

发酵条件对红茶菌发酵品质及风味的影响

袁磊, 张国华, Faizan Ahmed SADIQ, 何国庆*
(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 探究发酵条件对红茶菌发酵品质及发酵液风味的影响。以发酵产酸率、感官评分为指标, 考察红茶品种、茶叶浸提方式、糖添加量、茶叶添加量及红茶菌膜接种量的影响; 同时, 对发酵过程中风味物质的变化进行分析。结果表明: 将水煮沸后, 加0.5%醇香红茶浸提15 min, 加入7%糖, 冷却后加8%红茶菌膜于30℃条件下发酵10 d, 得到的产品感官品质好, 发酵液呈清澈淡黄色, 酸甜适中, 微酸, 口味纯; 茶汤经发酵后风味物质显著改变, 共检测到19种风味成分, 其中醇类7种、酯类6种、酸类4种、酚类1种、烷烃类1种, 即风味物质多为醇类、酯类和酸类。醇类的含量为25.09%, 其中乙醇含量为21.51%; 酸类的含量为46.40%, 其中正辛酸含量为19.41%; 酯类的含量为15.91%, 其中乙酸乙酯含量为9.47%。

关键词: 红茶菌; 红茶; 发酵; 风味

Effects of Fermentation Conditions on Quality and Flavor of Kombucha

YUAN Lei, ZHANG Guohua, Faizan Ahmed SADIQ, HE Guoqing*
(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The objective of this study was to analyze how different fermentation methods can affect the fermentation profile of kombucha in terms of its flavor, fermentation yield (total acid/sugar consumption) and sensory evaluation. The variable factors considered included black tea type, tea extraction modes, concentrations of sugar and tea and inoculum size of starter culture. The optimized conditions for the best quality of kombucha were obtained after adding 0.5% mellow black tea to boiling water and keeping it at room temperature for 15 min, followed by the addition of 7% sugar and 8% kombucha starter culture. Finally, the fermentation process was carried out at 30℃ for 10 days. After fermentation the broth was clear with pale yellow color, and sweet and moderately sour taste. A considerable change in flavor profile was observed before and after the fermentation under the optimized conditions. A total of 19 volatile aroma compounds were identified including 7 alcohols, 6 esters, 4 acids, 1 phenol and 1 hydrocarbon. The contents of alcohols, acids and esters were 25.09%, 46.40% and 15.91%, respectively.

Key words: kombucha; black tea; fermentation; flavor

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702015

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)02-0092-06

引文格式:

袁磊, 张国华, SADIQ F A, 等. 发酵条件对红茶菌发酵品质及风味的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(2): 92-97.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702015. <http://www.spkx.net.cn>

YUAN Lei, ZHANG Guohua, SADIQ F A, et al. Effects of fermentation conditions on quality and flavor of kombucha[J].

Food Science, 2017, 38(2): 92-97. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702015.

<http://www.spkx.net.cn>

红茶菌起源于我国渤海一带, 约在150年前陆续传至苏联的西伯利亚、高加索、贝加尔湖一带。到20世纪70年代, 红茶菌汤风靡日本, 后又流传到新加坡、马来西亚、中国香港、美国、加拿大和俄罗斯等国家和地区^[1]。红茶菌是以糖茶水为发酵基质, 经醋酸菌、酵母菌及乳

酸菌等微生物共同发酵而形成, 具有微甜、微酸、爽口的民间传统酸性饮料^[2]。红茶菌发酵菌液中富含葡萄糖酸、醋酸、D-葡萄糖二酸-1,4-内酯、乳酸、氨基酸、维生素和茶多酚等有益成分^[3-6], 且具有抑菌^[7]、抗癌^[8]、提高机体免疫^[9]、预防和治疗高血压^[10]、高血脂^[11]、动脉

收稿日期: 2016-03-29

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2016M592002)

作者简介: 袁磊(1989—), 男, 博士研究生, 研究方向为食品微生物。E-mail: leiyuan@zju.edu.cn

*通信作者: 何国庆(1957—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品微生物。E-mail: gqhe@zju.edu.cn

硬化^[12]等心血管疾病的保健功效。发酵后产生大量的有机酸、醇和酯类物质,对风味及感官品质也有很大改善^[13]。

红茶菌一直是家庭自制自饮。由于菌种生长、组成、保存的特殊性以及发酵过程的复杂性,而未能工业化生产。不同的发酵条件对发酵液品质有显著影响^[14-17]。此外,微生物在发酵代谢过程中产生的酸类、醇类、酯类等小分子物质显著改变茶水原有的风味,进而影响产品的品质。因此,开展红茶菌发酵的研究对推动食品饮料工业的发展有重要意义。

本实验以4种不同品种的红茶为原料,研究不同茶浸提方式、茶叶添加量、糖添加量及红茶菌膜接种量对发酵品质的影响,并对发酵液的风味进行解析,为红茶菌功能性饮料的研究和开发提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

菌种:红茶菌菌种,本实验室保存。红茶:醇香红茶、大吉岭红茶、武夷岩茶和源山野红茶,由上海融扬生物技术有限公司提供,分别记为A、B、C、D。

硫酸铜、酒石酸钾钠、氢氧化钠、乙酸锌、冰乙酸、亚铁氰化钾、盐酸、葡萄糖、硫酸亚铁均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

6890N-5973I气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用仪、DB-WAX毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm) 美国Agilent公司;固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)装置的手柄、固定搭载装置、65 μm PDMS/DVB萃取头 美国Supelco公司;SP-756PC型紫外-可见分光光度计 上海光谱仪器有限公司;PB-10 pH计 赛多利斯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 红茶发酵流程

红茶经热水浸提后滤出茶叶渣、添加白砂糖得到茶汤。茶汤冷却至室温后接入菌膜,于30℃恒温培养箱中发酵10 d^[18]。

1.3.2 感官评价标准

感官评价标准见表1。

表1 红茶菌产品感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of fermented black tea

项目	类别	评分标准	得分
色泽 (10分)	A类	发酵液呈淡黄色,颜色均匀一致	8~10
	B类	发酵液颜色偏深或偏浅,颜色较均匀一致	5~7
	C类	发酵液颜色过深或过浅	0~4
气味 (30分)	A类	有甜香味,微酸,气味协调柔和	16~20
	B类	有甜香味,微酸且带醇味,气味较协调柔和	10~15
	C类	甜香味弱,醇味重,气味不协调柔和	0~9
滋味 (40分)	A类	酸甜适中,口味纯,口感细腻润滑	21~30
	B类	酸甜比例差,略带杂味,口感较细腻润滑	11~20
	C类	偏酸或偏甜,杂味明显,口感粗糙	0~10
组织形状 (20分)	A类	菌液清澈透明,允许有少量沉淀	15~20
	B类	菌液较清澈透明,有沉淀杂质	8~15
	C类	菌液浑浊,沉淀杂质较多	0~8

1.3.3 理化指标测定

pH值: pH计直接测量;总酸含量: 参考GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》;还原糖、总糖含量: 参考GB/T 5009.7—2008《食品中还原糖的测定》;茶多酚含量: 参考GB/T 21733—2008《茶饮料》。

1.3.4 单因素试验

以产酸率和感官评分为指标,选取不同红茶品种、红茶浸提方式、糖添加量、茶叶添加量和红茶菌膜接种量5个因素进行单因素试验。本实验中分别选择如下3种浸提方式: E: 将水煮沸,放入茶叶浸提15 min后,加入糖; F: 将水煮沸后冷却至80℃,放入茶叶浸提15 min后,加入糖; G: 将茶叶、糖放入水中直接煮沸。以产酸率和感官评分为指标。产酸率的计算如式(1)所示:

$$\text{产酸率}/\% = \frac{\text{总酸含量}}{\text{耗糖量}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.5 正交试验

在单因素试验的基础上选择糖添加量、茶叶添加量及红茶菌膜接种量作考察因素,以产酸率和感官评分为指标,设计L₃(3³)的正交试验,因素和水平如表2所示。

表2 正交试验因素与水平

Table 2 Factors and levels used in orthogonal array design

水平	因素		
	A糖添加量/%	B茶叶添加量/%	C接种量/%
1	6	0.4	6
2	7	0.5	7
3	8	0.6	8

1.3.6 SPME-GC-MS的风味测定

将2.0 mL分析样品装入15 mL萃取瓶中,放置于一定温度水浴中并保持30 min,然后将已老化好的萃取头(65 μm PDMS/DVB)插入到萃取瓶中进行萃取,萃取结束后,取出纤维头并插入到气相色谱汽化室中进行GC-MS分析。

GC条件: 采用DB-WAX毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),载气为He,流速为1 mL/min。色谱柱升温程序为: 起始柱温35℃,保持4 min,以4℃/min升到100℃,保持2 min,然后以3℃/min升到150℃,最后以10℃/min升到230℃,保持2 min。进样口温度250℃,无分流进样。

MS条件: 电子电离源,电离能量70 eV,离子源温度230℃,接口温度250℃,四极杆温度150℃,检测器温度280℃,扫描模式为全扫描,质量范围20~350 u。

化合物的鉴定通过NIST08谱库对比和计算待测物的保留指数确定,同时采用面积归一法计算各挥发性组分的相对含量。保留指数(retention index, RI)计算如式(2)所示:

$$RI=100 \times n + \frac{100(t_i - t_n)}{t_{n+1} - t_n} \quad (2)$$

式中： n 为碳原子数； t_n 为碳原子数为 n 的正构烷烃的保留时间/min； t_{n+1} 为碳原子数为 $n+1$ 的正构烷烃的保留时间/min； t_i 为样品 i 的保留时间/min。

2 结果与分析

2.1 红茶原料与发酵条件对产酸与品质的影响

2.1.1 红茶原料种类对产酸与品质的影响

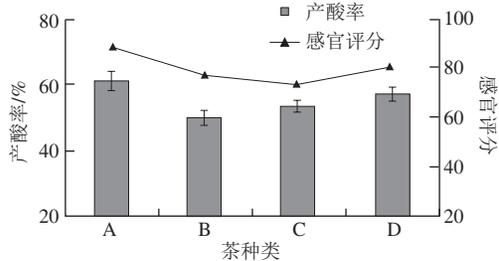


Fig. 1 Effects of different types of black tea on fermentation

不同红茶品种中碳源、氮源等微生物营养素存在差异，对发酵结果有影响^[19]。如图1所示，茶A的产酸率最高，达61%，茶B的产酸率最低，仅为44.8%。此外，茶A的感官评分最高，为88.40，茶香浓郁，口感滋润，而茶C的红茶味较淡，入口涩嘴，感官评分仅为72.95。故选红茶A为后续研究的红茶品种。

2.1.2 红茶浸提条件对产酸与品质的影响

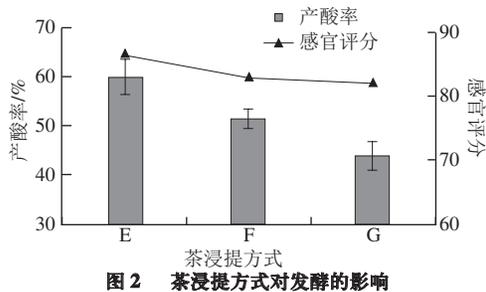


Fig. 2 Effects of tea brewing methods on fermentation

不同的浸提条件，如浸提温度、浸提时间等，影响茶叶中溶出物的含量，进而对发酵结果有影响^[20]。如图2所示，经条件E浸提后发酵的产酸率最高，为59.7%，而经条件G浸提后发酵的产酸率最低，仅为43.9%。较高的浸提温度有利于茶叶中的碳源氮源、无机盐等物质的溶出；方法G中直接将糖与茶叶一起煮沸浸提，可能导致在过滤茶叶时应部分糖黏附在茶叶上，导致茶水中的糖含量降低，从而降低发酵产酸率。3种不同茶叶浸提方式得到产品的感官评分则无显著性差异，分别为85.59、82.19和81.36。故选择条件E作为茶叶浸提工艺。

2.1.3 糖添加量对产酸与品质的影响

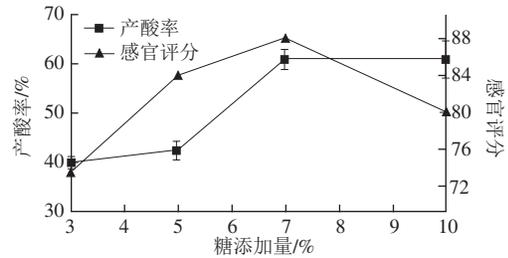


Fig. 3 Effects of sugar concentration on fermentation

糖是微生物生长的重要能源，适当的糖添加量利于红茶菌中酵母、醋酸菌和乳酸菌的生长^[21]。如图3所示，糖添加量为3%时产酸率最低，随着糖添加量的升高，产酸率不断上升，糖添加量为7%时产酸率为60.6%，糖添加量为10%时产酸率为60.9%。此外，有报道称，较大的糖添加量形成的高渗透压会对微生物有抑制作用^[22]。糖添加量对产品感官的影响显著。当糖添加量较低时，口味较淡，色泽浅，而当糖添加量达10%时，产品过甜，且色泽太深。Goh等^[17]也发现，当糖质量浓度高于110 g/L时，微生物的生长受到抑制，故不宜添加高浓度的糖。

2.1.4 茶叶添加量对产酸与品质的影响

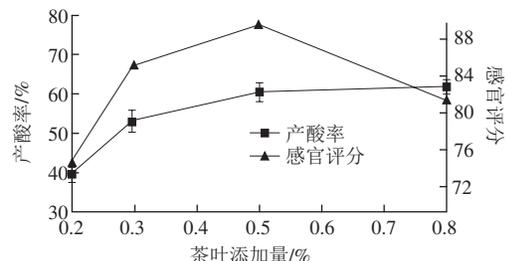


Fig. 4 Effects of tea concentration on fermentation

茶叶含有糖类、氨基酸、维生素及矿物质等丰富的营养物质，对红茶菌的生长繁殖有显著影响。如图4所示，茶叶添加量越大，茶水中的营养物质更加丰富，微生物生长旺盛，产酸率也越高：当茶叶添加量为0.5%时，产酸率为60.6%，当茶叶添加量为0.8%时产酸率高达61.4%。但高含量的茶导致发酵液的涩味、酸味较重，颜色较深，感官不佳。故综合考虑茶叶添加量为0.5%。但当茶叶添加量较低时，得到的红茶菌饮料茶香味不足；随着茶叶添加量的增加，红茶菌发酵液的涩味增加。茶多酚物质含量的增加在一定程度上增强对红茶菌中微生物的生长抑制作用，导致菌膜生成量呈现下降趋势^[23]。

2.1.5 红茶菌膜接种量对产酸与品质的影响

如图5所示，随着接种量的增加，发酵速度和产酸率提高。接种量为4%的产酸率为56.6%，接种量为6%时的

产酸率为60.2%，接种量为8%的产酸率为62%，接种量为10%的产酸率为61.8%。但是，较高的菌种添加量导致发酵过度，接种量为10%的感官评分仅为72.05，菌液的酸度高，酸味刺鼻，菌膜生长状态不佳。任二芳等^[24]则认为，当接种量过大时，菌膜中微生物会大量消耗发酵液中的营养物质用于它们自身的繁殖，同时伴随着大量代谢废物的产生，从而不利于获得所需的发酵产物，且发酵液中总酸含量过大，影响发酵液品质。

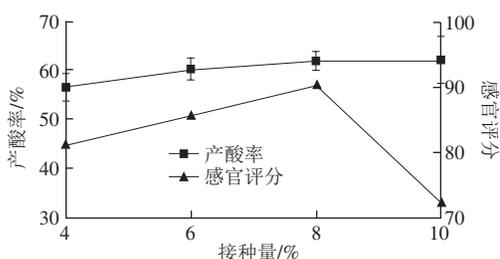


图5 红茶菌膜接种量对发酵的影响
Fig. 5 Effects of inoculum size on fermentation

2.2 最佳发酵条件的优化

在单因素试验的基础上进行正交试验，研究影响红茶菌发酵的3个因素：糖添加量(A)、茶叶添加量(B)和接种量(C)，每个因素选取3个水平，结果如表3所示。

表3 正交试验优化发酵条件
Table 3 Orthogonal array design with experimental results for the optimization of fermentation conditions

试验号	A糖添加量/%	B茶叶添加量/%	C接种量/%	产酸率/%	感官评分
1	6	0.4	6	49.6	74.70
2	6	0.5	7	53.6	79.26
3	6	0.6	8	57.4	84.80
4	7	0.4	7	56.5	78.07
5	7	0.5	8	61.6	91.36
6	7	0.6	6	53.0	84.55
7	8	0.4	8	59.1	79.95
8	8	0.5	6	52.5	83.97
9	8	0.6	7		
k_1	53.5	55.1	51.7		
k_2	57.0	55.9	55.3		
k_3	55.8	55.4	59.4		
R	3.5	0.8	7.7		
优水平	A_2	B_2	C_3		

由表3可知，选择的3个因素对产酸率的影响程度由大到小依次为 $C>A>B$ ，即接种量>糖添加量>茶叶添加量，最优水平为 $A_2B_2C_3$ ，即糖添加量7%、茶叶添加量0.5%、接种量8%。此时的感官评分91.36。发酵液呈清澈

淡黄色，酸甜适中，有甜香味，微酸，口味纯，口感细腻润滑，气味协调柔和。在此最佳发酵条件下进行验证实验，产酸率为60.9%，感官评分为92.31，说明优化实验的准确性较高。

2.3 红茶发酵前后风味物质的变化

采用SPME-GC-MS对红茶汤及发酵后发酵液的风味物质进行分析，并根据它们的变化规律做分类。如图6和表4所示，红茶汤中共14种风味成分，其中醛类3种、醇类3种、酯类2种、酸类3种、酮类1种、酚类1种、烷烃类1种。发酵后的茶水共19种风味成分，其中醇类7种、酯类6种、酸类4种、酚类1种、烷烃类1种。这说明发酵后的茶水风味物质增加，且风味物质多为醇类、酯类和酸类。醇类的含量为25.09%，其中乙醇含量为21.51%；酸类的含量为46.40%，与红茶汤的5.59%相比明显提高，这也与发酵过程中总酸和pH值的变化一致。此外，酯类的含量为15.91%，这是由于酸类和醇类物质的增加且发生酯化反应。风味的差异来源于红茶菌中微生物的代谢，即在发酵初期蔗糖先被酵母菌分解成葡萄糖和果糖，并进一步发酵产生乙醇，醋酸菌则在培养液中有葡萄糖、果糖和乙醇后开始大量繁殖，并将葡萄糖和果糖氧化成葡萄糖酸、乙酸等代谢产物。酵母菌产生的乙醇能刺激醋酸菌的生长产生更多乙酸，而醋酸菌产生的乙酸又会刺激酵母菌产生乙醇^[25]。

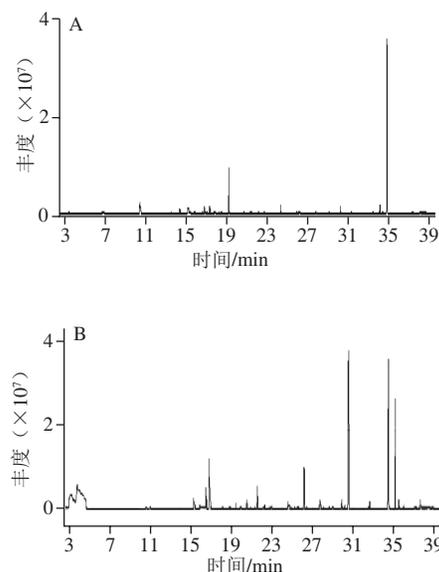


图6 红茶发酵前(A)、后(B)风味物质检测GC-MS图谱
Fig. 6 GC-MS profiles of volatile compounds in black tea and fermented black tea

表4 红茶发酵前后风味物质的变化
Table 4 Changes in flavor compounds between black tea and fermented black tea

化合物	t_r /min	t_s /min	t_{n+1} /min	RI	相对含量/%	
					红茶汤	发酵液
醇类 (8)						
乙醇	3.731	3.251	5.040	927	—	21.51
异戊醇	10.589	10.366	13.344	1 207	—	0.39
正己醇	14.528	13.344	16.073	1 343	1.19	—
(E)-2-己烯-1-醇	15.915	13.344	16.073	1 394	1.54	0.80
芳樟醇	19.420	18.611	21.097	1 532	12.21	0.47
正辛醇	19.834	18.611	21.097	1 545	—	0.55
苯乙醇	27.665	25.581	27.751	1 896	—	1.37
橙花叔醇	30.157	29.763	31.637	2 021	—	0.22
醛类 (3)						
己醛	6.841	5.040	7.551	1 072	1.93	—
2-己烯醛	10.530	10.366	13.344	1 206	5.24	—
癸醛	18.039	16.073	18.611	1 477	0.87	—
酮类 (1)						
β -紫罗酮	28.040	27.751	29.763	1 914	0.55	—
酸类 (4)						
乙酸	16.974	16.073	18.611	1 436	2.11	8.29
正己酸	22.280	21.097	23.378	1 852	—	3.22
正辛酸	30.486	29.763	31.637	2 138	1.65	19.41
正癸酸	34.418	33.537	35.286	2 250	1.83	14.93
酯类 (7)						
乙酸乙酯	3.034	2.170	3.251	880	—	9.47
己酸乙酯	10.984	10.366	13.344	1 221	—	0.34
辛酸甲酯	15.304	13.344	16.073	1 372	4.79	1.08
辛酸乙酯	16.494	16.073	18.611	1 422	—	1.71
癸酸甲酯	20.505	18.611	21.097	1 617	—	0.91
癸酸乙酯	21.537	21.097	23.378	1 619	—	2.4
水杨酸甲酯	24.542	23.378	25.581	1 853	2.27	—
其他 (3)						
月桂烯	8.61	7.551	10.366	1 138	0.55	—
2,4-二叔丁基苯酚	35.102	33.537	35.286	2 389	52.05	7.57
月桂酸	37.601	36.694	38.186	2 489	—	0.55

注: —.未检出。

3 结论

在单因素试验的基础上,通过正交试验对传统红茶菌发酵工艺进行优化,发现不同发酵工艺对产品品质有影响:以醇香红茶为原料,将水煮沸后放入0.5%茶叶浸提15 min后,加入7%蔗糖,冷却至室温后接入8%红茶菌膜于30℃条件下发酵10 d,此时产品感官品质好,发酵液呈清澈淡黄色,酸甜适中,微酸,口味纯,气味协调柔和。

红茶汤经发酵后风味物质显著改变,共有19种风味成分,其中醇类7种、酯类6种、酸类4种、酚类1种、烷烃类1种,即风味物质多为醇类、酯类和酸类。醇类的含量为25.09%,其中乙醇含量为21.51%;酸类的含量为46.40%,其中正辛酸含量为19.41%;酯类含量为15.91%,其中乙酸乙酯含量为9.47%。

鉴于人们对保健养生的不断重视及红茶菌的多重保健功效,目前除红茶菌饮料外,已开发出红茶菌面包、红茶菌酸奶、红茶菌芝麻酥等各种产品,这必将对推动红茶菌产业发展、丰富人们饮食文化有重要意义。

参考文献:

- [1] DUFRESNE C, FARNWORTH E. Tea, Kombucha, and health: a review[J]. Food Research International, 2000, 33(6): 409-421. DOI:10.1016/S0963-9969(00)00067-3.
- [2] JARRELL J, CAL T, BENNETT J W. The Kombucha consortia of yeasts and bacteria[J]. Mycologist, 2000, 14(4): 166-170. DOI:10.1016/S0269-915X(00)80034-8.
- [3] PETROVSKA B B, TOZI L P. Mineral and water soluble vitamin content in the Kombucha drink[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2000, 35(2): 201-205. DOI:10.1046/j.1365-2621.2000.00342.x.
- [4] JAYABALAN R, MARIMUTHU S, SWAMINATHAN K. Changes in content of organic acids and tea polyphenols during kombucha tea fermentation[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 392-398. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.05.032.
- [5] 张红, 籍保平, 吴薇. 高效液相色谱法测定红茶菌中的功能因子[J]. 食品科技, 2012, 37(7): 250-255. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2012.07.047.
- [6] NGUYEN N K, NGUYEN P B, NGUYEN H T, et al. Screening the optimal ratio of symbiosis between isolated yeast and acetic acid bacteria strain from traditional kombucha for high-level production of glucuronic acid[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(2): 1149-1155. DOI:10.1016/j.lwt.2015.07.018.
- [7] BATTIKH H, BAKHROUF A, AMMAR E. Antimicrobial effect of *Kombucha analogues*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(1): 71-77. DOI:10.1016/j.lwt.2011.12.033.
- [8] SRIHARI T, ARUNKUMAR R, ARUNAKARAN J, et al. Downregulation of signalling molecules involved in angiogenesis of prostate cancer cell line (PC-3) by kombucha (lyophilized)[J]. Biomedicine and Preventive Nutrition, 2013, 3(1): 53-58. DOI:10.1016/j.bionut.2012.08.001.
- [9] MARZBAN F, AZIZI G, AFRAEI S, et al. Kombucha tea ameliorates experimental autoimmune encephalomyelitis in mouse model of multiple sclerosis[J]. Food and Agricultural Immunology, 2015, 26(6): 782-793. DOI:10.1080/09540105.2015.1036353.
- [10] ALOULOU A, HAMDEN K, ELLOUMI D, et al. Hypoglycemic and antilipidemic properties of kombucha tea in alloxan-induced diabetic rats[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2012, 12(1): 63-72. DOI:10.1186/1472-6882-12-S1-P433.
- [11] ADRIANI L, MAYASARI N, ANGGA, et al. The effect of feeding fermented kombucha tea on HDL, LDL and total cholesterol levels in the duck bloods[J]. Biotechnology in Animal Husbandry, 2011, 27(4): 1749-1755. DOI:10.2298/BAH1104749A.
- [12] YANG Z W, JI B P, ZHOU F, et al. Hypocholesterolaemic and antioxidant effects of kombucha tea in high-cholesterol fed mice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(1): 150-156. DOI:10.1002/jsfa.3422.
- [13] 段葆兰. 健康之友: 红茶菌[M]. 北京: 科学普及出版社, 1981.
- [14] LONCAR E S, MALBASA R V, KOLAROV L A. Kombucha fermentation on raw extracts of different cultivars of *Jerusalem artichoke*[J]. Acta Periodica Technologica, 2007, 38(38): 37-44. DOI:10.2298/APT0738037L.

- [15] 吴薇, 盖宝川, 籍保平. 不同碳源中红茶菌菌种生长情况的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(9): 147-149. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.09.032.
- [16] 过慈妹, 方世辉. 不同茶类茶汤对红茶菌生长及品质的影响[J]. 茶叶通报, 2007, 29(3): 129-131. DOI:10.16015/j.cnki.jteabusiness.2007.03.001.
- [17] GOH W N, ROSMA A, KAUR B, et al. Fermentation of black tea broth (Kombucha): I. effects of sucrose concentration and fermentation time on the yield of microbial cellulose[J]. International Food Research Journal, 2012, 19(1): 109-117.
- [18] LONCAR E, DJURIC M, MALBASA R, et al. Influence of working conditions upon kombucha conducted fermentation of black tea[J]. Food and Bioproducts Processing, 2006, 84(3): 186-192. DOI:10.1205/fbp.04306.
- [19] KALLEL L, DESSEAUX V, HAMD I M, et al. Insights into the fermentation biochemistry of Kombucha teas and potential impacts of Kombucha drinking on starch digestion[J]. Food Research International, 2012, 49(1): 226-232. DOI:10.1016/j.foodres.2012.08.018.
- [20] 金恩惠. 冲泡条件对铁观音和普洱茶的浸出规律和感官品质影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [21] 蒋立文, 刘德华, 唐道方, 等. 不同条件对红茶菌发酵酸度和成膜影响的初步研究[J]. 食品科学, 2006, 27(9): 96-99. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2006.09.019.
- [22] KANG M, KIM J, PARK H J, et al. Application of metabolomics in the analysis of manufacturing type of Pu-erh tea and composition changes with different postfermentation year[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(1): 345-352. DOI:10.1021/jf902818c.
- [23] 王荣荣, 王家东. 不同茶汁浓度对红茶菌发酵夏秋茶过程中菌膜和茶多酚的影响研究[J]. 信阳农林学院学报, 2015, 25(2): 104-106. DOI:10.3969/j.issn.1008-4916.2015.02.032.
- [24] 任二芳, 牛德宝, 郭海蓉, 等. 固定化共生发酵红茶菌饮料工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 193-196. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.12.032.
- [25] LIU C H, HSU W H, LEE F L, et al. The isolation and identification of microbes from a fermented tea beverage, Haipao, and their interactions during Haipao fermentation[J]. Food Microbiology, 1996, 13(6): 407-415. DOI:10.1006/fmic.1996.0047.