

Institute of Crop Science
University of Hohenheim
Quality of Plant Products (340e)
Prof. Dr. Christian Zörb

Quality impact of nitrogen in wheat grain properties and protein development for higher baking quality

Dissertation

submitted in fulfillment of the regulations to acquire the degree "Doktor der
Agrarwissenschaften" (Dr.sc.agr. in Agricultural Sciences)

to the
Faculty of Agricultural Sciences

Presented by

Azin Rekowski

from Tehran, Iran

2022

7 Summary

Storage protein concentration and composition influence the baking quality of wheat. Traditionally, baking quality is correlated with the total protein concentration in flour. However, despite similar protein concentrations, the baking qualities of different cultivars can vary, and the variances may be related to differences in the storage protein composition (Zörb et al., 2018). Though both protein concentration and composition are affected by fertilization management (especially nitrogen) and water availability, it is not certain whether compositional changes will suffice to enhance the quality of final products. Additionally, there is a high risk for the environment, associated with nitrogen losses in wheat production. To increase nitrogen efficiency, minimize nitrogen losses and optimize the baking quality, it is crucial to improve nitrogen fertilizer management. To address the question whether nitrogen and water management induce changes in protein composition which result in altered baking qualities, several investigations were conducted in the present work. Total protein was extracted from wheat flour and SDS-PAGE (Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis) was used to detect proteins sub-fractions. To assess baking quality, the specific volume, freshness retention as well as the hardness of the bread were evaluated.

In chapter two, as part of a pot experiment, two different levels of late nitrogen fertilizer were tested using two winter wheat cultivars of different quality classes (Discus and Rumor). Both cultivars produced more grain yield and total protein concentration as a result of late nitrogen supply. However, bread volume was only increased in Discus, possibly related to the greater changes in total gluten concentration and protein composition including HMW-GS and ω -gliadins. However, an increase of late nitrogen level did not further improve baking quality. Compared to Discus, an addition of late nitrogen did not result in significant changes in the protein composition of Rumor. Collectively these results indicate that late nitrogen management strategies are practical but need to be adjusted depending on the cultivar used.

Chapter three describes a field experiment where three different nitrogen forms were used ((i) ammonium nitrate, (ii) urea with 46% total N, (iii) urea as before amended with urease inhibitor N-(2-nitro-phenyl) phosphoric triamide (2-NPT) and (iv) control (no nitrogen addition)). While no significant/only a slight effect was observed for urea alone, ammonium nitrate and urea plus urease inhibitor similarly increased total grain protein concentrations.

Although both fertilizers boosted the levels of ω -gliadins and HMW-GS among the storage protein fractions, the influence was more pronounced in the ammonium nitrate application. In comparison to the urea treatment, the combination of urea plus urease inhibitor significantly influenced protein composition and generated higher specific baking volumes and the best fresh-keeping characteristics. Due to the strong enhancement in NUE and baking quality obtained with the urea plus urease inhibitor application, accompanied by reduced nitrogen losses and easy handling, this treatment could be considered as a substitute for urea alone or ammonium nitrate.

Chapter four describes a field study conducted in Iran with different German (Impression, Discus, Rumor, Hybery) and Iranian (Alvand, Mihan) genotypes representing diverse quality classes and grain protein levels. Two different levels of water stress were applied during anthesis and grain filling period. Overall, no significant changes in total protein concentrations were recorded. In addition, the concentrations of different protein fractions were unchanged in five out of the six genotypes. However, German genotypes exhibited an increase in HMW-GS under severe drought conditions, and an increased severity of drought stress amplified the percentage of ω -gliadins in all genotypes. Even though drought stress did not alter the concentrations of the HMW-GS sub-fraction in Iranian genotypes, a high specific bread volume was still observed, most likely related to an increase in ω -gliadins. All in all, the protein composition should be considered in addition to yield and total grain protein concentration when developing new wheat varieties for challenging climatic conditions.

In summary, late nitrogen and urea application, along with the addition of urease inhibitors, can enhance the gliadin and glutenin content and improve the baking quality. In addition, it may be possible to develop wheat genotypes with optimal baking properties by paying attention to the protein composition when drought stress exists. Although genetically determined subunits of the gluten fractions are known to be associated with bread-making quality, the studies presented here indicate that additional factors, such as the levels of nitrogen supply or water limitation, affect the composition of grain protein fractions and can be positively correlated with baking quality. Therefore, total grain protein concentration alone is not a reliable indicator of grain quality. Additionally, several individual proteins were altered by different management practices. Consequently, these proteins can have great effects on the quality of breads, so further studies should evaluate whether those individual proteins directly correlate with bread baking quality.

8 Zusammenfassung

Die Konzentration und die Zusammensetzung des Speicherproteins beeinflussen die Backqualität von Weizen. Traditionell wird die Backqualität mit der Gesamtproteinkonzentration im Mehl in Verbindung gebracht. Trotz ähnlicher Proteinkonzentration können die Backqualitäten jedoch z.T. variieren, was auf Unterschiede in der Zusammensetzung des Speicherproteins zurückzuführen sein könnte (Zörb et al., 2018). Obwohl sowohl die Proteinkonzentration als auch die Proteinzusammensetzung von der Düngung (insbesondere Stickstoff) und der Wasserverfügbarkeit beeinflusst werden, ist nicht sicher, ob Veränderungen in der Zusammensetzung ausreichen, um die Qualität der Endprodukte zu verbessern. Außerdem bergen die Stickstoffverluste bei der Weizenproduktion ein hohes Risiko für die Umwelt. Um die N-Effizienz zu erhöhen, die N-Verluste zu minimieren und die Backqualität zu optimieren, ist ein verbessertes N-Düngermanagement unerlässlich. Um der Frage nachzugehen, ob Stickstoff- und Wassermanagement Veränderungen in der Proteinzusammensetzung bewirken, die sich in veränderten Backqualitäten niederschlagen, wurden in der vorliegenden Arbeit mehrere Untersuchungen durchgeführt. In der vorliegenden Arbeit wurde das Gesamtprotein aus Weizenmehl extrahiert und Proteinuntereinheiten wurden mittels SDS-PAGE (Natriumdodecylsulfat-Polyacrylamid-Gelelektrophorese) ermittelt. Zur Beurteilung der Backqualität wurden das spezifische Volumen, die Frischhaltung sowie die Härte des Brotes bewertet.

Im zweiten Kapitel wurde im Rahmen eines Topfversuches eine späte N-Düngung in zwei unterschiedlichen Stufen an zwei Winterweizensorten unterschiedlicher Qualitätsklassen (Discus und Rumor) getestet. Die späte N-Versorgung führte bei beiden Sorten zu einem höheren Korntrug und einer höheren Gesamtproteinkonzentration. Allerdings ergab sich nur für Discus ein höheres Brotvolumen, was möglicherweise mit den größeren Veränderungen in der Gesamtglutenkonzentration und der Proteinzusammensetzung einschließlich der HMW-Gluteline und ω -Gliadine zusammenhängt. Eine Erhöhung des späten N-Gehalts führte jedoch nicht zu einer besseren Backqualität. Im Vergleich zu Discus führte eine späte N-Gabe bei Rumor nicht zu signifikanten Veränderungen in der Proteinzusammensetzung. Dies deutet darauf hin, dass Strategien für das späte N-Management praktikabel sind, aber je nach Weizensorte angepasst werden sollten.

Kapitel drei wird ein Feldversuch beschrieben, bei dem drei verschiedene Stickstoffformen verwendet wurden ((i) Ammoniumnitrat, (ii) Harnstoff mit 46 % Gesamt-N, (iii) Harnstoff wie zuvor mit dem Ureaseinhibitor N-(2-Nitro-phenyl)-phosphorsäuretriamid (2-NPT) versetzt und (iv) Kontrolle (keine Stickstoffzugabe)). Während sich nach Gabe von Harnstoff allein keine signifikanten Effekte zeigten, führten Ammoniumnitrat und Harnstoff mit Ureaseinhibitor zu ähnlichen Steigerungen der Gesamtproteinkonzentration. Obwohl beide Düngemittel den Gehalt an ω -Gliadinen und HMW-Gluteninen unter den Speicherproteinfraktionen erhöhten, war der Einfluss bei der Ammoniumnitratanwendung deutlicher. Im Vergleich zur Behandlung mit Harnstoff beeinflusste die Kombination aus Harnstoff und Ureaseinhibitor die Proteinzusammensetzung erheblich und führte zu höheren spezifischen Backvolumina und den besten Frischhalteigenschaften. Aufgrund der starken Verbesserung der NUE und der Backqualität, die bei gleichzeitig geringeren N-Verlusten und einfacher Handhabung mit Harnstoff mit Ureaseinhibitor erzielt wurde, könnte diese Behandlung als Ersatz für Harnstoff allein oder Ammoniumnitrat angesehen werden.

Kapitel vier beschreibt eine im Iran durchgeführte Feldstudie mit verschiedenen deutschen (Impression, Discus, Rumor, Hybery) und iranischen (Alvand, Mihan) Genotypen unterschiedlicher Qualitätsklassen und Kornproteingehalte. Zwei Wasserstress-Intensitäten wurden während der Anthese und der Kornfüllung angewendet. Es wurde keine signifikante Veränderung der Gesamtproteinkonzentration festgestellt. Während die Konzentration der verschiedenen Proteinfraktionen bei fünf der sechs Genotypen unverändert blieb, wiesen die deutschen Genotypen unter starken Trockenbedingungen einen Anstieg der HMW-Glutenine auf, und unter schwerem Trockenstress erhöhte sich der Anteil der ω -Gliadine bei allen Genotypen. Auch wenn der Trockenstress keine Auswirkungen auf die Konzentration der HMW-Unterfraktion bei den iranischen Genotypen hatte, wurde dennoch ein hohes spezifisches Brotvolumen beobachtet, welches vermutlich auf den Anstieg der ω -Gliadine zurückzuführen ist. Insgesamt sollte daher bei der Entwicklung neuer Weizensorten für anspruchsvolle klimatische Bedingungen neben dem Ertrag und der Kornproteinkonzentration auch die Proteinzusammensetzung berücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine späte Ausbringung von Stickstoff und Harnstoff zusammen mit dem Zusatz von Ureaseinhibitoren die Gliadin- und Glutenin-Zusammensetzung des Weizenkorns und damit die Backqualität des Weizenmehls verbessern kann. Darüber hinaus erscheint es möglich, Weizengenotypen mit optimalen Backeigenschaften zu entwickeln, indem man bei Trockenstress auf die

Proteinzusammensetzung achtet. Obwohl genetisch bedingte Untereinheiten der Glutenfraktionen mit der Brotbackqualität in Verbindung gebracht werden, beeinflussen zusätzliche Faktoren, wie z. B. die N-Versorgung oder die Wasserverfügbarkeit, die Zusammensetzung der Getreideproteinfraktionen und die Backqualität. Daher stellt die Kornproteinkonzentration allein keinen zuverlässigen Indikator für die Kornqualität dar. Darüber hinaus wurden mehrere einzelne Proteine durch unterschiedliches Umweltmanagement verändert. Folglich können diese Proteine große Auswirkungen auf die Brotqualität haben, so dass in weiteren Studien untersucht werden sollte, wie ihre Veränderungen mit der Verbesserung der Brotqualität zusammenhängen.