

乳酸菌分离及混菌培养对酿酒酵母乙醇发酵的影响

任晓璞^{1,2} 李明杨^{1,2} 陈胜慧子^{1,2} 牛希跃^{1,2} 许 倩^{1,2}

(1.塔里木大学生命科学学院,阿拉尔 843300; 2.塔里木大学新疆特色农产品深加工兵团重点实验室,阿拉尔 843300)

摘要: 慕萨莱思是极富传统维吾尔族民族特色的饮品,酿酒酵母与乳酸菌的共存广泛存在于其自然发酵过程中。采用5种乳酸菌分离培养基分别从2个慕萨莱思样品中分离乳酸菌,并采用微量板半定量法对其生物膜形成能力进行检测,再将其与5株分离自慕萨莱思的酿酒酵母进行混菌培养,探索酿酒酵母对乳酸菌生物膜形成能力的影响,然后模拟慕萨莱思自然发酵检测混菌生物膜对酿酒酵母乙醇发酵的影响。结果表明:共从2个慕萨莱思样品中分离获得21株疑似乳酸菌,其中2株为生物膜形成强阳性菌株,经鉴定分别为植物乳杆菌(T1-8)和戊糖片球菌(M1-6);混菌培养后,酿酒酵母A对T1-8生物膜的形成有极显著促进作用($p < 0.01$),酿酒酵母B和D对T1-8生物膜的形成有显著促进作用($p < 0.05$);混菌组合A+T1-8、B+T1-8、C+T1-8、D+T1-8、B+M1-6、C+M1-6及D+M1-6组能将相应的酿酒酵母乙醇产量提高近2倍或以上。

关键词: 慕萨莱思; 酿酒酵母; 乳酸菌; 生物膜; 乙醇发酵

中图分类号: TS201.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)08-0255-05

Isolation of Lactic Acid Bacteria from Musalais and Effects of Mixed-culture on *Saccharomyces cerevisiae* Ethanol Fermentation

Ren Xiaopu^{1,2} Li Mingyang^{1,2} Chen Shenghuizi^{1,2} Niu Xiyue^{1,2} Xu Qian^{1,2}

(1. College of Life Science, Tarim University, Alar 843300, China

2. Production & Construction Group Key Laboratory of Special Agricultural Products

Further Processing in Southern Xinjiang, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: Musalais is a very traditional Uygur ethnic characteristic drink and the co-existence of *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria (LAB) is widely presented in the natural fermentation process. Five LAB mediums were used for isolating from two Musalais samples and semi-quantitative assay was performed to examine the biofilm formation of the LAB strains. The positive-biofilm LAB was performed to mixed-cultivate with five *Saccharomyces cerevisiae* from Musalais. The effects of co-cultured with *Saccharomyces cerevisiae* on LAB growth and biofilm formation were explored and the effects of five *Saccharomyces cerevisiae* by the mixed biofilm formation on the ethanol fermentation were detected under the simulation conditions of Musalais natural fermentation. The results showed that 21 suspected LAB strains were isolated from two Musalais samples and two strains were detected as strongly positive biofilm formation ($OD_{490nm} > 0.56$). The further identification results showed that the two strains were *Lactobacillus plantarum* (T1-8) and *Pediococcus pentosaceus* (M1-6), respectively. After co-culturing, the *Saccharomyces cerevisiae* A had a very significant effect on the biofilm formation of the *L. plantarum* (T1-8) ($p < 0.01$) and the *Saccharomyces cerevisiae* B and D had significant effects on the biofilm formation of the *L. plantarum* (T1-8) ($p < 0.05$). However, all the *Saccharomyces cerevisiae* had no obvious effects on growth and biofilm formation of *P. pentosaceus* (M1-6). The ethanol yields of

收稿日期: 2016-02-04 修回日期: 2016-03-05

基金项目: 新疆特色农产品深加工兵团重点实验室开放课题项目 (AP1503) 和新疆生产建设兵团工业科技攻关计划项目 (2014BA026)

作者简介: 任晓璞 (1985—), 男, 讲师, 主要从事食品微生物研究, E-mail: rxp_love@126.com

通信作者: 许倩 (1980—), 女, 副教授, 主要从事食品微生物研究, E-mail: xuqiantaru@126.com

the corresponding *Saccharomyces cerevisiae* were improved nearly twice as much or more in the groups of A + T1 - 8, B + T1 - 8, C + T1 - 8, D + T1 - 8, B + M1 - 6, C + M1 - 6 and D + M1 - 6. The other groups also had different degrees of increase.

Key words: Musalais; *Saccharomyces cerevisiae*; lactic acid bacteria; biofilm; ethanol fermentation

引言

慕萨莱思是新疆维吾尔族利用鲜食或兼食性的葡萄取汁、熬煮、发酵而成的一种天然酒精饮料。其酿制工艺及其品质与葡萄酒完全不一致,为民族传统饮品之一。在慕萨莱思主产区——新疆阿瓦提地区,不同地域、不同作坊,即使同一个酿造师利用同样的原料与方法酿制的慕萨莱思品质也有很大差异^[1]。微生物的这种局限作用,大大阻碍了慕萨莱思的工业化生产。

在慕萨莱思的自然发酵过程中,酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)和乳酸菌(Lactic acid bacteria, LAB)是非常重要的微生物。酿酒酵母主要进行酒精发酵,而乳酸菌在苹果酸-乳酸发酵(Malolactic fermentation, MLF)过程中起着关键作用。酿酒酵母是慕萨莱思自然发酵过程中的起发者及唯一一种优势菌,其他细菌(例如假单孢菌属、乳杆菌属、片球菌属、芽孢杆菌属、微球菌属、醋酸杆菌及葡萄糖杆菌属)也存在于慕萨莱思中,赋予了慕萨莱思自然发酵过程中微生物丰富的多样性^[2]。苹果酸-乳酸发酵可将葡萄酒中的苹果酸转化为乳酸,达到降低酒品酸度、改善酒品香气和口感、提高酒品微生物稳定性等多重效果^[3]。引起这种变化的微生物是葡萄酒中的乳酸菌,其中主要包括明串珠菌属(*Leuconostocvan*)、片球菌属(*Pediococcus*)和乳杆菌属(*Lactobacillus*)^[4]。同时,在自然发酵过程中,混菌生物膜的形成也被广泛关注和研究。乳酸菌与酿酒酵母混菌生物膜的形成已有报道^[5],并且FURUKAWA等^[6]通过电镜观察建立了混菌生物膜形成结构示意图,混菌生物膜形成后酿酒酵母细胞会产生一些小突起可能用于细胞间“交流”^[7]。同时混菌生物膜的形成有助于细胞更长时间地保持某种优良特性,这对于混菌发酵应用于实际生产有一定的指导作用。

在前期研究中,发现酿酒酵母能够影响乳酸菌生物膜的形成,并且不同的酿酒酵母及其代谢产物对乳酸菌生物膜形成的影响有较大差异^[8]。本文从自然发酵的慕萨莱思中分离鉴定乳酸菌,并检测其单菌及混菌生物膜形成情况,探索自然发酵过程中乳酸菌生物膜的形成对酿酒酵母酒精发酵过程的影响,进而为筛选优良的酿酒酵母及

乳酸菌组合应用于慕萨莱思工业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 菌株来源

从慕萨莱思中分离的5株酵母菌,经生理生化及分子生物学鉴定为酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*),分别编号为A、B、C、D、E;实验中所用到的乳酸菌均分离自慕萨莱思中。

实验过程中为便于进行结果分析,采用酿酒酵母(或其代谢物)编号+乳酸菌编号的方式分别代表不同的酿酒酵母(或其代谢物)与不同的乳酸菌混合培养。

1.2 培养基

乳酸菌分离培养基:采用MRS肉汤培养基、M17培养基、改良番茄汁培养基、Elliker培养基、PTYG培养基等对慕萨莱思中的乳酸菌进行分离纯化操作。

发酵培养基:采用和田红葡萄压碎榨汁,将葡萄汁连同皮渣一起作为发酵培养基,模拟慕萨莱思自然发酵条件。

1.3 慕萨莱思样品采集

在新疆阿克苏地区阿瓦提县采集正处于自然发酵阶段的慕萨莱斯至无菌离心管中,置于便携式冰箱中,并在2 h内带回实验室进行后续乳酸菌的分离操作。

1.4 慕萨莱思中乳酸菌的分离及鉴定

采用5种乳酸菌分离培养基对慕萨莱思中的乳酸菌进行初步分离,然后对其进行简单理化鉴定,具体包括革兰氏染色、镜检、过氧化氢酶试验和溶钙圈试验等^[9],初步鉴定乳酸菌。

1.5 乳酸菌与酿酒酵母混菌生物膜形成能力检测

根据CHRISTENSEN等^[10]方法并略做改动,同时参考文献[11],将分离得到的疑似乳酸菌采用微量板半定量法分别与5株酿酒酵母组合进行混菌生物膜形成能力检测。采用MRS培养基作为检测培养基,酿酒酵母与乳酸菌混合比例为1:9。将混合菌液按体积比1:200的接种比例接种至3 mL培养基,振荡摇匀后,吸取200 μL至96孔细胞培养板中,每株接种5孔;剩余3孔为对应空白对照(等体积的相应空白液体培养基);同时每一培养板中设

置生物膜阳性对照(表皮葡萄球菌 ATCC 35984)。37℃ 恒温静置培养 48 h 后,取出培养板用 Microplate Reader 测定其 590 nm 处 OD 值,然后轻轻拍出培养液,无菌水洗板 4 次,每次振摇 30 下左右,以洗去未黏附细菌。56℃ 干燥固定 1 h,50 μL 质量分数 0.5% 的结晶紫染色 5 min,自来水冲洗除去多余染液,37℃ 晾干,再用 Microplate Reader 测定其生物膜形成 490 nm 处 OD 值。所有生物膜形成检测实验均在不同时间重复 3 次。

1.6 慕萨莱思的模拟自然条件发酵

将和田红葡萄粉碎后连同皮渣进行无菌处理(115℃ 灭菌 15 min),然后分别接入单一酿酒酵母和混合菌种(能够形成混菌生物膜的乳酸菌与酿酒酵母的混合菌液),接种比例为 3% (体积分数),模拟慕萨莱思条件进行发酵。

1.7 发酵后酿酒酵母乙醇产量的检测

模拟慕萨莱思自然条件发酵完成后,参照文献[12]对酿酒酵母乙醇产量进行测定。

2 实验结果

2.1 慕萨莱思中乳酸菌的分离及简单鉴定结果

经过初步分离鉴定,采用 5 种培养基共从 2 个慕萨莱思酒样中分离获得了 21 株疑似乳酸菌,其主要特性表现为革兰氏阳性、过氧化氢酶阴性,在含有碳酸钙的平板上有溶钙圈。对该 21 株疑似乳酸菌进行生物膜形成能力检测。

2.2 乳酸菌生物膜的形成情况

将分离得到的 21 株疑似乳酸菌分别进行生物膜形成能力检测。共得到了 2 株疑似乳酸菌(编号分别为 T1-8 及 M1-6)能够形成强阳性生物膜(490 nm 处 OD 值在 0.56 以上)。经过进一步的生理生化鉴定及分子生物学实验鉴定,确定该 2 株乳酸菌分别为:T1-8 为植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、M1-6 为戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)。

2.3 生物膜阳性乳酸菌与酿酒酵母混菌生物膜形成情况

从图 1(图中 * 表示差异显著, ** 表示差异极显著)中可以看出,2 株乳酸菌分别与 5 株酿酒酵母混合培养后,不同的酿酒酵母对不同的乳酸菌的生长均无明显影响,但对其生物膜形成的影响有较大差异。其中 5 株酿酒酵母均能在不同程度上促进乳酸菌 T1-8 生物膜的形成,尤其是酿酒酵母 A,对乳酸菌生物膜的形成具有极显著的促进作用($p < 0.01$);而 5 株酿酒酵母对乳酸菌 M1-6 生物膜的形成却无明显影响。

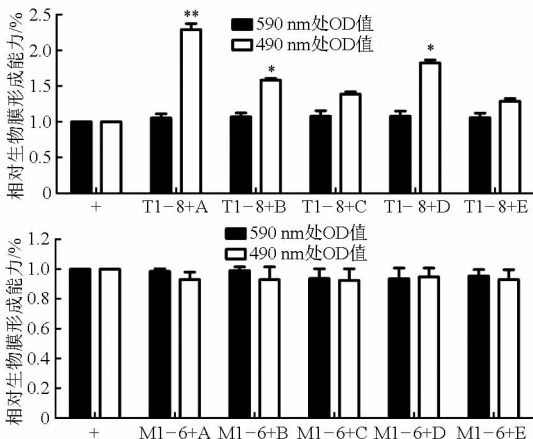


图 1 2 株乳酸菌与 5 株酿酒酵母共培养对乳酸菌生物膜形成的影响

Fig. 1 Effects of five *Saccharomyces cerevisiae* co-cultured with two LAB on LAB biofilm formation

2.4 模拟慕萨莱思自然条件发酵后酿酒酵母乙醇产量的变化情况

2 株乳酸菌与 5 株酿酒酵母的共培养均能够在不同程度上促进酿酒酵母乙醇发酵产量,尤其是 B + T1-8、C + T1-8、C + M1-6,相对于酿酒酵母纯种发酵其乙醇产量增长 2 倍以上(图 2)。

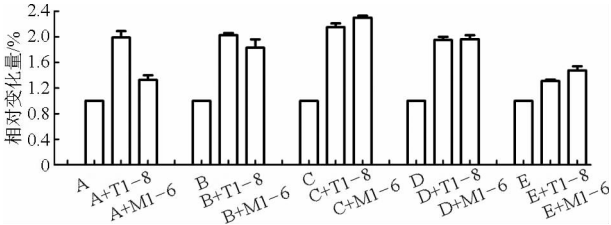


图 2 2 株乳酸菌生物膜的形对 5 株酿酒酵母乙醇产量的影响

Fig. 2 Effects of two LAB biofilm formation on five *Saccharomyces cerevisiae* ethanol yield

3 讨论

乳酸菌和酵母菌共同发酵制品是国内学者研究的一个热点。乳酸菌与酿酒酵母的共生长现象广泛存在于多种混合菌发酵食品中,例如乳制品、面制品、泡菜、白酒等。有多位学者对这些共生现象进行过报道,吕雪峰等[13]通过研究酿酒酵母对贮存期发酵乳特性的影响发现乳酸菌和酿酒酵母之间存在相互促进作用,添加酿酒酵母后,发酵乳的坚实度、稠度、黏度及 pH 值均产生了变化,尤其是贮存中后期的稠度和黏度具有显著性差异;刘同杰等[14]通过对我国北方地区 6 份传统面食发酵剂样品中细菌和酵母菌的分离鉴定共获得乳酸菌 8 种,酵母菌 4 种,并且酿酒酵母为优势种。同时发现发酵剂中酵母菌与乳酸菌作用不同:酵母菌发酵产生气体使面团体积膨大、蓬松;乳酸菌则产生有机酸酸化面团,改善面

团质构,并且产生各种风味成分,赋予面制品优良的风味,此外乳酸菌分泌的胞外多糖能够延缓面制品老化,产生的其他代谢产物能够有效抑制有害微生物的生长繁殖,延长面制品保藏时间等。二者共同作用于面团发酵过程,赋予发酵面制品独特的风味和口感。曾骏等^[15]也从传统四川泡菜发酵过程中分离获得 4 株酿酒酵母,其作用主要是既可以有效利用可发酵糖,抑制杂菌生长,又能产生一定的醇香和酯类物质,与乳酸菌发酵共同赋予泡菜优良的风味和口感。在酱香型白酒的发酵过程中,张艳等^[16]发现 2 株乳酸菌能够促进 3 株主要酿造酵母菌的生长,并且能够促进其酸类、醇类、酯类等风味物质的代谢,维持主要酿造酵母菌在酱香型白酒发酵过程中的生态地位,进而保证酱香型白酒的品质。郭倩茹等^[17]通过对分离自酸马奶酒中的 9 株乳酸菌和 8 株酵母菌进行筛选,发现有 7 个组合的乳酸菌和酵母菌存在共生作用。

对于乳酸菌与酿酒酵母的共生机理,闫彬等^[18]曾从信号分子水平进行过深入讨论。群体感应(Quorum sensing, QS)系统调节能使一个群体中每个细胞协同作用,成为一个多细胞整体。QS 中的细胞之间通过信号分子进行信号传递与沟通。乳酸菌在高氧环境下分泌的 2(5H)-呋喃酮,酵母菌和乳酸菌在高酸环境下分泌的异戊酸,都可以将其看成为信号分子。生物膜中的细胞之间进行交流正是通过 QS 的信号分子进行的。KAWARAI 等^[5]通过实验研究发现,乳酸菌与酿酒酵母形成的混菌生物膜需要极为严格的相互选择机制后才可能形成混菌生物膜结构,而这种过程也是通过信号分子完成的。在课题组此前的研究结果中也可以看出,不同的乳酸菌与酿酒酵母之间的相互选择,有些菌株组合能够显著促进生物膜的形成,但是也有菌株组合能够显著抑制生物膜的形成^[11]。

ALVAREZ-MARTIN 等^[19]分别对 4 株乳酸菌及 12 株酵母菌进行混菌培养,在设置的 36 个混菌培养组合中有 15 个组合的乳酸菌活菌数显著高于单菌培养的活菌数($p \leq 0.01$),并且其中 3 株酵母菌的活菌数显著高于单菌培养的活菌数($p \leq 0.01$)。这说明对某些菌株来说混菌培养能够显著提高其生长能力。ATSUMU 等^[7]探索了一株来自萨巴寿司(Saba suchi)的植物乳杆菌与一株酿酒酵母标准菌株所形成的混菌生物膜在乙醇发酵过程中的作用,结果显示这 2 株菌所形成的混菌生物膜结构对酿酒酵母乙醇产量没有明显的影响,但是却能够在维持乙醇恒定产量的同时大大延长酿酒酵母的使用周期,进而用于酿酒酵母的细胞固定化。本研究中的

乳酸菌及酿酒酵母均来自同一生活环境,均存在于慕萨莱思的自然发酵过程中。慕萨莱思独特的酿造生境及酿造工艺为乳酸菌与酿酒酵母的共生长提供了极为有利的条件。本研究共从慕萨莱思中分离获得了 21 株疑似乳酸菌,其中有 2 株为生物膜形成强阳性菌株,经鉴定为植物乳杆菌和戊糖片球菌。将其与分离自慕萨莱思的 5 株酿酒酵母进行混合培养,结果显示对菌株的生长繁殖无明显影响,但是 5 株酿酒酵母均能够在不同程度上促进植物乳杆菌 T1-8 生物膜的形成,尤其是酿酒酵母 A,对其生物膜的形成有极为显著的促进作用(增长高达 2 倍以上),其所对应的酿酒酵母乙醇产量也显著提高(增长也高达 2 倍),该现象也存在于其他组(例如 T1-8+B 及 T1-8+D),均表明乳酸菌生物膜形成能力的增加与酿酒酵母乙醇产量呈正相关关系;但是乙醇产量的增加并非完全依赖于乳酸菌生物膜形成能力的增强(例如 T1-8+C、M1-6+B、M1-6+C 及 M1-6+D),说明酿酒酵母乙醇产量的增加受到混合培养过程中多种因素的调控。

慕萨莱思优良风味和口感的形成是由多种风味化合物共同作用的结果,其中所含有的风味化合物种类多达数百种^[20],本研究针对乳酸菌生物膜的形成对酿酒酵母乙醇产量的影响进行了初步探索,对酿酒酵母发酵过程中其他风味相关代谢产物,例如醇类、酯类及酸类的产量变化情况有待进一步研究。

4 结 论

(1)采用 5 种乳酸菌分离培养基从 2 个慕萨莱思样品中分离获得了 21 株疑似乳酸菌,其中有 2 株为生物膜强阳性菌株,经进一步鉴定为植物乳杆菌(T1-8)和戊糖片球菌(M1-6)。

(2)将 2 株乳酸菌分别与 5 株酿酒酵母进行混合培养,5 株酿酒酵母对乳酸菌生长影响不大,但是对其生物膜形成有不同程度影响,其中酿酒酵母 A 对植物乳杆菌(T1-8)生物膜的形成有极显著促进作用($p < 0.01$),酿酒酵母 B 和 D 对植物乳杆菌(T1-8)生物膜的形成有显著促进作用($p < 0.05$);5 株酿酒酵母对戊糖片球菌(M1-6)生物膜的形成无明显影响。

(3)将混菌组合进行模拟慕萨莱思自然发酵过程,不同的组合对酿酒酵母乙醇产量影响不同,其中混菌组合 A+T1-8、B+T1-8、C+T1-8、D+T1-8、B+M1-6、C+M1-6 及 D+M1-6 能将乙醇产量提高近 2 倍或以上,并且乙醇产量提升并非完全依赖乳酸菌生物膜形成能力的增强(例如 T1-8+C、M1-6+B、M1-6+C 及 M1-6+D)。

参 考 文 献

1 朱丽霞,李红梅,郭东起,等. 新疆慕萨莱思自然发酵过程中酵母菌表型多样性及优势菌分析[J]. 食品科学,2012,33(7):142-147.

ZHU Lixia, LI Hongmei, GUO Dongqi, et al. Phenotype diversity and dominant species of yeasts during spontaneous fermentation process of Musalais from Xinjiang[J]. Food Science, 2012,33(7):142-147. (in Chinese)

2 朱丽霞,韩苗,郭东起,等. 新疆慕萨莱思自然发酵过程中细菌初步分离、鉴定及其变化规律研究[J]. 中国酿造,2010(7):133-136.

ZHU Lixia, HAN Miao, GUO Dongqi, et al. Isolation, identification and succession of bacteria during spontaneous fermentation of Musalais in southern Xinjiang[J]. China Brewing, 2010(7):133-136. (in Chinese)

3 俞惠明,王晓峰,王平来,等. 苹-乳发酵中乳酸菌的选择与发酵管理[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2011(9):56-61.

4 王华,张春晖,李华. 乳酸菌在葡萄酒酿造中的应用[J]. 西北农业大学学报,1996,24(6):92-98.

WANG Hua, ZHANG Chunhui, LI Hua. An application study of lactic acid bacteria in wine-making[J]. Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis, 1996,24(6):92-98. (in Chinese)

5 KAWARAI T, FURUKAWA S, OGIHARA H, et al. Mixed-species biofilm formation by lactic acid bacteria and rice wine yeasts[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007,73(14):4673-4676.

6 FURUKAWA S, NOJIMA N, YOSHIDA K, et al. The importance of inter-species cell-cell co-aggregation between *Lactobacillus plantarum* ML11-11 and *Saccharomyces cerevisiae* BY4717 in mixed-species biofilm formation[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2011,75(8):1430-1434.

7 ATSUMU Abe, SOICHI Furukawa, SHINYA Watanabe, et al. Yeasts and lactic acid bacteria mixed-species biofilm formation is a promising cell immobilization technology for ethanol fermentation[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2013,171(1):72-79.

8 任晓镔,许倩,李明杨,等. 酿酒酵母对乳杆菌生长与生物膜形成的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(2):264-269,287.

REN Xiaopu, XU Qian, LI Mingyang, et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on *Lactobacillus* growth and biofilm formation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(2):264-269,287. (in Chinese)

9 凌代文,东秀珠. 乳酸细菌分类鉴定及实验方法[M]. 北京:中国轻工业出版社,1999.

10 CHRISTENSEN G D, SIMPSON W A, YOUNGER J J, et al. Adherence of coagulase-negative staphylococci to plastic tissue culture plates: a quantitative model for the adherence of staphylococci to medical devices[J]. Journal of Clinical Microbiology, 1985,22(6):996-1006.

11 任晓镔,妥彦峰,李明杨,等. 外界环境因素对戊糖乳杆菌生物膜形成的影响[J]. 农业机械学报,2014,45(11):230-235.

REN Xiaopu, TUO Yanfeng, LI Mingyang, et al. Effects of environmental factors on biofilm formation by *Lactobacillus pentosus* [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(11):230-235. (in Chinese)

12 GB/T 15038—2006 葡萄酒、果酒通用分析方法[S]. 2006.

13 吕雪峰,闵伟红,陈历俊,等. 酿酒酵母对贮存期发酵乳特性的影响[J]. 中国乳品工业,2013,41(7):20-23.

LÜ Xuefeng, MIN Weihong, CHEN Lijun, et al. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on the characteristics of fermented milk during the storage period[J]. China Dairy Industry, 2013,41(7):20-23. (in Chinese)

14 刘同杰,李云,吴诗榕,等. 传统酸面团中细菌与酵母菌的分离与鉴定[J]. 现代食品科技,2014,30(9):114-120.

LIU Tongjie, LI Yun, WU Shirong, et al. Isolation and identification of bacteria and yeast from Chinese traditional sourdough [J]. Modern Food Science and Technology, 2014,30(9):114-120. (in Chinese)

15 曾骏,陈安均,蒲彪,等. 传统四川泡菜中酵母菌的动态变化规律[J]. 食品科学,2014,35(7):81-85.

ZENG Jun, CHEN Anjun, PU Biao, et al. Dynamic changes of yeasts during the fermentation of traditional Sichuan Kimchi[J]. Food Science, 2014,35(7):81-85. (in Chinese)

16 张艳,杜海,吴群,等. 酱香型白酒发酵中两株主要乳酸菌对酿造微生物群体的影响[J]. 微生物学通报,2015,42(11):2087-2097.

ZHANG Yan, DU Hai, WU Qun, et al. Impacts of two main lactic acid bacteria on microbial communities during Chinese Maotai-flavor liquor fermentation[J]. Microbiology China, 2015,42(11):2087-2097. (in Chinese)

17 郭倩茹,贺银凤. 具有共生关系的乳酸菌和酵母菌的筛选[J]. 食品工业科技,2015,36(2):203-211.

GUO Qianru, HE Yinfeng. Screening on the symbiotic lactic acid bacteria and yeasts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015,36(2):203-211. (in Chinese)

18 闫彬,贺银凤. 乳酸菌与酵母菌共生机理综述[J]. 食品科学,2012,33(3):277-281.

YAN Bin, HE Yinfeng. A review on symbiotic mechanisms between lactic acid bacteria and yeasts[J]. Food Science, 2012,33(3):277-281. (in Chinese)

19 ALVAREZ-MARTIN P, FLOREZ A B, HERNANDEZ-BARRANCO A, et al. Interaction between dairy yeasts and lactic acid bacteria strains during milk fermentation[J]. Food Control, 2008,19(1):62-70.

20 朱丽霞,侯旭杰. 新疆穆萨莱思葡萄酒品质分析初探[J]. 酿酒科技,2008(6):68-71.

ZHU Lixia, HOU Xujie. Investigation on the quality of Musalais grape wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2008(6):68-71. (in Chinese)