

DROUGHT MONITORING AND ADAPTATION STRATEGIES IN AGRICULTURE

ADANE BUNI IRKISO

ABSTRACT

Droughts are becoming more widespread, frequent and severe aggravated by climate change, necessitating the alignment of drought monitoring and adaptation strategies. Effective and timely drought monitoring is essential for successful implementation of drought adaptation strategies, which enhance the ability to anticipate, respond to, and recover from drought events. Drought monitoring and adaptation strategies together are pillars of a risk-based drought management approach, which is proactive and more sustainable than a crisis-driven responsive approach. Agriculture is the most vulnerable sector to drought impacts spanning from reduced crop yield to complete crop failure. Since agronomic drought adaptation strategies are implemented at a plot scale, it also becomes relevant to integrate drought monitoring at the farm scale. Accordingly, this study aims to demonstrate plot scale drought monitoring and to evaluate different local drought adaptation strategies.

The first study of this dissertation explored the integration of short-term plot-based soil moisture measurement for agricultural drought monitoring. Cosmic ray neutron sensor (CRNS), a non-invasive and innovative tool, was used to obtain representative soil moisture measurements at plot scale, from two agricultural sites in Germany. A Soil Water Deficit Index (SWDI) was computed based on the CRNS daily soil moisture measurements and inherent soil physical hydraulic characteristics. Subsequently, by adopting the conceptual framework implemented by the European Drought Observatory (EDO), the SWDI values were integrated into the combined drought indicator replacing the model-simulated soil moisture anomaly indicator. Results revealed the CRNS soil moisture measurement indicated the drought propagation in agreement with the corresponding anomaly-based standardized precipitation index (SPI) values. However, the vegetation drought indicator, anomaly Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (zFAPAR) used by EDO either underestimated the drought generally or did not clearly show the response to irrigation application. Consequently, zFAPAR was replaced by a vegetation condition index (VCI), which detected drought in agreement with SWDI and showed the response of the crop following the irrigation application.

In the second study, the effect of conventional tillage practices (moldboard, chisel plow and disk harrow) on soil moisture content during a drought period was evaluated, based on field measurements using CRNS and point sensors. Further, the conservation tillage practices (no tillage and mulching), proposed as drought adaptation strategies, were simulated using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) model. The analysis results revealed temporal variability in soil moisture dynamics during the observation period between different tillage methods. Markedly, soil moisture measurements below the working depths of the conventional tillage methods were the lowest under the moldboard tillage method, attributed to the compacted pan layer impeding water movement. The DSSAT simulation showed better agreement with the CRNS measurements than with point measurements. Soil water balance simulation with DSSAT model also indicated reduced soil evaporation by 40 % on average when crop mulch was used in tandem with conventional tillage.

The third study assessed deficit irrigation and soil amendment as drought adaptation strategies to achieve optimum crop yield per less water consumption. Recognizing evapotranspiration as proportional to crop water consumption, the response of wheat to water stress by adjusting its evapotranspiration requirements under combinations of drought adaptation treatments was assessed. It was noticed that using soil amendment materials improved the water retention of sandy soil in the current experiment, which yielded an optimum water use efficiency when combined with deficit irrigation administered beginning from the mid growth stage of wheat.

Overall, this study evaluated soil moisture as an integral parameter in agricultural drought monitoring. However, since drought is a gradual process, its entire development might not be captured by a single drought index. Therefore, soil moisture is integrated with precipitation and crop-based indicators for detecting drought initiation, consolidation, and recovery from it. In addition, the combination of various adaptation strategies proves to be more beneficial in alleviating the impact of drought than single approaches. Yet, the implementation of drought adaptation applicable to every situation requires a preliminary assessment that considers factors such as soil and crop type. A drought management approach that entails the implementation of drought adaptation strategies informed by timely drought monitoring is crucial for mitigating the impact of droughts on agricultural productivity.

ZUSAMMENFASSUNG

Dürren treten immer häufiger auf und werden durch den Klimawandel noch verschlimmert, was eine Abstimmung von Dürremonitoring und Anpassungsstrategien erforderlich macht. Ein wirksames und zeitnahes Dürremonitoring ist eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von Strategien zur Anpassung an Dürren, die die Fähigkeit verbessern, Dürreereignisse vorherzusehen, darauf zu reagieren und sich davon zu erholen. Dürremonitoring und die Strategien zur Anpassung sind die Säulen eines risikobasierten Dürremanagements, der proaktiv und nachhaltiger ist als ein krisenorientierter, reaktiver Ansatz. Die Landwirtschaft ist der Sektor, der am stärksten von den Auswirkungen von Dürren betroffen ist - von geringeren Ernteerträgen bis hin zum völligen Ernteausfall. Da agronomische Strategien zur Anpassung an Dürren auf der Ebene der Flurstücke umgesetzt werden, ist es auch wichtig, das Dürremonitoring auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe zu integrieren. Dementsprechend zielt diese Studie darauf ab, ein Dürremonitoring auf Flurstücksebene zu entwickeln und unterschiedliche lokale Anpassungsstrategien an Trockenheit zu bewerten.

In der ersten Studie dieser Dissertation wurde die Integration kurzfristiger lokaler Bodenfeuchtemessungen für ein landwirtschaftliches Dürremonitoring untersucht. Der Cosmic Ray Neutron Sensor (CRNS), ein nicht-invasives und innovatives Instrument, wurde eingesetzt, um repräsentative Bodenfeuchtemessungen im Flurstücksmaßstab an zwei landwirtschaftlichen Standorten in Deutschland durchzuführen. Auf der Grundlage der täglichen CRNS-Messung der Bodenfeuchte und der physikalisch-hydraulischen Eigenschaften des Bodens wurde ein Bodenwasserdefizitindex (SWDI) berechnet. Anschließend wurden die SWDI-Werte in einen kombinierten Dürreindikator integriert, der den modellsimulierten Indikator für die Bodenfeuchteanomalie ersetzt, indem der konzeptionelle Rahmen des Europäischen Dürreobservatoriums (EDO) genutzt wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass die CRNS-Bodenfeuchtemessung die Ausbreitung der Trockenheit in Übereinstimmung mit den entsprechenden anomaliebasierten standardisierten Niederschlagsindex (SPI)-Werten anzeigte. Der von EDO verwendete Vegetations-Trockenheitsindikator, anomaly Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (zFAPAR), unterschätzte jedoch die Trockenheit im Allgemeinen und zeigte nicht eindeutig die Reaktion von Boden und Vegetation auf Bewässerung an. Daher wurde zFAPAR durch einen Vegetationszustandsindex (VCI) ersetzt, der die Trockenheit in Übereinstimmung mit dem SWDI feststellte und die Reaktion der Pflanzen auf die Bewässerung anzeigte.

In der zweiten Studie dieser Arbeit wurde die Auswirkung konventioneller Bodenbearbeitungsmethoden (Pflug, Grubber und Scheibenegge) auf den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens während einer Dürreperiode anhand von Feldmessungen mit CRNS- und Punktsensoren bewertet. Darüber hinaus wurden die als Anpassungsstrategien an die Trockenheit vorgeschlagenen konservierenden Bodenbearbeitungsmethoden (keine Bodenbearbeitung und Mulchen) mit dem Modell Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) simuliert. Die Analyse ergab, dass die Dynamik der Bodenfeuchtigkeit während des Beobachtungszeitraums zwischen den verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden zeitlich variierte.

Die Bodenfeuchtemessungen unterhalb der Arbeitstiefen der konventionellen Bodenbearbeitungsmethoden waren bei der Pflugbearbeitung am niedrigsten, was auf die verdichtete Pflugsohle zurückzuführen ist, die die Wasserbewegung behindert. Die DSSAT-Modell Simulation zeigte eine bessere Übereinstimmung mit den CRNS-Messungen. Die Simulation der Bodenwasserbilanz mit dem DSSAT-Modell zeigte auch eine um durchschnittlich 40 % verringerte Bodenverdunstung, wenn Pflanzenmulch in Verbindung mit konventioneller Bodenbearbeitung verwendet wurde.

In der dritten Studie wurden Strategien zur Anpassung an die Trockenheit durch Defizitbewässerung und Bodenverbesserung durch Zusatzstoffe bewertet, um einen optimalen Ernteertrag bei geringerem Wasserverbrauch zu erzielen. Da die Evapotranspiration als proportional zum Wasserverbrauch der Pflanzen, wurde die Reaktion von Weizen auf Wasserstress durch Anpassung Evapotranspirationsbedarfs unter Kombinationen von Anpassungsstrategien an Trockenheit bewertet. Es wurde festgestellt, dass die Verwendung von Zusatzstoffen die Wasserrückhaltung in Sandböden im aktuellen Versuch verbesserte, was in Kombination mit einer Defizitbewässerung, die ab dem mittleren Wachstumsstadium des Weizens verabreicht wurde, zu einer optimalen Wassernutzungseffizienz führte.

Insgesamt zeigt diese Studie, dass die Bodenfeuchte ein wesentlicher Parameter bei der monitoring der Dürre in der Landwirtschaft ist. Da es sich bei der Trockenheit jedoch um einen allmählichen Prozess handelt, kann ihre gesamte Entwicklung möglicherweise nicht durch einen einzigen Trockenheitsindex erfasst werden. Daher ist die Integration von Bodenfeuchtemessungen mit Niederschlags- und pflanzenbasierten Indikatoren von entscheidender Bedeutung für die Erkennung des Beginns, der Konsolidierung und der Erholung von Dürren. Darüber hinaus erweist sich die Kombination verschiedener Anpassungsstrategien als vorteilhafter für die Milderung der Auswirkungen von Dürren als einzelne Ansätze. Die Umsetzung von universellen Anpassungsmaßnahmen an Dürren, erfordert jedoch eine vorherige Bewertung, die Faktoren wie Boden und Kulturpflanzen berücksichtigt. Ein Ansatz zum Dürremanagement, der die Umsetzung von Anpassungsstrategien an Trockenheit auf der Grundlage einer rechtzeitigen Dürremonitoring beinhaltet, ist für die Abschwächung der Auswirkungen von Dürren auf die landwirtschaftliche Produktivität von entscheidender Bedeutung.