



食品化学与分析技术

主编 李德海
主审 王振宇



东北林业大学出版社

食品化学与分析技术

主 编 李德海

主 审 王振宇

东北林业大学出版社

版权专有 侵权必究
举报电话：0451 - 82113295

图书在版编目 (CIP) 数据

食品化学与分析技术 / 李德海主编. -- 哈尔滨 :
东北林业大学出版社, 2012. 7
ISBN 978 - 7 - 5674 - 0045 - 0

I. ①食… II. ①李… III. ①食品化学②食品分析
IV. ①TS201. 2②TS207. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 172008 号

责任编辑：任 俐 刘剑秋

封面设计：刘长友

出版发行：东北林业大学出版社

(哈尔滨市香坊区哈平六道街 6 号 邮编：150040)

经 销：全国新华书店

印 装：哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本：787mm × 960mm 1/16

印 张：15. 25

字 数：270 千字

版 别：2012 年 7 月第 1 版

版 次：2012 年 7 月第 1 次印刷

定 价：27. 00 元

《食品化学与分析技术》

编 委 会

主 编 李德海

主 审 王振宇

副主编 孙常雁 赵晓丹

编 委 孟 琳 杨 凯 侯恩玲

左春阳 吴 杰 刘银萍

前 言

随着社会发展和科学的进步，食品的工业化和商品化的比重迅速增加。

食品化学与分析是检测和评价食品品质的一门学科。它应用基础化学、物理学、生理学、营养学、生物学、现代仪器学等学科的知识于食品质量检验，涉及的内容广泛，分析的对象十分复杂，分析的方法和手段多种多样。

简明且实用为本书编写的宗旨，编者力求内容容易理解和操作，同时注重知识的系统合理性及新颖性，把侧重点放在学生的基础实验和基本功的训练上，以便迅速培养并提高学生的实验技巧、创新意识和动手能力以及提出问题、分析问题、解决问题的能力。

本书内容主要包括了样品的准备、分析方法选择、感官分析、物理检验、一般成分的分析、添加剂的测定、有害成分的测定、食品及原料特性指标分析等地基本原理和方法概要；并具体地介绍了60项常用的食品分析实验。在内容的编排上充分贯彻了最新国家标准。

本书可作为高等院校食品科学与工程、食品质量与安全、食品营养与检验教育、农产品标准化与贸易、商品检验等专业的教材，也可作为质量监督、食品检验和食品企业等单位有关技术人员的参考书或培训用教材。

全书共5章，其中，第1章由李德海和侯恩玲（东北林业大学）编写；第4章由李德海和赵晓丹（东北林业大学）编写；第2章孙常雁（黑龙江省乳品工业技术开发中心）和杨凯（国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心医药生物部）编写；第3章第1节由孙常雁（黑龙江省乳品工业技术开发中心）编写；第3章第2节由孟琳（东北林业大学）编写；第3章第3节由左春阳和吴杰（东北林业大学）编写；第5章由李德海（东北林业大学）编写；附录由侯恩玲和刘银萍（东北林业大学）编写。

本书在编写过程中得到王振宇老师（东北林业大学）的支持和帮助，王振宇老师担任本书主审。

限于编者的水平及时间所限，书中的不妥之处，敬请读者批评指正，在此表示衷心的感谢！

编 者

2011年10月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 食品化学与分析技术的作用与目的	(1)
1.2 食品化学与分析技术的研究内容与方法	(1)
1.3 常用试剂配制与浓度	(2)
1.4 实验测量与误差	(3)
1.5 实验数据处理与表达	(5)
1.6 实验室的安全防护	(6)
2 食品试验设计方法	(8)
2.1 正交试验法	(8)
2.2 拟水平法	(17)
2.3 均匀设计法	(20)
2.4 其他设计方法	(29)
3 食品化学验证性分析技术	(33)
3.1 食品中营养成分分析技术	(33)
3.2 食品添加剂及有害成分分析技术	(92)
3.3 食品理化及功能性质分析技术	(113)
4 食品化学综合性分析技术	(135)
4.1 蛋白质起泡能力与泡沫稳定性分析技术	(135)
4.2 乳状液的制备及性质分析技术	(139)
4.3 脂肪氧化和过氧化值分析技术	(143)
4.4 油脂脂肪酸组成分析技术	(145)
4.5 淀粉糊化程度分析技术	(146)
4.6 美拉德反应初级阶段分析技术	(149)
4.7 植物油中抗氧化剂分析技术	(151)
4.8 肉及腌肉制品中肉色素分析技术	(153)
4.9 罐头食品的感官检验分析技术	(155)
4.10 食品风味成分分析技术	(158)
4.11 食用植物油脂品质分析技术	(162)

2 食品化学与分析技术

4.12	牛乳中掺假分析技术	(168)
4.13	蜂蜜中掺假分析技术	(171)
4.14	橘皮中果胶提取与含量的测定	(174)
4.15	热处理温度对果汁中维生素 C 的影响	(177)
4.16	pH 值对花色苷溶液色泽的影响	(181)
4.17	卵磷脂的提取、鉴定与应用	(183)
4.18	焦糖的制备及其性质	(185)
4.19	肉新鲜度分析技术	(188)
5	食品化学设计性分析技术	(190)
5.1	概述	(190)
5.2	实施步骤	(191)
5.3	选题指南	(195)
	参考文献	(201)
	附录	(203)
	附录一 实验室安全规则	(203)
	附录二 中华人民共和国法定计量单位	(206)
	附录三 试剂的规格及贮存	(209)
	附录四 常见试剂的配制	(210)
	附录五 常见标准滴定溶液的配制与标定	(212)
	附录六 常用缓冲溶液配制	(223)
	附录七 常用指示剂	(233)
	附录八 常用酸碱溶液的相对密度和浓度对照表	(235)

1 绪 论

1.1 食品化学与分析技术的作用与目的

食品科学是一门包括微生物学、化学、生物学和工程学的多学科科学。食品化学、食品营养学、食品分析是食品科学的主要课程，它们的主要任务是研究食品组成、性质以及食品在储藏、加工及包装过程中可能发生的化学反应和物理变化，食品中各种组分在人类营养中所起的作用及食品的总体营养价值，食品安全性及质量评价等。食品化学与分析实验是这门课程的实践部分，主要是应用不同的方法及检测手段对以上课程提出的理论做验证性的实验研究，使学习者从感性上对这些理论进一步理解与掌握；并运用这些方法与手段对食品的理化特性、营养价值、安全性和可接受性进行分析与评价。实验教学是食品化学教学的重要组成部分，是高等院校培养高素质合格人才的重要实践性环节，是学生巩固和加深理解理论知识，加强学生的动手能力，培养在实践中发现问题、分析问题和解决问题的能力，提高教学质量的重要途径；在培养学生的实践、研究、创新能力和综合素质，实现学校制定的专业培养目标等方面有着其他教学环节所不可替代的独特作用。

1.2 食品化学与分析技术的研究内容与方法

食品的种类繁多，其组成成分十分复杂，本课程又包括了食品化学、食品营养学和食品分析的实验研究内容，因而使得本课程的范围十分广泛，主要包括了食品物性测定、各类食品营养成分的分析测定、功能成分的分析测定、食品添加剂的分析测定、有毒有害成分的分析测定以及综合实验等内容。

本课程开设的目的是培养学生掌握各种分析方法和手段，对食品理化特性、营养价值、安全性和可接受性进行分析与评价。分析测定方法包括食品感官评价法、化学分析法、仪器分析法。

感官评价又称感官分析，是在心理学、生理学和统计学的基础上发展起来的一种检验方法，它主要是借助人的视觉、嗅觉、味觉和触觉等来检验食品的色、香、味和组织状态，是与仪器检验并重的检测手段。检测得到的指

标与理化性质指标可互补。

化学分析法是以物质的化学反应为基础的分析测定法，也是最基本和常用的方法，包括质量法和容量法。目前食品水分、灰分、果胶、纤维素、脂肪、蛋白质、维生素等常规测定仍采用化学法。

随着科学技术的发展，仪器分析法在食品化学分析和质量检测中有广泛的应用。近代分析技术，特别是自动化仪器的分析技术逐步应用于食品检验领域，如分光光度法、气相色谱法、高效液相色谱法、气相色谱-质谱联用法、氨基酸自动分析仪法、原子吸收光谱法。食品非破坏性检测技术如色差计、远红外分析技术等也已成为食品分析测定的重要手段；这类方法灵敏度、准确度、精密度高，同时快速，因此，此类方法也是本书主要介绍的方法。

1.3 常用试剂配制与浓度

食品理化检验使用的试剂除特别注明外，一般为分析纯试剂。乙醇除特别注明外，系指 95% 的乙醇。水除特别注明外，均为蒸馏水或去离子水。常用的酸碱试剂有盐酸、硫酸、硝酸、磷酸及氨水等，如果没有指明浓度，即为市售的浓盐酸、浓硫酸、浓硝酸、浓磷酸及浓氨水等。溶液除特别注明外，均指水溶液。

混合物中或溶液中某物质的含量通常有以下几种表示方法，可用于试剂的浓度或分析结果的表达。

(1) 质量分数 (%) 指溶质的质量与溶液的质量之比，可用符号 ω_B 表示，B 代表溶质。如果分子和分母的质量单位不同，则质量分数应加上单位，如 mg/g, $\mu\text{g/g}$ 等。

(2) 体积分数 (%) 指在相同的温度和压力下，溶质的体积与溶液的体积之比，可用符号 φ_B 表示，B 代表溶质。

(3) 质量浓度 (g/L) 指溶质的质量与溶液的体积之比，可用符号 ρ_B 表示，B 代表溶质。

(4) 物质的量浓度 (mol/L) 指溶质的物质的量与溶液的体积之比，可用符号 c_B 表示，B 代表溶质的基本单元。

(5) 比例浓度指溶液中各组分的体积比。

(6) 滴定度 (g/L) 指 1 mL 标准溶液相当于被测物的质量，可用 $T_{S/X}$ 表示，S 代表滴定剂（标准溶液）的化学式，X 代表被测物的化学式。

(7) 容量百分比浓度 (%，V/V) 系指 100 mL 溶液中所含液态溶质的体积 (mL)。80% 乙醇溶液表示 100 mL 溶液中含有 80 mL 乙醇。

(8) 质量容量百分比浓度 (% , m/V) 系指 100 mL 溶液中所含溶质的质量 (g)。如 20% 氢氧化钠溶液是指 100 mL 溶液中含有 20g 氢氧化钠。

(9) 按比例配制的液体组分溶液系指各组分的体积比。如正丁醇 - 氨水 - 无水乙醇 (7:1:2) 系指 7 体积正丁醇、1 体积氨水和 2 体积无水乙醇混合而成的溶液。

1.4 实验测量与误差

1.4.1 测量的定义及分类

测量就是借助仪器用某一计量单位把待测量的大小表示出来。根据获得测量结果方法的不同, 测量可分为直接测量和间接测量: 由仪器或量具可以直接读出测量值的测量称为直接测量; 不能用直接测量的方法得到, 而是利用若干个直接测量值通过一定的函数关系计算出被测量的数值的测量称为间接测量。

1.4.2 误差的定义及分类

测量值与真值之间的差异称为测量误差, 又称为绝对误差, 简称误差。记为

$$\Delta N = N - N_0 \quad (1-1)$$

其中测量值为 N , 相应的真值为 N_0 。绝对误差与真值之比的百分数叫做相对误差 (E), 记为

$$E = \frac{\Delta N}{N_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

根据误差来源的不同, 分为系统误差和随机误差。在相同条件下多次测量同一物理量时, 误差的大小恒定, 符号总偏向一方, 或误差按照某一确定的规律变化, 称为系统误差。系统误差产生的原因主要有以下几个方面: 仪器误差、理论和实验方法误差、实验人员的误差。产生系统误差的原因通常是可以被发现的, 原则上可以通过修正、改进加以排除或减小, 但要求测量者有丰富的实践经验才能达到。随机 (偶然) 误差是指测量中出现的大小和方向都难以预料, 且变化方式不可预知的测量误差。但当测量次数足够多时, 随机误差的出现和分布总是服从一定的统计规律。因此可以通过增加实验次数来减小随机误差, 即便如此, 也不能完全消除。

1.4.3 测量结果的评价

测量的精密度、准确度和精确度都是评价测量结果的术语，但目前使用时其含义并不尽一致，以下介绍较为普遍采用的说法。精密度是指对同一被测量做多次重复测量时，各次测量值之间彼此接近或分散的程度，它表现了测量结果的再现性。精密度是对随机误差的描述，它反映随机误差对测量的影响程度。随机误差小，测量的精密度就高。精密度用偏差来表示：

$$\text{绝对偏差} = \text{个别测量值} - \text{测量平均值} \quad (1-3)$$

$$\text{相对偏差} (\%) = \frac{\text{绝对偏差}}{\text{测量平均值}} \times 100 \quad (1-4)$$

实际做实验时，都是有限次测量，因此实际应用中经常用到单次测得值的标准偏差 S ，其公式如下：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - \bar{X}^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

式中： n ——测量次数；

X_i ——每次测定结果；

\bar{X} ——测量平均值。

准确度是指被测量的总体平均值与其真值接近或偏离的程度。它是对系统误差的描述，反映系统误差对测量的影响程度。系统误差小，测量的准确度就高。

精确度是精密度和准确度的合称，是对测量的随机误差及系统误差的综合评定。它反映随机误差和系统误差对测量的综合影响程度。只有随机误差和系统误差都非常小，才能说测量的精确度高。

1.4.4 误差的消除

(1) 减小绝对误差，使得原始数据更接近真值。

(2) 通过增加平行测定次数来减小随机误差，提高精密度。但平行次数过多在实际实验操作中不切实际、得不偿失，一般3~5次平行测定即可。

(3) 减小系统误差。用组成与试样相近的标准试样来测定，将标准值与测定结果比较，用统计学检验方法来确定有无系统误差；用标准方法与所选方法同时测定试样，对两种方法的测定结果进行比较，用统计学检验方法来确定有无系统误差。空白实验、回收率测定及仪器校正的方法可被用来减小系统误差。

1.5 实验数据处理与表达

1.5.1 数据的记录

在定量分析中,除了要选择准确度和精密度符合要求的实验方法外,要求数据的记录也要准确,根据实验要求、实验方法与所用仪器的精确度进行正确的有效数字记录是必需的。有效数字定义为可靠数字加上可疑数字。可靠数字是测量中能够准确读出的数字,可疑数字是通过估计读出的数字。测量误差对应有效数字的可疑位上。测量结果应表示成 $\bar{X} \pm \Delta X$ 的形式,而且测量不确定度的数字与有效数字的可疑位应该具有相同的数量级。

1.5.2 数据的整理

把原始数据按照一定的计算式计算出各种实验结果,并把它们列入数据整理表中,以便在误差分析和其他数据处理时使用。原始数据的处理就涉及有效数字的运算。有效数字的修约规则为“四舍六入五成双”。其含义是:第一位尾数 ≤ 4 时尾数舍去;第一位尾数 ≥ 6 时进一(即最后一位有效数字加1);第一位尾数等于5且后面的数为0时,若最后一位有效数字为偶数则舍去尾数,若最后一位有效数字为奇数则进一;第一位尾数等于5且后面的数不为0时进一。有效数字进行运算总的规则:可靠数字与可靠数字运算后仍为可靠数字,可疑数字与可疑数字运算后仍为可疑数字,可靠数字与可疑数字运算后为可疑数字,进位数可视为可靠数字。

对于已经给出了不确定度的有效数字,根据不确定度来决定结果的有效数字位数。具体规则如下。

(1) 加减运算规则。几个数值相加或减时,计算结果只能保留一位可疑数。在弃去过多的可疑数时,按四舍五入的规则进行取舍,即计算结果有效数字的保留应以小数点后位数最少(即绝对误差最大)的数据为依据。

(2) 乘除运算规则。若干个有效数字相乘除时,计算结果的相对误差接近于所有数值中误差最大的,其有效数字位数在大多数情况下与参与运算的有效数字位数最少的数据的有效位数相同。

(3) 乘方、开方运算规则。有效数字在乘方或开方时,若乘方或开方的次数不太高,其结果的有效数字位数与原底数的有效数字位数相同。

(4) 对数运算规则。有效数字在取对数时,其有效数字的位数与真数的有效数字位数相同或多取一位。

(5) 如果有效数字的第一位等于或大于8,计算时,其有效数字的位数

可多算一位。

1.6 实验室的安全防护

食品化学实验室的安全防护主要体现在防火、防爆炸、防灼伤及防毒四个方面，须掌握一些必备的常识。

1.6.1 防火

(1) 由于实验室内存放许多易挥发、易燃药品（如乙醚、酒精、丙酮等），在实验室内应禁止吸烟并尽量避免使用明火。同时实验室应当配备多种灭火器材，万一着火，应采取适当措施灭火。据不同情况，可选用水、沙、泡沫、 CO_2 或 CCl_4 灭火器灭火。

(2) 金属钠、钾、铝粉、电石及金属氢化物要注意使用和存放，尤其不宜与水直接接触。

(3) 对必须使用明火的实验室，给酒精灯或酒精喷灯添加酒精时，必须先盖灭酒精灯或酒精喷灯后才能添加。

(4) 同时使用较多大功率仪器时，应该注意避免引起电线的起火，如遇此情况，应马上关闭实验室电源总闸。

1.6.2 防爆炸

(1) 挥发性易燃易爆药品应该放在通风良好、阴暗低温、远离火源的地方。

(2) 使用易爆类药品（如高氯酸及其盐、 H_2O_2 、叠氮铅、乙炔铜、三硝基甲苯等）时，应该防止剧烈振动或受热。使用完后小心放回低温通风处。

(3) 强氧化剂和强还原剂必须分开存放，使用时轻拿轻放，远离热源。

(4) 防止氢气、一氧化碳、乙烯、乙炔、苯、乙醇、乙醚、丙酮、乙酸乙酯和氨气等可燃性蒸气或气体与空气混合至爆炸极限而引起爆炸。

1.6.3 防灼伤

(1) 防止酒精灯及电炉等高温热源引起的灼伤。

(2) 强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、醋酸等药品都会灼伤皮肤。应注意不要让皮肤与之接触，尤其防止溅入眼中。当皮肤受到灼伤时，应立即用蒸馏水或自来水冲洗，然后用50 g/L的碳酸氢钠溶液洗涤，再用蒸馏水或自来水冲洗。如果不慎溅入眼中应该立即用蒸馏水或自来

水冲洗眼部。也可采取酸碱中和的原理，如用 50 g/L 碳酸氢钠来中和酸类物质、2% 硼酸来中和碱类物质来清洗，然后滴 1~2 滴油性物质滋润保护。严重时，必须冲洗后立即送医院就医。

1.6.4 防毒

(1) 应该在通风橱内使用有毒有害药品，并防止药品与皮肤接触。实验中应该戴上口罩，实验完成后应该及时洗手。

(2) 教师应该在学生进行实验前，提醒学生注意有毒药品的使用。

2 食品试验设计方法

常用的试验设计方法有正交试验设计法、均匀试验设计法、双水平单纯形优化法、拟水平设计法、回归正交设计法等。可供选择的试验方法很多，各种试验设计方法都有其一定的特点。所面对的任务与要解决的问题不同，选择的试验设计方法也应有所不同。由于篇幅的限制，本节内容主要就正交试验法、均匀设计法、拟水平设计法以及其他较常用的设计方法作以介绍。

2.1 正交试验法

正交试验设计是多因子试验中最重要的一种设计方法，它是从全面试验的样本点中挑选出部分有代表性的样本点进行试验，这些代表点具有“均匀”和“整齐”的特点——具有正交性。正交试验设计是部分因子设计（fractional factorial designs）的主要方法，用少量试验，提取关键信息，并且简便易行。同时，它从不同的优良性出发，合理设计试验方案，有效控制试验干扰，科学处理试验数据，全面进行优化分析，直接实现优化目标，成为现代优化技术的一个重要方面。

2.1.1 正交试验方案设计的基本步骤

第一步，明确试验目的，确定试验指标，挑选因素选取水平。

根据实际情况确定需要解决的问题及相应的试验指标后，分析影响该项指标的各种因素，排除那些影响不大或已经控制得较好的因素，挑选那些可能有较大影响但又没有把握的因素进行考察。

第二步，挑因素、选水平，用正交试验法安排试验。

使用正交表这一工具来进行整体设计、综合比较、统计分析，通过较少的试验次数，达到找出最佳生产工艺效果来。根据因素和水平的多少以及试验工作量的大小来确定试验的次数，即确定使用哪张正交表。

第三步，进行表头设计，把各个因素分别放在选用的正交表头的适当位置上。

第四步，编制试验方案。

第五步，数据结果分析，常用的方法有直观分析法和方差分析法。

正交试验也可通过图 2-1 的流程来进行设计和安排。

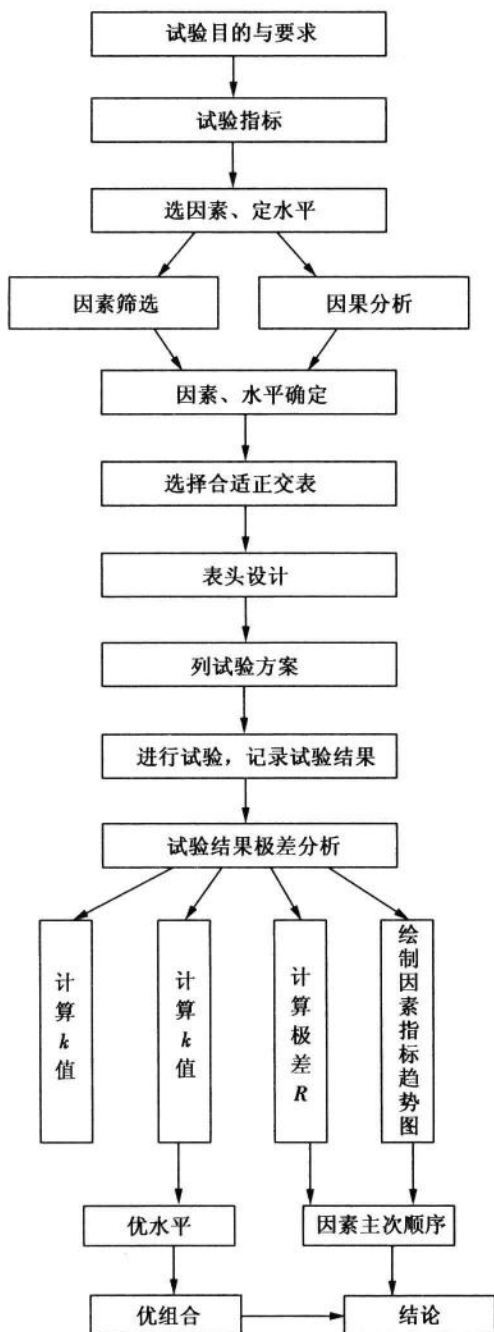


图 2-1 正交试验设计具体流程

例1 某工厂想提高某种产品的质量和产量,对工艺中3个主要因素各按3个水平进行试验(见表2-1)。试验的目的是为提高合格产品的产量,寻求最适宜的操作条件。

表2-1 因素水平

水平	因素	温度/℃	压力/Pa	加碱量/kg
	符号	T	p	m
1		T_1 (80)	p_1 (5.0)	m_1 (2.0)
2		T_2 (100)	p_2 (6.0)	m_2 (2.5)
3		T_3 (120)	p_3 (7.0)	m_3 (3.0)

对此实例该如何进行试验方案的设计呢?我们很容易想到的是全面搭配方案(见图2-2)。

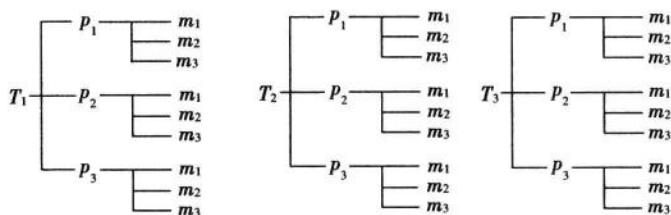


图2-2 全面搭配方案

此方案数据点分布的均匀性极好,因素和水平的搭配十分全面,唯一的缺点是试验次数多达 $3^3 = 27$ 次(指数3代表3个因素,底数3代表每因素有3个水平)。因素、水平数愈多,则试验次数就愈多,例如,做一个6因素3水平的试验,就需 $3^6 = 729$ 次试验,显然难以做到。因此需要寻找一种合适的试验设计方法。

2.1.2 试验设计方法常用的术语定义

(1) 试验指标。指作为试验研究过程的因变量,常为试验结果特征的量(如得率、纯度等)。例1的试验指标为合格产品的产量。

(2) 因素。指作为试验研究过程的自变量,常常是造成试验指标按某种规律发生变化的那些原因。如例1中的温度、压力、碱的用量。

(3) 水平。指试验中因素所处的具体状态或情况,又称为等级。如例1中的温度有3个水平。温度用 T 表示,下标1,2,3表示因素的不同水平,分别记为 T_1 , T_2 , T_3 。