

豫北低山丘陵区农田边界系统植物多样性的研究*

马守臣^{1,2} 原东方¹ 杨慎骄² 王和洲^{2**}

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院 焦作 454000; 2. 中国农业科学院农田灌溉研究所 新乡 453003)

摘要 通过野外调查研究了豫北低山丘陵区不同农田边界的植物丰富度、均匀度、生态优势度和多样性指数。结果表明:植物丰富度指数依次为灌草丛>水渠边>稀疏林地>路旁>果园边际>作物边界带,灌草丛物种丰富度显著大于其他边界类型,作物边界带的物种丰富度显著小于其他农田边界类型;植物均匀度指数依次为稀疏林地>灌草丛=水渠边>路旁>作物边界带>果园边际,稀疏林地均匀度指数显著大于其他边界类型,果园边际地的均匀度指数显著小于其他农田边界类型;植物多样性指数和生态优势度指数变化趋势一致,依次为水渠边>稀疏林地>灌草丛>果园边际>路旁>作物边界带,水渠边的生态优势度和多样性指数均显著大于其他边界类型,作物边界带的生态优势度和多样性指数均显著小于其他边界类型。灌草丛、路旁、水渠边、稀疏林地和果园边际地相互间的共有植物种较多,其物种相似系数均在0.7以上,而作物边界带与其他边界类型间的共有植物种较少,物种相似系数也较低,均在0.7以下,其中,作物边界带和灌草丛相似系数最低,为0.47。

关键词 豫北 低山丘陵区 农田边界系统 植物多样性 物种相似性

中图分类号: Q145 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2010)04-0815-05

Plant diversity in field margin systems in the hilly regions of northern Henan

MA Shou-Chen^{1,2}, YUAN Dong-Fang¹, YANG Shen-Jiao², WANG He-Zhou²

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;

2. Institute for Farm Irrigation Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China)

Abstract Based on field investigation, plant species abundance and indices of evenness, diversity and dominance were analyzed in field margin systems in the hilly regions of northern Henan. The results show that species abundance is highest for shrub-grassland, followed by aqueduct margin, sparse forests, roadsides, orchard border and cropland border. Species abundance is significantly higher for shrub-grassland and lower for cropland border compared to other field margin systems. Evenness index is highest for sparse forests, followed by shrub-grassland, aqueduct margin, roadsides, cropland border and orchard border. Evenness index is significantly higher for sparse forests and lower for orchard border. Diversity and dominance indices are highest for aqueduct margin, followed by sparse forests, shrub-grassland, orchard border, roadsides and then cropland border. Diversity and dominance indices are significantly higher for aqueduct margin and lower for cropland border. There are much more common species among shrub-grassland, roadsides, aqueduct margin, sparse forests and orchard border, with similarity coefficients above 0.7. There are less common species between cropland border and the other field margin systems, with similarity coefficients below 0.7. The lowest similarity coefficient (0.47) is between cropland border and shrub-grassland.

Key words Northern Henan, Hilly Region, Marginal field system, Plant diversity, Similar species coefficient

(Received Oct. 26, 2009; accepted March 17, 2010)

农田边界系统是农田间的过渡带,包含树篱、防护林、草皮(带)、沟渠、道路、作物边界带等半自然生境的景观要素^[1]。农田边界在保护生物多样性

方面有着重要作用,农田边界的野生植物、杂草或树林既可为节肢动物如步甲、蜘蛛、隐翅虫等提供多样、稳定的栖息地和越冬场所,还能为爬行动物、

* 农业部作物需水与调控重点实验室基金(CWRR200904)、河南省重点科技攻关项目(092102110192)和河南理工大学博士基金项目(B648249)资助

** 通讯作者:王和洲(1962~),男,研究员,主要从事农田生态学和农业水资源高效利用方面的研究。E-mail: whzh6204@126.com
马守臣(1972~),男,博士,副教授,主要从事农业生态环境和节水方面的研究。E-mail: mashouchen@126.com

收稿日期: 2009-10-26 接受日期: 2010-03-17

小型哺乳动物、鸟类提供食物和栖息地,增加农田的物种多样性^[2-3]。但农田边界的生物多样性常常受边界结构属性、农作系统及农作措施的影响。随着生物多样性保护和病虫害综合防治的提出,有关农田边界生态功能的研究受到广泛重视^[4]。Lagerlof 和 Wallin^[5]研究表明,农田边界如田埂的植物多样性增加,害虫天敌的种类和数量也大大增加。农田边界的杂草条带,不仅能为取食农田害虫的节肢动物提供栖息地和越冬场所^[6],在喷施农药时,这些杂草地还能作为害虫天敌的临时庇护所^[3]。保持农田边界的植物多样性以增加天敌种群数量,在作物害虫发生期,农田边界就能作为迁入作物地的天敌源库而发挥天敌对害虫种群的生态控制作用^[7]。此外,农田边界植物多样性在防止土壤侵蚀、促进养分循环、保护土壤有益微生物、消除环境污染方面都有着重要作用^[8]。因此,保持农田边界系统生物多样性对维持农业生态系统稳定和生产力具有重要意义。在国外,如英国、加拿大等非常重视农田边界植物的保护^[9-10]。近几年来,国内也相继开展了农田边界半自然生境对生物多样性的影响研究^[11]。但是,总的看来,对农田边界生物多样性以及农田边界结构、属性、植被的相互关系研究不多。本研究通过调查豫北低山丘陵区农田边界系统的生物多样性现状,分析不同生境条件下植物多样性特征以及人类干扰对农田边界生物多样性的影响,这将对完善生物多样性的研究和建立持续稳定的农业生产体系具有重要的指导作用和借鉴意义。

1 研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于河南省辉县市境内,市域内山地、丘陵面积 1 223 km²。属暖温带大陆性季风气候,年均气温 13.8℃,日照充足,年均日照时数 2 446.9 h,年均降水量 576.5 mm,无霜期 209 d。调查区选择在洪州乡和上八里镇 2 个乡镇的低山丘陵区。该区北依太行山,为太行山-华北平原过渡带,土壤为山地洪水冲积物发育而成的褐色土,地层较薄,颗粒较粗,多为黏质砂土夹砾石。因土薄石多,持水力很差,漏水漏肥,致使土壤干旱,风蚀沙化严重,植被稀疏,植被类型为荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* Mill)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)灌草丛,群落的植被覆盖率和生物生产量均较低。人工栽种的经济树种主要为一些零星分散的柿树(*Diospyros kaki* L. f)、核桃(*Juglans mandshurica* Maxim)、枣(*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd)、桃(*Prunus persica*)、杏

(*Prunus armeniaca*)等。区域内土地利用主要为农田,经济效益高的果树和畜牧业未达到充分发展。农业生态系统的耕作制度为一年 2 熟制(水浇地)或一年 1 熟制(旱地),主要作物为冬小麦(*Triticum aestivum*)和花生(*Arachis hypogaea*)。

1.2 取样方法

于 2009 年 7 月对调查地灌草丛、路旁、水渠边、稀疏林地、作物边界带和果园边际等不同农田边界生境的植物种类进行调查统计,各调查样地土壤均为黏质砂土夹砾石,灌草丛、路旁、水渠边和作物边界带的各调查样地均无高大乔木。每种生境类型调查 5 个样地,每个样地内随机布设样方,灌木样方规格为 25 m²,草本样方规格为 2 m²,重复 4 次。记录样方内草本植物、灌木的种类和株数。

1.3 物种多样性计算

植物多样性测定采用生态优势度(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Margalef 丰富度指数(R)和 Pielow 均匀度指数(E),分别按以下公式计算:

$$D=1 - \sum(P_i)^2 \quad (1)$$

$$H= - \sum(P_i \times \ln P_i) \quad (2)$$

$$R=(S - 1)/\ln N \quad (3)$$

$$E=H/\ln S \quad (4)$$

式中, P_i 为第 i 种植物的个体数占总个体数的比例, S 为样方内物种数, N 为样方内所有物种的个体总数。

用 Sorensen 相似系数(Similarity coefficient, SC)计算不同农田边界间的物种相似性,计算公式如下:

$$SC = 2w/(a+b) \quad (5)$$

式中, a 和 b 分别为两个不同边界类型中的植物种数, w 为两个不同边界类型中共有的植物种数。

1.4 统计分析

利用 EXCEL 软件计算物种多样性指数,利用 SPSS 软件对不同边界类型的物种相似性进行分析,并检验各边界类型多样性指数间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同农田边界的植物组成与数量

通过调查,豫北低山丘陵区 6 种农田边界共统计到 34 种植物(表 1),分属 22 科,以禾本科植物种类最多(8 种),其次为菊科(6 种),其余各科各 1 种。不同边界地中植物的种类和数量不同,灌草丛植物种类 26 种,路旁 24 种,水渠边 32 种,稀疏林地 25 种,作物边界带 16 种,果园边际地 28 种。不同农田边界的优势种群也不同,其中灌草丛和稀疏林地的白羊草密度最高,路旁的狗牙根(*Cynodon dactylon*)密度最大,水渠边和果园边际地的黄背草(*Themeda*

表 1 不同农田边界的植物组成及密度
Tab. 1 Plant species and densities in various field margin systems individual · m⁻²

| 植物种 Plant species | 灌草丛 Shrub-grassland | 路旁 Roadside | 水渠边 Aqueduct margin | 稀疏林地 Sparse forest | 作物边界 Cropland border | 果园边际 Orchard border |
|-------------------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| 看麦娘 <i>Alopecurus aequalis</i> | | 1.2 | 1.1 | | 1.3 | 0.1 |
| 牛筋草 <i>Eleusine indica</i> | 1.3 | 1.9 | 0.2 | 1.0 | | 1.4 |
| 狗尾草 <i>Setaria viridis</i> | 2.6 | 0.8 | 6.0 | 6.0 | 4.1 | 8.2 |
| 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> | 2.3 | 14.5 | 3.4 | 1.7 | 3.5 | 1.4 |
| 白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i> | 12.0 | 0.3 | 5.2 | 13.0 | 1.6 | 4.2 |
| 雀麦 <i>Bromus japonicus</i> | 0.5 | 6.1 | | 0.2 | 2.1 | 8.4 |
| 黄背草 <i>Themeda japonica</i> | 6.0 | 3.4 | 14.5 | 3.0 | 10.5 | 17.0 |
| 马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> | 0.3 | 1.2 | 5.2 | 1.3 | 15.0 | 3.1 |
| 野艾蒿 <i>Artemisia argyi</i> | 1.2 | 0.9 | 4.2 | 1.4 | 0.2 | 0.4 |
| 猪毛蒿 <i>A. scoparia</i> | 0.3 | 1.1 | 1.1 | 4.0 | | |
| 青蒿 <i>A. annua</i> | 2.8 | 0.6 | 3.2 | 2.4 | 0.2 | 1.2 |
| 野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> | 0.3 | 0.1 | 1.1 | 0.7 | | 0.2 |
| 阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i> | 0.2 | 0.4 | 1.5 | 0.3 | | |
| 小飞蓬 <i>Comniza canadensis</i> | 0.1 | 3.1 | 1.5 | 2.3 | 2.5 | 0.2 |
| 莎草 <i>Cyperus rotundus</i> | 0.2 | 0.1 | 1.2 | 0.3 | | 0.2 |
| 马兜铃 <i>Aristolochia debilis</i> | | 0.2 | 0.1 | | | |
| 节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i> | 1.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | | 0.1 |
| 灰灰菜 <i>Chenopodium album</i> | | | 0.2 | | 0.7 | 0.3 |
| 地黄 <i>Radix rehmanniae</i> | | | 0.2 | 0.4 | | 0.1 |
| 反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i> | | 0.8 | 1.0 | | 0.8 | 0.4 |
| 蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i> | 1.1 | | 0.4 | 0.3 | | 0.1 |
| 马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i> | | | 0.2 | | | |
| 地稍瓜 <i>Cynanchum thesioides</i> | 0.1 | | | 0.1 | | 0.1 |
| 百蕊草 <i>Herba Thesii</i> | | | 0.4 | | | 0.1 |
| 灯笼草 <i>Physalis angulata</i> | | 0.2 | 0.1 | | | |
| 打碗花 <i>Calystegia hederacea</i> | | | 0.1 | | | |
| 苘麻 <i>Abutilon theopasti</i> | | | 0.1 | | | 0.3 |
| 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> | | 0.4 | 0.1 | | | 0.1 |
| 麻黄 <i>Ephedra sinica</i> | 0.3 | | 0.2 | 0.3 | | 1.3 |
| 地锦 <i>Euphorbia humifusa</i> | 1.2 | 0.1 | | 0.1 | | |
| 荆条 <i>Vitex negundo</i> | 1.1 | | 0.2 | 0.5 | | 0.8 |
| 杠柳 <i>Periploca sepium</i> | 0.2 | | 0.1 | | | 0.3 |
| 锦鸡儿 <i>Caragana sinica</i> | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | | 0.2 |
| 酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | | 0.5 |
| 植物总密度 Total density | 35.7 | 37.8 | 53.5 | 40.1 | 42.5 | 50.7 |

japonica)密度最大, 作物边界带的马唐(*Digitaria sanguinalis*)密度最大。

2.2 不同农田边界的植物多样性比较

采用 Margalef 丰富度指数、Pielow 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和生态优势度评价研究区内不同农田边界的植物多样性。表 2 表明, 6 种不同农田边界的植物丰富度指数依次为灌草丛>水渠边>稀疏林地>路旁>果园边际>作物边界带, 灌草丛物种丰富度最大, 显著大于其他边界地, 作物边界带的物种丰富度最小, 显著小于其他农田边界类型;

植物均匀度指数依次为稀疏林地>灌草丛=水渠边>路旁>作物边界带>果园边际, 稀疏林地均匀度指数最大, 显著大于其他边界地, 果园边际地的均匀度指数最小, 显著小于其他农田边界类型; 6 不同边界类型中的植物多样性指数和生态优势度指数变化趋势一致, 依次为水渠边>稀疏林地>灌草丛>果园边际>路旁>作物边界带, 水渠边的生态优势度和多样性指数最高, 且均显著大于其他边界类型, 作物边界带的生态优势度和多样性指数最低, 且均显著小于其他边界类型。

表 2 不同农田边界的物种丰富度、均匀度、多样性指数和生态优势度

Tab. 2 Plant species abundance, evenness index, diversity index and ecological dominance index in various field margin systems

| 农田边界类型 Field margin type | 物种丰富度 Species abundance | 均匀度 Evenness index | 多样性指数 Diversity index | 生态优势度 Ecological dominance index |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 灌草丛 Shrub-grassland | 0.68±0.03a | 0.70±0.02b | 2.31±0.15bc | 0.84±0.03b |
| 路旁 Roadside | 0.58±0.02c | 0.69±0.01b | 2.15±0.11c | 0.81±0.02b |
| 水渠边 Aqueduct margin | 0.63±0.04b | 0.70±0.03b | 2.48±0.21a | 0.88±0.03a |
| 稀疏林地 Sparse forest | 0.60±0.02bc | 0.74±0.02a | 2.33±0.10b | 0.85±0.02b |
| 作物边界 Cropland border | 0.29±0.03e | 0.68±0.03b | 1.89±0.22d | 0.78±0.03c |
| 果园边际 Orchard border | 0.53±0.05d | 0.65±0.04c | 2.17±0.25c | 0.82±0.03b |

同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

2.3 不同农田边界的共有植物种及其物种相似性

对研究区内不同农田边界间的共有植物种的统计(表 3)表明,灌草丛、路旁、水渠边、稀疏林地和果园边际地相互间的植物共有种较多,均在 20 种以上;而作物边界地与其他农田边界类型的共有种较少,均在 15 种以下。对不同农田边界间的植物种相似系数的计算结果表明,灌草丛、路旁、水渠边、稀疏林地和果园边际地相互间的植物种相似性较高,相似系数均在 0.7 以上,其中,稀疏林地和灌草丛相似系数最高,为 0.98;作物边界带由于受人类干扰较大,与其他农田边界的物种相似系数均较低,其中,作物边界带和灌草丛相似系数最低,为 0.47。

3 结论与讨论

豫北低山丘陵区抗干扰能力较弱,有着明显的环境脆弱性。自 20 世纪 70 年代以来,对该区域宜耕的荒(滩)地进行了大规模开发利用,由于过度开垦和乱砍滥伐,当地的自然植被已遭到毁灭性破坏,生物多样性严重下降。一个区域的生物多样性对提高农业生产力、维持农田生态系统的稳定性具有重要意义。然而,在人类频繁从事农业生产活动的区域,不能像自然生态系统那样通过建立自然保护区的途径来管理和保护生物多样性,而必须在不影响农业生产力的前提下,对生物多样性从生境多样性上进行保护。农田边际地带作为野生生物种相对集中的地域,可以作为生物多样性丰富的“野生生境

岛屿”保存在农业生态系统中^[12-13]。通过合理管理各种边际地带的野生生境,就能保持野生生境的多样性,从而起到保护生物多样性的作用^[8,14]。豫北低山丘陵区不同农田边际地所处的环境条件差异较大,而自然条件下野生植物的分布与数量与其所处的环境条件密切相关。因此,研究不同生境条件下植物多样性,对于该区域的生态保护和生物资源合理利用具有重要意义。本研究区域内 6 种不同农田边际地物种丰富度指数依次为灌草丛>水渠边>稀疏林地>路旁>果园边际>作物边界带。物种丰富度是指一个群落或生境中物种数目的多寡,它是基于物种的存在与否,其大小除与环境条件有关外,还受人类干扰的影响,在研究区域内 6 种不同农田边界中,受人类生产活动干扰程度较轻的灌草丛物种丰富度最大,其次是资源和环境条件较好的水渠边。受人类生产活动干扰程度较大的作物边界带,其物种丰富度均显著小于灌草丛、稀疏林地等人类干扰程度较轻的其他边界类型。均匀度是指一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况,它反映各物种个体数目分配的均匀程度。本研究中,6 种不同农田边际地植物的均匀度指数依次为稀疏林地>灌草丛=水渠边>路旁>作物边界带>果园边际。受人类干扰程度较轻的稀疏林地均匀度指数较高,而果园边际地则由于生产者通过有意识保护一些灌木、杂草形成树篱以保护果园,造成某些植物种如酸枣、荆条和黄背草等相对集中,因此,果园边际地均匀度指数最低。

表 3 不同农田边界的共有植物种数及其物种相似系数

Tab. 3 Number of common species and similarity coefficient of species among various field margin systems

| 农田边界类型 Field margin type | 灌草丛 Shrub-grassland | 路旁 Roadside | 水渠边 Aqueduct margin | 稀疏林地 Sparse forest | 作物边界 Cropland border | 果园边际 Orchard border |
|-----------------------------|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| 灌草丛 Shrub-grassland | | 0.80 | 0.81 | 0.98 | 0.47 | 0.85 |
| 路旁 Roadside | 20 | | 0.77 | 0.82 | 0.65 | 0.73 |
| 水渠边 Aqueduct margin | 24 | 22 | | 0.79 | 0.61 | 0.85 |
| 稀疏林地 Sparse forest | 25 | 20 | 23 | | 0.49 | 0.86 |
| 作物边界 Cropland border | 10 | 13 | 15 | 10 | | 0.64 |
| 果园边际 Orchard border | 23 | 20 | 26 | 22 | 14 | |

对角线上部为相似系数,下部为共有种数。Similarity coefficient is above the diagonal, and number of common species is below the diagonal of the table.

丰富度指数、均匀度指数均只能反映植物多样性的一个侧面,而多样性指数是把物种数、个体数、分布特性等信息结合起来的一个统计量,是反映群落内物种丰富度、变化程度及均匀性的综合指标。生态优势度是群落水平的综合数值,它是把群落作为一个整体而把各个种的重要性总结为一个合适的度量值,以表征群落的组成结构特征。本研究6种不同农田边际地植物多样性指数和生态优势度依次为水渠边>稀疏林地>灌草丛>果园边际>路旁>作物边界带。水资源条件较好的水渠边植物多样性指数和生态优势度最高,其次为稀疏林地,而经常受人类活动干扰的作物边界带多样性指数和生态优势度均显著小于其他农田边际地。对不同农田边界间的共有植物种及其物种相似性的分析表明,受人类干扰较轻的灌草丛、路旁、水渠边、稀疏林地和果园边际地相互间的植物共有种较多,物种相似性也较高。在作物边界带由于人类对非农业野生植物高强度的干扰,导致对人类干扰较为敏感的物种如锦鸡儿、杠柳、酸枣、荆条等生长受到限制,因而作物边界带与其他边界地间共有植物种较少,物种相似系数也较低。可见,农田边界的植物分布、种群构建等与人类生产活动的干扰程度和生境条件(如土壤湿度、肥力等)有很大关系。因此,该研究区在农业土地利用必须存在的前提下,应通过改善农田管理措施,减少人类对农田边际地的干扰,保护野生生境,同时,也可通过优化土地利用结构,建立多样化的农林、农果、农牧种植系统,构建非农作性农田边缘地带,营造多样化的人工生境,以保护和维持区域的生物多样性。

参考文献

- [1] Critchley C N R, Fowbert J A, Sherwood A J. The effects of annual cultivation on plant community composition of uncropped arable field boundary strips[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 13: 196–205
- [2] Bence S L, Stander K, Griffiths M. Habitat characteristics of harvest mouse nests on arable farmland[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 99: 179–186
- [3] 谢坚, 屠乃美, 唐建军, 等. 农田边界与生物多样性研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(2): 506–510
- [4] 董玉红, 欧阳竹, 刘世梁. 农业生物多样性与生态系统健康及其管理措施[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 16–20
- [5] Lagerlof J, Wallin H. The abundance of arthropods along two field margins with different types of vegetation composition: An experimental study[J]. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 1993, 43: 141–154
- [6] Thomas S R, Noordhuis R, Holland J M, et al. Botanical diversity of beetle banks: Effects of age and comparison with conventional arable field margins in southern UK[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 93(1): 403–412
- [7] 刘雨芳, 古德祥, 张古忍, 等. 广东双季稻区杂草地和稻田中捕食性节肢动物的群落动态[J]. *昆虫学报*, 2003, 46(5): 591–597
- [8] 陈欣, 唐建军, 王兆骞. 农业生态系统中生物多样性的功能——兼论其保护途径与今后研究方向[J]. *农村生态环境*, 2002, 18(1): 38–41
- [9] Doane J F. Seasonal captures and diversity of ground beetles in a wheat field and its grassy borders in central Saskatchewan[J]. *Quaes Entom*, 1981, 17: 211–233
- [10] Stevens D K, Bradbury R B. Effects of the arable stewardship Pilot Scheme on breeding birds at field and farm scales[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 112: 283–290
- [11] 余柳青, 陆永良, 根本正之, 等. 稻田田埂植物的生物多样性[J]. *中国水稻科学*, 1999, 13(4): 254–256
- [12] 陶战. 我国乡村生态系统在国家生物多样性保护行动计划中的地位[J]. *农业环境与发展*, 1995(4): 5–7
- [13] Altieri M A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems[J]. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 1999, 74: 19–31
- [14] Holland J, Fahrig L. Effect of wood borders on insect density and diversity in crop fields: A Landscape-scale analysis[J]. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 2000, 78: 115–122