

苹果树叶片上锈病斑的空间分布特征

唐晓琴, 卢杰, 臧建成

(西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000)

摘要: 苹果树为藏东南地区经济林的主要树种, 近年来锈病危害严重。以藏东南地区苹果树为研究对象, 基于野外调查, 采用扩散系数 C 、Morisita 指数 I 、Cassie 指标 Ca 、平均拥挤度 M^* 、Lloyd 聚块性指标、负二项参数 K 、Iwao 回归分析法、Taylor 幂指数方法, 研究了藏东南工布自然保护区苹果树叶片上锈病的空间分布格局规律。结果表明: 苹果树叶片上锈病斑数量表现为树中部 > 树下部 > 树上部, 树西面 > 树东面 > 树北面 > 树南面。锈病斑数量在苹果树叶片上中部占 39.33%, 其中左中部占 19.32%、右中部为 20.01%; 叶下部占 31.53%, 其中左下部为 15.37%、右下部为 16.16%; 叶上部占 29.14%, 其中左上部为 14.70%、右上部为 14.44%。叶左边占 49.39%, 右边占 50.61%。苹果树叶片上锈病斑主要以 10~40 个聚集的形式存在。以 $30 \leq b < 40$ 为最多, 锈病斑数量占总锈病斑数比率的 17.36%。苹果树叶片上锈病斑空间分布呈聚集型, 但聚集强度不大, 锈病斑个体群大小不是一成不变的, 而是随着锈病斑密度的增加而增大, 其平均个体群大小为 48.42。苹果树叶片上锈病斑的空间格局 Iwao $M^* - m$ 回归模型为 $M^* = 0.9972 + 5.6868m (R^2 = 0.9999)$, Taylor 幂模型为 $\log(S^2) = 0.1483 + 1.6332 \log m (R^2 = 0.9568)$, 2 个模型均判定锈病斑在所有密度下均呈聚集分布, 随着锈病斑密度增大, 聚集强度也增大。

关键词: 苹果树; 锈病斑; 空间分布特征; 工布自然保护区; 西藏

中图分类号: S 436.611.1⁺9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)08-0119-05

苹果锈病 (*Gymnosporangium yamadae*) 又称苹果赤星病、羊胡子, 因其秋冬为害桧柏, 春夏为害苹果, 又称苹果桧锈病。苹果锈病病原为苹果东方胶锈

菌或称山田胶锈菌, 属于担子菌亚门冬孢菌纲锈菌目。苹果锈病菌除为害苹果外, 还可为害海棠、沙果、山定子等, 该病害近年来发生普遍, 危害严重, 并呈逐年上升趋势。目前苹果锈病在许多苹果产区大面积发生, 严重时, 叶片大量变黄脱落, 果实畸形, 对苹果的树势、产量、品质和花芽分化均造成不同程度的影响^[1-5]。近年来山东、陕西、甘肃等苹果主产区不断出现新的发病区, 且发病程度逐年加重, 已成为苹果上的一种主要病害^[6-11]。经济林产业为藏东南

第一作者简介: 唐晓琴(1977-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为植物保护。E-mail: 74143648@qq.com.

责任作者: 卢杰(1973-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为植物生态与植物保护。E-mail: tibetlj@163.com.

基金项目: 西藏自治区自然科学基金资助项目(2014-2015)。

收稿日期: 2016-12-05

Abstract: *Agrobacterium rhizogenes* strains of A4, C58C1, R1601, ATCC15834 were used to infect the explants of *Physalis pubescens* L., then the influences of different *Agrobacterium rhizogenes* species, explants types, different preculture times, different infection times and co-culture times and acetosyringone on hairy root induction rate were researched. Using PCR technique to identify the induced hairy roots. The results showed that *Agrobacterium rhizogenes* strains of A4, C58C1, R1601, ATCC15834 all could induce hairy roots, but inductivity of ATCC15834 was higher. The inductivity of leaf was higher than stem. The best induction conditions of hairy roots were preculturing for 2-3 days, infecting for 6-8 minutes, co-culturing for 2-3 days. Acetosyringone $100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ would be necessary to upgrade transformation frequencies. PCR detection results indicated that the *rolB* gene in Ri plasmid of *A. rhizogenes* had integrated into the genome of *P. pubescens* and been expressed.

Keywords: *Physalis pubescens* L.; *Agrobacterium rhizogenes*; hairy root; induction rate

地区经济发展的支柱产业之一,以苹果发展较快,分别占果树栽培面积和产量的 79%和 68%。但由于受气候、管理等因素的综合影响,苹果锈病大面积发生流行,并且有逐年加重的趋势。该病可引起 75% 以上的叶片长有病斑,导致叶片早枯,严重影响光合作用,幼果被害,造成畸形、落果,严重影响质量和产量^[12-13]。据调查病害发生较轻的果园一般减产 10%~20%,严重的达 50%以上。藏东南地区苹果树锈病发生较普遍,目前仅见对锈病发生情况及防治技术研究,该研究特对锈病斑在苹果树叶上的空间分布格局进行分析,以期保护好苹果树资源并对锈病的持续防治提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究地位于藏东南工布自然保护区,该区地处青藏高原南缘及其由西北向东南倾斜下降的地带,地理位置为东经 92°54'~94°53',北纬 28°39'~30°20',平均海拔 3 500 m 以上;以雅鲁藏布江和尼洋河交汇处为中心,包括了周边 19 个乡镇,面积为 21 558.16 km²。保护区属高原温带半湿润至半干旱

季风气候区,冬暖夏凉、干湿季分明。年平均温度 7℃以上、最热月平均气温 15.6℃,最冷月平均气温 -0.2℃,极端最低气温 -15.5℃,极端最高气温 29.2℃,≥0℃的积温为 2 300~3 200℃。年均日照时数 1 988.6 h,日照百分率 46%。年平均相对湿度 50%~75%,湿润系数 0.9~1.1,年平均降雨量 500~700 mm,年平均蒸发量 1 300~1 700 mm,降雨主要集中于 6—9 月、占 75%以上,无霜期 150 d 以上。保护区土壤主要有高山寒漠土、高山草甸土、亚高山草甸土、灰褐土、暗棕壤、棕壤和褐土等类型^[14]。

1.2 试验材料

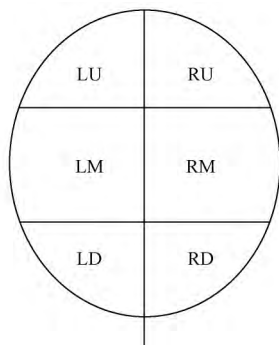
研究对象为藏东南工布自然保护区未进行防治的苹果树,近年来锈病危害严重。

1.3 试验方法

对 6 个样点的 60 株苹果树叶上锈病斑进行调查统计(表 1)。每株树分树下部、树中部和树上部 3 个方位,每个方位按东、西、南、北 4 个方向,每个方位方向采 5 片叶,带回实验室。根据叶片宽度和长度,将叶长 3 等分,叶宽按中脉 2 等分,共划分 6 个区(图 1),分别记录各区中锈病斑数量,统计锈病斑的频次分布。

表 1 调查样点苹果树的基本情况
Table 1 Basic characteristics of apple trees in sample sites

样点号 No.	胸径 DBH/cm	树高 Tree height/m	枝下高 Height under branch/cm	冠幅 Crown width/m			
				东 East	南 South	西 West	北 North
1	21.5±5.1	4.3±1.1	120.1±4.3	1.4±0.3	1.7±0.5	1.8±0.4	1.5±0.3
2	18.4±3.2	3.7±1.3	131.2±2.2	2.1±0.2	1.2±0.3	1.8±0.3	2.7±0.5
3	15.7±3.3	3.3±0.9	143.8±3.9	1.9±0.3	1.5±0.1	1.4±0.2	1.6±0.3
4	12.9±2.5	3.0±0.8	133.4±3.4	1.7±0.1	1.3±0.2	1.6±0.4	0.9±0.1
5	14.0±2.1	3.1±1.2	140.4±4.1	1.4±0.5	2.1±0.3	1.7±0.4	1.6±0.3
6	17.3±3.6	3.7±1.4	141.9±3.8	1.6±0.3	1.8±0.2	1.5±0.3	1.7±0.4



注:LU,左上部;RU,右上部;LM,左中部;RM,右中部;LD,左下部;RD,右下部。

Note:LU, Left upper;RU, Right upper;LM, Left middle;RM, Right middle;LD, Left down;RD, Right down.

图 1 苹果树叶片分区

Fig 1 Leaf division of apple tree

1.4 数据分析

先求得各样本的锈病斑平均密度(m)、方差(S²)等特征数,应用扩散系数 C、Morisita 指数 I(聚集度指标或丛生指标)、Cassie 指标 Ca、平均拥挤度 M*、Lloyd 聚块性指标、负二项参数 K、丁岩钦的个体群指数 L、回归系数(M* = α + βm)以及 Taylor 幂模型等分布型指数法分析空间分布格局,采用 Blackith 聚集均数 K 确定聚集原因^[15-19]。

2 结果与分析

2.1 锈病斑在苹果树上的分布规律

由图 2 可知,锈病斑数量表现为树中部(36.54%)>树下部(33.62%)>树上部(29.84%)。树西面(26.29%)>树东面(26.05%)>树北面(25.42%)>树南面(22.24%)。呈现出此分布格局,主要是受锈病生物学及环境因素的影响。

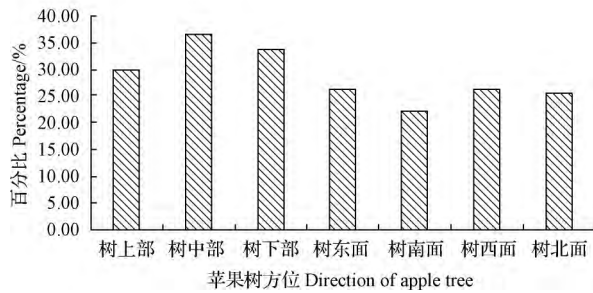


图2 苹果树不同方位锈病斑分布

Fig 2 Distribution of *G. yamadae* spots on leaves of apple tree at different directions

2.2 锈病斑在苹果树叶片上的分布规律

该研究把苹果树叶划分为6个区(图1),统计发现,苹果树叶片上锈病斑分布具有明显的规律。总体上,叶中部锈病斑数量占的比例最大,为39.33%,其中左中部(LM)为19.32%、右中部(RM)为20.01%;其次是叶下部为31.53%,其中左下部(LD)

表2 苹果树叶片上锈病斑频次分布

Table 2 Frequency distribution of *G. yamadae* spots on apple tree leaves

数量级别 Number level(b)	出现频次 Occurrence frequency	频次比率 Frequency ratio/%	锈病斑数量 Spots number	锈病斑比率 Spots ratio/%	锈病斑累计比率 Accumulate ratio/%
1≤b<10	35	9.72	230	1.53	1.53
10≤b<20	65	18.06	1 000	6.64	8.16
20≤b<30	55	15.28	1 380	9.16	17.32
30≤b<40	75	20.83	2 615	17.36	34.68
40≤b<50	30	8.33	1 355	8.99	43.68
50≤b<60	30	8.33	1 670	11.09	54.76
60≤b<70	5	1.39	335	2.22	56.99
70≤b<80	25	6.94	1 830	12.15	69.13
80≤b<90	5	1.39	435	2.89	72.02
90≤b<100	5	1.39	455	3.02	75.04
100≤b<110	10	2.78	1 015	6.74	81.78
110≤b<120	5	1.39	585	3.88	85.66
120≤b<130	5	1.39	630	4.18	89.84
b≥130	10	2.78	1 530	10.16	100.00

2.4 锈病斑空间分布参数

以苹果树1个叶片为1个样本,计算出锈病斑

为15.37%、右下部(RD)为16.16%;叶上部锈病斑数量占的比例较小,为29.14%,其中左上部(LU)为14.70%、右上部(RU)为14.44%。叶左右两边锈病斑数量比例相近,左边为49.39%,右边为50.61%。

2.3 锈病斑频次的分布规律

由表2可知,共调查到锈病斑的总频次为360,其中30≤b<40锈病斑聚集存在的频次为75,占总频次的20.83%,以10≤b<20和20≤b<30锈病斑聚集在一起的形式出现的频次分别为65和55,占18.06%和15.28%,这3个级别频次累计占总频次50%以上,说明锈病斑主要以10~40个聚集的形式存在。以60个以上锈病斑聚集形式存在的相对较少。从各级别中锈病斑数量结果看,以30≤b<40为最多,锈病斑数量占总锈病斑数比率为17.36%。在70≤b<80、50≤b<60的也较大,分别占总锈病斑数的12.15%和11.09%。60≤b<70、80≤b<90、1≤b<10各级别锈病斑数量较少,在3%以下。

的空间格局指数(表3)。从空间格局指数可以看出,平均拥挤度平均值为47.42,丛生指数平均值为5.57,

表3 苹果树叶片上锈病斑空间分布参数

Table 3 Spatial distributed parameters of *G. yamadae* spots on apple tree leaves

项目 Item	平均密度 m	方差 S ²	扩散系数 C	Morisita 指数 I	Cassie 指标 Ca	平均拥挤度 M*	Lloyd 聚块性指标 L	负二项参数 K	个体群指数 L
1	96.42	622.37	6.45	5.45	0.06	101.87	1.06	17.68	102.87
2	30.67	207.08	6.75	5.75	0.19	36.42	1.19	5.33	37.42
3	33.17	205.25	6.19	5.19	0.16	38.36	1.16	6.39	39.36
4	32.00	200.08	6.25	5.25	0.16	37.25	1.16	6.09	38.25
5	28.67	199.25	6.95	5.95	0.21	34.62	1.21	4.82	35.62
6	30.17	206.05	6.83	5.83	0.19	36.00	1.19	5.18	37.00
平均值 Mean			6.57	5.57	0.16	47.42	1.16	7.58	48.42
标准误差 SE			0.32	0.32	0.05	26.71	0.05	4.98	26.71
分布判断 Distinguish			>1	>0	>0	>1	>1	<8	
分布型 Distribution type			聚集	聚集	聚集	聚集	聚集	聚集	

扩散指数平均值为 6.57, Cassie 指标平均值为 0.16, 由此可判定苹果树叶片上锈病斑空间分布呈聚集型, 但 K 值较大, 为 7.58, 说明锈病斑聚集强度不大。根据丁岩钦^[19]提出的个体群大小指数 $L=1+m+m/k$ 计算出不同密度下个体群指数 L 值。结果表明, 锈病斑个体群大小不是一成不变的, 而是随着锈病斑密度的增加而增大, 其平均个体群大小为 48.42。

2.5 锈病斑的空间格局 Iwao M^*-m 回归模型

根据表 3 的数据建立锈病斑空间格局 Iwao 的平均拥挤度 (M^*) 和密度 (m) 的回归模型, 其回归方程为 $M^* = 0.9972m + 5.6868$ ($R^2 = 0.9999$) (图 3)。其中 $\alpha = 5.6868 > 0$, $\beta = 0.9972 \approx 1$, 说明锈病斑为聚集分布, 个体间相互吸引, 分布的基本成分是个体群。具体分布形式为一般负二项分布型。

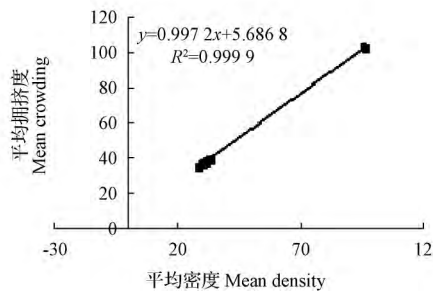


图 3 锈病斑平均密度与平均拥挤度关系
Fig 3 Relationship between mean density and mean crowding

2.6 锈病斑空间格局的 Taylor 幂模型

根据表 3 数据建立的锈病斑空间格局的 Taylor 幂模型为 $\log(S^2) = 0.1483 + 1.6332 \log m$ ($R^2 = 0.9568$) (图 4)。根据 $\log a = 0.1483 > 0$, $b = 1.6332 > 1$, 可知在苹果树叶片上锈病斑在所有密度下都是聚集分布, 聚集程度具有密度依赖性, 即随着锈病斑密度增大, 聚集强度也增大。

3 结论与讨论

采用野外调查及室内统计分析法, 对工布自然保护区苹果树上锈病斑的分布规律研究发现, 苹果树叶片上锈病斑数量在树冠不同部位和方位差异显著, 以树冠的中部和树冠的东面与西面最多。卜玉强等^[16]研究表明, 栗瘦蜂虫瘿数量在板栗树冠的不同部位和方位差异亦显著, 但以树冠下部和树冠南面最多。研究病虫在寄主叶片上的分布规律时, 常根据病虫大小及寄主叶片形状将叶片划分为不同区域, 该研究把苹果树叶划分为 6 个区域, 而研究刺桐

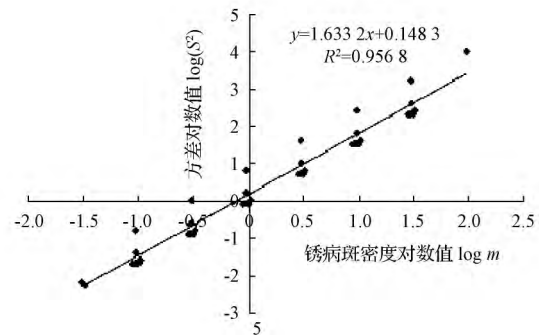


图 4 锈病斑密度和方差之间 Taylor 幂模型
Fig 4 Taylor model for density of *G. yamadai* spots and variance

姬小蜂虫瘿在寄主叶片上的分布规律时, 分别把鸡冠刺桐、杂色刺桐和南非刺桐的叶片划分为 12 个区域^[17-18, 20]。锈病斑在苹果树叶片上主要以 10~40 个聚集的形式存在, 以 $30 \leq b < 40$ 为最多, 占总锈病斑数的 17.36%。锈病斑在苹果树叶片上呈聚集型, 但聚集强度不大, 聚集程度具有密度依赖性, 即随着锈病斑密度增大, 聚集强度也增大。锈病斑在空间聚集既可能受环境因素影响, 也可由锈病本身的聚集行为特性造成, 应用聚集度均数 $K = m/2Kr$ 计算锈病斑群聚集均数, 发现锈病斑的聚集均数随密度增大而增大, 与密度明显相关, 通过 t 检验得到 K 值整体大于 2 ($P < 0.01$), 表明锈病斑的聚集除与环境因素有关外, 也与锈病聚集行为有关。

参考文献

- [1] 王佛生, 赵菊莲, 胡景平. 陇东黄土高原苹果锈病发病条件及预测预报研究[J]. 中国果树, 2014(1): 50-53.
- [2] 孙金卓. 苹果锈病发生规律与防治技术[J]. 河北林果, 2013(1): 39-40.
- [3] 杨颖, 贾中雄, 段峰, 等. 山西省临汾市苹果锈病大发生的调查与分析[J]. 山西果树, 2012(3): 38-40.
- [4] 卢凯洁, 赵多长, 伏松平. 苹果锈病严重发生原因及综合防治措施[J]. 中国果树, 2009(4): 67-68.
- [5] 王佛生, 赵菊莲, 胡景平. 陇东黄土高原苹果锈病研究新发现[J]. 陇东学院学报, 2014, 25(1): 49-53.
- [6] 梁俊江. 苹果锈病的发生与防治[J]. 现代农业科技, 2010(20): 202-203.
- [7] 苗桂英, 白彦缺. 延安市宝塔区苹果锈病发生与防治[J]. 现代园艺, 2011(15): 48-50.
- [8] 宋来庆, 赵玲玲, 于青, 等. 烟台地区主要苹果种质资源抗锈病能力鉴定初报[J]. 山东农业科学, 2010(5): 86-88.
- [9] 董向丽, 李海燕, 孙丽娟, 等. 苹果锈病防治药剂筛选及施药适期研究[J]. 植物保护, 2013, 39(2): 174-179.
- [10] 宋燕飞, 郭丽丽. 苹果锈病发病规律及防治方法[J]. 河北果树, 2014(1): 40-41.
- [11] 徐晓厚, 曲向新, 邹丹. 苹果锈病的发生规律及化学防治[J]. 植

物医生, 2011, 24(3):24-25.

[12] 王文娟, 薛永伟. 西藏林芝地区苹果锈病的发生及防治技术[J]. 西藏农业科技, 2009, 31(2):29-31.

[13] 王文娟, 薛永伟. 西藏林芝地区苹果锈病的发生及防治措施[J]. 河北农业科学, 2008, 12(10):29-30, 32.

[14] 卢杰, 郭其强, 郑维列, 等. 藏东南高山松种群结构及动态特[J]. 林业科学, 2013, 49(8):154-160.

[15] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987:7-60.

[16] 卜玉强, 郭素娟, 李文泉, 等. 栗瘿蜂虫瘿在板栗林内空间分布

格局研究[J]. 北方园艺, 2009(11):40-44.

[17] 杨洪珍. 榆树虫瘿空间分布格局的研究[J]. 林业勘查设计, 2012(2):58-59.

[18] 邓晓韶, 曾玲, 陆永跃, 等. 鸡冠刺桐叶片上刺桐姬小蜂虫瘿的分布规律[J]. 华南农业大学学报, 2008, 29(3):29-32.

[19] 丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1980:113-125.

[20] 林龙, 吴淑灵, 梁光红. 南非刺桐叶片上刺桐姬小蜂虫瘿分布特征[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(5):928-932.

Spatial Distribution Characteristics of *Gymnosporangium yamadae* Spots on Apple Leaves

TANG Xiaoqin, LU Jie, ZANG Jiancheng

(Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000)

Abstract: Apple trees are the main tree species of the economic forest in the southeast area of Tibet, which have a serious hazard of *Gymnosporangium yamadae* in recent years. Apple trees which distributed in Gongbu Nature Reserve of Tibet were used as research objects. Based on the field investigation, spatial distribution pattern of *G. yamadae* spots on apple leaves which distributed in Gongbu Nature Reserve of Tibet were studied by diffusion coefficient C , Morisita index I , Cassie index Ca , mean crowding M^* , Lloyd patchiness index, negative binomial parameter K , Iwao regression analysis, Taylor power index. The results showed that the quantitative characteristics of *G. yamadae* spots on the apple leaves were as follows, the middle part > the lower part > the upper part, the west > the east > the north > the south. The number of *G. yamadae* spots on apple leaves accounted for 39.33% for the middle part, 19.32% for the middle left, 20.01% for the middle right, 31.53% for the lower part, 15.37% for the lower left and 16.16% for the lower right; 29.14% for the upper part, 14.70% for the upper left and 14.44% for the upper right. That of the left and right was 49.39% and 50.61%, respectively. The *G. yamadae* spots on the apple leaves mainly existed as 10-40 aggregation forms $30 \leq b < 40$ was the most, the number of *G. yamadae* spots accounted for 17.36% of the total. The spatial distribution pattern of *G. yamadae* spots on the apple leaves was aggregated type, but the aggregation intensity was not great. The individual clump size of *G. yamadae* spots was not static, and it increased with *G. yamadae* spots density increasing, the average value was 48.42. The Iwao $M^* - m$ model of spatial distribution pattern was $M^* = 0.9972 + 5.6868m$ ($R^2 = 0.9999$) for *G. yamadae* spots on apple leaves, and the Taylor power model was $\log(S^2) = 0.1483 + 1.6332 \log m$ ($R^2 = 0.9568$). The *G. yamadae* spots belonged to aggregation distribution at all densities by the two models, and the aggregation intensity increased with the increasing of the *G. yamadae* spots density. The study results provided the foundation for sustainable control of *G. yamadae*.

Keywords: apple tree; *Gymnosporangium yamadae* spots; spatial distribution characteristics; Gongbu Nature Reserve; Tibet