



肥育猪

饲料配方设计技术

王继华 王绥华 刘 伯◎著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

1. ① 2828

王继华 王绥华 刘 伯 著

820001 植物 科学 科兴发市京生 批 出

260500

工业学院图

1998年12月10日

2000

1990年12月10日

精

藏書

圖書集成

2013年5月第1版 2013年5月



科学技术文献出版社

SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

肥育猪饲料配方设计技术/王继华,王绥华,刘伯著. —北京:科学技术文献出版社,2013. 2

ISBN 978-7-5023-7380-1

I. ①肥… II. ①王… ②王… ③刘… III. ①猪-肥育-饲料-配制

IV. ①S828. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 135966 号

肥育猪饲料配方设计技术

策划编辑:孙江莉 责任编辑:孙江莉 责任校对:赵文珍 责任出版:张志平

出 版 者 科学技术文献出版社

地 址 北京市复兴路 15 号 邮编 100038

编 务 部 (010)58882938,58882087(传真)

发 行 部 (010)58882868,58882866(传真)

邮 购 部 (010)58882873

官方网址 <http://www.stdp.com.cn>

淘宝旗舰店 <http://stbook.taobao.com>

发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者 富华印刷包装有限公司

版 次 2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

开 本 850×1168 1/32 开

字 数 315 千

印 张 12.75

书 号 ISBN 978-7-5023-7380-1

定 价 33.00 元



版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

前 言

我国的配合饲料产量,2011年是1.81亿吨,其中猪饲料产量6830万吨。从绝对量上看,我国饲料产量与美国相当,可是我国的人口多,预计到2015年我国将达到欧美现在的人均水平。2011年我国饲料加工企业有10915家,饲料企业年末职工人数为68.2万人,大专以上学历的职工数为27万人,占职工总人数的39.5%。其中,博士1853人,硕士8038人,大学本科85488人,大学专科173149人,其他学历413379人,技术工种68797人。

饲料产业这块巨大的蛋糕怎么瓜分?这是个很复杂的问题。但是一个比较公认的结论是,众多饲料厂家会在竞争中集中,形成一些饲料业巨头垄断的局面。最终花落谁家,关键问题就是饲料产品的科技含量。

在养猪生产中饲料成本约占70%,其中生长肥育猪料约占75%。目前已有不少提供现成饲料配方的书籍出版,本书附录中也给出了一些实用的饲料配方。但需要说明的是,这些现成的饲料配方,并不是最佳的饲料配方。只有根据饲养的猪群遗传性能、生理状况、饲养管理、设备条件,尤其是从饲料原料状况设计的饲料配方,才是最适合饲养猪群的最佳饲料配方。所以对于猪场来说,研究生长肥育猪饲料配方的设计技术也具有重要经

济价值。

近年来,猪营养与饲料研究飞速发展,本书重点介绍了与设计饲料配方有关的肠道营养、免疫营养、微生态平衡、营养平衡的机制和内涵、热应激下的营养、猪胴体质量的营养调控等方面的发展,希望能为饲料界和养猪界同行提供一个比较系统的参考。

本书原是讲稿,写作时间长,许多参考文献已经无法找到出处;有些资料是上网搜索得来,得到时就没有作者署名,我们只有在此向原作者表示感谢和歉意;同时,对于多年来为本书的修改和充实提出意见和建议的养殖界、饲料界的同行表示衷心的感谢。本书出版过程中,得到孙江莉副编审的大力支持,在此一并致谢。

限于作者的学识和技术水平,书中难免不足甚至错误之处,恳望读者不吝赐教。

王继华

电子信箱:hdwangjihua@126.com

2012年5月1日于河北工程大学动物科学系

目 录

第 1 章 肠道的营养生理	(1)
第 1 节 肠道防御系统	(2)
第 2 节 肠道的营养特点	(11)
第 3 节 肠道微生物生态平衡的调控	(25)
第 2 章 猪的采食量及其调控	(43)
第 1 节 生长猪的采食量	(43)
第 2 节 猪采食量的生理调控	(63)
第 3 节 猪的日粮纤维	(72)
第 4 节 饲料适口性的调控	(95)
第 3 章 生长猪的营养需要量	(108)
第 1 节 能量需要量	(109)
第 2 节 蛋白质需要量	(131)
第 3 节 氨基酸需要量	(152)
第 4 节 矿物质需要量	(168)
第 5 节 维生素需要量	(178)
第 4 章 热应激时的营养调控	(193)
第 1 节 热应激现象	(193)
第 2 节 热应激的发生机理	(207)
第 3 节 调控热应激的营养方案	(215)

第 4 节	热应激时饲料原料的选择·····	(222)
第 5 节	抗热应激的添加剂·····	(225)
第 5 章	猪肉质量的营养调控·····	(238)
第 1 节	猪肉质量·····	(238)
第 2 节	猪体的脂肪代谢·····	(253)
第 3 节	饲料营养对猪肉品质的影响·····	(265)
第 6 章	用 Excel 优化饲料配方·····	(297)
第 1 节	“规划求解”工具的安装和使用·····	(298)
第 2 节	配方调整及优选·····	(311)
第 3 节	规划求解结果的处理·····	(315)
第 4 节	规划求解选项的设置·····	(323)
第 5 节	浓缩饲料的配方设计·····	(328)
附录 1	猪对各种饲料原料的消化率·····	(334)
附录 2	中国瘦肉型猪饲养标准(2004)·····	(343)
附录 3	National Swine Nutrition Guide(NSNG,2010)推荐的营养供给量·····	(349)
附录 4	猪饲料有效成分估测模型(INRA,2004)·····	(365)
附录 5	肥育猪饲料常用原料用量·····	(390)
附录 6	生长肥育猪饲料配方·····	(391)
附录 7	大宗原料的抗营养因子与适口性·····	(398)

第 1 章 肠道的营养生理

动物为了维持生命及生长、发育、繁殖和生产的需要,每天必须采食一定数量的饲料。饲料中含有动物需要的各种养分,包括能量、蛋白质、碳水化合物、粗脂肪、矿物质、维生素和水等,其中水、无机盐和维生素的结构比较简单,可以直接被猪吸收利用,而蛋白质、脂肪和碳水化合物一般都是大分子物质,结构比较复杂,不能直接被猪吸收利用,它们必须在猪的消化道内分解为简单的小分子物质,才能被猪吸收利用。食物在消化道内的这种分解过程叫做消化。食物经过消化后,通过消化道壁的黏膜进入血液循环的过程叫做吸收。消化和吸收是两个密切联系的过程,完整的消化概念包括这两个过程。

营养物质的消化和吸收主要在胃肠道中进行。肠道结构与功能的完整性、酶的分泌能力、小肠黏膜的吸收能力和肠道微生物系统等是动物消化、吸收功能的基础。

肠道不仅仅是消化吸收场所,也是机体最大的排毒器官,更是内外屏障与免疫器官,肠道健康是动物营养的前提和基础。动物的肠道健康包括肠道的结构和功能、肠道的生化与免疫、肠道的生态等几个大的方面。作为一个消化吸收器官,肠道存在一些与众不同的代谢、生理特点。如果我们能周全地考虑和利用这些特点,则肠道的结构和功能就会比较健康,进而肠黏膜的屏障作用和肠道的消化-吸收机能等就会变得强大。

要充分认识到肠道营养的极为重要性。肠道营养决定肠道健康,肠道健康决定整体健康,就是说,营养才是健康养猪生产的基

础和保障。猪的小肠全长可达 15~20 米,总面积达 1 千平方米;肠道是猪体最大免疫器官,60%以上的免疫细胞,70%~80%的免疫球蛋白合成细胞在胃肠道;肠道微生物是体细胞数的 10 倍,肠道微生态平衡对于物质消化、免疫、物质能量代谢十分重要;肠道的蛋白质周转和能量消耗占整体的 20%~35%,是肌肉的 10~30 倍;小肠黏膜 1~2 天就完成一次更新。

小肠(包括十二指肠、空肠、回肠,是营养物质的主要消化吸收场所)优先代谢供能的物质是饲料里的氨基酸,尤其是谷氨酸、谷氨酰胺和天冬氨酸;大肠(包括盲肠、结肠、直肠,是无机盐、水分的主要消化吸收场所)优先利用的供能物质是挥发性脂肪酸,尤其是丁酸。

第 1 节 肠道防御系统

胃肠道是动物体与外界环境接触最大的器官,而胃肠道上皮提供了环境与动物体之间最大的黏膜屏障。小肠不仅能使养分在肠腔和血液循环系统之间进行交换,而且也能防止病原体穿过肠壁进入体内。因此,小肠具有一系列黏膜防御机制,根据其性质,这些防御机制大体上可以分为非免疫性和免疫性两种。

1 肠道屏障及其功能

猪的整体健康取决于肠道健康,肠道健康取决于肠道屏障功能的完整性(Bjarnason 等,2002),肠道营养是影响肠道屏障功能完整性的最重要因素。肠道营养的重点是肠道结构与功能的完善和肠道微生态环境的平衡。

Wu(1998)总结小肠的功能有:食物消化和营养运输(生命的基础);机体内环境和外环境分离的屏障(排除病原体和迁移内腔微生物进入循环);最大的淋巴器官(保护机体抵抗外源病原);代

谢转化(例如,氨基酸合成)等。

一般认为肠道健康有四道自然生理屏障(伍国豪,2004)。

- ① 肠黏膜屏障即机械屏障。主要是指黏液层、肠上皮层、紧密连接层、黏膜下固有层。黏液层由黏膜上皮细胞和黏液细胞分泌的凝胶状糖蛋白组成。
- ② 免疫屏障主要是指上皮内淋巴细胞、派尔集合淋巴小结、肠上皮的识别功能、M细胞、肠道免疫球蛋白。肠道黏膜是身体最大的黏膜免疫器官。黏膜是多种病原微生物的侵入门户,机体约有70%的感染发生在黏膜上。黏膜接触抗原后局部可产生各类抗体并分泌于分泌液中,其中起防御作用的是sIgA。sIgA是存在于肠道、呼吸道、鼻腔等表面黏膜的分泌型免疫球蛋白,对机体局部免疫及保护肠道和呼吸道黏膜有重要作用。可阻止或抑制病原微生物黏附,可与溶菌酶共同作用溶解细菌、中和病毒以及免疫排除作用。
- ③ 生物屏障主要是指微生态系统,微生态平衡的主要作用是维持肠道离子平衡、降低肠道pH值、激活肠道免疫系统活性、促进营养素消化吸收。肠道微生态环境取决于黏膜结构的完整性、微生物的组成与分布、食糜的理化性质(T, pH)、渗透压和肠道运动与排空。
- ④ 化学屏障主要是指胃酸、胆汁、各种消化酶、溶菌酶、黏多糖等。研究较多的为肠上皮细胞屏障和免疫屏障。目前认为,维持肠道屏障功能的主要因素是肠黏膜屏障。

肠道屏障功能不全的后果是病原微生物入侵(细菌内毒素、炎症介质、细胞因子导致肠黏膜水肿)、营养物质消化吸收障碍、日粮抗原过敏反应、肠黏膜缺血缺氧、自由基损伤肠黏膜细胞等。

影响肠道健康的因素主要有:

- ① 生理屏障。当黏液层退化、上皮细胞丧失或受到破坏,血管供应中断或免疫系统受损。
- ② 应激因素。抓猪、运输、过度拥挤等饲养管理因素。
- ③ 健康状况。球虫病、猪瘟、感染。
- ④ 日粮因素。原料性质、日粮不平衡、非常规原料、饲料微生物等。
- ⑤ 饲料毒素和有毒物质。霉菌及其毒素。

⑥菌群失调。往往不表现临床症状,而生产与效益受损。

维持肠道健康容易产生的误区有:过分依靠抗菌药物的促生长作用;过分依赖抗菌药物的防下痢作用;完全忽视抗菌药物对肠道健康的负作用;完全忽略呼吸道的疾病对饲料效果的影响,认为呼吸道疾病是养殖户自己的问题;完全忽略寄生虫病对饲料效果的影响;对免疫促生长剂的误解。

日粮是保障肠道健康的最重要途径。配方师应掌握原料及其加工、营养平衡、微生态制剂和酸化剂、酶制剂和肠道损伤修复剂(例如,谷氨酰胺和丁酸钠)等对肠道的营养生理作用。

改善动物肠道健康的营养策略,见图 1-1 所示。

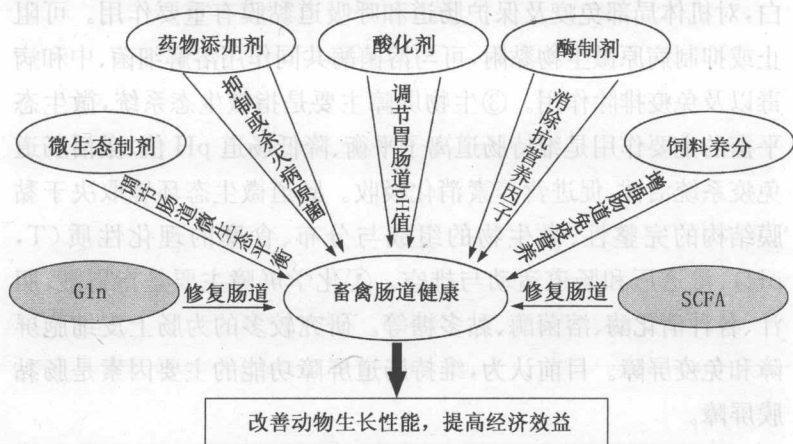


图 1-1 改善动物肠道健康的营养策略

2 非免疫性防御系统

肠道需要有强大的生化和免疫屏障。所谓肠道的生化屏障,是指由各种酶类和非酶类所组成的肠道抗氧化屏障;这是消除自由基、免除肠黏膜“氧化损伤”的重要屏障。而肠道的免疫屏障则指由免疫分子(如肠黏膜产生的分泌型 IgA)、免疫细胞(如黏膜内

淋巴细胞)以及免疫器官(如 Payer's 淋巴结或称贝尔结)、肠系膜淋巴结,以及网状内皮系统(RES)等共同组成的肠道免疫屏障(孙秀凤等,2008)。

胃是一个重要的非免疫性防御器官,胃的酸性环境极大地抑制了微生物的繁殖,减少了进入小肠的微生物数目。那些耐过胃的酸性环境而进入小肠的微生物,受到小肠中碱性环境(更有利于细菌的繁殖)的影响其数目增加,也增加了微生物附着在黏膜上皮上的可能性。为对付这些微生物的侵袭,动物在进化过程中形成了进一步的小肠免疫性防御机制。小肠的非免疫性防御机制,包括能杀死某些微生物的胆汁和能使细菌细胞壁降解的含有蛋白酶的胰液。上皮细胞本身也是屏障,单个肠细胞紧密结合,这可以阻止大分子的通过。另外,小肠绒毛上的肠细胞每 3~6 天更替一次,这进一步阻止了病原微生物在肠道中的定居和繁殖。肠蠕动会产生一种机械性清理作用,可以防止微生物在小肠上段上皮上的附着。杯状细胞分泌的黏液可以保护肠上皮的表面,也提供了一个能够捕获抗原的黏性基质。

3 肠道微生态系统

在讨论应激相关话题的时候,绝大多数研究人员将目光聚焦在体液代谢的酸碱平衡和离子平衡的改变方面,而忽视了应激对肠道微生物区系的影响以及如何通过改善肠道微生物平衡来缓解各种应激因素对动物生产性能造成的负面影响。

大肠及小肠的微生物群系是非免疫性防御的最重要部分。大肠中的环境:pH 近中性,厌氧条件,运动性减低。这种条件有利于大量正常菌群的繁殖和生长。除了为宿主动物本身提供营养以外,这些肠道固有细菌在维持肠道功能健康方面非常重要。正常菌群的最重要作用莫过于它能阻止侵入肠道中的病原微生物的定居(Hentges,1983),这种作用就是所谓的定居抗力(Colonization

resistance)。正常细菌产生定居抗力的机制包括:利己不利它的pH、与病原微生物竞争养分、竞争肠上皮上的附着点,并在局部产生细菌素。

虽然大肠的环境对宿主最为有利,但微生物依然要在胃、小肠和大肠中定居。在小肠中这些微生物群系存在于小肠上皮细胞表面、肠绒毛表面的黏液、隐窝和肠腔中。无论寄居何处,一般微生物群系相对稳定且由许多特定的种群组成。这些微生物群系是宿主动物的特征,在一定程度上也为宿主动物提供营养和内在环境。

(1)健康动物肠道内的微生物种类和数量都是很巨大,不同微生物在动物肠道内相互之间共存共生,处于动态的平衡关系,这就是微生态平衡。动物的饲料原料和养分、饲养管理、气候等都可以影响到微生态平衡,从而影响动物健康。

(2)猪的肠道内栖居了约14个属的400~600种、数量达 10^{14} 个微生物,是体细胞数的10倍,且它们广泛分布于各段肠道当中,其中以大肠部分(结肠、盲肠等)里微生物数量最多(Mackie R. I. 等,1999)。那么,这么多的微生物,它们有什么特点?可发挥哪些功能呢?关于这些问题,我们需要从微生态学角度来看。

(3)优势种群特点。从微生态学角度看,人和动物的体表及体内寄居着大量的正常微生物群,由这些正常微生物群与宿主、环境三者共同构成一个微生态系统。作为一个微生态系统,其中总存在一种或数种数量占绝对优势、对整个系统发挥决定和控制作用的微生物种群,我们称这些种群为“优势种群”。当然,如果“优势种群”是有益菌,它就可以发挥很多“益生作用”。

(4)菌膜屏障作用。生物屏障是指正常菌群有序地定植(或黏附)于黏膜、皮肤等表面或细胞间所形成的生物膜样结构(菌膜),其作用是:①通过占位竞争封闭了杂菌或有害菌的侵入定植(或黏附)生态位点。②通过营养竞争减少了其他杂菌或有害菌生存的

物质条件,最终限制其在表面的停留、生长和繁殖,称为“微生物屏障”。

(5)化学屏障作用。化学屏障是指乳酸杆菌、双歧杆菌等正常菌群的代谢产物,例如,有机酸(乳酸等)、肽类细菌素(如乳酸菌素)及过氧化氢等活性物质,可直接抑制甚至杀灭有害菌,阻止其生存及致病作用,称为“化学屏障”,见图 1-2 所示。

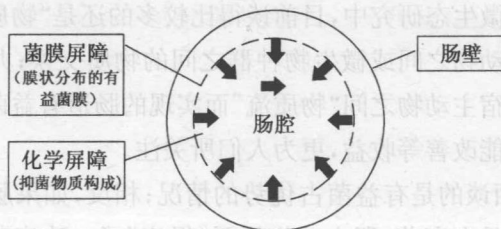


图 1-2 肠道黏膜屏障与化学屏障的示意图

(6)肠道有益菌的存在,对维护动物体基础的免疫力和肠黏膜巨大的绒毛面积等非常重要。例如,肠道有益菌群代谢产物中的免疫刺激物刺激动物的肠道黏膜免疫系统和系统免疫系统使宿主(猪)产生免疫力,所以肠道有益菌是动物基础免疫力产生和维持的源泉。①无菌动物的免疫系统是发育不全、功能低下的。引入致病性肠道细菌以后,正常的免疫结构和功能得以迅速恢复。其他实验也间接地为这种现象提供了证据。②益生菌能促进机体免疫器官的生长发育成熟,增加 T、B 淋巴细胞的数量,T 淋巴细胞接受抗原刺激后,激活、增殖和分化为成熟的 T 淋巴细胞,执行细胞免疫功能;B 淋巴细胞接受抗原刺激后,激活、增殖和分化为浆细胞,由浆细胞产生特异性抗体,发挥体液免疫功能,从而健全全身免疫系统,提高免疫功能。③在一项使用直接饲喂微生物的实验中,人们发现,免疫力提高时猪的生长速度也加快。④使用有效的益生菌产品,动物疾病的发生率和死亡淘汰率一般降低或恢复

得快一些,等。

(7)当然,活的肠道有益微生物,除了产生基础免疫刺激物质以外,还产生营养物质、有利于肠黏膜绒毛面积维护的物质等,这在微生物生态学中统称为“三流循环”理论。所谓“三流循环”是指微生物与宿主动物之间或微生物种群之间存在的基因流(如微生物之间耐药因子(质粒)的传递)、能量流和物质流的循环或交换。

在动物微生态研究中,目前谈得比较多的还是“物质流”,即微生物与宿主动物之间或微生物种群之间的物质交换;尤其是借助于微生物与宿主动物之间“物质流”而实现的肠道有益菌对动物健康与生产性能改善等收益,更为人们所关注。

(8)上面谈的是有益菌占优势的情况;相反,如果肠道微生物“优势种群”是有害菌,那么动物就要“得病”了。致病菌是通过产生毒素(bacterial toxin)和侵袭力(invasiveness)两个途径来导致疾病的(郝葆青等,2005)。其中的“毒素”本身有毒,是致病的“元凶”;而“侵袭力”本身无毒,但可突破宿主的生理防御屏障,是致病的“帮凶”。

益生菌是怎样发挥作用的呢?微生物生态学建立了五大理论来解释益生菌的作用机理。即:优势种群理论、菌膜屏障理论、化学屏障理论、“三流”循环理论和微生物“夺氧”理论。

在某种意义上,养猪就是养肠道。乳酸菌等肠道原籍菌是最好的益生菌,而芽孢则是益生菌产品抗逆性的源泉之所在,所以产芽孢的乳酸菌效果最好。凝结芽孢杆菌在美国、欧盟、日本是被批准作为饲料添加剂使用的产乳酸芽孢杆菌。

4 免疫性防御系统

肠道不仅是消化吸收的重要场所,也是动物体最大的免疫器官。肠道黏膜面积庞大,它的结构和功能构成了强大的黏膜免疫系统,加之在肠道中生存着大量的微生物菌群,致使外源细菌和病

毒很难突破这道防线而对动物产生危害,所以人们认识到肠黏膜与健康至关重要。

肠道免疫系统由肠上皮细胞、肠上皮内淋巴细胞、固有层淋巴细胞、派伊氏结、肠系膜相关淋巴结等肠道淋巴组织组成,也叫黏膜免疫系统。不过,完整的黏膜免疫系统(mucosal immune system, MIS),包括呼吸道、肠道及泌尿生殖道黏膜固有层和上皮细胞下散在的无被膜淋巴组织,以及某些带有生发中心的器官化淋巴组织,如扁桃体、小肠派氏集合淋巴结(Peyer's patches, PP)及阑尾等,由黏膜结合淋巴组织、致敏淋巴细胞散布途径和黏膜免疫效应部分构成。胃肠道黏膜免疫系统功能型组分有:上皮细胞间淋巴细胞群(intraepithelial lymphocyte, IEL)、M细胞(Membranous epithelial cell)、肠上皮细胞、分泌型 IgA(sIgA)。

胃肠道黏膜免疫系统特征有:①具有特殊的 PP。②具有特异的免疫分子介导的免疫反应和黏膜归巢(mucosal homing)。③是 IgA、IgB 细胞和记忆性 T 细胞定位的场所。④所分泌的免疫球蛋白主要是 sIgA 等。以上这些特征一方面使宿主不受病原体的伤害;另一方面使机体对普通的食物抗原和正常的微生物产生免疫耐受。

肠道上皮细胞(intestinal epithelial cell, IEC)具有三种功能,首先,最主要的功能是吸收食物中的营养成分;其次,由于肠道黏膜是机体和外界相通表面积最大的地方,此处的上皮细胞要接触大量的外界抗原,因此黏膜上皮构成了抵抗病原入侵的第一道防线;另外,IEC 不断地进行死亡和更新,因此可以清除因消化过程或有害环境病原所损伤的细胞;IEC 也是调节天然和获得性免疫的重要因子。消化道黏膜屏障是一种选择性屏障,允许营养性离子和大分子通过,而不允许病原物质和正常菌群通过。除作为一种生理性天然屏障以外,IEC 还可以分泌对细菌、病毒和寄生虫有害的化学物质。上皮细胞分泌的多肽,在肠腔表面和杯状细胞分

泌的糖蛋白一起促进细胞的修复过程,也可促进上皮层受损后的愈合过程。Kindon 等(1995)研究发现,多肽和糖蛋白可协同作战,阻止大量有害病原物质的入侵。IEC 可提供肠道表面受病毒、细菌、寄生虫入侵后启动和调节炎性反应的早期信号。

肠上皮内淋巴细胞(intestinal intraepithelial lymphocytes, IEL)是存在于肠黏膜上皮细胞间基侧膜表面的一类淋巴细胞,95.2%位于上皮基底部,3.7%位于上皮核层,1.1%位于顶端,这些主要为 CD₈ 型 G 细胞 IEL 参与免疫监视活动和第一线的防御,主要功能是发挥溶细胞活性。它能杀伤对 NK 细胞不敏感的靶细胞。IEL 还可阻止肠道中外源性抗原强大的致敏作用,诱导和维持经口免疫耐受。

固有层淋巴细胞(lamina propria lymphocyte, LPL)分布于血管和淋巴丰富的结缔组织中,其中 45%~50%为 B 细胞, T 细胞仅占 25%,含大量单核细胞、肥大细胞、NK 细胞及其他炎性细胞。LPL 细胞可以产生大量抗体,其大部分属于 IgA。免疫荧光标记可清楚地看到 LPL 的浆细胞中 70%~90%产生 IgA,仅有 18%产生 IgM。与其他器官相比肠固有层还有丰富的能产生 IgE 的细胞。LPL 所产生的各种免疫球蛋白在肠道局部体液免疫中发挥重要作用。

派伊氏结(Peyer's patch, PP)。派伊氏结在肠黏膜免疫中也起关键性作用,它是 M 细胞穹隆下所形成的淋巴滤泡。成熟 PP 中, T 细胞占 11%~40%, B 细胞占 40%~70%,还有 16%的淋巴细胞既不像 T 细胞也不像 B 细胞。外来抗原从 M 细胞进入 PP 后,经 CD₄ 阳性 T 细胞处理抗原可诱导 B 细胞增殖分化,转变成能产生细胞因子的细胞或浆细胞,产生分泌型免疫球蛋白。可见,对肠道途径的抗原, PP 是一个关键的调节部位。Pollard 等(1970)在动物实验中观察到,无菌动物的肠壁集合淋巴结很小,肠内有正常菌群定植后,肠壁集合淋巴结可以明显增大。胎儿出生