

一种生物炭基肥包膜材料的制备及特性研究

苑晓辰¹, 任奕林^{1*}, 彭春晖¹, 周广生², 刘永红³

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070;

3. 华中农业大学理学院, 武汉 430070)

摘要: 以乙基纤维素为成膜材料, 戊二醛作为交联剂, 邻苯二甲酸二乙酯作为增塑剂, 吐温 80 作为乳化剂, 采用溶液共混法制备生物炭基肥包膜材料。以膜的抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率为指标, 通过单因素试验和正交试验确定各组分最佳配比, 最后对最优组合进行渗透试验。试验结果表明, 当乙基纤维素的质量分数为 5%, 戊二醛用量为 1.2%, 邻苯二甲酸二乙酯用量为 0.6%, 吐温 80 用量为 0.4% 时, 制备的包膜材料物理机械综合性能最优, 其抗拉强度为 16.72 MPa, 断裂伸长率为 3.35%, 吸水率为 8.96%, 损失率为 6.35%, 综合得分 0.888; 膜的渗透性试验预测模型表明生物炭基肥累计养分透过率达到 80% 的时间为 98 d, 满足大部分作物生长周期的肥效需求。

关键词: 生物炭基肥; 包膜材料; 物理机械性能; 渗透性

中图分类号: S145.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)01-0110-07

Preparation of the coating material for a biochar-based fertilizer and analysis of its property

YUAN Xiaochen¹, REN Yilin¹, PENG Chunhui¹, ZHOU Guangsheng², LIU Yonghong³

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070;

2. College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070;

3. College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract: In this paper, using ethyl cellulose as the base material, glutaraldehyde as crosslinking agent, diethyl phthalate as plasticizer, twain 80 as emulsifier, a coating material of biochar-based fertilizers were prepared using solution compounding method. The optimal proportions of the membrane components were determined through single-factor and orthogonal experiments using the tensile strength, elongation at break, water absorption and loss ratio of the films as the indexes. Then, the permeability experiment under the optimal combination was carried out. The results showed that a coating material with excellent comprehensive mechanophysical properties was obtained using 5% (mass percentage) of ethyl cellulose, 1.2% glutaraldehyde, 0.6% diethyl phthalate, 0.4% twain 80. Its tensile strength, elongation at break, water absorption and loss ratio was 16.72 MPa, 3.35%, 8.96%, and 6.35%, respectively. The comprehensive score was predicted to reach 0.888. The prediction model of the membrane permeability experiment showed that the cumulative nutrient release rate of the biochar-based fertilizer reached 80% for 98 days, which satisfies the need for the growth cycle of most crops.

Key words: biochar-based fertilizer; coated materials; mechanophysical properties; permeability

生物炭基肥是以生物炭为基质, 通过掺混有机或无机肥料而制成的颗粒肥。生物炭基肥既可以改善土壤环境又具有促使农作物增产增收的优点^[1-2]。目前, 市场上的生物炭基肥由于颗粒强度不足、颗粒表面不平整, 运输过程中易导致颗粒碎裂, 损失严重。另外, 对于特殊的作物生物炭基肥不能满足

其生长周期的肥效需求。因此, 对生物炭基肥包膜处理不仅可以提高颗粒强度、光滑度和降低运输损失, 又能使其养分达到缓/控释的目的。

乙基纤维素 (ethyl cellulose, EC) 又名纤维素乙醚, 是由乙氧基取代其分子链中的部分羟基而生成的纤维素的衍生物^[3-4]。乙基纤维素具有优良的力

收稿日期: 2017-05-21

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2014BAD11B03) 和中央高校基本科研业务费专项资金项目 (2014PY044) 共同资助。

作者简介: 苑晓辰, 硕士研究生。E-mail: 920360112@qq.com

* 通信作者: 任奕林, 博士, 副教授。E-mail: renyiling@mail.hzau.edu.cn

学性能、资源再生性和环境友好性等优点^[5], 可用作片剂黏合材料、缓释骨架材料和薄膜包衣材料等^[6-9]。但是 EC 不溶于水, 其膜的性质硬又脆, 不适于直接作为包膜材料, 必须通过添加其他成分改善其物理机械性能^[10-11]。

近年来, 钟林新等以环氧大豆油为增塑剂制备出了具有优良的物性能和机械性能的乙基纤维素膜, 可应用于食品保鲜、包装和医药等领域^[12]。例如, 在食品包装领域, 吴悦寒等将 2-乙基蒽醌和乙基纤维素复合得到了通过时间累计而展现出不同颜色的指示食品剩余货架期信息的复合膜^[13], 童佩等发现添加魔芋葡甘聚糖的乙基纤维素膜具有一定的抗菌性^[14]; 在医药领域, Lu 等发现玉米醇溶蛋白/乙基纤维素纳米纤维膜具有持续的释放曲线^[15], 孙佩佩等采用乙基纤维素对萘普生的包覆也能达到较好的缓释性能^[16]。另外, 许伟等研究了乙基纤维素包覆成型活性炭, 结果表明 EC 在不改变活性炭的内部孔结构特征的条件下可以提高活性炭的疏水性及其表面的平整性^[17]。但是目前对生物炭基肥缓控释的研究鲜有报道。

根据相关研究同时考虑可降解、无毒、容易获取等需求, 本研究选择乙基纤维素作为生物炭基肥包膜材料, 以绿色环保、可回收利用的无水乙醇作为溶剂, 按照溶液共混法, 利用交联剂戊二醛并辅以增塑剂邻苯二甲酸二乙酯和乳化剂吐温 80 对乙基纤维素改性制得包膜材料, 同时具体研究了包膜材料的各成分用量对其物理机械性能的影响机理, 其次研究了生物炭基肥累计养分透过率随时间的变化关系, 最终得到了综合性能优异的生物炭基肥包膜材料。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 试验材料 生物炭基肥, 颗粒直径 2~3 mm, N+P₂O₅+K₂O=25%, 购自时科生物科技(上海)有限公司; 乙基纤维素, 化学纯, 乙氧基含量 44%~51%, 阿拉丁试剂; 25%戊二醛, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 邻苯二甲酸二乙酯, 分析纯, 南京化学试剂股份有限公司; 吐温 80, 化学纯, 国药集团化学试剂有限公司; 无水乙醇, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 其他试剂均为分析纯。

1.1.2 试验设备 质构仪 (TMS-PRO), 美国 FTC 公司; 数显恒温水浴锅 (HH-S), 金坛市文华仪器有限公司; 磁力搅拌器 (JB-3), 上海精密科学仪器有限公司; 数显千分尺, 成都市三和量具有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱 (HN101-2A), 南通沪南科学仪器有限公司; 分析天平 (AUY220), 上海皖宁精密科学仪器有限公司; 电导率仪 (DDSJ-308A), 上海精密科学仪器有限公司; Franz 扩散池 (TP-6), 上海化科实验器材有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 生物炭基肥包膜液的制备 称取一定质量的乙基纤维素, 放入 100 mL 体积分数为 95%的乙醇溶液, 放置于恒温磁力搅拌器 40℃搅拌直至溶解, 备用。

1.2.2 生物炭基肥包膜材料的制备 将制备的上述膜液放置于数显恒温水浴锅 40℃水浴加热, 用移液管缓慢滴加适量的交联剂、增塑剂以及乳化剂, 持续交联 2 h, 并不断搅拌。为控制膜厚度和均匀性, 取交联后的膜液 20 g 缓慢倒入 150 mm×150 mm 的聚四氟乙烯模具上, 水平放置于 50℃恒温鼓风干燥箱中干燥 8 h, 揭膜。

1.2.3 膜厚度的测定^[18] 筛选表面平整、厚度均匀的膜样品, 按顺序在膜的表面取 5 点, 用数显千分尺测定其厚度, 单位 μm, 取平均值, 用于膜抗拉强度和断裂伸长率的测计算。

1.2.4 膜吸水率和损失率的测定^[19] 将膜样品裁剪成 (50 mm×50 mm) 大小的正方形, 放置于 (50.0±2.0)℃烘箱条件下干燥至恒重, 在干燥器内冷却至室温, 记录样品质量为 m_1 , 然后将膜样品浸泡在蒸馏水中 48 h, 取出擦去表面水分, 称得其湿重为 m_2 , 再放入干燥箱中干燥至重量不再变化, 称得其干重为 m_3 。每个膜试样试验重复 3 次, 取平均值。

膜吸水率的计算公式为:

$$c_1 = \frac{m_2}{m_3} \times 100\% \quad (1)$$

式 (1) 中: m_2 为浸泡后膜的质量, mg; m_3 为最终干燥后膜的质量, mg。

膜损失率的计算公式为:

$$c_2 = \frac{m_2}{m_3} \times 100\% \quad (2)$$

式 (2) 中: m_2 为浸泡前干燥后膜的质量, mg; m_3 为最终干燥后膜的质量, mg。

1.2.5 膜抗拉强度和断裂伸长率的测定^[20] 将膜样品裁剪成 10 mm×150 mm 的矩形, 固定于质构仪的上下夹具之间, 初始距离为 100 mm, 拉伸速度为 10 mm·min⁻¹。每个膜试样试验重复 5 次, 取平均值。

膜抗拉强度的计算公式为:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3)$$

式(3)中: σ 为抗拉强度, MPa; F 为膜所受拉力最大值, N; S 为膜的横截面面积, mm^2 。

膜断裂伸长率的计算公式为:

$$E(\%) = \frac{L_1}{L_0} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中: E 为断裂伸长率, %; L_0 为膜拉伸前的长度, mm; L_1 为膜拉伸后的长度, mm。

1.2.6 生物炭基肥标准曲线的绘制^[21] 准确称取粉碎后的生物炭基肥 1.00 g, 放入 100 mL 的烧杯中, 加水溶解, 过滤于 1 000 mL 的容量瓶, 反复冲洗 5~6 次后定容。分别吸取 0、5、10、15、20 和 25 mL 定容于 50 mL 容量瓶, 用电导率仪测定溶液的电导率值。以生物炭基肥浓度为横坐标, 对应的溶液电导率值为纵坐标绘制标准曲线, 并做出回归方程, 如图 1 所示。

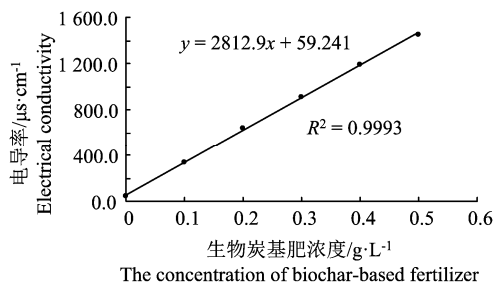


图 1 生物炭基肥标准曲线

Figure 1 The standard curve of biochar-based fertilizer

1.2.7 包膜材料养分渗透性的测定 将膜固定于 Franz 扩散池的两室之间, 接收室中加入 25 mL 蒸馏水溶液, 排除表面气泡, 使液面与膜接触, 放于室温条件下磁力搅拌器不断搅拌。扩散室内加入 $3.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的生物炭基肥溶液 5 mL。经 1 d、2 d、3 d、4 d、5 d、6 d、7 d、8 d、9 d 和 10 d 后于接收室中吸取 5 mL 定容于 25 mL 容量瓶, 同时向接收室中补充 5 mL 蒸馏水。于电导率仪测定溶液的电导率值, 根据生物炭基肥标准曲线计算出接收室中的生物炭基肥浓度。生物炭基肥累计养分透过率计算公式为:

$$\omega_t = \frac{C_n \times \frac{0.025}{0.005} \times 0.025 + \sum_{i=1}^{n-1} C_i \times 0.025}{0.015} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中: ω_t 为 t 时间内生物炭基肥累计养分透过率, %; C_n 为第 n 个取样点生物炭基肥浓度, $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; C_i 为第 i 个取样点生物炭基肥浓度, $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2 结果与分析

2.1 包膜材料配比优化单因素试验

2.1.1 乙基纤维素用量对膜物理机械性能的影响

在戊二醛用量 1.0%、邻苯二甲酸二乙酯用量 0.4%、吐温用量 0.4% 条件下分别设置乙基纤维素用量 1%、2%、3%、4% 和 5%, 按照 1.2.2 中包膜材料的制备方法进行操作, 考察乙基纤维素用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率的影响。

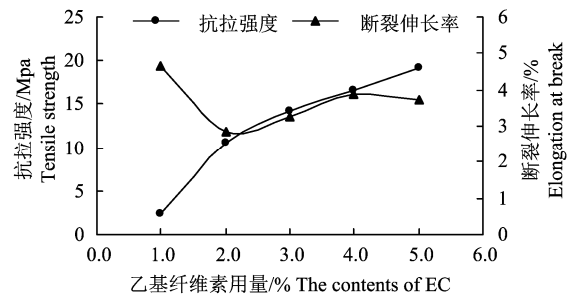


图 2 乙基纤维素用量对膜抗拉强度和断裂伸长率的影响

Figure 2 Influence of EC contents on the tensile strength and elongation at break of the film

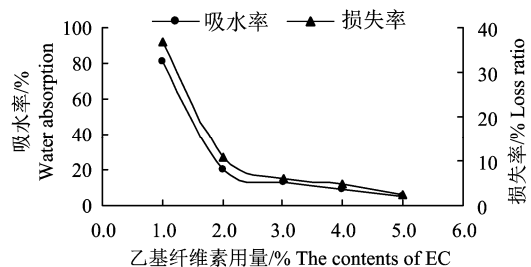


图 3 乙基纤维素用量对膜吸水率和损失率的影响

Figure 3 Influence of EC contents on the water absorption and loss ratio of the film

乙基纤维素用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率的影响如图 2 和图 3 所示。由图 2 可知, 随着乙基纤维素用量的增加, 膜的抗拉强度逐渐增加, 这是由于随着乙基纤维素用量的增加, 分子链的流动性减弱, 结晶度增加, 分子间的作用力增强, 所以膜的抗拉强度逐渐增加; 同样由图 2 可知, 随着乙基纤维素用量从 1% 增加至 2%, 膜的断裂伸长率逐渐减小, 由 2% 增加至 4%, 断裂伸长率逐渐增加, 当用量增加到 4% 时, 断裂伸长率又开始减小。由图 3 可以看出, 随着乙基纤维素用量从 1% 增加至 2%, 膜的吸水率和损失率迅速下降, 2% 至 5% 下降速度趋于平缓, 这是由于乙基纤维素不溶于水, 而当乙基纤维素用量增加时, 膜成分中其他组分含量相对降低, 导致膜的吸水率和损失率逐渐减小。试验过程中发现, 当乙基纤维素用量超过 5% 时, 不利于生物炭基肥包膜过程中喷雾的形成。因此, 4% 乙基纤维素制成的包膜材料物理机械性能较好。

2.1.2 邻苯二甲酸二乙酯用量对膜物理机械性能的影响

影响 在乙基纤维素用量 3%、戊二醛用量 1.0%、吐温用量 0.4%条件下分别设置邻苯二甲酸二乙酯用量 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%和 1.0%，按照 1.2.2 中包膜材料的制备方法进行操作，考察邻苯二甲酸二乙酯用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率的影响。

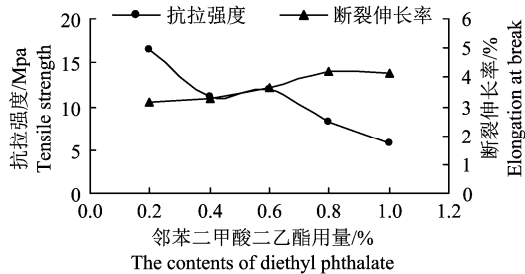


图 4 邻苯二甲酸二乙酯用量对膜抗拉强度和断裂伸长率的影响

Figure 4 Influence of diethyl phthalate contents on the tensile strength and elongation at break of the film

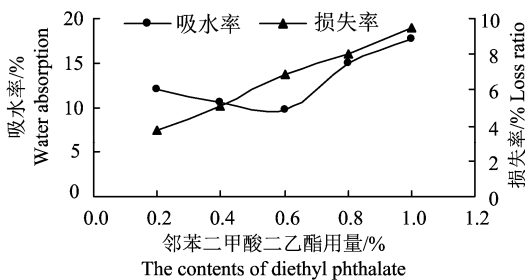


图 5 邻苯二甲酸二乙酯用量对膜吸水率和损失率的影响

Figure 5 Influence of diethyl phthalate contents on the water absorption and loss ratio of the film

邻苯二甲酸二乙酯用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率、损失率的影响如图 4 和图 5 所示。由图 4 可知，随着邻苯二甲酸二乙酯用量的增加，膜的抗拉强度呈减小的趋势，相反膜的断裂伸长率逐渐增加。主要是由于小分子的邻苯二甲酸二乙酯的加入乙基纤维素分子链之间，阻碍大分子间的氢键的形成^[22]，使分子间的距离增大从而削弱了分子间的范德华力，降低分子链的结晶度^[23]，增加了膜的塑性，所以膜的抗拉强度逐渐减小，断裂伸长率逐渐增大。由图 5 可看出，随着邻苯二甲酸二乙酯用量的增加，膜的吸水率呈现先减小后增大的趋势，在增塑剂用量为 0.6%时吸水率达到最小值，同样由图 5 可知，随着邻苯二甲酸二乙酯用量的增加，膜的损失率逐渐增大，这是由于乙基纤维素大分子间存有空隙，水分子可以进入，宏观表现为具有吸水性，当一定量的增塑剂小分子加入后填补了大分子间的空隙，从而阻碍了水分子的进入，吸水率达到

最小值；另一方面，增塑剂小分子与乙基纤维素大分子间没有形成稳定的化学键，导致在浸泡时膜成分中的小分子会不断往水中迁移，从而表现出膜的损失率逐渐增大。因此，邻苯二甲酸二乙酯的用量为 0.6%时包膜材料物理机械性能较好。

2.1.3 戊二醛用量对膜物理机械性能的影响 在乙基纤维素用量 3%、邻苯二甲酸二乙酯用量 0.4%、吐温用量 0.4%条件下分别设置戊二醛用量 0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%和 1.6%，按照 1.2.2 中包膜材料的制备方法进行操作，考察戊二醛用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率的影响。

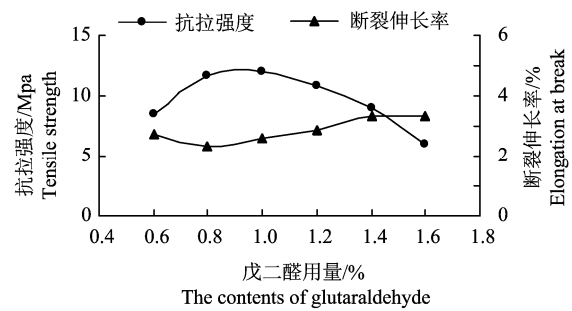


图 6 戊二醛用量对膜抗拉强度和断裂伸长率的影响

Figure 6 Influence of glutaraldehyde contents on the tensile strength and elongation at break of the film

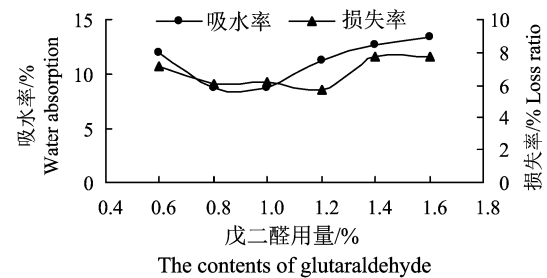


图 7 戊二醛用量对膜吸水率和损失率的影响

Figure 7 Influence of glutaraldehyde contents on the water absorption and loss ratio of the film

戊二醛用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率的影响如图 6、图 7 所示。由图 6 可知，随着戊二醛用量的增加，膜的抗拉强度呈先增加后减小的趋势，在戊二醛用量为 1.0%时，膜的抗拉强度达到最大值；同样由图 6 可知，戊二醛用量的改变对膜的断裂伸长率影响不大；由图 7 可知，随着戊二醛用量的增加，膜的吸水率和损失率都呈先减小后增大的趋势，戊二醛用量分别在 1.0%和 1.2%时，膜的吸水率和损失率达到最小值。这是由于戊二醛分子中的醛基和乙基纤维素分子中的羟基发生羟醛缩合反应^[24]，使分子间的作用力增加；同时，一定量的戊二醛分子填补到乙基纤维素分子间使大

分子间的空隙减小, 宏观表现为吸水率和损失率达到最小值。因此, 戊二醛的用量为 1.0% 时包膜材料物理机械性能较好。

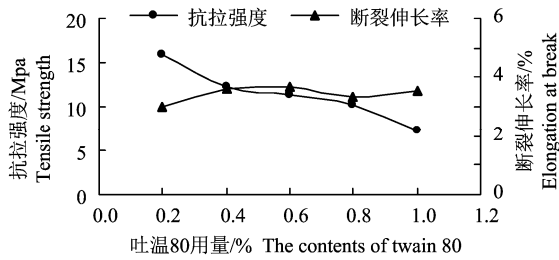


图 8 吐温 80 用量对膜抗拉强度和断裂伸长率的影响
Figure 8 Influence of twain 80 contents on the tensile strength and elongation at break of the film

2.1.4 吐温 80 用量对膜物理机械性能的影响 在乙基纤维素用量 3%、戊二醛用量 1.0%、邻苯二甲酸二乙酯用量 0.4% 条件下分别设置吐温用量 0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和 1.0%，按照 1.2.2 中包膜材料的制备方法进行操作, 考察吐温用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率及损失率的影响。

吐温 80 用量对膜抗拉强度、断裂伸长率、吸水率、损失率的影响如图 8 和图 9 所示。由图 8 可知, 随着吐温 80 用量的增加, 膜的抗拉强度逐渐减小, 而断裂伸长率变化不大。由图 9 可知, 随着吐温 80 用量的增加, 膜的吸水率和损失率逐渐增加。在膜组分中, 吐温 80 是良好的乳化剂, 可以改善膜液各组分的表面张力, 使之形成良好的分散体系, 但是吐温 80 具有水溶性, 当其用量增加时膜的吸水率和损失率也随之增加。因此, 吐温 80 的用量为 0.4% 时包膜材料物理机械性能较好。

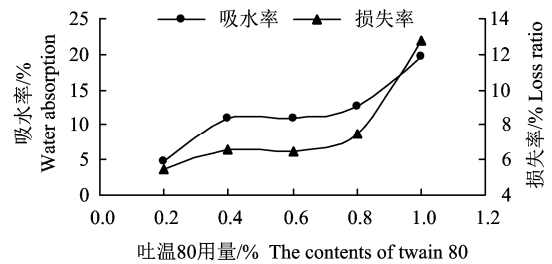


图 9 吐温 80 用量对膜吸水率和损失率的影响
Figure 9 Influence of twain 80 contents on the water absorption and loss ratio of the film

表 1 包膜材料配比优化正交试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of the orthogonal test for the ratios of coating materials

水平 Level	A 乙基纤维素用量/% Ethyl cellulose content	B 邻苯二甲酸二乙酯用量/% Diethyl phthalate content	C 戊二醛用量/% Glutaraldehyde content	D 吐温 80 用量/% Twain 80 content
1	3	0.4	0.8	0.4
2	4	0.6	1.0	0.6
3	5	0.8	1.2	0.8

表 2 包膜材料配比优化正交试验设计与结果

Table 2 Design and results of the orthogonal test for the ratios coating materials

试验号 Test No.	A	B	C	D	抗拉强度/MPa Tensile strength	断裂伸长率/% Elongation at break	吸水率/% Water absorption	损失率/% Loss ratio	综合分 Comprehensive scores
1	1	1	1	1	11.18	2.30	11.87	9.21	0.523
2	1	2	2	2	8.96	3.85	21.42	11.68	0.479
3	1	3	3	3	4.55	3.50	28.27	15.38	0.154
4	2	1	2	3	12.77	3.56	19.89	8.94	0.609
5	2	2	3	1	15.91	3.59	10.79	8.13	0.838
6	2	3	1	2	9.49	2.63	12.68	10.14	0.494
7	3	1	3	2	17.34	2.73	8.62	5.39	0.847
8	3	2	1	3	14.41	3.25	12.27	6.43	0.771
9	3	3	2	1	12.96	2.68	8.09	8.71	0.679
K_1	1.156	1.979	1.787	2.039					
K_2	1.941	2.087	1.767	1.820					
K_3	2.297	1.327	1.839	1.534					
k_1	0.385	0.660	0.596	0.680					
k_2	0.647	0.696	0.589	0.607					
k_3	0.766	0.442	0.613	0.511					
R	0.380	0.253	0.024	0.168					

因素主次 Order of factors
最优水平 Optimal combination

A>B>D>C
A₃ B₂ C₃ D₁

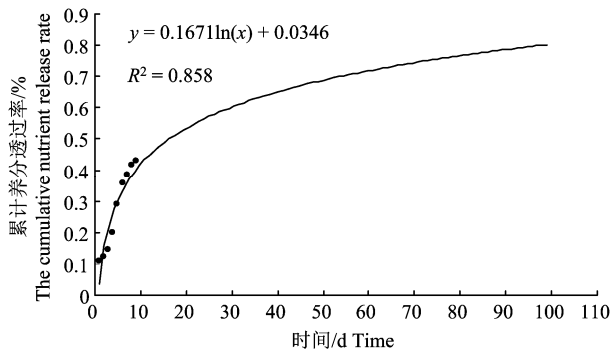


图 10 生物炭基肥累计养分透过率

Figure 10 The cumulative nutrient release rate of biochar-based fertilizer

2.2 包膜材料配比优化正交试验及其结果

根据单因素试验结果,设计 4 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 正交试验(见表 1),以膜的抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率为考察指标,进行多指标综合评价,确定包膜材料最优配比。评分时引入综合评价方法^[25],将各指标都转换成它们的隶属度,其中,抗拉强度和断裂伸长率为正指标,吸水率和损失率为逆指标。考虑到各指标对包膜生物炭基肥的颗粒强度和养分释放速率影响的重要程度,确定抗拉强度、断裂伸长率、吸水率和损失率的隶属度分别为{0.3, 0.2, 0.3, 0.2}。即综合分=抗拉强度隶属度 \times 0.3+断裂伸长率隶属度 \times 0.2+吸水率隶属度 \times 0.3+损失率隶属度 \times 0.2。包膜材料配比正交试验设计与结果见表 2。

由表 2 可知,膜材料各组分用量对膜性能影响强度为:乙基纤维素>邻苯二甲酸二乙酯>吐温 80>戊二醛,通过各因素的极差分析可知,最佳组合为 $A_3B_2C_3D_1$,不包括在已经做的 9 组试验中。通过对最优组合 $A_3B_2C_3D_1$ 做 3 次验证试验,证明 $A_3B_2C_3D_1$ 组合抗拉强度为 16.72 MPa,断裂伸长率为 3.35%,吸水率为 8.96%,损失率为 6.35%,综合评分为 0.888,优于正交的 9 组试验。

2.3 包膜材料养分渗透性试验及其结果

基于正交试验的结果,对包膜材料的最优组合 $A_3B_2C_3D_1$ 进行养分渗透性试验,生物炭基肥累计养分透过率和时间的关系如图 10 所示。

由图 10 可见,对试验数据进行拟合分析,得到拟合方程: $y=0.1671\ln(x)+0.0346$ 。由方程可知:第 28 天时生物炭基肥累计养分透过率为 59%,符合《缓释肥料(GB/T 23348-2009)》^[21]规定的 28 d 累计养分释放率小于等于 80%的要求;当生物炭基肥累计养分透过率达到 80%时需要的时间为 98 d,满足大部分作物生长周期的肥效需求。

3 结论

包膜材料配比优化单因素试验结果表明,生物炭基肥包膜材料各组分最佳用量分别为:乙基纤维素用量 4%,邻苯二甲酸二乙酯用量 0.6%,戊二醛用量 1.0%,吐温 80 用量 0.4%。包膜材料配比优化正交试验结果表明,当乙基纤维素用量为 5%,邻苯二甲酸二乙酯用量为 0.6%,戊二醛用量为 1.2%,吐温 80 用量为 0.4%时生物炭基肥包膜材料的物理机械综合性能最优,其抗拉强度为 16.72 MPa,断裂伸长率为 3.35%,吸水率为 8.96%,损失率为 6.35%,综合评分为 0.888。包膜材料养分渗透性试验结果表明,生物炭基肥累计养分透过率达到 80%的时间为 98 d,满足大部分作物生长周期的肥效需求。

单一的乙基纤维素膜不具有吸水性且可塑性差,直接对生物炭基肥包衣后不利与其养分的缓/控释。目前对生物炭基肥包膜的研究较少,本研究试制了一种基于乙基纤维素的适用于生物炭基肥的包膜材料,研究了不同组分下包膜材料的物理机械性能和对生物炭基肥的渗透性。本研究仅对包膜材料的养分渗透性进行了模拟实验,后期还可就包膜生物炭基肥的养分释放性能进行田间试验。

参考文献:

- [1] 魏春辉,任奕林,刘峰,等.生物炭及生物炭基肥在农业中的应用研究进展[J].河南农业科学,2016,45(3):14-19.
- [2] 刘冲,刘晓文,吴文成,等.生物炭及炭基肥对油麦菜生长及吸收重金属的影响[J].中国环境科学,2016,36(10):3064-3070.
- [3] TAN J, LI Y, LIU R, et al. Micellization and sustained drug release behavior of EC-g-pegma amphiphilic copolymers[J]. Carbohydr Polym, 2010, 81(2): 213-218.
- [4] 于立军.乙基纤维素在缓控释制剂中的应用进展[J].中国药房,2010(29):2776-2777.
- [5] SHAN L Y, WANG S J, ZHANG L W, et al. Preparation and characterization of polyethylene glycol/ethyl cellulose composite phase change thermal energy storage material[J]. J Appl Biomater Func, 2014, 45: 32-35.
- [6] 王晋,王红琰,张汝华.乙基纤维素理化性质的研究[J].中国药学杂志,2000,35(4):249-251.
- [7] 罗淑玲,傅红,张虹,等.乙基纤维素对油脂流变性质和凝胶特性的影响[J].中国粮油学报,2015(12):70-75.
- [8] NIVIRTIRAO E, SANNAKKI B. Preparation and characterization of polymer blends of ethyl cellulose and its composites[C]// Advanced Materials Research. Switzerland: Trans Tech Publications, 2013, 665: 336-340.
- [9] 徐磊,程晓敏.乙基纤维素接枝聚己内酯药物缓释膜的制备及释药行为[J].高分子学报,2015(10):1208-

- 1215.
- [10] LI X, JIANG F, NI X, et al. Preparation and characterization of konjac glucomannan and ethyl cellulose blend films[J]. *Food Hydrocolloid*, 2015, 44: 229-236.
- [11] 沈一丁, 赖小娟, 王磊. 聚乳酸/乙基纤维素复合膜的制备及其性能[J]. *复合材料学报*, 2007, 24(3): 40-44.
- [12] 钟林新, 彭新文, 杨东, 等. 一种环氧大豆油增塑的乙基纤维素膜及其制备方法: 2015103597216 [P]. 2015-06-25.
- [13] 吴悦寒, 李唯, 刘石林. 纤维素基食品智能包装薄膜的制备与表征[C]// 中国化学会高分子学科委员会. 2015年全国高分子学术论文报告会论文摘要集: 主题 M 高分子工业. 苏州: 2015.
- [14] 童佩, 倪学文, 匡映, 等. 含五倍子水提物的魔芋葡甘聚糖/乙基纤维素膜理化性和抗菌性研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(16): 318-361.
- [15] LU H, WANG Q, LI G, et al. Electrospun water-stable zein/ethyl cellulose composite nanofiber and its drug release properties[J]. *Mat Sci Eng A-Struct*, 2017, 74: 86-93.
- [16] 孙佩佩, 陈金伟, 商士斌, 等. 乳化-溶剂挥发法制备乙基纤维素/茶普生复合微球[J]. *生物质化学工程*, 2017, 51(1): 8-12.
- [17] 许伟, 刘军利, 缪存标, 等. 乙基纤维素包覆成型活性炭的制备及其性能研究[J]. *林产化学与工业*, 2017, 37(2): 49-56.
- [18] 中国石油和化学工业协会. 塑料薄膜和薄片 厚度测定 机械测量法: GB/T 6672-2001/ISO 4593: 1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [19] 中国石油和化学工业协会. 塑料 吸水性的测定: GB/T 1034-2008/ISO 62:2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [20] 中国石油和化学工业协会. 塑料-拉伸性能的测定 第 1 部分: 总则: GB/T 1040.1-2006/ISO 527-1:1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [21] 中国石油和化学工业协会. 缓释肥料 GB/T 23348-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [22] 赵力超, 彭志妮, 游曼洁, 等. 增塑剂对改性纤维素膜性能的影响及其机理研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(1): 105-109.
- [23] 陈玉, 张怀强, 赵越, 等. 天然结晶纤维素的生物合成及其去晶化途径[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2016, 43(8): 747-757.
- [24] 朱芊, 肖满, 陈茜, 等. 几种增塑剂与乳化剂对魔芋葡甘聚糖/乙基纤维素共混膜机械性质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(22): 320-323.
- [25] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 134-136.