

泡变小, 膨胀体积小, 糊精化程度低; 含水量偏高, 机体内升温慢, 膨化率下降, 膨胀体积大, 膨胀后制品质地坚硬, 不利于微生物和酶的作用。

### 3.3 脱脂奶粉的加入会影响发酵时间和产品

风味。添加量适当时, 不仅可缩短发酵时间, 增强产品风味, 还可大大降低生产成本。

3.4 均质是本工艺中必须采用的一步工序, 它可以使产品口感细腻, 形成体态均一、乳化均匀、外观形态好的酸奶。

## 马铃薯丝加工中的褐变因素及其控制

胡小松 李积宏 刘文英 北京农业大学食品科学系 100094  
喻绍春 文国强 北京市农业局

**摘 要** 研究了马铃薯中多酚氧化酶的最适温度、最佳 pH 值及热稳定性等多方面的特性。筛选了以亚硫酸氢钠、抗坏血酸、柠檬酸、氯化钙为主剂的护色剂, 提出了马铃薯丝在加工与贮存过程中抑制其褐变的工艺流程与技术要点。

**关键词** 马铃薯 多酚氧化酶 褐变 护色

我国马铃薯种植面积广、产量大、马铃薯能在各种土壤和气候条件下生长, 因此, 在全国各地均有种植。但是我国马铃薯的加工利用却相当落后, 鲜食量高达 90% 以上, 远远落后于国外。如美国在 80 年代后, 马铃薯食品加工率达 76%<sup>[1]</sup>。

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 是一种高淀粉高蛋白质食物, 其中含有人体必需氨基酸蛋氨酸和胱氨酸, 还含有多种维生素, 如  $V_B$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ , 其中维生素 C 含量远远高于小麦、玉米、大米等禾谷类作物<sup>[2]</sup>, 近年来有“地下苹果之称”。可见, 通过对马铃薯开发利用的深入研究, 将马铃薯从单一的粮食作物, 转化成具有多种增值效益的商品, 具有相当重要的现实意义。

多酚氧化酶 (PPO) 是植物中广泛存在的一种酶, 常催化食品原料中的内源性多酚物质氧化生成黑色素。这种酶促反应多发生在苹果、香蕉、鳄梨、橄榄、蘑菇及薯类等果蔬中, 除了影响加工品的色泽外, 还会产生不良风味。因此, 必须针对性的采取措施进行控制<sup>[3]</sup>。

马铃薯加工过程中的褐变问题, 是生产中急待解决的课题, 也是制约马铃薯制品开发和利用的重要因素。这种褐变包括加工期间的酶

褐变和贮存期间的非酶褐变两个方面, 酶促褐变是由多酚氧化酶引起的<sup>[4]</sup>, 非酶促褐变受温度和还原糖含量影响很大。本实验以马铃薯丝为原料, 对如何控制多酚氧化酶所引起的褐变和酶的热稳定性、反应最佳酸度、最适温度进行研究。并对多种护色剂 (如柠檬酸、抗坏血酸、氯化钙、亚硫酸氢钠) 对褐变的抑制作用以及有关因素的影响作了深入探讨。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

品种	夏波蒂	紫花白	克新 2 号	乌盟 601
产地	河北围场	内蒙	北京延庆	北京延庆

#### 1.2 试剂配制

过氧化氢 ( $H_2O_2$ ): 取 1.0 ml 30% 的  $H_2O_2$  于 100 ml 的容量瓶中, 用蒸馏水定容后取此溶液 2.0 ml, 用 pH6.8 的磷酸缓冲液定容至 100 ml。

pH6.8 缓冲液: 将 0.05 mol/L 的  $NaH_2PO_4$  和  $NaHPO_4$  溶解, 定容至 500 ml, 调 pH 值至 6.8。

4-氨基安替比林: 取苯酚 1.62 g 用蒸馏

水溶解,再取 50KCMg4-氨基安替比林,混和定容至 100KCMl。

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 褐变强度(BD)的测定

取新鲜样品研磨成匀浆,按 1:10 加蒸馏水,低温下匀浆 2 min,过滤后取滤液于 25℃ 保温 5 min,测定褐变强度,结果以  $A_{410} \times 10$  表示<sup>[3]</sup>。

未保温的初酶液备用。

#### 1.3.2 多酚氧化酶(PPO)活性测定

取上述初酶液 2.0 ml,加 2.0 ml pH6.8 磷酸缓冲液,再加 8.0 ml 0.2% 的邻苯二酚于三角瓶中,振荡混匀,于 30℃ 下保温 10 min,然后于 410 nm 处比色测定 PPO 的活性,结果以  $A_{410}$  表示<sup>[5]</sup>。

#### 1.3.3 过氧化物酶(POX)活力的测定

用沃辛法测定<sup>[6]</sup>。

### 1.4 影响 PPO 活性的因素

#### 1.4.1 pH 对 PPO 活性的影响

用乙酸-乙酸钠(pH 4.0~pH4.5),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ -NaOH (0.05 mol/L, pH 6.0~8.0) 的缓冲液调整反应体系 pH 值,得如下 pH 水平: 4.1, 4.6, 5.0, 5.3, 6.0, 6.5, 6.9, 7.3, 8.3, 8.7。在 30℃ 下测定 PPO 活性。

#### 1.4.2 温度对 PPO 活性的影响

按 PPO 活性测定方法取好反应液,分别于 8, 12, 16, 20, 24, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80℃ 下保温 10 min,然后于 410 nm 处比色测定 PPO 活性。

#### 1.4.3 护色液(亚硫酸氢钠、抗坏血酸、氯化钙、柠檬酸)对 PPO 活性影响

按 PPO 活性测定方法取好反应液,分别向其中加入亚硫酸氢钠,抗坏血酸、柠檬酸,氯化钙,使之达到一定浓度,振荡混匀,于 30℃ 下保温 10 min,然后于 410 nm 处比色测定 PPO 活性。

### 1.5 PPO、POX 的热稳定性

将马铃薯切成 2 mm 左右的细丝,分别于 60, 65, 70, 75, 80℃ 下热烫一定时间后,迅速用自来水冷却,测定 PPO、POX 活性。

### 1.6 马铃薯不同部位的褐变强度和 PPO、POX 活性

取马铃薯近皮处组织(小于 1.5 cm 外缘)和心部组织各 10.0 g,按上述方法测定其 BD 与 PPO、POX 活性。

### 1.7 护色处理

分别用不同的漂烫温度与时间处理马铃薯丝,再迅速将其置于护色液中护色 20 min(也可根据生产要求,适当调整漂烫温度和时间),袋装密封后于低温(7.5~10℃)下贮藏,观察褐变情况。

护色液 I: 柠檬酸 +  $\text{NaHSO}_3$  (0.05%) +  $\text{CaCl}_2$  (0.15%) (pH4.9)

护色液 II: Vc (1.0%) +  $\text{CaCl}_2$  (0.15%)

护色液 III: 柠檬酸 + Vc (1.0%) +  $\text{CaCl}_2$  (0.15%) (pH3.9)

护色液 IV: 柠檬酸 + Vc (0.8%) +  $\text{CaCl}_2$  (0.15%) (pH3.9)

护色液 V: 柠檬酸 +  $\text{NaHSO}_3$  (0.1%) +  $\text{CaCl}_2$  (0.15%) (pH4.9)

## 2 结果与讨论

### 2.1 马铃薯不同品种和不同部位的褐变强度及多酚氧化酶和过氧化物酶活性

表 1 不同品种的马铃薯的糖含量和 BD 与酶活性比较

品种	比重	还原糖 %	蔗糖 %	BD	PPO	POX (mg/g)
夏波蒂	1.080	0.43	1.14	4.656	0.466	0.529
紫花白	1.096	1.36	3.54	5.465	1.291	0.263
乌盟 601	1.078	0.65	2.62	6.34	1.535	0.799
克新 2 号	1.085	1.18	2.28	5.41	1.361	0.903

#### 2.1.1 不同品种的马铃薯的特性比较

从表 1 可以看出,褐变强度与多酚氧化酶活性呈显著正相关( $y=3.846X+1.708$ ,  $r^{**}=0.7990$ ),与过氧化物酶活性无明显规律。说明马铃薯的褐变与多酚氧化酶有密切的联系,而与过氧化物酶无关。这与其它蔬菜水果相似,如

花椰菜、梨等。尽管马铃薯中过氧化物酶的相对含量也较高,但过氧化物酶在引起多酚氧化时,必须有过氧化氢的存在,而马铃薯中通常不存在更多的过氧化氢。而且,当过氧化氢和过氧化氢酶同时存在时,过氧化氢都被分解了,所以过氧化物酶不是褐变的主要原因。

试验发现,不同品种的马铃薯,其褐变强度及多酚氧化酶活性也有很大差别。在加工马铃薯丝时,品种对褐变的影响十分显著。以上的四个品种中,由美国引进的夏波蒂,其多酚氧化酶活性和褐变强度都明显低于其他三品种,这也许是美国马铃薯制品发展快,历史久的一个很重要原因。因为这种品种在加工与贮存过程中褐变较轻,通过一些处理后,可基本控制其褐变。

另外在四品种中,夏波蒂的还原糖含量也极低,仅有 0.43,显著低于其他三品种,这很有利于马铃薯丝的贮存,减少由于非酶褐变而引起的变色问题。一般刚采收的马铃薯块茎中还原糖含量几乎为零,在低温贮藏过程中,还原糖含量不断升高,可达鲜重的 7.8%<sup>[3]</sup>,这是由于磷酸化酶的作用使淀粉分解成糖的关系。对同一品种而言,我们可以采用适宜的贮藏方法,一方面可以使其还原糖含量不致很高,另一方面又可抑制其发芽。将经过冷藏的马铃薯置于室温下(20~30℃)2~3 周再加工,还原糖含量会明显降低,或者采用 10℃ 下贮藏,也可避免其淀粉的过分糖化。

因此,在生产马铃薯制品时,品种因素极其重要。必须尽量选择多酚氧化酶活性低,还原糖含量低的品种进行加工,这是保持制品良好色泽的首要条件,也是控制马铃薯制品在加工过程中褐变的关键环节之一。

#### 2.1.2 马铃薯不同部位的褐变强度和多酚氧化酶活性

如表 2 所示,在近皮部的马铃薯组织中,其多酚氧化酶活性和过氧化物酶活性均比心部高,褐变强度也大,所以,近皮部较心部更易褐变。这正是在加工马铃薯丝时,尤其经碱液去皮的马铃薯,其丝的两端变色快和变色严重

的主要原因。

表 2、马铃薯不同部位的褐变强度与酶活性

品种	部位	BD	PPO	POX (mg/g)
克新 2 号	心部	4.058	0.899	0.180
	近皮部	5.886	1.835	0.441
乌盟 601	心部	5.046	1.037	0.129
	近皮部	6.85	1.872	0.339

而在芽眼处的马铃薯丝,也极易发生褐变,这可能是由于近芽眼处的还原糖含量高于其他任何部位所引起的。因此,在加工马铃薯丝时,应除尽芽眼,尤其用碱液去皮进行生产时,更应注意这一问题。

#### 2.2 多酚氧化酶和过氧化物酶的热稳定性

##### 2.2.1 多酚氧化酶的热稳定性

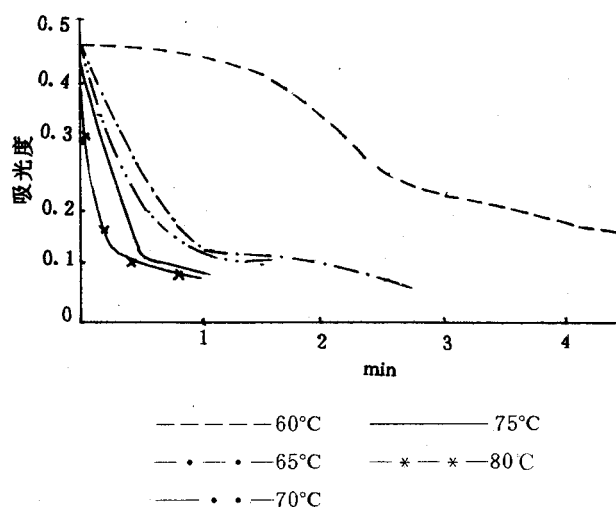


图 1 多酚氧化酶在各温度下的活性变化

试验结果表明(图 1),多酚氧化酶在 60℃ 以下不易失去活性。而在 65℃ 需热处理 60~90 s, 70℃ 时需 60 s, 75℃ 需 45 s, 才能使大部分酶失去活性。但在 80℃ 只需 25 s, 85℃ 时,热处理时间则不得超过 20 s, 否则马铃薯丝在贮藏期间会变软发粘。

试验认为,在生产上用热处理方法来控制马铃薯丝的褐变,一般以采用 75~85℃,热处理 45~20 s 为宜。低于 75℃,热处理时间长,营养素将损失较多,尤其是对不耐热的水溶性维

生素。而高于 85℃ 时, 淀粉糊化极快, 易影响马铃薯丝的再次加工, 破坏马铃薯丝原有的天然风味与质地。

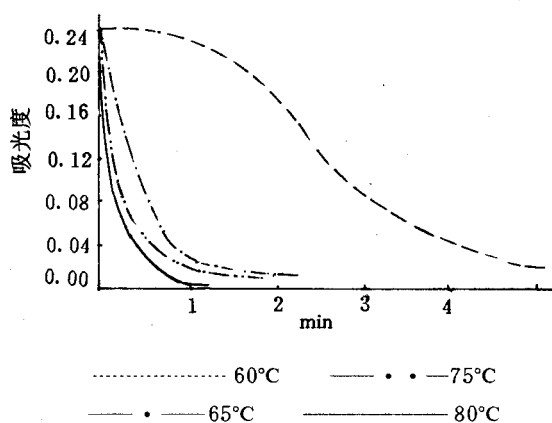


图 2 过氧化物酶在各温度下的活性变化

### 2.2.2 过氧化物酶的热稳定性

在进行热处理时, 一般可以用过氧化物酶和过氧化氢酶为测定酶, 如果这两种酶失活, 其它酶不会残留活性。图 2 为马铃薯的过氧化物酶在不同温度的热处理条件下所表现的活性变化, 不难看出, 其热稳定性和活性变化规律与多酚氧化酶 (图 1) 基本一致。当温度在 65℃ 以上时, 过氧化物酶在 60 s 以内才基本失去活性。

如表 3 所示, 温度愈高, 酶失活需要的时间愈短, 85℃ 只需 20 s。

表 3、过氧化物酶在各温度下的失活时间

温度 (℃)	热烫时间 (s)
75	45
78	30
80	25
85	20

因此, 在生产上可采用愈疮木酚法定性判断过氧化物酶和多酚氧化酶等酶系是否已失去活性。方法是将浓度为 1.5% 的愈疮木酚酒精溶液与 30% 过氧化氢等体积混和, 在待测马铃薯丝上滴加 1~2 滴上述溶液, 若马铃薯丝变为红褐色, 则热烫时间不够, 酶系尚未失活。若

马铃薯丝保持原色, 则表明酶已失活, 酶促褐变则基本可控制。此法简便易行, 适于生产上应用。

## 2.3 影响多酚氧化酶活性的因素

### 2.3.1 pH 对 PPO 活性的影响

图 3 为马铃薯的 pH-PPO 活性关系曲线图, 与甘薯中 PPO 纯化曲线图相似<sup>[5]</sup>。试验结果表明 (图 3), 马铃薯中 PPO 反应的最适 pH 为 6.0 (峰顶), 在 pH4.6~5.0 和 pH7.3~7.6 间有两个小峰出现。这说明马铃薯中可能有多酚氧化酶的同工酶存在, 而且因品种不同, 其活性强弱也有明显差异。

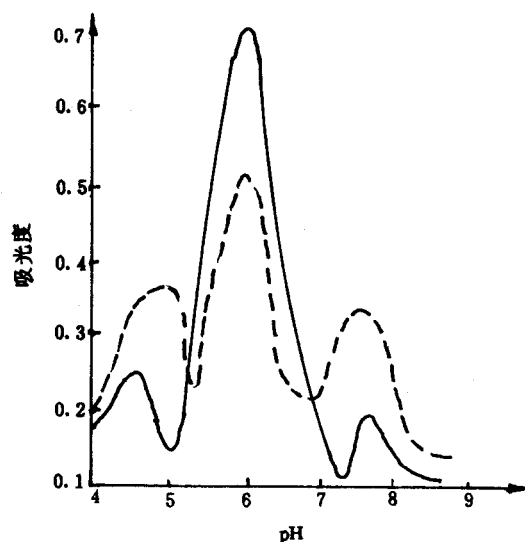
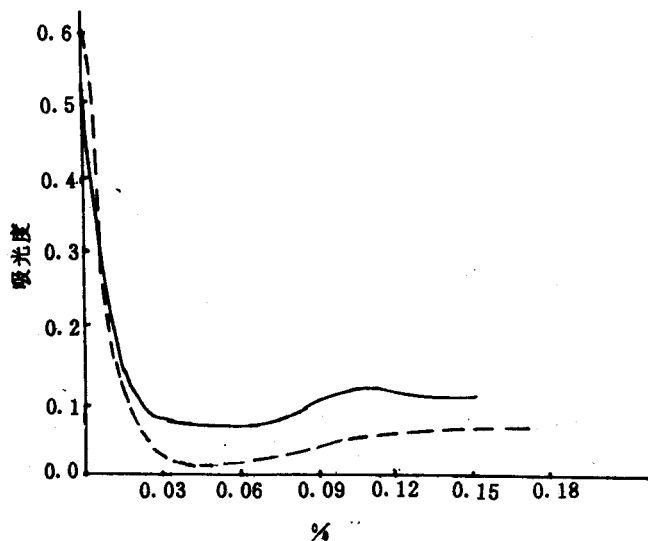


图 3 马铃薯中 PPO 活性与 pH 的关系

试验认为, 由于酸度对底物分子中羟基电离状态的影响, 故在不同的酸度下表现出不同的酶活性, 近中性 pH 对电离有利, 从而有利于酶的催化作用<sup>[5]</sup>。多酚氧化酶中含有 His 基团,  $pK=6.00$ , 故在中强酸条件下, 酶活性较高。另外, 酸度又影响辅基铜离子的稳定性, 碱性条件下, 铜分离出来以  $Cu(OH)_2$  状态沉淀。故在碱性条件下 ( $pH>8.3$ ), 酶活性也会明显的被抑制。

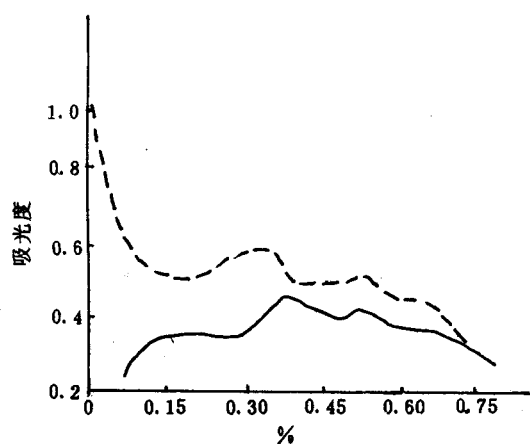
若将 pH 控制在 4.9 (用  $NaHSO_3$ ) 和 pH3.5 (用维生素 C) 时, 活性则显著降低, 可有效的

控制马铃薯丝在贮存期间的褐变而保持原色。



.....乌盟 601      ——克新 2 号

图 4 马铃薯 PPO 活性与 Vc 的关系

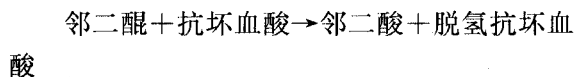


.....乌盟 601      ——克新 2 号

图 5 马铃薯 PPO 活性与  $\text{CaCl}_2$  的关系

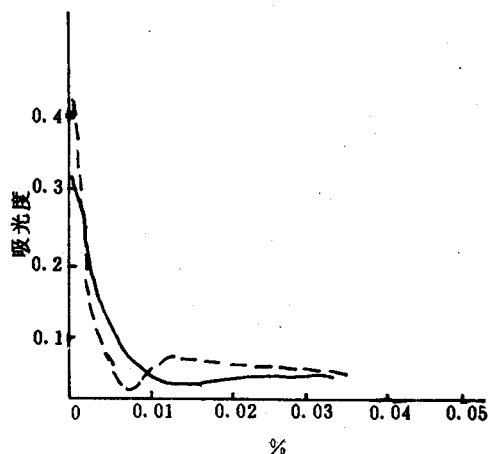
### 2.3.2 抗坏血酸 (Vc) 对 PPO 活性的影响

图 4 为抗坏血酸—PPO 活性曲线图。可以看出,当 Vc 加量在  $300 \times 10^{-6}$  左右,酶活性明显受到抑制。这可能是由于抗坏血酸不仅可改变体系的 pH 值,同时还是一种强还原剂。有资料表明<sup>[8]</sup>,抗坏血酸抑制褐变的主要原因和机制如下:



所以,一旦抗坏血酸用完,就失去了抗氧化和抑制褐变的作用。因此,抗坏血酸的使用量对防止马铃薯丝在加工与贮存期间的褐变十分关键。添加量少,不仅起不到抑制褐变的作用,反而易与氨基酸反应而促进非酶褐变;若加量过多,对于成品在贮存期间,特别是在较高温度下贮存时,由于氧化后所形成的酮化合物与胺化合物发生非酶褐变反应,会加剧制品变色。

试验认为,在马铃薯丝加工时,Vc 可有效的抑制贮期非酶褐变。而且,最好与柠檬酸结合使用,用柠檬酸调溶液 pH 至 3.5,抗坏血酸浓度为 1.0%,将经热处理的马铃薯丝在此溶液中浸泡一定时间后捞出,可更有效的抑制贮期非酶褐变(表 4)。而且,此溶液可在多次使



.....乌盟 601      ——克新 2 号

图 6 马铃薯 PPO 活性与  $\text{NaHSO}_3$  的关系

用后再测定其浓度和 pH 值,通过添加 Vc 和柠檬酸达到重复使用。

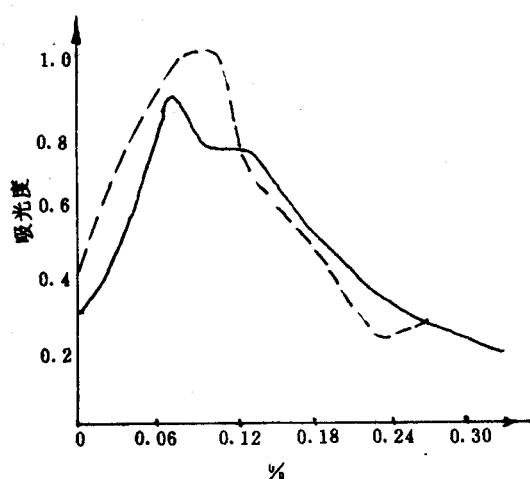
### 2.3.3 氯化钙对 PPO 活性的影响

图 5 为氯化钙—PPO 活性的关系曲线图。试验证明, $\text{CaCl}_2$  对酶活性抑制作用的规律不明显,只有当  $\text{CaCl}_2$  浓度达 0.6% 时,才有明显的抑制酶活性的作用。

这是由于为了使酶反应达到最佳状态,在配制溶液时用 pH6.8 的磷酸缓冲液,其中的  $\text{PO}_4^{3-}$  能与  $\text{Ca}^{2+}$  结合而产生不溶性的

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  沉淀, 故在  $\text{CaCl}_2$  浓度较低时,  $\text{Ca}^{2+}$  因沉淀而不能起到抑制酶活性的作用。因此, 在  $\text{CaCl}_2$  浓度较低时, 曲线呈现出无规律变化。只有反应液中的  $\text{PO}_4^{3-}$  全被  $\text{Ca}^{2+}$  结合而沉淀后, 剩余  $\text{Ca}^{2+}$  才可竞争性的螯合酶中的  $\text{Cu}^{2+}$ , 起到抑制褐变的功能。

试验还发现, 用  $\text{CaCl}_2$  处理热烫后的马铃薯丝, 在提高其脆硬质地上有良好的作用。这可能与钙离子和果胶酸的游离羟基之间的结合作用有关。但由于马铃薯中的植酸会与果胶相作用于钙, 从而影响马铃薯的质地。因此, 单独使用  $\text{CaCl}_2$  溶液护色, 效果并不好。在生产中, 一般使用量为 0.1%~0.15%, 即不会产生其他异味, 其目的主要是能够一定程度上提高马铃薯丝的质地。



-----乌盟 601      ——克新 2 号

图 7 马铃薯 PPO 活性与柠檬酸的关系

但在用亚硫酸盐进行护色时, 不能直接将  $\text{CaCl}_2$  与  $\text{NaHSO}_3$  混合, 否则会产生不溶性亚硫酸钙, 影响处理效果和产品质量。

#### 2.3.4 亚硫酸氢钠对 PPO 活性的影响

图 6 为亚硫酸氢钠—PPO 活性关系曲线。可以看出, 亚硫酸氢钠对 PPO 活性抑制效果十分明显,  $\text{SO}_2$  为  $60 \times 10^{-6}$  时, PPO 活性几乎完全被抑制。

试验认为, 亚硫酸氢钠若与柠檬酸结合使用, 其效果更明显。因为抑制酶活性实际上是

游离的  $\text{SO}_2$  起作用, 添加柠檬酸可使体系处于微酸性环境中, 有利于  $\text{SO}_2$  的释放, 生产上可用 0.05% 的亚硫酸钠, 在 pH 5.0 的体系中对马铃薯丝进行护色。但添加量不能过多, 否则会使产品因漂白而失去原色, 并产生不愉快的气味。

#### 2.3.5 柠檬酸对 PPO 活性的影响

图 7 为柠檬酸—PPO 活性曲线图。如图所示, 在柠檬酸浓度较低时, 对酶有一定的激活作用, 当柠檬酸浓度为 0.08% 时, 酶活性达最高峰。当浓度大于 0.2% 时, 对酶活性的抑制作用开始明显增加。

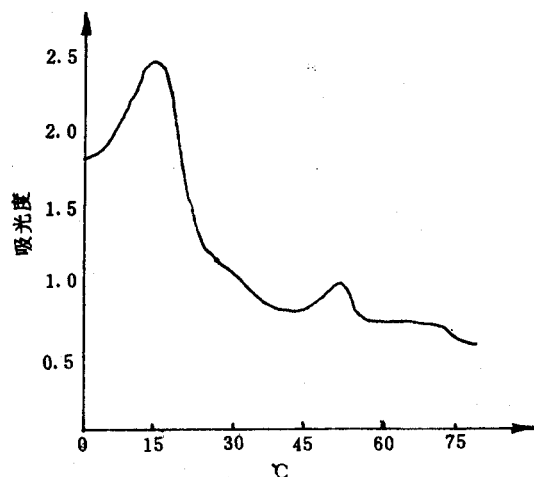


图 8 马铃薯 PPO 活性与温度的关系

单独使用柠檬酸对马铃薯进行护色, 效果不明显的原因可能是因为低浓度的柠檬对酶反应体系的酸度改变不大, 反而使之接近酶反应的最佳 pH (6.0)。同时, 低浓度的柠檬酸不足以结合足够多的铜辅基, 故低浓度 (小于 0.08%) 对 PPO 有一定的激活作用。

但在马铃薯丝的保存期间经柠檬酸液处理后, 能够起抑制微生物生长繁殖的作用, 对延长产品保存期有一定的效果。而且, 对用碱液去皮的马铃薯, 还可中和残余碱液, 但应将护色液最终 pH 值调至 3.5, 使其起到较好的护色作用。

柠檬酸若与亚硫酸盐、抗坏血酸和氯化钙结合使用, 可起到协同作用 (表 4)。若仅与亚

硫酸氢钠结合使用时,应将最终 pH 调至 5.0,就能起到很好的护色效果。若体系的 pH 值过低,则亚硫酸氢盐在强酸性环境中,SO<sub>2</sub>很快释放而散逸,在保存后期,马铃薯就会很快褐变而变色。在仅与抗坏血酸结合使用时,应将最终 pH 调至 3.5,因为抗坏血酸是种营养物质,在弱酸性环境下,微生物易生长繁殖,引起产品腐败。当 pH 小于 3.5 时,微生物也就很难生长繁殖,另外,当 pH 小于 3.5 时,酶的活性则基本受到抑制。

### 2.3.6 温度对 PPO 活性的影响

图 8 为温度—PPO 活性关系曲线图。试验表明,PPO 在 0℃~20℃条件下,酶活性较高,在 24~35℃之间,活性逐渐降低,在 16℃和 50℃时出现活性较高的两个峰。说明可能有 PPO 同工酶存在。16℃则是其活性最高的最适温度。

PPO 在 65℃以后,酶活性受制明显。因此,可采用 65℃以上进行热处理,通过漂烫处理达到基本控制酶促褐变,而起到护色作用。然而在 65℃时,所需的热处理时间较长(表 3 和图 8),不仅会使营养成分损失较多,而且马铃薯因漂烫时间过长而变色。但温度高于 85℃时,淀粉会很快糊化,从而使马铃薯丝发软变粘而失去原有的特殊风味,也影响其再加工。因此,掌握好热处理的温度和时间是生产中必须十分注意的问题,也是提高产品质量和防止褐变的关键环节。

## 2.4 马铃薯丝的护色与保存

### 2.4.1 马铃薯丝的护色剂筛选

从表 4 中可以看出,温度越高,热处理时间越短,热处理温度和时间对护色效果的影响也十分明显,相同的护色剂在不同的热处理条件下,其效果不同。试验认为,在生产中可采用 75℃以上热处理,此温度段热处理杀酶,护色效果较好。但单独使用抗坏血酸,褐变较严重,用硫进行护色(护液 I)可采用 70~75℃,75~80℃,80~85℃分别热处理 50,40,25 s,可保持马铃薯丝原有色泽、风味和质地。此种状态下,用自来水冲洗后的马铃薯丝含 SO<sub>2</sub> 为

40 10<sup>-6</sup>,符合国家卫生标准。用护色液 III 可采用 75~80℃,80~85℃热处理 40,25 s,效果也较好。

### 2.4.2 马铃薯丝的保存温度研究

表 4 马铃薯丝的护色效果观察

温度·时间	护色液					备注
	I	II	III	IV	V	
60℃ 4'	/	褐变	褐变	/	白	护色液中均
65℃ 1'30"	/	褐变	褐变	/	白	浸泡 20min
70℃ 1'20"	白	白	白	/	/	后,用聚乙
73℃ 1'	褐变	褐变	褐变	/	/	烯小包装袋
75℃ 45"	正常	正常	正常	/	/	密封,置
78℃ 30"	正常	正常	正常	/	/	7.5~10℃以
65~70℃ 1'45"	白	/	/	稍白	/	下保存。10 d
70~75℃ 50"	正常	/	正常	正常	/	后观察。
75~80℃ 40"	正常	褐变	正常	/	/	
80~85℃ 25"	正常	正常	正常	/	/	

表 5 温度对马铃薯丝保存的影响

护色液	温度(℃)		
	0~3℃	8~10℃	室温 18~25℃
CaCl <sub>2</sub> (0.3%)	2d 褐变+++	3d 褐变+	1d 褐变且发酵+
Vc(0.2%)	1d 褐变++	2d 褐变+	12h 褐变且发酵+
柠檬酸(0.1%)	6h 褐变++	8h 褐变+	8h 褐变且发酵+

如表 5 所示,马铃薯丝在 8~10℃的条件下保存,褐变速度最慢,褐变程度也较低。这可能是因为低温条件下,淀粉易转化为还原糖,而非酶促褐变速度与还原糖含量呈正相关,故在 0~3℃下褐变速度比 8~10℃快。另外,酸度对淀粉的分解与合成也有影响,低酸性条件下,淀粉分解。而低温能增加 CO<sub>2</sub> 在细胞液中的溶解度,在 0℃时,溶于细胞液中的 CO<sub>2</sub> 比在 20℃时多 1 倍<sup>[7]</sup>,从而降低了溶液的 pH 值,这也许是 0~3℃下褐变严重的原因之一。

同时,非酶促褐变又与温度密切相关,在一定范围内温度越高,褐变越快,所以室温(18~25℃)下褐变更快。另外,室温下适宜微生物生长繁殖,由于微生物作用,产品会因发

粘、产气、腐烂变质而失去食用价值和再加工性能。

因此,经处理的马铃薯丝应贮存于适宜的温度条件下,贮存环境温度过高或过低均会加速褐变。试验证明(表4),经烫漂和护色剂处理后的马铃薯丝,在7.5~10℃下可良好的保存10天以上。

此外,铜、铁、锌、镁等也可加速褐变和提高褐变强度,在生产加工中,应避免产品与金属直接接触。

### 3 结论

3.1 马铃薯丝的褐变与多酚氧化酶活性及马铃薯中还原糖含量呈正相关,应选择还原糖含量低,多酚氧化酶活性低的品种进行加工。

3.2 16℃和50℃为PPO反应的最适温度,温度达65℃以上PPO很快失活。可用75~85℃热处理20~45s杀酶工艺,来控制由PPO引起的酶促褐变。

3.3 PPO活性受多种因素的影响,如温度、酸度、护色剂等。因此,可通过控制pH值在3.5以下,以及采用Ca<sup>2+</sup>浓度为0.6%,抗坏血酸浓度300 10<sup>-6</sup>,NaHSO<sub>3</sub>浓度为60 10<sup>-6</sup>,柠檬酸浓度为0.2%的护色剂处理,有效的抑制PPO引起的褐变和非酶褐变。但低浓度的柠檬酸有激活PPO活性的作用,而高浓度的NaHSO<sub>3</sub>有漂白成品的效应。

3.4 马铃薯丝经75~85℃热处理20~45s后用护色液I、Ⅲ护色20min,袋装密封后,置于7.5~10℃下保持1周,仍能保持马铃薯原有的天然色泽和风味。

3.5 马铃薯丝加工与护色保存工艺流程及技术要点

原料选择(低还原糖、低PPO活性品种)→清洗(除芽眼)→碱液(10~12%NaOH)或蒸汽去皮→柠檬酸中和护色→切丝(护色SO<sub>2</sub>)→漂烫(75~85℃,40~20sCaCl<sub>2</sub>保脆)→护色20min(护色液I、Ⅲ)→密封或充氮包装→7.5~10℃贮存。

### 参考文献

- 1 吴凯里. 国外马铃薯加工现状. 马铃薯杂志 1991, (2): 95.
- 2 张英. 马铃薯全粉对面包感官品质和面团流变性的影响. 食品科学, (9): 1~8.
- 3 金玉来、钱建亚、肖冬青. 甘薯中多酚氧化酶的研究. 食品科学 1991. 9.
- 4 孟庆生. 国外关于食品褐变机理的研究. 国外食品科技. 1980, 6: 9~11.
- 5 冯志哲. 几种速冻蔬菜的酶活性和质地的分析研究. 食品科学, 1990. (1).
- 6 B. 施特马赫[德]著 钱嘉渊. 酶的测定方法. 中国轻工业出版社出版.
- 7 门福义. 马铃薯的贮藏物质. 马铃薯杂质. 1983, (1): 66.
- 8 黄梅丽. 食品色、香、味化学. 轻工业出版社, 1984.

## 铁强化豆腐的研制

张引沁

张一敏

张庆芝

新乡市平原大学

新乡市职业病防治所

河南师范大学 453002

**摘要** 用含铁盐的复合凝固剂制备铁强化豆腐,铁的比量比普通豆腐有很大提高。在保持豆腐原有的色、香、味的情况下,探索了铁强化豆腐的适宜配比。

**关键词** 凝固剂 豆腐 铁强化豆腐

**Abstract** Compound coagulant containing ferrous salt was used in the manufacture of bean curd, which made the iron content in the production higher than that in the ordinary bean curd. Suitable production condition of iron fortified bean curd was investigated for maintaining original color and flavour of bean curd.

**Keywords** Coagulant Bean curd Iron fortified bean curd