

两株米曲霉混菌制曲提升酱油品质的研究

洪钦辉^{1,2}, 王威²

(1.佛山市海天调味食品股份有限公司, 广东 佛山 528000; 2.佛山市海天(高明)调味食品有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要:为探索双菌种复配制曲的可行性,该研究以两株不同特性的米曲霉(HT.AS1102、HT.AS1103)复配制曲酿造酱油,考察两株米曲霉的生长特性和混合制曲的产酶能力,并通过评估酿造酱油的理化、感官指标,选择合适的菌种复配制曲比例。结果表明,菌株HT.AS1102与HT.AS1103的最佳复配制曲比例为2:1。在此优化条件下,两株米曲霉复配制曲酿造的酱油较HT.AS1102单菌制曲发酵酱油氨基酸态氮含量提升3.3%,谷氨酸含量提升23%;较HT.AS1103单菌制曲发酵酱油总酸含量下降3%,还原糖含量提升8%;酿造出的酱油综合了两个单菌株的优势,综合口感最佳。

关键词:米曲霉;混合制曲;产酶能力;酱油品质

中图分类号:TS264.2

文章编号:0254-5071(2025)07-0237-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.07.034

引文格式:洪钦辉,王威.两株米曲霉混菌制曲提升酱油品质的研究[J].中国酿造,2025,44(7):237-241.

Research on improving the quality of soy sauce by mixed koji-making with two *Aspergillus oryzae*

HONG Qinhui^{1,2}, WANG Wei²

(1.Foshan Haitian Flavouring & Food Co., Ltd., Foshan 528000, China;

2.Foshan Haitian (Gaoming) Flavoring & Food Co., Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract:In order to explore the feasibility of combining two strains to make koji, two strains of *Aspergillus oryzae* (HT.AS1102 and HT.AS1103) with different characteristics were used to make koji and brew soy sauce, the growth characteristics and enzyme-producing abilities of koji made by two strains of *A. oryzae* were studied, and the appropriate compound proportion of two strains for koji-making was selected by evaluating the physicochemical and sensory indexes of brewed soy sauce. The results showed that the appropriate compound proportion of strains HT.AS1102 and HT.AS1103 for koji-making was 2:1. Under the optimal conditions, the amino acid nitrogen and glutamic acid contents of the soy sauce brewed by koji with two strains of *A. oryzae* increased by 3.3% and 23% compared with the soy sauce brewed by koji with strain HT.AS1102, respectively. At the same time, the total acid content decreased by 3% and the reducing sugar content increased by 8% compared with the soy sauce brewed by koji with strain HT.AS1103. The brewed soy sauce had the optimal overall taste combining the advantages of the two single strains.

Key words: *Aspergillus oryzae*; mixed koji-making; enzyme production ability; soy sauce quality

在酱油酿造工艺中,制曲主要是让曲霉等菌种充分生长繁殖,产生大量酶系,各种酶组成的酶系分解原料中的各种营养成分,使得酱油中有足够的营养物质、呈味物质、香气物质,形成酱油独特的口感和风味^[1-5]。我国从1957年选用米曲霉3.863菌株后,全国开始采用米曲霉及其变异株来生产酱油。上海酿造实验工厂从AS3.863通过人工诱变得到一株性状优良的酱油酿造菌株AS3.042,该菌株已在全国普遍使用。我国长期以来传统酱油酿造使用单一米曲霉菌种制曲,产品口味较淡薄、原料利用率较低。近年来,有许多学者提出多菌种制曲以提高制曲酶系、改善酱油风味、提高原料利用率的想法^[6-12]。如李荔等^[13]研究米曲霉与酱油曲霉双菌混合制曲对于酱油酿造的影响,酱油风味质量得到明显提升。李保英等^[14]研究酱油生产中应用米曲霉和黑曲霉混合制曲的应用效果,酸性蛋白酶及糖化酶活力明显提升。罗雯等^[15]通过复合米曲霉发酵制曲获得了酸性

蛋白酶高于沪酿3.042菌株的曲料。王素珍等^[16]将米曲霉与增香曲复合应用,改善了酱油的色泽。张翀等^[17]通过红曲霉菌混合制曲研究高盐稀态发酵过程挥发性物质的变化,发现红曲酱油挥发性物质中酯类的含量与种类最为丰富。路怀金等^[18]研究了2株米曲霉的特色酶系对酱油理化指标及品质的影响,表明了蛋白酶类和降解碳水化合物酶类复合效果较好。樊嘉训等^[19]研究了高产蛋白酶米曲霉菌株的选育及对酱油风味生成的影响。CHEN Z Y等^[20]对混合菌种制曲对中式酱油理化及感官特性的影响中提到混合制曲不仅可以丰富感官,而且可以加快发酵反应速度。UEKI T等^[21]用混合制曲系统生产酱油的实用方法中提到混合培养的谷氨酰胺酶活性高于单一培养的菌株。以上研究均说明不同菌株的复配可以将酶系最大化互补,从而使发酵酱油原料利用率更高、风味物质更丰富。本研究通过分析两株米曲霉的生长特性和产酶能力,探讨双菌混合制

曲对于酶系的分泌、发酵指标及氨基酸分布、风味特征差异的影响,综合评估酿造酱油的理化和感官指标,选择合适的复配比例,为酱油复配菌种制曲提供技术支持和理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株与材料

米曲霉(*Aspergillus oryzae*)HT.AS1102、米曲霉(*Aspergillus oryzae*)HT.AS1103:海天(高明)调味食品有限公司内部保藏;大豆、小麦粉、豆粕、麸皮(均为食品级):市售。

1.1.2 化学试剂

KH_2PO_3 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (均为分析纯):广州化学试剂厂;木糖(分析纯):国药集团化学试剂有限责任公司;干酪素(生化试剂):北京奥博星生物技术有限责任公司;琼脂粉(生化试剂):上海环凯微生物科技有限公司;大豆分离蛋白(生化试剂):日本和光纯药工业株式会社。

1.1.3 培养基

大豆蛋白培养基^[22]:大豆分离蛋白10 g/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/L, 木糖30 g/L, KH_2PO_4 1 g/L, 琼脂粉15 g/L, pH 6.4, 121 °C灭菌15 min。

酪蛋白培养基^[23]:干酪素4 g/L, KH_2PO_3 0.3 g/L, 琼脂粉20 g/L, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/L, pH 6.5~7.0, 121 °C灭菌15 min。

种曲培养基^[24]:按照麸皮80%、豆粕15%、小麦粉5%混合均匀,加入1.1倍质量的常温自来水润湿,静置20 min,翻拌均匀,121 °C灭菌15 min。

酱油曲培养基^[24]:将黄豆加入3~4倍质量的(25±2) °C自来水中浸泡6~8 h,沥干水分后在121 °C灭菌15 min,冷却至35~40 °C后,与小麦粉按7:3的质量比(以原料黄豆计)翻拌均匀。

1.2 仪器与设备

WBK-6B型恒温水浴锅、SQP Quintix2102-1CN赛多利斯电子天平(1 mg):广东环凯微生物科技有限公司;B2K20341脉动真空压力蒸汽灭菌器:欧思瑞医疗科技股份有限公司;HPS-250恒温培养箱:哈尔滨市东联电子技术开发有限公司;DHG-9203A恒温干燥箱:上海精宏实验设备有限公司;SW-CJ-1FD净化工作台:上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;722G可见光分光光度计:上海仪电分析仪器有限公司;TCP1型pH计:上海雷磁仪器有限公司;Leica DM500光学显微镜:奥林巴斯株式会社;KDN-04A定氮仪:上海重逢科学仪器有限公司;9系列自动滴定仪:瑞士万通(中国)有限公司;L-3000全自动氨基酸分析仪:江苏华晨仪器科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 制曲工艺及酿造酱油工艺操作要点

(1)制曲工艺操作要点

菌种扩培:将两株保存于沙土管的米曲霉菌种分别接种0.1~0.2 g于大豆蛋白培养基的斜面试管中,接种后放置30 °C恒温培养箱中培养5 d。

种曲制备:使用接种铲将斜面培养基上已生长好(已培养5 d,孢子黄绿,无再生菌丝)的孢子分别接入两个装有种曲培养基的三角瓶中,接种量约1%,摇匀后30 °C培养4 d,在培养18~22 h时摇瓶一次,将曲料打散。

将HT.AS1102、HT.AS1103种曲干燥分离出孢子后,按照质量比1:0、4:1、3:1、2:1、1:1、1:2、0:1混合均匀,以0.2%的接种量接种于酱油曲培养基中,置于培养箱中28~33 °C培养40~50 h,分别在培养15~18 h、24~26 h时各翻曲一次,得到酱油成曲。

(2)发酵工艺

将制备的成熟酱油曲曲料(培养40 h以上,曲料干爽,不粘手,无异味)使用2.2倍质量(相对制曲时投入的原料质量)20 °C、18 °Bé的盐水拌湿后落入发酵罐,在30 °C条件下发酵60 d,发酵过程第3天搅拌一次,其后每隔7 d搅拌一次,发酵结束后200目滤布过滤发酵醪得到滤液,为头道酱油。

1.3.2 种曲特性分析

种曲孢子数参照SB/T 10315—1999《孢子数测定法》^[25]进行测定;种曲孢子发芽率参照SB/T10316—1999《孢子发芽率测定法》^[26]进行测定。

1.3.3 酱油曲酶活力分析

果胶酶活力、蛋白酶活力、 α -淀粉酶活力的测定:参照GB 1886.174—2016《食品安全国家标准 食品添加剂 食品工业用酶制剂》^[27];纤维素酶活力的测定:参照QB/T 2583—2003《纤维素酶制剂》^[28];谷氨酰胺酶活力的测定:使用谷氨酰胺酶活性测定试剂盒。

1.3.4 酱油品质分析

总酸含量:参照GB 12456—2021《食品中总酸的测定》^[29];氨基酸态氮含量:参照GB 5009.235—2016《食品中氨基酸态氮的测定》^[30];全氮含量:参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》中全氮的检测方法^[31];还原糖含量:参照GB 5009.7—2016《食品中还原糖的测定》^[32];游离氨基酸含量:全自动氨基酸分析仪测定。

1.3.5 感官评价分析^[33]

由15~20人组成感官评定小组,对发酵酱油进行品鉴,并针对体态、色泽、香气、口感4个方面进行评价,其中口感细分为鲜味、甜味、苦涩味、咸味、酸味5个维度进行打分,评分范围为1~5分,分数越高表示喜爱度越高,最后统计取平均分。

2 结果与分析

2.1 种曲发酵特性分析

孢子数是衡量霉菌产孢能力的指标,产孢能力越强,

单位质量的种曲可产出更多的曲料与原油。孢子发芽速率高并且产孢质量稳定的曲种,在提高种曲生产效率以及酱油制曲的抗杂性能、质量稳定性方面具有明显优势。两菌株种曲孢子数及孢子发芽率测定结果见表1。

表1 单菌株HT.AS1102及HT.AS1103种曲孢子数及孢子发芽率
Table 1 Spore number and germination rate of seed koji with single strain HT.AS1102 and HT.AS1103

指标	菌株HT.AS1102	菌株HT.AS1103
孢子数/($\times 10^8$ 个 \cdot g $^{-1}$ 干料)	89 \pm 5	37 \pm 5
孢子发芽率/%	93 \pm 1	95 \pm 2

由表1可知,HT.AS1102菌株孢子数为89 $\times 10^8$ 个/g干料,孢子发芽率为93%;HT.AS1103菌株孢子数为37 $\times 10^8$ 个/g干料,孢子发芽率为95%;在孢子数上HT.AS1102菌株具有绝对优势,一般符合制曲需求的孢子数应不低于6.0 $\times 10^9$ 个/g干基,复配可使低产孢菌株更好的应用于生产,发挥其发酵特性的同时,避免产孢量不足的问题。两菌株的孢子发芽率指标接近,可满足生产一般要求。

2.2 酱油曲酶系特性分析

将米曲霉HT.AS1102菌株与米曲霉菌株HT.AS1103按照质量比1:0、4:1、3:1、2:1、1:1、1:2、0:1进行混合制曲,从成曲酶系角度分析两株米曲霉混合制曲产酶特性的影响,结果见表2。

表2 单菌、混菌制备酱油曲料酶系特性
Table 2 Enzyme system characteristics of soy sauce koji made by single and mixed strains

复配比例 (HT.AS1102: HT.AS1103)	酶活力/(U \cdot g $^{-1}$)				
	中性蛋白酶	淀粉酶	果胶酶	纤维素酶	谷氨酰胺酶
1:0(HT.AS1102 单独制曲)	2 756 \pm 86	256 \pm 30	139 \pm 8	15.3 \pm 0.5	0.6 \pm 0.2
4:1	2 700 \pm 78	268 \pm 26	138 \pm 6	15.8 \pm 0.6	0.7 \pm 0.2
3:1	2 721 \pm 89	250 \pm 40	148 \pm 9	15.9 \pm 0.4	5.6 \pm 0.6
2:1	2 725 \pm 80	266 \pm 34	153 \pm 8	16.0 \pm 0.5	9.2 \pm 0.8
1:1	2 586 \pm 95	276 \pm 29	152 \pm 7	16.4 \pm 0.6	9.3 \pm 0.8
1:2	2 570 \pm 74	260 \pm 31	153 \pm 8	16.5 \pm 0.6	10.6 \pm 0.8
0:1(HT.AS1103 单独制曲)	2 439 \pm 81	272 \pm 35	158 \pm 7	16.5 \pm 0.6	8.8 \pm 0.6

由表2可知,复配后的酱油曲酶活力指标基本介于两个菌株单独制曲酶活力之间,且随HT.AS1103菌株比例增加,复配酱油曲料的中性蛋白酶活力呈下降趋势,果胶酶、谷氨酰胺酶活力整体呈上升趋势,淀粉酶、纤维素酶变化不明显。说明两个菌株在制曲过程中表现出各自的特性。在复配比例(HT.AS1102:HT.AS1103)达到2:1时,酱油曲的中性蛋白酶活力适中,谷氨酰胺酶活力有明显提升,也可以避免HT.AS1103菌株种曲产孢量少,需要大量用种的情况,具有明显的优势。

2.3 混菌制曲发酵酱油理化指标分析

将米曲霉HT.AS1102菌株与米曲霉菌株HT.AS1103复配制曲后进行发酵,得到的酱油理化指标测定结果见表3。

表3 混菌制曲发酵酱油理化指标测定结果
Table 3 Determination results of physicochemical indexes of soy sauce fermented by koji with mixed strains

复配比例 (HT.AS1102: HT.AS1103)	总酸含量/ (g \cdot 100 mL $^{-1}$)	氨基酸态氮 含量/ (g \cdot 100 mL $^{-1}$)	还原糖含量/ (g \cdot 100 mL $^{-1}$)	全氮含量/ (g \cdot 100 mL $^{-1}$)
1:0	2.28 \pm 0.02	1.21 \pm 0.01	5.6 \pm 0.2	2.05 \pm 0.01
4:1	2.29 \pm 0.01	1.21 \pm 0.01	5.3 \pm 0.3	2.06 \pm 0.02
3:1	2.31 \pm 0.00	1.23 \pm 0.02	5.4 \pm 0.2	2.07 \pm 0.02
2:1	2.33 \pm 0.02	1.25 \pm 0.01	5.4 \pm 0.3	2.10 \pm 0.01
1:1	2.36 \pm 0.01	1.25 \pm 0.00	5.1 \pm 0.3	2.09 \pm 0.02
1:2	2.39 \pm 0.01	1.26 \pm 0.01	5.2 \pm 0.4	2.10 \pm 0.03
0:1	2.40 \pm 0.02	1.27 \pm 0.02	5.0 \pm 0.2	2.12 \pm 0.02

由表3可知,以HT.AS1102单菌制曲酿造的酱油总酸、氨基酸态氮、全氮含量最低,还原糖含量最高;以HT.AS1103单菌制曲酿造的酱油总酸、氨基酸态氮、全氮含量最高,还原糖含量最低;混菌制曲随着HT.AS1103比例的逐渐升高,酱油的总酸、氨基酸态氮、全氮含量均提升,但在HT.AS1103菌株的复配比例更高时,酱油总酸含量提升较大,可能会导致口感偏酸。综合对比各项指标,HT.AS1102与HT.AS1103的最佳复配制曲比例为2:1,在此条件下制备的酱油,较HT.AS1102单菌发酵酱油氨基酸态氮含量提升3.3%;较HT.AS1103单菌发酵酱油总酸下降3%,还原糖含量提升8%;综合两个单菌株的优势,在鲜甜味和协调性方面有明显的改善。

2.4 不同制曲条件下酱油游离氨基酸组成分析

考察两个单菌以及HT.AS1102和HT.AS1103复配比例2:1的条件下制曲对发酵酱油的游离氨基酸测定结果影响见表4。

由表4可知,相比HT.AS1102、HT.AS1103菌株单菌制曲发酵的酿造酱油,HT.AS1102:HT.AS1103=2:1制曲酿造酱油的谷氨酸族(谷氨酸、谷氨酰胺、脯氨酸、精氨酸)含量为23%、天冬氨酸族(天冬氨酸、天冬酰胺、赖氨酸、苏氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸)含量为24%~25%、丙氨酸族(丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸)含量为21%~22%、丝氨酸族(丝氨酸和半胱氨酸)含量为7%~8%、芳香族氨基酸(酪氨酸、苯丙氨酸、色氨酸)含量为7%,5大家族的氨基酸含量占比稳定。HT.AS1102:HT.AS1103=2:1制曲酿造酱油氨基酸总量比HT.AS1102单菌制曲提升3.8%,接近于HT.AS1103,而发酵产生的氨气(不呈味且易挥发)含量比HT.AS1103低11%,所以复配后的酱油既提升了氨基酸总量,又避免了高氨气产出。

表4 混菌制曲发酵酱油的游离氨基酸含量测定结果
Table 4 Determination results of free amino acid contents of soy sauce fermented by koji with mixed strains

氨基酸种类	氨基酸含量/(g·L ⁻¹)		
	HT.AS1102	HT.AS1102: HT.AS1103=2:1	HT.AS1103
天门冬氨酸 Asp	6.59	7.58	8.45
苏氨酸 Thr	3.65	4.38	5.17
甲硫氨酸 Met	2.51	2.05	0.64
赖氨酸 Lys	5.38	5.41	5.57
谷氨酸 Glu	11.81	14.54	15.12
脯氨酸 Pro	3.56	3.18	2.76
精氨酸 Arg	2.15	0.18	0.15
丙氨酸 Ala	5.25	4.69	4.29
缬氨酸 Val	4.78	4.91	5.19
亮氨酸 Leu	6.44	6.85	7.41
酪氨酸 Tyr	0.71	1.22	1.58
苯丙氨酸 Phe	5.07	4.61	4.42
胱氨酸 Cys	0.57	0.48	0.44
丝氨酸 Ser	4.54	4.65	4.79
组氨酸 His	1.21	0.31	0.21
甘氨酸 Gly	2.78	2.88	3.04
异亮氨酸 Ile	4.53	4.69	4.97
鸟氨酸 Orn	1.41	3.11	1.85
氨基酸合计	72.93	75.68	76.03

在氨基酸的合成途径中,谷氨酸来自于三羧酸(tricarboxylic acid cycle, TCA)循环中的 α -酮戊二酸,而脯氨酸与精氨酸均由谷氨酸转化而来。HT.AS1103菌株单独制曲发酵酱油的Glu含量比HT.AS1102提高了23%,而Pro和Arg含量全部出现下降,因此推测HT.AS1103菌株中使Glu转化为Pro、Arg的代谢途径中的酶含量较低,从而导致代谢途径向Glu生成的方向进行,其中对Arg途径的影响尤其大,Arg在HT.AS1103菌株的酿造酱油中占比极低。同时,由于Glu含量在HT.AS1103菌株本酿造酱油中聚集,使得对Glu生成的反应产生反向抑制,从而使部分Glu转化为其他物质,降低Glu族的整体占比。此外,HT.AS1103菌株的谷氨酰胺酶含量较高,催化L- β -谷氨酰胺水解成L-谷氨酸和氨,因此氨基酸组分中,氨的含量有所提升。而从复配制曲之后的指标看,确实取得了两者的综合优势,达到了较高的Glu含量。

2.5 感官评价分析

由图1可知,HT.AS1102单菌制曲酱油色泽深红,体态澄清,酱香浓郁,综合口感协调但浓厚感略显单薄;HT.AS1103单菌制曲酱油色泽稍浅、偏黄,体态澄清,酱香稍弱,综合口感鲜味突出,留口时间长;HT.AS1102:HT.AS1103=2:1制曲酿造酱油综合两者的特点,特别在鲜、甜、苦、咸、酸等方面体现综合协调性提升。

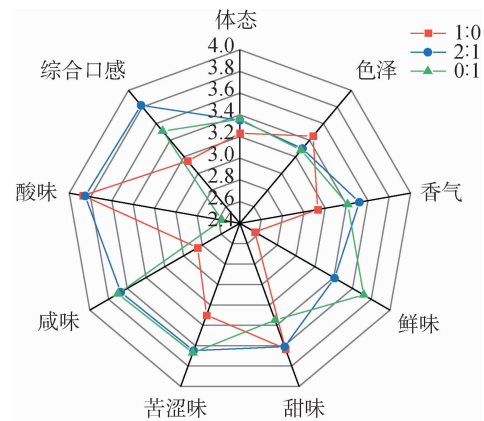


图1 不同菌种制曲发酵酱油感官评价结果
Fig. 1 Sensory evaluation results of soy sauce fermented with koji with different strains

综上所述,HT.AS1102单菌制曲酱油总酸低、酸味协调,但其氨基酸态氮、谷氨酸、全氮含量较低,导致口感鲜味、浓厚度不足;HT.AS1103单菌制曲酱油氨基酸态氮、谷氨酸、全氮含量高、口感鲜,但总酸含量较高、还原糖含量较低、口感偏酸。HT.AS1102:HT.AS1103=2:1制曲酿造酱油能够较好地综合两者的优势特点。

3 结论

复合菌种发酵是目前酱油制曲环节的主流发酵方式,可以发挥各菌株的优势,搭建酱油制曲环节的酶系丰富度、平衡度。本研究使用的HT.AS1102菌株具有产孢能力强,生长快抗杂性好,同时复配具有较高的谷氨酰胺酶活力的HT.AS1103菌株制曲,获得的酿造酱油既保留了HT.AS1102酱香浓郁、口感协调的特点,又提高了氨基酸的产出率及谷氨酸含量,使得酿造得到的酱油口感鲜味突出,口感柔和,酱香浓郁。

参考文献:

- [1] ITO K, MATSUYAMA A. Koji molds for Japanese soy sauce brewing: Characteristics and key enzymes[J]. *J Fungi*, 2021, 7(8): 658-664.
- [2] WU T Y, KAN M S, SIOW L F, et al. Effect of temperature on moromi fermentation of soy sauce with intermittent aeration[J]. *Afr J Biotechnol*, 2010, 9(5): 702-706.
- [3] GAO X, ZHAO X, HU F, et al. The latest advances on soy sauce research in the past decade[J]. *Food Res Int*, 2023, 28: 403-407.
- [4] 陈玉婷, 乌日娜. 传统发酵制品中霉菌的应用研究[J]. *中国酿造*, 2019, 38(7): 1-4.
- [5] 张平. 大豆发酵食品-豆酱的研究进展[J]. *中国酿造*, 2018, 37(2): 6-10.
- [6] 张海珍, 蒋子箭, 陈敏. 多菌种制曲与发酵在酿造酱油中的应用现状[J]. *中国酿造*, 2008, 27(17): 1-3.
- [7] 曾小波, 王婷婷, 李学伟, 等. 添加大曲发酵对广式酱油品质影响的研究[J]. *中国酿造*, 2022, 41(6): 99-105.
- [8] 张小龙, 王嘉瑞, 李青卓, 等. 合成微生物群落及在发酵食品中应用研究进展[J]. *中国酿造*, 2021, 40(3): 17-21.

- [9] 李鹏,张艳芳,王选年.米曲霉双菌株组合制曲对产蛋白酶的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(2):206-210.
- [10] 王宪斌,冯霞,刘义,等.多菌种制曲在酱油发酵中的研究进展[J].食品与发酵科技,2016,52(3):60-64.
- [11] 牛丽丽,何琳琳.高盐稀态酱油中微生物的协同作用[J].食品安全导刊,2018(24):155-156.
- [12] 李鹏,张艳芳,王选年.米曲霉双菌株组合制曲对产蛋白酶的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(2):206-210.
- [13] 李荔,童星.酱油酿造中米曲霉和酱油曲霉复合制曲的研究[J].中国酿造,2018,43(5):145-148.
- [14] 李保英,姜佳丽,蒋予箭.酱油生产中应用米曲霉和黑曲霉混合制曲的探索[J].中国酿造,2011,40(12):70-74.
- [15] 罗雯,郭建,樊君,等.酱油酿造中复合米曲霉发酵制曲研究[J].中国调味品,2022,47(4):164-166.
- [16] 王素珍,刘文鹏,陶贵明,等.双菌种联合发酵酿制酱油应用研究[J].中国调味品,2009,34(4):55-57.
- [17] 张翀,雷艳平,王丹妮,等.红曲霉菌混合制曲高盐稀态发酵过程挥发性物质的变化[J].食品工业科技,2021,42(13):51-58.
- [18] 路怀金,刘通讯,赵谋明,等.2株米曲霉的特色酶系对酱油理化指标及品质的影响[J].中国食品学报,2021,21(5):230-237.
- [19] 樊嘉训,刘松,陆信曜,等.高产蛋白酶米曲霉菌株的选育及对酱油风味生成的影响[J].食品与发酵工业,2021,21(11):1-8.
- [20] CHEN Z Y, FENG Y Z, CUI C, et al. Effects of koji-making with mixed strains on physicochemical and sensory properties of Chinese-type soy sauce[J]. *J Sci Food Agr*, 2014, 14(10): 2145-2154.
- [21] UEKI T, NODA Y, TERAMOTO Y, et al. Practical soy sauce production using a mixed koji-making system[J]. *J Ferment Bioeng*, 1994, 78(3): 262-264.
- [22] 童星,彭勃.一株高酶活力米曲霉菌株的选育及其在酱油生产中的应用[J].中国酿造,2018,37(11):51-55.
- [23] 孟颖华.沪酿3.042米曲霉的纯化复壮[J].中国调味品,2001(7):7-9.
- [24] 中国酿造学会酱油酱学组,国家国内贸易局. SB/T 10312—1999 高盐稀态发酵酱油酿造工艺规程[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [25] 工业和信息化部,国家国内贸易局. SB/T 10315—1999 孢子数测定法[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [26] 工业和信息化部,国家国内贸易局. SB/T 10316—1999 孢子发芽率测定法[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [27] 国家卫生和计划生育委员会. GB 1886.174—2016 食品安全国家标准食品添加剂 食品工业用酶制剂[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [28] 工业和信息化部. QB/T2583—2023 纤维素酶制剂[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [29] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. GB 12456—2021 食品中总酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [30] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.235—2016 食品中氨基酸态氮的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [31] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.5—2016 食品中蛋白质的测定方法[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [32] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7—2016 食品中还原糖的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [33] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. GB/T 29605—2013 感官分析 食品感官质量控制导则[S].北京:中国标准出版社,2013.