

Calibration of the
soybean growth simulation model
SOYGRO
for Central Portugal

Gerriet Gerdes

Diese Arbeit wurde gefördert aus Mitteln der
Vater und Sohn Eiselen-Stiftung Ulm

VERLAG ULRICH E. GRAUER · Wendlingen · 1993

5 Summary

The soybean growth model SOYGRO was calibrated under irrigated conditions in Central Portugal, based on local soil, weather and management data. The soybean cultivar Kingsoy used in the experiments was introduced into the model. According to the field-determined data, variety specific coefficients defining phenological, vegetative and reproductive development, were established for the cultivar Kingsoy. The photosynthetic rate and the assimilate partitioning between leaves, stems and roots were modified with reference to field-measured values of photosynthesis and root length density.

After the calibration, soybean phenology, vegetative stages, leaf area index and dry matter accumulation were predicted satisfactorily. There was a good agreement between simulated and measured pod, seed and stem dry weight for the well irrigated treatments and the treatment with water stress before bloom (Stress I). Stem dry weight was also well predicted for the treatments with a water shortage during (Stress II) and after bloom (Stress III). However, pod and seed yield of the Stress II and Stress III treatments were overestimated. Root length density was overestimated at all times during the 1990 and 1991 growing seasons.

The simulation of the soil water balance depended on the limits of plant available water for the sandy soil at the experimental site. The lower limit of plant available water (LL), the drained upper limit (DUL) and the saturated upper limit (SAT) were determined by two different methods: (1) laboratory-measured pF-curves (soil A) and (2) texture data for the calculation of LL, DUL and SAT (soil B). The water storage capacity of soil B exceeded the storage capacity of soil A by about 2 vol.%. Using soil A for simulation, the soil water content (SWC) in the well irrigated treatments was generally underestimated by about 2-3 vol.% as compared with soil moisture measurements in the field. For the Stress I and Stress II treatments, the model also underestimated the SWC by about 2 vol.%. However, the course of soil water depletion in the Stress III treatment was correctly predicted. Using soil B for simulation, the SWC was generally overestimated by about 2-3 vol.% in the well irrigated treatments. The soil water depletion during the periods of water shortage was well predicted for the Stress I and Stress II treatments. The simulated SWC for the Stress III treatment, however, was about 3 vol.% above the measured water content. The variations in the SWC due to water supply, plant water uptake and soil evaporation were simulated satisfactorily with soil A and soil B for all treatments. A sensitivity analysis demonstrated that the different limits of plant available water for soil A and soil B had no pronounced effect on the yield prediction of the model.

Onset and development of plant water stress in the field were detected by measurements of leaf water potential, photosynthesis and stomatal conductance. A stress effect on soybeans was determined in the Stress I treatment 9 to 12 days and in the Stress II and Stress III plots 6 to 7 days

after the last irrigation. In the Stress III treatment, canopy temperature and sap flow of soybeans were additionally measured. Canopy temperature responded quickly to a water deficit and the calculated plant water stress index (PWSI) indicated a drought stress after 4 to 5 days without a water supply. Thus, the PWSI was a very sensitive water stress indicator. The measurable sap flow (transpiration) of soybeans was interrelated with the course of solar radiation. In the water deficit period, the sap flow declined 7 days after the last irrigation.

SOYGRO simulation results for the crop transpiration in the reproductive phase (4-7 mm) agreed well with the crop water use determined by soil moisture measurements. However, when crop transpiration was calculated from the sap flow measurements, the transpiration values were up to 4 times as high as the simulated values. Analyzing the sensitivity of the sap flow measurements with respect to different constants needed for the calculation of transpiration, there were no indications for the erroneous results.

A comparison of simulated and field-measured water stress indicated that the model's calculation of soil water balance, root water uptake and transpiration was not the cause of the incorrect yield prediction for the Stress II and Stress III treatments. The relative values of the water stress variables SWFAC and TURFAC in the SOYGRO model in general agreed well with the relative amounts of field-measured water stress. A sensitivity analysis of the model's yield prediction with modified parameters for photosynthesis, assimilate partitioning, leaf area development, vegetative and reproductive growth showed that the SOYGRO model was most sensitive to changes in the photosynthetic rate and the distribution of carbohydrates into leaves, stems and roots.

The calibrated SOYGRO model was used to evaluate management strategies for the soybean cultivation in Coruche, Portugal, on a sandy soil. Strategy analyses were based on seven years of climatic data from the experimental site. An analysis of several strategies with different irrigation intervals and irrigation amounts suggested a weekly water supply of 30 mm in the first four weeks after sowing and subsequently an interval of 4 days with an amount of 30 mm, resulting in a total irrigation amount of 720 mm per growing season. An analysis of different sowing dates showed that soybeans in the region of Coruche should be sown from mid-April to mid-May. Modifications in row spacing and plant density had little influence on the simulated soybean seed yield. The results of the strategy analyses indicated that the local calibrated soybean growth model SOYGRO can be a useful tool for developing management strategies for the soybean cultivation in Central Portugal.

6 Zusammenfassung

Das Simulationsmodell SOYGRO für Sojabohnenwachstum wurde in Zentral-Portugal im Bewässerungsanbau kalibriert. Lokale Boden-, Wetter- und Anbaudaten dienten als Basis für die Simulationsläufe. Da es für die in den Feldversuchen verwendete Sojabohnensorte Kingsoy im Modell noch keine sortenspezifischen Koeffizienten für die phänologische, vegetative und reproduktive Entwicklung gab, wurden diese anhand von Felddaten bestimmt. Die Kalibrierung des SOYGRO-Modells auf der Grundlage von Meßergebnissen erforderte hauptsächlich eine Änderung der Photosyntheserate und der Assimilatverteilung in Blatt, Sproßachse und Wurzel.

Das kalibrierte Modell simulierte Phänologie, vegetative Stadien, Blattflächenentwicklung und Trockenmassezunahme zufriedenstellend. Die Berechnung von Hülsen-, Samen- und Sproßachsentrockenmasse stimmte für die gut bewässerten Varianten und die Variante mit Wassermangel vor der Blüte (Streß I) weitgehend mit den gemessenen Daten überein. Die Sproßachsen-trockenmasse wurde vom Modell auch für die Varianten mit Wassermangel während (Streß II) und nach der Blüte (Streß III) gut simuliert. Das SOYGRO-Modell überschätzte jedoch den Hülsen- und Samenertrag für die Streß II- und Streß III-Varianten. Die berechnete Wurzellängendichte war für die beiden Vegetationsperioden 1990 und 1991 zu hoch.

Die Bodenwasserbilanz des Sandbodens der Versuchsfläche wurde mit zwei unterschiedlichen nutzbaren Feldkapazitäten simuliert. Dabei erfolgte die Bestimmung von "lower limit" (LL), "drained upper limit" (DUL) und "saturated upper limit" (SAT) nach zwei verschiedenen Methoden: (1) Labor-pF-Kurven (Boden A) und (2) Berechnung von LL, DUL und SAT anhand von Korngrößenklassen (Boden B). Die Wasserspeicherkapazität von Boden B lag um etwa 2 Vol. % über der Speicherkapazität von Boden A. Mit Boden A unterschätzte das SOYGRO-Modell den Wassergehalt (SWC) der gut bewässerten Varianten im Vergleich zu den im Feld gemessenen um etwa 2-3 Vol. %. Der SWC der Streß I- und Streß II-Varianten wurde ebenfalls um etwa 2 Vol. % unterschätzt. Die Abnahme des SWC in der Streß III-Variante stimmte jedoch gut mit den Streß III-Meßwerten überein. Mit Boden B lag der simulierte SWC für die gut bewässerten Varianten um etwa 2-3 Vol. % über dem gemessenen SWC. In den Streß I- und Streß II-Varianten waren dagegen der simulierte und der gemessene Wassergehalt in guter Übereinstimmung. SOYGRO überschätzte jedoch den SWC der Streß III-Variante um etwa 3 Vol. %. Die Schwankungen im Bodenwassergehalt aufgrund von Wasserzufuhr, Pflanzenwasseraufnahme und Bodenevaporation wurden für alle Varianten sowohl mit Boden A als auch mit Boden B zufriedenstellend simuliert. Eine Sensitivitätsanalyse zeigte, daß die unterschiedlichen nutzbaren Feldkapazitäten der Böden A und B keinen deutlichen Einfluß auf die Ertragsvorhersage des SOYGRO-Modells hatten.

Beginn und Verlauf von Wasserstreß bei Sojapflanzen wurden im Feld anhand von Blattwaterpotential, Photosynthese und stomatärer Leitfähigkeit ermittelt. In der Streß I-Variante zeigte die

Soja nach 9 bis 12 Tagen ohne Wasserzufuhr und in den Streß II- und Streß III-Varianten 6 bis 7 Tage nach der letzten Bewässerung meßbare Veränderungen. In der Streß III-Variante wurden zusätzlich Blattemperatur und Transpirationsstrom der Sojabohne gemessen. Die Blattemperaturen änderten sich relativ schnell nach dem Beginn der Wasserstreßperiode und der berechnete "plant water stress index" (PWSI) deutete auf einen Wassermangel nach 4 bis 5 Tagen ohne Wasserzufuhr hin. Anhand des PWSI konnte somit frühzeitig auf einen beginnenden Wassermangel bei Sojapflanzen geschlossen werden. Der meßbare Transpirationsstrom, der in enger Beziehung zur Globalstrahlung stand, verringerte sich in der Wasserstreßperiode nach 7 Tagen ohne Bewässerung. Die vom Modell simulierte Transpiration des Sojabestandes in der reproduktiven Phase (4-7 mm) stimmte gut mit dem Wasserverbrauch überein, der sich aus den Messungen des Bodenwassergehalts ergab. Leitete man hingegen die Verdunstung des Pflanzenbestandes aus den Messungen des Transpirationsstroms ab, so waren die Verdunstungswerte um das Vierfache zu hoch. Eine Sensitivitätsanalyse der Wirkung unterschiedlicher Konstantenannahmen für die angewandte Wärmebilanzmethode auf die Berechnung der Transpiration lieferte keine Anhaltspunkte für die zu hohen Werte.

Der Vergleich von simuliertem und im Feld gemessenem Wasserstreß zeigte, daß die Berechnung der Bodenwasserbilanz und der Wurzelwasseraufnahme durch das SOYGRO-Modell nicht die Ursache für die ungenaue Ertragsvorhersage bei den Streß II- und Streß III-Varianten war. Die relativen Werte der Wasserstreßvariablen SWFAC und TURFAC in SOYGRO stimmten im allgemeinen gut mit den relativen Werten des im Feld gemessenen Wassermangels überein. Eine Sensitivitätsanalyse über die Ertragsvorhersage des Modells mit veränderten Parametern für Photosynthese, Assimilatverteilung, Blattflächenentwicklung, vegetatives und reproduktives Wachstum ergab, daß Änderungen der Photosyntheserate und der Assimilatverteilung den größten Einfluß auf die Ertragssimulation des Modells hatten.

Mit dem kalibrierten SOYGRO-Modell wurden Strategien für den Anbau der Sojabohne in Coruche, Portugal, entwickelt. Die Strategieanalysen basierten auf siebenjährigen Wetterdaten von der Versuchsstation. Ein Vergleich verschiedener Bewässerungsintervalle und Bewässerungsmengen zeigte, daß wöchentliche Wassergaben von 30 mm in den ersten vier Wochen nach der Saat und danach alle vier Tage 30 mm zu empfehlen wären. Dies gilt für den Sandboden und würde einen Gesamtwasserverbrauch von 720 mm pro Anbausaison bedeuten. Die Analyse verschiedener Saatzeitpunkte ergab, daß die Soja in der Region von Coruche zwischen Mitte April und Mitte Mai gesät werden sollte. Veränderungen des Reihenabstandes und der Pflanzendichte hatten nur geringen Einfluß auf den simulierten Samenertrag der Sojakultur. Die Ergebnisse der Strategieanalysen zeigten, daß das lokal angepaßte Sojabohnenwachstumsmodell SOYGRO eine wertvolle Hilfe bei der Entwicklung verbesserter Anbaumethoden für die Sojakultur in Zentral-Portugal sein kann.