

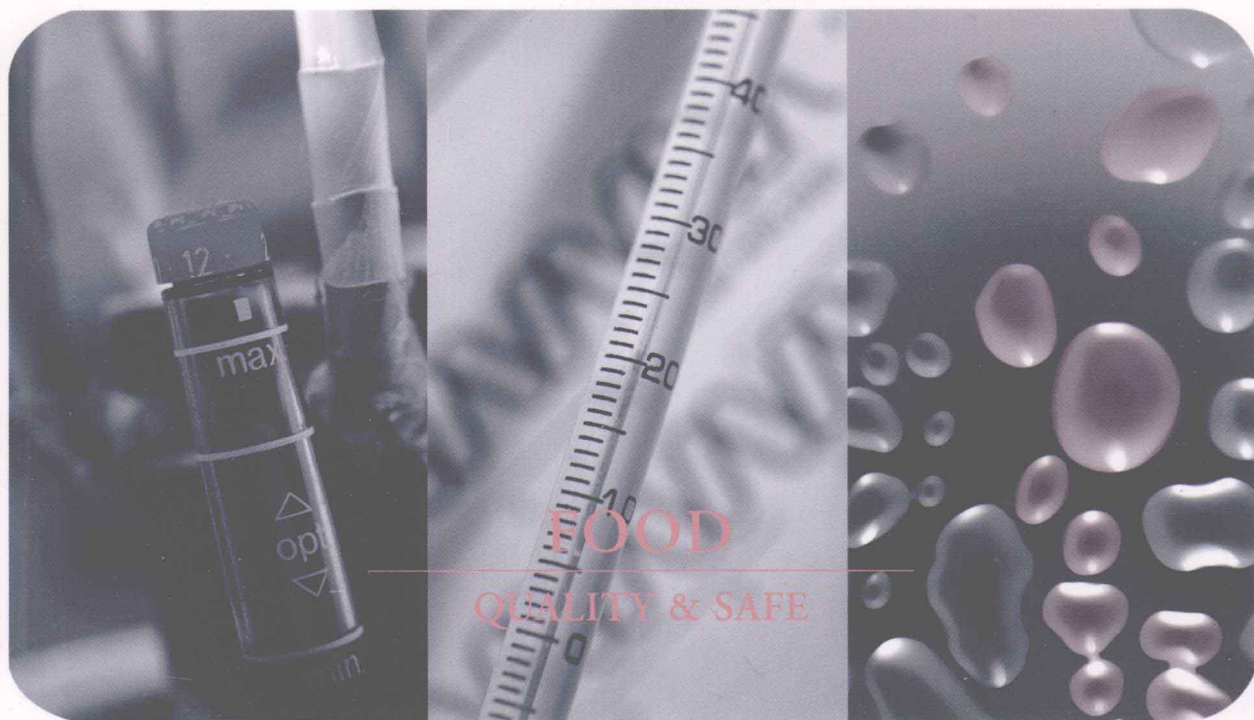


全国高等学校食品质量与安全专业适用教材
QUANGUO GAODENG XUEXIAO SHIPIN ZHILIANG YU ANQUAN ZHUANYE SHIYONG JIAOCAI

食品 免疫学

宋宏新 主编

FOOD IMMUNOLOGY: PRINCIPLES AND TECHNIQUES



 中国轻工业出版社

全国高等学校食品质量与安全专业适用教材

食品免疫学

宋宏新 主 编

赵晓红 副主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品免疫学/宋宏新主编. —北京: 中国轻工业出版社,
2009. 4

(全国高等学校食品质量与安全专业适用教材)

ISBN 978-7-5019-6835-0

I. 食… II. 宋… III. 食品卫生学: 免疫学-高等学
校-教材 IV. R15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 009399 号

责任编辑: 马 妍

策划编辑: 李亦兵 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王培燕 责任校对: 燕 杰 责任监印: 马金路

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

印 刷: 河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22

字 数: 400 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6835-0 定价: 38.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60274J1X101ZBW

食品质量与安全专业教材编写委员会

主 任	西北农林科技大学	杨公明教授
副主任	湖南农业大学	夏延斌教授
	哈尔滨商业大学	马兴胜教授
	江苏大学	董英教授
	东北农业大学	刘宁教授
	河北科技大学	陈辉教授
	杭州商学院	邓少平教授
委 员	北京农学院	艾启俊教授
	西南农业大学	陈宗道教授
	南京农业大学	董明盛教授
	云南农业大学	葛长荣教授
	中国农业大学	何计国副教授
	南京经济学院	鞠兴荣教授
	莱阳农学院	姜连芳教授
	华南理工大学	李汴生教授
	大连轻工业学院	农绍庄教授
	上海水产大学	宁喜斌副教授
	江南大学	钱和教授
	天津科技大学	阮美娟副教授
	吉林大学	孙永海教授
	吉林农业大学	沈明浩副教授
	浙江大学	沈建福副教授
	陕西科技大学	宋宏新教授
	中国海洋大学	汪东风教授
	郑州轻工业学院	王岁楼教授
	山西农业大学	王如福教授
	北京联合大学应用文理学院	张波教授
	河北农业大学	张伟副教授
	海南大学	易美华教授
	广西大学	文良娟副教授
	江苏大学	赵杰文教授
	中国海洋大学	林洪教授
秘书长	西北农林科技大学	樊明春教授

前 言

现代免疫学是生命科学的前沿学科，是研究复杂免疫系统活动规律的理论科学，又是紧密联系实际的应用学科。目前，进展迅速的领域是为分析研究和诊断提供重要的方法和工具，为人类疾病的预防治疗提供方法和依据。

本教材从食品科学和食品质量与安全专业的教学实际出发，从庞杂的免疫学中选取免疫学基础和应用免疫学两大部分。①免疫学基础知识注重系统简明够用为度，包括免疫系统（器官与细胞）、免疫分子（抗原、抗体、补体系统、细胞因子和 MHC），免疫系统的作用特点、方式和机理与调控，强化了以消化道为主的黏膜免疫、超敏反应与食物过敏、抗食源性感染免疫和食品营养与免疫内容；②免疫学应用以抗原抗体制备与免疫分析为核心，包括免疫凝集、沉淀和免疫细胞检测，保健食品增强免疫功能评价的基本原理与程序，突出了免疫标记技术（酶、同位素、荧光与发光、金胶标记）的原理与检测应用，结合食品科学阐述免疫学的应用，基础与提高并重，针对食品营养安全性分析检验需要与发展，既有传统经典方法，又有现代化的新技术（时间分辨率荧光、免疫 PCR、免疫芯片与传感器）介绍，体现一定的前瞻性。

本书注重免疫学与食品科学的交差融合，体现基本概念与理论的科学严谨，免疫技术的先进可靠和适用性良好，密切联系食品安全性检测控制实践。每章提供内容小结和复习思考题便于学习使用。

免疫学知识与理论博大精深，丰富多彩，作为微生物一部分，多关注抗感染免疫，而医学免疫学往往由于免疫相关临床疾病而内容十分繁复，从生物角度阐述免疫时，理论（分子与细胞机理）上涉及的知识深度、广度更多，而从食品科学角度如何选择内容还处于新的探索阶段，可借鉴的食品免疫学教材体系较少，作者尽量尝试，并凝结了一些自己近年在食品生物安全性免疫检测方面的研究思路，编成现在这样的一本以食品质量与安全专业为主要方向的免疫学教材。

本书的编写大纲经食品质量与安全专业教材编写委员审定，并由第四军医大学暨国家病原微生物与免疫学重点实验室医学博士李元教授审阅，由陕西科技大学生命学院宋宏新教授任主编，北京联合大学应用文理学院暨北京市生物活性物质与功能食品实验室赵晓红教授任副主编，编写分工是第二、五、六、七章由毛跟年编写，第三、四、十、十一章由薛海燕和宋宏新合编，第九、十三章由赵晓红、宋宏新和郭俊霞合编，第十四章由赵晓红和宋宏新合编，其余章节及全书的统稿由宋宏新完成。在书的编写、资料收

集及整理过程中，李红心、马娜、刘晓阳和韩燕等给予了极大的帮助，在此表示感谢。

本书可作为食品质量与安全、食品科学与工程、食品检验与分析、食品营养等相关专业的教学用书，也可供食品生产经营企业、食品药品检验监督管理与认证等部门参考。

本教材还存在许多问题与不足，望读者不吝指教。

编 者

2008 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 免疫学的基本内容	1
一、免疫的本质与功能	1
二、免疫应答的类型与特点	2
三、免疫系统的组成及功能	4
四、抗原和抗体及免疫反应应用	5
第二节 免疫学的发展及应用	6
一、免疫学的建立与发展	6
二、免疫学的应用	7
三、免疫学与食品科学	8
四、食品免疫学的教学内容与目标	9
第二章 免疫系统——免疫器官、免疫细胞和细胞因子	11
第一节 免疫器官	11
一、中枢免疫器官	11
二、外周免疫器官	13
三、淋巴细胞再循环	15
第二节 免疫细胞	16
一、淋巴细胞	16
二、抗原递呈细胞（APC）	25
三、其它免疫细胞	27
第三节 细胞因子	29
一、细胞因子概述	29
二、细胞因子的种类	30
三、细胞因子的生物学功能	31
第三章 抗原	34
第一节 抗原的基本概念	34
一、抗原的免疫原性和免疫反应性	34
二、抗原的理化特征与分类	35
第二节 抗原的免疫特征	39

一、抗原特异性与抗原决定簇	39
二、半抗原的免疫特征	42
三、抗原的类属性（交叉性）	44
第三节 感染性抗原	45
一、细菌	46
二、病毒	49
第四节 超抗原和免疫佐剂	50
一、超抗原	50
二、免疫佐剂	52
三、食品中的抗原物质	53
第四章 抗体	56
第一节 抗体的结构与功能	56
一、抗体的基本结构	56
二、可变区和恒定区	58
三、抗体的功能区及其功能	59
四、Ig 的水解片段	60
五、抗体的抗原性	61
第二节 抗体的分类及其生物学功能	62
一、五类抗体分子的功能及特点	63
二、抗体的生物学功能	65
第三节 抗体的基因及表达	67
一、抗体的基因及表达	67
二、抗体的多样性与多克隆抗体	70
第四节 其它 Ig 简介	72
一、其它哺乳动物 Ig 简介	72
二、乳中的免疫球蛋白	73
三、禽类 Ig 简介	75
第五章 补体系统与主要组织相容性复合体	79
第一节 补体系统概述	79
一、补体系统的组成	79
二、补体系统的命名	80
三、补体成分的理化特性	81
第二节 补体系统的激活调节与生物学作用	81
一、经典激活途径（或传统途径）	82
二、补体活化的凝集素途径	84

三、替换激活途径（或旁路途径）	84
四、膜攻击复合体的形成	85
五、补体激活的三条途径的比较	86
六、补体系统激活的调节	86
七、补体系统的生物学作用	87
第三节 MHC 的基因和 HLA 分子的结构与功能	89
一、MHC 的基因组成	89
二、HLA 分子的结构	90
三、HLA 抗原的分布	91
四、HLA 的生物学功能	92
第六章 免疫应答	96
第一节 概述	96
一、免疫应答的基本概念	96
二、免疫应答的场所	98
三、免疫应答的基本过程	99
第二节 抗原递呈	99
一、抗原的浓缩	99
二、APC 对抗原的加工、处理和递呈	100
第三节 细胞免疫应答	102
一、T 细胞对抗原的识别	102
二、T 细胞的活化、增殖与分化	102
三、T 细胞介导的免疫效应	103
第四节 体液免疫应答	107
一、B 细胞对 TD 抗原的免疫应答	107
二、B 细胞对 TI 抗原的免疫应答	109
三、体液免疫效应	110
四、抗体产生的一般规律	111
第五节 免疫应答的调节	112
一、分子水平的调节	112
二、细胞水平的调节	114
三、神经内分泌系统的调节	116
第七章 消化道黏膜免疫	119
第一节 黏膜免疫系统	119
一、黏膜免疫系统的构成	119
二、黏膜免疫系统的功能	120

三、SIgA 在黏膜免疫中的地位和作用	120
第二节 消化道微生物菌群及其作用	121
一、消化道微生物菌群的分类	121
二、消化道微生物菌群的生理功能	122
第三节 消化道黏膜的免疫功能	122
一、消化道的结构与免疫系统	122
二、消化道黏膜免疫应答	125
三、消化道免疫与疾病	127
四、益生菌与消化道免疫	129
第八章 食源性感染免疫及免疫预防	132
第一节 机体的抗感染免疫	132
一、食源性感染及其免疫	132
二、黏膜及消化道免疫保护作用	133
三、非特异的细胞与体液免疫作用	135
四、特异性免疫的抗感染作用	136
第二节 病原微生物的致病性	137
一、黏附与定植	137
二、毒素	138
三、真菌及其毒素的致病性	139
四、细胞内寄生微生物的致病作用	140
第三节 食源性感染疾病与病原防控	142
一、常见食源性感染疾病与病原的特征	142
二、食源性病原生物学研究及其预防控制	145
三、食源性病原微生物的检测	148
第四节 免疫预防及应用	152
一、人工免疫	152
二、疫苗	153
三、免疫预防与食源性传染病的预防	155
第九章 超敏反应与食物过敏	159
第一节 概述	159
第二节 各型超敏反应	160
一、I 型超敏反应	160
二、II 型超敏反应	163
三、III 型超敏反应	164
四、IV 型超敏反应	165

五、各型超敏反应比较及防治原则	167
第三节 食物过敏及预防	169
一、食物不良反应与食物过敏	169
二、食物过敏原及易引起过敏的食物	170
三、食物过敏的机理及临床表现	173
四、食物过敏的治疗与预防	176
第十章 抗原和抗体的制备与应用	179
第一节 天然抗原的制备	179
一、抗原制备概述	179
二、颗粒天然抗原的制备	179
三、可溶性抗原的分离和纯化	184
第二节 人工抗原的制备	186
一、半抗原与人工抗原载体	186
二、半抗原与载体连接方法	187
三、半抗原与蛋白质载体连接物的分析鉴定	192
四、免疫用抗原的处理与佐剂	193
第三节 多克隆抗体的制备	194
一、用于免疫的动物	194
二、免疫剂量、时间和途径	196
三、动物血液或腹水的采集方法	198
四、抗血清的分离和保存	199
第四节 抗体的纯化和鉴定	200
一、除去杂抗体的方法	200
二、特异性 IgG 抗体的分离制备	201
三、免疫球蛋白片段的制备	202
四、抗血清及纯化抗体的鉴定	203
第五节 单克隆抗体的制备及抗体应用	205
一、单克隆抗体概述	205
二、单克隆抗体制备	206
三、抗体应用与基因工程抗体简介	209
第十一章 抗原抗体反应与非标记免疫分析	214
第一节 抗原抗体反应原理	214
一、抗原抗体反应的机理与规律	214
二、常用免疫分析技术概述	218
第二节 免疫凝集反应	221

一、直接凝集反应	222
二、间接凝集反应	222
三、间接血凝试验	224
第三节 沉淀反应	226
一、液相内沉淀反应	226
二、免疫浊度试验	227
三、凝胶内沉淀试验	229
第四节 免疫电泳技术	231
一、免疫电泳	231
二、火箭免疫电泳	232
三、对流免疫电泳	233
第五节 补体结合与中和试验	233
一、补体结合反应	233
二、中和反应	235
第十二章 免疫标记技术及分析应用	239
第一节 免疫标记技术概述	239
一、免疫标记技术原理与种类	239
二、抗体（抗原）的标记与检测	240
第二节 酶免疫标记技术	241
一、抗体与抗原的酶标记	241
二、免疫酶技术的主要类型与应用	246
三、酶联免疫吸附实验（ELISA）原理	249
四、ELISA 常用技术类型	250
五、ELISA 的实验操作与应用	253
六、生物素-亲和素（链霉亲和素）系统	255
第三节 放射免疫标记技术	256
一、放射标记与检测	257
二、放射免疫分析	257
第四节 免疫荧光与发光技术	258
一、分子发光的概念	258
二、免疫荧光技术	259
三、发光免疫分析技术	263
第五节 免疫胶体金标记技术	265
一、胶体金标记技术	265
二、免疫胶体金的应用	266

第六节 免疫技术新进展	268
一、免疫-PCR	268
二、免疫传感器	269
三、免疫芯片	271
第七节 免疫分析在食品质量与安全检测中的应用	272
一、食品分析检验与免疫分析	273
二、用于免疫分析的食品样品准备与处理	274
三、农药残留的免疫分析	276
四、兽药与兽药残留免疫分析方法特点	278
五、食品污染真菌毒素的免疫学测定	279
第十三章 细胞免疫检测技术	283
第一节 概述	283
一、免疫细胞的种类与检测	283
二、细胞表面分子及其检测技术	283
第二节 免疫细胞的分离与纯化	285
一、淋巴细胞的分离概述	285
二、单个核细胞的分离	286
三、T 细胞、B 细胞分离	287
四、T 细胞亚群的分离	288
第三节 免疫细胞鉴定与功能检测	288
一、T 细胞检测	288
二、B 细胞检测	291
三、其它免疫细胞检测	293
第四节 流式细胞检测技术	294
一、流式细胞检测仪的基本结构	294
二、流式细胞检测仪的工作原理	296
三、流式细胞检测仪在免疫学中的应用	297
第十四章 食品营养与免疫	301
第一节 营养免疫学	301
一、营养免疫学的概念	301
二、蛋白质、脂类及多糖与免疫	302
三、维生素与免疫	307
四、微量元素与免疫	311
五、核酸与核苷酸与免疫	315
六、植物化学物质与免疫	315

第二节 增强免疫功能的食品	318
一、增强免疫功能的食品及其作用机理	318
二、增强免疫功能食品的原辅材料与成分	319
三、增强免疫功能食品的生产与监控	321
四、增强免疫功能食品的检测及评价	321
第三节 增强免疫功能食品的功能评价	322
一、功能评价的依据与内容	323
二、增强免疫功能评价的实验项目与试验原则	323
三、免疫调节作用的检验方法	324
四、实验结果判定	326
参考文献	329

第一章 绪 论

免疫学 (immunology) 是研究机体免疫系统 (免疫器官、免疫细胞和免疫分子) 的组织结构和生物学 (生理性和病理性) 功能的科学。免疫是生物体识别和排除抗原异物达到维护自身生理的平衡和稳定。以抗原抗体反应为基础的各种免疫技术发展迅速, 广泛应用于医学和生物学研究领域的定性、定量和定位, 因其高度特异性和灵敏性 (可达 $10^{-12} \sim 10^{-9}$ g 水平), 尤其适于复杂体系的分析检验。

第一节 免疫学的基本内容

一、免疫的本质与功能

1. 免疫的本质

免疫 (immune) 一词来源于拉丁语中的 “immunis”, 原意是免税, 引申为免除疾病。经典的免疫或称免疫力、免疫性 (immunity) 是指机体抗感染的防御能力。当机体接触抗原性异物后, 通过产生保护性生理反应, 以排除这些异物。人们对免疫机能的这一认识是在与病原微生物感染的长期斗争中产生的。但这种概念是陈旧的, 无法解释医学中遇到的很多问题。例如, 对青霉素过敏者使用青霉素后出现的变态反应, 同种异体进行器官移植时出现的排斥反应等都属于典型的免疫学反应。

近代免疫的概念是指机体对 “自己” 或 “非己” 物质的识别, 并排除非己物质的各种反应性。当抗原性异物进入机体后, 机体能识别 “自己” 或 “非己” 物质, 并通过特异性免疫应答排除非己的抗原性物质, 保持机体内环境的稳定。正常机体对自身组织不发生免疫应答而形成免疫耐受。

免疫学是研究免疫系统静态的结构和功能及动态免疫应答过程, 阐明机体是如何区分 “自己” 和 “非己” 获得防御功能及可能致疾病的过程和机制。

2. 免疫的基本功能

机体的免疫功能是免疫系统对非己的抗原性物质产生的各种生物学效应, 包括免疫防御、免疫稳定和免疫监视 (见表 1-1)。

(1) 免疫防御 (immunologic defence) 是指机体防御病原微生物感染的功能。但在异常情况下, 免疫反应性过高时可引起超敏反应, 免疫反应性过低时可引起免疫缺陷病。

表 1-1

免疫系统的基本功能及其表现

功 能	正常免疫	异常免疫
免疫防御	防御病原微生物的侵袭	发生超敏反应、免疫缺陷病
免疫稳定	消除损伤或衰老的细胞	识别紊乱造成自身免疫性疾病
免疫监视	防止细胞癌变或持续性感染	导致肿瘤或持续性感染

(2) 免疫稳定 (immunologic homeostasis) 是指机体的免疫系统能够通过各种生物学效应经常清除体内出现的损伤或自然衰老的细胞, 以维护机体的生理平衡和自身稳定。若此功能失调, 就会出现识别紊乱, 导致自身免疫性疾病。

(3) 免疫监视 (immunologic surveillance) 是指机体的免疫系统能够识别、清除复制错误或突变细胞。免疫监视功能失调时, 可导致肿瘤的发生或持续性感染。

二、免疫应答的类型与特点

免疫应答 (immune response) 是指免疫活性细胞对抗原分子的识别、自身活化 (或失去活化潜能)、增殖、分化及产生效应的全过程。机体能够通过免疫应答保护自己不受外来抗原的侵害, 其保护机制一般是通过两类免疫应答完成的。根据免疫应答的特点可分为非特异性免疫应答和特异性免疫应答两类。

1. 非特异性免疫应答

非特异性免疫应答 (non-specific immune response) 又称固有性免疫应答 (innate immune response)。机体针对非己的抗原性物质发生应答反应的能力是生来就有的, 这一特性又称自然免疫性 (natural immunity) 或先天免疫性 (innate immunity), 是体内始终存在的免疫防御机制。当病原体如细菌、真菌及胞内寄生虫等侵入体内后, 这一机制能够首先并迅速起到防御作用。非特异性免疫应答的途径包括: 皮肤、黏膜的物理性阻挡作用; 吞噬细胞对病原体的吞噬作用; 自然杀伤 (natural killer) 细胞对已被病毒感染靶细胞产生的杀伤作用; 局部细胞分泌的抑菌、杀菌物质的化学作用, 如 α 、 β 、 γ 干扰素及其它白细胞分泌的细胞素、血清中的补体成分和溶菌酶等。非特异性免疫应答能够在病原体感染早期 (数分钟至 96h 内) 起到防御作用, 但该种类型的免疫应答对病原体没有严格的选择性, 对侵入体内的多种病原体均有吞噬、杀伤等防御作用。

2. 特异性免疫应答

特异性免疫应答 (specific immune response) 又称适应性免疫应答 (adaptive immune response)。机体针对非己的抗原性物质发生应答反应的能力是后天形成的, 当机体与外来抗原接触之后才能获得, 这一特性也称获得免疫性 (acquired immunity) 或适应免疫性 (adaptive immunity)。执行特异性免疫应答的细胞是 T 淋巴细胞 (简称 T 细胞) 和 B 淋巴细胞 (简称 B 细胞)。T 细胞、B 细胞识别病原体后发生活化, 活化后并

不立即表现防御功能,而是经过4~5d的免疫应答过程转变成效应细胞后,才对已被识别的病原体产生杀伤或清除作用。特性免疫应答是继非特异性免疫应答之后发挥效应的,在最终清除病原体、促进疾病治愈、以及防止再次感染中起主导作用。机体免疫系统的这一功能对诱发的抗原具有特异性。从生物进化系统来看,非特异性免疫在最低等的无脊椎动物就存在,而特异性免疫是脊椎动物才有的,而且是随着进化程度的提高逐渐趋于完善的。非特异性免疫机制在无脊椎动物和脊椎动物中都有。特异性免疫与非特异性免疫的关系见图1-1。

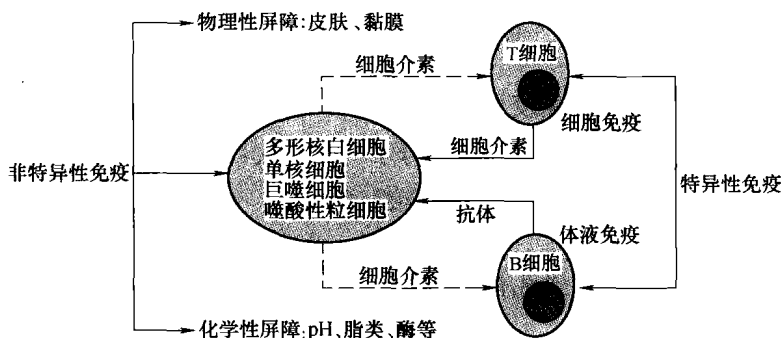


图1-1 特异性(获得性)免疫与非特异性(先天性)免疫的关系

特异性免疫应答和非特异性免疫应答是机体对外来抗原进行抵御、清除的两类重要机制,尽管在免疫应答过程中发挥作用的场所、时间、方式和作用等有所不同,但两者相互联系、相互影响,缺一不可。

3. 特异性免疫应答的特点

与非特异性免疫应答相比,特异性免疫应答具有如下几方面的特点:

(1) 特异性 机体免疫系统对抗原的免疫应答是针对抗原的不同分子结构发生的,而不是随机的,一个细胞克隆的受体只能与一种相应的抗原决定簇(antigenic determinant)结合而诱发免疫应答。

(2) 适应性 体内有多种多样的细胞克隆,能够与各种各样分子结合,对这些不同结构的抗原分子做出特异性免疫应答。体内特异性细胞克隆数量多达 10^{10} 以上。

(3) 识别“自己”与“非己”的特性 免疫系统能够识别、清除“非己”抗原,而对自身成分表现耐受。但是当某些原因致使“自身成分”成为机体识别的抗原时,机体则会发生自身免疫应答。

(4) 记忆性 免疫系统能够通过淋巴细胞表面表达的分子识别“自己”与“非己”。首次进入机体的抗原分子能被淋巴细胞所记忆,当记忆性淋巴细胞再次遇到相同抗原分子时便会作出更快和更强的应答。记忆性淋巴细胞在体内存活时间可达几年甚至几