

## Sprouting, a bioprocess supporting food industry?

### La germination, un bioprocédé au service de l'industrie agro-alimentaire ?

*Bibliographic Review*

S. JRIBI<sup>1</sup>, M. CHABBOUH<sup>1</sup>, K. SASSI<sup>2</sup>, D. SFAYHI<sup>3</sup>, S. MARZOUGUI<sup>4</sup>, H. AMARA<sup>2</sup>, H. DEBBABI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Institute of Agronomy of Tunisia (INAT) UR17AGR01 "Valorization of the Tunisian natural and agro-food heritage through innovation", University of Carthage, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisia

<sup>2</sup> National Institute of Agronomy of Tunisia (INAT), Genetic and Plant Breeding Laboratory, University of Carthage, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie

<sup>3</sup> National Institute of Agronomic research of Tunisia (INRAT) de la Recherche Agronomique de Tunisie, Rue Hédi Karray, 2049 Ariana, Tunisia

<sup>4</sup> National Institute of Cereal Crops (INGC), 8170 Bou Salem, Tunisie

\*Corresponding author: amor.boughdiri@yahoo.fr

**Abstract** – Recent scientific researches proved a strong link between the diet adapted and the prevalence of some diseases (cardiovascular diseases, diabetes, obesity...). The use of functional products may contribute in solving this problem. Wheat is a cereal quite present in Mediterranean diet as it has an energetic and nutritional interest (proteins, carbohydrate, fibers, vitamins...). Consumers in occidental countries become more and more interested by mini-processed, without chemicals, natural, safe food products. Sprouts are in agreement with this trend. Sprouting is a physiological event where a complex nutrients transfer occurs. The aim of this review was to describe sprouting process and its impact on nutritional properties of wheat seeds. During germination, storage molecules (proteins, starch) are degraded under enzymatic action. Added to, some bioactive compounds such as polyphenols, vitamins... are newly synthesized. Altogether, contribute in improving wheat nutritional quality. Sprouting affects also functional and sensory properties of wheat. All modifications occurring during sprouting make sprouted wheat seeds a functional ingredient, naturally enhanced by bioactive molecules. Its use in food industry would provide an added value.

**Keywords:** Wheat, Sprouting, Functional ingredient, Bioactive compounds, Wheat Technology

**Résumé** - Les preuves scientifiques récentes lient la prévalence de certaines maladies (maladies cardiovasculaires, obésité, diabète de type 2, certains cancers) au régime alimentaire inadapté. La consommation d'aliments fonctionnels est l'une des alternatives recommandées dans la prévention de ces maladies. Le blé est une céréale omniprésente dans le régime alimentaire méditerranéen vue son intérêt énergétique et nutritionnel : protéines, glucide, fibres, vitamines... De nos jours, les pays occidentaux s'intéressent de plus en plus à la germination des graines en raison de la demande des consommateurs d'aliments peu transformés, sans additifs, plus naturels, nutritifs et sains. La germination est un phénomène physiologique qui s'accompagne d'un transfert complexe de flux de nutriments. Cette revue s'intéresse à décrire le processus de germination du blé, et à étudier son effet sur la qualité et les propriétés nutritionnelles des céréales, et en particulier du blé. Au cours de la germination a lieu une dégradation des macromolécules de réserves (amidon, protéines) suite à la mobilisation du capital enzymatique. De façon concomitante, d'autres molécules bioactives sont synthétisées, telles que les polyphénols et les vitamines. Ainsi, la germination contribue à l'amélioration de la qualité nutritionnelle. Elle modifie également les propriétés sensorielles et fonctionnelles du blé. Ces modifications font du blé germé, un ingrédient fonctionnel naturellement enrichi en molécules bioactives, intéressant à incorporer dans des formules alimentaires.

**Mots clés :** Blé, germination, ingrédient fonctionnel, molécules bioactives, technologie céréalière

## 1. Introduction

L'émergence des pathologies liées à l'alimentation (maladies cardiovasculaires, obésité, diabète) a rendu les consommateurs, de plus en plus conscients de la relation existante entre l'aliment et la santé. L'incorporation de molécules bioactives dans des systèmes alimentaires présente donc beaucoup d'intérêt pour le développement d'aliments fonctionnels novateurs, un volet en plein essor dans les industries agro-alimentaires. Ces aliments peuvent être dotés d'avantages nutritionnels ou réduire le risque de certaines maladies (JORT 2008). (Ecrit différemment sur la liste bibliographique)

Le régime méditerranéen est marqué par la consommation de fruits et légumes, de céréales, de légumineuses, d'huile d'olive et de poissons. Il est notamment riche en molécules anti-oxydantes et en fibres. L'évolution du rythme de vie a cependant induit une modification des habitudes alimentaires avec le développement de nouvelles tendances qui divergent de celles du régime méditerranéen.

Les céréales sont des éléments essentiels du régime alimentaire puisqu'elles sont des sources importantes de glucides, de fibres et de protéines. Dans presque tous les pays et les régions, les céréales fournissent la nourriture de base. Le blé est la céréale la plus cultivée dans le monde avec une surface dépassant 220 millions d'hectares en 2016 (FAOSTAT 2018) et la deuxième en termes de consommation humaine et animale. Améliorer les aliments céréaliers de façon naturelle par des bioprocédés comme la germination, peut dès lors offrir une intervention nutritionnelle naturelle et pratique pour augmenter les bienfaits pour la santé et l'acceptabilité des céréales complètes. L'utilisation de graines germées est actuellement essentiellement restreinte aux industries agro-alimentaires (confection de malt pour les produits dérivés tels que la bière, les levures de boulanger, les farines maltées...). Cependant, depuis quelques années, la vague de l'alimentation biologique et son corollaire, le développement des commerces du même type, ont remis au goût du jour la consommation de ces graines germées. En outre leur facilité d'utilisation, leur valeur nutritionnelle, leur faible impact écologique sur l'environnement, ainsi que le faible coût de leur mise en œuvre sont des atouts à prendre en considération (Gan et al. 2017).

La germination du blé est une pratique très ancienne utilisée surtout dans les pays de l'Est (Chine, Japon) (Plaza et al. 2003). C'est une méthode naturelle qui peut être utilisée pour améliorer les propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et sensorielles des grains (Gan et al. 2017) En effet, ce bioprocédé s'accompagne par une dégradation des macromolécules telles (protéines, amidon...) (Zilic et al. 2016). De ce fait, la digestibilité de ces molécules est améliorée (Sweica et Dziki, 2015). De plus, lors de la germination, certaines vitamines et molécules bioactives sont synthétisées (polyphénols, caroténoïdes...) (Zilic et al. 2014). Ainsi, le blé germé est doté de propriétés anti-oxydantes intéressantes (Chen et al. 2017).

Cet article de revue décrit l'utilisation potentielle du processus de germination dans l'optique de générer des ingrédients entièrement naturels dotés d'une valeur nutritive élevée et de propriétés fonctionnelles améliorées pour de nouvelles formulations alimentaires.

## 2. Un passage de la dormance à la vie active

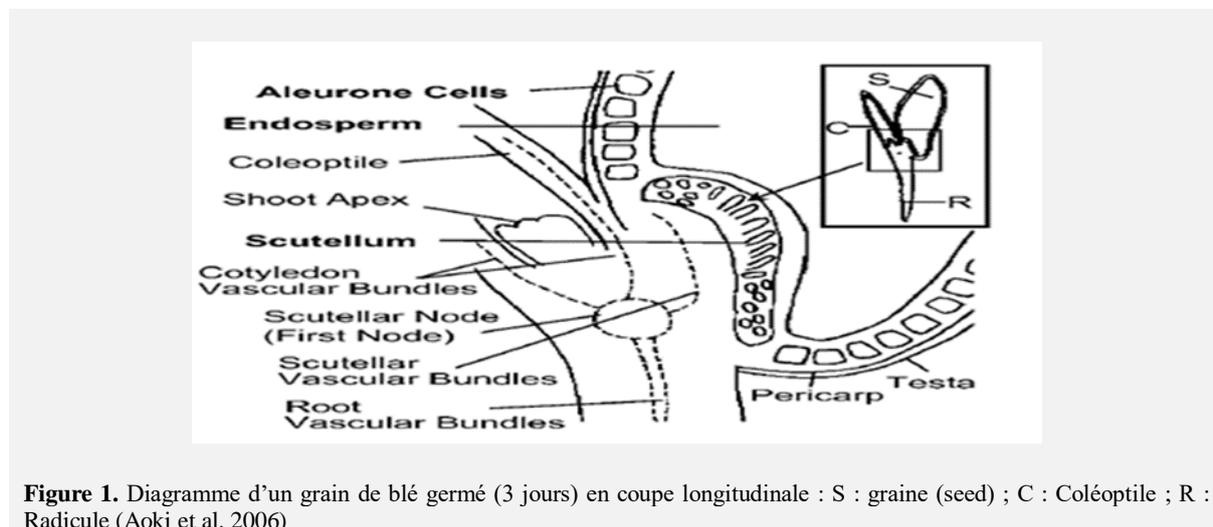
Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) mais il existe d'autres espèces qui se différencient par leur degré de ploïdie (Feuillet 2000). Son développement comme pour la plupart des plantes est un processus cyclique.

Pour déterminer le commencement d'un cycle, chez les plantes, il est pratique de partir de la germination de la graine. Les graines sont des organes quiescents capables de survivre longtemps dans des conditions défavorables. Lorsque les conditions deviennent favorables, la reprise de la croissance se déclenche avec la germination. La germination est influencée par des facteurs intrinsèques comme les variétés de graines et extrinsèques comme la température, l'humidité, et la lumière (Nelson et al. 2013 ; Świeca et Dziki 2015). Świeca et Dziki (2015) ont attribué un rôle clé au temps et à la température de germination, alors que le rôle de l'élicitation était marginal.

La première étape est l'absorption de l'eau et la réhydratation des tissus par un processus appelé imbibition. L'imbibition par l'eau stimule la synthèse de gibbéréline qui à son tour, favorise l'expression des gènes des enzymes hydrolytiques (Nelson et al. 2013). Cette mobilisation marque la transition de la dormance à une forte activité métabolique. En effet, la libération d'enzymes hydrolytiques permet de digérer et de mobiliser les réserves (amidon, protéines...) surtout que l'activité

des enzymes inhibitrices diminue comme l'ont montré les résultats de Mak et al. (2009). Une reprise des divisions et grandissement cellulaires prend lieu également. La germination est terminée lorsque la radicule émerge des téguments (Figure 1 ; Hopkins 2003 ; Nelson et al. 2013).

Il est important dans ce contexte de distinguer entre le blé germé et le germe de blé. En effet le blé germé ou « Sprout » correspond au résultat de la germination dans l'eau avant apparition de feuilles. Ainsi le produit fini est la graine avec la nouvelle plantule développée (EFSA 2011). En revanche, le germe de blé est un composé de l'embryon et du scutellum ou cotyledon (Feuillet 2000). Son existence est donc indépendante du phénomène de germination.



### 3. Une pratique à intérêt nutritionnel

La germination permet l'amélioration de la qualité nutritionnelle du blé (Tableau 1 ; Chavan et al. 1989; Hung et al. 2010; Donkor et al. 2012; Hübner et Arendt 2013). Les teneurs en nutriments et molécules bioactives dépendent des conditions de germination (Yang et al. 2001), ainsi que des conditions environnementales, des zones géographiques de culture, des facteurs génétiques et de l'évolution des variétés ou des méthodes d'extraction et de quantification (Lee et al. 2016).

Au cours de la germination, plusieurs modifications ont lieu suite à une dégradation de certaines macromolécules, transport de quelques éléments vers d'autres emplacements et synthèse de nouveaux métabolites (Lorenz et D'Appolonia 1980). Ainsi, la germination du blé conduit à une dégradation de l'amidon et à la libération d'oses simples, notamment du glucose (Panfil et al. 2014) sous l'action de l' $\alpha$ -amylase (Singh et al. 2001; Aoki et al. 2006; Fardet 2010). Des travaux réalisés dans notre laboratoire ont mis en évidence un dédoublement des teneurs en sucres réducteurs après germination du blé (Jribi et al. 2018). D'autre part, ce bioprocédé permet un accroissement de la teneur en fibres dans le blé germé (Koehler et al. 2007; Hung et al. 2015) et particulièrement en arabinoxylane (Singkhornart et al. 2013). Le rôle des fibres dans la prévention des pathologies liées à l'alimentation comme les maladies cardiovasculaires ou le diabète de type 2 est clairement établi (Fardet 2010). L'arabinoxylane, fibre caractéristique des céréales, est dotée de propriétés nutritionnelles intéressantes, telles que la diminution du cholestérol, l'amélioration de l'adsorption des sels minéraux et la contribution au contrôle métabolique chez les personnes atteintes de diabète type 2 (Donkor et al. 2012).

Des travaux effectués dans notre laboratoire sur la variété de blé dur « Khiair » n'ont pas montré une différence significative des teneurs en protéines (Jribi et al. 2018). Le changement est plutôt qualitatif que quantitatif : la germination a conduit non seulement à une meilleure digestibilité des protéines par des enzymes protéolytiques (Ariyama et Khan 1990; Alvarez-Jubete et al. 2009; Świeca et Dziki 2015) mais aussi à une augmentation de la concentration en acides aminés (Singkhornart et al. 2013) particulièrement celles de la lysine et du tryptophane (Lorenz et D'Appolonia 1980) ainsi que de l'isoleucine, de la leucine, de la lysine, de la phénylalanine et de la valine (Hung et al. 2015). En effet, les protéines subissent une protéolyse après 2-3 jours de l'imbibition pour libérer du carbone et de l'azote à la nouvelle plantule. Les allergènes du blé, les gliadines et la gluténine peuvent être dégradés par des

protéases provenant de grains de blé germés (Hayashi et Ohnishi-Kameyama 2009 ; Michalcová et al. 2012).

**Tableau 1.** Effet de la germination sur la composition nutritionnelle des grains de blé

Nutriments	Evolution après germination	Références bibliographiques
Protéines	Pas d'effet	Hung et al. 2011
	Augmentation	Mak et al. 2009 ; Sighkornart et al. 2013 ; Hung et al. 2015
Acides aminés libres	Augmentation	Hung et al. 2011
Albumine/Globuline	Augmentation	Koheler et al. 2007
Gluten	Diminution	Koheler et al. 2007
Lipides	Pas d'effet	Hung et al. 2011 ; Sighkornart et al. 2013
Cendres	Augmentation	Hung et al. 2011 ; Hung et al. 2015 ; Ozturk et al. 2012
	Diminution	Ariyama et Khan 1990 ; Sighkornart et al. 2013
Fibres	Augmentation	Hung et al. 2011 ; Koheler et al. 2007
β Glucanes	Diminution	Sighkornart et al. 2013
Arabinoxylanes (solubles)	Pas d'effet	Singkhornart et al. 2013
Amidon	Augmentation	Hung et al. 2011
Sucres réducteurs	Augmentation	Sighkornart et al. 2013
Polyphénols totaux	Augmentations	Alvarez-Jubete et al. 2010 ; Hung et al. 2010 ; Hung et al. 2011 ; Panfil et al. 2014
Acide ferrulique Acide vanillinique	Augmentation	Yang et al. 2001
Activité anti-oxydante	Augmentation	Alvarez-Jubete et al. 2010 ; Hung et al. 2010 ; Hung et al. 2011
α-tocophérol	Augmentation	Yang et al. 2001 ; Ozturk et al. 2012
	Diminution	Plaza et al. 2003
β-caroténe	Augmentation	Yang et al. 2001
Vitamine A	Augmentation	Plaza et al. 2003
Vitamine E	Augmentation	Yang et al. 2001
	Diminution	Plaza et al. 2003
Vitamines B1,B2, B6	Augmentation	Plaza et al. 2003
Vitamine C	Augmentation	Yang et al. 2001 ; Plaza et al. 2003
Folates	Augmentation	Koheler et al.2007; Hefni & Witthoft 2011; Hefni & Witthoft 2012
Acide phytique	Pas d'effet	Singkhornart et al. 2013

En revanche, Koehler et al. (2007) ont reporté une dégradation des protéines de gluten au cours de la germination. Durant les premiers stades de la germination, la dégradation des gluténines est prédominante, alors que des temps de germination plus longs sont nécessaires pour dégrader les gliadines (Michalcová et al. 2012). Par contre la teneur des lipides peut être stimulée pendant la germination du grain de blé (Hung et al. 2015), particulièrement en acides gras insaturés tels l'acide linoléique (18:3 n3) (Ozturk et al. 2012). Brandolini et Hidalgo (2012) ont rapporté que l'huile extraite de germes de blé est riche en triglycérides (57% des lipides totaux), principalement des acides linoléique (18: 2), palmitique (16: 0) et oléique (18:1).

Par ailleurs, la germination du blé a mené à améliorer la composition vitaminique, notamment en vitamine C (Yang et al. 2001; Bakhoj et al. 2003; Plaza et al. 2003), en vitamine E et en  $\beta$ -carotènes (Yang et al. 2001 ; Plaza et al. 2003), ainsi qu'en folates (Koehler et al. 2007). Brandolini et Hidalgo (2012) ont rapporté l'existence dans le germe de blé, des quantités importantes de composés bioactifs tels que les tocophérols, les phytostérols, les caroténoïdes, la thiamine et la riboflavine. Des travaux réalisés dans notre laboratoire ont montré un enrichissement du blé germé de l'ordre de 50% en caroténoïdes (Jribi et al, 2018). Les teneurs en folates, éléments essentiels pour la réplication cellulaire, peuvent être multipliées par 4 à 6 fois selon les variétés et la durée d'incubation (Hefni et Witthöft 2010a; 2012b). Les folates peuvent être synthétisés au cours de la germination. Ce stade de développement induit également un accroissement de la teneur de composés phénoliques totaux dans le germe de blé (Zhu et al. 2011), ainsi que dans le blé germé (Hung et al. 2011; Donkor et al. 2012) et en particulier des polyphénols, des flavonoïdes et de l'acide férulique (Zilic et al. 2014) jusqu'à dédoublement (Alvarez-Jubete et al. 2009). Dans notre laboratoire une augmentation de 36% a été observée après germination du blé (Jribi et al. 2018). Cette augmentation pourrait s'expliquer par l'activité de la PolyPhénol Oxidase (PPO) au cours de la phase d'imbibition (Barron et al. 2007). Cette activité est stimulée après 8-16 heures d'imbibition (Demeke et al. 2001). De ce fait, les grains germés sont dotés d'une activité anti-oxydante (Dziki et Laskowski 2009; Hung et al. 2010). Cette modification est liée non seulement à l'accroissement en composés phénoliques mais aussi en vitamines anti-oxydantes. Il est possible d'améliorer efficacement la teneur en polyphénols totaux et le potentiel antioxydant après 4 jours de germination à 20 °C (Świeca et Dziki 2015). Par conséquent les grains germés peuvent constituer une source intéressante en composés antioxydants. (Falcioni et al. 2002; Calzuola et al. 2004).

Le blé germé est également caractérisé par une richesse en minéraux (Mg, Ca, Fe, Na, K et P) (Ozturk et al. 2012). La biodisponibilité de minéraux tels que le calcium, le fer et le zinc peut être dès lors augmentée par la germination (Donkor et al. 2012 ; Hübner et Arendt 2013). Brandolini et Hidalgo (2012) ont rapporté que les principaux constituants minéraux du germe de blé sont le potassium, le magnésium, le calcium, le zinc et le manganèse, dans l'ordre décroissant.

Enfin la germination permet de diminuer la teneur en facteurs antinutritionnels comme les tanins (Fardet 2010) et les phytates, solubles dans l'eau (Bohn et al. 2008; Kumar et al. 2009), contribuant ainsi à une meilleure biodisponibilité des éléments minéraux (Dziki et Laskowski 2009). En revanche elle conduit à l'augmentation de la teneur en agglutinine de germe de blé (Wheat Germ Agglutinin WGA), une lectine qui protège le blé (*Triticum vulgare*) des insectes, des levures et des bactéries. Des études rapportées par Van Buul et Brouns (2014) ont néanmoins suggéré que la WGA sous sa forme native serait susceptible d'induire des effets néfastes pour la santé en se liant à l'épithélium dans l'intestin, endommageant les cellules, ce qui entraîne une altération de l'épithélium intestinal, ainsi qu'une absorption réduite des nutriments. Cependant les données actuelles sur les effets sur la santé des lectines alimentaires et en particulier de la WGA, telles qu'elles sont consommées dans les aliments cuits, cuits ou extrudés, ne favorisent pas les effets négatifs sur la santé humaine (Van Buul et Brouns 2014).

En somme la germination des grains pendant une période déterminée entraîne une augmentation des activités des enzymes telles que les xylanases, les rabinofuranosidases, les  $\beta$ -glucanases, les protéases et les xylosidases, conduisant à des transformations de la matrice pour mobiliser les nutriments et les composés bioactifs nécessaires à la croissance des plantes. Pour l'homme elle peut conduire à une biodisponibilité plus élevée des composés bioactifs (Chavan et al. 1989).

#### 4. Effets sur la santé humaine

De par sa composition biochimique, le blé germé peut jouer un rôle dans la prévention de certaines pathologies comme les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et certaines diarrhées. En effet, plusieurs études ont mis en exergue que la consommation de germes de blé peut réduire le risque de maladie coronarienne en réduisant les lipides sériques. A titre d'exemple, une étude cas-témoin sur des adultes sains a montré qu'un régime supplémenté germes de blé induit une baisse significative des taux plasmatiques de triglycérides en postprandial (Cara et al. 1992). De même, la consommation régulière de germes de blé pendant 4 semaines a conduit à une diminution des teneurs sériques en cholestérol total et triglycérides aussi bien chez des adultes sains (Sarshar et al. 2015) que chez des patients hyperlipidémiques (Reza Zakeri et al. 2009 ; Sarshar et al. 2015). Chez des rats, Lairon et al. (1987) ont montré que l'ajout de germe de blé à un régime à teneur élevée en cholestérol et en matières grasses a significativement augmenté le taux sérique de cholestérol des lipoprotéines de haute densité (HDL) et a abaissé les triglycérides de lipoprotéines de très faible densité (VLDL). Ces résultats pourraient être en partie expliqués par le fait que l'ajout de germes de blé au régime alimentaire permet chez le rat, de diminuer l'absorption intestinale du cholestérol alimentaire, en interférant avec l'hydrolyse des lipides dans l'estomac et l'intestin grêle (Borel et al. 1990). En outre, Sarshar et al. (2015) ont montré un effet positif de l'ingestion de germes de blé pendant 4 semaines sur la pression artérielle chez des adultes sains et des sujets hyperlipidémiques. Une ingestion régulière de céréales de petit déjeuner à base de blé germé/malté a aussi induit une diminution de la pression artérielle diastolique des patients obèses (Nelson et al. 2016). Le mécanisme d'action n'est pas encore élucidé. Vraisemblablement, des autolysats de blé germé sont dotés *in vitro* d'une activité inhibitrice de l'enzyme de conversion l'angiotensine (ACE), qui est un élément d'une cascade régulant la pression artérielle (système Rénine-Angiotensine-Aldostérone) (Nogata et al. 2009). D'autre part, Leenhardt et al. (2008) ont mis en évidence qu'un régime de germes de blé (20%) chez le rat a significativement augmenté les taux plasmatiques et hépatiques de vitamine E, par rapport au régime basique de vitamine E basal. Parallèlement, ils ont montré que ce régime a fortement diminué la sensibilité des lipides cardiaques et hépatiques à l'oxydation, ainsi que le plasma. Ces résultats suggèrent que le germe de blé est susceptible d'améliorer l'état de défense antioxydant. Par ailleurs, l'administration d'une préparation herbale à base d'huile de blé germé à des rats diabétiques a conduit à une réduction de la glycémie à jeun (Srivastava et al. 2012). En revanche l'étude de Cara et al. (1992) menée chez l'homme n'a pas mis en exergue de modification significative de la glycémie post prandiale suite à un régime supplémenté en germes de blé. Sur un plan mécanistique des extraits de blé germé pendant 48h ont induit *in vitro* une inhibition de l'alpha-glucosidase de l'ordre de 60%, suggérant une activité antidiabétique (Dou et al. 2014). Les travaux de Iyer et Brown (2011) ont montré que l'administration de germes de blé-fermentés contribue à promouvoir la fonction cardiaque chez les rats hypertendus d'une part et d'autre part, à améliorer la tolérance au glucose, la tension artérielle systolique et à diminuer le dépôt de graisse viscérale chez les rats nourris avec un régime riche en graisses / riche en glucides. Des études rapportées par Mueller et Voigt (2011) ont indiqué qu'un extrait de germes de blé fermentés est doté d'une activité anti tumorale *in vitro*. Dans certains pays, cet extrait de germe de blé fermenté est utilisé comme un complément nutritionnel pour les patients cancéreux en usage clinique. De plus, d'après Van Buul et Brouns (2014), la consommation d'aliments contenant du WGA s'est révélée associée à une réduction significative des risques de diabète de type 2, de maladies cardiovasculaires, de certains types de cancer, ainsi qu'une meilleure gestion du poids à long terme. Par ailleurs, une étude cas-témoin menée au Bangladesh indique qu'un régime énergétique dense, liquéfié avec de la farine riche en amylase à base de blé germé, est bien absorbé chez les enfants atteints de diarrhée aiguë et peut prévenir la perte de poids consécutive (Rahman et al. 1997). Torimitsu et al. (2010) ont montré chez des rats diabétiques, nourris régulièrement par un régime à base de riz brun germé, une diminution de la glycémie à jeun et de la sécrétion d'insuline. Chez l'homme l'ingestion de riz brun germé diminue les réponses post prandiales insuliniques et glycémiques (Ito et al. 2005). De même, Kumari et Sumathi (2002) ont observé une diminution de la glycémie à jeun de patients diabétiques nourris par un régime à base de « finger millet » germés. Ces effets sont probablement liés à la richesse en fibres et en molécules bioactives du riz brun germé (Mbithi-Mwikya et al. 2000; Wu et al. 2013; Cho et al. 2016). Enfin, de par son action protéolytique, la germination peut contribuer à diminuer l'allergénicité des protéines de blé pouvant entrer dans la composition de gâteaux et de biscuits (Hayashi et Ohnishi-Kameyama 2009; Michalcová et al. 2012).

## 5. Une pratique à maîtriser : risques sanitaires

En dépit de leur fort intérêt nutritionnel, les graines germées présentent un risque microbiologique considérable. En effet, les graines peuvent contenir des micro-organismes pathogènes. De par ses conditions opératoires d'humidité et de température, la germination favorise leur croissance et leur multiplication (Peles et al. 2012), or ces graines sont généralement consommées crues. D'ailleurs, ces dernières années, des outbreaks se sont produites principalement aux États-Unis, au Canada, en Australie et en Europe. Aux États-Unis, la Food Safety américaine a dénombré 35 toxi-infections collectives entre 1998 et 2015 reliées à la consommation de graines germées crues ou très peu cuites (blé, luzerne, haricots etc), ces toxi-infections sont désormais dénommées « Sproutbreaks » (CDC). D'après la base de données « outbreak database » aux États Unis, en 2014 cinq patients ont été infectés par *Listeria monocytogenes* après avoir consommé des germes de haricot mungo. En 2016, 36 patients ont été contaminés par *Salmonella* et 11 par *Escherichia coli* O157 après avoir consommé des germes de luzerne. En Australie, en 2015, 230 cas dont 43 hospitalisés ont été contaminés par *Salmonella* suite à la consommation de germes de haricot (Journal Daily Mail 2015). En 2011, l'Allemagne a rapporté la propagation d'infection due à la Shiga toxine produite par *Escherichia coli* (Sérotype O104:H4) suite à la consommation de graines germées (Frank et al. 2011) : 3200 personnes étaient atteintes dont 50 sont décédées. En France, la même année, des cas similaires ont été observés (Gault 2012). Des études rétrospectives en Allemagne et en France ont supporté l'hypothèse que les graines en question étaient contaminées avant leur importation aux deux pays (EFSA 2011).

Ce sont principalement des *Escherichia coli* pathogènes, et *Salmonella* spp. qui sont associés à ces outbreaks de maladies d'origine alimentaire liées à la germination. Les sources de contamination sont multiples. Il faut distinguer les sources pré récolte telle la flore tellurique, les animaux et les eaux d'irrigation d'une part et d'autre part, les sources post récolte telles l'équipement de récolte, la zone de stockage et les navires de transport, ainsi que le procédé et les conditions de germination. Par exemple, la circulation de l'eau favorise la dissémination des pathogènes, éventuellement présents, dans tout le bac. Ainsi, même si les graines sont légèrement contaminées, la germination contribue à une amplification du nombre de pathogènes (Suslow et Horris 2004). Le choix de la matière première à utiliser (basé sur la prévention de la contamination initiale pendant la production), le stockage et la distribution des graines ainsi que le contrôle des conditions opératoires, sont donc primordiaux pour prévenir les risques de contamination.

Yang et al. (2013) ont rapporté diverses techniques d'intervention dans le but d'éliminer ou de réduire le nombre d'agents pathogènes sur les graines ou les germes. Sur la base de leurs données, les méthodes d'intervention physique telles que la chaleur et la pression hydrostatique élevées sont plus efficaces pour réduire les charges microbiennes, alors que les interventions chimiques ont eu des limites dans la réduction de la charge microbienne. La technologie Hurdle, qui combine l'utilisation de ces méthodes, est recommandée pour obtenir une décontamination plus efficace des échantillons de graines et de pousses.

Par ailleurs, pour regagner la confiance des consommateurs, la réglementation européenne a évolué en mars 2013, renforçant la traçabilité et les garanties sanitaires des graines germées (règlement d'exécution (UE) no 208/2013). De même, aux États Unis, en 2017 la Food and Drug Administration (FDA) a proposé un projet de lignes directrices pour l'industrie, relatives à la culture, à la récolte, à l'emballage et à la conservation de produits destinés à la consommation humaine pour les opérations de germination. Les opérateurs produisant des graines germées doivent désormais s'efforcer de mettre en place des mesures additionnelles de gestion de sécurité des denrées alimentaires et en particulier des graines germées.

## 6. De nouvelles propriétés fonctionnelles et sensorielles

La germination agit non seulement sur les propriétés nutritionnelles du grain de blé mais aussi sur ses propriétés sensorielles. Des études rapportées par Hübner et Arendt (2013) ont montré que la germination modifie l'apparence, la flaveur et le goût du grain. Comme il a été précédemment mentionné, les enzymes naturelles, telles que les amylases et les protéases, qui sont présentes dans le grain sont exprimées pendant la germination. Il est donc possible de produire des farines naturellement enrichies en enzymes (Marti et al. 2017). La germination améliore donc leur palatabilité, due à ces enzymes activées, qui décomposent partiellement l'amidon.

La germination modifie également les propriétés fonctionnelles et mécaniques. En effet, Dziki et Laskowski (2009) ont observé une diminution de la dureté chez les grains de blé germés, réduisant ainsi les besoins en énergie lors du broyage. Les travaux d'Ariyama et Khan (1990) ont montré que la germination a contribué à une élévation du taux d'extraction lors de la mouture avec l'obtention de farine à teneur en protéines plus élevée.

La dégradation des protéines lors de la germination contribue à une diminution du taux de gluten (Koehler et al. 2007). Cependant, cette protéine joue un rôle déterminant dans les propriétés fonctionnelles. De ce fait, les propriétés rhéologiques sont modifiées avec une augmentation de l'élasticité et une diminution de la capacité d'absorption d'eau et de la viscosité (Singh et al. 2001) (Différent du nom existant sur la liste). De plus, les travaux de Hefni et Witthoft (2011) ont montré que la germination contribue à une diminution de la stabilité et une augmentation de l'affaiblissement de la pâte.

D'autre part, l'étude de Hussain et Uddin (2012) a confirmé que la germination a amélioré les propriétés fonctionnelles de la farine de blé telle que la capacité d'absorption d'eau qui est importante dans le développement des aliments céréaliers. En effet, le trempage suivi du séchage induisent une augmentation de la porosité du grain, ce qui facilite encore plus l'absorption d'eau. Marti et al. (2017) ont montré que la germination a amélioré les propriétés de la pâte, en favorisant les activités enzymatiques de la farine. Ces auteurs ont suggéré de remplacer les auxiliaires technologiques classiques, comme le malt ou d'autres améliorants enzymatiques, par l'introduction de farine de blé germé lors de la fabrication du pain. En outre, les performances de cuisson du blé diminuent considérablement lors de la germination, rendant l'utilisation de blé germé pour la cuisson limitée. En raison de la teneur accrue en acides aminés libres et en sucres réducteurs, la germination peut potentiellement favoriser la réaction de Maillard (Abderrahim et al. 2012). Par ailleurs, le processus de germination est également l'une des méthodes utilisées pour améliorer la fonctionnalité des protéines de graines de blé.

## **7. Applications en industries agroalimentaires**

Le blé germé dans des conditions contrôlées peut être stabilisé par séchage (Shingare et Thorat 2013). En effet, une étude préliminaire réalisée dans notre laboratoire a consisté à sécher le blé germé au soleil. Les résultats ont montré que le séchage au soleil a engendré des pertes au niveau des molécules bioactives. En dépit de ces pertes, le blé germé séché a présenté de meilleures propriétés nutritionnelles comparativement au blé non germé (Jribi et al. 2018).

Sur un plan technologique, il est nécessaire de considérer la germination comme un bioprocédé permettant non seulement de dégrader les molécules de réserve (protéines, amidon) mais aussi la formation d'enzymes germinatives. Par exemple, l'enzyme alpha-amylase joue un rôle primordial en technologie céréalière. L'incorporation de cette enzyme contenue dans le blé germé lors la fabrication de spaghettis n'a pas modifié les paramètres sensoriels texturaux et la conservation du produit fini (Dexter et al. 1990). La teneur relativement faible en humidité de la pâte et la perte rapide d'humidité dans les spaghettis pendant les premiers stades de séchage limitent l'action de l'alpha-amylase présente dans les germes de blé, pendant le traitement des spaghettis, indépendamment de la procédure de séchage.

La farine de blé germé a montré un effet prononcé sur l'absorption d'eau, la stabilité de la pâte et la production de CO<sub>2</sub> (Kaur et al. 2002). L'incorporation de farine de blé germé induit un changement de propriétés rhéologiques de la pâte, notamment une augmentation de la capacité de levée de la pâte (Afify et al. 2016 ; Marti et al. 2017). A l'opposé, (Lorenz et Valvano (1981) ont obtenu un effet négatif de la germination sur la qualité des farines : les gâteaux à base de farine de blé germé étaient peu volumineux, avaient un trempage au centre, un grain grossier et une texture ferme (Lorenz et Valvano 1981). Il est donc nécessaire d'ajuster non seulement la quantité de farine à base de blé germé, mais aussi le temps de fermentation afin d'obtenir une pâte et un pain de qualité (Sekhon et al. 1995). L'addition de farine de blé germé jusqu'à 10% de niveau a amélioré le développement de la pâte et les propriétés de libération gazeuse de la farine sans avoir d'effet négatif significatif sur le volume du pain (Kaur et al. 2002). L'incorporation de farine à base de blé germé à hauteur de 20% dans du pain a permis d'augmenter la qualité nutritionnelle du pain en augmentant la teneur en protéines en particulier, la quantité de peptides et de polypeptides (<20kDa) et en diminuant la teneur en amidon (Świeca et al. 2017).

D'autre part, Liu et al. (2017) ont mis en exergue que l'utilisation de farine de blé germé lors de la fabrication de tortillas a permis d'améliorer les performances de cuisson du produit et d'obtenir une meilleure apparence, une plus grande acceptabilité du consommateur et une plus longue durée de vie de la tortilla. Étant donné que la germination conduit à une augmentation de la porosité du grain, cette propriété de grains germés et séchés peut être exploitée pour développer des produits à cuisson rapide. Ainsi l'utilisation de blé germé dans la formulation d'un produit céréalier indien « Dalia » a permis une diminution du temps de cuisson de 50% (Mridula et al. 2014). Dans notre laboratoire, le développement d'une préparation pour petit déjeuner, la « Bsissa » à base de blé germé séché non torréfié en utilisant la méthode des plans de mélange a conduit à la formule suivante : 6,98% blé, 41,52 % de blé germé séché non torréfié et 51,5% de pois chiches (Jribi et al. 2015). La caractérisation de la qualité de cette formule a montré que l'incorporation du blé germé séché dans une matrice alimentaire traditionnelle, « Bsissa », a révélé une amélioration des propriétés aussi bien fonctionnelles que nutritionnelles du produit et en particulier, un enrichissement en composés phénoliques et en sucres réducteurs.

## 8. Conclusion

La germination est un bioprocédé permettant l'amélioration du profil nutritionnel du blé. Elle permet le développement d'un ingrédient fonctionnel tout en respectant le concept de « Naturalité ». Elle peut donc contribuer à répondre à la demande croissante des consommateurs pour les produits alimentaires naturels qui sont également sains et savoureux. Le recours à ce bioprocédé nécessite néanmoins une manipulation dans des conditions contrôlées afin de limiter les risques microbiologiques. Il est également primordial de tenir compte de la préservation des propriétés techno-fonctionnelles du blé. Des études sont actuellement menées sur l'optimisation technologique de ce bioprocédé et sur l'application des grains germés et leurs farines dans des aliments transformés tels que des produits extrudés, des pâtes et des biscuits. L'incorporation de ces farines dans des produits céréaliers tels que le pain ou les biscuits, sous la forme d'aliments fonctionnels, peut fournir une forte concentration de fibres, de vitamines, et d'antioxydants qui peuvent jouer un rôle dans la prévention contre les maladies, comme certains cancers, et les maladies cardiovasculaires.

## 9. Références

- Abderrahim F, Huanatico E, Repo-Carrasco-Valencia R, Arribas S M, Gonzalez M C, Condezo-Hoyos L (2012)** Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *J Cereal Sci.* 56:410–417.
- Afify A E M, Abbas M S, El-Lattefi B M A, Ali A M (2016)** Chemical, Rheological and Physical properties of Germinated Wheat and Naked Barley. *International Journal of ChemTech Research* 9:521-531.
- Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt E K, Gallagher E (2009)** Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chem* 119:770–778.
- Aoki N, Scofield G N, Wang X-D, Offler C-E, Patrick J-W, Furbank R-T (2006)** Pathway of Sugar Transport in Germinating Wheat Seeds. *Plant Physiol* 141:1255–1263.
- Ariyama T, Khan K (1990)** Effect of laboratory sprouting and storage on physicochemical and breadmaking properties of Hard Red Spring Wheat. *Cereal Chem* 67:53-58.
- Bakhoj S, Flint A, Tetens I (2003)** Lower glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP) response but similar glucagon-like peptide 1 (GLP-1), glycaemic, and insulinaemic response to ancient wheat compared to modern wheat depends on processing. *Eur J Clin Nutr.* 57: 1254–1261.
- Barron C, Surget A, Rouau X (2007)** Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *J Cereal Sci.* 45: 88–96. Base de données du CDC. <https://wwwn.cdc.gov/foodborneoutbreaks/Default.aspx> Accessed 22/03/2017
- Base de données outbreakdatabase** <http://www.outbreakdatabase.com/search/?vehicle=sprout>. Accessed 22/03/2017
- Bohn L, Meyer A, Rasmussen S (2008)** Phytate: Impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *J Zhejiang Univ Sci B.* 9:165-191.

- Borel P, Martigne M, Senft M, Garzino P, Lafont H, Lairon D (1990)** Effect of wheat bran and wheat germ on the intestinal uptake of oleic acid, monoolein, and cholesterol in the rat. *J. NutrBiochem.*1:28-33.
- Brandolini A, Hidalgo A (2012)** Wheat germ: not only a by-product. *Int. J. Food Sci. Nutr* 63:71-74.
- Calzuola I, Marsili V, Gianfranceschi G L (2004)** Synthesis of antioxidants in wheat sprouts. *J Agri Food Chem* 52 :5201-5206
- Cara L, Dubois C, Borel P, Armand M, Senft M, Portugal H (1992)** Effects of oat bran, rice bran, wheat fiber, and wheat germ on postprandial lipidemia in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr* 55(1):81-88.
- Chavan J K, Kadam S S, Beuchat L R (1989)** Nutritional improvement of cereals by sprouting. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr* 28:401-437.
- Chen Z, Wang P, Weng Y, Ma Y, Gu Z, Yang R (2017).** Comparison of phenolic profiles, antioxidant capacity and relevant enzyme activity of different Chinese wheat varieties during germination. *Food Biosci* 20, 159-167.
- Cho D H, Lim ST (2016).** Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chem* 196:259-271
- DailyMail (2015).** Australian consumers warned not to eat raw bean sprouts after Salmonella outbreak <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3553084/South-Australian-bean-sprout-salmonella-outbreak-traced-Queensland.html>. Accessed 22/03/2017
- Demeke T, Chang H-G, Morris C F (2001)** Effect of germination, seed abrasion and seed size on polyphenol oxidase assay activity in wheat. *Plant Breed.* 120: 369-373.
- Dexter J, Matsuo R, Kruger J (1990)** The Spaghetti-Making Quality of Commercial Durum Wheat Samples with Variable  $\alpha$ -Amylase Activity. *Cereal Chem* 67:405-412.
- Donkor O N, Stojanovska L, Ginn P, Ashton J, Vailjevic T (2012)** Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food Chem* 135: 950–959.
- Dou H, Zhou B, Jang H D, Lee S (2014)** Study on antidiabetic activity of wheat and barley starch using asymmetrical flow field-flow fractionation coupled with multiangle light scattering. *J. Chromatogr A* 1340 :115-120.
- Dziki D, Laskowski J (2009)** Study to analyze the influence of sprouting of the wheat grain on the grinding process. *J Food Eng* 96:562–567.
- EFSA (European Food Safety Authority) (2011)** Tracing seeds, in particular fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds, in relation to the Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) O104:H4 2011 outbreaks in Germany and France.
- Falcioni G, Fedeli D, Tiano L, Calzuola I, Mancinelli L, Marsili V, Gianfranceschi G (2002)** Antioxidant activity of wheat sprouts extract in vitro: inhibition of DNA oxidative damage. *J Food Sci* 67 :2918-2922.
- FAO (2018)** FAOSTAT Crops Statistics: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> visualize Accessed 20/09/2018.
- Fardet A (2010)** New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?. *Nutr Res Rev* 23:65–134.
- FDA Food and Drug Administration (2017)** Draft Guidance for Industry: Compliance with and Recommendations for Implementation of the Standards for the Growing, Harvesting, Packing, and Holding of Produce for Human Consumption for Sprout Operations <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm510578.htm>. Accessed 22/02/2017.
- Feuillet P (2000).** Le grain de blé : Composition et utilisation, INRA édition, Paris.
- Frank C, Werber D, Cramer JP, Askar M, Faber M, an der Heiden M, et al (2011)** Epidemic profile of Shiga-toxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 outbreak in Germany. *N Engl J Med* 365:1771-1780. DOI: 10.1056/NEJMoa1106483.
- Gan R.-Y, Lui, W.-Y, Wu K, Chan C.-L, Dai S.-H, Sui Z.-Q, Corke H (2017)** Bioactive Compounds and Bioactivities of Germinated Edible Seeds and Sprouts: An Updated Review. *Trends Food Sci Technol* 59: 1-14.
- Gault G, et al.(2012)** Épidémie d’infections à *Escherichia coli* entéro-hémorragique O104:H4 liée à la consommation de graines germées. Juin 2011, Bègles, Gironde, France. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire.

- Hayashi T & Ohnishi-Kameyama M (2009)** Degradation of epitope peptides of wheat gliadin and glutenin for atopic dermatitis by crude proteases from germinated wheat seeds. *Food Sci Tech Res* 15:639-644.
- Hefni M, Witthöft C (2011)** Increasing the folate content in Egyptian baladi bread using germinated wheat flour. *LWT- Food Sci and Technol* 44:706-712.
- Hefni M, Witthöft C (2012)** Effect of germination and subsequent oven-drying on folate content in different wheat and rye cultivars. *J Cereal Sci* 56:374-378.
- Hopkins W G (2003).** *Physiologie végétale*. De Boeck & Larcier, Bruxelles.
- Hübner F, Arendt E K (2013)** Germination of cereal grains as a way to improve the nutritional value: a review. *Crit. Rev Food Sci. Nutr* 53 :853-861.
- Hung P V, Maeda T, Morita N (2015)** Improvement of nutritional composition and antioxidant capacity of high-amylose wheat during germination. *J Food Sci Technol*. DOI 10.1007/s13197-015-1730-6.
- Hung P V, Maeda T, Yamamoto S, Morita N (2011)** Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *J Sci Food Agric* 92: 667–672. DOI 10.1002/jsfa.4628.
- Hung V P, Hatcher D W, Barker W (2010)** Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chem* 126:1896–1901.
- Hussain I, Uddin M B (2012)** Optimization effect of germination on functional properties of wheat flour by response surface methodology. *Int. J. Plant Sci* 3: 31–37.
- Ito Y, Mizukuchi A, Kise M, Aoto H, Yamamoto S, Yoshihara R, Yokoyama J (2005)** Postprandial blood glucose and insulin responses to pre-germinated brown rice in healthy subjects. *J Med Invest* 52 :159-164.
- Iyer A, Brown L (2011)** Fermented wheat germ extract (Avemar) in the treatment of cardiac remodeling and metabolic symptoms in rats. *J Evid -Based Complementary Altern Med*. DOI: 10.1093/ecam/nep090.
- Jort** (Journal Officiel de la République Tunisienne) n°73, Septembre 2008. Arrêté des ministres du commerce et de l'artisanat, de la santé publique, de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 3 septembre 2008, relatif à l'étiquetage et la présentation des denrées alimentaires préemballées.
- Jribi S, Sassi K, Sfayhi D, Debbabi H (2018)** Sprouting, an Eco-Friendly Technology for Improving Nutritional Quality of Tunisian Wheat Cultivar “Khiair”. In: Kallel A., Ksibi M., Ben Dhia H., Khélifi N. (eds) *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions*. EMCEI 2017. *Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development)*. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-70548-4\_41
- Jribi S, Sassi K, Chebbouh M, Debbabi H (2015)** A mixture design approach for optimizing a ready-to-eat breakfast cereal formulation. *Actes des Journées scientifiques de l'INAT 2015, From traditional to future trends in food technology, Tunis, Mai 28-29 2015*.
- Kaur K, Singh N, Singh H (2002)** Studies on the effect of skim milk powder, sprouted wheat flour, and pH on rheological and baking properties of flour. *Int J of Food Prop* 5 :13-24.
- Koehler P, Hartmann G, Wieser H, Rychlik M (2007)** Changes of Foliates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat as affected by germination. *J. Agric. Food Chem*. 55:4678-4683.
- Kumar V, Sinha A K, Makkar H P S, Becker K (2009)** Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chem* 120:945–959.
- Kumari P L, Sumathi S (2002)** Effect of consumption of finger millet on hyperglycemia in non-insulin dependent diabetes mellitus (NIDDM) subjects. *Plant Foods Hum Nutr*. 57: 205–213.
- Lairon D, Lacombe C, Borel P, Corraze G, Nibbelink M, Chautan M, et al. (1987)** Beneficial effect of wheat germ on circulating lipoproteins and tissue lipids in rats fed a high fat, cholesterol-containing diet. *J Nutr* 117:838-845
- Lee J, Nam D S, Kong C (2016)** Variability in nutrient composition of cereal grains from different origins. *SpringerPlus* 5:419. DOI 10.1186/s40064-016-2046-3.
- Leenhardt F, Fardet A, Lyan B, Gueux E, Rock E, Mazur A, et al. (2008)** Wheat germ supplementation of a low vitamin E diet in rats affords effective antioxidant protection in tissues. *J Am Coll Nutr* 27 :222-228.

- Liu T, Hou G G, Cardin M, Marquart L, Dubat A (2017)** Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. *LWT-Food Sci Technol* 77 :1-7.
- Lorenz K, D'Appolonia B (1980)** Cereal sprouts: Composition, Nutritive value, Food applications. *Crit Rev Food Sci. Nutr* 13:353-385.
- Lorenz K, Valvano R(1981)** Functional Characteristics of Sprout Damaged Soft White Wheat Flours. *J Food Sci* 46:1018-1020.
- Mak Y, Willows R D, Roberts T H, Wrigley C W, Sharp P J, Copeland L (2009)** Germination of Wheat: A Functional Proteomics Analysis of the Embryo. *Cereal Chem.* 86:281–289. DOI:10.1094/CCHEM-86-3-0281.
- Marti A, Cardone G, Nicolodi A, Quaglia L, Pagani M A (2017)** Sprouted wheat as an alternative to conventional flour improvers in bread-making. *LWT-Food Sci Technol* 80:230-236.
- Mbithi-Mwikya S, Van Camp J, Yiru Y, Huyghebaert A (2000)** Nutrient and antinutrient changes in finger millet (*Eleusine coracana*) during sprouting. *LWT-Food Sci Technol* 33:9-14.
- Michalcová E, Potocká E, Chmelová D & Ondrejovic M (2012)** Study of wheat protein degradation during germination. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* 1: 1439-1447.
- Mridula D, Sharma M, Gupta R K (2014)** Development of quick cooking multi-grain dalia utilizing sprouted grains. *J Food Sci Technol* 52(9):5826–5833. DOI 10.1007/s13197-014-1634-x.
- Mueller T, Voigt W(2011).** Fermented wheat germ extract-nutritional supplement or anticancer drug?. *Nutr J.* DOI: 10.1186/1475-2891-10-89
- Nelson K, Stojanovska L, Todor Vasiljevic T, Mathai M (2013)** Germinated grains: a superior whole-grain functional food? *Can. J. Physiol Pharmacol* 91: 429-441. DOI 10.1139/cjpp-2012-0351.
- Nelson K, Mathai M L, Ashton J F, Donkor O N, Vasiljevic T, Mamilla R, Stojanovska L (2016)** Effects of malted and non-malted whole-grain wheat on metabolic and inflammatory biomarkers in overweight/obese adults: a randomised crossover pilot study. *Food Chem* 194:495-502.
- Nogata Y, Nagamine T, Yanaka M, Ohta H (2009)** Angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides produced by autolysis reactions from wheat bran. *J Agric. Food Chem* 57 :6618-6622.
- Ozturk I, Sagdic O, Hayta M, Yetim H (2012)** Alteration in  $\alpha$ -Tocopherol, some minerals, and fatty acid contents of wheat through sprouting. *Chem Nat Compd* 47 (6):876-879.
- Panfil P, Dorica B, Sorin C, Emilian M, Ersilia A, Iosif G (2014)** Biochemical characterization of flour obtained from germinated cereals (wheat, barley and oat). *Rom Biotechnol Lett* 19 (5):9772-9777.
- Peles F, Gyori Z, Bacskai T, Szabo Z, Murvai M, Kovacs B (2012)** Microbiological quality of organic wheat grains and sprouts. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Protectia Mediului XVIII*:53-60.
- Plaza L, De Ancos B, Cano M P (2003)** Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soybean (*Glycine max*), wheat (*Triticum aestivum*.L) and alfalfa (*Medicago sativa*) treated by a new drying method. *Eur Food Res Technol* 216:138–144.
- Rahman M M, Mitra A K, Mahalanabis D, Wahed M A, Khatun M, Majid N (1997)** Absorption of nutrients from an energy-dense diet liquefied with amylase from germinated wheat in infants with acute diarrhea. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 24 :119-123.
- Règlement d'exécution (UE) no 208/2013** sur les exigences en matière de traçabilité pour les germes et les graines destinées à la production de germes, *Journal Officiel de l'Union européenne*, 11 mars 2013.
- Reza Zakeri H, Ataie Jafari A, Rajabi M, Hosseini S (2009)** Effects of wheat germ on a population of hyperlipidemic patients. *Nutr Food Sci* 39 :24-28.
- Sarshar N, Mokhtarian Daluei H, Moskhi M, Asaei E, Yaghoobi Avval Riabi M. (2015)** Effect of Consuming Wheat Germ on Lipid Profile. *ZUMS Journal* 23 :112-121.
- Sekhona K S, Singh N, Kaur H, Nagi H P S (1995)** Improving the functional and bread making properties of sprouted Indian wheat. *J. Food Process and Preserv* 19: 147–160. doi:10.1111/j.1745-4549.1995.tb00284.x
- Shingare S P, Thorat B N(2013)** Fluidized bed drying of sprouted wheat (*Triticum aestivum*). *Int J Food Eng* 10: 29–37.
- Singh H , Singh N, Kaur L, Saxena S K (2001)** Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. *J Food Eng* 47 :23-29.

- Singkhornart S, Edou-ondo S, Ryu G H (2013)** Influence of germination and extrusion with CO<sub>2</sub> injection on physicochemical properties of wheat extrudates. *Food Chem* 143:122–131.
- Srivastava N, Tiwari G, Tiwari R, Bhati L K, Rai A K (2012)** Nutraceutical approaches to control diabetes: A natural requisite approach. *J Nat Sci Biol Med* 3:168-176.
- Suslow T V, Harris L J (2004)** Growing Seed Sprouts at Home. UNIVERSITY OF CALIFORNIA, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 8151.
- Świeca M, Dziki D (2015)** Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation. *Int J Food Sci Technol* 50 :2135-2142.
- Świeca M, Dziki D, Gawlik-Dziki U (2017)** Starch and protein analysis of wheat bread enriched with phenolics-rich sprouted wheat flour. *Food Chem* 228 :643-648.
- Torimitsu M, Nagase R, Yanagi M, Homma M, Sasai Y, Ito Y, Hayamizu K, et al (2010)** Replacing white rice with pre-germinated brown rice mildly ameliorates hyperglycemia and imbalance of adipocytokine levels in type 2 diabetes model rats. *J Nutr Sci Vitaminol* 56:287-292.
- Van Buul VJ, Brouns FJPH (2014)** Health effects of wheat lectins: A review. *J Cereal Sci.* DOI.org/10.1016/j.jcs.2014.01.010
- Wu F, Yang N, Touré A, Jin Z, Xu X (2013)** Germinated brown rice and its role in human health. *Crit Rev Food Sci Nutr* 53:451-463.
- Yang Y, Meier F, Lo J A, Yuan W, Lee Pei V, Chung H J, Yuk H G(2013)** Overview of Recent Events in the Microbiological Safety of Sprouts and New Intervention Technologies. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* DOI: 10.1111/1541-4337.12010.
- Yang F, Basu T K, Ooraikul B (2001)** Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *Int J Food Sci Nutr* 52: 319–330.
- Zilic S, Basic Z, Hadži-Tašković Šukalović V, Maximovic V, Jankovic M, Filipovic M (2014)** Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *Int J Food Sci Technol* 49:1040-1047. DOI: 10.1111/ijfs.12397.
- Zilic S, Jankovic M, Barac M, Pesic M, Konic-Ristic A, Hadzi-Tascovic Sukalovic V (2016).** Effects of enzyme activities during steeping and sprouting on the solubility and composition of proteins, their bioactivity and relationship with the bread making quality of wheat flour. *Food Funct* 7: 4323-4331.
- Zhu K X, Lian C X, Guo X N, Peng W, Zhou H M (2011)** Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ. *Food Chem* 126(3):1122-1126.