

## Abstract

There is an inconsistency in information about the occurrence and composition of flavonoids in cactus fruits and cladodes of the genus *Opuntia ficus-indica*. Though the intensive distribution of *O. ficus-indica* cactus plants worldwide, there are other promising *Opuntia* cactus species might deserve more attention. *Opuntia dillenii* cactus fruit might be one of them, also with regard to its technofunctional characteristics.

These studies reported herein investigated the occurrence and composition of flavonoids in *O. ficus-indica* cactus fruits and cladodes from different varieties and cultivation regions and were further compared to fruits from *O. dillenii* cactus fruits. Furthermore, this thesis reports about the impact of applying the innovative non-thermal technologies pulsed electric fields (PEF) and high hydrostatic pressure (HHP) on improving the flavonol content, other selected bioactive substances, and some technofunctional characteristics of the *O. dillenii* cactus fruit's juice.

The results showed that flavonols were the only flavonoids found in the fruits and cladodes from *O. ficus-indica*. These bioactive substances were found only in the fruit's peel and the cladode, while the fruit's pulp had no flavonols, at all, in all investigated samples. Besides betalains, isorhamnetin glycosides characterize *Opuntia* cactus fruits/plants. A mild hydrolysis of flavonol glycosides using a commercial preparation of pectinases was applied as an alternative to the traditional thermal-acidic hydrolysis using hydrochloric acid for identifying the flavonol aglycons. Isorhamnetin was the only aglycon found after either enzymatic or acidic hydrolysis. On the other hand, all the *O. ficus-indica* fruits and cladodes investigated in this thesis had a similar HPLC profile of isorhamnetin glycosides. So, exploiting this result for proving the authenticity of food contains cladodes or whole fruits from *O. ficus-indica* might be possible. Results showed that extrusion cooking of corn or rice grits enriched with the lyophilized *O. ficus-indica* powder did not change the original flavonol profile of the fresh fruit. While isorhamnetin-3-*O*-rutinoside was the predominant flavonol found in the peel of *O. ficus-indica* fruit, it was the only flavonol found in the peel of *O. dillenii* fruit.

*O. dillenii* cactus fruits had a lower pH and total soluble solids and a higher content of betacyanins, vitamin C, and phenolic compounds, and consequently, a higher antioxidant activity compared to *O. ficus-indica*. *O. dillenii* fruit's juice exhibited a flow of non-Newtonian pseudoplastic behavior with a flow index below 1 and a high effective viscosity. But on the other hand, the high viscosity of the *O. dillenii* fruit mash limits the

juice extraction. Consequently, this might reduce the yield of juice and could lead to a loss of bioactive substances remaining in the fruit's waste. Thus, the impact of the non-thermal innovative technology pulsed electric fields (PEF) as a pre-treatment for increasing juice yield and the content of flavonols was investigated in a comparison to microwave heating and enzymatic maceration. The results showed that the PEF pre-treatment significantly improved juice extraction. With the higher juice yield and concentration of flavonols, transferred from the fruit mash to the juice, was increased. The PEF pre-treatment maintained nearly the technofunctional and rheological characteristics and the other bioactive substances (betacyanins and vitamin C) of the juice. Moreover, the impact of PEF and high hydrostatic pressure (HHP) compared to the conventional thermal pasteurization, on the *O. dillenii* diluted juice was investigated with regard to preservation. Her, results showed that both non-thermal innovative preservation technologies achieved a reduction in the total bacterial count to below 10 CFU/mL, similar to the results of a conventional thermal pasteurization. Both, HHP and PEF, kept the technofunctional and rheological characteristics as well as the bioactive substances (e.g. vitamin C) nearly close to those of the fresh juice, while the thermal pasteurization caused a degradation of approx. 22% of vitamin C.

## Zusammenfassung

In der wissenschaftlichen Fachliteratur gibt es widersprüchliche Informationen über das Vorkommen und die Zusammensetzung von Flavonoiden in Kaktusfrüchten und Kladodien von *Opuntia ficus-indica*. Obwohl der Kaktus der Art *O. ficus-indica* weltweit verbreitet ist, gibt es noch andere Kaktusfrüchte, die vielversprechend sind und mehr Aufmerksamkeit verdienen. Eine dieser Kaktusfrüchte könnte, aufgrund seiner technofunktionellen Eigenschaften, *Opuntia dillenii* sein.

Ziel dieser Arbeit war es, das Vorkommen und die Zusammensetzung von Flavonoiden in *O. ficus-indica* Kaktusfrüchten und Kladodien aus verschiedenen Sorten und Anbauregionen im Vergleich zu Früchten des Kaktus *O. dillenii* zu untersuchen. Des Weiteren wurden die Auswirkungen der innovativen, nicht-thermischen Technologien wie z.B. die Hochspannungsimpulstechnologie durch gepulste elektrische Felder (PEF) oder der hydrostatische Hochdruck (HHP) auf eine mögliche Erhöhung der Flavonolgehalte, andere ausgewählte bioaktive Substanzen und einige technofunktionelle Eigenschaften des *O. dillenii* Kaktusfruchtsaftes untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass Flavonole nur in den Früchten und in den Kladodien von *O. ficus-indica* zu finden waren. Darüber hinaus wurden diese bioaktiven Substanzen nur in der Fruchtschale und in den Kladodien gefunden, während das Fruchtfleisch aller untersuchten Proben keine Flavonole aufwies. Neben Betalainen scheinen die Isorhamnetinglykoside geeignet zu sein, Opuntien näher zu charakterisieren und ggf. zu authentifizieren.

Zur Bestimmung der Flavonolaglykone wurde eine milde Hydrolyse der Flavonolglykoside mittels eines kommerziellen Pektinasepräparates als Alternative zur herkömmlichen thermisch-sauren Hydrolyse, bei der Salzsäure verwendet wird, herangezogen. Isorhamnetin war das einzige Aglykon, das sowohl nach der enzymatischen als auch der sauren Hydrolyse gefunden wurde.

Alle *O. ficus-indica* Früchte und Kladodien, die in dieser Studie untersucht wurden, hatten ein ähnliches HPLC-Profil der Isorhamnetinglykoside. Dieses Ergebnis könnte den Beweis der Echtheit der Lebensmittel, ob sie Kladodien oder Fruchtschalen von *O. ficus-indica* enthalten, möglich machen. Die Ergebnisse zeigten weiterhin, dass die Kochextrusion von Mais- oder Reisgrütze, die mit gefriergetrockneten *O. ficus-indica* Früchten angereichert wurden, das ursprüngliche Flavonolprofil der frischen Frucht nicht beeinflusste. Während Isorhamnetin-3-O-rutinoside als vorherrschendes Flavonol in der Schale der *O. ficus-indica*-Frucht gefunden wurde, war es das einzige Flavonol, das in der Fruchtschale der *O. dillenii*-Frucht identifiziert wurde.

Die Frucht der *O. dillanii* hat einen niedrigeren pH-Wert, einen hohen Gehalt an Betacyaninen, Vitamin C und phenolischen Verbindungen und folglich auch eine höhere antioxidative Aktivität im Vergleich zu *O. ficus-indica*-Früchten. Der Fruchtsaft von *O. dillanii* zeigte ein Nicht-Newton'sches Fließ- und strukturviskoses Verhalten mit einem Fließindex unter 1 und eine hohe effektive Viskosität. Obwohl *O. dillanii*-Früchte gute technofunktionelle und gesundheitspräventive Eigenschaften aufweisen, könnte die hohe Viskosität der *O. dillanii*-Fruchtmaische die Saftgewinnung limitieren. Um eine Verbesserung hervorzurufen, wurde die Wirkung der innovativen, nicht-thermischen Technologie der gepulsten elektrischen Felder (PEF) auf die Erhöhung der Saftausbeute und auf den Gehalt der Flavonole im Vergleich zur Mikrowellenheizung und enzymatischer Hydrolyse untersucht. Die Ergebnisse zeigten hier, dass die PEF-Vorbehandlung die Saftgewinnung verbesserte. Die Saftausbeute und die Konzentration der Flavonole wurden infolge des Überganges aus der Fruchtmaische in den Saft erhöht. Durch die PEF-Vorbehandlung wurden die technofunktionellen und rheologischen Eigenschaften, sowie die bioaktiven Substanzen (Betacyanine und Vitamin C) des Saftes nicht beeinflusst. Darüber hinaus wurde die Wirkung von PEF und dem hydrostatischen Hochdruck (HHP), ebenfalls eine innovative, nicht-thermische Technologie, im Vergleich zur herkömmlichen, thermischen Pasteurisierung von *O. dillanii* Saft untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die beiden nicht-thermischen innovativen Konservierungstechnologien zu einer Reduktion der Gesamt-Keimzahl unter 10 CFU/mL führten. Dies ist ähnlich der herkömmlichen thermischen Pasteurisierung. Beide Verfahren (HHP- und PEF) behielten die technofunktionellen und rheologischen Eigenschaften und bioaktiven Substanzen (z.B. Vitamin C) annähernd wie die des frischen Saftes, bei, während die thermische Pasteurisierung eine Abnahme des Vitamin C-Gehaltes um etwa 22% herbeiführte.