

点水成金 酿酒废水 到每吨附加值三千元 从每吨倒贴三十元



成都经济 一线观察



中国科学院成都生物研究所科研团队在进行菌种培养制备。

一杯醇香白酒背后，曾有着每吨倒贴30元废水处理费的“苦涩”。中国科学院成都生物研究所的科学家们，却发明了让苦涩变甘甜的“点金术”，将废水变为每吨附加值3000元的产品。

在中国科学院成都生物研究所一座实验楼的四层，穿过几间弥漫着特殊发酵气味的实验室，尽头藏着一间由办公室改造的“风味实验室”。这里的长桌上，摆放着白酒、果汁和各类饮料，研究员朱晓宇正将一种名为“己酸乙酯”的有机化合物滴入调酒杯中。

这种被她称为“白酒灵魂香料”的己酸乙酯，正是她和团队历经数年攻关，从白酒酿造产生的废弃“黄水”中提炼出来的珍贵产物。这场“变废为宝”的逆袭是如何产生的？记者带你一探这背后的故事。

合成细菌“点水成香”

白酒酿造过程中，粮食在窖池发酵后会产生一种黄色液体，业内称为“黄水”。这种废水有机质浓度高，处理成本不菲，尤其是对中小酒企来说，达标排放更是一个棘手难题。

“黄水看起来跟咖啡差不多，闻起来酸酸的，pH值只有3到4。”朱晓宇打了个生动的比方，“就像白酒是提取粮食精华，玫瑰精油是提取玫瑰精华。白酒酿造会产生黄水，玫瑰精油蒸馏会产生纯露。不同的是，纯露可以直接用，而黄水却成了负担。”

科研团队偶然发现，黄水中富含的乳酸和糖类，恰是己酸菌的“美食”，而己酸，正是白酒风味体系中的关键呈香物质。

“那一刻我们想，既然玫瑰蒸馏的副产物能成纯露，黄水为什么不能？”朱晓宇回忆，“我们偶然发现了一条新的代谢路径和一种能利用乳酸合成己酸的细菌。既然黄水中有大量乳酸，那么它就有可能被‘点水成香’。”

对普通消费者而言，己酸乙酯正是让白酒“窖香浓郁”的灵魂香料。

“窖香中扑鼻而来的物质，首先就是己酸乙酯。”朱晓宇拿起一个样品瓶介绍，“这是一种浓郁的果香，人体对其很敏感，很低浓度就能闻到。”正是这种物质，成就了白酒的独特风味。

微观世界的“团队建设”

从科学发现到技术成功，这条路上充满了意想不到的挑战。

“在传统的酿酒过程中，留下的黄水里富含大量的乳酸。好比是一堆散落在地上的玉石碎料。这些碎料（乳酸）虽然本质上也是玉，质地优良，但因为个头太小、太零碎，无法被雕刻成大件的器物。在过去，这些碎料往往被视为无用的废弃物，甚至变成了让人头疼的垃圾。”朱晓宇介绍。

科研团队最初走了弯路。“我们最开始就像‘迷信天才’一样，只想培养‘玉石工匠’——己酸菌。”朱晓宇说。但很快他们发现，这位“工匠”虽然手艺绝伦，但性格娇气，在实验室环境中效率不高，还有退化的风险。

“这个转变，是我们从‘迷信天才’到‘相信团队’的认知升级。”朱晓宇说。他们决定为这位核心工匠组建一个“超强团队”。

在这个微观世界的“高效项目组”中，不同菌种各司其职：乳酸菌担任“原料预处理专员”，负责把黄水里复杂的成分“嚼碎”，转化成己酸菌最顺手的形态；己酸菌作为“核心工匠”，专注于碳链延长；甲烷菌则像“后勤清洁工”，时刻守在旁边，把工匠干活时产生的氢气废料迅速移走，保证工作环境清爽。

组建团队只是第一步，驯化这个微观团队的过程，让研究人员体验了一把“当父母”的感觉。“在驯化初期，我们就是‘新手爸妈’。”朱晓宇笑着说，“这些微生物需要精心照料，不能饿着，也不能撑着，否则都会‘生病’——表现出干活不积极，或者干脆罢工。温度低了，就像熊一样冬眠；温度高了，就中暑了。这些边界都是一点点试错试出来的。”

一次意外让整个团队记忆犹新。“有一次，发酵罐的温控坏了，一直加热，就把整罐菌液给煮了。我们早上过来的时候都傻眼了，全罐都倒掉了，只能重新培养。”朱晓宇回忆，“偏偏那批菌种是答应给甲方的，交付日期就在眼前，我们不得不重新培养，连轴转想办法加快制备速度，那几天近乎崩溃。”

更大的考验在10吨级工业试验时到来。团队投入的2吨菌种活性一度急剧下降，几乎“停摆”。“10吨的第

▲中国科学院成都生物研究所技术人员崔润智正在调配果酒。

一次启动，我们都战战兢兢的。”朱晓宇说，“我们第一次启动准备不充分，所以启动之初，紧张得难以入眠。”

结果确实往坏的方向发展，发酵系统最后停了。“但是就像医生，在病人心脏停了后，还会努力让心脏重新跳动起来，毕竟生命只有一次。对于我们来说也是，菌种只有一份。”朱晓宇说，“如果再制备这么多菌种，要很长时间。”

基于对菌种的深入了解，团队将整个培养策略重新设计了一次。“依然是战战兢兢，不过，这一次，菌种活了。而且我们非常担心的后遗症，比如杂菌问题，也没有发生。”科研团队松了一口气：“菌种活了的时候，我们的心情像是中了彩票，感到很幸运。”

缩短醇厚酒香形成过程

在朱晓宇的“风味实验室”里，架子上摆满了各种样品。研究人员用己酸乙酯调酒，发现它能伏特加和果汁更融洽地结合，呈现出“低度酒、高度香”的特点。

基于这种特点，朱晓宇介绍，未来可能开发出有白酒香气却无酒精负担的饮品，甚至开启个人调酒时代。

这项技术还能大幅提升白酒的发酵效率与优级酒率。传统的浓香型白酒需要多年才能形成醇厚酒香，这项技术通过制备高效己酸菌液赋能窖泥，有潜力将这一漫长过程大幅缩短。

对于消费者而言，这意味着未来有可能以更亲民的价格，品尝到风味更醇厚的白酒。“老百姓喝的口粮酒，我们的技术可以改善口感，理论上会让白酒品质提升的同时，价格不变甚至降低。”朱晓宇说。

目前，该技术已在南北两家知名白酒企业推广落地，建成并稳定运行国内两条己酸生物制造工业生产线。

展望未来，朱晓宇说：“在日常生活中，只要是吃的，都可以加一点己酸乙酯，就看市场和个人喜好。另外一个维度，就是技术的应用前景。这套思路理论上可以拓展到其他富含有机质的生产废水中——前提是没有被污染。我们真正想做的，是以己酸为平台化合物，构建一个资源循环利用的生物制造体系：己酸可以进一步转化为中链聚羟基脂肪酸酯(mcl-PHA)，这是一种可降解的生物塑料，可用于制造组织工程支架、生物缝合线、药物缓释载体等医用材料——植入人体后能自然降解，无需二次手术取出。”

华西都市报·封面新闻记者 陈彦霏 受访者供图

1月3日19时28分，D996次动卧列车缓缓驶出成都东站台，满载旅客开往北京丰台站。与此同时，开往上海、深圳、广州的夜间动卧列车也相继启程，银白色的“钢铁巨龙”在夜幕中穿梭，将成渝地区与北上广深四大一线城市串联。

2025年1月以来，成都至深圳、北京、上海相继开行动卧列车，成渝地区双城经济圈与京津冀、长三角、粤港澳大湾区形成“夕发朝至”的“夜间动脉”，四大国家级城市群实现铁轨上的紧密联结。截至2025年12月31日，四地动卧列车全年累计运送旅客超51.5万人次，成为跨区出行的“黄金选择”。

成都至北上广深 夜间动卧客流火爆

2025年累计运输旅客超51.5万人次



成都东至北京丰台D996次动卧列车软卧包间。

夕发朝至 四大国家级城市群高效互通

“下班后吃了饭，上车睡一觉，第二天一早就能到深圳办公，相当于‘借’了一晚睡眠，赢回完整的白天。”在深圳创办科技公司的李翔宇熟练地找到铺位，他已是蓉深动卧的常客。在他看来，成都丰富的软件人才与深圳完善的硬件产业链高度互补，夜间动卧让双城协作变得灵活又高效。

“父母年纪大，坐动卧能躺着休息，一觉醒来就到目的地，免去了中途奔波的辛苦。”带着父母前往北京旅游在成都旅客李娜说。来自北京的球迷李陵也更喜欢坐夜间动卧出行：“晚上出发、早上到达，既能赶上成都的球赛，又不耽误白天的生活，太方便了。”

开行一年来，四地之间的夜间动卧客流火爆，受到商务流、通勤流、旅游流等各类旅客的青睐。

数据是最有力的证明。据国铁成都局成都车站客运值班主任邓知密介绍，截至2025年12月31日，成都至北上广深夜间动卧列车全年累计运送旅客超51.5万人次。其中，商务旅客占比超30%，亲子游和老年游客群占比超45%，不同群体的出行需求均得到有效适配。

轻语服务 为旅客提供舒适夜间旅行环境

“明天是元旦假期后的第一个工作日，今晚客流大幅度提升，我们这趟车的车票已全部售罄。”1月3日晚，D996次动卧列车发车前，国铁成都局成都客运段列车长李思怡说。

她介绍，旅客选择坐夜间动卧，就是希望有一个良好的休息环境，乘务组也针对列车夜间运行特点提供了一系列“定制服务”。具体包括：依据“上车-夜间-到站”行程节点，设计欢迎曲、睡眠曲、唤醒曲、送别曲，让旅客沉浸式感受列车服务的温度；推行“轻语服务”和点对点唤醒服务，乘务员全程使用降噪对讲机沟通，全力守护旅客睡眠。

走进动卧车厢，防噪耳塞、矿泉水整齐摆放在铺位枕边，软卧车厢的四色拖鞋便于旅客快速区分，高级软卧配备的专用洗漱袋尽显精致，仿佛置身“移动旅居空间”。

不仅如此，列车上还推出“深夜食堂”，冷吃兔、麻辣牛肉等20余种川味小吃一应俱全，旅客扫码即可点餐到铺，让深夜旅途暖胃又暖心。

华西都市报·封面新闻记者 曹菲 摄影报道