

分类号:
学号: 20222011016

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



沙棘-蚕豆复合饮料的工艺优化和品质研究

学位申请人	李诗
指导教师	单春会教授
申请学位门类级别	工学硕士
学科、专业名称	食品科学与工程
研究方向	食品工程
所在学院	食品学院

中国·新疆·石河子
2025年6月

分类号:
学号: 20222011016

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



沙棘-蚕豆复合饮料的工艺优化和品质研究

学位申请人	李诗
指导教师	单春会教授
申请学位门类级别	工学硕士
学科、专业名称	食品科学与工程
研究方向	食品工程
所在学院	食品学院

中国·新疆·石河子

2025年6月

**Preparation and quality study of sea buckthorn-fava bean compound
beverage**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

By

Li Shi

(Food Science and Engineering)

Dissertation Supervisor: Prof. Shan Chun-hui

June,2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：李诗

时间：2025年5月24日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：李诗

时间：2025年5月24日

导师签名：李春会

时间：2025年5月24日

摘要

沙棘富含维生素、不饱和脂肪酸、多糖、酚类等生物活性物质，但沙棘果中的有机酸和单宁物质会导致其口感酸涩，难以直接食用，且鲜果容易霉烂腐败，不易运输。蚕豆含有丰富的蛋白质、膳食纤维和维生素等营养元素，然而其深加工产品种类较为单一，且豆腥味难以被大多数人接受。因此，本研究以富含维生素的沙棘和富含优质蛋白的蚕豆为主要原料，辅以少量小米，以开发出营养均衡、口感良好的复合饮料及速溶粉产品。通过单因素试验与响应面分析法相结合，确定沙棘-蚕豆复合饮料最佳制备工艺并探究其营养品质和风味特征，再利用不同干燥技术联合不同载体制备沙棘-蚕豆复合速溶粉并研究不同载体和干燥方式对其理化性质、生物活性和感官属性的影响。主要研究结论如下：

(1) 沙棘-蚕豆复合饮料最佳调配工艺为沙棘汁添加量 50%、豆水比 1:9 (g/mL)、小米添加量 1.2%，此时感官评分为 88.75 ± 0.30 分。最佳的复合稳定剂添加量是黄原胶 0.08%、羧甲基纤维素钠 (CMC-Na) 0.07%、蔗糖酯 0.05%、单甘酯 0.05%，在此条件下离心沉淀率为 $7.67 \pm 0.19\%$ 。该工艺所得产品色泽均匀，酸甜适中，香气浓郁，质地均匀。并且经杀菌后，产品的微生物限量符合国家标准。

(2) 对沙棘-蚕豆复合饮料的营养品质和香气特征研究发现，其可溶性固形物含量为 $11.89 \pm 0.22\%$ ，与沙棘汁相比无明显差异；总脂肪含量为 5.69 ± 0.24 g/100g FW，比沙棘汁降低 35.71%；总蛋白含量为 2.48 ± 0.22 g/100g FW，比沙棘汁增加 90.77%；氨基酸总含量相较于沙棘汁上升 56.23%，其中鲜味氨基酸含量上升最显著；维生素 E、维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量分别为 11.43 ± 0.64 mg/L、 1.11 ± 0.29 mg/L 和 0.35 ± 0.04 mg/L；总酚和总黄酮含量分别为 22.34 ± 1.65 mgGAE/L 和 26.74 ± 1.02 mgRE/L；对 DPPH 和 ABTS 自由基清除率分别为 $56.19 \pm 1.12\%$ 和 $69.72 \pm 1.17\%$ 。

电子舌分析显示，与单一沙棘汁相比，沙棘-蚕豆复合饮料的鲜味和丰富度更突出，明显改善了沙棘汁酸涩的口感。电子鼻分析显示沙棘-蚕豆复合饮料中芳香族化合物、氨类及芳烃更加丰富。利用 HS-SPME-GC-MS 技术在沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料中共检测到 65 种挥发性化合物(46 种酯类、8 种醛类、5 种酸类、2 种醇类、3 种酮类和 1 种其他化合物)，并发现沙棘-蚕豆复合饮料中挥发性化合物总含量明显低于沙棘汁，共降低了 1208.49 ± 10.89 μg/L。此外，在沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料中共发现 15 种 OAV 值 >1 的关键挥发性物质，酯类是最主要的关键挥发性物质。与沙棘汁相比，沙棘-蚕豆复合饮料中所有挥发性物质的 OAV 值均有所降低，其中具有辛辣刺激性气味的乙醛和异戊醇、具有苦杏仁味的苯甲醛以及具有腐败脂肪味的庚酸的 OAV 值明显降低。因此，沙棘-蚕豆复合饮料的香气比沙棘汁更加柔和。

(3) 根据麦芽糊精 (MD) 添加量/菊粉 (INU) 添加量对喷雾干燥 (SD) 样品的集粉率和水分含量以及对冷冻干燥 (FD) 样品的溶解度和水分含量的影响，确定 MD 添加量为 20% (以沙棘-蚕豆复合饮料可溶性固形物含量计)，INU 添加量为 5%。在此条件下，探究不同载体 (MD 或 INU) 和干燥方式 (SD 或 FD) 对沙棘-蚕豆复合速溶粉的理化性质、生物活性和感官属性的影响。在理化

性质方面，FD 样品的颜色比 SD 样品更接近沙棘-蚕豆复合饮料的颜色，其中 FD-INU（冷冻干燥-菊粉）的黄色强度最高。与 SD 样品相比，FD 样品颗粒具有更大的粒径和更多的孔状结构，并且加入 INU 后样品对水的吸附能力增强，使得 FD-INU 的接触角最小、溶解时间最短和溶解度最大，分别为 $37.27 \pm 0.19^\circ$ 、 74.19 ± 0.54 s 和 $54.42 \pm 0.51\%$ 。在生物活性方面，FD-INU 的总酚和总黄酮含量最高，分别为 239.15 ± 0.82 mg GAE/100g 和 46.44 ± 0.26 mg RE/100g。FD-INU 对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除能力最强。从感官评价来看，FD-INU 的总体可接受性最高。综上所述，冷冻干燥技术联合 5% 的 INU 是生产沙棘-蚕豆复合速溶粉的最佳方案。

关键词：沙棘；蚕豆；复合饮料；速溶粉

Abstract

Sea buckthorn is rich in vitamins, unsaturated fatty acids, polysaccharides, phenols and other biologically active substances, but the organic acids and tannins in sea buckthorn berries will lead to sour taste, which is difficult to be consumed directly, and the fresh fruits are easy to be moldy and rotten, and not easy to be transported. Fava beans are rich in protein, dietary fiber and vitamins and other nutrients, however, its deep-processed product types are relatively single, and the bean smell is difficult to be accepted by most people. Therefore, in this study, sea buckthorn, which is rich in vitamins, and fava bean, which is rich in high-quality protein, were used as the main raw materials, supplemented by a small amount of millet, in order to develop compound beverage and instant powder products with balanced nutrition and good taste. Through the combination of one-way test and response surface analysis, the optimal preparation process of sea buckthorn-fava bean composite beverage was determined and its nutritional quality and flavor characteristics were investigated, and then the composite instant powder of sea buckthorn-fava bean was prepared by using different drying techniques combined with different carriers, and the effects of different carriers and drying modes on the physicochemical properties, bioactivity and sensory attributes of the product were investigated. The main research conclusions are as follows:

(1) The optimal blending process of sea buckthorn-fava bean composite beverage was 50% addition of sea buckthorn juice, 1:9 bean to water ratio (g/mL), and 1.2% addition of millet, at which time the sensory score was 88.75 ± 0.30 points. The most effective combination of stabilizers was 0.08% xanthan gum, 0.07% sodium carboxymethyl cellulose (CMC-Na), 0.05% sucrose ester, 0.05% monoglyceride, and the centrifugal sedimentation rate was $7.67 \pm 0.19\%$ under this condition. The product obtained by this process had uniform color, moderate sweet and sour, strong aroma and uniform texture. And after sterilization, the microbial limit of the product complied with the national standard.

(2) The study on the nutritional quality and aroma characteristics of sea buckthorn-fava bean composite beverage found that its soluble solids content was $11.89 \pm 0.22\%$, which was not significantly different from sea buckthorn juice; total fat content was 5.69 ± 0.24 g/100g FW, which was 35.71% lower than that of sea buckthorn juice; total protein content was 2.48 ± 0.22 g/100g FW, which was 90.77% higher than that of sea buckthorn juice; total amino acid content increased by 56.23% compared with sea buckthorn juice, with the most significant increase in fresh flavor amino acid content; vitamin E, vitamin B1 and vitamin B2 content were 11.43 ± 0.64 mg/L, 1.11 ± 0.29 mg/L and 0.35 ± 0.04 mg/L, respectively; and the content of total phenols and total flavonoids were 22.34 ± 1.65 mgGAE/L and 26.74 ± 1.02 mgRE/L; and $56.19 \pm 1.12\%$ and $69.72 \pm 1.17\%$ for DPPH and ABTS radical scavenging, respectively.

Electronic tongue analysis showed that compared with single sea buckthorn juice, sea buckthorn-fava bean composite beverage had more prominent freshness and richness, which significantly improved the

sour taste of sea buckthorn juice. The electronic nose analysis showed that the sea buckthorn-fava bean composite beverage was richer in aromatic compounds, ammonia and aromatic hydrocarbons. A total of 65 volatile compounds (46 esters, 8 aldehydes, 5 acids, 2 alcohols, 3 ketones and 1 other compound) were detected in sea buckthorn juice and sea buckthorn-fava bean composite beverage using HS-SPME-GC-MS, and it was found that the total volatile compounds in sea buckthorn-fava bean composite beverage were significantly lower than that of sea buckthorn juice, with a total decrease of $1208.49 \pm 10.89 \mu\text{g/L}$. In addition, a total of 15 key volatile compounds with OAV values >1 were found in sea buckthorn juice and sea buckthorn-fava bean composite beverage, and esters were the most dominant key volatile compounds. Compared with sea buckthorn juice, the OAV values of all volatile substances in the sea buckthorn-fava bean composite beverage were reduced, among which the OAV values of acetaldehyde and isoamyl alcohol with pungent and irritating odors, benzaldehyde with bitter almond flavor, and heptanoic acid with rancid fat flavor were significantly reduced. Therefore, the aroma of sea buckthorn-fava bean composite beverage was softer than that of sea buckthorn juice.

(3) Based on the effects of maltodextrin (MD) addition/inulin (INU) addition on the powder collection rate and moisture content of spray-dried (SD) samples and on the solubility and moisture content of freeze-dried (FD) samples, the amount of MD addition was determined to be 20% (in terms of the content of soluble solids of sea buckthorn-fava bean composite beverage), and the amount of INU addition was 5%. Under these conditions, the effects of different carriers (MD or INU) and drying methods (SD or FD) on the physicochemical properties, bioactivities and sensory attributes of the sea buckthorn-fava bean composite instant powder were investigated. In terms of physicochemical properties, the color of the FD samples was closer to that of the sea buckthorn-fava bean composite beverage than that of the SD samples, with the highest intensity of yellow color in the FD-INU (freeze-dried-inulin). Compared with the SD sample, the particles of the FD sample had a larger particle size and more pore-like structure, and the adsorption capacity of the sample to water was enhanced by the addition of INU, which resulted in the smallest contact angle, the shortest dissolution time, and the largest solubility of FD-INU, which were $37.27 \pm 0.19^\circ$, $74.19 \pm 0.54 \text{ s}$, and $54.42 \pm 0.51\%$, respectively. In terms of bioactivity, FD-INU had the highest total phenol and total flavonoid contents of $239.15 \pm 0.82 \text{ mg GAE/100 g}$ and $46.44 \pm 0.26 \text{ mg RE/100 g}$, respectively. FD-INU had the strongest scavenging ability against DPPH and ABTS free radicals. From the sensory evaluation, FD-INU had the highest overall acceptability. In conclusion, freeze-drying technique combined with 5% INU is the best solution for the production of seabuckthorn-fava bean composite instant powder.

Key words: sea buckthorn; fava bean; complex beverage; instant powder

目 录

摘要	I
Abstract	III
第 1 章 绪论	1
1.1 沙棘的概述	1
1.1.1 沙棘的简介	1
1.1.2 沙棘制品的加工现状	1
1.2 蚕豆的概述	2
1.2.1 蚕豆的简介	2
1.2.2 蚕豆制品的加工现状	3
1.3 果汁-豆类复合饮料的研究进展	3
1.4 速溶粉的研究进展	4
1.5 研究目的及意义	5
1.6 研究内容及技术路线	6
1.6.1 研究内容	6
1.6.2 技术路线	7
第 2 章 沙棘-蚕豆复合饮料工艺优化研究	8
2.1 材料与设备	8
2.1.1 实验原料	8
2.1.2 实验试剂	8
2.1.3 实验仪器	9
2.2 实验方法	9
2.2.1 沙棘汁的制备	9
2.2.2 沙棘-蚕豆复合饮料的制备	9
2.2.3 沙棘-蚕豆复合饮料调配工艺的单因素试验	9
2.2.4 沙棘-蚕豆复合饮料调配工艺的响应面优化试验	10
2.2.5 模糊数学感官评价系统建立	10
2.2.6 沙棘-蚕豆复合饮料稳定性的单因素试验	12
2.2.7 沙棘-蚕豆复合饮料稳定性的响应面优化试验	12
2.2.8 离心沉淀率的测定	13
2.2.9 Zeta 电位的测定	13
2.2.10 沙棘-蚕豆复合饮料的杀菌	13

2.2.11 微生物指标的测定	13
2.2.12 数据处理	13
2.3 结果与分析	14
2.3.1 沙棘-蚕豆复合饮料调配工艺的单因素试验	14
2.3.2 沙棘-蚕豆复合饮料调配工艺的响应面优化试验	18
2.3.3 沙棘-蚕豆复合饮料稳定性的单因素试验	21
2.3.4 沙棘-蚕豆复合饮料稳定性的响应面优化试验	23
2.3.5 微生物的测定结果及限量	28
2.4 本章小结	28
第3章 沙棘-蚕豆复合饮料营养成分、抗氧化能力及风味的研究	29
3.1 材料与设备	29
3.1.1 实验原料	29
3.1.2 实验试剂	29
3.1.3 实验仪器	30
3.2 实验方法	30
3.2.1 样品的制备	30
3.2.2 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料中基本成分的测定	30
3.2.3 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料中功能性成分的测定	31
3.2.4 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料抗氧化能力的测定	32
3.2.5 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料风味的测定	32
3.2.6 数据分析	33
3.3 结果与分析	33
3.3.1 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料中基本成分分析	33
3.3.2 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料中功能性成分分析	34
3.3.3 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料抗氧化能力分析	36
3.3.4 沙棘汁和沙棘-蚕豆复合饮料风味分析	37
3.4 本章小结	45
第4章 不同载体及干燥方式对沙棘-蚕豆复合速溶粉的影响研究	47
4.1 材料与设备	47
4.1.1 实验原料	47
4.1.2 实验试剂	47
4.1.3 实验仪器	48
4.2 实验方法	48

4.2.1 沙棘-蚕豆复合速溶粉的制备	48
4.2.2 载体添加量的确定研究	49
4.2.3 沙棘-蚕豆复合速溶粉理化性质的测定	50
4.2.4 沙棘-蚕豆复合速溶粉生物活性成分和抗氧化能力的测定	52
4.2.5 沙棘-蚕豆复合速溶粉的感官评价	52
4.2.6 数据分析	52
4.3 结果与分析	52
4.3.1 载体添加量的确定分析	52
4.3.2 沙棘-蚕豆复合速溶粉理化性质分析	55
4.3.3 沙棘-蚕豆复合速溶粉生物活性成分和抗氧化能力分析	63
4.3.4 沙棘-蚕豆复合速溶粉的感官评价	65
4.4 本章小结	65
第 5 章 结论与展望	67
5.1 结论	67
5.2 创新点	68
5.3 展望	68
参考文献	69
致谢	79

第 1 章 绪论

1.1 沙棘的概述

1.1.1 沙棘的简介

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 属于胡颓子科沙棘属, 是多年生的灌木^[1], 可在极端的低温和干旱环境中生长, 具有防风固沙和改善生态环境的作用^[2], 其成熟果实多呈椭圆形或近圆形, 颜色为黄色或橙色^[3]。中国的沙棘栽培规模远超其余国家, 其沙棘种植面积约占世界沙棘种植总面积九成以上^[4]。从地理位置上看, 中国沙棘资源主要分布于西北地区, 如新疆、甘肃等地; 华北地区, 如内蒙古、山西等地; 西南地区, 如西藏、云南等地^[5]。

沙棘是一种兼具药用价值和食用价值的植物, 其不同植物组织中均含有丰富的生物活性成分, 其中以果实的活性成分含量最为丰富, 包括维生素、酚类、酯类等, 因此具有潜在的经济价值^[6]。早在 1300 多年前, 沙棘已被用作民族药物, 具有治疗哮喘、咳嗽、闭经、消化不良和消化性溃疡的功效^[7]。在现代研究中, Yuan 等人^[8]发现沙棘多酚可以通过调节肠道菌群来促进人体对营养物质的吸收和代谢, 还具有抗炎和免疫调节的作用, 能促进胃肠道健康。时言超等人^[9]的研究表明, 沙棘多糖能缓解脂多糖诱导的 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 等炎症因子上调, 起到抗炎的作用。Zhang 等人^[10]的研究显示, 沙棘能抑制糖酵解调节 AMPK/PKM2 的活性, 从而降低非酒精性脂肪肝的发生。王芳等人^[11]还发现沙棘果油和沙棘籽油的混合物能降低小鼠肝脏中甘油三酯 (TG)、低密度脂蛋白 (LDL) 和总胆固醇 (TC) 水平, 以缓解慢性酒精肝损伤。

1.1.2 沙棘制品的加工现状

1.1.2.1 早期沙棘制品

在成吉思汗时期, 蒙古人就已经使用沙棘酿制沙棘果酒, 专供蒙古皇家和贵族饮用^[12]。在 19 世纪的蒙医经典中, 以沙棘、木香、葡萄干、甘草、栀子为原料制成沙棘五味散, 具有具有清热化痰、止咳平喘的功效^[13]。

1.1.2.2 非发酵沙棘制品

考虑到个人喜好、营养价值、运输储存条件、食用方便性等因素, 市面上出现了多

种沙棘制品，包括沙棘饮料、沙棘果粉、沙棘果泥、沙棘浓缩果汁、沙棘果酱、棘黄色素、沙棘油等。沙棘中含有丰富的黄色素，可作为蛋糕、奶油、冰淇淋等食品的着色剂，黄酮类物质和 β -胡萝卜素是沙棘黄色素的主要组成成分^[14]。沙棘果和沙棘籽还可提取沙棘油，具有肝脏保护和降血糖的作用^[15]。刘俭等人^[16]还以沙棘粉、红豆粉和薏仁粉为原料，制备了一款富含维生素 C 和蛋白质的代餐粉。此外，还可将沙棘与富含植物蛋白的大豆联合开发，制成沙棘酱、沙棘豆沙、沙棘豆腐等^[17]。

1.1.2.3 发酵沙棘制品

沙棘果实酸度高，难以直接食用，将沙棘制成发酵制品，既能改善沙棘的感官属性，又能提升沙棘的营养价值。近年来，发酵沙棘制品开始受到人们的青睐，包括沙棘果酒、沙棘果醋、益生菌发酵沙棘酸奶^[18]等。研究发现，使用酵母菌 RV171 轻度发酵的沙棘汁，不仅能使沙棘的口感变得圆润、柔和，还能保留沙棘中的营养成分^[3]。杨辉等人^[19]以沙棘为原料制备沙棘果醋，他们发现沙棘果醋的总糖含量远低于陈醋，适于患有高血糖、高血压、高血脂的人饮用。并且果醋含有多种形式的有机酸，其特有的有机酸组分能刺激消化液生成，从而帮助人体吸收食物所含的营养。

1.2 蚕豆的概述

1.2.1 蚕豆的简介

蚕豆 (*Vicia faba* L.) 属于野豌豆属，生长周期为一年^[20]，有着悠久的食用历史，最古老的蚕豆种子可追溯到公元前 10 世纪晚期的叙利亚西北部^[21]。与大豆不同，蚕豆可以在多种地理环境下种植，甚至是生长季节较短的北方寒冷地区^[22]。除食用价值外，蚕豆还能够固定大气中的氮，并在以谷物为主的密集型作物轮作中发挥积极作用，还能防止土壤侵蚀^[23]。中国的蚕豆种植规模位居世界之首，其年产量约占全球总产量的一半以上^[24]。

蚕豆作为一种碳水化合物 (51-68%)、膳食纤维 (11-25%)、蛋白质 (26-33%)、维生素 (硫胺素、核黄素和烟酸) 和矿物质 (钙、铁和钾) 良好来源的食物，可为人体提供宝贵的能量^[25]。并且蚕豆的脂肪含量相对较低 (1.5%)，主要由亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸组成，其中亚油酸是人体必需脂肪酸之一，在维持心血管健康上具有重要的生理作用^[20]。研究发现，蚕豆蛋白可降低患有高胆固醇血症的年轻男性的血糖、胰岛素、总胆固醇和低密度脂蛋白^[26]。王春明等人发现，蚕豆中含有 18% 抗性淀粉，抗性淀粉具有降低血糖指数的作用^[27]。

1.2.2 蚕豆制品的加工现状

1.2.2.1 非发酵蚕豆制品

蚕豆具有多种食用方式并多以干制品加工为主，其中油炸蚕豆在中国、马来西亚、哥伦比亚和泰国等国家很受欢迎^[28]。近年来，还出现了蚕豆面粉、人造肉、代餐粉等蚕豆制品。以蚕豆面粉代替部分小麦面粉，能有效弥补小麦中缺乏赖氨酸和苏氨酸的缺点，以蚕豆面粉为原料制备的面包、饼干和面条，对于收入有限的个人或家庭可能是增加每日蛋白质摄入量的完美食物基质^[25]。Nishaant 等人^[29]以蚕豆为原料制备的人造肉与鸡肉相比含有更高的不饱和脂肪酸，更诱人的色泽以及丰富的维生素 B₁₂，但其豆腥味对人造肉的风味具有显著影响，还需要不断改进。并且由于蚕豆高蛋白、高淀粉、高膳食纤维和低脂肪的特性，蚕豆还是制备代餐粉的良好原料^[30]。

1.2.2.2 发酵蚕豆制品

豆瓣酱是我国传统的发酵调味品，是将蚕豆、小麦粉、盐和辣椒混合，利用复杂的微生物群落发酵再经 3 年后熟而成，因其风味独特在川渝地区广受欢迎^[31]。除豆瓣酱外，蚕豆还可用于制备蚕豆酸奶，研究表明，蚕豆蛋白与大豆蛋白成分类似，是生产植物性饮料的良好原料，并且在感官品质上蚕豆酸奶比豌豆酸奶和鹰嘴豆酸奶具有更高的可接受度^[32]。

1.3 果汁-豆类复合饮料的研究进展

近年来，饮食与健康的相关性日益受到关注，传统的饮食模式逐渐被清洁标签和功能性食品所改变，包括新鲜果蔬、豆类和坚果，以及具有天然和高品质特征的低加工产品^[33]。在一些西方国家，将果汁与豆类进行复配，逐渐受到人们的欢迎。一方面对于患有乳糖不耐受、牛奶蛋白过敏或半乳糖血症的人群，豆类是优质蛋白的良好来源；另一方面，豆类衍生产品的豆腥味难以被大多数人接受^[34]。因此科研人员进行了有关果汁和豆类复配的尝试，能有效改善产品的感官和营养特性。Morales 等人^[35]将经脉冲电场处理后的红刺梨汁加入豆浆中，期望开发出一种具有良好感官特性和生物活性的植物性饮料，红刺梨和豆浆都是富含抗氧化物质的原料。Potter 等人^[36]将蓝莓和大豆混合在一起，制成一种饮料，既能掩盖豆腥味，又具有很强的抗氧化能力。Rodríguez-Roque 等^[34]将复合果汁与豆浆饮料复合，发现果汁豆浆饮料的亲水成分比亲脂成分具有更高的生物可及性。与沙棘类似，红刺梨和蓝莓等水果虽然具有高营养价值但商业价值有限，因此常作为开发果汁和复合饮料等增值产品的原料，而豆浆中含有丰富的必需氨基酸、异黄酮

和矿物质营养成分。这些研究为沙棘和蚕豆复配研发一款具有健康益处的饮品提供了新思路。

此外,已有国内外研究表明维生素和蛋白质具有相互促进的作用。Li 等人^[37]揭示了大豆亲脂性蛋白与钴胺素(维生素 B₁₂)之间的协同效应,同时评估了大豆亲脂性蛋白作为钴胺素递送载体的潜力,研究发现当两者相互作用越强维生素 B₁₂越稳定,同时,大豆亲脂蛋白-维生素 B₁₂复合物表现出良好的理化性质和消化特性,为其在食品系统中的应用提供了理论依据。维生素 D 在进入人体后会与维生素受体蛋白或白蛋白结合发挥作用,当体内这两种蛋白质降低时,会影响维生素 D 的生物利用率^[38]。维生素 K 能催化谷氨酸残基发生 γ 位羧基化反应,经转译后生成具有生物活性的 γ -羧基谷氨酸^[39]。维生素 B₆可以促进人体对蛋白质的吸收。这些现象表明,蛋白质与维生素之间具有相互作用的关系。因此,将沙棘与口感和风味更加柔和的蚕豆进行复配,一方面可以中和掉沙棘酸涩的口感,另一方面蚕豆中的蛋白质、氨基酸等和沙棘中的维生素、植物化合物等具有营养互补的作用。

1.4 速溶粉的研究进展

速溶粉是指以水果、蔬菜、谷物或豆类等为原料,经加工制成粉状制品,既可以直接作为固体饮料以供冲调饮用,也可以制成含片、咀嚼片或作为辅料添加于面包、饼干中^[40]。速溶粉分为果蔬速溶粉、谷物速溶粉、豆类速溶粉以及复合速溶粉等^[41]。将水果、蔬菜等保质期较短的食品原料制备成速溶粉,具有延长原料保质期,降低原料贮存和运输成本的作用。许多研究表明,不同干燥技术对干燥样品的理化性质和生物活性具有显著影响。例如,马尧发现采用冷冻干燥技术制备的黄花菜粉的营养和色泽明显优于自然干燥、喷雾干燥和热风干燥样品,且冷冻干燥黄花菜粉的挥发性物质含量更高,但喷雾干燥黄花菜粉的粒径、持水性和持油性等物理性质则更优^[42]。李敬则对比了喷雾干燥、热风干燥、微波热风联合干燥和冷冻干燥对南瓜粉的影响,结果表明4种干燥技术制备的南瓜粉的色泽、持水性、持油性、粒径等具有明显差异^[43]。在食品加工领域,常见的脱水干燥技术包括:基于对流传热原理的热风干燥技术、利用低压环境的真空干燥技术、基于雾化作用的喷雾干燥技术和基于低温升华原理的冷冻干燥技术等。热风干燥是指利用流动的热空气,快速带走物料表面水分。其特点是设备和操作简单,成本较低,但容易导致样品的维生素、多酚和风味损失。真空干燥是指在负压环境下通过加热蒸发物料水分。有研究表明,当真空干燥温度较低时,不仅能起到良好的干燥效果还能较好的保留物料中有效成分^[44]。喷雾干燥是指在高压环境下使液态物料发生雾化,以增大比表面积,再利用热空气瞬间带走物料中大部分水分。因其成本效益高、极具灵活性和可连续

生产而成为最常用的干燥技术。冷冻干燥是利用变相原理达到脱水的目的，分为两个步骤首先通过低温使物料中的水分结晶，随后在真空环境下使冰晶升华为水蒸气。因其低温低氧的特点，能较好的保留物料中的活性成分。

但纯果汁中富含的低分子量糖和有机酸的玻璃化转变温度较低，导致纯果汁粉吸湿性较强，易结块并黏附于干燥器表面^[45]。因此，通常会加入高分子量载体或改变果汁基质，以降低产品的吸湿性，提高产品的热稳定性。常见的高分子量载体有麦芽糊精、阿拉伯胶、大豆分离蛋白、 β -环糊精等。其中麦芽糊精是最常见的载体，具有价格低廉，无色无味且溶解度高的优点^[46]。菊粉是近年研究最多的新载体，是从菊苣中获得的生物聚合物，因其益生元特性，越来越受到关注，其最大的特点是具有极高的热稳定性^[45]。研究表明，添加麦芽糊精的山楂粉比添加卵磷脂、 β -环糊精和阿拉伯胶的山楂粉具有更高的集粉率和感官特性^[47]。还有研究发现以菊粉作为载体的喷雾干燥、冷冻干燥和真空干燥沙棘粉在贮藏6个月后，其抗氧化能力不减反增^[44]。

1.5 研究目的及意义

新疆是我国沙棘主产区之一，根据调研统计，全疆约有7万公顷野生沙棘林和3万公顷人工沙棘林，沙棘年产量约10万吨^[48]。沙棘富含多种营养成分，然而沙棘果中含有的有机酸和单宁物质会导致其口感酸涩，难以直接食用。而且沙棘鲜果容易霉烂腐败，不易运输，导致沙棘商业价值受限。因此，以沙棘为原料开发不同产品在食品行业具有良好的发展前景。蚕豆在亚洲、欧洲和非洲种植广泛，作为一种杂豆，其产量仅次于豌豆、鹰嘴豆和扁豆，全球年产量达到400万吨^[49]。蚕豆是一种富含蛋白质、膳食纤维、维生素和矿物质的豆类，所含营养种类丰富，是一种理想的代餐原料^[30]。人们也因此对蚕豆产生了强烈的兴趣，有研究表明蚕豆蛋白的营养价值与同等大豆蛋白相当^[50]，但目前有关蚕豆的深加工产品种类较为单一，难以充分发挥蚕豆的商业价值。

因此，本课题以沙棘和蚕豆作为主要原料，辅以少量小米，以开发出营养丰富、口感良好的复合饮料及速溶粉产品。通过单因素试验与响应面法分析相结合，获得沙棘-蚕豆复合饮料最佳制备工艺并探究其营养品质和香气特征，再利用不同干燥技术联合不同载体制备沙棘-蚕豆复合速溶粉并研究不同载体和干燥方式对其理化性质、生物活性和感官属性的影响。本研究为沙棘和蚕豆的开发利用提供新思路 and 理论依据，这对提升产品附加值，增加沙棘和蚕豆资源利用率具有重要意义。