

Carotinoidgehalt und -zusammensetzung verschiedener deutscher Kartoffelsorten und deren Bedeutung für die Fleischfarbe der Knolle

W. IWANZIK¹, M. TEVINI¹, R. STUTE² und R. HILBERT²

¹Botanisches Institut II, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Bundesrepublik Deutschland

²Consumer R&D Center, CPC-Europe, Heilbronn, Bundesrepublik Deutschland

Abschluss des Manuskriptes: 15 November 1982

Summary: *Résumé* p. 160

Zusätzliche Stichworte: Farbmessung, Hochdruckflüssigkeitschromatographie, Violaxanthin, Lutein

Zusammenfassung

Der Carotinoidgehalt bei 13 Kartoffelsorten vom gleichen Standort liegt zwischen 343 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (Sorte Monza) und 27 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ Frischgewicht (Sorte Kero). Hauptkomponente ist Violaxanthin (8–244 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), gefolgt von Lutein, Lutein-5,6-epoxid und geringen Mengen Neoxanthin und Neoxanthin a. Innerhalb der Knolle (Schale, Rinde, Kern) nehmen die Gehalte an Violaxanthin und Lutein von aussen nach innen stark ab, Lutein-5,6-epoxid dagegen nicht.

Fleischfarbe und Carotinoidgehalt stehen in einer direkten linearen Beziehung zueinander. Die beste Korrelation zwischen visueller ebenso wie instrumenteller Farbnote ergibt sich mit dem Gesamt-Carotinoidgehalt. Der Beitrag der einzelnen Carotinoide zur Fleischfarbe ist etwa gleich gross. Die lineare Abhängigkeit der Fleischfarbe vom Carotinoidgehalt gilt nicht mehr bei Sorten mit hohem Carotinoidgehalt.

Zur Farbmessung sind die visuelle Benotung (Fleischfarbenkarte) und die instrumentelle Farbmessung ('Hunter Lab') in gleicher Weise geeignet.

Einleitung

Der Verzehrswert von Kartoffeln ebenso wie der daraus hergestellten Kartoffelerzeugnisse wird in hohem Masse von der Fleischfarbe der Knolle bestimmt. Die Fleischfarbe ist deshalb – und zwar unabhängig davon, welche Farbe vom Verbraucher oder für einen bestimmten Verwendungszweck bevorzugt wird – ein wesentliches Qualitätskriterium bei der Sortenauswahl und -züchtung. (Siebeneick, 1959b; Burton, 1974; Bundessortenamt, 1977).

Die farbgebenden Carotinoide sind darüber hinaus wegen ihrer ausserordentlichen Autoxidationsempfindlichkeit von Bedeutung für die Haltbarkeit von Kartoffeltrockenprodukten (Ausbleichen der Farbe bzw. Geschmacksveränderungen) wie Purcell & Walter (1968, 1974) für Süsskartoffelflocken und Stute (1980) für Kartoffelgranulate und -flocken zeigen konnten. Über die Bedeutung der Carotinoide als Provitamin A-Lieferant bestehen dagegen sehr unterschiedliche Auffassungen (Kasim, 1967).

Trotz dieser generellen Bedeutung für die Qualität der Kartoffel, eines weltweit verwendeten Grundnahrungsmittels, ist über den Gehalt und die Zusammensetzung der Carotinoide in der Kartoffelknolle nur sehr wenig bekannt. Eine enge Beziehung zwi-

schen Fleischfarbe und Gesamt-Carotinoidgehalt haben zuerst Caldwell et al. (1945) aufgezeigt. Der Gesamtcarotinoidgehalt bei weisfleischigen Sorten liegt zwischen 14 und 54 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ Frischgewicht*, der bei gelbfleischigen zwischen 110 und 187 $\mu\text{g}/100\text{ g}$.

Aus dem gleichen Arbeitskreis (Brunstetter & Wiseman, 1947) stammen auch die ersten quantitativen Angaben für die Sorte Katahdin mit Lutein (10–16 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) als Hauptkomponente, daneben β -Carotin (6 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), ζ -Carotin (2 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) und Aureaxanthin, jedoch wurde kein Violaxanthin gefunden. Dieses wurde erst später (Pendlington et al., 1965) neben Lutein, cis-Antheraxanthin und cis-Neoxanthin als Hauptkomponente identifiziert, allerdings nur halbquantitativ über eine säulenchromatographische Trennung. Die bisher umfangreichsten Untersuchungen und zwar an 9 Sorten von je 4 Standorten stammen von Kasim (1967), der wiederum eine andere Hauptkomponente, nämlich Lutein-5,6-epoxid (91–257 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), und daneben β -Carotin-5,6'-5'-6'-diepoxid (33–108 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), Lutein (30–119 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) und Violaxanthin (8–29 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) quantitativ nach papierchromatographischer Trennung bestimmte.

Darüber hinaus finden sich in der Literatur Angaben zum Gesamtcarotinoidgehalt in Kartoffeln von 28–56 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (Lunde, 1943), 2–3 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (Simeonova, 1965), 80–260 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ für schwedische Sorten und gekochte Knollen (Euler et al., 1943) und über den relativen Anteil der einzelnen Carotinoide (Lepage, 1968). Nur bedingt vergleichbar – sowohl bezüglich der Konzentration als auch bezüglich der Zusammensetzung – sind die von Purcell und Waltes (1968) für Süßkartoffeln und den daraus hergestellten Flocken gefundenen Werte von 9200 mg/kg für β -Carotin und 280 kg/mg für Lutein.

Insgesamt unterscheiden sich die Angaben der einzelnen Autoren erheblich, und zwar sowohl bezüglich des Gesamtgehaltes als auch bezüglich der Zusammensetzung. Dies gilt insbesondere auch für die Hauptkomponenten. Violaxanthin oder β -Carotin sind jeweils einmal Hauptbestandteil und ein anderes Mal nicht oder nur in Spuren vorhanden. Sehr unterschiedlich ist auch der Gehalt an Epoxiden.

Diese Unterschiede sind sicher nicht allein dadurch zu erklären, dass verschiedene Sorten aus darüber hinaus verschiedenen Ländern untersucht wurden, sondern dürften in erheblichem Masse auch auf die angewendeten Trenn- und Bestimmungsmethoden zurückzuführen sein (Autoxidation zu Epoxiden während der Aufarbeitung bzw. Verluste an den Aluminiumoxidsäulen).

Es war deshalb das Ziel der folgenden Untersuchungen, mit Hilfe der Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) und den in der Pflanzenanalytik erprobten Extraktions- und Aufbereitungsverfahren zuverlässige Zahlen über den Gehalt, die Verteilung und die Zusammensetzung der Carotinoide der Kartoffelknolle zu erhalten, mit denen Aussagen nicht nur über die Fleischfarbe, sondern in weiteren Untersuchungen auch Angaben über das Verhalten der einzelnen Carotinoide bei der Zubereitung oder in Verarbeitungsprozessen ermöglicht werden.

Material und Methode

Pflanzenmaterial

Als Ausgangsmaterial dienten Kartoffelknollen (*Solanum tuberosum*) der deutschen Sorten Monza, Granola, Assia, Roxi, Irmgard, Culpa, Terrine, Tempora, Saturna,

* Alle weiteren Angaben ebenfalls bezogen auf Frischgewicht.

Kristalla, Sommerstärke, Ilse und Kero aus der Ernte Oktober 1980, die unter identischen Bedingungen (Boden, Pflanztermin, Reihenabstand, Pflanzweite, Vorfrucht und Düngung) in Ohrdorf/Niedersachsen angebaut worden waren. Zur beispielhaften Ermittlung der Carotinoideverteilung innerhalb der Knolle wurde bei der Sorte Assia eine Zonierung der Knolle in Schale (1 mm Dicke), Rinde (etwa 0.5 cm Dicke) und Kern (Rest der Knolle) vorgenommen.

Extraktion der Carotinoide

Die Extraktion erfolgte nach Tevini und Lichtenthaler (1970). Je 4 gewaschene Kartoffelknollen der verschiedenen Sorten mit einem Frischgewicht von etwa 300 g wurden grob zerkleinert und in einem Waring-Blendor mit 300 ml Aceton homogenisiert. Die festen Bestandteile wurden abfiltriert und die Carotinoide aus dem Filtrat quantitativ mit Petrolbenzin extrahiert, der Extrakt bis zur Trockene eingeeengt und mit Aceton auf ein definiertes Volumen aufgefüllt. Dieser Extrakt wurde direkt zur Trennung der Carotinoide in der HPLC eingesetzt. Die Variationsbreite der Carotinoidgehalte innerhalb einer Kartoffelsorte wurde in Vorversuchen mit rund 10 % ermittelt, so dass 4 Kartoffelknollen als ausreichend für die Bestimmung des mittleren Gehaltes an Carotinoiden angesehen werden können.

Chromatographie der Carotinoide

Die Carotinoide wurden durch Reversed-Phase HPLC auf einer 30 cm langen RP 18 (5 μ m) Säule mit einem Methanol-Wasser-Gradienten getrennt. Gerät: Hewlett Packard 1084 B. Der Methanolanteil wurde innerhalb 10 Minuten von 88 % auf 98 % erhöht. Die Flussrate betrug 2,5 ml/min und wurde zwischen der 10. und 15. Minute auf 4 ml/min gesteigert (Tevini et al., 1981). Die Detektion mit einem variablen Wellenlängendetektor erfolgte bei 430 nm. Die Identifizierung der einzelnen Carotinoide wurde aufgrund ihres Absorptionsspektrums und durch Co-Chromatographie von Reinsubstanzen vorgenommen. Die absoluten Gehalte der Carotinoide ergaben sich aus entsprechenden Eichkurven. Die Reinsubstanzen wurden nach Hager et al. (1966, 1967) dünn-schichtchromatographisch isoliert und spektralphotometrisch identifiziert. Die Wiederfindungsrate der Carotinoide nach HPLC-Trennung beträgt 95–100 % (Braumann & Grimme, 1981), während bei der Dünnschichtchromatographie abhängig vom einzelnen Carotinoide Verluste bis zu 30 % auftreten (Stransky, 1978). Die Reproduzierbarkeit der HPLC beträgt 100 % \pm 2 % (Stransky, 1978).

Farbmessung

Die visuelle Farbnotenung erfolgte anhand frisch aufgeschnittener Knollen (Querschnitt Nabel/Krone) entweder einfach nach Farbtintensität oder unter Zuhilfenahme der Farbkarten für Kartoffelfleischfarben (Kartoffel-Atlas Dr. Siebeneick, 1959a). Die instrumentellen Farbmessungen wurden nach Grünwald (1959, 1974) mit einem Hunter-Lab-Dreibereichs-Farbmessgerät D 25 (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, Virginia, USA)* durchgeführt. Verwendet wurden jeweils frisch aufgeschnittene Knollen mittlerer Grösse, deren Oberfläche direkt vor der Messung durch Betupfen mit

*Dr. Th. Grünwald, Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Institut für Verfahrenstechnik, Karlsruhe, sei an dieser Stelle für die Zurverfügungstellung des Hunter-Lab-Gerätes gedankt.

Kleenex Tüchern abgetrocknet wurde. Pro Querschnitt wurden jeweils 2–3 Messwerte erhalten. Die Messöffnung am Hunter-Lab betrug 10 mm. Die Eichung erfolgte gegen eine gelbe Kachel.

Ergebnisse

Carotinoidgehalte verschiedener Kartoffelsorten

Die Gesamtcarotinoidgehalte (als Summe der bestimmten Einzelcarotinoide) in den Knollen von 13 verschiedenen Kartoffelsorten bewegen sich zwischen 343 μg (Sorte Monza) und 27 μg (Sorte Kero) pro 100 g Frischgewicht.

Als Hauptkomponenten konnten Violaxanthin, Lutein und Lutein-5,6-epoxid identifiziert werden. Violaxanthin kann, insbesondere bei den gelben Sorten mit hohem Carotinoidgehalt, rund die Hälfte aller Carotinoide ausmachen, während bei den helleren Sorten eher das Lutein dominiert. Neoxanthin A und Neoxanthin treten nur in geringer Konzentration auf, und β -Carotin als Provitamin A ist, wenn überhaupt, nur in Spuren vorhanden. Weitere, jedoch auch nur in geringer Konzentration vorkommende Carotinoide (Abb. 1, Peak Nr. 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16) konnten bisher nicht identifiziert werden.

Fleischfarbe der einzelnen Sorten

Nach dem visuellen Farbeindruck sowie dem Gehalt an Carotinoiden, die wie einleitend ausgeführt massgeblich für die Fleischfarbe verantwortlich sind, können die Sorten Granola und Monza als intensiv gelb und die Sorten Kristalla, Sommerstärke und Kero als ausgesprochen weissfleischig eingestuft werden. Alle übrigen Sorten liegen dazwischen und weisen eine mehr oder weniger gelbe Fleischfarbe auf. Die mit Hilfe der Farbkarte (Kartoffel-Atlas Dr. Siebeneick, 1959a, b) visuell bestimmten Farbnoten liegen zwischen der Note 3 für die intensiv gelb gefärbten Sorten und der Note 13 für die sehr weissfleischige Sorte Sommerstärke.

Bei den instrumentell mit dem Hunter-Lab ermittelten Farbwerten liegen die a-Werte, d.h. die Werte auf der Rot-Grün-Achse im negativen, d.h. im grünen Bereich, während die Werte auf der Gelb-Blau-Achse (b-Werte) deutlich positiv sind, d.h. eindeutig im gelben Bereich liegen. Die Helligkeitswerte (L-Werte) unterscheiden sich nur sehr wenig und liegen zwischen 66 und 72 auf der von 0 (schwarz) bis 100 (weiss) zählenden Skala.

Pigmentgehalte in verschiedenen Zonen der Kartoffelknolle

Am Beispiel der Sorte Assia wurde untersucht, welche Unterschiede bezüglich des Carotinoidgehaltes zwischen der Schale (1 mm Dicke), der Rinde (etwa 0,5 cm Dicke) und dem Kern der Kartoffelknolle bestehen. Es zeigt sich, dass der Gesamtgehalt an bestimmten Carotinoiden von aussen nach innen sehr stark abnimmt.

Die Schale enthält, bezogen auf das Frischgewicht, etwa doppelt so viel Carotinoide wie der Kern. Während die Hauptkomponenten Violaxanthin und Lutein von aussen nach innen gleichermassen abnehmen, bleibt der Gehalt an Lutein-5,6-epoxid in allen drei Zonen nahezu konstant. Die übrigen Carotinoide sind jeweils nur in geringen Konzentrationen oder in Spuren vorhanden.

KARTOFFELCAROTINOIDE UND FLEISCHFARBE DER KNOLLE

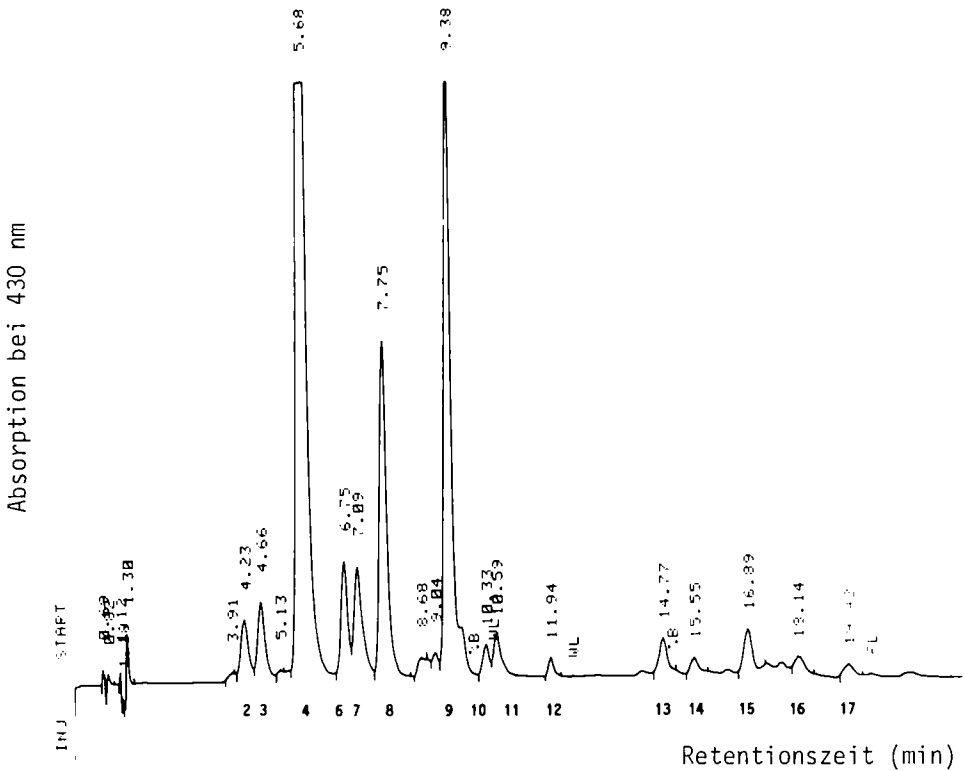
Tabelle 1. Carotinoidgehalte verschiedener Kartoffelsorten ($\mu\text{g}/100\text{ g}$ Frischgewicht).

	Monza	Granola	Assia	Roxi	Irmgard	Culpa	Terrine	Tempora	Saturna	Kri- stalla	Sommer- stärke	Ilse	Kero
Neoxanthin a	7,2	4,5	3,6	3,2	10,1	6,2	15,5	3,1	3,0	3,5	11,3	2,0	1,1
Neoxanthin	8,7	7,0	5,1	3,2	4,8	2,0	3,4	1,2	1,4	-	2,3	1,6	-
Violaxanthin	189,1	244,5	88,6	116,0	70,4	84,4	28,3	44,5	31,1	21,8	13,5	26,6	7,9
Lutein	88,0	51,1	44,3	37,6	40,6	26,1	37,3	42,7	24,7	40,2	33,5	21,4	15,7
β -Carotin	sp.	-	sp.	-	-	-	-	1,06	-	-	-	-	-
Lutein- 5,6-epoxid	49,7	18,8	51,0	11,2	31,1	31,5	29,1	20,3	25,7	8,0	4,9	9,3	2,7
Gesamt ¹	342,7	328,9	192,6	171,2	157,0	150,2	113,5	112,8	85,7	73,5	65,6	60,7	27,4
¹ Total - Total													

Table 1. Carotenoid contents of various potato cultivars ($\mu\text{g}/100\text{ g}$ fresh weight).

Tableau 1. Teneurs en caroténoïdes de différentes variétés de pommes de terre ($\mu\text{g}/100\text{ g}$ matière fraîche).

Abb. 1. HPLC-Trennung von Kartoffelcarotinoiden (Acetonextrakt).



2 = Neoxanthin a; 3 = Neoxanthin; 4 = Violaxanthin; 8 = Lutein-5,6-epoxid; 9 = Lutein; 12 = Chlorophyll b; 13 = Chlorophyll a; 17 = β -Carotin; 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16 = Nicht identifiziert - *Not identified - Non indentifié*

Absorption bei - *Absorption at - Absorption à*
 Retentionszeit - *Retention time - Temps de rétention*

Fig. 1. HPLC separation of potato carotenoids (acetone extract).
 Fig. 1. Fractionnement des caroténoïdes avec HPLC (extrait à l'acétone).

Diskussion

Carotinoidgehalt und Verteilung in der Kartoffelknolle

Die HPLC von Carotinoiden bietet im Vergleich zu anderen chromatographischen Methoden, wie die herkömmliche Säulen-, Papier- und Dünnschichtchromatographie, den erheblichen Vorteil der schnellen Auftrennung unter weitgehender Vermeidung von oxidativen Veränderungen der Carotinoide durch Luftsauerstoff. Die Bildung von Artefakten wird dadurch stark zurückgedrängt.

Tabelle 2. Carotinoidverteilung innerhalb der Kartoffelknolle in $\mu\text{g}/100\text{ g}$ Frischgewicht (Sorte Assia).

	Schale ¹	Rinde ²	Kern ³
Neoxanthin a	3	4,5	1,9
Neoxanthin	5,8	4,1	2,9
Violaxanthin	200,5	122,7	86,6
Lutein	222,1	103,8	80,4
β -Carotin	sp.	sp.	sp.
Lutein-5,6-epoxid	67,7	88,0	83,3
Gesamt-Carotinoide ⁴	499,1	323,1	255,1

¹Skin - Peau; ²Cortex - Ecorce; ³Pith - Moelle; ⁴Total carotenoids - Total des caroténoïdes

Table 2. Carotenoid distribution within potato tubers as $\mu\text{g}/100\text{ g}$ fresh weight (cv. Assia).
Tableau 2. Répartition des caroténoïdes dans le tubercule en $\mu\text{g}/100\text{ g}$ matière fraîche (variété Assia).

Hauptcarotinoidkomponenten der Kartoffelknolle sind Violaxanthin und Lutein, wobei das Violaxanthin insbesondere in den intensiv gelbfleischigen Sorten dominiert, zu den weissfleischigen Sorten hin jedoch stark abnimmt. Dagegen ist die Abnahme des Gehaltes an Lutein von den gelbfleischigen zu den weissfleischigen Sorten hin weniger ausgeprägt, und in letzteren wird Lutein sogar zur Hauptkomponente.

Die gefundenen Carotinoidgehalte unterscheiden sich z.T. erheblich von bisher (Kasim, 1967) gefundenen Werten. Insbesondere wurden bisher sehr hohe Anteile an Carotinoidepoxiden bestimmt (Lutein-5,6-epoxid; β -Carotin-5,6-5',6'-diepoxid), wobei das Lutein-5,6-epoxid sogar die Hauptkomponente darstellte, während es in den von uns untersuchten Kartoffelsorten lediglich als Nebenkompente vertreten ist. Es ist unwahrscheinlich, dass diese unterschiedlichen Verteilungen ausschliesslich auf die Variabilität der einzelnen Sorten und Anbauggebiete zurückzuführen sind; vielmehr dürften die Epoxide zum grossen Teil Artefakte sein, die bei der Extraktbereitung und vor allem bei der von Kasim angewendeten Papierchromatographie im Gegensatz zur hier benutzten HPLC entstehen (geringe Artefaktbildung, hohe Reproduzierbarkeit und Wiederfindungsrate der HPLC im Vergleich zur Dünnschicht- und Papierchromatographie; siehe auch Braumann & Grimme, 1981; Stransky, 1978. Übereinstimmend mit den obigen Untersuchungen von Kasim ist β -Carotin nur in Spuren vorhanden.

Die quantitative Bestimmung der Carotinoide in den Teilbereichen Schale, Rinde und Kernfleisch von Kartoffelknollen der Sorte Assia zeigte, dass sich die Schale durch einen besonders hohen Gehalt an Carotinoiden auszeichnet, der zum Inneren der Knolle hin deutlich abnimmt. Diese Abnahme geht ausschliesslich zu Lasten der beiden Hauptcarotinoide Violaxanthin und Lutein, während der Gehalt an Lutein-5,6-epoxid nahezu unverändert bleibt. Dies ist in Übereinstimmung mit der Hypothese, dass die Carotin-Epoxide in Pflanzen als Sauerstoffträger bei der Reifung fungieren (Zsolt et al., 1963).

Fleischfarbe

Die visuell mit Hilfe der Farbkarte und instrumentell gemessenen Farbwerte für

Tabelle 3. Visuelle und instrumentelle Farbbewertung verschiedener Kartoffelsorten (Korrelation zwischen visuellen und instrumentellen Farbnoten $a \cdot b/L$ bzw. $a \cdot b$ jeweils $r = 0,90$, ohne Sorte Assia jeweils $r = 0,95$).

Sorte ¹	Instrumentelle Farbbewertung ²			Visuelle Farbbewertung ⁴		Einfach visuelle Rangordnung ⁶
	Rangordnung ³	$a \cdot b/L$	$a \cdot b$	Rangordnung	Farbnote ⁵	
Monza	1	2,56	184	1	3	3
Assia	2	2,43	170	7	6,5	5
Granola	3	2,27	151	3	5	1
Roxi	4	2,25	154	5	5,5	4
Ilse	5	2,04	146	2	4	2
Tempora	6	1,87	132	6	6	6
Irmgard	7	1,85	122	4	5	7
Terrine	8	1,63	112	8	7	8
Saturna	9	1,50	103	9	7,5	9
Kristalla	10	0,98	71	10	9	10
Kero	11	0,98	70	11	11	12
Sommerstärke	12	0,70	46	12	13	11

¹ Cultivar - Variété; ² Instrumental colour values - Mesuration avec l'appareil; ³ Ranking - Classé selon rang; ⁴ Visual colour values - Evaluation visuelle; ⁵ Colour rating - Note de coloration; ⁶ Simple visual ranking - Classé selon rang, méthode visuelle simple

Table 3. Visual and instrumental colour values of various potato cultivars (correlations between visual and instrumental ratings $a \cdot b/L$ or $a \cdot b$ were each $r = 0,90$, without the cv. Assia both were $r = 0,95$).
Tableau 3. Pointage visuel et mesurage avec l'appareil, de la coloration de la chair de différentes variétés de pommes de terre (corrélation entre méthode visuelle et mesurage appareil, notes de coloration $a \cdot b/L$ ou $a \cdot b$ était $r = 0,90$, sans la variété Assia $r = 0,95$).

die verschiedenen Kartoffelsorten zeigen Tab. 3 und Abb. 2. Aus Tab. 3 geht zunächst hervor, dass die einfache visuelle Rangordnung, d.h. die ohne Hilfsmittel lediglich nach Farbeindruck erstellte Reihenfolge entsprechend abnehmender Farbintensität nur teilweise mit der ebenfalls visuell, aber an Hand der Farbtafel bestimmten Rangordnung übereinstimmt.

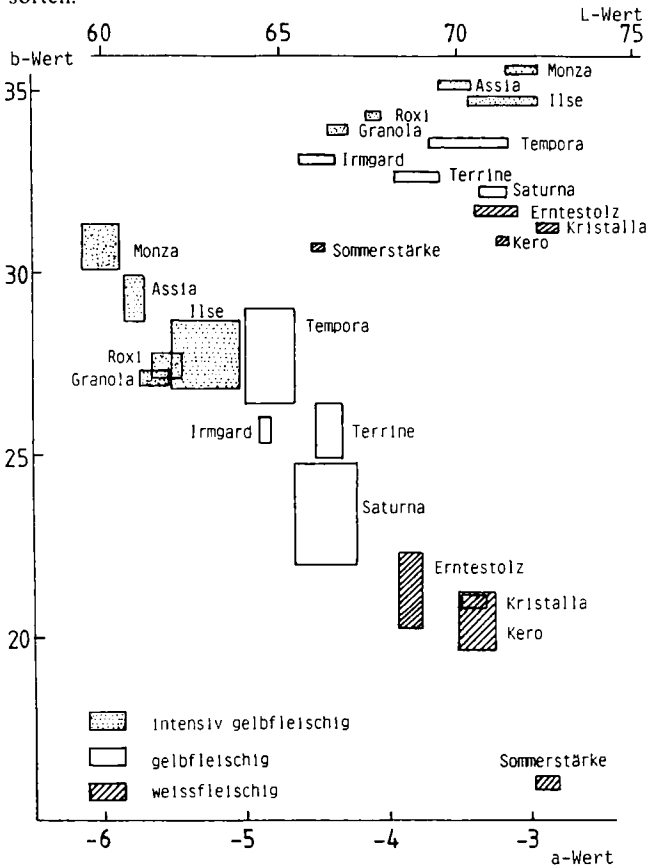
Gleiches gilt für die instrumentell bestimmte Rangordnung. Die Abweichungen sind besonders gross bei den Sorten mit intensiver Fleischfarbe. Unterschiedliche Farbtöne (z.B. rote Farbtöne) bzw. auch eine über den Querschnitt der Knolle unterschiedliche Farbintensität (s. auch Abb. 2) werden offensichtlich durch die verschiedenen Methoden, und zwar sowohl visuell als auch instrumentell, unterschiedlich beurteilt bzw. erfasst.

Hierin liegt ein grundsätzliches Problem vor allem der visuellen Farbbestimmung, und hierin liegt auch der Grund, warum andere Farbkarten wie der Pflanzenfarben-Atlas (Biesalski, 1957) oder der Farbmischfächer Pantone (Siegwerke, 1980) sich kaum verwenden lassen. Entweder sind die Farbabstimmungen zu grob oder bei an sich feinen Farbabstufungen fehlt der typische Kartoffelfleischfarbton.

Insgesamt ist die Korrelation zwischen visuellen und instrumentellen Farbnoten jedoch gut (Korrelationskoeffizient in Abb. 3 $r = 0,90$ bzw. ohne Sorte Assia $0,95$.)

KARTOFFELCAROTINOIDE UND FLEISCHFARBE DER KNOLLE

Abb. 2. Farbzahlen (a, b) und Helligkeitswerte (L) nach R. S. Hunter für verschiedene Kartoffelsorten.



L-Wert - L-value - Valeur L

a-Wert - a-value - Valeur a

Intensiv gelbfleischig - Intense yellow-fleshed - Coloration jaune foncé de la chair

Gelbfleischig - Yellow-fleshed - Chair jaune

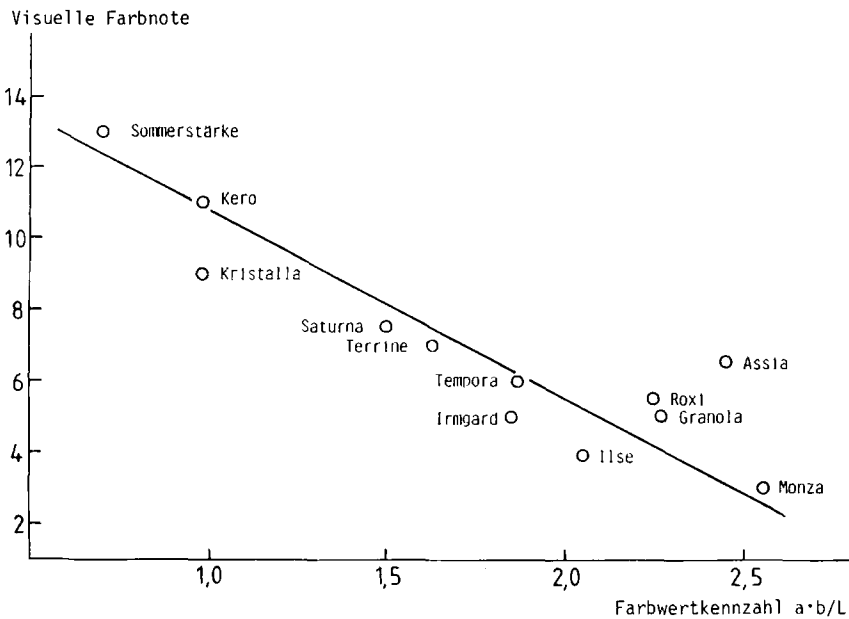
Weissfleischig - White-fleshed - Chair blanche

Fig. 2. Colour scores (a, b) and lightness values (L) after R. S. Hunter for various potato varieties.
 Fig. 2. Valeur de coloration (a, b) et degré de clarté (L) selon R. S. Hunter pour différentes variétés de pommes de terre.

Die gute Korrelation ergibt sich aus der praktisch linearen Zunahme der a, b-Werte mit der Fleischfarbe, während die Helligkeitswerte keine Korrelation zur Fleischfarbe erkennen lassen (Abb. 3).

Die bei der instrumentellen Farbmessung an sich übliche Einbeziehung des Helligkeitswertes in einen Wert $a \cdot b/L$ ergibt in diesem Fall deshalb auch keine verbesserte Korrelation.

Abb. 3. Korrelation zwischen visueller Farbnote und instrumentellem Farbmesswert.



Visuelle Farbnote - Visual colour rating - Note de coloration visuelle
 Farbwertkennzahl - Colour value code - Indice de coloration

Fig. 3. Correlation between visual colour rating and instrumental colour measurements.
 Fig. 3. Corrélation entre note de coloration visuelle et mensuration avec l'appareil.

Fleischfarbe und Carotinoidgehalt

Den Zusammenhang zwischen Farbnoten und Gesamt-Carotinoidgehalt zeigt Abb. 4. In Übereinstimmung mit der eingangs zitierten Literatur besitzen weisssfleischige Sorten einen niedrigen Carotinoidgehalt, und dieser steigt bis zu den intensiv gelben Sorten Monza und Granola etwa auf den 15-fachen Wert.

Auch die mit Hilfe der multiplen linearen Regression errechneten Korrelationskoeffizienten zwischen dem Gehalt an einzelnen Carotinoiden und den Farbwerten (in Tab. 4 beispielhaft nur für den Farbwert $a \cdot b/L$ dargestellt) sind insgesamt hoch. Eine Ausnahme bildet das Neoxanthin A, welches weder mit den übrigen Carotinoidwerten noch mit den anderen Farbwerten eine befriedigende Korrelation zeigt.

Eine Nichtberücksichtigung der auch in Abb. 4 deutlich herausfallenden Carotinoidwerte für die Sorten Ilse sowie Monza und Granola erhöht die Korrelation ($r_{\text{total}} = 0,89$ auf $r_{\text{total}} = 0,94$ bzw. $0,99$). Die bei der visuellen Farbbestimmung herausfallende Sorte Assia ist bezüglich der Korrelation mit den Carotinoidwerten dagegen ohne Einfluss.

Insgesamt liegt die beste Korrelation zwischen instrumentell bestimmter Fleischfarbe und Gesamtcarotinoid-Gehalt vor. Dies ergibt sich vor allem auch aus hier nicht aufgeführten Korrelationsrechnungen zu den Werten in Tab. 1 und Tab. 3.

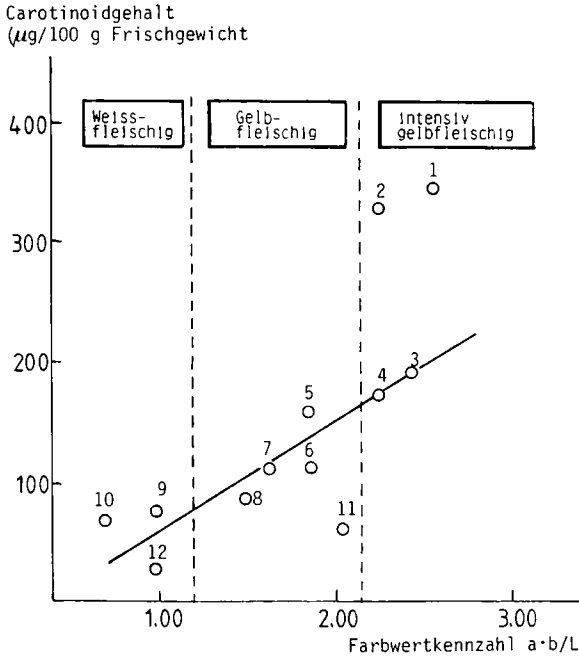


Abb. 4. Korrelation zwischen Gesamt-Carotinoidgehalt und Farbnote bzw. Fleischfarbe verschiedener Kartoffelsorten.

Farbwertkennzahl - Colour value code - Indice de coloration; Carotinoidgehalt (µg/100 g Frischgewicht) - Carotenoid-content (µg/100 g fresh weight) - Teneur en caroténoïdes (µg/100 g matière fraîche); Weissfleischig, Gelbfleischig, Intensiv Gelbfleischig - See Fig. 2 - Voir Fig. 2

Fig. 4. Correlation between total carotenoid content and colour rating or flesh colour of various potato varieties.

Fig. 4. Corrélation entre la teneur totale en caroténoïdes et note de coloration de la chair de différentes variétés de pommes de terre.

1 = Monza; 2 = Granola; 3 = Assia; 4 = Roxi; 5 = Irmgard; 6 = Terrine; 7 = Tempora; 8 = Saturna; 9 = Kristalla; 10 = Sommerstärke; 11 = Ilse; 12 = Kero.

Tabelle 4. Korrelationskoeffizienten der multiplen linearen Regressionsanalyse für die verschiedenen Carotinoide und den instrumentellen Farbwert a · b/L.

Variable ¹	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Neoxanthin A	-							
2. Neoxanthin	0,31	-						
3. Violaxanthin	0,05	0,86	-					
4. Lutein	0,24	0,82	0,72	-				
5. Lutein-5,6-epoxid	0,23	0,71	0,43	0,67	-			
6. Gesamt-Carotinoide ohne Luteinepoxid ²	0,59	0,91	0,98	0,82	0,51	-		
7. Gesamt-Carotinoide	0,09	0,94	0,96	0,85	0,63	0,99	-	
8. Farbwert ³ a · b/L	0,05	0,76	0,72	0,61	0,68	0,74	0,78	-

$r_{\text{total}}^4 = 0,89$; ohne⁵ Ilse $r = 0,94$; ohne Ilse, Monza und Granola $r = 0,99$

¹ Variable - Variante; ² Total carotenoids without lutein epoxide - Total des caroténoïdes sans époxide de luteine; ³ Colour value - Coloration; ⁴ Total - Totale; ⁵ Without - Sans

Table 4. Correlation coefficients from a multiple linear regression analysis for various carotenoids and the instrumental colour value a · b/L.

Tableau 4. Coefficient de corrélation de la méthode d'analyse multiple linéaire de régression, pour les différentes caroténoïdes et l'indice de coloration obtenu avec l'appareil a · b/L.

Bereits die Hauptkomponente, das Violaxanthin, das in den einzelnen Sorten zwischen 21–74 % der quantifizierbaren Carotinoide ausmacht, zeigt eine geringere Korrelation. Dieses Ergebnis wird sehr einfach verständlich, wenn man die Farben verdünnter Lösungen der hier analysierten Carotinoide vergleicht. Sie besitzen alle eine sehr ähnliche gelbe Farbe und unterscheiden sich auch in den Spektren nur unwesentlich, so dass die Schlussfolgerung zulässig ist, dass jeder Carotinoidbestandteil (das Neoxanthin A eventuell ausgenommen) einen der jeweiligen Konzentration entsprechenden Beitrag zur Fleischfarbe leistet und der Gesamt-Carotinoidgehalt den Gesamtfarbeindruck, d. h. die Fleischfarbe damit am besten wiedergibt.

Warum einzelne Sorten von der insgesamt gültigen Korrelation stärker abweichen als die übrigen, kann aufgrund der hier durchgeführten Untersuchungen nicht eindeutig beantwortet werden. Bei den Sorten Monza und Granola mit extrem hohen Carotinoidgehalten und deutlich rötlicher Fleischfarbe könnte ein in diesem Bereich nicht mehr linearer Zusammenhang zwischen Fleischfarbe und Carotinoidgehalt angenommen werden, bei der Sorte Ilse dagegen muss aufgrund der trotz intensiver Fleischfarbe niedrigen Carotinoidgehalte ein Beitrag anderer farbgebender, im Rahmen dieser Untersuchungen nicht erfasster Inhaltsstoffe wie z. B. Xanthophyllester (Goodwin, 1980) oder Flavone oder Flavonole (Harborne, 1962; Lampitt & Goldenberg, 1940) zur Erklärung angenommen werden. Insgesamt bestätigen die hier durchgeführten Untersuchungen jedoch den dominierenden Einfluss der Carotinoide auf die Kartoffelfleischfarbe.

Summary

Carotenoid content and composition of various German potato varieties and its relationship to tuber flesh colour

The carotenoid composition and content of 13 potato cultivars grown under identical conditions were determined by HPLC (Fig. 1). Total carotenoid content varied between 343 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (cv. Monza) and 27 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ fresh weight (cv. Kero) (Table 1). The main component was violaxanthin ranging from 8 μg to 244 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, followed by lutein and lutein-5,6-epoxide, and in lower concentrations, neoxanthin A and neoxanthin. β -carotene was either detected in trace quantities or not at all. The levels of violaxanthin and lutein fell sharply from the outside to the inside of the tuber (skin, cortex, pith), whereas the levels of lutein-5,6-epoxide stayed practically constant (Table 2).

Flesh colour and total carotenoid content were linearly related (Fig. 4) and the contributions of individual carotenoids to colour were similar. A multiple linear regression analysis showed that with the exception of neoxanthin A there was a good correlation between all the carotenoids and colour value or rating (Table

4). The best correlations were between total carotenoid content and both the colour rating assessed from standard colour cards for potato flesh colour and the instrumentally measured colour values (Hunter-Lab) (Fig. 4). The relationship was non-linear for cultivars with very high carotenoid contents. The intensive flesh colour of cv. Ilse, despite relatively low levels of carotenoids, is presumed to be due to the presence of other, as yet unidentified, pigments (Fig. 4).

Visual assessment using the potato flesh colour card and instrumental measurements (determining the a, b and L values in Hunter-Lab) were equally suitable for measuring colour. The a and b values, i.e. the instrumentally measured colour values for the red-green and yellow-blue bands, were directly correlated with the visually determined flesh colour, whilst the lightness value L showed no relationship to the flesh colour of the cultivars (Fig. 2).

Résumé

Teneur en caroténoïdes dans différentes variétés de pommes de terre allemandes, ainsi que leur importance sur la coloration de la chair des tubercules

La teneur et la composition des caroténoïdes ont été déterminées avec l'aide de la méthode HPLC sur 13 variétés de pommes de terre d'une même provenance (fig. 1). La teneur totale en caroténoïdes était située entre 343 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (variété Monza) et 27 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de poids frais (variété Kero) (tab. 1). Le composant principal est la violaxanthine avec des valeurs se situant entre 8 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ et 244 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, viennent ensuite la luteïne et la luteïne-5,6-époxyde, puis dans des concentrations plus faibles, la néoxanthine A et la néoxanthine. Le β -carotène n'a pas pu être dosé, sinon seulement sous forme de traces. Les teneurs en violaxanthine et en luteïne vont en décroissant de la peau à la moelle du tubercule (peau, écorce, moelle), en revanche la luteïne-5,6-époxyde est pratiquement constante (tab. 2).

La coloration de la chair et la teneur en caroténoïdes sont en étroite relation (fig. 4). La contribution des différents caroténoïdes sur la coloration de la chair est à peu près égale. L'analyse multiple linéaire de régression donne une bonne corrélation entre les caroténoïdes et la

note de coloration, à l'exception de la néoxanthine A. La teneur totale en caroténoïdes donne pour cette raison, tant avec la méthode visuelle de taxation (échelle de coloration des chairs de pommes de terre) que par la mensuration avec l'appareil (Hunter-Lab), la meilleure corrélation (fig. 4). Pour les variétés à très haute teneur en caroténoïdes la relation avec la coloration de la chair n'est plus linéaire. Chez la variété Ilse qui présente une teneur relativement faible de caroténoïdes mais une coloration intensive de la chair, il doit s'agir d'autres pigments non identifiés dans ce travail (fig. 4).

Pour la mensuration de la coloration de la chair des pommes de terre, la méthode visuelle avec l'aide d'une échelle de pointage et l'appareil de mesurage (détermination des valeurs a, b, et L avec Hunter-Lab) donnent des résultats identiques. Les valeurs a et b obtenues avec l'appareil sur l'axe rouge-vert et jaune-bleu sont en corrélation avec le pointage visuel de la coloration de la chair (fig. 3). En revanche le degré de clarté ne présente pas de relation avec la coloration de la chair (fig. 2).

Literatur

- Biesalski, E., 1957. Pflanzenfarbenatlas für Gartenbau, Landwirtschaft und Forsten mit Farbzeichen nach DIN 6164. Meisterschmidt-Verlag, Göttingen, 1957.
- Braumann, T. & L. H. Grimme, 1981. Reversed phase HPLC of chlorophylls and carotenoids. *Biochem. Biophys. Acta* 637: 8-17.
- Brunstetter, B. C. & G. Wiseman, 1947. Carotenoid pigments in tubers of the katahdin variety of Irish potatoes. *Plant Physiol.* 22: 421-437.
- Bundessortenamt, 1977. Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Herausgeber: Bundessortenamt. Alfred Strothe Verlag, Hannover.
- Burton, W. G., 1974. Requirements of the users of ware potatoes. *Potato Res.* 17: 374-409.
- Caldwell, J. S., B. C. Brunstetter, C. W. Culpepper & B. D. Ezell, 1945. Causes and control of discoloration in dehydration of white potatoes. *Canner* 100 (13) 35; (14) 15; (15) 14.
- Euler, H. V., L. Ahlström & B. Mögberg, 1943. Zur Kenntnis des Vitamingehaltes von Nahrungsmitteln I. Vitamine in Kartoffeln. *Arkiv Kemi, Min. Geol.* 16 (11) 1.
- Goodwin, T. W., 1980. The biochemistry of the carotenoids, Vol. 1. Plants, 2nd ed. Chapman & Hall, London/New York.
- Grünwald, T., 1959. Über die Auswertung von Farbmessungen an Lebensmitteln. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 61: 440-450.
- Grünwald, T., 1974. Instrumentelle Farbmessungen von Kartoffeln. *Confructa* 19: 109-110.
- Hager, A. & T. Meyer-Bertenrath, 1966. Isolierung und quantitative Bestimmung der Carotinoide und Chlorophylle von Blättern, Algen und isolierten Chloroplasten mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie. *Planta* 69: 198-217.

- Hager, A. & T. Meyer-Bertenrath, 1967. Identifizierung der an Dünnschichten getrennten Carotinoide grüner Blätter und Algen. *Planta* 76: 149-168.
- Harborne, J. B., 1962. The flavonol glycosides of wild and cultivated potatoes. *Biochem. J.* 84: 100-106.
- Kasim, M., 1967. Untersuchungen über die Zusammensetzung der Kartoffel-Carotinoide. *Nahrung* 11: 411-415.
- Lampitt, L. H. & N. Goldenberg, 1940. The composition of the potato. *Chem. & Ind.* 18: 748-761.
- Lepage, M., 1968. The lipid components of white potato tubers. *Lipids* 3 (6): 477-481.
- Lunde, G., 1943. Vitamine in frischen und konservierten Nahrungsmitteln. Berlin.
- Pendlington, S. & M. S. Dupont, 1965. Proceedings of the Biochemical Society 'The carotenoid pigments of *S. tuberosum*', 25 pp.
- Pendlington, S., M. S. Dupont & F. J. Trüssel, 1963. The carotenoid pigments of *S. tuberosum*. Vortrag 2. Dreijahrestagung EAPR (Pisa 1963).
- Purcell, A. E. & M. W. Walter, 1968. Autoxidation of carotenes in dehydrated sweet potato flakes using ¹⁴C-β-carotene. *J. Agric. Food Chem.* 16 (4): 650-653.
- Purcell, A. E. & M. W. Walter, 1974. Lipid autoxidation in precooked dehydrated potato flakes. *J. Agric. Food Chem.* 22 (2): 289-203.
- Siebeneick, H., 1959a. Farbtafel zur Bestimmung von Kartoffelfleischfarben im 'Kartoffelatlas Dr. Siebeneick'. Verlag 'Die Kartoffelwirtschaft' GmbH, Hamburg 195924.
- Siebeneick, H., 1959b. Beobachtungen an der Fleischfarbe von Kartoffeln. *Eur. Potato J.* 2 (4): 229-237.
- Siegwerk Farbenfabrik Keller, Dr. Runge & Co., Siegburg, 1980. Farbmischfächer-Pantone.
- Simeonova, W., 1965. Veränderung der chemischen Zusammensetzung einiger Lebensmittel bei Einwirkung von Wärme bzw. Pepsin. *Nahrung* 9: 306-312.
- Stransky, H., 1978. Quantitative Bestimmung von Chloroplastenpigmenten im pico-Mol-Bereich mit Hilfe einer isokratischen HPLC-Methode. *Z. Naturforschung* 33c: 836-40.
- Stute, R., 1980. Die Bedeutung der Carotinoide für die Stabilität und Stabilisierung von Kartoffelpüreeprodukten. Vortrag 2. Kartoffeltagung (Detmold, November 1980).
- Tevini, M. & H. K. Lichtenthaler, 1970. Untersuchungen über die Pigment- und Lipochinonausstattung der photosynth. Pigmentsysteme. *Z. Pflanzenphysiol.* 62: 17-32.
- Tevini, M., W. Iwanzik & M. Thoma, 1981. Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants. *Planta* 153: 388-94.
- Zsolt, J., G. Y. Schneider & B. Matkowics, 1963. Carotenoid changes in different maize varieties during ripening. *Canad. J. Biochem. Physiol.* 41: 481-486.