

贾桥东,张保全,王卫民,等.烟草白粉病的研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(4):94-97.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.021

烟草白粉病的研究进展

贾桥东¹,张保全¹,王卫民¹,王 钢²,时 焦²

(1.浙江中烟工业有限责任公司,浙江杭州 310009; 2.中国农业科学院烟草研究所,山东青岛 266101)

摘要:烟草白粉病是由专性寄生菌引起的烟草重要病害之一,近年来在我国烟区发生日趋严重。为了控制烟草白粉病的流行与危害,就其分布、病原特性、流行病学以及防治措施等有关研究报道进行综述,同时对未来烟草白粉病的绿色防控进行展望。

关键词:烟草;白粉病;防治;研究进展

中图分类号: S435.121.4⁺6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0094-04

烟草白粉病是烟草的重要病害之一^[1],近年来在我国烟区发生日趋严重,发生区域也逐年扩大,该病已由烟草生产上的次要病害发展成为阻碍我国烟草生产的重要病害。烟草白粉病不仅可以造成烟叶产量的严重损失,而且可以造成烟叶质量的大幅下降,甚至引起烟株死亡。为此笔者对其研究现状进行综述,以期对烟草白粉病的防治与研究提供参考。

1 分布及发展

1878 年 Comes 等首次报道意大利发现烟草白粉病,1879 年 von Thumen 报道葡萄牙发现该病,随后澳大利亚、巴西、中国、保加利亚、希腊、印度、伊拉克、危地马拉、日本、爪哇岛、马其顿王国、马达加斯加、毛里求斯、莫桑比克、葡萄牙、罗马尼亚、津巴布韦、苏门答腊、俄罗斯、南非、土耳其、前南斯拉夫、波兰、牙买加、尼加拉瓜等国家也报道发现该病^[1-2]。1947 年烟草白粉病曾在意大利流行,给当地烟叶生产造成了严重损失;巴尔干半岛国家白粉病常年发生,发病率通常为 50%~100%;在津巴布韦烟草白粉病发生也很严重,尤其是海拔 500 m 以上的烟区;在南非白粉病造成的年平均烟叶损失为 20%~30%;在奥地利、爪哇岛、马其顿王国和苏门答腊

白粉病年年严重发生^[1-2]。

我国台湾地区 1919 年报道发现烟草白粉病,余茂勋 1939 年报道在四川省成都平原发现该病^[1],随后贵州、云南、山西、陕西、山东、广东、福建、安徽、河南等省份相继报道发现该病,局部危害严重。进入 21 世纪以来,烟草白粉病对华中、华南和西南烟区的危害呈加重趋势^[3]。

2 病原及特征

烟草白粉病的病原菌为二孢白粉菌(*Erysiphe cichoracearum* DC),属于子囊菌亚门核菌纲白粉菌目白粉菌科白粉菌属(*Erysiphe*)^[2-4]。2015 年我国报道青岛地区烟草白粉病的病原菌为奥隆特高氏白粉菌(*Golovinomyces orontii*)^[5]。有关烟草白粉病菌的分类地位有待更广泛地取样研究,并且现代分子生物学技术也必将使白粉病菌分类地位的研究更加精细。

尽管不同的研究报道表明,烟草白粉病菌孢子萌发存在不同的适宜温度,但是孢子萌发的最低温度为 7℃,最适温度为 23~25℃,最高温度为 32℃。Minev 报道,粉孢子可抵抗 -3℃低温^[2]。粉孢子在相对湿度(RH)100%和水中不能萌发,尽管 Rossouw 报道粉孢子在 RH 0%~100%和 15~32℃条件下可以萌发^[2]。粉孢子最适萌发湿度为 RH 81%~92%^[3],有些可在 RH 20%条件下萌发^[2],说明粉孢子在萌发过程中利用了自身的水分。Somers 等报道,粉孢子的含水量随其形成时间空气湿度的变化而变化^[2]。这些研究者认为,粉孢子的储水能力不是绝对含水量,而是干旱条件下粉孢子萌发的重要条件。Levykh 发现在 RH 80%~89%湿度条件下,短命的粉孢子能够存活 12 d,但在 RH 40%~58%,温度 19~21℃条件下粉孢子几天就死亡^[2]。在温度为 22~

收稿日期:2017-12-18

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(编号:ASTIP-TRIC04);

国家烟草专卖局重点项目(编号:110201002022)。

作者简介:贾桥东(1985—),男,江苏南通人,硕士,助理工程师,主要从事烟叶原料管理与加工研究。E-mail: jiaqiaodong@zjtobacco.com。

通信作者:张保全,硕士,高级农艺师,主要从事烟叶原料生产与加工研究,E-mail: zhangbaoquan@zjtobacco.com;时 焦,博士,研究员,主要从事烟草病害研究,E-mail: shijiao@caas.cn。

[11] 吴文君.植物化学保护实验技术指导[M].陕西:陕西科学技术出版社,1998.

[12] 柳 凤,欧雄常,何 红,等.红树内生菌 AmS2 菌株对芒果炭疽病菌的抑制作用[J].植物保护学报,2010,37(5):453-458.

[13] Todorov S D, Meincken M, Dicks L M T. Factors affecting the adsorption of bacteriocins ST194BZ and ST23LD to *Lactobacillus sakei* and *Enterococcus* sp. [J]. Journal of General and Applied

Microbiology, 2006, 52: 159-167.

[14] 单文荣,李俊霞,刘花粉.滤纸片法筛选不同活性物对棉花黄萎病菌抑制效果研究[J].中国农学通报,2010,26(19):285-289.

[15] 刘 静,王 军,姚建明,等.枯草芽孢杆菌 JA 抗菌物特性的研究及抗菌肽的分离纯化[J].微生物学报,2004,44(4):511-513.

25 ℃、湿度低于 60% ~ 63% 的条件下,粉孢子不能萌发侵入烟草^[6]。Tsumagari 发现,粉孢子的寿命为 28 ~ 73 d,夏季比冬季的生命力强,粉孢子在黑暗和光照条件下都能形成,但在光照条件下比在黑暗中成熟得快,并且在光照条件下释放粉孢子^[1-2]。Pady 认为,粉孢子的释放是由需光的内源节律控制的^[2]。而 Cole 等认为,温度、湿度和风速对产孢、孢子成熟、扩散和萌发都会产生影响^[2]。当太阳升起时温度开始上升,湿度开始下降,空气流动加快,在 13:00—15:00 时粉孢子释放量达到峰值^[2]。

通常子囊壳在生长季节的后期形成,子囊壳成熟之后,将其放入水中或者放到饱和的空气中,可以诱发子囊孢子的产生。Tsumagari 报道,在 4 ~ 22 ℃ 条件下子囊壳裂开,最适温度为 14 ℃;在 4 ~ 34 ℃ 条件下子囊孢子萌发,最适温度为 10 ~ 18 ℃^[2]。白粉菌的一些子囊壳在相当广泛的环境条件下能够存活几年^[7]。

已经证明二孢白粉菌的不同菌株对不同的寄主具有不同的致病力。Deckenbach 成功地用来自烟草的白粉病菌接种葫芦,但用葫芦上的白粉菌分离物接种烟草没有成功^[2]。据 Hopkins 报道,从马铃薯上获得的白粉病菌能够成功地入侵烟草,但比烟草上获得的分离物致病力差^[2-3]。意大利学者发现,烟草白粉菌对 11 科多个属的植物都不形成侵染,尽管据报道这些植物都是二孢白粉菌的寄主植物^[2]。二孢白粉菌是异宗配合的,Morrison 用多个混合菌株接种烟草,5 周后获得成熟的子囊壳^[2]。资料表明,有 2 个交配型、2 个等位基因控制配合力,来自不同寄主的分离物构成了特异生理小种的事实,说明存在其他的遗传配合组合^[2]。这说明新的生理小种会连续形成^[3]。

近年来许多学者将分子标记技术运用于植物病理学研究^[7-9],孟坤等从全国主产烟区采集了 33 份样品,利用生物鉴定和分子生物学鉴定相结合的方法将我国烟草白粉菌划分为 1 ~ 6 号共 6 个生理小种^[3]。

3 流行学

任何植物病害的流行都与寄主本身的抗性、环境条件和病原的特点及其致病力有关。烟草生长季节染白粉病烟株上会产生大量的粉孢子,这些粉孢子借助风媒得到快速传播。有时在生长季节的末期才形成子囊壳,白粉病菌很可能靠子囊壳在烟草病残组织上越冬,或者在烟田的病残体上以菌丝越冬,同时烟草白粉病菌也可以在多年生寄主上越冬。Tsumagari 等报道,子囊壳通常在魁蒿 (*Artemisia princeps* Pamp) 和车前草 (*Plantago asiatica* L.) 上形成,子囊壳成熟后掉落到土壤中,直到春天子囊壳破裂,散发和释放出子囊孢子,子囊孢子成为初侵染源,此外在烟株上越冬的菌丝垫也可作为来年的初侵染源^[2-3]。越冬的病原遇到感病烟草品种与适宜的发病条件就会导致白粉病的发生与流行。

3.1 寄主与病原的相互作用

烟草白粉病菌是专性寄生菌,菌丝体生长在叶片表面,通过吸器从叶片组织中吸取营养,吸器可以穿透叶片表面进入叶片组织中。在光照条件下,适宜的温湿度有利于粉孢子与子囊孢子的萌发。在适宜条件下 2 h 内粉孢子萌发并产生芽管。Tsumagari 报道,用流水冲洗叶片后粉孢子的萌发率提

高,他认为,叶片中或者叶表面形成的化学物质对粉孢子的萌发有抑制作用,而对子囊孢子的抑制作用差一些^[2]。粉孢子萌发后在芽管末端形成附着胞或者附着丝,它们紧密吸附于寄主表皮上,从附着胞上形成穿透叶片表皮的菌丝栓。当烟草表皮细胞细胞壁的纤维素被酶完全改变后,针状菌丝栓穿过细胞壁,菌丝栓已经通过局部的纤维素加厚形成乳状突起,借助于细胞膜的陷入进入细胞,在细胞内芽管膨大为球状的吸器。随后真菌快速生长,感病品种在适宜条件下 1 周时间叶表就可见白色的粉孢子堆,最快 4 d 就能形成粉孢子^[10]。

侵染烟草的白粉病菌同时也侵染多种其他植物,主要是葫芦科和菊科植物,Salmon 列出 115 个属的寄主植物,并对烟草属植物的抗病性进行了认真研究^[2]。Ternovsky 在二次世界大战之前就开始研究烟草对白粉病的抗性,并报道 Kuofam 品种(一种日本晾烟)对白粉病有很好的抗性^[2]。Raeber 等发现 19 种植物对白粉病菌免疫^[2]。孟坤等报道,塘蓬品种对我国采集的 33 个白粉菌分离物中的 31 个是免疫的^[3]。

许多国家开展了抗病育种研究。Ternovsky 利用 *Nicotiana glauca* 作为抗花叶病和白粉病的种质资源,培育了抗 2 种病害的烟草品种,其品质与其回交亲本 Dubec44 相当^[2]。Raeber 等对 *N. glauca* 的研究表明,其抗性由多遗传因子控制,他们难以获得具有抗性的纯合品系,因此推测在育种过程中丢失了控制免疫的主效基因,而筛选了高抗多基因^[2]。Cole 也利用 *N. glauca* 为抗源,将杂交后代与一个栽培烟品种回交 7 次,最终获得了高抗品系,这些品系对烟草白粉病菌表现出过敏性反应,Cole 的研究资料表明,这些烟草品系对白粉病的抗性是显性的,很可能由单基因控制^[1-2]。一些品种在某一个国家是高抗的,而在其他国家是高感的,这可能是由于种子搞错了或者存在不同致病力的菌株^[2]。

研究表明,烟草的腺毛密度在不同基因型间存在显著差异^[11-13]。刘彩云等研究认为,烟草叶片腺毛密度越大,白粉病的发生程度越轻^[14]。同时烟田的海拔高度、施肥水平、灌溉量、烟草生育期等因素对腺毛密度也有很大影响^[15-17]。

3.2 湿度和光照对白粉病发生的影响

Levykh 研究发现,夜间温度长时间维持在 18 ~ 19 ℃,在 RH 100% 的湿度条件下接种白粉病菌,6 d 后不发病;然而,当相对湿度降到 RH 70% ~ 76% 时,发病症状出现,并出现粉孢子^[1-2]。Cole 认为,大多数成功的侵染发生在先高湿度,然后湿度下降的条件下,如傍晚粉孢子落在叶表面,夜晚湿度高,有利于粉孢子的萌发与侵入,次日上午湿度降低,利于菌丝的快速生长^[2]。Stoimenov 支持这一观点,他指出,保加利亚白粉病是在昼夜温差比较大(大于 10 ℃)时发生的,保加利亚 7、8 月的气候条件是白天温暖且空气湿度小,夜间温度低且叶面有露水^[2]。很明显白粉菌可以忍耐宽广范围的温湿度条件,与这些条件相配合的是光照不足,有利于病害的发生^[2-3]。在伊拉克地区,烟草生长早期发现烟草白粉病,但随着干热天气的开始病害消失,在生长后期伴随着雨水的到来,温度下降,白粉病再次出现,如果雨水来的早,烟草生产将受到白粉病的严重危害,导致烟叶失去烘烤价值;如果雨水来的迟,烟叶就不会受到白粉病的危害^[2]。在爪哇岛烟株成熟前不会发生白粉病,首先表现症状的烟株位于低洼、潮湿和背阴的地方^[2,13]。

3.3 海拔高度对白粉病发生的影响

通常白粉病在海拔地区发生严重,这主要是由在一定的温度条件下,低湿度导致的。刘佳玲认为,海拔高度影响白粉病的发生^[18]。

3.4 烟株营养对白粉病发生的影响

Cole 报道,在田间 Hicks 品种只有在叶片停止伸长时才表现感病,下部叶先发病,逐渐向上部叶蔓延;新生叶片抗病性好,而成熟衰老的叶片变得感病^[2]。总之,烟草生长后期高发病率是因为接种体的积累、叶片的衰老失去抗性和适宜的环境条件。打顶减缓了上部叶片的发病。缺钾烟草叶片发病轻,尽管叶片含有充足的碳水化合物和氮素营养。缺钾阻碍了蛋白质的合成,并且降低了必需营养的获得^[19]。激素素提高了烟草叶圆片的抗性,阻止了叶片的衰老与叶绿素的降解。氯霉素能够限制白粉菌的生长,很可能是阻碍了病菌生长所必需的蛋白质和维生素的合成。有证据表明,当有其他侵染病斑存在时,病菌生长快,尤其是单位叶面积内有几个病斑存在的条件下^[2]。Cole 认为,当发生了初始侵染之后叶片变得感病,因此允许多侵染的协和效应发生^[2]。灌溉有利于侵染,这主要是影响了烟株的生长。刘佳玲报道,氮肥施用过多,密度过大,以及地膜栽培有利于烤烟白粉病的发生;日照不足、温湿度适宜有利于白粉病菌分生孢子萌发,是造成该病流行的主要因素^[18]。

3.5 白粉病菌与其他病菌的相互作用

Cole 认为,当烟株受到丛顶病毒危害后对白粉病菌具有抗性;在潮湿的条件下,葡萄白粉病菌寄生菌(*Cicinnobolus cesati*)能够侵染和消灭白粉病菌,但是该菌的应用显示出的结果不好;Yamaguchi 等发现,在温室中一种弹尾虫(*Lepidocyrtinus* sp.)会取食白粉菌的孢子和菌丝^[2]。

4 防治措施

抓好 3 项工作,烟草白粉病就能得到控制,首先采用抗病品种,其次加强田间管理,最后适时进行药剂防治。

4.1 选用优质抗病品种

烟草种质有多种类型,各种类型都有抗病品种。孟坤等研究发现,烤烟品种中烟 103、中烟 102、K346、龙江 911 等高抗白粉病^[10];白肋烟抗白粉病品种有 Banket102、PMR Burley21、Burley21、Burley 52 等^[1];晒烟品种塘蓬对全国采集的 93% 以上的白粉病菌分离物免疫^[3],广红 12 号、广红 13 号高抗白粉病;抗白粉病的香料烟品种有 Dubek44、7566、American287、Talass3036、Frapezond161、Plovdivl 等,雪茄包皮烟有 TV^[1];湖北晒晾烟地方种质特高抗品种有兰花烟、大乌烟和铁板^[20]。

4.2 加强农业防治

不在低洼地种烟,密度合理;实行轮作;起垄培土,及时排除田间积水;搞好田间卫生,发病后及时摘除病叶并进行妥善处理;平衡施肥,配方施肥(N:P:K=1:2:3 或 1:2:2),增强烟株营养抗性,适当控制氮肥与钾肥,增施磷肥,可减轻病害发生。及早摘除底脚叶、及时采烤下部叶等措施可以减少菌源,对病情上升有很好的抑制作用^[14,21-23]。

4.3 药剂防治

在白粉病始发期开始用药效果较好,用药时间不宜往

往会降低药剂的防效,另外视病害发展趋势和药剂情况确定用药的次数,严重时 2~3 次即可。

20% 三唑酮 1 000~1 500 倍液防治效果可达 80% 以上。另外 50% 硫菌灵、50% 苯菌灵 500~800 倍液的防治效果也均可达到 80% 左右,但施用苯菌灵可以产生抗药性的菌株。汪汉成等报道,苯并噻二唑对烟草白粉病具有很高的诱导活性^[24]。使用科惠丙环唑、福星氟硅唑乳油、醚菌酯和几丁聚糖对烟草白粉病的防效也很好^[25-26]。

4.4 生物防治

我国学者张涛等研究发现,细菌菌株 GuBC-1、GuBC-2 发酵液对烟草白粉病有一定的防治效果^[27]。王静等研究发现,短小芽孢杆菌 AR03 菌液原液、30 倍液和 200 倍液对白粉病菌孢子萌发的平板抑制率分别为 100.0%、91.4%、69.3%,菌液对孢子的破坏作用表现为孢子不能萌发,细胞肿胀变形、细胞原生质解体或收缩^[28]。温室防治试验结果表明,不同浓度的 AR03 菌悬液处理对烟草白粉病的防治效果较好,AR03 菌株防治白粉病的持效期为 30 d 以上^[28]。生防细菌对植物病原真菌病害的防病机制主要包括抗生、竞争、诱导抗性及寄生等多种方式^[29]。这些生防微生物的发现为白粉病的绿色防控提供了新途径,其机制有待深入研究。

5 展望

随着化学除草剂对人类健康的威胁和对环境污染的加剧,关于植物病虫害防治安全绿色新途径的探讨愈加迫切,因此生物防治受到人们的青睐,生物农药的研制也变得活跃,生物农药是由植物、动物、微生物和矿物中的自然物质制成的生物制剂^[30-31]。

对白粉病的抑制研究较多的微生物源生防制剂是重寄生菌。如白粉寄生孢属于真菌寄生物,可抑制白粉病的有性和无性孢子繁殖,破坏其菌丝体、粉孢子梗及未成熟的子囊座^[32-33]。玫烟色拟青霉(*Paecilomyces fumosoroseus*)可通过重寄生侵入黄瓜白粉病菌,破坏其菌丝体,从而抑制病菌的生长^[34]。Gafni 等研究发现,内生酵母菌(*Pseudozyma aphidis*)通过寄生于白粉病病原菌的菌丝和孢子来抑制白粉菌生长^[35]。Romero 等研究发现,枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)对甜瓜白粉病菌(*P. fusca*)的抑制作用是通过代谢产生的伊枯草菌素和丰原素(脂肽类物质)来实现的^[36]。另外,研究还发现,一些植物源活性抗菌物质可提取加工成杀菌剂。基因工程技术可使外源基因在烟草中表达,提高烟草对真菌的抗性^[37]。Naidu 等发现,使用堆肥茶可以降低白粉病菌孢子的萌发率^[38]。总之,探索新的、安全的生物防治措施具有十分重要的意义。

事实上,防治植物病害最经济、有效,且对环境与人畜安全的方法是抗病育种^[39-40],因此挖掘抗病资源与培育抗病品种是人类长期的奋斗目标。

参考文献:

- [1] 朱贤朝,王彦亭,王智发. 中国烟草病害[M]. 北京:中国农业出版社,2002:75-80.
- [2] Lucas G B. Diseases of tobacco[J]. Quarterly Review of Biology, 1965(4548):1421.

- [3]孟 坤,时 焦. 烟草白粉病病原菌致病力分化与遗传多态性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2014.
- [4]王凤龙,王 刚. 图说烟草病虫害防治关键技术[M]. 北京:中国农业出版社,2013:14.
- [5]邢荷荷,梁 晨,于 静,等. 青岛地区烟草白粉病病原[J]. 菌物学报,2015,34(1):159-163.
- [6]杨 铭,徐树德. 云南烤烟白粉病发生及防治方法的研究[J]. 中国烟草,1986(1):20-22.
- [7]Mahmood T, Lqbal A, Nazar N, et al. Assessment of genetic variability among selected species of *Apocynaceae* [J]. *Biologia*, 2011, 66(1): 64-67.
- [8]Yan Z, Denneboom C, Hattendorf A, et al. Construction of an integrated map of rose with AFLP, SSR, PK, RGA, RFLP, SCAR and morphological markers[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2005, 110(4):766-777.
- [9]郭予元,吴孔明,陈万权. 中国农作物病虫害[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2015:26-58.
- [10]孟 坤,时 焦,孙丽萍,等. 不同烟草品种对白粉病的抗性评价[J]. 烟草科技,2013(12):78-81.
- [11]查宏波,蔡忠山,黄韦华,等. 不同烤烟品种烟叶腺毛密度的差异性[J]. 烟草科技,2003,50(10):31-38.
- [12]Johnson J C, Nielsen M T, Collins G B. Inheritance of glandular trichomes in tobacco[J]. *Crop Science*, 1988, 28(2):241-244.
- [13]李鹏飞,周冀衡,邵 岩. 不同烤烟品种成熟过程中各类腺毛密度的变化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2005,31(2):133-137.
- [14]刘彩云,王凤龙. 烟草叶表腺毛与烟草白粉病发生的关系[J]. 江苏农业科学,2012,40(10):135-136.
- [15]周金仙. 不同生态条件下烟草品种烟叶腺毛密度的变化[J]. 中国农学通报,2007,23(7):156-159.
- [16]齐永杰,徐锦锦,梁 伟. 干旱胁迫对烟草腺毛密度及叶面分泌物的影响[J]. 广东农业科学,2008(6):39-49.
- [17]时向东,刘国顺,韩锦峰. 不同类型肥料对烤烟叶片腺毛密度、种类及分布规律的影响[J]. 中国烟草学报,1999,5(2):19-22.
- [18]刘佳玲. 烟草白粉病流行因素及防治对策[J]. 贵州农业科学,1998,26(5):38-40.
- [19]Cole J S. Powdery mildew of tobacco (*Erysiphe cichoracearum* DC.) II. Further studies of the effects of potassium deficiency on susceptibility, free amino nitrogen and carbohydrate content of leaves [J]. *Annals of Applied Biology*, 1966, 57(2):201-209.
- [20]雒振宁,时 焦,王 聪,等. 湖北晒晾烟地方种质对白粉病的抗性鉴定[J]. 烟草科技,2015,48(1):26-30.
- [21]董贤春,张志强,刘兰明,等. 6 种杀菌剂对烟草后期主要病害防治效果比较[J]. 安徽农业科学,2009,37(19):9032-9037.
- [22]门光耀,任毓忠,吉丽丽. 几种药剂对葡萄白粉病的防治效果[J]. 新疆农业科学,2011,48(4):677-682.
- [23]李淑君,马奇祥. 烟草病虫害防治彩色图说[M]. 北京:中国农业出版社,2001:9-11.
- [24]汪汉成,杨双剑,许冬青,等. 苯并噻二唑对漂浮育苗烟草白粉病的诱导抗性及其对烟苗安全性研究[J]. 植物保护,2012,38(6):123-126.
- [25]孙丽萍,雒振宁,孟 坤. 5 种杀菌剂对温室内烟草白粉病的防效调查[J]. 中国植保导刊,2013,33(9):64-66.
- [26]宋 双,张 鑫,罗 晶,等. 不同杀菌剂对烟草白粉病菌的室内毒力及田间防效[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(2):131-135.
- [27]张 涛,雷帮星,何 劲,等. 几种微生物菌剂对烟草白粉病的抑制效应[J]. 贵州农业科学,2016,44(9):60-62.
- [28]王 静,田 华,孔凡玉,等. 短小芽孢杆菌 AR03 对烟草赤星病菌和白粉病菌的防治[J]. 应用生态学报,2015,26(10):3167-3173.
- [29]Mercado - Flores Y, Crdens - lvarez I O, Rojas - Olvera A V, et al. Application of *Bacillus subtilis* in the biological control of the photopathogenic fungus *Sporisorium reilianum* [J]. *Biological Control*, 2014, 76(1):36-40.
- [30]柯 杨,朱海云,李 勃,等. 瓜类白粉病的生物防治研究进展[J]. 微生物学杂志,2016,36(1):106-112.
- [31]柯 杨,马 瑜,沈莹华,等. 冬凌草内生细菌的分离鉴定及其对植物病害的生防作用[J]. 微生物学杂志,2013,33(1):20-24.
- [32]Kiss L, Pintye A, Zséli G. Microcyclic conidiogenesis in powdery mildews and its association with intracellular parasitism by *Ampelomyces* [J]. *Eur J Plant Pathol*, 2010, 126(4):445-451.
- [33]Kiss L. Natural occurrence of *ampelomyces* intracellular mycoparasites in mycelia of powdery mildew fungi [J]. *New Phytologist*, 1998, 140(4):709-714.
- [34]Kavková M, Čurn V. *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) as a potential mycoparasite on *Sphaerotheca fuliginea* (Ascomycotina: Erysiphales) [J]. *Mycopathologia*, 2005, 159(1):53-63.
- [35]Gafni A, Calderon C E, Harris R, et al. Biological control of the cucurbit powdery mildew pathogen *Podosphaera xanthii* by means of the epiphytic fungus *Pseudozyma aphidis* and parasitism as a mode of action[J]. *Front Plant Sci*, 2015, 6(6):132.
- [36]Romero D, de Vicente A, Rakotoaly R H, et al. The iturin and fengycin families of lipopeptides are key factors in antagonism of *Bacillus subtilis* toward *Podosphaera fusca* [J]. *Mol Plant Microbe Interact*, 2007, 20(4):430-440.
- [37]Shi J, Thomas C J, King L A, et al. The expression of a baculovirus - derived chitinase gene increased resistance of tobacco cultivars to brown spot (*Alternaria alternata*) [J]. *Annals of Applied Biology*, 2015, 136(1):1-8.
- [38]Naidu Y, Meon S, Siddiqui Y. *In vitro* and *in vivo* evaluation of microbial - enriched compost tea on the development of powdery mildew on melon[J]. *BioControl*, 2012, 57(6):827-836.
- [39]石明亮,黄小兰,陆虎华,等. 玉米抗茎腐病研究进展及其鉴定与育种方法探讨[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):1-4.
- [40]任 海,吕小红,杜 萌. 多抗水稻分子标记辅助育种方法[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):154-158.