



食品

Food Engineering

工程學

陳淑德

總校閱

徐詮亮・陳淑德・須文宏・楊懷文・張宜煌
林宇平・莊朝琪・楊景雍・林育蔚 合 著

本書特色

- ✦ 本書深入淺出的介紹數學計算技巧於食品工程學的應用。
- ✦ 藉由公式的運算說明食品工程與食品加工之間的關係。
- ✦ 詳細呈現各種食品工程計算公式，並輔以範例說明。
- ✦ 附錄收錄食品工程計算常用資料，集結教學用書與工具書之優點。
- ✦ 統整各章公式於附錄十一，可供讀者即時查閱。

ISBN 978-986-6335-18-1



9 789866 335181 00500



食品

Food Engineering

工程學

陳淑德

總校閱

徐詮亮 · 陳淑德 · 須文宏 · 楊懷文 · 張宜煌
林宇平 · 莊朝琪 · 楊景雍 · 林育蔚 合 著

食品工程學 / 陳淑德等編著. --初版. -- 臺

中市：華格那企業, 2010. 08

面；公分

ISBN 978-986-6335-18-1 (平裝)

1. 食品工業

463.1

98018336

食品工程學

Food Engineering

發行所/Publishing House：華格那企業有限公司/Wagner Co. Ltd

總校閱/Proofread：陳淑德\Chen, Shu-Te

作者/Author：徐詮亮\Hsu, Chuan-Liang、陳淑德\Chen, Shu-Te、須文宏\HSU, Wen-Hung、

楊懷文\Yang, Huai-Wen、張宜煌\Chang, Yi-Huang、林宇平\Lin, Yeu-Pyng、

莊朝琪\Chuang, Chao-Chi、楊景雍\Yang, Jing-Long、林育蔚\Lin, Yu-Wei

董事長/President：南山先生/Mr. Nanshan

發行人兼社長/Publisher & Managing Director：蔡小萍/Tsai, Hsiao-Ping

推廣部經理/Marketing Manager：吳為鈺/Wu, Wei-Yuh

推廣部副理/Marketing Vice-Manager：蔡健發/Tsai, Chien-Fa

推廣部主任/Marketing Supervisor：周東賢/Chou, Don-Hsien、詹庚午/Chan, Keng Wu

執行編輯/Executive Editor：黃麗瑾/Huang, Li-Chin

企劃/Project Director：劉曉玲/Liu, Hsiao-Ling

電腦排版/Typesetting：蘇綉雯/Su, Shiu-Wen

封面設計/Cover Designer：侯愛慈/Hou, Ai-Tzu

電腦顧問/Computer Consultant：大葉大學資管系副教授 吳為聖/Wu, Wei-Shen

地址/Add：台中市南區 402 仁義街 21 號

/No.21, Renyi St., South District, Taichung City, 402, Taiwan (R.O.C.)

電話/Tel：886-4-2285-7299

傳真/Fax：886-4-2285-9783

網址/Website：http://www.wagners.com.tw

電子信箱/E-mail：wagners@ms28.hinet.net

郵政劃撥帳號/Account Number：22183873

戶名/Account Name：華格那企業有限公司

出版日期/Publishing Date：2010 年 8 月初版

定價/Price：NT500 元

登記字號/Registration Number：局版臺省業字第 928 號

總校閱序

食品工程是食品科學中最難學習的學科，造成食品科學系學生害怕食品工程的原因，大多是因為學生們過去學習的數學技巧，由於疏於練習已經淡忘、或過去沒有徹底瞭解；另外則是因為學生們不知道食品工程在整體食品製造加工上的角色而失去了學習動機。故這本書由深入淺出地介紹數學計算技巧在食品工程學的應用，以及食品工程的公式運用和食品加工之間的關係，故會將各種食品工程公式及計算清楚的呈現，適用於大專、大學課程中二~三學分的食品工程或食品加工單元操作方面的課程。本書有別於其他食品工程由單元操作的觀點切入，希望有助於教師對食品工程學的教學，以及同學對食品工程這個學科的認識，未來進而可以應用於食品加工工廠的實際操作及有助於和食品學製程工程師的配合。

本書主要參考 R. W. Hartel 等所著 Math concepts for food engineering (Technomic Publishing Company, Lancaster, USA, 1997)、R. T. Toledo 所著 Fundamentals of food process engineering 第三版 (Springer, 2007)、R. P. Singh 和 D. R. Heldman 所著 Introduction to food engineering (Academic Press, 2001)，由台灣食品工程界多位教授歷經兩年的時間撰寫而成，本書著重食品工程在食品加工方面的基礎計算和應用，以質量和能量平衡、食品加工時流體流動、熱傳和質傳，及各類食品加工單元操作為主，授課教師可根據學生的程度及授課時數，深入淺出的教學，希望能夠藉由本書激發學生對食品工程學的學習興趣。

總校閱

陳永德

謹致

簡介

總校閱

陳淑德

美國密西根州立大學食品科學系農業工程系雙主修博士
現任宜蘭大學食品科學系副教授

作者

徐詮亮

美國密蘇里大學生物工程博士
曾任元培科技大學食品科學系（所）副教授
食品工業發展研究所研究員
現任東海大學食品科學系（所）副教授

陳淑德

美國密西根州立大學食品科學系農業工程系雙主修博士
現任宜蘭大學食品科學系副教授

須文宏

台灣大學食品科技研究所碩士
曾任佳格食品公司研究員
現任宜蘭大學食品科學系副教授

楊懷文

美國威斯康辛大學麥迪生分校食品工程學博士
現任嘉義大學食品科學系助理教授

張宜煌

美國威斯康欣大學麥迪遜校區食品工程博士
曾任九連環境開發公司化學分析工程師
統一企業研究員
現任元培科技大學食品科學系暨研究所助理教授

林宇平

中興大學食品暨應用生物科技系博士
曾任東海大學食品科學系助教
東方工商專校食品工程科講師
現任東方技術學院食品科技系副教授

莊朝琪

台灣大學食品科技研究所博士
曾任國立台灣大學食品科技研究所博士後研究
國立宜蘭大學兼任助理教授
現任明道大學餐旅管理學系助理教授

楊景雍

美國康乃爾大學食品科技博士
曾任國立高雄海洋科技大學助理教授
現任國立高雄海洋科技大學副教授

林育蔚

台灣大學食品科技研究所博士
曾任台灣科技大學兼任講師
美國康乃爾大學食品科學系訪問學者
台北海洋技術學院兼任助理教授
現任台灣大學食品科技研究所博士後研究

目錄

第一章	食品工程學概述	徐詮亮
第一節	食品工程學簡介.....	1-4
第二節	食品工程學發展現況與未來展望.....	1-5
第三節	因次與單位.....	1-5
第四節	單位轉換.....	1-13
第二章	食品工程中的基本數學運算	陳淑德
第一節	代數.....	2-4
第二節	線性迴歸.....	2-12
第三節	微積分.....	2-17
第四節	應用.....	2-23
第三章	質量平衡	須文宏
第一節	質量平衡的基本觀念.....	3-4
第二節	無化學反應程序的質量平衡.....	3-11
第三節	化學反應程序的質量平衡.....	3-16
第四節	燃燒反應的質量平衡.....	3-19
第五節	回流與支流程序.....	3-23
第六節	連續穩態乾燥的平衡.....	3-26
第四章	能量平衡	須文宏
第一節	基本觀念.....	4-4
第二節	能量的形式與單位.....	4-6
第三節	能量平衡.....	4-10
第四節	如何求得內能及焓.....	4-18
第五章	流體力學	陳淑德
第一節	流體.....	5-4
第二節	牛頓流體流動的性質.....	5-11
第三節	機械能平衡.....	5-19

第六章	熱量傳送	陳淑德
第一節	熱性質.....	6-4
第二節	恆定狀態熱傳.....	6-8
第三節	非恆定狀態熱傳.....	6-19
第七章	食品熱加工	楊懷文
第一節	食品熱加工之目的.....	7-4
第二節	微生物之加熱去活化.....	7-5
第三節	商業滅菌法.....	7-7
第四節	溫度對微生物死滅速率之影響.....	7-8
第五節	熱加工的時間計算.....	7-9
第六節	食品加熱的性質變化.....	7-16
第七節	其他滅菌方法.....	7-20
第八章	食品冷凍	張宜煌
第一節	食品冷凍系統.....	8-4
第二節	冷凍時間.....	8-8
第三節	冷凍食品儲藏.....	8-15
第九章	食品濃縮	林宇平
第一節	蒸發濃縮.....	9-4
第二節	濃縮系統.....	9-5
第三節	單效濃縮系統.....	9-23
第四節	多效濃縮系統.....	9-26
第十章	食品乾燥	林宇平
第一節	濕度學.....	10-4
第二節	乾燥操作程序.....	10-14
第三節	乾燥系統.....	10-25
第四節	乾燥產品之儲存安全性.....	10-41

第十一章	粉碎與篩選	莊朝琪
第一節	粉碎定義與粉碎理論	11-4
第二節	粒徑分布與測定	11-16
第三節	粉碎方法與設備	11-27
第四節	超微粉碎與奈米技術	11-39
第五節	篩選方法與設備	11-41
第十二章	混合與乳化	楊景雍
第一節	攪拌	12-4
第二節	捏揉	12-6
第三節	乳化	12-9
第四節	摻和	12-14
第十三章	膜分離	林育蔚
第一節	膜分離技術的原理	13-4
第二節	膜的種類、材質與膜分離設備	13-4
第三節	膜分離操作時的現象	13-12
第四節	膜分離技術的種類	13-16
附 錄		
附錄一	置於單位前的代號	A-2
附錄二	英制和公制間的單位換算	A-3
附錄三	壓力的單位換算	A-5
附錄四	水的物理性質	A-6
附錄五	空氣的物理性質	A-7
附錄六	水蒸汽表(1).....	A-8
附錄七	水蒸汽表(2).....	A-10
附錄八	過熱水蒸汽表	A-15
附錄九	熱容量方程式係數表	A-18
附錄十	常見物質的物性數據表	A-21
附錄十一	公式重點整理	A-30

第
1
章

食品工程學概述

Introduction to Food Engineering

徐詮亮 編著

第一節 食品工程學簡介

Introduction

第二節 食品工程學發展現況與未來展望

Development of Food Engineering

第三節 因次與單位

Dimension and Units

第四節 單位轉換

Conversion of Units

學習目標

讀者閱讀本章節後，應能達成以下目標：

1. 認識食品工程學的主要內容及其重要性。
2. 了解食品工程學的發展現況及其未來展望。
3. 熟悉常用之單位系統及單位轉換技巧。

前言

食品加工之目的，在於使收穫之農產品，經由物理、化學及生物等方法處理，使之得以達成耐儲藏、便利運輸及增進品質為宗旨。現代化社會由於都市人口之集中，以及社會型態之轉變，人類對加工食品之需求更為殷切，且消費者對產品品質要求亦不斷提高，食品產業界為因應此趨勢潮流，除了轉向高速度、大規模、專業化生產之經營型態之外，企業更重視能源效率及勞動力之經濟性，復以食品製品特別重視衛生安全及營養性，故其製造流程之設計及管理，務必以工程學的知識為後盾，方能達成目標。美國食品科技學會(Institute of Food Technologists; IFT)之教育小組，早於 1960 年代，即將大規模食品加工作業所需具備之工程知識，命名為「食品工程學」(Food Engineering)，並與食品加工學、食品微生物學、食品生產管理等學科，並列為食品科技大學教育，所必修之四大類學科之一，以符合潮流之趨勢。

食品工程學簡介

Introduction

食品工程學是一門以力學、熱力學、動力學、熱傳學、質傳學等為理論基礎的學科，該課程主要探討食品原料在加工過程中，進出各加工單元的相互關係，如：質量平衡和能量平衡關係，以及影響其相互關係之因素。另一方面，食品工程學乃食品機械設計製造及維修操作與加工製程規劃之基礎，亦是確保食品加工過程可準確實施的必備知識，是食品科學與工程的主要專業課程之一。食品工程學之內涵，廣涉化工單元操作、食品化學、食品微生物學及機械構造設計等學科。其具體內容依照目前較廣泛被使用之教科書內容編排，則包含下列主題：質量平衡(mass balance)、能量平衡(energy balance)、流體之流動(fluid flow)（包括：黏度(viscosity)、流變學(rheology)、輸送現象(transfer phenomena)、濕度學(psychrometrics)（包括：乾空氣之性質、蒸氣之性質、濕度圖）、熱傳（包括：熱交換機(heat exchanger)、比熱(specific heat)、熱傳導率(thermal conductivity)、穩定狀態與非穩定狀態之熱傳(steady-state and unsteady-state heat transfer)）、熱加工(thermal processing)（包括：微生物之耐熱效應、食品殺菌值之計算）、食品之低溫儲存(low temperature storage)（包括：冷藏(refrigeration)與冷凍(freezing)）、蒸發(evaporation)、脫水(dehydration)與乾燥(drying)、分離（包括：過濾(filtration)、離心(centrifugation)、膜分離(membrane separation)）、萃取(extraction)、結晶(crystallization)等各項與食品加工製造相關之技術。

「食品工程學」是食品科學課程中，較不普及的一門課，其原因主要是大部分主修食品科學之學生的數學基礎較弱，學生無法銜接此課程的內容與經驗，而且對其具體內容不了解，是故無法預見其與未來工作需要之關係，食品工程之教學因在學生之學習動機及老師之教學目標之間存在有一些問題，學生常覺得對這門課所花費的時間、精神與獲益不成比例，老師則對學生之不會解題、分析感到困擾。早期食品工程方面之課程，大都安排在研究所之階段實施，即食品科系或工程科系學生在進入研究所後才選讀，這種課程安排方式常使傳統食品科系學生，在大學中未能得到適當之工程課程訓練；近年來，由於食品工業之劇烈變遷及食品工程內容之逐漸成熟，食品工程已逐漸列入大學課程中，成為各級食品科系必修之課程。

食品工程學發展現況與未來展望

Development of Food Engineering

食品工程之研究任務，主要在發展食品加工過程中各種單元製程的模式化技術，利用數學模型準確描述的優點，改進製造工程技術並開發新製程，以及確保生產規模放大時的可行性。這些模型可分別應用於製程最適化設計、合理化及新興加工技術之研發，並提供食品製造工程技術和製程合理化及食品工程相關資訊之技術服務。此外，在食品工程之研究領域中，尚有許多問題待繼續努力解決，較受矚目之重要研究主題包括：非傳統熱加工製程技術之開發（包括：電阻、微波、紅外線、高週波等加熱技術）、非熱加工(nonthermal processing)製程技術之開發（包括：輻射照射、高壓、過濾、化學、電流脈衝、磁波等加工製造技術）。此外，食品物性之分析方法研究、食品包裝方式及包裝材料之開發、新型製造機具之研製、自動系統化之建立等，皆為現階段食品工程研究人員，待持續努力投入之研究要項。

為提升產業競爭力，現代企業所強調的是高效益及高經濟性；在食品製造產業當中，有關能源利用效率之提高，加熱速度之改善且又不損及品質，流體輸送之順暢性及易清洗性以確保衛生安全，以及自動化系統之推廣，莫不需要現代工程知識。食品工程學之目的，即在建構合乎經濟性而產品品質優良之製造技術，研修本課程實乃進入現代食品及生物製造工程知識領域之敲門磚。

食品工程使食品工業從以手工操作為主發展到以機械操作為主，各項加工製程從零散發展到連續化、半自動化或自動化。隨著電子資訊與生物科技之發展，生物科技與光電技術在食品工程中之應用將不斷出現，如：酵素萃取、電透析頂分離純化技術、食品感官品質電腦圖像識別技術等。以往由於技術與經濟水準之限制，有些技術在食品工程領域尚未廣泛應用，如：超臨界萃取技術、超低溫冷凍技術、超微粉碎技術、奈米科技等，但隨著高科技的不斷成熟，今後這些技術將有機會廣泛應用於食品加工製程中。

因次與單位

Dimension and Units

因次(dimension)用以指稱各種物理量，時間、距離、質量為最常見之因次。單位(unit)用以表示因次之大小，如：公尺用以表示距離，公斤表示質量。單位之因次獨立，

且只一種因式者為基本單位(base unit)，如：長度、質量及時間之單位，此單位分別僅具長度、質量、時間之因次。單位具多種因次者為導出單位(derived unit)，如：力的單位有時間、長度、質量三種因次。

國際制單位及其單位符號

Units in SI and Their Symbols

由於各種單位系統之採用，等值之量常以不同之數值及單位表示，因此造成很大的困擾；在工業應用上，科學之數據必先換算成工業上所使用之單位，如科學上之 cgs 制(centimeter-gram-second system)數據通常需換算成美制工程單位之數據，因此近年逐漸發展出科學上及工業上通用之單位系統。依據國際度量衡大會(The General Conference on Weights and Measures / 法文為 Conférence Générale des Poids et Mesures ; CGPM)重要決定的歷史演變記事，可知國際單位制源起於西元 1790 年法國科學院制定之十進位制；西元 1875 年，17 個國家在法國巴黎集會簽訂一項國際公制公約，同時訂立長度及質量之原器標準，並成立國際度量衡局(International Bureau of Weights & Measures ; 法文縮寫為 BIPM)，成為提供世界各國量測標準的所在地。西元 1954 年，國際度量衡大會依據公尺(m)－公斤(kg)－秒(s)－安培(A)單位，採用合理一致的單位系統，同時採用克耳文(K)為溫度單位和燭光(cd)為光強度單位。然而在科技不斷地發展，國際間貿易往來日益頻繁下，必須擴充及訂定一套統一的度量衡標準與制度。西元 1960 年第 11 屆 CGPM 正式命名為國際單位制(International System of Units / 法文為 Le Système International d'Unités ; 縮寫為 SI)。以 SI 取代以往所用之公制系統，今已為大部分的國家所接受並遵行之。其後再經數次的小修改，如第 14 屆國際度量衡大會增加第 7 個基本單位莫耳(mol)，和接受 Pa 為壓力和應力單位。現行我國度量衡法明定法定度量衡單位以 SI 單位為準，並規定法定度量衡單位及其所用倍數、分數之定義及代號，由經濟部認定並公告之；故法定度量衡單位及其所用之倍數、分數之名稱、定義及代號之使用，應依經濟部公告之「法定度量衡單位及其所用之倍數、分數之名稱、定義及代號」為準。而使用 SI 的優點在於：

1. 對每一物理量只用一種方式表達單位，不易產生混淆。
2. 十進位的運算方式，使計算更容易，錯誤更少。
3. 各種方式產生的能量或功率，如：機械、電機或熱等，其單位相同。

SI 之基本架構

The SI System

SI 的表示方法係數值後連接倍數或分數（即為前綴詞 “prefixes”），再連接單位名稱所組成，其基本架構如圖 1-1 所示。

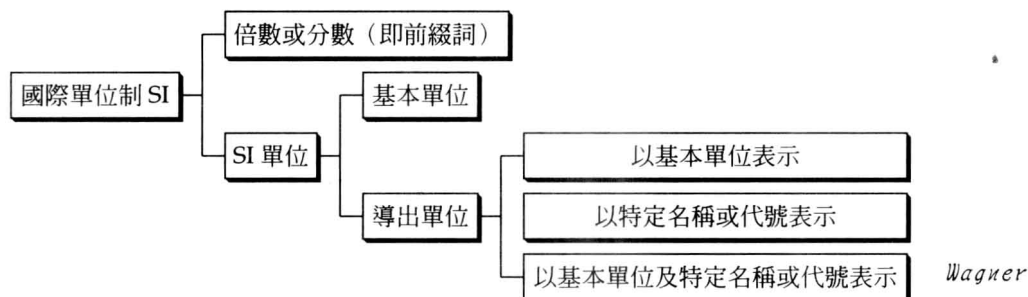


圖 1-1 SI 基本架構圖

如 50 mA 或 50 毫安培或五十毫安培均為 SI 之表示方法。其中：

1. 50、五十為數值。
2. m：分數之代號（代表 10^{-3} 或千分之一）。
3. A：代表單位（安培）之代號。
4. 毫：代表分數之名稱。
5. 安培：代表單位之名稱。

基本單位如表 1-1 列出之 7 個獨立單位；導出單位則由基本單位的乘除組合而成，某些導出單位另有特別的名稱和符號，如表 1-2 所示。

表 1-1 SI 基本單位及其單位符號

量之名稱	單位名稱	單位符號
長度	公尺(meter)	m
質量	公斤(kilogram)	kg
電流	安培(ampere)	A
溫度	克耳文(Kelvin)	K
分子量	莫耳(mole)	mol
時間	秒(second)	s
光強度	燭光(candela)	Cd

資料來源：經濟部標準檢驗局（2003）·國際單位制之使用指南·台北：經濟部標準檢驗局。