

Patchimaporn Udomkun

**Increasing nutritional value of
papaya (*Carica papaya* L.) by
optimizing pretreatment and
drying parameters**

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK
Agrartechnik Tropen und Subtropen
Prof. Dr. Joachim Müller



**Increasing nutritional value of papaya
(*Carica papaya* L.) by optimizing pretreatment and
drying parameters**

Dissertation

Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of
“Doktor der Agrarwissenschaften”
(Dr.sc.agr. / Ph.D. in Agricultural Sciences)

to the
Faculty of Agricultural Sciences

presented by

Patchimaporn Udomkun
Born in Nakhon Si Thammarat, Thailand

2015

Summary

Food security is a critical issue in many countries around the world. Globalisation has placed a great strain on major agricultural countries to provide the world's food supply to a point where innovative solutions that are economically as well as socio-culturally appropriate must be devised and implemented to ensure food security. At the same time, in addition to food *quantity*, increased attention must be given to food *quality* attributes, particularly nutrition and safety. There is much potential for generating new approaches and knowledge to strengthen food security. Minimizing post-harvest losses of agricultural perishables through the entire value chain, from farm to fork, is one of key pathways of alleviating poverty, increasing food availability and improving nutrition.

Papaya is an important fruit crop which represents a good source of vitamins A and C as well as calcium, potassium and magnesium. From a biological point of view, papaya is a crop that presents considerable post-harvest losses due to its rapid senescence which causes high perishability and the fact that freezing is not suitable for conservation. Consequently, postharvest procedures are required for producing papaya products with extended shelf life. Drying of papaya is one of the most widely used preservation methods that allows for greater flexibility in the availability and marketability of products, regardless of high production volume. By convention, dried papaya can be consumed directly or used as an ingredient in snacks, chocolates, breakfast cereals and other foodstuffs. Nowadays, there is an increasing demand for natural products, including high quality dried papaya in which nutritional and sensory properties have minimal alteration.

Among the drying methods available for fruit processing industries, conventional air-drying is considered as a low-input conservation process which involves the reduction of moisture in the product in order to slow down microbial and chemical deterioration. However, drying provokes numerous changes in materials, especially in terms of colour, texture and nutritional properties. These changes are largely dependent on the pretreatment process applied and also subsequent drying parameters used. Thus, it is crucial to define the processing conditions under which the characteristics of fresh papaya can be optimally preserved.

Over the course of the research, four simultaneous investigations were undertaken to solve the problems associated with drying of papaya. First, the effect of calcium formulations and concentrations applied prior to osmotic dehydration on physicochemical

characteristics and consumer preferences of convectively dried papaya were evaluated. Secondly, the influence of sugar composition as affected by osmotic treatment and dehydration method on the sorption behaviour was explored. Thirdly, the effect of different airflow modes under varied conditions of drying temperature, specific humidity and velocity, on thin-layer drying characteristics of osmotically pretreated papaya was examined. Finally, the influence of those drying air parameters on non-enzymatic browning and bio-active compounds, mainly antioxidant and carotenoids content was investigated.

In the first study, the influence of calcium chloride and calcium lactate pretreatment at three different concentrations (5, 15 and 25 g L⁻¹) on the physicochemical characteristics and consumer acceptance of osmo-convectively dried papaya was evaluated. The results showed that pretreatment with calcium solutions significantly decreased moisture content, water activity, apparent density and shrinkage of dried samples, whereas volume reduction was lower when compared to the control. No significant differences were observed in the sugar content between the two calcium formulations at the same concentration. Furthermore, calcium pretreatments apparently preserved colour and texture characteristics of dried samples. The use of calcium chloride at 25 g L⁻¹ was particularly found to impart an undesirable bitter taste to the dried samples. Overall, calcium lactate applied at a concentration of 25 g L⁻¹ was found to be the best condition to maintain objective and sensorial properties.

After determining the optimal conditions for dried papaya production with regard to pretreatment, the sorption isotherms of fresh and dried papayas were measured at 30, 50 and 70 °C by the static gravimetric method. Chemical composition as well as volume, density, porosity and microstructure characteristics of the fruits were examined. The change in sugar content after osmotic dehydration and the structural modification caused by convective drying were found to affect the graph of the sorption isotherms. The modified Halsey equation was found to be the most suitable for describing the sorption isotherms of pretreated and dried papayas, while the modified Oswin equation fitted best to the experimental sorption data of the untreated fresh samples. As a result of the low sugar content of fresh papayas and the osmotic solutions applied, crossing of the isotherms, which is typically seen for high sugar products, were not clearly noticed even at high water activity for all samples. The isosteric heat of sorption was estimated by using coefficients obtained from the modified Halsey model in conjunction with the Clausius-Clapeyron

equation. This value was used to explain the influence of osmotic pretreatment and drying process on the interaction between water vapour and the adsorbent site for fresh and dried papayas at different temperatures.

The third study presented an analysis of the effect of different airflow directions (through-flow and over-flow) on thin-layer drying characteristics of osmotically pretreated papayas. Drying was conducted under varied temperatures (50, 60, 70, 80 °C) and specific humidities (10, 25 g kg⁻¹). For through-flow mode, the airflow was vertically applied at velocities of 0.2, 0.5 and 0.7 m s⁻¹, while for over-flow mode, the air was horizontally applied at 0.5, 0.7 and 1.0 m s⁻¹. To calculate the moisture ratio of papaya during drying, coefficients determined in the previous study on sorption behaviour using the modified Halsey equation were engaged to calculate the equilibrium moisture content. The thin-layer drying kinetics of papaya was described using the Newton model. More uniform airflow distribution in the through-flow mode caused a higher product temperature as well as faster drying rate, especially in the initial stage of drying, when compared with over-flow mode at the same drying air parameters. In addition, the drying kinetics of papaya were most significantly affected by temperature and air velocity, whereas the specific humidity had less influence on the drying process within the studied range. The dependence of drying rate constant (k) on drying air parameters for papaya could be described by the Arrhenius relationship. According to these results, development of the drying process based on nutritional aspects of the final dried product is required.

Predominately, the acceptance and marketability of dried fruit products is greatly influenced by their quality, not only the organoleptic properties, but also the nutritional content and associated health benefits. Therefore, the effects of drying parameters on non-enzymatic browning behaviour and on bio-active compounds and antioxidant properties of osmotically pretreated papayas were examined. Convection drying was performed in through-flow mode at four temperatures (50, 60, 70, 80 °C), three air velocities (0.2, 0.5, 0.7 m s⁻¹) and two specific humidities (10, 25 g kg⁻¹). Results showed that increasing drying temperatures resulted in a significant decrease in moisture content and polyphenol oxidase activity, whereas degree of browning and Maillard reaction increased. The antioxidant activity and total phenolic compounds increased with temperature as well as with decreasing air velocity. However, specific humidity did not exhibit a main influence on these quality attributes of dried samples, except for total phenolic and carotenoid contents. Nevertheless, drying parameters were found to either decompose or conserve

carotenoid (total lycopene, β -carotene, β -cryptoxanthin) contents in dried papayas. The results showed that an optimal drying temperature of 70 °C, specific humidity of 10 g kg⁻¹ and velocity of 0.2 m s⁻¹ was the most economic option to obtain dried papaya with highest bio-active compounds and lowest possible formation of melanoids.

In conclusion, calcium pretreatment along with optimization of drying process parameters such as airflow movement, drying temperature, air velocity and specific humidity, improved quality attributes of dried papaya. Optimization of the drying process, especially with respect to temperature, must be considered in order to conserve final quality of dried papaya. These findings will have a considerable impact in enhancing drying performance of other fruit crops for small, medium or industrial scale production in tropical and subtropical areas. Also, it can serve as a basis to reduce post-harvest losses of similar agricultural commodities and improve sustainability of nutritional status and financial strength of producers and consumers alike. In order to realize the potential of the outcomes of this research, both the government and private sectors must play a role in achieving optimal processing of dried papaya to produce a natural, stable and nutritional product.

Zusammenfassung

Die Ernährungssicherung ist weltweit noch für viele Länder ein brisantes Thema. Die Globalisierung erfordert die Entwicklung und den Einsatz von innovativen ökonomischen und gesellschaftlich akzeptierten Lösungen damit die Hauptanbauländer für Agrarprodukte ihre Aufgabe in der Ernährungssicherung zur Versorgung der Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln erfüllen können. Gleichzeitig muss neben der Quantität an Nahrungsmitteln mehr Aufmerksamkeit auf deren Qualität gelegt werden, vor allem im Hinblick auf den ernährungsphysiologischen Wert und die Lebensmittelsicherheit. Es besteht noch ein großes Potential, mit neuen Erkenntnissen und Ansätzen die Ernährungssicherung zu stärken. Die Minimierung der Nachernteverluste bei verderblichen Agrarprodukten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg, vom Erzeuger bis zum Verbraucher, ist der Schlüssel zur Verbesserung der Verfügbarkeit und Qualität von Nahrungsmitteln und damit zur Armutsbekämpfung.

In diesem Zusammenhang ist Papaya eine wichtige Frucht als reichhaltige Quelle an Vitamin A und C sowie an Calcium, Kalium und Magnesium. Aufgrund der rapiden Seneszenz ist Papaya schon aus biologischer Sicht eine Frucht mit hoher Verderblichkeitsrate. Hinzu kommt, dass gängige Konservierungsmethoden, wie etwa das Einfrieren, nicht in Frage kommen. Deshalb werden Nachernteverfahren benötigt, um Papayaprodukte mit längerer Haltbarkeit herzustellen. Die Trocknen ist die gängigste Methode, um Papaya haltbar zu machen und erhöht die zeitliche Verfügbarkeit und Flexibilität in der Vermarktung, was bei einem hohen Ernteaufkommen besonders wichtig ist. Grundsätzlich kann getrocknete Papaya direkt oder als Zugabe in Snacks, Schokolade, Müsli oder anderen Nahrungsmitteln konsumiert werden. Die Nachfrage nach natürlichen Produkten, wie etwa getrockneter Papaya, von hoher Qualität bezüglich Geschmack und Nährstoffgehalt ist groß.

Die konvektive Trocknung stellt hierbei für die Verarbeitungsindustrie ein günstiges Trocknungsverfahren dar, um mittels Verringerung des Feuchtegehaltes den mikrobiellen und chemischen Verfall zu verzögern. Allerdings verursacht die Trocknung viele Veränderungen im Produkt, vor allen Dingen bezüglich der Farbe, der Textur und des Nährstoffgehaltes. Diese Veränderungen hängen stark von der Vorbehandlung sowie den angewandten Trocknungsparametern ab. Deshalb ist es wichtig, die Prozessbedingungen,

unter welchen die Eigenschaften frischer Papaya möglichst gut erhalten werden können, zu definieren.

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Versuchsanstellungen durchgeführt, um die Probleme bei der Papayatrocknung zu lösen. Zuerst wurde der Effekt unterschiedlicher Calcium-Zubereitungen bei der osmotischen Vorbehandlung auf die Qualitätseigenschaften von getrockneter Papaya untersucht. Als nächstes wurde der Einfluss der unterschiedlichen osmotischen Vorbehandlungen auf das Sorptionsverhalten von Papaya ermittelt. Danach wurde der Einfluss unterschiedlicher Trocknungsbedingungen bezüglich Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit der Trocknungsluft bei der Trocknung dünner Schichten osmotisch vorbehandelter Papaya im Überström- und Durchströmverfahren untersucht.

In der ersten Studie wurde der Einfluss der Vorbehandlungen mit Calciumchlorid und Calciumlactat unterschiedlicher Konzentration (5, 15, 25 g L⁻¹) auf die physico-chemischen und sensorischen Eigenschaften von osmotisch vorbehandelter und konvektiv getrockneter Papaya evaluiert. Die Ergebnisse zeigten, dass Vorbehandlungen mit Calciumlösungen den Feuchtegehalt, die Wasseraktivität, die Dichte und die Schrumpfung der getrockneten Proben signifikant verringerten, wobei die Volumenreduktion im Vergleich zur Kontrolle niedriger war. Es wurden keine signifikanten Unterschiede im Zuckergehalt zwischen den zwei Calcium-Zubereitungen bei gleicher Konzentration festgestellt. Außerdem blieben durch die Calciumvorbehandlungen die Fruchtfarbe und die Struktur der getrockneten Proben erhalten. Die Anwendung von Calciumchlorid in einer Konzentration von 25 g L⁻¹ verlieh den getrockneten Proben allerdings einen bitteren Geschmack. Dagegen wurde festgestellt, dass Calciumlactat bei einer Konzentration von 25 g L⁻¹ die besten Voraussetzungen lieferten, um die physico-chemischen und sensorischen Eigenschaften von Papaya zu bewahren.

Nachdem die optimalen Produktionsbedingungen für getrocknete Papaya in Hinsicht auf deren Vorbehandlung bestimmt wurden, wurden die Sorptionsisothermen frischer und getrockneter Papayas bei 30, 50 und 70 °C gemessen. Die chemische Zusammensetzung sowie Volumen, Dichte, Porosität und Mikrostruktureigenschaften der Proben wurden untersucht. Die Veränderungen im Zuckergehalt nach der osmotischen Vortrocknung sowie die Veränderungen der Matrixstruktur, die durch die konvektive Trocknung verursacht wurden, beeinflussten den Verlauf der Sorptionsisothermen. Die modifizierte Halsey Gleichung war am besten geeignet, die Sorptionsisothermen von

vorbehandelter und getrockneter Papaya zu beschreiben, wohingegen das Sorptionsverhalten von frischen, unbehandelten Proben am besten durch die modifizierte Oswin Gleichung beschrieben wurde. Auf Grund des niedrigen Zuckerhalts frischer Papaya und der Art der verwendeten osmotischen Lösungen, konnte die Überschneidung von Sorptionsisothermen bei hoher Wasseraktivität, welcher typisch für Produkte mit hohem Zuckergehalt ist, nicht bei allen Proben beobachtet werden. Aus den Sorptionsisothermen wurde die Bindungswärme errechnet, indem die Koeffizienten der modifizierten Halsey Gleichung in der Clausius-Clapeyron Gleichung verwendet wurden. Auf diese Weise konnte der Einfluss der osmotischen Vorbehandlung sowie des Trocknungsprozesses auf die Interaktion zwischen Wasserdampf und Gutfeuchtegehalt für frische und getrocknete Papaya bei unterschiedlichen Temperaturen beschrieben werden.

Die dritte Studie zeigt den Effekt der Überström- und Durchströmtrocknung auf die Trocknungseigenschaften dünner Schichten osmotisch vorbehandelter Papaya. Die Trocknung erfolgte bei unterschiedlichen Temperaturen (50, 60, 70, 80 °C) und spezifischen Luftfeuchten (10, 25 g kg⁻¹). Bei der Durchströmtrocknung wurde der Luftstrom vertikal bei Geschwindigkeiten von 0,2, 0,5 und 0,7 m s⁻¹ eingestellt, während bei der Überströmtrocknung der Luftstrom horizontal bei Geschwindigkeiten von 0,5, 0,7 und 1,0 m s⁻¹ eingestellt wurde. Um den Verlauf des Feuchtegehalts von Papaya während der Trocknung zu beschreiben, wurden die Koeffizienten der modifizierten Halsey Gleichung aus der vorangegangenen Studie zum Sorptionsverhalten verwendet. Die Dünnschicht-Trocknungskinetik von Papaya wurde unter Anwendung des Newton-Modells beschrieben. Eine gleichmäßigere Luftstromverteilung während der Durchströmtrocknung führte zu einer höheren Produkttemperatur und einer schnelleren Trocknungsrate als bei der Überströmtrocknung bei sonst gleichen Trocknungsparametern, vor allem in der Anfangsphase des Trocknungsvorgangs. Zusätzlich wurde die Trocknungskinetik von Papaya am meisten von der Temperatur und der Luftgeschwindigkeit beeinflusst, wobei die spezifische Luftfeuchte weniger Einfluss auf den Trocknungsprozess innerhalb des untersuchten Bereichs hatte. Mit Hilfe der Arrhenius Gleichung konnte die Trocknungskonstante k in Abhängigkeit der Trocknungsparameter für Papaya beschrieben werden. Auf dieser Grundlage ist eine Weiterentwicklung des Trocknungsprozesses unter ernährungswissenschaftlichen Aspekten möglich.

Die Akzeptanz und Vermarktung von getrockneten Früchten wird stark von deren Qualität beeinflusst und zwar nicht nur bezüglich der sensorischen Eigenschaften sondern

auch bezüglich der ernährungsphysiologischen Eigenschaften und den damit verbundenen Gesundheitsvorteilen. Deshalb wurden die Auswirkungen der Trocknungsparameter auf die nicht-enzymatische Bräunung und den Gehalt an bioaktiven Inhaltsstoffen und anti-oxidativen Eigenschaften osmotisch vorbehandelter Papaya untersucht. Die konvektive Trocknung wurde im Durchströmverfahren bei vier Temperatureinstellungen (50, 60, 70, 80 °C), drei Luftgeschwindigkeiten (0,2, 0,5, 0,7 m s⁻¹) und zwei spezifischen Luftfeuchtegehalten (10, 25 g kg⁻¹ Trockenluft) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Erhöhung der Trocknungstemperatur zu einer signifikanten Verringerung des Feuchtegehaltes und der enzymatischen Aktivität der Polyphenoloxidase führte, wobei sich der Bräunungsgrad und die Intensität der Maillard Reaktion erhöhten. Die anti-oxidativen Eigenschaften und der Gesamtphenolgehalt erhöhten sich mit steigender Temperatur und abnehmender Luftgeschwindigkeit. Dabei hatte der spezifische Luftfeuchtegehalt keinen großen Einfluss auf die Qualitätsmerkmale der getrockneten Proben, außer auf den Gesamtphenolgehalt und den Gehalt an Carotinoiden. Es zeigte sich, dass je nach Wahl der Trocknungsparameter der Carotinoidgehalt (Gesamtlycopen, β -Carotin, β -Cryptoxanthin) von Papaya mehr oder weniger gut erhalten blieb. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Trocknungstemperatur von 70 °C, ein spezifischer Luftfeuchtegehalt von 10 g kg⁻¹ und eine Luftgeschwindigkeit von 0,2 m s⁻¹ am besten geeignet sind, um Papaya mit hohem Gehalt an bioaktiven Inhaltsstoffen und geringen Farbveränderungen bei schneller und deshalb ökonomisch vorteilhafter Trocknung zu erhalten.

Generell zeigt die Studie, dass der Trocknungsprozess vor allem bezüglich der Temperatur überwacht werden muss, um eine hohe Qualität getrockneter Papaya zu erhalten. Darüber hinaus kann durch eine Vorbehandlung mit Calcium in Verbindung mit der Optimierung von Luftführung, Luftgeschwindigkeit und spezifische Luftfeuchte, die Qualität der getrockneten Papaya verbessert werden. Diese Ergebnisse können dazu beitragen, die Trocknungsleistung in Familien- und Industriebetrieben tropischer und subtropischer Regionen zu verbessern. Sie können ebenfalls dazu dienen, die Nachernteverluste bei Papaya und ähnlichen Agrarprodukten zu reduzieren und die Nachhaltigkeit der Ernährung sowie die wirtschaftliche Situation der Hersteller und Konsumenten zu verbessern. Um das Potential dieser Studie zu realisieren müssen sich staatliche Beratungsstellen und die Privatwirtschaft gemeinsam dafür einsetzen, optimale Produktionsbedingungen für Trockenfrüchte zu schaffen, um natürliche, haltbare und gesunde Produkt bereit zu stellen.