

Étude biochimique et caractérisation fonctionnelle des graines du figuier (*Ficus carica* L.) : Approche chimiométrique et multifactorielle pour une valorisation technologique innovante.

Charafeddine Kassimi

Résumé

Le Maroc dispose d'une biodiversité remarquable du figuier (*Ficus carica* L.), le positionnant comme un conservatoire génétique incontournable de cette espèce millénaire. À l'heure actuelle, peu d'études scientifiques rigoureuses sont menées sur la valorisation des akènes (graines) des fruits du figuier. En l'occurrence, nous proposons, dans ce travail de thèse, d'explorer le potentiel biochimique et fonctionnel des graines de la figue sur une taille d'échantillons importante, laquelle évaluée sur deux années successives ainsi que leur tourteau (TGF), ayant servi pour une formulation boulangère nouvelle. L'ensemble a été évalué suivant des approches analytiques, spectroscopiques et chimiométriques couplées à des modèles prédictifs. Dans un premier temps, l'analyse de l'huile de 21 génotypes révèle une forte lipochémodiversité dominée par les acides gras polyinsaturés, principalement l'acide α -linoléique (18,11–42,76 %) et l'acide linoléique (27,75–36,68 %), tandis que l'acide palmitique (6,67–8,91 %) et l'acide stéarique (2,56–4,16 %) constituent les principaux acides gras saturés. Les ratios de désaturation ($LDR = 0.595 \pm 0.0779$; $ODR = 0.710 \pm 0.002$) indiquent une conversion plus efficace vers l'acide α -linoléique. La spectroscopie FTIR-ATR couplée à la chimiométrie permet l'identification des empreintes spectrales principale contribuant à une discrimination à haute résolution des génotypes. Dans un second temps, l'effet de l'année (2023–2024) et celui du génotype, singulièrement et dans leur combinaison sur les propriétés lipobiochimiques a été évalué sur 37 génotypes. Les résultats montrent une diminution des composés phénoliques totaux de 48,7 à 31,2 mg EAG/100 g (–36 %) et du rendement en huile de 26,7 % à 21,2 %, avec une corrélation négative ($r = -0,49$). Les activités antioxydantes moyennant le test DPPH augmentent de 34 %, alors que celles mesurées par ABTS diminuent de 18,6 %, révélant des effets génotype $\times$ environnement significatifs ($p < 0,001$). L'ACP moyenne de deux années consécutives explique 75–85 % de la variance et identifie quelques cultivars comme étant relativement stables à haute valeur nutraceutique. Dans une troisième étape, la modélisation prédictive de la qualité de l'huile de graine de figue par FTIR-ATR et apprentissage automatique montre que le modèle multilayer perceptron avec prétraitements MSC ou SNV prédit efficacement les paramètres biochimiques ($R^2 > 0,82$), notamment les activités DPPH et ABTS ($R^2 > 0,85$).

La TPC est bien prédite ($R^2 = 0,823$), tandis que la TFC affiche une faible résolution ($R^2 \approx 0,44-0,74$). Par ailleurs, le tourteau de graines de figue se révèle riche en protéines, fibres, lipides résiduels et composés phénoliques, avec une activité antioxydante élevée avec un impact significatif de l'interaction génotype $\times$ environnement. Ensuite, l'incorporation du TGF dans des matrices boulangères, pain et muffins (0–20 %) et biscuits (0–40 %), entraîne une augmentation des lipides (pain 2,74–8,21 %, muffins 30,37 –37,54 %, biscuits 20,65 – 29,04 %), des protéines (jusqu'à 12,82 % dans le pain) et des composés phénoliques avec une TPC maximale de 66,97 mg EAG/100 g dans le pain. En outre, Les analyses FTIR-ATR et MEB-EDX confirment l'enrichissement moléculaire et microstructural, tandis que l'ACP distingue les matrices, le pain étant plus riche en composés bioactifs et les biscuits et muffins présentant des profils plus calorico-lipidiques.

Mots-clés : *Ficus carica* L., graines, huile, tourteau, formulation, acides gras insaturés, composés phytochimiques, activité antioxydante, propriétés nutritionnelles, FTIR-ATR.