文章编号：1009－038X(2001)04－0356－07

啤酒废酵母中酵母抽提物的制备

陈 洁， 王 璋， 肖 刚
（无锡轻工大学 食品学院，江苏 无锡 214036）

摘 要：主要研究了机械破壁、pH 值以及麦芽根核酸酶的作用对啤酒酵母自溶过程的影响. 均质破壁能显著提高自溶速率及酵母抽提物中蛋白质和核苷酸的含量，麦芽根核酸酶的加入有效地提高了酵母抽提物中 5′-核苷酸含量，而提高自溶时的 pH 值不能显著地提高酵母抽提物中 5′-核苷酸的含量. 因此，有效地提高酵母抽提物中 5′-核苷酸含量的方法是：啤酒废酵母经 0.5% $NaHCO_3$ 脱苦后，加 2 倍体积无菌水和 5% NaCl，再加质量分数为 1% 的核酸酶，搅拌均匀，在 40 MPa 下均质 3 次，然后升温至 55 ℃，自溶 30 h，得到的酵母抽提物中 5′-GMP 含量高达 6.37 mg/g.

关键词：酵母抽提物；自溶；核苷酸
中图分类号：TS261.9 **文献标识码**：A

The Preparation of Yeast Extract from Waste Beer Yeast

CHEN Jie， WANG Zhang， XIAO Gang
(School of Food Science and Technology, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract: In this paper, the effects of mechanical cell breaking, pH and RNase from malt roots on the autolysation of yeast were studied. Mechanical cell breaking could increase the rate of autolysis and the contents of protein and nucleotides. 5′-nucleotide contents were significantly increased with the addition of RNase from malt roots. Higher pH seems to be of no advantage in the production of 5′-nucleotide. The maximum production of 5′-nucleotide in yeast extract was achieved when debittered yeast was homogenized three times at 40 MPa and autolyzed at 55 ℃ for 30 hours by adding 1% RNase from malt roots, 5% NaCl and 200% water. The 5′-GMP content in the product was 6.37 mg/g.

Key words: yeast extract; autolysation; nucleotide

关于酵母抽提物的研究，20 世纪 90 年代以来在国内较热，研究方向主要集中在：脱苦方法（以啤酒废酵母为原料）、自溶促进剂（食盐等）及自溶条件（温度、pH、变温条件、时间）的选择、蛋白质降解作用等方面[1～4]. 目前国内酵母自溶物的得率约为 35%～57%[2]. 国外酵母抽提物的制备主要有两种方法：一是通过自溶，二是先将酵母灭活，再外加酶降解[5]. 这两种方法各有优缺点，从得率看，前者得率约为 70%，后者将近 90%[5]. 从组成上看，外加酶法的酵母抽提物产品中呈味核苷酸含量高，而自溶法产品中的 5′-核苷酸含量很低，这是因为酵母细胞本身含有核酸酶，能将核酸降解为 3′-核苷酸. 另

收稿日期：2000－10－16；修订日期：2001－07－01.
作者简介：陈 洁（1969－），女，江苏太仓人，博士，副教授.

万方数据

外,外加酶法制备的酵母抽提物成分中低分子糖类、肽类含量较多,故产品风味更厚重.从这两点看,外加酶法更有吸引力.但外加酶法工艺相对较复杂,而自溶法工艺相对简单得多.

目前,国内酵母抽提物产品存在的主要问题是:酵母抽提物中呈味核苷酸的含量较低,酵母抽提物鲜度不够.本论文采用自溶法工艺制备酵母抽提物,主要研究了麦芽根核酸酶在酵母抽提物中的应用,目的是提高酵母抽提物中 5′-核苷酸的含量.有关麦芽根在酵母抽提物中的应用,国外在 20 世纪 60 年代开始即有报道,国内自 70 年代起,也有关于利用绿麦芽根提高酵母抽提物中呈味核苷酸含量的报道.事实上,在现有文献中,有关麦芽根提高酵母抽提物中呈味核苷酸含量的报道基本限于定性报道[1,9~12],而酵母自溶过程中关于核酸的降解及核苷酸的生成鲜有定量报道.论文通过测定酵母自溶过程中核酸、可溶性蛋白、总可溶性固形物含量随自溶时间的变化来判断自溶效果,以期通过控制多重指标包括可溶性蛋白质、总可溶性固形物及呈味核苷酸的生成量等指标,得到高得率、高呈味核苷酸含量的酵母抽提物产品.

1　材料与方法

1.1　主要材料、试剂和仪器

啤酒废酵母泥:太湖水啤酒厂提供;核酸酶:按文献[10]的方法从麦芽根制备;NaCl、$NaHCO_3$、NaOH、HCl、钼酸铵、高氯酸、$NaCO_3$、$CuSO_4$、硫酸锂、液溴、酒石酸钾、钨酸钠、钼酸钠:均为分析纯;磷酸:优级纯;甲醇:色谱纯;沉淀剂:0.25% 钼酸铵溶于 25% 高氯酸中;超滤膜:截留相对分子质量分别为 1 万和 3 千,天津纺院生产;超滤器:天津纺院生产;HPLC:Varian,5000 型,C18 柱;7520 紫外分光光度仪:上海分析仪器厂生产;722 光栅分光光度仪:上海第三分析仪器厂制.

1.2　测定方法

1.2.1　可溶性蛋白质　福林 – 酚法[8].

1.2.2　总可溶性固形物　直接干燥法[9].

1.2.3　核酸　紫外吸收法[8].

1.2.4　核苷酸　HPLC 法[11].将浓缩 4 倍的酵母抽提物离心,取上清液,采用截留相对分子质量为 3 000 的膜超滤以除去大分子.所得透过液采用 HPLC 检测其中的核苷酸含量.采用 SIGMA 公司的 3′-AMP,5′-AMP,5′-GMP,5′-CMP,5′-UMP,3′-UMP 和 3′-CMP 作为标样.HPLC 色谱条件为:体积积流量 1.0 mL/min,波长为 265 nm,采用梯度洗脱.0 min 时,30% 的质量浓度为 0.05 g/dL 磷酸水溶液 + 70% 水;5 min 时,30% 的质量浓度为 0.05 g/dL 磷酸水溶液 + 70% 水;15 min 时,50% 的 0.05 g/dL 磷酸水溶液 + 50% 水;18 min 时,50% 的质量浓度为 0.05 g/dL 磷酸水溶液 + 50% 水;22 min 时,30% 的质量浓度为 0.05% 的磷酸水溶液 + 70% 水.

1.3　试验方法

1.3.1　啤酒废酵母脱苦工艺　将啤酒废酵母离心,去除上清液后加 2 倍体积的无菌水,搅拌均匀,采用 70 目筛子筛分去除杂质,然后加 2 倍体积的 0.5% 的 $NaHCO_3$ 溶液,搅拌均匀,离心分离,去除上清液;再依次用 2 倍体积的无菌水和 0.5% 的 $NaHCO_3$ 溶液洗涤,最后用无菌水洗至中性后待用.

1.3.2　制备酵母抽提物的基本工艺　在 200 g 酵母中加 2 倍体积的无菌水和质量分数为 5% 的 NaCl,搅拌均匀后将料液升温至 55 ℃,保温 30 h 并保持不断搅拌,期间每隔一定时间取样.所取样品立即置于 100 ℃ 水浴中保温 20 min,然后离心分离,取上清液,测定总可溶性固形物、总可溶性蛋白质、总核酸及单核苷酸含量.

1.3.3　均质破壁对酵母自溶进程的影响　200 g 酵母加 2 倍体积无菌水和质量分数为 5% 的 NaCl,搅拌均匀后在 40 MPa 压力下均质 3 次,然后升温至 55 ℃,保温 30 h 并不断搅拌,期间每隔一定时间取样.以下处理同 1.3.2,对照不均质.

1.3.4　核酸酶对酵母自溶进程的影响　200 g 酵母加 2 倍体积的无菌水和质量分数为 5% 的 NaCl,再加质量分数为 1% 的核酸酶,搅拌均匀,在 400 kg 压力下均质 3 次,然后升温至 55 ℃,保温 30 h 并不断搅拌,期间每隔一定时间取样,以下处理同 1.3.2,对照不加核酸酶.

1.3.5　pH 值对自溶进程的影响

未均质破壁组:200 g 酵母加 2 倍体积的无菌水和质量分数为 5% 的 NaCl 后,搅拌均匀,用 4 mol/L NaOH 将 pH 调至 8,再加质量分数为 1% 的核酸酶,然后升温至 55 ℃ 自溶,同时用 4 mol/L NaOH 维持至 pH 8,2 h 后,用 4 mol/L HCl 将 pH 调至 5.自溶期间每隔一定时间取样,以下处理同 1.3.2,对照不调节 pH.

均质破壁组:200 g 酵母加 2 倍体积无菌水和 5% NaCl 后,搅拌均匀,用 4 mol/L NaOH 将 pH 调至 8,再加质量分数为 1% 的核酸酶,然后在 40 MPa 压力下均质 3 次,再升温至 55 ℃ 自溶,同时用 4 mol/L NaOH 将 pH 调至 8,2 h 后,用 4 mol/L HCl

万方数据

将 pH 调至 5. 自溶期间每隔一定时间取样,以下处理同 1.3.2,对照不调节 pH.

1.3.6 比较自制产品和市售产品中中 5′-GMP 的含量 采用 HPLC 分别测定自制产品、市售国产酵母抽提物及进口酵母抽提物中核苷酸的含量. 所有样品均配成 25% 溶液,离心分离后取上清液待用.

2 结果与讨论

2.1 均质破壁对酵母自溶进程的影响

均质破壁对于酵母自溶进程的影响见图 1,2. 从图 1 可以看出,均质破壁不能显著提高自溶产物的得率,但可以明显加快自溶进程. 均质样品自溶 2 h,其总可溶性固形物含量即达到非均质样品自溶 15 h 的水平.

均质破壁能显著提高自溶产物中可溶性蛋白质的含量,图 1 显示均质样品自溶产物中的可溶性蛋白质含量约为对照的 2 倍.

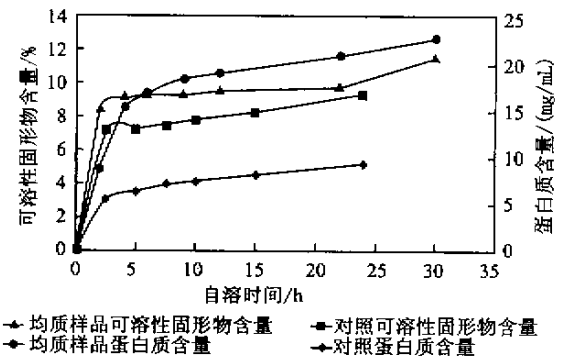


图 1 均质破壁对酵母自溶进程的影响

Fig. 1 The effect of homogenization on the yeast autolyzation

同时,均质破壁也能有效促进酵母中核酸的降解. 从图 2 可以看出,均质样品自溶产物中的核酸含量仅为对照的 1/2 左右,而核苷酸含量约为对照的 3 倍. 啤酒酵母所含的核酸酶主要为 3′-核苷酸生成酶. 表 1 显示,非均质样品的自溶产物中,基本不含 5′-核苷酸,而均质样品则含有很少量的 5′-核苷酸. 从图 2 还可以看出,在酵母自溶过程中,对照与均质样品中的核酸的变化趋势很相似 核酸含量先呈上升趋势,随后逐渐下降,再略有回升,然后再次呈下降趋势. 表 2 表明,均质样品的变化趋势更显著一些. 对于核酸的这种变化,可以认为是由于核酸溶出与降解速率的不平衡引起的. 研究发现,啤酒酵母中的核酸酶的最适作用温度约在 55 ℃ 左右,45 ℃ 以上开始不稳定,55 ℃ 保温 2 h 后,酶活力损失约为 80%. 啤酒酵母中核酸酶的这种性质造成了酵母自溶过程核酸含量的起伏. 酵母自溶是在 55 ℃ 下进行的. 在开始阶段,核酸逐渐溶出,此时核酸酶活力较高,核酸降解迅速,核苷酸也迅速生成,造成核酸含量的第一次起伏. 随着核酸酶活力的下降,核苷酸生成速率渐缓,而核酸溶出依然保持一定的速率,直至完全溶出,导致了核酸含量的第二次起伏.

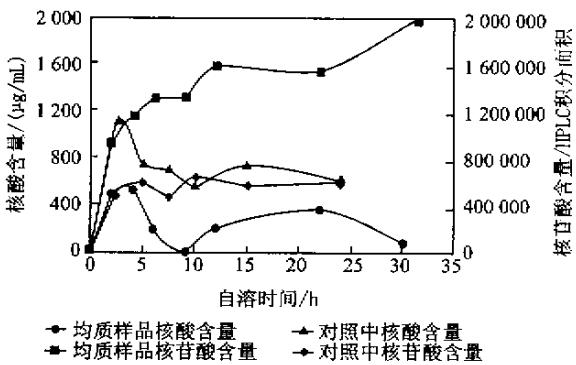


图 2 均质破壁对酵母自溶过程中核酸降解及核苷酸生成量的影响

Fig. 2 The effect of homogenization on the RNA degradation and nucleotide contents in yeast autolysate

表 1 对照样品的核苷酸生成进程表[1)]

Tab. 1 The nucleotides contents in yeast autolysate of control

自溶时间/h	核苷酸含量[2)]			
	3′-AMP	3′-CMP	3′-UMP	5′-CMP,5′-UMP,5′-AMP,5′-GMP
2	196 000	13 409	143 941	–
4	296 466	8 720	53 918	–
6	276 980	56 708	145 156	–
9	254 066	56 891	291 981	–
12	242 621	60 177	279 171	–
22	168 968	77 911	328 475	–
30	135 849	79 357	364 458	–

注:1) 对照样品指未经均质破壁、未加麦芽根核酸酶并且未调节 pH 的酵母自溶样品.

2) 核苷酸含量由 HPLC 图谱积分面积表达.

万方数据

表 2　均质样品的核苷酸生成进程表

Tab.2　The nucleotides contents in yeast autolysate of homogenization sample

自溶时间/h	核苷酸含量[2)]						
	5′-CMP	5′-UMP	3′-CMP	3′-UMP	5′-AMP	5′-GMP	3′-AMP
2	<5 000	–	130 035	25 815	–	–	105 112
4	5 947	–	233 721	295 609	28 145	5 474	180 705
6	7 649	–	180 611	276 236	48 434[1)]	–	171 539
9	40 164	–	170 773	442 311	110 98[1)]	–	169 064
12	55 118	–	99 906	401 729	8 144[1)]	–	86 874
22	59 967	–	64 148	341 823	20 372[1)]	–	43 799
30	106 462	–	101 880	505 521	16 442[1)]	–	10 892

注：1）由于 HPLC 分辨率的原因，两个峰合并.

2）核苷酸含量由 HPLC 图谱积分面积表达.

2.2　麦芽根核酸酶对酵母自溶过程的影响

从图 3，4 和表 1，3 的结果来看，麦芽根核酸酶的加入可以显著提高酵母抽提物中呈味核苷酸的含量，显著降低 3′-核苷酸的含量，但对可溶性固形物和蛋白质含量没有明显影响.

有研究表明，麦芽根中的核酸酶主要为 5′-核苷酸生成酶，其最适作用温度在 55 ℃左右，最适 pH 有两个，分别在 pH 5 和 pH 8 左右；该酶在 pH>2.5，温度小于 50 ℃环境下很稳定. 在 pH 6、55 ℃条件下保温 2 h 后，其活力损失约为 40%[12]. 而啤酒酵母核酸酶的最适作用温度为 55 ℃左右，但在 45 ℃以上开始不稳定，55 ℃时保温 2 h，酶活力损失约 80%. 因此推断，在破壁酵母中直接加入麦芽根核酸酶可以竞争底物 RNA，从而有效地提高酵母自溶产物中呈味核苷酸的含量. 表 3 所示结果证实了这一点. 在加酶自溶 30 h 的样品中，5′-GMP 的含量高达 6.37 mg/g，约为市售国产酵母抽提物的 3 倍.

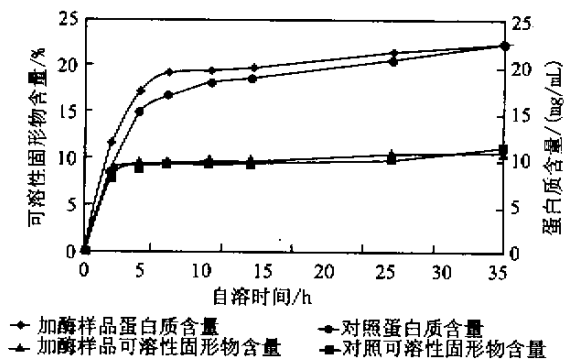


图 3　麦芽根核酸酶对酵母自溶进程的影响

Fig.3　The effect of RNase from malt roots on the yeast autolyzation

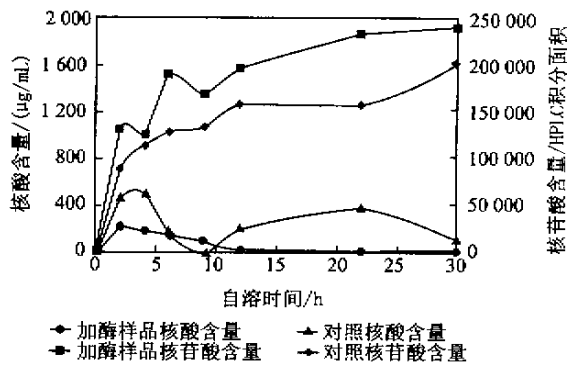


图 4　麦芽根核酸酶对酵母自溶过程中核酸降解的影响

Fig.4　The effect of RNase from malt roots on the RNA degradation and nucleotide contents in yeast autolysate

表 3　加麦芽根核酸酶均质样品的核苷酸生成进程表

Tab.3　The nucleotides contents in yeast autolysate of homogenization sample with RNase from malt roots

自溶时间/h	核苷酸含量[1)]						
	5′-CMP	5′-UMP	3′-CMP	3′-UMP	5′-AMP	5′-GMP	3′-AMP
2	102 969	–	24 762	48 326	20 147	70 959	302 367
4	40 945	17 306	35 853	7 444	126 327	127 826	299 746
6	26 241	63 288	42 871	–	159 229	188 962	499 116
9	9 088	98 626	35 385	–	178 400	21 884	56 935
12	–	79 812	19 828	–	175 527	253 357	502 933
22	–	59 859	14 871	–	164 523	228 045	630 906
30	–	18 748	22 498	–	271 155	259 568	919 807

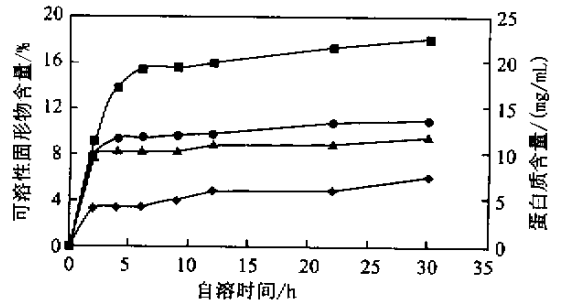
1）核苷酸含量由 HPLC 图谱积分面积表达

万方数据

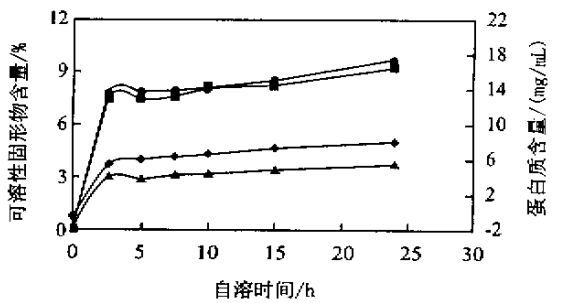
2.3 pH 对酵母自溶进程的影响

pH 对酵母自溶总的得率影响不大，但对于自溶产物的组成成分有显著影响. 从图 5，6 的结果可以看出，在 pH 8 自溶的产物中蛋白质含量显著低于对照，而核酸的含量则远高于对照，核苷酸的含量又明显低于对照，这种趋势在均质破壁样品更明显. 从表 4～6 的核苷酸生成进程表来看，非均质破壁的条件下，在 pH 8 自溶的产物中 5′-核苷酸的量与在 pH 5 自溶的产物中的量相当，而 3′-核苷酸的量则显著低于在 pH 5 自溶的产物中的量；在均质破壁条件下，在 pH 8 自溶的产物中两种核苷酸的量均显著低于在 pH 5 自溶的产物中的量.

在 pH 8 自溶的产物中 3′-核苷酸的量显著低于在 pH 5 自溶的产物中的量，说明 pH 8 可以有效抑制酵母中产 3′-核苷酸的核酸酶的活力. 而在 pH 8 自溶的产物中蛋白质含量显著低于对照，则说明 pH 8 对于酵母中的蛋白酶也有抑制作用.



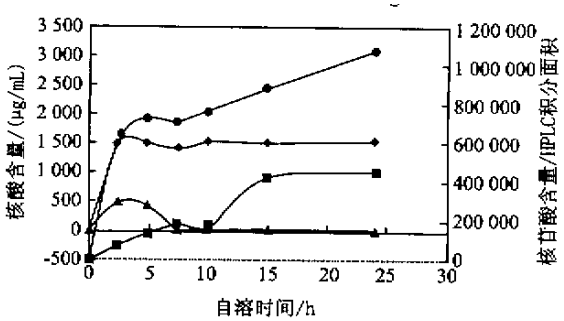
a. 均质破壁



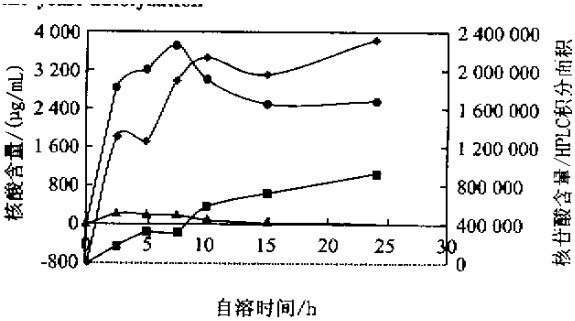
b. 未均质破壁

图 5 pH 对酵母自溶进程的影响

Fig. 5 The effect of pH on the yeast autolyzation



a. 未均质破壁



b. 均质破壁

图 6 pH 对酵母自溶过程中核苷酸的影响

Fig. 6 The effect of pH on the RNA degradation and nucleotide contents in yeast autolysate

表 4 加麦芽根核酸酶的非均质样品的核苷酸生成进程表

Tab. 4 The nucleotides contents in sample autolyzated with RNase from malt roots

自溶时间/h	核苷酸含量[2)]						
	5′-CMP	5′-UMP	3′-CMP	3′-UMP	5′-AMP	5′-GMP	3′-AMP
2	5 100	28 211	272 107	165 860	–	6 637	9 076
4	7 181	61 762	243 922	329 544	3 106	5 051	6 150
6	16 887	17 175	247 025	252 800	75 899	14 626	13 756
9	9 647	19 920	208 305	131 032	85 366[1)]	–	6 250
12	25 587	16 098	200 796	102 380	96 005[1)]	–	12 660
22	45 346	22 681	187 270	105 326	115 796[1)]	–	6 756
30	57 542	24 310	268 037	143 515	134 540[1)]	–	12 500

注：1）由于 HPLC 分辨率的原因，两个峰合并.

2）核苷酸含量由 HPLC 图谱积分面积表达.

万方数据

表 5　加麦芽根核酸酶的非均质的酵母在 pH 8 条件下自溶的核苷酸生成进程表

Tab.5　The nucleotides contents in sample autolyzated at pH 8.0 with RNase from malt roots

自溶时间/h	核苷酸含量[2]						
	5′-CMP	5′-UMP	3′-CMP	3′-UMP	5′-AMP	5′-GMP	3′-AMP
2	6 445	6 984	29 120	45 640	5 735	–	–
4	9 959	45 430	50 681	56 974	–	–	6 282
6	13 932	41 286	67 996	18 950	18 950[1]	–	–
9	9 146	64 900	145 325	5 637	7 341	19 539	18 352
12	15 482	59 772	126 382	64 712	7 642[1]	–	–
22	11 125	17 631	137 192	52 667	68 303[1]	–	–
30	10 813	19 591	135 190	44 478	53 203[1]	–	–

注：1）由于 HPLC 分辨率的原因，两个峰合并.

2）核苷酸含量由 HPLC 图谱积分面积表达.

表 6　加麦芽根核酸酶的均质的酵母在 pH 8 条件下自溶的核苷酸生成进程表

Tab.6　The nucleotides contents in homogenized sample which autolyzated at pH 8.0 with RNase from malt roots

自溶时间/h	核苷酸含量[1]						
	5′-CMP	5′-UMP	3′-CMP	3′-UMP	5′-AMP	5′-GMP	3′-AMP
2	9 696	11 918	–	–	39 451	5 000	5 068
4	18 382	7 167	5 706	–	52 145	10 044	19 702
6	59 005	6 792	64 199	11 004	59 180	5 594	8 140
9	89 644	15 609	113 894	168 837	33 758	9 602	118 806
12	112 828	5 735	164 881	206 783	40 047	46 897	181 058
22	132 650	61 115	209 086	192 196	34 113	35 385	194 472
30	145 314	42 676	298 545	241 917	58 644	25 085	248 265

1）核苷酸含量由 HPLC 图谱积分面积表达

酵母中的蛋白酶主要有 4 种[5]，其最适 pH 和最适温度见表 7. 这些蛋白酶的温度稳定性和 pH 稳定性均比较差. 从试验结果看，虽然试样在 pH 8 的条件下保温 2 h 后，随即将 pH 调回 5.0，仍然对蛋白酶造成了很明显的抑制作用.

表 7　酵母中的内源蛋白酶的最适 pH 和最适温度

Tab. 7　The endogenesis proteins in yeast

蛋白酶	最适 pH	最适温度/℃
A	8～9	35～40
B	5～7	45～55
C	5～7	45～55
D	3～4	60

另外，由于外加的麦芽根核酸酶的 pH 稳定性较好，理论上讲，在 pH 8 加酶的自溶过程中，核酸的降解应该比较迅速并能生成较大量的呈味核苷酸. 但试验未达到预想结果. 这可能有以下原因导致的：

万方数据

第一，由于在 pH 8 的条件下，阻碍蛋白质降解，也阻碍了细胞器中核酸的溶出，导致在核酸酶失活前生成的核苷酸总量下降. 比较图 6 中的 a 和 b 可以看出，均质破壁的酵母在自溶前期，产物中的核酸含量明显高于未破壁的，同时核苷酸含量也大了将近一倍. 虽然 pH 8 阻碍了蛋白质的降解，然而均质能有效破坏细胞膜结构，因此破壁酵母的自溶产物中的核苷酸含量要高得多. 这可以部分说明在 pH 8 外加核酸酶未能有效生成呈味核苷酸可能是由于细胞膜或细胞器膜未能被有效破坏所导致的.

第二，对照表 5 和表 3 的结果可以看出，在 pH 8 自溶的产物中，5′-CMP 和 5′-UMP 生成量较在 pH 5 时大，而 5′-AMP 和 5′-GMP 的生成量较在 pH 5 小. 因此，有理由相信，pH 会影响麦芽根核酸酶系的水解作用，导致产物不同.

2.4　自制产品与市售产品 5′-GMP 含量的比较

HPLC 测定自制样品中 5′-GMP 的含量约 6.37 mg/g，国产样品约 1.58 mg/g，进口样品约 2.09

mg/g. 这个结果说明了采用麦芽根核酸酶能有效地提高酵母抽提物中 5′-核苷酸含量.

3 结 论

主要研究了机械破壁、pH 以及麦芽根核酸酶的作用对酵母自溶过程的影响. 均质破壁能显著提高自溶速率及酵母抽提物中蛋白质和核苷酸的含量,麦芽根核酸酶的加入能有效地提高酵母抽提物中 5′-核苷酸含量,而提高自溶时的 pH 值不能显著提高酵母抽提物中 5′-核苷酸含量. 因此,能有效地提高酵母抽提物中 5′-核苷酸含量的方法是:啤酒废酵母经 0.5% $NaHCO_3$ 脱苦后,加 2 倍体积无菌水和 5% NaCl,再加质量分数为 1% 的核酸酶,搅拌均匀后在 40 MPa 压力下均质 3 次,然后升温至 55 ℃ 自溶 30 h,得到的酵母抽提物中 5′-GMP 含量高达 6.37 mg/g,约为市售产品的 3 倍.

参考文献:

[1] 钟文辉,吴小荣. 利用废弃啤酒酵母研制营养调味品——酵母精[J]. 食品科学, 1996, 17 (2):15~21.

[2] 冯霖. 啤酒废酵母菌体变温法自溶的研究[J]. 酿酒科技, 1996(1):63~64.

[3] 沈国惠, 刘杨岷. 啤酒酵母自溶条件的优化及其抽提物的挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业,1991(3):8~17.

[4] 宁正祥. 酵母自溶过程中氨基酸溢出动力学[J]. 食品与发酵工业, 1993 (2):30~34.

[5] MAURO MORESI,KLENA ORBAN. Effect of enzymes in industry [M]. New York:The Nature Press, 1979.

[6] 管敦仪. 啤酒工业手册[M]. 北京:轻工业出版社, 1982.

[7] PRENTICE N. Comparison of malts for nuclease and nucleobase potentials[J]. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**,1983, 41(4):133~144.

[8] 张龙翔. 生化实验方法及技术[M]. 北京:高等教育出版社,1981. 165~166.

[9] 刘福岭,戴行钧. 食品物理与化学分析方法[M].北京:轻工业出版社,1981.

[10] 陈洁,王璋. 麦芽根中核酸酶的提取方法[J]. 食品工业科技,2000(1):19~21.

[11] NGUYEN T T, PALCIC M M, HADZIYEV D. Liquid chromatography assay for potato tuber muclease and *Riboanclease*. **Journal of Chromatpgraphy**[J]. 1987,388:189~199.

[12] PRENTICE N. Characterization of a nuclease from malted barley roots[J]. **Journal of Cereal Science**, 1987(5):175~187.

(责任编辑:李春丽)

万方数据