文章编号：1005-0906(2008)03-0117-04

普通型玉米锈病菌孢子飞散、传播及空间分布研究

王艳红[1,2],姜兆远[1],温嘉伟[1],黄福杰[1],见德宝[1],杨信东[1]
(1.吉林农业大学农学院,长春 130118；2.吉林农业大学农业部参茸质检中心,长春 130118)

摘　要：对吉林省普通型玉米锈病菌孢子飞散、传播及空间分布进行了研究。结果表明：锈菌夏孢子白天飞散数量略多于夜间；小雨天捕获的孢子数量可比晴天多 2 倍左右。空中孢子密度随高度的增加而递减，高度(x)和孢子数量(y)的关系可用指数方程 y=19.24exp(-0.027 89x)描述。在锈病的近程传播中，距菌源区距离(d_i)和锈病的发病程度(x_i)的关系呈 S 型曲线，顺风向传播梯度可用 X_i=505.27exp(-0.058 3d_i)描述；侧风向传播梯度可用 X_i=988.32exp(-0.115 9d_i)描述。在菌源较多情况下，玉米锈病在 1 个月时间内顺风向传播距离大约为 90～100 m；侧风向传播距离为 50～60 m。玉米生育后期锈病在田间的分布呈聚集分布。

关键词：玉米；锈病；孢子飞散；传播梯度；空间分布
中图分类号：S435.131　　　　**文献标识码**：A

Studies on Spores Flying Disease Gradient and Space Distribution of Corn Common Rust

WANG Yan-hong[1,2], JIANG Zhao-yuan[1], WEN Jia-wei[1], HUANG Fu-jie[1], et al.
(1. *College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118;
2. *Ministry of Agricultural Ginseng and Pilose Antler Testing Center in Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, China)

Abstract: Spores flying disease gradient and space distribution of corn common rust in Jilin province were studied. The results showed that numbers of flying uredospores in the daytime is slightly more than that in the night. The numbers of uredospores captured in light rain days is more two times than that in sunny. The density of the rust spores in the air diminishes with the increase of height. The relation between height(x) and the number of spores(y) can be described by regression equation, y=19.24exp(-0.027 89x). The relation curve between distance(d_i) and number of lesions(x_i) is a S pattern in the short distance spread of the corn rust. The regressive equation of downwind to spread was X_i=505.27exp(-0.058 3d_i) and regressive equation of side wind was X_i=988.32exp(-0.115 9d_i). The distance of the disease spread is about 90 - 100 metres in the same direction as the wind, but 50 - 60 metres in the side direction in a month. Space distribution model of the disease is gathered in the field.

Key words: Corn; Rust; Spores flying; Disease gradient; Space distribution

玉米锈病是一种世界性病害，在我国南、北方均有发生报道[1]。在北方发生程度轻于南方，但严重时也可造成大面积减产[2]。到目前为止，已发现的玉米锈病有 3 种类型：由玉米柄锈菌(*Puccinia sorghi* Schw.)引起的普通型玉米锈病；由多堆柄锈菌(*Puccinia polysora* Undrew)引起的南方型玉米锈病；由玉米壳锈菌[*Physopera zeae* (Mains) Cummins et Ramachur]引起的热带玉米锈病[3]。普通型玉米锈病是吉林省及我国北方玉米发生的主要类型。国内对玉米锈病的研究已有报道[4～9]，但对普通型玉米锈病的系统流行学研究很少报道[10]。本文对普通型玉米锈病的若干重要流行环节及玉米锈病孢子飞散、传播及空间分布型进行了初步定量研究。

收稿日期：2007-09-19；**修回日期**：2007-11-12
作者简介：王艳红，女，在读博士，从事植物病理学研究。
杨信东为本文通讯作者。

1　材料与方法

试验安排在吉林农业大学实验站植保专业教学基地进行，菌源由吉林农业大学农学院植病教研室提供，室内实验在吉林农业大学农学院植物病理实验室进行。

1.1　锈菌夏孢子的飞散

1.1.1　白天与夜晚孢子飞散数量差异的测定

在发生较重锈病的地点进行孢子捕捉。捕捉器皿用 3 个盛有清水的培养皿，捕捉时间为每天早上 7 时到晚上 7 时(测定白天孢子飞散数量),晚上 7 时到次日早上 7 时(测定夜晚孢子飞散数量),捕捉后镜检观察培养皿捕捉到的孢子数，每次观察培养皿内 50 个视野,计算平均每个视野中的夏孢子数。重复 3 次,对比白天与夜晚孢子飞散数量的差异。

1.1.2　孢子飞散后在空中的垂直分布

7 月下旬在田间锈菌夏孢子散布较多时，从田间采 4 株没有发生锈病的玉米，用显微镜观察其不同高度叶片上着落的锈菌夏孢子数并记录。每个高度观察 50 个视野,计算平均每个视野中夏孢子个数。

1.2　锈病的近程传播

在菌源中心发病 1 个月后，从菌源中心开始分别对锈菌的顺风向传播和侧风向传播做调查。记录每个调查样点距菌源中心的距离及其中 5 个玉米植株上的锈菌孢子堆数，最后用回归分析方法对调查数据进行拟合,得到相关数学模型。

1.3　锈病的空间分布型及理论抽样数

2003 年和 2004 年进行了锈病的空间分布型调查。2003 年是在自然发病的田间进行调查;2004 年是在人工接种田附近被接种田菌源传染而发病的田块进行调查。每次均随机调查 300 株玉米,记录每株玉米上的锈病夏孢子堆数，计算锈病夏孢子堆的平均值 $\bar{X}$、S^2 和平均拥挤度 $\overset{*}{x}$。根据 $C=S^2/\bar{X}$ 或 $\overset{*}{x}$ 和 $\bar{X}$ 的比值来判断玉米锈病的空间分布型，并利用 $\overset{*}{x}-\bar{X}$ 回归方程中的 α、β 值来计算理论抽样数。

2　结果与分析

2.1　锈菌夏孢子的飞散

2.1.1　白天与夜晚孢子飞散的数量差异

由表 1 可以看出，锈病夏孢子白天比晚上飞散数量多 50%，小雨天捕获孢子数量为晴天的 3 倍。表明小雨天植株表面会有更多的孢子着落下来,增加了病害发生的机会。表 1 调查时间为 7 月份的 22 日早至晚(白天,晴)、24 日早至晚(白天,晴)、24 日晚至 25 日早(夜间,晴)、25 日晚至 26 日早(夜间,晴)、27 日晚至 28 日早(夜间,雨)、28 日早至晚(白天,雨)、28 日晚至 29 早(夜间,雨)。

表 1　白天和夜晚孢子捕捉量的差异

Table 1　The discrepancy of numbers of spores captured in the daytime and in the night

调查次数 Investigation number of times	捕捉到的孢子数(平均每培养皿 50 个视野孢子数) The numbers of spores captured (fifty spores per cultivation container)			
	白天 Daytime		夜间 Nighttime	
	晴 Sunny	小 雨 Rainy	晴 Sunny	小 雨 Rainy
1	15.3	53.7	11.3	30.5
2	23.3		13.3	36.7
合计	38.6	53.7	24.6	67.2

2.1.2　孢子飞散后在空中的垂直分布

表 2 中结果显示,随着高度增加,空中孢子数量减少,高度(X)和孢子数量(Y)的关系为指数曲线,其回归方程为:

Y=19.24exp(−0.027 89X)，r=−0.998 3。

表 2　锈菌夏孢子在不同垂直高度的分布

Table 2　The distribution of spores in different height

叶片距地面高度(cm) Distance between leaf and ground	叶面上平均每个视野孢子数(个) The numbers of spores per field of vision on the leaf
135	0.43
100	1.19
70	2.83
40	6.94
20	9.96

2.2　锈病的近程传播

对表 3 中调查数据进行回归分析，得到回归方程:X_i=505.27exp(−0.058 3d_i),r=−0.921 6

式中 X_i 表示距菌源中心距离为 d_i 时锈病的发病程度。锈病的顺风向传播梯度见图 1。

把玉米锈病的“实查可得最小病情”定为每株玉米上形成 2 个夏孢子堆，则玉米锈菌在 1 个月时间内顺风向传播距离大约为 90 ~ 100 m。

对表 4 中调查数据进行回归分析，得到回归方程:X_i=988.32exp(−0.115 9d_i),r=−0.972 3

式中 X_i 表示距菌源中心距离为 d_i 时锈病的发病程度。锈病的侧风向传播梯度见图 2。

表 3　锈菌的顺风向传播调查数据及拟合数据

Table 3　Investigation data and fitting data of spores downwind to spread

距菌源中心距离(m) Distance to rust source center	单株孢子堆调查数(个) Investigation number in a pile of spores	单株孢子堆拟合数(个) Fitting number in a pile of spores	距菌源中心距离(m) Distance to rust source center	单株孢子堆调查数(个) Investigation number in a pile of spores	单株孢子堆拟合数(个) Fitting number in a pile of spores
5	402.0	377.5	86	1.7	3.4
14	184.8	223.4	95	1.2	1.9
23	108.2	132.2	104	0.4	1.2
32	20.6	78.3	113	1.2	0.7
41	21.6	46.3	122	4.2	0.4
50	10.2	27.4	131	1.8	0.3
59	4.8	16.2	140	0.2	0.2
68	6.8	9.6	149	1.0	0.1
77	6.0	5.7	158	0.1	0.1

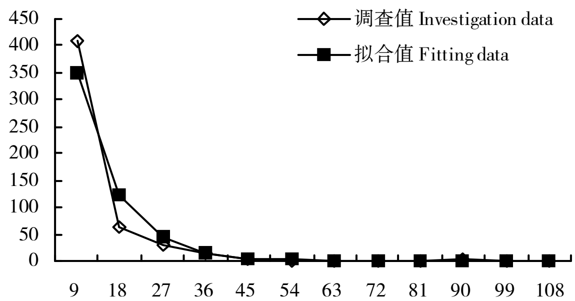

图 1　玉米锈病顺风向传播梯度

Fig.1　Tendency of maize rust with down wind to spread

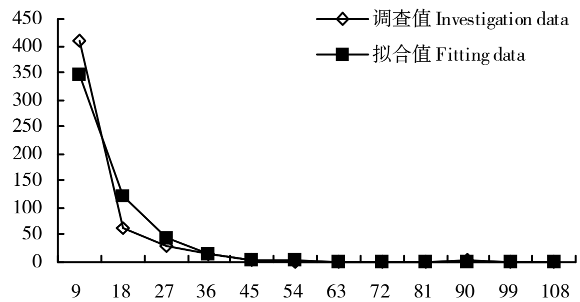

图 2　玉米锈病侧风向传播梯度

Fig.2　Tendency of maize rust with side wind to spread

表 4　锈菌的侧风向传播调查数据及拟合数据

Table 4　Investigation data and fitting data of uredospores side wind to spread

距菌源中心距离(m) Distance to rust source center	单株孢子堆调查数(个) Investigation number in a pile of spores	单株孢子堆拟合数(个) Fitting number in a pile of spores	距菌源中心距离(m) Distance to rust source center	单株孢子堆调查数(个) Investigation number in a pile of spores	单株孢子堆拟合数(个) Fitting number in a pile of spores
9	409.8	348.6	72	1.8	0.9
18	63.7	123.1	81	0.4	0.7
27	28.0	43.8	90	2.6	0.6
36	15.8	15.8	108	0.8	0.6
45	4.4	6.1	117	1.0	0.5
54	1.0	2.5	126	1.2	0.5
63	1.8	1.3	135	0.4	0.5

以玉米锈病的“实查可得最小病情”为每株玉米上形成 2 个夏孢子堆，则玉米锈菌在 1 个月时间内侧风向传播距离大约为 50～60 m。

2.3　玉米锈病的空间分布及理论抽样数

采用空间分布型指数法(扩散系数 C、集聚指数 $\overset{*}{x}/\bar{X}$ 和 $\overset{*}{x}-\bar{X}$、回归方程中的 β 值)判断玉米锈病的空间分布型。即：扩散系数 C>1、集聚指数 $\overset{*}{x}/\bar{X}>1$、β>1 均可证明空间分布型为集聚分布。

2003 年调查数据计算结果后得到 $\bar{X}$=97.85，S^2=21 308.11，扩散系数 $C=S^2/\bar{X}$=21 308.11/97.85=217.7>1，表明在玉米生育后期，锈病的空间分布型为集聚分布。2004 年共调查 2 个地点，第一个地点的 $\overset{*}{x}$=30.93，$\bar{X}$=8.23，$\overset{*}{x}/\bar{X}$=3.76>1；第二地点的 $\overset{*}{x}$=8.69，$\bar{X}$=1.24，$\overset{*}{x}/\bar{X}$=7.01>1。两个点计算所得值均大于 1，所以均为

聚集分布($\overset{*}{x}$ 为平均拥挤度,$\bar{X}$ 为平均数)。利用两年调查数据进行 $\overset{*}{x}-\bar{X}$ 回归分析,得 $\overset{*}{x}=4.8166+3.1661\bar{X}$,可知 α=4.816 6;β=3.166 1,按 β>1 则空间分布型也为集聚分布。

利用 $\overset{*}{x}-\bar{X}$ 回归分析结果,可以确定理论抽样数。Iwao(1971)提出确定理论抽样数的公式:$n= t^2/D^2\times[(\alpha+1)/\bar{X}+\beta-1]$。其中,$n$ 为理论抽样数,D 为允许误差 (在此为标准差对平均数的比值,表示相对精确度)α、β 为 $\overset{*}{x}-\bar{X}$ 回归方程中的常数项和 $\bar{X}$ 的系数,t 为数理统计中 t 测验的 t 值,通常取 t=1.96。

根据本研究,玉米锈病 α=4.816 6,β=3.166 1,若将 D 定为 0.1,则可计算出玉米锈病在不同发病程度下进行田间调查所需要的理论抽样数(表 5)。

表 5 玉米锈病不同发病程度下的理论抽样数

Table 5 The theory sampling number of different falling ill level in corn common rust

$\bar{X}$	D(0.1)	$\bar{X}$	D (0.1)
1	3 066.6	120	850.7
2	1 949.4	150	847.0
5	1 279.0	200	843.3
10	1 055.6	400	837.7
20	943.8	600	835.8
40	888.0	800	834.9
80	860.0	1 000	834.3

由表 5 可见,由于玉米锈病表现为集聚分布,且 α=4.816 6 为一个较大的正数,所以玉米锈病的田间调查理论抽样数较大,一般要求调查 800 ~ 1 000 株才能保证调查结果的可靠性。

3 结论与讨论

(1)研究结果表明,锈菌孢子白天飞散数量较夜间略多,小雨天捕获孢子数较晴天多 2 倍,由于大量孢子都被雨滴携带而下落,因此在试验中表现为捕获的孢子数较晴天多。如果是大雨天,则孢子大量被雨滴冲刷走,则捕获的孢子数不会较晴天多。

(2)锈病的近程传播、幂函数和指数模型直接拟合锈菌的顺风向传播和侧风向传播调查数据效果均不理想, 主要问题是在病害发生较重的点拟合数据偏低,采用了“增设虚拟数据”的回归分析方法,即在病害发生较重点的外延部分增设虚拟点,令该点的发病程度特别高(麦考法),从而使各病害发生较重点的拟合数据偏差显著变小。整个回归方程的相关系数可提高 10 个百分点以上。

(3)据推测,吉林省玉米锈病的初侵染源应是外来菌源。一般来讲,外来菌源在田间分布应是随机分布。本试验结果为玉米锈病在田间呈聚集分布。其原因为外来菌源最开始着落于田间造成的病害可能是随机分布,但因为锈菌侵染后的潜育期仅为 5 ~ 7 d,很快就可在田间形成子代、孙代病斑,子代、孙代病斑必然和亲代病斑距离较近。因此,玉米生育后期锈病的田间分布表现为集聚分布。

参考文献:

[1] 刘玉瑛,石 洁,王庆雷 . 1998 年河北省发生南方型玉米锈病[J] . 植物保护,1999,25(6):53 .

[2] Scott G E, King S B, Armour J W. Inheritance to southern corn rust in maize populations [J]. Phytopatholgy 1962,52: 1010-1012.

[3] 叶忠川 . 玉米锈病之研究[J] . 中华农业研究,1986,35(1):81-93 .

[4] 马桂珍,暴增海 . 玉米锈病的研究初报[J] . 河北农业技术师范学院学报,1994,8(3):70-75 .

[5] 马桂珍,暴增海,杨文兰 . 玉米锈病初侵染源的研究[J] . 河北农业技术师范学院学报,1994,17(4):100-102 .

[6] 段定仁,等 . 海南岛玉米上的多堆柄锈菌[J] . 真菌学报,1984,3(2):125-126 .

[7] 梁克恭,吴小菲 . 我国玉米锈病的发生与危害情况[J] . 植物保护,1993,19(5):34 .

[8] 阮义理,胡务义,何万娥 . 玉米多堆柄锈菌的生物学特性[J] . 玉米科学,2001,9(3):82-85 .

[9] 刘国宁,温嘉伟,见德宝,等 . 吉林省玉米锈病发病规律若干问题的研究[J] . 玉米科学,2005,13(3):106-108 .

(责任编辑:张 英)