

草坪建植与地被刈割对天津机场鸟类群落的影响

潘汝南¹, 赵树兰^{1,2}, 多立安^{1,2*}

(1. 天津师范大学生命科学学院, 天津 300387; 2. 天津师范大学生物多样性调控与机场鸟击防御研究中心, 天津 300387)

摘要 [目的] 研究人工地被调控对鸟类群落的影响。[方法] 对天津滨海国际机场地被植物进行人工刈割, 并建植高羊茅和多年生黑麦草的单一草坪植被区, 以未刈割的自然生长植被区为对照, 于2016年12月至2017年11月进行调查。[结果] 共记录鸟类1740只, 隶属6目14科20种, 优势类群为雀形目。鸟类数量、多样性和丰富度变化趋势一致, 均为对照区 > 刈割区 > 高羊茅区 > 黑麦草区。黑麦草区鸟类个体数量相比对照区减少了86.5%, 且鸟类丰富度和多样性指数均最低, 相比对照区分别减少了0.71和0.33, 有效降低了鸟类的多样性。在春、夏、秋季, 草坪建植区鸟类数量较对照区显著降低 ($P < 0.05$); 在冬季, 草坪建植区鸟类数量与对照区相比差异不显著 ($P > 0.05$)。[结论] 在机场通过刈割和单一草坪建植调控, 降低了鸟类的数量、种类和多样性, 尤其以建植黑麦草的效果最佳。

关键词 草坪建植; 地被刈割; 鸟类群落; 多样性; 天津机场

中图分类号 Q958.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)13-0001-03

Effects of Turf Establishment and Cover Plant Mowing on Bird Community at Tianjin Airport

PAN Ru-nan¹, ZHAO Shu-lan^{1,2}, DUO Li-an^{1,2} (1. College of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387; 2. Research Center for Control of Biodiversity and Airport Bird Strike, Tianjin Normal University, Tianjin 300387)

Abstract [Objective] To explore effects of cover plant regulation on bird community. [Method] Grassland vegetation at Tianjin Binhai International Airport was regularly mowed, and *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne* were solely planted. Taking the natural growth area (non mowing) as control, bird communities were surveyed from December 2016 to November 2017. [Result] A total of 1740 birds were collected, belonging to 6 orders, 14 families and 20 species. The individual numbers, diversity and species richness of birds showed the same trend: control > mowing > ryegrass > tall fescue. Compared with the control area, the individual number of birds in theyegrass areas decreased by 86.5%. Moreover, the species richness and diversity of birds in theyegrass areas were the lowest, 0.71 and 0.33 lower than that of the control area, respectively. Ryegrass establishment could effectively reduce the number and the diversity of birds at the airport. Compared with the control area, the individual number of birds in the lawn area significantly decreased in spring, summer and autumn, but no significant difference was found in winter. [Conclusion] The number, variety and diversity of birds were reduced by mowing and planting of single lawn at the airport, especially planting *Lolium perenne* had the best effect.

Key words Turf establishment; Cover plant mowing; Bird community; Diversity; Tianjin airport

机场植被是一种具有特殊功能和作用的生态环境, 它对飞机的起降具有重要的保护作用, 同时为鸟类提供生存、取食和活动的场所^[1-2]。鸟类与植被、昆虫等一起构成稳定的食物网络, 鸟类种类和数量与植被类型密切相关^[3]。目前, 对机场不同生境鸟类群落的研究较多, 而人工调控措施对机场鸟类群落的影响研究很少。李士权等^[4]研究发现, 正常植被生长区昆虫种类和多样性指标均高于单一植丛区和定期刈割植被区, 推测单一植丛区鸟类数量减少。吴克凡^[5]对伊宁机场建植单一植被后进行鸟类调查, 发现薰衣草群落中鸟类物种数量明显减少, 特别是7—8月下降最为明显, 有效控制了夏季鸟类数量。

天津机场地被及其周边复杂的生境(多农田、水池、灌丛等)为鸟类提供了良好的繁殖和栖息场所, 吸引了大量鸟类来觅食。因此, 为了切断鸟类部分食物来源, 从食物链入手, 控制或减少植物、昆虫的种类和数量。笔者从生态学角度出发, 通过在机场建植原生境没有的单一草坪植物高羊茅和多年生黑麦草以及人工刈割调控措施来降低机场地被的物种多样性及植被高度、生物量等, 旨在研究单一草坪植被及刈割调控对鸟类数量和多样性的影响, 旨在为机场鸟击防范工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 试验区位于天津滨海国际机场西南跑道附近的地被区, 地理位置为117.33°E, 39.12°N, 海拔3 m。年均气温11.8℃, 年均降水量598 mm, 无霜期188 d。该地区植被长势良好、种类丰富, 植被覆盖率高, 多为1年生或多年生杂草, 主要植被类型有夏至草(*Lagopsis supina*)、泥胡菜(*Hemistepta lyrata*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)和灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)等^[6]。土壤昆虫种类繁多, 其数量随季节变化明显, 主要有摇蚊(*Chironomus sinicus*)、豆蓝金龟子(*Popillia indigonacea*)、七星瓢虫(*Coccinella septempunctata*), 冬季仅有少数蜘蛛等节肢动物^[4]。该生境的鸟类主要有麻雀(*Passer montanus*)、喜鹊(*Pica pica*)、家燕(*Hirundo rustica*)等, 机场内的鸟类群落随季节变化明显, 秋季鸟类种群、数量和多样性指数最高, 春季则最低^[6]。

1.2 试验设计 选择多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)和高羊茅(*Festuca arundinacea* Schreb.)进行单一草坪建植。在机场试验区随机选择4个大小为15 m × 20 m的区域, 中间间隔2 m, 分别为对照区, 于2016年8月翻土, 不撒草种, 使植被自然生长, 且不进行刈割; 刈割区, 每年碾压2次, 在生长期, 植被每15 d进行1次刈割处理; 高羊茅区, 与对照区同时翻土, 开垦50沟, 每沟间距为0.3 m, 每沟播种高羊茅约0.2 kg, 总播种量为10 kg; 黑麦草区, 播种黑麦草草种, 方法同高羊茅草坪区。调查期间, 4个样地按常规措施管理, 不喷洒任何化学药剂。其中, 单一草坪区分别于2017年的4.5和

基金项目 民航专业项目“机场‘生态岛’鸟类生态综合防控技术研究”; 天津滨海国际机场委托课题(53H14018)。

作者简介 潘汝南(1992—), 女, 天津人, 硕士研究生, 研究方向: 鸟类生态。*通讯作者, 教授, 博士, 从事生态学研究。

收稿日期 2018-02-24

6月进行3次除穗管理。

1.3 调查方法 于2016年12月至2017年11月进行鸟类调研,将3—5月划分为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12—翌年2为冬季,每月调查2次。用佳能5D Marks单反相机和佳能EF 100~400 mm f/4.5-5.6L IS II USM远射变焦镜头拍摄,以鸟类落入样地为标准记数,鸟类物种鉴定查阅相关文献资料进行确定^[7]。

1.4 数据处理 ①多样性指数采用 Shannon-Weiner 指数 (H') 计算^[8]: $H' = -\sum (P_i \log_2 P_i)$, 式中, P_i 为物种 i 的个体数占全部物种个体数量的比例。②均匀度指数采用 Pielou 指数 J 计算^[9]: $J = H/H_{\max}$, 式中, H_{\max} 为理论上最大的多样性指数, 即 $H_{\max} = \ln S$, S 为物种数。③优势度指数 C 采用公

式^[10]: $C = \sum (P_i)^2$ 计算。④丰富度指数 (Ma) 采用 Margalef 指数计算^[11]: $Ma = (S-1)/\ln N$, N 为鸟类个体总数。

采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析和做图。

2 结果与分析

2.1 不同样地鸟类群落结构 在天津机场4个样地内共记录鸟类1740只,隶属6目14科20种(表1和2)。鸟类群落以雀形目为主,为9科13种,该目科数占总科数的64.3%,物种数占总物种数的65.0%。其中麻雀个体数最多,为781只,占总个体数的44.9%,其次为家燕、喜鹊、云雀等。楼燕个体数均最少,仅占总数的0.01%。

表1 天津机场不同样地鸟类个体数量

Table 1 Individual number of birds in different sample sites at Tianjin airport

目 Orders	科 Family	种 Species	鸟类个体数量 Individual number of birds//只			
			对照区 Control area	刈割区 Mowing area	高羊茅区 <i>F. arundinacea</i> area	黑麦草区 <i>L. perenne</i> area
雁形目 Anseriformes	鸭科	斑嘴鸭	2	—	—	—
	鸕科	喜鹊	97	66	47	10
	伯劳科	红尾伯劳	5	4	7	21
	燕科	家燕	166	73	33	18
雀形目 Passeriformes	鹡鸰科	布氏鹡鸰	5	3	1	—
		树鹡鸰	3	2	—	—
		白鹡鸰	5	2	1	—
	百灵科	云雀	112	77	39	24
	椋鸟科	灰椋鸟	3	4	—	—
	雀科	麻雀	307	273	114	87
	鹀科	蓝点颏	7	2	1	—
	莺科	东方大苇莺	12	8	2	—
鸡形目 Galliformes	雉科	鹌鹑	3	2	—	—
		环颈雉	1	1	—	—
鸽形目 Columbiformes	鸠鸽科	家鸽	13	5	2	3
		珠颈斑鸠	18	8	3	2
戴胜目 Upupiformes	戴胜科	戴胜	6	3	1	—
雨燕目 Apodiformes	雨燕科	楼燕	1	1	—	—

表2 天津机场样地鸟类群落组成

Table 2 The bird community composition in sample sites at Tianjin airport

目 Orders	科数 Family	种数 Species	所占比例 Percentage//%	个体数 Individuals//只	所占比例 Percentage//%
雁形目 Anseriformes	1	1	5.0	2	0.12
雀形目 Passeriformes	9	13	65.0	1 665	95.69
鸡形目 Galliformes	1	2	10.0	7	0.40
鸽形目 Columbiformes	1	2	10.0	54	3.10
戴胜目 Upupiformes	1	1	5.0	10	0.57
雨燕目 Apodiformes	1	1	5.0	2	0.12
合计 Total	14	20	100.0	1 740	100.0

由表3可知,4个样地鸟类数量差异较大,其中,草坪区鸟类数量显著少于对照区($P < 0.05$),尤其是黑麦草区最少,刈割区和对照区差异不显著($P > 0.05$)。虽然刈割区和草坪区物种数量相比对照区也有所降低,但差异不显著($P >$

0.05)。

2.2 不同季节样地鸟类数量变化特征 由图1可知,各样地鸟类个体数量随季节变化波动明显。夏季鸟类数量最多,冬季最少,春、秋季数量接近。夏季鸟类主要类群是家燕、金

腰燕、红尾伯劳、喜鹊、东方大苇莺和麻雀等。进入冬季后,随着温度的降低,鸟类数量和种类大量减少,各样地冬季鸟类优势种仅有云雀、喜鹊、麻雀。

表 3 天津机场不同样地鸟类个体数与物种数量

Table 3 Individual and species number of birds in different sample sites at Tianjin airport

样地 Sample site	鸟类个体数 Individual number of birds//只	物种数量 Number of species//种
对照区 Control area	195.00 ± 64.87 a	12.00 ± 4.57 a
刈割区 Mowing area	135.00 ± 30.08 ab	10.00 ± 4.24 a
高羊茅区 <i>F. arundinacea</i> area	64.00 ± 18.36 bc	7.00 ± 2.22 a
黑麦草区 <i>L. perenne</i> area	41.00 ± 29.23 c	6.00 ± 1.83 a

注:同列不同小写字母表示不同样地间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level between different sample plots

分析同一季节不同样地的鸟类数量可知,春、夏、秋季具有相同的趋势,刈割区和草坪建植区显著低于对照区 ($P < 0.05$),且草坪建植区显著低于刈割区 ($P < 0.05$),均以黑麦草区鸟类数量最低。冬季和前 3 个季节不同,4 个试验区鸟类数量差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 不同样地鸟类群落特征 由表 4 可知,4 个试验区丰富

表 4 不同样地鸟类群落特征

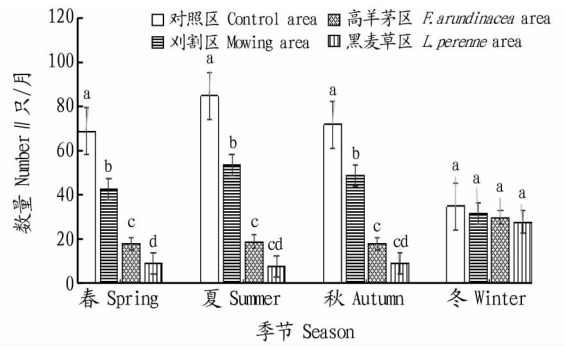
Table 4 Birds communities characteristics in different sample sites of the airport

样地 Sample sites	多样性指数 Shannon- Wiener index	均匀度指数 Pielou index	优势度指数 Berge- Parker index	丰富度指数 Margalef index
对照区 Control area	2.30 ± 0.38	0.98 ± 0.07	0.30 ± 0.04	2.02 ± 0.78
刈割区 Mowing area	2.04 ± 0.41	0.90 ± 0.07	0.34 ± 0.06	1.87 ± 0.71
高羊茅区 <i>Festuca arundinacea</i> area	1.99 ± 0.54	1.04 ± 0.12	0.32 ± 0.13	1.48 ± 0.58
黑麦草区 <i>Perennial ryegrass</i> area	1.97 ± 0.62	1.15 ± 0.23	0.33 ± 0.18	1.31 ± 0.47

3 结论与讨论

天津机场各样地鸟类群落主要以雀形目居多,麻雀个体数最多,其次为家燕、喜鹊、云雀等,楼燕个体数均最少。鸟类个体数随季节变化明显,夏季最高,可能是夏季温度高,雨水充沛,适合植物生长、昆虫繁衍,鸟类食物充足^[12]。此外,夏候鸟种类较多,东方大苇莺、小黄莺、珠颈斑鸠等鸟类数目增加。不同样地鸟类群落组成和优势种类相似,草坪建植区主要优势种为红尾伯劳、家鸽,刈割区和对照区为麻雀、家燕、喜鹊、云雀等。

3 组人工调控区相对对照区鸟类数量显著降低,物种数也有所下降。这说明通过调控措施,可有效减少机场鸟类种类和数量,尤其是雀形目的麻雀、云雀、喜鹊数量明显减少。鸟类易受植被条件的影响^[13],建植单一草坪明显改变了地被群落,相对对照区鸟类数量、多样性和丰富度都有所降低,尤其是黑麦草区变化最明显,与植被物种单一化有很大关系。杨刚等^[14]研究发现,植物物种丰富度决定鸟类物种丰富度。随着植物多样性的减少,鸟类种类和数量有一定减少^[15]。另外,刈割区相对对照区鸟类数量和种类也有所减少,刈割是减少植物生物量和高度的一种快速有效的方式,



注:不同小写字母表示不同样地间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercases stand for significant differences at 0.05 level between different sample plots

图 1 不同季节鸟类数量变化

Fig. 1 Changes of individual number of birds in different seasons

度和多样性指数变化趋势一致,对照区最高,其次是刈割区、高羊茅区和黑麦草区。高羊茅区的丰富度和多样性指数比对照区分别减少了 0.54 和 0.31,黑麦草区分别减少了 0.71 和 0.33。优势度指数方面,刈割区优势度最高,但各调控区相差不大。黑麦草区的均匀度指数最高,其次为高羊茅区。

随着刈割次数的增加,一些植株较高的植物(如牛筋草、稗草和白茅等)竞争性降低,植被、昆虫物种减少,进而导致鸟类种类减少^[5]。

研究表明,建植外来植物相比本土植物受害虫为害少,使食虫鸟类食物来源减少,抑制鸟类的数量^[16]。在机场建植须根发达、分蘖能力强的黑麦草和耐寒、适应性强、抗病性强的高羊茅,加上人工管理措施,可抑制机场本土植物的生长,降低地被植物群落多样性,且建植非该地草种可通过间接效应影响该地食物网^[17]。因此,建植单一草坪降低了机场地被物种丰富度,切断了部分鸟类的食物来源,有助于减少鸟类数量。

在机场通过刈割和单一草坪建植调控,降低了鸟类的数量、种类和多样性,尤其以建植黑麦草的效果最佳,并适当进行刈割或碾压等管理措施,来控制 and 减少鸟类的数量和多样性,最终达到机场鸟控的目的。

参考文献

- [1] DUKIYA J J, AHMAD A. Aircraft flight safety and birds strikes management in Aminu Kano International Airport, Nigeria [J]. *Advancement in scientific and engineering research*, 2014, 2(2): 29-40.

- [13] CRETTON S, DORSAZ S, AZZOLLINI A, et al. Antifungal quinoline alkaloids from *Waltheria indica* [J]. *Journal of natural product*, 2016, 79 (2): 300–301.
- [14] CAROTENUTO G, CARRIERI R, TARANTINO P, et al. Fungistatic activity of *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. bark extracts against fungal plant pathogens and investigation on mechanism of action in *Botrytis cinerea* [J]. *Natural product research*, 2015, 29(23): 2251–2255.
- [15] 陈方方, 张宇伟, 黄雪峰. 茄属植物甾体皂苷成分及其药理活性研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2016, 41(6): 976–988.
- [16] LUNGA P K, QIN X J, YANG X W, et al. Antimicrobial steroidal saponin and oleanane-type triterpenoid saponins from *Paullinia pinnata* [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 14: 369.
- [17] 杨秀芳, 龙园园, 吴妍, 等. 花椒属植物活性成分的研究进展[J/OL]. *食品科学*, 2017–09–27 [2017–12–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20170927.1607.198.html>.
- [18] 王冬梅. 秦岭地区黄精属两种植物化学成分及其生物活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [19] NABAVI S M, MARCHESI A, IZADI M, et al. Plants belonging to the genus *Thymus* as antibacterial agents: From farm to pharmacy [J]. *Food chemistry*, 2015, 173: 339–347.
- [20] 管玉格, 胡文忠, 石玉生, 等. 凤尾蕨属植物中萜类成分及其生物活性研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2018, 24(3): 112–113.
- [21] YU D, WANG J, SHAO X, et al. Antifungal modes of action of tea tree oil and its two characteristic components against *Botrytis cinerea* [J]. *Journal of applied microbiology*, 2015, 119(5): 1253–1262.
- [22] QIAN Z G. Cellulase-assisted extraction of polysaccharides from cucurbita moschata and their antibacterial activity [J]. *Carbohydrate polymers*, 2014, 101: 432–434.
- [23] 王玲, 唐德强, 王佳佳, 等. 铁皮石斛原球茎与野生铁皮石斛多糖的抗菌及体外抗氧化活性比较[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(6): 167–172.
- [24] 徐艳阳, 王君阳, 仇洋, 等. 黑果腺肋花楸多酚的抗菌及对 α -淀粉酶活性抑制分析[J]. *食品科学*, 2017–10–12 [2017–12–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20171013.1103.102.html>.
- [25] DEHKORDI N V, KACHOUIE M A, PIRBALOUTI A G, et al. Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of the extract of *Ephedra procera* fisch. et mey [J]. *Acta Pol Pharm*, 2015, 72(2): 341–345.
- [26] 田野, 王贵锋, 张向前. 植物抗菌肽的研究进展及其治疗应用[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(11): 1–6.
- [27] 邓丽红, 谢臻, 麦蓝尹, 等. 萜类化合物抗菌活性及其机制研究进展[J]. *中国新药杂志*, 2016, 25(21): 2450–2453.
- [28] AL-MAMUN M A, AKTER Z, UDDIN M J, et al. Characterization and evaluation of antibacterial and antiproliferative activities of crude protein extracts isolated from the seed of *Ricinus communis* in Bangladesh [J]. *Complementary and alternative medicine*, 2016, 16: 1–10.
- [29] 杨澍, 高杉. 天然产物抗菌作用的研究进展[J]. *天津中医药*, 2016, 33(2): 125–128.
- [30] 杨东升. 长松萝活性成分的提取分离与活性测定[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [31] 王媛. 木姜子枝叶化学成分及生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
- [32] 张鑫. 水杨梅化学成分及生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
- [33] 程小伟. 老鹳草化学成分及其生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
- [34] 闫梦茹. 索骨丹化学成分及其生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2016.
- [35] 靳磊. 秦巴山区4种野生百合鳞茎提取物的抑菌性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [36] 康杰芳. 两种金粟兰属植物的化学成分及相关生物活性的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2010.
- [37] 陈林. 四种苦苣苔科植物的生物活性研究[D]. 开封: 河南大学, 2010.
- [38] 王贝. 秦岭地区3种贯众属植物抗菌、抗氧化活性的比较研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
- [39] 王啸洋. 三种太白山药用植物的活性成分研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2014.
- [40] 何靖柳, 张清, 陈洪, 等. 肉桂精油对植物病原菌抑制作用的研究进展[J]. *分子植物育种*, 2017, 15(9): 3723–3730.
- [41] 任茜, 陈国联, 李万波. 80种秦岭七药原植物抗菌作用的实验研究[J]. *国土与自然资源研究*, 2013(1): 86–88.
- [42] 任茜, 陈国联, 李万波. 秦岭10种蔷薇属植物抗菌作用试验研究[J]. *中国园艺文摘*, 2012, 28(2): 20–21.
- [43] 杨朝福. 水冬瓜果实的化学成分及其抑菌活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [44] 杨斌, 曹君. 植物内生菌及其次级代谢产物的研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2016, 36(4): 1–6.
- [45] AFZAL M, KHAN Q M, SESSITSCH A. Endophytic bacteria: Prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants [J]. *Chemosphere*, 2014, 117: 232–242.
- [46] NAIR D N, PADMAVATHY S. Impact of endophytic microorganisms on plants, environment and humans [J]. *The scientific world journal*, 2014, 2014: 1–11.
- [47] 刘果. 三尖杉内生真菌次生代谢产物及抑菌活性的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
- [48] AKBAR A. Endophytic *Sphingomonas ylomeconis* sp. Nov., isolated from the stem of *Hylomecon japonica* [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

(上接第3页)

- [2] HROMÁDKA M. Bird control problem and bird strike analysis of Czech and Slovak airports [J]. *Transport problems an international scientific journal*, 2013, 8(3): 33–41.
- [3] CARDOSO C O, GOMES D D N, SANTOS A G S D, et al. Bird strike risk analysis at the international airport of Parnaíba, Piauí, Brazil [J]. *Ornitologia neotropical*, 2014, 25(2): 179–193.
- [4] 李士权, 徐焕然, 袁红, 等. 天津滨海国际机场地被昆虫的多样性特征[J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 36(3): 44–49.
- [5] 吴克凡. 机场薰衣草种植与鸟击防范关系的研究[J]. *伊犁师范学院学报*, 2016, 10(2): 82–85.
- [6] 柳毅, 徐焕然, 袁红, 等. 天津滨海国际机场鸟类群落结构及多样性特征[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(3): 740–746.
- [7] SULKAVA P, HUHTA V. Effects of hard frost and freeze-thaw cycles on decomposer communities and mineralisation in boreal forest soil [J]. *Applied soil ecology*, 2003, 22(3): 225–239.
- [8] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. *Bell labs technical journal*, 1948, 27(3): 379–423.
- [9] MA K. Measurement of biotic community diversity [α diversity (Part 1)] [J]. *Biodiversity science*, 1994, 2(3): 162–168.
- [10] PUTMAN R J, WRATTEN S D. *Principles of ecology* [M]. California: University of California Press, 1984.
- [11] MARGALEF D R. Information theory in ecology [J]. *Gen system*, 1957, 3: 36–71.
- [12] DUKIYA J J, GAHLOT V. An evaluation of the effect of bird strikes on flight safety operations at international airport [J]. *International journal for traffic & transport engineering*, 2013, 3(1): 16–33.
- [13] ARSHAD S, HUSSAIN I, ANWAR M, et al. Habitat survey for recognizing bird attractants around Benazir Bhutto International Airport [J]. *Pakistan journal of agricultural research*, 2015, 28(3): 263–271.
- [14] 杨刚, 王勇, 许浩, 等. 城市公园生境类型对鸟类群落的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(12): 4186–4195.
- [15] ALLAN J, BAXTER A, CALLABY R. The impact of variation in reporting practices on the validity of recommended birdstrike risk assessment processes for aerodromes [J]. *Journal of air transport management*, 2016, 57: 101–106.
- [16] LAU J A, STRAUSS S Y. Insect herbivores drive important indirect effects of exotic plants on native communities [J]. *Ecology*, 2005, 86(11): 2990–2997.
- [17] HINZ H L, SCHWARZLAENDER M. Comparing invasive plants from their native and exotic range: What can we learn for biological control [J]. *Weed technology*, 2004, 18: 1533–1541.