)在各生境间的差异性较大,树篱-田间道路生境间的相似性显著高于其他生境,而林地-沟渠生境间的相似性仅为 43.75%;一年生双子叶植物(AD)涵盖了众多的物种,但在各生境间均存在较高的相似性;多年生双子叶植物(PD)包括了最多的物种,但其在各群落间的相似性明显要低于一年生双子叶植物功能群。

上述结果总体上显示了区内农业景观中多年生、单子叶植物相较于一年生、双子叶植物对景观格局、土地利用和生境因子的变化更敏感。

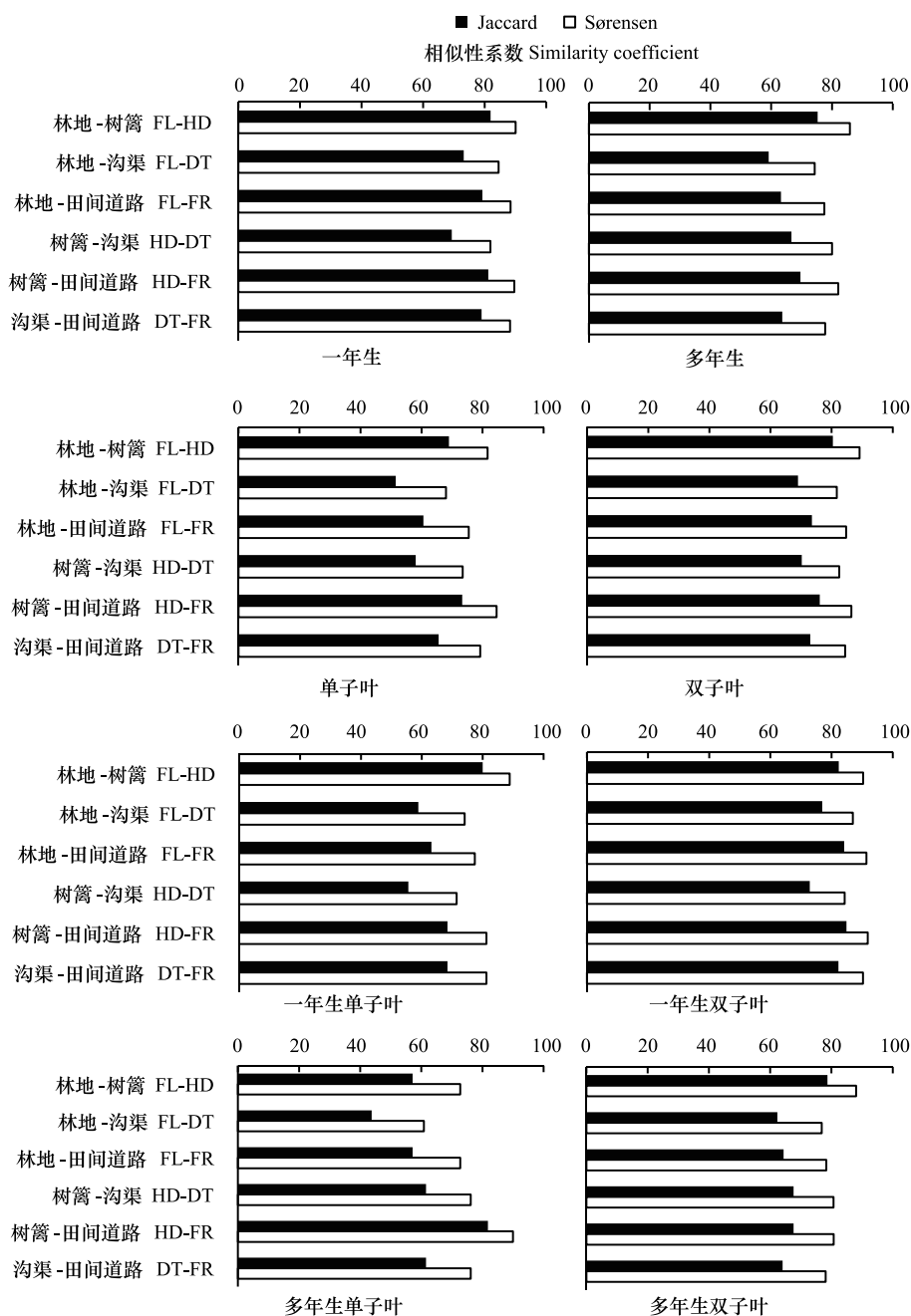


图 4 基于不同植物功能群划分的群落组成异质性比较

Fig.4 Comparison of community composition heterogeneity based on different plant functional groups

3.3 常见种与偶见种中功能群组成差异

对黄河下游平原农业景观中常见种与偶见种进行功能群分类讨论(图5),结果显示:常见种各功能群在各生境中均有散布,在物种组成上没有差异,均以一年生双子叶植物为主,其次是多年生双子叶植物。从重要值来看,常见种构成了各生境的主体,但以田间道路生境最强,沟渠生境最弱,且田间道路生境中该部分贡献主要源自于多年生单子叶植物功能群。

偶见种各功能群从物种丰富度来看,林地和树篱生境中要远超沟渠和田间道路生境,且各生境中亦以多年生双子叶和一年生双子叶为主;但从重要值来看,各生境间存在显著差异,沟渠生境中的偶见种贡献了最高的重要值,比林地生境高了约50%,几乎是树篱和田间道路生境中的2倍。

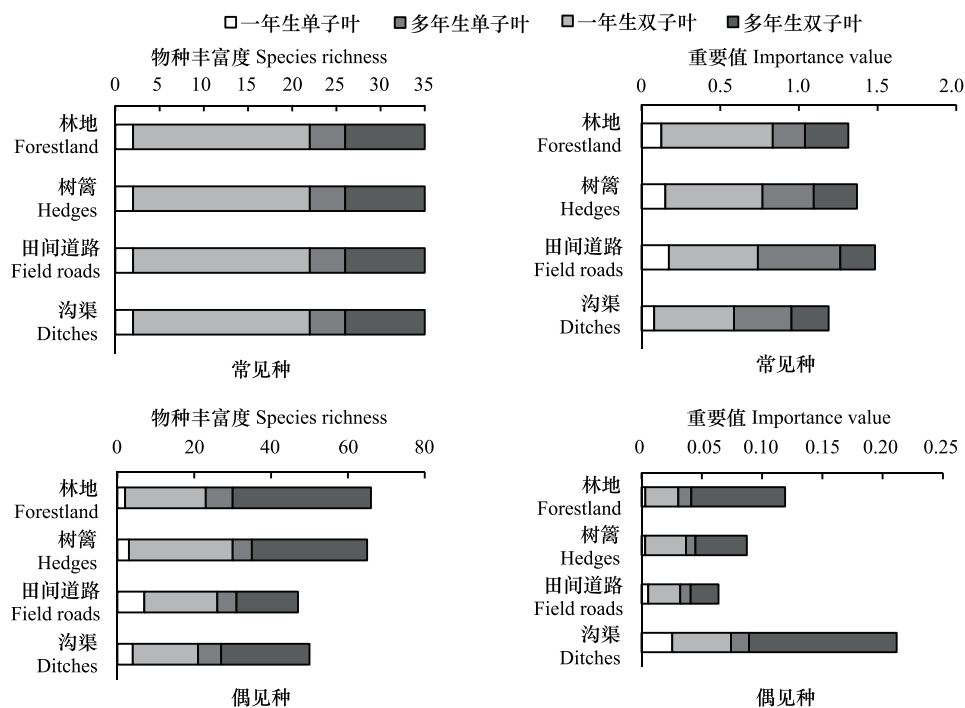


图5 常见种与偶见种中不同植物功能群的组成特征

Fig.5 Composition characteristics of different plant functional groups in common species and occasional species

4 讨论

4.1 非农生境中植物功能群组成物种丰富度与重要性的不一致性

本研究发现,在黄淮海平原农业景观非农生境中,从物种丰富度来看,各生境中均以双子叶植物占据绝对优势(多在80%以上),而单子叶植物则很少,但两类植物功能群在各生境中的重要值却与其数量比例明显不一致:单子叶植物功能群累积重要值在田间道路和树篱生境中的比例均达到其物种比例的2倍以上,沟渠生境中也高出了50%多,仅在林地生境中二者比例较为接近;双子叶植物功能群的情况则相反,除林地生境外,其他生境中各物种累积重要值的比例均显著低于其物种丰富度的比例(图3),很大程度上是由生境中狗牙根(*Cynodon dactylon*)、葎草(*Humulus scandens*)等超乎寻常的优势度和重要值引起的^[36]。

从生活型分类来看,一年生与多年生物种的总体数量比例差别不大,树篱、田间道路和沟渠等生境中均以一年生植物在数量上占优势,唯独在林地生境中有大量的多年生植物存在,但从群落地位来看,一年生植物累积重要值稍高些。本结果显示在农业景观这种人类干扰较为强烈的景观中,一年生植物作为“投机主义者”,其生长和分布主要受随机扩散影响,它可以随机占据并利用任何的空间和土地并快速生长^[37],但随着干扰强度的减弱(田间道路—树篱—沟渠—林地),多年生植物在逐渐增加。牛钰杰等在高寒草甸中的研究也发现,

随着放牧强度的增大,尽管一年生杂草类的丰富度、盖度没有显著变化,但多年生杂草类植物群落的物种丰富度、盖度和实际重要值均显著降低,一年生物种的重要值在增加^[38]。

4.2 人类活动强度对不同植物功能群的影响

前人研究发现,随着人类干扰的加强,群落中多年生物种会减少,而一、二年生物种增多,并占据优势,使群落结构趋于简单,生态系统稳定性下降^[39],作为“投机主义者”的一年生植物可以随机占据并利用任何的空间和土地并快速生长^[37],从而使其优势地位变得更为明显^[40]。本研究也发现在黄淮海平原农业景观非农生境中一年生与单子叶植物功能群在区域植物多样性与群落结构形成中具有重要地位,在田间道路和树篱等人类活动强烈干扰的生境中尤为明显,随着干扰的降低,沟渠和林地等生境中多年生和双子叶植物功能群的物种丰富度与重要值在升高,而一年生和单子叶植物功能群的物种丰富度与重要值尽管仍维持在较高的比例上,但其总的群落地位在下降。

常见种与偶见种的划分有助于对群落物种组成格局的认知^[41],农业景观中总体上较强的人类干扰导致常见种尽管数量不多,但构成了群落的主体,在群落中占据了绝对的优势,形成了以一年生物种占主导优势的群落结构,而随着人类干扰的减弱,在林地和沟渠生境中,多年生与双子叶植物开始大量在群落内出现,尽管多为偶见种,但恰恰是这些物种的出现大大提高了区域总物种丰富度(图5)^[41],同时这些多年生、双子叶植物往往使群落高度、盖度增加、结构更为复杂,且能为不同动物类群提供更多样化的蜜源、果实来源以及栖息地与庇护所。

基于功能群分类的群落组成异质性分析显示,区域农业景观中双子叶植物功能群对环境变化的耐受性更强,而单子叶植物功能群对景观格局、土地利用和人类活动更敏感,并进而成为田间道路等生境中的优势种群;生活型分类也表明一年生植物能更有效的适应环境波动、土地利用的变化和人类活动的影响,从而在田间道路、沟渠和树篱生境中的地位超过了林地,而林地这种相对更稳定的生境则使多年生和双子叶植物开始渐渐增加和逐渐占优。

4.3 不同非农生境植物群落的生态系统功能与服务

不同植物功能群中的物种在景观生态系统中对群落结构、生态系统功能、生态系统服务中的作用有一定的差异。一年生植物多采用种子繁殖,繁殖体较小、但数量众多,常会在一些干扰生境中迅速定植形成优势群落,能快速有效的减缓水土流失,更新周期短,残体易分解,能迅速补充土壤养分,其种子能为一些雀类等提供食源,一年生植物的大量出现是群落退化或演替初期的重要表现,而一年生物种的出现也能有效的补偿群落退化形成的生物量空洞^[37, 42];多年生植物一般株型较大,靠种子或根茎无性繁殖,繁殖体较大、但数量相对较小,定植之后对环境因子变化具有较强的抗性。群落中多年生植物多晚于一年生植物进入,在环境因子波动强烈的景观斑块中数量一般较少,而在稳定群落中重要值会增加,进而成为群落优势种,多年生植物的大量出现则是群落正向演替的重要标志,该植物群落将能为更多的动物类群提供良好的食源地、栖息地,并进一步提高其水土保持能力、土壤肥力和群落内环境因子的稳定性^[43]。已有研究还发现,一年生杂类草会加重某些虫害的发生发展,而多年生物种则可能与之负相关,从而降低虫害的发生^[44]。

本研究显示,黄淮海平原农业景观中,一年生与单子叶植物功能群在区域植物多样性与群落结构形成中具有重要地位,尽管随着人类干扰的降低,多年生和双子叶植物在林地与沟渠等生境中开始大量出现,并开始在蜜源、食源供给和栖息地提供等方面越来越重要,但从现有的数据来看,区内各生境在生态系统服务提供方面还极其微弱,亟需进一步提高。

5 结论和建议

在黄淮海平原农业景观中,总体上各非农生境均处于脆弱的、波动剧烈的群落演替早期,群落结构简单、优势种明显,在一些人类干扰稍弱的林地和沟渠等生境中物种数量开始大大增加,但多为偶见种,所能提供的生态系统服务还很匮乏。多数的研究认为较高强度的人类干扰会使群落结构趋于简单,生物多样性降低和生

态系统稳定下降^[39, 44], 尽管有研究认为适度的扰动也可以提高生物多样性和生态系统服务^[31], 但一方面多大强度的扰动为“适度”尚需讨论, 另一方面从现有数据来看, 尽管林地和沟渠生境中人类活动相对说有降低, 但显然仍超出了“适度扰动”的强度。因此在未来的农业景观构建和管理中, 在关注生物多样性变化的同时, 也不能忽略生态系统服务的供给, 建议能进一步减弱对人工林地和沟渠区域的扰动, 使人工林地进一步向半自然、自然林地的趋势转化, 从而进一步提高区域生态系统服务的总体水平。且注重从时间序列上连续观测与监测的重要性, 以更好的确保区域生态安全。

致谢:感谢中国科学院封丘农业生态实验站对野外实验提供的大力支持, 感谢熊聪、刘栋、朱珠、董翠芳、张晓阳、刘昕、贾艳凤等同学在野外调查中的辛苦工作!

参考文献 (References):

- [1] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, Haddad L, Lawrence D, Muir J F, Pretty J, Robinson S, Thomas S M, Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010, 327(5967): 812-818.
- [3] Meehan T D, Werling B P, Landis D A, Gratton C. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(28): 11500-11505.
- [4] Cumming G S, Buerkert A, Hoffmann E M, Schlecht E, von Cramon-Taubadel S, Tscharntke T. Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. *Nature*, 2014, 515(7525): 50-57.
- [5] Rusch A, Chaplin-Kramer R, Gardiner M M, Hawro V, Holland J, Landis D, Thies C, Tscharntke T, Weisser W W, Winqvist C, Woltz M, Bommarco R. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: a quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 221: 198-204.
- [6] Bright J A, Morris A J, Field R H, Cooke A I, Grice P V, Walker L K, Fern J, Peach W J. Higher-tier agri-environment scheme enhances breeding densities of some priority farmland birds in England. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 203: 69-79.
- [7] Wretenberg J, Pärt T, Berg Å. Changes in local species richness of farmland birds in relation to land-use changes and landscape structure. *Biological Conservation*, 2010, 143(2): 375-381.
- [8] Rundlöf M, Edlund M, Smith H G. Organic farming at local and landscape scales benefits plant diversity. *Ecography*, 2010, 33(3): 514-522.
- [9] Crowder D W, Northfield T D, Strand M R, Snyder W E. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature*, 2010, 466(7302): 109-112.
- [10] Holland J M, Oaten H, Moreby S, Birkett T, Simper J, Southway S, Smith B M. Agri-environment scheme enhancing ecosystem services: a demonstration of improved biological control in cereal crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 155: 147-152.
- [11] Happe A K, Riesch F, Rösch V, Gallé R, Tscharntke T, Batúry P. Small-scale agricultural landscapes and organic management support wild bee communities of cereal field boundaries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 254: 92-98.
- [12] Hille S, Andersen D K, Kronvang B, Baattrup-Pedersen A. Structural and functional characteristics of buffer strip vegetation in an agricultural landscape - high potential for nutrient removal but low potential for plant biodiversity. *Science of the Total Environment*, 2018, 628-629: 805-814.
- [13] Lecq S, Loisel A, Brischoux F, Mullin S J, Bonnet X. Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows. *Ecological Indicators*, 2017, 72: 615-626.
- [14] Egli L, Meyer C, Scherber C, Kreft H, Tscharntke T. Winners and losers of national and global efforts to reconcile agricultural intensification and biodiversity conservation. *Global Change Biology*, 2018, 24(5): 2212-2228.
- [15] Cortois R, Schröder-Georgi T, Weigelt A, van der Putten W H, De Deyn G B. Plant-soil feedbacks: role of plant functional group and plant traits. *Journal of Ecology*, 2016, 104(6): 1608-1617.
- [16] Dickson T L, Gross K L. Plant community responses to long-term fertilization: changes in functional group abundance drive changes in species richness. *Oecologia*, 2013, 173(4): 1513-1520.
- [17] Wood S A, Karp D S, DeClerck F, Kremen C, Naeem S, Palm C A. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*, 2015, 30(9): 531-539.
- [18] Wang C Y, Jiang K, Liu J, Zhou J W, Wu B D. Moderate and heavy *Solidago canadensis* L. invasion are associated with decreased taxonomic

- diversity but increased functional diversity of plant communities in East China. *Ecological Engineering*, 2018, 112: 55-64.
- [19] Häger A, Avalos G. Do functional diversity and trait dominance determine carbon storage in an altered tropical landscape? *Oecologia*, 2017, 184(2): 569-581.
- [20] Barbaro L, Rusch A, Muiruri E W, Gravelier B, Thierry D, Castagneyrol B. Avian pest control in vineyards is driven by interactions between bird functional diversity and landscape heterogeneity. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(2): 500-508.
- [21] Martins K T, Gonzalez A, Lechowicz M J. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 200: 12-20.
- [22] Liu Y H, Duan M C, Zhang X Z, Zhang X, Yu Z R, Axmacher J C. Effects of plant diversity, habitat and agricultural landscape structure on the functional diversity of carabid assemblages in the North China Plain. *Insect Conservation and Diversity*, 2015, 8(2): 163-176.
- [23] Liu Y H, Rothenwöhrer C, Scherber C, Batúry P, Elek Z, Steckel J, Erasmi S, Tschamtké T, Westphal C. Functional beetle diversity in managed grasslands: effects of region, landscape context and land use intensity. *Landscape Ecology*, 2014, 29(3): 529-540.
- [24] Tinoco B A, Santillán V E, Graham C H. Land use change has stronger effects on functional diversity than taxonomic diversity in tropical Andean hummingbirds. *Ecology and Evolution*, 2018, 8(6): 3478-3490.
- [25] García-Palacios P, Gross N, Gaitán J, Maestre F T. Climate mediates the biodiversity-ecosystem stability relationship globally. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(33): 8400-8405.
- [26] Rader R, Birkhofer K, Schmucki R, Smith H G, Stjernman M, Lindborg R. Organic farming and heterogeneous landscapes positively affect different measures of plant diversity. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 51(6): 1544-1553.
- [27] Yang J, Yan P B, He R X, Song X Q. Exploring land-use legacy effects on taxonomic and functional diversity of woody plants in a rapidly urbanizing landscape. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 162: 92-103.
- [28] Guo T, Weise H, Fiedler S, Lohmann D, Tietjen B. The role of landscape heterogeneity in regulating plant functional diversity under different precipitation and grazing regimes in semi-arid savannas. *Ecological Modelling*, 2018, 379: 1-9.
- [29] Solé-Senar X O, Juárez-Escario A, Conesa J A, Recasens J. Plant species, functional assemblages and partitioning of diversity in a Mediterranean agricultural mosaic landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 256: 163-172.
- [30] 李燕, 朱志红. 高寒草甸对刈割、施肥和浇水发生响应的最优植物性状集和功能型. *植物生态学报*, 2013, 37(5): 384-396.
- [31] Cordeau S, Ryan M R, Bohan D A, Reboud X, Chauvel B. Which traits allow weed species to persist in grass margin strips? *Weed Science*, 2017, 65(3): 381-394.
- [32] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [33] Puricelli E, Tuesca D. Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences. *Crop Protection*, 2005, 24(6): 533-542.
- [34] Gabriel D, Roschewitz I, Tschamtké T, Thies C. Beta diversity at different spatial scales: Plant communities in organic and conventional agriculture. *Ecological Applications*, 2006, 16(5): 2011-2021.
- [35] Klimek S, Marini L, Hofmann M, Isselstein J. Additive partitioning of plant diversity with respect to grassland management regime, fertilisation and abiotic factors. *Basic and Applied Ecology*, 2008, 9(6): 626-634.
- [36] 卢训令, 汤茜, 梁国付, 丁圣彦. 黄河下游平原不同非农生境中植物多样性. *生态学报*, 2015, 35(5): 1527-1536.
- [37] 梁茂伟, 梁存柱, 白雪, 苗百岭, 王英舜, 包桂荣, 王让. 一年生植物功能群对放牧草原生物量和土壤呼吸的影响. *草业科学*, 2016, 33(12): 2407-2417.
- [38] 牛钰杰, 杨思维, 王贵珍, 刘丽, 杜国祯, 花立民. 放牧强度对高寒草甸土壤理化性状和植物功能群的影响. *生态学报*, 2018, 38(14): 5006-5016.
- [39] 马建军, 姚虹, 冯朝阳, 张树礼. 内蒙古典型草原区 3 种不同草地利用模式下植物功能群及其多样性的变化. *植物生态学报*, 2012, 36(1): 1-9.
- [40] 包秀霞, 廉勇, 易津, 张瑞霞. 放牧方式对中国和蒙古小针茅荒漠草原植物功能群特征的影响. *生态学杂志*, 2014, 33(11): 2966-2972.
- [41] 卢训令, 汤茜, 梁国付, 丁圣彦. 黄河下游平原非农植物多样性拆分研究. *生态学报*, 2016, 36(14): 4395-4405.
- [42] Bai Y F, Han X G, Wu J G, Chen Z Z, Li L H. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431(7005): 181-184.
- [43] 郑颖, 温仲明, 宋光, 丁曼. 延河流域森林草原区不同植物功能型适应策略及功能型物种数量随退耕年限的变化. *生态学报*, 2015, 35(17): 5834-5845.
- [44] 彭秀全, 刘艳, 白龙, 张泽华. 锡林郭勒退化草地植物功能群与草地螟种群的相关性初探. *草业科学*, 2010, 27(7): 18-23.