



论文

作物多样性对害虫及其天敌多样性的级联效应

时培建^{①②}, 惠苍^③, 门兴元^{④*}, 赵紫华^①, 欧阳芳^①, 戈峰^{①*}, 金显仕^②, 曹海锋^①,
Li B. Larry^⑤

① 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101;

② 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 青岛 266071;

③ Centre for Invasion Biology, Department of Botany and Zoology, Stellenbosch University, Matieland 7602, South Africa;

④ 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100;

⑤ Ecological Complexity and Modeling Laboratory, University of California, Riverside, CA 92521-0124, USA

* 联系人, E-mail: menxy2000@hotmail.com; gef@ioz.ac.cn

收稿日期: 2013-10-27; 接受日期: 2013-11-05

国家自然科学基金重点项目(批准号: 31030012)、国家重点基础研究发展计划(批准号: 2013CB127604)、公益性行业(农业)科研专项(批准号: 201103012)、南非国家研究基金(批准号: 76912, 81825)和美国加州大学农业实验站项目资助

摘要 植物物种丰富度对植食性、寄生性和捕食性节肢动物多样性的影响是群落生态学的一个重要研究内容. 探讨了作物物种丰富度对害虫及其天敌多样性的影响. 通过连续 4 年 5 个作物物种丰富度水平的野外实验, 发现作物物种丰富度显著性影响害虫物种丰富度, 但对天敌物种丰富度的影响甚微. 然而, 害虫物种丰富度却显著影响天敌物种丰富度. 这些发现表明, 相邻营养层之间的级联效应较强, 而不相邻营养层之间的作用关系被中间营养层所弱化. 此外, 本研究还发现, 混栽田中节肢动物群落稳定性高于单一种植田中节肢动物群落稳定性. 本研究结果突出了不同营养层之间复杂的作用关系以及作物多样性在农业生态系统食物网中的关键性角色.

关键词营养层
稳定性
广义可加模型
单一种植
混栽

近年来对不同营养层级联效应的研究, 即对不同营养层多样性状况如何调节种群密度和群落多样性的研究, 已经揭示了其对生态系统功能和服务所产生的复杂性影响^[1~3]. 尽管植物物种丰富度和植食性节肢动物多样性之间的关系备受学术界的关注^[4~11], 但是鲜有研究考虑到在农业生态系统中常见的作物-害虫-天敌食物网中作物物种丰富度对植食性害虫及其天敌多样性的影响^[12~14].

Root^[4]曾提出自上而下影响的天敌控制假说(natural enemy hypothesis, NEH)和自下而上影响的资

源浓度假说(resource concentration hypothesis, RCH)用以解释农田中害虫多样性的成因. 通过野外调查, Risch^[5]得出了是资源浓度假说而不是天敌控制假说, 更能够解释在单一种植模式下和混栽模式下不同甲虫种群密度差异的成因. Siemann^[6]发现, 植物的物种数目和它们构成的功能群能够影响节肢动物的物种丰富度, 但是不能够影响它们的多度. Knops 等人^[7]研究了三级营养层系统, 发现植物物种丰富度显著影响植食性、寄生性和捕食性节肢动物的多样性, 但是他们忽略了对两个更高营养层之间关系的考虑,

引用格式: 时培建, 惠苍, 门兴元, 等. 作物多样性对害虫及其天敌多样性的级联效应. 中国科学: 生命科学, 2014, 44: 75–84

英文版见: Shi P J, Hui C, Men X Y, et al. Cascade effects of crop species richness on the diversity of pest insects and their natural enemies. Sci China Life Sci, 2014, 57, in press

即忽略了是否植食性节肢动物的物种丰富度能否显著影响到寄生性和捕食性节肢动物的多样性问题。

尽管一些研究已经探讨了在草地生态系统中植物多样性能否影响节肢动物群落的多样性和稳定性^[6,7,15,16],但是鲜有研究考虑到在农业生态系统中作物物种丰富度对节肢动物特别是农业害虫种群密度和多样性的影响。农业生态系统密切联系着农作物产量,而探索作物-害虫-天敌三个营养层之间所有可能的作用关系对于理解农业生态系统的功能和服务具有重要的理论价值和现实意义。如果天敌控制假说成立,那么混栽模式就会增加农业生态系统中天敌的物种丰富度,进而减少害虫的种群数量和物种丰富度。此时,人为地增加田间天敌的种群数量和引入新的天敌种类无疑将会有助于减少害虫大爆发的风险。但相反,如果资源浓度假说成立,那么害虫的种群密度和物种丰富度则主要受到作物种植密度和物种丰富度的影响,而天敌群落主要受到害虫的种群密度和物种丰富度的影响。此时,人为地增加田间天敌的种群数量和引入新的天敌种类将可能不会有助于减少害虫大爆发的风险。基于4个连续年份5个作物物种丰富度水平的大田实验,本研究检验了相邻营养层间是否存在自下而上的直接作用关系(表现在作物物种丰富度对害虫物种多样性的影响、害虫物种丰富度对天敌物种多样性的影响),同时还检验了不同营养层之间是否存在自下而上的间接作用关系(表现在作物物种丰富度对天敌多样性的影响)。简而言之,本研究主要涉及基于作物-害虫-天敌三级生态系统中不同营养层之间的作用关系,而本研究的主要意图在于通过大田实验来验证在农业生态系统中天敌控制假说和资源浓度假说的正确与否。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究地点位于山东省临沂市沂水县境内(35°48'05"N, 118°37'11"E),为了防止外界干扰,研究区域边界构建了高约2 m的砖墙。研究区域内设置了50个9 m×9 m的正方形田块(下文称之为小区),小区与小区之间被1 m的空地所间隔。本研究从华北常见的20种作物中随机选取1, 2, 4, 8和16种作物,构成5个作物物种丰富度水平,每个水平设置10个重复。

定义一个小区中包含作物的物种数目作为物种丰富度,同一个作物物种丰富度水平上作物物种构成可以不同,但小区内总的物种数目相同。每个小区的作物按照22行22列均匀的点阵排列,同行种植同一作物,根据设置的作物物种丰富度水平的不同,同列作物不同。在实验期间,人工清除出现的杂草,不允许使用杀虫剂。

从2007~2010年,每年在农作物的生长季节开展若干次调查,在每次调查中,每个小区随机抽取一列,记录在该列作物上出现的所有节肢动物。因为本实验室对这些农作物个体增长趋势做过较为详细的研究^[17],所以将同一年份的调查时间选取在能够代表这些作物不同生长阶段的时间点上。每次调查得到大多数的节肢动物自行鉴别,不认识的物种请相关专家鉴别。调查得到的节肢动物根据《中国农林昆虫地理分布》^[18]的相关记录划分为害虫、天敌和中性物种。本研究使用到的农作物和调查得到的节肢动物名录分别列在网络版附表1和2中。

1.2 分析

首先使用方差分析来检验作物物种丰富度对害虫及其天敌多度、天敌与害虫多度比率的影响。在执行方差分析前,参照Kuang等人^[19]和Xiao等人^[20]的研究,对天敌与害虫多度比率数据取平方根的反正弦后再加以利用。

使用下述方程^[21]来描述下级营养层的物种丰富度 x 和上级营养层物种丰富度(或者香农指数) y 之间的关系:

$$y = ax/(1+bx), \quad (1)$$

其中, a 和 b 都是常数。此方程假设因变量距其极限值的饱和状态为 x 的函数,当 $b=0$ 时,此方程就变为截距为0的线性函数^[22]。表1列出了模型2个参数的显著性。

除了下级营养层物种丰富度对上级营养层物种多样性产生影响外,下级营养层物种多度、取样时间等也可能对上级营养层物种多样性产生影响,因此本研究还使用了广义可加模型^[23,24]来考察多个自变量对上级营养层物种丰富度(或香农指数)的影响。表2和3列出了这些自变量及其影响是否显著。为了评估是否方程(1)能够反映出相邻营养层之间的关系,还使用了单一变量(即下级营养层物种丰富度)的广

表 1 描述两个相邻营养层之间多样性关系的非线性方程 $y=ax/(1+bx)$ 的参数估计($n=883$)

因变量-自变量	参数	估计值	t 值	$Pr(> t)$	R^2
害虫物种丰富度-作物物种丰富度	a	7.968 ± 0.620	12.85	<0.001	0.25
	b	0.707 ± 0.069	10.30	<0.001	
害虫香农指数-作物物种丰富度	a	1.269 ± 0.092	13.85	<0.001	0.28
	b	0.817 ± 0.072	11.28	<0.001	
天敌物种丰富度-作物物种丰富度	a	10.631 ± 1.968	5.40	<0.001	0.04
	b	2.103 ± 0.437	4.81	<0.001	
天敌香农指数-作物物种丰富度	a	2.748 ± 0.488	5.63	<0.001	0.04
	b	2.243 ± 0.445	5.04	<0.001	
天敌物种丰富度-害虫物种丰富度	a	0.866 ± 0.058	14.85	<0.001	0.33
	b	0.063 ± 0.011	8.86	<0.001	
天敌香农指数-害虫物种丰富度	a	0.261 ± 0.019	13.88	<0.001	0.31
	b	0.104 ± 0.015	6.98	<0.001	

表 2 广义可加模型对不同营养层物种多样性关系的解释($n=883$)

因变量	自变量 ^{a)}	参照性自由度 ^[24]	F 值	P 值	R_{adj}^2
害虫多度	s(取样时间)	8.73	2.86	0.003	0.05
	s(天敌物种丰富度)	1.00	0.30	0.580	
	s(天敌多度)	2.71	1.23	0.300	
	s(作物物种丰富度)	3.99	5.32	<0.001	
天敌多度	s(取样时间)	5.86	3.17	0.005	0.07
	s(害虫物种丰富度)	1.00	24.62	<0.001	
	s(害虫多度)	3.29	2.28	0.072	
	s(作物物种丰富度)	1.64	4.97	0.013	
害虫物种丰富度	s(取样时间)	9.00	10.81	<0.001	0.53
	s(天敌物种丰富度)	3.39	53.49	<0.001	
	s(天敌多度)	1.00	0.33	0.570	
	s(作物物种丰富度)	3.23	96.89	<0.001	
害虫物种丰富度	s(取样时间)	9.00	30.83	<0.001	0.43
	s(作物物种丰富度)	3.32	116.86	<0.001	
害虫物种丰富度	s(作物物种丰富度)	3.23	91.77	<0.001	0.25
害虫香农指数	s(取样时间)	8.93	4.74	<0.001	0.39
	s(天敌物种丰富度)	4.22	12.35	<0.001	
	s(天敌多度)	5.40	1.71	0.117	
	s(作物物种丰富度)	3.94	73.66	<0.001	
害虫香农指数	s(取样时间)	8.97	10.25	<0.001	0.34
	s(作物物种丰富度)	3.97	93.78	<0.001	
害虫香农指数	s(作物物种丰富度)	3.96	85.60	<0.001	0.28
天敌物种丰富度	s(取样时间)	8.98	17.64	<0.001	0.44
	s(害虫物种丰富度)	2.93	71.93	<0.001	
	s(害虫多度)	4.09	3.26	0.011	
	s(作物物种丰富度)	1.00	2.13	0.145	
天敌物种丰富度	s(取样时间)	8.99	18.40	<0.001	0.43
	s(害虫物种丰富度)	3.08	85.08	<0.001	
天敌物种丰富度	s(害虫物种丰富度)	3.50	123.40	<0.001	0.33
天敌香农指数	s(取样时间)	8.97	11.02	<0.001	0.39
	s(害虫物种丰富度)	3.81	54.17	<0.001	
	s(害虫多度)	4.01	2.34	0.0537	
	s(作物多样性)	1.00	1.97	0.1608	
天敌香农指数	s(取样时间)	8.97	11.58	<0.001	0.38
	s(害虫物种丰富度)	3.90	66.05	<0.001	
天敌香农指数	s(害虫物种丰富度)	3.98	100.10	<0.001	0.31

a) s(·)代表广义可加模型中的光滑函数

义可加模型用以反映它与上级营养层物种丰富度(或香农指数)的关系, 如果两种模型得出的趋势相同或大体相同, 则说明方程(1)在反映相邻营养层多样性关系上是有效的.

此外, 为了评估不同作物物种丰富度水平对群落稳定性的影响, 使用了4年中所有小区的观测值计算了害虫、天敌物种丰富度的变异系数(coefficient of variation, CV). 变异系数是一个好的指标, 能够反映出群落的稳定程度和扩散动态^[16,25,26]. Jackknife 方法^[27]被用来计算物种丰富度变异系数的标准误差. 最后, 使用另一个非线性方程来反映下级营养层物种丰富度 q 对上级营养层物种丰富度变异系数 CV 的影响:

$$CV=c+d/q, \tag{2}$$

其中, c 和 d 都是常数.

2 结果

如图1所示, 不同作物物种丰富度水平上的害虫多度没有显著性差异($F_{1881}=1.007$, $P=0.316$); 天敌的多度同样没有显著性差异($F_{1881}=0.640$, $P=0.424$). 此外, 天敌与害虫多度的比率(平方根的反正弦)也没有显著性差异($F_{1881}=2.068$, $P=0.151$). 但是, 高的作物物种丰富度增加了害虫物种丰富度, 而后者则维系了一个高的天敌物种丰富度(图2). 方程(1)能够较好地反映下级营养层物种丰富度对上级营养层物种丰富度(或香农指数)的影响(表1).

广义可加模型的拟合结果显示, 取样时间和下级营养层物种丰富度 x 都对上级物种丰富度(或香农指数)有显著性的影响(表2). 但仅选择下级营养层物种丰富度为单一自变量时, 广义可加模型的预测结果和方程(1)的预测结果类似(图2和3), 表明方程(1)

表3 广义可加混合模型(将不同年份视为随机效果^[24])对不同营养层物种多样性关系的解释(样本量 $n=883$)

因变量	自变量	自由度	F 值	P 值	R_{adj}^2
害虫多度	s(取样时间)	1.00	9.63	0.002	0.02
	s(天敌物种丰富度)	1.00	0.52	0.471	
	s(天敌多度)	1.00	1.86	0.173	
	s(作物物种丰富度)	2.69	4.97	0.003	
天敌多度	s(取样时间)	2.74	3.56	0.017	0.06
	s(害虫物种丰富度)	1.00	27.29	<0.001	
	s(害虫多度)	1.72	1.39	0.240	
	s(作物物种丰富度)	1.00	9.52	0.002	
害虫物种丰富度	s(取样时间)	1.86	4.59	0.013	0.49
	s(天敌物种丰富度)	2.45	87.21	<0.001	
	s(天敌多度)	1.00	0.13	0.720	
	s(作物物种丰富度)	2.75	102.03	<0.001	
害虫香农指数	s(取样时间)	1.95	5.50	0.005	0.37
	s(天敌物种丰富度)	2.81	25.42	<0.001	
	s(天敌多度)	1.00	3.96	0.047	
	s(作物物种丰富度)	3.32	82.08	<0.001	
天敌物种丰富度	s(取样时间)	7.72	16.06	<0.001	0.44
	s(害虫物种丰富度)	2.15	96.52	<0.001	
	s(害虫多度)	3.50	4.50	0.002	
	s(作物物种丰富度)	1.00	1.49	0.222	
天敌香农指数	s(取样时间)	5.97	11.14	<0.001	0.38
	s(害虫物种丰富度)	3.31	67.32	<0.001	
	s(害虫多度)	3.25	2.70	0.041	
	s(作物多样性)	1.00	2.39	0.122	

是一个合理的参数模型. 此外, 高的作物物种丰富度导致了害虫物种丰富度的变异系数减小(图 4A), 而高的害虫物种丰富度又进一步导致天敌物种丰富度

的变异系数减小(图 4C). 然而需要指出, 增加作物物种丰富度对减少天敌物种丰富度的变异系数的效果较弱(图 4B 和表 4). 综合来看, 随着作物物种丰富度

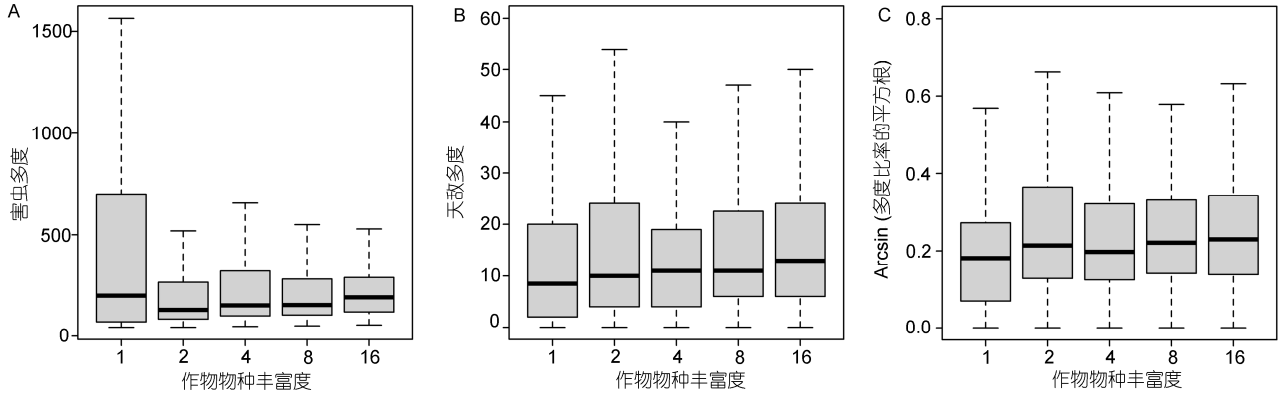


图 1 不同作物物种丰富度水平上的害虫及其天敌多度的箱线图

A: 害虫多度; B: 天敌多度; C: 天敌与害虫多度比率平方根的反正弦

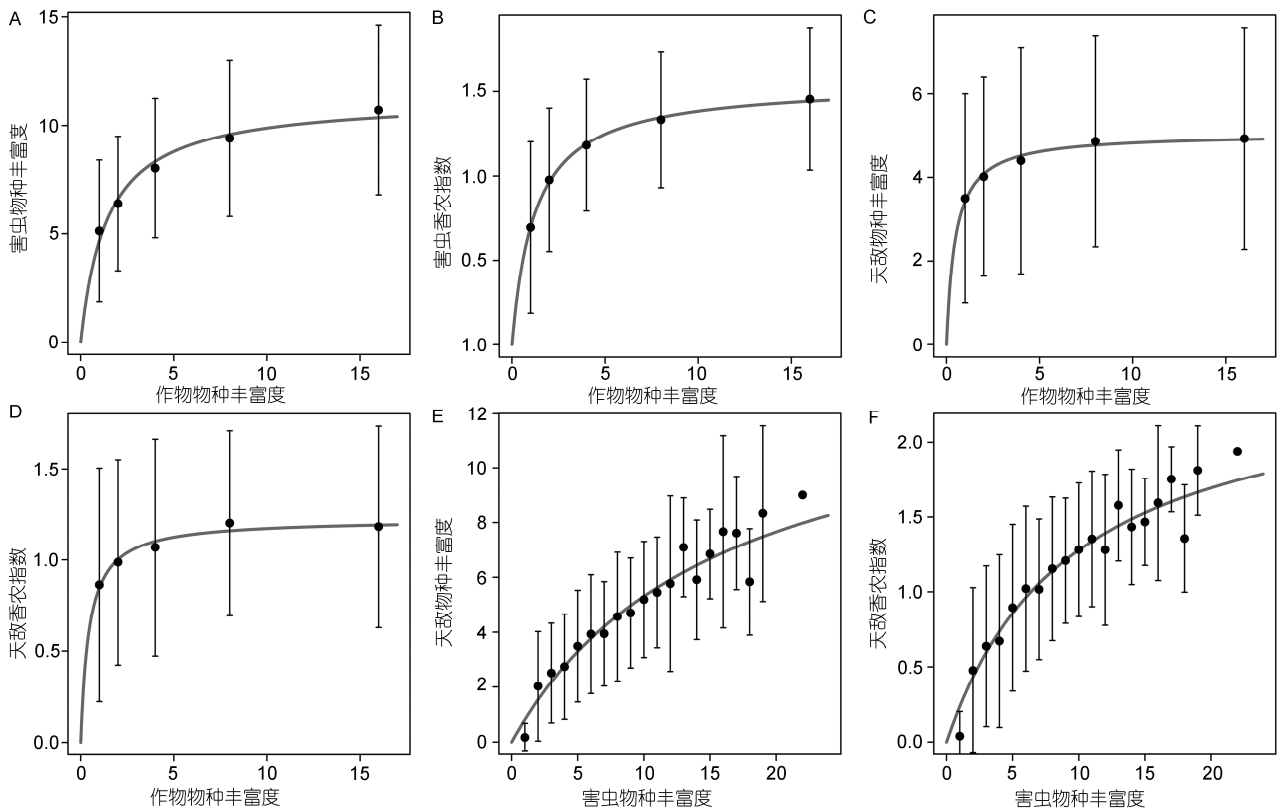


图 2 物种丰富度和香农指数观测值和预测值之间的对比

物种丰富度和香农指数预测值均基于方程(1)计算得到

的提高, 节肢动物群落的稳定性程度趋于增加。

3 讨论

本研究结果表明, 天敌物种丰富度受到害虫物种丰富度强烈地影响, 从而不支持自上而下影响的天敌控制假说^[28]。如果天敌控制假说成立, 天敌物种丰富度的增加理应导致害虫物种丰富度或者种群密度的减少; 但是相反, 研究结果显示, 害虫物种丰富度和天敌物种丰富度同时增加, 这正好和天敌控制假说相矛盾。因此, 必须分清两者同向增长的联系和自上而下的因果影响关系。

Siemann^[6]认为, 增加寄生性和捕食性天敌的多样性只有在下述 3 种情况下才可能会增加植食性节肢动物的多样性: (i) 在天敌竞争能力和抵制能力之间存在一个大体的均衡状态; (ii) 捕食者转而取

食种群数量较多的物种; (iii) 被捕食者呈现出聚集性的空间分布。尽管这些天敌通过选择性取食种群数量较多的物种能够增加害虫的香农指数, 但是昆虫在不同小区之前的迁移能够稀释这种自上而下的控害作用, 而其他环境干扰则可能会屏蔽这种控害作用。在大尺度的农业生态系统中, 害虫及其天敌之间的作用关系倾向于稳定^[29,30]。

方程(1)中的因变量既可以描述两个相邻营养层间上级营养层物种多样性对下级营养层物种丰富度增加的功能性反应^[21], 还可以用来描述不相邻营养层间下级营养层物种丰富度的增加经过中间营养层对上上一级营养层物种多样性的作用。令 $y = a_1x/(1+b_1x)$ 和 $z = a_2y/(1+b_2y)$ 分别表示害虫与作物物种丰富度之间的函数关系、天敌与害虫物种丰富度之间的函数关系, 则天敌与作物物种丰富度之间的函数关系则被推导为 $z = a_1a_2x/[1+(b_1+a_1b_2)x]$ 。尽管方程(1)能

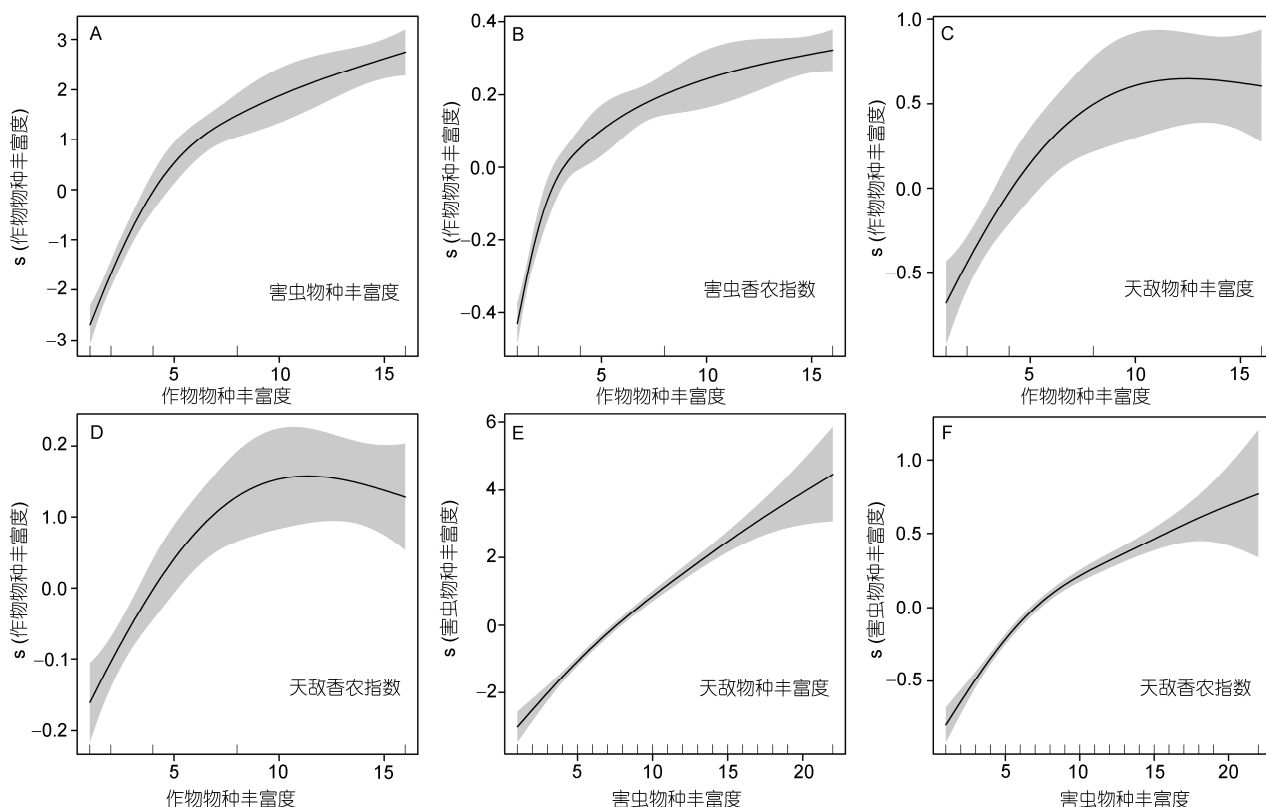


图3 广义可加模型的拟合结果

A: 害虫物种丰富度对作物物种丰富度; B: 害虫香农指数对作物物种丰富度; C: 天敌物种丰富度对作物物种丰富度; D: 天敌香农指数对作物物种丰富度; E: 天敌物种丰富度对害虫物种丰富度; F: 天敌香农指数对害虫物种丰富度. $s(\cdot)$ 代表光滑函数, 阴影部分代表 2 倍标准误差带的涵盖范围

够用来表示天敌的物种丰富度(或香农指数)作为作物物种丰富度的一个非线性函数(图 2C 和 D), 但是得到的拟合优度相当的低(表 1). 同样, 广义可加模型的拟合结果也不支持作物物种丰富度能够显著影响天敌物种丰富度(或香农指数)的推论(表 2), 表明作物物种丰富度对天敌物种丰富度的影响被中间营养层(即害虫)所稀释、弱化.

本实验表明, 相邻营养层物种多样性之间的关

系要强于不相邻营养层物种多样性之间的关系. Knops 等人^[7]在以往对草地生态系统的研究中也得出相似的结论. 根据对植食性昆虫物种丰富度和植物物种丰富度线性回归所得到的决定系数($R^2=0.24$)高于根据对天敌物种丰富度和植物物种丰富度线性回归所得到的决定系数($R^2=0.16$). 当然, 本研究中提出的方程(1)要优于 Knops 等人^[7]所使用的线性方程. 值得注意的是, Tilman 等人^[31,32]在分析植物物种丰富度

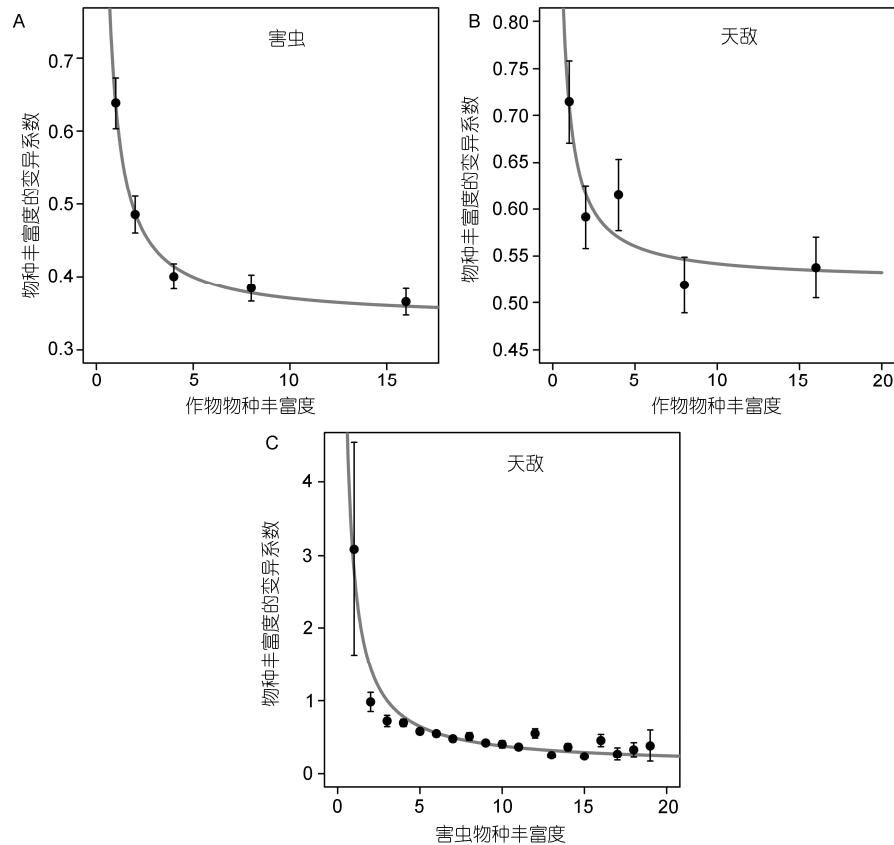


图 4 物种丰富度的变异系数

A: 害虫物种丰富度的变异系数对作物物种丰富度; B: 天敌物种丰富度的变异系数对作物物种丰富度; C: 天敌物种丰富度的变异系数对害虫物种丰富度. 黑点代表根据 4 年所有相关小区调查数据计算得到的变异系数, 再根据 jackknife 方法^[27]计算得到变异系数的标准误差(经过黑点的垂线段); 曲线表示基于方程(2)拟合得到的变异系数趋势线

表 4 描述群落稳定性的非线性方程 $y=c+d/q$ 的参数估计

因变量-自变量	参数	估计值	<i>t</i> 值	<i>Pr</i> (> <i>t</i>)	<i>R</i> ²
害虫物种丰富度的变异系数-作物物种丰富度	<i>c</i>	0.341±0.007	50.99	<0.001	0.99
	<i>d</i>	0.294±0.013	22.70	<0.001	
天敌物种丰富度的变异系数-作物物种丰富度	<i>c</i>	0.523±0.023	22.72	<0.001	0.85
	<i>d</i>	0.187±0.045	4.19	0.025	
天敌物种丰富度的变异系数-害虫物种丰富度	<i>c</i>	0.121±0.052	2.31	0.034	0.93
	<i>d</i>	2.648±0.181	14.66	<0.001	

对植物盖度和生物量的影响时同样使用了一个近似方程(1)的非线性模型, 而类似的非线性关系也为 Haddad 等人^[15]的研究结果所支持。

Haddad 等人^[16]的研究表明, 高的植物多样性能够导致不同营养层节肢动物群落的稳定性, 这和本研究结论一致。此外, 本研究还得到了另外一条新的结论, 那就是天敌群落的稳定性直接源自于害虫物种丰富度的增加而不是作物物种丰富度的增加。与 Petermann 等人^[33]的报道不同, 本实验没有证实最高的害虫密度和物种丰富度发生在中等水平的作物物种丰富度上, 而是表明最高的害虫及其天敌物种丰富度发生在最高水平的作物物种丰富度上。但是 Petermann 等人^[33]关于营养层多样性传递关系由下而上作用的总体结论和本研究完全一致。Schmitz^[34]报道了主动捕猎型的蜘蛛能够减少植物多样性, 而埋伏捕猎型的蜘蛛则能够增加植物多样性。考虑到在农业生态系统中作物物种丰富度水平主要受人工种敌很难对其有决定性的影响。所以, 在农业生态系统中天敌自上而下的控制作用只可能表现在对害虫多样性的影响上而不太可能表现在对作物多样性的影响上。

Okasnen 等人^[35]发现, 植物产量的增加能够提升捕食者对植食性害虫自上而下的控害角色, 但是随着植物产量的增加, 植食性害虫对植物群落的影响反而减少了。一个健康的农业生态系统, 没有严重的虫害, 对于植食性昆虫本身而言, 意味着一个食物丰富的环境, 来自种间取食方面的竞争压力也较小。因为本研究主要关心 3 个营养层之间综合的作用关系, 因而参照 Haddad 等人^[16]的做法, 没有细分不同捕食类型的天敌对害虫种群密度和物种多样性的影响。然而整个天敌营养层对害虫营养层的综合影响不太可能等于不同捕食类型天敌对相应害虫营养层局部影响之和。在这种情况下, 细分天敌捕食类型(主动捕猎型、埋伏捕猎型)对害虫多样性的影响值得进一步研究。与之类似, 细分不同食性(广食性、狭食性)的害虫对天敌多样性的影响同样值得进一步研究。

方程(1)的因变量 y 存在一个渐近线($=alb$), 暗示上级营养层物种丰富度(或香农指数)随下级营养层物种丰富度的提高存在一个上限, 那么增加作物物种丰富度到一定的程度后将不会再导致害虫及其天敌多样性的进一步增加。华北地区害虫在 $9\text{ m} \times 9\text{ m}$ 的小区平均物种丰富度的平均值被预测为 11 种(图 2A), 天敌物种丰富度的平均值被预测为 6 种(图 2E),

因为这些预测值仅代表各个小区的 $1/22$, 所以每个小区害虫与天敌物种丰富度的平均值实际上需要在此基础上乘以 22。但是这并非意味着大尺度农田景观中害虫和天敌物种的数目只有这些, 害虫及其天敌在大尺度农业生态系统中物种的数目会很丰富, 在一定面积的小区内物种数目的平均值则存在上述极值现象, 即小区内物种的构成可以不同, 但是物种的数目的平均值一定。上述发现对于分析作物物种丰富度对于农业生态系统的功能和服务的影响具有重要的参考价值。

广义线性混合模型已经被广泛应用到群落生态学研究^[36-38], 而广义可加混合模型则是在广义线性混合模型基础上的进一步改进, 在数据拟合方面具有很好的弹性^[24]。在前面不同营养层多样性关系的分析中, 本研究将不同年份的数据看作是相同的样本重复而加以利用。为了考察不同年份的随机效果^[38], 本研究使用了广义可加混合模型考察是否随机效果会导致与广义可加模型的分析结果(表 2)不同。表 3 是根据广义可加混合模型得出的结果, 与通过广义可加模型得出的结果(表 2)相同, 下级营养层物种丰富度对上级营养层物种丰富度(或香农指数)构成显著性影响, 不相邻营养层物种多样性之间的关系被中间营养层所稀释, 作物物种丰富度对害虫和天敌多度的影响很弱(表现在调整后的决定系数值较小, $R^2_{\text{adj}} < 0.1$)。既然使用广义可加混合模型和使用广义可加模型得出的结论一致, 说明使用广义可加模型来反映三级营养层之间的多样性关系是稳健可信的, 将 4 年的数据汇集在一起进行分析的做法也是可行的。

总之, 高的作物物种丰富度能够维系更多种类的害虫, 而后者又进一步提高了天敌的物种多样性。但是不相邻营养层(即作物和天敌)之间多样性关系被中间营养层(即害虫)所弱化。这种弱化作用可能来自于害虫在不同小区之间的迁移和外界环境干扰的存在。此外, 害虫物种丰富度对天敌多样性的影响亦受取样时间的制约, 这就意味着节肢动物群落的多样性存在着明显的季节性效应。综合来看, 本研究的结果支持自下而上作用的资源浓度解说, 而不支持自上而下的天敌控制假说。资源浓度假说适宜解释作物物种丰富度对害虫及其天敌物种多样性(物种丰富度、香农指数)的级联效应, 然而资源浓度假说并不适宜解释作物物种丰富度对害虫及其天敌种群密度(多度)的影响方面。

致谢 中国科学院动物研究所杨兵博士、严川博士和山东省农业科学院植物保护研究所李林懋女士在此研究过程中提供了有益的帮助, 青岛农业大学、山东农业大学、湖南农业大学和河北农业大学的多名本科实习生和硕士研究生曾先后介入到与本研究相关的大田实验和数据整理工作中, 付出了辛勤的劳动, 在此一并感谢!

参考文献

- 1 Morin P J. Functional redundancy, non-additive interactions, and supply-side dynamics in experimental pond communities. *Ecology*, 1995, 76: 133–149
- 2 Finke D L, Denno R F. Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature*, 2004, 429: 407–410
- 3 Cardinale B J, Srivastava D S, Duffy J E, et al. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 2006, 443: 989–992
- 4 Root R B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitat: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol Monogr*, 1973, 43: 95–124
- 5 Risch S J. Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology*, 1981, 62: 1325–1340
- 6 Siemann E. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology*, 1998, 79: 2057–2070
- 7 Knops J M H, Tilman D, Haddad N M, et al. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecol Lett*, 1999, 2: 286–293
- 8 Crist T O, Pradhan-Devare S V, Summerville K S. Spatial variation in insect community and species responses to habitat loss and plant community composition. *Oecologia*, 2006, 147: 510–521
- 9 Griffiths G J K, Wilby A, Crawley M J, et al. Density-dependent effects of predator species-richness in diversity-function studies. *Ecology*, 2008, 89: 2986–2993.
- 10 Fornara D A, Tilman D. Ecological mechanisms associated with the positive diversity-productivity relationship in an N-limited grassland. *Ecology*, 2009, 90: 408–418
- 11 Soufbar M, Fathipour Y, Zalucki M P, et al. Importance of primary metabolites in canola in mediating interactions between a specialist leaf-feeding insect and its specialist solitary endoparasitoid. *Arthropod-Plant Interact*, 2012, 6: 241–250
- 12 Gao F, Ge F, Liu X H, et al. Impact of insecticides on the structure and productivity of insect pest and natural enemy communities associated with intercropping in cotton agroecosystems. *Int J Pest Manage*, 2008, 54: 103–114
- 13 Wenninger E J, Inouye R S. Insect community response to plant diversity and productivity in a sagebrush-steppe ecosystem. *J Arid Environ*, 2008, 72: 24–33
- 14 Soufbar M, Fathipour Y, Hui C, et al. Effects of plant availability and habitat size on the coexistence of two competing parasitoids in a tri-trophic food web of canola, diamondback moth and parasitic wasps. *Ecol Model*, 2012, 244: 49–56
- 15 Haddad N M, Crutsinger G M, Gross K, et al. Plant species loss decreases arthropod diversity and shifts trophic structure. *Ecol Lett*, 2009, 12: 1029–1039
- 16 Haddad N M, Crutsinger G M, Gross K, et al. Plant diversity and stability of foodwebs. *Ecol Lett*, 2011, 14: 42–46
- 17 Shi P J, Men X Y, Sandhu H S, et al. The “general” ontogenetic growth model is inapplicable to crop growth. *Ecol Model*, 2013, 266: 1–9
- 18 章世美, 赵永祥. 中国农林昆虫地理分布. 北京: 中国农业出版社, 1996
- 19 Kuang X J, Parajulee M N, Shi P J, et al. Testing the rate isomorphy hypothesis using five statistical methods. *Insect Sci*, 2012, 19: 121–128
- 20 Xiao H J, Wu S H, He H M, et al. Role of natural day-length and temperature in determination of summer and winter diapause in *Pieris melete* (Lepidoptera: Pieridae). *Bull Entomol Res*, 2012, 102: 267–273
- 21 Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can Entomol*, 1959, 91: 385–398
- 22 Zhang F, Hui C, Terblanche J S. An interaction switch predicts the nested architecture of mutualistic networks. *Ecol Lett*, 2011, 14: 797–803
- 23 Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized Additive Models. London: Chapman and Hall, 1990. 136–171
- 24 Wood S N. Generalized Additive Models: An Introduction with R. London: Chapman and Hall/CRC, 2006. 119–323
- 25 Lehman C L, Tilman D. Biodiversity, stability, and productivity in competitive communities. *Am Nat*, 2000, 156: 534–552
- 26 Hui C, Veldtman R, McGeoch M A. Measures, perceptions and scaling patterns of aggregated species distributions. *Ecography*, 2010, 33:

95–102

- 27 Efron B, Tibshirani R J. An Introduction to the Bootstrap. New York: Chapman and Hall/CRC, 1994
- 28 Hunter M D, Price P W. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology*, 1992, 73: 724–732
- 29 Zhao Z H, He D H, Hui C. From the inverse density-area relationship to the minimum patch size of a host-parasitoid system. *Ecol Res*, 2012, 27: 303–309
- 30 Zhao Z H, Hui C, Ouyang F, et al. Effect of inter-annual landscape changes on the interactions between cereal aphids and their natural enemies. *Basic Appl Ecol*, 2013, 14: 472–479
- 31 Tilman D, Knops J, Wedin D, et al. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 1997, 277: 1300–1302
- 32 Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 1996, 379: 718–720
- 33 Petermann J S, Müller C B, Weigelt A, et al. Effect of plant species loss on aphid-parasitoid communities. *J Anim Ecol*, 2010, 79: 709–720
- 34 Schmitz O J. Effects of predator hunting model on grassland ecosystem function. *Science*, 2008, 319: 952–954
- 35 Oksanen L, Fretwell S D, Arruda J, et al. Exploitation ecosystems in gradients of primary productivity. *Am Nat*, 1981, 118: 240–261
- 36 Bolker B M, Brooks M E, Clark C J, et al. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends Ecol Evol*, 2008, 24: 127–135
- 37 Ives A R, Helmus M R. Generalized linear mixed models for phylogenetic analyses of community structure. *Ecol Monogr*, 2011, 81: 511–525
- 38 Yang B, Ge F, Ouyang F, et al. Intra-species mixture alters pest and disease severity in cotton. *Environ Entomol*, 2012, 41: 1029–1036



论文

附录

附表 1 使用到的作物名录

中文名	英文名	拉丁学名
大豆	soybean	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.
番茄	tomato	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
甘蓝	wild cabbage	<i>Brassica oleracea</i> L.
谷子	millet	<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv
高粱	sweet sorghum	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench
黑麦草	ryegrass	<i>Lolium perenne</i> L.
红小豆	adzuki bean	<i>Vigna angularis</i> (Willd.) Ohwi et Ohashi
花生	peanut	<i>Arachis hypogaea</i> L.
绿豆	mungbeans	<i>Vigna radiata</i> (L.) R. Wilczek
棉花	cotton	<i>Gossypium</i> spp.
苜蓿	alfalfa	<i>Medicago sativa</i> L.
茄子	eggplant	<i>Solanum melongena</i> L.
芹菜	celery	<i>Apium graveolens</i> L.
三叶草	clover	<i>Trifolium repens</i> L.
小麦	wheat	<i>Triticum aestivum</i> L.
油菜	rape	<i>Brassica campestris</i> L.
油葵	sunflower	<i>Helianthus annuus</i> L.
玉米	corn	<i>Zea mays</i> L.
芸豆	kidney bean	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
芝麻	sesame	<i>Sesamum indicum</i> L.

附表 2 调查到的节肢动物名录

中文名	拉丁学名	物种类型 ^{a)}
T 纹豹蛛	<i>Pardosa T-insignita</i> Bosenberget & Strand	1
鞍形花蟹蛛	<i>Xysticus ephippiafius</i> Simon	1
暗黑鳃金龟	<i>Holotrichia parallela</i> Motschulsky	3
凹唇壁蜂	<i>Osmia excavata</i> Alf	4
凹带食蚜蝇	<i>Syrphus nitens</i> Zetterstedt	1
八斑球腹蛛	<i>Theridion octomaculatum</i> Bosenberget & Strand	1
白背飞虱	<i>Sogatella furcifera</i> Horváth	3
白粉虱	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood	3
白色逍遥蛛	<i>Philodromus cespitum</i> Walckenaer	1
白星花金龟甲	<i>Liocola brevitarsis</i> Lewis	3
白雪灯蛾	<i>Spilosoma niveus</i> Ménétris	3
斑背安缘蝽	<i>Anoplocnemis binotata</i> Distant	3
斑大蚊	<i>Nephrotoma appendiculata</i>	4
斑须蝽	<i>Dolycoris baccarum</i> Linnaeus	3
斑衣蜡蝉	<i>Lycorma delictula</i> White	3
笨蝗	<i>Haplotropis brunneriana</i> Saussure	3
菜蝽	<i>Eurydema dominulus</i> Scopoli	3
菜青虫	<i>Pieris rapae</i> Linnaeus	3
菜蚜	<i>Lipaphis erysimi</i> Kalténbach	3
菜蚜茧蜂	<i>Diaeretiella rapae</i> M'Intosh	2

中文名	拉丁学名	物种类型 ^{a)}
草地逍遥蛛	<i>Philodromus cespitum</i> Walcker	1
草间小黑蛛	<i>Erigonidium graminicolum</i> Sundevall	1
侧沟茧蜂	<i>Microplitis</i> spp.	2
茶翅蝽	<i>Halyomorpha picus</i> Fabricius	3
茶褐猎蝽	<i>Isyndus obscurus</i> Dallas	1
茶黄螨	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> Banks	3
赤须盲蝽	<i>Trigonotylus ruficornis</i> Geoffroy	3
赤眼蜂	<i>Trichogramma</i> spp.	2
刺跗逍遥蛛	<i>Philodromus spinatarsis</i> Simon	1
大白叶蝉	<i>Tettigoniella spectra</i> Distant	3
大草蛉	<i>Chrysopa pallens</i> Rambur	1
大垫尖翅蝗	<i>Epacromius coerulipes</i> Ivanov	3
大豆食心虫	<i>Leguminivora glycinivorella</i> Matsumura	3
大豆小夜蛾	<i>Ilattia octo</i> Guenée	3
大豆蚜	<i>Aphis glycines</i> Matsumura	3
大腹圆蛛	<i>Araneus ventricosus</i> L. Koch	1
大黑鳃金龟	<i>Hloltrichia diomphalia</i> Batesa	3
大灰食蚜蝇	<i>Metasyrphus corollae</i> Fabricius	1
大灰象	<i>Sympiezomias velatus</i> Chevrolat	3
大青叶蝉	<i>Cicadella viridis</i> Linnaeus	3
大眼蝉长蝽	<i>Geocoris pallidipennis</i> Costa	1
大猿叶甲	<i>Colaphellus bowwingi</i> Baly	3
大造桥虫	<i>Ascotis selenaria</i> Schiffermuller et Denis	3
单齿婪步甲	<i>Harpalus simplicidens</i> Schauburger	1
稻蓟马	<i>Chloethrips oryzae</i> Willams	3
稻绿蝽	<i>Nezara viridula</i> Linnaeus	3
点蜂缘蝽	<i>Riptortus pedestris</i> Fabricius	3
东亚飞蝗	<i>Locusta migratoria manilensis</i> Meyen	3
东亚小花蝽	<i>Orius saunteri</i> Poppius	1
豆柄瘤蚜茧蜂	<i>Lysiphlebus</i> spp.	2
豆盗毒蛾	<i>Porthesia piperita</i> Oberthur	3
豆黄蓟马	<i>Thrips nigropilosus</i> Uzel	3
豆荚野螟	<i>Maruca testulalis</i> Geyer	3
豆蓝丽金龟	<i>Popillia indigonacea</i> Motsch	3
豆娘	<i>Caenagrion</i> spp.	1
豆天蛾	<i>Clanis bilineata tsingtaica</i> Mell	3
豆蚜	<i>Aphis medicaginis</i> Koch	3
豆叶螨	<i>Tetranychus phaselus</i> Ehara	3
盗毒蛾	<i>Porthesia similis</i> Fueszly	3
短额负蝗	<i>Atractomorpha sinensis</i> Bolivar	3
短额扁蝇虎	<i>Menemerus brachygnathus</i> Thorell	1
短星翅蝗	<i>Calliptamus abbreviatus</i> Ikovnn	3
二十八星瓢虫	<i>Henosepilachna vigintioctopunctata</i> Fabricius	3
二条叶甲	<i>Paraluperodes suturalis nigrobilineatus</i> Motschulsky	3
二星蝽	<i>Eysacoris guttiger</i> Thunberg	3
马铃薯长管蚜	<i>Macrosiphum rosae</i> Linnaeus	3
中华纺织娘	<i>Mecopoda elongata</i> Linnaeus	3
蜉蝣	<i>Ephemera</i> spp.	4
甘蓝蚜	<i>Brevicoryne brassicae</i> Linnaeus	3
甘薯跳盲蝽	<i>Halticus minutus</i> Reuter	3
甘薯肖叶甲	<i>Colasposoma dauricum</i> Mannerheim	3
高粱蓟马	<i>Frankliniella tenuicornis</i> Uzel	3
高粱条螟	<i>Chilo sacchariphagus</i> Bojer	3

中文名	拉丁学名	物种类型 ^{a)}
高粱蚜	<i>Melanaphis sacchari</i> Zehntner	3
隔离狭颊寄蝇	<i>Carcelia excisa</i> Fallen	2
沟金针虫	<i>Pleonomus canaliculatus</i> Faldermann	3
灌木新园蛛	<i>Neoscona adianta</i> Walckenaer	1
广大腿小蜂	<i>Brachymeria lasus</i> Walker	2
广二星蝽	<i>Stollia ventralis</i> Westwood	3
龟纹瓢虫	<i>Propylea japonica</i> Thunberg	1
果蝇	<i>Drosophila</i> spp.	4
禾谷缢管蚜	<i>Rhopalosiphum padi</i> Linnaeus	3
贺氏菱头蛛	<i>Bianor hotingchiechi</i> Schenkel	1
赫定管巢蛛	<i>Clubiona hedina</i> Schenkel	1
褐飞虱	<i>Nilaparvata lugens</i> Stål	3
褐足角胸叶甲	<i>Basilepta fulvipes</i> Motschusky	3
黑斑亮腹蛛	<i>Singa hamata</i> Clerek	1
普通蓝豆娘	<i>Abudehduf Coelestinus</i> Cuvier & Valenciennes	1
黑背小瓢虫	<i>Scymnus kawamvrai</i> Ohta	1
黑带食蚜蝇	<i>Episyrphus balteata</i> De Geer	1
黑虎甲	<i>Tricondyla pulchripes</i> White	1
黑襟毛瓢虫	<i>Scymnus hoffmanni</i> Weise	1
黑猎蝽	<i>Pirates femoralis</i> Stål	1
黑龙江筒喙象	<i>Lixus amurensis</i> Faust	3
黑青金小蜂	<i>Dibrachys cavus</i> Walker	2
黑食蚜盲蝽	<i>Deraeocoris punctulatus</i> Fall	1
黑蚱蝉	<i>Cryptotympana atrata</i> Fabricius	3
红腹灯蛾	<i>Spilarctia subcarnea</i> Walker	3
红颈天牛	<i>Aromia bungii</i> Faldermann	3
红蜻	<i>Crocothemis servilia</i> Drury	1
红缘灯蛾	<i>Amsacta lactinea</i> Cramer	3
红长蝽	<i>Lygaeus equestris</i> Linnaeus	3
花蓟马	<i>Frankliniella intonsa</i> Trybom	3
花生端带蓟马	<i>Taeniothrips distalis</i> Karny	3
华北螻蛄	<i>Gryllotalpa unispina</i> Saussure	3
华姬猎蝽	<i>Nabis sinoferus</i> Hsiao	1
黄腹灯蛾	<i>Spilarctia lubricipeda</i> Linnaeus	3
黄褐新园蛛	<i>Neoscona doenitzi</i> Bosenberget & Strand	1
黄胫小车蝗	<i>oedaleus infernalis</i> Sauss	3
黄眶离缘姬蜂	<i>Trathala flavo-orbitalis</i> Cameron	2
黄曲条跳甲	<i>Phyllotreta striolata</i> Fabricius	3
黄守瓜	<i>Aulacophora indica</i> Gmelin	3
黄足猎蝽	<i>Sirthena flavipes</i> Stål	1
灰飞虱	<i>Laodelphgax striatellus</i> Fallén	3
灰姬猎蝽	<i>Nabis palliferus</i> Hsiao	1
火红熊蜂	<i>Bombus pyrosoma</i> Morawitz	4
寄蝇	<i>Carcelia</i> spp.	2
家蝇	<i>Musca domestica</i> Linnaeus	4
蛱蝶	<i>Nymphalidae</i> spp.	3
肩斑銀腹蛛	<i>Leucauge blanda</i> L.Koch	1
截形叶螨	<i>Tetranychus truncates</i> Ehara	3
宽带细腹食蚜蝇	<i>Sphaerophoria macrogaster</i> Thompson	1
丽草蛉	<i>Chrysopa formosa</i> Brauer	1
栗穗螟	<i>Mampava bipunctella</i> Ragonot	3
鳞纹肖蛸	<i>Tetragnatha squamata</i> Karsch	1
琉璃弧丽金龟	<i>Popillia atrocoerulea</i> Bates	3

中文名	拉丁学名	物种类型 ^{a)}
六斑园蛛	<i>Araneus displicatus</i> Hentz	1
鹿蛾	<i>Amata</i> spp.	3
萝卜蚜	<i>Lipaphis erysimi</i> Kalténbach	3
绿豆象	<i>Callosobruchus chinensis</i> Linnaeus	3
绿盲蝽	<i>Apolygus lucorum</i> Meyer-Dür	3
麻皮蝽	<i>Erthesina fullo</i> Thunberg	3
蚂蚁	<i>Formicidae</i> spp.	4
猫跳蛛	<i>Carrhotus xanthogramma</i> Latreille	1
美国白蛾	<i>Hlyphantria cunea</i> Drury	3
美洲斑潜蝇	<i>Liriomyza sativae</i> Blanchard	3
蒙古灰象甲	<i>Xylinochorus mongolicus</i> Faust	3
蜜蜂	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus	4
棉大造桥虫	<i>Ascotis selenara dlanera</i> Hübner	3
棉花弧丽金龟	<i>Popillia mutans</i> Newman	1
棉花叶螨	<i>Tetranychus</i> spp.	3
棉尖象	<i>Phytoscapus gossypii</i> Chao	3
棉铃虫	<i>Helicoverpa armigera</i> Hübner	3
棉铃虫齿唇姬蜂	<i>Campoletis chlorideae</i> Uchida	2
棉铃虫多胚跳小蜂	<i>Lilomastix hollothis</i> Liao	2
棉小造桥虫	<i>Anomis flava</i> Fabricius	3
棉蚜	<i>Aphis gossypii</i> Glover	3
棉蚜茧蜂	<i>Lysiphlebia japonica</i> Ashmead	2
螟虫长距茧蜂	<i>Macrocentrus linearis</i> Nees	2
螟铃绒茧蜂	<i>Apanteles ruficrus</i> Haliday	2
螟蛉悬茧姬蜂	<i>Charops bicolor</i> Szepilgeri	2
苜蓿蓟马	<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande	3
牧草盲蝽	<i>Lygus pratensis</i> Linnaeus	3
南美斑潜蝇	<i>Liriomyza huidobrensis</i> Blanchard	3
拟环纹狼蛛	<i>Lycosa pseudoannulata</i> Bosenberger & Strand	1
拟菱纹叶蝉	<i>Hishimonoides sellatifrons</i> Ishihara	3
拟水狼蛛	<i>Pirata subpiraticus</i> Bosenberger & Strand	1
七星瓢虫	<i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus	1
茄子蚜	<i>Acyrtosiphon pisum</i> Harris	3
青翅隐翅虫	<i>Paederus fuscipes</i> Curtis	1
螻蛄	<i>Forficula auricularia</i> Linnaeus	1
尘污灯蛾	<i>Spilarctia obliqua</i> Walker	3
绒茧蜂	<i>Apanteles</i> spp.	2
三点盲蝽	<i>Adelphocoris fasciaticollis</i> Reuter	3
三突花蛛	<i>Misumenopus tricuspidata</i> Fabricius	1
筛豆龟蝽	<i>Megacopta cribraria</i> Fabricius	3
闪绿宽腹蝽	<i>Lyriothemis pachygastra</i> Selys	1
深点食螨瓢虫	<i>Stethorus punctillum</i> Weise	1
石蛾	<i>Phryganeioidea</i> spp.	4
食虫瘤胸蛛	<i>Oedothorax insecticeps</i> Bosenberger & Strand	1
食蚜绒螨	<i>Allothrombium</i> spp.	1
鼠妇	<i>Armadillidium vulgare</i> Latreille	4
四斑锯螯蛛	<i>Dyschiriognatha quabrimaculata</i> Bosenberger & Strand	1
四点亮腹蛛	<i>Singa pygmaea</i> Sundevall	1
粟凹胫跳甲	<i>Chaetocnema ingenua</i> Baly	3
塔六点蓟马	<i>Scolothrips takahashii</i> Priesner	1
桃蚜	<i>Myzus persicae</i> Sulzer	3
桃蛀螟	<i>Dichocrocis punctiferalis</i> Guenee	3
天蛾	<i>Sphingidae</i> spp.	3

中文名	拉丁学名	物种类型 ^{a)}
甜菜夜蛾	<i>Spodoptera exigua</i> Hübner	3
条蜂缘蝽	<i>Riptortus linearis</i> Fabricius	3
跳虫	<i>Onychiuridae</i> spp.	4
铜绿丽金龟	<i>Anomala corpulenta</i> Motsehulsiy	3
豌豆潜叶蝇	<i>Phytomyza horticola</i> Goureaux	3
网目拟地甲	<i>Opatrum subaratum</i> Faldermann	3
微菱头蛛	<i>Bianor aenescens</i> Simon	1
微小花蝽	<i>Oriu minuius</i> Linnaeus	3
温室白粉虱	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood	3
纹胡蜂	<i>Vespa crabroniformis</i> Smith	1
纹黄蝶	<i>Colias erate</i> Esper	3
蚊	<i>Chironomidae</i> spp.	4
污斑裂针蟋	<i>Dianemobius fascipes</i> Walker	3
蜈蚣	<i>Scolopendra subspinipes mutilans</i> L.Koch	1
舞毒蛾	<i>Lymantria dispar</i> Linnaeus	3
西花蓟马	<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande	3
细胸金针虫	<i>Agriotes subbrittatus</i> Motschulsky	3
小菜蛾	<i>Plutella xylostella</i> Linnaeus	3
小地老虎	<i>Agrotis ypsilon</i> Rottemberg	3
小绿叶蝉	<i>Empoasca flavescens</i> Fabricius	3
小食蚜蝇	<i>Paragus quadrfasciatus</i> Meigen	1
小猿叶甲	<i>Phaedon brassicae</i> Baly	3
小造桥虫	<i>Anomis flava</i> Fabricius	3
斜纹夜蛾	<i>Prodenia litura</i> Fabricius	3
苳甲	<i>Chrysomelinae</i> spp.	4
星豹蛛	<i>Pardosa astrigera</i> L. Koch	1
星天牛	<i>Anoplophora chinensis</i> Forster	3
熊蜂	<i>Bombus</i> spp.	4
螟蛉悬茧蜂	<i>Meteorus narangae</i> Sonan	2
蚜虫跳小蜂	<i>Aphidencyrus aphidivorus</i> Mayr	2
蚜茧蜂	<i>Aphidiidae</i> spp.	2
雅跳蛛	<i>Rhene atrata</i> Karsch	1
亚非马蜂	<i>Potistes hebraeus</i> Fabricius	1
亚洲小车蝗	<i>Oedaleus decorus asiaticus</i> Bei-Bienko	3
烟粉虱	<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius	3
烟蓟马	<i>Thrips tabaci</i> Lindeman	3
烟蚜茧蜂	<i>Aphidius gifuensis</i> Ashmead	2
异色瓢虫	<i>Leis axyridis</i> Pallas	1
银纹夜蛾	<i>Argyrogramma agnata</i> Staudinger	3
蝇	<i>Muscidae</i> spp.	4
黄脸油葫芦	<i>Teleogryllus emma</i> Ohmachi et Matsuura	3
玉带凤蝶	<i>Papilio polytes</i> Linnaeus	3
玉米螟	<i>Pyrausta nubilalis</i> Huber	3
玉米螟姬蜂	<i>Phaeogenes eguchil</i> Uchida	2
玉米蚜	<i>Rhopalosiphum maidis</i> Fitch	3
圆尾肖蛸	<i>Tetragnatha vermiformis</i> Emerton	1
云斑鳃金龟	<i>Polyphylla laticollis</i> Lewis	3
云斑天牛	<i>Batocera horsfieldi</i> Hope	3
日本蚤螋	<i>Tridactylus japonicus</i> De Haan	3
窄姬猎蝽	<i>Nabis stenoserus</i> Hsiao	1
粘虫	<i>Mythimna separata</i> Walker	3
粘虫绒茧蜂	<i>Apanreles kariyai</i> Watanabe	2
长额负蝗	<i>Atractomorpha lata</i> Motschoulsky	3

中文名	拉丁学名	物种类型 ^{a)}
长肩棘缘蝽	<i>Cletus trigonus</i> Thunberg	3
褶管巢蛛	<i>Clubiona vigil</i> Karsch	1
中国红光熊蜂	<i>Bombus ignitus</i> Smith	4
中黑盲蝽	<i>Adelphocoris suturalis</i> Jakovlev	3
叶色草蛉	<i>Chrysopa phyllochroma</i> Wesmael	1
中华大刀螳	<i>Tenodera aridifolia</i> Sinensis	1
中华稻蝗	<i>Oxya chinensis</i> Thunberg	3
中华广肩步甲	<i>Calosoma maderae chinense</i> Kirby	1
中华虎甲	<i>Cicindela chinensis</i> Degeer	1
中华狼蛛	<i>Lycosa sinensis</i> Schenkel	1
中华通草蛉	<i>Chrysoperla sinica</i> Tjeder	1
中华蚱蜢	<i>Acrida chinensis</i> Westwood	3
日本条螽	<i>Ducetia japonica</i> Thunberg	3
朱砂叶螨	<i>Tetranychus cinnabarinus</i> Boiduval	3
锥腹肖蛸	<i>Tetragnatha maxillosa</i> Thoren	1
棕榈蓟马	<i>Thrips palmi</i> Karny	3
纵带扁蝇虎	<i>Menemerus himeshimensis</i> Bosenberget & Strand	1
纵条蝇狮	<i>Marpissa magister</i> Karsch	1
棕管巢蛛	<i>Clubiona japonicola</i> Bosenberget & Strand	1

a) 1: 捕食性天敌; 2: 寄生性天敌; 3: 害虫; 4: 中性物种. “天敌”包括捕食性天敌和寄生性天敌