

Olga Gorbachevskaya, Christel Kappis, Hendrikje Schreiter, Steffi Tschuikowa

Mehr gesundheitsfördernde Stoffe und Geschmack im Speicherorgan von Gemüse durch Farbfolie

More health-supporting substances and taste in the storage organ of vegetables by colored foils

223

Zusammenfassung

Die Wirkung von Veränderungen der Lichtspektren hinsichtlich des Rot-Blau-Verhältnisses und der Anteile an Dunkelrot (700 nm \pm 30) auf die Bildung des Speicherorgans von Gemüse wurde in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten bestätigt. Diese Wirkung kann mit der Erhöhung des Gehaltes an Antioxidantien im Speicherorgan begleitet sein. In den vom IASP 2015 durchgeführten Feldversuchen mit Kohlrabi und Radies wurden unterschiedliche Lichtspektren mit Hilfe von Farbfolien (rot, grün, gelb und farblos) erzeugt. Dabei wurden diese Lichtspektren nur temporär zu bestimmten Entwicklungsstadien der Pflanzen eingesetzt. In den Versuchen zeigte sich, dass der Impuls durch veränderte Lichtspektren vor allem einen Einfluss auf den Gehalt der Antioxidantien und des Zuckers der Speicherorgane hat. Auswirkungen auf die Größe der Speicherorgane (Knolle bei Kohlrabi, Wurzel bei Radies) waren relativ gering.

Deutlich wurde, dass eine Änderung des Lichtspektrums nur in einigen Entwicklungsstadien der Pflanzen sinnvoll ist. Gleichzeitig wurde festgestellt, dass die Farbfolien bei den zwei untersuchten Kulturen unterschiedliche Wirkung auf die jeweiligen Gehalte der Antioxidantien haben, z.B. wurde der Riboflavin-Gehalt im Versuch mit Kohlrabi durch die grüne Folie positiv beeinflusst. Er betrug das 5-fache der Konzentration, die in der Kontrolle zu finden war. Bei Radies wurde mehr Riboflavin unter der roten Folie gebildet und betrug 48% mehr als in der Kontrolle.

Stichwörter: Lichtspektren, Rot-Blau-Verhältnis, Dunkelrot, Farbfolien, Kohlrabi, *Brassica oleracea* var. *gongyloides*, Radies, *Raphanus sativus* var. *sativus*, Antioxidantien, Riboflavin

Abstract

The effect from changing of the light spectra concerning the red-blue relation and the percentage in dark red (700 nm \pm 30) on the building of the storage organ of vegetables were confirmed in several scientific works. This effect can be accompanied by an increased antioxidant concentration in the storage organ. In the field tests carried out by the IASP 2015 with kohlrabi and radish different light spectra were generated by transparent coloured foils (red, green, yellow and colourless). These light spectra were applied temporary only during certain development stages of the plants to induce plant reactions. The experiments revealed that this light impulse has above all an influence on the content of the antioxidants and the sugar concentration of the storage organs. Effects on the size of the organs (bulb of kohlrabi, root of radish) were insignificant.

It became apparent that a change of the light spectrum makes sense in some development stages of the plants only. At the same time it was found that the coloured foils have different effects on the content of the antioxidants in the examined cultures. For example, the riboflavin content in the kohlrabi under the green foil was positively

Institut

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP), Berlin

Kontaktanschrift

Dr. Olga Gorbachevskaya, Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP), Lebenswissenschaftliche Fakultät, Philippstraße 13/Haus 16, 10115 Berlin, E-Mail: olga.gorbachevskaya@iasp.hu-berlin.de

Zur Veröffentlichung angenommen

1. Juli 2016

influenced. It was five times as much as in the control. In radish more riboflavin was synthesized under the red foil, it was 48% more than in the control.

Key words: Light spectra, red-blue ratio, dark red, coloured films, kohlrabi, radish, antioxidants, riboflavin

Einleitung

Der Schwerpunkt vieler Untersuchungen von Gemüse liegt zurzeit auf der Erhöhung der Konzentration an wertvollen Inhaltsstoffen, z.B. Sekundärmetabolite (RASKIN et al., 2002; PÉREZ-RODRÍGUES, 2010 u.a.). Anhand von Experimenten an Tieren sowie in Humanstudien wurde in den 1990er Jahren festgestellt, dass Antioxidantien aus Obst und Gemüse eine gesundheitsfördernde und antikanzerogene Wirkung haben. So wird z.B. erneut berichtet, mittels Vitamin C die durch Krebs verursachte Sterberate signifikant reduzieren zu können (LI et al., 2016; HARRIS et al., 2014). Humanstudien belegen jedoch, dass der gesundheitliche Effekt nur bei erhöhtem Verzehr von diesen Stoffen eintritt. Beispielweise würde sich die gesundheitsfördernde Wirkung von Glucosinolaten erst bei täglichen Verzehrsmengen von 500 g Brokkoli oder 400 g Weißkohl zeigen (WATZL, 2001). Da eine solche Diät auf Dauer nicht möglich ist, suchen Wissenschaftler nach den Einflussfaktoren, die bei Pflanzen eine deutliche Konzentrationserhöhung sekundärer Stoffe verursachen. Im Fokus der Untersuchungen befindet sich seit Jahren die Wirkung des Lichts. Es ruft bei bestimmten Wellenlängen und bei bestimmter Intensität Stressreaktionen bei Pflanzen hervor, die u.a. auch von einer Stimulation der Sekundärstoffproduktion begleitet werden. Gleichzeitig darf der Ertrag durch diese Stressreaktionen nicht beeinträchtigt werden.

In den letzten Jahren erbrachten mehrere Modellversuche mit einzelnen Pflanzenarten Beweise dafür, dass durch Veränderung der Anteile von Hellrot/Dunkelrot oder Blau im Spektrum die Entwicklung von Speicherorganen bzw. Blüten gezielt gesteuert bzw. beschleunigt werden kann (MORTENSEN und STRØMME, 1987; KARNACHUK et al., 2001; BIELENIN, 2000; TARAKANOV, 2006). Es geht dabei u.a. um die Vortäuschung einer ungünstigen Periode für die Pflanzenentwicklung, die zu einer Umschaltung zur Stoffspeicherung im Zielorgan bzw. zur Beschleunigung der Samenentwicklung führen soll. Dabei scheint die Strategie der wilden Formen der Pflanzen (nach GRIME, 2001: „Konkurrenten“, „Tolerante“ und „Ruderal“) trotz der langjährigen Selektionsarbeit eine Rolle zu spielen. Die Erhöhung des Anteils an blauem Licht bewirkte in den Untersuchungen von KARA et al. (1996) und BUKHOV et al. (1996) eine signifikant beschleunigte Anlage und Entwicklung des Speicherorgans von Radies (*Raphanus sativus*). Dabei wurden von den Pflanzen bei einem höheren Anteil an rotem Licht gar keine verdickten Wurzeln angelegt, die Blattstiele waren länger als bei der Kontrolle. Die Intensität der Photosynthese in den beiden Beleuchtungsvarianten „rot“ und „blau“ war

gleich. Andererseits berichten TARAKANOV und WANG (2009) über die beschleunigende Wirkung des hellroten Lichts (620 nm) auf die Dickwurzelbildung und über eine signifikante Erhöhung der Carotinoid-Gehalte bei der Rübenwurzel von Braunem Senf (*Brassica juncea* var. *napiformis*). TARAKANOV vermutete (2006), basierend auf der Strategien-Theorie von GRIME (2001), dass die genannten Arten und Sorten von Radies und Braunem Senf zu verschiedenen Strategietypen gehören. Die meisten Gemüsepflanzen der *Brassicaceae* gehören in wilder Form dem „Ruderalen Typ“ an, das heißt, unter ungünstigen Bedingungen wird mehr Kraft in die Samenbildung gesteckt. Die Formen mit Dickwurzeln werden dem „Toleranten Typ“ zugeordnet, das heißt, unter den Anzeichen ungünstiger Bedingungen wird das Speicherorgan schneller gebildet.

In den eigenen Untersuchungen wollte das Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP) erforschen, ob bei marktfähigem Gemüse am Beispiel von Kohlrabi und Radies die Knollen- bzw. Wurzelentwicklung durch die Veränderung der Rot-Blau-Anteile im Lichtspektrum beschleunigt und gleichzeitig die Antioxidantiengehalte erhöht werden können. Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Projekts „Steigerung von Qualität und Effektivität im Pflanzenbau mittels innovativer Belichtungsverfahren (InnoLight)“ durchgeführt. Das Projekt wurde vom Projektträger EuroNorm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Förderprogramms INNO-KOM-Ost, Modul Vorlaufforschung, gefördert.

Material und Methoden

Das Ziel des Versuchs bestand darin, die Wirkung von temporär veränderten Rot-Blau-Verhältnissen im Lichtspektrum (in 3 unterschiedlichen Entwicklungsgruppen) auf die Entwicklung von Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongyloides* L.) ‘Delikateß blauer’ und Radies (*Raphanus sativus* var. *sativus* L.) ‘Cherry Belle’ zu untersuchen. Dazu wurden folgende Parameter ausgewertet: Ertrag, Kulturdauer (Beschleunigung der Ausbildung und des Wachstums des Speicherorgans) und Inhaltsstoffe (Zucker, Antioxidantien). Indirekt sollte am Beispiel der obengenannten ausgewählten Sorten die Hypothese geprüft werden, dass Radies und Kohlrabi zum Strategietyp „Ruderal“ gehören: Bei stärkerer Bestrahlung mit dunkelrotem Licht (700 ± 30 nm) können Impulse zur Beschleunigung der Entwicklung des Speicherorgans und somit zur Verkürzung der Kulturzeit gegeben werden.

Die Veränderung der Lichtspektren sollte durch Farbfolien erfolgen. Da Farbfolien mit den gewünschten Spektren und Qualitätsmerkmalen für das Freiland noch nicht existieren, wurden zunächst die in über 200 Farbvarianten existierenden LEE Filter eingesetzt, die für die Foto-, Kino- und Veranstaltungsbranche konzipiert worden sind. Drei Farbfolien und eine klare Folie wurden ausgewählt, bei denen neben den farblichen Unterschieden auch die Unterschiede in den gemessenen Anteilen an Rot- bzw. Blaulicht im Labor ermittelt worden sind.

Die Messungen unter Feldbedingungen zeigten jedoch, dass die faktischen Unterschiede bei der Hintergrundbeleuchtung durch Sonne nicht so groß ausfallen (Tab. 1).

Die Folien ließen bei Vollsonne das Licht mit einer Stärke von ca. 14.200 bis 14.500 Lux im PAR-Bereich (Region des elektromagnetischen Spektrums zwischen 400–700 nm sog. „Photosynthetically Active Radiation“) durch und unterschieden sich diesbezüglich kaum voneinander. Das Sonnenlicht hatte das Rot-Blau-Verhältnis von etwa 1,1 (gemessen anhand der Photonenflussdichte im roten und blauen Spektrumsbereich).

Im Mai 2015 erfolgte die Einrichtung des Feldversuches in der Versuchsstation des IASP in Berge bei Nauen (Land Brandenburg). Das Feld mit tonigem Lehmboden (Bodenwertzahl 60) wurde mit 160 kg/ha Kaliumoxid und 259 kg/ha Kalkammonsalpeter (27% Gesamtstickstoff und 10% Calcium) vorgedüngt. Die Versuchspartzen wurden zusätzlich zum Versuchsbeginn mit 300 kg/ha Kalkammonsalpeter nachgedüngt. Somit betrug der Mindestgehalt an Stickstoff 123 kg/ha oder 12,3 g/m². Danach wurde der Boden mit einem Unkrautvlies abgedeckt, in das Pflanzlöcher geschnitten wurden. Die regelmäßige Bewässerung erfolgte aus dem Regenwasserückhalteteich über ein Bewässerungssystem mit Perlschläuchen.

Aus den obengenannten Folien wurden mobile Versuchszelte (Abb. 1) gebaut (in drei Wiederholungen). Eingesetzt wurden vorgezogene Jungpflanzen (Kohlrabi) bzw. Saatgut (Radies).

Zuerst wurden Versuche mit Kohlrabi (18.05.–16.07.) und direkt danach mit Radies (16.07.–07.09.) realisiert, bei gleichem Versuchsaufbau auf den benachbarten Partzen zum Kohlrabi-Versuch. Je Farbvariante wurden drei Pflanzengruppen mit einem Abstand von 1 m zueinander in einem Block gepflanzt. Bei Kohlrabi bestand jede Gruppe aus 16 Pflanzen und bei Radies aus 48.

10 Tage nach der Pflanzung der Kohlrabi-Jungpflanzen (aus einem Zuchtbetrieb) bzw. nach der Radies-Ansaat wurde die erste Pflanzengruppe in jedem Block durch ein Farbfolienzelt abgedeckt, um so die Lichtspektren zu verändern. Diese Abdeckung wurde jeweils 14 Tage durchgeführt, danach wurde die nächste Pflanzengruppe im Block mit dem selben Zelt abgedeckt – z.B. in der Reihe

IR (Reihe 1, Farbe rot) wurde das Rote Zelt mit der Folie Pale Salmon von der Gruppe IR1 auf die Gruppe IR2 und 2 Wochen später auf die Gruppe IR3 gestellt (Abb. 2). Dadurch wurden die veränderten Lichtspektren bei den Pflanzen in drei Entwicklungsstadien appliziert: früh (wenige echte Blätter), mittel und spät (Knollenbildung bzw. Wurzelverdickung).

Die Variante mit klarer Folie wurde in beiden Versuchen 2-fach realisiert, zusätzlich wurde eine Kontrollvariante ganz ohne Folienabdeckung integriert.

Im Laufe des Versuchs wurden bei Kohlrabi 4 Bonituren und bei Radies 3 Bonituren sowie die abschließende Ernte-Bonitur durchgeführt. Bei jeder Bonitur wurden Pflanzenhöhe (Länge des größten Blattes vom Boden aus gemessen), Blattanzahl, Anzahl welcher Blätter und Knollen-/Wurzeldurchmesser ermittelt. Bei den Ernte-Bonituren wurden außerdem Frischmasse der Gesamtpflanze und der Knolle/Wurzel, Durchmesser ggf. Länge der Knolle/Wurzel gemessen. Die Zielorgane der Pflanzen sowie deren Blätter wurden im Labor getrocknet und deren Trockenmasse ermittelt.



Abb. 1. Folienzelt über den Kohlrabi-Pflanzen in der Versuchsstation Berge.

Tab. 1. Lichtspektren unter den Farbfolien anhand der Messungen der Photonenstromdichte [$\mu\text{molm}^{-2}\text{S}^{-1}$] unter Feldbedingungen

Folienname	Folienfarbe	Rot-Blau-Verhältnis	Rot-Anteil [%] (630–780 nm)	Blau-Anteil [%] (436–495 nm)	Dunkelrot-Anteil [%] (700–730 nm)
LEE Yellow	gelb	4,0	46	11	8,3
Pale Green	grün	3,3	51	16	10,1
Pale Salmon	rot	2,6	47	18	9,6
Clear	klar	2,7	42	16	7,8

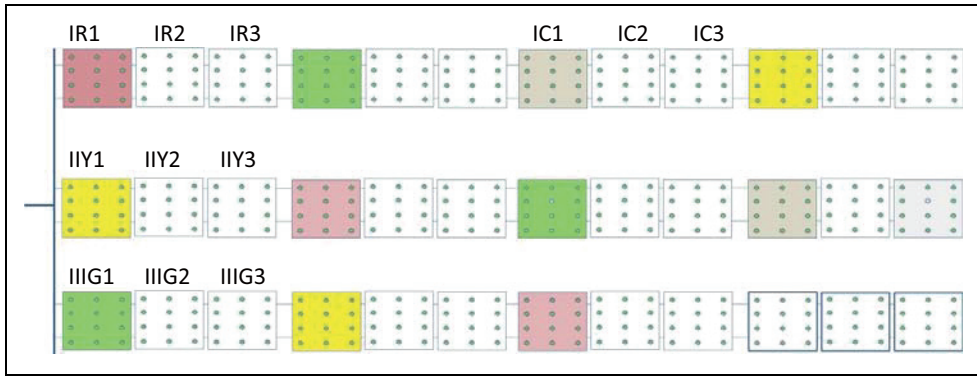


Abb. 2. Verteilung der Varianten auf dem Versuchsfeld am Beispiel des Versuchs mit Kohlrabi (römische Zahl I bis III = Reihennummer (Wiederholungen); R = rote Folie Pale Salmon, Y = gelbe Folie LEE Yellow, G = grüne Folie Pale Green, C = klare Folie Clear; lateinische Zahl = Entwicklungsstadium: 1 = früh (wenige echte Blätter), 2 = mittel, 3 = spät (Knollenbildung/Wurzelverdickung)).

Zuckergehalte und -zusammensetzung der Knollen- bzw. Wurzelproben wurden ermittelt. Die Analyse der Sekundärstoffe – Gehalte an Riboflavin und Vitamin C erfolgte durch die GLU GmbH.

Ergebnisse

Entwicklung von Kohlrabi

Bei den Pflanzen der 1. und 2. Entwicklungsgruppe gab es größere Unterschiede im Durchmesser der Knolle zum Ende der Untersuchung als bei den Pflanzen der 3. Entwicklungsgruppe (vgl. Abb. 3).

Am Versuchsende wies die Variante ohne Folie die größten Knollen auf. Sie waren signifikant größer als die unter allen anderen Folien (10,4 cm ohne Folie gegenüber 8,6 bis 9,3 cm mit Folien). In der Variante mit klarer Folie waren die Knollen jedoch tendenziell kleiner als unter den Farbfolien. Im Vergleich aller Farbfolien bezüglich der Kohlrabidurchmesser zeigte sich LEE Yellow (mehr rotes Licht) bei den Pflanzen der Entwicklungsgruppe 2 als besonders ungünstig.

Zusammenhänge zwischen den einzelnen Entwicklungsparametern und dem veränderten Rot-Blau-Verhältnis zeigten sich nur bei den Pflanzen der Gruppe 2 in einer Steigerung der Blatthöhe und der Frischmasse,

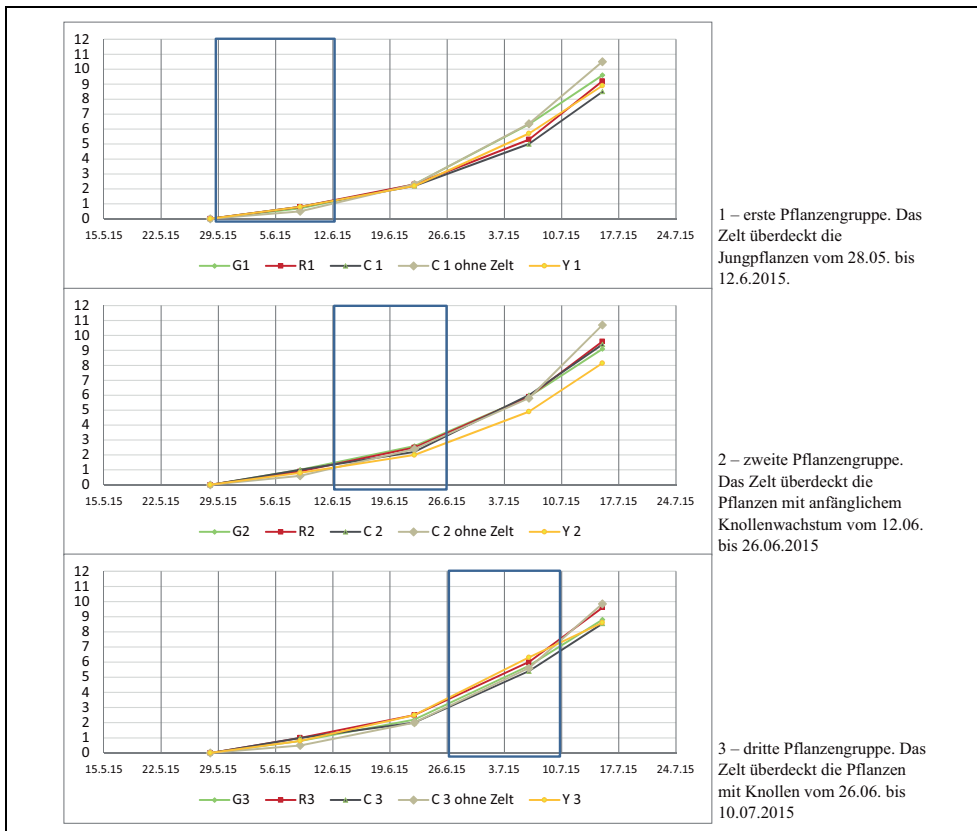


Abb. 3. Zunahme des Knollendurchmessers von Kohlrabi in drei untersuchten Altersgruppen: 1 – Jungpflanzen mit wenigen Blättern, 2 – Pflanzen mit beginnender Knollenbildung, 3 – Pflanzen mit ausgebildeten Knollen. Folien: G – Pale Green, R – Pale Salmon, C – Clear, Y – LEE Yellow.

wobei diese Reaktion sehr schwach war. Bei der Variante mit roter Folie (mehr blaues Licht als bei anderen Farbfolien) wurde eine signifikante Wirkung durch die Impulsgebung bei einem bestimmten Pflanzenalter beobachtet: die Pflanzen mit einer beginnenden Knollenentwicklung zum Zeitpunkt der Spektrumveränderung (Gruppe 2) hatten am Ende des Versuches größere Blätter als die Pflanzen der Gruppen 1 und 3. Unter der grünen Folie (mehr dunkelrotes Licht) wurden bei den Pflanzen in der Gruppe 3 tendenziell größere Blätter gebildet. Die Beschleunigung der Knollenentwicklung unter den Farbfolien konnte nicht festgestellt werden.

Gehalt an Antioxidantien in Kohlrabi

Die Gehalte an Riboflavin und Ascorbinsäure ließen sich von den Lichtspektren beeinflussen. Die signifikant höchsten Gehalte an Riboflavin wurden unter der grünen Folie in der Pflanzengruppe 2 und unter der klaren Folie in den Pflanzengruppen 1 und 2 gefunden. Sie waren 5-fach höher als die Parameter in der Kontrolle ohne Folien (vgl.

Abb. 4). Generell zeigte sich bei der Wirkung der Farbfolien auf die Höhe des Riboflavin-Gehaltes, dass es sinnvoller ist, die Pflanzen ab dem Stadium der anfänglichen Knollenbildung mit veränderten Lichtspektren zu bestrahlen, weil bei den kleineren Pflanzen keine Steigerung des Riboflavin-Gehalts gegenüber der Kontrolle gezeigt werden konnte.

Unter der grünen Folie wurden im Durchschnitt die größten Riboflavin-Gehalte im Vergleich aller Farbfolien gefunden, was mit dem Ergebnis von Vorversuchen aus dem Jahr 2013 übereinstimmt.

Bezüglich der Ascorbinsäure war das Ergebnis unter der grünen Folie gegensätzlich zum Riboflavin-Gehalt: es konnte keine Ascorbinsäure in den Proben gefunden werden (siehe Abb. 5, Nachweisgrenze für Ascorbinsäure war 1 µg/100 g). Die maximalen Gehalte an Ascorbinsäure wurden bei den Pflanzen festgestellt, die als Jungpflanzen mit der klaren Folie abgedeckt wurden. Das zweitbeste Ergebnis wurde bei den Pflanzen in der Entwicklungsgruppe 1 und 3 unter der roten Folie gefunden. Insgesamt

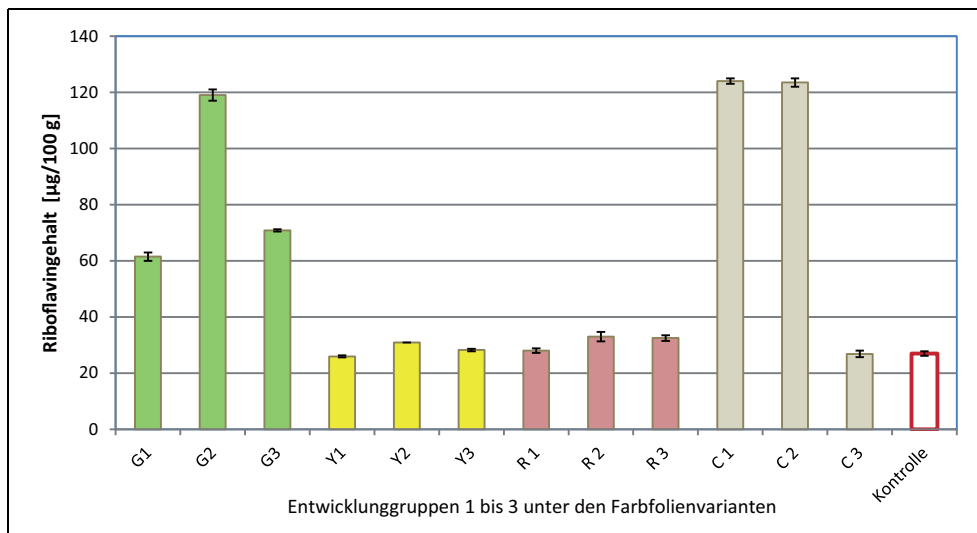


Abb. 4. Gehalte an Riboflavin in Kohlrabi unter verschiedenen Farbfolien: Mittelwerte und Standardfehler des Mittelwertes. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektren bekommen haben. Folien: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede auf dem Niveau $p < 0,05$.

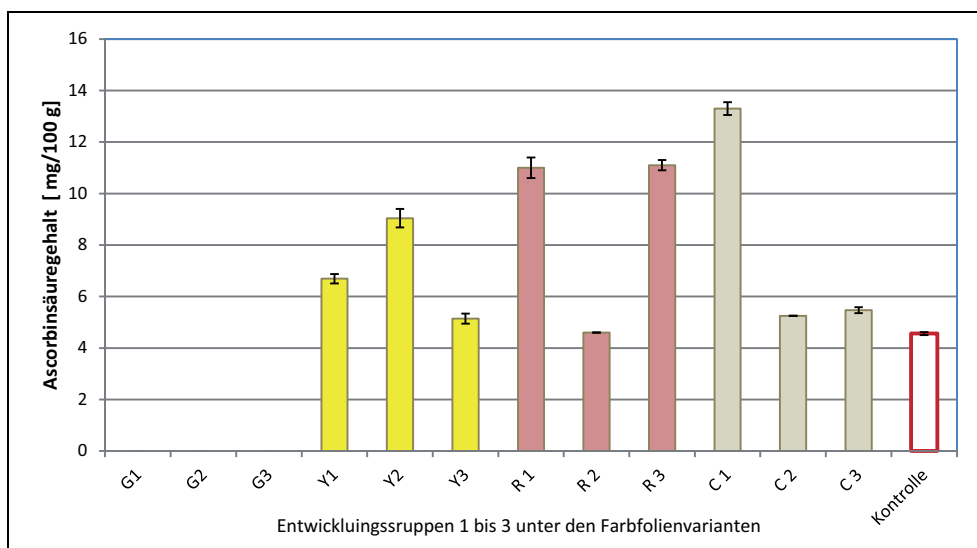


Abb. 5. Gehalte an Ascorbinsäure in Kohlrabi unter verschiedenen Farbfolien: Mittelwerte und Standardfehler des Mittelwertes. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektren bekommen haben. Folien: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede auf dem Niveau $p < 0,05$.

zeigen sich rote, gelbe und klare Folien hinsichtlich der Ascorbinsäure-Bildung als vorteilhafter gegenüber der unbedeckten Kontrolle.

Zuckergehalt in Kohlrabi

Die Kultivierung unter der roten Folie im Feldversuch wirkte sich positiv auf den Saccharosegehalt in Kohlrabi aus (Abb. 6).

Bei den Saccharosegehalten waren die Mittelwerte unter den roten und grünen Folien signifikant größer als in anderen Varianten. Sie waren unter den roten Folien (mehr dunkelrotes Licht) bei den Pflanzen der Altersgruppen 1 und 2 am größten.

Die Unterschiede in den Gehalten an Glucose und Fructose waren geringer. Auf den Gesamtzucker wirkten sich alle Folien im Vergleich zur unabgedeckten Kontrollvariante vorteilhafter aus.

Entwicklung von Radies

Die Farbfolien haben alle Entwicklungsparameter nur bei den Pflanzen der Gruppe 3 tendenziell bis signifikant negativ beeinflusst. Bei den Pflanzen der Gruppen 1 und 2 unter den Farbfolien gab es keine signifikanten Unterschiede in den Wachstums- und Entwicklungsparametern gegenüber den Varianten mit klarer Folie sowie der Kontrolle ohne Folie (vgl. Abb. 7).

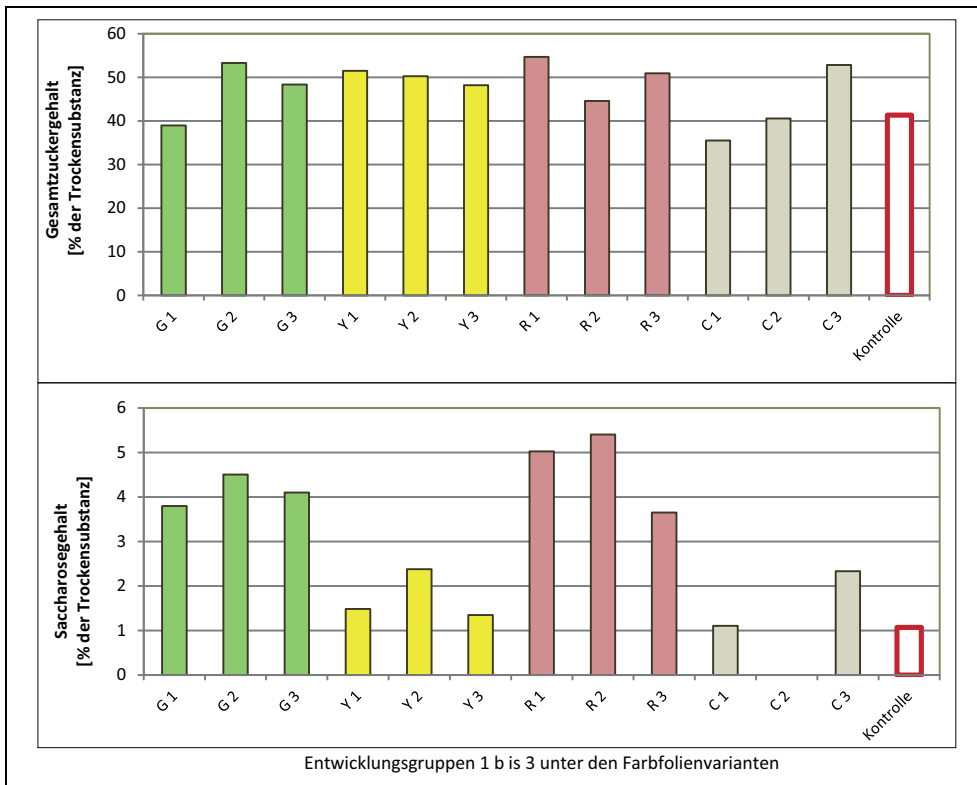


Abb. 6. Gehalte an Saccharose und Gesamtzucker in % der Trockensubstanz bei Kohlrabi im Feldversuch. Folienbezeichnungen: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektrern bekommen haben.

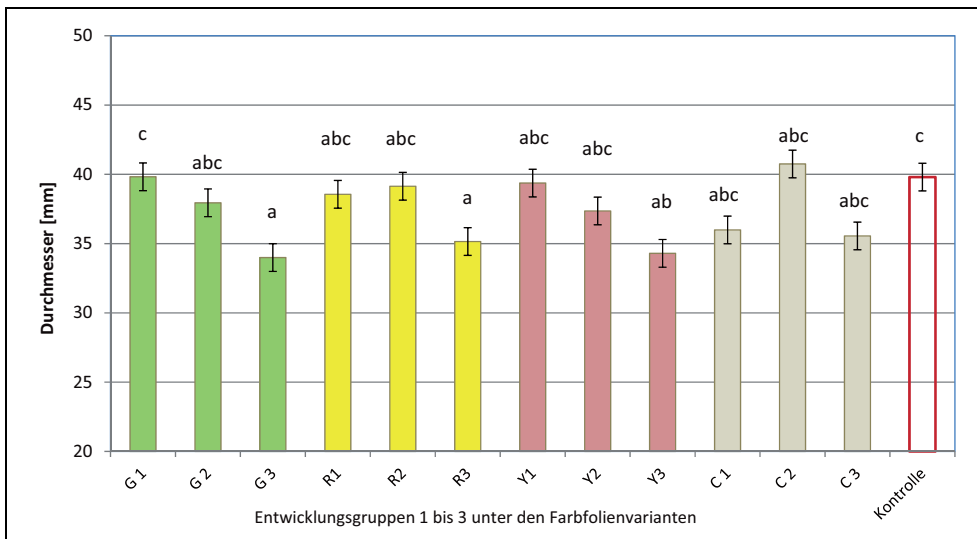


Abb. 7. Durchmesser von Radies am Ende der Untersuchung. Mittelwerte und Standardfehler des Mittelwertes. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektrern bekommen haben. Folien: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede auf dem Niveau $p < 0,05$.

Gehalt an Antioxidantien in Radies

Es wurden sehr große Unterschiede in den Antioxidationsgehalten im Vergleich der realisierten Lichtspektren unter den verschiedenen Farbfolien gefunden. Bemerkenswert ist vor allem, dass bei den Pflanzen der Gruppe 3 unter der Folie Pale Salmon (rot) wesentlich größere Gehalte an Riboflavin und Vitamin C gefunden werden konnten als in der Kontrolle unter Sonnenlicht (vgl. Abb. 8 und 9). Der Gehalt an Riboflavin war unter roter Folie im Durchschnitt höher als in allen anderen Varianten.

Der Gehalt an Ascorbinsäure war in den Pflanzen der Gruppe 3 unter allen Folien tendenziell bis signifikant höher als in den Gruppen 1 und 2. Unter den roten und gelben Folien waren die Gehalte an Ascorbinsäure wesentlich höher als in der Kontrolle bzw. bei den farblosen und grünen Folien.

Die errechneten Korrelationen belegten keinen Zusammenhang zwischen dem real gemessenen Rot-Blau-Verhältnis und dem Gehalt an Antioxidantien.

Zuckergehalt in Radies

Bei kaum veränderten Gehalten an Gesamtzucker gegenüber der Kontrolle zeigte der Gehalt an Saccharose große Unterschiede unter den Farbfolien. Im Durchschnitt am

geringsten war der Saccharosegehalt in Radies unter der grünen Folie (vgl. Abb. 10).

Diskussion

Eine nennenswert beschleunigende Wirkung von Lichtspektren auf die Morphogenese konnte bei beiden Kulturen nicht nachgewiesen werden. Die Anzeichen einer schnelleren Anlage der Dickwurzel bei mehr Blaulicht wie in den Versuchen von KARA et al. (1996) und BUKHOV et al. (1996) konnte bei Jungpflanzen von Radies unter den grünen Folien (R/B-Verhältnis 3,3, Dunkelrotanteil 10%) und roten Folien (R/B-Verhältnis 2,6, Dunkelrotanteil ca. 10%) und meistens tendenziell dokumentiert werden. Hier kann die Wirkung von dunkelrotem Licht vermutet werden, da bei ähnlichem Spektrum mit weniger Dunkelrot (klare Folie mit Rot-Blau-Verhältnis von 2,7 und dunkelrotem Anteil an 7,8%) keine Unterschiede in den Wurzeldurchmessern der Pflanzengruppen 1 und 3 gefunden wurden. Die Anwendung von Folien bei Kohlrabi führte zu geringfügigen Ertragsminderungen gegenüber der Kontrolle auf Grund von Lichtverlusten, die nicht zu vermeiden waren. Unter der gelben Folie wur-

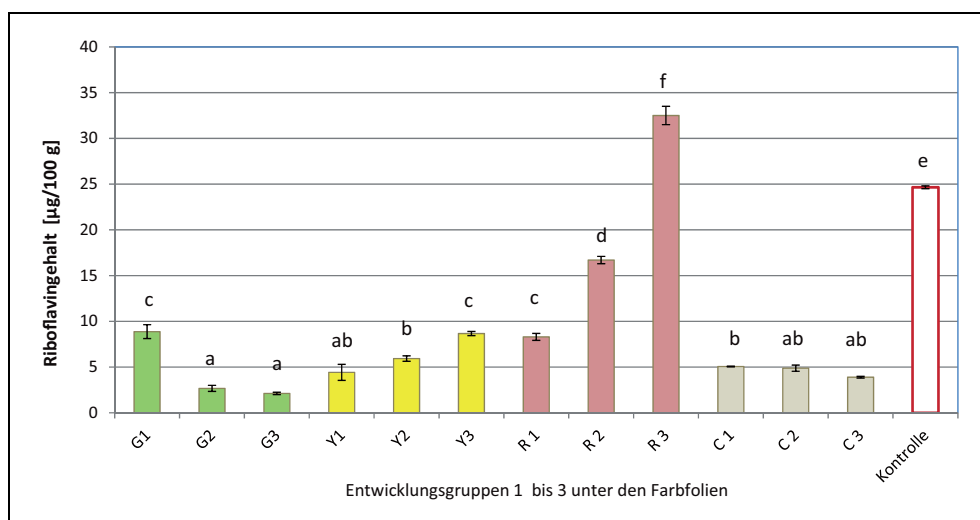


Abb. 8. Gehalte an Riboflavin in Radies unter verschiedenen Farbfolien: Mittelwerte und Standardfehler des Mittelwertes. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektren bekommen haben. Folien: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede auf dem Niveau $p < 0,05$.

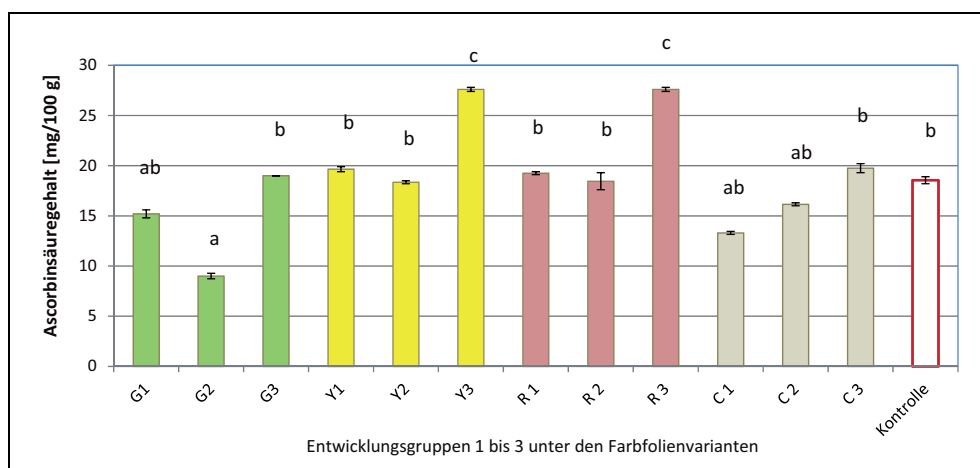


Abb. 9. Gehalte an Ascorbinsäure in Radies unter verschiedenen Farbfolien: Mittelwerte und Standardfehler des Mittelwertes. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektren bekommen haben. Folien: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede auf dem Niveau $p < 0,05$.

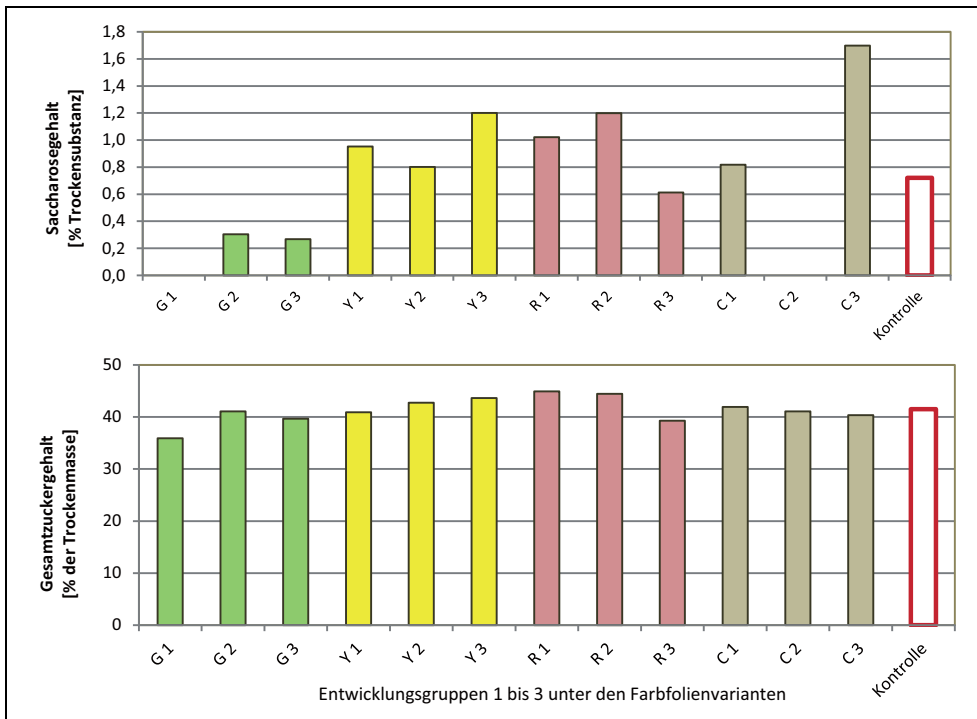


Abb. 10. Gehalt an Saccharose in % der Trockensubstanz bei Radies im Feldversuch. Folienbezeichnungen: G – Pale Green, Y – LEE Yellow, R – Pale Salmon, C – Clear, sowie Kontrolle unter Sonnenlicht. 1 bis 3 – Pflanzengruppen nach Alter, in dem die Pflanzen einen 2-wöchigen Impuls durch veränderte Lichtspektren bekommen haben.

den besonders kleine Kohlrabis gefunden, wenn die Pflanzen im Stadium der Knollenbildung zwei Wochen unter dieser Folie kultiviert wurden. Diese Folie hatte entsprechend der Feldmessungen das größte Rot-Blau-Verhältnis. Signifikante Unterschiede in der Masse der Knollen wurden jedoch nicht festgestellt, die Knollen unter gelber Folie waren etwas länger und schmäler als in anderen Varianten.

Die rote Folie zeigte sich als zweitbeste Kultivierungsvariante hinter der Kontrolle (ohne Folienabdeckung). In beiden Fällen war das Blaulicht eher ein tendenziell positiv wirkender Faktor für die Bildung des Speicherorgans.

Nicht nur die Lichtmenge im PAR-Bereich unter den Folien war ähnlich, sondern der Anteil an Dunkelrot unterschied sich wider Erwarten nicht so groß. Offensichtlich sind die erzeugten Lichtspektren sehr stark von der Hintergrundbeleuchtung anhängig. So wirkt die Sonne im Versuch ausgleichend auf die Unterschiede in den Farbspektren, die durch verschiedene Folien erzeugt wurden. Damit konnten keine wesentlichen Unterschiede im Anteil an dunkelrotem Licht erzeugt werden. Strategische Veränderungen in der Morphogenese der Pflanzen wurden demnach nicht provoziert. Die eindeutige Zuordnung der Pflanzen der ursprünglichen Strategieförmern ist auf der Basis der Ergebnisse nicht möglich.

Außerdem verursachten die Folienabdeckungen – trotz eingebrachter Belüftungsöffnungen – einen Temperaturanstieg im Versuchssegment unter den Folien, der die Versuchsergebnisse als Störungsfaktor beeinflusst haben könnte. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Temperaturerhöhung unter den Farbfolien und der Pflanzenentwicklung konnte jedoch nicht nachgewiesen

werden. Die im Durchschnitt höchsten Temperaturen wurden unter der grünen Folie gemessen (im Durchschnitt 1°C höher als unter der klaren Folie und bis 8°C höher an einem extrem heißen Tag). Sie zeigten jedoch weder eindeutig beschleunigende noch hemmende Wirkung auf die Entwicklung von Speicherorganen. Die insgesamt geringeren Gehalte an Ascorbinsäure unter der grünen Folie bei beiden Kulturen stehen im Widerspruch zu den relativ hohen Gehalten an Ascorbinsäure unter der roten Folie, bei der die Extremtemperatur nur etwa 0,5°C geringer war als unter der grünen Folie. Somit können die Unterschiede in den Antioxidantiengehalten unter den Folien tatsächlich mit der Wirkung des Lichts zusammenhängen. Diese Wirkung auf die Antioxidantiengehalte scheint in beiden Kulturen in unterschiedliche Richtungen zu verlaufen. Die Anreicherung an Speicherstoffen wie Saccharose oder Gesamtzucker kann jedoch darauf hindeuten, dass sich die Pflanzen auf die ungünstigen Entwicklungsbedingungen vorbereiten. Als ungünstig wird die Veränderung des Rot-Blau-Verhältnisses in Richtung mehr Dunkelrot und mehr Blau angesehen. Laut der Ergebnisse der Lichtmessungen unter den Folien waren solche Bedingungen unter der grünen und roten Folie vorhanden. Die Unterschiede in den Gehalten an den Antioxidantien und Zuckern waren in einzelnen Fällen jedoch so groß, dass es sich lohnt, in weiteren präziseren Untersuchungen die Wirkung des Lichts zu prüfen.

Interessant ist auch die Fragestellung, welches Spektrum sich als optimal für die Erreichung mehrerer Zielkriterien erweist. Wenn bei der Kultur der Kohlrabi und der Radies die Größe des Zielorgans, die Konzentration der gesundheitsfördernden Stoffe und der Geschmack nebeneinander beachtet werden sollen, dann ist die Feldkulti-

vierung unter den Farbfolie mit einem Rot-Blau-Verhältnis um 3,0 (oder 0,7–0,8 gemessen in Watt-Leistung des Lichts) interessant. Zur Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis sind Folien zu entwickeln, die neben günstigen Kosten definierte Spektren realisieren. Weitere Kriterien sind: eine möglichst hohe Transmission bei einer möglichst intensiven Farbe, UV-Beständigkeit, hohe Strapazierfähigkeit, Durchlässigkeit für hellrotes, grünes und blaues Licht sowie die Umwandlung der nicht relevanten Spektrumanteile ins dunkelrote Licht, geringe Erwärmung der Folie.

Literatur

- BIELENIN, M., 2000: Effect of Red and Blue Supplementary Light on Rooting of Cuttings and Growth of Young Plants of *Juniperus scopulorum* 'Skyrocket' and *Thuja occidentalis* 'Smaragd'. Gartenbauwissenschaft **65** (5), 195-198.
- BUKHOV, N.G., V.V. BONDAR, I.S. DROZDOVA, A.N. KARA, A.A. KOTOV, S.N. MAEVSKAYA, A.A. VASIL'EV, S.YU. VOEVUDSKAYA, P.YU. VORONIN, A.T. MOKRONOSOV, 1996: Development of storage roots in radisch (*Raphanus sativus*) plants as affected by light quality. Journal of Plant Physiology **149** (3-4), 405-412.
- GRIME, J.P., 2001: Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties. Chichester e.a., John Wiley and Sons Ltd., 420 p.
- HARRIS, H.R., N. ORSINI, A. WOLK, 2014: Vitamin C and survival among women with breast cancer: A Meta-analysis. European Journal of Cancer **50** (7), 1223-1231.
- KARA, A.N., A.A. KOTOV, N.G. BUKHOV, 1997: Specific distribution of gibberellins, cytokinins, indole-3-acetic acid and abscisic acid in radish plants closely correlates with photomorphogenetic responses to blue or red light. Journal of Plant Physiology **151**, 51-59.
- KARNACHUK, R.A., S.YU. TISHCHENKO, I.F. GOLOVATSKAYA, 2001: Endogenous Phytohormones and Regulation of Morphogenesis of *Arabidopsis thaliana* by Blue Light. Russian Journal of Plant Physiology **48** (2), 226-230.
- LI, F., Z. LIN, S.-C. TANG, 2016: Revisiting vitamin C in cancer therapy: Is "C" for cure, or just wishful thinking? Genes and Diseases **3** (1), 1-2.
- MORTENSEN, L.M., E. STRØMME, 1987: Effects of light quality on some greenhouse crops. Scientia Horticulturae **33**, 27-36.
- PÉREZ-RODRÍGUES, C.P., 2010: Physiologische Veränderungen in Früchten der Solanaceaeengewächse in Abhängigkeit von physikalischen Elicitoren während der Produktion und nach der Ernte. Berliner ökophysiologische und phytomedizinische Schriften **14**, 115 S.
- RASKIN, I., D.M. RIBNICKY, S. KOMARNYTSKY, N. ILIC, A. POULEV, N. BORISJUK, A. BRINKER, D.A. MORENO, C. RIPOLL, N. YAKOBY, J.M. O'NEAL, T. CORNWELL, I. PASTOR, B. FRIDLINDER, 2002: Plants and human health in twenty-first century. Trends in Biotechnology **20** (12), 522-531.
- TARAKANOV, I.G., 2006: Light Control of Grows and Development of Vegetable Plants with Various Life Strategies. Acta Horticulturae **711**, 315-321.
- TARAKANOV, I.G., J. WANG, 2009: Light trophic and signal roles in the control of morphogenesis of the *Brassica* plants developing storage roots. Russian Journal of Plant Physiology **56** (2), 232-241.
- WATZL, B., 2001: Krebsprotektive Nahrungsinhaltsstoffe. Ernährungs-Umschau **48**, 52-55.