

菲律宾蛤仔苗离散元仿真参数标定与播苗试验

Calibration of discrete element simulation parameters and seeding experiment of *Ruditapes philippinarum*

马天明¹, 钱宇星¹, 王英旭¹, 王志勇¹, 王明宇¹, 李秀辰^{1,2}, 张寒冰^{1,2}

1.大连海洋大学机械与动力工程学院, 辽宁大连, 116023; 2.辽宁省海洋渔业装备专业技术创新中心, 辽宁大连, 116023; 3.设施渔业教育部重点实验室, 辽宁大连, 116023

背景

离散元法作为先进的仿真技术, 在农业机械优化中具有显著优势, 但其应用需要准确的接触参数。目前针对形态特殊的菲律宾蛤仔苗的离散元参数研究尚属空白。为此, 本研究通过系统试验标定其关键接触参数, 建立精确的离散元模型, 为高性能贝类播苗装备的研发提供重要的理论支撑和参数基础, 推动水产养殖机械化发展。

离散元模型构建

图1测量菲律宾蛤仔苗的本征参数, 得到平均壳长、平均壳宽、平均壳厚分别为11.57mm、7.85mm、4.05mm。

随后利用三维建模后导入EDEM中进行参数化填充, 构建高精度离散元模型, 如图2所示, 并基于贝苗特性选择接触模型进行仿真。

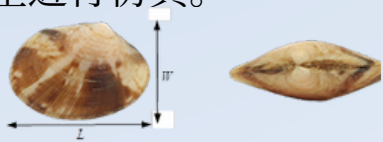


图1 菲律宾蛤仔苗实物图

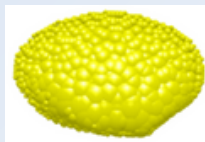


图2 贝苗离散元模型

贝苗与材料间接接触参数标定

采用自由落体碰撞法、斜面滑动法与斜面滚动法, 分别对菲律宾蛤仔苗与三种接触材料之间的碰撞恢复系数、静摩擦因数及滚动摩擦因数进行了精确标定, 试验过程与原理如下图所示。

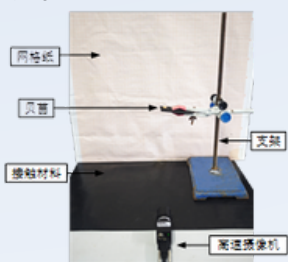


图3 贝苗与材料间碰撞恢复系数标定试验

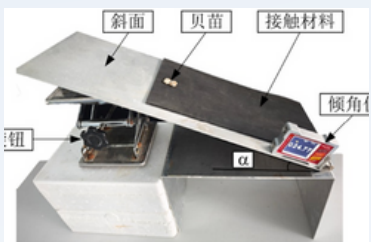


图4 贝苗与材料间静摩擦因数标定试验

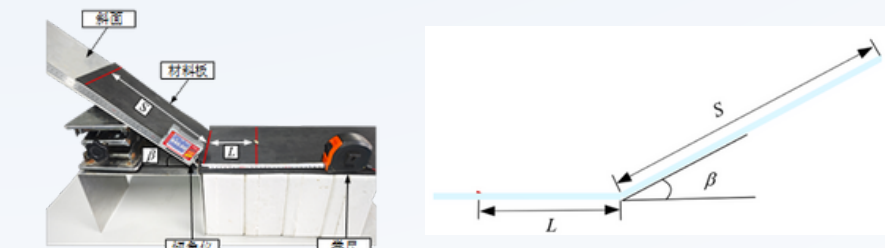
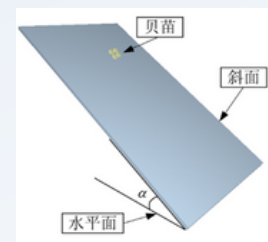


图5 贝苗与材料间滚动摩擦因数标定试验

试验结果测得贝苗与304不锈钢之间的碰撞恢复系数为0.332、静摩擦因数0.390、滚动摩擦因数0.444; 与EVA发泡材料之间的碰撞恢复系数为0.298、静摩擦因数0.561、滚动摩擦因数0.585; 与FM23橡胶之间的碰撞恢复系数为0.459、静摩擦因数0.488、滚动摩擦因数0.520。

贝苗间接触参数标定

以贝苗间碰撞恢复系数、静摩擦因数、滚动摩擦因数为试验因素, 以实测与仿真堆积角相对误差为评价指标, 进行堆积角测定试验, 如图6所示。采用最陡爬坡试验确定参数范围, 最后通过二次正交旋转组合试验进行多参数协同优化。



图6 贝苗堆积角验证试验

拟合回归方程如下:

$$Y = 4.45 + 2.09B + 3.91C + 2.85AC + 3.40BC + 4.88C^2$$

根据试验结果和回归方程, 以堆积角最小相对误差为优化目标, 通过设定的目标函数及约束条件, 最终得到贝苗间的最优接触参数: 碰撞恢复系数为0.4, 滑动摩擦因数为0.409, 滚动摩擦因数为0.438。将其带入EDEM中进行仿真验证, 得到堆积角仿真值与堆积角实际值相对误差为1.2%。

验证试验

通过堆积角试验和播苗试验验证标定参数的可靠性。采用无底圆筒法进行贝苗堆积角试验验证, 如图7所示, 记录其堆积角。图8采用贝类播苗装置, 通过设置不同播苗盘转速、落料速率与叶片偏置角, 对比台架与仿真试验的分布变异系数, 验证标定参数可靠性。



图7 贝苗堆积角验证试验



图8 播苗装置验证试验

堆积角试验结果显示仿真与实测堆积角的相对误差均小于4%, 播苗装置试验通过对比台架试验与仿真试验的分布变异系数, 发现在不同转速、落料速率和叶片偏置角条件下, 两者变化趋势一致且最大相对误差不超过5%。

结论

- 成功标定菲律宾蛤仔苗与三种接触材料(304不锈钢、EVA发泡材料、FKM23橡胶)的碰撞恢复系数、静摩擦因数和滚动摩擦因数;
- 通过堆积角试验获得贝苗间最优接触参数: 碰撞恢复系数0.4、静摩擦因数0.409、滚动摩擦因数0.438;
- 验证试验表明, 堆积角与播苗装置仿真的相对误差均小于5%, 证明标定参数可靠, 可为贝类播苗装置优化提供理论依据。