

综 述

可食用膜在果蔬贮藏与保鲜中的作用

陈秀芳 许时婴 王 璋

(无锡轻工大学食品学院, 无锡, 214036)

0 前 言

可食用膜, 顾名思义, 是一种由可食用的成分组成的膜。涂于新鲜果蔬表面的可食用膜, 通过控制新鲜果蔬的呼吸强度, 阻止果蔬组织的水分损失, 从而延长果蔬的货架寿命^[1]。

可食用膜应用的雏形最早见于12~13世纪的中国。人们用简单的涂蜡手段来延缓桔子、柠檬等的脱水失重^[2]。尽管这些涂层较大程度地限制了水分的散失, 但由于过度抑制了有氧呼吸而导致果实发酵变质。16世纪, 英国有一学者应用猪油包裹食品, 开创了用脂类涂层保鲜食品的先例。Harvard 和 Harmony 于1896年提出用明胶涂层保护肉制品及其它食品^[3]。1950年始^[1, 2]用由巴西棕榈蜡等制成的水包油乳状液涂于新鲜果蔬表面^[2], 此后涂膜技术得到快速发展。

今天的可食用膜, 改变了过去由单一成分制成的膜涂于果蔬表面以延缓果实水分散失的做法, 已发展成具有多种功能性质的、由多种生物大分子和脂类制成的多组分可食用膜。此种复合膜主要是通过不同分子间相互作用形成一种稳定的乳状液, 然后干燥使溶剂挥发而形成具多孔网络结构的薄膜, 这种多孔的网络结构使可食用膜具明显的阻水性及一定的可选择透气性^[1, 2, 4], 因而在食品工业, 尤其在果蔬保鲜方面, 具有广阔的应用前景。基于这一特点, 国际食品科学界正掀起对可食用膜的研究高潮。

1 可食用膜的主要组成及其功能性质

构成膜基质的主要成分是生物大分子——蛋白质与多糖。一般来说, 增加组成膜的高聚物分子链的长度和极性, 可使膜的粘性增强^[4], 极性基团在分子链上的均匀分布, 也能增加膜的粘性及网络结构的紧密性。这是由于极性基团的均匀分布, 增加了高分子间氢键和静电引力的作用, 从而为形成具一定可选择透气性的网络结构奠定基础。常用的多糖类物质主要是各种纤维素衍生物, 如甲基纤维素(MC), 羧甲基纤维素(CMC), 羟丙基纤维素(HPC), 羟丙基甲基纤维素(HPMC)等。由于这些生物大分子具有一定的亲水性, 因而由这些成分所形成的膜显示出较强的透水性^[2]。在众多的蛋白质原料中, 常用的有面筋蛋白、大豆分离蛋白、乳清蛋白及玉米醇溶蛋白等。研究表明, 以蛋白质为基质的膜具有很好的阻氧性^[6~12]。

除上述组分构成可食用膜的主要成分外,还需添加一些疏水成分。这些疏水成分可通过与蛋白质或多糖等成分的疏水基团的相互作用而形成具有一定阻湿性、阻氧性的薄膜^[2, 9, 13, 14]。这些疏水成分主要是一些脂类,包括蜂蜡、巴西棕榈蜡、石蜡、脂肪酸以及乙酰甘油酯等。此外尚需添加一定量的增塑剂,以对高聚物起稀释作用,减小高分子间的作用力^[15],虽然膜的强度降低,但增加了膜的柔韧性。增塑剂必须与高聚物分子具有一定的亲和性,且易溶于溶剂中^[15]。常用的增塑剂主要有:多元醇(如山梨醇、甘油、甘油衍生物及聚乙二醇等)及脂类物质(如脂肪酸、单甘油酯、表面活性剂等)。

根据所要保鲜的果实的采后生理及其呼吸类型,选择合适的膜材料,制成稳定的乳状液,再通过浸涂和喷涂于果实表面经风干后形成一均匀、透明或半透明的三维网络结构的薄膜。膜当中的微孔通道起着调节果实微环境气体成分的作用,膜具有的一定的憎水性阻止了果实内部水分的迁移。这一结构特点,使可食用膜具有以下功能性质: 1) 延缓食品中的水和油及其它成分的迁移、扩散; 2) 具有可选择的透气性(对 CO_2 , O_2 等); 3) 提高食品表面机械强度使其易于加工处理; 4) 阻止食品中风味物质挥发; 5) 可作为食品添加剂(如色素、抗氧化剂、防腐剂等)的载体。

2 可食用膜与果蔬保鲜

采后的果蔬仍进行着旺盛的生命活动,最典型的是它的呼吸作用。呼吸过程是果蔬将贮存的有机成分降解为简单的最终产物并同时释放能量的过程。

决定新鲜水果及蔬菜的经济效益高低的是它们的货架寿命,因此如何既经济又有效地延长其货架寿命就成为人们关注的问题。常用的延长果蔬货架寿命的保鲜方法有低温贮藏和气调贮藏技术。采用低温贮藏不仅耗能高,而且长时间的低温贮藏会引起某些果蔬生理伤害^[4, 6, 17, 20],因此 Kidd 及 West 提出控制一定的 O_2 及 CO_2 浓度的气调贮藏技术^[4]。气调贮藏技术包括 CA(Controlled Atmosphere) 与 MA(Modified Atmosphere)。但是无论是低温贮藏还是气调贮藏都存在一个缺陷:当果蔬从贮藏条件下转移至室温条件时,其品质会急速下降^[4]。特别是对某些水果(如柿、香蕉等)还需要追熟,给经销商和消费者带来麻烦。目前研究广泛的气调贮藏是 MA 密封小包装气调技术^[16, 32, 33]。它是利用果蔬的呼吸作用及具有一定通透性的塑料薄膜起自发气调作用。果蔬的呼吸作用使袋内的 CO_2 浓度升高, O_2 浓度下降。当果蔬放出 CO_2 和吸入 O_2 的速度与气体透过薄膜的渗透速度相等时,袋内 CO_2 和 O_2 的分压就不再发生变化,如果该混合气体符合或接近该果实贮藏适宜的气体条件,就起到了自发气调作用。此项技术的关键是选择合适的包装材料,这就不可避免地增加了包装材料及加工工艺的复杂性。

新鲜水果保鲜的有效方式是采用可食用膜。水果中的水分损失及气体运输是经由它的果皮系统完成的,果皮系统包括:角质层、表皮细胞、气孔及表皮毛状体等。包裹在水果表皮的角质层是由表面蜡质及镶嵌于蜡质中的角质、蜡、多糖等混合而成的薄膜^[4]。含有较厚的角质层的水果一般来说在贮藏期水分的损失较少^[4]。与果实表面的角质层相类似,可食用膜是人为形成的一种具有一定阻隔性的薄膜,可以阻止所包裹果实的水分损失,降低果实的呼吸速率(通过降低果实外部微环境中的 O_2 含量,增加 CO_2 浓度以及控制乙烯释放量)来延缓果实的衰老过程^[9, 19, 20],其作用原理基本等同于 MA 密封小包装气调贮藏技术,且降低了包装材料的费用,投资花费远低于其它保鲜技术的花费。

3 几种可食用膜性质简介

3.1 多糖膜

3.1.1 透水性 Kamper 与 Fennema, Kester 与 Fennema, 以及 Greener 与 Fennema 研究了不同的脂类与多糖所形成的双层膜的性质^[21~24]。Kamper 与 Fennem 首先阐述了由两种方法形成双层膜^[21]。第1种方法是在形成 HPMC: PEG 为9·4(PEG 作增塑剂)的膜表面涂一层熔化的蜡。第2种方法是把脂类直接添加到同样的 HPMC-PEG 的配方中, 采用乙醇-水混合溶剂使脂类均匀散布于其中, 从而形成乳状液。当乙醇-水溶剂挥发时, 脂类在膜表面重新定向、均匀分布而形成双层膜。由乳状液所形成的双层膜, 不管使用哪种脂类, 其透水性都明显低于由第1种方法形成的膜。这是因为由乳状液所形成的膜, 其脂质层有更适宜的取向^[1]。此外, 通过乳化技术而形成的双层膜柔韧性及抗机械损伤性都优于前者。表1给出了 HPMC-PEG 以及由上述两种方法所形成的膜的透水性的大小。

Kamper 与 Fennema 进一步研究了硬脂酸(SA)与棕榈酸(PA)混合物同 HPMC-PEG (HPMC·PEG= 9·4)通过乙醇-水溶剂系统形成一稳定乳状液而成的双层膜的透水性。表明此双层膜随着所处环境的相对湿度增加, 透水性也增加。见表1。

表1 多糖膜与包装材料的透水率的比较

膜组成	厚度 (mm)	测试条件 ^a	透水性 (g·mm/m ² ·d·kPa)	引用文献
HPMC-PEG(9·4)	0.036	25 , 85%/0% RH	6.48	[21]
HPMC	0.019	27 , 0/85% RH	9.12	[14]
SA-PA/ HPMC-PEG(9·9·3) ^b	0.125	25 , 85%/0% RH	2.04	[21]
SA-PA-HPMC-PEG ^c	0.041	25 , 85%/0% RH	0.048	[21]
SA-PA-HPM C-PEG	0.041	25 , 97%/0% RH	0.336	[21]
SA-PA-HPM C-PEG	0.041	25 , 97%/65% RH	1.92	[21]
Wax/SA-PA-MC-HPMC-PEG	0.056	25 , 97%/65% RH	0.058	[23]
Wax/SA-PA-MC-HPMC-PEG	0.056	25 , 0/100% RH	0.154	[23]
M. Wax ^d /MC-PEG(11.3·4)	0.05	25 , 97%/65% RH	0.096	[24]
M. Wax/MC-PEG(11.3·4)	0.05	25 , 0/85% RH	1.48	[24]
SA-HPMC(0.8·4)	0.019	27 , 0/85% RH	0.026	[14]
SA-HPMC(0.8·4)	0.019	27 , 0/97% RH	0.106	[14]
LDPE		38 , 90%/0% RH	0.079	[1]
HDPE		38 , 90%/0% RH	0.020	[1]
玻璃纸		38 , 90%/0% RH	7.27	[1]
EVOH(68%)		38 , 90%/0% RH	0.252	[1]

注: a RH 是膜两侧的相对湿度(上/下)
b 硬脂酸(SA)与棕榈酸(PA)混溶后涂于 HPM C-PEG(聚乙二醇)多糖膜上
c SA-PA-HPMC-PEG 乳化膜 d 熔融态的蜂蜡

而 Kester 和 Femmema 的研究是由 SA-PA-MC-HPMC-PEG (SA·PA·MC·HPMC·PEG= 4.5·4.5·7·3·6) 组成一多组分膜, 再在其表面涂布熔融态的蜂蜡而形成复合膜。多组分膜中添加 MC 的目的是为了改善成膜时脂肪酸在网络中的分布, 此复合膜比乳化双层膜在同样试验条件下具较低的透水性, 而且不易受环境中的相对湿度的影响。此类膜的透水性几乎可与聚乙烯膜的透水性相媲美。见表1。

Greener 与 Fennema 采用 MC-PEG(MC·PEG= 11.3·4) 作为膜的基质, 其表面涂上蜂蜡层形成双层膜。研究表明, 蜂蜡以熔融态涂于单层膜表面所形成的双层膜的透水性要低于

蜂蜡-乙醇溶液在基质表面形成蜂蜡层的双层膜。Fennema 等人推测较小的脂肪球能增加脂肪颗粒在膜表面的分布的均匀性,从而形成更有效的疏水层。这一推断为 W. S. Dominic 等的研究所证实^[16, 27]。

Hagenmaier 与 Shaw 在不加增塑剂的情况下,用95.6%的热乙醇作溶剂(不包括蜂蜡)而形成的 HPM C-脂肪酸双层膜^[14],与 Kester 和 Fennema 在同样试验条件下所形成的复合膜相比,具有几乎同样低的透水性,可能的原因是此种膜的脂含量较高,又无增塑剂来影响膜的通透性,因而膜的阻水性较好。然而,在膜表面所形成的脂肪微晶却极易被破坏,故而也易导致膜的透水性增加(见表2)。Hagenmeir 与 Shaw 之所以不在膜中使用蜂蜡,主要原因是考虑到蜂蜡在食品中的限量(0.002%)使用。

M. M artin-Polo 等人采用两种疏水物质——固体石蜡与石蜡油,以及3种具不同极性的多孔物质——MC 和玻璃纸及滤纸作为支持介质,分别通过3种方法成膜^[28]。一是浸涂,将玻璃纸或滤纸浸入95 的熔融态的石蜡或室温下的石蜡油于70 下烘干成膜;二是由 MC-石蜡(油)-PEG(MC·石蜡·PEG= 4.25·4.25·1.3)等组分经由乙醇-水(乙醇·水= 1·2)溶剂制成乳状液成膜;第3种方法分两步,首先利用第2种方法制成一层膜,然后再在此层膜表面涂布融化态蜡从而形成双层膜。结果表明,通过乳化技术形成的膜,支持介质与疏水成分之间的极性差别越大,越不易获得稳定的乳状液,干燥成膜后,电镜观察发现组分在膜表面呈非均匀分布,因而阻水性下降。实际应用中,膜与食品表面(特别是多孔表面)的相互作用有可能导致膜功能性质的改变^[27]。M. M artin-Polo 等人也研究了用玻璃纸作支持介质,分别用固态石蜡与正十八烷以及液态石蜡油与正十六烷的混合物作为涂膜材料。结果表明,在一定试验条件下,低于25%的固态疏水成分往往会使透水性增加,用含75%的液态脂能改善固态脂涂膜的某些缺陷而不降低膜的阻水性^[5]。

3.1.2 透气性 有关多糖膜透气(O₂和 CO₂)性的研究报道较少,Greener 与 Fennema 在 25 0%RH 条件下测定了蜂蜡/MC-PEG(MC·PEG= 11.3·4)双层膜的透气性^[25],当蜂蜡以乙醇-水作为溶剂进行浸涂而成膜时,其透氧性要远远低于以熔融态所形成的膜。表2给出了这两种结果。Rico-Pena 与 Torres 使用 Kamper 与 Fennema 乳化技术而形成 PA-MC-PEG(PA·MC·PEG= 3·9·1)双层膜并研究了相对湿度对双层膜透氧性的影响^[38],研究结果表明0~57%的相对湿度对双层膜的透氧性没什么影响。然而当 RH 达79%时,膜的透氧率几乎增加了一倍。见表2。

表2 多糖膜与包装材料的透氧率比较

膜组成	厚度 (mm)	测试条件	透氧率 (cm ³ ·μm/ m ² ·d·kPa)	引用文献
M. Wax ^a / MC-PEG(11.3·4)	0.05	25 ,0% RH	960	[20]
S. Wax ^b / MC-PEG(11.3·4)	0.05	25 ,0% RH	319	[20]
PA-M C-PEG(3·9·4)	0.054	24 ,0~57% RH	365~401	[28]
PA-M C-PEG(3·9·4)	0.054	24 ,79% RH	785	[28]
LDPE		23 ,50% RH	1865	[1]
HDPE		23 ,50% RH	427	[1]

注: a 熔融态的蜂蜡; b 蜂蜡溶解于溶剂中

3.2 蛋白质膜

以蛋白质作基质的可食用膜研究,最多的是玉米醇溶蛋白和小麦面筋蛋白。最近几年才开始用乳清蛋白、大豆分离蛋白等作为膜的基质。

3.2.1 小麦面筋蛋白(WG)膜

1) 透水性 Gennadios 等测定了 pH 对 WG 成膜性、拉伸性及透水性的影响^[30]。以 WG-甘油-乙醇-水(WG·甘油·乙醇·水= 12·4.4·16.4·95)形成的膜在碱性(pH9~13)条件下有较好的拉伸性,在25~50%RH及pH9条件下,透水率为 $(4.3 \pm 0.6) \text{ g/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$,与高聚物包装材料相比,其透水率高于后者2~3个数量级。这是由于蛋白质分子中所含的亲水基团以及甘油的亲水作用增加了水分子的迁移^[30],从而使得蛋白质膜的阻水性受到限制。

基于蛋白膜阻水性差的特点,N. Gontard 研究了在 WG 膜中添加不同的脂类来增加膜的阻水性^[31],研究表明,当脂类含量为干物质的20%(质量分数)时,透水率显著下降,当超过这一比例时透水率无明显下降反而在某种程度上增加,这是因为添加过多的脂对膜的极性影响已不起作用。试验还表明,含蜂蜡的蛋白质膜有最好的阻水性,与对照(WG·甘油=83.3·16.7)相比,含蜂蜡36.8%(质量分数)的复合膜其透水率下降了74%,但是膜不透明且易碎,含20%(质量分数)的单甘酯二乙酰酒石酸酯的复合膜,透水率下降了50%,而且膜有较好的拉伸性能。

2) 透氧性 Krochta 认为蛋白质膜(如面筋蛋白膜与玉米醇溶蛋白膜等)与多糖膜(如 HPMC, MC 及 HPC 膜等)的透水性基本相同或比多糖膜的透水性略高,但是蛋白质膜的透氧性却相当低^[1]。表3给出了几种蛋白质膜与聚乙烯材料的透氧率,从表3可见,蛋白质膜的透氧率低于低密聚乙烯材料近1000倍,低于高密聚乙烯100多倍。

表3 蛋白膜与包装材料的透氧率的比较

膜组成	厚度 (mm)	测试条件	透氧率 ($\text{cm}^3 \cdot \mu\text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{kPa}$)	引用文献
面筋蛋白-甘油(2.5·4)	0.101	23, 0% RH	3.82	[7]
AM-面筋蛋白-甘油(0.1·2.5·4)	0.066	23, 0% RH	2.67	[7]
大豆分离蛋白-甘油(5·3)	0.064	25, 50% RH, pH8	2.57	[32]
碱处理大豆分离蛋白-甘油(5·3)	0.064	25, 50% RH, pH8	2.50	[32]
WPI-甘油(2.3·4)		23, 50% RH	76.1	[1]
WPI-山梨醇(2.3·4)		23, 50% RH	4.3	[1]
WPI-山梨醇(3.5·4)		23, 40% RH	0.7	[1]
低密聚乙烯(LDPE)		23, 50% RH	1865	[1]
高密聚乙烯(HDPE)		23, 50% RH	427	[1]
玻璃纸		23, 0% RH	0.7	[1]
乙烯乙烯醇(EVOH)		23, 0% RH	0.1	[1]
玻璃纸		23, 95% RH	252	[1]

3.2.2 乳清蛋白(WP)膜

1) 透水性 McHugh 与 Krochta 研究了由 WP 和甘油形成的膜^[31]。表4列出了不同相对湿度与增塑剂含量及品种对膜的透水率的影响。表4表明,相对湿度对 WP-甘油(WP·甘油= 1.6·4)膜影响很大,但当用山梨醇代替甘油时,膜的透水率降低了约50%。McHugh 与 Krochta 也利用乳化技术制成了蜂蜡-WP-甘油(蜂蜡·WP·甘油= 1.8·3.5·4)的膜^[1]。表4表明加入蜂蜡的膜与 WP-甘油(WP:甘油= 4·4)膜相比,其透水率也下降了50%。Chen 与 Krochta 探索了由 WP 和 CMC(溶液或悬浮液)组成的复合膜^[1],以期获得阻水性较好的网络结构。研究结果表明,由纯 CMC 形成一层膜,再在其上涂布由 WP-CMC-甘油(WP·CMC·甘油= 3.2·0.4·4)而成的双层膜,其透水率与 CMC-甘油(CMC·甘油= 4.6·4)膜的透水率相比,下降了35%。

2) 透氧性 McHugh 与 Krochta 的研究表明,在同等试验条件下,乳清分离蛋白 WPI-山梨醇(WPI: 山梨醇= 2.3 ∶1)膜的透氧率要比 WPI-甘油(WPI ∶甘油= 2.3 ∶1)膜低近 20 倍^[1]。而 WPI-山梨醇(WPI ∶山梨醇= 3.5: 1)膜的透氧率接近 EVOH 和玻璃纸,远低于低密聚乙烯及高密聚乙烯材料。见表3。

3.2.3 大豆分离蛋白(ISP)膜

1) 透水性 G.L. Brandenburg 比较了 ISP 与碱处理大豆分离蛋白(ATISP)的透水性^[42],由 ATISP-甘油(ATISP ∶甘油= 5 ∶3)形成的膜在成膜性能、透明程度、均匀性及外观上都优于由 ISP-甘油(ISP ∶甘油= 5 ∶3)所形成的膜,但是两者的透水率接近。Gennadios 报道了不同 pH 条件下 ISP 膜的透水性^[39]。在 pH6 ~ 12 之间,ISP-甘油(ISP ∶甘油= 5 ∶3)膜的成膜性能好但透水率较高。见表4。

表4 蛋白质膜的透水率

膜组成	厚度 (mm)	测试条件 ^a	透水率 (g•mm/ m ² •d•kPa)	引用文献
WP ∶甘油(1.6 ∶1)	0.106	25 , 0/11% RH	6.64	[1]
WP-甘油(1.6 ∶1)	0.121	25 , 0/65% RH	119.8	[1]
WP-甘油(4 ∶1)	0.129	25 , 0/65% RH	70.2	[1]
WP-山梨醇(1.6 ∶1)	0.129	25 , 0/79% RH	62.0	[1]
Wax-WP-甘油(1.8 ∶3.5 ∶1)	0.182	25 , 0/91% RH	34.7	[1]
ISP-甘油(5 ∶3)	0.083	25 , 50%/ 100% RH	3.36	[29]
WG-甘油(5 ∶3)	0.150	25 , 50%/ 100% RH	4.36	[29]
ATISP-甘油(5 ∶3)	0.083	25 , 50%/ 100% RH, pH11	2.96	[29]

注: a RH 指膜两侧的相对湿度(上/下) b 透水率单位为1 × 10⁻⁹g/ m²•s•Pa

2) 透氧性 对 ISP 的透氧性研究也很少。Brandenburg 的研究表明,ISP 具有较低的透氧率(见表3),约比面筋蛋白膜的透氧率低72% ~ 85%^[29],比多糖基质膜(如 CMC 及其衍生物)低200倍左右,与包装材料相比 ISP 膜的阻氧率是它们(如 LDP 或 HDPE)的325 ~ 1750倍。

综上所述,对可食用膜的性质研究已相当广泛,但是可食用膜在商业上的应用仍少见文献报道,这将是此领域今后的工作重点,因为可食用膜有着超过传统包装材料的多种功能性质和经济优势,通过对可食用膜的性质与应用的进一步研究,可以相信,未来的食品包装将属于可食用膜。

参 考 文 献

1 KrochtaJ M· Control of Mass Transfer inFoodsWithedible -Coatings and Films· inAdvance in Food Engineering· 1992. 517 ~ 536

2 Kester J J, Fennema O R. Edible filmsandcoatings ·A Review Food Tech. 1986. 47 ~ 59

3 Havard C, et al. Improved process of preserving meat, fowls, fish, et al. U. S. Patent 90, 944. 1869

4 Antonio Torres J. Edible films and coatings from proteins. 1994. 467 ~ 507

5 Martin-Polo M, et al. Hydrophobic Films and Their Efficiency against Moisture Transfer. 2. Influence of the Physical State J. Agric. Food Chem. 1992. 40, 413 ~ 418

6 Gennadios A, Weller C L. Edible films and coatings from wheat and corn proteins· Food Technol. 1991,44(10): 63 ~ 68

7 Gennadios A, et al. Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. J. Food Sci. 1993, 58: 212 ~ 214

8 Gontard N, Guilbert S G, et al. Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables on film properties

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- using response surface methodology. *J. Food Sci.* 1992, 57: 190 ~ 195, 199
- 9 Guilbert A G. Technology and application of edible protective films. In *Food Packaging and Preservation—Theory and Practice*, M. Mathlouthi (Ed.) pp. 371 ~ 394. Elsevier Applied Science Publishing Co., London, England. 1986
- 10 Krochta J M. Control of mass transfer in foods with edible coatings and films. In *Advances in Food Engineering*, R. P. Singh et al (Ed.) 1992, pp. 517 ~ 538
- 11 McHugh T H, Krochta J M. Water vapor permeability properties of whey protein lipid emulsion films. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1993
- 12 McHugh T H, Krochta J M. Sorbitol versus glycerol plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *J. Agric. Food Chem.* 1993
- 13 Torres J A, Karel M. Microbial stabilization of intermediate moisture food surfaces. III. Effect of surface pH control and surface preservative concentration on microbial stability of an intermediate moisture cheese analog. *J. Food Prot. Pres.* 1985, 9(2): 2, 107 ~ 119
- 14 Hagenmaier R D, Shaw P E. Moisture permeability of edible films with fatty acid and (Hydroxypropyl) methylcellulose. *J. Agric. Food Chem.* 1990, 38: 1799 ~ 1803
- 15 何曼君. 高分子物理.
- 16 Gontard N, Guilbert B. Bio-packaging: technology and properties of agricultural origin In *Food Packaging and Preservation* pp. 144 ~ 158
- 17 Wilkinson B G. Physiological Disorders of Fruit After Harvesting In *Food Science and Technology*. Vol. 1 A. G. Hulme (Ed.) pp. 537 ~ 553 Butler and Tanner Ltd. Frome and London
- 18 Pascat B. Study of some factors affecting permeability. In *Food Packaging and Preservation Theory and Practice*, M. Mathlouthi (Ed.), pp 7 ~ 24 Elsevier Applied Science Publishing Co., London. 1986
- 19 Hagenmaier R D, Shaw P E. Gas permeability of fruit coating waxes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 1992, 117: 105 ~ 109
- 20 Kester JJ, Fennema O. Tempering influence on oxygen transmission. *JAOCs* 1989, 66(7): 1154 ~ 1157
- 21 Kester JJ, Fennema O. The influence of polymorphic form on oxygen and water vapor transmission through lipid films. *JAOCs* 1989, 66(8): 1147 ~ 1153
- 22 Kamper SL, Fennema O. Water vapor permeability of an edible, fatty acid, bilayer film *J Food Sci.* 1984, 49: 1482 ~ 1485
- 23 Kester JJ, Fennema O R. An edible film of lipids and cellulose ethers: barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation *J. Food Sci.* 1989, 54: 1383 ~ 1389
- 24 Greener I K, Fennema O. Barrier properties and surface characteristics of edible bilayer films, *J. Food Sci.* 1989, 54: 1393 ~ 1399,
- 25 Greener I K, Fennema O R. Evaluation of edible, bilayer films for use as moisture barriers for foods *J. Food Sci.* 1989, 54: 1400 ~ 1406
- 26 Domin W S, et al. Chitosan-Lipid Films; Microstructure and surface Energy *J. Agric. Food Chem.* 1992, 40: 540 ~ 544
- 27 Martin-Polo, et al. Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer I. Influence of film preparation techniques. *J. Agric. Food Chem.* 1992, 40: 407 ~ 412
- 28 Rico-Pena DC, Torres JA. Oxygen transmission rate of an edible methylcellulose-palmitic acid film *J Food Proc. Eng.* 1990, 13: 125 ~ 133
- 29 Gennadios A, et al. Effect of pH on Properties of Wheat Gluten and Soy Protein Isolate Films *J. Agric. Food Chem.* 1993, 41: 1833 ~ 1839
- 30 Gontard N, et al. Edible composite films of wheat gluten and lipids: Water vapour permeability and other physical properties *International J. Food Sci. Technology* 1994, 29: 39 ~ 50
- 31 McHugh T H, John M. Krochta Milk-Protein-Based Edible Films and Coatings *Food Tech.* 1994, 1: 97 ~ 103
- 32 Brandenburg A H, C. L. et al. Edible Films and Coatings from Soy Protein *J. Food Sci.* 1993, 58(5): 1086 ~ 1089
- 33 Ivo J, Church et al. Modified Atmosphere Packaging Technology: A Review *J. Sci. Food Agric.* 1995, 67: 143 ~ 152
- 34 F. Riquelme M T et al. Packaging of Fruits and Vegetables: Recent Results In *Food Packaging and Preservation* pp. 141 ~ 158

(责任编辑: 秦和平)