

东北迁飞场对粘虫的 Pied piper 效应*

潘 蕾¹ 武向文^{1#} 陈 晓¹ 姜玉英² 曾 娟² 翟保平^{1**}

(1. 南京农业大学昆虫学系 农作物生物灾害综合治理教育部和农业部重点实验室, 南京 210095;

2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘 要 【目的】我国 2 代粘虫的回迁过程和 3 代粘虫的种群构成还少有研究, 东北与华北 3 代粘虫的虫源问题也不清楚。为此, 厘清 2 代粘虫发生区的风场动态和迁出种群的去向, 明确东北粘虫夏季迁出种群与华北 3 代粘虫的虫源关系。【方法】根据国家气象信息中心的高空气象记录, 统计东北和华北地区夏季各方位风向的频次和平均出现频率, 利用 HYSPLIT 平台模拟东北粘虫夏季迁出种群的迁飞轨迹和落点分布。【结果】东北和华北地区 7、8 月的风向均以西南、南风为主且因气旋频繁过境而风向多变, 不利于东北粘虫夏季种群回迁进入华北农作区; 而对其迁出种群的轨迹模拟结果也表明, 东北粘虫夏季种群能够进入华北的可能性极低: 它们或迁入更北的无法生存的山区, 或未能成功跨海而死亡, 抑或迁入朝鲜半岛成为当地的虫源 (同样无法越冬), 还有一部分滞留东北地区继续为害一代后因气候原因死亡, 而只有在极少数风向风速条件适宜的情况下才有可能进入河北。【结论】东北地区的夏季风场不利于东北粘虫的回迁, 华北 3 代粘虫的种群构成与东北夏季种群几无关系, 东北迁飞场表现出显著的 Pied piper 效应。

关键词 粘虫回迁, 风场分析, 轨迹分析, Pied piper 效应

Pied piper effect of the migration arena in northeastern China on *Mythimna separata* (Walker)

PAN Lei¹ WU Xiang-Wen^{1#} CHEN Xiao¹ JIANG Yu-Ying² ZENG Juan² ZHAI Bao-Ping^{1**}

(1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Disease and Insect Pests, Ministry of Education, Ministry of Agriculture of China, Nanjing 210095, China;

2. National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract [Objectives] Little is known about the return migration process of the 2nd generation and source populations of the 3rd generation of armyworm, *Mythimna separata*, in northern and northeastern China. To understand the source-sink relationships between inter-regional armyworm populations, it is necessary to identify the synoptic wind fields and clarify the immigration areas of the summer exodus population in northeastern China. [Methods] The frequency of summer winds in eight directions from 1981 to 2000 were calculated with radiosonde data provided by National Meteorological Service Center of China, and the distribution of the end points of migration trajectories of the emigrant armyworm populations was analyzed with NOAA HYSPLIT. [Results] The wind directions in northern and northeastern China in July and August were basically southwesterly and southerly, making it practically impossible for the summer population of armyworms to emigrate into cropping areas in northern China. Meanwhile, the passage of immigrants was restricted to either northeastern China, unsuitable mountainous areas, or the ocean, by the constantly changeable winds and the frequently passage of cyclones. [Conclusion] The summer synoptic wind fields in northeastern China are unfavorable to the southward migration of the local summer armyworm population. Basically, the 3rd generation armyworm population in northern China is unrelated to the summer

* 资助项目: 农业公益性行业科研专项 (201403031); 国家自然科学基金项目 (30571202)

现在工作单位: 上海市农业技术推广服务中心, 上海, 201103

**通讯作者, E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期: 2014-07-10, 接受日期: 2014-07-16

population in northeastern China. The migration arena in northeastern China shows a notable pied piper effect on armyworm populations and other insect immigrants.

Key words return migration of armyworm, synoptic wind field analysis, trajectory analysis, Pied piper effect

我国粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 南北周年往返迁飞的基本规律到 20 世纪 80 年代中期已基本阐明(陈瑞鹿, 1962; 林昌善, 1963; 林昌善和夏曾铎, 1963; 林昌善等, 1963; 马世骏, 1963; 夏曾铎等, 1963; 林昌善和张宗炳, 1964; 李光博等, 1964; 李绵春等, 1965; 陈瑞鹿等, 1965; 陈瑞鹿, 1990), 但是对东北粘虫的回迁问题一直没有确定的结论。粘虫每年自 2 月中下旬始从中南半岛随东亚季风逐代北迁, 追踪正处于生长期的农作物, 到 5 月底 6 月初大部迁入东北农作区, 另有一些蛾子迁入华北和西北农作区。而在整个北方农牧区, 这些害虫都无法越冬, 故迁入种群在东北农作物上繁殖为害一代后, 新一代成虫正常情况下将南迁, 经在晋冀鲁豫(豫北)等地过渡一个世代后返回其华南及中南半岛的越冬区, 完成其周年迁飞循环(李光博, 1993)。但自 1960 年开始的粘虫标记回收试验中, 从未得到从东北远距离回迁到关内作物区的成功个例, 仅 1980 年在吉林农安的标记回收试验中, 在距标放点南约 100 km 的公主岭收到一头标记蛾(陈瑞鹿, 1990); 而 1978 年和 1979 年 8 月在西北(甘肃临洮、天水)2 代成虫标记回收试验中, 陕西咸阳、汉中西乡、河北武安、辽南凌沅和滇东南西畴等地回收到了标记的粘虫蛾(甘肃省农科院植保所测报组, 1979; 李继培等, 1979; 李光博, 1990)。其后的雷达观测(陈瑞鹿, 1990)和轨迹分析(Zhai and Zhang, 1999)表明, 粘虫夏季迁飞期间因夏季风的南北振荡, 风向呈不稳定状态, 有利盛行风向不明显且风力不强, 迁出种群既随风南迁, 也向其它方向迁飞, 迁出数量和方位均不集中且迁飞距离较短, 延阻了东北地区粘虫夏季种群的向南回迁。种种迹象表明, 东北迁飞场的自然地理特征可能形成了迁入种群的生态死谷, 也即 Pied piper 效应(Rabb and Stinner, 1979)。

东北 2 代粘虫(指全国 2 代, 东北当地实际

上是第 1 代, 下同)成虫羽化期一般在 7 月中下旬至 8 月上旬, 粘虫一般羽化后 3~5 d 起飞。而此期东北地区正处于盛夏阶段, 高空风场也正值夏季风鼎盛期。7 月在太平洋高压和印度低压的影响下, 松辽平原和长白山区盛行偏南风或西南风, 三江平原多偏南风。8 月 2 候以后, 西太平洋副热带高压中心位置由 30°N 附近渐渐退至 25°N 或以南地区, 蒙古高压开始建立并迅速加强, 阿留申低压和东北低压再度出现, 印度低压减弱并缩小, 在这种气压场的影响下嫩江流域以西北风和北风为主, 松辽平原盛行西南风和南风, 东部地区以西风为主, 且地面气旋增多, 因此风向出现短期多变(周琳, 1991)。那么, 在此期间是否有适宜气流运载粘虫成功南迁进入华北秋熟作物区形成华北 3 代粘虫的虫源呢? 为此, 本研究分析了东北地区和华北地区 850 hPa 高空风场 1981—2000 年间各风向的频次分布, 以明确粘虫成功回迁的几率; 同时模拟东北 2 代粘虫迁出种群迁飞轨迹, 对其落点分布进行统计分析; 据此阐明东北 2 代成虫迁出种群的去向及其能否为华北 3 代粘虫的大发生提供虫源, 为粘虫的异地预测和综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

气象资料: 高空风资料取自国家气象局《中国高空气象记录月报》(CD 版) 850 hPa 等压面 0:00 和 12:00 (GMT) 东北及华北地区站点的记录。

风向分析: 选取东北地区及华北地区高空站点共 20 个(图 1-1), 按风的来向将风分为 8 个方位风(北 N、东北 NE、东 E、东南 SE、南 S、西南 SW、西 W、西北 NW)。分别统计 7 月、8 月和 9 月各向风平均出现频率以及每个站点各向风出现的次数和频率, 各向风的平均分布频率是各站点将风速非零的记录按 8 个方向累加, 然后除以有记录的总次数而得。每站点各向风出现

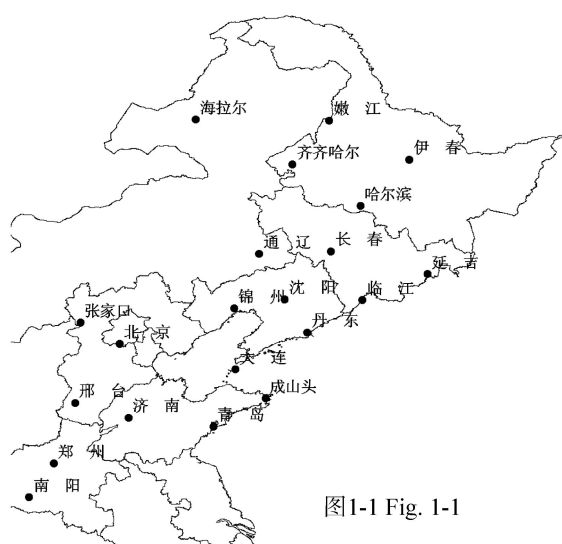


图1-1 Fig. 1-1

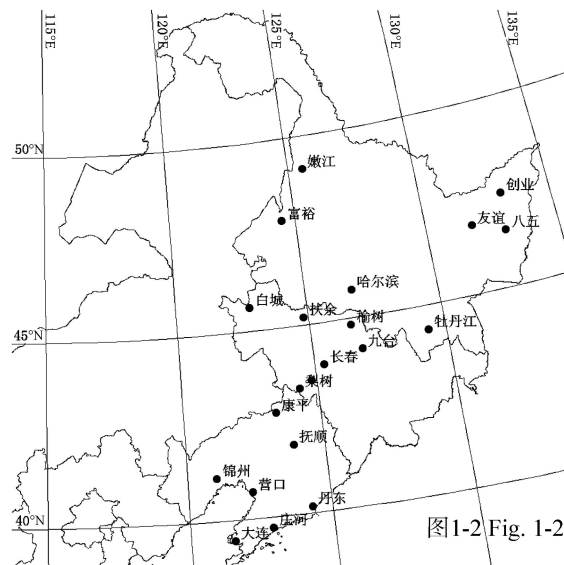


图1-2 Fig. 1-2

图 1-1 高空风站点选取

Fig.1-1 Selected radiosonde stations of northeastern and northern China

图 1-2 东北粘虫夏季种群迁出轨迹模拟起始点

Fig.1-2 Starting point of the exodus trajectories of summer armyworm population from Northeastern China

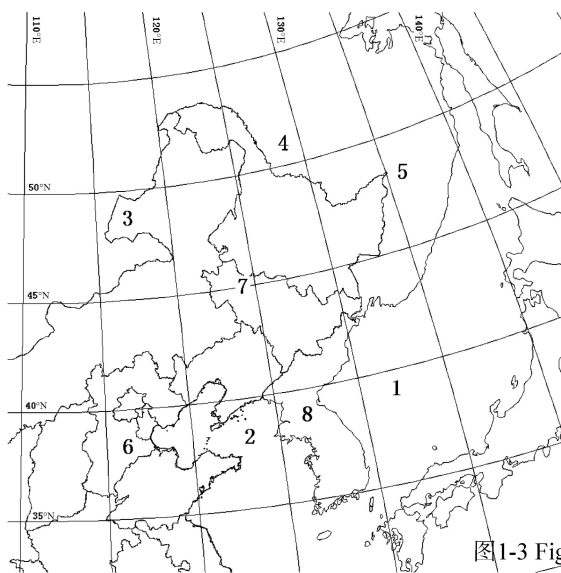


图1-3 Fig. 1-3

图 1-3 轨迹终点落区分

Fig.1-3 The landing areas of the summer emigrant armyworm population

1. 日本海及锡霍特山脉东侧地区；2. 渤海和黄海；3. 大兴安岭高山区及以西地区；4. 小兴安岭高山区及以北地区；5. 三江平原以北和以东的俄远东地区；6. 关内华北地区；7. 东北三省的平原和低山区；8. 长白山高山区及朝鲜半岛。
1. Sea of Japan and eastern Sikhote-Alin; 2. Bohai Sea and Yellow Sea; 3. Da Xing'an Ling; 4. Xiao Hsinganling; 5. Far East of Russia; 6. Northern China; 7. Northeastern China; 8. Changbai Mt. and Peninsula Korea.

的次数和频率是该站点 1981—2000 年 20 年间该月 0:00 或 12:00 (GMT) 的各方向风出现的次数以及与风总次数的比率。

轨迹分析程序: 美国 NOAA 提供的 HYSPLIT 轨迹分析平台。分别以 7 月 20 日—8 月 5 日作为起始日期, 连续分析 5 个夜晚。程序每间隔 1 h 输出一个迹点, 迹点数据以文本形式存储, 然后利用地理信息系统平台 ArcGIS 输出分析结果。

轨迹分析参数: 起点位置, 在东北三省每省选取 7 个 2 代粘虫高发地, 共 21 个点(图 1-2); 起降时间, 从 7 月 20 日起到 8 月 5 日整个迁飞期逐日作为起始日期, 以起始地日落后 1 h 作为顺推的起始时间, 日出前 1 h 作为顺推的终止时间。

轨迹落点分布: 将东北粘虫 2 代成虫迁飞轨迹的终止地划分为 8 个区: 1. 日本海及锡霍特山脉东侧地区; 2. 渤海和黄海; 3. 大兴安岭高山区及以西地区; 4. 小兴安岭高山区及以北地区; 5. 三江平原以北和以东的俄远东地区; 6. 关内华北地区; 7. 东北三省的平原和低山区; 8. 长白山高山区及朝鲜半岛(图 1-3)。

2 结果与分析

2.1 东北和华北 850 hPa 高空风场分析

2.1.1 7—9 月份各向风的分布 东北地区 850 hPa 等压面上 7、8 月的主要风向是西南、西风和南风; 9 月主要风向为西南、西北和西风。不论是 08:00 还是 20:00 (北京时间) 西南风和西风都占很大的优势。7 月份 20:00 西南风、西风和南风共出现 3 808 次, 占全部风向的 52%; 8 月共 3 586 次, 占 50%, 而且风速一般都较大; 9 月共 3 037 次, 占 50%。北风和东北风均较弱, 出现次数少, 且风速较小。7 月东北风 20:00 出现 620 次, 仅占总数的 8%, 8 月 723 次占总数的 10%, 9 月 501 次占 8% (表 1)。

华北地区 850 hPa 等压面上 7、8 月的主要风向是西南和南风; 而 9 月主要风向则为西南、西北和北风。北风及东北风频率同样不高, 7 月东北风 20:00 仅出现 296 次, 占总数的 8%; 但 8 月开始东北风出现次数有所增加, 达到 477 次, 占总数的 13%; 9 月出现 402 次, 占总数的 12% (表 2)。

表 1 东北地区 850 hPa 高空 7—9 月各向风出现的次数 (n) 和频率 (%) (1981—2000)
Table 1 Times (n) and frequency (%) of the wind direction on 850 hPa in northeastern China from July to September (1981-2000)

	7 月 July				8 月 August				9 月 September			
	08:00		20:00		08:00		20:00		08:00		20:00	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
N	729	0.10	677	0.09	899	0.13	900	0.12	925	0.12	805	0.13
NE	649	0.09	620	0.08	740	0.10	723	0.10	606	0.08	501	0.08
E	624	0.08	640	0.09	563	0.08	611	0.08	405	0.05	267	0.04
SE	780	0.11	866	0.12	654	0.09	738	0.10	463	0.06	349	0.06
S	1 017	0.14	1 130	0.15	880	0.12	944	0.13	778	0.10	557	0.09
SW	1 633	0.23	1 680	0.23	1 570	0.22	1 567	0.22	1 851	0.23	1 289	0.21
W	1 118	0.16	998	0.14	1 168	0.16	1 075	0.15	1 426	0.18	1 191	0.20
NW	630	0.09	687	0.09	717	0.10	704	0.10	1 476	0.18	1 104	0.18

表 2 华北地区 850 hPa 高空 7—9 月各向风出现的次数 (n) 和频率 (%) (1981—2000)
Table 2 Times (n) and frequency (%) of the wind direction on 850 hPa in northern China from July to September (1981-2000)

	7 月 July				8 月 August				9 月 September			
	08:00		20:00		08:00		20:00		08:00		20:00	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
N	432	0.12	295	0.08	497	0.14	449	0.12	633	0.18	524	0.15
NE	331	0.09	296	0.08	526	0.15	477	0.13	452	0.13	402	0.12
E	277	0.08	314	0.09	312	0.09	436	0.12	291	0.08	285	0.08
SE	399	0.11	590	0.17	387	0.11	550	0.15	277	0.08	336	0.10
S	586	0.17	756	0.21	510	0.14	573	0.16	396	0.11	465	0.13
SW	677	0.19	670	0.19	533	0.15	492	0.14	491	0.14	541	0.16
W	431	0.12	320	0.09	353	0.10	295	0.08	371	0.11	367	0.11
NW	410	0.12	325	0.09	402	0.11	325	0.09	540	0.16	532	0.15

2.1.2 各站点间的风向分布 各个站点之间, 各向风出现的频率有所变化。东北地区北部的站点出现北风和东北风的频率较高, 如海拉尔、嫩江、齐齐哈尔, 而东北中部和南部的站点出现频率都很低。华北地区各站点北风和东北风出现的频率相差不大, 其中太原站出现东风的频率较高。就整体来看, 每个站点的南向风出现的频率都明显大于北向风出现的频率, 而且, 在北向风中, 西北风占主要成分, 西风在各个站点也都占不小的比重 (表 3, 表 4, 图 2A, 图 2B, 图 2C)。

2.2 东北粘虫夏季迁出种群落点分布模拟

从东北地区 7—9 月 3 个月高空风向频率统计分析的结果来看, 夏季东北地区盛行风为南风 and 西南风, 这显然大大不利于东北粘虫夏季种群的南迁。但哈尔滨以北盛行东北风和偏北风, 在夏秋之际, 夏季风与秋季风的转换期间, 夏季风的北缘位置常出现南北振荡。若东北风强盛, 是否可能将东北 2 代粘虫带回关内? 这种可能性究竟有多大? 对 1981—2000 年共 20 年间东北粘虫 2 代成虫的整个回迁期 (7 月 20 日至 8 月 5 日) 进行轨迹顺推分析, 结果表明: 在不考虑风向和风速以外的其它天气条件下, 总的轨迹的最终去向集中在 4 个地区: 日本海、小兴安岭及以北、三江平原以北和以东的俄罗斯远东地区、东

北三省境内。只有某些年份有极少数的轨迹最后能进入关内 ($\leq 2\%$), 且这些轨迹的落点也只能到达河北省的北部, 无一能够进入河南、山东、山西等地 (图 3, 表 5)。

3 结论与讨论

华北粘虫迁入东北为害一代后, 其成虫期一般发生在 7 月中下旬至 8 月初。从 1981—2000 年夏季 850 hPa 高空风向分布看, 东北 7、8 月的风向均以西南、南风为主, 显然都不利于东北粘虫夏季种群向南回迁; 而对东北粘虫 2 代成虫迁出期的迁飞轨迹模拟结果来看也是如此, 东北迁飞场表现出显著的 Pied piper 效应。东北地区的 2 代粘虫或迁入北方不适宜生存的地区或未能成功跨越海面而死亡, 抑或迁入朝鲜半岛成为当地的虫源 (同样无法越冬), 还有一部分滞留东北地区继续为害一代后因气候原因死亡, 而能够进入华北的可能性极低, 只有在极少数风向风速条件适宜的情况下才有可能进入河北省, 且尚未考虑到降水及下沉气流的影响。

3.1 东北 2 代 (全国 3 代) 粘虫问题

如表 5 所示, 东北区粘虫的夏季种群在每年都有一定比例的个体滞留当地。以往的研究也表明, 某些年份东北粘虫夏季种群大量滞留而继续

表 3 1981—2000 年东北高空平均各向风出现频率 (%)
Table 3 The frequency (%) of upper wind direction on 850 hPa in northeastern China from 1981 to 2000

	黑龙江 Heilongjiang		吉林 Jilin		辽宁 Liaoning		内蒙古 Inner Mongolia	
	7 月 Jul.	8 月 Aug.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	7 月 Jul.	8 月 Aug.
N	5.65	7.76	5.77	4.22	6.10	8.26	7.31	8.07
NNE	4.26	5.02	8.61	3.37	3.43	7.30	4.83	5.48
NE	4.78	5.27	12.18	4.56	3.70	6.86	5.69	5.82
ENE	4.15	3.85	10.02	2.98	2.05	3.80	3.55	3.99
E	5.75	4.72	9.41	2.34	3.52	3.61	4.79	4.63
ESE	4.99	3.18	6.11	2.94	2.69	2.36	4.40	2.46
SE	6.95	3.82	6.03	3.67	3.89	3.82	6.41	4.12
SSE	5.98	3.38	5.50	3.79	4.49	3.59	4.92	3.99
S	7.16	5.92	6.71	6.31	8.58	6.68	7.01	6.11
SSW	7.46	5.97	5.46	9.68	10.01	9.22	8.68	7.26
SW	10.58	11.05	5.77	19.05	17.97	13.89	10.86	9.85
WSW	8.32	8.54	4.78	13.38	10.45	8.92	7.18	7.64
W	7.67	10.35	3.49	10.49	8.26	7.46	7.78	8.54
WNW	5.79	6.56	3.19	6.01	4.60	4.64	5.81	6.96
NW	6.15	7.98	3.49	4.48	5.82	5.26	6.58	8.58
NNW	4.34	6.64	3.49	2.73	4.44	4.32	4.19	6.50

表 4 1981—2000 年华北高空平均各向风出现频率 (%)
Table 4 The frequency (%) of upper wind direction on 850 hPa in northern China from 1981 to 2000

	河北 Hebei		河南 Henan		山东 Shandong		山西 Shanxi	
	7 月 Jul.	8 月 Aug.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	7 月 Jul.	8 月 Aug.
N	7.45	7.88	4.28	5.77	6.20	7.59	6.32	7.17
NNE	4.16	5.43	4.61	8.61	3.99	6.64	4.04	5.91
NE	4.03	5.20	7.59	12.18	4.48	9.20	3.62	5.32
ENE	2.88	3.32	5.43	10.02	3.87	5.70	4.80	6.24
E	3.19	3.22	7.36	9.41	4.50	6.73	10.11	10.13
ESE	2.78	2.97	5.28	6.11	3.64	4.36	8.68	7.68
SE	6.74	5.94	5.99	6.03	5.51	6.09	8.26	8.19
SSE	7.31	6.58	6.14	5.50	5.65	5.53	6.91	6.50
S	10.27	8.36	10.60	6.71	8.52	6.81	8.51	7.76
SSW	11.67	9.83	10.04	5.46	9.01	6.31	7.67	6.50
SW	12.18	15.54	11.31	5.77	13.37	7.50	9.44	6.41
WSW	6.24	5.30	6.10	4.78	9.01	5.34	3.29	3.46
W	5.00	4.37	5.65	3.49	7.97	5.50	3.54	2.45
WNW	3.66	4.40	2.98	3.19	4.93	3.53	2.95	4.73
NW	6.81	6.16	3.64	3.49	5.36	7.81	6.74	7.43
NNW	5.64	5.49	3.01	3.49	3.99	5.36	5.14	4.14

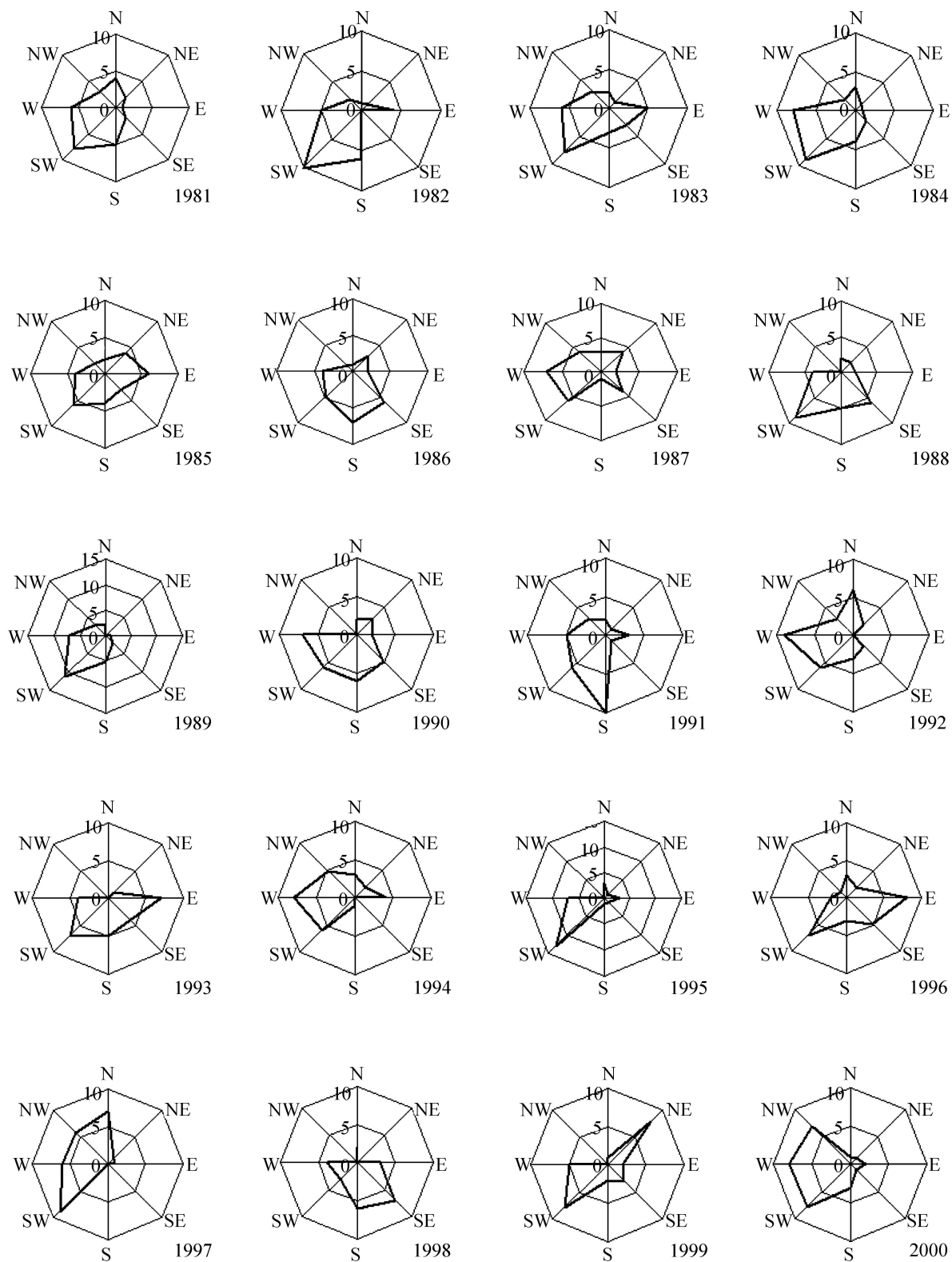


图 2A 哈尔滨市 1981—2000 年 7 月份 850 hPa 高空 08:00 风向频次分布

Fig. 2A The frequency of upper wind direction on 850 hPa in Harbin at 08:00 in July, 1981-2000

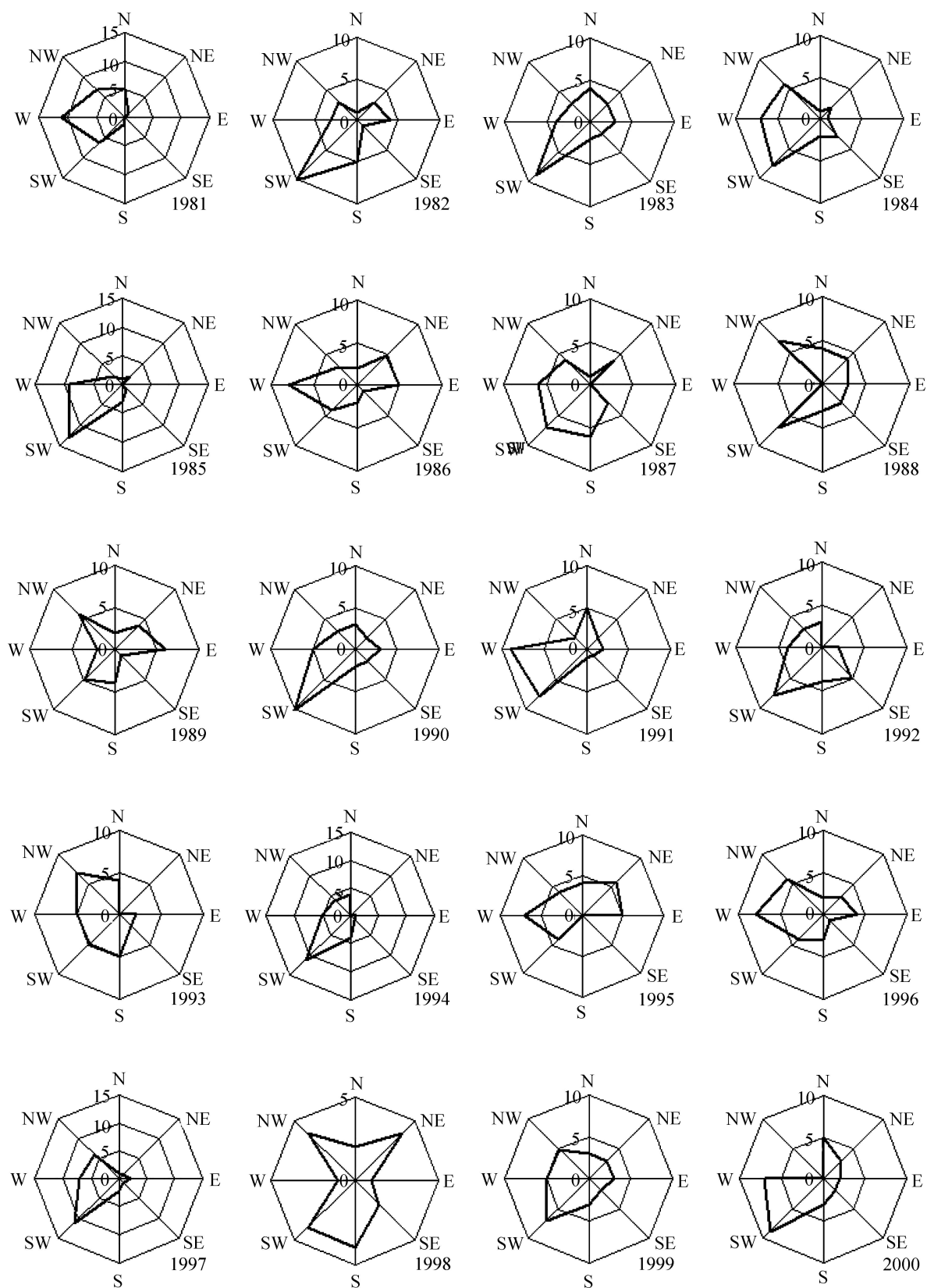


图 2B 哈尔滨市 1981—2000 年 8 月份 850 hPa 高空 08:00 风向频次分布

Fig. 2B The frequency of upper wind direction on 850 hPa in Harbin at 08:00 in August, 1981-2000

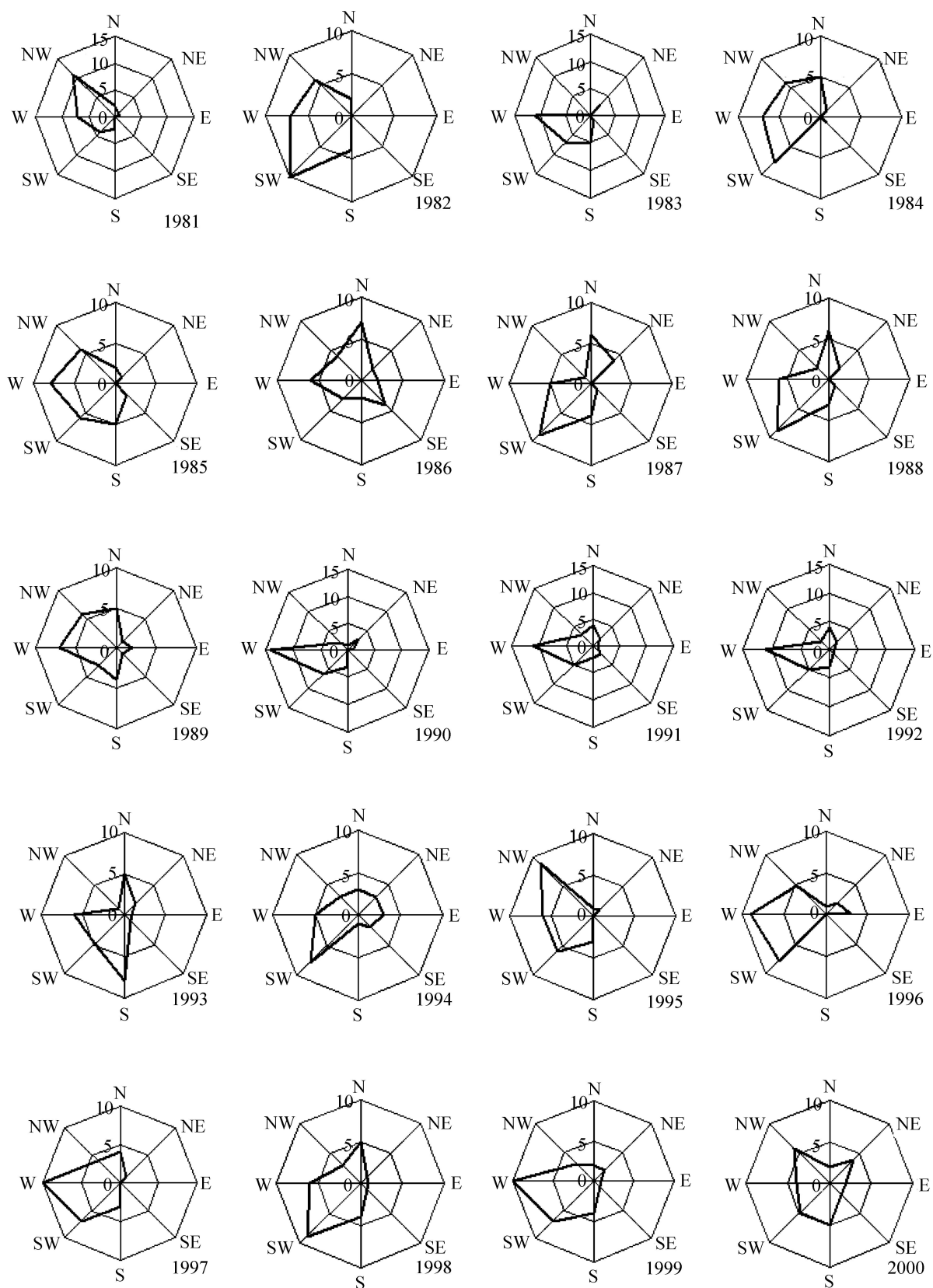


图 2C 哈尔滨市 1981—2000 年 9 月份 850 hPa 高空 08:00 风向频次分布

Fig. 2C The frequency of upper wind direction on 850 hPa in Harbin at 08:00 in September, 1981-2000

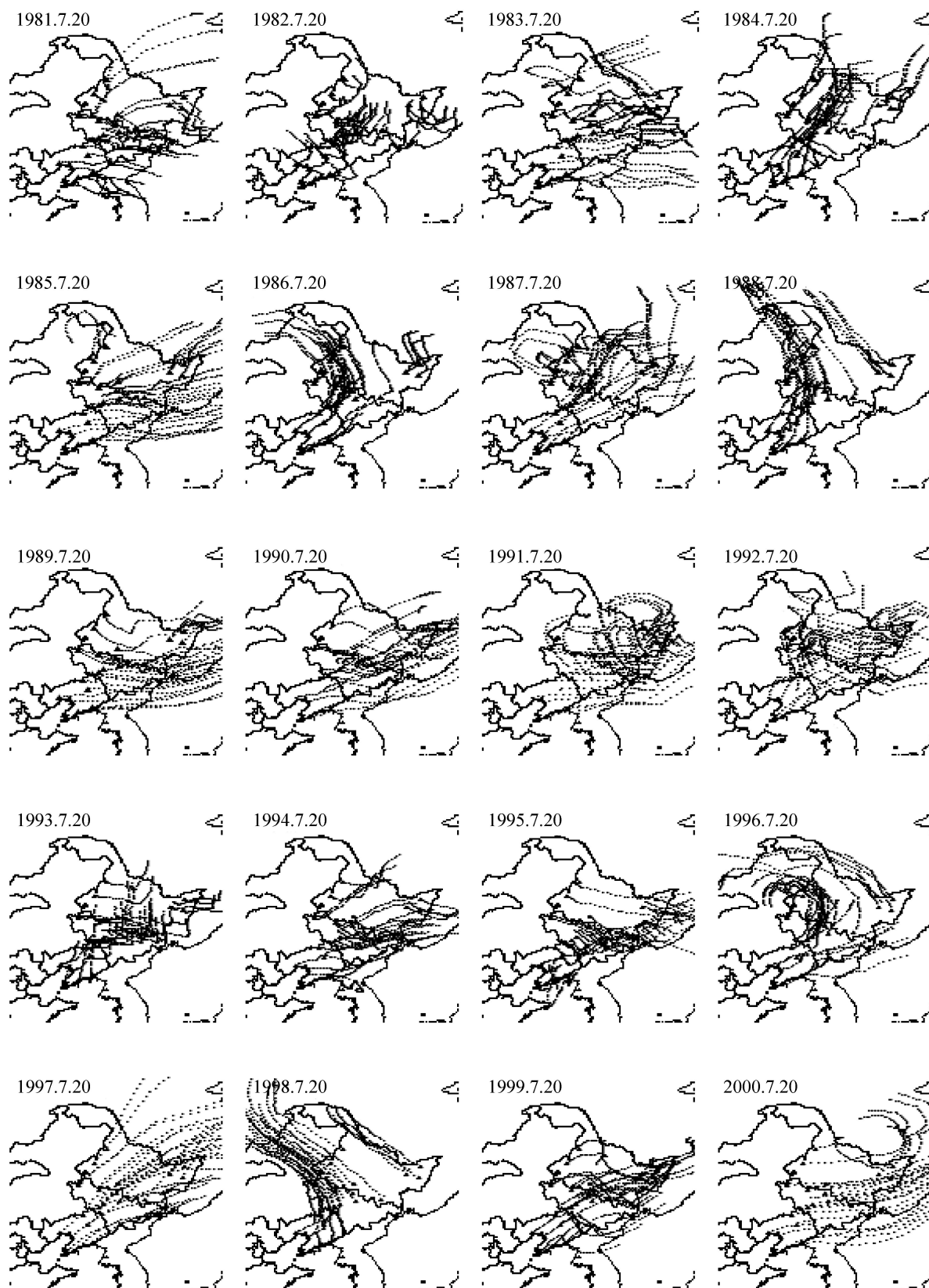


图3 1981—2000年东北地区粘虫夏季种群迁出轨迹图(起始日期7月20日)

Fig. 3 Forward trajectories of the emigrant summer population of armyworm from northeastern China

繁殖又增加一个秋季世代(东北2代),虽然这些种群最终因冬季来临而难逃其灭绝的命运,但却给当地的农作物生产造成了严重危害:如黑龙江省2代粘虫1972、1976、1977、1978年连年大发生(黑龙江省农科院植保所粘虫课题组,1981),吉林省2代粘虫1950、1967、1972年局部地区大发生,1976、1977、1980年全省大发生,每年发生面积均达26.67万 hm^2 ,粮食损失超过1亿斤;1978、1981和1984年3年中等发生,1979年发生较轻未防治(谢为民等,1984)。1997年,东北2代粘虫在沉寂多年后又一次大暴发,长春至沈阳铁路沿线随处可见被粘虫吃得仅存叶脉和主茎的大片玉米田(孙雅杰和高月波,1999)。最近一次东北2代粘虫的暴发出现在2012年8月,其发生面积之广危害之重为历史罕见(张云慧等,2012;曾娟等,2013),造成2代成虫滞留的原因,既有风向多变的阻滞作用,又有大范围降水的迫降作用;而能否形成大发生则与当时的天气气候有关,即大范围暴雨引起的迁入种群的大规模集中降落和迁出种群的大范围滞留,从而形成随雨带分布的高密度区域,进而引起局地暴发(张云慧等,2012;胡高等,2014a,2014b;潘蕾等,2014)。

3.2 华北3代粘虫的虫源问题

人们一直认为,华北3代粘虫的虫源主要来自东北的回迁种群,只是一直没有实证的依据,标记回收试验中华北地区也从未收到来自东北的标记蛾。从本研究的结果可知,东北区粘虫的夏季种群在多数年份都因当地的自然地理条件而陷入绝境、一去不返:或滞留当地,或随来自蒙古高原强劲的西北气流落入大海,或随风进入朝鲜半岛和日本(Hirai,1995),在那里同样无法越冬而消亡。显然,华北3代粘虫的虫源构成中基本上没有东北的回迁种群。而1970年代末期在河南偃城标记一代成虫,分别在陕西(武功)、甘肃(甘谷、定西、天水)、四川(金阳、绵竹)、贵州(安龙)和辽宁(沈阳)等地回收;在甘肃临洮标记释放的2代成虫却出现在陕西咸阳、汉中西乡、河北武安、辽南凌沅和滇东南

西畴等地(甘肃省农科院植保所测报组,1979;李继培等,1979;李光博,1990)。显然,我国东部地区1代成虫羽化后,不仅随西南季风直入东北,同时也随东南风迁入西北和西南地区;东北、西北和西南地区均属2代粘虫常发区,其虫源来自江淮流域的1代粘虫常发区。而华北3代粘虫的虫源则主要应来自西部地区 and 内蒙古农作区的回迁种群。其后的华北3代粘虫的轨迹模拟证实了这一点(潘蕾等,2014)。

3.3 东北迁飞场的 Pied piper 效应

“Pied piper”的典故源自于德国一个花衣吹笛人(Pied piper)用他的魔笛将小镇哈默林(Hemalin)成灾的老鼠引入河中一去不返的民间故事(Browning and Hodges,1984)。Rabb和Stinner(1978)认为,由于人类的农事活动使北美农牧区逐步北扩到某些蛾类原本无法越冬的地区,诱使这些种类随之迁入后却并未见回迁发生,故将这种有去无回的迁飞称为“Pied piper”现象。虽然后来的研究表明这些蛾类其实都有回迁(Dingle,1982;Turgeon and McNeil,1983;Myres,1985;McNeil,1987;Taylor,1989;Showers *et al.*,1993),但在东亚迁飞场,从中国大陆迁入日本和韩国单季稻区的褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* 确无有效回迁,展现了典型的 Pied piper 现象(Wada *et al.*,1987;寒川一成和高桥明彦,1998)。而我国东北地区(包括黑龙江、吉林、辽宁北部和内蒙东北部)三面环山、平原中开的独特的马蹄型地势犹如地形槽,使东北迁飞场温带性季风气候显著,夏秋西南风盛行,即使来自蒙古高原的西北气流在地形槽的作用下也发生气旋性弯曲而盛行西南风,只有在气旋、锋面等天气系统过境时才会有短暂的偏北风(李帧等,1993);同时,东北夏季气旋活动频繁,过境时造成沿途风向多变且带来大范围大量级的降水天气(周琳,1991),空中种群也随之辗转往返或迫降滞留。这种独特的自然地理特征使得东北粘虫的夏季种群无法顺利往南回迁而形成独特的 Pied piper 效应。但问题在于,尽管大多数年份东北

粘虫夏季种群迁入生态绝地而成了 Pied piper 的牺牲品,但某些年份若因特殊天气条件而使其滞留当地,便形成东北地区的 2 代(即全国 3 代)粘虫问题;虽然它们最终难逃覆灭的命运,但新增的这些秋季种群却给当地的农作物生产造成了严重危害(谢为民等,1984;孙雅杰和高月波,1999)。因此,阐明东北 2 代(全国 3 代)粘虫大发生种群的形成机制,具有重要的理论意义和应用价值。

东北迁飞场的 Pied piper 效应不仅使粘虫陷于生态绝地,对所有迁入东北地区的迁飞性昆虫都有显著影响,如小菜蛾 *Plutella xylostella* L.、小地老虎 *Agrotis ipsilon* Hufnagel、草地螟 *Loxostege sticticalis* L.等。上海星火农场植保站在东海和黄海开展海上捕蛾时,于 1982 年 8 月 29 日 03:00 在 38°38' N, 121°58' E 黄海北部海面上发现大量草地螟成虫呈集团性飞行,仅 1 h 就诱到 6 080 头(全国草地螟科研协作组,1987)。根据中国高空气象记录月报和历史天气图,28—30 日在东北及周边地区的风向均为北风或西北风,整个渤海、黄海海面及辽东半岛和胶东半岛为 WNW 风。据轨迹分析,这部分草地螟蛾是从内蒙古草原或辽西迁出,凌晨 3:00 到达黄海北部海面;粘虫空中虫群一般到日出前降落,而日出时这批草地螟蛾群仍在海面上空;考虑到跨海迁飞时虫群可能飞行时间更长,则在当日 08:00,这群草地螟蛾可以到达胶东半岛北端沿岸(威海双岛至初村北店子一带)(陈晓,未发表资料)。但这里并非草地螟的适生区,草地螟的分布南界一般年份在 38°N,大发生年份会扩展至 37°N,南方的高温天气会将其置于死地(气温高于 35℃时草地螟雌蛾不抱卵)。关于东北地区迁飞性昆虫的回迁还有诸多未解之谜,尚需更长时间序列的虫情监测数据和更多迁入迁出事件的个例分析来揭示其生态规律和预测意义。

参考文献 (References)

- Browning R, Hodges CW, 1984. The Pier Piper of Hamelin. London: Frederick Warne & Co. Ltd. 52.
- Dingle, 1982. Function of migration in the seasonal synchronization of insects. *Ent. Exp. Appl.*, 31(1): 36–48.
- Hirai K, 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separatea* in East Asia in relation to weather and climate. III. Japan // Drake VA, Gatehouse AG (eds.). *Insect Migration: Tracking Resources through Space and Time*. UK: Cambridge University Press. 117–129.
- McNeil JN, 1987. The true armyworm, *Pseudaletia unipuncta*: a victim of the pied piper or a seasonal migrant? *Insect Sci. Appl.*, 8(4/6): 591–597.
- Myres MT, 1985. A southward return migration of painted lady butterflies, *Vanessa cardui*, over southern Alberta in the fall of 1983, and biometeorological aspects of their outbreaks into north America and Europe. *Can Field-nat.*, 99(2): 147–155.
- Rabb RL, Stinner RE, 1979. The role insect dispersal and migration in population processes // Vaughn CR, Wolf W, Klassen W (eds.). *Radar, Insect Population Ecology, and Pest Management.. Wallops Island : NASA, NASA Conference Publication (no. 2070), 248.*
- Showers WB, Keaster AJ, Raulston JR, Hendrix IIIWH, Derrick ME, McCorcle MD, Way MO, Wallendorf MJ, Goodenough JL 1993. Mechanism of southward migration of a noctuid moth *Agrotis ipsilon* (Hufnagen): a complete migrant. *Ecology*, 74(8): 2303–2314.
- Taylor RA, 1989. Mystery of the return migration // Armbrust EJ, Lamp WO (eds.). *History and perspectives of potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) research. Miscellaneous Publications of Entomological Society of America, No. 72. 18–25.*
- Turgeon JJ, McNeil JN, 1983. Modifications in the calling behaviour of *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera: Noctuidae), induced by temperature conditions during pupal and adult development. *Can. Entomol.*, 115(8): 1015–1022.
- Wada T, Seino H, Ogawa Y, Nakasuga T, 1987. Evidence of autumn overseas migration in the rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furifera*, analysis of light trap catches and associated weather patterns. *Ecol. Entomol.*, 12(3): 321–330.
- Zhai BP, Zhang XX, 1999. Numerical simulation of the pathways of migrating insects. *Entomologia Sinica*, 6(2): 83–91.
- 陈瑞鹿, 1962. 粘虫发生规律研究中几个有关问题的研讨. 中国农业科学, (7): 12–16. [Chen LR, 1962. The key problem of armyworm population. *China Agriculture Sciences*, (7): 12–16].
- 陈瑞鹿, 卢兆先, 刘增义, 李绵春, 相連英, 1965. 吉林省粘虫猖獗世代发生虫源的研究 II. 虫源策源地的探讨. 植物保护学报, 4(1): 49–58. [Chen LR, Lu ZX, Liu ZY, Li JC, Xiang LY, 1965. The research of armyworm outbreak in Jilin. *Journal of Plant Protection*, 4(1): 49–58]
- 陈瑞鹿, 1990. 粘虫迁飞的模式// 林昌善主编, 粘虫生理生态学.

- 北京: 北京大学出版社. 322–335. [Lin SC, 1990. Physiological ecology of armyworm. Beijing: Beijing University Press. 1–52]
- 甘肃省农科院植保所测报组, 1979. 我省二代粘虫的来龙去脉. 甘肃农业科技, (2): 14–15. [Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agriculture Science, 1979. The Dynamics of 2 generation. Gansu Agricultural Technology, (2): 14–15]
- 寒川一成, 高桥明彦, 1998. 依靠亚洲季风的稻飞虱大范围迁徙. 日本气象环境研究会“大气生物扩散问题的现状与展望”(1997 年度). 中国水稻研究所, 中日合作项目办公室. [Hanchuan YC, Gaoqiao MY, 1998. The migration of plant hopper with monsoon. The institute of rice, Joint Project Office of China and Japan]
- 黑龙江省农科院植保所粘虫课题组, 1981. 二代粘虫存留和发生条件的验证(内部资料). [Armyworm Group in Institute of Plant Protection, Heilongjiang Academy of Agriculture, 1981. The condition and test and 2 generations armyworm outbreak]
- 胡高, 吴秋琳, 武向文, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014a. 东北二代粘虫大发生机制: 1978 年个例分析. 应用昆虫学报, 51(4): 927–942. [Hu Gao, Wu QL, Wu XW, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014a. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1978. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 927–942.]
- 胡高, 吴秋琳, 武向文, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014b. 东北二代粘虫大发生机制: 1980 年个例分析. 应用昆虫学报, 51(4): 943–957. [Hu Gao, Wu QL, Wu XW, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014b. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1980. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 943–957.]
- 林昌善, 孙金如, 陈瑞鹿, 张宗炳, 1963. 粘虫(*Leucani separata* Walker)发生规律的研究 I. 东北春季粘虫发生与风的关系. 昆虫学报, 12(3): 243–262. [Lin SC, Sun JR, Chen LR, Zhang ZB, 1963. The research of armyworm dynamics (*Leucani separata* Walker). I. The relation between armyworm and wind. *Acta Entomologica Sinica*, 12(3): 243–262]
- 林昌善, 夏曾铎, 1963. 粘虫发生规律的研究 III. 粘虫(*Leucani separata* Walker)蛾迁飞与气流场的关系及其运行可能形式的探讨. 北京大学学报, 9(3): 291–308. [Lin SC, Xia ZX, 1963. The research of armyworm dynamics (*Leucani separata* Walker). III. The relation between migration and airflow field. *Journal of Beijing University*, 9(3): 291–308]
- 林昌善, 1963. 粘虫发生规律的研究 IV. 与粘虫蛾远距离迁飞降落过程有关的气象物理因素的分析. 植物保护学报, 2(2): 111–122. [Lin SC, 1963. The research of armyworm dynamics (*Leucani separata* Walker). IV. The relation between migration and climate condition. *Journal of Plant Protection*, 2(2): 111–122].
- 林昌善, 张宗炳, 1964. 粘虫发生规律的研究 V. 粘虫蛾季节性远距离迁飞的一个模式. 植物保护学报, 3(2): 93–100. [Lin SC, Zhang ZB, 1964. The research of armyworm dynamics (*Leucani separata* Walker). V. The pattern of seasonal migration. *Journal of Plant Protection*, 3(2): 93–100]
- 李光博, 王恒祥, 胡文绣, 1964. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报, 3(2): 101–110. [Li GB, Wang HX, Hu WX, 1964. The damage hypothesis of seasonal migration and release-recapture of armyworm. *Journal of Plant Protection*, 3(2): 101–110]
- 李光博, 曾士迈, 李振岐主编, 1990. 小麦病虫草鼠害综合治理. 北京: 中国农业科技出版社. 288–316. [Li GB, Zeng SM, Li ZQ, 1990. The integrated management of disease, insect pest, weed, and rodent in wheat. Beijing: China Agriculture Technology Press. 288–316]
- 李继培, 金和年, 李迢新, 1979. 粘虫迁飞为害规律研究初报. 河南农林科技, (4): 14–16. [Li JP, Jin HN, Li ZX, 1979. Migration and damage regulation of armyworm. *Henan Agricultural and forest Technology*, (4): 14–16]
- 李绵春, 陈瑞鹿, 刘增义, 庐兆先, 1965. 吉林省粘虫猖獗世代发生虫源的研究 I. 发生虫源的探讨和越冬问题研究. 昆虫学报, 14(1): 21–31. [Li MC, Chen LR, Liu ZY, Lu ZX, 1965. The frequent outbreak and population resource of armyworm in Jilin. I. the relation between population resource and overwinter. *Acta Entomologica Sinica*, 14(1): 21–31]
- 李帧, 祁承留, 孙文昌, 1993. 东北地区自然地理. 北京: 高等教育出版社. 245. [Li Z, Qi CL, Lin SC, 1993. The natural geography of Northeast China. Beijing: High Education Press, 245]
- 马世骏, 1963. 粘虫蛾迁飞的生理生态学背景. 科学通报, (9): 65–68. [Ma SJ, 1963. The background of physiological ecology of armyworm. *Chinese Science Bulletin*, (9): 65–68]
- 全国草地螟科研协作组, 1987. 草地螟 (*Loxostege sticticalis* Linnaeus) 发生及测报和防治的研究. 病虫测报, (S1): 1–8 [National Research Group of Meadow Moth, 1987. The prediction and management of *Loxostege sticticalis* Linnaeus. *Prediction of Disease and Pests*, (S1): 1–8]
- 潘蕾, 吴秋琳, 武向文, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014. 华北三代粘虫大发生虫源的形成. 应用昆虫学报, 51(4): 958–973. [Pan L, Wu QL, Wu XW, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014. The formation of outbreak populations of the 3rd generation of *Mythimna separata* (Walker) in northern China. *Journal of Applied Entomology*, 51(4): 958–973]
- 孙雅杰, 高月波, 1999. 东北发生区粘虫种群调查报告. 全国迁

- 飞性昆虫学术研讨会论文摘要集, 北京: 中国农科院植保所. [Sun YJ, Gao YB, 1999. The investigation report of armyworm in Northeast China. Conference Papers of insect migration. Beijing: Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture]
- 夏曾铎, 蔡晓明, 邓小山, 1963. 粘虫发生规律的研究 II. 中国渤海和黄海海面粘虫(*Leucani separata* Walker)迁飞的观察. 昆虫学报, 12(5/6): 552-564. [Xia ZX, Cai XM, Deng XS, 1963. The research of armyworm dynamics (*Leucani separata* Walker) II. Observation of armyworm on the surface of Yellow and Bo Sea, Acta Entomologica Sinica, 12(5/6): 552-564]
- 谢为民, 陈瑞鹿, 岳宗岱, 1984. 吉林省二代粘虫发生规律及预测技术. 吉林省植保学会第四届会员代表大会论文集, 吉林省植保学会. 66-72. [Xie WM, Chen RL, Yue ZD, 1984. The outbreak regulation and prediction technology of 2 generation armyworm in Jilin province. Conference Papers of Jilin Plant Protection Society. Jilin Plant Protection Society]
- 张云慧, 张智, 姜玉英, 曾娟, 高月波, 程登发, 2012. 2012 年三代黏虫大发生原因初步分析. 植物保护, 38(5): 1-8. [Zhang YH, Zhang Z, Jiang YY, Zeng J, Gao YB, Cheng DF, 2012. Preliminary analysis of the outbreak of the third-generation army worm *mythimna separata* in China in 2012. *Plant Protection*, 38(5): 1-8.]
- 曾娟, 姜玉英, 刘杰, 2013. 2012 年黏虫暴发特点分析与监测预警建议. 植物保护, 39(2): 117-121. [Zeng J, Jiang YY, Liu J, 2013. Analysis of the armyworm outbreak in 2012 and suggestions of monitoring and forecasting. *Plant Protection*, 39(2): 117-121.]
- 周琳, 1991. 东北气候. 北京: 气象出版社. 1-366. [Zhou L, 1991. The climate in Northeast China. Beijing: Climate Press]

表 5 1981—2000 年东北粘虫 2 代成虫迁出顺推轨迹最终落点分布
Table 5 The distribution of end points of the forward trajectories of the emigrant summer population of armyworm from northeastern China, 1981-2000

落区	1	2	3	4	5	6	7	8
LA 年份 Year	轨迹数 TRn	百分比 Percentage (%)	轨迹数 TRn	百分比 Percentage (%)	轨迹数 TRn	百分比 Percentage (%)	轨迹数 TRn	百分比 Percentage (%)
1981	125	35.0	31	8.7	0	0	24	6.7
					93	26.1	0	0.0
1982	12	3.4	28	7.8	36	10.1	90	25.2
							2	0.6
1983	194	54.3	9	2.5	12	3.4	115	32.2
							0	0.0
1984	156	43.7	21	5.9	19	5.3	106	29.7
							0	0.0
1985	100	28.0	3	0.8	31	8.7	119	33.3
							0	0.0
1986	62	17.4	40	11.2	36	10.1	79	22.1
							0	0.0
1987	127	35.6	26	7.3	39	10.9	93	26.1
							0	0.0
1988	80	22.4	26	7.3	90	25.2	62	17.4
							0	0.0
1989	95	26.6	48	13.4	33	9.2	59	16.5
							6	1.7
1990	204	57.1	14	3.9	17	4.8	93	26.1
							0	0.0
1991	69	19.3	36	10.1	8	2.2	36	10.1
							39	10.9
1992	194	54.3	25	7.0	4	1.1	21	5.9
							72	20.2
1993	0	0	24	6.7	162	45.4	52	14.6
							15	4.2
1994	193	54.1	16	4.5	0	0	10	2.8
							80	22.4
1995	125	35.0	21	5.9	20	5.6	17	4.8
							78	21.8
1996	168	47.1	10	2.8	26	7.3	21	5.9
							75	21.0
1997	111	31.1	36	10.1	3	0.8	15	4.2
							109	30.5
1998	47	13.2	21	5.9	75	21.0	61	17.1
							52	14.6
1999	93	26.1	44	12.3	0	0	33	9.2
							109	30.5
2000	69	19.3	23	6.4	2	0.6	58	16.5
							96	26.9
							0	0.0
							97	27.2
							12	3.4

1. 日本海及锡霍特山脉东侧；2. 渤海和黄海；3. 大兴安岭及以西；4. 小兴安岭及以北；5. 三江平原以北和以东的俄远东地区；6. 华北 3 代发生区；7. 东北平原和低山区；8. 长白山区及朝鲜半岛。
1. Sea of Japan and eastern Sikhote-Alin; 2. Bohai Sea and Yellow Sea; 3. Da Xing'an Ling; 4. Xiao Xing'anling; 5. Far East of Russia; 6. Northern China; 7. Northeastern China; 8. Changbai Mt. and Peninsula Korea. LA: Landing areas, TRn: the numbers of forward trajectories of the emigrant summer population of *Mythimna separata*.