

RÉSUMÉ

De la thèse de doctorat:

RECHERCHE SUR L'OBTENTION DE PRODUITS DE BOULANGERIE A BASE DE CEREALES ET DE PSEUDO-CEREALES

Ecrite par: HÎNCU (MANOLACHE) Fulvia Ancuța
Sous la coordination du professeur MARIN Doru Ioan

Mots clés: *Avena nuda* L., *Amaranthus sp.* produits de boulangerie, RMN, huiles essentiels

La thèse de doctorat intitulée "**Recherche sur l'obtention de produits de panification à base de céréales et de pseudo-céréales**" a été réalisée au sein de l'école doctorale "Ingénierie et gestion des ressources végétales et animales" de l'Université des sciences agronomiques et de médecine vétérinaire de Bucarest.

Ces dernières années, une attention particulière a été portée à la santé de la population, encourageant la consommation d'aliments sains. Considérant que le mode de vie de la population a changé et qu'il existe une tendance à consommer des produits offrant des avantages nutritionnels et un faible contenu en sucre, la thèse de doctorat intitulée "Recherche sur l'obtention de produits de panification à base de céréales et de pseudo-céréales" a pour objectif principal la production de nouveaux produits de boulangerie à base de *Avena nuda* L. et *Amaranthus sp.* avec des avantages nutritionnels pour les consommateurs et en se conformant aux règles de sécurité alimentaire. Dans la thèse, des expériences ont été menées pour obtenir à la fois des produits conventionnels (biscuits, pâtes) et des produits spéciaux, sans gluten et sans sucres ajoutés.

Dans les travaux de recherche menés dans le cadre de cette thèse, on a appliqué à la fois des méthodes d'analyse classiques et de nouvelles méthodes modernes et non destructives (non invasives), rapides et respectueuses envers l'environnement, afin de prouver que des résultats similaires sont obtenus avec une consommation moindre de réactifs, énergie et temps. Ces techniques (telles que l'IRM, le FT-IR et l'UV-VIS) sont rapides, ont un coût relativement bas et offrent beaucoup d'informations en un seul test, ce qui les rend appropriées pour le contrôle en ligne et / ou des processus.

Dans cette thèse, quatre objectifs principaux ont été définis et atteints:

1. Analyse de l'état actuel des recherches sur l'évolution, la culture et l'utilisation de céréales (en particulier l'avoine) et de pseudo-céréales (en particulier l'*Amaranthus*) dans les produits de boulangerie. L'état actuel des recherches sur les propriétés des huiles essentielles et leur utilisation dans les produits alimentaires.

2. Valorification de *Avena nuda* L. et *Amaranthus sp.* en développant trois matrices alimentaires: deux conventionnelles (biscuits et pâtes) et une matrice à faible contenu de gluten ou non-glutineux et végétalien, en les testant à l'aide de différentes méthodes d'analyse (classique et moderne) pour déterminer la composition nutritionnelle, les propriétés sensorielles, la texture, acceptabilité des consommateurs et sécurité alimentaire.

3. Analyse et test des huiles essentielles de *Mentha arvensis*, *M. piperita* et *M. spicata* dans l'emballage d'une matrice alimentaire obtenue dans la thèse, afin de prolonger la durée de conservation.

4. Rédaction des conclusions et recommandations issues de la recherche.

La thèse de doctorat a été structurée et élaborée conformément aux normes en vigueur et comprend 10 chapitres, 216 pages, 88 tableaux, 161 figures et 162 références bibliographiques.

Le chapitre I "L'état actuel des connaissances" présente des informations tirées de la littérature sur l'état actuel de l'évolution de la culture de l'avoine aux niveaux national et international. Nous avons également présenté dans ce chapitre l'état actuel de la valorisation de l'avoine et des pseudo-céréales (en particulier d'*Amaranthus* dans les produits de boulangerie conventionnels et les produits non-glutineux destinés aux personnes ayant une nutrition particulière.) Etat actuel des recherches sur les propriétés des huiles essentielles et leur utilisation ont été aussi présentés. Des publications scientifiques et des articles scientifiques, des manuels, des livres, des sites Web officiels (Ministère de l'agriculture et du développement rural, Annuaire statistique roumain, FAO, etc.) ont également été consultés dans le secteur de l'alimentation.

Le chapitre II "Objectifs de recherche, matériels et méthodes de recherche utilisés" présente: l'objectif principal, les objectifs de la recherche, le matériel biologique étudié et les méthodes d'analyse utilisées dans la thèse. Afin d'atteindre les objectifs proposés, il était nécessaire d'obtenir les matières premières (*Avena nuda* L. et *Amaranthus sp.*). Les méthodes de recherche utilisées pour l'analyse des échantillons de paddy avoine, des échantillons d'avoine décortiquée, l'analyse des lipides des matériaux biologiques étudiés, ainsi que l'analyse des matières premières et des matrices alimentaires ont été présentées.

Le chapitre III "Le cadre naturel et institutionnel dans lequel les recherches ont été menées" présente le cadre naturel et institutionnel dans lequel les recherches expérimentales ont été menées au cours de la période de doctorat, réalisées au sein de l'École doctorale d'ingénierie et de gestion des ressources végétales et animales, domaine Agronomie de l'Université des sciences agronomiques et de médecine vétérinaire de Bucarest. La recherche présentée dans cette thèse de doctorat a été menée dans le Champ expérimental de la faculté

d'agriculture de la ferme didactique de Moara Domnească (Ilfov), du Centre de recherche pour une agriculture durable, de la Station pilote de traitement des céréales et des farines et des laboratoires d'analyse des produits alimentaires, au sein de l'Institut national de recherche et de développement sur les ressources biologiques pour les aliments IBA-Bucarest.

Ce chapitre a également présenté les conditions climatiques des années agricoles au cours desquelles les espèces *Avena sativa*, *Avena nuda* L. et *Amaranthus sp.* ont été cultivées afin d'obtenir les matières premières utilisées dans les expériences.

Chapitre IV "Résultats sur l'obtention des matières premières d'*Avena sp.* et *Amaranthus sp.*" montrent les résultats de la culture et de la production des principales matières premières (avoine et *Amaranthus*) utilisées dans les expériences pour obtenir les produits de boulangerie de cette thèse. Les productions ont été de 2879 kg/ha pour *Avena sativa*, de 3568 kg/ha pour *Avena nuda* L. tandis que pour *Amaranthus*, allant de 1863 kg / ha pour la variété Bourgogne et de 3027 k/ha pour la variété Golden.

Chapitre V "Résultats de l'analyse de la production de *Avena sp.* et *Amaranthus sp.*" présente les résultats de la caractérisation des différentes variétés d'avoine, les variétés d'*Amaranthus*, utilisées dans les expériences d'obtenir des produits de boulangerie. Pour une caractérisation complète et pour que la matrice alimentaire obtenue soit sans danger pour la consommation humaine, des tests microbiologiques ont été réalisés.

Pour avoir une idée des caractéristiques qualitatives et nutritionnelles des différentes sources d'avoine, **sous-chapitre 5.1 "Caractérisation des variétés d'avoine"** a analysé six variétés d'avoine, quatre variétés de grains d'avoine paddy (*Avena sativa*) et deux variétés d'avoine (*Avena nuda* L.). Les échantillons ont été analysés de point de vue physique et chimique (humidité, protéines, cendres, fibres brutes, matières grasses) de point de vue du contenu en métaux et éléments minéraux, empreinte sensorielle, contenu en aminoacides, gluten, gliadine et déoxynivalénol. Les résultats obtenus ont été traités statistiquement par analyse en composantes principales (ACP).

Sous-chapitre 5.2 "Recherche sur l'analyse comparative des céréales et des pseudo-céréales" porte sur dix échantillons de céréales et de pseudo-céréales qui ont été testés par différentes méthodes d'analyse (classique et moderne), à savoir: six avoine, trois échantillons d'*Amaranthus* et un échantillon de blé. La plupart des échantillons pris dans l'étude ont été cultivés dans le champ expérimental de l'école didactique et expérimentale de Moara Domnească, Ilfov. Les résultats obtenus ont été traités statistiquement par analyse en composantes principales (ACP) et analyse en clusters hiérarchiques (ACS). Des différences de composition ont été observées entre les céréales et entre les céréales et les pseudo-céréales

analysées. Dans le test *Amaranthus*, la variété *Alegria* présentait le plus haut contenu en protéines, 20,49%, valeur proche de celle de l'avoine.

En ce qui concerne le contenu en calcium des échantillons étudiés, les échantillons de semences *Amaranthus* avaient la teneur la plus élevée (179,76 mg/100 g, variété *Alegria*), tandis que l'échantillon de blé avait un contenu en calcium cinq fois plus bas.

Sous-chapitre 5.3 "Caractérisation par méthode spectroscopique ^1H -RMN de certains géotypes d'*Amaranthus* cultivés entre 2011-2013" ont présente les résultats concernant la caractérisation par méthode spectroscopique ^1H -RMN de huit géotypes d'*Amaranthus* cultivés entre 2011-2013. Des différences ont été observées en ce qui concerne le contenu en acides gras saturés, insaturés et saturés par année de culture et par espèce analysée.

Chapitre VI "Résultats sur l'obtention de biscuits à l'avoine" contient des résultats sur l'analyse de produits par différentes méthodes permettant une caractérisation complète.

Dans **sous-chapitre 6.1 "Détermination des propriétés rhéologiques de la farine utilisée pour la fabrication de biscuits à l'avoine disponible dans le commerce"**, les propriétés rhéologiques empiriques des pâtes composées de différentes farines et mélanges de farines ont été analysées à l'aide de l'appareil Mixolab, qui ont ensuite été utilisées pour obtenir les biscuits. Les échantillons de cuisson ont été préparés avec de la farine de blé semi-blanche (type 900) et de la semoule d'avoine disponible dans le commerce pour établir la recette et les paramètres de production optimaux.

Sous-chapitre 6.2 "Étude préliminaire sur le comportement de la farine d'avoine pour obtenir des matrices alimentaires" présente les résultats obtenus en analysant trois échantillons de biscuits: un échantillon à blanc de farine de blé 900, un échantillon à 50% de farine d'avoine et un échantillon de 100% farine d'avoine. Les échantillons ont été analysés de point de vue du contenu physico-chimique, bêta-glucane, métaux et minéraux. Les résultats obtenus de l'analyse sensorielle descriptive ont montré que l'échantillon de biscuits à l'avoine a obtenu le qualificatif satisfaisant (14,22), ce qui signifie que l'ajout de flocons d'avoine modifie les propriétés organoleptiques du produit (aggravation).

Sous-chapitre 6.3 "Détermination des propriétés rhéologiques de la farine utilisée pour la fabrication de biscuits avec *Avena nuda* L." présente les résultats obtenus à partir de l'analyse des propriétés rhéologiques empiriques de pâtes faites de différentes farines et mélanges de farines à l'aide de l'appareil Mixolab, qui ont ensuite été utilisées pour obtenir des biscuits avec de la farine d'avoine cultivés dans le Champ expérimental de la ferme didactique de Moara Domnească.

Sous-chapitre 6.4 "Résultats de l'obtention de biscuits à base d'avoine d'*Avena nuda* L." présente les résultats obtenus en analysant cinq échantillons de biscuits obtenus à partir de pourcentages différents (P1-0%, P2-25%, P3-50%, P4-75% si P5-100%) de farine d'avoine *Avena nuda* L. cultivée à Moara Domneasă. Les échantillons ont été analysés de point de vue des paramètres physico-chimiques (humidité, graisse, protéines, cendres, sucre, cellulose), contenu en cellulose, fibres totales, éléments minéraux (Ca, Fe, Mg, K, Se, Cu, Mn), acrylamide, acides gras et acides microbiologiques (levures et moisissures).

Les échantillons se situaient dans les limites normales de la charge microbienne et du niveau d'acrylamide. Selon l'analyse sensorielle descriptive, avec l'augmentation de l'ajout d'avoine *Avena nuda* L. dans la recette, les propriétés organoleptiques des échantillons de biscuits ont changé dans un sens négatif. Selon les résultats obtenus, le pourcentage de farine d'avoine *Avena nuda* L. ajouté à la recette peut atteindre 75% maximum, pour que le produit soit accepté par les consommateurs et décrit comme "bon".

Le chapitre VII "Résultats de l'obtention de pâtes des différentes farines" est structuré en trois sous-chapitres.

Sous-chapitre 7.1 "Obtenir et établir le type de modélisation de la pâte" décrit le processus technologique permettant d'obtenir des pâtes. Des expériences ont été menées sur l'utilisation de quatre types de farines: la farine de blé semi-blanche, la farine disponible dans le commerce, la farine de l'avoine *Avena nuda* L. et la farine d'*Amaranthus*. En conséquence, il a été établi que les farines étudiées sont adaptés à la modélisation des pâtes tagliateli.

Sous-chapitre 7.2. "Résultats d'analyse de la composition des pâtes" présente les résultats obtenus en analysant les paramètres de composition (contenu en eau, protéines, graisse, cendres, cellulose, acides gras, métaux et minéraux) et structurels (texture, couleur) des pâtes. Les résultats pour la détermination du gluten et de la gliadine ont montré que seul l'échantillon de pâte de farine d'*Amaranthus* entrainé dans la catégorie des produits "sans gluten".

Sous-chapitre 7.3 "Résultats de l'analyse physique de la pâte (texture et couleur)" présente les données obtenues après l'analyse de la texture des pâtes alimentaires avant l'ébullition (résistance à la déchirure et à la compression) et après ébullition (fermeté et élasticité). Les échantillons ont également été analysés pour les paramètres de couleur: L, a *, b *, C * -chromaticité et h * nuance.

Chapitre VIII "Résultats sur l'obtention de bâtonnets avec ajout d'*Amaranthus*" présente les résultats obtenus lors de la mise au point de matrices alimentaires végétaliens

(bâtonnets) et d'*Amaranthus* (graines et farine d'*Amaranthus*) et de leur analyse par différentes méthodes pour une caractérisation complète.

Sous-chapitre 8.1 "Essais expérimentaux sur les recettes des barres" contient des données préliminaires permettant d'établir les recettes de barres d'avoine et d'*Amaranthus*, qui visaient à remplacer les flocons d'avoine avec des grains / farine d'avoine. Afin d'établir la recette finale des bâtonnets aux flocons d'avoine et des graines/ farine d'*Amaranthus*, plusieurs variantes expérimentales ont été réalisées. À la suite des tests, il a été conclu que le produit devait contenir de la farine d'*Amaranthus* (pas de graines), et doit avoir une masse finale de 40 ± 5 g, longueur de 8 cm, largeur de 3 cm et 1 cm d'épaisseur.

Sous-chapitre 8.2 "Variantes expérimentales pour la fabrication de barres de farine *Amaranthus*", présente les variantes expérimentales conçues pour la production de barres, dans lesquelles le remplacement des flocons d'avoine de la recette a été effectué avec de la farine d'*Amaranthus*. Des variantes expérimentales ont été faites dans lesquelles les flocons d'avoine étaient remplacés avec 20% farine d'*Amaranthus* (V1), 40% farine d'*Amaranthus* (V2) et 60% farine d'*Amaranthus* (V3). Un échantillon de contrôle (M) avec 100% de flocons d'avoine a également été préparé à des fins de comparaison.

Les variantes expérimentales ont été analysées de point de vue de composition (analyses physico-chimiques, contenu en métaux et minéraux, polyphénols, capacité anti-oxydante, acrylamide, gluten et gliadine) et de caractéristiques physiques (texture et couleur).

Suite à la détermination du contenu acrylamide, il a été constaté que la valeur recommandée (150 μg / kg) pour ce type de produit est loin d'être atteinte, ce qui signifie que tous les barres fabriqués sont sans danger pour la consommation humaine. Dans le même temps, les résultats microbiologiques ont montré que les échantillons étaient microbiologiquement conformes. Après la détermination du contenu en gluten et en gliadine, les échantillons ont été classés dans la catégorie "sans gluten". Des analyses sensorielles préférentielles et descriptives ont montré que, avec l'augmentation de la farine d'*Amaranthus* ajoutée à la recette, la préférence des évaluateurs pour le produit diminuait progressivement, ainsi que le barres avec 60% farine d'*Amaranthus*, a obtenu le moindre qualificatif dans les deux tests.

Également dans ce chapitre, les deux types de papier films utilisés pour emballer les barres ont été analysés du point de vue de la perméabilité et de la migration. Suite au calcul de l'efficacité économique pour chaque variante expérimentale, il a été observé que les bâtonnets obtenus avaient un prix proche de celui des barres sur le marché de la même catégorie et étaient même parfois inférieures.

Chapitre IX "Analyse, sélection et utilisation de l'huile essentielle de menthe dans l'emballage du bâtonnet de farine d'Amaranthus" présente les résultats obtenus en analysant, en sélectionnant et en testant trois huiles essentielles: *Mentha arvensis*, *M. piperita* et *M. spicata*, afin de choisir l'huile appropriée pour aider à prolonger la durée de conservation des bâtonnets à base de farine d'*Amaranthus*. Une méthode a été développée, validée et utilisée pour le dosage des principaux composés de l'huile essentielle de menthe par spectroscopie ¹H-RMN. Les huiles ont été testées de point de vue de leur capacité antimicrobienne et leur concentration minimale inhibitrice a été définie, qui a ensuite été utilisée pour pulvériser l'emballage dans lequel le bâtonnet de farine d'*Amaranthus* a été introduit. Une prolongation de la durée de conservation des bâtonnets de 10 à 14 mois pour le film à trois couches (PE/EVOX/PP) et de 8 à 10 mois pour le film simple (BOPP) a été obtenue.

Chapitre X "Conclusions et recommandations" décrit les résultats des recherches et leurs recommandations. À la suite des recherches, il est recommandé de cultiver *Avena nuda* L. Avoine, car contrairement à *Avena sativa*, elle ne nécessite pas de décorticage.

Les matières premières obtenues dans le Champ expérimental de Moara Domneasă (avoine et *Amaranthus*) étaient qualitativement, globalement et microbiologiquement conformes. Tant dans le cas de l'avoine (*Avena nuda* L.) que dans le cas d'*Amaranthus*, une bonne production quantitative et qualitative peut être obtenue afin de pouvoir être introduite dans le circuit de production alimentaire.

L'avoine et l'*Amaranthus* ont des propriétés nutritionnelles particulières et peuvent être utilisés pour la fabrication de nouveaux produits de boulangerie (biscuits, pâtes, bâtonnets) afin de fournir un apport nutritionnel élevé par rapport aux produits à base de blé. Deux produits conventionnels (biscuits et pâtes) et un végétalien, sans gluten, sans sucre ajouté à base de farine d'avoine et d'*Amaranthus* ont été développés.

L'huile essentielle de *Mentha spicata* a une capacité antimicrobienne supérieure à celle de *M. piperita* et de *M. arvensis*. À une concentration de 1: 5, l'huile essentielle de *Mentha* épicée à 10% d'éthanol peut être utilisée avec succès pour pulvériser l'emballage afin de prolonger la durée de conservation du produit emballé.

La valorification des résultats obtenus dans la présente thèse a été réalisée en publiant **3 articles scientifiques en tant que premier auteur**, publiés dans des magazines indexés et/ou indexés ISI, ainsi qu'en participant à **1 congrès** international et **3 conférences** nationales.