抗高原反应牦牛乳功能饮料制备工艺的研究

贾心怡，王程玥，李雯婧，周姝含，钟佳薇，苏钰婷，于景华*

天津科技大学食品科学与工程学院，天津 300457

摘　要：[目的]将青海特色乳源牦牛乳与藏区特殊药食同源植物芫根相结合，研制具有抗高原反应潜力的芫根牦牛乳饮料。[方法]以牦牛乳粉、芫根为主要材料，以感官评价为指标，通过单因素试验研究牦牛乳粉、白砂糖、芫根、γ-氨基丁酸添加量对芫根牦牛乳饮料风味的影响。以黏度和离心沉淀率为评价指标，通过单因素试验研究果胶和羧甲基纤维素钠对芫根牦牛乳饮料稳定性的影响。测定最终产品的理化和微生物指标。[结果]芫根浸提液具有较强的抗氧化特性，可提高芫根牦牛乳饮料的抗氧化活性。按配方（牦牛乳粉添加量10%、白砂糖添加量6%、芫根浸提液添加量20%、γ-氨基丁酸添加量30 mg、羧甲基纤维素钠添加量2%）制备的芫根牦牛乳饮料酸甜适中，营养丰富，符合乳饮料标准。[结论]芫根牦牛乳饮料具有良好的工业应用前景，可为抗高原反应饮料的研发及牦牛乳饮料的设计提供参考。

关键词：牦牛乳粉；芫根；品质；稳定性

文章编号：1671-4393（2025）04-0118-09　　DOI:10.12377/1671-4393.25.04.20

0 引言

牦牛是一种牛科动物，世界牦牛存栏总数1 420 万头，中国约1 330 万头，主要生活在海拔2 500～6 000 m的青藏高原[1, 2]。独特的栖息地使牦牛乳与其他种类牛乳相比，含有更丰富、更多样化的营养成分。牦牛乳的乳固体含量16%～18%，乳脂含量5.6%～7.5%，蛋白质含量4.7%～6.5%，乳糖含量3.5%～5.5%，灰分含量0.77%～0.95%[3]。牦牛乳营养丰富并富含多种活性成分，具有多种功能特性，其中独特的氨基酸、脂肪酸、高水平维生素、特定酶和有益微生物或对

基金项目：天津市高等学校大学生创新训练计划项目（202110057108）；天津市大学生创新训练计划项目（202110057108）

作者简介：贾心怡（2004-），女，河北保定人，在读本科，研究方向为食品科学与工程；
王程玥（2004-），女，天津人，在读本科，研究方向为食品科学与工程；
李雯婧（2004-），女，天津人，在读本科，研究方向为食品科学与工程；
周姝含（2005-），女，黑龙江哈尔滨人，在读本科，研究方向为食品科学与工程；
钟佳薇（2005-），女，广西南宁人，在读本科，研究方向为食品科学与工程；
苏钰婷（2004-），女，四川泸州人，在读本科，研究方向为食品科学与工程。
*通信作者：于景华（1966-），男，黑龙江哈尔滨人，博士，教授，高级工程师，研究方向为乳品科学与工程。

中国乳业线上阅读

高海拔地区游牧人群的健康产生积极影响[4]。大量体外和体内研究发现，牦牛乳及其生物活性成分有抗氧化、抗癌、抗菌、降血压、抗疲劳和改善便秘的作用[5]，具备开发牦牛乳功能性产品的潜力。

芫根（*Brassica rapa L.*）学名芜菁或蔓菁，是十字花科芸台属植物芜菁的块根部分，距今已有1 000 多年的应用历史[6]。芫根被西藏、青海、四川等高海拔地区居民普遍种植，可用作食物、入药和饲料。芫根营养成分丰富，富含蛋白质、维生素、粗纤维、矿物质（钙、磷、铁）、多糖类、黄酮类、硫代葡萄糖苷等[7, 8]，这些天然活性成分已被证明具有抗疲劳、抗氧化、抗缺氧等功能[9]。此外，现代药理学研究表明，芫根除具有上述功能外，还有增强免疫力、调理机体和抗衰老等功效[10]。芫根质地类似萝卜，味微甜、略带辛辣的独特风味易被消费者接受，被广泛用于食品加工。目前已有芫根奶片、芫根复合维生素饮料[11]等产品，但芫根乳饮料尚未开发。

由于高海拔地区氧分压较低，非原著人群进入会引起机体缺氧导致的代谢异常，表现为头痛、疲劳、恶心呕吐等症状[12]，严重影响健康。因此，缓解高原反应的功能性食品开发具有很大市场潜力。牦牛及牦牛乳制品是藏区牧民日常食物摄入的基础，也是游牧人群的主要营养来源。本研究结合藏区特色牦牛乳和芫根制备功能性乳饮料，为缓解高原反应提供一种食品基解决方案，为芫根和牦牛乳的高价值化开发和利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂

牦牛乳粉，青海启龙商贸有限公司河南县启龙牧场；芫根，青海玉树称多巴颜喀拉饮品开发有限公司；白砂糖，沧州古丰食品有限公司；果胶，山东阜丰发酵有限公司；羧甲基纤维素钠，山东邹平华晨纤维素厂；1，1-二苯基-2-三硝基苯肼（DPPH）、2，2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸（ABTS）、无水乙醇等化学试剂，上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.1.2 仪器与设备

高速分散器（XHF-DY，宁波新芝生物科技股份有限公司；电热恒温水浴锅（HWS-24），上海一恒科学仪器有限公司；pH计（FE20），梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司；离心机（H1850R），湖南湘仪离心机仪器有限公司；高压均质机（AH-BASIC），上海恒川机械设备有限公司；色差仪（NR110），深圳三恩驰科技有限公司；糖度计（PAL-1），日本ATAGO（爱拓）公司；紫外可见分光光度计（UV-2550 PC），日本岛津公司；数显黏度计（SNB-1），上海庚庚仪器设备有限公司；多功能酶标仪（SynergyH1），美国伯腾仪器有限公司；高速分散器（XHF-DY），宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 芫根牦牛乳饮料的制备工艺流程

芫根牦牛乳饮料主要通过原料（牦牛复原乳、芫根浸提液和添加剂预混）制备、预热、剪切、均质、杀菌工艺制备而成，具体流程如图1所示。

1.2.2 操作要点

（1）牦牛复原乳的制备。称取牦牛乳粉和55 ℃纯净水进行水合。

（2）芫根浸提液的制备。取适量芫根颗粒，加蒸馏

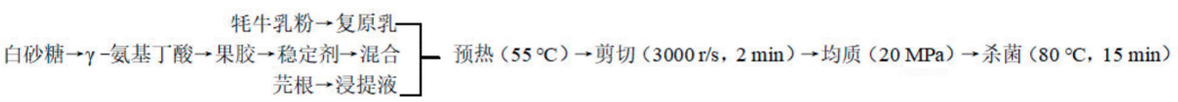


图 1 芫根牦牛乳饮料制备工艺流程

中国乳业线上阅读

水20 mL浸泡20 min。

（3）芫根牦牛乳饮料的制备。取牦牛复原乳，加入白砂糖、果胶溶解后，搅拌均匀。将调配好的乳饮料置于高速分散器中，剪切转速3 000 r/s，剪切2 min后置于高压均质机中，压力20 MPa均质。随后将样品放入电热恒温水浴锅中，80 ℃持续15 min加热杀菌。

1.2.3 芫根牦牛乳饮料配方单因素试验

（1）牦牛乳粉添加量单因素试验

在白砂糖8%、芫根浸提液20%、γ-氨基丁酸30 mg条件下，按牦牛乳粉添加量4%、8%、10%、12%、15%制备，并进行感官评价。

（2）白砂糖添加量单因素试验

在牦牛乳粉10%、芫根浸提液20%、γ-氨基丁酸30 mg条件下，按白砂糖添加量2%、4%、6%、8%、10%制备，并进行感官评价。

（3）芫根浸提液添加量单因素试验

在白砂糖8%、牦牛乳粉10%、γ-氨基丁酸30 mg条件下，按芫根浸提液添加量5%、10%、15%、20%、25%制备，并进行感官评价。

（4）γ-氨基丁酸添加量单因素试验

在牦牛乳粉10%、白砂糖8%、芫根浸提液20%条件下，按γ-氨基丁酸添加量10 mg、20 mg、30 mg、40 mg、50 mg制备，并进行感官评价。

（5）正交试验

基于单因素试验结果，采用正交试验，以产品气味、色泽及口感综合评分作为评价标准，确定芫根牦牛乳饮料中牦牛乳粉、白砂糖、芫根浸提液、γ-氨基丁酸的最佳配方。

1.2.4 芫根牦牛乳饮料稳定剂单因素试验

（1）果胶添加量单因素试验

基于上述试验结果，选择牦牛乳粉添加量10%、白砂糖添加量6%、芫根浸提液添加量20%、γ-氨基丁酸添加量30 mg，按果胶添加量0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.30%制备，测定黏度和离心沉淀率。

（2）羧甲基纤维素钠添加量单因素试验

基于上述试验结果，选择牦牛乳粉添加量10%、白砂糖添加量6%、芫根浸提液添加量20%、γ-氨基丁酸添加量30 mg，按羧甲基纤维素钠添加量0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.30%制备，测定黏度和离心沉淀率。

1.3 指标测定

1.3.1 pH值

室温下使用pH计测定芫根牦牛乳饮料pH值。

1.3.2 黏度

将芫根牦牛乳饮样品置于数显黏度计中，选择2号转子（60 RPM），设置转速为20 r/min，测定黏度。

1.3.3 色泽

在室温下使用色差仪测定样品的明亮度L*值（0：黑色，100：白色）、红绿色度a*值（-：绿色，+：红色）和黄蓝色度b*值（-：蓝色，+：黄色）。

1.3.4 离心沉淀率

参考张亚南等[13]研究方法，准确称取离心管质量M_0，乳饮料质量M_1。将上述乳饮料置于离心管中，3 000 r/min离心10 min。离心结束后去除上清液，保留沉淀物称重M_2。按下列公式计算离心沉淀率：

$$离心沉淀率（\%）=（M_2-M_0）/M_1\times100\%$$

1.3.5 糖度

使用糖度计测定样品糖度，重复测量3 次。

1.3.6 抗氧化能力

（1）DPPH自由基清除率

参考王淑晨[14]研究方法，取一定量DPPH用无水乙醇制备0.04 mg/mL DPPH标准溶液。将2 mL成品样液和2 mL DPPH标准溶液加入试管中， 摇匀并避光静置30 min后，5 000 r/min离心10 min，取上清液于517 nm处测吸光度，记为A_0。用80%乙醇溶液作为空白对照测定其吸光度，记为A。同时将2 mL DPPH标准溶液与2 mL 80%乙醇溶液混合后测吸光度，记为A_1。按下列公式计算清除率：

$$DPPH\ 自由基清除率（\%）=（1-（A-A_0）/A_1\times100\%$$

中国乳业线上阅读

（2）ABTS自由基清除率

参考高小妹等[15]研究方法，将ABTS溶液和$K_2S_2O_8$溶液充分混匀，室温避光静置12～16 h后得到ABTS自由基储备液。将0.2 mL样品溶液与0.8 mL储备液混匀，室温避光反应6 min后，在734 nm处测定吸光度，记为A1。用ABTS自由基储备液测定其吸光度记为A0。用下列公式计算ABTS自由基清除率：

$$\text{ABTS 自由基清除率（\%）} = （A_0 - A_1）/A_0 \times 100\%$$

1.3.7 蛋白质及微生物指标

（1）蛋白质

根据《GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定芫根牦牛乳饮料中蛋白质含量。

（2）微生物指标

根据《GB 4789.3—2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》和《GB 4789.3—2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中方法进行测定。

1.4 感官评价

芫根牦牛乳饮料感官评价根据《GB/T 21732—2008 含乳饮料》及相关文献[11]中方法，选择20 位乳制品相关专业人员组成感官评价小组，按表1感官评价标准，分别从产品组织状态（25 分）、气味（20 分）、色泽（15 分）和口感（40 分）4 个方面评分，满分100 分。

2 结果与分析

2.1 芫根牦牛乳饮料配方单因素试验

2.1.1 牦牛乳粉添加量对芫根牦牛乳饮料感官评价的影响

根据芫根牦牛乳饮料加工工艺，分别添加4%、8%、10%、12%、15%牦牛乳粉制备产品，进行感官评价。牦牛乳粉添加量会直接影响芫根牦牛乳饮料的整体风味。添加牦牛乳粉能增强乳饮料奶香味，使口感更丰富和浓郁。但对于非藏区食用者，牦牛乳有较明显膻味[16]。由图2可知，牦牛乳粉添加量为10%时乳饮料感官评分最高，既有较浓郁的奶香味也避免过于明显的膻味。因此，确定牦牛乳粉最佳添加量为10%。

2.1.2 白砂糖添加量对芫根牦牛乳饮料感官评价的影响

根据芫根牦牛乳饮料加工工艺，分别添加2%、

表 1 抗高原反应芫根牦牛乳饮料感官评价标准

项目	评价标准	评分（分）
组织状态（25 分）	均匀白褐色，酸甜适宜，细腻柔和，风味协调，无杂质，无异味	15 ~ 25
	均匀白褐色，酸甜适宜，细腻柔和，无杂质，风味基本协调	9 ~ 14
	色泽较深或较浅，较酸或较甜，风味不协调，微量杂质，有异味	0 ~ 8
气味（20 分）	具有芫根香味和乳香，香味和谐自然	16 ~ 20
	芫根香味和乳香较淡，无异味	7 ~ 15
	无芫根香味和乳香，有异味	0 ~ 6
色泽（15 分）	白褐色，均匀一致	11 ~ 15
	白褐色，较均匀一致	6 ~ 10
	白褐色，不均匀一致	0 ~ 5
口感（40 分）	口感顺滑，酸甜适中	25 ~ 40
	口感一般，偏酸偏甜	11 ~ 24
	口感粗糙，过酸过甜	0 ~ 10

中国乳业杂志阅读

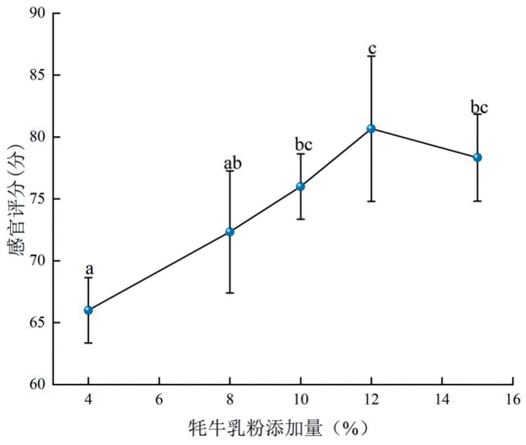


图 2 耗牛乳粉添加量对芫根耗牛乳饮料感官评价的影响

注：不同字母表示不同耗牛乳粉添加量组之间具有显著差异（$P<0.05$），下同

4%、6%、8%、10%白砂糖制备产品，进行感官评价。白砂糖可为芫根耗牛乳饮料提供丰富甜味，合适的甜度可使其更加可口。由图3可知，随白砂糖添加量的增加，产品感官评分呈先升后降趋势，白砂糖添加量为6%时最佳，恰好能中和芫根辛辣的口感。

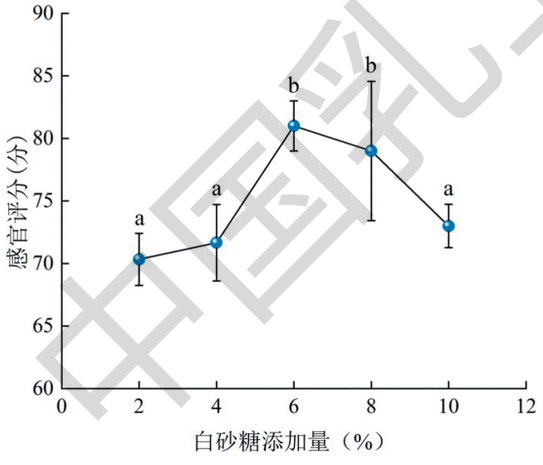


图 3 白砂糖添加量对芫根耗牛乳饮料感官评价的影响

2.1.3 芫根浸提液添加量对芫根耗牛乳饮料感官评价的影响

根据芫根耗牛乳饮料加工工艺，分别添加5%、10%、15%、20%、25%的芫根浸提液制备产品，进行感官评价。芫根浸提液虽然含有丰富的功能活性物质[17]，但在加入耗牛乳后使产品颜色变深，呈白褐色。同时，芫根有辛辣味[18]，因此芫根浸提液添加量会直接影响产品外观和口感。由图4可知，芫根浸提液添加量为20%时最佳，乳饮料感官评分最高，产品既有耗牛乳粉的奶香，又有芫根特殊的香气。

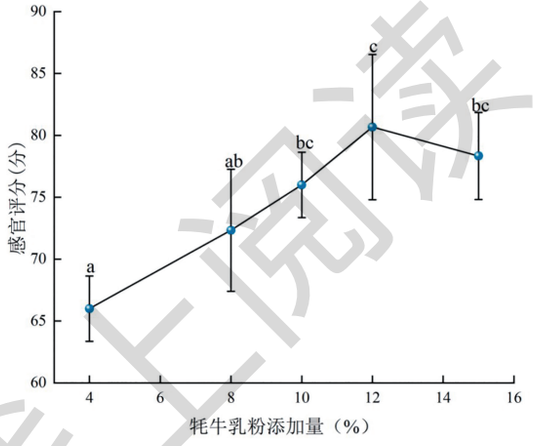


图 4 芫根浸提液添加量对芫根耗牛乳饮料感官评价的影响

2.1.4 γ–氨基丁酸添加量对芫根耗牛乳饮料感官评价的影响

根据芫根耗牛乳饮料加工工艺，分别添加10 mg、20 mg、30 mg、40 mg、50 mg的γ–氨基丁酸制备产品，进行感官评价。γ–氨基丁酸作为特色功能性因子，是中枢神经中重要的抑制性神经递质，有降血压、改善睡眠、抗疲劳和抗衰老等多种生理功能[19]。本研究旨在通过添加γ–氨基丁酸缓解

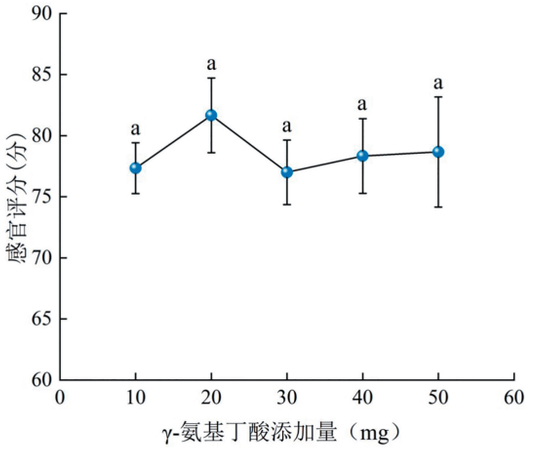


图 5 γ–氨基丁酸添加量对芫根耗牛乳饮料感官评价的影响

中国乳业线上阅读

缺氧导致的机体不适。消费者饮用含有γ-氨基丁酸的芫根牦牛乳饮料时，会更加放松和愉悦，从而增强对饮料的好感度。由图5可知，γ-氨基丁酸添加量对产品感官评价影响甚微。

2.2 芫根牦牛乳饮料配方正交试验结果与分析

根据单因素试验结果，以感官评分为指标，选取牦牛乳粉添加量（A）、白砂糖添加量（B）、芫根浸提液添加量（C）、γ-氨基丁酸添加量（D）设计四因素三水平正交试验进一步优化（表2），确定芫根牦牛乳饮料的最佳配方。

表 2 芫根牦牛乳饮料试验因素设计

水平	A 牦牛乳粉添加量(%)	B 白砂糖添加量(%)	C 芫根浸提液添加量（%）	D γ-氨基丁酸添加量（mg）
1	8	4	15	10
2	10	6	20	20
3	12	8	25	30

以每组感官评分为指标，得到芫根牦牛乳饮料正交试验（$L_9 3^4$）结果（表3）。4 个因素对芫根牦牛乳饮料感官评价影响主次顺序依次为：牦牛乳粉添加量（A）＞芫根浸提液添加量（C）＞白砂糖添加量（B）＞γ-氨基丁酸添加量（D）。基于感官评价结果，芫根牦牛乳饮料配方最佳组合为$A_2B_2C_2D_1$，在最佳条件下进行3 次重复试验，得到感官评分为83 分，均高于正交试验的9 组。因此，芫根牦牛乳饮料最佳工艺配方为：牦牛乳粉添加量10%、白砂糖添加量6%、芫根浸提液添加量20%、γ-氨基丁酸添加量30 mg。

2.3 芫根牦牛乳饮料稳定剂单因素试验

2.3.1 果胶添加量对芫根牦牛乳饮料稳定体系的影响

牦牛复原乳和芫根浸提液混合形成的乳浊液体系具有不稳定性，容易出现分层和蛋白质沉淀，需添加稳定剂以保持体系稳定。果胶属于阴离子多糖，作为一种天然高分子化合物，具有良好的增稠、稳定和胶凝作用[20]。在芫根牦牛乳饮料中，果胶可与蛋白质、脂肪等相互作用，形成稳定的胶体结构，防止其分层、沉淀或絮凝。由图6可知，随果胶添加量增加，离心沉淀率呈下降趋势，添加量0.2%时离心沉淀率趋于稳定，表明体系稳定。此外，随果胶添加量增加，体系黏度变大，降低了离子沉降速度，提高了产品稳定性[21]。因此，果胶添加量0.2%为最佳。

表 3 芫根牦牛乳饮料正交试验表

试验号	A牦牛乳粉添加量	B白砂糖添加量	C芫根浸提液添加量	D γ-氨基丁酸添加量	感官评分（分）
1	1	1	1	1	65.3
2	1	2	2	2	72.5
3	1	3	3	3	69.2
4	2	1	2	3	76.3
5	2	2	3	1	80.3
6	2	3	1	2	73.4
7	3	1	3	2	72.4
8	3	2	1	3	70.2
9	3	3	2	1	75.3
K1	207.0	214.0	208.9	220.9	207.0
K2	230.0	223.0	224.1	218.3	230.0
K3	217.9	217.9	221.9	215.7	217.9
极差R	7.7	3.0	5.1	1.7	7.7
因素主次顺序	A＞C＞B＞D				
优水平	A_2	B_2	C_2	D_1	
优组合	$A_2B_2C_2D_1$				

中国乳业编辑部

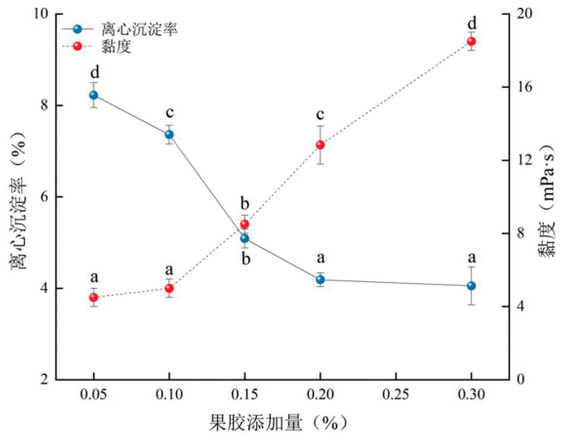


图 6 果胶添加量单因素试验结果

2.3.2 羧甲基纤维素钠添加量对芫根牦牛乳饮料稳定体系的影响

羧甲基纤维素钠是一种聚阴离子线性高分子，对乳饮料有乳化稳定作用，作为增稠剂用于食品工业[22]。羧甲基纤维素钠的增稠作用可使饮料中的悬浮颗粒更均匀地分布在液体中。羧甲基纤维素钠添加量达一定水平时，能形成足够强度的胶体网络，使饮料体系更稳定，延长保质期[23]。由图7可知，随羧甲基纤维素钠添加量的增加，芫根牦牛乳饮料离心沉淀率呈下降趋势，添加量为0.2%时趋于稳定，黏度呈上升趋势。此外，与单一果胶作为稳定剂相比，添加羧甲基纤维素钠使乳饮料具有更低的离心沉淀率，因此，选择单一羧甲基纤维素钠为稳定剂更佳，且添加量0.2%为最佳。

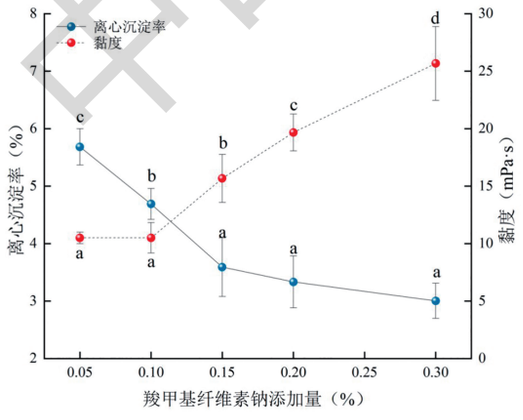


图 7 羧甲基纤维素钠添加量单因素试验结果

2.4 芫根牦牛乳饮料的理化指标和抗氧化活性分析

通过测定，确定最佳配方及稳定体系制备的芫根牦牛乳饮料pH值为6.93，糖度为9.7 ° Bx，酸甜可口，牦牛乳与芫根味平衡；色泽适中，L*（80.72），a*（−2.37），b*（10.78）；可溶性固形物含量为11%，蛋白含量为（2.5±0.13）g/100 mL；微生物指标均符合国家标准。

研究显示，芫根有抗高原反应、抗疲劳和抗氧化作用，γ−氨基丁酸可改善睡眠并具有抗氧化功能[24，25]。本研究制备的芫根牦牛乳饮料中DPPH和ABTS自由基清除率测定结果分别为（28.51±1.87）%和（38.49±2.38）%，表明其具有较强的抗氧化活性。

3 结论与讨论

本研究制备的芫根牦牛乳饮料能有效发挥芫根的营养价值与牦牛乳的醇厚口感，提高消费者接受度和喜爱度。其最佳工艺参数为：牦牛乳粉添加量10%、白砂糖添加量6%、芫根浸提液添加量20%、γ−氨基丁酸添加量30 mg、羧甲基纤维素钠添加量0.2%，产品理化及微生物指标均符合国家标准，有较强的抗氧化活性。该乳饮料酸甜适中，香醇可口，营养丰富，在抗高原反应方面有一定潜力，对合理利用青海特色资源，促进牦牛乳、芫根深加工和高值化有重要意义。

中国乳业线上阅读

参考文献

[1] Luo J，Huang Z，Liu H，et al. Yak milk fat globules from the Qinghai-Tibetan Plateau：Membrane lipid composition and morphological properties[J].Food Chemistry，2018，245：731-737.

[2] Joshi S，Shrestha L，Bisht N，et al. Ethnic and cultural diversity amongst yak herding communities in the Asian highlands[J]. Sustainability，2020，12（3）：957.

[3] Wang D，Zhou Y，Zheng X，et al. Yak milk：Nutritional value，functional activity，and current applications[J].

Foods，2023，12（11）：2090.
[4] 吴春生，李键，骞宇，等. 牦牛乳及牦牛酸乳营养价值的研究现状[J].乳业科学与技术，2012，35（3）：43–46.
[5] Singh T P，Arora S，Sarkar M. Yak milk and milk products：Functional，bioactive constituents and therapeutic potential[J]. International Dairy Journal，2023，142：105637.
[6] 孟胜亚，张文会，于翠翠. 芫根糌粑风味奶片的制备及品质分析[J].青海农林科技，2024（2）：112–116.
[7] 刘小娇，白婷，靳玉龙，等.芫根营养功效及加工现状[J].粮食与食品工业，2020，27（2）：30–33，38.
[8] 杜亚飞，李维，潘阿呷，等.芫根中硫代葡萄糖苷的提取工艺研究[J].高原农业，2024，8（3）：316–321.
[9] 李紫琳.芫根水提物的抗疲劳作用及其机制研究[D].无锡：江南大学，2022.
[10] 陈天荣，张玉红.不同菌种对芫根发酵液风味物质及抗氧化性能的影响[J].食品与发酵工业，2024，50（16）：211–220.
[11] 王铖，朱红康，王辞婉，等.芫根复合维生素饮料的制作及其抗疲劳功能评价[J].饮料工业，2023，26（1）：3–12.
[12] 吴宗耀，仁增，顿珠次仁，等.芫根薤白压片糖果对小鼠抗缺氧和学习记忆能力的影响[J].中医学报，2024，39（7）：1527–1533.
[13] 张亚南，苏婷婷，宋晶晶，等.发酵型雪菊乳饮料的稳定性研究[J].食品安全导刊，2024（14）：125–128.
[14] 王淑晨.乳铁蛋白铁饱和度对其功能特性影响的研究[D].天津：天津科技大学，2020.
[15] 高小妹，隋勇，祝振洲，等.乳酸菌发酵对米乳品质、风味和抗氧化活性的影响[J].食品工业科技，2024，46（4）：127–135.
[16] 刘庆雪，肖梓军.牦牛乳及其风味物质研究进展[J].乳业科学与技术，2022，45（5）：53–58.
[17] 王福清.芫根多糖的提取及其抗缺氧能力研究[J].中国调味品，2024，49（6）：195–199.
[18] 格桑曲珍，马红梅，普布，等.西藏芫根水提物理化特性及功能食品研究[J].安徽农业科学，2014，42（17）：5626–5627.
[19] 莫小群，王雅，陈显玲，等.富含γ–氨基丁酸非乳益生菌香蕉发酵饮料工艺研究[J].中国果菜，2022，42（11）：20–26，31.
[20] 杨丹丹，欧阳侬非，刘海燕，等.混合柠檬汁的稳定性研究及感官评价[J].食品与发酵工业，2025，51（3）：284–291.
[21] 李春梅，陈恩海，韩佳临，等.红茶、玫瑰花发酵乳饮料工艺技术的优化[J].食品研究与开发，2023，44（20）：160–166.
[22] 杨金姝.羧甲基纤维素钠在食品工业中的应用研究[J].农产品加工·学刊（下），2014（11）：76–78.
[23] 田玉秀，张小利，陈姝璇，等.稳定剂对果味酸羊奶稳定性影响的研究[J].中国乳业，2024（9）：80–84.
[24] 王辞婉，王铖，朱红康，等.青海芫根提取物抗疲劳活性及其风味饮料的研究[J].饮料工业，2022，25（2）：8–14.
[25] 陈春旭.γ–氨基丁酸高含量谷物醋的研制及其抗氧化功能研究[D].武汉：华中农业大学，2009.

Study on Preparation Technology of Anti–altitude Sickness Yak Milk Functional Beverage

JIA Xinyi，WANG Chengyue，LI Wenjing，ZHOU Shuhan，ZHONG Jiawei，SU Yuting，YU Jinghua*

School of Food Science and Engineering，Tianjin University of Science and Technology，Tianjin 300457

Abstract：[Objective]Combining the special milk source yak milk from Qinghai with the special medicinal and dietary homology plant *Brassica rapa L.* in Tibetan area，the development of the beverage of *Brassica rapa L.* yak milk with the potential of anti-altitude sickness. The effects of adding amount of yak milk powder，sugar，*Brassica rapa L.* and γ-aminobutyric acid on the flavor of *Brassica rapa L.* yak milk beverage were studied by single factor test with the main materials of yak milk powder and *Brassica rapa L.* as evaluation indexes. The effects of pectin and sodium carboxymethyl cellulose（CMC-Na） on the stability of *Brassica rapa L.* yak milk beverage were studied

下转132页

中国乳业线上阅读

安全导刊，2014（15）：50–51.
[6] 贾军燕，陈晓禅，曹金丽，等.[J].中外企业家，2020（4）：236.
[7] 万静.中国强力保障婴幼儿配方乳粉质量[J].食品界，2024（1）：28–30.
[8] 杜玉林.从消费者淡漠“新鲜”看国人的饮奶习惯[J].乳品与人类，2011（1）：44–46.
[9] 危娟，郭泽镔，江晓丽，等.我国婴幼儿配方奶粉生产工艺研究现状及发展建议[J].中国奶牛，2022（4）：36–39.
[10] 侯军伟.新消费时代乳企如何抓住市场机遇[J].乳品与人类，2018（4）：58–64.
[11] 郑跃，马景霞，许蒙蒙，等.浅谈婴幼儿配方乳粉安全风险管理[J].中国乳业，2025（1）：50–58.

Study on Production Technology of Milk Powder to Prevent Caking

LI Yeqiu，XIE Baorui*，QIAO Huifang，LI Dan
Inner Mongolia Yili Industrial Group Co.， Ltd. ，Hohhot Inner Mongolia 010000

Abstract：In this study，various influencing factors causing caking during the use of milk powder were sorted out，the key links of raw material selection，spray drying process，packaging technology and storage conditions were analyzed. The study focused on sanitary design，process parameter setting and optimal ratio of product ingredients，summarized the key factors affecting caking，and explored corresponding countermeasures to form a breakthrough solution. This study was of great significance for improving the caking of milk powder and improving the quality of dairy product

Keywords：milk powder；caking；improve；quality

▲上接125页

by single factor test with viscosity and centrifugal precipitation rate as evaluation indexes.The physicochemical and microbiological indexes of the final product were determined.[Result]The extract of Brassica rapa L. has strong anti-oxidant properties and can improve the anti-oxidant activity of *Brassica rapa L* yak milk beverage. The formula（Yak milk powder 10%，sugar 6%，Brassica rapa L. extract 20%，γ-aminobutyric acid 30 mg，CMC-Na 2%）prepared the *Brassica rapa L.* yak milk beverage with moderate sweet and sour，rich nutrition，in line with the standards of milk beverage.[Conclusion]The *Brassica rapa L* yak milk beverage has a good industrial application prospect and can provide reference for the research and development of alleviating altitude sickness beverage and the design of yak milk beverage.

Keywords：yak milk powder；*Brassica rapa L.*；quality；stability

中国乳业线上阅读