云南元阳梯田水稻田白背飞虱若虫空间分布型及理论抽样数*

唐小艳** 陈 斌*** 李正跃*** 李梓亦 王 芳

(生物多样性控制病虫害教育部重点实验室,生物多样性控制作物病虫害应用技术国家工程研究中心 云南农业大学植物保护学院 昆明 650201)

Spatial distribution patterns and theoretical sampling of *Sogatella furcifera* of nymph in rice terrace fields in Yuanyang. TANG Xiao-Yan**, CHEN Bin***, LI Zheng-Yue***, LI Zi-Yi, WANG Fang (*Key Laboratory of Agro-biodiversity and Pest Management of Education Ministry of China, The National Center for Agro-biodiversity, Yunnan Agricultural University*, Kunming 650201, China)

Abstract Dispersal indices, and the Iwao and Taylor regression methods, were used to investigate the spatial distribution and theoretical sample size of *Sogatella furcifera* (Horvath) nymphs in rice terrace fields at different altitudes in Yuanyang, Yunnan. Results show that younger nymphs had a negative binomial spatial pattern which was the result of their intrinsic biological characteristics and environmental factors. Iwao's $m^* - m$ regression model was $m^* = 3.96 + 1.09\ m$ (R = 0.97), and Taylor's $V - m$ regression model was $\lg(V) = 0.28 + 1.34 \times \lg(m)$ (R = 0.85). The *K*-value of the negative binomial distribution was 3.53. The aggressive intensity coefficient was significantly different at different altitudes ($F = 5.77$, $P < 0.01$); 10.74 ± 0.83, 23.67 ± 3.50, 21.64 ± 6.02, 47.10 ± 5.71, 52.59 ± 12.75 and 13.72 ± 3.14 in rice fields at altitudes of 1 400 – 1 500 m, 1 501 – 1 600 m, 1 601 – 1 700 m, 1 701 – 1 800 m, 1 801 – 1 900 m and 1 901 – 2 000 m, respectively. The maximum aggressive intensity coefficient was in rice fields at altitudes of 1 701 – 1 800 and 1 801 – 1 900 m, and the minimum was in rice fields at altitudes of 1 400 – 1 500 and 1 901 – 2 000 m. Theoretical sampling equations were $n = \frac{1\,905.43}{x} + 34.57$, $n = \frac{476.36}{x} + 8.64$, which gives the estimated sample size for different densities of nymphs with an accuracy of 0.1 and 0.2 respectively. According to the above equations, 30, 20 and 15 sampling units should be sampled when the density of the *S. furcifera* is assumed to be 5, 10 and 20 individuals per sampling unit. These results provide a basis for the scientific sampling and control of this pest.

Key words *Sogatella furcifera*, spatial distribution pattern, negative binomial distribution, distribution parameters, Yuanyang Terrace, Yunnan

摘 要 采用 Taylor 幂法扩散法和 Iwao 回归法分析了云南元阳哈尼梯田1 400 ~ 2 000 m海拔 16 个哈尼族传统水稻品种田白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) 1 ~ 3 龄若虫的空间分布特征。结果表明,白背飞虱 1 ~ 3 龄若虫在不同海拔、不同水稻品种田均呈聚集分布中的负二项分布,其负二项分布的公共 *K* 值为 3.53,聚集原因主要是由白背飞虱生物学特性和环境因素引起。Iwao 直线回归方程拟合公式为 $m^* = 3.96 + 1.09m$ (R = 0.97),Taylor 幂拟合公式为 $\lg(V) = 0.28 + 1.34 \times \lg(m)$ (R = 0.85)。其中,在

* 资助项目:国家"973"项目(2006CB1002004)、全球环境基金(GEF)项目"Conservation and use of crop genetic diversity to control pests and diseases in support of sustainable agriculture"。

** E-mail: ndxiaoyantang@126.com

*** 通讯作者, E-mail: chbins@163.com; linzhengyue@263.net

收稿日期:2009-09-27,修回日期:2010-02-08

1 400 ~ 1 500、1 501 ~ 1 600、1 601 ~ 1 700、1 701 ~ 1 800、1 801 ~ 1 900 和 1 901 ~ 2 000 m 海拔梯田稻田中,白背飞虱若虫平均拥挤度分别为 10.74 ± 0.83、23.67 ± 3.50、21.64 ± 6.02、47.10 ± 5.71、52.59 ± 12.75、13.72 ± 3.14,差异显著($F = 5.77$,$P < 0.01$),其中在 1 701 ~ 1 800 和 1 801 ~ 1 900 m 海拔稻田中白背飞虱平均拥挤度最高,表明在该海拔处白背飞虱在稻丛上分布较为集中,而在 1 400 ~ 1 500 和1 901 ~ 2 000 m海拔稻田中平均拥挤度最低。根据空间分布型参数,建立了精度分别为 0.1 和 0.2 时的理论抽样数模型,分别为 $n = \frac{1905.43}{x} + 34.57$,$n = \frac{476.36}{x} + 8.64$,该模型适用于不同虫口密度下的田间抽样。当白背飞虱虫口密度为 5、10、20 头/丛时,分别取样 30、20 和 15 个样方。

关键词　白背飞虱,空间分布型,负二项分布,分布型参数,元阳梯田,云南

白背飞虱 *Sogatella furcifera*(Horvath)是稻飞虱重要种类,常与褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 混合发生危害水稻,具有远距离迁飞习性[1~4],能暴发成灾,造成“虱烧”,导致水稻大幅度减产,是全球多数水稻生产地区水稻上的一种重要害虫[5],还能传播烟草丛枝症[6]。通常,白背飞虱与褐飞虱混合发生,对营养和生态位的竞争使 2 种飞虱之间存在着程度不同的互作效应[7]。近年来,全球气候异常,加之水稻品种的不断更换及中晚熟品种的大面积推广,我国白背飞虱的发生日趋严重,给水稻生产带来很大威胁[8]。白背飞虱的生长发育,因水稻品种不同而有差异,杂交稻的种植有利于其种群数量的迅速增长[9~11]。害虫空间分布的研究是制定害虫综合治理措施的基础[12,13],有关白背飞虱若虫在现代种植和管理模式及杂交稻田的空间分布型已有研究报道[14~16],而在云南元阳哈尼梯田传统种植模式及传统水稻品种田空间分布尚未见研究报道。

云南省元阳县哈尼梯田,地处滇南低纬度哀牢山区,海拔高差大,形成了元阳哈尼梯田独特的立体农业气候[17]。水稻传统品种有白脚老粳、红脚老粳、月亮谷、糯谷等,在不同海拔,均有不同的传统稻谷品种为主栽品种[18],而且相同地方品种不同村寨的居群遗传多样性不同[19],这些传统品种已有上百年的种植历史,尚未有病虫害的大发生记载[17]。林菁菁等研究报道[20],元阳哈尼梯田系统中,栽培传统品种遗传多样性越丰富的区域,其稻瘟病菌群体多样性和生理小种也越丰富。据调查,同一海拔的田块所种品种均不相同,不同品种的水稻上每年均发生稻瘟病、稻飞虱等,但程度轻,不影响水稻产量。白背飞虱作为一种迁飞性害虫,在元阳特殊生境中的发生危害情况尚无研究报道。因此,研究该虫在不同海拔及不同品种上的空间分布特征,将为防治指标的制定及综合防治具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　调查地点及调查方法

2008—2009 连续 2 年,以云南元阳县哈尼族种植传统水稻品种的梯田为基地,分别于 1 400 ~ 1 500、1 501 ~ 1 600、1 601 ~ 1 700、1 701 ~ 1 800、1 801 ~ 1 900、1 901 ~ 2 000 m 海拔梯田稻田,对阿佩谷、月亮谷、白脚老谷、红脚老谷、慢车红略等 16 个哈尼族传统水稻品种和 1 个杂交品种稻田,利用黑光灯监测结果,分别于 5 月中旬、下旬和 6 月上旬若虫发生高峰期,各调查 1 次。采用拍盘调查法(即以“33 cm × 45 cm”自搪瓷盘为载体),Z 字形取样,每个品种调查 3 块田,每块田调查 10 丛,共计每个品种调查 30 丛。以丛为样本单位,统计各海拔不同品种田白背飞虱的平均密度、方差(V)及平均拥挤度(m)等,用 Taylor 幂法则测定其聚集度,用 Iwao 回归方程测定其在不同品种田的空间分布型,探讨其空间分布参数的特征。

1.2　空间分布型测定

1.2.1　聚集度指标检验　选用以下 5 种聚集度指标进行检验,计算公式如下:

丛生指标 I[21]:$I = S^2/m - 1$,当 $I < 0$ 时为均匀分布;当 $I = 0$ 时为随机分布;当 $I > 0$ 时为聚集分布。

m^*/m 指标[22]：即平均拥挤度与其平均密度之比：当 $m^*/m<1$ 时为均匀分布；当 $m^*/m=1$ 时为随机分布；当 $m^*/m>1$ 时为聚集分布。

扩散系数 C[23]：$C=S^2/m$，当 $C<1$ 时为均匀分布；当 $C=1$ 时为随机分布；当 $C>1$ 时为聚集分布。

Ca 指标[24]：$Ca=(S^2/m-1)/m$，当 $Ca<0$ 时为均匀分布；当 $Ca=0$ 时为随机分布；当 $Ca>0$ 时为聚集分布。

Water 负二项式分布 K 指标[25]：$K=m^2/(S^2-1)$。当 $K<0$ 时为均匀分布；当 $K\to+\infty$ 时为随机分布；当 $0<K<8$ 时为聚集分布。

1.2.2 线性回归方程检验 Iwao 的 m^*-m 回归分析法[26]：$m=\alpha+\beta m$，式中，α 仅为分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度，当 $\alpha=0$ 时，分布的基本成分是单个个体；当 $\alpha>0$ 时，个体间相互吸引；当 $\alpha<0$ 时，个体间相互排斥。β 为基本成分的空间分布图式，当 $\beta>1$ 时为聚集分布；$\beta=1$ 时为随机分布；$\beta<1$ 时为均匀分布。

Taylor 幂法则[27]：$\lg S^2=\lg(\alpha)+b\lg(m)$。当 $b<1$ 时为均匀分布；当 $b=1$ 时为随机分布；当 $b>1$ 时为聚集分布。

1.2.3 聚集原因分析 用 Blackith (1961) 聚集均数 λ[25]：$\lambda=(X/2Kc)\gamma$，其中 γ 为自由度为 2Kc、概率为 0.5 时的 X^2 分布值。当 $\lambda\geqslant 2$ 时，其聚集原因是由昆虫本身的聚集习性和环境条件或由其中一个因素所引起；当 $\lambda<2$ 时，其聚集原因则是由于环境条件所引起。

1.3 抽样技术

应用 Iwao[28] 理论抽样数公式 $n=\left(\frac{t}{D}\right)^2\left(\frac{\alpha+1}{X}+\beta-1\right)$，式中：$n$ 为理论抽样数；X 为平均密度（头/样方）；t 为一定置信度下 t 分布值。取概率保证值 $t=1.96$，允许误差 $D=0.1$、0.2、0.3、0.4、0.5；α、β 为 Iwao 回归式中的参数。建立理论抽样模型，计算白背飞虱不同虫口密度下所需的理论抽样数。

1.4 数据统计方法

所有数据均在 DPS 统计软件[29]进行，其中方差值采用 LSD 极小显著差异法进行统计。

表 1 不同水稻品种田白背飞虱聚集度指标

水稻品种	拥挤度 m^*	I 指标	m^*/m 指标	Ca 指标	扩散系数 C	K 指标
阿佩谷	75.028	6.973	1.102	0.102	7.973	9.760
白脚老粳	48.205	13.644	1.395	0.395	14.644	2.533
白皮糯	43.139	15.872	1.582	0.582	16.872	1.718
车甲谷	25.342	8.165	1.475	0.475	9.165	2.104
楚粳 16	49.414	7.781	1.187	0.187	8.781	5.351
过沙谷	24.286	6.605	1.374	0.374	7.605	2.677
红脚老粳	22.441	6.274	1.388	0.388	7.274	2.577
黄皮糯	83.709	29.251	1.537	0.537	30.251	1.862
老皮谷	35.630	6.378	1.218	0.218	7.378	4.587
冷水谷	19.591	9.757	1.992	0.992	10.757	1.008
花谷	46.852	6.330	1.156	0.156	7.330	6.401
慢车红略	19.626	12.659	2.817	1.817	13.659	0.550
糯谷	32.824	18.219	2.248	1.248	19.219	0.802
香谷	51.582	27.148	2.111	1.111	28.148	0.900
小谷	73.350	34.336	1.880	0.880	35.336	1.136
月亮谷	53.782	21.891	1.686	0.686	22.891	1.457
早谷	20.691	3.614	1.212	0.212	4.614	4.726

2　结果与分析

2.1　白背飞虱若虫在田间分布的聚集度

调查了 16 个哈尼传统水稻品种和 1 个杂交种共计 87 块田2 610个取样点白背飞虱 1 ~2 龄若虫的虫口密度,根据调查数据,统计了各块田白背飞虱若虫的平均密度(X),方差(V)及平均拥挤度(m^*)。在所调查的 87 块稻田中,其平均拥挤度为 1.437 ~116.360,均满足聚集分布特征值。根据昆虫种群聚集分布的指标值要求 $I>0$,$m^*/m>1$,$Ca>0$,$C>1$,$0<K<8$,除有 2 块田其 I 指标,m^*/m 指标值,Ca 指标,扩散系数 C 和 K 指标值分别为 $I<0$,$m^*/m<1$,$Ca<0$,$C<1$,$K<0$ 外,其它田块中以上各聚集指标值均符合聚集分布特征参数值(表 1)。表明白背飞虱低龄若虫的空间分布型表现一致,均呈聚集分布格局。因此,白背飞虱低龄若虫在田间呈聚集分布。而 I 指标值中,除 2 块田中分别为 -0.117、-0.112 外,其余田块中均大于 0。杂交品种楚粳 16 稻田拥挤度、I 指标 = 7.781 > 0、m^*/m 指标 = 1.187 > 1、Ca 指标 = 0.187 > 0、扩散系数 C = 8.781 > 1、K 指标 $0<K=5.351<8$ 均满足聚集分布的要求。

2.2　不同品种上白背飞虱空间分布特征

根据 Taylor 幂指数公式,其中指数 b 为聚集度指标,可通过对数代换和直线回归求得,当 $b<1$ 时为均匀分布,当 $b=1$ 时为随机分布,当 $b>1$ 时为聚集分布(负二项分布或 Neyman 分布)。

由此,Iwao 的 m^*-m 直线回归方程拟合式为 $m^*=3.96+1.09m$(R = 0.97),Taylor 幂法则公式为 $\lg(V)=0.28+1.34\times\lg(m)$(R = 0.85),$X^2=69.63$(DF = 86)。

将白背飞虱若虫平均密度与方差间的关系用上述幂函数公式进行拟合,结果为 $\alpha=0.28$,$b=1.34$,经卡方(X^2)检验,$X^2=96.63<X^2_{0.05}(86)=101.88$,故拟合有效。说明白背飞虱若虫在田间的分布为聚集分布。

根据 Iwao 提出的 m^*-m 方程,白背飞虱在不同水稻品种上聚集原因存在差异(表 2),白脚老粳、白皮糯、车甲谷、过沙谷、红脚老粳、冷水谷、慢车红略、糯谷、香谷、小谷、月亮谷 11

表 2　不同品种田白背飞虱低龄若虫空间分布型

水稻品种	m^*-m 方程(Iwao)	Taylor 幂指数	公共 K 值	Chi-Square
阿佩谷	$m^*=-1.94+1.139m$(R = 0.967)	$\lg(v)=-2.03+2.56\lg(m)$ (R = 0.741)	8.42	3.28 (DF = 2)
白脚老粳	$m^*=3.67+1.01m$ (R = 0.997)	$\lg(v)=0.53+1.10\lg(m)$ (R = 0.936)	7.78	10.44 (DF = 5)
白皮糯	$m^*=5.14+1.25m$ (R = 0.956)	$\lg(v)=0.51+1.41\lg(m)$ (R = 0.918)	2.07	5.08 (DF = 3)
车甲谷	$m^*=0.48+1.34m$ (R = 0.915)	$\lg(v)=0.30+1.41\lg(m)$ (R = 0.633)	2.64	2.61 (DF = 2)
楚粳 16	$m^*=3.16+1.097m$ (R = 0.999)	$\lg(v)=0.103+1.502\lg(m)$ (R = 0.998)	5.70	0.086 (DF = 2)
过沙谷	$m^*=6.42+0.91m$ (R = 0.856)	$\lg(v)=0.98+0.78\lg(m)$ (R = 0.497)	3.30	11.40 (DF = 8)
红脚老粳	$m^*=1.30+1.05m$ (R = 0.999)	$\lg(v)=0.23+1.22\lg(m)$ (R = 0.979)	7.32	3.54 (DF = 2)
黄皮糯	$m^*=-2.91+1.17m$ (R = 0.994)	$\lg(v)=0.01+1.44\lg(m)$ (R = 0.931)	8.89	4.55 (DF = 3)
老皮谷	$m^*=-4.61+1.22m$ (R = 0.994)	$\lg(v)=-3.42+3.51\lg(m)$ (R = 0.947)	21.92	16.82 (DF = 2)
冷水谷	$m^*=23.43-0.28m$(R = -0.175)	$\lg(v)=1.66+-0.028\lg(m)$ (R = -0.013)	0.52	2.510 (DF = 2)
花谷	$m^*=-10.78+1.38m$(R = 0.995)	$\lg(v)=-6.01+5.14\lg(m)$ (R = 0.985)	9.65	2.82 (DF = 2)
慢车红略	$m^*=0.58+1.18m$ (R = 0.930)	$\lg(v)=0.24+1.23\lg(m)$ (R = 0.747)	3.58	2.20 (DF = 2)
糯谷	$m^*=2.73+1.01m$ (R = 0.991)	$\lg(v)=0.31+1.23\lg(m)$ (R = 0.939)	4.44	12.53 (DF = 7)
香谷	$m^*=1.46+1.32m$ (R = 0.999)	$\lg(v)=0.38+1.46\lg(m)$ (R = 0.985)	2.28	4.21(DF = 3)
小谷	$m^*=4.58+1.13m$ (R = 0.990)	$\lg(v)=0.12+1.56\lg(m)$ (R = 0.943)	3.14	6.80 (DF = 4)
月亮谷	$m^*=8.14+1.05m$ (R = 0.909)	$\lg(v)=0.64+1.16\lg(m)$ (R = 0.722)	2.64	16.33 (DF = 19)
早谷	$m^*=-2.00+1.27m$ (R = 0.912)	$\lg(v)=-3.23+3.90\lg(m)$ (R = 0.552)	6.51	3.08 (DF = 2)

注:表中 m 表示平均密度,V 表示方差,m^* 表示平均拥挤度。

个传统品种和 1 个杂交品种楚粳 16 上其平均拥挤度均大于 0，因此个体间呈相互吸引，而在阿佩谷、黄皮糯、老皮谷、花谷与早谷品种上平均拥挤度 α 分别为 -1.94、-2.91、-4.61、-10.78、-2.00，均小于 0，因此，在这些品种田白背飞虱个体间表现为相互排斥。

2.3 不同品种水稻田白背飞虱负二项分布的公共值

由于 $\alpha = 0.28 > 0$，$b = 1.34 > 1$，表明白背飞虱若虫在田间的分布型为具公共 K 值的负二项分布，其个体间互相吸引，负二项分布的公共 K 值为 3.53，在空间以个体群结构的形式存在，且个体群间也呈聚集分布，个体群平均大小指数（即 $m + 1$）也与平均密度呈极显著正相关。

2.4 不同海拔稻田白背飞虱空间分布参数

在海拔 1 400 ~ 1 500、1 501 ~ 1 600、1 601 ~ 1 700、1 701 ~ 1 800、1 801 ~ 1 900、1 901 ~ 2 000 m 6 个海拔梯田稻田中，白背飞虱若虫平均拥挤度间差异显著（$F = 5.77$，$P < 0.01$）。在 1 400 ~ 1 500 m 处，呈均匀分布，而在 1 501 ~ 2 000 m呈聚集分布。在 1 500 ~ 1 900 m 处，个体间呈相互吸引，而在 1901 ~ 2000 m 处个体间呈相互排斥（表 3）。

表 3 梯田不同海拔稻田白背飞虱空间分布特征

海拔（m）	m^* - m 方程（Iwao）	Taylor 幂指数	公共 K 值
1 400 ~ 1 500	$m^* = 5.10 + 0.60m$ （R = 0.81）	$\lg(v) = 1.91 - 0.61\lg(m)$ （R = 0.33）	7.290
1 501 ~ 1 600	$m^* = 2.58 + 1.17m$ （R = 0.97）	$\lg(v) = -0.07 + 1.70\lg(m)$ （R = 0.90）	2.930
1 601 ~ 1 700	$m^* = 1.90 + 1.10m$ （R = 0.98）	$\lg(v) = 0.24 + 1.32\lg(m)$ （R = 0.90）	4.954
1 701 ~ 1 800	$m^* = 7.73 + 1.03m$ （R = 0.94）	$\lg(v) = 0.66 + 1.11\lg(m)$ （R = 0.71）	2.910
1 801 ~ 1 900	$m^* = 3.49 + 1.08m$ （R = 0.97）	$\lg(v) = -1.67 + 2.48\lg(m)$ （R = 0.78）	5.536
1 901 ~ 2 000	$m^* = -9.12 + 2.28m$（R = 0.85）	$\lg(v) = -1.76 + 3.41\lg(m)$ （R = 0.78）	2.700

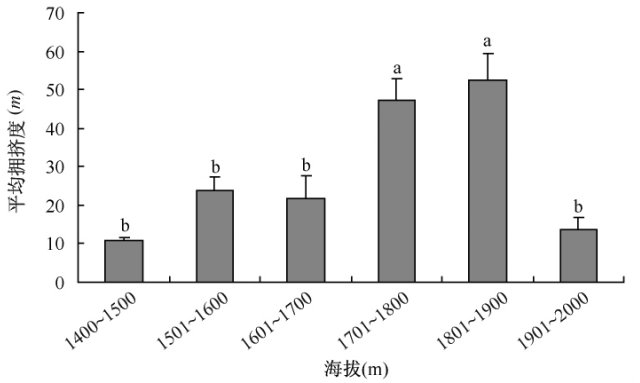


图 1 不同海拔稻田白背飞虱若虫的平均拥挤度

注：图中不同字母表示差异显著（$P < 0.05$）。

此外，在海拔 1 701 ~ 1 800、1 801 ~ 1 900 m处稻田中白背飞虱平均拥挤度最高（图 1），表明在该海拔处白背飞虱在稻丛上分布较为集中，聚集指数较高，分别为 10.74 ± 0.83、23.67 ± 3.50、21.64 ± 6.02、47.10 ± 5.71、52.59 ± 32.75、13.72 ± 3.14。而在 1400 ~ 1500 m和 1901 ~ 2000 m 海拔稻田中平均拥挤度明显低于其它海拔稻田的聚集程度。

2.5 白背飞虱若虫聚集原因分析

根据 Blackith 提出的昆虫种群空间聚集原因的计算方法，其计算公式为 $\lambda = \frac{m}{2Kc} \times \gamma$

式中：γ 为自由度为 $2Kc$，概率为 0.5 时的 X^2 分布值。当 $\lambda < 2$ 时，种群聚集的原因可能是由于某些环境因素作用结果，当 $\lambda \geq 2$ 时，其聚集原因既可能由于昆虫本身的聚集行为所引

起,也可能由于昆虫本身的聚集行为与环境的异质性两因素所引起。

聚集均数 $\lambda = \frac{m}{2Kc} \times \gamma$ 计算,已知 $Kc = 3.53$,则:

$\gamma = X^2\ 0.05(2Kc) = X^2_{0.05}(7.06) = 14.09$,则白背飞虱若虫的聚集均数 λ 依据下列公式计算得到:

$$\lambda = \frac{\gamma}{2Kc} \times m$$

$$= (14.09/2 \times 3.53) \times m = 1.9958 \times m$$

依据上式,当 $\lambda = 2$ 时,$m = 2.21$ 头。因此,当白背飞虱若虫平均密度 < 2.2 头/丛时,其在稻株上的聚集与当时水稻生长状况有关,而当平均密度 ≥ 2.2 头/丛时,白背飞虱在稻田内的聚集分布除与当时水稻的生长发育状况有关外,还与若虫本身的聚集行为有关。

2.6　白背飞虱空间抽样技术

应用 Iwao 理论抽样数公式 $n = \left(\frac{t}{D}\right)^2\left(\frac{\alpha + 1}{X} + \beta - 1\right)$,式中:$n$ 为理论抽样数;x 为平均密度(头/样方);t 为一定置信度下 t 分布值。取概率保证值 $t = 1.96$,允许误差 $D = 0.1$、0.2;$\alpha = 3.96$,$\beta = 1.098$,建立理论抽样模型,

$$t = 1.96、D = 0.1, n = \frac{1905.43}{x} + 34.57;$$

$$t = 1.96、D = 0.2, n = \frac{476.36}{x} + 8.64。$$

通过以上理论模型,计算出稻田白背飞虱不同虫口密度下所需的理论抽样数(表 4)。

表 4　白背飞虱不同虫口密度下的理论抽样数

飞虱密度(头/丛)	不同精度下的抽样数		飞虱密度(头/丛)	不同精度下的抽样数		飞虱密度(头/丛)	不同精度下的抽样数		飞虱密度(头/丛)	不同精度下的抽样数	
	$D = 0.1$	$D = 0.2$		$D = 0.1$	$D = 0.2$		$D = 0.1$	$D = 0.2$		$D = 0.1$	$D = 0.2$
1	1 940	105	26	108	12	51	72	11	76	60	10
2	987	57	27	105	12	52	71	10	77	59	10
3	669	41	28	103	12	53	71	10	78	59	10
4	511	33	29	100	12	54	70	10	79	59	10
5	416	28	30	98	12	55	69	10	80	59	10
6	352	25	31	96	12	56	69	10	81	58	10
7	307	22	32	94	12	57	68	10	82	58	10
8	272	21	33	92	12	58	67	10	83	57	10
9	225	19	34	91	11	59	67	10	84	57	10
10	225	18	35	89	11	60	66	10	85	57	10
11	207	17	36	87	11	61	66	10	86	57	10
12	193	16	37	86	11	62	65	10	87	56	10
13	181	16	38	85	11	63	65	10	88	56	10
14	171	16	39	83	11	64	64	10	89	56	10
15	162	15	40	82	11	65	64	10	90	56	10
16	154	15	41	81	11	66	63	10	91	56	10
17	147	14	42	80	11	67	63	10	92	55	10
18	140	14	43	79	11	68	63	10	93	55	10
19	135	14	44	78	11	69	62	10	94	55	10
20	130	13	45	77	11	70	62	10	95	55	10
21	125	13	46	76	11	71	62	10	96	54	10
22	121	13	47	75	11	72	61	10	97	54	10
23	117	13	48	74	11	73	61	10	98	54	10
24	113	13	49	74	11	74	60	10	99	54	10
25	110	13	50	73	11	75	60	10	100	54	10

从表 4 结果看出，当稻田中白背飞虱虫口密度 < 1 头/丛时，取概率保证值 $t = 1.96$，允许误差 $D = 0.1$、0.2、0.3、0.4、0.5 时，其理论抽样数依次为1 940、105、47、26、17。当白背飞虱密度在 5 头/丛时，所需抽样数分别为 416、28、12、7、4。而当白背飞虱密度在 10 头/丛以上时，其理论抽样数随虫口密度的升高而平稳下降，虫口密度越高，理论抽样数越少。综合比较 5 个模型，在稻田白背飞虱虫口密度较低，即低于每样方 5 头时，以模型(2)、模型(3)较为适宜，在虫口密度较高，即每样方在 10 头/丛以上时，即百丛虫量为1 000头以上时，以模型(2)、模型(1)较宜。综合近年来白背飞虱在云南各稻区的发生危害情况，对该虫的总体理论抽样以模型(2)理论抽样为宜，即当白背飞虱虫口密度 5 头/丛时，抽查 30 个样方；每样方虫口密度 10 头/丛时，抽查 20 个左右的样方；每样方虫口密度 20 头/丛以上，抽查 15 个左右样方。

3 结论与讨论

3.1 根据 Taylor 幂法则和 Iwao 回归方程，白背飞虱低龄若虫在云南元阳哈尼民族选育的不同传统品种水稻田内呈负二项分布，其公共 K 值为 3.53。该结果与叶正襄和黄荣华[14]、黄荣华等[15]及周强等[16]报道的杂交稻及其它水稻品种上的空间分布结果一致，表明白背飞虱在稻田内的空间分布型不受水稻品种的影响。同时，根据文献报道，不同水稻品种对白背飞虱产卵[30]、若虫[31,32]的影响不同，有些水稻品种对白背飞虱若虫还具有一定的忌避性[33]，白背飞虱在不同类型水稻品种间，其若虫的种内密度效应存在一定的差异[32]。这也许正是在该梯田不同品种稻田白背飞虱若虫聚集度间差异显著的重要原因。此外，施肥水平也是影响水稻上白背飞虱种群的重要因素[34,35]，然而在该梯田稻作生态系统中，哈尼民族至今仍保持着传统的耕种模式，梯田中由于四季山水长流，除施用农家肥外，未施用任何氮肥。因此，不同品种田拥挤度及聚集指标的差异可能是由于不同品种对白背飞虱的抗性作用所致。由此，该研究也为抗白背飞虱品种的筛选提供了一定的依据。

3.2 白背飞虱作为稻飞虱中的一种重要种类，稻种资源抗白背飞虱的筛选鉴定一直是稻飞虱研究的重要内容，我国已筛选鉴定出许多抗性材料[36~40]。元阳哈尼民族选育的传统水稻品种，已在该梯田中连续种植了 200 多年，然而，在该系统中，该虫的虫口密度明显低于其它杂交稻区。不同品种田白背飞虱聚集度的差异，为抗性品种的筛选提供了参考，由此，对于该系统中不同水稻品种对白背飞虱生物学特性的影响将是筛选抗性品种及进一步明确其在不同品种田聚集差异的重要途径。

3.3 本研究中，根据云南元阳哈尼梯田传统水稻品种上白背飞虱低龄若虫在 16 种本地品种稻田的空间分布格局及其理论抽样数量，综合得出当白背飞虱虫口密度为每样方虫口密度 10 头/丛时，精度为 0.2 时的理论抽样数为 20 个左右，该结果与叶正襄和黄荣华[14]结果一致，然而，在相同的精度下，当在较低密度 5 头/丛时，需抽查 30 个样方；该结果与叶正襄和黄荣华[14]报道的理论抽样数存在一定差异，究其原因可能是由于水稻品种、施肥等条件不同，造成白背飞虱种群密度的差异，再加上白背飞虱若虫和成虫均存在明显的密度效应[41]，因此使不同品种田白背飞虱空间聚集度的差异而最终导致理论抽样数的差异。

参 考 文 献

1 Kisimoto R., Sogawa K. Migration of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* and the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* in East Asia: the role of weather and climate. In: Drake V. A., Gatehouse A. G. (eds.). Insect Migration: Tracking Resources Through Space and Time. Cambridge University Press, 1995. 67 ~ 91.

2 Kisimoto R. Synoptic weather conditions including long-distance immigration of planthoppers, *Sogatella firrcifera* Horvath and *Nilaparvata lugen* Stål. *Ecol. Entomol.*, 1976, **1** (2): 95 ~ 109.

3 Rosenberg L. J., Magor J. T. Flight duration of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Belpascide). *Ecol. Entomol.*, 1983, **8**(3): 341 ~ 350.

4 Furuno A. M., Chino A., Otuka T., *et al.* Development of a numerical simulation model for long-range migration of rice

planthoppers. *Agri. For. Meteorol.*, 2005, **133**(1/4):197 ~ 209.

5 Denno R. F., Roderick G. K. Population biology of planthoppers. *Annu. Rev. Entomol.*, 1990, **35**:489 ~ 520.

6 孙跃先,李正跃. 白背飞虱传播云南烟草丛枝症研究. 云南农业大学学报, 2000, **15**(2):112 ~ 114.

7 王荣富,程遐年,罗跃进,等. 褐飞虱与白背飞虱共栖时的互作效应. 应用生态学报, 1997, **8**(4):391 ~ 395.

8 林友伟,张晓梅,沈晋良. 亚洲稻区白背飞虱抗药性研究进展. 昆虫知识, 2005, **42**(1):28 ~ 30.

9 胡国文,宋祥松. 四种杂交稻组合对白背飞虱种群消长的影响. 植物保护学报, 1990, **17**(2):145 ~ 148.

10 朱明华,胡国文. 白背飞虱种群动态研究. 昆虫知识, 1990, **27**(5):257 ~ 260.

11 黄次伟,冯炳灿,陈建华. 水稻品种对白背飞虱种群增长的影响. 昆虫知识, 1994, **31**(4):196 ~ 198.

12 Kemp W. P., Kalaris T. M., Quimby W. F. Rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) spatial variability: macroscale population assessment. *J. Econ. Entomol.*, 1989, **82**(5):1 270 ~ 1 276.

13 Schotzko D. J., Kundesen G. R. Use of geostatistics to evaluate a spatial simulation of Russia wheat aphid (Homoptera: Aphididae) movement behavior on preferred and nonpreferred hosts. *Environ. Entomol.*, 1992, **21** (6): 1 271 ~ 1 282.

14 叶正襄,黄荣华. 白背飞虱低龄若虫空间分布参数的特征及运用. 江西农业学报, 1991, **3**(2):125 ~ 131.

15 黄荣华,叶正襄,秦厚国,等. 白背飞虱低龄若虫盛期序贯抽样技术的研究. 江西农业学报, 1992, **4**(1):57 ~ 61.

16 周强,张润杰,古德祥. 白背飞虱在稻田内空间结构的分析. 昆虫学报, 2003, **46**(2):171 ~ 177.

17 《元阳县志》编纂委员会. 元阳县志. 贵阳:贵州民族出版社, 1990. 94 ~ 127.

18 王清华. 梯田文化论. 昆明:云南大学出版社, 1999. 17.

19 高东,王云月,何霞红,等. 元阳白脚老粳水稻地方品种内遗传异质性及意义. 分子植物育种, 2009, **7**(2):283 ~ 291.

20 林菁菁,李进斌,朱有勇,等. 云南元阳哈尼梯田稻瘟病菌遗传多样性分析. 植物病理学报, 2009, **39**(1):43 ~ 51.

21 David F. N., Moore P. G. Notes on contagious distribution in plant population. *Ann. Bot.*, 1954, **18**(1):47 ~ 53.

22 Lloyd M. Mean crowding. *J. Animal Ecology*, 1967, **36**(1):1 ~ 30.

23 徐汝梅. 昆虫种群生态学. 北京:北京师范大学出版社, 1987.

24 Kuno E. Use of the regression of mean crowing on mean density for estimating sample size and the transformation of data for analysis of variance. *Res. Popul. Ecol.*, 1968, **10**(2):210 ~ 214.

25 丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京:科学出版社, 1980.

26 Iwao S. Application of the $m^* - m$ method to the analysia of spatial patterns by changing the quadrat size. *Res. Popul. Ecol.*, 1972, **14**:79 ~ 128.

27 Taylor L. R. Aggregation variance and the mean. *Nature*, 1961, **189**(4 766):732 ~ 735.

28 Iwao S. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Res. Popul. Ecol.*, 1968, **10**(1):1 ~ 20.

29 唐启义,胡国文,唐健,等. 白背飞虱猖獗频率增加与杂交稻面积增加的关系分析. 西南农业大学学报, 1998, **20**(5):456 ~ 459.

30 俞晓平,巫国瑞,胡萃. 不同水稻品种对白背飞虱产卵的影响. 浙江大学学报(农业与生物科学版). 1990, **16**(1): 61 ~ 65.

31 胡国文,谢明霞,汪毓才. 对我国白背飞虱的区划意见. 昆虫学报, 1988, **31**(1):42 ~ 48.

32 赵伟春,程家安,娄永根,等. 褐飞虱和白背飞虱对不同飞虱取食后稻株的选择性. 植物保护学报, 2000, **27**(3):193 ~ 198.

33 胡国文,毛立新,唐健,等. 水稻品种对白背飞虱的拒性和抗生性研究初报. 中国水稻科学, 1988, **2**(2):79 ~ 84.

34 蒋明星,程家安. 不同施肥水平对水稻上白背飞虱种群的影响. 中国水稻科学, 2003, **17**(3):270 ~ 274.

35 Kajimura T. Effect of organic rice farming on planthoppers: reproduction of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). *Res. Popul. Ecol.*, 1995, **37**(2):219 ~ 224.

36 陈德茂. 水稻新品种 79 ~ 16、遵籼 3 号对白背飞虱抗性鉴定. 贵州农业科学, 1985, (3):33 ~ 37.

37 广西农科院植保所稻虫组、品资所野生稻组. 野生稻对褐飞虱和白背飞虱的抗性鉴定. 昆虫知识, 1992, **29**(1):5 ~ 7.

38 肖英方,杜正文. 几个粳稻品种抗白背飞虱的研究. 昆虫学报, 1989, **32**(3):286 ~ 291.

39 周祖铭. 水稻品种抗白背飞虱筛选鉴定的初步研究. 植物保护学报, 1987, **14**(3):163 ~ 168.

40 焦晓国,崔旭红,张国安. Bt 水稻对田间非靶标害虫种群动态的影响. 昆虫知识, 2006, **43**(6):774 ~ 777.

41 秦厚国,叶正襄,黄荣华,等. 白背飞虱种群密度效应的研究. 江西农业学报, 1992, **4**(2):130 ~ 133.