

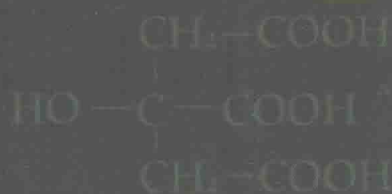
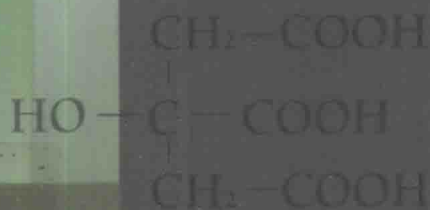
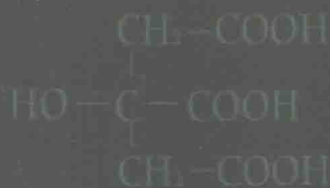
发酵有机酸 生产与应用手册

王博彦 金其荣 主编

YINGYONG SHOUCE

SHENGCHAN YU

FAJIAO YOUJISUAN



 中国轻工业出版社

ZHONGGUO QINGGONGYE CUBANSHE

发酵有机酸生产与应用手册

王博彦 金其荣 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

发酵有机酸生产与应用手册/王博彦, 金其荣主编.
北京: 中国轻工业出版社, 2000.9
ISBN 7-5019-2870-3

I. 发… II. ①王… ②金… III. 有机酸发酵-生
产过程-技术手册 IV. TQ921.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 24768 号

责任编辑: 唐是雯 张秉斋 责任终审: 滕炎福 封面设计: 崔 云
版式设计: 赵益东 责任校对: 燕 杰 责任监印: 崔 科

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010—65241695

印 刷: 北京市卫顺印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 41.5

字 数: 959 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-2870-3/TS·1736 定价: 92.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

主编 王博彦 金其荣

主审 尤 新 王家勤

编委会名单 (按姓氏笔画为序)

丁友土	尤 新	王汝珍	王家勤	王博彦
王薇青	叶 勋	朱亨政	李 蓉	李大锦
李文濂	金其荣	陈景韩	陈振涛	张 宏
罗永康	徐仁方	高年发	郭宏昌	郭杰炎
黄腾华	章 健	杨 枫	薛元龙	

参加编写和提供资料人员名单

(按姓氏笔画为序)

王 荣 李代华 钱炳琪 黄仲华

前言

我国发酵有机酸工业，目前已形成具有相当规模和技术水平以及品种较全的工业体系。其中大多属于新兴产业，尤以柠檬酸的发展更为突出，自 20 世纪 70 年代初形成工业体系后，年均以 30% 以上的速度递增，在国际市场上占有重要地位。改革开放以来，对外加强了交流，并先后引进了 24 套具有世界先进水平的设备，对内强化了技术管理和技术改革以及组织结构的调整，因而柠檬酸的生产技术已接近世界先进水平，其中发酵技术暂居领先地位。

为了总结经验，吸收和消化世界先进技术，促进发酵有机酸技术水平的进一步提高，推动行业的健康发展，中国发酵工业协会组织了国内在发酵有机酸生产、科研、教学领域中具有一定理论和实践经验的部分专家、学者，把我国现有主要的发酵有机酸资料汇编成本手册。本书编写以实、新、全为宗旨，在理论阐述方面力求简炼，尽可能以条例化和图表化来表达涵义。因篇幅所限，我们删去了几乎所有化验方法，敬希见谅。

发酵有机酸的代谢过程是一门十分复杂而精深的生物工程，涉及面很广，高科技的迅速发展，使新的技术不断涌现，因此很难完整地把国内外的先进技术反映出来，兼之国外柠檬酸技术保密性很强和编者的技术水平所限，本书的错误和不足实难避免，竭诚欢迎广大读者指正。

本手册共分五篇 24 章，由王博彦、金其荣主编。编写分工如下：

第一篇 综述

第一章、第二章 由王博彦、金其荣、郭宏昌编写。

第二篇 柠檬酸

第一章 由金其荣编写；第二章由王博彦编写；第三章由高年发、王博彦、朱亨政编写；第四章由郭杰炎、王博彦、朱亨政、王薇青、高年发、陈振涛、钱炳琪、李代华、黄仲华编写；第五章由王博彦、徐仁方、陈振涛、陈景韩编写；第六章由陈景韩、叶勋、李蓉编写；第七章由张宏、陈景韩编写；第八章由陈景韩编写；第九章由王博彦、徐仁方、金其荣、丁友土、郭宏昌编写。

第三篇 乳酸

第一章至第三章由高年发、杨枫编写。

第四篇 醋酸

第一章至第四章由李大锦、王汝珍编写。

第五篇 其他有机酸

第一章由王薇青、章健、罗永康、王荣编写；第二章由黄腾华编写；第三章由黄腾华编写；第四章由黄腾华、丁友土编写；第五章由黄腾华编写；第六章由李文濂编写。

中国发酵工业协会

目 录

第一篇 综 述

第一章 世界发酵有机酸工业的市场概况及趋向	1
一、柠檬酸	1
二、乳酸	3
三、L-苹果酸	4
四、其他有机酸	4
第二章 我国发酵有机酸工业的现状与发展趋向	6
一、市场概况与发展趋向	6
二、与国外的差距	9

第二篇 柠 檬 酸

第一章 柠檬酸及其盐类、酯类和衍生物的性质和用途	11
第一节 柠檬酸发展简史	11
第二节 柠檬酸的命名及理化性质	13
一、柠檬酸的命名	13
二、柠檬酸的物理性质	13
三、柠檬酸的化学性质	19
第三节 柠檬酸盐类的理化性质	21
一、柠檬酸钠盐	21
二、柠檬酸钾盐	22
三、柠檬酸钙盐	22
四、柠檬酸铵盐	23
五、柠檬酸铁	24
六、柠檬酸铁铵盐	24
七、柠檬酸镁	24
八、柠檬酸铋	25
九、柠檬酸镍	25
十、柠檬酸锰	25
十一、柠檬酸铜	25
十二、柠檬酸银盐	25
十三、柠檬酸锌	25

十四、柠檬酸钡	25
第四节 柠檬酸及其盐类、酯类和衍生物用途	26
一、柠檬酸的用途	26
二、柠檬酸盐类的用途	30
三、柠檬酸酯类的用途	30
四、柠檬酸衍生物的性质和用途	32
第二章 柠檬酸发酵原料及生产方法	34
第一节 柠檬酸发酵原料	34
第二节 柠檬酸发酵和提取方法	34
一、发酵	34
二、提取	35
第三章 柠檬酸发酵微生物及发酵机理	37
第一节 柠檬酸发酵生产菌种	37
一、黑曲霉 (<i>Asp. niger</i>)	37
二、解脂假丝酵母 (<i>Candida lipolytica</i>)	40
第二节 黑曲霉柠檬酸高产菌的形态特征和生理特征	41
一、黑曲霉柠檬酸高产菌的形态特征	41
二、黑曲霉柠檬酸高产菌的生理特性	41
第三节 黑曲霉柠檬酸生产菌的选育及保藏	42
一、黑曲霉柠檬酸生产菌的选育	42
二、黑曲霉柠檬酸生产菌的保藏方法	51
第四节 黑曲霉柠檬酸生产菌的纯化与复壮	55
一、黑曲霉柠檬酸生产菌的分纯	55
二、黑曲霉柠檬酸生产菌退化的预防和复壮	56
三、分纯、复壮菌种的质量要求	58
第五节 黑曲霉柠檬酸生产菌的扩大培养	58
一、菌种的扩大培养	59
二、影响种子质量的因素	61
第六节 柠檬酸发酵机制及代谢调控	63
一、柠檬酸生物合成途径	63
二、黑曲霉柠檬酸发酵的代谢调控	66
三、黑曲霉柠檬酸发酵机制	71
第七节 我国柠檬酸菌种选育工作的进展	71
一、概述	71
二、我国柠檬酸菌种的选育	72
三、菌种选育工作的经验体会	75
第四章 柠檬酸生产的上游工程	77
第一节 发酵原料的预处理	77
一、淀粉质原料的液化	77
二、糖蜜原料的预处理	81

第二节 柠檬酸发酵的灭菌工作	83
一、灭菌要求与灭菌方法	83
二、培养基湿热灭菌的基本概念	84
三、柠檬酸发酵培养基灭菌	90
第三节 无菌空气的制备	90
一、空气中微生物的分布情况	91
二、柠檬酸发酵对无菌空气的质量要求	91
三、介质过滤空气除尘原理	92
四、过滤压力降问题	96
五、柠檬酸发酵常用的空气过滤器	97
六、无菌空气制备系统流程和要求	99
七、无菌空气的检查	100
第四节 柠檬酸深层发酵工艺	101
一、黑曲霉柠檬酸发酵条件控制	101
二、柠檬酸深层发酵工艺流程	106
三、薯干原料发酵工艺	106
四、玉米原料发酵工艺	114
五、淀粉原料发酵工艺	115
六、小麦面粉原料发酵工艺	118
七、糖蜜原料发酵工艺	119
八、葡萄糖(二)母液发酵工艺	121
第五节 柠檬酸表面发酵工艺	124
一、概述	124
二、表面发酵柠檬酸生产用的微生物	124
三、表面发酵工艺	128
四、其他影响表面发酵的几个因素	132
五、表面发酵菌膜的处理和利用	134
六、表面发酵工艺优缺点分析	134
第六节 固体发酵柠檬酸工艺	135
一、生产工艺流程	135
二、主要原料	135
三、生产工艺	135
四、柠檬酸的提取	138
第七节 正烷烃发酵柠檬酸	138
一、概述	138
二、石油发酵柠檬酸工艺	139
三、柠檬酸和异柠檬酸的分离	140
第八节 柠檬酸深层发酵染菌分析及防治	140
一、柠檬酸发酵常见的污染菌	141
二、污染菌的检查	141
三、染菌的原因分析	142

四、防、治染菌措施	143
第五章 柠檬酸生产下游工程	146
第一节 概述	146
第二节 钙盐离子交换工艺	146
一、钙盐离子交换工艺流程	146
二、钙盐离子交换工艺程序	147
第三节 溶剂萃取（液-液萃取）工艺	192
一、基本概念	192
二、工艺简介	192
第四节 全离子交换法提取工艺	197
一、离子交换工艺的基本概念	197
二、离子交换机制	198
三、全离子交换法提取柠檬酸的工艺流程	201
四、全离子交换法提取柠檬酸的操作规程	202
第五节 电渗析提取工艺	203
一、电渗析工作原理	204
二、电渗析设备装置	205
三、提取柠檬酸工作原理和程序	206
第六节 连续离子交换法提取工艺（ISEP）	208
一、ISEP 原理	208
二、柠檬酸提取色谱工艺说明	209
第七节 色谱分离（ILCS）工艺	210
一、概述	210
二、ILCS 工艺的基本原理	210
三、ILCS 工艺与分离设备的组装方式	211
第八节 精品柠檬酸生产工艺	213
一、精品柠檬酸的概念	213
二、精品柠檬酸的生产工艺（CAA）	213
第九节 柠檬酸盐类生产工艺	216
一、柠檬酸钠生产工艺（一步法）	216
二、柠檬酸氢铵生产工艺	218
三、柠檬酸钾生产工艺	220
第六章 柠檬酸生产设备	222
第一节 国内外柠檬酸生产设备综述	222
一、概况	222
二、比较	222
第二节 原料破碎和预处理设备	224
一、薯干粉碎设备	224
二、玉米干脱胚粉碎设备	225
三、玉米湿法加工设备	225

四、培养基液化、灭菌和冷却设备	225
第三节 发酵设备	225
一、机械搅拌通风式发酵罐	227
二、节能型发酵罐	234
三、其他新型发酵罐	235
第四节 柠檬酸过滤设备	237
一、板框压滤机	237
二、水平带式真空过滤机	237
三、真空转鼓过滤机	239
四、桶式真空过滤器	239
五、翻盘式真空过滤器	240
六、加压叶片式过滤机	240
七、微孔精密过滤机	242
第五节 中和、酸解和化工贮罐	243
第六节 脱色柱、离子交换柱	243
第七节 蒸发、结晶设备	244
一、多效蒸发器	244
二、其他型式的蒸发器	245
三、结晶器	245
四、附属设备	247
第八节 离心机	249
一、特性比较	249
二、离心机型式	251
第九节 干燥设备	257
一、常见的干燥设备	257
二、辅助装置	261
第十节 发酵辅助设备	263
一、培菌设备	263
二、空气压缩机	264
三、空压机入口空气的处理设备	265
四、压缩空气的净化设备	266
五、过滤器	267
第十一节 冷冻机(组)	271
一、活塞式氨制冷机(组)	271
二、氟利昂冷水机(组)	271
三、溴化锂冷水机(组)	271
第十二节 泵类	271
一、清水泵	271
二、浆液泵	271
三、耐酸离心泵	273
四、真空泵	274

五、计量泵	274
第十三节 通风机	275
第十四节 凉水塔	275
第十五节 生产计量装置	276
一、固体物料的计量装置	276
二、流体的计量装置	276
三、密度计量装置	279
第七章 仪表和控制	281
第一节 引言	281
第二节 控制系统	282
一、人工控制系统	282
二、自动控制系统	282
三、组合控制系统	284
第三节 过程变量的测定方法	285
一、温度	285
二、压力	285
三、流量	287
四、物位测量	289
五、搅拌轴功率测定	290
六、泡沫的探测和控制	290
七、溶氧测定和控制	291
八、排气分析	291
九、二氧化碳电极	291
第八章 质检与统计	292
第一节 产品质量标准	292
第二节 发酵原料的质量标准	295
第三节 化工原料及辅料的质量标准	295
第四节 质检	296
一、产成品的检验方法	296
二、半成品及原辅材料的检验方法	296
第五节 柠檬酸生产统计方法	302
一、行业统计办法	302
二、综合能耗的折算	305
三、热力折算	305
第九章 环保、卫生、安全	307
第一节 环境保护	307
一、环保法规	307
二、环保统计常见名称解释	307
三、污染源污染环境强度的表示方法	309
四、国家规定的环境质量与排放标准	310

五、柠檬酸行业“三废”排放现状	311
六、柠檬酸行业“三废”防治概况	312
七、柠檬酸发酵 COD 平衡分析	314
八、柠檬酸工业“三废”的治理途径	316
第二节 卫生管理	331
第三节 安全生产	331
一、国家制定的安全法规	331
二、柠檬酸生产的安全技术	332
三、柠檬酸厂曾发生过的安全事故案例	336

第三篇 乳酸及乳酸钙

第一章 乳酸及乳酸钙工业概况及理化性质	337
第一节 乳酸及乳酸钙工业发展简史	337
一、世界乳酸及乳酸钙工业发展简史	337
二、国内乳酸及乳酸钙工业发展简史	338
第二节 乳酸及乳酸钙工业生产概况	338
第三节 乳酸及乳酸钙工业科技进步	339
第四节 乳酸及乳酸钙的理化性质	340
一、乳酸及乳酸钙的命名及分子结构	340
二、乳酸及乳酸钙的理化性质	340
第五节 乳酸及乳酸钙的用途	344
一、乳酸的用途	344
二、乳酸钙的用途	345
三、其他乳酸衍生物的用途	346
第二章 乳酸发酵机理及发酵工艺	347
第一节 乳酸细菌发酵机理	347
一、同型乳酸发酵	347
二、异型乳酸发酵	347
三、双歧 (Bifidus) 发酵途径	348
第二节 米根霉发酵机制	348
第三节 乳酸生产菌种	349
一、细菌	349
二、米根霉 (<i>Rhizopus oryzae</i>)	350
三、常用乳酸细菌的分离与培养	350
四、米根霉乳酸产生菌的分离选育	353
第四节 乳酸生产原料的性质和要求	354
第五节 乳酸生产原料的预处理	358
第六节 细菌发酵乳酸工艺	358
一、乳酸生产工艺流程	358

二、乳酸细菌的扩大培养	360
三、细菌乳酸发酵技术	361
四、细菌乳酸发酵技术要点	364
五、细菌乳酸发酵过程和发酵动力学	365
第七节 米根霉发酵 L-乳酸工艺	367
一、L-乳酸生产流程	367
二、L-乳酸发酵生产技术	367
三、L-乳酸发酵过程与动力学曲线	369
第八节 乳酸发酵生产新技术	369
一、固定化细胞和固定化酶技术	370
二、原位产物分离 (ISPR) 乳酸发酵	371
第三章 乳酸提取和精制工艺	374
第一节 发酵液的预处理	374
一、乳酸细菌发酵液	374
二、米根霉发酵液	374
第二节 乳酸提取工艺	374
一、乳酸钙前结晶工艺	374
二、乳酸钙直接酸解 (一步法) 工艺	378
第三节 乳酸提取新技术	379
一、乳酸钙结晶工艺	379
二、溶剂萃取法提取乳酸	380
三、离子交换法提取乳酸	381
四、电渗析法提取乳酸	381
五、其他提取纯化技术	382
第四节 乳酸及乳酸钙的精制	382
一、乳酸钙的精制工艺	382
二、乳酸的精制工艺	383
三、乳酸及乳酸钙精制新技术	386
第五节 乳酸及乳酸钙的质量标准和分析方法	388
一、乳酸的质量标准	388
二、乳酸钙的质量标准	388
三、乳酸生产中主要的分析项目	389
第六节 乳酸和乳酸钙的包装与贮运	389

第四篇 醋 酸

第一章 发酵醋酸工业概况及醋酸的理化性质	390
第一节 醋酸发酵简史	390
一、我国食醋酿造史	390
二、国外醋酸发酵史	391

第二节 食醋发酵工业的现状与发展	392
一、我国食醋发酵工业现状	392
二、我国著名食醋介绍	392
三、我国食醋发酵工业与国外比较	393
四、我国食醋发酵技术开发	394
第三节 醋酸的理化性质	396
第四节 食醋的成分和功能	399
一、食醋的成分	399
二、食醋的功能	404
第二章 醋酸发酵机理和发酵工艺	407
第一节 醋酸发酵机理	407
一、食醋发酵的基本概念	407
二、醋酸发酵机理	407
第二节 醋酸生产菌种	409
一、食醋工业常用的糖化菌	409
二、食醋工业常用的酵母菌	411
三、食醋工业常用的醋酸菌	412
四、醋酸菌的分类和菌种分离、保藏	412
第三节 食醋发酵原料及原料处理	415
一、原料分类和成分	415
二、原料预处理	417
第四节 食醋发酵工艺	418
一、糖化工艺	418
二、酒精发酵工艺	421
三、醋酸发酵工艺	424
第五节 国内常用食醋生产方法	427
一、固态发酵法	427
二、酶法液化通风回流法	429
三、液态深层发酵法	432
四、浇淋法	434
五、固定化细胞发酵法	436
第三章 醋酸和食醋的提取工艺	440
第一节 醋酸的提取工艺	440
一、分馏（精馏）	440
二、恒沸（脱水）蒸馏	440
三、溶剂萃取	441
四、联合提取法	442
第二节 各类食醋的提取工艺	442
一、基本概念	442
二、各类食醋的提取工艺	443

第三节 食醋质量标准 and 检验方法	446
一、我国醋酸质量标准	446
二、我国食醋质量标准 and 卫生要求	447
三、食醋产品检验方法	449
第四章 食醋工厂设计 and 管理要点	450
第一节 工艺设计	450
一、设计依据 and 主要工艺技术参数	450
二、物料衡算	451
三、设备选型	454
第二节 环境保护建议方案	456
一、废水处理	456
二、废渣处理	457
第三节 卫生质量控制 and 管理要点	457

第五篇 其他有机酸

第一章 衣康酸	458
第一节 衣康酸发展简史及前景	458
第二节 衣康酸的理化性能及用途	460
一、衣康酸的理化性能	460
二、衣康酸的主要用途	464
三、衣康酸生产和消费分布情况	467
第三节 衣康酸的生物合成机理	468
第四节 衣康酸发酵微生物及其诱变筛选	471
一、衣康酸发酵微生物	471
二、衣康酸发酵菌种的选育	472
三、菌种的保藏	475
四、菌种的纯化和复壮	476
第五节 衣康酸发酵工艺	476
一、蔗糖为原料衣康酸发酵工艺	476
二、淀粉为原料衣康酸发酵工艺	481
三、以低脂玉米粉为原料的衣康酸发酵工艺	484
四、以木薯粉、甘薯粉为原料的衣康酸发酵工艺	488
五、衣康酸发酵近期进展	489
第六节 衣康酸提取工艺	491
一、浓缩结晶法提取工艺	491
二、其他提取工艺	494
第七节 衣康酸生产环境保护	499
第八节 衣康酸的产品质量标准	499
第九节 衣康酸的检验方法	500

一、衣康酸定性检验方法	500
二、衣康酸定量检测方法	500
三、色值及杂质成分的测定	502
第二章 葡萄糖酸及其衍生物	503
第一节 葡萄糖酸的发展概述	503
第二节 D-葡萄糖酸的理化性质	504
第三节 D-葡萄糖酸的生产原理和方法	504
一、生产原理	504
二、生产方法及存在问题	505
第四节 葡萄糖酸的用途	506
第五节 葡萄糖酸质量标准	507
一、美国药典标准	507
二、日本标准	507
第六节 发酵法生产葡萄糖酸钙	507
一、D-葡萄糖酸钙一般介绍	507
二、葡萄糖酸钙的生产工艺	508
第七节 D-葡萄糖酸钙的质量标准	510
第八节 葡萄糖酸- δ -内酯	510
一、葡萄糖酸- δ -内酯的一般介绍	510
二、葡萄糖酸- δ -内酯的制造方法	510
三、葡萄糖酸- δ -内酯的质量标准	512
四、葡萄糖酸- δ -内酯美国药典标准(1995年23版)	513
五、使用葡萄糖酸- δ -内酯的配方(摘要)	514
第九节 发酵法生产葡萄糖酸钠	515
一、概述	515
二、葡萄糖酸钠质量标准	516
三、葡萄糖酸钠的用途	517
第十节 葡萄糖酸钾	517
一、葡萄糖酸钾的生产工艺	517
二、葡萄糖酸钾的质量标准	518
第十一节 葡萄糖酸亚铁	518
一、葡萄糖酸亚铁的制造方法	518
二、葡萄糖酸亚铁的质量标准	519
三、葡萄糖酸亚铁使用限量	519
第十二节 葡萄糖酸锌	520
一、葡萄糖酸锌的合成路线	520
二、葡萄糖酸锌的质量标准	520
第十三节 葡萄糖酸镁	521
第十四节 葡萄糖酸铜	521
第十五节 葡萄糖酸锰	522

第三章 2-酮基-D-葡萄糖酸及异维生素 C 钠	524
第一节 导言	524
第二节 2-酮基-D-葡萄糖酸钙发酵原理	524
第三节 2-酮基-D-葡萄糖酸的菌种筛选	526
第四节 定性与定量分析方法	526
一、定性分析方法	526
二、2-酮基-D-葡萄糖酸钙的产物鉴定	527
第五节 发酵条件	528
第六节 中试工艺参数	529
第七节 荧光极毛杆菌的菌种复壮、保藏方法	529
第八节 防止 2-酮基-D-葡萄糖酸钙发酵染菌与噬菌体	530
一、染菌原因	530
二、荧光极毛杆菌抗噬菌体菌株的筛选	530
三、噬菌体检出方法	530
四、抗噬菌体的措施	530
第九节 2-酮基-D-葡萄糖酸钙的提取	531
第十节 异维生素 C 钠的制造	531
第十一节 间接发酵新工艺生产-D-异维生素 C 钠	534
第十二节 半成品和成品的检验方法	535
一、2-酮基葡萄糖酸甲酯测定	535
二、D-异维生素 C 钠盐中游离 Ca^{2+} 的测定	535
三、D-异维生素 C 钠的测定	535
第十三节 异维生素 C 钠的质量标准	536
第十四节 异维生素 C 钠的用途	537
一、在酒类方面的应用	537
二、在水果蔬菜罐头中的应用	538
三、在畜鱼肉制品中的应用	538
四、乳制品	539
第四章 苹果酸	540
第一节 苹果酸简史	540
第二节 苹果酸的生理功能和用途	541
一、苹果酸的生理功能	541
二、苹果酸及其盐类的用途	542
第三节 苹果酸的理化性质	543
一、理化性能	543
二、毒理学依据	544
第四节 苹果酸生产的有关分析方法	544
一、菌体量的测定	544
二、苹果酸检测方法	545
三、富马酸定量检测	546