



栅栏技术在食品开发中的应用 (上)

莱斯特 (原著) (德国肉类研究中心, 库姆巴赫)

王 卫 (编译) (四川省畜牧兽医研究所, 成都 610066)

前言

本文在概要介绍栅栏技术 (Hurdle Technology) 基本原理的基础上, 探讨了应用这一技术开发卫生安全、可贮性佳、富于营养、风味独特的食品的可行性。并以肉制品为重点概述在新产品开发和传统产品改进中如何将栅栏技术 (HT, 主要应用于产品设计) 与关键危险点控制法 (HACCP, 主要用于加工管理) 和微生物预报技术 (Predictive Microbiology, 主要用于加工优化) 结合, 最后提出了将其应用于食品设计中的原则。本文分上下两篇, 上篇主要内容包括栅栏效应、栅栏技术、内平衡、食品的防腐保质栅栏、食品的总质量以及各类食品中栅栏技术的应用。

一、栅栏技术与食品防腐

1. 栅栏效应及其栅栏技术

食品要达到可贮性和卫生安全性, 其内部必需存在能阻止残留的致病菌和病原菌生长繁殖的因子, 这些因子即主要是加工防腐方法, 例如 F (高温处理)、t (冷藏冻结)、aw (降低水分活性)、pH (酸化)、Pres (防腐剂处理) 等。我们将这些因子称为栅栏因子 (Hurdles), 这些因子及其互作效应决定了食品微生物稳定性, 这就是栅栏效应 (Hurdle Effect), 其基本原理可用图 1 来说明。

图 1 例举了 8 个例子, 例 1 是理论化栅栏效应模式。某一食品内共含具同等强度的 6 个栅栏因子, 残存的微生物最终未能逾越这些栅栏, 因此该食品是可贮和卫生安全的。例 2 则较为贴近实际, 食品中起主要作用的栅栏因子是 aw (干燥脱水、添加 aw 值调节剂) 和 Pres

(亚硝酸盐等), 5 个栅栏因子互作已能保证食品的可贮性。如果食品内初始菌量很低, 例如无菌包装生产的鲜肉, 则只需少数栅栏因子即可有效抑菌防腐。这就是例 3 的情形。反之, 如果卫生条件恶劣等造成高初始菌量 (例 4), 或食品富含营养导致微生物具较强生长势能 (例 5), 产品内的栅栏因子就不足以有效抑菌防腐, 必须增强栅栏因子强度或增加新的因子。例 6 是一些经热加工处理的不完全杀菌食品内的情况, 这时细菌芽胞尚未受到致死性损害, 但已丧失了活力, 因而较少而作用强度较低的栅栏就能起到有效抑制作用。然而食品的稳定性还与加工和贮藏密切相关。如果食品在加工或贮藏时逐渐干燥, 则 aw 栅栏则随时间推延而作用强度增强, 于是产品微生物稳定性逐步改善, 而有的产品中的栅栏又可能随时间推延逐渐减弱, 例如听装的腌肉制品在贮存过程中其亚硝酸盐的消失导致 Pres 栅栏的抑菌效能不复存在。在不同食品中, 其微生物稳定性是通过加工及贮藏阶段各栅栏因子之间以不同顺序作用来达到的, 例 7 是研究得出的发酵香肠中栅栏效应顺序图。食品中各栅栏因子之间具协同作用, 简言之, 两个或两个以上因子的作用强于这些因子单独作用的累加, 例 8 所表明的即是这种协同作用的例子。

栅栏效应是食品保藏的根本所在, 对一种可贮而卫生安全的食品, 其中 aw、pH、t、Pres 等栅栏因子的复杂交互作用控制着微生物腐败、产毒或有益发酵, 这些因子互作对食品的联合防腐保持作用, 我们将其命名为栅栏技术, 或称为障碍技术 (Hurdle Technology)。有关栅

栏技术及其在食品设计、加工控制、产品开发等中的作用将在下文进一步探讨论述。

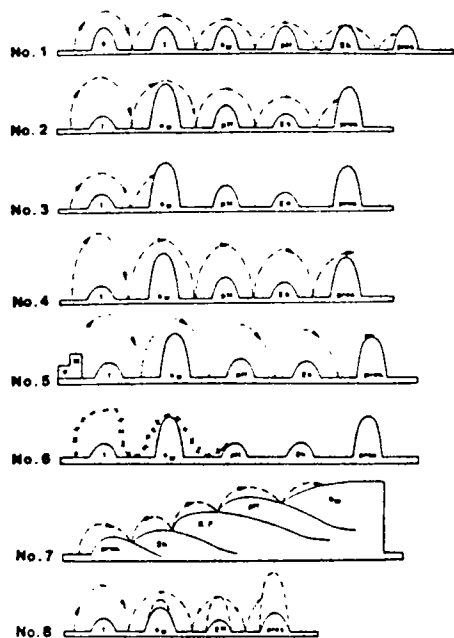


图1 栅栏效应 (Hurdle Effect) 模式图, 图中代号:

F—高温处理; pH—酸化; aw—降低水分活性;

t—低温冷藏; Pres 防腐剂; N—营养物;

Eh—降低氧化还原值; c、f—竞争性菌群;

V—维生素

2. 内平衡和栅栏技术

食品防腐中值得注意的一个重要现象是微生物的内平衡(Homeostasis)。内平衡是微生物处于正常状态下内部环境的统一和稳定。例如, 无论是对高等细菌或一般微生物, 将内部环境pH值自我调节, 使之处于相对小的变动范围, 是保持其活性的先决条件。如果其内环境, 即内部平衡被食品中防腐因子(栅栏)所破坏, 微生物就会失去生长繁殖能力, 在其内环境重建之前, 微生物将处于停滞期, 甚至死亡。因此, 食品防腐就是通过临时或永久性打破微生物的内平衡而达到。

栅栏技术应用于食品防腐, 其可能性不仅

仅是根据食品内不同栅栏所发挥的累加作用, 更进一步是这些栅栏因子的交互效应性。如果某一食品内的不同栅栏是有效针对微生物细胞内不同目标, 即不同靶子, 例如针对细胞膜、DNA、酶系统、pH、aw或Eh, 从数方面打破其内环境平衡, 则可实现有效的栅栏交互作用。因此在食品内应用不同强度和缓的防腐栅栏, 通过这些栅栏的互效性使食品达到微生物稳定性, 比应用单一而高强度栅栏更为有效, 更益于食品防腐保质。这一食品内各栅栏针对微生物细胞内不同靶子, 从而发生共效作用的“靶共效防腐”技术, 可望成为大有前途的研究领域。

3. 食品的防腐保质栅栏

食品防腐上最常用的栅栏因子, 无论是通过加工工艺还是添加剂方式设置的, 仅少数几个, 例如F(高温处理)、t(低温冷藏), aw(降低水分活性), pH(调节酸度), Eh(降低氧化还原值), c、f(应用乳酸菌等竞争性微生物)和Pres(应用亚硝酸盐、山梨酸盐等防腐剂, 或烟熏等)。然而可应用的栅栏因子总计已在40个以上, 均可应用于保证食品微生物稳定性以及改善产品质量, 至今研究已确认的这些栅栏主要有:

温度: 高温或低温

pH: 高酸度或低酸度

aw: 高水分活度或低水分活度

Eh: 高氧化还原值或低氧化还原值

气调: 二氧化碳、氧气、氮气等

包装: 真空包装、活性包装、无菌包装、涂膜包装等。

压力: 高压或低压

辐照: 紫外、微波、放射性辐照等

物理加工法: 阻抗热处理、高电场脉冲、射频能量、振动磁场、荧光灭活、超声处理等

微结构: 乳化法、固态发酵法等

竞争性菌群: 乳酸菌等有益菌

防腐剂: 有机酸、乳酸盐、醋酸盐、山梨酸盐、抗坏血酸盐、异抗坏血酸盐、葡萄糖醛酸内脂、磷酸盐、丙二醇、联二苯、壳二糖, 游

离脂肪酸、碳酸、甘油月桂酸脂、螯合物、美拉德反应生成物、乙醇、香辛料、亚硝酸盐、硝酸盐、熏烟、臭氧、次氯酸盐、匹马菌素、溶菌酶、乳过氧化物酶、乳杆菌素、杆菌素等。

4. 食品的总质量

从栅栏技术概念上理解食品防腐技术,似乎仅侧重于保证食品的微生物稳定性,然而栅栏技术还与食品的总质量密切关联。正如动物或植物细胞脂质氧化受大量正负性内在和外在因素影响结果一样,栅栏技术不仅仅适用于保证食品卫生安全性,也保证其总质量。有的栅栏,例如在美拉德产品中的美拉德反应,就对产品的可贮性和质量都具重要性。食品中可能存在的栅栏将影响其可贮性、感官质量、营养性、工艺特性和经济效益。当然,存在的栅栏对产品的总质量可能是正影响,也可能是负影响,同一栅栏强度不同对产品的作用也可能是相反的。这种不同影响可用图 2 加以说明。例如 t (低温冷藏) 作为水果的防腐保质栅栏时,过快过低温有损于水果质量,而和缓冷却则有利。又如发酵香肠中, pH 值需降至一定限度才能有效抑制腐致菌,但过低则对感官质量不利。为保证产品总质量,栅栏及其强度应调控在最佳范围。

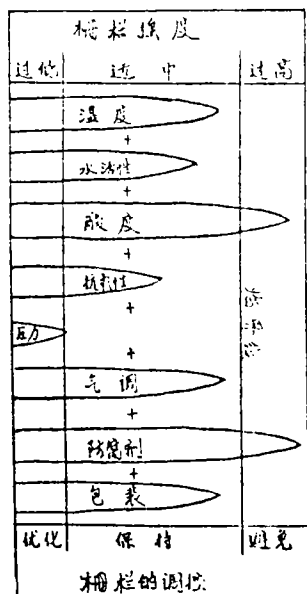


图 2 食品中栅栏对其总质量的影响模式图

二、栅栏技术的应用

食品的可贮性可通过二个或更多个栅栏因子的相互作用而得以保证,这些因子中任一单一的存在不足以抑制腐败微生物或产毒微生物。我们可将这些食品称为栅栏技术食品 (HTF; Hurdle Technology Foods)。HTF 食品虽遍及工业国和发展中国家,但至今为止,栅栏技术的应停留于凭经验式加工中,而未上升到理论可知阶段。现在这一理论的指出,再借助现代不断改进的监控设施和研究手段,其研讨和应用正逐步深入。

1. 凭经验式应用

传统的意大利蒙特拉香肠 (Mortadella) 是工业国在栅栏技术未上升至理论化前凭经验式应用的范例。蒙特拉香肠主要原辅料包括猪肉、猪肥膘、猪肚、食盐、奶粉、香辛料、糖和亚硝酸盐。绞制混合后肉馅灌入大径肠衣 (牛膀胱等), 蒸气热加工 35 小时至中心温度 78°C , 失重 10—15%, 成品 aw 0.95—0.94, 含盐量约为 3%。这是一种非致冷可贮的乳化型肉制品。由于热加工温度不很高,细菌芽胞未能被杀灭,但添加的食盐、糖、奶粉以及干燥脱水的共同调节,使产品 aw 值降至可抑制杆菌和梭菌的较低限,其可贮性和卫生安全性得到保证。令人惊奇的是使成品 aw 值控制在 0.95—0.94,是当地加工人员不具备理论知识前提下凭经验实现的。

另一发展中国家凭经验式应用栅栏技术的例子,是拉丁美洲的许多非致冷可贮性传统食品。由西班牙、阿根廷、巴西等十余个国家共同实施完成的一项称为 CYTED-D 的研究课题,对拉美地区 266 种源于水果、蔬菜、乳、肉、鱼和谷物的可非致冷贮藏的加工制品进行了系统的分析、评定和总结,研究成果已成书出版。结果表明,这些可贮性佳的产品多为半干水分食品 (IMF),也是凭经验式应用栅栏技术的 HTF 食品。书中全面总结了这些产品的主要防腐抑菌栅栏、常规成分、加工方法、以及食用方式。CYTED-D 项目的主要目的之一,是研究通过降低 aw 值,或者应用更多栅栏因子的

结合作用,提高本地产品的防腐性能。此技术已在听装水果罐头的防腐上显示出极大的应用潜力。这一研究成果为发展中国家在传统产品的总结提高和栅栏技术的应用上树立了榜样。

2. 整体食品

非重组型整体食品的加工中若添加有较多香辛料,即可在产品外形成一层防腐膜,所含抑菌物即可成为强有力的抑菌栅栏。以巴特马干肉条(Pastirma)为例,这是一种伊斯兰教国家广为流行的传统生牛肉制品,由牛肉切条后添加食盐和硝酸盐腌制,清洗后挂晾使之干燥发酵,再涂上一层膏状风干而成。涂料主要由大蒜、辣椒、胡芦巴组成,对肉条内沙门氏菌和外表的霉菌具出色的抑制作用。研究表明,用低pH值而含防腐剂的涂膜可提高食品微生物稳定性。例如添加山梨酸的低pH值涂膜防腐效果极佳。热带水果已应用表面可食涂膜来延长保鲜期,此法优点在于不影响食物块状完整性,但涂料必须具有足够的粘着力,含稳定性基质和抗脆性成分,同时能添加抗菌剂、抗氧化剂、营养强化剂、香精或色素等,以在表面局部发挥功能特性。

对整体食品采用涂膜法防腐保鲜,其内包裹的湿润型产品(水果、蔬菜、肉、干酪、鱼等)于高浓度的糖、氯化钠或其它湿润剂混合物内,将发生脱水和渗透作用,也发生溶液向产品内的溶质传递。通过此过程,不仅是水分活度较低的介质进入完整食品内,防腐剂、营养强化剂、pH值调节剂以及改善产品组织结构和香味的物质也同时进入。因而进入的栅栏因子可发挥提高可贮性和改善质量的双重作用,这在诸多实例中均可得到印证。

3. 半干水分食品(IMF)

半干水分食品(IMF; Intermediate Moisture Foods)因其非致冷可贮性而备受生产者关注和消费者青睐。这类食品的aw值为0.90—0.60,其微生物稳定性和卫生安全性大多也建立于栅栏效应之上。如果IMF食品aw值很低,则需添加大量保湿剂(糖、盐等),而从营养和感观特性上考虑,产品中过量保湿剂

是不利的。如果为改善感观和营养特性减少保湿剂,增大含水量,提高aw值,又将危及产品在非致冷条件下的可贮性和卫生安全性。这一矛盾可通过应用栅栏技术加以解决。例证之一是我们推出的一种称为“萨夫肉”的改进型中国肉干制品,其aw值(0.78—0.70)比传统肉干的aw值(<0.70)高得多,而含糖量和含盐量比传统肉干低,但其外观色泽、口感、柔嫩性等感观质量均优于传统肉干。由于加工中增强了t(低温处理)、H(较高温灭菌)、Eh(真空包装)等栅栏的强度,较高aw值的新产品仍达到了传统肉干非致冷条件下3月以上的货架期。

栅栏技术运用于IMF食品的另一例子是中国腊肠。传统中国腊肠是aw0.75左右,在常温下可较长期存放的非发酵型生肉制品,pH值约为5.9,因此不容许乳酸菌的大量增殖,味酸是次品的标志。其质量主要是通过aw值的迅速降低而保证。台湾加工的一种为满足消费者需要的较高水分含量的中国腊肠,aw值高达0.94,这一产品极易因乳酸菌大量生长而酸败变质,也很可能因金黄色葡萄球菌繁衍而产毒。德国肉类研究中心为改善此产品的可贮性和卫生安全性进行了研究,最终结果是通过提高Pres栅栏的抑菌保质强度,添加3.5%乳酸钠和0.1%醋酸钠,使之在保持产品原有风味特色的同时货架寿命得到延长,卫生安全性得以保证。

值得一提的是用于喂养猫和狗的宠物食品,这些食品的防腐方法一是降低aw值至0.85,二是添加较高量防腐剂丙二醇。而现在应用栅栏技术推出的新型宠物食品,应用了新的防腐保质栅栏。产品aw值达0.94,含水量较高,防腐剂添加量大为减少,因此其营养及感观特性得到改善,毒理性降低,加工经济效益提高,而其非致冷可贮性和卫生安全性完全可得到保证。

4. 发酵香肠

即属于aw>0.90的高水分食品(HMF; High Moisture Foods),又具非致冷可贮性,则

在市场上更受欢迎。这类产品以往当然也是凭经验式加工,而现在无论是传统型还是新开发型,已在主动应用栅栏技术。其中研究和应用较为深入的例子之一是发酵香肠,特别是生发酵制品色拉米(salami)。图 1 中例 7 是研究得出的色拉米加工及贮存中栅栏及其交互效应图示,清楚地表明了抑制腐败菌和病原菌,同时又容许所选择的有益菌(乳酸菌)生长的栅栏顺序。色拉米香肠早期发酵阶段最重要的抑菌栅栏是 Pres (亚硝酸盐、食盐),未抑制菌的生长耗氧,又使 Eh 值逐渐下降,利于好氧菌的抑制和乳酸菌的生长,于是 c、f 栅栏继 Eh 之后发生作用,乳酸菌不断增多,产酸导致酸化, pH 栅栏强度随之上升。对长期发酵加工生产的色拉米香肠,随 Eh 和 pH 栅栏增强,亚硝酸盐逐渐耗尽,乳酸菌渐减, Pres 和 c、f 栅栏随时间推移而减弱,唯 aw 栅栏始终呈增强态势,因此 aw 是长期发酵香肠最重要的防腐抑菌栅栏。由于色拉米香肠栅栏作用顺序的揭示,其加工控制、工艺优化和产品质量改善已成为可能。其它发酵食品(干酪等)也很可能存在特异的栅栏顺序,对这些顺序的揭示以指导生产成为富有挑战性的研究项目。

发酵香肠另一独有特征是其微结构,对不利菌的抑制和有益菌的生长产生影响,因此这一微结构是色拉米香肠可贮性和质量保证的重要栅栏。电镜扫描研究发现,发酵香肠内的天然菌群和添加的发酵菌是呈非均衡性吸附于小巢穴内,巢穴间距 100—5000 μm ,发酵菌只有在巢穴内能够生长,其余大量区域则为代谢物(亚硝还原酶、过氧化氢酶、乳酸、毒素等)占据。因此色拉米的发酵是一种固态发酵。在这些单一或混合菌巢穴内,始终存在对营养物的竞争以及相互间代谢物的损害作用。在混合菌巢穴内乳酸菌由于其对 Eh、pH 和 aw 较强的耐受性而总是占优势。香肠发酵初期,乳酸菌呈现较强的活力和代谢活性,而发酵末期渐衰退甚至死亡。香肠间质巢穴的远近相距,有利于其发酵。肉馅灌装前肥瘦肉粒的充分混合,更利于混合菌在基质中的分布。如果添加发酵

菌,则用液状菌种产品更佳。

微结构不仅对色拉米香肠,对其它食品也同样重要。又如在油水乳化剂内,细菌生长限制在水滴内,可能因聚合而丧失其完整性。当然微结构对食品内微生物生长、残存或死亡的精确预测是困难的,但通过应用配方和工艺改进法调整微结构,影响食品的可贮性、卫生安全性和食品特性是可能的。

5. 耐贮存食品 (SSP)

建立于栅栏技术之上的高水分含量,经热加工处理,而又非致冷可贮的食品,称为耐贮存食品或易贮食品(SSP; Shelf Stable Foods), SSP 食品有如下特征:在密闭灌装物(听、肠衣等)中热处理至中心温度 70—110 $^{\circ}\text{C}$,改善了产品感观及营养特性,可避免再污染,能有效抑制非芽胞菌,但残存有芽胞杆菌和梭菌,对这些残存菌的抑制是通过 F, aw, pH 或 Eh 栅栏的调节来实现。根据应用的主要栅栏,又可将 SSP 食品分为 F-SSP (热处理使芽胞半致死), aw-SSP (降低水分活性), pH-SSP (酸化)和 Combi-SSP (相等强度多个栅栏联合作用)。

F-SSP 食品的例子是高压蒸煮香肠,热加工使芽胞半致死, F 栅栏成为防腐抑菌主要因子,这类产品在市场已出现多年。德国的布里道香肠(Briihclauerwurst)和意大利的蒙特拉香肠(Mortadella)则属 aw-SSP,通过降低产品的 aw 值至低于 0.95 保证其可贮性。pH-SSP 的主要栅栏是 pH (酸化),应用例子是荷兰的格德斯香肠(Gelderse Rookworst),也是一种乳化型产品,热加工至中心温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 左右,添加葡萄糖醛酸内酯使肉馅 pH 值调节到 5.4—5.6。这种真空包装的非致冷可贮性产品颇受英国人的喜爱。

现今市场上的乳化型香肠,很多均属 combi-SSP 产品,其可贮性是相对较弱的多个栅栏来保证,正如天平原理,每一栅栏均以小重量增加可贮的平衡性,决定着产品的可贮与不可贮。其他食品也有通过这一结合作用达到可贮的例子。印度有一种称为巴里(Paneer)的

奶制品,由软奶酪、香菇汁、大蒜及其它香辛料调制而成,因其特有风味和营养性深受当地人喜爱,但在当地常常是高达 35℃ 的气温下保存期仅 2 天。研究者应用栅栏技术推出听装的巴里软奶酪,在保持原有产品鲜香、非褐色、质软等感官特性的前提下,将其货架寿命延长至数周。保证这一 Combi-SSP 产品可贮性的共效栅栏是 $a_w0.97$ 、 $F0.8$ 和 $pH5.0$,或者 $a_w0.96$ 、 $F0.4$ 和 $pH5.0$ 。这一产品已在市场获得成功。

综上所述,栅栏技术不仅在工业国,而且在发展中国家的食品质量改进和新产品开发中均可加以应用,特别是在非致冷可贮性产品中具有重要意义。同时也适用于冷藏食品。栅栏技术应用于冷藏食品的例子是气调包装下冷藏可贮产品,采用低剂量辐照处理与冷藏结合的多个栅栏共效法,或者超压处理与低 pH 值,超压处理、低 pH 值和中热处理结合栅栏法等,均可显示出色的防腐保鲜效果。(未完待续)

(上接第 20 页)

以前,数据的收集只不过意味着人口统计,然而这个时代已经过去了。在 2000 年,企业、商业都需要从市场,从对竞争形势的分析,从对消费者行为的研究以及从感觉分析中获取信息。准确的情报与资本和劳动力一样,具有极高的价值。

10. 技术革新是保持竞争优势的基础。

未来工厂的自动化程度要比今天高得多。全面质量管理并不仅仅意味着对成品进行检验,而是利用计算机和一些自动检验手段持续地监控生产线的每一个环节,确保产品经每一道加工后,其质量参数均达到指标。

真正具有竞争优势的产品往往是那些利用独特的专有技术所生产出的优良的老式产品。随着地区及全球性竞争的不断加剧,先进的技术将成为保持竞争优势的重要源泉。

(上接第 21 页)

增加心脑血管病的发病率;如果植物油摄取过多,就会出现血管脆弱,而发生出血性疾病。脂肪的摄取量:一个轻体力劳动男子每天以 40—50 克为宜,且动物油与植物油应搭配着吃,其比例以 1:1—1.5 为好。

7. 饮酒要节制。酒的主要成分是乙醇(酒精)。医学研究发现,少量饮酒的人比不饮酒的人寿命长。其原因是乙醇能增加血液中高密度脂蛋白(好胆固醇)的含量。高密度脂蛋白能减少低密度脂蛋白(坏胆固醇)在动脉壁上的

沉积,从而可防止心血管病的发生。乙醇还有松弛血管壁、扩张血管、增加血流的作用,可预防血管阻塞和硬化。但饮酒不宜过多,过多则损伤肝脏,贻害无穷。据研究,体重 60 公斤的成年人,每天饮用酒精的量,以不超过 60 克为宜,也就是相当于 60 度的白酒 100 毫升(即所谓 2 两酒)、葡萄酒 300 克或啤酒 3 瓶。

8. 食盐要限量。食盐中的氯与钠都是人体不可缺少的元素。但如果钠的摄入量过多,则易引发高血压及癌症。因此,世界卫生组织建议,每人每天食盐的摄入量以不超过 5 克为宜。

(上接第 39 页)故与离子交换树脂结合最不稳定。当酸性缓冲液流过时,牛磺酸首先被洗脱下来,在我们确立的色谱分离条件下,大约在 5 分 30 秒时出峰,而其它蛋白质氨基酸在 9 分以后才出峰,对牛磺酸没有任何影响。牛磺酸在氨基酸分析仪上的洗脱图谱见图 1—2。

实验的结果证明,用氨基酸分析仪测定肉食品中的牛磺酸含量,是分析肉类食品中牛磺酸的理想方法。

参考文献

- (1) 范镇基:氨基酸杂志,1990,(1) 25
- (2) 韩晓滨,刘冬生:营养学报,1989,11 (2) 319
- (3) 陈玉珍等人:营养学报,1994,16 (4) 406
- (4) Ryan J. Huxtable, TAURINE IN NUTRITION AND NEUROLOGY, New York and London, 1987 (2)