

文章编号 :1009-038X(2003)05-0046-07

Pectinex SMASH 在香蕉汁澄清过程中的作用

王素雅, 王璋

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214036)

摘要:对 Pectinex SMASH 在香蕉汁澄清过程中澄清度和粘度的变化、还原糖与自由羧基的释放、悬浮颗粒中果胶质及蛋白质含量、悬浮颗粒的 Zeta-电位和粒度分布变化等进行了研究。结果表明,香蕉汁悬浮颗粒含有 17.68% 的蛋白质和 24.43% 的总果胶质;Zeta-电位测定结果表明,在 pH 4.76 的香蕉汁中,悬浮颗粒表面带负电荷。一些带正电的胶体如明胶和酪蛋白可与悬浮颗粒作用而部分地澄清香蕉果汁,而带负电的胶体如 CMC、海藻酸钠和阿拉伯胶可部分地阻止果汁的澄清。Pectinex SMASH 澄清香蕉汁的过程可分为 3 个阶段(1)悬浮颗粒被部分水解,香蕉汁粘度快速下降(2)部分水解的悬浮颗粒相互聚集并出现絮凝(3)逐渐长大的颗粒沉淀下来。

关键词:Pectinex SMASH; 澄清; 酶解机理; Zeta-电位; 粒度分布

中图分类号:TS 255.44

文献标识码:A

The Mechanism of Clarification of Banana Juice with Pectinex SMASH

WANG Su-ya, WANG Zhang

(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: To know the role of Pectinex SMASH in the clarification of banana juice, the changes in clarity, viscosity, reducing sugar and free carboxyl group of the juice, as well as the changes in pectin and protein content, Zeta-potential and particle size distribution of suspended particles were investigated. It was found that the suspended materials contained 17.68% protein and 24.43% pectin, and the surface of the suspended materials was negatively charged at pH 4.76. At pH 4.76, the positively charged colloids, such as gelatin, mutually coagulated with the suspended materials, While the negatively charged colloids, such as CMC, partially inhibited the clarification. The study identified three important stages for the process of Pectinex SMASH clarification of banana juice: first, partial hydrolysis of pectin in the suspended particles and the viscosity decrease of the juice, second, the mutual flocculation, and third, the sedimentation of large suspended particles.

Key words: Pectinex SMASH; clarification; enzymatic mechanism; zeta-potential; particle size distribution

在果蔬汁加工行业中,果胶酶是一类普遍使用的工业酶制剂,它不仅可以使果蔬在酶解条件下液

化,提高果蔬的出汁率,而且使浑浊果蔬汁澄清。果胶酶 Pectinex SMASH 可以破坏原料细胞壁结构,

收稿日期 2002-11-15; 修回日期 2003-04-28.

作者简介:王素雅(1969-),女,河南南阳人,讲师,食品科学博士研究生。

万方数据

最大限度提高香蕉汁得率的同时,能有效水解果汁中悬浮的果胶质,从而得到澄清型香蕉果汁^[1]。

早在20世纪30年代就有研究者对果胶酶澄清果汁的现象进行研究,并认为果蔬汁的混浊主要是由果胶质引起的。但对果蔬汁澄清机理的研究始于20世纪60年代。日本研究者 Endo 对霉菌果胶酶澄清苹果汁的机理作了大量研究,发现内切聚半乳糖醛酸酶和果胶酯酶联合作用可以澄清苹果汁^[2,3]。Yamasaki 等^[4]利用超速离心法沉淀苹果汁中的悬浮颗粒,经再次溶解悬浮成简单的悬浮胶粒体系。研究者利用这一简化体系进行了一系列的研究,最后推测出果胶酶澄清苹果汁的简化模型,这已被人们广泛接受。

目前,还没有关于果胶酶澄清香蕉汁机理的研究,作者通过研究酶解过程中香蕉汁澄清度、粘度、还原糖含量、自由羧基增加量、Zeta-电位、颗粒粒度分布和果胶质含量等的变化,探讨果浆酶 Pectinex SMASH 澄清香蕉汁的机理。

1 材料与方法

1.1 实验材料

香蕉:市售;果浆酶 Pectinex SMASH:Novo 公司产品;所用化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器设备

722 光栅分光光度计:上海第三分析仪器厂制造;501 型超级恒温器:上海实验仪器厂制造;GL-20B 冷冻离心机:上海安亭科学仪器厂制造;DS-1 高速组织捣拌机:上海标本模型厂制造;DPM-1-Zeta 电位测定仪:上海市计量局实验工厂制造;HYDRO 2000MU 粒度仪:MALVERN Instruments 制造;LG-3 型多用冷冻干燥机:宁波市生化仪器厂制造。

1.3 实验方法

1.3.1 成分测定 可溶性固形物:阿贝折光法^[5];粗蛋白质:微量凯氏定氮法^[5];还原糖测定:斐林试剂法^[5];果胶含量:硫酸-间苯二酚法^[6];己糖醛酸含量:酸性铜试剂法^[7]。

果胶质的聚合度(DP)计算^[8]:

$$DP = \frac{\text{半乳糖醛酸的摩尔数}}{\text{己糖醛酸的摩尔数}}$$

1.3.2 酶活力测定

1) 果胶酶活力测定:分光光度法^[9],用 DNS 显色。在 50 ℃、pH 4.8 条件下,每分钟催化底物产生 1 μg 半乳糖醛酸所需的酶量定义为一个酶活力单位(μg/min/U)。

2) 聚半乳糖醛酸酶酶活测定:粘度法^[10],在 30 ℃、pH 4.5 条件下,1 s 内能将 0.5% 果胶溶液的相对流动性提高 0.01 的酶量被定义为一个酶活力单位(U)。

3) 木聚糖酶酶活测定:分光光度法^[11],用 DNS 显色。在 50 ℃、pH 4.8 条件下,每小时催化底物产生 1 μmol 木糖所需的酶量定义为一个酶活力单位(μmol/h,U)。

4) 纤维素酶酶活测定:分光光度法^[9],用 DNS 显色。在 50 ℃、pH 4.8 条件下,每小时催化底物产生 1 μmol 葡萄糖所需的酶量定义为一个酶活力单位(μmol/h,U)。

1.3.3 香蕉汁澄清过程中理化性质的测定

1) 澄清度:以果汁在 670 nm 处的透光率表示,去离子水作对照^[12];

2) 相对粘度:奥氏粘度法;

3) 羧基变化:pH-Stat 法^[13];

4) 颗粒表面带电情况:采用 DPM-1-Zeta 电位测定仪对香蕉汁的 Zeta 电位进行测定。将经酶解一定时间的香蕉汁样品适当稀释,然后分别测定其中 10 个微粒在正反方向移动一格(80 μm)的时间,共计 20 次。测定时工作电压为 38 V,温度为 28 ℃,仪器常数为 2.000。

5) 粒度分布测定:采用 HYDRO 2000 MU 激光粒度分布测定仪测定。将经酶解一定时间的香蕉汁样品加入到以水为介质的准备池中,稀释后样品被泵入测定室中。激光束照射,散射角度为 90°,测定范围为 0.020~2000.000 μm。

2 结果与讨论

香蕉在打浆后离心(3 000 r/min,15 min)除去沉淀即可得到香蕉浊汁。为了探讨商品酶制剂 Pectinex SMASH 对香蕉汁的澄清作用,作者从以下几个方面讨论果浆酶澄清香蕉汁时发生的一系列物理与化学变化。

2.1 果浆酶 Pectinex SMASH 的酶活

Novo 公司提供的果浆酶是由霉菌生产的一种适用于果浆液化的混合酶制剂,其酶解的最适 pH 值为 4~6,最适反应温度为 40~55 ℃(参见产品说明书)。经测定果浆酶 Pectinex SMASH 分别含有果胶酶(酶活 8.49 × 10⁵ U/g)、纤维素酶(酶活 3 108 U/g)和木聚糖酶(酶活 771.8 U/g) 3 种碳水化合物酶活力,其中果胶酶中聚半乳糖醛酸酶活力为 430 U/g。这 3 种酶分别作用于植物细胞壁中果胶质、纤维素及半纤维素,降解并破坏植物细胞壁网状结

构^[14],使细胞内容物最大限度地释放出来,从而大大提高香蕉果汁的得率.商品果胶酶通常是由聚半乳糖醛酸酶、果胶裂解酶、果胶甲酯酶等多种酶类组成,这些酶类共同作用可使含有果胶质混浊果蔬汁澄清^[14].

2.2 酶解过程中香蕉汁澄清度的变化

图1是45℃时酶添加量为0.05%时不同酶解时间下香蕉汁在670nm处的透光率变化情况.从图1可以看出,Pectinex SMASH在酶解最初15min内使香蕉汁澄清度快速提高,此阶段澄清度的提高与时间成线性关系.在随后的30min,香蕉汁澄清速率明显降低.酶解50min时,肉眼可以观察到絮凝产生,60min后,香蕉汁已基本澄清,此时澄清汁的透光率为95.37%.根据图1,可以将Pectinex SMASH澄清香蕉汁(Brix12)的过程分为两个阶段:酶解最初15min的快速澄清阶段和其后的缓慢澄清阶段.

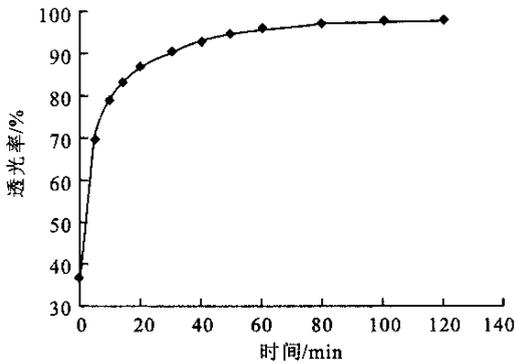


图1 果浆酶对香蕉汁澄清过程的影响

Fig.1 Effect of Pectinex SMASH on clarification of banana juice

2.3 酶解过程中香蕉汁粘度的变化

30℃时,酶制剂体积分数为0.001%的情况下,香蕉汁浓度为Brix12时测定结果见图2.从图2可以看出,在反应最初5min内,香蕉汁粘度迅速下降,其后10min香蕉汁粘度下降的速度减缓,反应20min后粘度随时间变化已经很慢.在溶液浓度不变的情况下,聚合物溶液的粘度、聚合物相对分子质量和分子的形状相关^[15],故香蕉汁澄清过程中粘度快速下降与相对分子质量减小直接相关.因商品果胶酶通常是由聚半乳糖醛酸酶、果胶裂解酶、果胶甲酯酶等多种酶类组成^[14],由此推论果浆酶中含有果胶裂解酶和聚半乳糖醛酸酶.在酶解最初阶段随机切断果胶分子,使其相对分子质量迅速减小,果汁粘度快速下降.在澄清反应的后期,由于水溶性果胶相对分子质量减小的速度减缓,且较小相对分子质量的物质对粘度影响比大分子小,故香蕉果

汁的粘度降低缓慢,并最终趋向稳定.

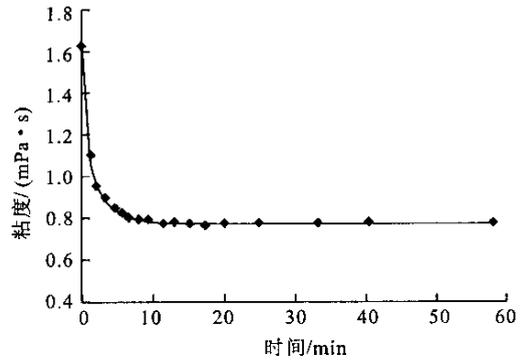


图2 酶解过程中香蕉汁的粘度变化

Fig.2 Effect of Pectinex SMASH on relative viscosity of banana juice

2.4 酶解过程中果胶质羧基含量的变化

果浆酶中的果胶甲酯酶可使果胶脱甲酯化,从而产生游离羧基^[13].作者利用pH-Stat法监测酶反应过程中香蕉汁羧基数量变化.从图3可以看出,羧基释放过程可分为两个阶段:最初10min的羧基快速释放阶段和10min后的羧基慢速释放阶段,但两个阶段羧基释放速度均与时间成线性关系.此结果与1965年Endo^[2]研究果胶酶澄清苹果汁所发现的在酶解200min内羧基释放量基本上与时间成直线关系相似,说明果胶甲酯酶在香蕉汁澄清过程中也起到相当大的作用.

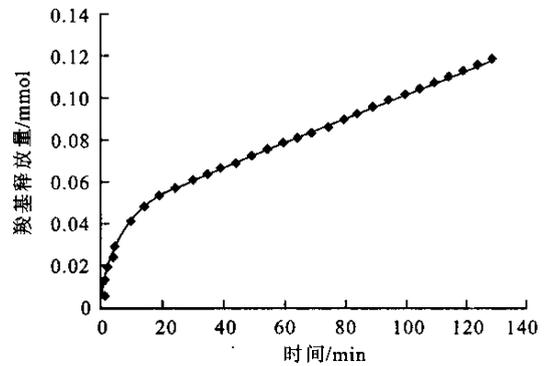


图3 酶解过程中游离羧基数量的变化

Fig.3 Change in amount of free carboxyl group released during enzymatic clarification

2.5 酶解过程中还原糖质量分数的变化

商品酶制剂Pectinex SMASH含有果胶酶、木聚糖酶和纤维素酶等碳水化合物酶,这些酶可水解香蕉果汁中碳水化合物,产生具有还原性的低分子糖及具有还原末端的碳水化合物片段,使香蕉汁悬浮胶粒中的碳水化合物分子变小.酶解中还原糖的变化趋势见图4.在酶解反应前5min,还原糖质量分数迅速增加,其后还原糖质量分数增加速度趋

缓. 推测造成还原糖增加速度改变的原因有两个: 果浆酶中的果胶裂解酶快速水解高酯果胶后作用力减小, 和聚半乳糖醛酸酶表现出水解活力^[14], 两种酶水解活力不同造成还原糖释放速度不同; 另一方面, 产物抑制作用^[16]也会造成反应后期还原糖释放速度放缓. 结合香蕉汁粘度变化曲线, 可能在酶解的最初 10 min, 香蕉汁悬浮颗粒中大分子果胶被果胶裂解酶和内切聚半乳糖醛酸酶迅速打断, 在还原端暴露的同时粘度快速下降. 在随后的反应中, 由于果胶相对分子质量变小而粘度下降缓慢, 但果浆酶仍不断水解其中的碳水化合物产生还原糖, 相对分子质量不断减小.

2.6 酶解过程中香蕉汁中悬浮颗粒粒度分布的变化

利用激光粒度测定仪测定不同酶解时间香蕉汁悬浮颗粒的粒度分布, 表 1 列出了不同酶解时间悬浮颗粒的粒度分布情况. 无酶处理条件下香蕉悬浮颗粒的平均粒度为 0.236 μm , 酶解 10 min 时平均粒度是 0.347 μm , 平均粒度小于 1 μm , 体系属于

表 1 不同酶解时间香蕉汁悬浮颗粒的粒度分布

Tab.1 Particle size distribution of THE suspended particle during enzymatic clarification of banana juice

酶解时间/ min	粒度分布/%					平均粒度/ μm
	0.091~ 0.275 μm	0.275~ 1.445 μm	1.445~ 7.586 μm	7.586~ 39.811 μm	39.811~ 100.0 μm	
0	58.94	21.04	18.55	1.49	0	0.236
10	43.62	29.20	26.69	0.40	0	0.347
25	0	0.24	79.93	19.85	0	4.289
40	0	0.02	16.14	83.33	0.52	13.116
60	0	0	5.95	92.24	1.81	16.986
80	0	0	5.19	93.07	1.73	17.283

图 5 给出了在果浆酶澄清香蕉汁过程中悬浮颗粒的平均粒度变化曲线. 可以看出, 在澄清的最初阶段 (10 min), 悬浮颗粒的平均粒度变化很小, 其后 40 min 内悬浮颗粒迅速增大且与时间呈线性相关. 酶解 60 min 后颗粒平均粒度几乎不再增加. 通过图 6 中香蕉汁粒度分布比较, 显示酶解后悬浮颗粒不仅粒度大大增加, 而且粒度分布范围缩窄, 其中酶解 80 min 后粒度在 7.586~39.811 μm 的颗粒占总颗粒的 93.07%.

2.7 酶解过程中香蕉汁悬浮颗粒表面带电情况的变化

香蕉汁中悬浮颗粒能否稳定地存在与其表面带电情况密切相关. 用电泳法测定香蕉汁中悬浮颗粒的 Zeta 电位时, 发现悬浮颗粒在外加电场的作

胶体分散体系^[17]. 然而, 酶解 10 min 时小于 0.275 μm 的颗粒较没处理的样品少 15.32%, 而大于 1.445 μm 的颗粒较对照样品多 7.1%. 酶解 25 min 后悬浮颗粒的平均粒度大于 4.2 μm , 此时胶粒已处于粗分散体系^[16], 存放和后续加工过程中会发生絮凝沉淀, 从而使香蕉汁体系逐渐澄清.

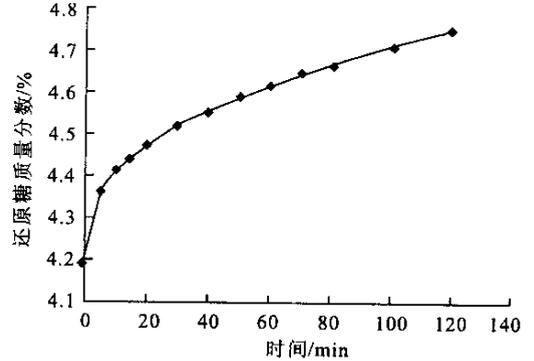


图 4 酶解过程中还原糖含量变化曲线

Fig.4 Change of reducing sugar content during clarification of banana juice

下朝正极方向移动, 说明悬浮颗粒表面带负电荷. Yamasaki 等研究苹果浊汁时发现其悬浮颗粒也带负电荷^[4], 由此推测两种果汁悬浮颗粒的组成可能相似. 由悬浮颗粒 Zeta-电位变化曲线(图 7)可看出, 原汁中悬浮颗粒表面带电量, 随着酶解的进行, 悬浮颗粒表面带电量减少. 其原因可能是果浆酶水解悬浮颗粒表面带负电荷的果胶质, 使悬浮胶粒表面被破坏, 导致胶粒内部带正电荷的物质部分暴露, 造成异性电荷相互吸引, 形成较大的颗粒. 这不仅增加了悬浮颗粒的粒度, 降低颗粒悬浮稳定性, 而且颗粒由于异性电荷中和而降低颗粒表面带电量, 从而降低颗粒的 Zeta 电位. 由于形成的大颗粒表面仍然带负电, 因此在水解前后颗粒的 Zeta 电位变化不剧烈, 但颗粒直径明显增大.

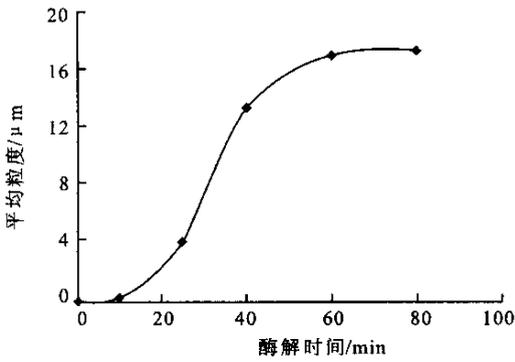


图5 不同酶解时间香蕉汁中悬浮颗粒粒度分布

Fig.5 Average size of the suspended particle during clarification of banana juice

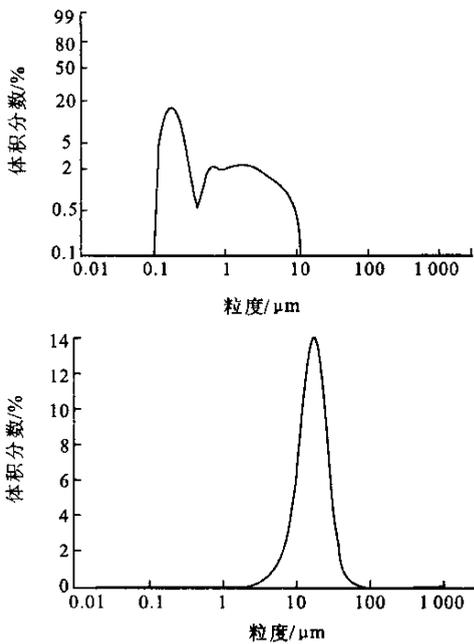


图6 无处理香蕉汁与酶解 80 min 后悬浮颗粒的粒度分布比较

Fig.6 Comparison of the particle size distribution between control and 80 min treated sample

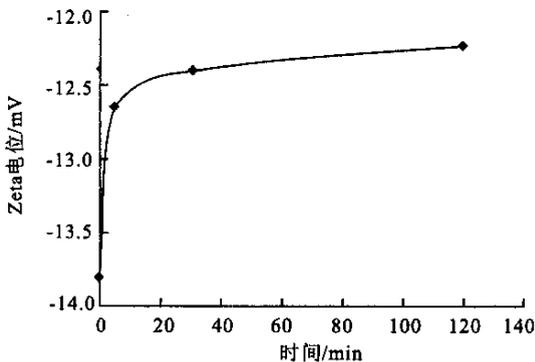


图7 酶解过程中悬浮颗粒的 Zeta 电位变化

Fig.7 Zeta-potential change of the suspended particle during clarification of banana juice

2.8 不同胶体分子对香蕉汁澄清的影响

研究不同胶体分子对香蕉汁澄清过程的影响,发现在无果浆酶加入时,带正电荷的胶体如明胶和酪蛋白可以部分澄清香蕉浊汁(见表2),说明香蕉浊汁中带负电荷的悬浮颗粒与带正电荷的胶体通过电荷间的相互吸引而聚集,从而使果汁得到部分澄清.电中性的胶体如瓜尔豆胶、可溶性淀粉及黄原胶等对香蕉汁的澄清几乎没有影响.在酶解澄清过程中加入中性胶体,香蕉汁仍然完全澄清(670 nm 透光率大于 95%).在无酶体系中,香蕉汁在加入电中性胶体后基本保持混浊状态(透光率小于 55%).

电负性胶体如阿拉伯胶、海藻酸钠和羧甲基纤维素等可以部分阻止香蕉汁的澄清.由表2可知,电负性胶体使香蕉汁在 670 nm 透光率均小于 88.0%,其中阿拉伯胶质量分数为 0.2% 时可以完全阻止香蕉汁的澄清(透光率为 54.2%).由此可推测电负性胶体在 Pectinex SMASH 水解悬浮颗粒中果胶质时能吸附到暴露的正电荷上,而其自身又不受果浆酶的影响,从而阻止了悬浮颗粒的相互聚集,抑制香蕉汁的完全澄清.

2.9 香蕉悬浮颗粒的化学成分变化

将香蕉混浊汁在 25 000 g 条件下离心,得到的沉淀经冷冻干燥后测定其果胶和蛋白质含量.在用果浆酶水解处理前,香蕉汁沉淀物中可溶性果胶质量分数为 23.72% (以干物质计,下同),总果胶为 24.43%,其中绝大多数是水溶性果胶.据 Endo^[2]研究,可溶性果胶易被水解,而附着于颗粒表面的不溶性果胶不易被水解而延迟澄清过程.香蕉汁中由于不溶性果胶含量较少,在澄清过程中没有出现延迟现象.

果胶类物质通常可被果胶酶水解,Pectinex SMASH 是多种碳水化合物酶的混合物,其中的果胶酶可以打断果胶质的 α -(1,4)-糖苷键,使果胶相对分子质量减小^[4].酶解后颗粒中果胶质量分数比水解前的低,为 20.20%,而且聚合度由 16.02 降低到 4.78.果胶物质的水解使香蕉汁粘度降低,澄清度提高.

据 Yamasaki 研究,苹果汁悬浮颗粒主要由蛋白质—碳水化合物复合物组成,其表面是带负电荷的果胶类物质^[4].香蕉汁悬浮颗粒中含质量分数 17.68% 的蛋白质和 24.43% 的果胶质,可能也主要由蛋白质—碳水化合物复合物组成.根据悬浮颗粒 Zeta-电位及与不同胶体分子的相互作用,香蕉汁悬浮颗粒表面带负电荷,悬浮颗粒在酶解过程中相互

聚集絮凝,由此认为香蕉汁悬浮颗粒是由带正电荷的蛋白质组成胶粒内核,表面附着带负电荷的碳水化合物,特别是果胶质。当 Pectinex SMASH 作用于香蕉汁时,悬浮颗粒表面的果胶质和其他碳水化合物

部分降解,复合物中正电荷被暴露,复合物上的正电荷与其周围带负电的其它胶粒相互吸引,导致颗粒增大并出现絮凝。

表 2 几种不同胶体分子对香蕉汁澄清的影响

Tab.2 Effect of various colloids on the clarification of banana juice

胶体种类	带电情况	测试质量分数/%	670 nm 透光率/%	对澄清的影响	与悬浮胶粒的絮凝作用
加果浆酶					
阿拉伯胶	-	0.05 0.2	84.7 54.2	+	-
海藻酸钠	-	0.05 0.2	87.7 87.3	+	-
羧甲基纤维素	-	0.05 0.2	88.0 86.7	+	-
卡拉胶	-	0.05 0.2	87.9 87.7	+	-
瓜尔豆胶		0.05 0.2	98.2 98.5		-
可溶性淀粉		0.05 0.2	98.2 98.3		-
不 加 果 浆 酶					
明胶	+	0.1	79.9	+	+
酪蛋白	+	0.1	76.3	+	+
可溶性淀粉		0.1	54.1		-
黄原胶		0.1	55.2		-
槐豆胶		0.1	54.7		-

注:单纯酶解样品透光率为 98.8%,香蕉浊汁的透光率为 53.9%。

在果浆酶澄清香蕉汁的过程中,不断释放还原糖和自由羧基,由此可见,在香蕉汁絮凝澄清后,果浆酶仍然不断水解果胶物质。

3 结 论

Pectinex SMAH 可以快速促进香蕉汁的澄清并使果汁粘度快速下降。由于澄清过程中不断释放还原基团和自由的羧基,可以推测 Pectinex SMASH 中同时含有果胶裂解酶、内切聚半乳糖醛酸酶和果胶酯酶,它们在整个酶解过程中持续水解果胶类物

质。由果汁中悬浮颗粒的 Zeta-电位及颗粒与不同胶体分子的相互作用可知,香蕉汁悬浮颗粒在 pH 4.76 时表面带负电荷。带负电的胶体如 CMC、海藻酸钠和阿拉伯胶可以阻止香蕉汁的酶解澄清。在果浆酶澄清香蕉汁的过程中,悬浮颗粒的平均粒度不断增加,粒度分布范围减小,酶解反应 20 min 后粒度大于 4.2 μm ,此时胶体属于不稳定体系。香蕉汁的酶解过程可以分为 3 个阶段:先是悬浮颗粒被部分水解,香蕉汁粘度快速下降,然后部分水解的悬浮颗粒相互聚集并出现絮凝,最后逐渐长大的颗粒沉淀下来。

参考文献:

- [1] 王素雅,王璋. 酶法生产澄清型香蕉汁的研究[J]. 食品科技, 2002, (7):44-46.
- [2] Endd A. Studies on pectolytic enzymes of molds, Part X IV Properties of pectin in apple juice[J]. *Agri Biol Chem*, 1965, 29 (2):137-143.
- [3] Endo A. Studies on pectolytic enzymes of molds, Part X VI Mechanism of enzymatic clarification of apple juice[J]. *Agri Biol Chem*, 1965, 29(3) 229-233.
- [4] Yamasaki M, Yasui T, Arima K. Pectic enzymes in the clarification of apple juice, Part I Study on the clarification reaction in

a simplified mode[J]. *Agr Biol Chem*, 1964, 28(11):779-787.

- [5]大连轻工业学院,华南理工大学,郑州轻工业学院,等. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,1994.
- [6]Kintner P K, Van Buren J P. Carbohydrate interference and its correction in pectin analysis using the m-hydeoxydiphenyl metho[J]. *J Food Sci*, 1982, 47(3):756-759,764.
- [7]Sajjaannantakul T, Van Buren J Pm, Downing D L. Effect of methyl ester content on heat degradation of chelator-soluble carrot pectin[J]. *J Food Sci*, 1989, 54(5):1272-1277.
- [8]Pitifer L A, Mclellan M R, Van Buren J P. Analysis of pectin content and degree of polymerization in orange juice[J]. *Food Chemistry*, 1994, 50:29-32.
- [9]施特尔马赫. 酶的测定方法[M]. 钱嘉渊译. 北京:中国轻工业出版社,1992.
- [10]蔡敬民,张洁. 芽孢杆菌木聚糖酶的发酵条件研究[J]. 工业微生物,1996,26(2):17-20.
- [11]Shahadan S, Abdullah A. Optimizing enzyme concentration, pH and temperature on banana juice extraction[J]. *ASEAN Food Journal*, 1995, 10(3):107-111.
- [12]Ishii S, Ylkotsuko T. Clarification of fruit juice by pectin trans-eliminase[J]. *J Agri Food Chem*, 1972, 20(2):787-791.
- [13]Godfrey T, West S. Industrial Enzymology[M]. New York:Stockton Press,1996.
- [14]何曼君. 高分子物理(修订版)[M]. 上海:复旦大学出版社,1990.
- [15]Wong D W S. Food Enzymes: Structure and Mechanism[M]. New York:Chapman & Hall,1995.
- [16]Dickinson E. An Introduction to Food Colloids[M]. London:Oxford University Press,1992.

(责任编辑:李春丽,杨萌)

(上接第 37 页)

- [12]Shimizu M. Purification and characterization of phytase from *Bacillus subtilis* (Natto) n-77[J]. *Bioscience biotechnology and biochemistry*, 1992, 56(8):1266-1269.
- [13]Tambe S M. Two distinct molecular forms of phytase from *Klebsiella aerogenes* evidence for unusually small active enzyme peptide[J]. *Journal of fermentation and bioengineering*, 1994, 77(1):23-27.
- [14]Yoon Y H. Isolation and identification of phytase - producing bacterium *Enterobacters* sp z4 and enzymatic properties of phytase enzyme[J]. *Enzyme and microbial technology*, 1996, 18(6):449-454.
- [15]杨平平,袁婀娜,史宝军,等. 产植酸酶菌株 *A. niger* 496-1 产酶条件的初步研究[A]. 发酵工程学科的进展-第三次全国发酵工程学术讨论会文集[C]. 北京:中国轻工业出版社,2002.230-233.
- [16]赵允磷,金其荣. 无花果曲霉与黑曲霉植酸酶产酶条件研究[J]. 食品与发酵工业,1996,(3):42-44.

(责任编辑:杨萌)