

**Studies into carotenoid deposition forms  
in plants and nutraceutical formulations  
with special reference to their influence  
on carotenoid bioavailability**

Judith Hempel



**Universität Hohenheim  
Institut für Lebensmittelwissenschaft  
und Biotechnologie**

**Band 51**

Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie  
Universität Hohenheim  
Lehrstuhl Technologie und Analytik pflanzlicher Lebensmittel  
Prof. Dr. habil. Dr. h.c. Reinhold Carle

**Studies into carotenoid deposition forms in plants and  
nutraceutical formulations with special reference to their  
influence on carotenoid bioavailability**

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)**

**Fakultät Naturwissenschaften  
Universität Hohenheim**

Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie

vorgelegt von  
**Judith Hempel**  
aus Weißenhorn

2017

Die vorliegende Arbeit wurde am 10.01.2018 von der Fakultät Naturwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften“ angenommen.

Dekan:	Prof. Dr. Heinz Breer
1. berichtende Person:	Prof. Dr. habil. Dr. h.c. Reinhold Carle
2. berichtende Person:	Prof. Dr. Jan Frank
Eingereicht am:	17.10.2017
Mündliche Prüfung am:	23.02.2018

**Schriftenreihe des Lehrstuhls  
Lebensmittel pflanzlicher Herkunft**

Herausgeber: Prof. Dr. habil. Dr. h. c. R. Carle  
Universität Hohenheim  
Institut für Lebensmittelwissenschaft  
und Biotechnologie

Band 51/2018

**Judith Hempel**

**Studies into carotenoid deposition forms in plants  
and nutraceutical formulations with special reference  
to their influence on carotenoid bioavailability**

D 100 (Diss. Universität Hohenheim)

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5943-4

ISSN 1860-1367

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)





*„Genius is one percent inspiration and ninety-nine percent perspiration.“*

*Thomas A. Edison*



**DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich all jenen herzlich danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt dabei:

**Herrn Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Reinhold Carle** für die Überlassung des Themas und das mir dabei entgegengebrachte Vertrauen, welches mir ein selbständiges Arbeiten unter hervorragenden Rahmenbedingungen ermöglichte. Besonders bedanken möchte ich mich auch für seine wertvollen Anregungen und seine stete Förderung und Unterstützung mit der er wesentlich zu meiner wissenschaftlichen und persönlichen Weiterentwicklung beitrug.

**Herrn PD Dr. Ralf M. Schweiggert** für die Initiierung des Dissertationsthemas und die engagierte Mitbetreuung der Arbeit. Besonders danke ich ihm auch für die vielen anregenden wissenschaftlichen Diskussionen und die hilfreichen Ratschläge und Kommentare, welche maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beitrugen.

**Frau Prof. Dr. Patricia Esquivel** und **Herrn Prof. Dr. Victor Jiménez** von der Universidad de Costa Rica für die erfolgreiche Kooperation im Rahmen eines Humboldtprojekts und **Frau Prof. Dr. Silvia Quesada** für die Unterstützung bei der Durchführung der Humanstudie zum Verzehr von Pfirsichpalmfrüchten.

**Frau Dr. Annerose Heller** für ihre engagierte Unterstützung bei der licht- und transmissionselektronen-mikroskopischen Untersuchung der Chromoplasten von Pfirsichpalmfrüchten, Gojibeeren und Gacfrüchten, sowie **Frau Evelyn Amrehn** und **Frau Erika Rücker** für ihre Beiträge zur mikroskopischen Untersuchung der Pfirsichpalmfrüchte.

**Frau Prof. Dr. Anja Bosy-Westphal** für die medizinische Unterstützung bei der Konzeption und Durchführung der Humanstudie zum Verzehr verschiedener Zeaxanthinaggregate (Zeaxanthinstudie), sowie **Herrn Prof. Dr. Josef Högel** für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Zeaxanthinstudie.

**Herrn Prof. Dr. Jan Frank** für die freundliche Übernahme des Co-Referats.

**Herrn PD Dr. Sebastian Leptihn** für die Unterstützung bei der Planung und Ausführung der Zirkulardichroismusspektroskopie-Messungen.

**Frau Judith Müller-Maatsch** für die gelungene wissenschaftliche Zusammenarbeit und allen **meinen Doktorandenkollegen** für den anregenden wissenschaftlichen Austausch.

**Herrn Christopher Schädle, Frau Jasmin Sprenger und Frau Monique Fischer** für die wertvollen Beiträge im Rahmen ihrer Masterarbeit/Diplomarbeit sowie besonders **Frau Anja Fischer** für ihre unentbehrliche Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Zeaxanthinstudie und ihren Beitrag im Rahmen ihrer Masterarbeit.

**Herrn Martin Leitenberger** für die stete technische Unterstützung im Labor, **Frau Karin Scholten** für ihre engagierte Hilfe bei der Vorbereitung und Durchführung der Zeaxanthinstudie, sowie **allen Mitarbeitern des Lehrstuhls Technologie und Analytik pflanzlicher Lebensmittel** für ihre stete Hilfsbereitschaft und die freundliche und angenehme Arbeitsatmosphäre.

der **Studienstiftung des deutschen Volkes** für ihre finanzielle Unterstützung und ihre ideelle Förderung in Form von Doktorandenforen und Seminaren.

der **Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)** für die Förderung eines Teilprojekts dieser Arbeit im Rahmen eines Forschungsprojekts SCHW 1759/2-1.

**meiner Familie** für Ihr Verständnis, Ihren steten Rückhalt und ihre Unterstützung.

**meinem Partner** für seine Unterstützung, sein Verständnis, seine unendliche Geduld und seinen unzerstörbaren Frohsinn.

---

CONTENTS

---

CONTENTS

	PRELIMINARY REMARKS	I
	GENERAL INTRODUCTION	1
CHAPTER 1	Lipid-dissolved $\gamma$ -carotene, $\beta$ -carotene, and lycopene in globular chromoplasts of peach palm ( <i>Bactris gasipaes</i> Kunth) fruits.	49
CHAPTER 2	Ultrastructural deposition forms and bioaccessibility of carotenoids and carotenoid esters from goji berries ( <i>Lycium barbarum</i> L.).	75
CHAPTER 3	Non-destructive approach for the characterization of the <i>in situ</i> carotenoid deposition in gac fruit aril.	99
CHAPTER 4	Structure related aggregation behavior of carotenoids and carotenoid esters.	117
CHAPTER 5	Effect of aggregation form on bioavailability of zeaxanthin in humans: a randomized cross-over study	149
	CONCLUDING REMARKS	169
	SUMMARY	183
	ZUSAMMENFASSUNG	185

---