

张 杰,赵丹晨,张丽红,等. 环链棒束孢(*Isaria cateniannulata*)杀虫缓释剂的制作[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):119-124.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.03.020

环链棒束孢(*Isaria cateniannulata*)杀虫缓释剂的制作

张 杰¹, 赵丹晨¹, 张丽红¹, 李丰伯²

(1. 山西师范大学生命学院,山西临汾 041000; 2. 黄山学院生命与环境科学学院,安徽黄山 245000)

摘要:以环链棒束孢孢子粉为原材料,海藻酸钠/明胶/淀粉作为包埋剂,采用包埋法制作一种环链棒束孢杀虫缓释剂,探究环链棒束孢孢子粉最适添加量以及缓释剂壁材的最优配比。结果表明,当孢子粉加入量为 0.1 g/mL 时,缓释剂颗粒大小均匀,粒径约为 1.86 mm,成球率达到 96.85%,释放速率平稳,在 7 d 释放程度达到 66.99%。过高或过低芯材比例均会降低小球的性能。3% 海藻酸钠/0.5% 明胶/0.5% 淀粉为包埋剂制作出的缓释剂与 4% 海藻酸钠和 2% 海藻酸钠/2% 明胶为包埋剂所制作出的缓释剂相比,小球耐受度最高,承重力可达 3.53 g,载药量增至 4.08 × 10⁹ CFU/g,包埋率增至 93.78%。

关键词:环链棒束孢;海藻酸钠;包埋剂;缓释剂;包埋率;孢子粉

中图分类号: S482.91;S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)03-0119-05

环链棒束孢别称环链拟青霉,是一种重要的虫生真菌,在森林生态中的数量和分布仅次于白僵菌^[1]。在 1976—1977 年调查害虫病原微生物时,从罹病茶树害虫中分离得到的病原真菌大多数为拟青霉。梁宗琦经培养鉴定发现有 2 个新种,其中一种为环链棒束孢^[2]。目前研究发现,环链棒束孢具有一定杀虫作用:何劲等研究发现,环链棒束孢相较于玫烟色拟青霉、蝉拟青霉和细脚拟青霉对小菜蛾的室内毒力最强^[3];李丰伯等在对黄山细纹新须螨的防治研究中发现,环链棒束孢对其有较高触杀效果^[1];姚婷等在实验室条件下发现,环链棒束孢对线虫有强降解作用^[4];罗力等验证出环链棒束孢在甘蓝蚜的防治上具有应用潜力^[5];梁宗琦等发现,环链棒束孢对茶卷叶蛾和茶小卷叶蛾等茶树害虫等有直接触杀效果,并且致病率较高^[6-7];张晓娜等所在的实验室研究证明,环链棒束孢对二斑叶螨也有很好的毒杀效果^[8]。环链棒束孢在培养基的自然 pH 值时获得的产量最高,并且光照对环链棒束孢生长和产孢有促进作用^[9-10]。由于虫生真菌具有环境友好和生物学相容的特点,并且符合害虫防治技术

革命的要求,成为目前农林业所研究的重点内容^[11],也是许多国家目前都致力于生防研究的重点问题^[12]。虫生真菌对动物和人均非致病菌,不会对环境产生污染,无危害。它可以制成不同形式的药剂,像化学农药一样进行喷洒,简单快捷^[13]。

由黄山学院生命与环境科学学院微生物实验室的李丰伯等制造出的一种太阳能杀虫器为一种全自动喷洒装置,使用时放置或悬挂在阳光直射地点,依靠太阳能电池板吸收光能提供动力,将一定量药剂置于仪器内并在操作面板设定喷洒时间、喷洒份量、每日喷洒次数与时间,由内部齿轮快速旋转喷出药剂,从而实现自动化喷洒释放。此杀虫器不适合粉剂以及粒径超过 4 mm 的药粉颗粒,适用于粒径为 2 mm 左右的药剂。本研究的目的是制作出一种适用于该装置的颗粒药剂。

缓释释放剂是一种根据环境条件、有害生物的危害特点和发生规律,采用农药药剂加工方法制作出试剂,使农药按照需要的释放剂量、固定的释放时间、稳定持续的释放速率而释放^[14],属于发展迅速的新兴领域^[15],其特点可概括为可控、高效、便捷、准确施药^[16]。与传统剂型相比,缓释农药可减少降解^[17]、淋溶^[18]、蒸发等所带来的消耗,其制作方法通常包括喷雾干燥法、包埋法、界面聚合法、水相分离法等^[19]。本研究采用操作较为简便快速的包埋法制作缓释颗粒。包埋法通常使用 β -环糊精、壳聚糖、海藻酸钠、淀粉、明胶等物质作为包埋材料,其中海藻酸钠是从褐藻类的海带或马尾藻中

收稿日期:2018-11-06

作者简介:张 杰(1978—),男,副教授,硕士生导师,研究方向为微生物肥料的研发、生产、技术推广、质检化验、田间肥效试验等,
E-mail:604072014@qq.com。

通信作者:张丽红,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为资源与应用微生物,E-mail:731085930@qq.com;李丰伯,副教授,研究方向为微生物及发酵工程,E-mail:lfb@hsu.edu.cn。

提取碘和甘露醇之后的副产物,因其具有低成本、无毒、可生物降解性、良好的生物相容性等特点在医药和农药缓释领域当中受到广泛关注^[20-21]。本研究将虫生真菌与缓释剂结合,以环链棒束孢为杀虫物质,采用海藻酸钠为主要包埋材料制作出不同配比缓释剂,并对其进行性能分析比对,择优选出一种适用于太阳能杀虫器的缓释剂,从而改变向农田直接喷洒孢子粉模式,实现资源利用最大化,避免对资源以及人力所造成的浪费。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 菌株 环链棒束孢,来自于贵州大学生命科学学院真菌资源研究所,保存于黄山学院生命与环境科学学院微生物 3113 实验室。

于 2017 年 8 月至 2018 年 2 月在安徽省黄山市黄山学院生命与环境科学学院进行试验。

1.1.2 主要试剂 主要试剂详见表 1。

表 1 试验用主要试剂

试剂名称	等级	公司
海藻酸钠	分析纯	天津市光复精细化工研究所
可溶性淀粉	分析纯	天津博迪化工股份有限公司
明胶	分析纯	天津博迪化工股份有限公司
无水氯化钙	分析纯	广东汕头西陇化工公司
蔗糖	分析纯	天津博迪化工股份有限公司
FeSO ₄	分析纯	中国医药上海化学试剂公司
KCl	分析纯	天津博迪化工股份有限公司
NaNO ₃	分析纯	上海山浦化工有限公司
K ₂ HPO ₄	分析纯	天津博迪化工股份有限公司
MgSO ₄	分析纯	天津博迪化工股份有限公司

1.2 培养基

查氏培养基(Cazpek):NaNO₃ 2 g,K₂HPO₄ 1 g,KCL 0.5 g,MgSO₄ 0.5 g,FeSO₄ 0.01 g,蔗糖 30 g,琼脂 20 g,蒸馏水 1 000 mL,pH 值自然;将培养基 121 ℃ 下高压蒸汽灭菌 30 min。

1.3 方法

1.3.1 不同浓度环链棒束孢缓释剂的制作 在 1 000 mL 三角烧瓶中配制:3% 海藻酸钠/0.5% 明胶/0.5% 淀粉溶液 1 000 mL,并高压蒸汽灭菌 121 ℃ 30 min。将环链棒束孢孢子粉过 100 目筛,待包埋剂冷却至室温后,按每 10 mL 混合 0、0.5、1.0、1.5、2.0 g 孢子粉,分 5 组,每组 3 个重复,充分混匀。将配制好的 0.2 mol/L 氯化钙溶液置于磁力搅拌器上的烧杯中,使用 10 mL 一次性无菌注射器

(针头型号为 4#)吸取每组混合液,调控磁力搅拌机转速 400 r/min,匀速滴加到 0.2 mol/L 氯化钙溶液中,得到颗粒。包埋后的颗粒在室温下交联固化 24 h,弃去氯化钙溶液,使用无菌水清洗颗粒 3 次,放入 35 ℃ 烘箱中干燥 24 h,得到干燥缓释剂颗粒。

1.3.2 不同材料环链棒束孢缓释剂的制作 在 1 000 mL 三角烧瓶中配制:4% 海藻酸钠溶液(缓释剂 A)、2% 海藻酸钠/2% 明胶溶液(缓释剂 B)、3% 海藻酸钠/0.5% 明胶/0.5% 淀粉溶液(缓释剂 C)各 1 000 mL,按照每 10 mL 加 1 g 孢子粉的比例,使用“1.3.1”节的方法制作环链棒束孢缓释剂,3 个重复组。

1.3.3 缓释剂颗粒的成粒情况统计 收集并统计每 10 mL 各种混合溶液形成的缓释颗粒的颗粒数,并随机选取 15 颗缓释剂用电子显数卡尺测量并且计算其平均粒径。

1.3.4 缓释剂颗粒的机械强度检测 从交联固化好还没有烘干的环链棒束孢缓释剂中取出大小形状相当的小球 4 粒,在平坦的桌面上 4 个固定点摆成正方形,再在 4 个小球上面放 1 个培养皿,随后慢慢地往培养皿上加砝码,砝码质量由小递增,肉眼观察,直至小球产生形变,记录砝码质量,计算出小球所能承受的最大耐受力:每个小球承重=(培养皿的质量+砝码质量)/4。

1.3.5 缓释剂颗粒成球率统计 将每 10 mL 包埋剂与不同质量孢子粉的混合,制成成型缓释颗粒的总质量记作 $m_{总}$,10 mL 包埋剂所用的包埋试剂质量记作 $m_{材}$,每 10 mL 加入的孢子粉质量记作 m_x ,每组包埋剂与不同质量孢子粉的混合制成成型缓释颗粒的比率,记作成球率(granulation rate,GR)。

$$GR = m_{总} / (m_{材} + m_x)。$$

1.3.6 缓释剂颗粒载药量统计 称取 10 g 环链棒束孢缓释剂,在研钵中充分研磨至粉末状,然后倒入盛有 90 mL 无菌水的三角烧瓶中加入玻璃珠振荡摇晃 10 min 左右,使缓释剂粉末与水充分混匀,采用稀释涂布法平板法,在查氏培养基上涂布,每组重复 3 次。在恒温培养箱中 28 ℃ 下培养 3~4 d,对每组 1 g 缓释剂中所含孢子数进行统计,所得结果为缓释剂颗粒的载药量。

1.3.7 缓释剂颗粒包埋率统计 包埋剂对孢子粉中孢子的利用率就是缓释剂颗粒的包埋率(embedding rate,记作 ER),把 1 g 缓释剂的载药量记作 D ,10 mL 原料成球总质量记作 $m_{总}$,每 10 mL

使用的孢子粉质量记作 m_x , 原材料 1 g 孢子粉中孢子数记作 n , 原材料中孢子粉中的孢子数检测方法同“1.3.6”节。

$$ER = (D \times m_{总}) / (n \times m_x) \times 100\%$$

1.3.8 缓释剂颗粒溶胀率统计 各取 5 g 干燥的缓释剂置于 25 ℃ 的无菌水中, 每隔 0.5 h、1 h、2 h、4 h、8 h、12 h、1 d 和 2 d 时间取出所有缓释剂, 滤纸吸干表面水分, 称取 t 时的湿质量, 按下式计算不同时间的溶胀率 (swelling ratio, SR)。其中, m_d 表示缓释剂干质量, m_t 表示缓释剂 t 时湿质量。

$$SR = (m_t - m_d) / m_d \times 100\%$$

1.3.9 缓释剂颗粒释放速率统计 取各种缓释剂各 5 g, 放置于三角烧瓶中, 倒入 250 mL 无菌水, 三角烧瓶口用保鲜膜密封, 室温下进行缓释释放试验, 分别在 1 h、2 h、6 h、12 h、1 d、2 d、4 d 和 7 d 吸取 1 mL 的溶液, 采用稀释涂布法对缓释释放液中的孢子数进行检测, 从而计算出各种缓释颗粒的缓释速率, 每次吸取后补充等量的无菌水至三角烧瓶中密封瓶口。按下式计算不同时间不同缓释剂的释放速率, 记作 RE。

$$RE = N_T / D_L \times 100\%$$

式中: N_T 表示 T 时缓释剂释放出的环链棒束孢孢子量; D_L 为这种缓释剂原本的载药量。

2 结果与分析

2.1 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂性质分析

2.1.1 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂成粒情况 从表 2 可以看出, 随着孢子粉在缓释剂中的浓度增大, 形成完整微球的数量呈现出先增大后减小的趋势, 这可能是由于孢子粉比例影响到混合试剂的黏稠度, 当孢子粉浓度从 0.15 g/mL 开始, 成球颗粒减少, 孢子粉浓度为 0.10 g/mL 的缓释剂颗粒成球率相对较高; 微球粒径、微球的承重力随着孢子粉浓度的增加而增大, 但是随着孢子粉浓度的增加, 颗粒均匀度发生明显变化, 成球难度加大, 这是由于孢子粉浓度过高、试剂过稠造成针头堵塞, 制作难度加大, 从而影响海藻酸钠与氯化钙进行成膜反应。

通过稀释涂布法测出原材料孢子粉的孢子含量为 6.09×10^9 CFU/g, 代入公式计算微球的载药量和包埋率。图 1 和图 2 描述了不同孢子粉浓度海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂载药量和包埋率, 由图 1

表 2 不同孢子粉浓度的海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂成粒情况

孢子粉浓度 (g/mL)	数量 (个/mL)	粒径 (mm)	承重 (g)	成球率 (%)
0	25.50 ± 3.57a	0.64 ± 0.084 2a	2.28	96.38
0.05	25.50 ± 5.79a	1.45 ± 0.133 9b	2.53	91.79
0.10	30.13 ± 2.47a	1.86 ± 0.239 6c	3.53	96.85
0.15	26.33 ± 2.63a	1.92 ± 0.240 2c	3.78	93.68
0.20	24.73 ± 3.29a	2.00 ± 0.244 0c	4.28	82.61

注: 表中数据为 3 次重复的“平均值 ± 标准差”, 小写字母表示 0.05 水平下呈显著水平。

和图 2 可以明显看出, 随着孢子粉浓度加大, 载药量也就越大, 但是包埋率随孢子粉浓度增加而递减。在孢子粉浓度为 0.05 g/mL 时, 微球包埋率表现较好。可能是由于芯材比例的加大, 孢子粉更容易流失, 包埋难度增加。一方面减小了海藻酸钠/明胶/淀粉对芯材的包埋能力, 另一方面减小了微球的质量, 使载药率升高。

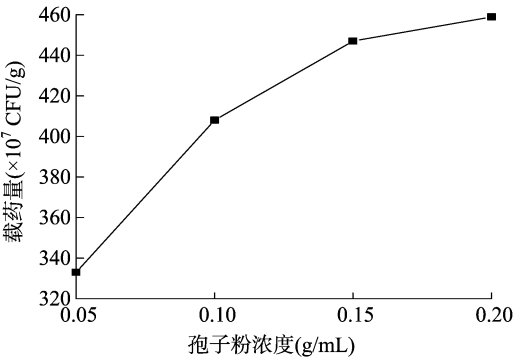


图1 不同海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂载药量

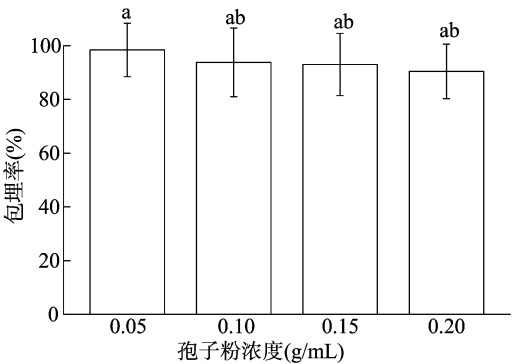


图2 不同海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂包埋率

2.1.2 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂溶胀率分析 将固定时间点的每组微球称取的湿质量代入公式, 得出 t 时的溶胀率。图 3 描述了海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂溶胀动力曲线, 从图 3 可以明显看出空白微球溶胀率明显比加入了孢子粉微球的溶胀率高, 加入

了孢子粉的微球溶胀程度减半,这说明加入孢子粉对微球的溶胀率有明显的降低效果,但是加入的孢子浓度不同,对海藻酸钠/明胶/淀粉微球的溶胀率没有明显的影响。

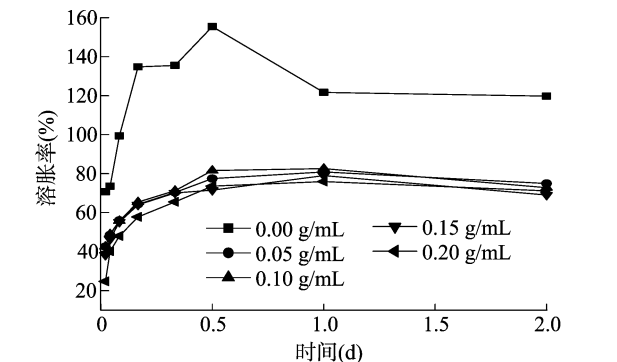


图3 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂溶胀率

2.1.3 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂释放性能分析 对固定时间点取得的水样进行稀释涂布计数,并根据公式计算出每组缓释剂在相同时间内的释放率,得到图 4 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂释放率。从图 4 中可以看出,海藻酸钠/明胶/淀粉微球释放率 2 d 内持续增长,在 2 d 后达到稳定水平。孢子粉浓度为 0.05 g/mL 的微球释放率相较于其他 3 组的效果差,释放率较低;0.10 g/mL 孢子粉浓度的微球释放率较为平稳。孢子粉浓度过高或过低时,缓释性能变差。孢子粉是通过微球溶蚀或降解释放扩散至外部环境,芯材比例较大的孢子粉更容易释放,但孢子粉浓度过高容易使微球崩解,导致缓释速率不稳定,并且释放程度也较差。

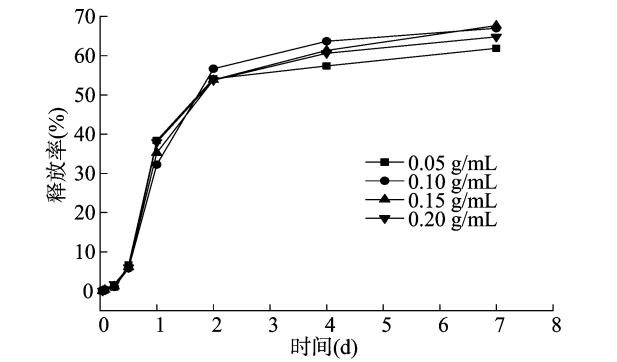


图4 海藻酸钠/明胶/淀粉不同浓度环链棒束孢缓释剂释放率

2.2 海藻酸钠/明胶/淀粉环链棒束孢缓释剂性质分析

2.2.1 海藻酸钠/明胶/淀粉环链棒束孢缓释剂成粒情况 使用等量的孢子粉制作出缓释剂 A、B、C。从表 3 中可以明显看出,随着缓释剂中海藻酸钠所

占比例的减小,小球成球数增加,小球粒径减小。相较于缓释剂 B 成球率较高,但缓释剂 C 所制作出的小球大小更均匀,承重效果也最好。

表 3 海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂成粒情况

包埋材料	数量 (个/mL)	粒径 (mm)	承重 (g)	成球率 (%)
缓释剂 A	26.37 ± 3.49a	1.90 ± 0.2530a	2.78	82.91
缓释剂 B	36.97 ± 3.34ab	1.78 ± 0.2807a	3.28	93.68
缓释剂 C	30.13 ± 2.47b	1.86 ± 0.2396a	3.53	82.61

注:表中数据为 3 次重复的“平均值 ± 标准差”,同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著。

从图 5 和图 6 中可以明显看出缓释剂载药量依次表现为 A < B < C,缓释剂载药量最高达到 4.08 × 10⁹ CFU/g;3 种缓释剂包埋率依次表现为 A < B < C,缓释剂包埋率都在 69% 以上,缓释剂 C 达到 93.78%。这是由于海藻酸钠浓度较高时,微球体系黏稠度加大,从注射器中挤出难度加大并且挤出的小球容易变形成为饼状,继而包埋效果差。

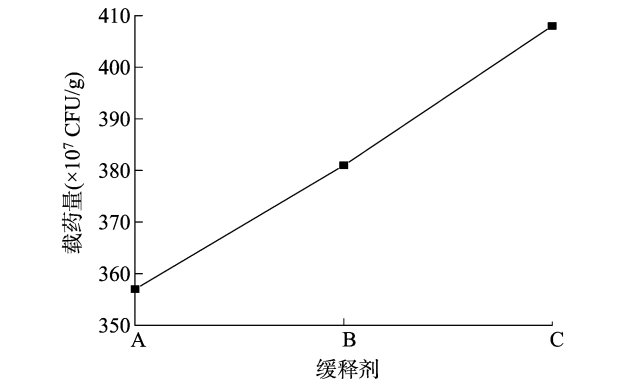


图5 海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂载药量

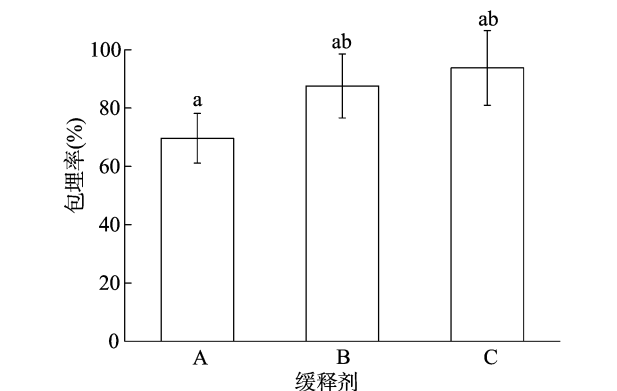


图6 海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂包埋率

2.2.2 海藻酸钠/明胶/淀粉环链棒束孢缓释剂溶胀率分析 图 7 显示 3 种缓释剂的溶胀率依次表现为 C > B > A,缓释剂 A、B 在 12 h 内达到最大溶胀率,缓释剂 C 在 1 d 内达到峰值,之后 3 种缓释剂溶胀率开始逐渐下降,可能是由于缓释剂产生溶蚀,

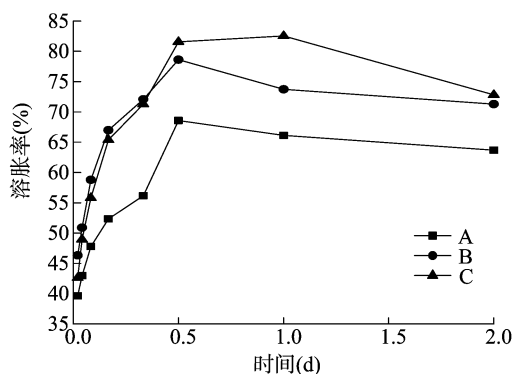


图7 海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂溶胀率

缓释剂 C 的下降速度更快,是由于加入了易崩解的淀粉所导致的。

2.2.3 海藻酸钠/明胶/淀粉环链棒束孢缓释剂释药性能分析 从图 8 可以看出 3 种缓释剂在 6 h 前释放速率相当;6 h 后缓释剂 A 骤然上升,缓释剂 B、C 上升稳定,并且缓释剂 C 在 2 d 后所表现出的释放率比缓释剂 A 和 B 都高;在 7 d 后的释放率表现为 C > B > A。这说明海藻酸钠中加入的明胶和淀粉这 2 种辅助材料对缓释剂的释放速率产生了一定的调控作用。

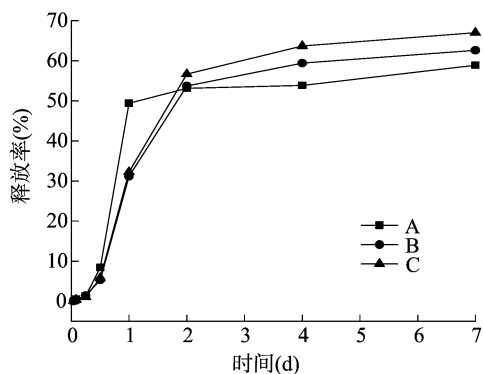


图8 海藻酸钠/明胶/淀粉缓释剂释放率

3 结论与讨论

本试验制作出了以海藻酸钠为主要原材料的环链棒束孢缓释剂颗粒,其直径在 2 mm 左右,当环链棒束孢孢子粉加入量为 0.1 g/mL 时,缓释剂颗粒的粒径约为 1.86 mm,粒径较为均匀,与王梅等所制作的巨大芽孢杆菌包埋颗粒^[22]相比较颗粒较小,更适用于太阳能杀虫器;成球率达到 96.85%,释放率平稳,在 7 d 后释放程度达到 66.99%;与宋双居等所制作出的明胶/海藻酸钠缓释微胶囊包埋率^[23]相比较,3% 海藻酸钠/0.5% 明胶/0.5% 淀粉环链棒束孢缓释剂对环链棒束孢孢子粉包埋率较高,当孢子粉添加量为 0.5 g/mL 时,包埋率最高,达 98.42%。

相对于包埋剂为 4% 海藻酸钠或 2% 海藻酸钠/2% 明胶,3% 海藻酸钠/0.5% 明胶/0.5% 淀粉作为包埋材料效果较好,此时小球承重力达到 3.53 g,载药量增至 4.08×10^9 CFU/g,包埋率增至 93.78%,缓释速率趋于平稳。本研究仅对环链棒束孢缓释剂颗粒制作工艺进行设计与比对,并未对其进行野外杀虫试验,今后研究可以通过与太阳能杀虫器的结合进行大田试验,进一步探究其野外杀虫效果。

参考文献:

- [1] 李丰伯,汪传友,姚剑飞,等. 环链拟青霉防治黄山风景区细纹新须螨[J]. 东北林业大学学报,2011,39(7):77-78.
- [2] 梁宗琦. 拟青霉属的两个新种[J]. 微生物学报,1981,21(1):31-34+132.
- [3] 何劲,康冀川,雷帮星,等. 四株虫生真菌的鉴定及其对小菜蛾的室内毒力[J]. 植物保护学报,2010,37(4):341-346.
- [4] 姚婷,梁宗琦,莫明和,等. 拟青霉云南菌株的杀线虫作用[J]. 中国生物防治,2006,22(3):226-229.
- [5] 罗力,刘爱英,邹晓,等. 杀蚜虫真菌的筛选研究[C]//第八届海峡两岸菌物学学术研讨会论文集. 长春,2007:6.
- [6] 梁宗琦. 茶树害虫的虫生真菌[J]. 植物病理学报,1981(4):11-18.
- [7] 王定锋,杨广,王庆森,等. 两株棒束孢菌的鉴定及其对茶卷叶蛾和茶小卷叶蛾的致病力[J]. 植物保护学报,2014,41(5):531-539.
- [8] 张晓娜,金道超,邹晓,等. 杀二斑叶螨高毒力环链棒束孢菌株的筛选及其对尼氏真绥螨的影响[J]. 环境昆虫学报,2014,36(3):372-380.
- [9] 李丰伯. 环链拟青霉生物学特性、对蚜虫菜青虫的毒力及固体发酵优化研究[D]. 贵阳:贵州大学,2006.
- [10] 朱新燕. 环链拟青霉的生物学特性和在马尾松林生态系中遗传多样性的研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2007.
- [11] 冯明光. 刺吸式害虫的微生物防治——真菌杀虫剂的开发与应用[C]//中国科协首届学术年会论文集,杭州,1999:1.
- [12] 吕宗恕,郑育杰. 林业害虫,年损千亿[J]. 营销界(农资与市场),2013(2):80-83.
- [13] 李月,姜春杰,赵宇鹰,等. 虫生真菌在林业害虫生物防治中的应用[J]. 吉林农业,2017(15):64-65.
- [14] 张丽萍. 国内外农药加工现状[J]. 山西农业科学,2000(1):71-74.
- [15] 杨蕾,叶非. 农药缓释剂的研究进展[J]. 农药科学与管理,2009,30(10):36-39.
- [16] 杨淑珍. 农药缓释剂研究进展[J]. 山西农业科学,2012,40(2):186-188.
- [17] Dailey J D. Volatilization of alachlor from polymeric formulations[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2004,52(22):6742-6746.
- [18] Sopena F, Cabrera A, Maqueda C, et al. Ethylcellulose formulations for controlled release of the herbicide alachlor in a sandy soil[J].

林 珊,陆兴利,王茹琳,等. RCP8.5 情景下气候变化对四川省猕猴桃溃疡病病菌地理分布的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):124-129.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.03.021

RCP8.5 情景下气候变化对四川省猕猴桃 溃疡病病菌地理分布的影响

林 珊^{1,2}, 陆兴利², 王茹琳^{1,2,3}, 李 庆³, 王明田⁴, 郭 翔⁵, 文 刚⁶

(1. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川成都 610072;

2. 四川省农村经济综合信息中心, 四川成都 610072; 3. 四川农业大学农学院, 四川成都 611130;

4. 四川省气象台, 四川成都 610072; 5. 四川省农业气象中心, 四川成都 610072; 6. 四川省宜宾市农业局, 四川宜宾 644000)

摘要:基于当前和 RCP8.5 情景, 选用最大熵 (MaxEnt) 模型对猕猴桃溃疡病病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) 在四川省的潜在分布区进行预测, 并分析 21 世纪 30 年代、50 年代、70 年代和 80 年代的适生区变化。结果表明, 利用 ROC 曲线对模型模拟的准确度进行评价, 训练数据和测试数据 AUC 分别介于 0.915 ~ 0.970、0.924 ~ 0.956 之间, 预测结果准确。当前气候条件下, 猕猴桃溃疡病病菌在四川省的高适生区主要位于成都市、德阳市、绵阳市、广元市、巴中市、达州市和雅安市, 中适生区在四川省 21 地市 (州) 均有分布。RCP8.5 情景下, 与当前情景相比, 高适生区和低适生区面积均显著增加, 中适生区面积先增加后减少, 不同适生区几何中心位置和迁移规律均有所不同, 但总体上均向北移动。

关键词:猕猴桃溃疡病病菌 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*); MaxEnt 模型; 气候变化; 适生分析; 地理分析

中图分类号: S436.634.1⁺9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)03-0124-06

四川省是猕猴桃种植大省, 主栽品种以红阳、东红、红什 2 号、金红 50 等红心猕猴桃为主, 栽培面积为 46.6 万 hm^2 , 占全国红心猕猴桃栽培面积的

90% 以上^[1]。目前, 四川省猕猴桃种植区域包含 17 个市 (州), 年产量约 39.8 万 t, 居全国第 2 位。猕猴桃产业是四川省脱贫攻坚工作的重要手段, 因此种植规模仍呈迅速扩大之势^[2]。在发展过程中, 由于缺乏合理的种植区划, 全省大面积推广红心猕猴桃, 出现品种单一化和重大病虫害突发等问题, 特别是猕猴桃溃疡病的大面积暴发和迅速蔓延, 对猕猴桃产业造成严重威胁^[3]。

猕猴桃溃疡病危害植株的主干、枝条、花和叶片等部位, 病原为丁香假单胞杆菌猕猴桃致病变种 (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*), 可通过农事操作、苗木、花粉、风雨和昆虫等传播^[4-5]。猕猴桃溃

收稿日期: 2019-01-03

基金项目: 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金 (编号: 省重点实验室 2018-重点-05-11、省重点实验室 2018-青年-31、省重点实验室 2018-重点-05-04); 国家现代农业产业体系四川水果创新团队猕猴桃病虫害综合防治岗位 (编号: 2013-2018)。

作者简介: 林 珊 (1986—), 女, 四川成都人, 硕士, 助理工程师, 主要从事病虫害气象指标研究。E-mail: 523236247@qq.com。

通信作者: 王茹琳, 博士, 工程师, 主要从事气候变化与病虫害关系研究。Tel: (028) 87360982; E-mail: 398927566@qq.com。

Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55 (20): 8200-8205.

[19] 郭艳珍, 杨 倩, 彭 邈, 等. 农药微胶囊缓释剂的研究进展 [C]//“创新驱动与现代植保”——中国植物保护学会第十一次全国会员代表大会暨 2013 年学术年会论文集. 青岛: 中国植物保护学会, 2013: 10.

[20] Ørning P, Hoem K S, Coron A E, et al. Alginate microsphere compositions dictate different mechanisms of complement activation with consequences for cytokine release and leukocyte activation [J]. Journal of Controlled Release (Official Journal of the Controlled

Release Society), 2016, 229: 58-69.

[21] Kumar S, Chauhan N, Gopal M, et al. Development and evaluation of alginate-chitosan nanocapsules for controlled release of acetamidiprid [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 81: 631-637.

[22] 王 梅, 刘兆辉, 江丽华, 等. 巨大芽孢杆菌固定化包埋材料的初步研究 [J]. 江西农业学报, 2009, 21 (12): 57-58, 63.

[23] 宋双居, 李 芝, 刘伟华, 等. 明胶/海藻酸钠缓释微胶囊的制备与控制释放性能研究 [J]. 河北农业大学学报, 2013, 36 (2): 90-93.