

Verwertung von weitgehend ungenutzter Sauermolke und ungenutztem Sojaserum in einem Basidiomyceten-vermittelten Bioprozess zur Gewinnung von wertsteigernden natürlichen Aromen und Mycoproteinen



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtung(en):	Universität Hohenheim Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie FG Aromachemie Prof. Dr. Yanyan Zhang Technische Universität München Fakultät für Maschinenwesen FG Selektive Trenntechnik Prof. Dr. Sonja Berensmeier
Industriegruppe(n):	Milchindustrie-Verband e. V. (MIV), Berlin
Projektkoordinator:	Dr. Valentin Rauh Arla Foods amba, Aarhus
Laufzeit:	2022 – 2025
Zuwendungssumme:	€ 477.147,--

Ausgangssituation

Einige ernährungsphysiologisch wertvolle Nebenprodukte der Lebensmittelbe- und -verarbeitung, wie Sauermolke aus der Frischkäseproduktion und Serum von Hülsenfrucht-basierten veganen Produktalternativen (Soja-serum aus der Tofu-Produktion und/oder der Sojaproteinisolat-Herstellung und Erbsenserum aus der Milchersatzproduktherstellung, werden aufgrund ihrer sensorischen Eigenschaften (z.B. sauer und bohlig) von den Verbrauchern nicht akzeptiert. Zusätzlich erschwert der niedrige pH-Wert der Produkte die Weiterverwertung dieser Nebenströme. Da es derzeit außerhalb der Lebensmittelproduktion kaum Nachfrage für die genannten Nebenprodukte gibt, müssen sie von den Unternehmen meist kostenintensiv, als Abfall entsorgt werden. Trotz der hohen Qualität der Inhaltsstoffe werden so z.B. 50-60 % der produzierten Molke nach wie vor entsorgt und nicht weiter, oder nur als Tierfutterzusatz, genutzt.

Sauermolke enthält im Wesentlichen Lactose (4 %), Proteine (0,1 %), Fett (0,12 %) und Mineralstoffe (0,75 %). Im Soja-Serum liegt der Proteingehalt bei 0,1 % und es gibt verschiedene Kohlenhydrate, wie Glucose und Saccharose mit 2 %, und 0,5 % Mineralstoffe. Während die mikrobiellen Fermentationen mit heute gängigen Mikroorganismen wegen des niedrigeren pH-Wertes von Sauermolke (pH 4,3 - 4,6) und Soja-Serum (pH 5,2) für deren Aufbereitung zu langsam und damit unwirtschaftlich sind, kommen Basidiomyceten mit solchen Milieubedingungen hervorragend zurecht und es können Wertprodukte, wie Aromen, natürlich gebildet werden. Es konnte in Vorversuchen bestätigt werden, dass ausgewählte Basidiomyceten in den Substraten Sauermolke und Sojaserum gut wachsen und dabei interessante Aromastoffe bilden und an das Medium abgeben können.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, aufbauend auf diesen Vorversuchen das Up-Cycling der Nebenströme Sauermolke und Sojaserum aus der Lebensmittelindustrie zur nachhaltigen Verwertung der Rohstoffe zu untersuchen. Es sollte ein Konzept zur Basidiomyceten-basierten Fermentationstechnologie mit einem darauffolgenden Downstream-Prozess zur Herstellung von Aromaextrakten und Proteinfractionen entwickelt werden.

Forschungsergebnis

Es konnte erfolgreich ein Fermentationssystem etabliert werden, bei dem sowohl Sojamilch als auch Sauermilch als Substrate für verschiedene Basidiomyceten genutzt werden konnten. Alle untersuchten Pilze – *Formitopsis pinicola*, *Cyclocybe aegerita*, *Stereum hirsutum*, *Trametes versicolor* und *Ischnoderma benzoinum* – zeigten grundsätzlich Wachstum und metabolische Aktivität auf beiden Nebenströmen, wodurch die Eignung dieser Reststoffe für eine biotechnologische Valorisation bestätigt wurde. Besonders vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Aromabildung zeigten jedoch *Ischnoderma benzoinum* in Sauermilch sowie *Cyclocybe aegerita* in Sojamilch. Die Fermentation der Sojamilch mit *Cyclocybe aegerita* führte nach 20 Stunden zu einem ausgeprägten popcornartigen Aromaprofil. Zudem war das entstandene Myzelium von Interesse, da es einen neutralen Geruch aufwies und potenziell, als Mycoprotein Verwendung finden könnte. Die technofunktionelle Charakterisierung des fermentierten Myzels ergab einen Proteingehalt von 10,8 g/100 g und zeigte eine hohe Ölbindekapazität (3,1 g/g TM) sowie eine ausgeprägte Wasserbindekapazität (2,4 g/g TM), was auf günstige funktionelle Eigenschaften für strukturstabile, saftige Lebensmittel hinweist. Die geringste Gelierkonzentration lag zwischen 15 und 25 % (w/v). Rheologisch zeigte sich ein überwiegend elastisches, bis etwa 70–80 °C thermisch stabiles Netzwerk ($G' > G''$), das insbesondere für gelartige Anwendungen wie Aufstriche oder Snacks geeignet ist, jedoch weniger für feste Fleischersatzprodukte. Als Schlüsselverbindungen wurden 2-Acetylthiazol und 2-Acetyl-1-pyrrolin identifiziert und instrumentell abgesichert. Besonders hervorzuheben war außerdem die Fermentation mit *Ischnoderma benzoinum*, insbesondere in Sauermilch, bei der eine deutliche aromatische Aufwertung erzielt wurde. Als Schlüsselverbindungen wurden Benzaldehyd, 4-Methoxybenzaldehyd und 3,4-Dimethoxybenzaldehyd identifiziert. L-Phenylalanin wurde als zentraler Vorläufer für Benzaldehyd-Derivate bestätigt. Supplementierung führte zu einer deutlichen Intensivierung des mandelartig-süßlichen Aromas. Zudem wurde eine zeitabhängige Umwandlung von Benzaldehyd zu methoxylierten Benzaldehyd-Derivaten beobachtet, die insbesondere bei Zugabe von Methionin als Methylgruppenspendor verstärkt auftrat. Die Ergebnisse lieferten erste Erkenntnisse zu den Biosynthesewegen der Aromabildung und zeigten eine gezielte Beeinflussung des Aromaprofils durch Vorläuferverbindungen. Bei der Fermentation von Sauermilch mit *Ischnoderma benzoinum* konnte die Prozessdauer durch den Verzicht auf eine Vorkultur von 14 auf 7 Tage halbiert werden, ohne die Aromaqualität zu beeinträchtigen. Das Verfahren erwies sich zudem als robust gegenüber verschiedenen Prozessparametern und industriellen Sauermilchen; lediglich Lichteinfluss verhinderte die Bildung des charakteristischen mandelartig-süßlichen Aromaprofils. Auch eine nachgeschaltete UHT-Behandlung führte trotz teilweiser Reduktion einzelner Aromastoffe nicht zur Bildung unerwünschter Fehlgerüche, sodass das Gesamtaroma sensorisch akzeptabel blieb. Die zytotoxische und genotoxische Bewertung in HepG2-Zellen zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen fermentierter und unfermentierter Milch. Zudem wurden im Mikrokernassay keine signifikanten genotoxischen Effekte im Vergleich zur Negativkontrolle festgestellt, sodass insgesamt von einer guten toxikologischen Verträglichkeit ausgegangen werden kann.

Zur technischen Rückgewinnung der gebildeten Schlüsselaromastoffe wurde ein adsorptionsbasiertes chromatographisches Verfahren etabliert. Drei polymere Sorbentien (Oasis HLB, PoraPak Rxn und Source 30RPC) wurden vergleichend untersucht. Ethanol erwies sich aufgrund seiner hohen Elutionsstärke, geringen Toxizität und lebensmittelrechtlichen Unbedenklichkeit als geeignetes Standardelutionsmittel. Insbesondere Oasis HLB zeigte scharfe Elutionsprofile und ermöglichte eine Volumenreduktion von bis zu 99 % bei gleichzeitig hohen Wiederfindungsraten. Im Upscaling-Versuch mit 2 L fermentierter Milch wurden Konzentrationsfaktoren von 95-fach für Anisaldehyd, 89-fach für Benzaldehyd und 93-fach für Veratrumaldehyd erzielt, bei Ausbeuten zwischen 89 und 96 %. Damit konnte die technische Skalierbarkeit des Verfahrens erfolgreich demonstriert werden. Source 30RPC stellte eine leistungsfähige Alternative für Anisaldehyd und Benzaldehyd dar, zeigte jedoch deutliche Verluste bei Veratrumaldehyd und ist mit höheren Materialkosten verbunden. Insgesamt wurde ein

robustes, wirtschaftlich adaptierbares Verfahren zur Aufkonzentrierung zentraler Aromakomponenten aus komplexen Molkematrizes entwickelt.

Parallel dazu wurden Strategien zur Fraktionierung intrazellulärer Proteine aus der fermentierten Pilzbiomasse erarbeitet. Hierfür wurden Bead Milling und Ultraschall als mechanische Zellaufschlussverfahren systematisch optimiert. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl das Puffersystem als auch die Prozessparameter maßgeblich die Extraktionseffizienz beeinflussen. Polysaccharide wurden bevorzugt unter leicht alkalischen Bedingungen (20 mM Tris + 150 mM NaCl, pH 8) extrahiert, während Proteine bei pH 7 (50 mM Tris + 150 mM NaCl) höhere Ausbeuten zeigten. Beim Bead Milling begünstigten kleinere Beads, höhere Frequenzen und längere Aufschlusszeiten die Proteinfreisetzung, während größere Beads und moderate Frequenzen für Polysaccharide vorteilhaft waren. Der Ultraschallaufschluss erwies sich insbesondere für die gezielte Proteinextraktion als geeignet, sofern die Energieeintragung kontrolliert erfolgte. Für beide Verfahren konnten reproduzierbare Prozessfenster definiert werden, die eine effiziente Fraktionierung von Mykoproteinen ermöglichen.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die Menge der als Nebenprodukt anfallenden Sauermolke stieg in Europa innerhalb der letzten Jahre kontinuierlich und beläuft sich auf ca. 4 Mio. Tonnen Trockenmasse jährlich. Aufgrund des anhaltenden High-Protein-Trends und der steigenden Nachfrage nach proteinreichen Milchprodukten ist künftig von einer weiteren Zunahme dieser Nebenströme auszugehen. Auch für das Sojaserum gibt es derzeit noch keine geeignete Verwendung, so dass dieses zum Großteil entsorgt wird. Pro verwendetem Kilogramm Hülsenfrüchte fallen ca. 9 kg flüssiger Abfall (Serum) an. Das bedeutet, dass in einem durchschnittlichen mittelständischen Unternehmen während der Tofuproduktion ca. 5.000 Tonnen konzentriertes Sojaserum mit einer Trockenmasse von 20 % pro Jahr anfallen. Aufgrund des aktuellen Trends ist absehbar, dass die Nachfrage nach Analogon zu tierischen Produkten in den nächsten Jahren überproportional steigen wird. Damit wird sich auch die Menge an Nebenprodukten erhöhen und parallel hierzu auch die Entsorgungsproblematik – eine wachsende Herausforderung, die adäquate und nachhaltige Verwertungsoptionen im Sinne der Bioökonomie benötigt. Insbesondere mittelständische Unternehmen suchen nach geeigneten, einfach umsetzbaren Verfahren, um die Nebenprodukte weiterverarbeiten und deren kostspielige Entsorgung vermeiden zu können.

Im Rahmen des Projekts wurde ein skalierbares Fermentationssystem entwickelt, mit dem Sauermolke und Sojamolke sensorisch gezielt aufgewertet werden können. Dadurch steht ein innovativer biotechnologischer Ansatz zur Verfügung, um bislang geringwertige Nebenströme in wertschöpfende Produkte zu überführen. Die fermentierten Substrate bieten vielfältige industrielle Einsatzmöglichkeiten, beispielsweise als aromatisierte Getränke oder als Quelle natürlicher Aromastoffe. Zusätzlich besitzt die während der Fermentation entstehende Pilzbiomasse Potenzial als funktionelle Lebensmittelzutat (Mycoprotein) mit ernährungsphysiologischem Mehrwert. Während pilzbasierte Lebensmittelprodukte insbesondere im asiatischen und amerikanischen Markt bereits etabliert sind, besteht in Europa weiterhin erhebliches Entwicklungspotenzial. Vor dem Hintergrund der steigenden Nachfrage nach nachhaltigen, proteinreichen und „Clean-Label“-fähigen Lebensmitteln eröffnen sich insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen neue Möglichkeiten zur Wertschöpfung und effizienteren Nutzung bislang geringwertiger Nebenströme. Insgesamt leistet das Projekt damit einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung innovativer biobasierter Lebensmittelkonzepte und einer nachhaltigeren Lebensmittelproduktion.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2025.
2. Liang, J., Xu, N., Nedele, A. K., Rigling, M., Zhu, L., Zhang Y., Stöppelmann, F., Hannemann, L., Heimbach, J., Kohlus, R. & Zhang, Y.: Upcycling of soy whey with *Ischnoderma benzoinum* toward production of bioflavors and mycoprotein. *J. Agric. Food Chem.* 71 (23), 9070-9079 (2023).

Der Schlussbericht ist für die interessierte Öffentlichkeit bei den Forschungseinrichtungen abzurufen.

Weiteres Informationsmaterial

Universität Hohenheim
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie
FG Aromachemie
Fruwirthstraße 12, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 711 459-24871
Fax: +49 711 459-24873
E-Mail: yanyan.zhang@uni-hohenheim.de

Technische Universität München
Fakultät für Maschinenwesen
FG Selektive Trenntechnik
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
Tel.: +49 89 289-15750
Fax: +49 89 289-15766
E-Mail: s.berensmeier@tum.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben **01IF22540N** der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.