

## 亚麻白粉病研究进展

王 炜<sup>1</sup>, 叶春雷<sup>1§</sup>, 陈 琛<sup>1</sup>, 胡冠芳<sup>2</sup>, 欧巧明<sup>1</sup>, 张建平<sup>3</sup>, 罗俊杰<sup>1\*</sup>

(1. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州, 730070; 2. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州, 730070; 3. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州, 730070)

**摘要:**白粉病是亚麻的主要病害之一, 近年来由于全球温度升高等原因, 该病在亚麻主产区时有大面积爆发, 严重影响了亚麻的产量和质量。本文概述了亚麻白粉病的发生特点及规律、抗病种质资源的鉴定筛选、抗性遗传与抗性基因、防治策略等方面的研究进展; 分析了当前存在的问题并提出了建议, 以期为相关研究提供参考。

**关键词:**亚麻; 白粉病; 抗性鉴定; 研究进展

**中图分类号:** S435.24    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-9084(2019)03-0478-07

### Recent advances of powdery mildew in flax

WANG Wei<sup>1</sup>, YE Chun-lei<sup>1§</sup>, CHEN Chen<sup>1</sup>, HU Guan-fang<sup>2</sup>,  
OU Qiao-ming<sup>1</sup>, ZHANG Jian-ping<sup>3</sup>, LUO Jun-jie<sup>1\*</sup>

(1. Bio-technology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;  
2. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;  
3. Institute of Crops, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Powdery mildew is one of the main diseases in flax, due to climate warming on earth, the disease bursted and prevailed in the main cultivated areas occasionally, which severely disrupted the yield and quality of flax. This article summarized the progresses of powdery mildew in flax, the incidence characteristics and regularity of the disease, identification and selection of resistant germplasm resources, inheritance of resistance and resistant genes, control strategies for the disease. The problems in recent research were analyzed and suggestions were made, which could provide references for associated research.

**Key words:** flax; powdery mildew; identification of resistance; research advances

亚麻(*Linum usitatissimum* L.)是一种多用途的经济作物, 根据其主要用途分为纤维用亚麻、油用亚麻以及油纤兼用亚麻, 其中油用亚麻和油纤兼用亚麻俗称胡麻<sup>[1,2]</sup>。亚麻在人类食品、衣着、健康、家居和交通等方面均具有一定的应用, 综合开发利用价值较高<sup>[2,3]</sup>。亚麻广泛分布于中国、加拿大和俄罗斯等 40 多个国家, 在我国具有悠久的栽培历史, 也是我国的优势经济作物<sup>[4]</sup>。

亚麻白粉病是全球大部分亚麻种植区中的一种常见病害<sup>[5]</sup>。近年来, 由于气候变暖等原因, 白粉病在亚麻主产区如中国、印度、加拿大等地时有大面

积爆发, 严重影响了亚麻的产量和品质, 逐渐引起了相关研究者的重视<sup>[6,7]</sup>。本文从亚麻白粉病的发生特点及规律、抗白粉病种质资源的鉴定筛选、抗性遗传与抗性基因、防治策略等方面进行了综述, 分析目前存在的问题并针对这些问题提出了建议, 以期为亚麻白粉病的综合防治及抗病育种等提供参考。

### 1 亚麻白粉病病原菌、发病症状及发病规律

有关亚麻白粉病的记载最早可追溯到 1869 年<sup>[8]</sup>, 此后研究者相继发现, 不同地区亚麻白粉病

收稿日期: 2018-10-04

基金项目: 甘肃省农业科学院科技支撑项目(2017GAAS35); 国家特色油料产业体系胡麻兰州综合试验站(GARS-17-SYZ-6)

作者简介: 王 炜(1975-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事细胞工程育种及栽培技术工作, E-mail: sjswangwei@gsagr.ac.cn

§ 共同第一作者: 叶春雷(1980-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事胡麻栽培与病虫害防治工作, E-mail: yel-80@163.com

\* 通讯作者: 罗俊杰(1962-), 男, 研究员, 博士, 研究方向为胡麻栽培与耕作, E-mail: hnsllje@163.com

的致病菌也不尽相同,如英国亚麻白粉病病原菌为 *Erysiphe polygoni* DC、*Sphaerotheca lini* 和 *Oidium lini*<sup>[9]</sup>;日本为 *E. polygoni* 和 *Oidium lini*<sup>[10]</sup>;印度为 *Oidium lini* 和 *Leveillula taurica* (Lev.) Arnaud<sup>[11,12]</sup>;在俄罗斯为 *Erysiphe cichoracearum* DC 和 *Sphaerotheca lini*;美国为 *E. cichoracearum*;加拿大和中国一般认为是 *Oidium lini*<sup>[13,14]</sup>。可见 *Oidium lini* 是亚麻白粉病最普遍的致病菌。*Oidium lini* 的分生孢子梗为单细胞,由菌丝上长出,顶端着生为串分生孢子;分生孢子圆筒形、无色、其大小因气候环境的不同在  $(6.0 \sim 36.6) \mu\text{m} \times (12.2 \sim 40.5) \mu\text{m}$  之间,一般温度高的地区该菌的分生孢子也较大<sup>[11,14]</sup>;分生孢子由顶端向下逐渐成熟并脱落,在生育后期菌丝层中出现黑色小点状的子囊壳,大小在  $(27.0 \sim 46.5) \mu\text{m} \times (33.0 \sim 105.0) \mu\text{m}$  之间,此为白粉菌的有性世代;子囊孢子椭圆形、无色、单胞,大小在  $(1.5 \sim 4.5) \mu\text{m} \times (4.0 \sim 10.5) \mu\text{m}$  之间<sup>[15]</sup>。目前尚无对亚麻白粉菌的生理小种进行鉴别的相关报道。

亚麻白粉病在亚麻各个生育期均可发生,但主要在成株期造成危害<sup>[14,16]</sup>。病害一般由植株下层叶片逐渐向上部感染,在叶片正面形成小块白色粉状薄层或绢丝状光泽的斑点,此为病菌的菌丝体、分生孢子和分生孢子梗,之后病斑逐渐扩大,并侵染至叶片背面、叶柄、茎秆、花器等,至后期严重时也可侵染蒴果,形成圆形或椭圆形且呈放射状排列一层白粉状物质。随着病情发展,粉状物变成灰色或淡褐色,上面散生黑色小粒,此为子囊壳;被侵染的植株器官逐渐失绿,叶片提前变黄,茎秆发青,最后枯死。子囊壳在土壤中种子表面或病残体上越冬,次年子囊壳中的子囊孢子在温度和湿度适宜的条件下扩散传播,引起初次侵染,后由白粉状霉层上产生大量分生孢子,发病后经风雨、昆虫、机械或人力等传播,引起再侵染。在亚麻的生长季节中,再侵染过程可重复多次,造成病害蔓延扩大,最终导致白粉病的危害症状逐步加重<sup>[15,17,18]</sup>。

亚麻白粉病具有发病时间短,流行速度快的特点<sup>[3,19]</sup>,在阴雨、高湿条件适宜发生。其病原菌适应温度范围广,其分生孢子在  $15 \sim 30^\circ\text{C}$  均可以萌发,但最适宜发生流行的温度为  $20 \sim 25^\circ\text{C}$ ,过高或过低都会抑制其流行。白粉病菌侵染亚麻地上器官茎、叶及花器,造成落叶、早枯、原茎光泽度差、种子结实率低、千粒重低,严重影响亚麻原茎、籽粒及纤维的产量和质量,给亚麻生产带来较大的损失<sup>[20]</sup>。据研

究,白粉病严重时可造成亚麻原茎产量损失 73.40% 以上,籽粒产量损失 78.22% 以上<sup>[6]</sup>。

因此,目前急需加强亚麻白粉病植物病理学方面的研究,分离并鉴定生理小种,建立一套鉴别寄主,进一步从解剖学、生理学及生物化学方面,探讨亚麻白粉病感染和症状出现的特征,可为亚麻白粉病的防治提供基础支撑。

## 2 亚麻白粉病的分级鉴定标准及抗性评价方法

国内对于亚麻白粉病的鉴定及抗性评价一般采用病情指数法,但是以往对于病情指数的分级标准尚无统一界定,同时对于抗性评价的划分标准也不尽相同。大部分研究者一般采用 0~7 级来描述病情的危害程度<sup>[14,19,21]</sup>,但也有相关研究采用 0~5 级<sup>[22]</sup>和 0~9 级分级标准<sup>[16]</sup>。这就有可能造成同一份材料在不同的试验中的得到不同的抗性结果。从分级原理上来说,分级越细,鉴定结果越准确,但这会在对大量(如几百上千份)种质资源进行人工观察鉴定时极大地增加工作量,同时对于鉴定者的鉴定水平要求也非常高,这在一般的研究工作中难以实现。最近国家农作物种质资源平台/国家作物科学数据中心制定了亚麻白粉病的鉴定标准及抗性评价方法<sup>[23]</sup>,解决了长期以来在该项研究中缺乏统一标准的问题;该评价方法分为 0~5 级,对于发病症状的描述较为详细(表 1),在实际工作中具有较好的可操作性。

印度研究者一般采用 0~5 级分级标准<sup>[24,25]</sup>,而加拿大的 Rashid 等<sup>[8,26]</sup>则采用 0~9 级分级标准。共同之处是均通过计算叶片或植株被侵染面积的百分数来分级,并直接用不同的级别进行抗性评价。表 1 列出了亚麻白粉病鉴定中主要采用的分级及评价方法,其中第二栏为国家农作物种质资源平台/国家作物科学数据中心所制定的级别评价标准。

## 3 亚麻抗白粉病种质资源鉴定筛选研究

亚麻白粉病病原菌具有较强的寄生专化特性,不同品种对白粉病的抗性不同。通过对种质资源进行抗白粉病鉴定,筛选出可利用的抗病亲本材料,是进行抗病育种的基础性工作。与国内相比,相关研究在印度、加拿大等国开展较早,相继筛选出了一批抗白粉病材料,在亚麻抗病品种选育研究中起到了重要的支撑作用。

表 1 亚麻白粉病病情指数的分级及抗性评价划分  
Table 1 Standard of disease index grades of powdery mildew in flax and resistance evaluation

参考文献 Reference	发病症状及程度 Symptom and degree of the disease	抗性评价 Resistance evaluation
0-5 级 (6 级) Grade of 0-5 (Six grades)	0: 无病斑 No sign of infection; 1: $0% < LAI \leq 10%$ ; 2: $10% < LAI \leq 25%$ ; 3: $25% < LAI \leq 50%$ ; 4: $50% < LAI \leq 75%$ ; 5: $LAI > 75%$	高抗 (High resistance, HR) 抗 (Resistance, R) 中抗 (Moderate resistance, MR) 中感 (Moderate susceptible, MS) 感 (Susceptible, S) 高感 (High susceptible, HS)
0-5 级 (6 级) Grade of 0-5 (Six grades)	0: 无病征 No sign of infection; 1: 植株有 1/3 以下的叶片发病, 白粉模糊不清 Fewer than 1/3 leaves of the plant have been infected, the white powdery is indistinct; 2: 植株有 1/3 ~ 2/3 的叶片发病, 白粉较为明显 1/3 ~ 2/3 Leaves of the plant have been infected, the white powdery is distinct; 3: 植株有 2/3 以上的叶片发病, 白粉层较厚、连片 More than 2/3 leaves of the plant have been infected, the white powdery is thick formed together; 4: 白粉层较厚, 叶片开始变黄、坏死 The white powdery grew thicker, the leaves start to turn yellow and necrotic; 5: 植株有 2/3 以上的叶片变黄、坏死 More than 2/3 leaves of the plant turned yellow and necrotic	HR: $DI < 20$ ; R: $20 \leq DI < 40$ ; MR: $40 \leq DI < 60$ ; S: $60 \leq DI < 80$ ; HS: $DI \geq 80$ 病情指数 Disease Index (DI) $DI = \sum (S_i n_i) / 5N$ , $S_i$ 指发病级别, $n_i$ 指相应发病级别的株数, N 为调查的总株数 $S_i$ means disease grade, $n_i$ means number of the plants with corresponding disease grade, N means number of the total plants investigated
0-7 级 (5 级) Grade of 0-7 (Five grades)	0: 无病斑 No sign of infection; 1: $LAI < 25%$ ; 3: $25% \leq LAI < 50%$ ; 5: $50% \leq LAI < 75%$ ; 7: $LAI \geq 75%$	免疫 (Immune, I): $DI = 0$ ; 抗 (R): $0 < DI < 20%$ ; 感 (S): $20 \leq DI < 40%$ ; 中感 (MS): $40 \leq DI < 60%$ ; 高感 (HS): $DI > 60%$
0-9 级 (10 级) Grade of 0-9 (Ten grades)	0: 无病斑 No sign of infection; 1: $LAI < 1%$ ; 2: $1% \leq LAI < 5%$ ; 3: $5% \leq LAI < 10%$ ; 4: $10% \leq LAI < 20%$ ; 5: $20% \leq LAI < 30%$ ; 6: $30% \leq LAI < 40%$ ; 7: $40% \leq LAI < 50%$ ; 8: $50% \leq LAI < 60%$ ; 9: $LAI \geq 60%$	高抗 (HR) 高抗 (HR) 高抗 (HR) 抗 (R) 中抗 (MR) 中抗 (MR) 中感 (MS) 感 (S) 感 (S) 高感 (HS)

注: LAI (leaf area infected) 指被感染的叶面积占总叶片面积的百分率

Note: LAI is the ratio of the leaf area infected by disease to the total leaf area of the plant

印度于 20 世纪 70 年代就开始了该项研究工作, 研究者相继从几千份种质资源中鉴定筛选出了一批抗病材料<sup>[27-33]</sup>; 加拿大 Rashid 等<sup>[34]</sup>也在 1997 年首次发现亚麻白粉病之后, 持续进行了抗白粉病鉴定评价等工作<sup>[5,8,13]</sup>。上述研究为两国的亚麻抗白粉病育种奠定了坚实的基础。最近的两篇研究报道充分证明了这一点: 印度的 Dash 等<sup>[24]</sup>对 61 份农家品种及 233 份不同来源的杂交后代材料进行了抗白粉病鉴定, 结果表明, 仅有 1 份材料表现中感, 其余材料均表现中抗或者抗病; Rashid<sup>[26]</sup>对 500 份亚麻核心种质和 167 份高代自交系连续 4 年 (2012 ~ 2016 年) 的抗白粉病鉴定结果表明, 抗病材料在核心种质中不到 10%, 但在自交系和加拿大栽培品种中抗病材料分别达到 25% 和 90%。

我国近年来在国内外种质资源的农艺性状、品质性状和抗旱性等鉴定评价方面做了大量的研究工作<sup>[35-41]</sup>, 但对于抗白粉病的鉴定筛选仅有零星的报

道, 且缺乏多年多点的试验研究。何建群等<sup>[16]</sup>对云南大理种植的亚麻品种白粉病的发病情况调查的结果表明, 在 15 个品种中, 仅有 3 个对白粉病表现抗病, 且没有 1 个品种免疫; 乔红霞等<sup>[21]</sup>在自然诱发情况下对 53 份亚麻种质的白粉病抗性进行了鉴定, 结果表明病情指数均在 90% 以上的有 35 份材料, 以病情指数在 20% 以下作为抗病材料的标准, 仅有 1 个品种抗病; 我们对 300 份国内外油用亚麻种质资源连续 2 年的抗白粉病鉴定结果显示 (数据未发表), 其中无免疫材料, 且仅有 5 份表现中抗, 占供试材料总数的 1.67%。而据一些研究者及本文作者多年的调查, 在国内主栽亚麻品种中鲜有抗白粉病材料。由此可见, 抗白粉病材料的缺乏已成为严重制约我国亚麻抗病育种研究的关键因素之一。表 2 列出了近年来国内外研究者所筛选出的抗白粉病材料。

表2 国内外研究者鉴定筛选出的抗白粉病亚麻材料  
Table 2 Some flax materials with resistance to powdery mildew selected by researchers in the world

国家 Country	亚麻品种(系)的白粉病抗性 Resistance to powdery mildew of the evaluated flax varieties (lines)			
	中抗 Moderate resistant	抗 Resistant	高抗 Highly resistant	免疫 Immune
加拿大 Canada	2149 <sup>[42]</sup> ; AAC Bravo, AAC Bethune, CDC Buryu, CDC Glass, CDC Neela, CDC Plava, CDC Sanctuary, CDC Sorrel, Lightning, Prairie Blue, Prairie Grand, Prairie Sapphire, Prairie Thunder, Taurus, VT50 <sup>[26]</sup> ; AC McDuff, AC Watson <sup>[8]</sup> ; Macbeth <sup>[43]</sup>	AC Emerson, WestLin 70 <sup>[26]</sup>	Atalante, Linda <sup>[8]</sup>	/
中国 China	范妮 Fanni, 黑亚 11 号 Heiya 11 <sup>[16]</sup> ; 西吉胡麻 Xijihuma <sup>[24]</sup> ; G086, G113 <sup>[4]</sup> ; 71 - 426, KARNO-BAT 1410 1.1, 公系 32 号 Gongxi 32, 河北大粒 Hebeidali, 谢列波 Xieliebo*	/	9801 - 1 <sup>[44]</sup> ; G089 <sup>[4]</sup> ; 黑亚 6 号 Heiya 6, 中亚麻 4 号 Zhongyama 4 <sup>[45]</sup> ; 双亚 7 号 Shuangya 7 <sup>[16]</sup>	/
印度 India	Ayogi <sup>[46]</sup> ; Mayurbhanj Local, Niali, Padmini, etc. <sup>[24]</sup> ; LCK8631, LCK87092, LCK87391, LCK87311, RL59 - 7 - 6, RL75 - 4 - 1, LW - 8190, NL - 48 <sup>[11]</sup> ; Neela <sup>[32]</sup>	Chiplima 3, Kiran, Neelum, etc. <sup>[24]</sup> ; LCK - 8776, LCK - 88052, NL - 18, RL - 33 - 4, RL - 44 - 4 - 9, RL - 49 - 4 - 5, RL - 50 - 3, RLC - 26, RLC - 27 <sup>[11]</sup> ; Janaki, Surbhi, Flak - 1 <sup>[47]</sup> ; Sabour Yellow, Sagar Local <sup>[32]</sup>	EC - 541716, Giza - 6, Kangra Local - 2, Marina <sup>[48]</sup> ; RLC - 92, Sakoor <sup>[31]</sup>	EC278967, EC278980, EC278988, Flak I, Tua, Diana, Szegediolajeu <sup>[44]</sup> ; LCK - 89512, RL43 - 5, RL - 45 - 4 - 4 - 5, RL49 - 3 - 6 - 2, RL - 49 - 4 <sup>[11]</sup> ; Nagarkot, Sheela <sup>[49]</sup>
其他国家 Others	Cass, Clay <sup>[50]</sup> ; Windermere <sup>[51]</sup>	Koto, Dakata, Wilden, Bombay <sup>[48]</sup>	Jupiter <sup>[51]</sup> ; Ottawa 770B <sup>[50]</sup>	Rezekne <sup>[52]</sup>

注:“/”示尚无鉴定筛选出此类材料;“\*”示本文作者所筛选出的材料(未发表)

Note:“/” means none of the type of materials has been selected;“\*” means the materials selected by the authors (unpublished)

#### 4 亚麻白粉病抗性遗传分析及抗性基因研究

目前,与小麦、黄瓜等作物相比,人们对于亚麻白粉病抗病遗传方式及其抗性基因的研究还较为粗浅,这可能与亚麻作为一种小作物有关。已发现的亚麻白粉病的抗性大部分均由 1 个显性基因控制(表 3),其中被命名的基因有 3 个,分别为 *pm1*<sup>[8]</sup>、*ol*<sup>[54]</sup>、*pm - linum*<sup>[53]</sup>(表 3)。此外,Badwal<sup>[53]</sup>的研究表明亚麻抗白粉病种质 EI 5665 的抗性遗传方式为不完全显性,另外两份抗白粉病材料 RL - SO - 3 与 Flake - 1 的抗性则由两个显性基因共同控制。Rashid 等<sup>[8]</sup>研究发现,来源于欧洲的亚麻种质 Linda

除含有 *pm1* 基因外,推测其还携带另外两个抗病基因;Asgarinia 等<sup>[5]</sup>进一步研究表明,Linda 对白粉病的抗性 QTL 位于 LG1、LG7 和 LG9 三个连锁群上,总计可以解释 97% 的表型变异。杨学等<sup>[44]</sup>在田间发现了 1 株自然诱变抗白粉病材料,经培育获得了抗白粉病品系 9801 - 1,之后通过抗性遗传分析表明,9801 - 1 对白粉病的抗性受显性单基因控制;张倩<sup>[57]</sup>进一步将该抗病基因定位于 ChrNew02(第 2 条)染色体上,并将该基因暂定名为 *pm - linum*;同时开发了该抗病基因的 RAPD<sup>[58]</sup>和 Indel 标记<sup>[57]</sup>,这为该基因的利用提供了支持。

表3 亚麻白粉病抗性遗传方式、抗源材料及抗性基因

Table 3 Inheritance mode, source materials and genes of resistance to powdery mildew in flax

抗性遗传方式 Inheritance mode	抗源材料 Source materials	抗性基因 Resistance gene	参考文献 References
显性 Dominant	EC 9832	未知单基因 Unkown single genes	[28]
	LC 216, LC 255, LC 256, LC 269	单基因 Single gene; <i>ol</i>	[54]
	SPS 77/23 - 10, Flake 1, LHCK 222, R 552	未知单基因 Unkown single gene	[29]
	LCK - 8776, RL - 33 - 4, RL - 49 - 4 - 8 - 2, DPL - 20	未知单基因 Unkown single gene	[55]
	AC Watson, AC McDuff, AC Emerson, Atalante	单基因 Single gene; <i>pm1</i>	[8]
	9801 - 1	单基因 Single gene; <i>pm - linum</i>	[44, 57]
	Nagarkot, Janaki, Jeewan	未知单基因 Unkown single gene	[56]
	RL - SO - 3, Flake - 1	两个未知基因 2 unkown genes	[55]
不完全显性 Partially dominant	Linda EI 5665	<i>pm1</i> 与 2 个未知基因 <i>pm1</i> and 2 unkown genes 单基因 Unkown single gene	[5] [53]

## 5 亚麻白粉病的防治策略

目前亚麻白粉病的防治,主要通过种植抗病品种、优化栽培方式以及喷施药剂相结合的方式的综合防治<sup>[16,17,58~60]</sup>。其中,培育和推广种植抗病品种是最为经济环保的措施,然而目前在国内亚麻栽培品种中具有白粉病抗性的材料较少。因此,搜集引进国内外亚麻种质资源进行抗病性鉴定评价,筛选出优良的抗病亲本材料,并加强抗病种质资源的创制,进一步通过杂交转育等方式进行抗病品种的培育,是解决这一问题的必要措施。

优化栽培管理方式也可有效预防和减轻白粉病的发病规模和程度<sup>[1,59]</sup>。主要栽培管理措施有:选

择土层土质松散、排水良好的地块;播种前用多菌灵可湿性粉剂等拌种,并适时播种,合理密植;适时适量施肥,多施用有机肥,并合理搭配氮磷钾与微量元素;生育期内及时防治虫害、清除田间杂草,并在收获后及时清除植株残体,减少菌源残留和传播。

在利用药剂防治亚麻白粉病时,应尽量选用高效、低毒、低残留的化学药剂,同时鉴于该病具有发病时间短、流行速度快的特点,需要在发病初期及时喷施农药,之后视病情发展隔7d喷施1次,连喷2~3次,可有效控制病情蔓延<sup>[7]</sup>。目前国内所采用的防治亚麻白粉病的药剂类型主要有三唑类、丙烯酸酯类、有机氯类等,药剂名称及防效见表4。

表4 亚麻白粉病常用药剂及其防效

Table 4 Common fungicides and their applied effect on controlling powdery mildew in flax

药剂类型 Type of fungicide	药剂名称 Fungicide name	防效/% Control effect	参考文献 References
三唑类 Triazole categories	三唑酮(粉锈宁) Triadimefon	72.53 ~ 85.10	[22, 62]
	氟硅唑(福星) Flusilazole	47.56 ~ 100	[62 ~ 64]
	戊唑醇(好力克、立克秀) Tebuconazole	95.26	[62]
	烯唑醇 Diniconazole	94.93	[65]
	苯醚甲环唑 Difenoconazole	100	[65]
丙烯酸酯类 Acrylate categories	睛菌唑 Myclobutanil	98.74	[65]
	醚菌酯 Kresoxim - methyl	79.4	[66]
二甲酰亚胺类 Dicarboximide	苯醚菌酯 ZJ0712	79.6	[66]
	异菌脲(扑海因) Iprodione	45.52 ~ 84.94	[62, 63]
有机氯类 Organochlorine categories	四氯间苯二腈(百菌清) Chlorothalonil	5.62 ~ 94.27	[63, 65]
	硫磺·三唑酮 Sulfur · Triadimefon, W. P.	70.9 ~ 94.4	[65, 66]
混合型 Mixed categories	醚菌·啶酰菌 Kresoxim - methyl · Cantus	76.6	[66]
	烯炔·戊唑醇 Xiwojunan · Tebuconazole	75.9	[66]
	锰锌·睛菌唑(飞歌) Mancozeb · Myclobutanil	48.68 ~ 97.11	[62, 63, 67, 68]

## 6 问题与展望

亚麻白粉病近年来在国内外主产区已成为常发病,但人们对该病的研究还相当粗浅,在亚麻白粉病生理小种的分离鉴别、抗病的分子机理、抗病基因定位克隆等诸多方面的研究较为欠缺。目前,由于国内亚麻栽培品种中抗白粉病材料极度缺乏,同时亚麻白粉病发病和流行极为迅速,在温度和湿度等条件适宜的情况下,白粉病会大爆发,导致亚麻的品质变差、产量下降,造成较大的经济损失,影响了种植户的积极性及亚麻产业的可持续发展。因此,今后需要加强以下方面的工作:搜集引进国内外种质资源进行抗病性鉴定筛选,挖掘抗病基因资源;利用诱变技术、远缘杂交及现代生物技术等方法进行抗病种质资源创制,进一步加快抗病品种的培育;加强亚麻白粉病的病理学、抗病分子水平等方面的基础研究,为防治该病提供支持;综合利用抗病品种、多种作物的合理布局、栽培技术的优化及药剂相结合的

方法,筛选高效、低毒、低残留的化学药剂,并积极研发生物制剂,研发并建立生物防治和生态防治的技术体系;利用遥感、全球定位系统、地理信息系统和信息技术等建立亚麻白粉病的预测预报系统,为防控亚麻白粉病提供平台。

### 参考文献:

- [1] 米君. 亚麻(胡麻)高产栽培技术[M]. 北京:金盾出版社,2006:1-90.
- [2] 王玉富,邱财生,龙松华,等. 亚麻的经济价值及开发利用前景[J]. 江西农业学报,2011,23(9):66-68,75.
- [3] Hall L M, Booker H, Siloto R M P, et al. Chapter 6 - Flax (*Linum usitatissimum* L.) [M]//McKeon T A, Hayes D G, Hildebrand D F, et al, Industrial Oil Crops. Boulder: AOCS Press,2016:157-194.
- [4] 王玉富,贾婉琪,薛召东,等. 国外引进亚麻种质资源的聚类分析及评价[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(5):548-554.

- [5] Asgarinia P, Cloutier S, Duguid S, et al. Mapping quantitative trait loci for powdery mildew resistance in flax (*Linum usitatissimum* L.) [J]. *Crop Sci*, 2013, 53(6): 2462.
- [6] 何建群, 陈贵荟, 李靖军, 等. 白粉病对亚麻原茎和种子产量、质量的影响[J]. *中国麻业科学*, 2006, 28(6): 317–321.
- [7] 国家胡麻产业技术体系. 中国现代农业产业可持续发展战略研究—胡麻分册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 167–171.
- [8] Rashid K, Duguid S. Inheritance of resistance to powdery mildew in flax[J]. *Can J Plant Pathol*, 2005, 27(3): 404–409.
- [9] Mercer P C, Hardwick N V, Fitt B D L, et al. Status of diseases in linseed in the UK[J]. *Hgca*, 1991, OS3: 24–45.
- [10] Homma Y. On the powdery mildew of flax[J]. *Shokubutsugaku Zasshi*, 1928, 42(499): 331–334.
- [11] Saharan G S, Saharan M S. Identity of linseed powdery mildew pathogens and sources of resistance[M]//Gupta V K, Sharma R C. *Integrated Disease Management And Plant Health*. Jodhpur: Scientific Publishers, 1995: 93–97.
- [12] Arshiya A, S A D, K A. Management of linseed powdery mildew caused by *Leveillula taurica* (LEV.) ARN [J]. *Int J Agric Sci*, 9(32): 4 479–4 481.
- [13] Rashid K Y. Principal diseases of flax[M]//Muir A D, Westcott N D. *Flax – The genus Linum*. Boca Raton: CRC Press, 2003: 104–135.
- [14] 李广阔, 王锁牢, 王 剑, 等. 新疆亚麻白粉病的初步研究[J]. *新疆农业科学*, 2007, 44(5): 591–594.
- [15] 杨 学. 亚麻白粉病发生特点及防治技术研究[J]. *中国麻业*, 2004, 26(3): 121–124.
- [16] 何建群, 陈贵荟, 李靖军, 等. 亚麻品种白粉病田间抗病性分析[J]. *中国麻业科学*, 2007, 29(3): 141–144.
- [17] 王锁牢, 李广阔, 王 剑, 等. 新疆亚麻主要病害发生概况及防治技术[J]. *中国麻业科学*, 2007, 29(1): 38–40.
- [18] 杨 学. 亚麻病害症状及检索表[J]. *中国麻业*, 2002, 24(5): 23–27.
- [19] 哈尼帕·哈再斯, 张 辉, 王振华, 等. 新疆伊犁地区胡麻白粉病发生与消长规律研究[J]. *中国麻业科学*, 2013, 35(3): 155–158.
- [20] Singh J, Singh P K, Srivastava R L. Diseases of linseed (*Linum usitatissimum* L.) in India and their management – A review[J]. *J Oilseeds Res*, 2017, 34(1): 52–69.
- [21] 乔红霞, 陈 娟. 亚麻种质对白粉病的抗性评价[J]. *中国麻业科学*, 2012, 34(3): 118–120.
- [22] 杨 学. 亚麻白粉病田间药剂试验研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2007(2): 48–49, 60.
- [23] 国家作物科学数据中心国家农作物种质资源平台. 亚麻种质资源描述规范[Z]. 2016: 40–41.
- [24] Dash J, Naik B S, Mohapatra U B, et al. Field screening of linseed genotypes for resistance to powdery mildew (*Oidium lini* Skoric) in the north central Plateau zone of Odisha[J]. *Int J Adv Res*, 2016, 4(4): 961–962.
- [25] Chauhan M P, Singh T, Singh V. Genetics of resistance to powdery mildew disease in linseed *Linum usitatissimum* L. [J]. *Plant Arch*, 2017, 17(2): 1537–1538.
- [26] Rashid K. Resistance in flax cultivars and genotypes to powdery mildew[EB/OL]. (2017–10–24) [2018–10–2]. [https://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists\\_conf/media/Rashid\\_MAC\\_PM\\_2017\\_Poster\\_Oct\\_24\\_2017\\_Portrait\\_LONG.pdf](https://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/Rashid_MAC_PM_2017_Poster_Oct_24_2017_Portrait_LONG.pdf).
- [27] Singh B P, Kaurav L P. Incidence of linseed (*Linum usitatissimum* L.) powdery mildew (*Oidium lini*) at Jabalpur (M P, India) [J]. *Sci Cult*, 1973, 39(1): 228–229.
- [28] Kaushal P K, Srivas S R. Inheritance of resistance to powdery mildew (*Oidium lini* Skoric) in linseed (*Linum usitatissimum* L.) [J]. *Curr Sci India*, 1974, 43(11): 353–354.
- [29] Singh B M, Saharan G S. Inheritance of resistance to *Oidium lini* Skoric in linseed (*Linum usitatissimum* L.) [J]. *Euphytica*, 1979, 28(2): 531–532.
- [30] Dutt S, Chahal A S, Lobana K S, et al. Evaluation of genetic stock of linseed (*Linum usitatissimum* L.) against powdery mildew in the Punjab (India) [J]. *J Res Punjab Agric Uni*, 1975, 12(1): 6–8.
- [31] Prasad R, Rai M, Kerki S A. Resistance of linseed (*Linum usitatissimum* L.) germplasm to rust (*Melampora lini*) and powdery mildew (*Oidium lini*) [J]. *Indian J Agric Sci*, 1988, 58(7): 548–549.
- [32] Dhirhi N. Genetical studies for morphological traits and powdery mildew tolerance in linseed (*Linum usitatissimum* L.) [D]. Raipur: Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya, 2016.
- [33] Sharma L C, Mathur R L, Gupta S C. Reaction of linseed varieties to powdery mildew *Oidium lini* in Rajasthan [J]. *Ind Phytopathol*, 1972, 25: 600–601.
- [34] Rashid K Y, Kenaschuk E O, Platford R G. Diseases of flax in Manitoba in 1997 and first report of powdery mildew on flax in Canada [J]. *Can Plant Dis Surv*, 1998, 78: 100–101.
- [35] 王利民, 张建平, 米 君, 等. 国外引进油用亚麻品种资源农艺性状分析与评价[J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(4): 356–361.

- [36] 陈英, 胡麻种质资源数量性状的多元统计分析[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(6): 730-736.
- [37] 欧巧明, 叶春雷, 李进京, 等. 油用亚麻品种资源主要性状的鉴定与评价[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(5): 623-633.
- [38] 伊六喜, 斯钦巴特尔, 张辉, 等. 胡麻核心种质资源表型变异及 SRAP 分析[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(6): 794-804.
- [39] 张丽丽, 刘晶晶, 乔海明, 等. 从俄罗斯引进亚麻种质资源的农艺性状评价[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(5): 698-703.
- [40] 祁旭升, 王兴荣, 许军, 等. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087.
- [41] 罗俊杰, 欧巧明, 叶春雷, 等. 重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选[J]. 作物学报, 2014, 40(7): 1259-1273.
- [42] Dribnenki J C P, McEachern S F, Chen Y, et al. 2149 solin (low linolenic flax)[J]. Can J Plant Sci, 2007, 87(2): 297-299.
- [43] Duguid S D, Kenaschuk E O, Rashid K Y. Macbeth flax[J]. Can J Plant Sci, 2003, 83(4): 803-805.
- [44] 杨学, 赵云, 关凤芝, 等. 亚麻品系 9801-1 对白粉病的抗性遗传分析[J]. 植物病理学报, 2008, 38(6): 656-658.
- [45] Wang Y F, Jankauskiene Z, Qiu C S, et al. Fiber flax breeding in China and Europe[J]. J Nat Fibers, 2018, 15(3): 309-324.
- [46] Basandrai D, Basandrai A K. Genetics of field resistance to powdery mildew in flax[J]. Ind Phytopathol, 2000, 53(2): 224-226.
- [47] Sood S P. Genetic analysis of yield and its components in linseed (*Linum usitatissimum* L.) [D]. Palampur: Chaudhary Sarwan Kumar Himachal Pradesh Krishi Vishvavidyalaya, 2004.
- [48] Bindra S, Paul S, Patial R. Disease reaction of *Linum usitatissimum* L. germplasm towards *Oidium lini* [A]. International Conference on Sustainable Agriculture for Food and Livelihood Security, Crop Improvement (special issue) [C]. Ludhiana, 2012: 1029-1030.
- [49] Sharan R, Singh J, Yadav D K. Evaluation of elite genotypes of linseed against powdery mildew under field condition[J]. Ann Plant Protect Sci, 2008, 16(2): 519-520.
- [50] Aly A A, Mansour M T M, Mohamed H I, et al. Ascorbic acid of seeds and proteins of leaves as biochemical markers for resistance of flax to powdery mildew disease [J]. Romanian Agric Res, 2012, 29(1): 63-69.
- [51] Thomas J E, Kenyon D M, Wedgwood E A F. Resistance to powdery mildew (*Oidium lini*) in cultivars of winter and spring linseed [A]. Protection & Production of Combinable Break Crops, Aspects of Applied Biology [C]. 1999, 56: 169-172.
- [52] Stafecka I, Grauda D, Stramkale V. Diseases diversity for flax genetic resources in Latvia [A]. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, Environment. Technology. Resources [C]. Rezekne, 2017: 278-283.
- [53] Badwal S S. Inheritance of resistance to powdery mildew in linseed [J]. Ind J Genet Plant Breed, 1975, 35(3): 432-433.
- [54] Singh N K, Chauhan Y S, Kumar K, et al. Inheritance of powdery mildew resistance in linseed (*Linum usitatissimum* L.) [J]. Ind J Genet Plant Breed, 1989, 49(1): 421-422.
- [55] Saharan G S, Saharan M S. Inheritance of resistance in linseed to powdery mildew (*Oidium lini*) disease [J]. Ind Phytopathol, 1999, 52(1): 86-87.
- [56] Kumari A. Gene action for agromorphological and quality traits in Linseed (*Linum usitatissimum* L.) [D]. Palampur: Chaudhary Sarwan Kumar Himachal Pradesh Krishi Vishvavidyalaya, 2015.
- [57] 张倩. 亚麻抗白粉病基因的定位 [D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2015.
- [58] 杨学, 关凤芝, 李柱刚, 等. 亚麻品系 9801-1 抗白粉病基因的 RAPD 标记 [J]. 植物病理学报, 2011, 41(2): 215-218.
- [59] 刘淑霞, 潘冬梅, 魏国江, 等. 黑龙江省亚麻白粉病发生特点及防治措施 [J]. 黑龙江科学, 2011, 2(4): 53-54.
- [60] 何建群, 杨学芬, 王少怀, 等. 纤维型亚麻白粉病及其综防技术 [J]. 植物保护, 2003, 29(4): 57-58.
- [61] 赵德宝. 新疆亚麻重迎茬危害情况及综合防治措施 [J]. 现代农业科技, 2010(3): 198, 204.
- [62] 马海灵. 5 种药剂对胡麻白粉病的防效试验 [J]. 甘肃农业科技, 2014(1): 16-17.
- [63] 刘惠霞, 杨荣洲, 汪国锋. 对防治胡麻白粉病中使用杀菌剂的药效初探 [J]. 农业与技术, 2015, 35(22): 25.
- [64] 何建群, 张金莲, 张玲. 40% 氟硅唑 EC 对亚麻白粉病的防治效果研究 [J]. 中国麻业科学, 2011, 33(1): 8-10, 15.
- [65] 何建群. 药剂防治亚麻白粉病效果及经济效益分析 [J]. 中国麻业科学, 2010, 32(1): 33-36.
- [66] 李进京, 叶春雷, 谢志军. 5 种药剂对胡麻白粉病的防效 [J]. 甘肃农业科技, 2015(9): 46-48.
- [67] 陆俊武, 张炜, 剡宽将. 32% 锰锌· 膦菌唑防治胡麻白粉病药效研究 [J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(9): 35-36.
- [68] 张炜, 陆俊武, 曹秀霞, 等. 杀菌剂防治胡麻白粉病药效初探 [J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(11): 18, 20.