

我国东半部褐飞虱、稻纵卷叶螟迁飞发生区及其分布的数学模型

邹运鼎 (安徽农学院, 合肥 230036)

【摘要】 本文分析了我国东半部褐飞虱、稻纵卷叶螟迁飞动态与正午时太阳高度角的关系。根据正午时太阳高度角公式计算出两虫迁飞发生区正午时的太阳高度角, 与T值间进行数学分析建立迁飞发生区预测模型, 并可进行预报。

关键词 太阳高度角 迁飞 数学模型 褐飞虱 稻纵卷叶螟

Mathematical models for occurred areas of emigration of *Nilaparvata lugens* and *Cnaphalocrocis medinalis* and their distribution in Eastern China. Zou Yunding (Anhui Agricultural College, Hefei 230036). — Chin. J. Appl. Ecol., 1991, 2(2):141—145.

The relationship between emigration activities of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) and rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) and solar height angles is analysed. Models of occurred areas of emigration and their distribution are developed. Solar height angles at occurred areas of emigration of two species can be evaluated by solar height angle formula at noon: $h_0 = 90^\circ - \varphi + \sigma_0$ Regression analyses are made on T's and solar height angles, and the predictive models are developed.

Key words {Solar height angle, Emigration, Mathematical model, *Nilaparvata lugens*, *Cnaphalocrocis medinalis*.

1 引言

水稻上的重要害虫褐飞虱 (*Nilaparvata lugens* Stal) 和稻纵卷叶螟 (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) 年周期性的远距离迁飞活动, 已被近年国内外广大科学工作者的大量研究所证实^[1]。两种害虫每年均出现有规律的5次由南往北和3次由北往南的迁飞过程。稻纵卷叶螟往返迁飞年环, 与太阳对地球正射点南北移动所引起的副高脊线、季风以及锋面雨区的季节变化同步进退; 褐飞虱北迁时, 一次迁飞过程的主降范围在离迁出地300—700 km的地区, 随着副高脊线、切变线的移动, 迁出区、主降区、波及区等也发生相应移动。

两虫的迁飞方向和太阳直射点移动方向一致。研究结果表明, 我国所处的东亚地区的季风环流对两虫迁飞起着重要作用, 春夏季的西南风和秋季的东北风起着运载作用, 而副热带高压和大陆高压季节性的南北进退推动着冷暖气团在我国各稻区的交汇所形成的锋面活动为两虫的迁飞及降落创造了条件。

一些研究结果还表明, 两种害虫迁飞活动的起飞过程与光照有着密切关系。褐飞虱在50—200Lux时起飞, 而500Lux的光照强度就抑制了稻纵卷叶螟的飞翔活动^[4]。

关于一年中太阳对地球直射点的移动, 众所周知, 冬至日太阳直射南回归线, 冬至过后太阳直射位置逐渐从南回归线北移, 到夏至时则直射北回归线。夏至到冬至则相反, 太阳直

本文于1990年5月4日收到。

射点自北向南移动,即自北回归线移向南回归线。太阳直射点南北移动引起的副高脊线、季风等的季节变化与两虫迁飞有关,同时迁飞方向与太阳直射点的移动方向一致,且光照与两虫的起飞有关,因此可以认为,两虫的迁飞可能与光源位置的变动有关。具体地说,太阳在两回归线之间赤纬的移动是有节奏进行的,两虫最终降落点可能各自与一定的太阳高度角有关。邬祥光(1981)^[3]曾报道粘虫迁飞与太阳高度角的关系,亦已证实粘虫迁飞的最终降落点与太阳高度角有密切关系,本文拟就1974—1980年我国东半部两虫迁飞动态与太阳高度角关系的资料作以分析,并试建立我国东半部两虫迁飞发生区及其分布的数学模型。

2 两虫迁飞发生区及其分布的数学模型

若令 h_0 为太阳高度角, δ_0 为太阳赤纬, φ 为地方纬度, ω 为时角(真太阳时正午的 ω 为 0, 上午为负值, 下午为正值), 则根据天球座标, 用球面三角公式可得

$$\sin h_0 = \sin \varphi \cdot \sin \delta_0 + \cos \varphi \cdot \cos \delta_0 \cdot \cos \omega$$

在正午时 $\omega = 0$ $\cos \omega = 1$ 则

$$\begin{aligned} \sin h_0 &= \sin \varphi \cdot \sin \delta_0 + \cos \varphi \cdot \cos \delta_0 \\ &= \cos(\varphi - \delta_0) \\ &= \sin[90^\circ - (\varphi - \delta_0)] \end{aligned}$$

所以 $h_0 = 90^\circ - \varphi + \delta_0$

上式包含地方纬度 φ 和某时的太阳赤纬 δ_0 两个变量, 亦即包含了地点、时间两个变量。

现根据上式和两虫最终降落点代表点纬度及迁入最盛日太阳赤纬的实际值, 计算两虫迁飞发生区代表点纬度上迁入最盛日正午时的太阳高度角(下文同), 并进行分析。

2.1 两虫秋季后由北往南迁飞(简称南迁, 下文同)发生区及其分布的数学模型

根据上式和两虫南迁发生区代表点纬度及迁入最盛日太阳赤纬的实际值, 求出两虫各发生区的太阳高度角, 结果列于表 1 及表 2。

两虫在大范围内的往返迁飞, 可以设想, 可能与地球表面的光照等条件变化有关。一年内地球绕太阳公转时, 日地距离不等, 地球自

表 1 褐飞虱南迁发生区的太阳高度角

Tab.1 Solar height angle of occurred areas for southward emigration of *Nilaparvata lugens*

南迁序号 Number	代表点及纬度 Representative areas and their latitudes	迁入最盛日(日/月) Date of peak im- migration (date/month)	太阳赤纬 Red latitude of sun	太阳高度角 Solar height angle	T 值(天) T value (days)
1	江苏扬州 32.42°N Yangzhou, Jiangsu	3/9	+7.770°	65.35°	110
2	湖南长沙 28.20°N Changsha, Hunan	25/9	-0.63°	61.17°	88
3	广东曲江 24.67°N Qiujiang, Guangdong	24/10	-11.88°	53.45°	59

表 2 稻纵卷叶螟南迁发生区的太阳高度角

Tab.2 Solar height angle of occurred areas for southward emigration of *Cnaphalocrocis medinalis*

南迁序号 Number	代表点及纬度 Representative areas and their latitudes	迁入最盛日(日/月) Date of peak im- migration (date/month)	太阳赤纬 Red latitude of sun	太阳高度角 Solar height angle	T 值(天) T value (days)
1	湖南郴州 25.80°N Chenzhou, Hunan	13/9	+4.6°	68.20°	100
2	广西高州 21.92°N Gaozhou, Guangxi	3/10	-3.73°	64.35°	79

转轴与公转轨道斜交成 $66^{\circ}23'$ ，地球每日在公转轨道上的位置不同，就有不同的太阳高度角和昼夜长短，一年中光照变化是以冬至和夏至为两个转折点。现以冬至日为零，以害虫迁入最盛日中值为中心，前后15天时间作为时间变幅，把太阳高度角公式中的 φ 作为未知变量，由冬至日到夏至日 T 取正整数依顺序或逆序加到迁入最盛日。例如冬至日为12月22日，迁入最盛日为10月2日， T 则为82；若迁入最盛日为3月24日， T 也为82，两虫南迁的 T 值列于表1及表2，以 T 值作自变量与太阳高度角进行相关回归分析，褐飞虱南迁最盛日与太阳高度角的数学模型为：

$$h_g = 39.86 + 0.2350T \quad (1)$$

相关系数 r 为0.9960*。

稻纵卷叶螟南迁最盛日与太阳高度角的数学模型为

$$h_g = 49.66 + 0.1834T \quad (2)$$

以南迁最盛日变幅的前后两个 T 值代入(1)式，求得相应的太阳高度角变幅，从天文年历中查出太阳赤纬，按太阳高度角公式求出相应的地方纬度 φ ， φ 值可理解为这个迁飞发生区分布纬度的期望值，结果如下：褐飞虱第1次南迁发生区的分布纬度期望值为 $27.56^{\circ}\text{N}—32.45^{\circ}\text{N}$ ，第2次为 $26.26^{\circ}\text{N}—27.41^{\circ}\text{N}$ ，第3次为 $23.21^{\circ}\text{N}—26.14^{\circ}\text{N}$ ；稻纵卷叶螟第1次南迁发生区分布纬度期望值为 $22.75^{\circ}\text{N}—28.62^{\circ}\text{N}$ ，第2次为 $18.82^{\circ}\text{N}—24.82^{\circ}\text{N}$ ，上述结果与我国东半部发生区情况一致，如表3、表4所列。

2.2 两虫由南往北迁飞(简称北迁，下文同)发生区及其分布的数学模型

根据太阳高度角公式求得两虫北迁发生区的太阳高度角，结果如表5、表6所列，并绘成图1。从图1看出，夏至后两虫北迁发生区的太阳高度和夏至前不同。夏至后 $30^{\circ}—40^{\circ}\text{N}$ 温度上升快，特别是7、8月份，现以海口、南京、北京、哈尔滨一年中温度变化绘成图2，

表3 褐飞虱南迁发生区分布纬度期望值和实际值*

Tab.3 Expected and actual values of distributed latitudes for southward emigration of *Nilaparvata lugens*

南迁次序 Number	期望值 Expected value	实际值 Actual value
1	$27.56^{\circ}\text{N}—32.45^{\circ}\text{N}$	$30^{\circ}\text{N}—32^{\circ}\text{N}$
2	$26.26^{\circ}\text{N}—27.14^{\circ}\text{N}$	$26^{\circ}\text{N}—28^{\circ}\text{N}$
3	$23.21^{\circ}\text{N}—26.14^{\circ}\text{N}$	$21^{\circ}\text{N}—25^{\circ}\text{N}$

* 实际值引自参考文献(4)。

Actual values are quoted from reference 4.

表4 稻纵卷叶螟南迁发生区分布纬度期望值和实际值*

Tab.4 Expected and actual values of distributed latitudes for southward emigration of *Cnaphalocrocis medinalis*

南迁次序 Number	期望值 Expected value	实际值 Actual value
1	$22.75^{\circ}\text{N}—28.62^{\circ}\text{N}$	$21^{\circ}\text{N}—31^{\circ}\text{N}$
2	$18.82^{\circ}\text{N}—24.82^{\circ}\text{N}$	19°N 以南

* 实际值引自《中国农业科学》，1981，(5):1—3。

Actual values are quoted from Scientia Agricultura Sinica, 1981, (5):1—3.

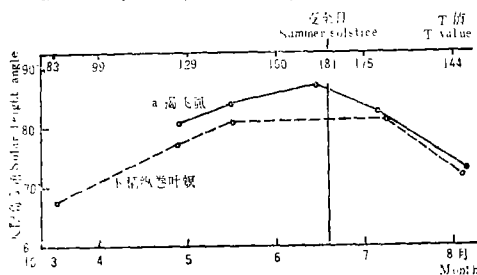


图1 两虫北迁各发生区太阳高度角曲线

Fig.1 Solar height angles for distributed areas of northward emigration of two insect species.

a: *Nilaparvata lugens* b: *Cnaphalocrocis medinalis*

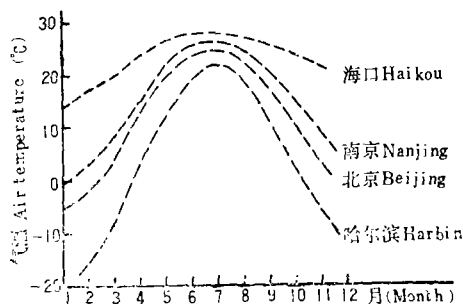


图2 不同纬度的气温年变化曲线(引自《气象学》，云南林业学院主编)

Fig.2 Variation of annual air temperature at different latitudes (from "Climatology" edited by Yunnan Forestry College).

表 5 褐飞虱北迁发生区的太阳高度角

Tab.5 Solar height angle of occurred areas for northward emigration of *Nilaparvata lugens*

北迁次序 Number	代表点及纬度 Representative areas and their latitudes	迁入最盛日 (日/月) Date of peak immigration (date/month)	太阳赤纬 Red latitude of sun	太阳高度角 Solar height angle	T 值(天) T value (days)
1	广西玉林 22.63°N Yulin, Guangxi	26/4	13.32°	80.69°	125
2	广西永福 25.0°N Yongfu, Guangxi	16/5	18.97°	83.97°	145
3	福建大田 25.67°N Datian, Fujian	15/6	23.32°	87.70°	175
4	安徽望江 30.12°N Wanjiang, Anhui	5/7	22.83°	82.70°	170
5	江苏淮安 33.52°N Huai'an, JiangSu	5/8	17.40°	73.88°	189

表 6 稻纵卷叶螟北迁发生区的太阳高度角

Tab.6 Solar height angle of occurred areas of northward emigration of *Cnaphalocrocis medinalis*

北迁次序 Number	代表点及纬度 Representative areas and their latitudes	迁入最盛日 (日/月) Date of peak immigration (date/month)	太阳赤纬 Red latitude of sun	太阳高度角 Solar height angle	T 值(天) T value (days)
1	广东琼海 19.23°N Qionghai, Guangdong	15/3	-3.55°	67.22°	83
2	广西河池 24.75°N Hechi, Guangxi	25/4	11.26°	76.51°	124
3	江西南昌 28.60°N Nanchang, Jiangxi	16/5	18.97°	80.37°	145
4	河南信阳 32.12°N Xinyang, Henan	10/7	22.30°	80.18°	165
5	山东文登 37.20°N Wendun, Shandong	9/8	16.0°N	68.80°	134

由图2可见,南京、北京两地7、8月温度比海口4、5月温度要高一些,关于夏至后两虫对太阳高度角要求变低,可能为热效应对光效应的补偿作用所致。从图1看出,两虫北迁各发生区太阳高度角的连线都是曲线,为此采用分段线性化方法,把夏至前和夏至后的资料分别进行分析。

夏至前褐飞虱北迁最盛日和太阳高度角之间关系的数学模型为

$$h_{\theta} = 63.65 + 0.1379T \quad (3)$$

相关系数 r 为0.9967*。

夏至前稻纵卷叶螟北迁最盛日和太阳高度

角之间关系的数学模型为

$$h_{\theta} = 49.58 + 0.2141T \quad (4)$$

相关系数 r 为0.9988*。

夏至后褐飞虱北迁最盛日和太阳高度角之间关系的数学模型为

$$h_{\theta} = 17.16 + 0.3940T \quad (5)$$

夏至后稻纵卷叶螟北迁最盛日和太阳高度角之间关系的数学模型为

$$h_{\theta} = 19.61 + 0.3671T \quad (6)$$

(3)一(6)式即为两虫北迁时间与太阳高度之间关系数学模型。现以 T 值为中心, T 值前后的变幅值代入(3)一(6)式,求得相应的太

阳高度角变幅, 再根据太阳高度角公式求出相应的地方纬度 φ , φ 值可理解为北迁发生区分布纬度的期望值。

褐飞虱北迁第 1 次发生区分布纬度期望值为 19.28°N — 23.32°N , 第 2 次为 23.48°N — 25.98°N , 第 3 次为 26°N — 27.1°N , 第 4 次为 27.43°N — 32.54°N , 第 5 次为 32.73°N — 36.16°N 。

稻纵卷叶螟北迁第 1 至第 5 发生区分布纬度期望值依次为: 19.24°N — 24.97°N , 25.43°N — 27.89°N , 27.49°N — 28.85°N , 28.21°N — 32.29°N , 35.93°N — 39.40°N 。

上述结果和我国东半部两虫北迁发生区实际划分的纬度范围相近, 超出实际范围的应是缓冲区, 可理解为前后两个发生区的偶发区, 若当年害虫发生提前或推迟, 缓冲区则变成了偶发区。

3 迁飞发生区的预测

关于昆虫迁飞问题, Johnson(1960)^[5]认为, 昆虫在成虫幼嫩阶段(即羽化到翅骨变硬之间)后期即可迁飞。大量的研究表明, 褐飞虱和稻纵卷叶螟的迁飞完全符合上述规律, 从实地调查、生理生态分析和气象条件分析都证实了两虫的迁飞规律^[1,2,4]。因此, 根据两个害虫发育进度、某地虫源性质以及上述数学模型, 可预测两个害虫下一个迁飞发生区。

例如南昌 1978 年 6 月 10 日—15 日是褐飞虱迁入最盛日, 根据褐飞虱发育进度推算, 预计 7 月 10 日左右要迁飞到下一个发生区, 预测下一个迁飞发生区的代表点纬度。若 12 月 22 日是冬至日, 由冬至日逆序加到 7 月 10 日, T 值为 167, 7 月 10 日是在夏至后, 因此用(5)式计算, h_0 为 82.96° , 查该年 7 月 10 日太阳赤纬为 22.3° , 将结果代入太阳高度角公式, 求得 φ 为 29.34°N , 据此可以预测褐飞虱下一个迁飞发生区是在我国东半部北纬 29.34° 附近的地区。

例如, 根据东北 1977 年 9 月上旬稻纵卷叶螟发育进度, 预计 9 月 27 日要南迁到另一个发生区, 预测该发生区的分布范围。因为是南迁, 根据(2)式计算, 9 月 27 日的 T 值为 87, 太阳赤纬为 -1.333° , 将 T 值代入(2)式求得 $h_0 = 65.82^{\circ}$ 。将 h_0 值代入太阳高度角公式, 求得地方纬度为 22.85°N , 据此可预测出稻纵卷叶螟该年 9 月 27 日要南迁到我国东半部北纬 22.85° 的广西南宁至广东新兴等地附近。

4 讨 论

关于稻纵卷叶螟南迁的第 3 个发生区问题, 因资料少不足以说明问题, 但根据高空网捕等证明, 每年 10 月中旬至 11 月上旬尚有一次南迁过程, 若以 10 月 18 日和 11 月 7 日为两个时间变幅界限, 则 T 为 63 和 45, 若按(2)式计算, 则稻纵卷叶螟南迁的第 3 个发生区分布纬度期望值为 15.79°N — 19.19°N , 据此推测, 这个发生区在中南半岛的泰国北部、老挝和越南中部地区, 而这些地区恰好是稻作区。

本文仅讨论我国东半部褐飞虱和稻纵卷叶螟迁飞发生区的水平分布。当然, 褐飞虱和稻纵卷叶螟对生态条件特别是光热等条件有一定要求, 因此在分布上除了水平分布之外, 尚有垂直分布问题, 即同一纬度上由于海拔不同两虫的发生时间、发育进度也不尽相同, 对此有待于进一步研究, 才能提高预测的准确性。

主要参考文献

- 1 江广恒等. 1981. 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件. 昆虫学报, 24(3): 251—261.
- 2 邹运鼎等. 1982. 稻纵卷叶螟、褐飞虱体内能源物质动态与迁飞关系的研究. 生态学报, 3(1): 63—68.
- 3 郭祥光. 1981. 粘虫迁飞发生区及其分布的数学模型. 生态学报, 1(4): 327—334.
- 4 程遐年等. 1979. 稻纵卷叶螟迁飞规律的研究. 昆虫学报, 22(1): 1—21.
- 5 Johnson, C.G. 1960. A basis for a general system of insect migration and dispersal by flight. Nature, 186(4722): 348—350.