

华北三代粘虫大发生虫源的形成*

潘 蕾¹ 吴秋琳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3代粘虫的种群构成还少有研究, 华北3代粘虫的虫源问题也不清楚。为此, 需厘清3代粘虫发生区的风场动态和迁出种群的去向, 为明确各地的虫源关系提供依据。【方法】根据国家气象局的高空气象记录, 分析高空风场; 利用HYSPLIT平台模拟华北粘虫夏季迁出种群的迁飞轨迹和落点分布。【结果】在夏季风盛行的背景下, 3代粘虫主要来自于与其发生区相邻的偏南地区(约占45%), 如鲁东、苏皖鄂、浙北、赣北、湘北等; 另一个主要来源是西北区(包括晋陕甘宁, 约占10%)和河北北部(内蒙古及以北区域, 约占7%); 在某些年份, 西南地区也会提供约6%的虫源。另外, 还有约30%的虫源来自于发生区域内的相邻地方, 属于当地前代滞留虫源的近距离迁飞; 而东北区对华北3代粘虫的虫源构成则只有极微的贡献(约0.2%)。从山西和陕西起飞的1代成虫则主要是北迁, 有将近30%的个体迁入了华北3代粘虫发生区, 约23%迁入内蒙古及以北地区, 还有约4%迁入西北的甘肃宁夏、约5%迁入东北区, 另有27.5%的个体近距离迁飞落在本省境内。晋陕种群南向迁飞的比率不大, 只有大约10%的个体迁入3代粘虫发生区的南邻区域。【结论】华北3代粘虫的暴发属于小概率事件, 如此大范围的潜在虫源和如此局部的发生区, 以及复杂的天气系统给我国华北地区3代粘虫的预测预警工作造成了极大的困难, 需要研究部门与推广部门通力合作, 做更多的实证研究和个案分析, 逐渐深化对3代粘虫暴发机制的认识。

关键词 3代粘虫, 暴发机制, 轨迹分析

The formation of outbreak populations of the 3rd generation of *Mythimna separata* (Walker) in northern China

PAN Lei¹ WU Qiu-Lin¹ 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] The structure and formation of outbreak populations of the 3rd generation armyworm remains unknown so identifying the source of this population is essential for effective forecasting and management. [Methods] Synoptical radiosonde data were used to construct wind fields, and NOAA's HYSPLIT to simulate the migration pathways and destinations of armyworm moths. [Results] Although the 3rd generation armyworm population in northern China were composed of the migrants from the northwestern Provinces (10%), Inner Mongolia (7%) southwestern Provinces (6%), most (75%) were of local origin. Because of the pied piper effect, the contribution from northeastern China to the outbreak population was only 0.2%. [Conclusion] Outbreaks of 3rd generation armyworm in northern China are rare events. The widespread possible source populations and complex environmental factors greatly complicate the effective forecasting and control of such outbreaks. More empirical studies, case studies and theoretical research is needed to improve our

* 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)

**通讯作者, E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期: 2014-07-10, 接受日期: 2014-07-16

understanding of the outbreak mechanisms of armyworm and forecasting and management to the pest.

Key words summer population of armyworm, outbreak mechanisms, trajectory analysis

根据国内对粘虫迁飞的研究结果(陈瑞鹿, 1990; 李光博等, 1990), 粘虫在我国每年主要有 4 次迁飞, 形成 5 次发生区。

第 1 次迁飞在 3—4 月份, 华南和江南第 1 次发生区的越冬代虫源北迁迁入长江中下游平原和黄淮平原冬麦区, 即 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 包括苏皖两省、豫中豫南、鲁南及鄂西北等地区, 形成 1 代常发区(第 2 次发生区)的虫源。

第 2 次迁飞在 5—6 月份, 江淮流域 1 代常发区的成虫羽化后, 继续北迁至 39°N 以北各地形成第 3 次发生区, 包括东三省、内蒙古东部、冀东冀北和晋中晋北等地, 其中主要迁入区在东北平原。另有一部分虫源随风迁入西北地区(陕甘宁)和西南地区(川贵)。

第 3 次迁飞在 7—8 月份, 第 3 次发生区的 2 代成虫羽化后, 除少数留在原地繁殖外, 大部分向南回迁到 $35^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ 的海河平原和黄河下游平原, 即第 4 次发生区, 包括冀西冀中冀南、鲁西鲁南和豫东豫北等地区, 西北地区的 2 代虫源也会随风迁入这些地区。3 代粘虫在这里繁殖危害秋熟作物。

第 4 次迁飞在 8—9 月份, 第 3 次发生区的 3 代成虫羽化后, 绝大部分个体继续回迁到 30°N 以南的江南稻区和华南稻区繁殖为害, 形成第 5 次发生区 9—10 月间的主害虫源。

在这 4 次大规模迁飞中, 各世代发生区的成虫仅做单程外向迁飞, 迁入新发生区繁殖后代, 不返回原发生区; 每一世代的成虫均迁离原发生区, 而由新发生区羽化的成虫再做远距离迁飞。比较前两次迁飞的 3 个发生区, 其发生范围无论是经度还是纬度, 均逐次由南向北扩大且互不重复, 使第 3 次发生区成为常年最大的一次发生区, 仅东北和西北两地区, 南北跨度达 2 000 km, 东西达 3 000 km, 而且在发生区之间往往存在相隔离的中转区。只有第 3 次迁飞, 因其虫源区的

第 3 次发生区范围极为广阔且迁飞历期缩短, 加上此期优势风向不明显且强度较弱而使迁飞方向较分散、迁飞距离较短, 从而形成第 3 次发生区与第 4 次发生区之间相互重叠, 并使第 4 次发生区呈点片状分布且迁入区的分布范围年度间变化很大。

从 2002 年和 2012 年两次 3 代粘虫的大发生情况看, 其发生范围之广、为害程度之重均为历史罕见。黄河下游平原、鲁南和晋南并非 2 代粘虫发生区, 其 3 代粘虫的大发生种群显然主要来自西北、华北和东北地区的回迁虫源。就东北虫源的去向而言, 因东北迁飞场的 Pied piper 效应, 大多数年份迁入生态绝地而成了 Pied piper 的牺牲品, 个别年份因特殊天气条件而滞留当地形成东北 2 代粘虫问题, 只有极少数年份有极少量个体成功回迁第 4 次发生区, 而后者无疑是一种小概率事件(胡高等, 2014a, 2014b; 潘蕾等, 2014)。因此, 要阐明我国 3 代粘虫的间歇性暴发机制, 首先要明确其虫源区所在, 其次要搞清大发生种群是如何形成的, 也即大范围的虫源通过怎样的过程集中降落到第 4 次发生区的局部点片的。为此, 对 1981—2000 年共 20 年间华北三省的夏季种群进行迁入轨迹逆推模拟, 并统计其落点分布, 再对几次 3 代粘虫的发生情况做个例分析以明确我国华北地区夏季迁入种群虫源地分布状况和大发生种群的形成过程。

1 材料与方法

1.1 轨迹分析程序

美国 NOAA 提供的 HYSPLIT 轨迹分析平台。分别以 7 月 25 日—8 月 10 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, 迹点曲线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。

1.2 轨迹分析参数

轨迹起点位置,在山西陕西两省各选取 5 个 2 代粘虫高发地,共 10 个点(图 1);在华北三省各选取 5~6 个 3 代粘虫高发地,共 16 个点(图 2)。起飞降落时间,分别以 7 月 20 日起到 8 月 5 日整个迁飞期逐日作为起始日期。以起始地日出前 1 h 作为逆推的起始时间,日落后 1 h 作为逆推的终止时间。连续分析 5 个夜晚。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。

1.3 轨迹终点落区分布

将西北夏季粘虫迁飞顺推轨迹的最终终止地(迁入区)划分为 8 个区:1、滞留当地;2、华北平原;3、东北三省平原和低山区;4、内蒙古及以北地区;5、宁夏与甘肃东南部;6、云贵川渝;7、黄海和东海;8、江南各省。将华北 3 代粘虫迁飞逆推轨迹的终点(虫源地)划分为 8 个区:1、华北当地;2、东北三省农作区;3、山西、陕西;4、渤海和黄海;5、江南各省;6、内蒙古及其以北地区;7、宁夏与甘肃东南部;8、云贵川渝。

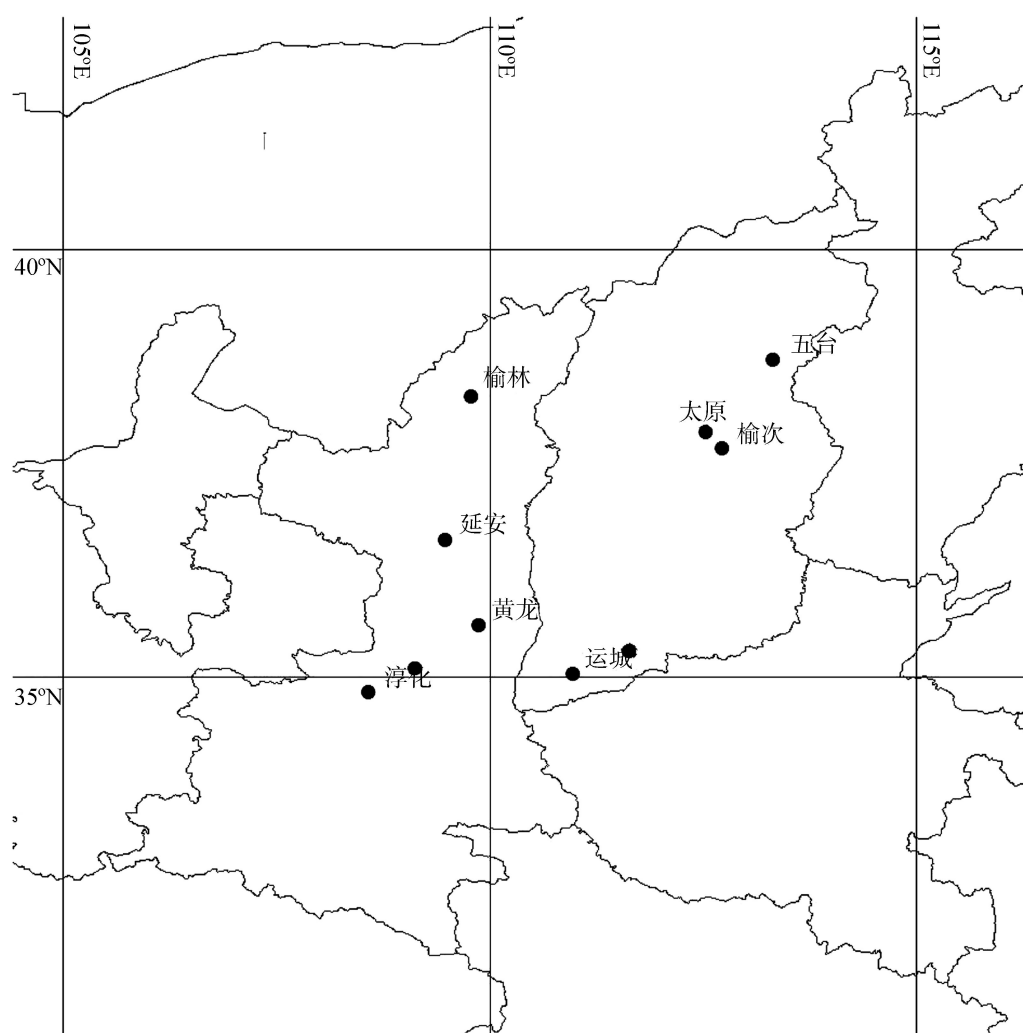


图 1 晋陕 3 代粘虫迁出种群顺推轨迹起始点

Fig. 1 Starting locations (the emigration areas) of the forward trajectories of the emigrant summer populations of *Mythimna separata* in Shanxi and Shaanxi in China

表 1 1981—2000 年山西、陕西粘虫夏季种群迁出顺推轨迹最终落点分布
Table 1 The distribution of end points of the forward trajectories of the emigrant summer population of armyworm from Shanxi and Shaanxi in China, 1981-2000

年份 Year	落区 Landing areas															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	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 (%)	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	56	32.94	49	28.82	2	1.18	49	28.82	0	0.00	0	0.00	13	7.65	1	0.59
1982	53	31.18	41	24.12	0	0.00	46	27.06	12	7.06	1	0.59	5	2.94	12	7.06
1983	40	23.53	71	41.76	23	13.53	26	15.29	4	2.35	0	0.00	6	3.53	0	0.00
1984	52	30.59	56	32.94	18	10.59	44	25.88	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1985	42	24.71	81	47.65	20	11.76	5	2.94	0	0.00	2	1.18	20	11.76	0	0.00
1986	56	32.94	88	51.76	11	6.47	0	0.00	0	0.00	6	3.53	9	5.29	0	0.00
1987	46	27.06	32	18.82	1	0.59	37	21.76	12	7.06	13	7.65	3	1.76	26	15.29
1988	45	26.47	1	0.59	4	2.35	108	63.53	12	7.06	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1989	33	19.41	13	7.65	0	0.00	62	36.47	23	13.53	36	21.18	3	1.76	0	0.00
1990	48	28.24	41	24.12	7	4.12	30	17.65	7	4.12	16	9.41	13	7.65	8	4.71
1991	20	11.76	72	42.35	3	1.76	1	0.59	0	0.00	23	13.53	22	12.94	29	17.06
1992	29	17.06	69	40.59	31	18.24	24	14.12	0	0.00	0	0.00	17	10.00	0	0.00
1993	73	42.94	81	47.65	0	0.00	2	1.18	4	2.35	9	5.29	1	0.59	0	0.00
1994	45	26.47	43	25.29	10	5.88	63	37.06	8	4.71	0	0.00	1	0.59	0	0.00
1995	72	42.35	58	34.12	11	6.47	28	16.47	1	0.59	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1996	43	25.29	45	26.47	20	11.76	31	18.24	16	9.41	8	4.71	7	4.12	0	0.00
1997	31	18.24	34	20.00	5	2.94	91	53.53	0	0.00	4	2.35	5	2.94	0	0.00
1998	72	42.35	54	31.76	9	5.29	15	8.82	15	8.82	0	0.00	5	2.94	0	0.00
1999	46	27.06	14	8.24	4	2.35	80	47.06	26	15.29	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2000	33	19.41	47	27.65	2	1.18	54	31.76	0	0.00	8	4.71	4	2.35	22	12.94

1. 本区域 Shanxi and Shaanxi; 2. 华北 Northern China; 3. 东北三省 Northeastern China; 4. 内蒙古及以北 Inner Mongolian and north area; 5. 甘宁 Gansu and Ningxia; 6. 云贵川渝 Yunnan, Guizhou, Sichuan and Chongqing; 7. 黄海和东海 Yellow Sea and East Sea; 8. 江南 South of Yangtz River. TRn: The numbers of forward trajectories of the emigrant summer population of *Mythimna separata*.

表 2 1981—2000 年华北粘虫夏季种群迁入回推轨迹最终落点分布
Table 2 The distribution of end points of the backward trajectories of the immigrant summer population of armyworm from northern China, 1981-2000

落区 Landing areas																
年份 Year	1		2		3		4		5		6		7		8	
	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 (%)	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	60	22.81	0	0.00	24	9.13	66	25.10	69	26.24	42	15.97	2	0.76	0	0.00
1982	60	22.90	4	1.53	16	6.11	100	38.17	58	22.14	20	7.63	0	0.00	4	1.53
1983	50	17.79	0	0.00	21	7.47	9	3.20	118	41.99	3	1.07	9	3.20	71	25.27
1984	91	33.46	0	0.00	27	9.93	53	19.49	89	32.72	0	0.00	0	0.00	12	4.41
1985	94	34.56	0	0.00	53	19.49	19	6.99	53	19.49	23	8.46	3	1.10	27	9.93
1986	105	38.60	0	0.00	46	16.91	14	5.15	30	11.03	20	7.35	0	0.00	57	20.96
1987	87	31.99	0	0.00	23	8.46	38	13.97	42	15.44	69	25.37	2	0.74	11	4.04
1988	37	13.60	0	0.00	0	0.00	130	47.79	103	37.87	0	0.00	0	0.00	2	0.74
1989	38	14.02	3	1.11	5	1.85	144	53.14	24	8.86	57	21.03	0	0.00	0	0.00
1990	103	37.87	0	0.00	21	7.72	46	16.91	67	24.63	3	1.10	32	11.76	0	0.00
1991	99	36.40	1	0.37	43	15.81	21	7.72	35	12.87	51	18.75	1	0.37	21	7.72
1992	78	28.68	0	0.00	29	10.66	17	6.25	78	28.68	3	1.10	0	0.00	67	24.63
1993	151	55.51	0	0.00	43	15.81	50	18.38	19	6.99	2	0.74	0	0.00	7	2.57
1994	99	37.08	0	0.00	18	6.74	17	6.37	130	48.69	1	0.37	0	0.00	2	0.75
1995	97	36.33	0	0.00	6	2.25	8	3.00	136	50.94	1	0.37	19	7.12	0	0.00
1996	37	13.60	0	0.00	11	4.04	95	34.93	114	41.91	1	0.37	0	0.00	14	5.15
1997	69	25.37	0	0.00	26	9.56	10	3.68	118	43.38	44	16.18	0	0.00	5	1.84
1998	100	36.76	0	0.00	30	11.03	36	13.24	71	26.10	5	1.84	0	0.00	30	11.03
1999	140	51.47	5	1.84	3	1.10	43	15.81	59	21.69	22	8.09	0	0.00	0	0.00
2000	107	39.34	0	0.00	33	12.13	17	6.25	80	29.41	14	5.15	21	7.72	0	0.00

1. 本区域 Northern China; 2. 东北三省 Northeastern China; 3. 晋陕 Shanxi and Shaanxi; 4. 渤海、黄海 Bohai Sea and Yellow Sea; 5. 江南 South of Yangtz River; 6. 内蒙古及以北 Inner Mongolian and north area; 7. 甘宁 Gansu and Ningxia; 8. 云贵川渝 Yunnan, Guizhou, Sichuan and Chongqing. TRn: The numbers of forward trajectories of the emigrant summer population of *Mythimna separata*.

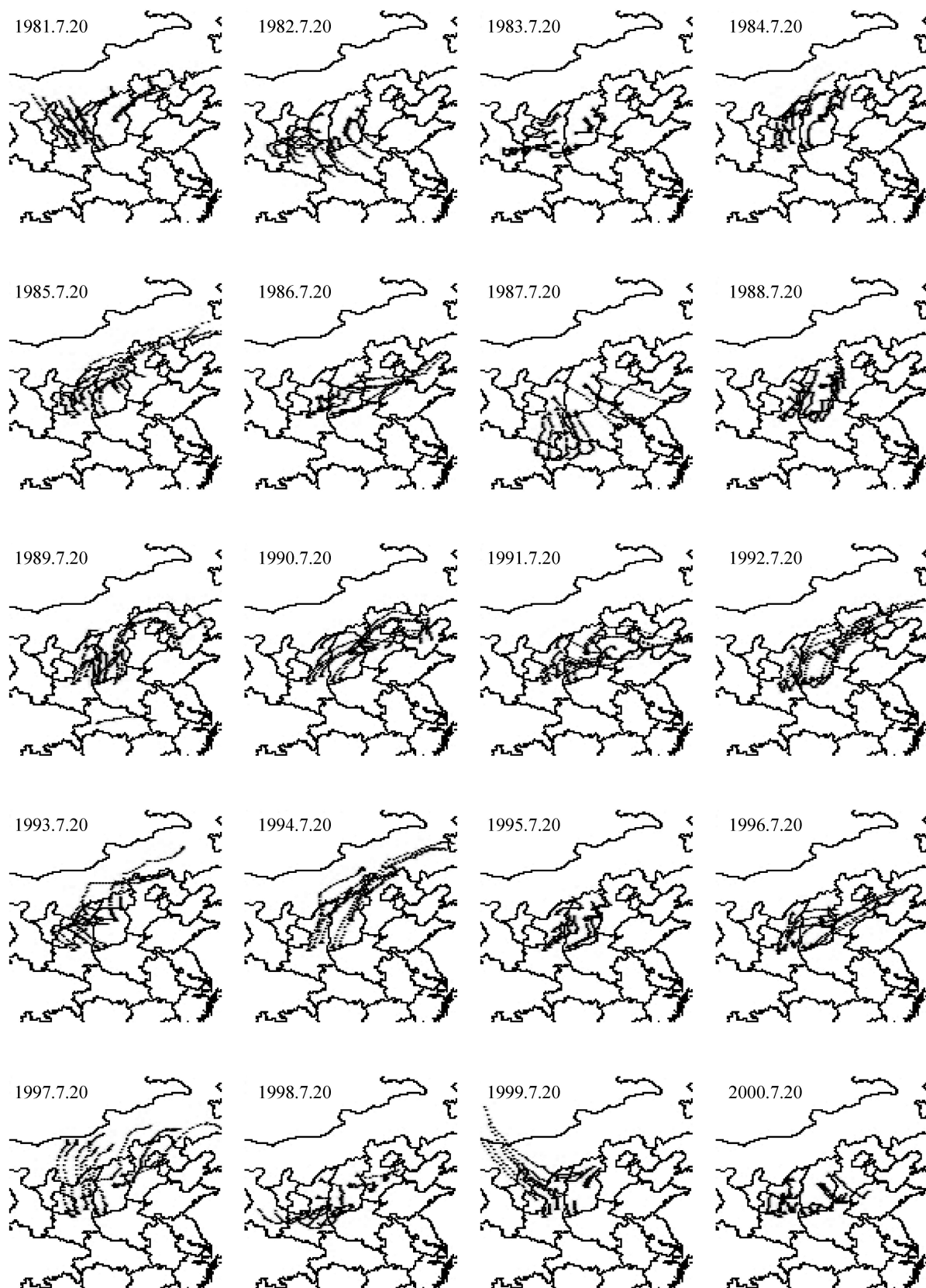


图3 1981—2000年山西、陕西粘虫夏季种群7月20日迁出顺推轨迹图

Fig. 3 Forward trajectories of the emigrant population from Shanxi and Shaanxi in China starting on 20 July, 1981-2000

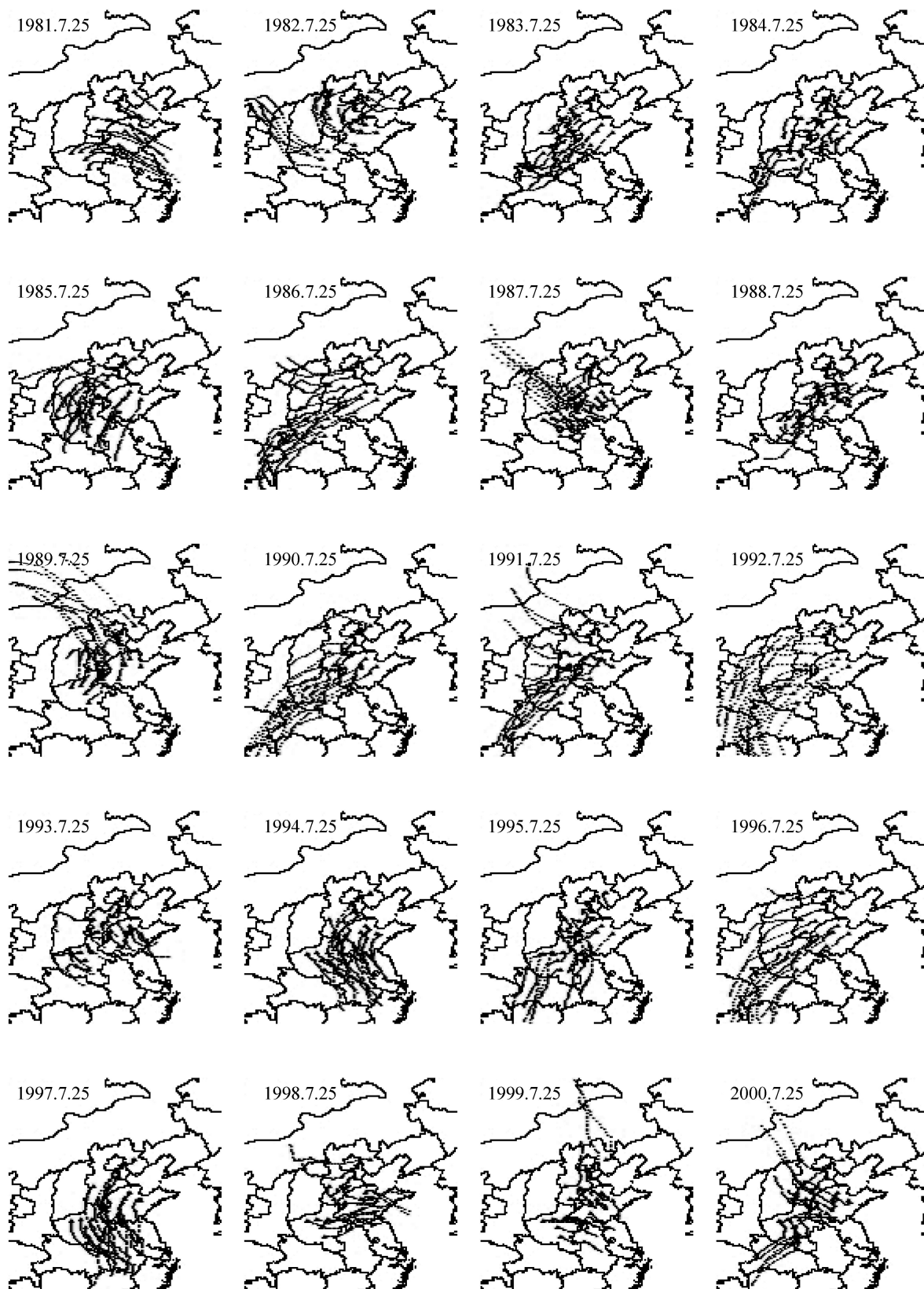


图 4 1981—2000 年华北地区粘虫夏季种群 7 月 25 日迁入逆推轨迹图

Fig. 4 Forward trajectories of the emigrant summer population of armyworm from northern China starting on 25 July, 1981-2000

2.2 华北 3 代粘虫大发生虫源的形成：1990 年个例分析

1990 年粘虫在华北大发生，发生面积在 666.7 万 hm^2 （1 亿亩）以上，防治面积超过 666.7 万 hm^2 ；经全面防控，当年挽回损失达 145.4 万 t，为历史最高纪录(姜玉英等, 2014)。其中，河北省宽城、安新及山东省邹平黑光灯诱蛾高峰期，均出现在 7 月 6 侯；尤其是河北宽城高峰期明显且蛾量大，一日突增量达 200

多头（图 6）。

以宽城、安新、邹平为起始地点进行逆推轨迹分析（表 3），结果表明（图 7，图 8），河南省中部汝阳的虫群首先起飞，随风径直向东北方向飞行，最后进入山东省邹平地区；许昌地区的虫群迁出后随风先往东北方向飞行，进入山东省后又折向北达到河北省安新地区；开封地区的虫群先往东北进入山东，随后折向西北进入河北省，最后又折回东北方向，到达宽城地区。

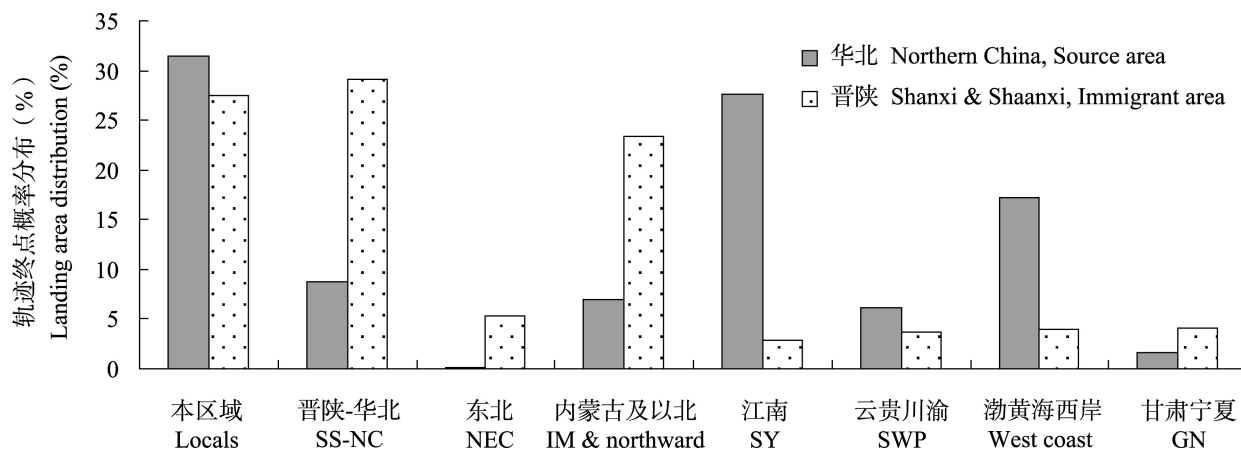


图 5 华北 3 代粘虫的虫源区分布

Fig. 5 The distribution of source areas of the 3rd generation armyworm in northern China

SS-NC: Shanxi & Shaanxi, northern China; NEC: northeastern China; IM: Inner Mongolia; SY: south of Yangtze River; SWP: Southwest Provinces; GN: Gansu & Ningxia.

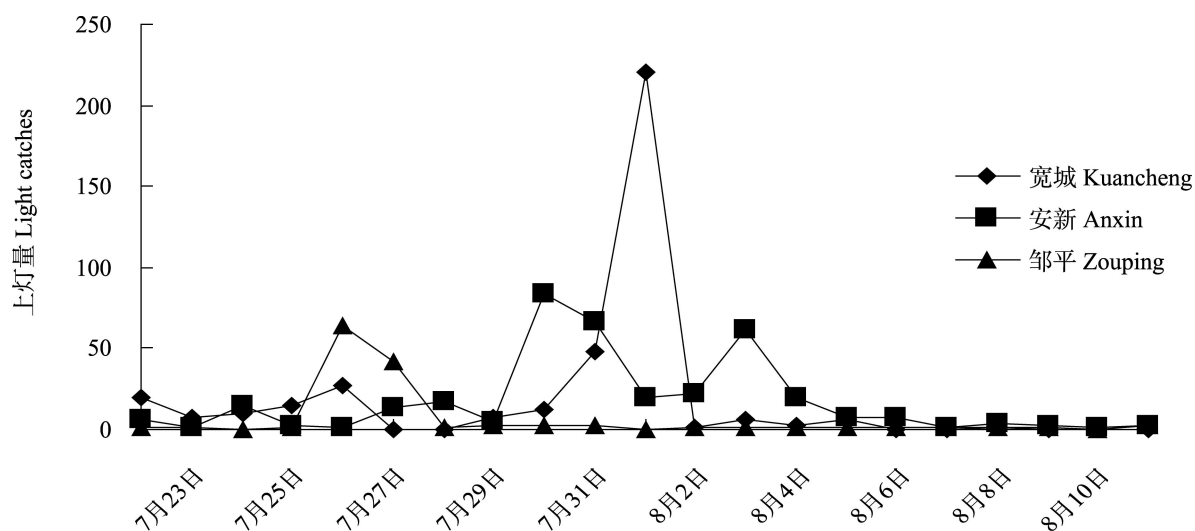


图 6 河北宽城、安新及山东邹平 1990 年 2 代粘虫黑光灯逐日诱蛾量

Fig. 6 Light trap catches of the 2nd generation moths of armyworm in Kuancheng, Anxin and Zouping in 1990

表 3 1990 年 2 代粘虫蛾轨迹分析起点和时间参数
Table 3 Parameters of trajectory analysis for armyworm in 1990

地点 Stations	经度 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	起始日期 Starting dates	轨迹方向 Direction	连续分析天数 Days
宽城 Kuancheng	118.47	40.62	7/31	逆推 Backward	5
安新 Anxin	115.92	38.92	7/29	逆推 Backward	4
邹平 Zouping	117.75	36.89	7/25	逆推 Backward	3

表中安新和邹平的连续分析天数是轨迹推至粘虫盛发区时终止的天数。The days for Anxin and Zouping was the duration when the trajectory arrived at an area where the moths of armyworm were emerged extensively.

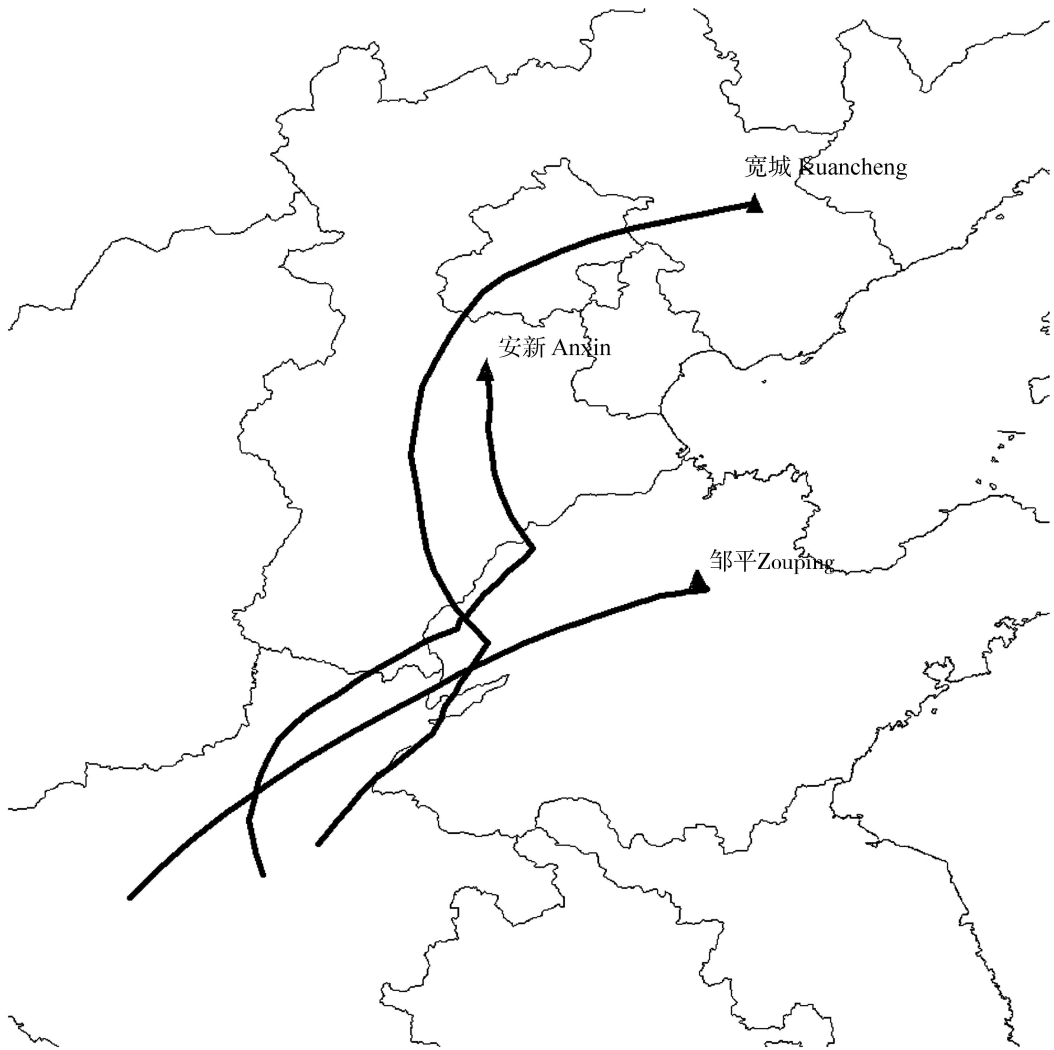


图 7 宽城、安新、邹平 1990 年 2 代粘虫蛾逆推轨迹
Fig. 7 The backward trajectories of the immigrant population of the 2nd generation armyworm moths from Kuancheng, Anxin and Zouping in late July, 1990

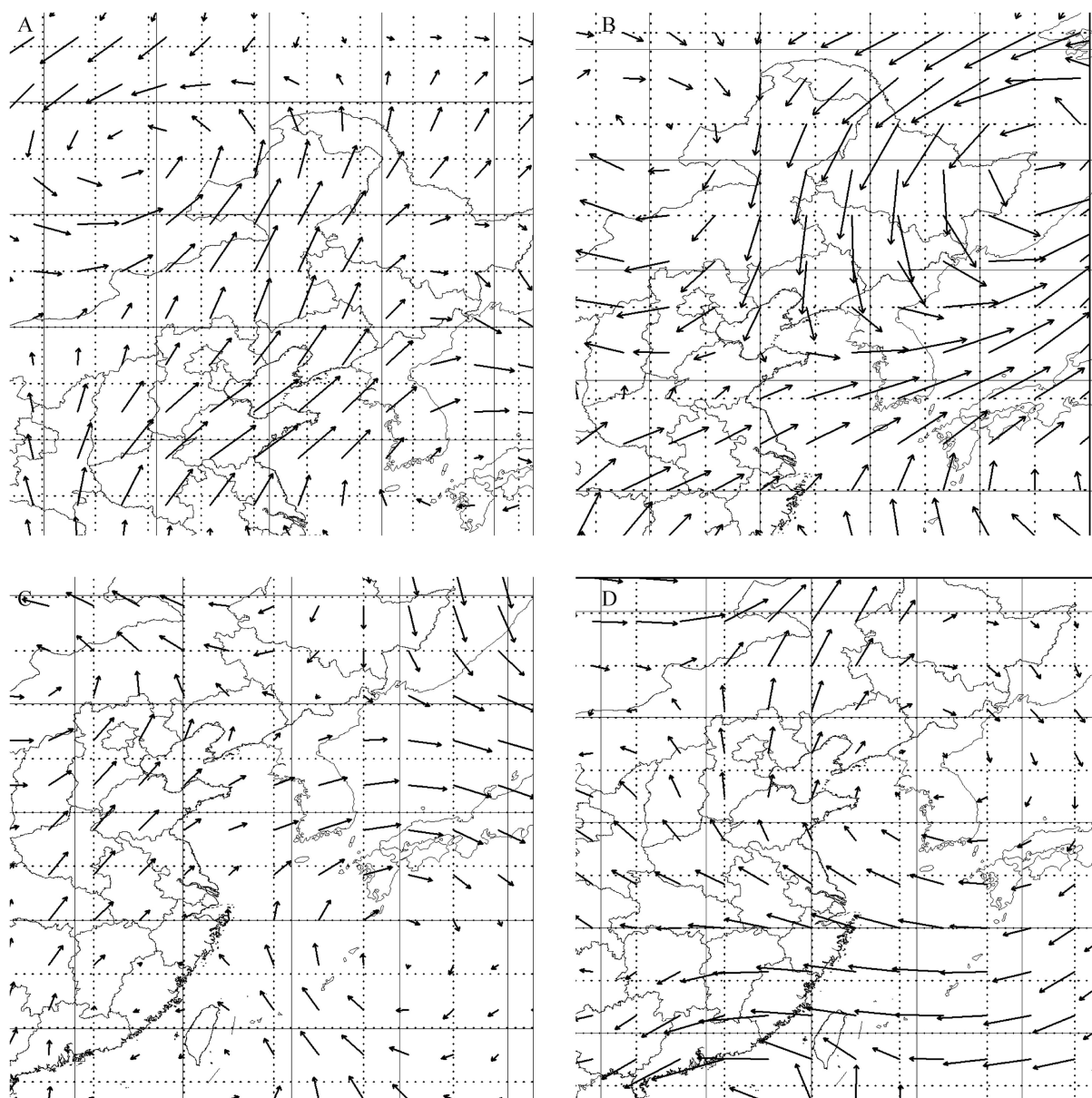


图 8 850 hPa 高空风场
Fig. 8 Wind fields on 850 hPa

A. 7月22日20:00 (UTC 12) ; B. 7月25日02:00 (UTC 18) ; C. 7月26日08:00 (UTC 00) ; D. 7月29日20:00 (UTC 12)。

A. 20:00, 22 July; B. 02:00, 25 July; C. 20:00, 26 July; D. 20:00, 29 July.

而此期间,东北地区主要处于西南风控制之下,虽然25日晨起有较强东北风出现,但持续时间短,仅一日,并不足以使东北粘虫种群送出东北地区,进入关内。其后一直无适宜东北地区种群迁出的风场,故此1990年东北地区的种群也未能成功回迁。

本次迁飞期间,前期受到季风及东北低涡的影响,后期则处在热带风暴和海上反气旋的共同控制之下,整个阶段盛行风向皆为西南风和东南风,风向较单一,风速一直较大。

2.3 华北3代粘虫大发生虫源的形成: 2002年

个例分析

2002 年 2 代粘虫在东北、华北、西北和西南大部地区偏轻程度发生, 仅内蒙古东部、晋中和冀中南等地虫量较高, 预计 3 代粘虫在常发区大部为中等偏轻发生。但在 2002 年 8 月中旬, 3 代粘虫却突然暴发, 晋冀鲁豫津陕六个省市近 100 万 hm^2 秋熟作物严重受害, 局部地区的作物被吃成了光杆, 有些甚至绝收。其中, 黄淮和华北局部大面积暴发, 受害最重的是河南孟州, 发生面积 0.87 万 hm^2 , 严重发生 0.4 万 hm^2 , 玉米田百株虫量平均 1 380 头, 最高 2 700 头, 约

133.3 hm^2 玉米绝收。河南焦作、郑州、开封、洛阳、许昌、漯河、平顶山、驻马店等 8 市 27 个县发生面积 15.3 万 hm^2 , 严重发生近 2 万 hm^2 ; 此外, 山东肥城、滕州和曹县, 河北廊坊、沧州和石家庄郊区, 天津静海和武清两县以及山西运城和晋城等地的 3 代粘虫也都达到了大发生水平 (全国农业技术推广服务中心, 2002)。

根据河南孟州等地的灯诱数据, 当年大发生种群的集中迁入期应该在 7 月 22 日前后 (图 9)。据此进行轨迹分析表明: 这些虫源来自西北部的山西、陕西而非东北的回迁种群 (图 10)。

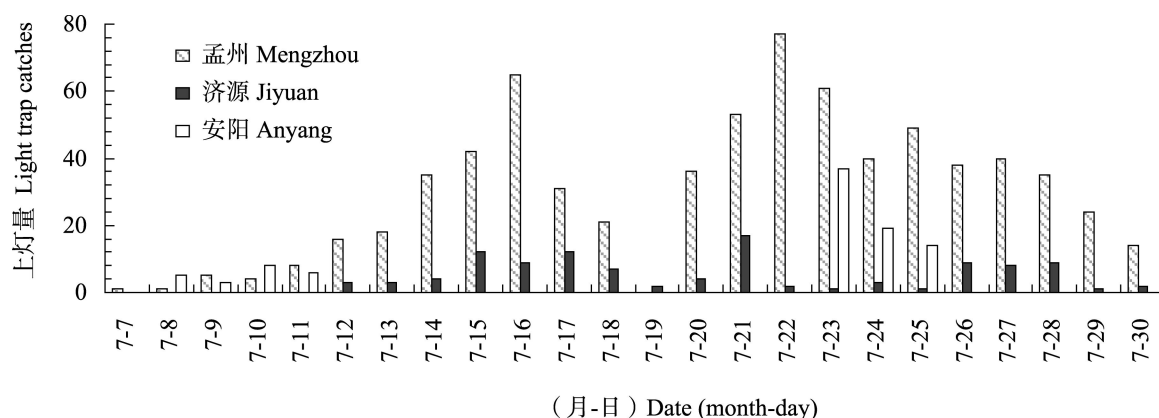


图 9 2002 年 7 月河南孟州、济源、安阳 2 代粘虫成虫的灯下虫量

Fig. 9 The light trap catches of the 2nd generation armyworm moths in Mengzhou, Jiyuan, Anyang of Henan Province in July of 2002

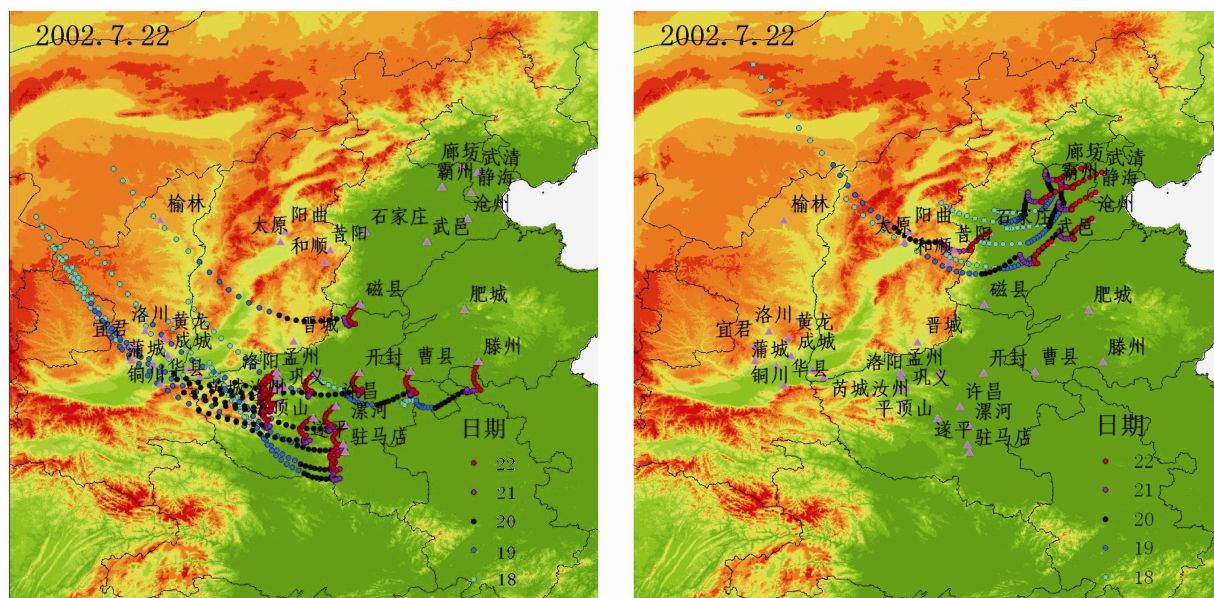


图 10 2002 年 7 月下旬华北 3 代粘虫大发生虫源的回推轨迹: 虫源来自西北而非东北

Fig. 10 The backward trajectories of the immigrant moths of armyworm in late July of 2002 show that the outbreak population were from northwest rather than northeast

此次大规模的降虫过程的天气学背景：

2002 年 7 月 20—25 日，由 200 hPa 的经向型长波槽脊、500 hPa 的阻塞形势和 850 hPa 的切变线共同影响，随着这些天气系统的不断发展和演变，长江中下游、江淮、黄淮地区先后出现了暴雨，局部地区大暴雨。从卫星云图上看，这次强降雨过程中强西南季风云系一次次涌入，高原东部云系东移，中纬度地区冷锋云系向东偏南方向移动，构成了其中的两者或三者相互作用。从 24 h 雨量图上看，暴雨过程分为两个阶段（图 13），即 20 日 08:00—22 日 08:00 和 22—25 日（北京时）。开始时，主要的暴雨区在江南中东部的偏南地区，暴雨区呈西南—东北走向，暴雨中心在江西东北部，雨量 100~144 mm；另外，在湖南东部、安徽沿江局部地区也出现了分散的暴雨中心。次日暴雨区北抬至江南中西部及沿江地区，另在河南的东南部和湖北的东北部局地也有零散的暴雨区出现。22—25 日，暴雨区继续北抬并形成系统性的暴雨过程，850 hPa 高空从贵州南部到江苏北部维持一条东北—西南向冷性切变线，西太平洋上有热带气旋活动。随后冷空气南下，切变线得到加强，冷性切变线的东南方盛行西南风，西北侧为偏北风（图

11，图 12）。从鄂西南经豫南、皖北中部至苏北中部，新发展出一条西南—东北走向的暴雨带，局部地区出现了零散大暴雨中心。23 日 08:00—24 日 08:00，这条暴雨带缓慢向偏东方向移动，雨势加强，暴雨区和内嵌的大暴雨区范围均明显加大。25 日在东移过程中较快减弱消失。

正是这种切变线北侧的偏北风将西北、晋陕和内蒙古农牧区的 2 代粘虫蛾送到了 3 代发生区，并沿着暴雨带集中降落，形成了一个横跨六省市、西南东北走向的降虫带，造成了 3 代粘虫在华北的大暴发，其发生范围之广、为害程度之重均为历史罕见。7 月 18 日夜间，强西风横穿陕西中部，粘虫蛾起飞随气流向东南方向行进至豫陕交界处；而晋东、太原、五台等地的羽化粘虫起飞后，随风向东进入河北境内，其中一部分到达石家庄地区。19 日夜间，陕西中部和南部地区全是强西风，但河南省西部却呈偏西南风，而河南中部已是很强的偏南风，前一夜到达豫陕交界的粘虫继续向东行进入河南中西部地区。前一夜到达石家庄的虫群则继续向冀东北前进。7 月 20—21 日受到 110°E 附近的低压槽影响，河南中部及西部 20 日夜间和 21 日夜间一直处于东南风及南风的控制之下；一直到 22 日凌晨，西南

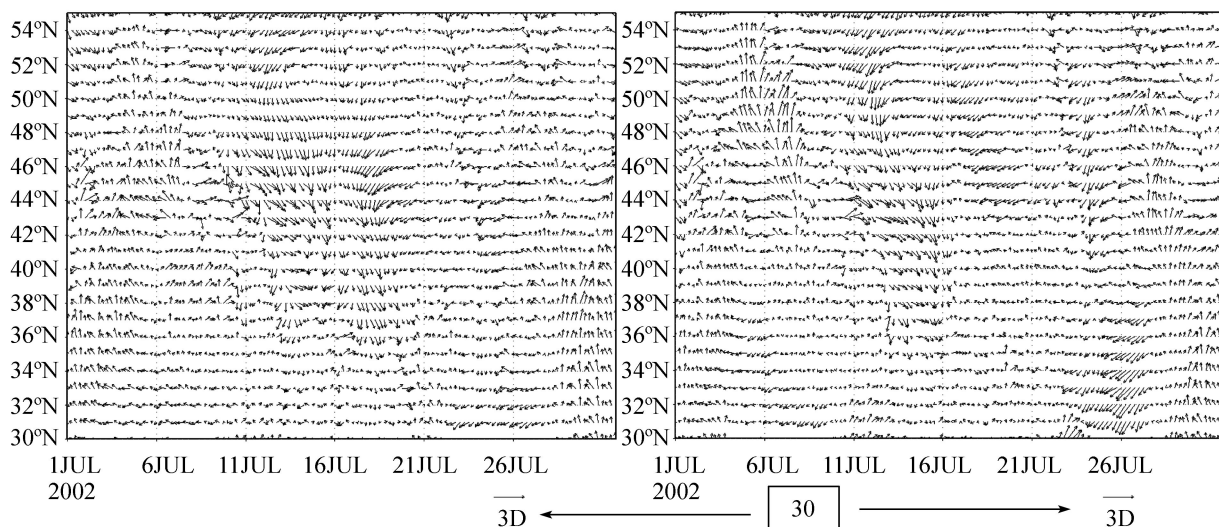


图 11 2002 年 7 月华北 2 代粘虫蛾迁飞期间 850 hPa 上 110°E (左) 和 113°E (右) 的纬向风剖面

Fig. 11 The wind profiles along 110°E (left) and 113°E (right) on 850 hPa during the immigration of the 2nd generation armyworm moths in July, 2002

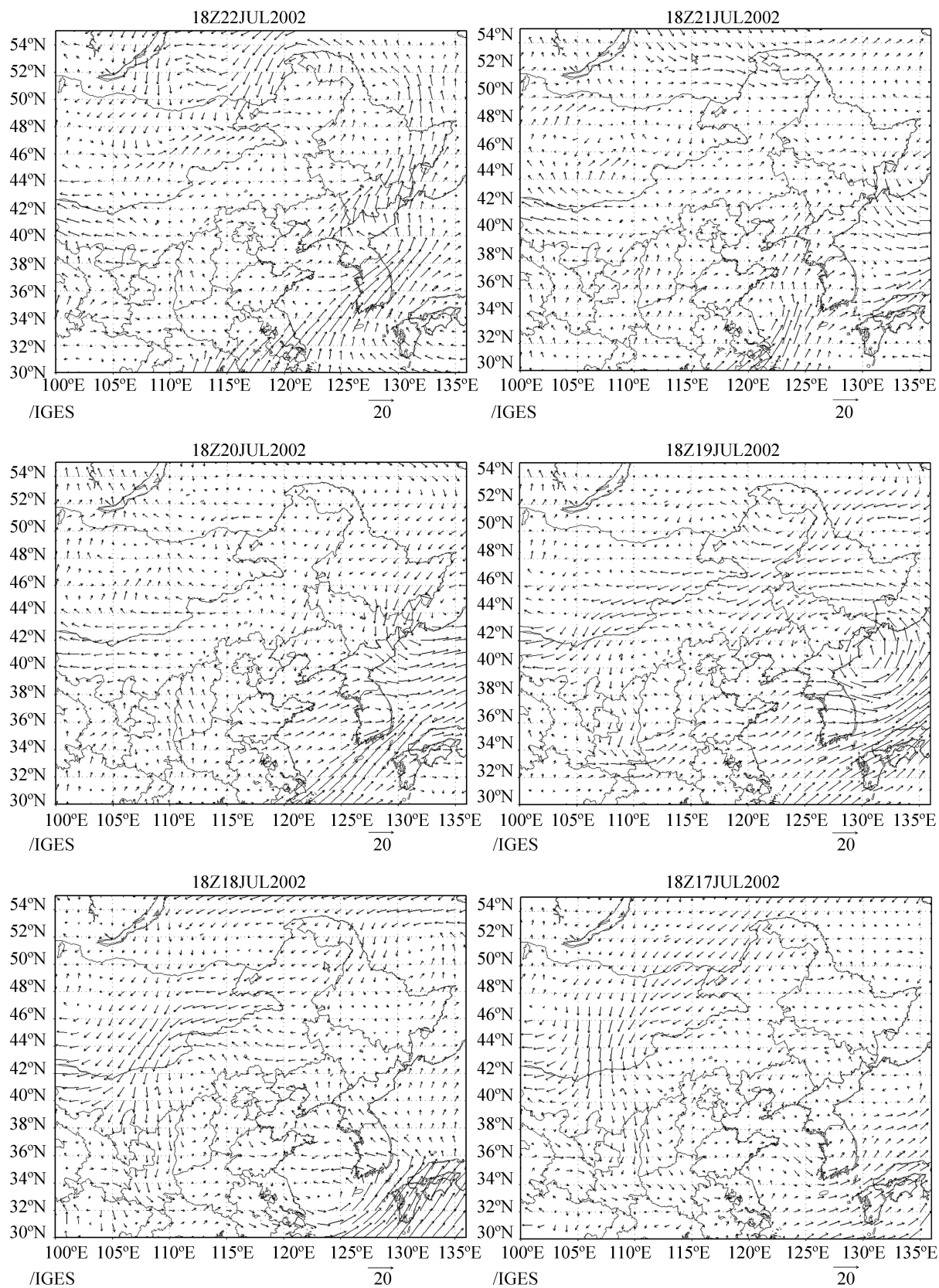


图 12 2002 年 7 月华北 2 代粘虫蛾迁飞期间 850 hPa 上的风场

Fig. 12 The wind fields on 850 hPa during the immigration of the 2nd generation armyworm moths in July, 2002

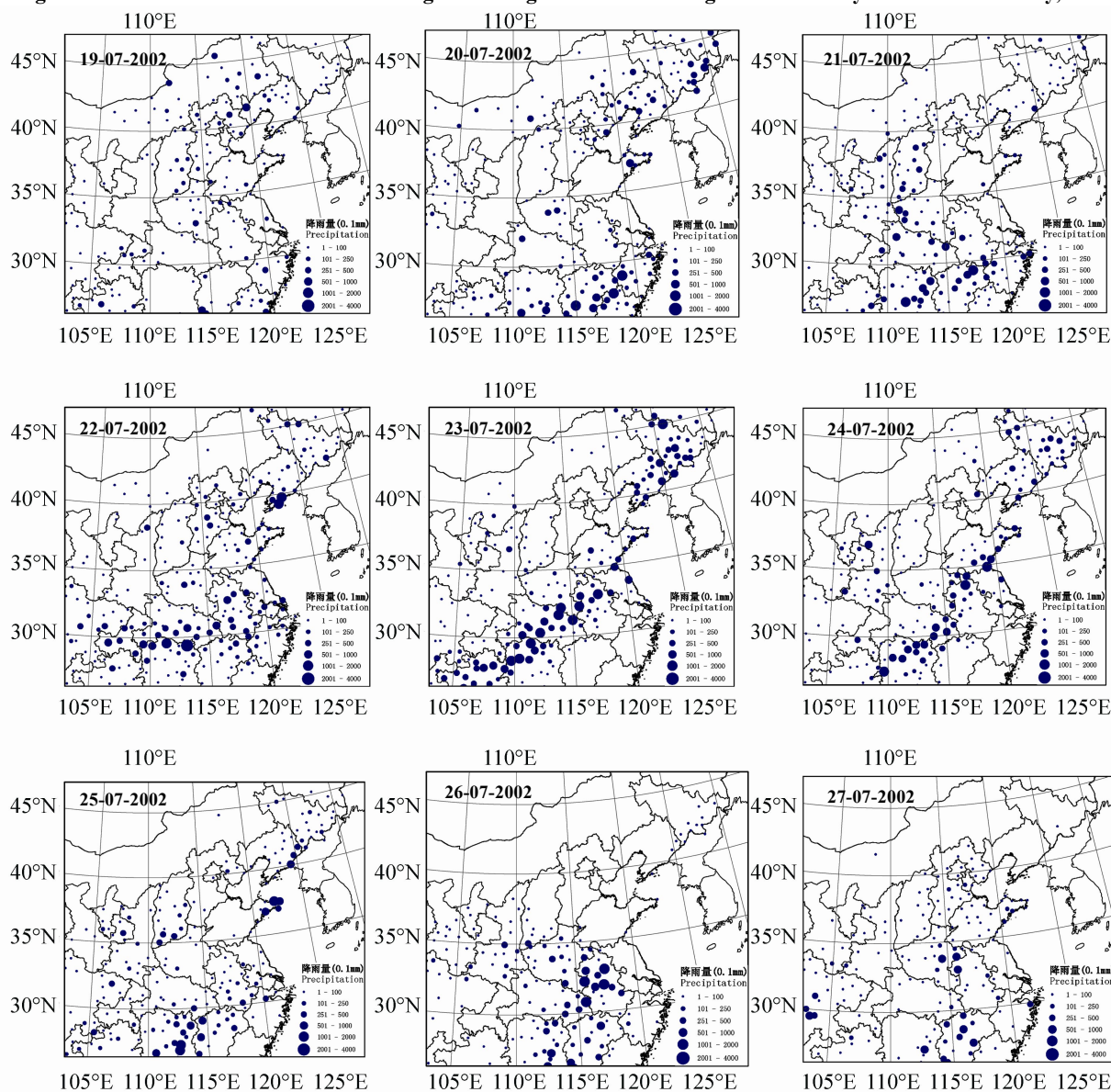


图 13 2002 年 7 月 19—27 日华北 2 代粘虫蛾迁飞期间的 24 h 降水分布

Fig. 13 The 24 h precipitation during the immigration of the 2nd generation armyworm moths (17-19 July, 2002)

风急流速度降低为止。20、21 日两晚，如果进入河南省中部的粘虫再次起飞，则会随风场徘徊北进，但并未能离开河南省。而已经到达河北省中南部的虫群则继续向东北徘徊前进（图 10~图 12）。22 日、23 日夜，延黄河一线洛阳、孟州等地均有较强烈的下沉气流，不适宜粘虫起飞。这使得这批粘虫滞留在洛阳、伊川、孟州等

地不再迁出终成暴发种群。

3 结论与讨论

在夏季风盛行的背景下，3 代粘虫主要来自于与其发生区相邻的偏南地区（约占 45%），如鲁东、苏皖鄂、浙北、赣北、湘北等；另一个主

要来源是西北区(包括晋陕甘宁,约占10%)和华北北部(内蒙古及以北区域,约占7%);在某些年份,西南地区也会提供约6%的虫源。另外,还有约30%的虫源来自于发生区域内的相邻地方,属于当地前代滞留虫源的近距离迁飞;而东北区对华北3代粘虫的虫源构成则只有极微的贡献(约0.2%)。从山西和陕西起飞的1代成虫则主要是北迁,有将近30%的个体迁入了华北3代粘虫发生区,约23%迁入内蒙古及以北地区,还有约4%迁入西北的甘肃宁夏、约5%迁入东北区,另有27.5%的个体近距离迁飞落在本省境内。晋陕种群南向迁飞的比率不大,只有大约10%的个体迁入3代粘虫发生区的南邻区域。

此前人们普遍认为,华北3代粘虫的迁入种群主要来自东北地区的回迁虫源(陈瑞鹿,1990;李光博,1990,1993),而根据本研究中轨迹分析与天气过程分析可知:2002年迁入豫西北地区的3代粘虫种群主要来自陕西中部,豫中及豫东的迁入种群主要来自晋西南;冀南一些地区迁入种群来自陕北,冀中南的迁入者则源于晋中,而冀中及京津的迁入种群来自本省西部地区;山东的3代粘虫主要来自豫东。

从以往的研究可知,5月下旬至6月上旬,粘虫由江淮流域1代发生区向东北地区迁飞的同时,也向华北和西北迁飞,少量个体迁入西南地区,形成了南北跨度达2000 km、东西跨度达3000 km的极为广阔的2代发生区。通过本文对华北地区3代粘虫迁入轨迹模拟的结果可看出:华北地区3代粘虫的虫源分布及广,除了可能来自河南、河北、山东三省内2代粘虫增殖外,我国西南、西北均可能为其提供虫源;在某些年份,东南地区也有成为其虫源地的可能性。华北3代粘虫虫源地几乎覆盖了除东北以外的整个2代发生区。

由于华北地区3代粘虫的暴发属于小概率小范围事件,发生范围小,往往只有几个点出现大发生,即使是自20世纪80年代以来发生范围最广的2002年和2012年,其大发生范围也仅集中在黄河沿岸及太行山东侧沿线地区。而不同发

生年份不仅发生地区、迁入虫源不尽相同,运载气流及迁飞过程天气系统甚至可能完全不一样。如此大范围的潜在虫源和如此局部的发生区,以及复杂的天气系统给我国华北地区3代粘虫的预测预警工作造成了极大的困难,往往很难准确预测华北地区3代粘虫迁入种群的分布和数量。这还需要研究部门与推广部门通力合作,做更多的实证研究和个例分析,逐渐深化对粘虫回迁和3代粘虫暴发机制的认识。

参考文献 (References)

- 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]
- 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 Agricultural Technology Press. 288-316]
- 李光博, 1993. 我国粘虫研究概况及主要进展. 植物保护, 19(4): 2-4. [Li GB, 1993. The research progress of armyworm in China. Plant Protection, 19(4): -4].
- 胡高, 武向文, 吴秋琳, 姜玉英, 2014. 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 G, Wu XW, Wu QL, Jiang YY, 2014. 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, 武向文, 吴秋琳, 姜玉英, 2014. 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 G, Wu XW, Wu QL, Jiang YY, 2014. Outbreak mechanism of second generation armyworms in northeastern China: A case study in 1980. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(4): 943-957.]
- 姜玉英, 李春广, 曾娟, 刘杰, 2014. 我国粘虫发生概况: 60年回顾. 应用昆虫学报, 51(4): 890-898. [Jiang YY, Li CG, Zeng J, Liu J, 2014. Population dynamics of the armyworm in China: A review of the past 60 years' research. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(4): 890-898.]
- 潘蕾, 武向文, 陈晓, 姜玉英, 曾娟, 翟保平, 2014. 东北迁飞场对粘虫的Pied piper效应. 应用昆虫学报, 51(4): 974-986. [Pan L, Wu XW, Chen X, Jiang YY, Zeng J, Zhai BP, 2014. Pied piper effect of the migration arena in northeastern China on *mythimna separata* (Walker). Chinese Journal of Applied

Entomology, 51(4): 974-986.]

全国农业技术推广服务中心, 2002. 黄淮和华北局部三代粘虫发生严重. 植物病虫情报, 2002 年 8 月 16 日. [National

Agricultural Technology Extend and Service Center, 2002.

Outbreak of 3 generation armyworm in Huanghuai and Huabei region. Journal of plant disease and pest, August 16th, 2002].