

农药小试中不同合成路线的成本对比与优选策略

张新忠 (浙江禾田化工有限公司, 浙江 杭州 310023)

詹梅芬 (浙江金安设计研究有限公司, 浙江 丽水 323300)

张文成^[通讯作者] (浙江精进药业有限公司, 浙江 台州 318020)

摘要: 农药小试是农药研发的重要环节, 不同的合成路线成本差别会决定后面产业化推进的速度与市场竞争力。对小试阶段合成路线成本对比及优选进行研究, 可以减少研发投入, 降低资源浪费, 提高农药产品性价比。通过精准核算原料、工艺、环保等各方面的成本, 建立科学的优选体系, 可以促使农药产业向绿色、高效、低成本的方向发展, 给农药研发企业提供决策依据, 助力农业生产中农药供给质量的提高与成本的控制, 对保障粮食安全与农业可持续发展具有重要意义。

关键词: 农药合成路线; 小试成本对比; 合成工艺优选; 绿色农药研发

中图分类号: TQ450.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0016-03

Comparative cost analysis and preferred strategy of different synthetic routes in pesticide pilot test

Zhang Xinzhong (Zhejiang Hetian Chemical Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310023, China)

Zhan Meifen (Zhejiang Jin'an Design & Research Co., Ltd., Lishui Zhejiang 323300, China)

Zhang Wencheng^[Corresponding Author] (Zhejiang Jingjin Pharmaceutical Co., Ltd., Taizhou Zhejiang 318020, China)

Abstract: The pilot test of pesticides is an important link in the development of pesticides. The difference in cost of different synthetic routes will determine the speed industrialization and market competitiveness. Research on the comparison and optimization of the cost of synthetic routes in the pilot stage can reduce the investment in research and development, reduce the waste of resources and improve the cost performance of pesticide products. Through accurate accounting of raw materials, technology, environmental protection and other aspects of the cost, and the establishment of a scientific optimization, it can promote the pesticide industry to develop in the direction of green, efficient and low cost, and provide decision-making basis for pesticide research and development enterprises, and to improve the quality of pesticide supply and cost control in agricultural production, which is of great significance to ensure food security and agricultural sustainable development.

Keywords: Pesticide route; Pilot cost comparison; Synthetic process optimization; Green pesticide research and development

小试阶段是农药合成工艺定型的关键节点, 不同的合成路线在原料消耗、工艺难度、环保处理等各方面的差别, 会造成明显的成本差距。强化小试阶段合成路线的成本对比, 建立科学的优选策略, 可以减少研发资源的浪费, 加快优质农药产品的市场转化, 推动农药产业经济效益和生态效益的协同发展。

1 农药小试中的不同合成路线

1.1 经典化学合成路线

经典化学合成路线在农药小试中使用最广, 是基础的合成路线。其主要依靠成熟的有机化学反应机理, 利用取代、加成、缩合、氧化还原等基本反应单元来完成农药有效成分的分子构建。该类路线技术门槛低, 反应条件及操作流程在现有的实验室体系中可以快速复制, 适合传统农药品种的小试验证或者工艺优化。小试阶段经典化学合成路线的主要优势是反应机理清

楚, 副产物结构容易预测, 产品收率和纯度可控性强, 可以给后续的成本核算提供稳定的基础数据。同时该路线对实验设备的要求不高, 不需要特殊的定制装置, 可以用常规玻璃仪器和加热、搅拌设备完成试验。

1.2 催化合成路线

催化合成路线是农药小试中追求高效和节能的优化型路线。其核心就是利用专用催化剂, 改变反应的活化能, 从而达到反应条件温和化、反应选择性精准化的目的。小试中常用的催化剂有金属络合催化剂、固体酸碱性催化剂、生物酶催化剂等, 不同的催化剂适合于不同的农药分子合成。该路线的明显优点就是反应条件更加宽松, 可以有效地减少高温高压等苛刻条件的使用, 从而降低小试过程中的能源消耗和设备损耗。对结构复杂的农药活性成分来说, 催化合成路线可以用一步催化代替传统路线的多步反应, 缩短试验周期。小试阶段需要

重点考虑催化剂的成本和回收潜力，贵金属催化剂虽然可以大大提高反应效率，但是采购成本较高，如果不能实现循环回收，就会直接增加小试的原料成本。普通非贵金属催化剂价格便宜，适用于小试工艺研究。

1.3 绿色合成路线

绿色合成路线属于农药小试时符合环保发展走向的新型路线。其核心遵循绿色化工的基本原则，从源头上减少或者消除污染物的产生。小试实践中该路线的技术特点主要表现在三个方面。溶剂绿色化，用超临界二氧化碳、离子液体或者水相体系代替传统的有机溶剂来减少挥发性有机物排放。此外，原料绿色化，优先选用生物质基原料或者可再生资源，替代石油基化工原料，减少对不可再生资源的依赖。同时，工艺绿色化，用无溶剂反应、串联反应等技术，简化反应流程，减少物料转移过程中的损耗。绿色合成路线在小试阶段的优势是废弃物排放少，污染物毒性低，可大幅度降低环保处理成本，符合现在及未来的环保政策要求。

2 农药小试不同合成路线成本对比的核心维度

2.1 原料采购与消耗维度

原料采购和消耗维度对比的是原料的性价比和利用率。从采购角度来讲，比较不同的合成路线原料组成，分析大宗原料和特种原料所占比例，评价原料供应稳定性和价格波动风险。优先选择以大宗基础化工原料为主的合成路线，可以依靠规模化生产的优势降低采购成本，也可以规避特种原料供应短缺的风险。消耗上比较不同合成路线的原料理论消耗与实际消耗差值，差值越小说明原料利用率越高，成本控制效果越好。用单位产品原料消耗定额来直观地表现不同路线的原料成本差别。另外还要对比原料的回收利用潜力，可回收循环使用的原料可以大大降低后续批次的原料投入，提高路线的成本优势。

2.2 工艺复杂度与耗时维度

工艺复杂度和耗时维度的对比是从生产效率、设备投入两方面展开的。比较不同合成路线反应步骤的数量，步骤越少操作流程越简单，物料损耗和能源消耗越少，工艺成本越低。与反应条件的严格程度相比，不需要特殊设备的合成路线在设备投入上具有明显的优势，适合小试阶段低成本的探索。短周期反应可以提高设备周转率，增加单位时间内产品产量，降低设备折旧和人工成本分摊的比例。同时对比工艺的容错率，容错率高的合成路线对操作参数的波动具有较强的适应性，可以减少由于操作失误造成的物料浪费和返工成本，这也是工艺成本对比的重要考虑因素。

2.3 环保投入与废弃物处理维度

环保投入和废弃物处理维度的对比要符合环保政

策的要求，也要考虑长期的成本效益。对比不同合成路线的废弃物排放量和污染物毒性，排放量小、毒性低的路线环保处理成本更低，也符合绿色发展的趋势。对比废弃物处理难度与资源化潜力，可以资源化利用的废弃物可变废为宝，转化为有价值的副产品，抵消部分环保处理成本，甚至产生额外收益。对比不同路线的环保设备投入，没有专门环保设备的路线在小试阶段成本更低。另外还要考虑环保政策未来的发展趋势，选择符合环保发展趋势的合成路线，可以规避由于政策调整而引起的工艺改造和成本增加的风险。

3 农药小试合成路线成本对比的方法体系

3.1 全成本核算方法

全成本核算是实现不同合成路线成本精确对比的基础，要包含原料、工艺、环保、人力、设备等所有的成本项，不能有隐性成本的遗漏。核算过程中要明确各项成本的计算标准，原料成本为实际采购价格 + 运输费用 + 储存费用 + 消耗数量，工艺成本为能源消耗 + 设备租赁或折旧 + 操作过程中的物料损耗等，环保成本为废弃物处理剂 + 设备运行 + 委托处置等，人力成本为操作人员薪酬水平 × 工作时长，设备维护成本为维护频次 × 费用。全成本核算要创建详细的成本台账，对所有的成本支出予以准确记载，保证数据的真实可靠。计算不同合成路线单位产品全成本，可以直观地反映出各路线成本的差异，为后面优选提供量化依据。

3.2 动态成本追踪方法

动态成本追踪法适合于小试阶段工艺参数调整过程中成本的对比，能实时反映工艺优化对成本的影响。小试阶段的合成路线需要多次调整反应条件，不同的工艺参数下成本投入不同，动态成本追踪方法通过记录每次试验的成本数据并进行分析，追踪成本变化趋势。试验过程中，对于原料利用率、反应转化率、废弃物排放量等指标变化的同时进行成本的变动核算，从而确定工艺参数的改变对成本的影响。动态成本追踪要依靠数据记录工具，达成成本数据同工艺参数的联动，从而方便地找出成本控制的重点节点。动态成本追踪可以及时发现成本过高的工艺环节，给工艺优化指明方向，同时给不同阶段的成本对比提供动态的数据支撑。

3.3 成本效益关联分析方法

成本效益关联分析方法冲破了单纯的成本对比束缚，把成本投入同产品质量，性能指标联系起来，达成综合效益的评判。不同合成路线生产的农药产品纯度、收率、生物活性等有所不同，高成本投入如果能带来产品质量的显著提高，提高产品的市场竞争力，

其综合效益可能会优于低成本路线。成本效益关联分析要确定产品的核心性能指标,建立成本投入与性能指标的关联模型,求出单位效益对应的成本投入。对于农药小试来说,产品的生物活性是核心指标,若某合成路线的成本略高,但是产品生物活性明显提高,能够降低田间使用剂量,减少农业生产中农药残留,其长期生态效益与经济效益更有优势。经过成本效益关联分析之后,就可以避免陷入唯成本论的误区当中,从而实现合成路线的科学优选。

4 农药小试合成路线优选策略的制定原则与路径

4.1 技术可行性优先原则

技术可行性是农药小试合成路线优选的前提,没有技术可行性的成本控制是没有意义的。优选时首先要考察合成路线的反应稳定性和产品合格率,在小试阶段可以稳定生产出符合质量要求的农药产品。反应稳定性是指多次重复试验下产品收率、纯度的波动幅度,波动幅度小的路线技术可行性更好。产品合格率要符合农药小试的质量标准,即有效成分含量、杂质种类及含量等指标。还要考虑合成路线操作的安全性,规避剧烈放热、易爆炸、剧毒物质大量生成的合成路线,保证试验过程人员和设备的安全。技术可行性还要考虑设备条件的匹配性,选择与现有小试设备相匹配的合成路线,减少设备升级或者改造的额外投入。

4.2 成本经济性核心原则

成本经济性是农药小试合成路线选择的主要目的,需要兼顾短期成本和长期成本。短期成本主要是小试阶段的直接成本,包括原料、工艺、环保等各方面的成本,通过全成本核算选择短期成本较低的合成路线。长期成本要考虑中试和规模化生产的成本转化,小试阶段成本略高的路线,如果具有原料利用率高、工艺易放大、环保处理成本低的优势,在规模化生产后可以实现成本的大幅度降低,这类路线具有长期经济性。成本经济性还要考虑原料供应的长期稳定性,选择原料供应充足、价格波动小的合成路线,规避由于原料短缺或者价格暴涨造成的成本失控风险。另外还要注意成本的可控性,选择成本构成清楚、影响因素明确的合成路线,便于后续生产过程中成本的控制。

4.3 环境兼容性适配原则

环境兼容性是农药小试合成路线优选的主要指向,符合现今绿色化工的发展趋势。优选时要优先选择废弃物排放量小、污染物毒性低的合成路线,降低环保处理成本和生态环境风险。具有废弃物回收利用潜力的合成路线应该加以重视,通过资源化利用达到变废为宝的目的,提高路线的综合效益。还要考虑合成路线与环保政策的契合度,保证合成路线符合目前

及未来环保法规的要求,避免因政策调整造成工艺淘汰或者改造。环境兼容性还要考虑农药产品的绿色属性,优先选择能够生产低毒、低残留、环境友好型农药产品的合成路线,此类产品更符合市场需求和农业可持续发展的要求,具有更强的市场竞争力,有助于农药合成工艺的绿色转型,实现生态效益和经济效益的长效统一。

4.4 工艺可放大性适配原则

工艺可放大性适配原则是农药小试合成路线优选的关键衔接点,小试成功不代表中试和规模化生产可行,该原则是实验室研究与工业化应用之间的纽带。优选时首先要考察小试工艺参数向中试转化的适配性,反应温度、压力、物料配比等参数在放大后是否能够保持稳定,避免放大效应造成收率骤降或者纯度不达标。其次从合成路线的操作普适性出发,选择容易标准化、工人易于操作的工艺,减少规模化生产中的人为误差。还要考虑放大过程中物料传递、反应效率,规避小试中可以忽略但放大后凸显的传质传热问题。最后强调工艺可放大性要和后续的生产规划相匹配,给工业化生产留有调整的空间,实现小试到量产的平稳过渡。兼顾成本控制和环保的要求。

5 结语

农药小试阶段合成路线成本对比与优选,是农药研发与产业化之间的桥梁。加强对本环节的研究实践,可以提高农药研发效率,减少资源浪费,使农药产业摆脱高成本、高污染的发展方式。建立全维度成本核算体系、多维度对比方式,用技术可行性、成本经济性、环境兼容性、规模化衔接性等优选原则来选择经济、环保的合成路线。

参考文献:

- [1] 毋青男,那日松,何睿,吴家锴,程绎南,杨西发. 农药合成课程教学改革实践 [J]. 安徽农学通报, 2025, 31(11):126-129.
- [2] 吴必俊,孙兵,王振锋. 二胺类双酰胺导向农药的合成与初皮部输导性探索 [J]. 化工管理, 2023,(35):139-141.
- [3] 刘军. “大国三农”农药学系列规划教材《农药合成化学》 [J]. 农药学学报, 2023,25(04):945.
- [4] 张相飞,张炜,孙家隆. 逆合成分析在农药合成教学中的探索与应用——以青岛农业大学药学专业、制药工程专业农药合成课程教学为例 [J]. 大学化学, 2022,37(08):90-96.
- [5] 唐超. 固相微萃取-气相色谱质谱检测技术检测葡萄中的有机磷化学农药残留——评《农药化学合成基础》 [J]. 化学试剂, 2020,42(11):1390.