Zusammenfassung zum Schlussbericht

Kakaobohnen aus durch Pilzkrankheiten geschädigten Früchten (Hexenbesen und schwarze Schote): eine potenzielle Quelle für bioaktive Verbindungen und neue Produkte (Damaged Beans)

Zusammenfassung

Das IGF-Cornet-Projekt „Damaged Beans“ (01IF00347C), das von Januar 2023 bis Juni 2025 vom Fraunhofer IVV, UNICAMP und IVLV durchgeführt wurde, hatte zum Ziel, durch Pilzkrankheiten (z. B. Hexenbesen, schwarze Fäule) und mechanische Belastungen beschädigte Kakaobohnen als potenzielle Quellen für bioaktive Verbindungen und funktionelle Inhaltsstoffe für industrielle Anwendungen, insbesondere in Kosmetika, zu bewerten.

Figure 1 : Classified cocoa fruits (Fraunhofer IVV)

Charakterisierung von Kakaobeschädigungen

Zwei Ernten in Brasilien (2021 und 2023) lieferten Früchte, die in die Kategorien gesund, krank und verfault eingeteilt wurden. Die biometrische Analyse ergab signifikante Unterschiede in der Fruchtmasse und -breite, wobei gesunde Früchte im Allgemeinen größer und schwerer waren. Fortschrittliche Bildgebung (RGB) und Nahinfrarotspektroskopie (NIR) in Kombination mit multivariater Analyse (PCA, PLS-DA) wurden zur Klassifizierung des Schadensgrades mit hoher Genauigkeit (bis zu 97,9 % bei Schalenmessungen) verwendet. Gesunde Früchte waren klar unterscheidbar, während sich die Ergebnisse für kranke und verfaulte Proben überschnitten, was auf ähnliche biochemische Veränderungen hindeutet.

Physikalisch-chemische und Zytotoxizitätsanalysen

Feuchtigkeit, pH-Wert, Säuregehalt, Lipidgehalt und Gesamtphenolgehalt wurden gemäß den ISO- und AOAC-Normen bestimmt. Bohnen, die mit Hexenbesen und Schwarzfäule befallen waren, wiesen einen höheren Phenolgehalt auf, während der Lipidgehalt in allen Kategorien vergleichbar blieb. Zytotoxizitätstests mit Caco-2-Zellen zeigten, dass Extrakte aus beschädigten Bohnen bei Konzentrationen über 100 µg/ml im Allgemeinen weniger zytotoxisch waren als solche aus gesunden Bohnen, was auf potenzielle Vorteile für Lebensmittel- und Nicht-Lebensmittelanwendungen hindeutet.

Verarbeitungs- und Fermentationsverhalten

In fünf Fermentationsversuchen wurden gesunde, erkrankte und verfaulte Bohnen, darunter auch gemischte Chargen, verglichen. Beschädigte Bohnen wiesen einen höheren Anfangs-pH-Wert, einen geringeren Gehalt an löslichen Feststoffen und eine schnellere Fermentation auf, was sich auf die biochemischen Profile (vor/nach der Fermentation) auswirkte. Nach der Fermentation wurden die Bohnen getrocknet (<8 % Feuchtigkeit), geröstet (120 °C, 45 min) und zu Kakaomasse und Kakaobutter verarbeitet. Die Analyseergebnisse zeigten einen reduzierten Saccharose Gehalt in beschädigten Bohnen, während die Protein- und Aminosäureprofile weitgehend unverändert blieben. Die Analyse flüchtiger Verbindungen bestätigte eine typische Kakaoaromaentwicklung durch Maillard-Reaktionen während des Röstens.

Kakaobuttergewinnung und -qualität

Zur Prozessentwicklung wurden Extraktionsversuche mit gesunden indonesischen Kakaobohnen durchgeführt, wobei organische Lösungsmittel (n-Hexan, Ethanol, 2-Propanol) mit überkritischem CO_2 ($scCO_2$) verglichen wurden. Die Entfettung mit n-Hexan erwies sich als am effizientesten, während Ethanol die höchste Gesamtausbeute an Fettphasen ergab, wahrscheinlich aufgrund der Co-Extraktion von Polyphenolen. Die optimale Extraktionszeit betrug sechs Stunden; nach acht Stunden sank die Ausbeute, wahrscheinlich aufgrund von Qualitätsverlusten. Das Verhältnis von Feststoffen zu Flüssigkeiten beeinflusste die Extraktionsausbeute, wobei 1 / 8 g/ml die besten Ergebnisse erzielte. Der Einfluss der Fermentation auf die Bohnenqualität und die daraus gewonnenen Extrakte wurde untersucht. Die Analyse der Fettqualität ergab konsistente Fettsäureprofile in allen Proben (~63 % gesättigt, ~37 % ungesättigt; Palmitinsäure ~29 %, Stearinsäure ~33 %, Ölsäure ~34 %). Durch die Fermentation stiegen die gesättigten Fettsäuren und der Schmelzpunkt leicht an (32,01 °C gegenüber 31,82 °C). Der Gehalt an freien Fettsäuren war in fermentierten Bohnen höher, blieb jedoch unter den gesetzlichen Grenzwerten. Oxidationsstabilitätstests (Rancimat) zeigten, dass Ethanol- und 2-Propanol-Extrakte im Vergleich zu $scCO_2$-Extrakten (76–83 h) und n-Hexan-Extrakten (65–73 h) aus fermentierten Bohnen das stärkste Potential (bis zu 180 h Induktionszeit) aufwiesen. Kommerzielle Kakaobutter als Referenz wies die geringste Stabilität auf (47 Stunden). Die antioxidative Kapazität korrelierte mit dem Polyphenolgehalt, der in nicht fermentierten Ethanolextrakten am höchsten war (1,9 g GAE/L).

Beschädigte Bohnen als Rohstoff für die Gewinnung von Kakaobutter

Die bisher erzielten Ergebnisse wurden schließlich auf die begrenzte Menge an Bohnen übertragen, die mechanisch beschädigt oder Pilzen (Hexenbesen und Black Pod) befallen waren. Zusätzlich wurden die Ergebnisse der Lösungsmittelextraktion mit der am häufigsten angewandten Verarbeitungstechnologie, der mechanischen Entfettung mittels Pressung, verglichen. Überraschenderweise lieferten mechanisch beschädigte Bohnen mehr Fett (61,1 %) als gesunde Bohnen (46,3 %) oder pilzbefallene Bohnen (51,9 %). Mischungen aus beschädigten Bohnen erzielten die höchste Ausbeute (74,6 %). Dennoch wies Kakaobutter aus beschädigten Bohnen etwas niedrigere Schmelzpunkte und einen höheren Gehalt an freien Fettsäuren auf, was auf die enzymatische Lipolyse zurückgeführt wurde, die während

der Pilzinfektion auftrat. Die Oxidationsstabilität der gepressten Extrakte war im Allgemeinen geringer als die der mit Lösungsmitteln entfetteten Extrakte. Dies könnte auf die geringere Polyphenolkonzentration in den gepressten Extrakten zurückzuführen sein, was die Vorteile der Verwendung von Lösungsmitteln für die Co-Extraktion von antioxidativen Polyphenolen unterstreicht.

Bei Anwendungsversuchen von Kakaobutter aus geschädigten Kakaobohnen in Lippenbalsam und Seife konnte die funktionale Machbarkeit bewiesen werden. Lippenstifte mit Kakaobutter aus beschädigten Bohnen zeigten bei 20 °C eine stabile Farbe, bei 40 °C jedoch eine erhöhte Gelbfärbung und Farbsättigung.
Seifen zeigten unter kontrollierten Lagerbedingungen moderate Farbveränderungen, unter Tageslichteinwirkung jedoch ein deutliches Ausbleichen.

Proteingewinnung und funktionelle Eigenschaften

Der entfettete Extraktionsrückstand wurde in einem ersten Schritt zur Proteingewinnung in einem zweistufigen wässrig-alkalischen Extraktionsverfahren verwendet. Die Proteinausbeute stieg mit höherem pH-Wert und höherer Temperatur deutlich an, während die Extraktionszeit nur einen minimalen Einfluss hatte. Die besten Ergebnisse wurden mit einer Stunde pro Schritt bei einem pH-Wert von 11 und 60 °C bei einem s/l-Verhältnis von 1:20 erzielt. Bei der im zweiten Schritt durchgeführten Extraktionsskalierung (alkalische Extraktion, pH-Wert 11, 1 Stunde, 60 °C, s/l 1:20) von gesunden und beschädigten Bohnen übertrafen brasilianische Bohnen ecuadorianische Bohnen in Bezug auf Proteinlöslichkeit und Extraktionsausbeute (bis zu 73,2 % für gesunde brasilianische Bohnen im Vergleich zu 53,0 % für gesunde ecuadorianische Bohnen). Die Beschädigung der Bohnen verringerte die Löslichkeit, wahrscheinlich aufgrund des Abbaus von Strukturproteinen. Die löslichen Proteine wurden durch Ultrafiltration konzentriert. SDS-PAGE zeigte das Vorhandensein von Vicilin (~14,4 kDa) und 2S-Albumin (~19 kDa) mit einer Dominanz von Peptiden mit niedrigem Molekulargewicht. Die Emulgierfähigkeit war bei Proteinkonzentraten aus beschädigten brasilianischen Bohnen am höchsten (>1025 mL/g), was auf ein großes Potenzial für die Verwendung als Emulgator beispielsweise in Kosmetika hinweist.

Polyphenolextraktion und kosmetische Anwendungen

Neben der Proteinextraktion wurde der entfettete Extraktionsrückstand auf die Rückgewinnung von Polyphenolen untersucht. Die höchste Ausbeute wurde mit 70 % Ethanol (oder Aceton) und 30 % Wasser, S/L-Verhältnis 1:5, nach 30 Minuten Extraktionszeit erzielt. Sowohl Aceton- als auch Ethanolextrakte zeigten ähnliche Polyphenolausbeuten. Für die Anwendung in Hautpflege Cremes wurden polyphenolreiche Extrakte entweder als Ethanolextrakte formuliert oder desolventiert, wobei der Trockensubstanzgehalt innerhalb der Applikation konstant gehalten wurde.
Desolventierte Extrakte zeigten im Vergleich zu ethanolbasierten Extrakten ein überlegenes antioxidatives Potenzial, insbesondere bei kranken Bohnen (Rancimat-Induktionszeit: 37,4 Stunden gegenüber 4,9 Stunden für die Referenz). Antimikrobielle Tests zeigten eine selektive Wirkung gegen Staphylococcus aureus, wobei ethanolfreie Extrakte aus beschädigten brasilianischen Bohnen (beschädigt durch Hexenbesen und Schwarzfäule) die

höchste Hemmwirkung zeigten. Durch Kakaoextrakte konnte in Cremeformulierungen die Oxidationsstabilität und die rheologischen Eigenschaften verbessert werden.
Krankheitsbedingter Stress bei Bohnen können die Phenolsynthese verstärken und bieten damit Potenzial für die Entwicklung funktioneller Inhaltsstoffe in Kosmetika.

Industrielle Machbarkeit und Wissenstransfer

Das Projekt hat das hohe Potenzial beschädigter Kakaobohnen als nachhaltige Quelle für Fette, Proteine und Polyphenole für die Herstellung hochwertiger Lebensmittel und Non-Food-Produkte aufgezeigt. Die Extraktionsprotokolle wurden auf ihre Skalierbarkeit hin validiert, und mit IVV und UNICAMP entwickelte Business Cases bewiesen die wirtschaftliche Tragfähigkeit. Die Verbreitung erfolgte über wissenschaftliche Publikationen, den wissenschaftlichen Austausch auf Konferenzen und digitale Plattformen unter Einhaltung der Open-Access-Grundsätze. Das Transferkonzept wurde als für die industrielle Umsetzung realisierbar eingestuft, wobei laufende Kooperationen und weitere Versuche im Pilotmaßstab geplant sind.

IVLV-Mitglieder können den vollständigen Projektabschlussbericht auf unserer Homepage herunterladen. Hierzu ist nur eine Anmeldung in der Rubrik „Meine IVLV“ erforderlich. Nicht-Mitglieder können den Abschlussbericht bei der IVLV-Geschäftsstelle unter office@ivlv.org anfordern.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Das IGF-Vorhaben 01IF00347C wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.