UTILIZATION OF BY-PRODUCTS FROM FRUIT PROCESSING INDUSTRIES FOR FUNCTIONAL FOOD PRODUCT DEVELOPMENT

AJAY PATEL

CENTRE FOR RURAL DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

April, 2022

UTILIZATION OF BY-PRODUCTS FROM FRUIT PROCESSING INDUSTRIES FOR FUNCTIONAL FOOD PRODUCT DEVELOPMENT

By

AJAY PATEL

Centre for Rural Development and Technology

Submitted

In partial fulfilment of the requirements of the Degree of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

April, 2022

मेरी स्वर्गीय दादी को समर्पित

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled "**Utilization of By-Products from Fruit Processing Industries for Functional Food Product Development"** being submitted by Mr. Ajay Patel to the Centre for Rural Development and Technology for the award of ''Doctor of Philosophy" is a record of bonafide research work carried out by him under our guidance and supervision in conformity with the rules and regulations of IIT, Delhi. The research report and rules presented in this thesis have not been submitted, in part or in full, to any other University or Institute for the award of any degree or diploma.

Dr. S.N. Naik

Professor

Centre for Rural Development and Technology

Indian Institute of Technology Delhi

Dr. Santosh Satya

Professor

Centre for Rural Development and Technology

Indian Institute of Technology Delhi

Acknowledgements

This thesis would not have been possible without the guidance and help of several individuals who in one way or another contributed and extended their valuable assistance in the completion of the research work. First and foremost, I genuinely express my deep sense of gratitude to my supervisors ***Prof. S.N.Naik and Prof. Santosh Satya*** *for their dedicated spirit and affection that was always a source of motivation for me. Their vision and ideas are the foundation of this work. Their timely advice, valuable suggestion and scientific approach helped me for the accomplishment of my work.*

I would like to thank the committee members of my SRC, Prof. Satyawati Sharma, Prof. Anushree Malik and Prof. A.K Srivastava for their valuable suggestions and advice. I gratefully acknowledge and hearty thanks to industries M/S HPMC, Parwanoo (HP) and Patanjali Food and Herbal Park, Padartha, Haridwar (UK) for allowing to visit and collect samples. I wish to express my warm and sincere thanks to other faculty members of CRDT and office staff (Ms. Bhagwati Joshi, Ms Leela Sagar).

I would like to express my sincere gratitude to Prof. Mukesh Jain from HAU, Prof. Vijay Kumar Sarnagat from NIFTEM, Prof. Anand Kishore from NIFTEM and Mr. Neeraj Awasthi as a pillar behind all the motivation.

A journey is easier when you travel together. I would specially like to thank Ms. Priyanka Sharma (for being there with me) who walked with me during this journey. I wish to thank my friends from other departments Dr. Gopinadh, Dr. Basant Yadav, Dr. Nitesh Patidar Dr. Bhupendra M. Ghodki, Mr. Hirendra Uiekey, Mr. Sunil Kumar for being there with me as a family and with them I spent the most golden time during this journey. I would like to thank to my colleagues Ms. Nidhi Hans, Ms. Sonika Nagar, Mr. Jaswant Hirwani, Mr. Vishal Sharma, and Dr. Karnika Prakash, they are the most kind-hearted and genuine persons I met during this journey. I am also thankful to my lab mate Mr. Vikas Kardam, Mr. Umesh Sharma for his help during the experimental work.

I am thankful to my lab mates and friends Dr. Perminder Jit Kaur, Dr. Poonam Singhal, Dr. Neeru Kadian, Dr. Prachi, Dr. Arjoo, Ms Shreya Tripathi, Mr. Falguni Patnaik, Ms Divya, *Ms Monika and Mr. Divyang Solanki who always helped me during my experimental work. I would also like to extend my thanks to lab staff Mr. Gopi for the help in the lab related work.*

I would like to thank my family. The constant inspiration and guidance kept me focused and motivated. I can't express my gratitude for my father in words, whose unconditional love has been my greatest strength; I cannot ask for more from him, he is simply perfect. Thank you for teaching me respect, confidence and letting me find my own way. I cannot thank my mother enough for all the love and support. I never would have made it here without you. And finally special thanks to my sisters and brother who offered invaluable love and support. Words can't express how much I love you all and how grateful I am for your support.

Finally, my greatest regards to the Swami Vivekanand ji for bestowing upon me the courage to face the complexities of life and complete this project successfully.

Ajay Patel

Abstract

In the fast life of cities, people often prefer processed food as it saves time and reduces workload. So, it is necessary to provide healthy options of processed food to the people. Also, as the demand of processed food is increasing rapidly, the food processing industries would grow at faster rate. India produced 92.84 million metric tonnes of fruits and 175.00 million metric tonnes of vegetables according to National Horticulture Database published by National Horticulture Board (2018-19). India currently processes less than 10% of its agri output. Food Processing sector has been growing at an Average Annual Growth Rate (AAGR) of around 10.%. As the food-processing sector is growing faster, the waste generated will be huge from food industries. However, literature revealed that by-products generated from food processing industries contains phytochemicals and dietary fiber. Presently there is very less study has been done to use this by-product for production of value-added functional foods. This waste can be converted into wealth with cutting edge research and technology, at the same time the environmental problem will also be solved.

There are traditional Indian fruits which has historical importance for its nutritional and functional food value. Gular (*Ficus Racemosa*) is one such fruit which is mentioned in various Indian historical text possessing medicinal properties, *F. racemosa* is pharmacologically studied and reported for various activities including antidiabetic, antipyretic, anti-inflammatory, antitussive, hepatoprotective, and antimicrobial activities.

In the present study, apple and amla juice processing industries by-product called apple and amla pomace respectively were studied. The various physiochemical properties, functional properties and optimization of process parameters for phytochemical extraction of Apple and amla Pomace was studied. The dietary fiber obtained from apple and amla pomace was used to develop functional biscuits enriched with apple, amla and mix pomace. Also, underutilized

gular fruit at IIT Delhi campus was studied for different physiochemical characteristics of gular fruit, which may help in designing and developing of post-harvest processing equipment. The collected fruits were dried using three different techniques, further characterization of dried gular fruit powder has been done.

Apple pomace and amla pomace was dried using different drying methods i.e., sun drying (SD), oven drying (OD) and freeze drying (FD). Dried samples were characterized for properties i.e., proximate composition, dietary fiber content, elemental analysis by using ICP-MS, functional properties (WHC, OHC, SWC, BD, HD and HD), FTIR analysis and morphological properties. The effect of drying method on above properties were studied. It is observed that functional properties of freeze-dried sample were higher followed by oven drying and sun drying.

Optimization of process parameters i.e., A : temperature (^{o}C), B: Time (min) and C: ethanol concentration (v/v) for extraction of polyphenol of both apple and amla pomace were done using response surface methodolog. Optimized process parameters along with their responses are A: (41.98 ^{o}C), B: (50.34 min), C: (80.30 v/v) while responses was DPPH (3.41 mg GAE/g) and TPC (3.12 mg GAE/g) for apple pomace extraction. Amla pomace extraction process parameters along with their responses are A: (49.57 ^{o}C), B: (37.97 min), C: (84.84 v/v) while responses was DPPH (30.60 mg GAE/g) and TPC (246.12 mg GAE/g).

The dried apple and amla pomace was used to develop functional biscuits. The biscuits were prepared using different concentration of apple (A5%, A10%, A15%, A20%), amla (B5%, B10%, B15%, B20%) and Mix pomace apple-amla (AB5%, AB10%, AB15%, AB20%). The rheological properties of formulated dough, sensory analysis along with various physico-chemical properties of functional biscuits were studied and found in required range.

Engineering properties of ripe and unripe gular fruits were found as follows: BD: ripe (473) > unripe (486); TD: ripe (824) > unripe (848). Also, cofficient of friction of gular fruit on different surface was studied, for unripe fruit, the coefficient of friction was 0.48 on wooden, 0.44 on iron, 0.50 on aluminium and 0.49 on GI. While in case of ripened gular fruit, it was found to be 0.37 on wooden, 0.57 on iron, 0.47 on aluminium and 0.38 on GI.

Overall, present study concludes that pressurised liquid extraction technique (PLE) is efficient to extract phytochemicals from apple and amla pomace. The dietary fiber present in both pomace powder can be used as a wheat flour replacer (~15%) for functional biscuits preparation. Unutilized gular fruit powder can be used as a raw material (partial substitute) for functional food preparation.

सारांश

शहरों की भागदौड़ भरी जिंदगी में लोग अक्सर प्रोसेस्ड फूड पसंद करते हैं क्योंकि इससे समय की बचत होती है और काम का बोझ कम होता है। इसलिए, लोगों को प्रसंस्कृत भोजन के स्वस्थ विकल्प प्रदान करना आवश्यक है। साथ ही, जैसे-जैसे प्रसंस्कृत खाद्य की मांग तेजी से बढ़ रही है, खाद्य प्रसंस्करण उद्योग तेजी से बढ़ेंगे। राष्ट्रीय बागवानी बोर्ड (2018-19) द्वारा प्रकाशित राष्ट्रीय बागवानी डेटाबेस के अनुसार भारत ने 92.84 मिलियन मीट्रिक टन फल और 175.00 मिलियन मीट्रिक टन सब्जियों का उत्पादन किया। भारत वर्तमान में अपने कृषि उत्पादन का 10% से कम संसाधित करता है । खाद्य प्रसंस्करण क्षेत्र लगभग 10% की औसत वार्षिक वृद्धि दर (AAGR) से बढ़ रहा है। जैसे-जैसे खाद्य-प्रसंस्करण क्षेत्र तेजी से बढ़ रहा है, खाद्य उद्योगों से उत्पन्न होने वाला कचरा बहुत बड़ा होगा। हालांकि, साहित्य से पता चला है कि खाद्य प्रसंस्करण उद्योगों से उत्पन्न उप-उत्पादों में फाइटोकेमिकल्स और आहार फाइबर होते हैं । वर्तमान में मूल्य वर्धित कार्यात्मक खाद्य पदार्थों के उत्पादन के लिए इस उप-उत्पाद का उपयोग करने के लिए बहुत कम अध्ययन किया गया है। इस कचरे को अत्याधुनिक अनुसंधान और प्रौद्योगिकी से धन में बदला जा सकता है, साथ ही पर्यावरण की समस्या का भी समाधान किया जा सकेगा।

पारंपरिक भारतीय फल हैं जिनका पोषण और कार्यात्मक खाद्य मूल्य के लिए ऐतिहासिक महत्व है। गूलर (*Ficus Racemosa*) एक ऐसा फल है जिसका उल्लेख विभिन्न भारतीय ऐतिहासिक ग्रंथों में औषधीय गुण मिलता है। औषधीय रूप से अध्ययन करने पर विभिन्न प्रकार के गुण, जैसे एंटीडायबिटिक, एंटीपीयरेटिक, एंटी-इंफ्लेमेटरी, एंटीट्यूसिव, हेपेटोप्रोटेक्टिव और एंटीमाइक्रोबियल पाये गए है।

वर्तमान अध्ययन में सेब और आंवला रस प्रसंस्करण उद्योगों के उप-उत्पाद जिन्हें क्रमशः सेब और आंवला पोमेस कहा जाता है, का अध्ययन किया गया। सेब और आंवला पोमेस के फाइटोकेमिकल निष्कर्षण के लिए विभिन्न भौतिक रासायनिक गुणों, कार्यात्मक गुणों और प्रक्रिया मापदंडों के अनुकूलन

का अध्ययन किया गया था। सेब और आंवला पोमेस से प्राप्त आहार फाइबर का उपयोग सेब, आंवला और मिक्स पोमेस से समृद्ध कार्यात्मक बिस्कुट विकसित करने के लिए किया गया था। इसके अलावा, आईआईटी दिल्ली परिसर में कम उपयोग किए गए गूलर फल का अध्ययन गूलर फल की विभिन्न भौतिक रासायनिक विशेषताओं के लिए किया गया था, जो कटाई के बाद के प्रसंस्करण उपकरणों के डिजाइन और विकास में मदद कर सकता है। एकत्रित फलों को तीन अलग-अलग तकनीकों का उपयोग करके सुखाया गया, सूखे गूलर के फलों के पाउडर का और अधिक लक्षण वर्णन किया गया है। सेब पोमेस और आंवला पोमेस को अलग-अलग सुखाने के तरीकों यानी धूप में सुखाना (SD), ओवन सुखाने (OD) और लियोफिलिज़ेशन (FD) का उपयोग करके सुखाया गया था। सूखे नमूनों को गुणों के लिए चित्रित किया गया था, अर्थात, समीपस्थ संरचना, आहार फाइबर सामग्री, ICP-MS का उपयोग करके मौलिक विश्लेषण, कार्यात्मक गुण (WHC, OHC, SWC, BD, HD और HD), FTIR विश्लेषण और रूपात्मक गुण। उपरोक्त गुणों पर सुखाने की विधि के प्रभाव का अध्ययन किया गया। यह देखा गया है कि फ्रीज-सूखे नमूने के कार्यात्मक गुण अधिक थे, इसके बाद ओवन में सुखाना और धूप में सुखाना था।

प्रतिक्रिया सतह पद्धति का उपयोग करके सेब और आंवला पोमेस दोनों के पॉलीफेनोल के निष्कर्षण के लिए प्रक्रिया मापदंडों यानी ए: तापमान ^{o}C), बी: समय (minute) और सी: इथेनॉल एकाग्रता (v/v) का अनुकूलन किया गया था। उनकी प्रतिक्रियाओं के साथ अनुकूलित प्रक्रिया पैरामीटर ए: (41.98 $^{\text{ओ}}$ सी), बी: (50.34 मिनट), सी: (80.30 वी/वी) हैं जबकि प्रतिक्रियाएं डीपीपीएच (3.41 mg GAE/g) और टीपीसी (3.12 mg GAE/g) थीं।) सेब खली निकासी के लिए। आंवला पोमेस निष्कर्षण प्रक्रिया पैरामीटर उनकी प्रतिक्रियाओं के साथ ए: (49.57 ^{o}C), बी: (37.97 minute), सी: (84.84 v/v) हैं, जबकि प्रतिक्रियाएं डीपीपीएच (30.60 mg GAE/g) और टीपीसी (246.12 mg GAE/g) थीं।

सूखे सेब और आंवला पोमेस का उपयोग कार्यात्मक बिस्कुट विकसित करने के लिए किया गया था। सेब (A5%, A10%, A15%, A20%), आंवला (B5%, B10%, B15%, B20%) और मिक्स पोमेस सेब-

आंवला (AB5%, AB10%) की विभिन्न सांद्रता का उपयोग करके बिस्कुट तैयार किए गए थे। AB15%, AB20%)। तैयार किए गए आटे के रियोलॉजिकल गुण, संवेदी विश्लेषण के साथ-साथ कार्यात्मक बिस्कुट के विभिन्न भौतिक -रासायनिक गुणों का अध्ययन किया गया और आवश्यक सीमा में पाया गया।

पके और कच्चे गूलर फलों के इंजीनियरिंग गुण इस प्रकार पाए गए: BD: ripe (473) > unripe (486); TD: ripe (824) > unripe (848)। इसके अलावा, विभिन्न सतह पर गूलर फल के घर्षण के गुणांक का अध्ययन किया गया था, कच्चे फलों के लिए, घर्षण का गुणांक लकड़ी पर 0.48, लोहे पर 0.44, एल्यूमीनियम पर 0.50 और जीआई पर 0.49 था। जबकि पके हुए गूलर फल के मामले में लकड़ी पर 0.37, लोहे पर 0.57, एल्युमीनियम पर 0.47 और जीआई पर 0.38 पाया गया।

कुल मिलाकर, वर्तमान अध्ययन का निष्कर्ष है कि प्रेशराइज्ड लिक्विड एक्सट्रैक्शन तकनीक (PLE) सेब और आंवला पोमेस से फाइटोकेमिकल्स निकालने में सक्षम है। दोनों पोमेस पाउडर में मौजूद आहार फाइबर को कार्यात्मक बिस्कुट तैयार करने के लिए गेहूं के आटे की प्रतिकृति (~ 15%) के रूप में इस्तेमाल किया जा सकता है। अप्रयुक्त गूलर फल पाउडर को कार्यात्मक भोजन तैयार करने के लिए कच्चे माल (partial substitute) के रूप में इस्तेमाल किया जा सकता है।

CONTENT

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES

LIST OF ABBREVIATIONS

Abbreviations	Full Form
000, MT	Million metric tonne
HPLC	High performance liquid chromatography
BHA	Butylated hydroxyanisole
BHT	Butylated hydroxytoluene
DPPH	2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate
TDF	Total dietary fiber
IDF	Insoluble dietary fiber
SDF	Soluble dietary fiber
TD	True density
BD	Bulk density
HD	Hydrated density
SWC	Swelling capacity
OHC	Oil holding capacity
WHC	Water holding capacity
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
RCCD	rotatable central composite design
TPC	Total phenolic content
ANOVA	Analysis of variance
HPMC	Horticulture produce marketing and processing corporation ltd.
AOAC	Association of official analytical collaboration

SD	Sun drying/dried
OD	Oven drying/dried
FD	Freeze drying/dried
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry
DFC	Dried fiber concentrate
SEM	Scanning electron microscopy
NS	Not significant
PPO	Polyphenoloxidase
PLE	Pressurised liquid extraction
RSM	Response surface methodology
FRAP	Ferric reducing ability of plasma
GI	Galvanized iron
FDG	Freeze drying/dried gular fruit powder
SDG	Sun drying/dried gular fruit powder
ODG	Oven drying/dried gular fruit powder
DLS	Dynamic light scattering
WL	Weight loss
UK	Uttarakhand
HP	Himachal Pradesh
i.e.,	That is
e.g.,	For example
rpm	Revolutions per minute
df	Degree of freedom
μCT	Micro computed tomography
Wt.	Weight

GAE	Gallic acid equivalents
EC50	Half maximal effective concentration
φ	Sphericity