

东亚地区低层大气环流季节性变化与 粘虫远距离迁飞*

赵圣菊

(中央气象局气象科学研究院)

我国位于盛行的东亚季风区域内, 季节变化明显。粘虫(*Mythimna separata* Walker) 远距离北迁南回, 与东亚地区低层大气环流季节性变化有着密切的关系。因此根据诱蛾资料和气象观测记录, 着重对我国粘虫的迁飞方向、迁飞高度、迁飞界限、起飞降落条件以及虫源基地等问题进行分析, 绘制我国粘虫迁飞路径图, 是十分必要的。

一、地面气候锋带、500 毫巴特征等高线进退和粘虫北迁南回的关系

地面气候锋带与 500 毫巴特征等高线进退, 可以表明大气低层环流的季节变化状况。

按粘虫在我国各地大发生的时间顺序, 可划分为五个大发生区(李光博等, 1964; 邬祥光, 1962; 1978; 林昌善等, 1964。)即: 第一次发生区(大约位于 27°N 以南, 主要包括闽南、广东、广西及台湾省); 第二次发生区(大约位于 $33-36^{\circ}\text{N}$, 主要包括江苏及安徽二省的北部, 河南省中、南部, 山东南部及湖北省西北部等地区); 第三次发生区(大约位于 39°N 以北各地, 主要包括东北、内蒙、北京、河北、山西、陕西、甘肃、贵州西部、四川、云南等地区); 第四次发生区(大约位于 $36-39^{\circ}\text{N}$, 主要包括山东、河北、河南和山西东部等地区); 第五次发生区(大约位于 33°N 以南, 主要包括福建、江西南部、湖南南部、广东、广西、江西、浙江, 和江苏、安徽等省南部等地区)。上半年由南往北(西), 有二次迁飞过程, 下半年由北往南, 也有二次迁飞过程。粘虫每迁飞到一个新区, 繁殖发生一个世代(约需60天左右), 然后再次起飞。我们认为粘虫远距离北迁南回现象, 是和东亚地区低层大气环流季节性变化有密切关系的。

图1、2分别是2、4、6月和8、10月地面气候锋带(中央气象局, 1966)与500毫巴特征等高线位置(中央气象局, 1974)和粘虫北迁南回区域示意图。

从图1可以看出: 粘虫北迁区域是随着500毫巴特征等高线(572位势什米等高线, 下称572线)和地面气候锋带的平均位置季节性北移而由南向北迁飞的。2月500毫巴高空图上, 西太平洋副热带高压较弱, 且位置偏东, 572线的平均位置接近 27°N 线。地面图上, 在南岭一线有一条东北西南向的气候锋带, 锋带北侧盛行西北气流, 南侧盛行西南气流, 所以

* 本文得到马世骏教授、李光博研究员指导, 另外, 卞林根同志也参与了一些工作特此致谢。

本文所用虫情资料系由中国农业科学院植保所、辽宁省农业科学院植保所、四川省农业科学院植保所、山东省病虫测报站、徐州地区农科所、德州地区植保站等单位提供, 亦一并致谢。

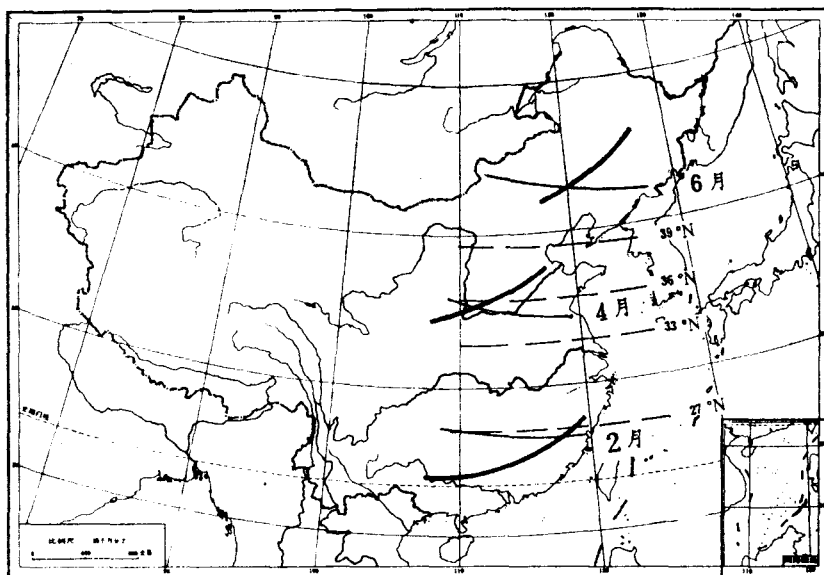


图 1 2、4、6月地面气候锋带与572特征等高线位置和粘虫北迁区域示意图

——572线 ——地面气候锋带

两广、福建等地气候温暖湿润，适宜粘虫发生为害。4月开始，冷空气势力逐渐减弱，西南气流逐渐增强，并向北推进，500毫巴高空图上，572线移到 35°N 附近，这时地面气候锋带已移到华北南部，粘虫随西南气流越过南岭，进入第二次发生区，完成第一次迁飞。6月西南气流继续向北推进，500毫巴高空图上，572线跳到 43°N 附近，地面图上，气候锋带移到哈尔滨—四平—赤峰—张家口一线，粘虫随西南气流迁入第三次发生区，完成第二次迁飞。

同样粘虫回迁区域也是随地面气候锋带和500毫巴特征等高线的平均位置由北往南推移的。由图2可以看出，8月500毫巴584位势什米特征等高线位于 38°N 附近，地面气候锋带退到保定—邢台—临汾一线，粘虫随之回迁到第四次发生区为害，完成第三次迁飞。10月西太平洋副热带高压已经衰退，冬季风影响到长江以南地区，500毫巴高空图上，584线向南移到 26°N 附近，地面气候锋带移到南岭一线，粘虫随西北气流飞回南方，完成第四次迁飞。

各年冷暖空气活跃情况不同，粘虫迁入迟早也有差异。例如1978年的暖春年份，副热带高压位置稳定北上，500毫巴上的572线随之北移，从表1可以看出： 120°E 500毫巴572线位置，3月抵达 30.8°N ，4月达 32.2°N ，5月达 39°N ，第二次发生区的一代成虫迁入第三次发生区的盛期为5月下旬至6月上旬。而1979年北方出现严重的倒春寒，副热带高压迟迟不能北上， 120°E 500毫巴572线位置3月刚抵达 28.3°N ，4月与1978年相仿，5月副高位置继

表 1 120°E 500毫巴 572位势什米等高线位置和粘虫迁入期

年 \ 月	3	4	5	迁入盛期
1978	30.8	32.2	39.0	5月下旬—6月上旬
1979	28.3	32.8	35.6	6月上旬

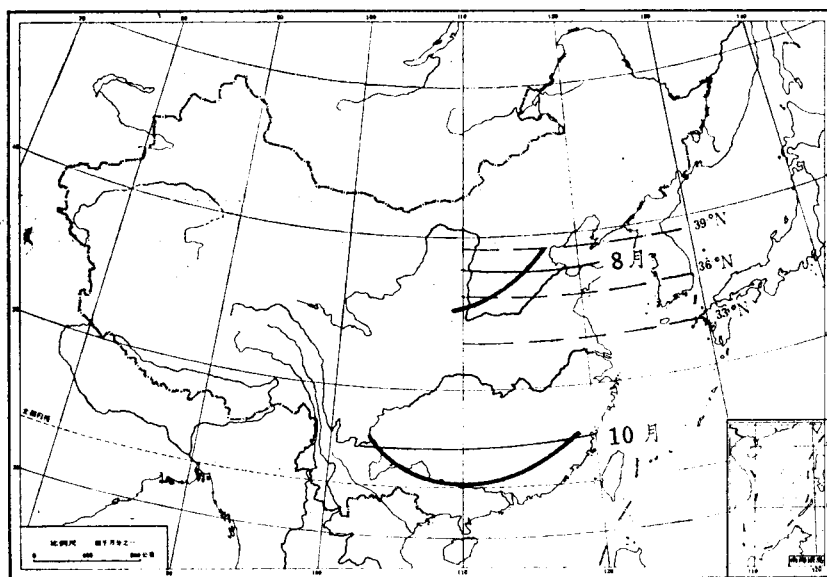


图 2 8、10月地面气候锋带与 584 特征等高线位置和粘虫南回区域示意图

——584线 ——地面气候锋带

续偏南, 572线位于 35.6°N , 较1978年偏南 3.4个纬度, 气温显著偏低, 第二次发生区的一代成虫迁出盛期推迟到 6 月上旬。

二、天气系统和粘虫起飞降落

1. 天气系统和粘虫起飞

据研究, 上升气流对粘虫起飞有利, 下沉气流对起飞不利(赵圣菊等, 1979)。根据这一结果, 分析徐州地区1978年一代成虫迁出期(这里仅以 5 月30日—6 月10日这一时段为例)天气系统活动情况(见图 3)。可以看出: 5 月31日—6 月 2 日徐州处于脊后槽前, 6

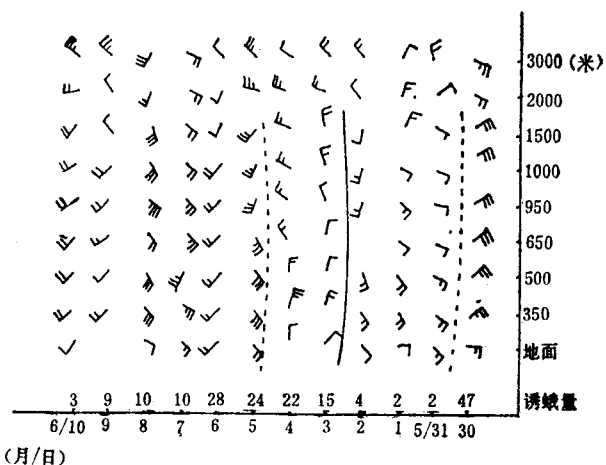


图 3 1978年 5 月30日—6 月10日徐州地区一代成虫迁出期时空剖面图

——槽线 脊线

月 5 日—10 日处于脊后, 多吹东南风和西南风, 这些天气系统 (占此时段的 75%) 上升运动较多, 有利于粘虫起飞。相反 5 月 30 日处于脊前, 6 月 3—4 日处于槽后脊前, 多吹东北风和西北风, 下沉运动较多, 对起飞不利。

2. 天气系统和粘虫降落

我们选用不同季节、不同发生区的 3 个实例, 根据诱蛾资料制作迁入期 (1978 年 3 月 15 日—4 月 22 日自第一次发生区迁入徐州的成虫, 1978 年 5 月 21 日—6 月 12 日自第二次发生区迁入沈阳的成虫, 1979 年 7 月 16 日—8 月 20 日自第三次发生区迁入德州的成虫) 高空风时空剖面图 (图略), 并进一步统计分析各种天气系统对粘虫降落的影响, 结果列入表 2, 可以看

表 2 粘虫降落和天气系统的关系

项 目 地 点 年		槽 前			槽 后			槽后脊前			脊后槽前			脊 前			脊 后			合 计	
		蛾 量		日	蛾 量		日	蛾 量		日	蛾 量		日	蛾 量		日	蛾 量		日	蛾 量	日 数
		(头)	%	数	(头)	%	数	(头)	%	数	(头)	%	数	(头)	%	数	(头)	%	数		
徐 州	1978	3	0.1	1	—	—	—	1,081	51.2	19	1,018	48.1	18	—	—	—	13	0.6	1	2,115	39
沈 阳	1978	13	1.4	2	38	4.3	2	310	34.8	6	531	59.5	9	—	—	—	—	—	—	892	19
德 州	1979	—	—	—	—	—	—	787	64.7	16	396	32.6	16	15	1.2	2	18	1.5	2	1,216	36
合 计		16	0.4	3	38	0.9	2	2,178	51.6	41	1,945	46.0	43	15	0.4	2	31	0.7	3	4,223	94

出: ①由于迁入的季节、地点、天气系统活动……等情况的不同, 在相同的天气系统中降落的蛾量也有很大差别。如在槽后脊前降落的蛾量占总蛾量的百分率, 徐州为 51.2%, 沈阳仅占 34.8%, 德州占 64.7%。②在粘虫北迁南回的 94 个降落日中, 有 3 次降落在槽前, 2 次降落在槽后, 41 次降落在槽后脊前, 43 次降落在脊后槽前, 2 次降落在脊前, 3 次降落在脊后, 降落蛾量占总蛾量的百分率分别为 0.4%、0.9%、51.6%、46.0%、0.4%、0.7%。这一结果说明: 粘虫在以上天气系统中都能降落, 主动性较为明显; 槽后脊前、槽后、脊前天气降落蛾量稍偏多 (占 52.9%), 这些天气系统有利于粘虫降落。和过去的研究结果一致赵圣菊等, 1979; (丁德俊, 1981; 全国褐稻虱科研协作组, 1981)

三、大气低层温度场与粘虫迁飞

1. 粘虫迁飞的高度

据研究 (马世骏, 1963; 黄冠辉等, 1966) 初步认为: 粘虫远距离迁飞的下限温度为 10℃, 适宜温度为 17—20℃。由于到目前为止, 尚未能在空中捕获粘虫, 因此只得从这一温度出现的高度来讨论粘虫迁飞的高度。

本文根据粘虫远距离迁飞的起始温度和适宜温度指标, 统计各月 10℃ 和 17—20℃ 等温线在我国各地的高度, 现仅将 10 个地点的结果列入表 3。可以看出: 粘虫迁飞的高度通常受迁飞时温度条件的影响, 往往表现在不同季节、不同纬度的飞行高度变化的差异上。从春到夏, 粘虫迁飞高度逐月增高, 迁飞范围由南往北逐渐扩大; 从夏到秋, 适宜迁飞高度逐月降低, 迁飞范围由北往南逐渐缩小。由于春季由南往北迁飞时的温度较秋季由北往南回迁时

表 3 10℃、17~20℃ 等温线平均高度

纬度	地点	3 月		4 月		5 月		6 月		7 月		8 月		9 月		10 月		11 月	
		10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃	10℃	17~20℃
43°54'	长春	—	—	—	—	1,310	—	1,870	840—340	2,560	1,310—830	2,400	1,200—700	1,330	—	—	—	—	—
41°49'	沈阳	—	—	—	—	1,450	—	2,020	860—360	2,720	1,440—940	2,640	1,360—860	1,530	—	—	—	—	—
36°04'	青岛	—	—	—	—	1,980	—	2,480	1,300—800	3,000	1,950—1,450	3,120	1,840—1,340	2,170	850—350	1,050	—	—	—
39°48'	北京	—	—	—	—	1,920	880—380	2,570	1,670—1,170	2,930	1,800—1,300	2,800	1,620—1,120	1,920	800—300	910	—	—	—
36°41'	济南	—	—	—	—	1,880	970—470	2,590	1,610—1,110	3,210	1,970—1,470	3,120	1,770—1,270	2,120	1,130—630	970	—	—	—
34°43'	郑州	—	—	—	—	1,680	850—350	2,800	1,830—1,330	3,350	1,820—1,320	3,250	1,950—1,450	2,320	1,030—530	1,390	—	—	—
34°17'	徐州	—	—	—	—	2,190	890—390	2,600	1,600—1,100	3,400	2,080—1,580	3,280	1,950—1,450	2,300	1,050—550	1,270	—	—	—
23°24'	汕头	2,170	—	2,890	960—460	3,190	1,600—1,100	3,350	1,900—1,400	3,460	2,050—1,550	3,380	2,000—1,500	3,290	1,810—1,310	2,950	1,130—630	2,250	410
30°16'	恩施	750	—	1,590	450	2,390	1,140—640	3,000	1,780—1,280	3,300	2,100—1,600	3,320	2,090—1,590	2,940	1,510—1,010	1,740	560—60	870	—
20°02'	海口	2,900	1,120—620	3,140	1,850—1,350	3,300	2,000—1,500	3,340	1,990—1,490	3,400	2,080—1,580	3,370	2,000—1,500	3,300	1,850—1,350	3,300	1,420—920	2,800	950—450

低, 所以迁飞高度春季低于秋季。

3 月除最南的海口温度较高, 适宜飞行高度在 620—1,120 米外, 其它地区上空温度较低, 适宜飞行层次尚未出现, 不适宜粘虫大量迁入。4 月内陆地区增温迅速, 近地层 10℃ 和 17—20℃ 等温面高度上升较快, 粘虫适宜飞行区域, 由沿海向内陆扩大, 适宜飞行高度沿海高于内陆, 如海口上空适宜迁飞高度可达 1,300 多米, 向北可伸展到恩施上空, 适宜飞行高度降至 450 米以下。但 10℃ 等温线所在高度还要偏北。5 月、6 月适宜飞行区域逐渐向北伸展, 6 月已达最北, 适宜飞行高度南北地区差异减小, 如徐州上空 6 月适宜飞行高度约为 1,110—1,600 米, 沈阳为 360—860 米, 长春约 340—840 米, 7 月适宜迁飞高度达最高, 8 月以后开始降低, 迁飞范围逐月缩小。9、10 月适宜飞行高度降低较为明显, 如北京上空 9 月为 330—830 米, 徐州上空为 550—1,050 米, 汕头上空约为 630—1,130 米, 10 月除沿海温度较高外, 其余大部地区上空 17—20℃ 等温面已经消失。

2. 粘虫迁入边界

从表 3 可以看出: 4 月 800—1,000 米高度上 10℃ 等温线位置接近 36°N, 该界限能较好的说明, 为什么大量的越冬代成虫主要是迁入 36°N 以南地区。此线以南, 1,000 米以下的低空温度在 10℃ 以上, 粘虫有自主飞行的能力, 此时地面温度已达 12—14℃, 小麦正处于生长旺盛阶段, 食料充足, 生态条件较为适宜。此线以北, 1,000 米以下的低空温度较低, 使粘虫的自主飞行能力明显减弱, 即使是气流把粘虫携带到东北地区, 而这时东北地区温度还较低, 3 月东北南部地面温度刚 0—2℃, 4 月为 8℃, 其它地区温度就更低了, 大部分作物尚未播种出苗, 生态条件亦不适宜粘虫繁殖为害。

粘虫第二、三次迁飞时, 由于温度较高, 故不受温度条件的限制。9、10 月温度明显降低, 粘虫适宜飞行高度只能在 33°N 以南地区的上空出现, 此时第四次发生区的谷子、玉米、高粱、水稻等作物都即将收获, 而南方的水稻生长茂盛, 给粘虫提供了充足的营养。

四、大气低层湿度场与粘虫迁飞界限

研究认为: 成虫寿命及产卵能力所要求相对湿度的最适宜范围为 50—70% (吉林省农科院植保所害虫组, 1974)。

温度场的分析结果表明: 4 月 800—1,000 米高度 10℃ 等温线位置有较好的指示意义。因此本文取 900 毫巴等压面 (4 月份高度约在 1,000 米左右) 的湿度场, 用 50—70% 的相对湿度指标来进行分析。由表 4 可以看出: 4 月份 36°N 以南相对湿度均大于 50%, 以北均小于

表 4 常年 4 月 900 毫巴等压面的相对湿度

纬 度	地 点	相对湿度 (%)	纬 度	地 点	相对湿度 (%)
43°36'	通 辽	40	39°41'	北 京	36
41°39'	沈 阳	43	37°41'	济 南	40
42°16'	沈 阳	35	35°41'	郑 州	51
38°54'	赤 旅	45	34°43'	徐 州	53
36°04'	青 岛	50	34°17'	合 肥	65
33°46'	青 岛	57	31°51'	南 昌	74
32°00'	射 阳	65	28°12'	长 沙	76
26°05'	福 州	81	23°24'	汕 头	80

50%。因此 1,000 米左右这一高度相对湿度 50% 的等湿线, 也能说明越冬代成虫主要是迁入 36°N 以南的原因。

第二、三、四次迁飞时, 由于相对湿度较高, 故不受湿度条件限制。

五、大气低层流场与粘虫迁飞方向

从 1,500 米高度多年平均流场图 (中央气象局, 1974) 可以看出:

3、4 月我国西风开始明显减弱, 西风带位置北移, 西太平洋的反气旋环流加强, 反气旋西北部的西南气流, 从 3 月开始进入我国大陆后, 不断向北扩展, 4 月份接近江淮流域, 最北可达 35°N 多 (见图 4), 西南气流和偏北气流在昆明—宜昌—临沂一线组成明显的切变线, 此线东南侧, 盛行暖湿的西南气流, 粘虫可随这股气流迁入第二次发生区。西南气流到达的北界, 大致上是大量粘虫迁入的界限。此时东北、华北仍受西北气流控制, 仅有少量粘虫当吹南风或西南风时, 能被携带到上述地区 (林昌善等, 1963)。

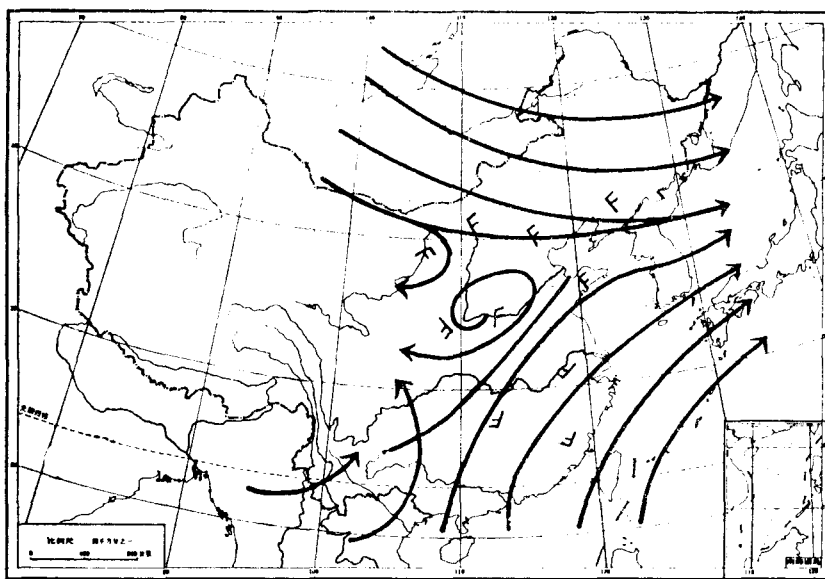


图 4 4 月 1,500 米高度多年平均流场图

注: 箭头方向表示气流方向 (以下同)

5、6 月西风带再次减弱北移, 西风槽位于 120°E 附近, 槽底在 38°N , 大陆热低压的发展和西太平洋副热带高压加强北上西伸, 西南气流继续向北扩展, 我国东部的大部分地区盛行西南气流。在 35°N 附近有偏东气流分支 (见图 5), 流向西部, 第二次发生区的一代粘虫又随西南气流迁入我国东北等地区, 并随偏东气流迁入西南、西北地区。6 月西南气流影响的北界是 49°N 左右, 可以认为是这次迁飞的北界。

7、8 月进入盛夏季节, 热带气压系统对我国大陆影响达最盛, 7 月西南气流达最北位置, 8 月西南气流减弱南撤到 36°N 附近, 西风气流加强南推。例如北京 7 月盛行风向是西

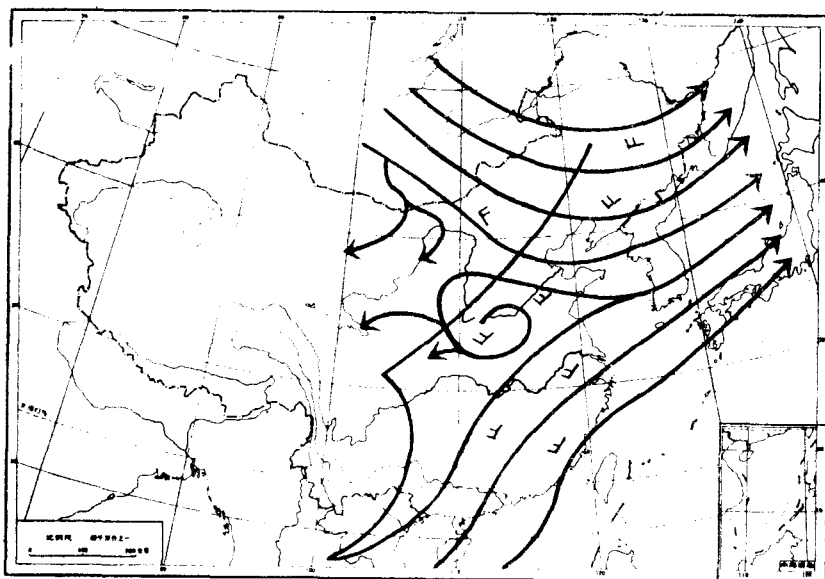


图 5 6月1,500米高度多年平均流场图

南风，8月盛行风向转西北风（见图6），东北的二代粘虫随西南气流撤退，回迁到第四次发生区。西南气流撤退的北界与粘虫回迁的南界完全一致。

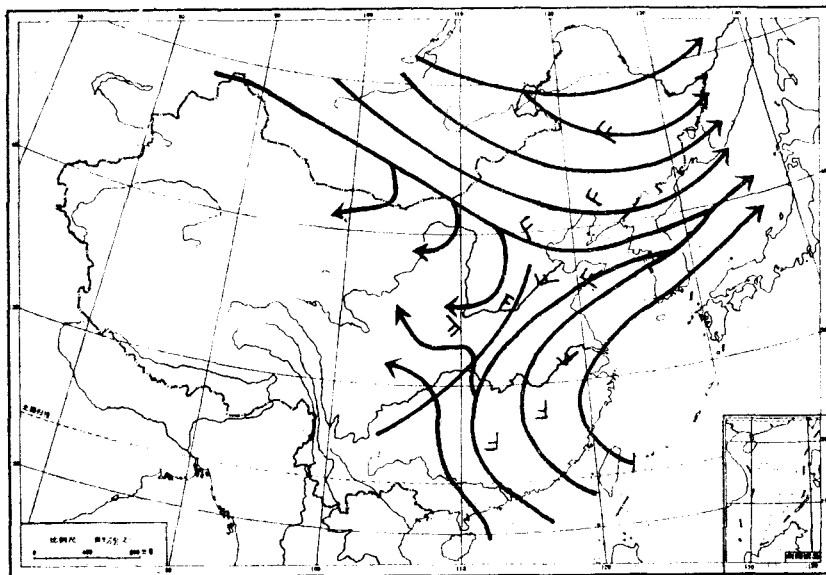


图 6 8月1,500米高度多年平均流场图

9、10月秋季来临，低层流场形势变化很大，副热带反气旋减弱，盛行的西南气流在我国逐渐消失，西北气流控制了东北、华北，其它地区都逐步转为东北气流控制（见图7），粘虫随偏北气流回迁到 33°N 以南。

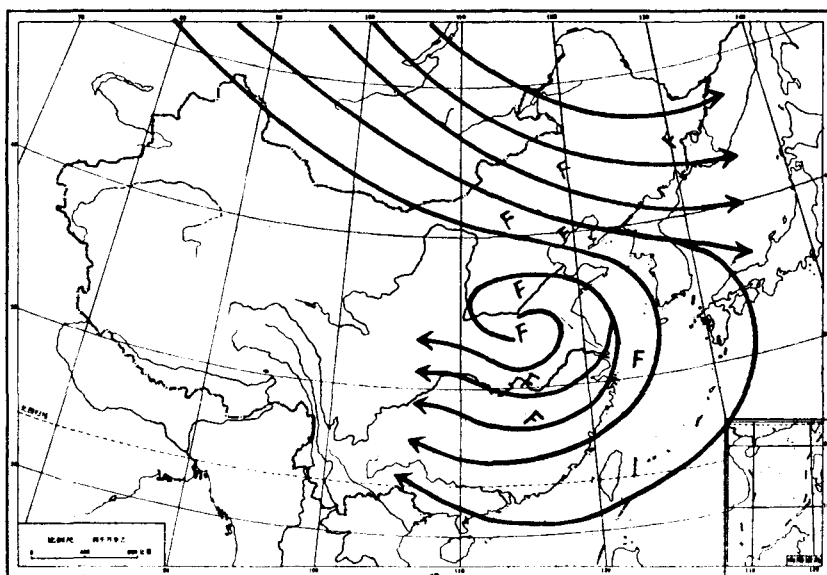


图 7 10月1,500米高度多年平均流场图

以上分析表明,粘虫迁飞的方向和低层流场的方向是十分吻合的;粘虫迁入的界限和西南气流到达或撤退的界限也很一致。因此认为粘虫季节性远距离北迁南回与低层流场的季节性变化有着密切的联系。

六、虫源基地与迁飞路径探讨

根据以上分析,我们用 1,500 米上空流场的盛行风向作为粘虫迁飞方向,用大气低层 10℃ 等温线和相对湿度 50% 等湿线的位置、西南气流到达或撤退的位置、地面气候锋带平均位置作为迁飞界限,用粘虫盛蛾期作为起飞虫源基地,并参照邬祥光(1978)及昆明动物研究所(1978)的研究结果,绘制我国粘虫迁飞路径图(见图 8、9)。可以看出:

12月粘虫随偏南气流有两条路径迁入:一条从广西、越南东北部主要迁入云南的红河、文山州;另一条从越南和老挝的北部、缅甸东北部主要迁入云南的德宏、保山、临沧、西双版纳、思茅等地区。1月粘虫随偏南气流也有两条路径迁入我国:一条从越南、老挝、泰国东部主要迁入我国云南的红河、文山州及广西省;另一条从泰国、缅甸主要迁入我国云南的德宏、保山、临沧、西双版纳、思茅等地区。2月粘虫随西南气流主要迁入两广、福建、云南等地,主要有 3 条路径:一条从越南和老挝的中南部、泰国东部迁入我国广西东部及广东省;一条从柬埔寨、泰国西部、越南和老挝的北部迁入我国广西西部;一条从缅甸南部及印度迁入我国云南的文山、红河州。次要的还有一条从菲律宾迁入我国广东、福建等地。

3、4月粘虫随西南气流主要迁入第二次发生区,有二条路径:东路从广东、广西东部以及福建、湖南和湖北的东部、江西西北部主要迁入江苏、安徽等省;西路从广西西部以及湖南和湖北的西部主要迁入河南中南部、山东南部及湖北西北部。

5、6月粘虫迁入第三次发生区有两条路径:一条随西南气流继续往北迁飞,主要由江

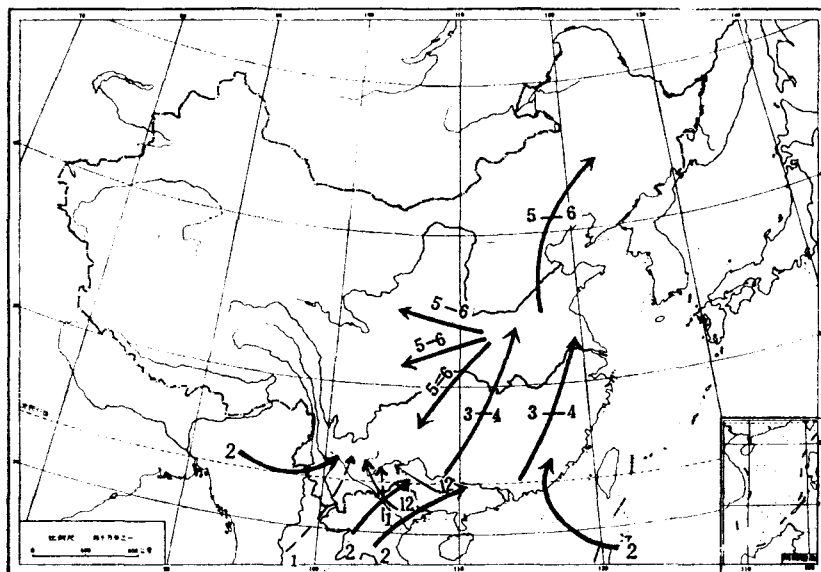


图 8 粘虫北迁路径图

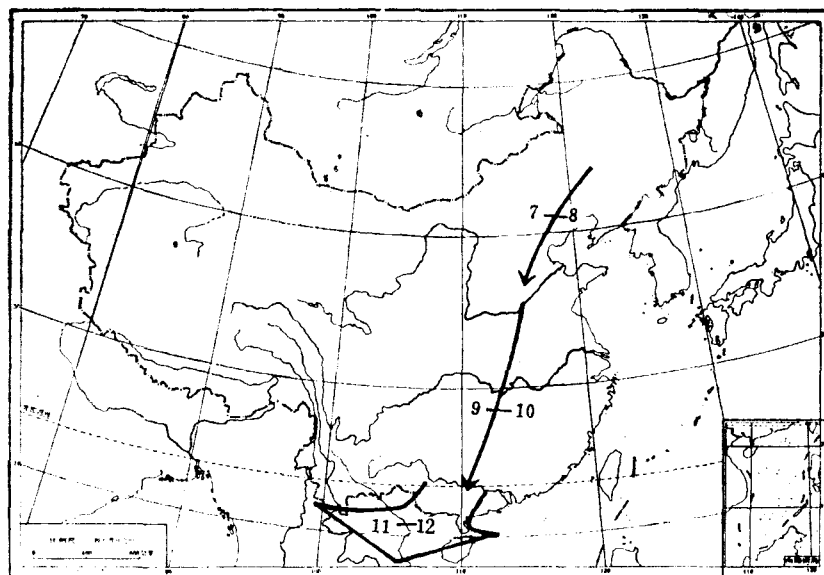


图 9 粘虫南回路径图

苏、安徽、鲁南迁入东北、内蒙、河北等地；另一条随偏东气流主要由河南迁入西南、西北地区。

8月西南气流撤退，粘虫由东北回迁到第四次发生区。9、10月粘虫自第四次发生区随东北气流回迁到 33°N 以南地区。11月粘虫随偏北气流继续向南迁飞至第六次发生区（东南亚国家）。

参 考 文 献

- 丁德俊 1981 褐稻虱生育气候条件研究. 农业气象1981(1): 94—99.
- 中央气象局编制 1966 中国气候图集. 地图出版社出版.
- 中央气象局气象台 1974 欧亚 500 毫巴高度累年平均图.
- 中央气象局编制 1974 中国高空气候图集. 地图出版社出版.
- 马世骏 1963 粘虫蛾迁飞的生理生态背景. 科学通报(9): 65—68.
- 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—109.
- 全国褐稻虱科研协作组 1981 我国褐稻虱迁飞规律研究的进展. 中国农业科学(2): 58.
- 吉林省农科院植保所害虫组 1974 粘虫数量变动与预测方法的研究. 植保科技粘虫专号(2): 30—32.
- 林昌善、孙金如、陈瑞鹿、张宗炳 1963 粘虫发生规律的研究1. 东北春季粘虫发生与风的关系. 昆虫学报 12(3): 243—261.
- 林昌善、张宗炳 1964 粘虫发生规律的研究Ⅱ粘虫季节性远距离迁飞的一个模式. 植物保护学报3(2): 93—99.
- 鄧祥光 1962 南方粘虫之研究. 中国昆虫学会1962年学术讨论会会刊 84—85.
- 鄧祥光 1978 粘虫的迁飞发生区及其分布的数学模式. 中国昆虫学会1978年学术讨论会论文.
- 赵圣菊、卞林根 1979 粘虫起飞、运转、降落和气象条件的关系. 中央气象局气象科学院院刊(1).
- 昆明动物研究所 1978 云南粘虫迁飞规律的研究. 我国西南、西北地区粘虫研究协作会论文.
- 黄冠辉、侯无危 1966 粘虫蛾飞翔研究1. 飞翔持续时间和振翅频率. 昆虫学报13(2): 96—99.

RELATION BETWEEN LONG-DISTANCE MIGRATION OF THE ORIENTAL ARMYWORM AND THE SEASONAL VARIATION OF THE GENERAL CIRCULATION OVER EAST ASIA

Zhao Shengju

(Academy of Meteorological Science, Central Meteorological Bureau)

Based on an analysis on the surface climatological front, the position of 500 mb characteristic contour, the temperature, humidity and flow fields in the lower atmosphere, it is considered that the migratory orientation of the oriental armyworm (*Mythimna separata* walker) agrees with the prevailing wind at 1,500 m; the northward or southward movement of armyworm flight varies with the seasonal change of the surface climatological front and the average seasonal position of the 500mb characteristic contour; the limits of armyworm migration agree with the advance or retreat of southwesterly and with the 10°C isotherm and 50% isohume at 800—1,000m. The different height of the armyworm flight in different seasons and latitudes explains the impact of the thermal condition. Besides, an analysis is also made on the impact of the weather system on the take off and landing of the armyworm. From the above analysis, it can be seen that the longdistance migration of armyworm is closely related with the seasonal variation of the general circulation in the lower atmosphere over East Asia. From results so obtained, a map is drawn to show the tracks of armyworm migration in China.