

Effekte der Saatgutimpfung im ökologischen Soja-Anbau unter den Umweltbedingungen nördlicher Breiten

Kühling I¹, Hüsing B¹, Bome N² & Trautz D¹

Keywords: soya (*Glycine max*), *Bradyrhizobium japonicum*, inoculation, effect size.

Abstract

Driven by an increasing demand for GMO-free soya as food or fodder, the production of organic Soybeans increases, also in high latitudes. As a legume crop, soya needs specific rhizobia bacteria to be supplied by biological nitrogen fixation (BNF). Since most soils lack the soy-specific strains, bacteria material is usually added manually. We set up a field trial with 5 site-years to investigate the benefit of this inoculation procedure in two different environments (humid, Germany/semi-arid, Russia) under organic farming conditions. Overall 5 different varieties were used (at each site 2 individual and 1 joint) to compare inoculation against untreated control. Leaf chlorophyll as indicator for BNF was determined by a SPAD-502. To make the SPAD-meter readings of different varieties comparable, we calculated effect sizes (Hedges' d). Inoculation was always significantly successful and led to higher leaf chlorophyll contents. This positive inoculation effect resulted only in 1 year in a higher bean yield. Since soya will only benefit from BNF after manual inoculation, this additional effort seems to be necessary to substitute other pulses in organic crop rotations.

Einleitung und Zielsetzung

Der zunehmende Bedarf an hochwertigen Nahrungs- und Futtermitteln, die ohne den Einsatz von Gentechnik angebaut wurden, führt zu einer stetig steigenden Nachfrage nach ökologisch angebauten Sojabohnen (*Glycine max* (L.) Merr.). Durch den Klimawandel verschieben sich die Anbauregionen nach Norden, so dass mittlerweile auch in Norddeutschland und im Westsibirischen Getreidegürtel Vegetationsperiode und Temperatursumme für die Produktion von Soja ausreichen (Degeffie et al. 2014; Zimmer et al. 2016). Zur biologischen Stickstofffixierung (BNF) werden sojaspezifische Rhizobienbakterien (*Bradyrhizobium japonicum*) benötigt, die in den Böden nördlicher Breiten natürlicherweise nicht vorhanden sind. Während es in Deutschland üblich ist, das Saatgut mit den entsprechenden Bakterien zu impfen, wenn erstmalig Sojabohnen kultiviert werden oder wenn bekannt ist, dass den Böden die entsprechenden Stämme fehlen, ist diese Saatgutbehandlung in Westsibirien bislang nicht verbreitet. Um den Einfluss der Impfung im Sojaanbau unter den kühlen Langtagsbedingungen nördlicher Breiten zu untersuchen, wurden Feldversuche in zwei unterschiedlichen Klimazonen (humid, Norddeutschland 52.32°N/semi-arid, Südwestsibirien 57.35°N) durchgeführt.

Methoden

In zwei vergleichbaren Feldversuchen (split plot design, 4 Wiederholungen) wurden zwischen 2011 und 2014 an zwei klimatisch unterschiedlichen Standorten (Waldhof GER, Hochschule Osnabrück humid, Kuchak RU, Staatliche Universität Tjumen, semi-arid) 5 verschiedene frühreife Soja Sorten mit Impfung (*B. japonicum* Stamm 532C, Präparat Force 48, BASF) und als ungeimpfte Kontrolle angebaut. Auf beiden Standorten wurde jeweils erstmalig Soja kultiviert.

Neben Bonituren von Bestandesentwicklung (Entwicklungsstadien nach (Fehr & Caviness 1977) und Knöllchenbesatz sowie Ernteanalysen (Menge/Qualität) wurden regelmäßig die Blattchlorophyllgehalte an jeweils 30 jüngsten, voll entfalten Blättern pro Parzelle mit einem SPAD-502 (Minolta) als Indikator für die Stickstoffversorgung der Pflanze gemessen (Uddling et al. 2007).

Um die SPAD-Werte der unterschiedlichen Sorten vergleichbar zu machen, wurde das statistische Maß der Effektstärke („Hedges' d“) verwendet (Nakagawa & Cuthill 2007). Die Darstellung der Effektstärke erfolgt unter Angabe des 95%-Konfidenzintervalls, Signifikanz ist gegeben, wenn die Null-Linie nicht geschnitten wird.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Einfluss der Saatgutimpfung mit *B. japonicum* Bakterien auf die Knöllchenbildung und den Blattchlorophyllgehalt. Ohne Impfung entwickelten sich in Russland keine, in Deutschland jedoch vereinzelte Knöllchen an den Wurzeln (Abb. 1 links). Im Verlauf der Vegetationsperiode nahm der Unterschied der SPAD-Werte zwischen geimpften Pflanzen und ungeimpften Kontrollen an beiden Standorten zu, dabei war der Abstand in Deutschland deutlicher ausgeprägt (Abb. 1 rechts).

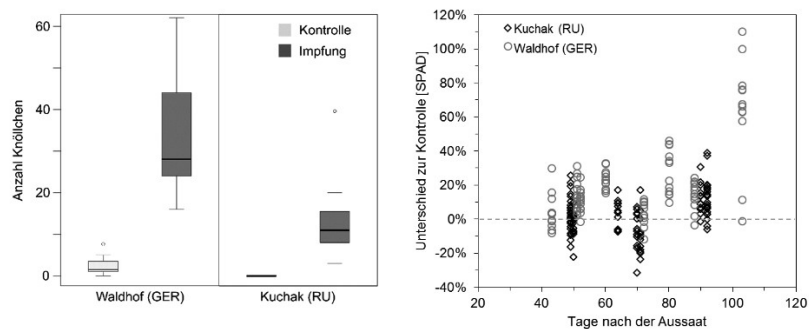


Abb. 1: Anzahl der Knöllchen zur Blüte (R2) (links) sowie relative Differenzen (Mittelwert aus 4 Wiederholungen je Sorte, Standort und Jahr) von SPAD Werten der geimpften Varianten im Vergleich zur ungeimpften Kontrolle im Vegetationsverlauf an beiden Versuchsstandorten (rechts).

Die Impfung führte zu positiven Effektstärken der SPAD-Werte, die im R5-Stadium (Beginn Hülsenfüllung) in allen Versuchsjahren signifikant waren (Abb. 2 links). Die Erträge zwischen geimpften Varianten und der Kontrolle unterschieden sich nur im

Jahr 2011 am Standort Waldhof signifikant, alle anderen Unterschiede ließen sich statistisch nicht absichern. In allen Versuchsjahren war der Proteingehalt der geimpften Pflanzen signifikant höher ($p < 0.01$) als ohne Rhizobienbehandlung (Abb. 2 rechts). Am Standort Kuchak wichen die Temperatursummen (Aussaat bis Ernte) erheblich vom langjährigen Mittel ab (2013: +13%, 2014 -13%), dieser Effekt ist in den deutlichen Ertragsunterschieden der Jahre wiederzufinden.

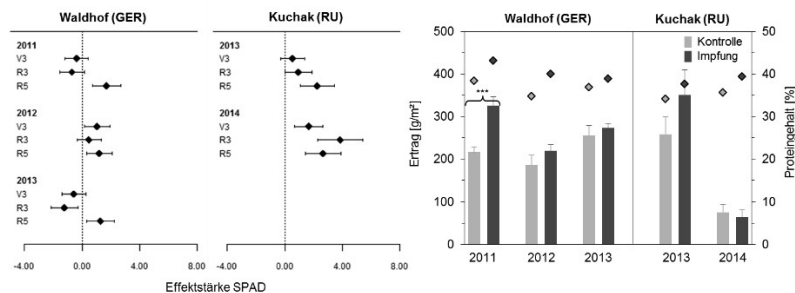


Abb. 2: Effektstärken der SPAD-Werte von Impfung gegenüber unbehandelter Kontrolle im Mittel über alle untersuchten Sorten zu 3 Entwicklungsstadien (V3: 3-Knoten, R3: Beginn Hülsenbildung, R5: Beginn Hülsenfüllung (links). Bohnenerträge (Balken, linke Achse) und Proteingehalte (Rauten, rechte Achse), Fehlerbalken: 1 Standardfehler (rechts), *: $p < 0,001$.**

Diskussion

Die eindeutig höheren Chlorophyllgehalte weisen auf eine bessere Stickstoffversorgung der geimpften Pflanzen hin (Gwata et al. 2004). Trotzdem konnte in 4 von 5 Versuchsjahren kein höherer Ertrag durch die Impfung erzielt werden. Auch bei Betrachtung der Proteinerträge führten die durchweg signifikant höheren Proteingehalte nur in einem Jahr zusätzlich zu statistisch signifikanten Vorteilen der Impfung (Standort Waldhof 2012). Die Temperaturen in den Versuchsjahren ohne positive Ertragseffekte waren im Unterschied zu den Prognosen des Klimawandels unterdurchschnittlich kühl (bis zu 60% geringere Temperatursummen in einzelnen Entwicklungsphasen). Auch die Bodentemperaturen (Waldhof Ø 16,7°, Kuchak Ø 17,1 in 10 cm) waren niedrig, der verwendete Bakterienstamm wird jedoch als wirkungsvoll in einem weiten Temperaturspektrum beschrieben (Lynch & Smith 1993).

Mittlerweile stehen frühreife Sorten für den Anbau in nördlichen Breiten zur Verfügung, jedoch ist insbesondere in Südwestsibirien nicht in jedem Jahr eine sichere Abreife gewährleistet. Die Saatgutbehandlung mit sojaspezifischen Rhizobienstämmen kann unter Umständen durch die bessere Stickstoffversorgung zusätzlich reif verzögernd wirken.

Die Klimawandelprognosen (wärmer, trockener) können zu vorteilhafteren Anbaubedingungen an beiden Versuchsstandorten führen (Kersebaum & Nendel 2014; Sirotenko et al. 1997). Unter diesen Bedingungen wird die Bedeutung von trockenstress-toleranten Sorten zunehmen, um eine gute BNF sicherzustellen (King & Purcell 2001). Insbesondere die für die nördlichen Breiten zu erwartenden erhöhten CO_2 -Gehalte können jedoch von Leguminosen wie Soja überdurchschnittlich positiv genutzt werden (Oikawa et al. 2010).

Schlussfolgerungen

Auch wenn mit Ausnahme von 2011 am Waldhof im Versuch weder signifikant höhere Körnerträge noch höhere Proteinerträge durch die Impfmaßnahme erzielt werden konnten, stellen Sojabohnen nur dann eine nachhaltige Alternative zu anderen Körnerleguminosen in ökologischen Fruchtfolgen dar, wenn sie ihren Stickstoffbedarf durch biologische N-Fixierung decken können. Dazu ist die Impfung mit geeigneten Präparaten notwendig und sollte auch in Westsibirien zur Standardmaßnahme werden.

Danksagung

Die Ergebnisse aus Russland wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „SASCHA“ als Teil der Fördermaßnahme "Nachhaltiges Landmanagement" erzielt und vom BMBF finanziert (Förderkennzeichen 01LL0906D). Die Ergebnisse aus Deutschland stammen aus dem Projekt "Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung sowie pflanzenbauliche und verarbeitungstechnische Optimierung", gefördert vom BMELV im Rahmen der BÖLN Initiative (Förderkennziffer 11NA002).

Literatur

- Degefie DT, Fleischer E, Klemm O, Soromotin AV, Soromotina OV, Tolstikov AV & Abramov NV (2014) Climate extremes in South Western Siberia: past and future. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 28(8): 2161-2173.
- Fehr WR & Caviness CE (1977) *Stages of Soybean Development* Cooperative Extension Service. Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University of Science and Technology.
- Gwata ET, Wofford DS, Pfahler PL & Boote KJ (2004) Genetics of Promiscuous Nodulation in Soybean: Nodule Dry Weight and Leaf Color Score. *The Journal of Heredity* 95(2): 154-157.
- Kersebaum KC & Nendel C (2014) Site-specific impacts of climate change on wheat production across regions of Germany using different CO₂ response functions. *European Journal of Agronomy* 52 Part A: 22-32.
- King CA & Purcell LC (2001) Soybean nodule size and relationship to nitrogen fixation response to water deficit. *Crop Science* 41(4): 1099-1107.
- Lynch DH & Smith DL (1993) Soybean (*Glycine max*) modulation and N₂-fixation as affected by exposure to a low root-zone temperature. *Physiologia Plantarum* 88(2): 212-220.
- Nakagawa S & Cuthill IC (2007) Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. *Biological Reviews* 82(4): 591-605.
- Oikawa S, Miyagi KM, Hikosaka K, Okada M, Matsunami T, Kokubun M, Kinugasa T & Hirose T (2010) Interactions between elevated CO₂ and N₂-fixation determine soybean yield-a test using a non-nodulated mutant. *Plant and Soil* 330(1): 163-172.
- Sirotenko O, Abashina H & Pavlova V (1997) Sensitivity of the Russian agriculture to changes in climate, CO₂ and tropospheric ozone concentrations and soil fertility. *Climatic Change* 36(1): 217-232.
- Uddling J, Gelang-Alfredsson J, Piikki K & Pleijel H (2007) Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research* 91(1): 37-46.
- Zimmer S, Messmer M, Haase T, Piepho H-P, Mindermann A, Schulz H, Habekuß A, Ordon F, Wilbois K-P & Heß J (2016) Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy* 72: 38-46.