

参赛队员姓名：杨云翔 王健舒

中学：云南省临沧市第一中学

省份：云南省

国家/地区：中国（内地）

指导教师姓名：郑德杨

指导教师单位：云南省临沧市第一中学

论文题目：探究黏菌在微重力环境下如何获取食物

探究黏菌在微重力环境下如何获取食物

杨云翔，王健舒

（云南省临沧市第一中学，临沧 677099）

摘 要

黏菌是一种既像原生动物，又像真菌的“神奇”生物，被生物学家归入原生菌类。它和变形虫同源，可以任意改变形体。黏菌寻找食物的方式很独特，而更引人注意的是它们出色的“线路规划”能力。在地球上，通过查阅资料以及大量实验，我们证实了黏菌具有极强的线路规划能力，但此种能力在太空中能否继续发挥呢？

本项目致力于探索黏菌的微重力环境下如何获取食物，在太空条件下黏菌的线路规划能力是否有变化，发挥黏菌线路规划高效的优势，为基础设施建设规划、星际信号传输、线路规划提供参考。论文由绪论、正文、结语三个部分组成。正文的第一章阐述本项目的实验意义和空间实验的必要性，为论文的写作提供背景和理论支持。第二章是探究黏菌觅食规划机理的实验研究，是全文的主体。首先介绍了黏菌的生理习性和运动机理，阐明实验的原理；然后进入全文的核心，详细描述了本课题实验所需要的实验器材、条件要求，以及地面、空间组实验的确切步骤，直观地点明实验的意义和必要性。第三章是地面实验初期成果与空间实验指标及预期，记录了自实验开始以来的条件摸索和对空间实验的结果预期，包含了最佳实验条件数据、空间实验指标和最新的实验预期，是实践结果的初步体现。最后是结语与致谢。希望通过本项目能够得出黏菌的线路规划能力在太空条件下能否得到提高的结论，进一步摸索其规划原理，推动建模过程，并期望在将来能够投入应用。

关键词：黏菌；多头绒泡菌；微重力；线路规划能力；空间实验

How myxomycetes get food under microgravity

Abstract

Myxomycetes are a kind of magic living creature that resembles both protozoa and fungus. They are classified as protozoans by biologists. Homologous to amoebas, they can change their body shapes at will. Myxomycetes have a unique way of finding food, noticeably their excellent ability of route planning. By consulting information and doing lots of experiments on the earth, we have confirmed that myxomycetes are highly capable of planning routes. But, can this ability be continued in space?

This project explores how a slime mold finds food in a microgravity environment and whether there is any change in its route planning ability in a space environment. The slime mold's strength of route planning can provide a reference for infrastructure construction planning, interplanetary signal transmission and route planning of this project. This paper consists of three parts, namely introduction, main part and conclusions. The first chapter describes the experimental significance of this project and the necessity of space experiments, and provides background and theoretical support for writing this paper. The second chapter, as the main part of this paper, shows an experimental study that explores the mechanism of slime mold's planning on finding food. Firstly, the physiological habits and movement mechanism of slime mold are introduced and the principle of the experiment is illustrated. Then, the core part of this paper follows. The experimental apparatus and conditions necessary for the experiment on this topic and the exact steps for ground and space experiments are described in detail, and the significance and necessity of the experiments are explicitly pointed out. The third chapter gives the initial results of the ground experiment, space experiment indicators and expectations, and records the exploration of conditions and the expected results on the space experiment since the start of the experiments, including the optimal experimental condition data, space experiment indicators and latest experiment expectations, which initially reflect the result of practice. The final part is conclusions and acknowledgments. It is hoped that, through this project, the conclusion about whether the slime mold's ability of route planning can be improved in space and that the planning principle of this project can be further explored so as to drive the modeling process. This project is also expected to be put into operation in the future.

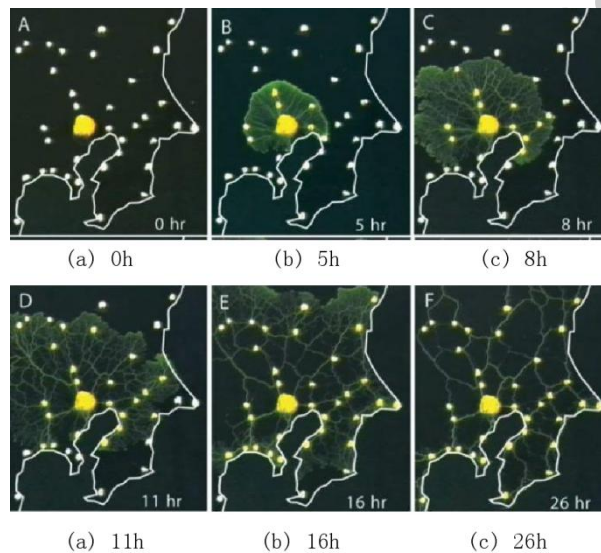
Key Words: Myxomycetes; Physarum Polycephalum; Microgravity; Route Planning Ability; Space Experiment

目录

绪 论.....	- 1 -
第一章 黏菌实验的意义及实验目的.....	- 3 -
1.1 空间实验的必要性.....	- 3 -
1.2 实验意义.....	- 3 -
1.3 实验目的.....	- 3 -
第二章 探究黏菌觅食规划机理的实验研究.....	- 4 -
2.1 实验的理论基础.....	- 4 -
2.1.1 黏菌：既像原生动物，又像真菌.....	- 4 -
2.1.2 黏菌的觅食和运动机理.....	- 4 -
2.2 黏菌觅食规划机理初探地面实验.....	- 6 -
2.2.1 黏菌菌核的复苏与养肥.....	- 6 -
2.2.2 黏菌子实体的培养与利用.....	- 7 -
2.2.3 黏菌原质团.....	- 9 -
2.2.3 黏菌的迷宫实验.....	- 9 -
2.3 空间实验步骤及实验过程.....	- 10 -
2.3.1 空间实验所需条件及实验方法.....	- 10 -
2.2.2 地面空间对照实验具体步骤.....	- 11 -
第三章 地面实验初期成果与空间实验指标及预期.....	- 13 -
3.1 地面实验初期成果.....	- 13 -
3.1.1 黏菌的细胞结构观察.....	- 13 -
3.1.2 真空环境对黏菌的影响.....	- 13 -
3.1.2 以 X 射线为例研究辐射对黏菌的影响.....	- 14 -
3.2 实验条件的摸索与确定.....	- 15 -
3.3 空间站组实验结果预期.....	- 17 -
结语与致谢.....	- 18 -
参考文献.....	- 19 -

绪 论

2004 年，以 Nakagaki, Tero 为首的几位科学家用黏菌做了一个有趣的实验：将麦片放在不同的位置分别模拟日本东京地铁沿线的各个站点，让黏菌去寻找食物。结果，最终黏菌在食物之间形成了一个网状结构，而这个网状结构，竟然与效率极高的东京铁路系统相差无几，这个实验充分体现出了黏菌线路规划的出色能力。而后期的实验初步认为，黏菌的线路规划能力结合一定的算法技术能够应用到互联网的信息传输中。而我们课题组设想，黏菌也许会在太空条件下发生一定的突变，促使其线路规划能力变强，能够进一步推导出更优化的规划方案，从而满足线路规划方面的需求。



(图 0-1 多头绒泡菌模拟东京铁路网规划实验中网络结构随时间的变化情况)

(一) 基础设施建设中线路规划问题尚缺优化方案

时光飞逝，如今已是 2021 年，我们站在两个一百年的伟大历史交汇点上，正为了实现建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国的目标而不懈奋斗着。在此过程中，我们仍有大量的工程项目需要去建设，其中，线路的规划问题尚缺优化方案。例如，修建高铁线时，如何在保证安全的前提下，减少耗材，又高效地完成任务；小至新学校建设时，如何规划应急逃生路线，使得在紧急情况下能够确保师生们的安全；大到将来借助北斗卫星进行星际通讯时，如何做到进一步减少信号衰弱、实现超长距离通讯的信号传递路径.....也许，黏菌的线路规划能力能够发挥一定作用。前文中也提到过，黏菌的线路规划能力很强，我们应该透过现象看本质，结合其生理特性研究运动机理，从运动机理中尝试推导出

黏菌优化线路规划的具体表达式, 尝试建立数学模型, 再进一步实验探究能否应用到基础设施的线路规划当中去, 提供一种新的解决方案。在如今仍进行的地面组试验中, 结合国内外相关的参考文献, 我们发现黏菌的线路规划能初步应用于简单的工程任务中, 也发现了一些相关的表达式和模型。如果经过太空实验, 其规划能力是否会更加出色呢? 如果答案是肯定的, 那么将会为基础设施建设工程提供一种全新的优化方案, 在一定程度上可以促进经济的发展, 满足人民的美好生活需要。

(二) 中国空间站即将建成, 空间实验指日可待

我国空间站预计于 2022 年建成并正式投入使用, 命名为“天宫空间站”, 蕴含着中国人对太空的遐想。空间站是中国载人航天工程“三步走”发展战略的第三步, 标志着我国航天科技发展又进一步。“天宫空间站”不仅是我国的太空实验室, 更是向世界开放的平台。在如此独特环境下的太空科学技术实验平台上, 全世界的科学家都将有机会用珍贵的太空资源致力于科学发现, 利用中国的空间站造福人类。2021 年 6 月 17 日, 我国航天员聂海胜、刘伯明、汤洪波搭载着神州十二号飞船升上太空, 首次进入“天宫”空间站开展工作, 加快了我国空间站的建设进程。《自然》杂志更是评论称: “‘天宫’空间站将成科学家的‘乐园’。”的确, 全世界的研究人员都在热切期盼着“天宫”的竣工, 希望对暗物质、引力波到癌症恶化以及致病细菌如何生长等课题的研究有新的进展。^[1]

自 2018 年起, 我国航天局就面向全世界征集太空实验项目。而由中国空间技术研究院所属钱学森空间技术实验室和五院总体设计部主办的“探索浩瀚宇宙, 开启智慧之光”太空探索实验青少年教育项目对于我们来说无疑是一个很好的机会。在项目团队的共同努力下, 我们取得了全国冠军的好成绩, 本项目也被收录在了“太空探索实验”青少年实验项目方案数据库中, 推荐作为中国空间站或其他试验卫星的搭载实验方案。这无疑为本项目及本团队的其他天体生物和生物工程项目提供了良好的契机。

本实验需要在太空环境下进行, 探讨黏菌的生理习性是否会受到太环境的影响, 从而使黏菌的线路规划能力更强, 结合现有实验资料, 进行推导, 尝试得出更优化的线路规划方案, 从而设想能否运用到多个方面中, 甚至是空间站与地面的远距离信号传输中。

在“天宫”空间站中, 具有符合我们实验的环境要求, 且能够有实验人员协助进行实验, 相比视频拍摄, 能够更方便直观地获取实验信息和数据, 从而推导出结论, 有利于本项目的进一步发展。空间站的即将建成, 为我们的实验提供了实践的基础, 有望将本实验进一步进行下去。

第一章 黏菌实验的意义及实验目的

1.1 空间实验的必要性

黏菌作为一种神奇的原生菌类，具有与其生理功能相适应的极强的规划能力。通过查阅大量文献资料及设计动手实验、数据处理和分析，我们发现其在地球上的规划能力能够节省很大一部分距离，并且高效地完成任务。之前就有“太空育种”的实验，得到的品种在某些方面上优于原品种，那么，黏菌在太空的微重力、太阳电磁辐射、空间粒子辐射等因素的影响下，又会不会在线路规划能力方面取得进一步的优化呢？本实验具有一定的难度，需要在少量人工干预的条件下进行，且有了实验人员的参与，可以更方便地获得实验数据，以便于进一步的观察，空间实验的必要性显著。

1.2 实验意义

据了解，我国空间将于 2022 年前后建成，那么通讯及补给输送等是必须考虑的问题，甚至在今后也许会成为现实的人类移民外星球的通勤运输中发挥作用。如果能够规划出最佳路径，将会带来很多有利条件。通过查阅资料以及亲自实验，我们知道黏菌具有出色的“线路规划”能力。如果在太空中，黏菌也能发挥它这样的特长的话，那么不同空间站甚至不同星球之间的高效率传输线路就有了思路。同时，在地球上也能发挥一定的作用，例如：在我国的基础设施建设中，规划高铁最优线路；为学校规划最优逃生线路等。通过比较其能力在太空与地球上的差别，充分发挥其规划能力，服务人类。

1.3 实验目的

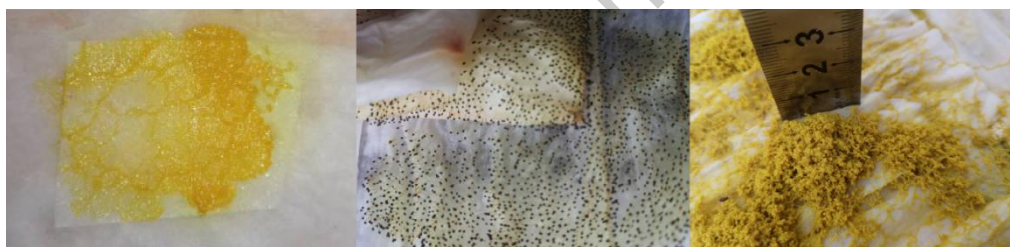
本项目参加主题为“探索浩瀚宇宙，开启智慧之光”太空探索实验青少年教育项目，希望充分利用空间站有实验人员的优势，对黏菌在太空中的线路规划能力进行更深入的研究，观察其在太空条件下是否有进一步优化，最终可能会得到应用。同时，我们希望不断地充实自己，发展自己，希望在探索的过程中，培养动手能力和科创精神，并不断进步，争取本质上的发展，并希望为将来参与生命科学相关领域工作、为祖国贡献力量打下坚实的基础。

第二章 探究黏菌觅食规划机理的实验研究

2.1 实验的理论基础

2.1.1 黏菌：既像原生动物，又像真菌

黏菌是一群类似霉菌的生物，会形成具有细胞壁的孢子，但是生活史中没有菌丝的出现，而有一段黏黏的时期，因而得名(myxomycetes,也称 slime molds)，这段黏黏的时期是黏菌的营养生长期。真黏菌具有4个典型的阶段：孢子、游动胞、黏变形体和原质团。黏菌在营养期为裸露、无细胞壁、多核变形虫状的细胞，称原质团。其营养期的结构、运动或摄食方式与原生生物中的变形虫相似，但其繁殖期又像真菌中的霉菌，为介于原生动物与真菌之间的真核生物。本次实验使用具有典型流动结构的多头绒泡菌。



(a) 复苏中的黏菌菌核

(b) 黏菌的子实体

(c) 堆叠的黏菌

(图 2-1 黏菌)

2.1.2 黏菌的觅食和运动机理

生物学中，黏菌与变形虫同属对人类健康和环境极为重要的原生生物，可以随意改变其形态，自由地运动。黏菌一生共有两个阶段，营养期由多个细胞配对融合成原生质团，通过有丝分裂繁殖。当黏菌找不到食物和水“绝望”之际，某些原生质团发出信号分子，网络状结构收缩聚集，形成进行无性生殖的子实体，待条件适宜时又再次复苏，恢复原状，再次进入营养期。而我们实验需要在黏菌的营养期内进行，应该提供充足的食物源。

黏菌刚复苏时，细胞比较集中，我们把这—个集中区域叫做“初始中心”，为

了觅食，黏菌会向四面八方扩展，发出一些比较细的管状结构，以每小时约 2cm 的速度运动，直到遇到食物。遇到食物之后，搜寻无果的管状结构会逐渐缩回初始中心甚至消失；遇到食物的管道会做进一步调整，直到趋近于最短路线。随后，细管半径逐渐增大，形成一条主要的“粗管”，黏菌就靠着这条“粗管”进行营养物质的运输，直到食物耗尽，“粗管”逐渐细化，又重新寻找新的食物源。而此过程可以同时向四面八方同时进行，形成多条运输管道。最终，最佳管道留下，彼此联系，构成了网络结构。在此过程中，物质运输的建立存在严格的反馈调节，发现食物来源确认目标的管道系统在增粗后流量也会增加，从而加强导管通导性，如此往复循环，有助于黏菌在较短的时间内完成线路规划。通俗一点说，黏菌的线路规划就是将所有可能的情况都表现出来，再进行筛选，最终留下最适合的一组。



(图 2-2 黏菌导管运输正反馈机制原理图，引自黄海格)

黏菌形成这样的网络结构对觅食主要有两点意义：第一，在前期的探索过程中，黏菌会把自己面积扩展到最大，以便于进行搜寻，不放过任何一个角落。这在数学中类似于最短路径的求法，黏菌想方设法地确定目的地。确认目的地后，受自身遗传物质的控制，规划处高度近似于最短路径的觅食线路；第二，黏菌缩短了运输路线，能够在尽可能少消耗 ATP 的情况下完成生命活动，形成有序的网络结构，构成运输系统，充分体现生物的智慧。

那么，黏菌是如何运动和运输物质的呢？黏菌在孢子时期时无法自行运动，直到出现游动胞（带鞭毛），可以借助其进行运动。聚合成变形体后可以借助原质团像液体一样自由流动。黏菌的变形体由透明的外质和内质组成，有的具有伪足，可以借助伪足运动；没有伪足的只能借助原质团流动。而黏菌找到适宜的位置开始发出管道向四周觅食时，游动胞起到很大的作用。游动胞把营养物质通过管道运送回初始中心，供聚合的黏菌个体使用。

2.2 黏菌觅食规划机理初探地面实验

2.2.1 黏菌菌核的复苏与养肥

实验室中黏菌样本通常是菌核在零上低温的环境中保存。黏菌菌核会在适宜的条件下复苏，进行地面太空的对照实验前，应该先把部分的菌核进行复苏，另一部分按照实验计划保持菌核的初始状态，带到空间站后复苏。（菌核来自同种多头绒泡菌，尽可能减少对实验的影响）复苏的步骤如下：

1. 将培养容器打开，纸巾垫在培养容器里面，加矿泉水充分润湿纸巾。
2. 取一片菌种，正面朝上放置于培养容器的湿纸巾上，轻轻按压菌种所在的纸片，使其彻底润湿，不能直接用水滴在菌核上。



（图 2-3 黏菌复苏前的准备工作）

3. 将培养容器的盖子盖上，放置在黑暗处，遮光。（可以选择完全避光的盒子，尽可能减少打开盒盖进行观察的次数；也可以选择透明的盒子，但复苏前应该用纯色遮光布覆盖，观察时可以掀稍微开遮光布，但是也不要完全暴露在光线下，减少对其影响）保持温度在 25℃（关于培养条件的相关说明见下一章节）。1-2 小时后开始出现黄色的脉络状的原生质团，等待黏菌复苏。

4. 黏菌复苏后，将黏菌养肥，以便于尽快使黏菌进入营养期。转入较大的培养装置中，目前有两种可行的方法可以养肥黏菌。

方法一：转入地面实验室空间后，取适量燕麦片，剪碎，将剪碎后的燕麦成堆放在黏菌原质团边，挨着脉络，再用滴管滴 1~3 滴水润湿燕麦堆（如果在大面积培养箱培养，可直接用喷壶喷洒），燕麦的量要注意剪碎后表面积小于黏菌的表面积。耐心等待黏菌吃燕麦。需要指出的是，黏菌不会完全吃完燕麦片，只是吃表面，所以当它彻底覆盖完（可观察颜色）所有燕麦之后，就可以继续喂食了。这样喂食 2-4 天，黏菌就会变得“很肥”。

方法二：把黏菌转移直接转移到带有平菇（蘑菇类）的木桩上，保持木桩湿润，黏菌可以直接在木桩上活动，这样保持湿润 2~3 天，黏菌也可以变得“很肥”。

两种方法都可以把黏菌养肥，方法一的效果比方法二要好，但是方法二得到的黏菌可以直接放入环境盒子，不用进一步转移。如果使用方法一，实验时选取最肥的黏菌中心，全部转移到环境盒子中的朽木上。



（图 2-4 黏菌养肥的两种方法）

5. 养肥时，如果菌盆一直清香，就不换垫纸；如果有食物腐烂的气味则需要整体转移，而低温、潮湿、避光容易产生霉菌，要特别小心。



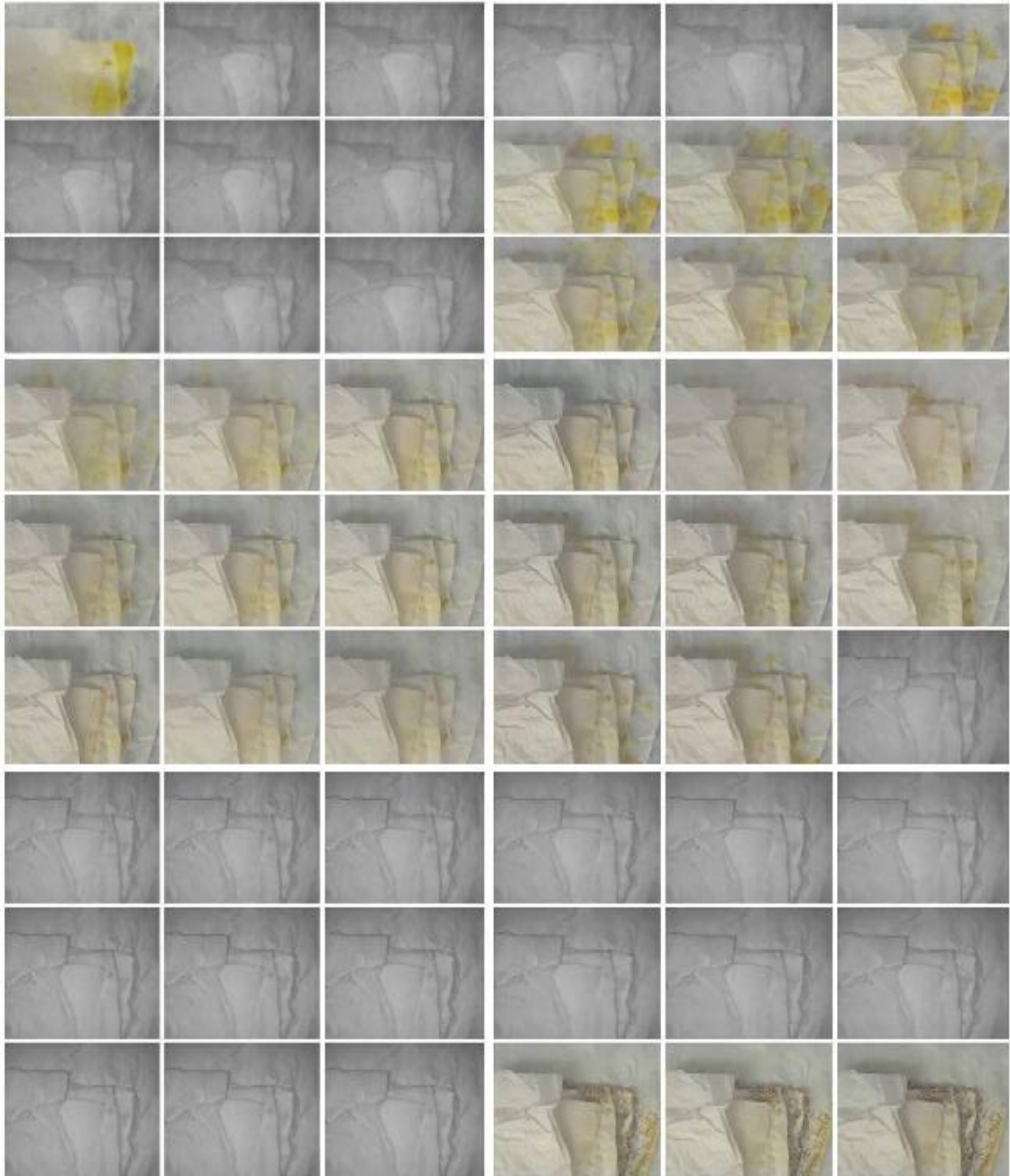
（图 2-5 小容器复苏黏菌菌核成功案例）

2.2.2 黏菌子实体的培养与利用

当黏菌被养得“很肥”时，转移到高透明加厚塑料收纳箱，停止喂食，湿度下调大概 10%，给予光线照射，在其饥饿、绝望时，原质团的分布会变得更加均匀，细小菌脉会渐渐消失，把完整的原质团分割成小块的凸起，慢慢长出具有孢囊和柄美丽的子实体，球形带棒，似小蘑菇，之后会产生具纤维质细胞壁的孢子。^[3]子实体是黏菌的繁殖形态，读过《自私的基因》的人会很容易想到这么做的目的。在极端

环境下转化为子实体，是为了尽快繁衍后代，把自己的基因传递下去，而不是就此止步。

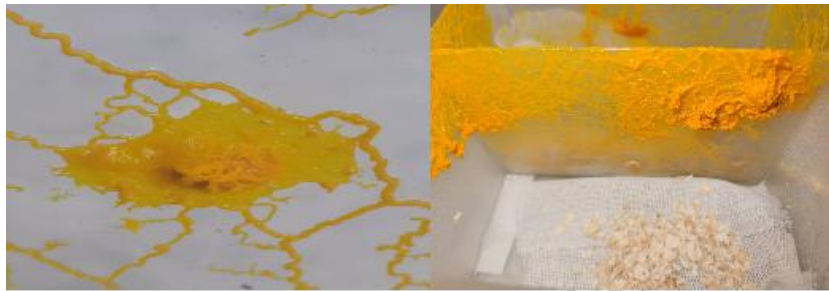
实验中，我们需要黏菌保持原质团的形态，所以我们需要研究子实体的形成条件从而避免在实验过程中出现子实体从而造成干扰；另一方面，在保存菌种、运输过程中子实体又给我们提供了一种新的思路。



（图 2-6 子实体诱导培养过程）

2.2.3 黏菌原质团

原质团是黏菌生命历程中占比最大的一个时期，在这个时期里，黏菌具有很强的运动和规划能力。根据原质团大小、是否形成网脉以及原生质的颗粒结构是否明显，可把黏菌的原质团分为三种类型：原始型、隐型和显型。也就是说能够看到的爬来爬去的黏菌，其实都属于显型原质团。本试验项目多头绒泡菌黄色的原质团就是一种显型原质团。



(图 2-7 多头绒泡菌的黄色原质团)

当周围食物短缺时，它们就会发出信号召唤周围的黏菌逐渐聚拢在一起，“抱团取暖”、“集思广益”，相互融合形成更大的“变形体”原质团胞体。本项目试验中观察到甚至长(宽)可达 7cm、高度 3.5cm。当然，只有同源的才会融合，而异源接触会彼此回避。控制黏菌融合的基因座，现在知道的至少有 16 个，16 个基因座表型相同才会融合。表型分为显型和隐型，即使同种黏菌，至少有 $2^{16}=65536$ 个互不相融合异源菌株，于是任意两只菌株互不相融的概率为 99.999985%。

2.2.3 黏菌的迷宫实验

迷宫实验是验证黏菌线路规划能力的一个重要实验。我们可以根据黏菌在相同迷宫中的表现时间，判断黏菌地面组、空间组（菌核和原生质团培养结果）哪一组受影响更大一些。

实验材料：多头绒泡菌、燕麦片、定制迷宫盒子、滴管、60mL 喷壶、抽纸巾、纱布、棉签、温湿度计、蒸馏水、镊子、高透明加厚塑料收纳箱（10L 长宽高 32×23×18cm）、塑料盒、木盒、和目 c31 网络摄像机。

实验步骤：1.取事先准备好的迷宫盒子（可以多个同时进行），在盒子内部铺上一层纸巾，充分润湿（便于黏菌运动）。

2.确认起点和终点。起点处移植一组黏菌（连带少部分食物），终点处

摆放湿润的麦片，架设摄像机进行拍摄。

3.定期给通道、麦片补水，重要时间节点进行实验记录。

经过多次实验我们发现，地面实验中的黏菌大约在 5-6 个小时内达到终点，通向终点的网络更粗，无路可走的大多很细，甚至有的已经缩回，8 小时以后全部无用网络缩回，只留下一条“主干道”。

黏菌的迷宫实验作为黏菌线路规划能力的一个重要指标，是参考黏菌非特定情境下线路规划和规划速率的考察。在地面实验探究中，经过 27 组的试验测定，取了 5.28 小时（5h16.8min）为地面参考数据，供进行空间迷宫实验的对照数据。但迷宫实验仅是确定路线的探索考察，还不能很好地模拟实际中存在的线路规划情况，所以迷宫实验不是线路规划指标的全部，还需要立体规划的拟合。



（图 2-8 黏菌的迷宫实验）

2.3 空间实验步骤及实验过程

2.3.1 空间实验所需条件及实验方法

黏菌通过参与主题为“探索浩瀚宇宙，开启智慧之光”太空探索实验青少年教育项目，以获得送入太空的机会（包括空间站和卫星多途径搭载）。黏菌计划搭乘的“天宫”空间站运行在距地面 400~450 公里的高度，此区域内的近地环境中，空间站处于真空、约 1G 的微重力环境，受到太阳电磁辐射、空间粒子辐射，以及地球电离层、地球磁场的影响，黏菌的线路规划能力甚至生活习性可能会受到影响。

实验条件：ABC 三组均保持 23℃ 恒温，D 组保持 5℃ 低温保存菌种，复苏时保持 25℃ 恒温，保持一定湿度。

实验方法：本实验采用对照实验法，第一组为地面组 B 与太空组 C，变量为所处环境；第二组为 C 组和 D 组，实验环境都位于太空，自变量为黏菌是否在太空中

复苏。对比黏菌线路规划能力得出结论。

2.2.2 地面空间对照实验具体步骤

为了使实验数据更加准确，地面组与空间站组尽可能保持无关变量一致，结合地面的实际情况，充分利用可控空间。地面组设置探究黏菌线路规划能力的独立 A 组，A 组实验主要探究黏菌的生理习性、规划过程，获取实验数据进行分析，细化实验结果。A 组的具体实验步骤和初步探究实验结果在前后文中均有详细介绍，在此不过多涉及。地面同时也设置空间组实验进行时用于对照的 B 组，空间组为 C 组和 D 组。C、D 两组的区别在于 C 组是已经复苏养肥的黏菌，D 组是未复苏的黏菌菌落，用于进一步探究太空环境对黏菌活菌落和黏菌未复苏的菌落（可以类比作植物的植株和种子）哪一组的影响更大，原理是黏菌在不同时期，由于基因的选择性表达，表达出的基因不同，可能在太空环境下影响效果也不同，因此可能可以得到最佳的实验效果，具体通过迷宫实验体现。B、C、D 三组遵循以下实验步骤：

1. 分别在三个等大的环境盒子 B、C、D 的隔间中按照图示放入朽木、等量的黏菌菌种（B、C 两组是活的黏菌菌落，D 组是未复苏的黏菌菌落），并保持同样的温度（23℃，放入恒温箱中）与湿度及氧气浓度，在环境盒子的食物盒子中放入等量的食物（每个环境盒子中①②两个隔间放燕麦，③④两个隔间放平菇），并在菌种放置一定量的食物（下文中用“初始食物”代称这部分食物，其目的是维持黏菌的生命体征，在实验前能够保持生理活性）。

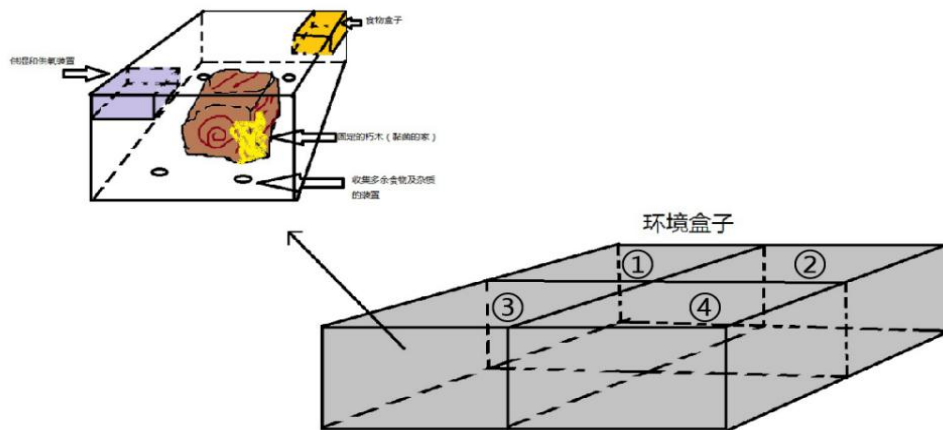
2. 将 B 组置于地球，将食物按一定位置摆放，人为规划出最佳路线，然后与黏菌所规划路线作为比较。

3. C、D 组带上空间站，黏菌可取食周围的食物以维持生命体征。进入太空后，人工将多余的“初始食物”移除 C 组，放入特定的收集装置中。D 组按照“黏菌培养日记”中黏菌复苏的相关步骤“唤醒”菌落。

4. 在太空中打开食物盒子，太空中由于处于失重情况，食物会向四面八方散落开来，根据散落情况地球上利用软件规划出“最优线路”，人为观察记录、黏菌的动向。（地面黏菌处于近似于二维空间，空间站中黏菌可以不受重力影响，通过细胞的堆叠等方式往三维空间运动，故地面计划用软件 unity 3d 规划路线）。实验过程中，必须时刻关注黏菌所在环境的湿度，自动供湿与人工供湿相结合，保障黏菌可以自由活动。详细按后文所附的实验指标表收集数据。

5. 如果有条件返回，将在地球环境中继续饲养，观察其能力是否有变化，是否会

像太空种子一样发生变异，将实验数据与地面组进行分析，按照同样的分析方法进行量化分析，尝试得到数学关系。



(图 2-9 环境盒子内部设计图)

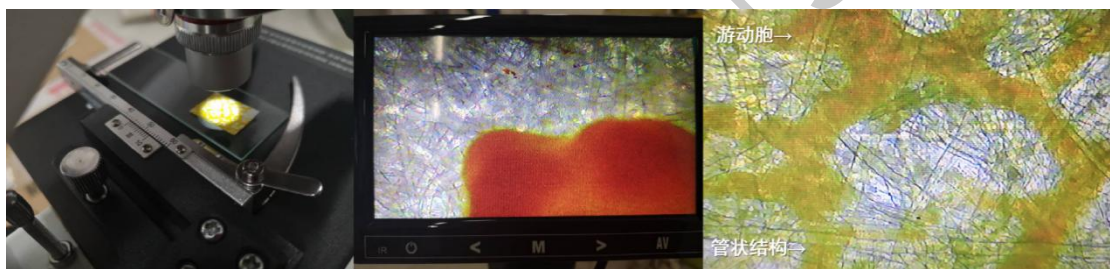
6.以上实验完成后，取 C、D 两组黏菌各一份，记为 I 号和 II 号，进行迷宫实验，探究太空环境对黏菌的成熟体和菌核（前期状态，实验时已经全部培养成成熟状态）的影响哪一组更大一些，实验步骤见“黏菌培养日记”中“迷宫实验步骤”。如果有条件带回，在地面实验室再次进行迷宫实验，以重复实验进一步验证其合理性。

第三章 地面实验初期成果与空间实验指标及预期

3.1 地面实验初期成果

3.1.1 黏菌的细胞结构观察

为了更好地研究黏菌的运动，我们购进了显微镜，观察黏菌的细胞结构，同时又借用了学校的数码显微镜进行操作。将一片菌落放在载玻片上，用蒸馏水湿润，不要加盖玻片，防止伤害到黏菌。在一条线路中，我们观察到视野中有流动的物质，经查证确定这种物质是具有鞭毛的游动胞，游动胞可以促进运动，进行物质运输，通过它黏菌得以确认食物所处的位置，并进行线路规划。我们还可以看到黏菌内有透明的类似于足的结构，这是部分黏菌才有的伪足，黏菌也可以借助伪足进行运动，但主要还是靠原生质缓慢地流动。



(图 3-1 在显微镜下初步观察黏菌)

3.1.2 真空环境对黏菌的影响

本项目计划通过空间站或卫星进行实验，如果本项目最终是通过卫星搭载进行实验，那么黏菌很有可能处于真空状态；而如果是在空间站中进行本实验，同样也是可以探究真空环境的影响。

把黏菌放入 1000ml 透明塑料培养盒子中，通过真空机抽真空，并用网路真空食品袋（或加厚铝箔真空食品袋）进行密封包装，黏菌依然能够存活；塑料盒中有空气，真空包装目的是与外界空气隔绝，既然能够存活，可在发射前，把放有黏菌、包含一定量空气的盒子进行密封包装后搭载发射到太空，也是节省空间的好方法。



(图 3-2 用真空机对整盒进行真空处理)

此外，尝试把黏菌放入负压-0.9Bar（1Bar=100 kPa）真空环境中进行培养，黏菌能够经受真空维持存活下来。^[2]



（图 3-3 用自制真空机在负压-0.9Bar 下处理黏菌）

3.1.2 以 X 射线为例研究辐射对黏菌的影响

为了提前预知辐射对黏菌的影响，我们选择了卫星荷载地面实验室培养的黏菌样本，与医疗机构联系，采用电子直线加速器 6MV-X 射线以 2Gy-20Gy 对黏菌样本分别进行 1.3-4 分钟照射，发现黏菌仍然能够存活。

但黏菌产生不舒适反应，具体表现为黏菌产生不同程度厌食情绪，培养 5 天以后有所恢复。后来我们又尝试了小剂量的辐射照射，发现其对黏菌的生理活性没有特别大的影响，查询相关资料可知空间辐射强度小于我们采用的辐射强度，因此在空间环境下复杂的空间辐射很有可能对其产生影响，造成突变或诱导，可能会出现实验预期的结果。

由于放射试验对人体的有一定的伤害，因此我们请导师郑德杨身穿铅衣、头戴铅帽做好防护，在技术人员指导下完成本实验。

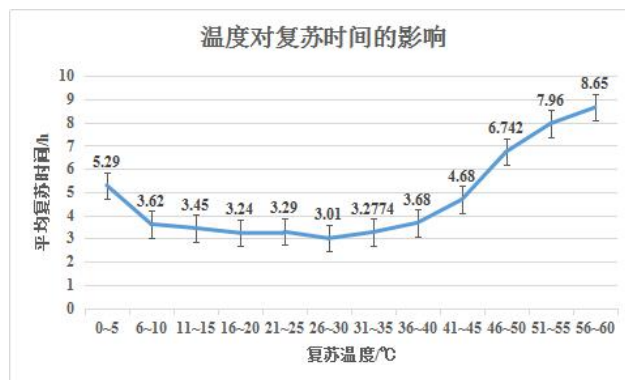


（图 3-3 进行辐射实验的黏菌和协助实验的郑老师）

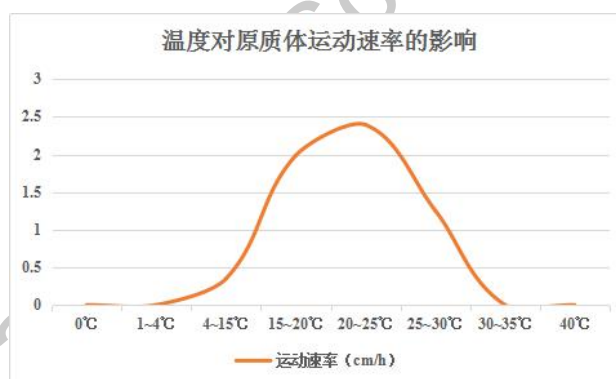
3.2 实验条件的摸索与确定

为了保证实验的正常进行,排除无关变量的干扰,我们在地面实验期间对温度、湿度、pH 三个主要的无关变量进行了探究,确定出了培养黏菌的最适条件,从而保证黏菌进行相关实验的准确性。

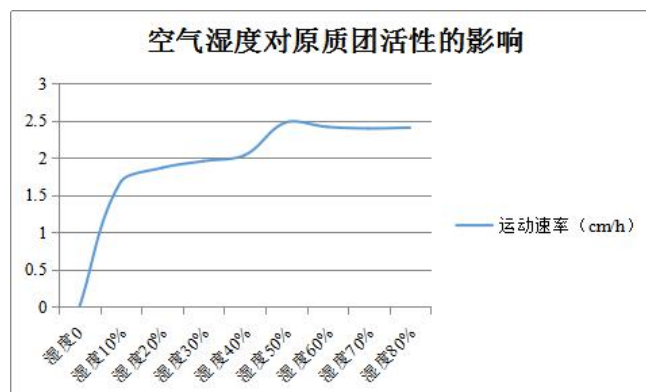
我们在复苏菌核、进行实验等环节中设置温度、湿度、pH 的梯度进行探究,分别以复苏所用时间、完成迷宫任务的时间等指标进行考证,多组实验求出平均值值得出了最适区间。最终确定:复苏温度 25℃,实验温度 23℃,相对湿度 50-60%。



(图 3-4 温度对菌核复苏时间的影响)



(图 3-5 温度对原质体运动速率的影响)



(图 3-6 空气湿度对原质体运动速率的影响)

探究黏菌在微重力环境下如何获取食物 地面·空间实验 记录表							
启用时间：____年____月____日 执行人员：_____							
B组（地面对照组）							
培养环境	地面实验室ATTF8231	复苏温度	25℃	培养温度	23℃		
培养湿度	50~60%	菌种	黏菌-多头绒泡菌				
菌核来源							
实验1：迷宫实验							
组号	迷宫模板编号	环境温度	环境湿度	开始时间	结束时间	所用时长	平均值
样本组	1号	23±0.5℃	55±5%	/	/	/	5h16.8min
B-1-1	1号						
B-1-2							
B-1-3							
B-1-4							
B-1-5							
B-1-6	2号						
B-1-7							
B-1-8							
B-1-9							
B-1-10							
实验2：线路规划（计算机软件模拟）							
组号	对应太空实验	环境温度	环境湿度	开始时间	结束时间	完成情况	拟合情况
B-2-1							
B-2-2							
B-2-3							
B-2-4							
B-2-5							
B-2-6							
B-2-7							
B-2-8							
B-2-9							
B-2-10							
C组（空间实验组）							
培养环境	天宫空间站 微重力	复苏温度	25℃（地面复苏）	培养温度	23℃		
培养湿度	50~60%	菌种	黏菌-多头绒泡菌				
菌核来源							
实验1：迷宫实验							
组号	迷宫模板编号	环境温度	环境湿度	开始时间	结束时间	所用时长	平均值
C-1-1	1号						
C-1-2							
C-1-3							
C-1-4							
C-1-5	2号						
C-1-6							
C-1-7							
C-1-8							

实验2：线路规划（随机三维分布规划、二维平面规划）							
组号	食物分布情况简述	环境温度	环境湿度	开始时间	结束时间	完成情况	备注
C-2-1							
C-2-2							
C-2-3							
C-2-4							
C-2-5							
D组（空间实验组2，增加空间环境复苏）							
培养环境	天宫空间站 微重力	复苏温度	25℃（空间站复苏）	培养温度	23℃		
培养湿度	50~60%	菌种	黏菌-多头绒泡菌				
菌核来源							
实验1：迷宫实验							
组号	迷宫模板编号	环境温度	环境湿度	开始时间	结束时间	所用时长	平均值
D-1-1	1号						
D-1-2							
D-1-3							
D-1-4							
D-1-5	2号						
D-1-6							
D-1-7							
D-1-8							
实验2：线路规划（随机三维分布规划、二维平面规划）							
组号	食物分布情况简述	环境温度	环境湿度	开始时间	结束时间	完成情况	备注
D-2-1							
D-2-2							
D-2-3							
D-2-4							
D-2-5							
注意事项	1.注意按要求如实填写信息，地面、空间实验确保同步进行，执行组长分配好任务； 2.填写实验数据时严格遵照要求填写，尽可能详细，出现其他情况在补充报告中填写； 3.实验前认真检查好实验环境是否达标，实验装置是否能够正常工作； 4.实验前确认菌核来源，采用“采样地点+采样时间+代数+样本编号+操作员”的形式填写；						

-2-

(图 3-7 空间实验阶段计划采用的实验数据记录表)

3.3 空间站组实验结果预期

本实验设置两组对照实验，第一组为地面组 B 与太空组 C 对照，预计结果为两组黏菌都能完成同样的线路规划任务，且太空组所用时间更短。第二组为 C 组和 D 组，实验环境都位于太空，自变量为黏菌是否在太空中复苏，预计结果为在太空中复苏的黏菌 D 组有更强、更高效的线路规划能力，此外，太空中的黏菌还能完成三维空间下的线路规划能力，与用计算机模拟出的线路可以较好地吻合甚至更优。以上是我们依据地面试验及相关资料初步得出的设想，希望能够有机会验证，得到意料之外的收获。

结语与致谢

在一次野外实践中，我们偶然遇见了黏菌这种神奇的生物，并被它强大的线路规划能力所折服，我们希望它的能力能够应用到实际生活中，造福人类。目前，黏菌线路规划的研究在国内还不普遍，仅有少数研究得到了黏菌导航（地面）的优化算法，得出黏菌规划的路线几乎能满足智能网络多重要求的结论。直到现在，我们仍然在进行黏菌的 A 组（地面组）实验，努力摸索并尝试建立相关的模型。我们认为，黏菌在地球上的规划能力可以应用到基础设施建设中；而在太空中黏菌的线路规划能力又会有怎样的变化？本文详细阐述了实验的方法和预计结果，以及在实验过程中得到的一些初步结论。当然，我们的方案还不够完善，但只要能有一个新的思路，我们就会继续努力，努力完善方案，虚心听从意见，进一步挖掘黏菌的价值。

以上只是我们的浅薄之见，必定会有很多不足之处。首先，限于现阶段中学的学术能力，论文的研究和理论还不够深入，论述体系还不够完善。其次，由于我们对生物学、空间科学的相关信息掌握不够完整，还有待深入挖掘更深层次的内容。最后，我们希望能够借助本次“探索浩瀚宇宙，开启智慧之光”活动，将黏菌送上太空，进行下一环节的研究，故目前只能选择一些国内外顶尖的研究方案来支撑实验预期的构想，这部分将有待于实践深化而进一步得到完善。提出的设想及思考，还需要在今后的研究工作中进行验证是否可行。我们将会不断完善我们的方案，进一步深入研究黏菌的线路规划能力。

本项目由杨云翔、王健舒共同选题、设计和进行实验，最终由杨云翔撰写论文。在此，我们课题组要感谢我们的母校，为我们提供了方便快捷、优美惬意的学习环境，图书馆里的大量藏书，中学科技馆先进齐全的设备……同时，也要感谢我们的导师郑德杨老师，提供给我们实验的资源 and 条件。为了结合细胞结构，探究黏菌的线路规划能力，郑老师特意为我们课题组购置了专用的显微镜。在实验过程中，郑老师也总能在第一时间协助解决我们遇到的问题。正是有了郑老师的精心指导，才能让我们的研究得以进行下去。感谢郑老师在百忙之中一次又一次地指导我们进行实验，让我们对黏菌的线路规划能力有了更深入的理解。郑老师对科技创新的热爱和严谨的学术态度，将使我们终身受益。同时，在参加相关的比赛时，我们也受到了航天五院等相关专家的指导，给了我们优化的方向。最后，再次对给予我们帮助的师长和同学致以深深的谢意。

参考文献

- [1]余建斌. 中国空间站彰显创新精神[N]. 人民日报,2020-02-20(005).
- [2]郑德杨.黏菌在真空中能生存吗[J].发明与创新(中学生),2020(09):34-35.
- [3]曳尾菌.神奇的“造物主”和“规划师”——黏菌的微观世界[J].科学大众(小学版),2020(Z1):44-47.
- [4]李晨,王晓丽,王晓丽,李玉.几种黏菌黏变形体形态及运动特征[J].菌物学报,2013,32(05):913-918.
- [5]王晓丽.真黏菌乃真核——从细胞学角度看黏菌[J].生命世界,2014(07):36-37.
- [6]日研究发现黏菌能建立高效运输网络[J].企业技术开发,2010,29(03):114.
- [7]史立平,李玉.多头绒泡菌的生活史[J].东北师大学报(自然科学版),2010,42(04):106-110.
- [8]吕冬霞. 几种黏菌生活史中不同阶段的显微结构及发育规律研究[D].吉林农业大学,2012.
- [9]刘霞. 《自然》：“天宫”空间站将成科学家的“乐园” [N]. 科技日报,2021-07-30(004).
- [10]吕冬霞. 几种黏菌生活史中不同阶段的显微结构及发育规律研究[D].吉林农业大学,2012.
- [11]郭雨鑫,刘升,张磊,黄倩.精英反向与二次插值改进的黏菌算法[J/OL].计算机应用研究:1-7[2021-08-03].<https://doi.org/10.19734/j.issn.1001-3695.2021.02.0175>.
- [12]余汝心.黏菌:生物界的道路规划大师[J].科学启蒙,2021(Z1):22-25.
- [13]吴相钰 陈守良 葛明德.陈阅增普通生物学[M].高等教育出版社:北京,2014:392.
- [14]周楷凯.黏菌在城市规划中的应用研究[J].城市地理,2018(10):28-29.
- [15]陶伟. 黏菌的培养和个体发育的研究[D].南京师范大学,2015.
- [16]宋晓霞,王琦,李玉.6种黏菌原生质团化学元素的特征[J].东北林业大学学报,2014,42(01):112-115+121.
- [17]马轶思. 黏菌的营养吸收规律及不同生长阶段的元素分析[D].吉林农业大学,2012.
- [18]黄海格. 制造企业物流黏菌导航寻优算法与应用[D].浙江工业大学,2018.
- [19]Atsushi Tero,Ryo Kobayashi,Toshiyuki Nakagaki. Physarum solver: A biologically inspired method of road-network navigation[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,2006,363(1).

附：团队个人简历和指导教师简历

（一）团队成员简历

杨云翔

个人简历

云南省临沧市第一中学科创中心
Science and Technology Innovation Center
Lincang No.1 Middle School



基本信息

姓 名：杨云翔 出生年月：2004 年 9 月
民 族：汉 政治面貌：共青团员
电 话：13308835759 就读学校：云南省临沧市第一中学
邮 箱：13308835759@163.com
联系地址：云南省临沧市临翔区世纪路 8 号



教育背景

2010-2016 云南省临沧市临翔区南屏小学
2016-2019 临沧市第一中学天有实验学校初中部
2019-至今 云南省临沧市第一中学

实践经历

2017 年加入“郑德杨校园航天”团队，成为临沧市第一中学科创中心一员。2018 年参与社会小发明类项目《酒驾车辆自动断电无法启动系统》，获得第九届科学影像节全国三等奖，成果刊登在《发明与创新》杂志上。2019 年起主要研究天体生物学和生物工程领域，带领团队积极研究，项目《探究黏菌在微重力环境下如何获取食物》获太空探索项目全国一等奖，前期成果被上海《动手做报》头版整版报道；同时，项目《月球动物航天员“杜比亚”及其抗逆性研究》正申报嫦娥七号小卫星载荷实验。2020 年到太原卫星发射中心现场观摩“八一 03 星”的发射，并于年末在北京参加“孩子的声音上太空”颁奖盛典。2021 年，受邀参加由于疫情改为线上交流的第 20 届“明天小小科学家”奖励活动全国终评，获得专家的指导和点评。

在大力开展科创工作的同时，也注重基础知识和管理能力的提升。分别于 2020 年、2021 年获得中国科学技术大学少年班创新试点班选拔资格提前参加高考，在 2021 年以高二学生身份获得 637 分的成绩，其中语文 130 分，数学 135 分，英语 140 分。同时，由于管理和组织能力突出，在任班长、生物奥赛组长期间，获得 2019-2020 学年“十佳班长”“十大最具潜能奖之科学创新”称号。

如今，正在为自己的梦想而不懈努力着，渴望为生命科学领域、为祖国、为人类贡献自己的力量。

曾获荣誉

- ◆ 2019-2020 年度钱学森空间技术实验室太空探索青少年教育实践项目全国一等奖
- ◆ 第 20 届“明天小小科学家”奖励活动全国终评受邀选手
- ◆ 八一 03 星“太原号”卫星载荷方案设计全国一等奖
- ◆ “孩子的声音上太空”大型公益活动“太空好声音”奖
- ◆ 第 35 届全国青少年科技创新大赛云南赛区一等奖，并推荐参加全国总决赛
- ◆ 第六届“互联网+”中国国际大学生创业大赛萌芽赛道“入围总决赛奖”
- ◆ 第九届全国青少年科学影像节全国三等奖
- ◆ 2021 年全国中学生生物学联赛云南赛区二等奖
- ◆ 2019 年全国中学生英语能力测评全国二等奖
- ◆ 2019 年全国中学生语文、数学能力测评全国三等奖
- ◆ 2017 年、2020 年临沧市优秀学生干部
- ◆ 临沧市“希望之星”英语口语演讲大赛“特等奖”
- ◆ 2019-2020 学年度临沧市第一中学“十佳班长”、“最具创新能力奖”、“创新人才培养卓越奖”

王健舒

个人简历

云南省临沧市第一中学校科创中心
Science and Technology Innovation Center
Lincang No.1 Middle School



基本信息

姓 名：王健舒
民 族：汉
电 话：13988369262
邮 箱：2104468425@qq.com
出生年月：2004 年 2 月
政治面貌：共青团员
就读学校：云南省临沧市第一中学
联系地址：云南省临沧市双江县民族小学



教育背景

2010-2016 云南省临沧市双江县民族小学
2016-2019 临沧市第一中学天有实验学校初中部
2019-至今 云南省临沧市第一中学

实践经历

2017 年加入“郑德杨校园航天”团队，成为临沧市第一中学校科创中心一员。2018 年参与社会小发明类项目《酒驾车辆自动断电无法启动系统》，获得第九届科学影像节全国三等奖，成果刊登在《发明与创新》杂志上。2019 年起主要研究天体生物学和生物工程领域，参与项目《探究黏菌在微重力环境下如何获取食物》获太空探索项目全国一等奖，前期成果被上海《动手做报》头版整版报道，个人接受《发明与创新》杂志采访，受邀于太原卫星发射中心观看八一 03 星发射。

在大力开展科创工作的同时，也注重基础知识和管理能力的提升。分别于 2020 年、2021 年获得中国科学技术大学少年班创新试点班选拔资格提前参加高考，在 2021 年以高二学生身份获得 646 分的成绩，其中英语 140 分。同时，由于各方面综合素质突出，获得 2019-2020 学年“十大学星”、2021 年云南省“新时代好少年”、2021 年省级三好学生等称号。

始终前行在热爱科学、执着创新的路上，渴望为祖国、为人类贡献自己的力量。

曾获荣誉

- ◆ 2019-2020 年度钱学森空间技术实验室太空探索青少年教育实践项目全国一等奖
- ◆ 八一 03 星“太原号”卫星荷载方案设计全国一等奖
- ◆ 第 35 届全国青少年科技创新大赛云南赛区一等奖，并推荐参加全国总决赛
- ◆ 第六届“互联网+”中国国际大学生创业大赛萌芽赛道“入围总决赛奖”
- ◆ 第九届全国青少年科学影像节全国三等奖
- ◆ 2021 年全国中学生生物学联赛云南赛区二等奖
- ◆ 2018 年全国中学生英语能力测评全国二等奖
- ◆ 2019 年全国中学生语文能力测评全国二等奖
- ◆ 2019 年全国中学生数学能力测评全国一等奖
- ◆ 临沧市“希望之星”英语口语演讲大赛“特等奖”
- ◆ 2019-2020 学年度临沧市第一中学“最具创新能力奖”、“创新人才培养卓越奖”
- ◆ 2021 年云南省“新时代好少年”称号
- ◆ 2021 年省级三好学生称号

（二）指导教师

郑德杨，男，彝族，云南省临沧市第一中学校科创中心主任，航天科技素质教育工程指导专家，中国航天科技教育联盟顾问，全国高级科技辅导员，享受省政府津贴，先后荣获：云南省最美科技工作者，云南省大众创业万众创新先进个人，市科学技术进步奖，临沧青年五四奖章。云南省“百名专家科技下乡”专家组成员、“奋斗的我，最美的国”“云南省新时代先进人物进校园”资源库成员，云南省“大手拉小手科技传播行动”科普报告团成员，大学客座教授。



在青少年科技创新教育实践中引出“校园航天”概念，并带领学生进行作品研发，所辅导学生团队太空实验荣获全国冠军。郑德杨应邀赴西昌、酒泉、太原、文昌卫星发射中心观摩嫦娥四号等航天器发射，3次将临沧市一中师生声音送上太空，与神舟七号航天员进行交流，参加中美商业航天研讨会、北斗卫星导航国际学术会议、中国航天日、小卫星技术国际交流会等活动，受到云南卫视（新闻联播）等媒体报道。