LS19-013 - Water's gateway to heaven: 3D imaging and modeling of transient stomatal responses in plant leaves under dynamic environments

Zusammenfassung

Stomata sind winzige Poren an der Oberfläche von Pflanzenblättern. Sie bedecken zwar weniger als 5% der Blattoberfläche, bewerkstelligen jedoch den größten Teil des Gasaustauschs zwischen der At mosphäre und terrestrischer Vegetation. Blätter reduzieren typischerweise die Größe der Poren, um den Wasserverlust zu verringern. Die Geschwindigkeit mit der Stomata geschlossen werden, beeinflusst die Produktivität von Kulturpflanzen und Ökosystemen. Allerdings öffnen sich Spaltöffnungen manchmal paradoxerweise kurzzeitig als Reaktion auf Wassermangel, was möglicherweise zu erhöhtem Wasserverlust und beschleunigtem Welken der Blätter führt. Es wird angenommen, dass diese sogenannte „wrong-way response“ durch eine Veränderung der Form oder des Volumens von Zellen der Blattoberfläche (Epidermiszellen) verursacht wird. Um die Beziehung zwischen Blattstruktur und Spaltöffnungsreaktionen besser zu verstehen, haben wir schnelle, hochauflösende Röntgen-Mikrocomputertomographie (Mikro-CT) eingesetzt. Mit dieser Technik konnten wir einen Teil eines lebenden Blattes mit fast 100 Spaltöffnungen während des Welkens verfolgen. Eine speziell entwickelte Messkammer wurde verwendet, um den Wasserverlust und die Photosynthese während der Aufnahmen zu messen. Dies führte zu einem einzigartigen Datensatz, der physiologische Messungen mit vielfältigen, hochauflösenden 3D-Bildern der Blattstruktur kombinierte. Überraschenderweise stellten wir fest, dass die "wrong‐way response"nicht von einer messbaren Veränderung der Epidermisdicke abhing. Die Bewältigung der großen Datenmenge erforderte die Verwendung neuartiger Bildanalyse‐ansätze, um die Informationen in hierarchische Ebenen zu organisieren. Darüber hinaus wurden Deep-Learning-Methoden verwendet, um verschiedene Zellen und Gewebe innerhalb der Blatt‐struktur schnell zu identifizieren. Wir konnten nachweisen, dass durch die Quantifizierung von Unsicherheiten im maschinellen Lernen menschliche Expertise in der Bildanalyse besser genutzt werden kann, was zu einer verbesserten Quantifizierung anatomischer Blatteigenschaften bei‐trägt. In einem weiteren Schritt analysierten wir die Beziehung zwischen Blattstruktur und Spalt‐öffnungsfunktion genauer. Mit Hilfe von Fluoreszenz- und Rasterelektronenmikroskopie wurden Pflanzenlinien mit unterschiedlichen Zellgrößen und -formen auf der äußeren Oberfläche unter‐sucht. Im Gegensatz zu chemischer Fixierung, die die Zellstruktur verzerren kann, stellte das Schnellgefrieren eine praktikable Methode zur Gewinnung von 2D-Bildern des Blattes während der Dehydratation dar. Mit dieser Technik fanden wir einen Zusammenhang zwischen der „wrong‐way-response“ und mehreren anatomischen Merkmalen, einschließlich der Größe der Epidermis‐zellen. Dieses interdisziplinäre Forschungsprojekt lieferte wertvolle Erkenntnisse über das Zusam‐menspiel zwischen Blattanatomie und Spaltöffnungsfunktion. Wir erzielten bedeutende metho‐dische Fortschritte durch die Integration von ultraschneller 3D-Bildgebung, physiologischen Mes‐sungen und innovativen Bildanalysetechniken zur Quantifizierung von Gewebeeigenschaften.

Wissenschaftliche Disziplinen:
Plant anatomy (35%) | Plant physiology (35%) | Image processing (30%)

Schlagworte:
Plants, Stomata, Turgor pressure, Arabidopsis, Deep learning, Pattern recognition, Cell wall, Plasma membrane, Fluorescence microscopy, Microcomputed tomography, Abstract cellular complexes, Digital image representation, Topology

Principal Investigator:	Guillaume Théroux-Rancourt
Institution:	BOKU University
Co-Principal Investigator(s):	Ingeborg Lang (University of Vienna) Walter Kropatsch (TU Wien)

Status: Abgeschlossen (01.02.2020 – 31.05.2024)

GrantID: 10.47379/LS19013

Weiterführende Links zu den beteiligten Personen und zum Projekt finden Sie unter
https://wwtf.at/funding/programmes/ls/LS19-013/