

21世纪化学丛书

食品化学

江波 杨瑞金 卢蓉蓉 编著



Chemical Industry Press

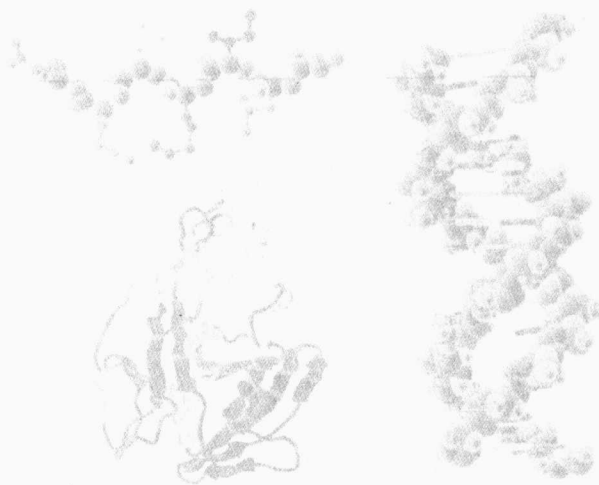


化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

21世纪化学丛书

食品化学

江波 杨瑞金 卢蓉蓉 编著



化学工业出版社

化学与应用化学出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

食品化学/江波, 杨瑞金, 卢蓉蓉编著. —北京: 化学工业出版社, 2004.10
(21世纪化学丛书)
ISBN 7-5025-6177-3

I. 食… II. ①江…②杨…③卢… III. 食品化学
IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 102617 号

21 世纪化学丛书

食 品 化 学

江 波 杨瑞金 卢蓉蓉 编著

责任编辑: 陈 丽 刘俊之

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 329 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6177-3/O·70

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

化学作为一门基础学科，其专业门类日臻完善；学科内、外渗透融合更趋紧密；新型交叉学科层出不穷。当今化学的研究内容不断突破传统化学的范畴，涉及范围日益广泛；方法手段愈加先进。从应用层面看，化学已深入到国民经济和人民生活的各个方面，成为改善产业结构，推动经济发展，提高人民生活质量和满足社会多元化需要的重要因素。与此同时，化学领域的发展和突破使其凸显出核心科学的地位。

为了更好地把握发展机遇，适应科教兴国、科技卫国发展战略的要求，适应我国经济建设的需要，造就具有基础扎实、知识广博、富有创新精神的复合型人才，化学工业出版社计划组织出版一套《21世纪化学丛书》，并专门成立编委会，确定撰写这套丛书的宗旨和选题方向，并负责推荐各书撰写的专家。这套丛书内容包括材料化学、能源化学、催化化学、配位化学、纳米化学、胶体化学、界面化学、光化学、电化学、天然有机化学、药物化学、高分子化学、凝胶化学、计算化学、组合化学、环境化学、生物化学、食品化学等方面，着重介绍化学各分支学科领域的发展前沿，遵循学科继承、发展与创新的原则，突出反映其中的新知识、新成果、新应用和新趋势的“四新”内容，兼收并蓄，不拘一格，旨在体现化学科学的前瞻性、创见性、科学性和代表性以及学科间的交叉与渗透，力图使其成为一套内容丰富、体系完善、结构严谨、取材新颖的系列丛书。本丛书将由化学工业出版社陆续出版。

参与该丛书编撰的作者在各自的分支领域均具有丰富的科研积累与教学经验，他们创新的科学精神和认真的求实态度，将使该丛书各分册特色鲜明，各具风采。该丛书既介绍学科前沿的研究成果和进展，又反映学科的系统性和覆盖面，务使提高与普及兼顾，基础与实用并重。我们期望该丛书成为化学、化工、材料、环境、生命、医药卫生等相关领域的大专院校师生，科研院所的技术人员，政府和企业部门的管理人员以及其他各领域的化学爱好者有实用价值的综合参考书。

我们相信，通过编委和作者的共同努力，在广大科研和教学人员的积极参与和支持下，《21世纪化学丛书》的出版，将成为更多青年步入化学领域的桥

梁和阶梯，给广大读者带来有用的知识和有益的启示，为我国化学事业的发展起积极的推动作用。

由于编者的水平和时间所限，本丛书各册中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正并积极建议，以使后续的分册越出越好。

编委会

2004年2月

前 言

食品化学是食品科学的一个重要组成部分，它主要研究食品（包括食品原料）的组成、特性及其产生的化学变化以及这些变化和作用对食品安全、营养与健康、风味、质构及保藏稳定性等方面的影响。食品化学与化学、生物化学、生理化学、植物学、动物学和分子生物学有密切的关系。

随着食品科学与技术的迅速发展，有关食品化学的新知识、新技术和新方法不断涌现，现已出版了多本食品化学的教材和基本参考书。本书并未全面概括食品化学领域内的全部内容，而是侧重于了解和评价水、碳水化合物、脂类、蛋白质、酶、风味和色素等基本和重要的组分，并对最新研究成果和热点问题作了介绍和探讨。在编写时注重反映食品化学领域内的新知识、新成果、新应用和新趋势，同时尽可能地避免与有机化学和生物化学在内容上的重复，并注意到理论与实际相结合。

参加本书编写工作的人员均为多年从事食品化学教学和研究的教师，其分工如下：江波（绪论、第2章）、杨瑞金（第5章、第7章）、卢蓉蓉（第3章、第4章）、华欲飞（第1章、第6章）。

限于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2004年9月

内 容 提 要

本书有选择地介绍食品化学的基础理论、发展前沿和近期部分研究进展。全书重点介绍水、碳水化合物、脂类、蛋白质、酶、风味和色素，并对最新研究成果和热点问题作了介绍和探讨。

本书可作为食品科学与工程及相关学科的大专院校师生、科研院所的科研人员及相关部门管理人员的参考书。

目 录

绪论	1
0.1 什么是食品	1
0.2 食品化学的历史	1
0.3 食品化学的研究方法	4
0.4 食品化学家的社会作用	7
参考文献	8
第1章 水	9
1.1 水的结构和性质	9
1.1.1 食品中的水	9
1.1.2 水和冰的物理性质	9
1.1.3 水的结构	10
1.1.4 液态水的结构	11
1.2 水-溶质相互作用	12
1.2.1 宏观水平相互作用(水结合、水合和持水力)	12
1.2.2 分子水平相互作用	13
1.3 水分活度和相对蒸气压	16
1.3.1 水分活度的定义和测定方法	16
1.3.2 水分吸附等温线	17
1.3.3 相对蒸气压和食品稳定性	19
1.4 分子流动性和食品稳定性	22
1.4.1 基本概念	22
1.4.2 状态图	23
1.4.3 玻璃化转变温度(T_g 或 T'_g)	25
1.4.4 水的增塑作用以及对 T_g 的影响	26
1.4.5 T_g 和 M_m 与相对蒸气压(p/p_0)和水分吸着等温线的关系	27
第2章 碳水化合物	30
2.1 引言	30
2.2 糖的甜度	30
2.2.1 相对甜度	30

2.2.2	影响甜味强度的因素	31
2.3	单糖	32
2.3.1	单糖异构化	34
2.3.2	环式单糖	35
2.3.3	糖苷	37
2.3.4	单糖反应	38
2.4	低聚糖	44
2.4.1	麦芽糖	44
2.4.2	乳糖	44
2.4.3	蔗糖	46
2.5	功能性低聚糖	47
2.5.1	功能性低聚糖的种类与生理活性	47
2.5.2	低聚糖的生理学性质	48
2.5.3	低聚果糖	48
2.5.4	低聚木糖	48
2.5.5	低聚异麦芽糖	49
2.5.6	低聚半乳糖	49
2.6	多糖	49
2.6.1	多糖的溶解性	50
2.6.2	多糖溶液的黏度和稳定性	51
2.6.3	凝胶	52
2.6.4	多糖水解	53
2.7	淀粉	53
2.7.1	直链淀粉	54
2.7.2	支链淀粉	55
2.7.3	淀粉颗粒	55
2.7.4	颗粒糊化和淀粉糊	56
2.7.5	老化和陈化	57
2.7.6	淀粉水解	57
2.7.7	变性淀粉	59
2.7.8	预糊化淀粉	62
2.7.9	冷水吸水膨胀的淀粉	62
2.8	纤维素	63
2.8.1	微晶纤维素	63

2.8.2	羧甲基纤维素	64
2.8.3	甲基纤维素和羟丙基甲基纤维素	64
2.9	食品中的其他多糖(亲水胶体)	65
2.9.1	瓜儿豆胶	65
2.9.2	黄原胶	66
2.9.3	卡拉胶	67
2.9.4	海藻胶	69
2.9.5	果胶	70
2.9.6	阿拉伯胶	71
	参考文献	72
第3章	脂类	73
3.1	引言	73
3.2	脂肪的结构和分布	73
3.2.1	脂肪酸的命名	73
3.2.2	饱和脂肪酸的结构与分布	74
3.2.3	不饱和脂肪酸的结构与分布	75
3.2.4	酰基甘油的命名与脂肪酸的分布	75
3.2.5	磷脂	78
3.2.6	同质多晶	79
3.2.7	介晶相(液晶)	82
3.3	脂类的分类	83
3.4	化学性质	85
3.4.1	脂解	85
3.4.2	自动氧化	85
3.4.3	热分解	106
3.4.4	油炸化学	111
3.4.5	电离辐射	113
3.4.6	氢化	116
3.4.7	酯交换	118
	参考文献	121
第4章	蛋白质	122
4.1	引言	122
4.2	氨基酸	123
4.2.1	一般性质	123
4.2.2	氨基酸的化学反应性	130

4.3	蛋白质结构	131
4.3.1	蛋白质的结构水平	131
4.3.2	涉及蛋白质结构稳定性的作用力	140
4.3.3	蛋白质的构象稳定性和适应性	145
4.4	蛋白质的变性	147
4.4.1	变性热力学	147
4.4.2	变性因素	149
4.5	蛋白质的功能性	157
4.5.1	蛋白质的水合	159
4.5.2	溶解度	162
4.5.3	蛋白质的界面性质	165
4.5.4	风味结合	171
4.5.5	胶凝作用	173
4.6	食品中的蛋白质	176
4.6.1	牛乳蛋白质	176
4.6.2	鸡蛋蛋白质	177
4.6.3	肉类蛋白质	178
4.6.4	谷类蛋白质	180
4.6.5	大豆与其他油料种子蛋白	181
	参考文献	183
第5章	酶	184
5.1	引言	184
5.2	酶的基本特征	185
5.2.1	酶的化学本质	185
5.2.2	酶是生物催化剂	185
5.3	酶的分类和命名	188
5.3.1	习惯命名法	188
5.3.2	系统命名法	188
5.3.3	国际系统分类法及编号	189
5.4	酶催化反应动力学	189
5.4.1	酶反应速度的测定	189
5.4.2	单底物酶催化反应动力学	191
5.4.3	K_m 值及 v_{max} 值的计算	193
5.5	多底物酶促反应动力学	196

5.5.1	多底物酶催化反应历程表示法	196
5.5.2	多底物酶促反应动力学描述方法	197
5.6	其他影响酶催化反应的因素	198
5.6.1	底物浓度	198
5.6.2	酶浓度	200
5.6.3	pH 值的影响	200
5.6.4	温度的影响	202
5.6.5	激活剂	204
5.6.6	抑制剂和酶抑制动力学	205
5.6.7	水分活度	208
5.6.8	物理因素	209
5.7	食品加工中的重要酶	211
5.7.1	糖酶	212
5.7.2	蛋白酶	217
5.7.3	脂酶	218
5.7.4	脂肪氧合物	219
5.7.5	多酚氧化酶	221
5.7.6	过氧化物酶	223
5.7.7	抗坏血酸氧化酶	224
5.8	食品加工中的固定化酶	224
5.8.1	酶固定化的方法	225
5.8.2	固定化酶反应动力学	225
5.8.3	应用	226
	参考文献	227
第 6 章	风味物质	228
6.1	概述	228
6.1.1	食品风味的基本含义	228
6.1.2	风味物质与风味物质的特点	228
6.2	风味物质及其生成途径	230
6.2.1	甜味	230
6.2.2	苦味	231
6.2.3	咸味与酸味	234
6.2.4	风味增效剂	235
6.2.5	涩感	236

6.2.6	辛辣感	236
6.2.7	清凉感	238
6.2.8	蔬菜、水果和香料的风味及其生成途径	238
6.3	风味物质研究分析的基本方法	244
6.3.1	风味物质的收集(离析)	244
6.3.2	风味物质的分级分离	245
6.3.3	风味成分的分离和鉴定	245
6.3.4	风味的感官评定	246
6.4	食品储藏与加工过程中风味的变化	247
6.4.1	热加工产生的风味	247
6.4.2	类胡萝卜素氧化降解产生的挥发物	250
6.4.3	乳酸——乙醇发酵产生的风味	251
6.4.4	由油脂产生的风味挥发物	252
6.4.5	肌肉类食品的挥发性风味物质	252
6.5	食品加工中风味的应用	255
6.5.1	食品加工中风味生成与损失	255
6.5.2	食品香气的控制	255
	参考文献	258
第7章	色素和着色剂	259
7.1	引言	259
7.2	食品中的天然色素	259
7.2.1	血红素化合物	259
7.2.2	叶绿素类	264
7.2.3	类胡萝卜素	267
7.2.4	类黄酮与其他酚类物质	271
7.2.5	甜菜色素类	280
7.3	食品着色剂	281
7.3.1	天然着色剂	281
7.3.2	合成着色剂	283
	参考文献	285

绪 论

0.1 什么是食品

古人将六谷之饭曰食，事物种类为品，食品者，可供食用之物也。当今食品的定义为：含有或由人体必需的营养素，如碳水化合物、脂肪、蛋白质、维生素或矿物质组成的材料，通常来自于植物或动物，经有机体消化和吸收后，可提供能量、促进生长及维持生命。食品（含水）与阳光、空气一样，都是人类赖以生存的最重要的物质。

全世界都关注食品，然而所关注的方面随地区而异。在不发达地区，人群的主体参与食品生产，而且使人们的基本营养成分的数量和种类达到足够的水平仍然是一个有待解决的问题。在发达地区，食品的生产已高度机械化，仅一小部分人群从事食品生产。发达地区能提供丰富的食品，其中多数为加工食品，而且化学添加剂的使用也相当普遍。在这些幸运的地区，对食品的关注主要是成本、质量、品种、方便以及加工和使用化学物质对卫生和营养价值的影响。

食品科学是一门交叉学科，它主要与微生物学、化学、生物学和工程关联。食品化学是食品科学的一个重要组成部分，作为一种横跨诸多学科的新兴学科，它依托、吸收、融会、应用和发展着化学、生物化学、物理化学、植物学、动物学和分子生物学等学科，从特有的角度、深度和广度研究食品物质的化学组成，探索食品物质的组织结构、显微结构和分子结构，研究食品化学成分的物理性质、化学性质、功能性质和食用安全性质，认识从原料经过储藏加工直到食品的过程中物质发生的种种物理和化学变化（如形态变化、组织变化、分子结构变化、组成变化、生理生化变化、色香味变化、质地变化及营养成分变化等），揭示食品质量受原料类别、原料固有特性、产前产后处理、原料储藏技术、食品配方、加工工艺和设备、产品包装以及种种环境因素影响的本质，从而形成了食品科学的三大支柱学科之一。

0.2 食品化学的历史

食品化学的起源尚不甚清楚，且有关它历史的详情还未被认真地研究和记录。这不足为奇，因为直至 20 世纪初食品化学还未作为一个明确而独立的学

科，它的历史与农业化学紧密联系在一起。

瑞典药物学家 Carl Wilhelm Scheele (1742~1786 年) 是当时伟大的化学家之一。他除了以发现氯、甘油和氧而闻名天下外，还分离和研究了乳糖的性质 (1780 年)，通过乳酸的氧化制备黏酸 (1780 年)，从柠檬汁 (1784 年) 和醋栗 (1785 年) 分离柠檬酸，从苹果分离苹果酸 (1785 年) 以及在 20 种普通水果中检测柠檬酸、苹果酸和酒石酸 (1785 年)。他从植物和动物物质分离各种新化学物质被认为是农业和食品化学中精确分析研究的开端。

法国化学家 Antoine Laurent Lavoisier (1743~1794 年) 在食品化学方面建立了燃烧有机分析的基本原理，首先使用平衡反应式表示发酵过程，并首次测定乙醇的元素成分 (1784 年)。法国化学家 Nicolas Theodore de Sanssure (1767~1845 年) 研究了植物呼吸期间 CO_2 和 O_2 的变化 (1804 年)，通过灰化方法研究植物的矿物质含量和完成了首次精确的乙醇的元素分析 (1807 年)。

Joseph Louis Gay-Lussac (1778~1850 年) 和 Louis-Jacques Thenard (1777~1857 年) 在 1811 年发明了测定干蔬菜物质中碳、氢和氮百分含量的第一个方法。美国化学家 Sir Humphrey Davy (1778~1829 年) 在 1807 年和 1808 年分离出了元素 K、Na、Ba、Sr、Ca 和 Mg。他对农业和食品化学的贡献主要来自他的农业化学著作，其中的第一部 (1813 年) 为《农业化学原理》，该书使当时已有的知识更有条理、更加清晰。在第 5 版中又指出，植物通常仅由 7 或 8 种元素组成，而最基本的植物物质由氢、碳和氧按不同比例组成，它们一般单独存在，然而在某些情况下与氮相结合。

美国陆军外科医生 William Beaumont (1785~1853 年) 进行了经典的胃消化实验，该实验否定了 Hippocrates 时代的概念，即食品只含有一种营养成分。在 1825~1833 年期间，他在一位加拿大籍 Alexis St. Martin 身上进行实验，这位加拿大人因受枪伤而形成了一个能直接进入胃内部的通路，因此可以将食物引入胃和检查随后的消化变化。

Justus von Liebig (1803~1873 年) 取得了许多值得注意的成果，他在 1837 年证实了在醋发酵过程中乙醛是乙醇和乙酸转变过程的中间产物。1842 年他将食品分为含氮的 (植物血纤维蛋白、清蛋白、酪蛋白以及动物肉和血) 和不含氮的 (脂肪、碳水化合物和含酒精饮料)。虽然他的分类在某些方面不尽正确，但是仍可识别各种食品间的重要差别。他也优化了定量分析有机物质的方法，尤其是采用燃烧的方法，他在 1847 年出版了《食品化学研究》，这显然是第一本食品化学方面的著作。该书包括了他在肌肉水溶性组分 (肌酸、肌酸酐、肌氨酸、次黄嘌呤核苷酸和乳酸等) 方面的研究工作。

有趣的是上述研究成果与严重而普遍的食品掺假的起源同步发展，可以毫不夸张地说，对检测食品中杂质的需求是发展分析化学特别是分析食品化学的一个主要推动力。“掺假”是指食品中添加了廉价或没有营养价值的物品；或从食品中去除了有营养的物质或替换进劣等物质，从而降低了食品的质量，如蜂蜜中加入转化糖、巧克力中加入高粱面、全脂奶粉中不含脂肪和蛋白质等。“掺杂”即在食品中加入一些杂物，如腐竹中加入硅酸钠或硼砂，辣椒粉中加入红砖末等。“伪造”是指包装标志或产品说明与内容物不符。

不幸的是，化学的进展也确实或多或少地贡献于食品的掺假，这是因为不讲道德的食品供应商能从现有的化学文献中获益，其中包括掺假食品的配方，他们能用那些基于科学原理的更有效的方法取代那些陈旧而低效的经验方法搞食品掺假。于是，食品化学的历史通过几条因果关系的线索与食品掺假的历史紧密地交织在一起，因此，从一个历史的观点来考虑食品的掺假是适宜的。

在当前世界上发达的国家中食品掺假的历史可以被分为3个不同的阶段。从古代至1820年左右，食品掺假不是一个严重问题，也没必要采取特殊的检测方法。原因是当时食品是从小商店或个人获得，交易涉及大量私人间的往来。第2阶段始于19世纪早期，当时有意识的食品掺假出现的频率和严重性两方面都显著增加。直至1920年初，有意识的食品掺假仍然是一个严重的问题。第3阶段开始时，法规的压力和有效的检测方法将有意识的食品掺假出现的频率和严重性减少至可以接受的水平，并且逐渐得到改进。

食品掺假的第4阶段始于1950年左右，当时含有合法化学添加剂的食品逐渐占优势，在大多数工业化国家中，高度加工的食品已成为人们膳食的一个主要部分，一些工业化残留物如汞、铅和农药污染已被社会大众所关注。公众对食品供应的安全与营养的关注已导致食品生产、处理和加工方式中出现一些自律行为并制定了相应的一些法规。

在发达国家，19世纪80年代早期是公众对食品供应的质量和安​​全特别关注的时期，是由美国 Frederick Accum 出版的一篇食品掺假论文和一篇题为“锅中的死亡”的匿名文章所激起的。Accum 声称：“确实难以在一个掺假的国家中找到一种不掺假的食物，有些物质很少是以诚实的方式制造出来的”。他进一步指出：“可悲的是，化学被广泛地应用于生活的目的使它走入邪路，成为极坏交易（掺假）的助手”。

虽然他的谴责有些过分，但是所引用的下述常见的掺假物清楚地证实了在19世纪早期风行的食品的有意掺假的严重性，直至当今，在某些发展中国家和地区仍愈演愈烈。

在 19 世纪的早期，食品掺假的严重性已被公众所认识，纠正的力度也逐渐增加。新的法规使掺假成为违法行为，与此同时，化学家作出巨大的努力以了解食品的天然性质、被经常用作掺假物的化学物质和检测它们的手段。于是，在 1820~1850 年间化学和食品化学在欧洲的重要性开始显现，在各个大学中为青年学生建立的化学研究实验室和为化学研究创办的新杂志也大大地刺激了这些学科的发展。自那时起，食品化学得以加速发展。

1860 年在德国 Weede 建立了第一个由政府资助的农业实验站，W. Hanneberg 和 F. Stohmann 被分别任命为主任和化学家。在早期化学家工作的基础上，他们发展了一种常规测定食品中主要组分的重要步骤，将一种试样分成几个部分，再测定水的含量、粗脂肪、灰分和氮。将氮值乘以 6.25 就得到蛋白质含量。依次用稀酸和稀碱消化试样后产生被称为“粗纤维”的残渣。在除去蛋白质、脂肪、灰分和粗纤维后剩余下来的部分被称为不含氮的提取物，以确认它代表可利用的碳水化合物。不幸的是，多年来化学家和生理学家错误地认为用此步骤获得的相同的值代表相同的营养价值，而不考虑食品的种类。

1861 年，Jean Baptiste Duman (1800~1884 年) 认为仅含有蛋白质、碳水化合物和脂肪的膳食不足以支持生命。

1862 年，美国国会通过由 Justin Smith Morrill 签署的政府赠予土地法令。这个法令有助于在美国建立农学院，并在相当程度上推动了对农业和食品化学家的培训。

1863 年 Harvey Washington Wiley 成为美国农业部的首席化学家，他在农业部的办公室领导反对冒牌和掺假食品的战役，最终通过了美国第一个单纯用于食品和药物的法令 (1906 年)。

至 20 世纪上半叶，已发现并鉴定了大多数必需的食用物质，它们包括维生素、矿物质、脂肪酸和一些氨基酸。

在 20 世纪中期，日益广泛地使用化学物质帮助扩展、制造和销售食品是一个特别值得注意和有争议的事件。

上述的历史回顾虽然简略，但是可以使我们看到，与 19 世纪相比，当前的食品供应几近完美。

0.3 食品化学的研究方法

如果能建立一种针对食品配方的化学、加工和储藏质量的分析方法，从研究一种食品或模拟体系所得到的结果将有助于我们了解其他食品。这个方法包括 4 个部分：①测定与安全、高质量食品的重要特征相关的性质；②测定那些