

Qualitäts- und ertragsrelevante Auswirkungen thermischer Einflüsse bei Ölfrüchten

Effects of temperature on quality and yield of oil crops

Manfred Werteker^{1*}, Klemens Mechtler¹ und Martin Hendler¹

Abstract

The influence of temperature on fatty acid spectra of microorganisms and higher plants is well documented in literature. Also about the induction of desaturation mechanisms by low temperatures a lot of evidence is existing. Most of the published results are produced in model trials under controlled climatic conditions. The presented study investigated the influence of average temperature during the grain filling stage on the fatty acid spectra of rapeseed, soybean and sunflower under conditions of practical agriculture. The results were set in relation to crop yield. In all species the share of the highest unsaturated fatty acid declined with increasing temperature. Yields of sunflowers decreased, whereas those of rapeseed and soybean increased with increasing temperature. The results allow an interpretation of different behaviour of crop species concerning yield by different extent and mechanisms of fatty acid desaturation. The influence of temperature on the fatty acid spectra in some cases was of similar magnitude as the influence of variety.

Key words

Brassica napus, fatty acids, *Glycine max*, *Helianthus annuus*, rapeseed, soybean, sunflower

Einleitung

Ungesättigten Fettsäuren kommt aufgrund ihrer positiven Einflüsse auf die menschliche Gesundheit zunehmende Bedeutung in der Ernährung zu. Während unter gesundheitlichen Aspekten vor allem die positive Beeinflussung des Cholesterinspiegels zu erwähnen ist, hat im pflanzlichen Stoffwechsel insbesondere die Beteiligung der Fettsäuren an der Bildung von intrazellulären Membranen Auswirkungen auf den zellulären Stoffwechsel. Vor allem wird die Bindung von Lipoproteinen an die Membran entscheidend von deren Fettsäurezusammensetzung bestimmt. Damit stehen u.a. enzymatische Aktivitäten, die Leistung von Transferproteinen sowie - im Falle von tierischen Zellen - die Funktion von Rezeptoren an der Zelloberfläche in direktem Zusammenhang mit dem Fettsäurespektrum (SEO et al. 2006, CHAPKIN et

al. 2008). Durch den niedrigeren Schmelzpunkt von Fetten mit höherem Anteil an ungesättigten Fettsäuren werden aber darüber hinaus die physikalischen Eigenschaften der Membranen verändert. Insbesondere wird die Mikrofluidität - eine Eigenschaft welche vor allem Diffusionsvorgänge, aber auch die Bindung lipophiler Proteine an der Membran beeinflusst - erhöht (THOMPSON 1980, SAITO et al. 2005). Dem pflanzlichen oder tierischen Organismus steht somit ein Mittel zur Verfügung, durch Erhöhung des Anteils an ungesättigten Fettsäuren bzw. höhere Entsättigung tiefen Temperaturen entgegen zu wirken.

Sowohl bei Mikroorganismen als auch bei höheren Pflanzen ist die Förderung der Entstehung ungesättigter Fettsäuren unter dem Einfluss niedrigerer Temperaturen bekannt. Auch an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen wie Raps und Sonnenblumen wurde eine erhöhte Synthese der jeweils für die Kulturart typischen am höchsten ungesättigten Fettsäure festgestellt (TRÉMOLIÈRES et al. 1982). Ähnliche Effekte wurden auch bei Sojabohnen beobachtet (LANNAL et al. 2005). Bei Raps wird über vermehrte Transkription der für die Entsättigung von Stearin- bzw. Linolsäure verantwortlichen Desaturasen bei niedrigeren Temperaturen berichtet (GAO et al. 2002). Neuere Arbeiten bestätigen den negativen Einfluss höherer Temperaturen auf den Linolensäureanteil bei Raps unter Freilandbedingungen (PRITCHARD et al. 2000, BAUX et al. 2008). Bei Raps, Sojabohnen und Sonnenblumen konnte der Temperatureinfluss auf die Entsättigung von Fettsäuren im Rahmen von Sortenversuchen beobachtet werden (WERTEKER et al. 2010). Die verringerte Entstehung höher ungesättigter Fettsäuren, insbesondere von Linolensäure, in Sojabohnen wird auf eine Destabilisierung der Enzyme bei höheren Temperaturen zurückgeführt (TANG et al. 2005). Die Entsättigung der Fettsäuren in Sonnenblumenkernen ist weitgehend vom im Zytoplasma gelösten Sauerstoff und somit auf indirektem Wege von der Temperatur abhängig (ROLLETSCHEK et al. 2007).

Die präsentierte Studie zielt, basierend auf den Ergebnissen der oben zitierten Arbeiten über Fettsäureentsättigung in Raps, Sojabohnen und Sonnenblumen, darauf ab, die Wirksamkeit der verschiedenen Regulierungsmechanismen zu vergleichen und in Beziehung zum Ertrag zu setzen.

¹ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

* Ansprechpartner: Manfred WERTEKER, manfred.werteker@ages.at

Material und Methoden

Folgende Sortenversuche der Ernte 2006 wurden zu den Untersuchungen herangezogen: Winterkörnerraps: Schönfeld, Freistadt, Grabenegg, Ritzlhof, Hohenau, Großnondorf und Schattendorf; Sojabohnen: Hörzendorf, Gleisdorf, Lambach, Melk, Grabenegg, Ritzlhof, Oberwart und Völkermarkt; Sonnenblumen: Hohenau, Großnondorf, Tulln, Unterwaltersdorf und Albrechtsfeld. Die Standorte sind bei jeder Kulturart in ansteigender Reihenfolge der während der letzten 30 Tage vor der Ernte gemessenen Durchschnittstemperatur angeführt. Bei Raps und Sojabohnen wurden jeweils zwei Versuchsreihen mit unterschiedlichen Sortenspektren durchgeführt. Die Standortauswahl bei den Versuchsreihen war unterschiedlich.

Die Fettsäurespektren wurden nach Umesterung der Fette zu Fettsäuremethylestern gaschromatographisch bestimmt und in Prozent der Gesamtfettsäuren ausgedrückt.

Der Sorteneinfluss bei Fettsäurespektrum und Ertrag wurde minimiert, indem bei beiden Größen mit den Abweichungen vom Sortenmittel gerechnet wurde.

Ergebnisse

Nach rechnerischem Ausschluss des Sorteneinflusses konnten die in *Tabelle 1* angeführten Regressionen des Anteils der jeweils kulturartspezifisch am höchsten ungesättigten Fettsäure mit der Temperatur festgestellt werden. Bei Raps und Sojabohnen konnte eine deutliche Abnahme des Anteils der Linolensäure am Gesamtfettsäurespektrum der Samen mit steigender Temperatur während der Kornfüllungsphase festgestellt werden. Bei Sonnenblumen betraf diese Abnahme den Linolsäureanteil. Unterschiedlich war vor allem das Ausmaß in welchem die verschiedenen Kulturarten auf Temperaturänderungen reagierten. Wie den Werten für den Regressionskoeffizienten b zu entnehmen ist, kam es bei Raps durchschnittlich zu einem Rückgang des Linolensäureanteiles von etwa $0,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Bei Sojabohne lag der entsprechende Wert mit einer Abnahme von $0,21\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ etwa bei der Hälfte des für Raps gefundenen Wertes. Die Ergebnisse aus den beiden Versuchsreihen bei Raps und Soja weisen nur geringe Unterschiede innerhalb der Kulturart auf. Mit einer Abnahme von beinahe $1,7\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ scheint bei Sonnenblume der Linolsäuregehalt mit Abstand am empfindlichsten auf Temperatursteigerungen zu reagieren.

Tabelle 1: Regression des Anteils der mehrfach ungesättigter Fettsäuren mit der Durchschnittstemperatur 30 Tage vor der Ernte

Table 1: Regression of the share of polyunsaturated fatty acids with the average temperature 30 days before harvest

| Fatty acid / Crop trial | Regression analysis | |
|-------------------------|---------------------|-------|
| | b | R^2 |
| Linolenic acid | | |
| Rapeseed I | -0.514 | 0.737 |
| Rapeseed II | -0.448 | 0.277 |
| Soybean I | -0.208 | 0.429 |
| Soybean II | -0.210 | 0.146 |
| Linol acid | | |
| Sunflower | -1.669 | 0.339 |

Tabelle 2: Regression des Ertrages mit der Durchschnittstemperatur 30 Tage vor der Ernte

Table 2: Regression of crop yield with average temperature 30 days before harvest

| Crop trial | Regression analysis | |
|-------------|---------------------|-------|
| | b | R^2 |
| Rapeseed I | 5.258 | 0.743 |
| Rapeseed II | 3.930 | 0.495 |
| Soybean I | 4.146 | 0.334 |
| Soybean II | 4.230 | 0.286 |
| Sunflower | -3.011 | 0.337 |

Die Erträge von Raps und Sojabohnen zeigten einen Anstieg von durchschnittlich etwa 4 bis 5 dt ha⁻¹ °C⁻¹ (*Tabelle 2*). Auch in diesem Falle kommt es zu einer guten Übereinstimmung der beiden Versuchsserien. Im Gegensatz dazu waren bei Sonnenblumen die höchsten Erträge an den Standorten mit den niedrigsten Temperaturen während der letzten 30 Tage vor der Ernte feststellbar. Auf Grund der großen Anzahl an untersuchten Proben waren alle angeführten Regressionen hoch signifikant ($P < 0,01$).

Diskussion

Alle untersuchten Kulturarten reagierten auf den Einfluss niedrigerer Temperaturen zwar mit der Synthese von höheren Anteilen an höher ungesättigten Fettsäuren, jedoch in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Wie bereits eingangs erwähnt kann die vermehrte Synthese ungesättigter Fettsäuren als Kompensation der durch Kälte hervorgerufenen Erhöhung der Mikroviskosität von biologischen Membranen betrachtet werden (THOMPSON 1980, SAITO et al. 2005). Daraus kann abgeleitet werden, dass Organismen, welche empfindlicher auf Kälte mit Desaturierung von Fettsäuren reagieren, Vorteile gegenüber solchen haben, deren Reaktion weniger deutlich ausgeprägt ist. Diese Theorie scheint durch die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen gestützt zu werden, wenn auch für den Ertrag wesentliche Umweltfaktoren, insbesondere der Niederschlag, nicht erhoben wurden. Es zeigte sich jedoch, dass jene Kulturarten (Raps und Sojabohne), bei welchen es offenbar zu einem vergleichsweise geringeren Anstieg der höher ungesättigten Fettsäuren unter dem Einfluss niedrigerer Temperaturen kam, der positive Einfluss steigender Temperaturen auf die Ertragsbildung überwog, während bei Sonnenblumen - der Kulturart mit der bei weitem stärksten Steigerung der Entsättigung von Fettsäuren unter Kälteeinfluss - die Anpassung des Fettsäurespektrums niedrigere Temperaturen während der Kornfüllungsphase mehr als kompensieren konnte.

Es ist aber auch anzumerken, dass der Zusammenhang zwischen steigenden Temperaturen und sinkenden Anteilen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren nur bei gemäßigttem Witterungsverlauf - wie dies im Jahr 2006 der Fall war - zu beobachten ist, da auch Hitzestress zu einer vermehrten Entsättigung von Fettsäuren führt, wie dies etwa am Beispiel von Raps in Freilandversuchen gezeigt werden konnte (BAUX et al. 2008). Dass Omega-3-Fettsäuren nicht nur Kälte- sondern auch Hitzeresistenz erhöhen, wurde im Modellversuch an Tabakpflanzen bestätigt. So konnte die

Hitzeresistenz von Tabakpflanzen etwa durch die Ausschaltung eines Desaturase-Gens im Vergleich zur unveränderten Kontrollgruppe erheblich gesenkt werden (MURAKAMI et al. 2000).

Zusammenfassung

Die Samenfette von Raps, Sojabohne und Sonnenblume zeigten unter der Einwirkung niedrigerer Temperaturen während der Kornfüllungsphase höhere Anteile an mehrfach ungesättigten Fettsäuren am Fettsäurespektrum, wobei Sonnenblume am stärksten auf die Temperatureinflüsse reagierte. Bei Sonnenblume waren auch die höchsten Erträge bei niedrigeren Temperaturen zu beobachten, während es bei Raps und Sojabohnen zu einem Anstieg der Erträge mit steigender Temperatur kam. Das Ertragsverhalten der Sonnenblume kann als Folge der im Vergleich zu den anderen beiden untersuchten Kulturarten höheren Bildung mehrfach ungesättigter Fettsäuren interpretiert werden.

Literatur

- BAUX A, HEBEISEN T, PELLET D, 2008: Effects of minimal temperatures on lowlinolenic rapeseed on fattyacid composition. *Eur. J. Agron.* 29, 102-107.
- CHAPKIN RS, SEO J, McMURRAY DN, LUPTON JR, 2008: Mechanisms by which docosahexaenoic acid and related fatty acids reduce colon cancer risk and inflammatory disorders of the intestine. *Chem. Phys. Lipids* 153, 14-23.
- GAO MJ, ALLARD G, BYASS L, FLANAGAN AM, SINGH J, 2002: Regulation and characterization of four CBF transcription factors from *Brassica napus*. *Plant Mol. Biol.* 49, 459-471.
- LANNAL AC, JOSÈ IC, OLIVEIRA MGA, BARROS EG, MOREIRA MA, 2005: Effect of temperature on polyunsaturated fatty acid accumulation in soybean seeds. *Braz. J. Plant Physiol.* 17, 213-222.
- MURAKAMI Y, TSUYAMA M, KOBAYASHI Y, KODAMA H, IBA K, 2000: Trienoic fatty acids and plant tolerance of high temperature. *Science* 287, 476-479.
- PRITCHARD FM, EAGLES HA, NORTON RM, SALISBURY PA, NICOLAS M, 2000: Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Aust. J. Exp. Agric.* 40, 679-685.
- ROLLETSCHKE H, BORISJUK L, SÁNCHEZ GARCÍA A, GOTOR C, ROMERO LC, MARTÍNEZ RIVAS JM, MANCHA M, 2007: Temperature-dependent endogenous oxygen concentration regulates microsomal oleate desaturase in developing sunflower seeds. *J. Exp. Bot.* 58, 3171-3181.
- SEO J, BARHOUMI R, JOHNSON AE, LUPTON JR, CHAPKIN RS, 2006: Docosahexaenoic acid selectively inhibits plasma membrane targeting of lipidated proteins. *FASEB J.* 20, 770-772.
- SAITO T, KATO A, OCHIAI H, MORITA N, 2005: Temperature adaptation in *Dictyostelium*: role of 5 fatty acid desaturase. *Microbiology* 151, 113-119.
- TANG GQ, NOVITZKY WP, GRIFFIN HC, HUBER SC, DEWEY RE, 2005: Oleate desaturase enzymes of soybean: evidence of regulation through differential stability and phosphorylation. *Plant J.* 44, 433-446.
- THOMPSON AG, 1980: *The Regulation of Membrane Lipid Metabolism*. CRC-Press, Boca Raton, FL.
- TRÉMOLIÉRES A, DUBACQ J P, DRAPIER D, 1982: Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape : Regulation by temperature and light intensity. *Phytochemistry* 21, 41-45.
- WERTEKER M, LORENZA A, HOFRICHTER J, BERGHOFER E, FINDLAY CS, 2010: Environmental and varietal influences on the fatty acid composition of rapeseed, soybeans and sunflowers. *J. Agron. Crop Sci.* 196, 20-27.