

Evaluation of Wheat Varieties to Improve Whole Grain Flour Stability

Doctoral Thesis

Author(s):

Wei, Chunyue

Publication date:

2020

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000465044>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH NO. 27209

Evaluation of Wheat Varieties to Improve Whole Grain Flour Stability

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Chunyue Wei

MSc in Food Technology, Wageningen University

born on 25.02.1990

citizen of China

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Laura Nyström, examiner

Prof. Dr. Søren Engelsen, co-examiner

Prof. Dr. Devin Rose, co-examiner

2020

ABSTRACT

Wholegrain wheat flour faces a serious quality challenge in lipid stability, which influences its nutritional, sensory, and technological properties. Soon after milling, lipid oxidation occurs automatically or enzymatically. Lipase is considered to be one of the major causes of oxidation in wholegrain flour, because it catalyzes the release of free fatty acids, which are more susceptible to oxidation. However, wholegrain flour contains endogenous antioxidants, such as tocols, phenolic acids, and other phytochemicals. The composition of the antioxidants varies widely across wheat varieties. Varieties with low lipase activity and a high level of endogenous antioxidants are potentially suitable for stable wholegrain end-use. The variety diversity of wheat leads to our hypothesis, that the lipid stability issue of wholegrain flour and the products thereof can be solved by variety selection. In this doctoral thesis, a collection of European wheat varieties grown at a single site from 2014 to 2017 were evaluated for their lipase and esterase activities, oxidative stabilities with antioxidant content, and phytochemical profiles.

Lipase and esterase activities were analyzed in 66 European wheat varieties grown from 2014 to 2016. A 3-fold variance in these activities was observed among the varieties. The 'Julius', 'Lona', and 'Banquet' varieties showed consistently low lipase and esterase activities over the three years. The 3-year mean-based broad-sense heritability of lipase and esterase were 0.44 and 0.75 respectively, indicating their genetic dependence. In addition, a genome-wide association study of lipase and esterase activities was performed with 300 varieties harvested in 2015 and 2016. Quantitative trait locus (QTLs) significantly associated with lipase were located on chromosome 3B with the samples from 2015; and on 4A and 6D with the samples from 2016. QTLs for esterase were mapped on chromosome 2A, 2B, and 2D with the 2015 samples.

To evaluate overall lipid stability, 65 wheat varieties grown in 2017 were stored under accelerated conditions at 40°C. Their primary and secondary oxidation products, antioxidant activities, and tocol contents were analyzed to comprehensively characterize lipid oxidation in wholegrain flour in the presence of endogenous antioxidants. The wheat varieties had significantly diverse lipid stabilities, with up to 30-fold difference in hexanal

content after 19 weeks of storage. The radical scavenging activities and total tocol content showed 1.5-fold and 2-fold difference across the varieties, respectively. The evolution of tocol content was monitored in 17 wheat varieties that generated different levels of hexanal. In most of the varieties, higher tocol content led to slower hexanal accumulation. Low tocol levels were observed in two varieties that showed intermediate stabilities, 'Lona' and 'Enorm'. Principal component analysis of the oxidation products and the antioxidants was used to identify varieties with high stability and high antioxidant levels, such as 'Velocity', 'Arina', 'Hamac', 'Meunier', and 'Banquet'.

Finally, to reveal the metabolite profile in complex wholegrain wheat flour and its association with lipid stability, untargeted metabolomics with liquid chromatography mass spectrometry was carried out on the same 65 wheat varieties grown in 2015. The varieties had differing metabolite profiles, indicating their genetic diversity. Typical wheat endogenous antioxidants such as ferulic acids, α -tocopherol, secoisolariciresinol, and apigenin-di-glucoside were tentatively detected and showed variance among the varieties. Using partial least squares discriminant analysis of twenty representative varieties, the metabolite profile could differentiate their levels of lipid stability.

In summary, the results demonstrated the diversity of lipase activities, lipid stabilities, and metabolite profiles in wheat varieties and thus indicated the possibility of breeding selection to improve lipid stability of wholegrain wheat flour. The studies offered methodologies to evaluate wheat varieties for stable wholegrain use. The findings provide valuable information for a comprehensive understanding of the lipid oxidation pathway in the complex flour system. The outcomes will improve the use of wholegrain wheat as a raw material, benefit cultivation selection, and provide consumers with better quality products.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Lipidstabilität in Vollkornweizenmehl ist eine grosse qualitative Herausforderung und hat einen grossen Einfluss auf die ernährungsphysiologischen, sensorischen und technologischen Eigenschaften des Mehls. Bald nach dem Mahlen erfolgt die Lipidoxidation spontan oder enzymatisch. Lipase gilt als eine der Hauptursachen für die Oxidation in Vollkornmehl, da sie die Freisetzung freier Fettsäuren katalysiert, die anfälliger für Oxidation sind. Vollkornmehl enthält jedoch endogene Antioxidantien, wie Tocole, Phenolsäuren und andere Phytochemikalien. Die Zusammensetzung der Antioxidantien variiert je nach Weizensorte stark. Sorten mit geringer Lipaseaktivität und einem hohen Gehalt an endogenen Antioxidantien sind potenziell besser für eine stabile Endanwendung in Vollkornprodukten geeignet. Die Sortenvielfalt von Weizen führt zu unserer Hypothese, dass das Problem der Lipidstabilität von Vollkornmehl und dessen Produkten durch Sortenwahl gelöst werden kann. In dieser Doktorarbeit wurde eine Auswahl von europäischen Weizensorten, die von 2014 bis 2017 an einem einzigen Standort angebaut wurden, hinsichtlich ihrer Lipase- und Esteraseaktivitäten, ihrer Oxidationsstabilität mit Antioxidantiengehalt und ihres phytochemischen Profils bewertet.

Die Lipase- und Esteraseaktivitäten wurden in 66 europäischen Weizensorten analysiert, die von 2014 bis 2016 angebaut wurden. Die Aktivitäten zeigten eine 3-fache Varianz zwischen den Weizensorten. Die Sorten 'Julius', 'Lona' und 'Banquet' zeigten über die drei Jahre hinweg konstant niedrige Lipase- und Esteraseaktivitäten. Die auf dem 3-Jahres-Mittelwert basierende, breit angelegte Vererblichkeit von Lipase und Esterase betrug 0,44 bzw. 0,75, was auf ihre genetische Abhängigkeit hinweist. Darüber hinaus wurde eine genomweite Assoziationsstudie (GWAS) zur Lipase- und Esteraseaktivität mit 300 Sorten durchgeführt, die in den Jahren 2015 und 2016 geerntet wurden. Quantitative Trait Locus (QTLs), die signifikant mit Lipase assoziiert sind, befanden sich bei den Proben aus dem Jahr 2015 auf Chromosom 3B und bei den Proben aus dem Jahr 2016 auf 4A und 6D. Die QTLs für Esterase wurden bei den Proben von 2015 auf den Chromosomen 2A, 2B und 2D kartiert.

Um die allgemeine Lipidstabilität zu bewerten, wurden 65 Weizensorten, die 2017 angebaut wurden, unter beschleunigten Bedingungen bei 40°C gelagert. Ihre primären und sekundären Oxidationsprodukte, antioxidativen Aktivitäten und Tocol-Gehalte wurden analysiert, um die Lipidoxidation in Vollkornmehl in Gegenwart endogener Antioxidantien umfassend zu charakterisieren. Die Weizensorten wiesen signifikant unterschiedliche

Lipidstabilitäten auf, mit bis zu 30-fachem Unterschied im Hexanalgehalt nach 19 Wochen Lagerung. Die Radikalfängeraktivitäten und der totale Tocol-Gehalt zeigten einen 1,5-fachen bzw. 2-fachen Unterschied zwischen den Sorten. Die Entwicklung des Tocol-Gehalts wurde bei 17 Weizensorten beobachtet, die unterschiedliche Hexanal-Konzentrationen erzeugten. Bei den meisten Sorten führte ein höherer Tocol-Gehalt zu einer langsameren Hexanal-Akkumulation. Niedrige Tocol-Gehalte wurden bei zwei Sorten beobachtet, die mittlere Stabilitäten aufwiesen, nämlich bei 'Lona' und 'Enorm'. Die Hauptkomponentenanalyse wurde verwendet, um Sorten mit hoher Stabilität und hohem Antioxidantien Gehalt zu identifizieren, wie z.B. 'Velocity', 'Arina', 'Hamac', 'Meunier' und 'Banquet'.

Um schliesslich das Metabolitenprofil in komplexem Vollkornweizenmehl und dessen Zusammenhang mit der Lipidstabilität aufzuzeigen, wurde ungezielte Metabolomik mit direkter Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie an denselben 65 Weizensorten durchgeführt, die 2015 angebaut wurden. Die Sorten wiesen unterschiedliche Metabolitenprofile auf, was auf ihre genetische Vielfalt hinweist. Typische Weizen-endogene Antioxidantien wie Ferulasäuren, α -Tocopherol Secoisolariciresinol und Apigenin-di-glucosid wurden versuchsweise nachgewiesen und zeigten eine Varianz zwischen den Sorten. Mit Hilfe der partiellen Diskriminanzanalyse der kleinsten Quadrate von zwanzig repräsentativen Sorten konnte das Metabolitenprofil ihre Lipidstabilität differenzieren.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse die Vielfalt der Lipaseaktivitäten, der Lipidstabilitäten und der Metabolitenprofile in Weizensorten und wiesen somit auf die Möglichkeit einer züchterischen Selektion zur Verbesserung der Lipidstabilität von Weizenvollkornmehl hin. Die Studien bieten Methoden zur Bewertung von Weizensorten für eine stabile Vollkornnutzung. Die Ergebnisse liefern wertvolle Informationen für ein umfassendes Verständnis des Lipidoxidationsweges im komplexen Mehlsystem. Die Ergebnisse werden die Verwendung von Weizen als Rohstoff verbessern, der Zuchtauswahl zugutekommen und den Verbrauchern qualitativ hochwertigere Produkte liefern.