

深度学习赋能抗生素发酵底物浓度动态优化与效率提升

赵 军

伊犁川宁生物技术股份有限公司 新疆伊宁 835000

摘 要：研究旨在实现抗生素发酵底物浓度动态优化与效率提升。方法上，先阐述底物浓度动态优化重要性，接着介绍深度学习在其中的应用原理，包括深度学习概念特点、模型构建训练及作用机制，再说明具体实现方式，涵盖数据采集预处理、模型选择优化、实时监测与动态优化控制。结果发现，深度学习赋能能精准预测与优化底物浓度，提高发酵效率与产物质量，但也面临数据质量、模型可解释性等挑战。

关键词：深度学习；抗生素发酵；底物浓度；动态优化；效率提升

抗生素在医疗领域作用关键，其发酵生产效率与质量备受关注。底物浓度作为发酵营养环境重要部分，对微生物生长及抗生素合成影响显著。传统固定底物浓度控制策略难以适应发酵动态变化，导致效率低下。深度学习凭借强大数据处理能力，在多领域表现突出。将深度学习引入抗生素发酵底物浓度动态优化，有望精准调控底物供应，提升发酵效率。本研究聚焦于此，探讨其应用原理、实现方式、优势与挑战。

一、抗生素发酵底物浓度动态优化的重要性

1. 底物浓度对微生物生长的影响

微生物生长需要适宜的营养环境，底物浓度是营养环境的重要组成部分。不同微生物对底物浓度的耐受范围与需求存在差异。在适宜底物浓度范围内，微生物能够充分利用底物进行生长繁殖，细胞数量与活性逐渐增加；当底物浓度过低时，微生物因营养不足生长受限，细胞分裂速度减缓，甚至进入休眠状态；而底物浓度过高则可能对微生物产生毒害作用，抑制细胞生长，导致细胞死亡。在抗生素发酵中，底物浓度不仅影响微生物的生长速度与细胞数量，还影响其代谢途径与产物合成能力。适宜底物浓度能够诱导微生物产生特定代谢途径，促进抗生素合成相关酶的活性，提高抗生素产量；反之，不适宜底物浓度可能抑制抗生素合成途径，降低产物产量。

2. 底物浓度动态变化的复杂性

抗生素发酵是一个动态过程，微生物在发酵过程中不断消耗底物，同时产生代谢产物，导致底物浓度随时间不断变化。发酵初期，底物浓度较高，微生物处于快速生长阶段，对底物消耗速度快；随着发酵进行，底物

浓度逐渐降低，微生物生长速度减缓，进入稳定期或衰亡期。此外，发酵过程中还可能受到温度、pH、溶氧等环境因素的影响，这些因素相互作用，进一步增加了底物浓度动态变化的复杂性。传统发酵工艺中，多采用固定底物浓度控制策略，难以适应底物浓度的动态变化，无法及时调整底物供应，导致发酵效率低下。因此，实现抗生素发酵底物浓度的动态优化，根据发酵过程中底物浓度的实时变化调整底物供应，成为提高发酵效率的关键。

3. 动态优化对发酵效率提升的意义

抗生素发酵底物浓度动态优化能够根据微生物生长与代谢的动态需求，精准调控底物供应，为微生物提供适宜的营养环境，促进其生长繁殖与产物合成。通过动态优化，可避免底物浓度过高或过低对微生物生长的抑制作用，提高微生物细胞活性与代谢效率，增加抗生素产量。同时，动态优化还能减少底物浪费，降低生产成本，提高资源利用效率。此外，动态优化有助于缩短发酵周期，提高生产效率，满足市场对抗生素的大量需求。因此，实现抗生素发酵底物浓度的动态优化对于提升发酵效率、降低生产成本、提高产品质量具有重要意义。

二、深度学习在抗生素发酵底物浓度动态优化中的应用原理

1. 深度学习的基本概念与特点

深度学习作为机器学习领域中极具影响力的一个分支，其构建基础是人工神经网络。它巧妙地模拟了人脑神经元之间的连接方式以及信息传递机制，就像人脑通过众多神经元的协同工作来处理复杂信息一样，深度学习模型凭借多层非线性结构，自动从海量数据中挖掘出

有价值的特征，进而揭示数据背后隐藏的复杂规律。与传统机器学习算法相比，深度学习展现出显著优势。它具备强大的数据处理能力，能够轻松应对高维度、复杂结构的数据。在图像识别领域，深度学习可以精准识别出图像中的各种物体、场景；在语音识别方面，能将人类语音准确转化为文字；在自然语言处理上，可实现机器翻译、文本生成等复杂任务。在抗生素发酵领域，发酵过程会产生大量数据，如温度、pH、溶氧、底物浓度、细胞浓度、产物浓度等。这些数据相互关联、错综复杂，深度学习能够对这些海量数据进行全面处理，深入挖掘它们之间的复杂关系，为底物浓度动态优化提供科学、可靠的决策支持，帮助研究人员更好地掌控发酵过程。

2. 深度学习模型构建与训练

应用于抗生素发酵底物浓度动态优化的深度学习模型类型多样，主要包括神经网络模型、循环神经网络模型及其变体等。神经网络模型如同一个精密的信息处理系统，由输入层、隐藏层与输出层构成。输入层负责接收发酵过程中的各种参数数据，就像信息接收的“入口”；隐藏层则对输入的数据进行深度特征提取与转换，是模型的核心“加工厂”；输出层输出底物浓度预测值或优化控制策略，为发酵过程提供关键信息。循环神经网络模型具有独特的记忆功能，能够很好地处理时间序列数据。在抗生素发酵过程中，底物浓度会随时间发生动态变化，循环神经网络模型可以捕捉这种变化规律，适用于对底物浓度进行预测与优化。在模型构建时，需要根据发酵过程的特点和数据特征，精心选择合适的模型结构与参数。模型训练是深度学习应用的关键环节，首先要将历史发酵数据合理划分为训练集、验证集与测试集。利用训练集数据对模型进行反复训练，不断调整模型参数，使模型输出结果尽可能接近实际值；利用验证集数据对模型性能进行评估和调优，防止模型出现过度拟合的情况；最后利用测试集数据对模型的泛化能力进行测试，确保模型在实际应用中能够稳定、可靠地运行。

3. 深度学习在底物浓度预测与优化中的作用机制

深度学习在抗生素发酵底物浓度动态优化中主要通过底物浓度预测与优化控制两个关键环节发挥作用。在底物浓度预测环节，深度学习模型就像一个“数据学习大师”，利用历史发酵数据深入学习底物浓度与其他发酵参数之间的复杂关系，从而建立起精准的预测模型。在发酵过程中，通过传感器实时采集发酵参数数据，并将

这些数据输入预测模型，模型能够迅速输出底物浓度预测值，为发酵过程的实时监控提供重要依据。在优化控制环节，深度学习模型则扮演着“智能决策者”的角色。它根据底物浓度预测值与预先设定的目标值，结合发酵过程动力学模型与优化算法，生成科学合理的底物浓度优化控制策略。例如，根据预测结果调整底物添加速率，就像给发酵过程“精准投料”；改变发酵温度与pH等参数，为微生物生长创造适宜的环境。通过不断迭代优化，使底物浓度始终处于最适宜的范围，从而提高发酵效率，提升抗生素的产量和质量^[1]。

三、深度学习赋能抗生素发酵底物浓度动态优化的具体实现方式

1. 数据采集与预处理

数据是深度学习应用的基石，在抗生素发酵过程中，产生的数据来源广泛，包括传感器采集的实时数据与实验室检测的离线数据。实时数据如温度、pH、溶氧、压力等，通过安装在发酵罐中的各种传感器实时采集，这些数据能够及时、准确地反映发酵过程的实时状态，就像发酵过程的“实时体检报告”。离线数据如底物浓度、细胞浓度、产物浓度等，则通过实验室检测获得，具有较高的准确性，为深度学习模型提供了可靠的基础数据。在数据采集过程中，确保数据的完整性和准确性至关重要。任何数据缺失或错误都可能影响模型的训练效果和预测准确性。采集到的原始数据往往存在噪声、异常值与缺失值等问题，就像一块未经雕琢的玉石，需要进行精细的预处理。数据预处理包括数据清洗、数据归一化、数据特征提取等步骤。数据清洗就像给数据“洗澡”，去除其中的噪声与异常值，提高数据质量；数据归一化则是将不同量纲的数据转换为统一量纲，使数据具有可比性，便于模型处理；数据特征提取是从原始数据中提取对底物浓度预测与优化有重要影响的特征，就像从一堆杂乱的信息中找出关键线索，减少数据维度，提高模型训练效率。

2. 深度学习模型选择与优化

根据抗生素发酵过程的特点和数据特征，选择合适的深度学习模型是实现底物浓度动态优化的关键。对于底物浓度预测任务，如果发酵数据具有明显的时间序列特征，就像一条随着时间流动的“数据河流”，那么可以选择循环神经网络模型或其变体，如长短期记忆网络、门控循环单元等。这些模型就像擅长捕捉时间规律的“时间侦探”，能够捕捉数据中的时间依赖关系，提高

预测准确性。若发酵数据为高维度、复杂结构数据，如同一个错综复杂的“数据迷宫”，则可选择卷积神经网络模型。卷积神经网络模型利用其局部感知与权重共享特性，就像拥有“透视眼”一样，能够提取数据中的空间特征。模型选择后，还需要对模型进行优化。调整模型结构参数，如增加或减少隐藏层神经元数量、改变网络层数等，就像调整一个精密仪器的零件，以找到最优模型结构；优化训练算法，如采用自适应学习率算法、动量优化算法等，提高模型训练速度与收敛性，让模型能够更快地“学会”处理数据；引入正则化方法，如L1正则化、L2正则化等，防止模型过拟合，提高模型泛化能力，使模型在面对新的数据时也能表现出色^[2]。

3. 实时监测与动态优化控制

将训练好的深度学习模型应用于抗生素发酵过程，就像给发酵过程配备了一个“智能管家”，实现底物浓度的实时监测与动态优化控制。在发酵过程中，通过传感器实时采集发酵参数数据，这些数据经过数据预处理后输入深度学习模型，模型迅速输出底物浓度预测值。将预测值与设定目标值进行比较，如果预测值偏离目标值，就像汽车偏离了预定轨道，那么根据优化算法生成优化控制策略。调整发酵参数，如调整底物添加泵流量，就像调节汽车的油门；改变发酵罐温度与pH调节装置的设置等，为微生物生长创造更适宜的环境，使底物浓度逐渐回归目标范围。实时监测与动态优化控制过程需要不断迭代进行，就像一个不断调整和优化的循环系统，根据实时数据与模型输出结果及时调整优化控制策略，确保底物浓度始终处于适宜范围，提高发酵效率。

四、深度学习赋能抗生素发酵底物浓度动态优化的优势与挑战

1. 优势分析

深度学习赋能抗生素发酵底物浓度动态优化具有多方面优势。深度学习模型能够处理高维度、复杂结构的发酵数据，挖掘数据背后的隐藏规律，实现对底物浓度的精准预测与优化，提高发酵效率与产物质量。深度学习模型具有自适应学习能力，能够根据发酵过程中微生物代谢的动态变化自动调整优化策略，适应不同发酵批次与菌种的变化，提高工艺稳定性与重复性。深度学习技术与自动化系统集成，实现发酵过程的智能化控制，减少人工干预，降低劳动强度，提高生产自动化

水平。深度学习模型还可通过模拟与预测，提前发现发酵过程中可能出现的问题，如底物浓度异常、微生物污染等，及时采取措施进行预防与处理，降低生产风险^[3]。

2. 挑战探讨

深度学习在抗生素发酵底物浓度动态优化应用中面临一些挑战。发酵过程数据质量对深度学习模型性能影响较大，数据采集过程中可能存在传感器误差、数据缺失与噪声等问题，需加强数据质量控制与预处理技术研究。深度学习模型可解释性较差，模型输出结果难以用直观生物学机制解释，限制了其在发酵工艺优化中的应用。需加强模型可解释性研究，开发可解释性深度学习模型，提高模型可信度与应用价值。深度学习模型训练需要大量标注数据，而抗生素发酵数据标注成本较高，且不同发酵批次数据存在差异，数据标注难度较大。需探索半监督学习、无监督学习等少标注数据学习方法，降低数据标注成本。深度学习技术应用需要专业技术人员支持，目前发酵行业缺乏既懂发酵工艺又懂深度学习技术的复合型人才，需加强人才培养与引进，推动深度学习技术在发酵领域的应用推广。

结语

深度学习为抗生素发酵底物浓度动态优化提供了新途径。通过其强大功能，能实现对底物浓度的精准预测与优化控制，提升发酵效率与产物质量，减少成本与风险，推动生产智能化。然而，应用中面临数据质量、模型可解释性、数据标注及人才短缺等挑战。未来，需加强相关技术研究，提高数据质量，开发可解释性模型，探索少标注学习方法，培养复合型人才，以促进深度学习在抗生素发酵领域的广泛应用与持续发展。

参考文献

- [1] 徐浩然, 毕重朋, 王家俊, 等. 人工设计及深度学习在抗菌肽改造策略上的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(13): 362-368+407.
- [2] 王姝, 徐春明. 深度学习在抗菌肽设计、发现与预测中的应用: 现状与展望[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(21): 366-378.
- [3] 胡奕格. 深度学习探究城市环境微生物的抗生素抗性及其影响因素[D]. 华东师范大学, 2020.