

Einfluss von Einstrahlungsintensität, Stickstoffangebot, Düngungsart und Hornkieselapplikation auf den Nitrat-, Ascorbinsäure- und Glucosinolatgehalt bei Salatrauke (*Eruca sativa*)

Athmann, M.¹, Blasco, I.¹ und Köpke, U.¹

Keywords: rocket, ascorbic acid, nitrate, glucosinolates, fertilizer types

Abstract

*Effects of nitrogen supply (high / low), fertilizer type (biodynamic / organic / mineral) and application of the biodynamic horn silica p reparation on nitrate, ascorbic acid and glucosinolate contents of rocket (*Eruca sativa* L.) were studied under conditions of full sunlight (100% photosynthetically active radiation PAR) and shading (55% PAR). Nitrate contents increased in response to shading and under conditions of full sunlight also in response to high nitrogen supply and mineral fertilization. Ascorbic acid contents were significantly higher with low nitrogen supply, biodynamic and organic fertilization, horn silica application and under conditions of low nitrogen supply with full sunlight. Glucosinolate contents were significantly increased by low nitrogen supply, full sunlight (in combination with biodynamic fertilization) as well as biodynamic and organic fertilization (under conditions of full sunlight).*

Einleitung und Zielsetzung

Die Salatrauke *Eruca sativa* L. wird traditionell im Mittelmeerraum, zunehmend aber auch in Mitteleuropa vor allem frisch als Bestandteil von „Rucola“-Salaten konsumiert. Das aromatische Blattgemüse zeichnet sich durch hohe Gehalte an Ascorbinsäure und den im menschlichen Organismus wahrscheinlich antikanzerogen wirkenden Glucosinolaten aus. Im Vergleich zu anderen Gemüsearten hat Salatrauke eine sehr hohe Affinität zur Aufnahme von Nitrat. Durch daraus resultierende hohe Nitratgehalte kann der ernährungsphysiologische Wert entscheidend herabgesetzt werden (Santamaria 2006).

Pflanzenphysiologisch ist Nitrat ein Produkt des Primärmetabolismus, Ascorbinsäure und Glucosinolate sind Sekundärmetaboliten. Sonneneinstrahlung und N-Aufnahme nehmen entscheidenden Einfluss auf Primär- und Sekundärmetabolismus und damit auf die Produktqualität. Das Verhältnis dieser beiden Faktoren wird durch pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflusst, insbesondere durch Höhe und Art der N-Düngung und dadurch gesteigerte N-Aufnahme.

In einem zweijährigen Projekt wurde der Einfluss von Einstrahlungsintensität, N-Angebot, Düngungsart (biologisch-dynamisch / organisch / mineralisch) und Applikation des biologisch-dynamischen Hornkieselpräparates auf Entwicklung und Qualitätsparameter bei Salatrauke untersucht. Der Beitrag stellt Ergebnisse für Nitrat-, Ascorbinsäure- und Glucosinolatgehalte vor.

¹ Institut für Organischen Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn, Deutschland, mathmann@uni-bonn.de

Material & Methoden

Das Probenmaterial stammt aus einem im Herbst 2009 auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut (Hennef/Sieg, 7°17'E 50°48'N, 65 m ü. NN, Jahresmittel: 10,2 °C/850 mm, Bodennart: sLU) durchgeführten Feldversuch mit den Faktoren Einstrahlungsintensität (100% photosynthetisch aktive Strahlung PAR: volle Sonneneinstrahlung / 55% PAR: Beschattungsnetze), N-Angebot (15/ 60 kg N/ha), Düngungsart (biologisch-dynamisch und organisch: kompostierter Rindertretmist mit bzw. ohne biol.-dyn. Kompostpräparate; mineralisch: Kalkammonsalpeter mit 27% N, Kaliumchlorid, Triplesuperphosphat). Die Nitrat-, Ascorbinsäure- und Glucosinolanalysen erfolgten 38 Tage nach Saat am 7.10.2009 zur Erntereife. Nitrat wurde photometrisch mit einem Skalar Continuous Flow Analyser (Skalar analytical B.V. 1993) mit inaktivem Ammonium-N-Modul an getrocknetem und vermahlenem Probenmaterial gemessen. Die Ascorbinsäure (Ascorbinsäure + Dehydroascorbinsäure) wurde nach LMBG (2004) mit HPLC und UV-Detektion bei 265 nm an schockgefrorenen, bei -80°C gelagerten Proben bestimmt (Einwaage: 20 g). Die Glucosinolatgehalte (Summe von 11 Glucosinolaten) wurden nach dem Methodenbuch des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenzüchtung, Universität Göttingen mittels HPLC und UV-Detektion bei 229 nm aus gefriergetrocknetem, vermahlenem Material bestimmt (Einwaage: 200 mg). Bei allen Analysen wurden Messungen mit VK > 5% wiederholt. Der Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Inhaltsstoffgehalte wurde als vierfaktorielle Spaltanlage mit einer ANOVA auf Signifikanz getestet (PROC MIXED in SAS). Mittelwertvergleiche erfolgten mit dem Tukey-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$. Für die Interpretation von Wechselwirkungen wurden die Daten auf der Stufe des untergeordneten Faktors für jede Stufe des übergeordneten Faktors separat ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1 zeigt die Haupteffekte der vier Versuchsfaktoren auf die Gehalte an Nitrat, Ascorbinsäure und Glucosinolaten. Die Auswertungen auf Basis der Kombinationsmittelwerte für die verschiedenen Wechselwirkungen sind in den Tab. 2 und 3 dargestellt. Der Nitratgehalt wurde durch reduzierte im Vergleich zu voller Einstrahlungsintensität signifikant erhöht (+91%, Tab. 1, 2 und 3). Hohes im Vergleich zu niedrigem N-Angebot führte bei voller Einstrahlung unabhängig von Düngungsart und Hornkieselapplikation ebenfalls zu signifikant höheren Nitratgehalten (Tab. 2). Ebenso resultierte mineralische im Vergleich zu biol.-dyn. und organischer Düngung bei voller Einstrahlung unabhängig von N-Düngung und Hornkieselapplikation in signifikant höheren Nitratgehalten (Tab. 3). Der Ascorbinsäuregehalt war signifikant höher bei biol.-dyn. und organischer im Vergleich zu mineralischer Düngung, Hornkieselapplikation (Tab. 1) sowie bei niedrigem im Vergleich zu hohem N-Angebot (Tab. 2). Volle im Vergleich zu reduzierter Einstrahlungsintensität führte in Kombination mit niedrigem N-Angebot unabhängig von Düngungsart und Hornkieselapplikation zu signifikant höheren Ascorbinsäuregehalten (Tab. 2). Der Gehalt an Glucosinolaten war bei niedrigem im Vergleich zu hohem N-Angebot signifikant höher (Tab. 1). Volle im Vergleich zu reduzierter Einstrahlungsintensität resultierte in Kombination mit biol.-dyn. und organischer Düngung in zum Teil signifikant höheren Glucosinolatgehalten (Tab. 3). Auch biol.-dyn. und organische im Vergleich zu mineralischer Düngung führten bei voller Einstrahlungsintensität unabhängig von N-Angebot und Hornkieselapplikation zu signifikant höheren Glucosinolatgehalten (Tab. 3).

Tabelle 1: Inhaltsstoffgehalte i.d.FM in Abhängigkeit von Einstrahlungsintensität, N-Angebot, Düngungsart und Hornkieselapplikatio

Parameter	Einstrahlung		N-Düngung		Düngungsart			Hornkiesel	
	100%	55%	niedrig	hoch	bd	org	min	mit	ohne
Nitrat [mg/100 g]	174 ^{x‡}	333 ^{x‡}	231 ^x	271 ^x	248 [‡]	248 [‡]	258 [‡]	252	250
Ascorbinsäure [mg/100 g]	82 ^x	68 ^x	84 ^x	66 ^x	79 ^b	83 ^b	64 ^a	78 ^b	72 ^a
Glucosinolate [µmol/g]	0,65 [‡]	0,56 [‡]	0,69 ^b	0,52 ^a	0,65 [‡]	0,64 [‡]	0,53 [‡]	0,60	0,62

Werte mit verschiedenen Buchstaben innerhalb eines Versuchsfaktors unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$). Wechselwirkungen: ^x Einstrahlung*N-Düngung, [‡] Einstrahlung*Düngungsart.

Tabelle 2: Nitrat und Ascorbinsäure i.d.FM auf Basis der Kombinationsmittelwerte aus Einstrahlungsintensität und N-Angebot.

	Nitrat [mg/100g]		Ascorbinsäure [mg/100g]	
	100% PAR	55% PAR	100% PAR	55% PAR
N niedrig	132 a A	344 B	96 b B	72 b A
N hoch	219 b A	323 B	69 a	64 a

Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$). Kleinbuchstaben: N-Angebotsstufen, Großbuchstaben: Einstrahlungsintensitäten.

Tabelle 3: Nitrat und Glucosinolate i.d.FM auf Basis der Kombinationsmittelwerte aus Einstrahlungsintensität und Düngungsart.

	Nitrat [mg/100 g]		Glucosinolate [µmol/g]	
	100% PAR	55% PAR	100% PAR	55% PAR
bd	160 a A	342 B	0,74 b B	0,55 A
org	158 a A	351 B	0,69 b	0,58
min	205 b A	311 B	0,50 a	0,55

Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$). Kleinbuchstaben: Düngungsarten, Großbuchstaben: Einstrahlungsintensitäten.

Nitrat akkumuliert, wenn die Nitrataufnahme die Nitratreduktionskapazität übersteigt. Diese Bedingungen liegen bei hoher Stickstoffdüngung und reduzierter Einstrahlungsintensität vor (Marschner, 1995): Bei hoher Stickstoffzufuhr wird die Kapazität zur Nitratreduktion zum limitierenden Faktor. Die Einstrahlungsintensität hat entscheidenden Einfluss auf die Aktivität der Nitratreduktase, einerseits über die Menge an Assimilaten, die als Reduktionsäquivalente zur Verfügung stehen, andererseits wird das Enzym über verschiedene Regulationswege bei reduzierter Einstrahlung deaktiviert. Erhöhte Nitratgehalte bei gleichzeitig reduzierten Ascorbinsäuregehalten infolge steigender N-Düngung wurden wiederholt festgestellt (für Salatrauke z.B. von Nurzynska-Wierdak 2009). Krumbain et al. 2001 berichten von niedrigeren Glucosinolatgehalten als Folge steigender N-Düngung bei Brokkoli. Die hier vorgestellten Ergebnisse stimmen mit diesen Studien überein und bestätigen den in der Pflanzenökologie beschriebenen fördernden Einfluss hoher Einstrahlungsintensität und niedriger N-Versorgung auf den Sekundärmetabolismus (Stamp 2003). Ein Trend zu höheren Gehalten C-basierter sekundärer Pflanzenstoffe und Ascorbinsäure sowie niedrigeren Nitratgehalten bei organischer im Vergleich zu mineralischer Düngung wurde auch durch verschiedene Literaturauswertungen bestätigt (u.a. Brandt & Mølggaard 2001, Rembialkowska 2007). In der vorliegenden Untersuchung hatte die geringere N-Verfügbarkeit des Mistkompostes verglichen mit mineralischem N bei voller Einstrahlung reduzierte Nitratgehalte bei gleichzeitig höheren Gehalten an Ascorbinsäure und Glucosinolaten zur Folge. Diese Unterschiede traten auch bei Auswertung der Trockenmassegehalte auf und sind somit nicht allein auf einen Verdünnungseffekt durch bei mineralischer Düngung erhöhte Wassergehalte zurückzuführen. Der signifikant höhere Ascorbinsäuregehalt bei Hornkieselapplikation steht in Übereinstimmung mit in früheren Untersuchungen detektierten positi-

von Effekten des Präparates auf die Produktqualität (Klett 1968). Während für die anderen drei Versuchsfaktoren im hier nicht dargestellten Versuchsjahr 2008 ähnliche Effekte wie 2009 auftraten, war der Einfluss der Hornkieselapplikation auf die untersuchten Inhaltsstoffe 2008 geringer ausgeprägt.

Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Untersuchung wurden bei Salatrauke höhere Ascorbinsäure- und Glucosinolatgehalte sowie niedrigere Nitratgehalte bei vor allem bei voller im Vergleich zu reduzierter Einstrahlungsintensität, aber auch bei niedrigem im Vergleich zu hohem N-Angebot und organischen im Vergleich zu mineralischen Düngungsverfahren festgestellt. Bei der Salatrauke als Pflanze mit im Vergleich zu anderen Gemüsearten einerseits hohen Gehalten an Vitamin C und sekundären Pflanzenstoffen, andererseits hoher Nitrataffinität wirkt sich die Förderung des Sekundärmetabolismus durch diese Faktoren demnach positiv auf die Produktqualität aus.

Danksagung

Dieter Zedow gilt unser herzlicher Dank für die Unterstützung bei den Ascorbinsäure- und Nitratanalysen. Uwe Ammermann, Universität Göttingen, danken wir für die Analyse der Glucosinolate, Prof. Dr. Hans-Peter Piepho, Universität Hohenheim, für Beratung bei der statistischen Auswertung. Der Software AG Stiftung und der Mahlestiftung sind wir für die Finanzierung zu Dank verbunden.

Literatur

- Brandt, K., Mølgaard, J.P. (2001): Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? *J. Sci. Food Agric.* 81: 924-931
- Klett, M. (1968): Untersuchungen über Licht- und Schattenqualität in Relation zum Anbau und Test von Kieselpräparaten zur Qualitätshebung. Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Darmstadt
- Krumbein, A., Schonhof, I., Rühlmann, J. & S. Widell (2001): Influence of sulphur and nitrogen supply on flavour and health-affecting compounds in brassicaceae. In: Horst, W.J. et al. (Eds.): *Plant nutrition – Food security and sustainability of agroecosystems*: 294-295
- LMBG (2004): Bestimmung von Vitamin C mit HPLC, L 00.00-85. Übernahme der gleichnamigen Norm DIN EN 14130. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren.
- Marschner, H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press Inc., London, England
- Nurzynska-Wierdak, R. (2009): Growth and yield of garden rocket (*Eruca sativa* Mill.) affected by nitrogen and potassium fertilization. *Acta Sci Pol, Hortorum Cultus* 8 (4): 23-33
- Rembialkowska, E. (2007): Quality of plant products from organic agriculture. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2757-2762
- Santamaria, P (2006): Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86: 10-17
- Skalar Analytical B.V. (1993): *Soil and Plant Analysis*. Breda, Publ. Nr. 0640693.
- Stamp, N. (2003): Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *Quart. Rev. Biol.* 78: 23-55