

复凝聚法制备球孢白僵菌微胶囊

李 珊, 王志英* (东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的]研究复凝聚法制备以明胶和阿拉伯胶为壁材的球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)微胶囊的工艺。[方法]通过单因素试验研究了明胶浓度、阿拉伯胶浓度、芯壁比、pH、反应温度和转速对微胶囊包埋效率的影响,再通过正交优化试验确定最佳制备条件;利用光学显微镜、扫描电子显微镜和粒径测微仪对球孢白僵菌微胶囊形态及粒径分布进行表征。[结果]复凝聚法制备球孢白僵菌微胶囊最佳工艺条件为明胶浓度1.5%、阿拉伯胶浓度0.5%、芯壁比1.0:1.5、复凝聚反应pH 3.8、搅拌速度450 r/min,在该条件下可制得包埋率达78.32%、粒径分布均匀且平均粒径在44.16 μm左右、流动性好的球型固体微胶囊。[结论]该研究制备的微胶囊符合实际应用需求,为真菌杀虫剂的研制提供了理论依据。

关键词 球孢白僵菌;明胶;阿拉伯胶;复凝聚法;微胶囊

中图分类号 S482.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)29-10179-04

Study on the Preparation of *Beauveria bassiana* Microcapsules by Complex Coacervation

LI Shan, WANG Zhi-ying* (Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] The aim was to study the preparation technology of *Beauveria bassiana* microcapsule by complex coacervation method from gelatin and Arabic gum as wall material. [Method] The effect of processing parameters which included the different wall material concentration, the ratio between the wall material, the ratio of core to skin, pH, reaction temperature and the stirring speed on the efficiency of microencapsulated was evaluated by single factor experiments. The optimal preparation process condition was obtained by applying orthogonal optimization experiments. The microcapsules were characterized by optical microscope, scanning electron microscope and laser particle size analyzer. [Result] The optimum condition was follows: gelatin concentration was 1.5%, arabic gum concentration was 0.5%, the ratio of core to skin was 1.0:1.5, the complex coacervation reaction pH value was 3.8, and stirring speed was 450 r/min. The microencapsulation efficiency can reach 78.32%. The spherical solid microcapsules, which was liquidity, with even distribution of particle size and average diameter of about 44.16 μm. [Conclusion] The microcapsules can fully meet the needs of practical applications, and the research provides theoretical basis for the preparation of pesticides.

Key words *Beauveria bassiana*; Gelatin; Arabic gum; Complex coacervation; Microcapsule

球孢白僵菌是目前世界上研究和应用最多的昆虫病原真菌之一,能侵染15个目149个科的700多种昆虫^[1],具有对人、畜及生态环境影响小、容易培养、致病性强、防治害虫效果好、保护害虫天敌、害虫不易产生抗性、适应性强等特点,已被用于防治多种农林害虫^[2]。但在实践应用中,无论是直接使用原菌粉、孢子粉或者使用白僵菌剂型,对外界环境,如温度、湿度、干旱、光照等,都较敏感。其中一个重要影响因素便是太阳光中的紫外线对孢子的杀伤会降低微生物农药田间防治效果^[3]。微胶囊剂具有保护芯材物质免受环境影响的显著特点,可有效防止或减弱紫外线的杀伤,从而提高杀虫效果,延长残效期。笔者以明胶和阿拉伯胶为壁材^[4],利用成囊技术包埋球孢白僵菌,制成微胶囊以提高菌体的稳定性,增强其耐紫外照射、延长储存期,方便田间使用并延长田间宿存能力。

微胶囊技术是以天然或合成的高分子材料作为囊壁,通过化学法、物理法或物理化学法将活性物质囊心包裹起来,形成具有半透性或密封的囊膜的技术^[5]。复凝聚法是物理化学法中相分离法的一种,它是根据天然高分子化合物在某一固定pH范围内呈相反电性的原理,使高分子天然化合物凝积在芯材表面,从而形成双层壁的微胶囊^[6]。微胶囊粒子的大小和形状根据具体的制备工艺不同而存在较大范围内

变化,通常制备的微胶囊粒子大小在1.00~1 000.00 μm,壁材的厚度在0.01~10.00 μm^[7]。复凝聚法是制备微胶囊的重要方法之一,在国内外已有广泛的应用和研究,主要用于医药、农药、食品、肥料等领域。国内,伊可儿等^[8]生产的球孢白僵菌微胶囊剂在贮藏10个月后果孢白僵菌的孢子萌发率最高达80.28%;贮藏12个月,对马尾松毛虫的校正死亡率仍达66%以上。陆继锋等^[9]采用复凝聚法制备有机磷杀虫剂辛硫磷微胶囊,增强了囊芯的稳定性,延长了杀虫剂的药效。刘志强等^[10]进行球孢白僵菌聚合凝胶防治玉米螟(*Ostrinia nubilalis*)试验,施药2个月后调查,仍有活性菌团存在,杀虫效率达84%以上。马丽杰等^[11]和周小敏等^[12]分别以壳聚糖和木质素磺酸钠、明胶和阿拉伯胶为囊材将阿维菌素包埋成微胶囊,包埋率均超过82%。在国外,复凝聚法制备的微胶囊剂也广泛应用于各个行业。Gu等^[13]以昆虫性信息素分子十二烷醇作为囊芯,采用复合凝聚法以明胶和阿拉伯胶作为囊壁材料制备昆虫性信息素微胶囊。Feng等^[14]探讨了利用复凝聚和喷雾干燥方法制成的香料微胶囊可抑制其挥发。Hussain等^[15]利用复凝聚法,选用明胶和壳聚糖作为囊皮材料,制备花椒油微胶囊,改善花椒油微胶囊的缓释效果。Light等^[16]制备梨酯微胶囊防治苹果蠹蛾幼虫,梨酯能吸引和诱捕苹果蠹蛾幼虫,同杀虫剂协同作用能够打乱寄主的位置并提高死亡率。目前,复凝聚法中最常见的壁材有明胶、阿拉伯胶、壳聚糖、木质素磺酸钠、海藻酸钠等,笔者以明胶和阿拉伯胶为壁材^[4],探讨了明胶浓度、阿拉伯胶浓度、芯壁比、pH、反应温度和转速等因素对复凝聚过程的影响,确定了球孢白僵菌微胶囊的制备体系,并表征了

基金项目 “十二五”农村领域国家科技计划项目(2011BAD37B01-4);黑龙江省科技计划项目(GA09B203-3)。

作者简介 李珊(1989-),女,吉林长春人,硕士研究生,研究方向:有害昆虫综合治理。* 通讯作者,教授,博士生导师,从事森林病虫害生物防治研究。

收稿日期 2014-09-01

球孢白僵菌微胶囊的微观结构,以期为开发新型微生物农药提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌种。球孢白僵菌(质量 500 亿/g)由辽宁万恒生物制剂有限公司生产。将菌粉过 200 目筛,装瓶备用。

1.1.2 试剂。明胶(Sigma-Aldrich 公司)、阿拉伯胶(Amresco 公司)、吐温-80(Amresco 公司)、戊二醛(国药集团化学试剂有限公司)和冰乙酸(国药集团化学试剂有限公司),其余试剂购自天津广成化学试剂有限公司;去离子水(实验室自制)。

1.1.3 仪器。电子天平(AR2130,梅特勒-托利多仪器有限公司)、磁力搅拌器(德国 SLK 公司)、电动搅拌器(德国 CY1L6-PS-NCY1L6H-A-N)、高速离心机(D-37520,德国 Osterode 公司)、电子扫描显微镜(JSM-6460LV,日本 JEOL 公司)、激光粒度分析仪(BT-9300H,辽宁丹东百特仪器有限公司)和生物显微镜(奥林巴斯有限公司上海分公司)。

1.2 方法

1.2.1 球孢白僵菌微胶囊的制备。把球孢白僵菌菌粉配成一定浓度的菌液,加入一定量 20% 吐温-80,置于磁力搅拌器以 400 r/min 搅拌乳化,制成球孢白僵菌悬浮液,镜检分散均匀后加入适量明胶水溶液,温度缓慢升至 40 ℃ 恒温,待体系搅拌一段时间后,将其转入等量的阿拉伯胶水溶液中,在不断搅拌下缓慢滴加 10% 醋酸溶液于混合液中,调节系统的 pH 至 4.0 左右。继续搅拌,将体系置于冰浴中使温度降到 5~10 ℃,加入固化剂戊二醛(25%) 溶液 1 ml,再用 10% NaOH 溶液调节 pH 至 8.0~9.0,低温下搅拌 1 h 后,取出微胶囊溶液进行离心处理,用去离子水将离心管下方的微胶囊沉淀洗涤至无戊二醛,最后得到的微胶囊室温晾干,干燥后的物质为球孢白僵菌微胶囊粉末,4 ℃ 下保存。

1.2.2 球孢白僵菌微胶囊的形态特征观察。将所制微胶囊悬浮液滴 1 滴到载玻片上,用光学显微镜观察微胶囊的形态。在扫描电子显微镜样品台上贴一层双面胶将微胶囊粉末轻轻撒在上面,轻轻吹去多余粉末,再进行喷金处理,利用扫描电子显微镜对球孢白僵菌微胶囊干粉进行电镜扫描,观察其外部形态特征。

1.2.3 球孢白僵菌微胶囊包埋率的测定。取 0.1 g 菌粉配成菌悬液,测其菌数(B_0),另取相同重量的菌粉所制微胶囊等体积溶液,测其菌数(B_1),则包埋率 = $1 - B_1/B_0$ [17]。

1.2.4 粒径检测。采用 BT-2003 型激光粒度分布仪进行测定,每个样品测定 3 次。

1.2.5 单因素优化微胶囊制备工艺。

1.2.5.1 明胶浓度对微胶囊形成的影响。选取明胶浓度 0.5%、1.0%、2.0%、3.0% 和 4.0%,阿拉伯胶浓度 1.0%,芯壁比 1:2,成囊 pH3.8,反应温度 40 ℃,搅拌速度 500 r/min,反应结束后沉淀洗涤,测定包埋率,并在相同试验条件下重复 3 次。

1.2.5.2 阿拉伯胶浓度对微胶囊形成的影响。选取阿拉伯

胶浓度 0.5%、1.0%、2.0%、3.0% 和 4.0%,明胶浓度 1.0%,芯壁比 1:2,成囊 pH3.8,反应温度 40 ℃,搅拌速度 500 r/min,反应结束后洗涤沉淀,测定包埋率,并在相同试验条件下重复 3 次。

1.2.5.3 芯壁比对微胶囊形成的影响。芯壁比选取 3:1、2:1、1:1、1:2 和 1:3,明胶浓度 1.0%,阿拉伯胶浓度 1.0%,成囊 pH3.8,反应温度 40 ℃,搅拌速度 500 r/min,反应结束后洗涤沉淀,测定包埋率,并在相同试验条件下重复 3 次。

1.2.5.4 成囊 pH 对微胶囊形成的影响。pH 选取 3.4、3.6、3.8、4.0 和 4.2,明胶浓度 1.0%,阿拉伯胶浓度 1.0%,芯壁比 1:2,反应温度 40 ℃,搅拌速度 500 r/min,反应结束后洗涤沉淀,测定包埋率,并在相同试验条件下重复 3 次。

1.2.5.5 成囊温度对微胶囊形成的影响。反应温度选取 30、40、50、60 和 70 ℃,明胶浓度 1.0%,阿拉伯胶浓度 1.0%,芯壁比 1:2,成囊 pH3.8,搅拌速度 500 r/min,反应结束后洗涤沉淀,测定包埋率,并在相同试验条件下重复 3 次。

1.2.5.6 转速对微胶囊形成的影响。转速选取 300、400、500、600 和 700 r/min,明胶浓度 1.0%,阿拉伯胶浓度 1.0%,芯壁比 1:2,成囊 pH3.8,反应温度 40 ℃,反应结束后洗涤沉淀,测定包埋率,并在相同试验条件下重复 3 次。

1.2.6 正交优化微胶囊制备工艺。针对单因素影响因子的试验结果,比较其外部形态特征、微胶囊的包埋率,选出对微胶囊包埋率影响较大的因素,将该因素作为明胶/阿拉伯胶-球孢白僵菌微胶囊的正交试验的因素。将能够影响试验结果的因素再次设置不同水平,进行正交试验以确定微胶囊的最佳制备工艺。

1.2.7 数据处理。数据均采用平均值表示,采用 Excel 2003 和正交设计助手 II 进行分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 明胶浓度对微胶囊形成的影响。由图 1 可知,微胶囊的包埋率随明胶浓度的增大呈先升高后下降的趋势,在明胶浓度为 1.0% 时包埋率达 73.93%。0.5%~4.0% 明胶制成的微胶囊包埋率分别为 47.08%、73.93%、68.22%、49.42% 和 38.13%。由此得知,低浓度明胶溶液条件下制备出的微胶囊具有较高的包埋效率,低浓度有利于物质的溶解,易分散在体系里,与阿拉伯胶反应时能防止壁材过量而造成体系黏稠,但浓度太低也不利于微胶囊的形成,低浓度不能提供足够的电荷与阿拉伯胶反应。明胶浓度为 1.0% 和 2.0% 的微胶囊包埋率高于明胶浓度为 0.5%、3.0% 和 4.0% 的微胶囊。综上所述,低浓度明胶的微胶囊可以提高包埋率;高浓度的明胶不利于复凝聚反应的进行,同时造成囊壁致密,厚度增大,不利于囊芯的释放,浓度继续加大时,微胶囊之间还易出现粘连现象。因此,明胶的浓度应控制在 0.5%~2.0% 范围内。

2.1.2 阿拉伯胶浓度对微胶囊形成的影响。由图 2 可知,阿拉伯胶浓度在 0.5%~4.0% 时制成的微胶囊包埋率分别为 66.42%、73.93%、70.95%、56.40% 和 46.82%。随阿拉

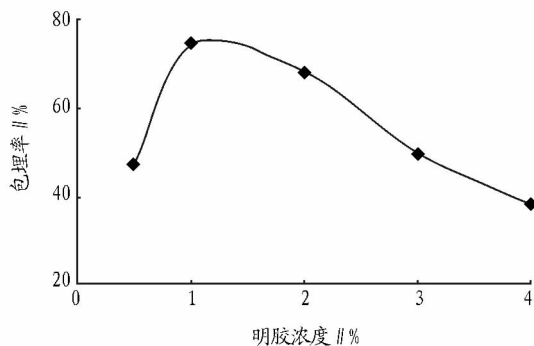


图1 明胶浓度对包埋率的影响

伯胶浓度的增大球孢白僵菌微胶囊的包埋率表现为先增大后减小,在浓度为1.0%时包埋率最大。由此得知,阿拉伯胶浓度为0.5%、1.0%和2.0%所制微胶囊的包埋率高于阿拉伯胶浓度为3.0%和4.0%的微胶囊,阿拉伯胶浓度为3.0%和4.0%时,溶液黏度增大易粘连。综上所述,阿拉伯胶浓度为0.5%~2.0%时有利于微胶囊形成。

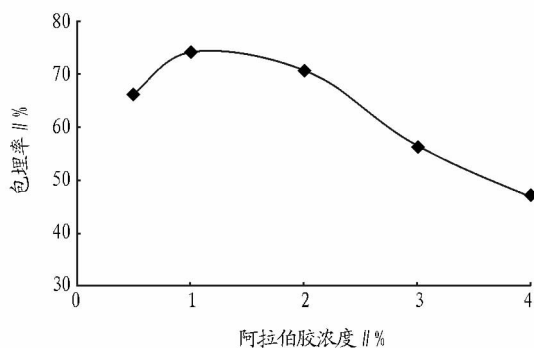


图2 阿拉伯胶浓度对包埋率的影响

2.1.3 芯壁比对微胶囊形成的影响。由图3可知,随芯壁比的增大,包埋率先升高后降低的趋势,芯壁比为1:2时微胶囊的包埋率最大为73.93%。芯壁比为1:3、1:2、1:1、2:1、3:1时制成的微胶囊包埋率分别为51.94%、73.93%、69.21%、52.93%和26.07%。由此得知,芯壁比为1:1和1:2的微胶囊的包埋率高于芯壁比为3:1、2:1和1:3的微胶囊。芯壁比过大,芯材过量会导致包埋率下降,壁材过少不能完全将芯材包覆,使得大量的囊芯粘在微胶囊表面,囊壁膜变薄。芯壁比过小,囊壁材料有大量剩余,囊壁浓度过大也易粘连,形成的囊壁变厚,不利于囊芯的释放。

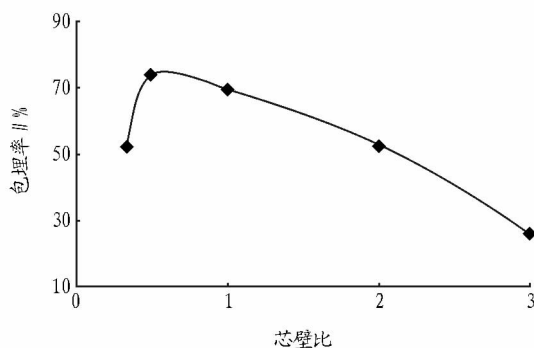


图3 芯壁比对包埋率的影响

2.1.4 pH对微胶囊形成的影响。由图4可知,在pH为3.4~4.2时制成的微胶囊包埋率分别为58.02%、66.49%、73.93%、74.45%和64.40%。pH为4.0时微胶囊的包埋率最大为74.45%。pH为3.8和4.0的微胶囊包埋率高于pH为3.4、3.6和4.2的微胶囊,这是由明胶和阿拉伯胶的性质所决定的,在水溶液中明胶分子中的正负电荷数量受介质pH的直接影响。当pH为3.6~4.2时明胶中正电荷达最大,在该条件下加入带负电荷的阿拉伯胶溶液,此时彼此的静电作用处于最理想状态,明胶和阿拉伯胶产生凝聚现象而形成微胶囊^[7]。当pH小于3.0时,也不能得到聚合物,这是因为在较强酸性条件下,缩聚生成的微胶囊易分解为小分子。

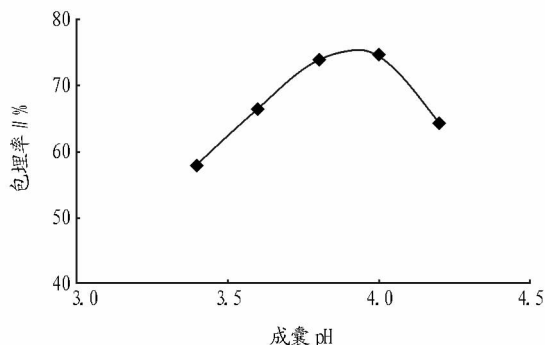


图4 pH对包埋率的影响

2.1.5 温度对微胶囊形成的影响。由图5可知,反应温度在30~70℃时制成的微胶囊的包埋率分别为38.13%、73.93%、50.11%、35.19%和29.17%。由此得知,40和50℃微胶囊的包埋率高于反应温度为30、60和70℃的微胶囊,反应温度为40℃时包埋率最高为73.93%。综上所述,反应温度为40℃左右时有利于微胶囊形成。

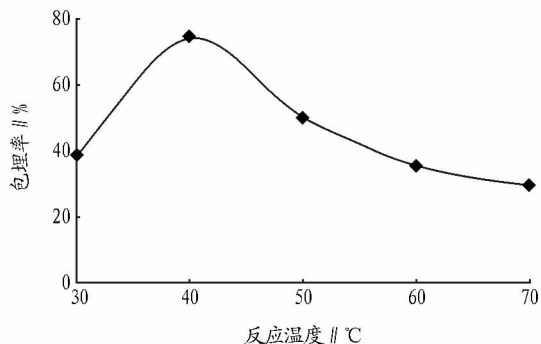


图5 反应温度对包埋率的影响

2.1.6 转速对微胶囊形成的影响。由图6可知,微胶囊的包埋率随转速的增加呈先升高后降低的趋势,转速为500 r/min时制成的微胶囊的包埋率最大为73.93%。转速为300~700 r/min时制成的微胶囊包埋率分别为44.49%、66.28%、73.93%、64.33%和39.51%。由此得知,搅拌速度为400和500 r/min条件下制备的微胶囊的包埋率高于搅拌速度为300、600和700 r/min条件下制备的微胶囊。表明低转速有利于复凝聚反应的进行,高转速易使反应体系紊乱,阻碍复凝聚反应的发生。因此,将搅拌速度控制在低转速下即可保证反应的正常进行。

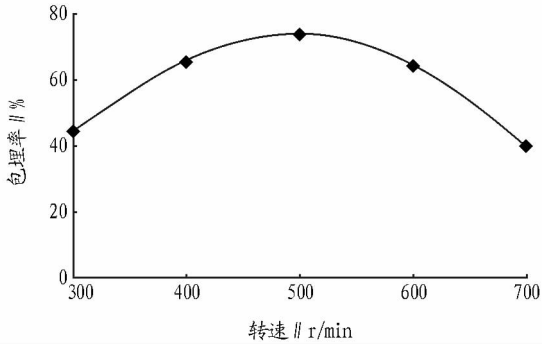


图6 转速对包埋率的影响

2.2 正交试验结果 根据单因素试验结果,筛选出影响微胶囊形成的主要条件,包括明胶浓度、阿拉伯胶浓度、芯壁比、成囊 pH 和转速 5 个因素(表 1),以微胶囊包埋率为指标,设计 $L_{16}(4^5)$ 正交试验。由表 2 可知,影响包埋率的各因素主次顺序为 A、C、B、D、E,即明胶浓度的影响最大,其次是芯壁比,阿拉伯胶浓度、pH 和转速对包埋效果的影响都较小,最佳组合为 $A_3C_3B_1D_2E_2$,即最佳包埋工艺条件为明胶浓度 1.5%、阿拉伯胶浓度 0.5%、芯壁比 1.0:1.5、pH3.8、转速 450 r/min。并以上述条件制备球孢白僵菌微胶囊。

表 1 正交试验因素与水平

水平	明胶浓度 (A) // %	阿拉伯胶 浓度(B) // %	芯壁比 (C)	pH (D)	转速(E) r/min
1	0.5	0.5	1.5:1.0	3.6	400
2	1.0	1.0	1.0:1.0	3.8	450
3	1.5	1.5	1.0:1.5	4.0	500
4	2.0	2.0	1.0:2.0	4.2	550

2.3 球孢白僵菌微胶囊的形态特征 利用光学显微镜与扫描电子显微镜对最优条件下制备的球孢白僵菌微胶囊的微观结构和整体分布进行表征。由图 7 可知,在水分散体系中,球孢白僵菌微胶囊呈球形,单分散性好,形态规则,大小

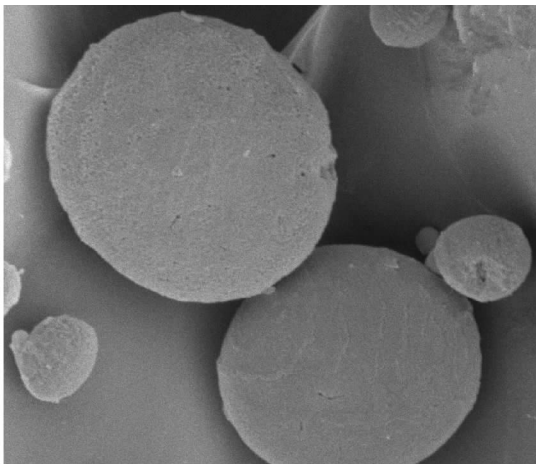
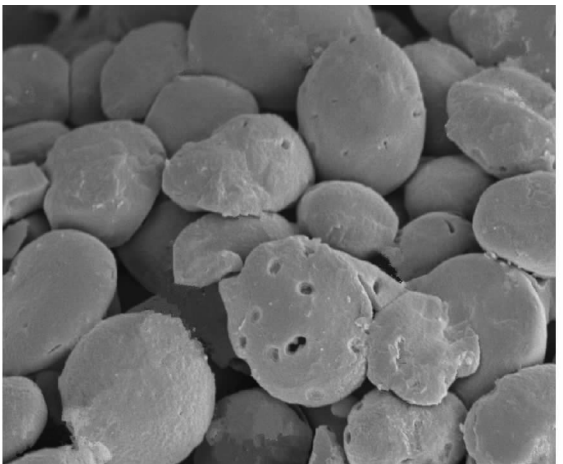


图 8 球孢白僵菌微胶囊的表面形态



2.4 球孢白僵菌微胶囊化的包埋率 最优工艺条件下所制备的球孢白僵菌微胶囊的包埋率为 78.32%。

2.5 粒径分布 由图 9 可知,球孢白僵菌微胶囊粒径呈正 (下转第 10215 页)

表 2 正交试验结果

试验号	因素					包埋率 %
	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	65.18
2	1	2	2	2	2	66.64
3	1	3	3	3	3	67.08
4	1	4	4	4	4	64.13
5	2	1	2	3	4	68.35
6	2	2	1	4	3	63.49
7	2	3	4	1	2	73.82
8	2	4	3	2	1	72.17
9	3	1	3	4	2	75.33
10	3	2	4	3	1	70.75
11	3	3	1	2	4	72.74
12	3	4	2	1	3	65.30
13	4	1	4	2	3	74.57
14	4	2	3	1	4	69.03
15	4	3	2	4	1	68.16
16	4	4	1	3	2	66.09
K_1	65.757	70.858	66.875	68.333	69.065	
K_2	69.457	67.477	67.113	71.530	70.470	
K_3	71.030	70.450	70.903	68.067	67.610	
K_4	69.463	66.923	70.817	67.778	68.563	
极差	5.273	3.935	4.028	3.752	2.860	

较均匀。由图 8 可知,球孢白僵菌微胶囊表面光滑完整,成囊性及密封性良好,杂质较少。

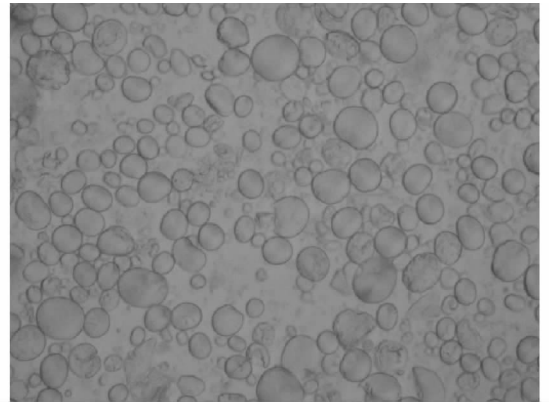


图 7 微胶囊产品的光学显微镜下结构

头恒定,应使进水量大于出水量。

然后打开球阀向缓释管注水,小孔的出流呈现射流状态,实验准备阶段即将小孔的射流方向设定为斜向上,以便于实验时收集和测定每个小孔的出流量 q_i 。待小孔的出流趋于稳定后,分别接取各个小孔历时 2 min 的小孔水量并测定记录,然后对数据进行整理,计算出各个小孔的出流量。

4 结论与讨论

(1)平均出流量。根据水力学模型计算的设计流量 $q_d = 16.9420 \text{ L/h}$;验证实验的出水孔平均流量 $\bar{q} = 16.036 \text{ L/h}$,误差率为 5.35%,能满足灌溉需求。

(2)灌水均匀度。据《微灌工程技术规范》规定,微灌工程灌水均匀系数不得低于 0.8。按照克里斯琴森公式计算验证实验灌水均匀系数,为 0.869,大于 80%,满足灌水均匀度要求。

(3)实际平均出流量和理论平均出流量有一定偏差,这种偏差可能是因为验证实验初始水头稳定性、灌溉管道热

(上接第 10182 页)

态分布,中位径为 $44.16 \mu\text{m}$,大部分粒径分布在 $39.14 \sim 70.35 \mu\text{m}$ 。总含量 93.10% 微胶囊可通过 200 目的筛子。

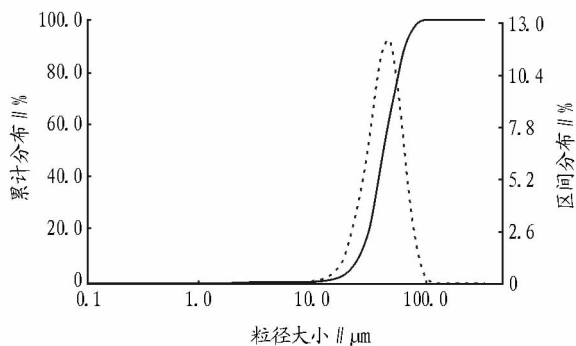


图9 球孢白僵菌微胶囊粒径分布

3 结论与讨论

试验以明胶和阿拉伯胶为壁材,球孢白僵菌分生孢子为芯材,采用复凝聚法制备球孢白僵菌微胶囊,表征了微胶囊的超微结构、包埋率及粒径分布。结果表明,通过单因素试验和正交试验得出影响微胶囊包埋率的主次顺序为明胶浓度、芯壁比、阿拉伯胶浓度、pH、转速。最佳工艺条件为明胶浓度 1.5%、阿拉伯胶浓度 0.5%、芯壁比 1.0:1.5、复凝聚反应 pH3.8、搅拌速度 450 r/min。在该工艺条件下得到的微胶囊产品的包埋率可达 78.32%,粒径分布均匀且平均粒径为 $44.16 \mu\text{m}$ 。将球孢白僵菌微胶囊化,保护孢子的活力和促进孢子的整齐萌发,可减少孢子粉用量,提高自然条件下的存贮时间,有效避免紫外光照射,从而保持微胶囊剂有效成分的活性,提高其利用率,增强白僵菌制剂在田间使用的实用性和稳定性。对所制球孢白僵菌微胶囊剂的防紫外线程度、杀虫效果还有待进一步研究。试验完善了球孢白僵菌微胶囊剂的生产工艺,提高了真菌微胶囊剂产品品质,进一步推

动微生物农药的开发与利用。

参考文献

- [1] 兰兵. 滴灌技术在四川成南高速公路中央分隔带绿化养护中的应用[J]. 西南公路, 2007(2): 48-51.
- [2] 刘洪禄, 齐志明, 郑文刚, 等. 高速公路绿化隔离带灌溉系统优化设计研究[J]. 节水灌溉, 2005(2): 18-21.
- [3] 王伟. 探析高速公路中央分隔带绿化的养护与管理[J]. 大科技, 2011(2): 207-208.
- [4] 李清斌. 高速公路中央分隔带设计浅谈[J]. 山西建筑, 2009, 35(25): 285-286.
- [5] 王利斌. 山西大同和朔州地区高速公路中央隔离带的绿化设计和养护[J]. 科技创新导报, 2011(22): 143.
- [6] 刘焕芳, 孙海燕, 苏萍, 等. 微灌自压软管合理铺设长度的确定[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 46-50.
- [7] 蔡小超, 刘焕芳, 李强, 等. 微灌自压软管管灌水均匀度的试验研究[J]. 节水灌溉, 2005(5): 8-10.
- [8] 张爱民, 王长永. 流体力学[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 171-176.
- [9] 杨宝中, 王鹏举, 黎明. 多孔管地下灌溉孔口出流分析研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14789-14790.
- [10] 黄兴国, 刘焕芳, 华根福. 自流多孔软管平均单孔出流量的特性[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2008, 26(1): 76-79.

动了微生物农药的开发与利用。

参考文献

- [1] 吕昌仁. 森林害虫生物防治[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984: 124-127.
- [2] 李荣森, 罗绍彬. 微生物防治害虫[M]. 北京: 科技出版社, 1983: 27-45.
- [3] 黄长春, 汤坚, 王成树, 等. 紫外辐射对球孢白僵菌的影响及适宜保护剂的选择[J]. 安徽农业大学学报, 1996(3): 346-350.
- [4] 赵军, 杨震元, 张胜利, 等. 几种微胶囊适宜加工材料与球孢白僵菌分生孢子的相容性[J]. 中国生物防治, 2010(1): 40-46.
- [5] 寇寅客. 农药微胶囊剂的应用及发展前景[J]. 科技信息, 2011(16): 217-219.
- [6] 刘殿林, 崔宏宇. 微胶囊技术原理及其在食品工业中的应用[J]. 天津农业科学, 1999, 5(4): 26-28.
- [7] 许时婴, 张晓鸣, 夏书芹, 等. 微胶囊技术: 原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [8] 伊可儿, 李运帷, 金得森, 等. 白僵菌微囊化的初步研究[J]. 微生物学通报, 1992, 19(3): 180-182.
- [9] 陆继锋, 金劲松. 复凝聚法制备农药微胶囊的研究[J]. 安徽农业科学, 1999(3): 201-203.
- [10] 刘志强, 程玉鹏, 王安安, 等. 聚合凝胶白僵菌杀虫剂田间应用初报[J]. 黑龙江农业科学, 1994(5): 29-31.
- [11] 马丽杰, 赵静. 壳聚糖/木质素磺酸钠复凝聚法制备生物农药微胶囊[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2006(6): 51-56.
- [12] 周小敏, 于秋生, 陈正行. 复合凝聚法制备阿维菌素微胶囊[J]. 江苏农业科学, 2013(6): 104-107.
- [13] GU X L, ZHU X, KONG X Z, et al. Comparisons of simple and complex coacervations for preparation of sprayable insect sex pheromone microcapsules and release control of the encapsulated pheromone molecule[J]. J Microencapsul, 2010, 27(4): 355-364.
- [14] FENG T, XIAO Z, TIAN H. Recent patents in flavor microencapsulation[J]. Recent Pat Food Nutr Agric, 2009, 1(3): 193-202.
- [15] HUSSAIN M R, MAJI T K. Preparation of genipin cross-linked chitosan-gelatin microcapsules for encapsulation of *Zanthoxylum limonella* oil (ZLO) using salting-out method[J]. J Microencapsul, 2008, 25(6): 414-420.
- [16] LIGHT D M, BECK J J. Characterization of microencapsulated pear ester, (2E,4Z)-ethyl-2,4-decadienoate, a kairomonal spray adjuvant against neonate codling moth larvae[J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(13): 7838-7845.
- [17] 许燕滨, 杨汝德, 陈惠音. 双歧杆菌微胶囊特性研究[J]. 四川食品与发酵, 1998(4): 24-26.