

HOSTED BY



ELSEVIER

Inhaltsverzeichnisse verfügbar bei ScienceDirect

# Zeitschrift der saudischen Gesellschaft für Agrarwissenschaften

Homepage der Zeitschrift: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)الجمعية السعودية للعلوم الزراعية  
SAUDI SOCIETY FOR AGRICULTURAL SCIENCES

Artikel überprüfen

## Die Blattanwendung von Huminsäuren als nachhaltige Technologie zur Verbesserung von Wachstum, Ertrag und Schutz vor abiotischem Stress bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Ein Überblick



Octávio Vioratti Telles de Moura, Ricardo Luiz Louro Berbara, Danielle França de Oliveira Torchia, Hellen Fernanda Oliveira Da Silva, Tadeu Augusto van Tol de Castro, Orlando Carlos Huertas Tavares, Natália Fernandes Rodrigues, Everaldo Zonta, Leandro Azevedo Santos, Andrés Calderín García <sup>†</sup>

Labor für biologische Bodenchemie, Abteilung für Böden, Ländliche Bundesuniversität von Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasilien

### ARTICLE INFO

#### Artikel Geschichte:

Eingegangen am 31. Dezember 2022

Überarbeitet am 13. März 2023

Angenommen 2. Mai 2023

Online verfügbar 10 Mai 2023

#### Schlüsselwörter:

Huminstoffe  
Biostimulanzien  
Bio-Dünger  
Phytotechnik  
Huminsäuren

### ABSTRACT

Der Einsatz von Huminstoffen (HS) fördert bioaktive Effekte in Pflanzen, stimuliert Wachstum und Entwicklung, schützt vor biotischem und abiotischem Stress und erhöht die landwirtschaftliche Produktivität. Es gibt zahlreiche Beispiele für Düngemittel und Biostimulanzien aus Huminstoffen, die aufgrund ihrer Vielseitigkeit und ihres Strukturreichtums zu modernen intelligenten Agrartechnologien mit erhöhter Effizienz eingesetzt werden können. In den letzten Jahren hat sich die Phytotechnik im Zusammenhang mit der Anwendung von HS auf Blattwerk verbessert, und die Anwendungen wurden auf alle Pflanzengruppen ausgeweitet; die Studien sind jedoch uneinheitlich und immer noch spärlich, was die Integration von Daten und die Umsetzung dieser Technologie für Forscher, Techniker und Fachleute behindert. Ziel dieser Übersichtsarbeit war es, alle möglichen Belege für die Fähigkeit von HS zur Stimulierung des pflanzlichen Stoffwechsels bei der Anwendung auf Blättern zu sammeln. In dieser Übersicht wurden zunächst die Merkmale der Blattanwendung und der HS untersucht. Anschließend wurden die Studien nach Pflanzengruppen geordnet: Gemüse, Gräser, Hülsenfrüchte, Obst, Ölsaaten sowie Arznei- und Zierpflanzen. Unabhängig von der Pflanzengruppe stimulierte die Blattanwendung von HS Parameter wie Biomasse und Pflanzenhöhe und erhöhte den Gehalt an photosynthetischen Pigmenten und die landwirtschaftliche Produktivität. Die Blattanwendung förderte den Schutz vor Stressereignissen und erhöhte die Aktivität der Enzyme Peroxidase (POX), Katalase (CAT) und Phenylalanin-Ammonium-Lyase (PAL). Auch die Fruchtqualität verbesserte sich durch die HS-Blattanwendung, insbesondere der Gesamtzuckergehalt sowie der Gehalt an Öl, Eiweiß und Fasern. Auf der Grundlage dieser Übersicht schlagen wir Studien vor, die neue Formen und Technologien der HS-Blattanwendung bei Pflanzen integrieren. Experimente mit verschiedenen Herkunftsquellen, Pflanzentypen und Umgebungen sind notwendig, um die Anwendungsformen dieser Verbindungen zu standardisieren. Wir kommen daher zu dem Schluss, dass HS eine praktikable Technologie sind, die umweltfreundlich und für Kleinbauern und Familienbetriebe leicht zugänglich ist.

© 2023 Die Autoren. Produktion und Hosting durch Elsevier B.V. im Auftrag der King Saud University. Dies ist eine

Open-Access-Artikel unter der CC BY-NC-ND-Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Inhalt

1. Einführung .....	494
2. Blattdüngung .....	494
3. Huminstoffe und ihre Wirkung in Pflanzen .....	496
4. Blattapplikation von HS auf Pflanzen .....	498
4.1. Blattapplikation von HS bei Gemüse .....	499
4.2. Blattapplikation von HS auf Gräser .....	501
4.2.1. Blattapplikation von HS bei Leguminosen .....	503
4.2.2. Blattapplikation von HS bei Obstbäumen .....	504
4.2.3. Blattapplikation von HS bei Ölsaaten und Heilpflanzen .....	505
4.2.4. Blattapplikation von HS auf Zierpflanzen .....	507

<sup>†</sup> Korrespondierender Autor bei: Ländliche Bundesuniversität von Rio de Janeiro.

E-Mail Adresse: [cg.andres@gmail.com](mailto:cg.andres@gmail.com) (A. Calderín García).



5. Schlussfolgerungen.....	508
Beiträge der Autoren.....	509
Erklärung über konkurrierende Interessen.....	509
Danksagungen.....	509
Referenzen.....	509

Dieser Wirkmechanismus fördert das Wurzelwachstum der Pflanzen und schützt vor Stress (García et al., 2016, Castro et al., 2021, 2022).

Studien von de Hita et al. (2020) haben gezeigt, dass die positiven Auswirkungen von HS bei der Anwendung sowohl auf Blatt- als auch auf Wurzelgewebe auf die Anpassung an milden Stress zurückzuführen sind, die hauptsächlich durch die Wirkung von der Jasmonsäure.

Die Wirkung von HS auf Pflanzen, die über die Blattdüngung ausgebracht werden, ist also erwiesen. Die Blattdüngung ist eine weit verbreitete Düngemethode, die eine Alternative zur Ausbringung von Düngemitteln im Boden darstellt.

## 1. Einführung

Die Beseitigung von Hunger, Ernährungsunsicherheit und allen Formen von Fehlernährung ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit. Schätzungen zufolge werden im Jahr 2020 weltweit zwischen 720 und 811 Millionen Menschen hungern und mehr als 2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu angemessenen Nahrungsmitteln haben; beide Werte bedeuten einen erheblichen Anstieg im Vergleich zu früheren Erhebungen, und diese Situation wird durch den Anstieg der Weltbevölkerung auf acht Milliarden Menschen im Jahr 2022 noch verschärft (FAO, 2022). Daher ist es von entscheidender Bedeutung, moderne landwirtschaftliche Praktiken einzuführen, die in der Lage sind, diese Nachfrage nach Lebensmitteln zu befriedigen, und zwar mit nachhaltigeren Ansätzen, die die Bodendegradation und Wasserverschmutzung verringern (Cristofano et al., 2021; Lipper et al., 2014). Pflanzliche Biostimulanzien wie Aminosäuren und Huminsäuren gehören zu den wirksamsten Ansätzen in dieser Hinsicht (Souri und Hatamian, 2019; Amiri Forotaghe et al., 2022; Najarian et al., 2022).

Huminstoffe (HS) sind Stoffe, die aus der Zersetzung von pflanzlichen, tierischen und mikrobiellen Rückständen und aus der Stoffwechselaktivität von Bodenmikroorganismen stammen und etwa 80 % der organischen Bodensubstanz (SOM) ausmachen; sie kommen auch in der aquatischen Umwelt und der Atmosphäre vor (Amador et al., 2018). Diese Verbindungen haben bekanntermaßen biostimulierende Eigenschaften und werden von Landwirten eingesetzt, um den Einsatz von Agrochemikalien zu reduzieren und Nährstoffe effizienter zu nutzen, um eine nachhaltigere Lebensmittelproduktion zu erreichen (Monda et al., 2021). Dies liegt vor allem daran, dass sie auf positive oder negative Weise mit Pflanzen interagieren können, indem sie die Pflanzenentwicklung stimulieren oder hemmen, was auch als HS-Bioaktivität bezeichnet wird. Diese Stoffe wirken sich positiv auf den Lebenszyklus von Pflanzen aus, indem sie die Wurzel- und Blattentwicklung, die Nährstoffaufnahme und die Regulierung von Enzymen, die für den Pflanzenstoffwechsel von grundlegender Bedeutung sind, fördern. Das bioaktive Potenzial der HS hängt insbesondere von Faktoren wie der Spezies, die die HS erhält, dem mit HS behandelten Organ, dem Pflanzenalter, der empfohlenen HS-Dosis, der Quelle des organischen Materials, aus dem die HS extrahiert wurden, und den spezifischen physikochemischen Eigenschaften der HS ab (Zandonadi et al., 2014). Die stimulierende Wirkung von HS ist in der wissenschaftlichen Literatur gut anerkannt. Die Bioaktivität, die HS auf Pflanzen ausüben, hängt in hohem Maße von den strukturellen Merkmalen der HS ab und erfolgt zunächst durch chemisch-physikalische Wechselwirkungen mit dem Wurzelsystem der Pflanze (Asli und Neumann 2010). Solche HS-Wurzel-Wechselwirkungen fördern die Verstopfung der Poren und verändern deren Funktion, wodurch in den Pflanzen eine Wahrnehmung von leichtem Stress, dem so genannten "Eustress", entsteht. Unter diesen physiologischen Bedingungen regulieren die Pflanzen den Gehalt an reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) durch die Synthese von Redox-Enzymen.

und trägt so zu einer ökologisch nachhaltigeren Agrarkultur bei. Auf diese Weise werden Makro- und Mikronährstoffe sowie Biostimulanzen und Humusdünger ausgebracht, was die Aufnahme und Nutzung von Nährstoffen durch Pflanzen begünstigt und den Ertrag und die Qualität der Ernte erhöht (Manuel-Tejada et al., 2018). Die Verwendung von mit HS angereicherten Kompostextrakten ist ein wirtschaftlich wichtiges Instrument für die Blattdüngung, insbesondere wenn die Nährstoffaufnahme im Boden beeinträchtigt ist, wie beispielsweise unter kalkhaltigen Bedingungen aufgrund von Nährstoffausfällungen. Diese Art der Düngung ist jedoch auf bestimmte klimatische Bedingungen beschränkt, da hohe Temperaturen, Niederschläge und Wind ihre Wirksamkeit verringern. Ebenso können hohe Ausbringungsmengen die Pflanzen schädigen, z. B. durch Blattverbrennungen aufgrund der Salzkonzentration nach der Verdunstung des Wassers (Jindo et al., 2020).

HS haben die Fähigkeit, Pflanzen vor abiotischem und biotischem Stress zu schützen sowie ihr Wachstum und ihre Entwicklung zu stimulieren, was zu einer Steigerung der Erträge und der landwirtschaftlichen Produktion führt (Perminova et al., 2019). Die Verwendung von HS in Düngemitteln und pflanzlichen Biostimulanzen hat in den letzten Jahren zugenommen und ist Teil der Phytotechnik und des aktuellen Managements verschiedener Kulturen in verschiedenen Teilen der Welt (Olk et al., 2018). Trotz dieses Szenarios besteht nach wie vor die Notwendigkeit, die Wirkungsweise und die Regulierungsmechanismen zu verstehen, die die Pflanzenaktionen steuern, wenn HS und HS-basierte Düngemittel über die Blattapplikation ausgebracht werden. Die meisten aktuellen Studien sind unvollständig und noch unzureichend, was den Fortschritt der Forschung und das Verständnis von Fachleuten und Technikern in den betreffenden Bereichen und Gebieten behindert. Die vorliegende Übersichtsarbeit zielt daher darauf ab, die wichtigsten Ergebnisse zu ermitteln und zu konsolidieren, die in diesen Studien zur Blattanwendung von HS bei den verschiedensten Kulturen von wirtschaftlichem Interesse entweder in Feldversuchen oder in Gewächshäusern erzielt wurden. Für diese Studie wurden die Arten in die folgenden Gruppen eingeteilt: Gemüse, Gräser, Hülsenfrüchte, Obst, Ölsaaten sowie Arznei- und Zierpflanzen. Auf diese Weise wurde eine allgemeine Bewertung der Fähigkeit von HS zur Verbesserung der Pflanzenentwicklung und des Pflanzenwachstums durch Blattspritzungen durchgeführt, und auf der Grundlage des Grades des Schutzes vor Stress durch HS wurden die idealen Dosen und Anwendungszeiten bestimmt.

## 2. Blattdüngung

Die Fähigkeit von Pflanzen, über ihre Blätter Wasser aus der Umwelt aufzunehmen, ist seit etwa dreihundert Jahren bekannt. Die Nährstoffaufnahme und ihre physiologischen Auswirkungen wurden jedoch erst im 19. Jahrhundert nachgewiesen, beispielsweise durch die Pionierarbeit von Gray im Jahr 1843, der die Blattapplikation von Nährlösungen als alternative Düngung von Weinreben evaluierte (Fernández et al., 2013). Parallel zu diesen Studien gab es auch Fortschritte beim Verständnis der Oberflächenstruktur der Blätter (Brongniart 1834; von Dohl 1947). In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Studien über Gasaustausch, Transpiration,

Bei der Blattdüngung werden die Blätter direkt mit Nährstoffen versorgt, indem eine Lösung versprüht wird, die einen oder mehrere für die Pflanzenentwicklung wichtige Nährstoffe enthält, die auf die anderen Pflanzenteile verteilt werden müssen (Mocellin 2004; Fernández et al., 2013). Diese Methode gilt als schnelles und effizientes Mittel zur Überwindung der Unterernährung von Pflanzen, da sie die Pflanzen im Vergleich zur Bodenausbringung (Aufnahme über die Wurzeln) schneller mit Nährstoffen versorgt (Fageria et al., 2009). Allerdings sollte die Blattdüngung die Bodendüngung nicht vollständig ersetzen, sondern eine ergänzende Technik sein, die in kritischen Zeiten mit hohem Pflanzenbedarf oder wenn keine Nährstoffe im Boden verfügbar sind, eingesetzt wird (Nachtiqäü und Nava 2010).

Einer der Faktoren, die die Leistung der Blattdüngung beeinflussen, sind die Eigenschaften der Pflanze selbst, insbesondere der Blätter. Die Blattoberflächen sind in der Regel von Kutikula bedeckt, einem Schutzgewebe aus hydrophoben Biopolymeren, das den Feuchtigkeitsverlust verhindert (Kritzinger und Lötze 2019). Die Kutikula kann eingebettete Wachse (intrakutikulär) oder Ablagerungen auf ihrer Oberfläche (epikutikulär) aufweisen, und ihre Hauptpolymere sind Cutin und Cutan, die je nach Pflanzenart in unterschiedlichen Anteilen vorkommen (Jeffree 2007). Aufgrund dieser Komponenten verfügt die Kutikula über ein komplexes Netzwerk aus veresterten Fettsäuren (C<sub>16</sub> und/oder C<sub>18</sub>) sowie n-Alkoholen (C<sub>20</sub>-C<sub>40</sub>), n-Aldehyden und n-Alkanen (Bestandteile der Wachse) (Fernández et al., 2013).

Aufgrund dieser hydrophoben Eigenschaft der Blattoberflächen ist die Durchlässigkeit der Kutikula für den Fluss der Nährlösung erforderlich. Außerdem besteht die Kutikula im Allgemeinen aus drei Schichten: der äußersten Schicht, in der die epikutikulären Wachse überwiegen, der Matrixschicht aus Biopolymeren (Cutin und/oder Kutan) und intrakutikulären Wachsen und der innersten Schicht, die neben den genannten Biopolymeren auch Polysaccharide aus den Zellwänden der Epidermiszellen enthält. Die mittleren Lamellen und Pektinschichten befinden sich direkt unter dieser innersten Kutikularschicht, so dass eine gewisse Menge an Polysaccharidfibrillen und Pektinlamellen aus der Zellwand herausragen und dieses darunterliegende Gewebe mit der Kutikula verbinden (Fernández et al., 2013). So kommt es zu einem allmählichen Anstieg der negativen Ladungen des Epikutikulärwachses in Richtung der Pektinschicht, was einen elektrochemischen Gradienten erzeugt und die Bewegung von Kationen und Wassermolekülen verursachen kann (Franke 1967). Es gibt Studien, die sich mit dem möglichen Vorhandensein von "Wasserporen" befassen, die durch die Absorption von Wassermolekülen durch polare Einheiten der Kutikula entstehen und das Eindringen von hydrophilen Lösungen erklären würden. Es wurden jedoch keine Beweise gefunden, die diese Theorie stützen (Fernández et al., 2013).

Es gibt verschiedene Strukturen auf Pflanzenoberflächen (Spaltöffnungen, Trichome und Lentizellen), die auch Nährlösungen und andere Chemikalien aufnehmen können. Spaltöffnungen sind kleine, spezialisierte Poren, die aus zwei Schutzzellen bestehen und deren Öffnungs- und Schließdynamik den Gasaustausch zwischen dem Blatt und der Atmosphäre steuert (Gerardin et al., 2018; Huang et al., 2020). Trichome sind ein- oder mehrzellige Anhängsel, die aus der Epidermis herausragen (Bustamante-Eguiguren et al., 2020) und aufgrund ihrer geringen Kutinisierung die Aufnahme von Nährstoffen erleichtern können (Tagliavini und Toselli 2005). Lentizellen sind makroskopische epidermale Strukturen, die an Stängeln, Stielen oder Früchten zu finden sind und auch auf die oberirdischen Pflanzenteile aufgebrachte Lösungen aufnehmen können (Fernández et al., 2013). Bei der Bewertung der möglichen Absorption wässriger Lösungen über Spaltöffnungen bestätigten (Burkhardt et al., 2012) das Auftreten

dieses Prozesses, da die abaxiale (stomatäre) Oberfläche von Apfelblättern mehr absorbierte als die adaxiale (nicht-stomatäre) Oberfläche. Im gleichen Sinne wurde in (Schreel und Steppe 2020) in einer Übersicht über die Wasseraufnahme von Blättern durch verschiedene Pflanzengruppen die grundlegende Rolle der Spaltöffnungen für den Eintritt von Wasser und anderen gelösten Stoffen in die Pflanzenzellen hervorgehoben. Die beiden oben zitierten Studien betonen auch den Einfluss, den Aerosolpartikel (z. B. hygroskopische Salze), die sich natürlicherweise auf der Blattoberfläche ablagern, auf die Blattbefeuchtung und Wasseraufnahme haben.

O. Fioratti, Telles de Moura, R. Luiz Louro, Barbara, D. Eranca de Oliveira, Torchia et al. Diese Stoffe können bei wiederholten Zyklen von Deliquescenz (Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft bis zur Bildung einer Lösung) und Effloreszenz (Verlust von Wasser an die Atmosphäre) die Entwicklung dünner Wasserfilme auf der hydrophoben Oberfläche der Blätter verursachen. Solche hygroscopischen Partikel sind in der Lage, die Hydrophobie der Kutikula und die Oberflächenspannung des Wassers zu verändern, was eine stärkere Befeuchtung der Blattoberfläche ermöglicht und die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen begünstigt. (Burkhardt et al., 2012).

Neben der natürlichen Ablagerung von hygroscopischen Stoffen auf den Blattoberflächen kann die Benetzung und Aufnahme von Nährstofflösungen in diese Luftorgane auch durch die Zugabe von Beistoffen in die ausgebrachte Düngertlösung, die auch als Adjuvantien bezeichnet werden, gefördert werden. Es gibt verschiedene Arten dieser Produkte, die nach ihrer Wirkungsweise kategorisiert werden: Tenside (verringern die Oberflächenspannung), Klebstoffe (erhöhen die Retention der Lösung und sorgen für eine größere Regenfestigkeit), Penetrationsmittel (erhöhen die Durchdringungsrate der Blätter, indem sie die Kutikula "auflösen"), Feuchthaltemittel (verlangsamen das Austrocknen der Lösung, indem sie den Verflüssigungspunkt der Formulierung auf dem Blatt senken) und andere (Fernández et al., 2013). Rodrigues et al. (2020) bewerteten die Blattapplikation von Lanthan- (La) und Cer-Nitraten (Ce) in Sojabohnen und stellten fest, dass die Zugabe des 0,01%igen Tensids Triton HW 1000 den Kontaktwinkel der Tröpfchen auf beiden Seiten der Blätter verringerte und die Benetzbarkeit erhöhte. Aufgrund dieser erhöhten Wirksamkeit bei der Benetzung der Blattoberflächen und der Aufnahme von Düngemitteln durch die Pflanzen trugen die Hilfsstoffe auch zur Verringerung negativer Umweltauswirkungen bei, da geringere Mengen an Wirkstoffen in den Formeln verwendet werden und der größte Teil des ausgebrachten Produkts tatsächlich von den Pflanzen genutzt wird (Kovalchuk und Simmons 2021).

Trotz der Vorteile der Blattdüngung ist es schwierig, die Es ist nicht möglich, die Reaktionen der Pflanzen vorherzusagen, da die Wirksamkeit dieses Verfahrens von mehreren Faktoren abhängt, z. B. von der betreffenden Pflanzenart, der Zusammensetzung der Blattkutikula, dem Zeitpunkt der Anwendung, phänologischen Aspekten und den Umweltbedingungen (Portu et al., 2015). Nach Fageria et al. (2009) ist es für eine effiziente Aufnahme über die Blätter wichtig, dass die Spaltöffnungen geöffnet sind und die Temperatur nicht zu hoch ist, um Schäden wie Blattverbrennungen zu vermeiden. Ebenso empfehlen diese Autoren, dass Anwendungen an windigen und regnerischen Tagen nicht vor 4 Stunden nach dem Spritzen erfolgen sollten, da dies die Blattnässe beeinträchtigen würde. del Amor und Cuadra-Crespo (2011) arbeiteten mit Paprikapflanzen (*Capsicum annum* L., cv. Herminio) und beleuchteten den Einfluss der Temperatur auf die antioxidative Reaktion der Pflanze nach der Blattanwendung von Harnstoff. Der Zeitpunkt des Sprühens kann ebenfalls ein entscheidender Faktor für den Erfolg dieser Düngungstechnik sein. Bei der Analyse der Blattapplikation von Mangan (Mn) bei Gurken (*Cucumis sativus* L.) zur Erhöhung der Resistenz gegen Mehltau (Pilzkrankheit, die durch den Pilz *Podosphaera fuliginea* verursacht wird) stellten Eskandari und Sharifnabi (2020) fest, dass das kürzeste Intervall zwischen der Nährstoffbesprühung und der Inokulation des Pathogens zu einer maximalen Düngewirksamkeit führte. Portu et al. (2015) untersuchten die Produktion von phenolischen Verbindungen in Trauben nach einer Blattdüngung mit Harnstoff und betonten, dass die Reaktionen der Pflanzen mit dem Zeitpunkt der Anwendung zusammenhängen, da die Anhäufung solcher Verbindungen nach der Reifung zunimmt, wenn das vegetative Wachstum langsamer ist, was diese größere Reserve an Sekundärmetaboliten begünstigt.

Frióni et al. (2021) bewerteten den Einfluss von *Ascochyta blight* (*Ascochyta blight*), einer Braunalge, an Rebstöcken, die progressivem Wasserstress ausgesetzt waren, und verglichen dabei zwei Applikationsmethoden: Blatt- und Bodenapplikation. Die Autoren stellten fest, dass die beiden Behandlungsformen zu gegensätzlichen Ergebnissen führten, wobei die Blattbesprühung wirksamer war als die Bodenanwendung, da sie die Integrität des photosynthetischen Apparats bewahrte und die physiologische Funktion des Blattes während der Rehydrationsphase schneller wiederherstellte. In ähnlicher Weise untersuchten Zhou et al. (2021) die Wirkung von Blatt- und Bodenapplikationen von Selen (Se) und Silizium (Si) zur Verringerung der Toxizität von Cadmium (Cd) bei Weizensorten (*Triticum turgidum* L.). Die Bodenapplikation von Si und Se war wirksam bei der Kontrolle der Cd-Toxizität.

Cd-Konzentrationen in beiden Sorten zu senken, während die Blattmethode nur bei einer Sorte erfolgreich war. Diese Ergebnisse waren auf die Regulierung von Cd-Transportergenen und die Verbesserung der Aktivität von antioxidativen Enzymen zurückzuführen. Andererseits kamen [Boldrin et al. \(2013\)](#) zu dem Schluss, dass die Ausbringung von Se im Boden bei der Erhöhung der Se-Konzentration in Reiskörnern wirksamer war als die Ausbringung über das Blatt.

Eine weitere Möglichkeit der Blattdüngung von Kulturpflanzen ist die Verwendung von HS, die strukturell unregelmäßige organische Materialien sind, die in Böden, Flüssen, Ozeanen und Sedimenten sowie in natürlichen Ressourcen wie Kohle (Torf, Leonardit und Braunkohle) weit verbreitet sind ([Jung et al., 2021](#)). Bei diesen Stoffen handelt es sich um Verbindungen, die durch die chemische und biologische Umwandlung von tierischen und pflanzlichen Rückständen durch die Einwirkung von Bodenmikroorganismen entstehen und die Fähigkeit haben, das Pflanzenwachstum und die Aufnahme der wichtigsten von Pflanzen benötigten Nährstoffe wie Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) zu fördern ([Leite et al., 2020](#)). Aufgrund ihrer großen strukturellen Komplexität ist die Natur der HS jedoch nach wie vor unklar, so dass die Beziehung zwischen ihren positiven Auswirkungen auf Pflanzen und ihrer molekularen Struktur Gegenstand zahlreicher Studien war, die sogar zu gegensätzlichen Ergebnissen führten ([Pizzeghello et al., 2020](#)). Daher werden im Folgenden die Hauptwirkungsformen von HS auf die Pflanzenentwicklung erörtert und die Ergebnisse von Studien vorgestellt, in denen die Blattanwendung bei verschiedenen Kulturpflanzen bewertet wurde ([Abb. 1](#)).

### 3. Huminstoffe und ihre Wirkung in Pflanzen

Huminsäuren bestehen aus komplexen Mischungen heterogener organischer Materialien, die natürlicherweise in Böden, Gewässern und Sedimenten vorkommen ([Stevenson 1994](#)) und seit ihrer Entstehung, beispielsweise durch Pflanzen, umfassend umgewandelt wurden ([Tranvik 2014](#)). Operativ können sie in die folgenden Fraktionen getrennt und klassifiziert werden: Fulvosäuren (FAs, löslich bei saurem und alkalischem pH), Huminsäuren (HAs, unlöslich bei saurem pH und löslich bei alkalischem pH) und Humin (unlöslich bei saurem und alkalischem pH) ([Stevenson 1994](#)).

HS werden durch einen Prozess gebildet, der als Humifizierung bekannt ist, ein heterogener und komplexer Prozess, bei dem chemische, biochemische, und enzymatische Umwandlungsreaktionen in Böden und natürlichen Systemen ablaufen, die sich zersetzen und Bedingungen für die Entstehung von HS schaffen.

Bildung neuer chemischer Strukturen mit größerer Stabilität als ihre Vorläufer. Der Humifizierungsprozess hängt von den chemischen und strukturellen Eigenschaften der in den Boden eingebauten Moleküle und dem Ausmaß dieses Prozesses ab. Die Humifizierungsrate wird durch die Umweltbedingungen reguliert, d. h. durch die Bodenfeuchtigkeit, die mineralogische Zusammensetzung sowie die Menge und Vielfalt der Bodenbiota. Durch die Befeuchtung entstehen daher in jeder Umgebung, in der sie gebildet werden, die spezifischen HS. Somit hat ein HS einen einzigen strukturellen Kern mit einer supramolekularen Organisationsebene, die für diese Gruppe von Verbindungen spezifisch und üblich ist, aber mit unterschiedlichen relativen Mengen an Strukturen in ihrer Zusammensetzung ([Aguiar et al., 2022](#)).

Das auf HS angewandte supramolekulare Strukturmodell scheint die chemischen Eigenschaften und Funktionen von HS in der Umwelt besser zu erklären. Nach dem supramolekularen Strukturmodell bestehen HS aus kleinen heterogenen Molekülen, die in Strukturen größerer Moleküle angeordnet sind und durch schwache intermolekulare Wechselwirkungen, van-de-Waal-Wechselwirkungen, hydrophobe Wechselwirkungen ( $\pi$ - $\pi$ ,  $\pi$ -CH- $\pi$ ) und Wasserstoffbrückenbindungen ([Piccolo 2002](#), [Nebbio et al., 2014](#)). Die Struktur von HS in einer supramolekularen Organisation wird im Boden als stabil angesehen, wo diese Komponenten selbst mit einer Oberflächendomäne organisiert sind, die von polaren, hydrophilen Strukturen gebildet wird, wobei eine Domäne mit aromatischen und hydrophilen Eigenschaften im Inneren der Struktur angeordnet ist ([Fischer 2017](#)). Computergestützte chemische Modellierungen haben bereits gezeigt, dass die Bildung supramolekularer Strukturen im Boden mit einer Aufnahme kleinerer Moleküle oder teil molekularer Subaggregate an den reaktiven Oberflächen der Bodenmineralfraktion beginnt, die als Grundlage für die Bildung größerer multimolekularer Aggregate dienen ([Gerzabek et al., 2022](#)) ([Abb. 2](#)).

HS sind in der Lage, den Ernährungszustand von Pflanzen auf verschiedene Weise zu verbessern: erhöhte Expression von Gen- Isoformen, die für Plasmamembran-Protonenpumpen (PM H<sup>+</sup> - ATPase) von Wurzeln kodieren und deren Aktivität erhöhen ([Tavares et al., 2017](#); [Zandonadi et al., 2007](#)); Förderung des Ionentransports zu Pflanzengewebe; Regulierung der Expression von Genen, die für die wichtigsten Nährstofftransmitter in den Wurzeln kodieren; und erhöhte Aktivität von Enzymen, die die

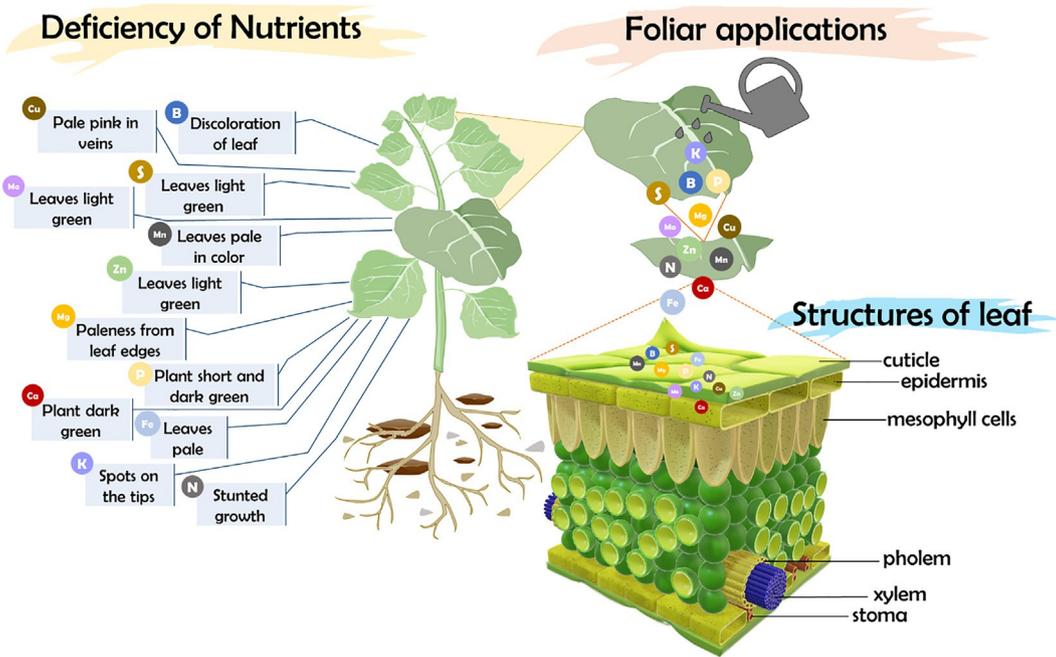


Abb. 1. Blattstruktur mit der Kutikula, die das hydrophobe Gewebe bedeckt. Entnommen aus Fernández et al. (2013).

al., 1989; Nardi et al., 1994; Varanini und Pinton 1995; Muscolo et al., 2013; Nardi et al., 2021). Es gibt Hinweise darauf, dass HS als umweltbedingte Quelle für Indoleessigsäure (IAA), eine Art von Auxin, betrachtet werden können, die das am besten untersuchte Auxin ist.

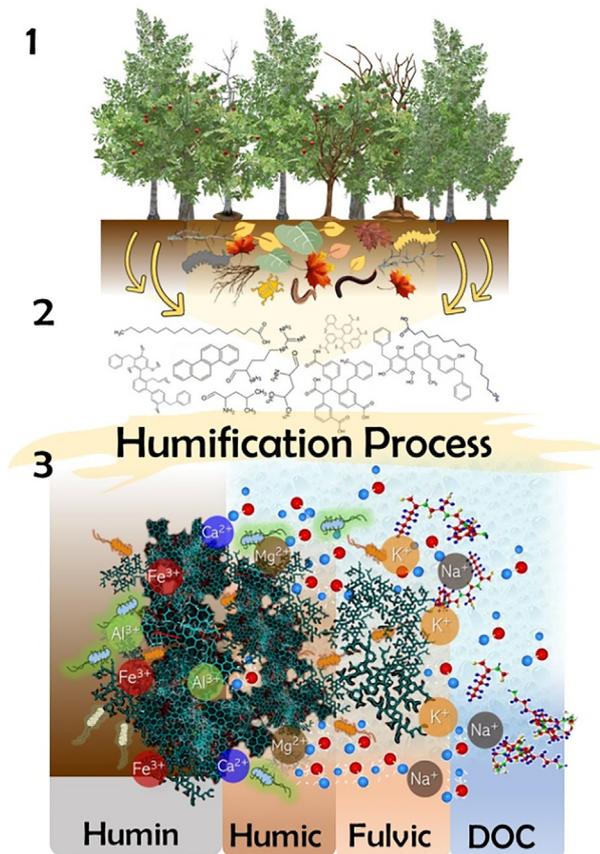


Abb. 2. Illustratives Schema, das die Bildung supramolekularer Huminstoffstrukturen durch die Ablagerung organischer Stoffe im Boden zeigt. 1) Ablagerung von pflanzlichen und tierischen Abfällen im Boden. 2) Einbau von organischen Molekülen in den Boden, Zersetzungsprodukte und 3) Bildung von Huminstofffraktionen und gelöstem organischem Kohlenstoff (Aguiar et al. 2022).

die Verwendung von Nährstoffen (z. B. Nitratreduktase, Glutaminsynthetase, Glutamatsynthase und Phosphoenolpyruvatcarboxylase - PEP-Case) (Urrutia et al., 2020). Daher wirken HS auf die Stickstoff-Assimilation und den Kohlenstoff-Stoffwechsel sowie auf die Synthese von Sekundärmetaboliten wie Phenylpropanoiden (Zanin et al., Vaccaro et al. (2015) fanden eine positive Wirkung niedriger HS-Dosen auf die Aktivitäten der wichtigsten Enzyme, die an der Reduktion und Assimilation von anorganischem Stickstoff in Maiskeimlingen beteiligt sind, während Leventoglu und Erdal (2014) keine positiven Auswirkungen hoher HS-Dosen auf das Pflanzenwachstum und die Nährstoffkonzentrationen von Mais in stark kalkhaltigen Böden feststellten. Akladius und Mohamed (2018) wiederum fanden heraus, dass die höchste Dosis von HS (1500 mg/kg<sup>-1</sup> Boden) wirksamer war als die niedrigste Dosis (750 mg/kg<sup>-1</sup> Boden) bei der Erhöhung des Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalts in Paprikapflanzen (*Capsicum anuum* L.), die Salzstress ausgesetzt waren. Diese Autoren beobachteten auch den Einfluss von HS auf den Gehalt an Antioxidantien und Sekundärmetaboliten, was sich in einem Anstieg des Anthocyan-, Ascorbinsäure- und Gesamtflavonoidgehalts in den Trieben der Paprikapflanzen zeigte.

Aufgrund des Einflusses von HS auf die Förderung des Pflanzenwachstums,

Die Frage ist, ob sie möglicherweise eine hormonelle Wirkung ausüben. In den letzten Jahrzehnten haben mehrere Studien diese andere potenzielle Wirkung von HS bei der Stimulierung der Pflanzenentwicklung nachgewiesen (O'Donnell 1972; Albuizio et

O. Fioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Barbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al. Klasse von Phytohormonen, die bei der Zellteilung und -expansion wirken (Zandonadi et al., 2010). Es wird vermutet, dass sich HS wie ein exogenes Auxin verhalten und das Wurzelwachstum und die Morphologie regulieren können. Dies liegt daran, dass diese humifizierte Materialien IAA und andere Moleküle mit IAA-ähnlicher Aktivität enthalten, die mikrobiellen oder pflanzlichen Ursprungs im Boden sein können (Nardi et al., 2021). Neben Auxinen wurden in HS auch Aktivitäten im Zusammenhang mit anderen Phytohormonen, wie Cytokinin und Gibberellin, beobachtet. Pizzeghello et al. (2013) fanden zum ersten Mal das Vorhandensein von Isopentenyladenosin (IPA), einem Cytokinin, in physiologisch aktiven Konzentrationen in Huminstoffen aus verschiedenen Quellen, während Autoren wie Nardi et al. (2000a, 2000b) und Pizzeghello et al. (2002) über gibberellinartige Aktivitäten in HS berichteten. Laut Nardi et al. (2018) ist diese in HS beobachtete Hormonwirkung sinnvoll, da die Böden variable Auxin-Konzentrationen aufweisen, die in fruchtbareren Böden höher sind. Darüber hinaus stellten diese Autoren fest, dass die Gehalte an Auxin und Gibberellin in der Regel in der Rhizosphärenregion höher sind, was möglicherweise auf die Zunahme der mikrobiellen Populationen und des Stoffwechsels aufgrund des Vorhandenseins von Wurzelexsudaten zurückzuführen ist. Schließlich betonten die Autoren, dass die beobachteten hormonellen Wirkungen nicht unbedingt mit den in den HS festgestellten Auxingehalten korrelieren, was die Debatte über das mögliche Vorhandensein verschiedener Verbindungen aus der Auxinfamilie oder von Huminstoffmolekülen anheizt, die die Wirkung dieses Phytohormons nachahmen oder den endogenen Stoffwechsel in Pflanzen stimulieren.

Ein weiterer wichtiger Punkt in Studien über die Auswirkungen von HS auf Pflanzen

Wachstum war die Schutzwirkung, die diese Stoffe den Pflanzen gegen verschiedene Arten von Stress verleihen. In zahlreichen Studien wurde die Bedeutung von HS bei der Bekämpfung von Stress durch Schwermetalle (Pittarello et al., 2018; Duan et al., 2020; Haider et al., 2021), Salzgehalt (Hatami et al., 2018; Saidimoradi et al., 2019), Trockenheit (Khorasaninejad et al., 2018; Qiu et al., 2021) und hohe Temperaturen (Cha et al., 2020; Khan et al., 2020) nachgewiesen. Yildirim et al. (2021) fanden heraus, dass die Anwendung einer HA- und FA-haltigen Formulierung die negativen Auswirkungen der Anreicherung von Cadmium (Cd) in Gartenkresse (*Lepidium sativum* L.) wirksam abmilderte.

Diese Autoren stellten fest, dass die Behandlung mit HS die Frisch- und Trockenmasse von Wurzeln und Trieben, den Stammdurchmesser, die Blattfläche und den Nährstoffgehalt erhöhte und die Aktivitäten der antioxidativen Enzyme Katalase (CAT) und Superoxiddismutase (SOD) verringerte und die Aktivitäten des Enzyms Peroxidase (POD) erhöhte. HS tragen zur Pflanzenentwicklung unter Stressbedingungen bei, indem sie die Photosynthese, die Atmung, die Durchlässigkeit der Zellmembranen und die Aufnahme von Nährstoffen wie Phosphor und Kalium verbessern und ein hormonelles Gleichgewicht sicherstellen (Kaya et al., 2020). Die Anwendung dieser humifizierten Verbindungen unter Stress kann auch eine antioxidative Reaktion auslösen. Stress durch Metalle, wie z. B. Cd, erhöht die Bildung von ROS wie Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) und Superoxidanionen ( $O_2^{\cdot-}$ ) (Ozfidan-Konakci et al., 2018).

Trotz der durch ROS verursachten Toxizität haben diese chemischen Spezies auch das Potenzial, als Signal- und Regulierungsmoleküle zu wirken. Bei abiotischem Stress signalisieren die erzeugten ROS Veränderungen und regulieren die Genexpression (Demidchik et al., 2007). Die Wirkung der negativen oder positiven Effekte von ROS hängt vom Gleichgewicht der Homöostase zwischen der Produktion und der Eliminierung von ROS ab, das die regulatorische Rolle dieser Signalstoffe verändern und negative Effekte begünstigen kann (Monda et al., 2021). Nach García et al. (2019)

verursachen die Wechselwirkungen zwischen Huminstofffragmenten und Pflanzenwurzeln Veränderungen in der Redox-Homöostase, die den ROS-Gehalt reguliert und die Wirkung von HS in Pflanzen vermittelt, insbesondere Mechanismen, die mit dem Wurzelwachstum und der Entwicklung verbunden sind. Diese Wechselwirkung von HS mit den Wurzeln bewirkt eine Agglomeration auf der Wurzeloberfläche, was zur Expression von antioxidativen Enzymen wie CAT führt und den Gehalt an ROS erhöht, die als Zwischenprodukte beim Pflanzenwachstum wirken (García et al., 2012). Bei der Ausbringung auf den Boden oder

Pflanzen als Biostimulanzien eingesetzt werden, können HS als Eustressoren wirken, d. h. als Stressfaktoren, die bei Pflanzen ein mildes und vorübergehendes Stressniveau auslösen, was zu Verbesserungen des Stoffwechsels und der Pflanzenproduktion führt (Castro et al., 2021). Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) ist ein ROS, das in Pflanzen recht stabil ist und durch Membranen diffundiert, so dass kleine Konzentrationen von  $H_2O_2$  zur Anpassung von Pflanzen an verschiedene Arten von Stress führen können, und dieser Prozess kann durch seine Rolle als Signalmolekül erfolgen (García et al., 2012). Bei der Behandlung von Reispflanzen (*Oryza sativa* L.) mit Huminstoffen unterschiedlicher Herkunft stellten Castro et al. (2021) fest, dass die Behandlung mit Huminstoffen zu Beginn (96 Stunden) die photosynthetische Leistung der Pflanzen verringerte. Nach 144 Stunden der Anwendung kam es jedoch zu einem Anstieg der Photosynthese, und nach 192 Stunden war die photosynthetische Aktivität wiederhergestellt, was zu Veränderungen im Stickstoffstoffmetabolismus und in der Pflanzenentwicklung führte, was darauf hindeutet, dass nach der HS-Anwendung ein Zustand der Erholung eintritt.

Die Wirkung von HS in Pflanzen steht in direktem Zusammenhang mit der HS-Struktur (Abb. 3). Studien, die mit 37 Fraktionen humifizierter organischer Materie durchgeführt wurden, zeigten, dass bei der Verabreichung an Reispflanzen über die Wurzeln die C-aliphatischen, substituierten C-aromatischen und C-carboxylischen Strukturen in HS für das Wurzelwachstum verantwortlich sind, während in HA die C-aliphatischen, unsubstituierten C-aromatischen und C-carboxylischen Strukturen für die Bioaktivität in Pflanzen verantwortlich sind (García et al., 2016). Wie bereits erwähnt, sind HS in der Lage, das

Pflanzenwachstum durch Eustress zu stimulieren, eine Art von mildem, nützlichem Stress, der die Zunahme der Biomasse fördert, die Pflanzenernährung verbessert und vor abiotischem Stress schützt. (García et al. 2019). HS-artige Verbindungen, die aus Ligninresten gewonnen wurden, zeigten, dass die für die Bioaktivität in

Maispflanzen verantwortlichen Strukturen C-Methoxyl und C-aromatisch sind (Savy et al., 2020). In Monda et al. (2018) waren hydrophobere Huminstoffe bei niedrigen Konzentrationen aktiver als bei hohen Konzentrationen, was ihre Adhäsion an den Wurzeloberflächen von Mais (*Zea mays* L.) begünstigte, und solche mit einem höheren Gehalt an phenolischen Verbindungen (potenzielle Inhibitoren der Stickstoffaufnahme) übten diese Bioaktivität bei höheren Konzentrationen aus, indem sie größere und konformationsstabilere supramolekulare Aggregate bildeten und die Freisetzung dieser toxischen Moleküle verhinderten. In einer kürzlich erschienenen Übersicht über die Beziehung zwischen der strukturellen Zusammensetzung und der Bioaktivität von HS stellten Nardi et al. (2021) fest, dass diese Auswirkungen auf die Förderung des Pflanzenwachstums von Faktoren wie der Herkunft der HS, der Dosierung, dem Grad der Hydrophobie und Aromatizität sowie der Molekülgröße und der räumlichen Verteilung der hydrophoben und hydrophilen Bereiche abhängen. Die Autoren betonten, dass HS mit kleineren Molekülgrößen in der Lage sind, in Wurzelzellen einzudringen und direkt intrazelluläre Signale auszulösen, während solche mit größeren

molekulare Größen können an externe zelluläre Rezeptoren binden, um molekulare Reaktionen auszulösen.

#### 4. Blattapplikation von HS auf Pflanzen

HS haben nachweislich positive Auswirkungen auf verschiedene Pflanzengruppen, wie Gemüse, Gräser, Hülsenfrüchte, Obst, Ölsaaten sowie Heil- und Zierpflanzen. Die Wirkungen sind vielfältig und umfassen Veränderungen auf biochemischer, morphologischer und Stress-Schutz-Ebene (Tabelle 1). Aufgrund aller bisher berichteten Wirkungen von HS zur Förderung des Pflanzenwachstums werden diese Stoffe in großem Umfang als Biostimulanzien für verschiedene agronomisch interessante Kulturen eingesetzt. Obwohl sich die meisten Studien mit der Anwendung dieser Huminstoffe auf Pflanzenwurzeln befassen, besteht eine weitere Möglichkeit der HS-Versorgung in der direkten Anwendung auf Blättern (Olaetxea et al., 2018). Im Gegensatz zu den Wirkungen von HS auf Wurzeln ( $H^+$ -ATPase-Aktivierung, Ionentransport in der Plasmamembran, hormonelle Reaktionen u. a.) sind die Wirkungen auf Blätter kaum erforscht, und es gibt Berichte, dass die Blattapplikation von Huminstoffen den Chlorophyllgehalt erhöht und auf die Photosynthese wirkt. Darüber hinaus beeinflusst die Blattapplikation auch die Transpiration, obwohl die Mechanismen noch unklar sind, wobei der Wasserverlust und der Gasaustausch in den Blättern zu- und abnimmt (Rose et al., 2014).

Die von Olaetxea et al. (2018) durchgeführten Studien haben gezeigt, dass die positiven Auswirkungen der HS-Anwendung auf die Blätter wahrscheinlich auf anderen Mechanismen beruhen als die, die durch die HS-Anwendung auf die Wurzeln ausgelöst werden. Diese Autoren betonten auch, dass es möglich ist, dass die HS-Behandlung über die Blätter unter Feldbedingungen auch eine gewisse Wirkung auf den Boden hat, weil ein Teil der applizierten Lösung die Blätter nicht erreicht oder es nach der Anwendung auf den Blättern zu einem Abfluss von HS kommt. In Kulturen mit großen Blattoberflächen und hoher Pflanzendichte ist dieser Umstand jedoch zu vernachlässigen. Darüber hinaus kann das Blattspritzen von HS allein die Entwicklung von Wurzeln und Trieben der behandelten Pflanzen anregen, und diese Methode ist möglicherweise wirtschaftlicher als die Bodenausbringung, da die erforderlichen Produktmengen relativ gering sind (Chen und Aviad 1990). Kishor et al. (2021) fanden heraus, dass im Vergleich zur Kontrollbehandlung mit nur NPK-Dünger die kombinierte Ausbringung von HA auf Blätter und Boden plus 100 % einer empfohlenen Düngerdosis (NPK) in drei Parzellen plus das Blattspritzen einer Nährstoffmischung die effizienteste Behandlung war und den höchsten wirtschaftlichen Ertrag bei Kaffeepflanzen brachte, indem sie den Ertrag und den Nährstoffgehalt in den Blättern erhöhte.

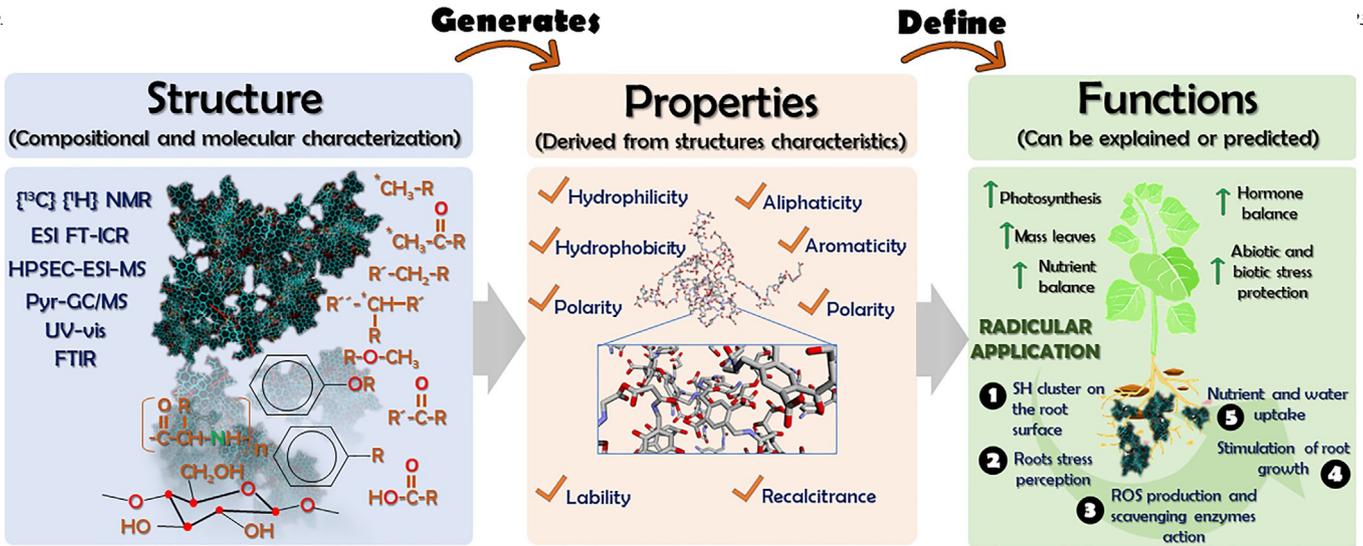


Abb. 3. Struktur-Eigenschafts-Funktions-Beziehung der Wirkung von HS auf Pflanzen.

Tabelle 1

Die wichtigsten Steigerungen, die nach der Blattapplikation von Huminstoffen in den Kulturen der verschiedenen Gruppen beobachtet wurden (% TSS = Prozentsatz der gesamten löslichen Feststoffe).

Gruppe von Pflanzen	Variablen mit beobachteten Zunahmen	Arten	Referenzen
Früchte	Pflanzenhöhe, Anzahl der Blätter, durchschnittliches Fruchtgewicht, Anzahl der Früchte % OSH, Ausbeute	Tomate, Paprika, Gurke, Aubergine	de Hita et al., 2020; Azarpour, 2012; Karakurt et al., 2009; Olivares et al., 2015
Blattgemüse	Pflanzenhöhe, Stängeldurchmesser, Kopf Breite, % Nährstoffe im Blatt	Kopfsalat, Brokkoli, Blumenkohl	Rachid et al., 2020; Raheem et al., 2018
Knollengemüse Anzahl	Knollengewicht, Schärfe der Zähne,	Knoblauch, Zwiebel, Kartoffel	Balmori et al., 2019; Kandil et al., 2012; Man-hong et al., 2020
Gräser	der Blätter, Knollenertrag Anzahl der Triebe, Wurzeloberfläche, Erntedaten, Kornertrag	Reis, Mais, Sorghum Weizen	Anjum et al., 2011; Delfine et al., 2005; Felipe et al., 1998; Osman et al., 2013
Hülsenfrüchte	Pflanzenhöhe, Anzahl der Hülsen, Saatgewicht, Ertrag	Bohnen, Erbsen, Sojabohnen	Basha et al., 2020; Kaya et al., 2005; Lenssen et al., 2019
Obstbäume	Pflanzenhöhe, Stammdurchmesser, Chlorophyllgehalt in den Blättern, Fruchttrag	Traube, Guave, Mango Passionsfrucht	Abdulhameed Ibrahim und Abdulali Al-Sereh, 2019; Cavalcante et al., 2013; El-Hoseiny et al., 2020; Ferrara und Brunetti, 2010
Medizinische Ölsaaten Photosynthese	Pflanzenhöhe, Blattfläche,	Sesam, Ringelblume,	Deotale et al., 2019; Lotfi et al., 2015; Shahabivand et al., 2018; Shindhe et al., 2020
Zierpflanze	Wirkungsgrad, % Öl in den Samen Anzahl der Blüten, Blütendurchmesser, Blühdauer, Topfzeit	Chrysantheme, Gladiole, Petunie	Ahmad et al., 2013; Boogar1 et al., 2014; Hasan, 2019; Mazhar et al., 2012 <sup>a</sup>

In ähnlicher Weise untersuchten De Hita et al. (2020) die Unterscheidung zwischen den Auswirkungen einer sedimentären HA-Applikation auf die Blätter und auf die Wurzeln von Gurkenpflanzen (*Cucumis sativus* L. var. Ashley). Die Autoren fanden wichtige Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Methoden der HA-Verbreitung. Beide Applikationsformen förderten das Wachstum sowohl der Triebe als auch der Wurzeln, wobei die Konzentrationen von IAA in den Wurzeln und von Cytokininen in den Trieben zunahm. Außerdem wurde festgestellt, dass die kurzfristige Blattspritzung die Anzahl der Sekundärwurzeln (im Gegensatz zur Wurzelanwendung) reduzierte und die Länge und Trockenmasse der Pfahlwurzeln erhöhte. Die Forscher erklärten diese Ergebnisse anhand der Wurzelkonzentration von zwei Phytohormonen, die an der Regulierung des Wurzelwachstums beteiligt sind: IAA und Abscisinsäure (ABA). Während die Wurzelanwendung den IAA- und ABA-Gehalt erhöhte, stieg der IAA-Gehalt nur bei der Blattspritzung. Obwohl der ABA-Gehalt im Wurzelbereich mit der HA-Blattzufuhr abnahm, wirkte sich diese Tatsache nicht auf das Wurzelwachstum aus, wie die höhere Trockenmasseproduktion beweist, im Gegensatz zu den Ergebnissen von Olaetxea et al. (2019), wo die Anwendung eines ABA-Biosynthesehemmers die Wurzelentwicklung derselben Gurkensorte beeinträchtigte. Daher stellten De Hita et al. (2020) fest, dass andere Faktoren an den beobachteten Auswirkungen der HA-Blattanwendung auf das Wachstum und die Wurzelstruktur beteiligt sein müssen. Andererseits könnte dieser Rückgang des ABA-Gehalts in den Wurzeln mit dem Wachstum der Triebe nach der Blattspritzung zusammenhängen.

Ein weiterer von De Hita et al. (2020) hervorgehobener Punkt ist die Tatsache, dass die Blattbildung

Die Anwendung von HA könnte Signalwege ausgelöst haben, da die Wechselwirkung von Huminstoffen mit der Blattoberfläche in der Natur nicht vorkommt, was die Pflanzen veranlassen könnte, dies als Stressor wahrzunehmen und Signalnetze wie einen Abwehrmechanismus zu aktivieren. In diesem Fall aktivierten die Pflanzen die Signalwege für Salicylsäure und Jasmonsäure (JA). Bei den mit Blättern behandelten Pflanzen stieg der Gehalt an JA und Jasmonoyl-Isoleucin (JA-Ile), der aktiven Form des Hormons, in den Wurzeln und Sprossen an, während die Wurzelapplikation von HA den Gehalt dieses Hormons nur in den Wurzeln erhöhte. Die Autoren betonten, dass es sich bei diesen hormonellen Veränderungen um Stresssymptome handelt, die mit dem Verlust von

Blatttrichomen und der Abnahme der Chloroplastengröße einhergehen, was die Hypothese bekräftigt, dass die beobachteten positiven Auswirkungen das Ergebnis einer milden und vorübergehenden Stresssituation sind, die durch die Anwendung von HA verursacht wird.

#### 4.1. Blattapplikation von HS bei Gemüse

Gemüse sind krautige oder unterholzige Pflanzen, die in der Regel intensiv und in kurzen Zyklen angebaut werden, und sie werden in der Regel in kleinen Gemüsegärten angebaut (Zárate und Vieira 2017). Sie sind Quellen

Sie sind reich an Vitaminen, Ballaststoffen, Mineralien und anderen bioaktiven Stoffen, und ihr Verzehr wird allgemein zur Verbesserung der menschlichen Gesundheit empfohlen; außerdem spielen sie eine wichtige Rolle bei der Stärkung der landwirtschaftlichen Familienbetriebe (Faulin und Furquim De Azevedo 2003). Diese Pflanzengruppe kann nach den für den menschlichen Verzehr genutzten Teilen unterteilt werden; so befinden sich beispielsweise die essbaren Teile von Knollen- oder unterirdischen Pflanzen unter der Erdoberfläche (Kartoffeln, Süßkartoffeln, Zwiebeln, Knoblauch, Süßkartoffeln, Maniok, Rote Beete, Süßkartoffeln, Karotten usw.); die essbaren Teile von Kraut- oder Blattgemüse entwickeln sich oberhalb der Bodenoberfläche, mit saftigen und weichen Eigenschaften (Salat, Kohl, Spinat usw.); und die essbaren Teile von Obstpflanzen sind die grünen oder reifen Früchte (Kürbis, Tomate, Gurke, Melone, Wassermelone, Paprika usw.) (Camargo Junior et al., 2018). Viele Gemüsearten haben eine relativ geringe Nährstoffnutzungseffizienz im Vergleich zu anderen Kulturen (Tei et al., 2020). Dieses Szenario führt zu einer Überdüngung der Böden, die dadurch negativ beeinflusst werden (Zandonadi et al., 2014). Daher könnte eine nachhaltigere Landwirtschaft auf der Grundlage organischer Inputs, einschließlich der Verwendung von Blattdüngern auf HS-Basis, eine Lösung darstellen. Salat (*Lactuca sativa* L.) gehört zu den am meisten untersuchten Gemüsearten in Bezug auf die Blattdüngung mit HS. Wang et al. (2019) untersuchten das Sprühen einer FA-haltigen Lösung in Konzentrationen von 0, 0,1, 0,3, 0,5, 1,0 und 2,0 g L<sup>-1</sup> auf Salatpflanzen, die Cadmium (Cd)-Stress ausgesetzt waren. Die Autoren stellten fest, dass die FA-Behandlung die negativen Auswirkungen des Cd-Stresses dosisabhängig abmilderte, wobei die mittlere Dosis von 0,5 g L<sup>-1</sup> die Anreicherung dieses Schwermetalls in den Wurzeln und Trieben der Pflanzen am wirksamsten reduzierte. In dieser Studie wurden eine signifikante Zunahme des Spross- und Wurzelwachstums, ein besserer Schutz des Photosyntheseapparats, insbesondere des Photosystems zwei (PSII), vor Cd-Stress, eine Verringerung der Anhäufung von ROS und eine Zunahme der Aktivität von antioxidativen Enzymen wie Ascorbatperoxidase (APX) und CAT beobachtet. Neben der Verwendung von HS zum Schutz von Pflanzen vor abiotischem Stress haben viele andere Studien Verbesserungen bei verschiedenen Parametern im Zusammenhang mit der Entwicklung von Salatpflanzen festgestellt. Rodrigues et al. (2018) und Santos et al. (2018) beobachteten, dass die Anwendung von HA aus einer alternativen und kommerziellen Quelle das Wachstum von Salatkeimlingen der Kultur Elba förderte, wobei die besten Dosen 3,0 mg L<sup>-1</sup> (beide HA-Quellen) in der ersten Studie und 21,9 g L<sup>-1</sup> der alternativen Quelle und 7,3 g L<sup>-1</sup> der kommerziellen Quelle in der zweiten Studie.

Hernandez et al. (2015) wiederum bewerteten die Anwendung von Kaliumhumat, das aus Vermicompost von Rindermist isoliert wurde, direkt auf die Blätter der Salatsorte Black Seed Simpson in einem städtischen ökologischen Anbausystem in Kuba. Die Humate wurden in Konzentrationen von 0, 10, 15 und 20 mg C L<sup>-1</sup> bei 10 und

15 Tage nach dem Umpflanzen. Die Autoren fanden heraus, dass von den Humatkonzentrationen 15 mg C. L<sup>-1</sup> am effizientesten die Anzahl der Blätter pro Pflanze erhöhte, den Kohlenhydratgehalt reduzierte und den Proteingehalt sowie die Aktivitäten der Enzyme Nitratreduktase (NR) und Phenylalanin-Ammoniak-Lyase (PAL) erhöhte, wobei letztere für die Synthese von phenolischen Verbindungen, die bei der Verteidigung der Pflanzen gegen Herbivoren wirken, von grundlegender Bedeutung ist. Es wurde auch die Hypothese aufgestellt, dass die in dem befeuchteten Komplex vorhandenen Verbindungen als Induktoren der PAL-Aktivität wirken könnten. Die Autoren wiesen auch darauf hin, dass die Anwendung von Humaten direkt auf den Blättern deren Stoffwechsel aktiviert und die Entwicklung durch die Reduzierung des Produktionszyklus beschleunigt, ohne die kommerzielle Qualität der Pflanzen zu beeinträchtigen, was ein möglicher Mechanismus zur Verbesserung der städtischen Landwirtschaft ist. Neben Salat waren auch andere Blattgemüse wie Brokkoli (Al-Jaf et al., 2018), Blumenkohl (Rachid et al., 2020) und Spargel (Tejada und Gonzalez 2003) Gegenstand von Studien zur Blattapplikation von HS, und bei allen Gemüsesorten wurden Reaktionen in Bezug auf die Entwicklungsmerkmale beobachtet.

Unter den verschiedenen Gemüsesorten sind Knollengewächse oder unterirdische Pflanzen eine weitere Gruppe, die umfassend untersucht wurde. Zwei neuere Studien über Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) ergaben, dass die Blattapplikation von HS den Knollenertrag erhöht (Man-hong et al., 2020; Wadas und Dziugiel 2020). Allerdings zeigte nur die erste Studie einen signifikanten Anstieg des Chlorophyllgehalts unter Wasserstressbedingungen in einem kontrollierten Experiment in einem Gewächshaus. Die Autoren der zweiten Studie stellten in einem Freilandversuch auf einem Luvisol keinen Anstieg des Chlorophyllgehalts fest und berichteten, dass dieser Parameter vom verwendeten Kultivar und den Klima- und Bodenbedingungen abhängt. Dziugiel und Wadas (2020) wiederum führten in drei aufeinanderfolgenden Jahren einen ähnlichen Versuch unter denselben Feldbedingungen wie die oben genannte Studie derselben Autoren Wadas und Dziugiel (2020) durch, bei dem das HS-Leonardit (12 % HA und 6 % FA) zweimal gespritzt wurde (zuerst im Stadium der Blattentwicklung und erneut eine Woche später). Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der Knollen pro Pflanze nicht zunahm, wohl aber das Durchschnittsgewicht der Knollen, was zu einem höheren Gesamt- und Marktertrag führte. Darüber hinaus stellten diese Forscher fest, dass die Anwendung von HA in der kältesten Wachstumsperiode mit periodischem Wassermangel bessere Ergebnisse brachte als in der heißesten Wachstumsperiode während der Kartoffelentwicklung, was die Wirkung von HS im Zusammenhang mit der Überwindung von Wasserstress, z. B. durch die Verringerung der Transpirationsrate, bekräftigt. Andererseits beobachteten Suh et al. (2014), die die Blattspritzung von FA und die Bodenapplikation von HA in derselben Kultur auswerteten, dass die direkte Behandlung auf dem Laub keinen Einfluss auf die Anzahl der Knollen oder deren Gesamtertrag und chemische Zusammensetzung hatte. Allerdings stieg in diesem Versuch das Gewicht der übergroßen Knollen (über 250 g) und damit das Auftreten der Hohlherzkrankheit, was die Autoren zu der Feststellung veranlasste, dass unter den bewerteten Bedingungen das Besprühen mit FA nicht zu empfehlen ist.

Knoblauch (*Allium sativum* L.) und Zwiebel (*Allium cepa* L.) gehören zu den derselben Gattung an und ebenfalls als unterirdische oder knollenförmige Gemüsearten eingestuft werden. Darüber hinaus gibt es in der Literatur viele Berichte über die Blattanwendung von Produkten auf HS-Basis bei diesen Arten. In Bezug auf Knoblauch gibt es Studien, die sowohl eine Erhöhung des Gehalts an Makro- und Mikronährstoffen, der

Schärfe der Nelken (Manas et al., 2014), des Gewichts der Zwiebeln, des Ertrags an Nelken pro Zwiebel und der Lagerfähigkeit (Abdel-Razzak und El-Sharkawy 2013) zeigen. Balmori et al. (2019) bewerteten die Auswirkungen des Besprühens mit einem flüssigen Humusextrakt aus Vermicompost in einem Feldexperiment 45 Tage nach der Aussaat von Knoblauchsamen. Die Autoren beobachteten eine Zunahme der äußeren Masse der Knoblauchzehen, zusätzlich zu den kommerziellen Qualitätsparametern, und sie brachten diese Reaktionen mit der Struktur des aufgetragenen Huminstoffs in Verbindung, wobei aliphatische Verbindungen wie Kohlenhydrate, Peptide und labilere Ligninfragmente vorherrschten, die das Bioaktivitätspotenzial des aufgetragenen HS vermittelten. Was die Zwiebelkulturen betrifft, so hat Kandil

O. Vioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Barbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al. et al. (2012) zeigten, dass die Blattspritzung mit HS ( $4,76 \text{ l ha}^{-1}$ , zweimal, 60 und 80 Tage nach dem Einpflanzen) die besten Ergebnisse bei wachstumsbezogenen Merkmalen (Pflanzenhöhe, Anzahl der Blätter pro Pflanze, Frischgewicht der Pflanze), Laub- und Zwiebelanteil) sowie beim Gesamtgehalt an löslichen Feststoffen (TSS), dem Zwiebelgewicht und dem gesamten und vermarktaren Ertrag der Sorte Giza 20 lieferte. Diese Reaktionen wurden auf die Wirkung des HS bei der Stimulierung des anfänglichen Wachstums der Zwiebeln sowie auf die höhere Produktion von Trockenmasse und die Synthese von meta-bolischen Produkten, die in die Zwiebeln übertragen werden, zurückgeführt. Im Gegensatz dazu fanden Osvalde et al. (2013) in einem Feldversuch in Lettland keinen positiven Einfluss der Blattspritzung eines aus Vermicompost gewonnenen HS ( $1,5 \text{ l ha}^{-1}$ , zwei- oder dreimal) auf den Nährstoffgehalt und den Zwiebelertrag. Diese gegensätzlichen Ergebnisse lassen sich durch die Unterschiede in Bezug auf Herkunft, Zusammensetzung und Dosierung der eingesetzten HS sowie durch die untersuchten Umwelt- und Kultursorten erklären.

Bei der Bewertung der Blattapplikation von HS bei Möhren (*Daucus carota* L.) stellten Alhariri und Boras (2020) eine signifikante Steigerung des Pflanzenwachstums und des Wurzeltrags fest, mit höherer Pflanzenhöhe, Pflanzen-, Blatt- und Wurzel-Frischmasse, zusätzlich zu einer besseren Erntequote. Positive Auswirkungen auf diese Kultur wurden auch von El-Helaly (2018) festgestellt, wo das Sprühen von HA ( $1 \text{ g.L}^{-1}$ ) und FA ( $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ ) getestet wurde, wobei beide viermal (30, 45, 60 und 75 Tage nach der Aussaat) bei vier verschiedenen Sorten angewendet wurden. Im Allgemeinen war HA im Vergleich zu FA effizienter bei der Erhöhung des Wurzelgewichts und -durchmessers sowie des Ertrags und des Härteindex, während FA effizienter bei der Erhöhung des Prozentsatzes der Trockensubstanz, der Gesamtkohlenhydrate, der Gesamtcarotinoide, des Stickstoffs und des Phosphors in den Wurzeln sowie des Gesamtchlorophyllgehalts der Blätter war. Die Blattspritzung von FA ( $10 \text{ mg. L}^{-1}$ ) auf Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) steigerte das Gewicht, den Durchmesser und die Länge der Wurzeln, das Wurzel-Sprossen-Verhältnis und die biologischen Erträge von Wurzeln, Sprossen und Zucker, zusätzlich zu den Prozentsätzen von Saccharose, TSS und Reinheit (Kandil et al., 2020). Zusätzlich zu diesen Parametern zeigten Abido und Ibrahim (2017), die unter anderem HA ( $1,5 \text{ mg. L}^{-1}$ , 50 und 70 Tage nach der Aussaat) anwandten, auch einen höheren Chlorophyllgehalt im Blatt, eine größere Blattfläche und Länge sowie höhere relative und kulturelle Wachstumsraten der Blätter.

Aus der Gruppe der Obstpflanzen ist die Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) eine der Kulturpflanzen mit mehr Studien zur Bioaktivität von HS. Die Autoren Villegas-Espinoza et al. (2018) testeten in einem Feldexperiment die Blattapplikation des Produkts Foliar Liplant® mit 50 % HA und 50 % FA in Verdünnungen von 1/10, 1/20 und 1/30 (v/v), gesprüht 10 und 25 Tage nach dem Einpflanzen der Tomatenpflanzen. Bei den folgenden Parametern wurden Zunahmen beobachtet: Pflanzenhöhe, Stammdurchmesser, Anzahl der Früchte/Pflanzen, polare und äquatoriale Fruchtdurchmesser, Fruchtfrisch- und -trockenmasse, % TSS, Reifeindex, Vitamin C, Nettogewinn und Kosten-Nutzen-Verhältnis, wobei die 1/30-Behandlung die besten Ergebnisse lieferte. Reyes Perez et al. (2011), die mit demselben Produkt, denselben Anwendungszeiträumen und gleichen Verdünnungen arbeiteten und 1/40 und 1/50 (v/v) hinzufügten, beobachteten keine signifikante Verbesserung der bewerteten Eigenschaften: pH, % TSS, Säuregehalt, Vitamin C und Apfelsäure. Oliveira Amatucci et al. (2020), zusätzlich zu die oben genannten Variablen beobachteten auch eine Zunahme des Frischgewichts und des Trockengewichts der Wurzeln, des Wurzelvolumens und der Gesamtlänge der Wurzeln und Feinwurzeln. Diese Autoren haben *Lithothamnium* sp., eine mikronisierte kalkhaltige Alge, die HAs enthält, in Dosen von 0, 0,75, 1,5, 2,25 und  $3,0 \text{ g L}^{-1}$  auf die Blätter gesprüht, und die

Förderung des Pflanzenwachstums erforderte höhere Anwendungskonzentrationen als die der Wurzeln. Es wurde daher festgestellt, dass diese Algen ein weiteres Material auf HS-Basis mit potenzieller biostimulierender Wirkung auf Pflanzen sein könnten.

Ein wichtiger Punkt, der für eine korrekte Blattdüngung mit Biostimulanzien beachtet werden muss, ist der Zeitpunkt der Ausbringung, der sich nach dem phänologischen Entwicklungsstadium der Pflanze richten muss. Alfonso et al. (2010) beispielsweise beobachteten bei der Ausbringung des aus Biostan-Wurmkompost gewonnenen HS-Produkts ( $25 \text{ mg. ha}^{-1}$ ), dass unter den Versuchsbedingungen

waren zwei beste Anwendungszeitpunkte für Tomaten: zu Beginn der Blüte und während der Blüte/Frucht, was zu Verbesserungen des N-, P- und K-Gehalts in den Blättern, des Nitratgehalts in den Früchten, der Anzahl der Blüten und Früchte pro Pflanze, des prozentualen TSS und des Ernteertrags ( $t. ha^{-1}$ ) führte. In ähnlicher Weise fanden [AbdAllah et al. \(2018\)](#) heraus, dass die FA-Lösung (0,15 und 0,20 %), die dreimal während der Fruchtphase angewendet wurde, die Transpiration wirksam vorantrieb und die Wassernutzungseffizienz bei Tomatenpflanzen erhöhte.

Ein weiterer interessanter Punkt in Bezug auf die Blattanwendung von HS ist ihre synergistische Wirkung mit pflanzenwachstumsfördernden Bakterien. [Olivares et al. \(2015\)](#) beobachteten beispielsweise einen signifikanten Anstieg der Wurzelrockenmasse, der Wurzeln und der Blattflächen sowie des PAL-Gehalts, der Nitratreduktase-Enzyme und des Gehalts an Tomatenblattproteinen nach der Blattspritzung von Humat, das aus Rindermist-Wurmkompost gewonnen wurde, der mit einer Suspension von *Herbaspirillum seropedicae*, einem endophytischen diazotrophen Bakterium, versetzt war. Sie stellten außerdem fest, dass die kombinierte Wirkung der HS-Anwendung mit den Bakterien 15 und 30 Tage nach dem Einpflanzen ein stärkeres Wachstum der Tomatenpflanzen förderte, was sich in einem höheren Fruchtertrag niederschlug, und die stickstofffixierende Population sowohl in der Rhizosphäre als auch im Wurzel- und Blattgewebe erhöhte. Da HS im Vergleich zu Toherzeugnissen eine geringere mikrobielle Aktivität aufweisen, können sie auch als Träger für diese nützlichen Organismen in der Landwirtschaft verwendet werden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Behandlung mit HS und pflanzenwachstumsfördernden Mikroorganismen ein sehr nützliches Instrument zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft ist ([Canellas et al., 2015](#)).

Zusätzlich zu den Studien über Tomaten haben sich mehrere Studien über andere Früchte auf die Wirkung von über das Laub ausgebrachten HS konzentriert. Für Gurken (*Cucumis sativus* L.) gibt es Berichte über eine Zunahme der antioxidativen Aktivität der Früchte, der lipophilen und hydrophilen Fraktionen, des Gesamtcarotinoid- und Xanthophyllgehalts, von Lycopin, B-Carotin und Chlorogensäure ([Karakurt et al., 2015](#)) sowie eine Zunahme der Pflanzenhöhe, der Trockenmasse, der Anzahl der Blätter/Pflanzen, der durchschnittlichen Fruchtlänge, des Durchmessers und des Gewichts, des Chlorophyllgehalts, des prozentualen Stickstoffgehalts, des prozentualen K-Gehalts, des prozentualen TSS-Gehalts und des Fruchtertrags ([Kazemi 2013](#)). [Abdulbaset und Al-Madhagi \(2019\)](#) wiederum bewerteten das Besprühen von Gurkenpflanzen nach einem Monat Anbau mit HA (0, 100 und 300  $mg. L^{-1}$ ) und Hefeextrakt (0, 2000 und 4000  $mg. L^{-1}$ ), allein oder zusammen, und sie beobachteten eine Zunahme der Wachstumsrate, aber eine Verringerung des Chlorophyllgehalts (SPAD); außerdem war die beste HA-Behandlung 100  $mg. L^{-1}$ . Zusätzlich zur Wachstumsförderung fanden [Kamel et al. \(2014\)](#) heraus, dass die Blattapplikation von FA, das aus Biogasdünger extrahiert wurde (50, 75 und 150  $mg L^{-1}$ ), in allen Konzentrationen bei der Kontrolle von Falschem Mehltau und Echem Mehltau bei Gurkenpflanzen wirksam war, sogar wirksamer als Fungizide. Beim Anbau von Auberginen (*Solanum melongena* L.) testete Ebrahim [Azarpour \(2012\)](#) die Blattapplikation von HA (0, 25 und 50  $mg. L^{-1}$ ) zusammen mit mineralischen und organischen Stickstoffdüngern, die in den Boden eingebracht wurden. In dieser Studie war im Vergleich zu den anderen Methoden die Dosis von 50  $mg. L^{-1}$  HA den Fruchtertrag ( $t. ha^{-1}$ ), die Anzahl der Früchte pro  $m^2$ , die Anzahl der Zweige/Pflanzen, die Pflanzenhöhe (cm) sowie die Länge und Breite der Früchte (cm) am wirksamsten. Viele Studien zum Anbau von Paprika (*Capsicum annum* L.) haben gezeigt, dass Wachstum (Pflanzenhöhe, Anzahl der Früchte/Pflanzen, Anzahl der Äste/Pflanzen usw.) und Ertrag zunehmen ([Yasar Karakurt et al., 2009](#); [Fathima und Denesh 2013](#), [Jan et al., 2020](#)) ([Abb. 4](#)).

#### 4.2. Blattapplikation von HS bei Gräsern

Die Gräser (Familie Poaceae oder Gramineae) sind mit mehr als zehntausend Arten eine der größten Familien der Bedecktsamer und werden durch Pflanzen vertreten, die gemeinhin als Gräser und Bambus bezeichnet werden. Diese Pflanzengruppe ist für den Menschen von großer Bedeutung, insbesondere als Nahrungsquelle, was sich in der aktuellen Schätzung widerspiegelt, dass etwa 70 % der Ackerfläche der Erde (oder 70 Millionen Hektar) für den Getreideanbau (Mais, Weizen, Hafer, Reis usw.) bestimmt sind.

O. Fioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Barbara, D. Franca de Oliveira Torchia, et al. . Darüber hinaus bieten die Arten dieser Familie auch eine Bodenbedeckung, die vor Erosionsprozessen schützt (Filgueiras 2021). Ein weiterer wichtiger Aspekt der Nutzung von Gräsern als tropische Futterpflanzen auf Weiden ist neben der Verwendung von Leguminosen (Familie Fabaceae) ihre Fähigkeit, als mehrjährige Pflanzen, die nach dem Schnitt und/oder der Beweidung wieder austreiben können, als Nahrungsgrundlage für Wiederkäuer zu dienen (Souza et al., 2018).

Reis (*Oryza sativa* L.) ist eine der wichtigsten Kulturpflanzen der Welt, denn er dient mehr als der Hälfte der Weltbevölkerung als Nahrungsmittel und ist für die Aufrechterhaltung der Ernährungssicherheit unerlässlich. In den letzten Jahrzehnten ist die weltweite Reiserzeugung erheblich gestiegen, was vor allem auf die Verbesserung der Anbautechniken zurückzuführen ist (Fu et al., 2021). Daher gibt es viele Studien über die Bio-Düngung von Reis mit HS. In den von Osman et al. (2013) durchgeführten Studien wurde die Blattapplikation von HA, FA oder beidem (HA + FA) ( $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) zusätzlich zu einer Stickstoffdüngung mit Harnstoff und wasserfreiem Ammoniak getestet, die 20 und 35 Tage nach dem Einpflanzen von Giza

101 Reissetzlinge. Es gab Steigerungen bei der Anzahl der Pinnen/m<sup>2</sup>, dem Gewicht von 1000 Körnern, dem Korn- und Strohertrag, dem N-, P-, K-, Nitrat- und Nitritgehalt und der Rentabilität, wobei die besten Ergebnisse mit der kombinierten Behandlung HA + FA plus wasserfreies Ammoniak erzielt wurden. Hernández et al. (2018) wiederum bewerteten die Blattspritzung von HA, das aus Rindermist-Wurmkompost gewonnen wurde ( $0, 30, 34$  und  $38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), mit  $3 \text{ ml/Pflanze}$  32 Tage nach der Keimung von zwei Reissorten (Jucarito104 und IACuba-33) in der aktiven Bestockungsphase unter Wasserstress- und keinen Wasserstressbedingungen. Die Autoren beobachteten positive Auswirkungen von HA, die sich in einer Zunahme der Pflanzenhöhe, der Wurzelrockenmasse, der Peroxidase-Enzymaktivität (POX) und des gesamten löslichen Proteingehalts unter beiden Wasserbedingungen zeigten. Die höchsten Dosen ( $34$  und  $38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  von HA) lieferten die besten Ergebnisse. Die Autoren stellten die Hypothese auf, dass die mögliche Schutzwirkung von HA gegen Wasserdefizit durch eine ABA-ähnliche Wirkung von HS entstehen könnte, die die Wirkung dieses Hormons nachahmen würde.

Die schützende Wirkung von HS wurde auch bei Mais (*Zea mays* L.) beobachtet, wo die Blattapplikation von FA ( $1,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $25 \text{ ml}$  gespritzt) auf Pflanzen unter Wasserstress das Wachstum und die physiologischen Eigenschaften dieser Pflanzen verbesserte. Malondialdehyd (MDA) ist ein Produkt der Lipidperoxidation (Anjum et al., 2011). Khaled und Fawy (2011) applizierten eine HA-Lösung über das Blattwerk ( $0, 0,1$  und  $0,2 \%$ ) und versprühten sie in  $5 \text{ l}$  entionisiertem Wasser 20 und 40 Tage nach dem Auflaufen der Maiskeimlinge, ebenso wie die Ausbringung von HA auf den Boden ( $0, 2$  und  $4 \text{ g/kg}^{-1}$ ), und beide Situationen erhöhten den Salzstress. Die beiden HA-Formen milderten den Salzstress, erhöhten das Trockengewicht und den Gehalt an Makro- und Mikronährstoffen, insbesondere von den niedrigsten Dosen ( $0,1 \%$  über die Blätter und  $2 \text{ g/kg}^{-1}$  in den Boden) bis zu den höchsten Dosen, und die positiven Auswirkungen wurden reduziert. Die Arbeiten von Canellas et al. (2005) untersuchten den Einfluss einer HA-Blattanwendung zusammen mit einer *H. seropedicae*-Suspension ( $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  und  $450 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) in Feldversuchen und stellten fest, dass die Besprühung den Kornertrag (insbesondere in Zeiten der Trockenheit) sowie die Wurzel- und Sprossbiomasse verbesserte.

Auch bei Weizen (*Triticum aestivum* L.) haben viele Studien bewerteten die Blattapplikation von Materialien auf HS-Basis. Xudan (1986) wendete FA-Lösungen ( $0,01$  und  $0,05 \%$ ) auf diese Kultur an und stellte bei den behandelten Pflanzen eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Trockenstress fest, wobei die Transpiration durch eine stärkere Schließung der Stomata reduziert wurde. Solche Effekte wurden später auch von Dziugiel und Wadas (2020) für die Kartoffelpflanze berichtet, und sie

beobachteten einen Anstieg von Wasser, Chlorophyll, P-Aufnahme, Anzahl der Körner und Prozentsatz der fruchtbaren Ähren im Vergleich zu unbehandelten Weizenpflanzen. In einer anderen Studie wurde HA ( $0, 0,1$  und  $0,2 \%$ ) 20 und 35 Tage nach dem Auflaufen der Keimlinge in  $5 \text{ l}$  entionisiertem Wasser auf die Weizenblätter gesprüht und direkt auf den Boden gesprüht ( $0, 1$  und  $2 \text{ g/kg}^{-1}$ ), wobei beide HA von Leonardit abgeleitet wurden und der Boden des Versuchs kalkhaltig war, wobei zunehmende Mengen an Kalk zugesetzt wurden. Es wurde beobachtet, dass die HA-Zufuhr den Rückgang des Trockengewichts und der Nährstoffaufnahme, der durch den aufgetragenen Kalküberschuss verursacht wurde, begrenzt hat (Katkat et al., 2009).

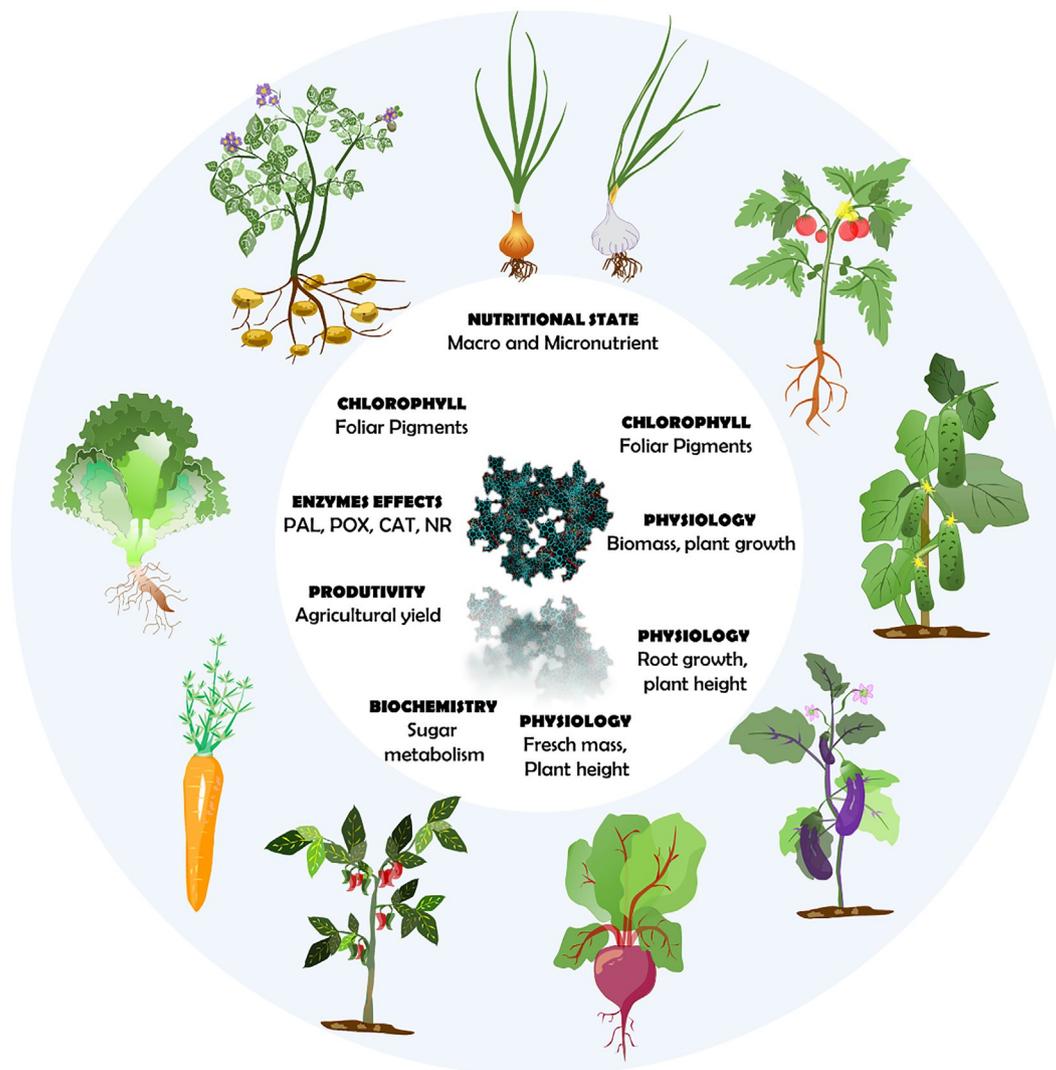


Abb. 4. Hauptwirkungen der HS-Blattapplikation auf Gemüse.

Bei dieser Kultur wurden auch positive Auswirkungen der Blattanwendung von FA-Lösungen beobachtet, sowohl in Bezug auf eine höhere Bioverfügbarkeit und Konzentration von Zink (Zn) in den Körnern mit der flüssigen FA-Formulierung von 0,1 % (m/v) (Wang et al., (Wang et al., 2020), und zu einer Verringerung der Absorption und Akkumulation von Chrom (Cr) mit höherer Aktivität antioxidativer Enzyme, höherem Gehalt an photosynthetischen Pigmenten und höherer Pflanzenbiomasse nach dem Besprühen in der Bestockungs- und Initialisierungsphase mit einer FA-Lösung von 1,5 mg. L<sup>-1</sup> (Ali et al., 2015). Delfine et al. (2005) zeigten, dass die Blattapplikation von Humusextrakt zwar einige Parameter von Hartweizen (*Triticum durum* L.) verbesserte, wie z. B. den Kornertrag, die Anzahl der Körner pro Ähre, den Gehalt an Blattproteinen und andere, aber weniger wirksam war als die fraktionierte N-Applikation auf den Boden.

Abdulsattar und Fahdawi (2020) untersuchten die Auswirkungen einer Blattspritzung mit einem Produkt auf HA-Basis (0, 250, 500 und 750 mg L<sup>-1</sup>) auf Gerste (*Hordeum vulgare* L.), die zweimal angewendet wurde, einen Monat nach der Aussaat und zu Beginn der Anthese. Diese Autoren verwendeten auch unterschiedliche Abstände zwischen den Pflanzenreihen. Es wurde festgestellt, dass die Anwendung von HA unter den Bedingungen dieses Versuchs nützlich war und zu einer Erhöhung der Anzahl der Ähren/m<sup>2</sup>, der Körner/Ähre, des biologischen und des Kornertrags sowie des

Ernteschwerpunkts führte, zusätzlich zu einer Reduzierung des Korngewichts. Insgesamt war die mittlere Dosis von 500 mg. L<sup>-1</sup> in Kombination mit einem Reihenabstand von 15 cm am wirksamsten. Prüfung der HS-Blattdüngung bei Hafer (*Avena*

O. Viorati Telles de Mouta, R. Luiz Louro Berbara, D. França de Oliveira Torchia et al. *sativa* L. cv. Shaffaa) im Rahmen eines Feldversuchs während der Blütezeit und 50 % der Blüte beobachtete Alabdulla (2019), dass Behandlungen mit HA (0, 3, 6 und 9 g. L<sup>-1</sup>) die Anzahl der Rispen/m<sup>2</sup>, Körner/Rispen, % N, %P, %K und Rohprotein auf Trockensubstanzbasis sowie die Korn- und Futtererträge erhöhten und zusätzlich das Gewicht von 1000 Körnern verringerten. Es gab einen Einfluss der Applikationszeitpunkte und -dosen, und die besten Ergebnisse wurden durch Spritzungen im Bestockungsstadium erzielt, wobei die besten Dosen 6 g. L<sup>-1</sup> für den Kornertrag und 9 g. L<sup>-1</sup> für den Nährstoffgehalt waren. In einer anderen Studie wurde bei Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) eine Blattapplikation eines HS durchgeführt, bei der das Produkt Humitron (0,125%) zweimal gespritzt wurde, wenn die Pflanzen 30 cm Höhe erreichten und vor dem Rispenaufgang, wie für diese Art empfohlen, unter salzigen Bedingungen. Es wurde eine Verbesserung des Wachstums und des Ertrags von Sorghum in Abhängigkeit von HS beobachtet, mit einer Zunahme der Pflanzenhöhe, der Blattfläche, des Trockengewichts, des Rispen-Trockengewichts, des Ernte-Index und des osmotischen Potentials (Santoyo et al., 1998).

Neben Studien über Getreidekulturen gibt es auch Berichte über Blattspritzungen von HS in Gramm. Maibodi et al. (2015) testeten beispielsweise den Einfluss einer HS aus Leonardit (0, 100, 400 und 1000 mg. L<sup>-1</sup>), die 6 Monate lang monatlich gespritzt wurde, auf mehrjähriges Weidelgras (*Lolium perenne* L.), eine Winterfutterart. Die Autoren fanden heraus, dass das HS den N- und Eisengehalt in den Blättern sowie den Durchmesser, die Länge und die Wurzeloberfläche unter niedrigem HA

Konzentrationen, zusätzlich zur Pflanzenhöhe und einer besseren optischen Qualität bei hohen HA-Konzentrationen, ohne den Chlorophyllgehalt zu beeinträchtigen. Ähnliche und unterschiedliche Ergebnisse erzielten Ervin et al. (2008) für die Art *Poa pratensis* L. ("Kentucky Bluegrass"), eine weitere mehrjährige Winterpflanze, bei der aus Torf (47 g.m.<sup>2</sup>) und Leonardit (58 g.m.<sup>2</sup>) gewonnene HA 6 (sechs) Mal über 12 (zwölf) Wochen (einmal alle zwei Wochen) auf die Blätter aufgebracht wurde, und zwar in einer Menge von 375 L. ha<sup>-1</sup>, in Blacksburg, Virginia, USA, wo ein gemäßigtes kontinentales Klima herrscht. In dieser Studie verbesserten beide HA-Quellen die Festigkeit (kg. m<sup>3</sup>) und die Wurzelmasse (mg. m<sup>3</sup>), wirkten sich aber nicht auf die visuelle Qualität aus, im Gegensatz zu einer früheren Studie mit mehrjährigem Weidelgras oder einer Studie über die photochemische Effizienz und die Pionierdichte. Die Forscher führten das Ausbleiben von Auswirkungen auf eine stärkere Alterung der Blätter aufgrund verschiedener Frostereignisse in der frühen Phase des Versuchs zurück.

Cooper et al. (1998) wiederum untersuchten die Art *Agrostis stolonifera* L. ("Kriechendes Knickgras"), ebenfalls eine mehrjährige Winterpflanze, die auf Golfplätzen weit verbreitet ist, weil sie enge Schnitte in den Boden toleriert. Diese Autoren fanden heraus, dass die Blattapplikation von HA aus Erde, Torf und Leonardit und einem handelsüblichen löslichen Produkt (100, 200 und 400 g. L<sup>-1</sup>, dreimal gesprüht) im Vergleich zu dem körnigen Humat, das auf den Boden aufgebracht wurde, nur sehr begrenzte Auswirkungen hatte, ohne die Länge und die Wurzelmasse oder den Nährstoffgehalt zu verändern. Diesen Forschern zufolge sind diese Ergebnisse darauf zurückzuführen, dass die körnigen Humate direkt mit den Wurzeln in Kontakt kommen und somit ein stärkeres Wurzelwachstum bewirken als HA, das direkt auf die Blätter aufgetragen wird (Abb. 5).

#### 4.2.1. Blattapplikation von HS bei Leguminosen

Hülsenfrüchte (Fabaceae) sind wichtige Eiweiß-, Phosphor- und Kalziumquellen und daher für die Ernährung Tausender von Menschen, insbesondere in Entwicklungsländern, von grundlegender Bedeutung (Desire et al., 2021). Zu den Hülsenfrüchten gehören kleine Pflanzen (al-

Falfa, Erbsen, Sojabohnen und Kleearten), Sträucher (Ferkelkraut, Taubenerbse) und Bäume mit Hülsenfrüchten und Blattspreiten (Fontaneli et al., 2009). Darüber hinaus sind die meisten Leguminosen in der Lage, eine wechselseitige Beziehung mit Rhizobien aufzubauen, die ihnen Photoassimilate und Nährstoffe liefern und N in Form von Ammonium und Aminosäuren erhalten (Liu et al., 2018); daher ist diese biologische Stickstofffixierung (BNF) eine Alternative zur Verwendung synthetischer Stickstoffdünger und reduziert die Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung, dem Transport und der Ausbringung von Düngemitteln auf dem Feld entstehen (Sant'Anna et al., 2018). Leguminosen werden aufgrund ihrer Fähigkeit, biologisch gebundenen Stickstoff zu gewinnen, häufig als Gründüngung in Kulturen mit größerem Bedarf an diesem Nährstoff eingesetzt (Zotarelli et al., 2012). Aufgrund der genannten Vorteile dieser Pflanzen wurden viele Studien durchgeführt, um ihre Erträge zu bewerten, auch durch die Blattapplikation von HS.

Bohnen (*Phaseolus vulgaris* L.) gehören zu dieser Familie und haben einen hohen Gehalt an Protein, Ballaststoffen, komplexen Kohlenhydraten, Folsäure, Eisen, Zink, Magnesium und Kalium (Ribeiro et al., 2011). Elkhatib et al. (2020) bewerteten die Leistung der Ackerbohne cv. Nebraska in zwei Feldversuchen in Ägypten nach einer Blattdüngung mit HA (1 und 2 g. L<sup>-1</sup>), FA (2,5 und 5 g. L<sup>-1</sup>) und Tryptophan, einem physiologischen Vorläufer von Indoleessigsäure (0,5 und 1 g. L<sup>-1</sup>), die alle zweimal, 24 Tage nach der Aussaat und zu Beginn der Blüte, gespritzt wurden. Es wurde festgestellt, dass alle Biostimulanzien die Pflanzenhöhe, die Blattfrisch- und -trockenmasse, die Anzahl der Blätter/Pflanzen, die Blattfläche, den % N, den % P, den % K, den Chlorophyllgehalt der Blätter, die Anzahl der Schoten/Pflanzen, die Schoten/Pflanze, das Gewicht der Samen/Pflanze und den Samenertrag erhöhten. Tryptophan lieferte die höchsten Ergebnisse, gefolgt von FA und HA.

Abdel-Baky et al. (2019), die mit der Blattapplikation von FA (0, 3, 6 und 9 g. L<sup>-1</sup>) bei der Favabohnenart *Vicia faba* L. 45 und 60 Tage nach der Aussaat (Streckungsphase) arbeiteten, beobachteten ebenfalls Verbesserungen der oben genannten Kulturparameter, wobei

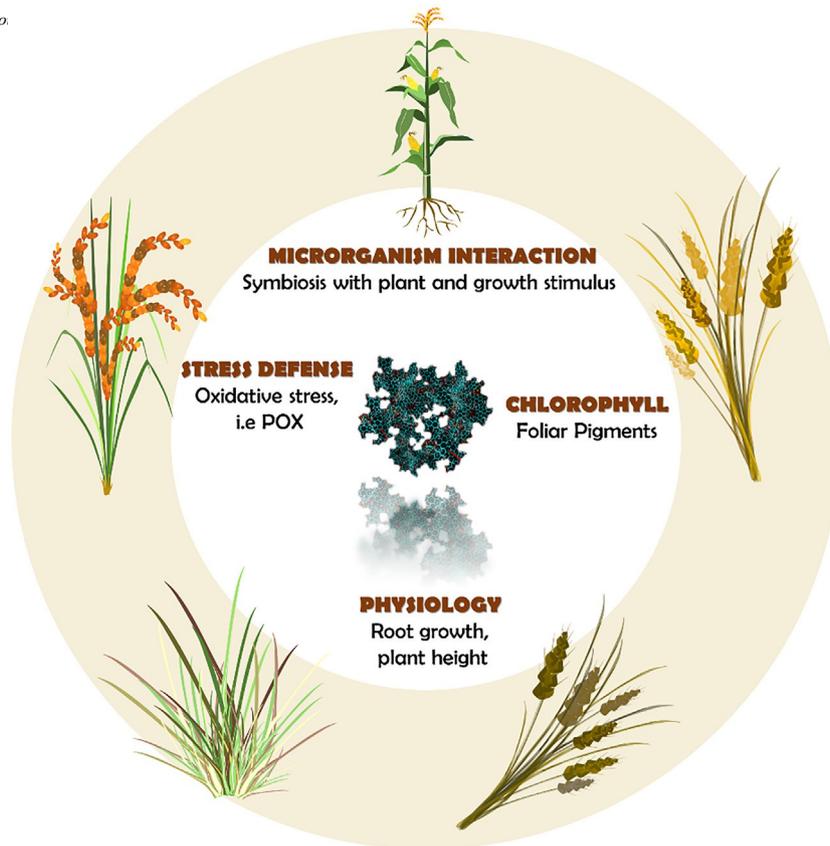


Abb. 5. Hauptwirkungen der HS-Blattapplikation auf Gräser.

die höchsten Reaktionen wurden bei der höchsten FA-Dosis ( $9 \text{ g. L}^{-1}$ ) erzielt. In [Kaya et al. \(2005\)](#) wurden die Auswirkungen der Blattapplikation eines Produkts auf HS-Basis (in einer Menge von  $2000 \text{ ml. ha}^{-1}$ ), der Vorbehandlung von Saatgut mit Zink und einer Kombination der beiden Behandlungen auf Ackerbohnen getestet. Die Blattspritzungen erfolgten im dritten bis sechsten Blattstadium in der Nacht, da die Pflanzen tagsüber aufgrund der hohen Temperaturen mehr transpirierten, anstatt Nährstoffe aufzunehmen. Die beiden Anwendungsmethoden allein hatten keine signifikanten Auswirkungen, aber zusammen trugen sie dazu bei, Parameter wie Pflanzenhöhe, Anzahl der Schoten/Pflanze und Anzahl der Samen/Pflanze sowie das Gewicht der Samen/Pflanze zu erhöhen, was auf einen synergistischen Effekt zwischen den Behandlungen hinweist.

Viele andere Leguminosen von wirtschaftlichem Interesse haben bereits eine Blattapplikation von HS erhalten. So wurde beispielsweise Sojabohne (*Glycine max* L. Merr.) in vier Entwicklungsstadien (vegetativ: V2, V4 und V6; reproduktiv: R2, Vollblüte) mit einem kommerziellen Huminstoffprodukt aus Leonardit besprüht. An drei verschiedenen Standorten im Bundesstaat Iowa, USA, wurden Versuche mit Feldversuchen durchgeführt. Die Höhe der Pflanzen und der Ölgehalt der Samen wurden in keinem Versuch verändert. Die Bestandsdichte, der Gehalt an Samenproteinen und der Ernteertrag nahmen nur an einigen untersuchten Standorten zu ([Lenssen et al., 2019](#)). Für den Anbau von Erbsen (*Pisum sativum* L.) unter zunehmenden Salzstressbedingungen testeten [Basha et al. \(2020\)](#) die Bodendüngung mit Kaliumsulfat mit und ohne dreimalige Blattapplikation von HA (0,2 %) (1, 3 und 5 Wochen nach dem Umpflanzen). Die Autoren stellten Verbesserungen bei Wachstums- und Entwicklungsparametern wie Pflanzenhöhe, Blattfläche und Anzahl der Schoten/Pflanzen fest, zusätzlich zu einer Verringerung der schädlichen Auswirkungen des Salzgehalts auf die Chlorophyll a-, b- und Carotinoidwerte. In Bezug auf Erdnüsse (*Arachis hypogaea* L.) gibt es auch Studien, die auf eine Steigerung der Erträge und ihrer Komponenten als Reaktion auf die Blattspritzung von Produkten auf HA-Basis hinweisen, allein oder in einer Kombination d a v o n ; eine Anwendung des gleichen Produkts auf d e m Boden (mit einer Blattbehandlung in Höhe von 1, 1,5 und 2 % 45 Tage nach der Aussaat) oder nach [Teli et al. \(2020\)](#) zusammen mit Diammoniumphosphat (DAP-2,0 %) und einer Mikronährstoffmischung (0,35 %), wobei die Blattbehandlung mit 0,3 % HA zweimal gespritzt wurde ([Reddy et al., 2020](#)). [Meena et al. \(2018\)](#) untersuchten den Einfluss einer Blattspritzung von 15% flüssigem HA (Dosen von 1,0, 1,5, 2,5 und  $4,0 \text{ ml. L}^{-1}$ ) bei 30, 60 und 90 Tage nach der Aussaat der Taubenerbse (*Cajanus cajan* (L)

Millsp.), einer Leguminosenstrauch. Es wurden Steigerungen bei Indizes wie Blattfläche, relative Wachstumsrate, Nettoassimilationsrate und Gesamttrockenmasse beobachtet, und die Ergebnisse nahmen mit der HS-Dosierung zu. In einer anderen Studie mit der gleichen Art wurde HA einmal (30 Tage nach der Aussaat) oder zweimal (30 und 45 Tage nach der Aussaat) über die Blätter verabreicht ( $1 \text{ ml. L}^{-1}$ ), zusätzlich zu anderen Behandlungen mit HA und Kompost im Boden. Im Allgemeinen wurden die besten Ergebnisse mit der Bodendüngung erzielt; im Vergleich zur Kontrolle führte die HA-Blattdüngung (insbesondere bei zweimaliger Anwendung) jedoch auch zu einer Steigerung von Parametern wie Trockenbiomasse, Anzahl der Schoten/Pflanze und Samenertrag (Nalia und Sengupta, 2019). [Susithra et al. \(2019\)](#) wiederum testeten HA-Blattspritzungen (0,25 %) in Kombination mit einer empfohlenen Dosis von Dünger plus Phosphobakterien, die auf den Boden ausgebracht wurden ( $2 \text{ kg. ha}^{-1}$ ). Die Autoren beobachteten ebenfalls signifikante Steigerungen der oben genannten Wachstumsparameter ([Abb. 6](#)).

Die Obstproduktion ist ein wichtiger Teil der weltweiten Agrarproduktion. In der Weltrangliste der Länder, die das meiste Obst produzieren, steht China an erster Stelle, gefolgt von Indien und Brasilien. So trägt China beispielsweise 60 % zur gesamten Frischobsterzeugung bei, hauptsächlich Äpfel, Pfirsiche, Birnen, Bananen und Orangen ([FAOSTAT, 2013](#)). In Brasilien sind die meisten dieser Obstkulturen Dauerkulturen, während die wichtigsten temporären Obstpflanzen des Landes Ananas, Melone und Wassermelone sind ([Gerum et al., 2019](#)).

O. Fioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Barbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al.

Wie bereits für die anderen Pflanzengruppen beschrieben, sind auch Obstpflanzen Gegenstand von Studien zur Bewertung der Bioaktivität von humifizierten Materialien, einschließlich der Blattdüngung von HS. Cavalcante et al. (2011) sprühten direkt HA aus Leonardit in Mengen von 0, 7,5, 15, 22,5 und 30 ml m<sup>2</sup> 15, 25 und 30 Tage nach der Aussaat von Papaya (*Carica papaya* L.) in einem überdachten Unterstand. Dieselbe Forschungsgruppe untersuchte in einer späteren Studie die Blattanwendung desselben Produkts bei gelben Passionsfrüchten (*Pas- siflora edulis* Sims.) (Cavalcante et al., 2013). Bei beiden Pflanzen kam es zu einer Zunahme der Pflanzenhöhe, des Stammdurchmessers, der Trockenmasse von Wurzeln und Trieben sowie des Chlorophyllgehalts in den Blättern. Dasselbe Team (Silva-Matos et al., 2012) testete die Blattanwendung desselben Produkts in denselben Dosierungen bei Wassermelone (*Citrullus lanatus* L.) mit unterschiedlichen Düngezeiträumen (10, 15 und 20 Tage nach der Aussaat). Die Analysen der Variablen wurden 25 Tage nach der Aussaat durchgeführt, und die beobachteten Steigerungen der Parameter waren die gleichen wie in den beiden vorangegangenen Studien, zusätzlich zu den Steigerungen von Wurzellänge und -volumen. Insgesamt war die am besten reagierende Dosis

22,5 mL. m<sup>2</sup> , wobei bei der höchsten Dosis ein Rückgang der positiven Wirkungen zu beobachten ist.

Ferrara und Brunetti (2010) arbeiteten mit einer Tafeltraubenart (*Vitis vinifera* L. cv. "Itália") und führten eine Blattapplikation von HA aus Kompost und Erde in Konzentrationen von 5 und 20 mg. L<sup>-1</sup> . Sie stellten fest, dass beide HS-Quellen zu einem Anstieg des Ernteertrags, der Beerengröße, des Chlorophyllgehalts, des Stickstoffs in Blättern und Blüten und des prozentualen TSS-Gehalts sowie zu einer Verringerung des titrierbaren Säuregehalts der Früchte und einer Verzögerung des Chlorophyllabbaus führten. In einem späteren Artikel testeten dieselben Autoren die Anwendung von HA, das aus einer Probe tonhaltigen Bodens extrahiert wurde (100 mg.L<sup>-1</sup> ), auf dieselbe Sorte zu vier verschiedenen Zeitpunkten: vor der Blüte, während der vollen Blüte, während der Fruchtbildung und in der "Reifezeit". Sie fanden die gleichen Reaktionen wie in der vorangegangenen Studie und kamen zu dem Schluss, dass die Behandlung im phänologischen Stadium der Vollblüte die größten Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle zeigte (Ferrara und Brunetti 2010). Es gibt auch Berichte über das Besprühen von Vermicompost HA (30, 40 und 50 mg. L<sup>-1</sup> ) auf das Laub in der Vorblüte- und Fruchtphase von zwei Keltertraubensorten (*Vitis vinifera* cv. Feteasca Regala; *Vitis vinifera* cv. Riesling Italian) in einem zweijährigen Feldversuch in Rumänien. Es wurden höhere Erträge (kg Rebstock<sup>-1</sup> ), Photosyntheseraten, Chlorophyll *a* und *b* und Karotinoidgehalte, Blattfläche, Trocken- und Frischmasse der Blätter, Masse und Volumen der Beeren sowie % TSS und ein niedrigerer titrierbarer Säuregehalt festgestellt. Unter den Bedingungen dieser Versuche war die intermediäre Dosis von 40 mg. L<sup>-1</sup> am besten an (Popescu und Popescu 2018).

Höhere Erträge (kg. Baum<sup>-1</sup> ) wurden nach der Blattanwendung beobachtet.

(neben anderen Produkten) einer HA-Lösung in ähnlicher Dosierung in den folgenden Kulturen: Mango (*Mangifera indica* L.) in einer Dosierung von 0,1, 0,2 und 0,3 %, gesprüht im Stadium der Blütenknospenbildung (Ngullie et al., 2014) und mit 0,15, 0,3 und 0,45% dreimal gespritzt, zweimal vor und einmal während der Blüte (El-Hoseiny et al., 2020); Pfirsich (*P. persica* L.) mit 0,25 bzw. 0,5% nach der Fruchtbildung, viermal im Abstand von 15 Tagen wiederholt (El-Razek et al., 2012); Zuckerapfel (*Annona squamosa* L.) zu 1 und 1,5 % (Sindha et al., 2018); Cashew-Apfel (*Anacardium occidentale* L.) zu 0,5 %, dreimal wiederholt in den Stadien vor und nach der vegetativen Blüte und während der Fruchtbildung (Dhanasekaran et al., 2018); Kiwi (*A. Chev.*) CF Liang und AR Ferguson.) zu 0,1 und 0,2 %, dreimal gespritzt, vor der Anthese, nach der Fruchtbildung und im Stadium der Fruchtentwicklung (Mahmoudi et al., 2014).

Der Anbau von Granatapfel (*Punica granatum* L.) mit HA-Blattdüngung (2 und 5 mg. L<sup>-1</sup> ), zusätzlich zu den Produkten Kaolin (6 %) und 3 % Kalzium-1 % Bor (CB), die alle allein oder zusammen 30 Tage nach der Vollblüte ausgebracht wurden, hatte die positive Wirkung, den Prozentsatz der geplatzen Früchte zu verringern und das Fruchtgewicht zu erhöhen (Ghanbarpour et al., 2019). Für dieselbe Kultur beobachteten Sándor et al. (2015) eine Zunahme des Stammdurchmessers und der Pflanzenhöhe,

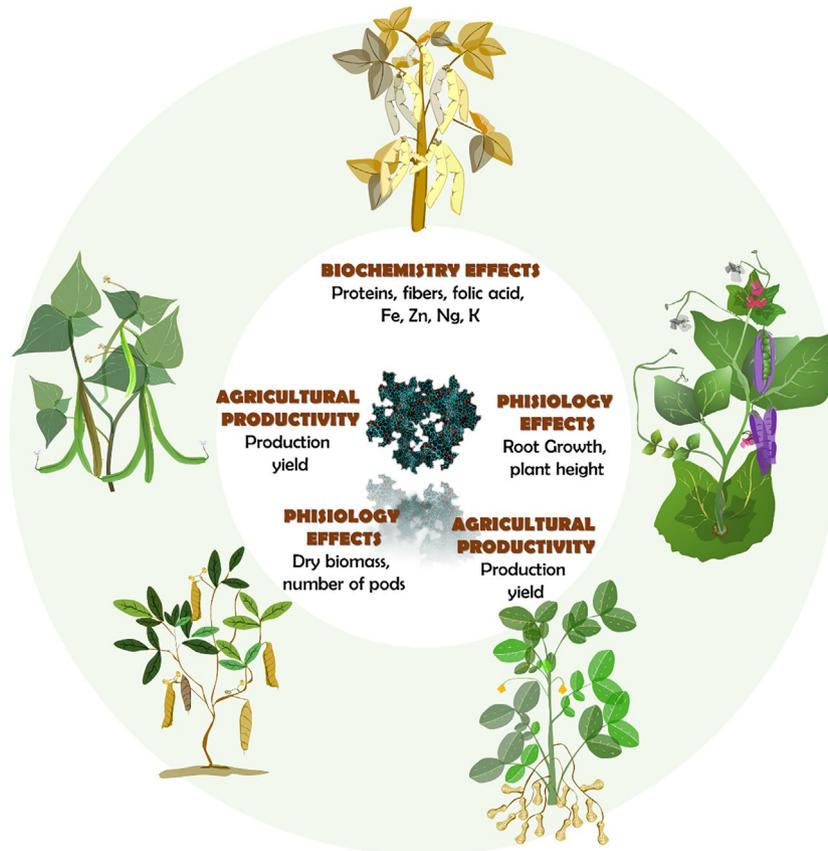


Abb. 6. Hauptwirkungen der HS-Blattapplikation auf Leguminosen.

Pflanzengewicht und Anzahl der Wurzeln von Granatapfelsämlingen, die mit FA ( $10 \text{ L. ha}^{-1}$ , 120 Tage nach dem Einpflanzen der Stecklinge in Baumschulen) behandelt wurden, zusätzlich zu HA auf dem Boden ( $100 \text{ kg. ha}^{-1}$ , aufgeteilt in zwei Teile). Auch bei der Kultivierung von Guave (*Psidium guajava* L.) zeigte HS Vorteile: Die viermalige, wöchentliche Besprühung mit Kaliumhumat ( $0, 2$  und  $4 \text{ mg. L}^{-1}$ ) führte zu einer Zunahme der verschiedenen bewerteten Parameter (Höhe, Stammdurchmesser, Anzahl der Seitentriebe und Anzahl der Blätter/Setzlinge) sowie zu einer Verringerung des Wassergehalts der Blätter, wobei die Behandlung mit  $4 \text{ mg. L}^{-1}$  am besten reagierte (Abdulhameed Ibrahim und Abdulali Al-Sereh 2019).

Blatt- und Bodenapplikationen von HA wurden auch bei Pistachio-Kulturen (*Pistacia vera* L.) verglichen ( $40 \text{ L. ha}^{-1}$  auf den Boden;  $2,5 \text{ L. ha}^{-1}$  auf die Blätter 3 Monate nach der Pflanzung (Razavi Nasab et al., 2019) und Aprikosenkulturen (*Prunus armeniaca* L.) (Actosol-Produkt, 2,9 % HA:  $0, 9$  und  $15 \text{ cm}^3$  auf den Blättern;  $0, 37,5$  und  $75 \text{ cm}^3$  im Boden) (Fathy et al., 2010). Beide Studien berichteten über Steigerungen der Wachstumsparameter der jeweiligen Arten; bei Pistazien war jedoch die Blattanwendung effektiver, während bei Aprikosen die beste Behandlung die Bodenapplikation war. Baldotto et al. (2011), die mit Ananas (*Ananas comosus* (L.) Merrill) arbeiteten, sprühten Vermicompost HA ( $0, 10, 20$  und  $40 \text{ mmol. L}^{-1}$ ) plus Rohphosphat, mit oder ohne Zusatz von Zitronensäure, auf die Basalachsen der Blätter. Es wurde eine Zunahme der Pflanzenhöhe, der Pflanzenlänge und der Breite des mittleren Drittels des "D"-Blattes, des Durchmessers der Rosette und der Basis, der Blattfläche und -anzahl sowie des Nährstoffgehalts in den Trieben beobachtet (Abb. 7).

#### 4.2.3. Blattapplikation von HS bei Ölsaaten und Heilpflanzen

Arten, die die Fähigkeit haben, Öle in ihren Samen zu speichern,

insbesondere Triacylglycerine, werden als Ölsaatenpflanzen bezeichnet. Diese Speicherreserve wird später für die Entwicklung von Setzlingen genutzt. Diese Pflanzen sind von grundlegender Bedeutung für die Agrarindustrie und nützlich für die Ernährung

*Q. Vioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Berbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al.*  
Verarbeitung und Aufbereitung sowie für die Herstellung von Biodiesel und als Rohstoff für die Synthese einer Vielzahl von Produkten (Schmiermittel, Farben, Lacke usw.). Die wichtigsten Pflanzen in dieser Gruppe sind Sojabohnen (bereits im Abschnitt über Hülsenfrüchte beschrieben), Sonnenblumen, Raps und Palmöl (Zafar et al., 2019). Heilpflanzen wiederum spielen eine wichtige Rolle bei der Heilung verschiedener menschlicher Krankheiten, da sie bioaktive Moleküle wie einfache Alkaloide, Anthrachinone, Naphthopyrongo glykoside, phenolische Verbindungen, Steroide und Terpene enthalten. Solche bioaktiven Substanzen können sowohl von Pflanzen als auch von einem mikrobiellen Konsortium in ihren Geweben synthetisiert werden, und diese Mikroben, die sich asymptomatisch in Pflanzen ansiedeln, werden als Endophyten bezeichnet (Yadav und Meena 2021). Zu dieser Kategorie gehören unter anderem die folgenden Arten: Artischocke, Rosmarin, Chamo-Mile, Fenchel, Eukalyptus und Ingwer (Argenta et al., 2011).

Thakur et al. (2017) bewerteten die Blattspritzung von HA (Knospenstadium) und FA + NPK (Blütenstadium) bei Sonnenblumen (*Helianthus annuus* L.), wobei beide Produkte in Dosierungen von 0,5 und 1,0 % gespritzt wurden. Neben der Blattbehandlung wurde auch granuliertes HA ( $12,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) + NPK auf den Boden ausgebracht. Die N-, P- und K-Gehalte im Saatgut, in den Stängeln und im Boden nach der Ernte sowie die mikrobiellen Populationen im Boden nahmen zu. Die auf den Boden ausgebrachte HA führte zu den höchsten Ergebnissen, jedoch dicht gefolgt von den Blattbehandlungen. Shindhe et al. (2020) testeten die Anwendung von HA (4 ppm) und anderen organischen Produkten (u. a. Wurmkompost und Stallmistextrakte) auf dem Laub und verglichen sie mit anorganischen Spritzungen (0,1 % Bor), nur mit Wasser und mit der Kontrolle (keine Spritzung). Die Behandlungen wurden 40 und 60 Tage nach der Aussaat durchgeführt. Zuwächse bei Pflanzenhöhe, Blattzahl, Blattfläche, Blatttrockenmasse, Stengeltrockenmasse, Kopfdurchmesser, Prozentsatz der gefüllten Achänen, Harvest-Index, Testgewicht (g/100 Samen) sowie Samen- (g. Pflanze<sup>-1</sup>) und Gesamtertrag (kg. ha<sup>-1</sup>). Bei all diesen Parametern schnitt HA besser ab als die Kontrolle und die Behandlung mit Wasser. Die Huminstoffbehandlung

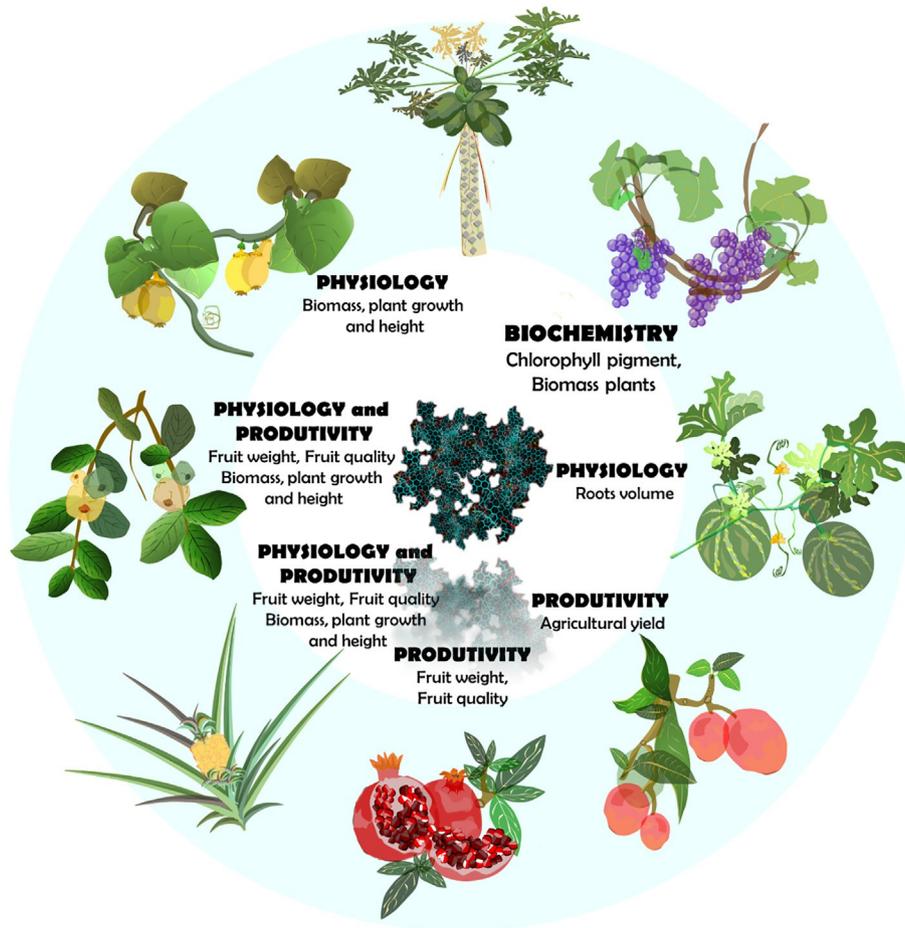


Abb. 7. Hauptwirkungen der HS-Blattapplikation auf Obstbäume.

war nur bei den morphologischen und Wachstumsparametern dem Bor überlegen und wurde von den meisten anderen organischen Produkten bei allen bewerteten Merkmalen übertroffen.

Bei der Bewertung des Einflusses von HS auf Raps (*Brassica napus* L.) wendeten Lotfi et al. (2015) eine FA-Lösung (0, 300 und 600 mg L<sup>-1</sup>) auf Blätter im vegetativen Wachstums- und anfänglichen Blühstadium in gut bewässerten Parzellen mit mäßigem bis starkem Wasserstress an. Die Autoren berichteten, dass FA zu einem Anstieg der Aktivitäten der antioxidativen Enzyme (SOD, POD, APX und CAT), einer Verringerung des MDA-Gehalts und der Lipidperoxidation der Membranen sowie zu einer Verbesserung des Photosyntheseapparats mit einer höheren Quanteneffizienz als das Photosystem 2 (PSII) führte. Amiri et al. (2020), die dieselbe Art untersuchten, testeten Blattspritzungen mit dem Produkt Humax 95 - WSG (80 % HA und 15 % AF) in einer Dosierung von 0,3 % in zwei Stadien, dem 4-6-Blatt-Stadium und der Knospenbildung. Es wurden höhere Samen- und Ölerträge, ein höherer Gehalt an Ölsäure und Linolsäure sowie ein geringerer Gehalt an Linolensäure, Erucasäure und Glucosinolaten festgestellt. Bei einer Flachspflanze (*Linum usi-tatissimum* L.) brachten Bakry et al. (2013) HA (0 und 15 mg. L<sup>-1</sup>) über die Blätter 45 und 60 Tage nach der Aussaat zusätzlich zur organischen Düngung des Bodens aus. Es wurden Steigerungen bei Parametern wie Pflanzenhöhe, Wurzel- und Sprossfrisch- und Trockenmasse, Wurzellänge, %TSS, Polysaccharidgehalt, IAA, Gesamtphenole sowie biologischer, Samen-, Öl- und %-Ertrag beobachtet. Beim Anbau von Olivenbäumen (*Olea europaea* L.) führte die Blattdüngung mit HS zu einem Anstieg des Nährstoffgehalts der Blätter (Fernández-Escobar et al., 1996), des Chlorophylls, der Kohlenhydrate, der Proteine, der Fasern und des Fetts (Alshamlat et al., 2020).

Für Arzneisorten gibt es auch viele Studien über die Wirksamkeit von  
Wirksamkeit der Blattanwendung von HS. Bei Sesam (*Sesamum indicum* L.), erhöht die Wachstumsparameter und den Samenertrag (Vani et al.,

O. Vioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Berbara, D. França de Oliveira Torchia et al. (2017) und der N-, P-, K- und Chlorophyllgehalt der Blätter sowie der prozentuale Anteil an Samenöl wurden beobachtet (Deotale et al., 2019). Safaei et al. (2014) testeten die Düngung der Blätter von Schwarzkümmel (*Nigella sativa* L.) mit dem Super-Humus-Produkt (37 % HA + FA, Dosierungen von 0, 1, 3 und 6 mg L<sup>-1</sup>), das dreimal angewendet wurde, beginnend im Stadium mit 8-10 Blättern und weiter einmal alle zwei Wochen bis nach der Blüte. Die Autoren stellten eine höhere Anzahl von Kapseln/Pflanzen, Anzahl von Samen/Kapseln, Gewicht der Samen/Pflanze, Samen- und biologischer Ertrag sowie Ernteindex fest. Im Allgemeinen erzielten die höchsten Dosen (3 und 6 mg. L<sup>-1</sup>) die besten Ergebnisse. Pfefferminze (*Mentha × piperita* L.) erhielt eine HS-Anwendung auf den Boden und die Triebe, wobei im letzteren Fall eine Dosis von 1,5 mg. L<sup>-1</sup> des Produkts (12 % HA und 4 % PA), viermal im Abstand von 15 Tagen, beginnend fünfzehn Tage nach dem Einpflanzen, verabreicht. Diese beiden Humusdüngungsmethoden wurden mit der Inokulation von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMF) und der Zugabe von chemischem Dünger kombiniert. Die Behandlungen mit HS erhöhten die Wachstums- und Entwicklungsparameter sowie den Gehalt an TSS, löslichen Phenolen, Chlorophyll *a* und *b*, Carotinoiden, Stärke und löslichem Gesamtprotein sowie die antioxidative Wirkung. Nach den Huminstoffbehandlungen wurde auch eine Verringerung der Wurzelbesiedlung durch AMF beobachtet. Insgesamt war die HS-Blattanwendung wirksamer als die Bodenbehandlung und zusammen mit der AMF-Inokulation vorteilhafter als die chemische Düngung (Shahabivand et al., 2018). Eine Zunahme der Eigenschaften in Bezug auf das Wachstum und den Ertrag der Blütenköpfe und des Kamillenöls (*Matri- caria chamomilla* L.) wurde auch nach der Blattapplikation von HA (0, 50, 100 und 150 mg L<sup>-1</sup>) 30 und 60 Tage nach der Verpflanzung berichtet (Hassan und Fahmy 2020).

Auch andere Arten von Heilpflanzen haben von der Blattbehandlung profitiert  
Düngung mit HS; beispielsweise erhielt Kurkuma (*Curcuma longa* L.) 0,1% Kaliumhumat (31,8% HA) nach 90 und 120 Tagen

nach der Aussaat und erhohnte die Aufnahme von Schwefel (S) (Baskar und Sankaran 2004); Fenchel (*Foeniculum vulgare* Mill.), der 6 und 8 Wochen nach der Aussaat auch Kaliumhumat (0, 2, 3, 4 und 5 cm/L) erhielt, erhohnte seine vegetativen Wachstumsparameter und die chemische Zusammensetzung seiner Blätter (El-Sawy et al., 2021); Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni), die alle zwei Wochen nach dem Einpflanzen mit FA-Leonardit (500 mg L<sup>-1</sup>) bespruhrt wurde, wobei zusätzlich zu den positiven Auswirkungen auf das Wachstum ein höherer Prozentsatz an Steviolglykosiden (süßende Spezies) und eine Verringerung der Vielfalt der endophytischen Bakteriengemeinschaft mit einer größeren Präsenz nützlicher Bakterien und einer geringeren Anzahl potenzieller Krankheitserreger beobachtet wurde (Yu et al., 2015); Essig-Rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) erhielt eine Blattapplikation von Kaliumhumat 80% HA (0, 1, 2 und 3 g. L<sup>-1</sup>) 60, 75 und 90 Tage nach der Aussaat (Amin und Kanimarani 2020) und eine Besprühung mit dem Helpstar-Produkt (12% HA) bei 2 cm. L<sup>-1</sup> zweimal in einem monatlichen Abstand (Ahmed et al., 2011). In beiden Studien kam es zu Verbesserungen bei den Parametern des vegetativen Wachstums (Abb. 8).

#### 4.2.4. Blattapplikation von HS auf Zierpflanzen

Zierpflanzen sind für ihre Blüten, Formen, Blattfarben und andere attraktive Aspekte bekannt und tragen so zur Verschönerung der Umgebung bei (Pereira et al., 2018). Die Blumenzucht ist die Produktion von Blumen zu kommerziellen Zwecken, die von vielen als überflüssige Tätigkeit angesehen wird,

erfüllt wirtschaftliche und soziale Funktionen, da sie Arbeitsplätze schafft und kulturelle und ökologische Funktionen erfüllt (Terra und Oliveira 2013).

In einer der ältesten Studien zur Blattdüngung mit HS testete Sladky (1959) die Anwendung von HS bei Begonien (*Begonia semperflorens* Link und Otto) mit drei Huminstofffraktionen: alkoholischer Extrakt, HA und FA (alle bei 100 mg/L). Der Autor dieser Studie stellte fest, dass FA die Huminstoffkomponente war, die die besten Ergebnisse erzielte und die Pflanzenhöhe, die Trocken- und Frischmasse von Wurzeln und Trieben, die Sauerstoffverbrauchsrate und den Chlorophyllgehalt der Blätter erhohnte. Mazhar et al. (2012) untersuchten beim Anbau von Chrysanthenen (*Chrysanthemum indicum* L.) die zweimalige Blattapplikation von Kaliumhumat (0, 1, 1,5 und 2,0 %) unter Bedingungen mit zunehmendem Salzstress. Die Huminstoffbehandlung erhohnte die Toleranz der Pflanzen gegenüber Salzstress, verringerte die Schäden und erhohnte die Pflanzenhöhe, den Stammdurchmesser, die Anzahl der Zweige/Pflanzen, die Trocken- und Frischmasse von Wurzeln und Trieben, die Anzahl der Blüten/Pflanzen, die Länge der Blütenstiele, die Trocken- und Frischmasse der Blüten und den prozentualen Anteil von Kohlenhydraten, Proteinen, N und K. Der prozentuale Anteil von Prolin und Natrium (Na) nahm ab, und die höchste Dosis von Kaliumhumat (2 %) führte zu den besten Ergebnissen bei allen bewerteten Merkmalen unter allen Salzgehaltsstufen. Fan et al. (2014) führten Versuche durch, bei denen HA aus Pflanzenruckstanden (1:600 (v/v)) in einem Gewächshaus auf eine andere Chrysanthenenart (*Chrysanthemum morifolium* R.) gespruhrt wurde, die 15, 30, 45 und 60 Tage nach der Verpflanzung behandelt wurde. Zusätzlich zu den in der vorherigen Studie erwähnten Steigerungen der morphologischen Parameter haben die Autoren dieser Studie

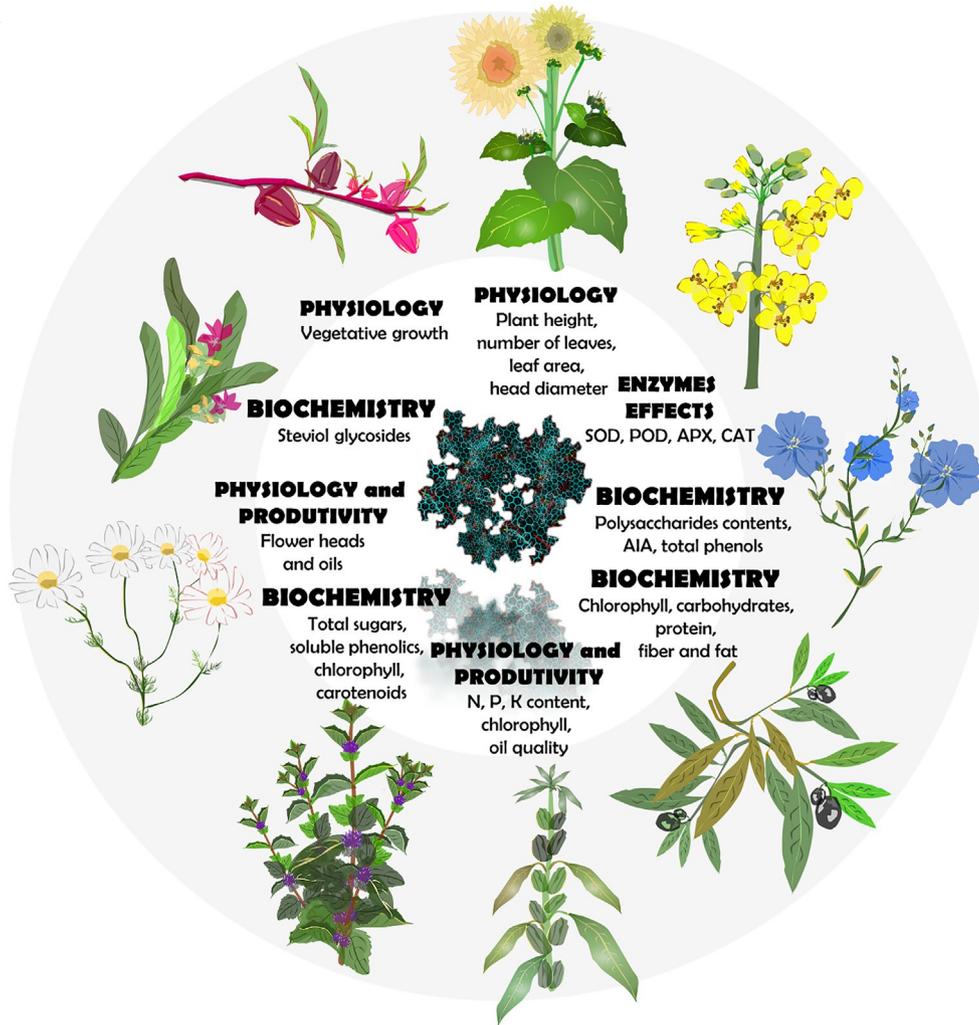


Abb. 8. Hauptwirkungen der HS-Blattanwendung auf Ölsaaten und Heilpflanzen.

Die Studie berichtet von einer Zunahme des photosynthetischen Apparats der Pflanzen bei der Anwendung von HA, wie die Zunahme der Nettophotosyntheseraten, der Chlorophyllfluoreszenz und der Ultrastruktur der Chloroplasten zeigt.

Bei Ringelblumen (*Calendula officinalis* L.) führte die HA-Blattanwendung zu einer Verbesserung der morphologischen Merkmale, indem die Blattlänge, die Anzahl der Blüten/Pflanze sowie die Breite und Länge der Blüten erhöht wurden (Ahmad et al., 2019), die Anzahl der Blätter/Pflanze, die Anzahl der Haupt- und Seitenzweige/Pflanze, die Pflanzenvermehrung (cm), den Chlorophyllgehalt in den Blättern, die Trocken- und Frischmasse von Wurzeln und Sprossen, die Wurzellänge, die Anzahl der Tage des Blütenstandes, die Anzahl der Blütenstände/Pflanze, die Länge und den Durchmesser des Stängels, die Anzahl der Blüten und die Trocken- und Frischmasse der Blütenstände sowie die Lebensdauer der Vase (Hasan 2019). Bei der afrikanischen Goldmarie (*Tagetes erecta* L.) wurden dieselben Wirkungen bei der Besprühung mit HA und Zinksulfat (beide in einer Konzentration von 0,2 %, 30 und 45 Tage nach der Pflanzung) in Kombination mit der Zufuhr der empfohlenen NPK-Dosis durch Düngung beobachtet (Das et al., 2020).

Najarjan, Souri und Nabigol (2022) berichteten, dass die Anwendung von HA, hauptsächlich in einer Dosis von 250 mg L<sup>-1</sup>, die Entwicklung von *Pelargonium × hortorum* förderte, indem sie das vegetative Wachstum und die Blüteeigenschaften wie die Anzahl der Blätter, Triebe, Blüten und Blüten pro Pflanze erhöhte. Auch andere Parameter wie Länge und Durchmesser der Blütenknospen und die Konzentration der Blattmineralien wurden begünstigt. Im Gegenzug haben Boogar et al.

(2014), die mit Petunien (*Petunia hybrida* L.) arbeiteten, beobachteten, dass das Besprühen mit HA (0, 100, 300, 600 und 900 ppm) während zweier Entwicklungsstadien zu einem höheren Blattflächenindex, einer höheren Anzahl von Trieben und Blüten, einem höheren relativen Wassergehalt und einem höheren Gehalt an Mikronährstoffen (Fe, Zn, Cu und Mn) in den Blättern führte, zusätzlich zu den Verbesserungen, die bei den vorherigen Arten erwähnt wurden. Jawad und Majeed (2017) fanden einen Anstieg der morphologischen Parameter und der Vasenlebensdauer von Gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) nach der Blattapplikation von HA (0, 5, 7,5 und 10 mg L<sup>-1</sup>) allein oder mit Calciumchlorid in verschiedenen Konzentrationen. Im Allgemeinen führte die höchste HA-Dosis (10 mg L<sup>-1</sup>) zusammen mit den höchsten Mengen an Calciumchlorid zu den besten Ergebnissen. Bei einer Gladiolenkultur (*Gladiolus grandiflorus* L.) wurden die Auswirkungen von aus Leonardit extrahiertem HA untersucht, das bei der Pflanzung auf den Boden oder direkt auf das Laub im 3- und 6-Blatt-Stadium aufgebracht wurde, das dem Boden hinzugefügt wurde.

Diese Dreifachkombination führte zu Reaktionen wie einer hohen Anzahl von Blättern/Pflanzen, Blattfläche, Chlorophyllgehalt, Stängel- und Ährenlänge und Topfzeit, zusätzlich zu einem reduzierten Triebaufgang (Abb. 9).

## 5. Schlussfolgerungen

Die Blattbehandlung mit HS hat das Potenzial, positive Reaktionen bei den verschiedensten landwirtschaftlichen Kulturen, Zierpflanzen und

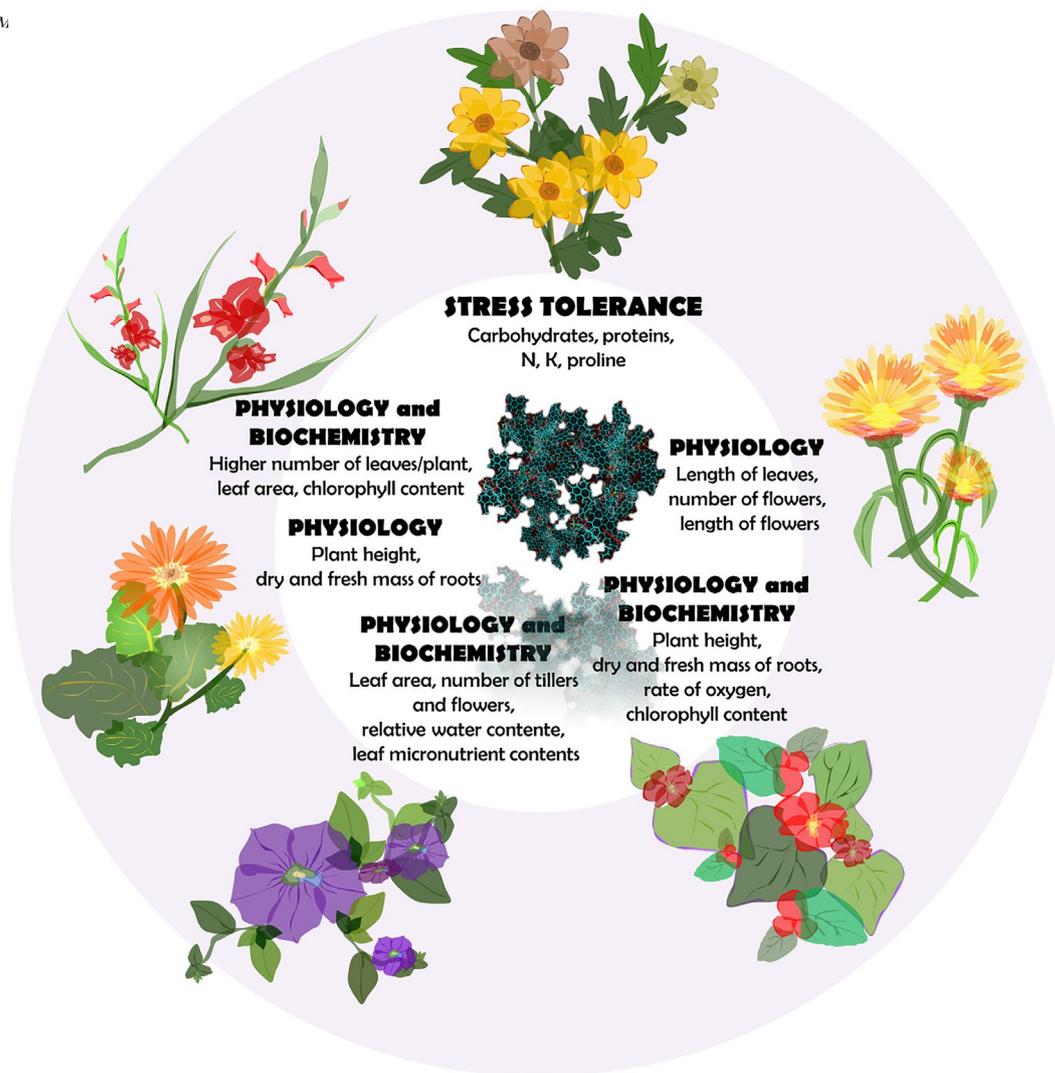


Abb. 9. Hauptwirkungen der HS-Blattapplikation auf Zierpflanzen.

von medizinischem Interesse, indem sie Wachstums- und Entwicklungsparameter sowie physiologische Eigenschaften und Stressreaktionen verbessern. Aufgrund der großen strukturellen Komplexität der Huminstoffe und der Tatsache, dass sie aus verschiedenen Quellen stammen, sind ihre Auswirkungen jedoch unterschiedlich, sogar wenn sie auf dieselbe Pflanzenart angewendet werden. Dieses Szenario ist auf die Herkunft des ausgebrachten Huminstoffs, seine Dosis, das phänologische Stadium, in dem die Besprühung erfolgt, die Anzahl der Anwendungen, die Eigenschaften der einzelnen Pflanzenarten und die Erfahrungs- und Umweltbedingungen des jeweiligen Standorts zurückzuführen. So gibt es Studien, in denen die besten Ergebnisse mit den höchsten HS-Dosen erzielt wurden, während in anderen Studien die niedrigeren HS-Dosen wirksamer waren. Ein weiterer Punkt betrifft die Unterschiede zwischen Boden- und Blattdüngung, wobei es Hinweise darauf gibt, dass diese beiden Formen der Düngung unterschiedliche Mechanismen nutzen, die zu den beobachteten positiven Effekten führen. Obwohl beide Ansätze die Produktion steigern können, zeigten einige Studien, dass die Ausbringung im Boden effizienter ist, während andere Studien darauf hinwiesen, dass die Blattdüngung besser ist, zusätzlich zu Berichten über eine komplementäre Wirkung zwischen diesen beiden Modalitäten. In Anbetracht dieser Informationen kann die Blattanwendung von HS als Alternative für nachhaltigere Produktionssysteme für die meisten Arten mit wirtschaftlicher Bedeutung genutzt werden. Die Besonderheiten jeder hier betrachteten Situation liefern jedoch Informationen zur Unterstützung einer angemessenen Auswahl der besten Art der Besprühung dieser Materialien, um ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis für diese Aktivitäten zu erreichen.

- Abdulbaset, I., Al-Madhagi, H., 2019. Wirkung von Huminsäure und Hefe auf den Ertrag von Gewächshausgurken. *J. hortic. Postharvest Res.* 2 (1), 67-82. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2018.1773.1029>.
- Abdulhameed Ibrahim, M., Abdulali Al-Sereh, E., 2019. Effect of foliar spray with potassium humate and green tea extract on some of the vegetative characteristics of guava (*Psidium guajava* L. Cv. Local) seedlings. *Plant Arch.* 19 (1), 404-408.

#### Beiträge der Autoren

Alle Autoren trugen gleichermaßen zur Vorbereitung, Erstellung und Überarbeitung des Manuskripts bei.

#### Erklärung über konkurrierende Interessen

Die Autoren erklären, dass ihnen keine konkurrierenden finanziellen Interessen oder persönlichen Beziehungen bekannt sind, die die Arbeit in diesem Dokument beeinflussen könnten.

#### Danksagungen

Diese Arbeit wurde unterstützt von der Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - Brasilien (Grant no.SisFAPERJ: 2012028010), dem Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasilien (CNPQ:No. 402396/2021-9 Universal 18/2021, CNPq-Nr. 309722/2021-7, PQ - 2 Forschungsförderung). Post-Graduate Program in Agronomie - Bodenkunde an der Federal Rural University of Rio de Janeiro (PPGA -CS, UFRRRJ) und der Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasilien (Zuschuss Nr. CAPES:001).

#### Referenzen

- AbdAllah, A.M., Burkey, K.O., Mashaheet, A.M., 2018. Reduction of plant water consumption through anti-transpirants foliar application in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L). *Sci. Hortic.* 235, 373-381. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.005>.
- Abdel-Baky, Y.R., Abouzienna, H.F., Amin, A.A., Rashad El-Sh, M., Abd El-Star, A.M., 2019. Verbesserung der Qualität und Produktivität einiger Ackerbohnsensorten durch Blattapplikation von Fulvinsäure. *Bull. Georgian Acad. Sci. Natl. Res. Cent.* 43 (1). <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0040-3>.
- Abdel-Razzak, H.S., El-Sharkawy, G.A., 2013. Effects of biofertilizer and humic acid applications on growth, yield, quality and storability of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Asian. J. Crop. Sci.* 5 (1), 48-64. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.48.64>.

- Q. Fioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro, Barbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al. Abdussattar, W., Fahdawi, E., 2020. Effect of humic acid on growth and yield of barley humic acid as interacted with row spacing project. *Indian J. Ecol* 47, 62-65.
- Abido, W.A.E., Ibrahim, M.E.M., 2017. Role of foliar spraying with biostimulants substances in decreasing mineral nitrogen fertilizer of sugar beet. *J. Plant Production Mansoura Univ.* 8, 1335-1343. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.41994>.
- Ahmad, S., Khan, J.A., Jamal, A., 2019. Response of pot marigold to different applied levels of humic acid. *J. Horticulture Plant Res.* 5, 57-60. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/jhpr.5.57>.
- Ahmad, I., Saquib, R.U., Qasim, M., Saleem, M., Khan, A.S., Yaseen, M., 2013. Auswirkungen von Huminsäure und Kultivar auf Wachstum, Ertrag, Vasanlebensdauer und Knollenmerkmale von Gladiolen. *Chil. J. Agric. Res.* 73 (4), 339-344. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000400002>.
- Ahmed, Y.M., Shalaby, E.A., Shanan, N.T., 2011. The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 10 (11), 1988-1996. <https://doi.org/10.5897/AJB10.876>.
- Akladios, S.A., Mohamed, H.I., 2018. Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. *Sci. Hortic.* 236, 244-250. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.047>.
- Alabdulla, S.A., 2019. Effect of foliar application of humic acid on fodder and grain yield of oat (*Avena sativa* L.). *Crop. Res.* 20 (4), 880-885. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.130>.
- Albuzio, A., Nardi, S., Gulli, A., 1989. Pflanzenwachstumsregulator-Aktivität von Humusfraktionen mit kleiner Molekülgröße. *Sci. Total Environ...* 81 (82), 671-674. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90176-9](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90176-9).
- Alfonso, E.T., Padrón, J.R., Diaz de Armas, M.M., 2010. Respuesta del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicon* L.) a la aplicación foliar de un bioestimulante derivado del Vermicompost. *Temas de Ciência y Tecnologia* 14 (41), 27-32.
- Alhariri, A., Boras, M., 2020. Responses of seed germination and yield related traits to seed pretreatment and foliar spray of humic and amino acids compounds in carrot (*Daucus carota* L.). *Int. J. Chem. Stud* 8 (4), 26-30. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4a.10338>.
- Ali, S., Bharwana, S.A., Rizwan, M., Farid, M., Kanwal, S., Ali, Q., Ibrahim, M., Gill, R.A., Khan, M.D., 2015. Fulvic acid mediates chromium (Cr) tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) through lowering of Cr uptake and improved antioxidant defense system. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (14), 10601-10609. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4271-7>.
- Al-Jaf, H.I., Raheem, S.M., Tofiq, G.K., 2018. Growth and Yield of Broccoli (*Brassica oleracea* L. Var. Corato) as affected by humic acid application. *J. Plant Production, Mansoura Univ.* 9, 739-741. <https://doi.org/10.21608/jpp.2018.36398>.
- Alshamlat, R.A., Makhoul Makhoul, G., Naddaf, M., Zidan, A., 2020. Wirkung der Blattapplikation von Huminsäure und der Elemente Bor und Zink in den Komponenten der Olivenblätter (Sorte Khodeiry). *Int. J. Agric. Environ. Inf.* 7 (3), 9-16.
- Amador, H.V., Guridi Izquierdo, F., Padrón, V.V., 2018. Revisión bibliográfica las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales* 39 (4), 102-109.
- Amin, M.I.M., Kanimarani, S.M.S., 2020. Impact of foliar application of humic acid and the measure time on growth and production of Roselle *Hibiscus sabdariffa*. *J. Agric. Sci.* 20 (1), 38-48.
- Amiri Forotaghe, Z., Souri, M.K., Ghanbari Jahromi, M., Mohammadi Torkashvandi, A., 2022. Einfluss der Anwendung von Huminsäure auf die Wachstumseigenschaften von Zwiebeln unter Wasserdefizitbedingungen. *J. Plant Nutr.* 45 (7), 1030-1040.
- Amiri, M., Rad, A.H.S., Valadabadi, A., Sayfzadeh, S., Zakerin, H., 2020. Response of Rapeseed fatty acid composition to foliar application of humic acid under different plant densities. *Pflanze-Boden-Umwelt.* 66 (6), 303-308. <https://doi.org/10.17221/220/2020-PSE>.
- Anjum, S.A., Xie, X.-Y., Wang, L.-C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphologische, physiologische und biochemische Reaktionen von Pflanzen auf Trockenheitsstress. *Afr. J. Agric. Res.* 6 (9), 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>.
- Argenta, S.C., Argenta, L.C., Giacomelli, S.R., Cezarotto, V.S., 2011. Plantas medicinais: cultura popular versus ciência **Heilpflanzen: Volkskultur gegen die Wissenschaft.** *Vivências* 7, 51-60.
- Asli, S., Neumann, P.M., 2010. Huminsäure in der Rhizosphäre interagiert mit Wurzelzellwänden, um die hydraulische Leitfähigkeit und die Pflanzenentwicklung zu reduzieren. *Plant Soil* 336 (1), 313-322. <https://doi.org/10.1007/s1104-010-0483-2>.
- Azarpour, E., 2012. Effects of bio, mineral nitrogen fertilizer management, under humic acid foliar spraying on fruit yield and several traits of eggplant (*Solanum melongena* L.). *African J. Agric. Res.* 7 (7). <https://doi.org/10.5897/ajar11.1833>.
- Bakry, A.B., Sadak, S.h., Moamen, H.T., Abd El Lateef, E.M., 2013. Einfluss von Huminsäure und organischem Dünger auf das Wachstum, die chemischen Bestandteile, den Ertrag und die Qualität von zwei Leinsamensorten, die auf neugewonnenen Sandböden angebaut werden. *Int. J. Acad. Res.* 5 (5), 125-134. <https://doi.org/10.7813/2075-4124.2013/5-5/a.17>.
- Baldotto, M.A., Giro, V.B., Baldotto, L.E.B., Canellas, L.P., Velloso, A.C.X., 2011. Die anfängliche Leistung von Ananas und die Nutzung von Rohphosphat, das in Kombination mit organischen Verbindungen auf die Blattachsen aufgebracht wird. *Revista Ceres* 58 (3), 393-401. <https://doi.org/10.1590/s0034-737x2011000300021>.
- Balmori, D.M., Dominguez, C.Y.A., Carreras, C.R., Rebatos, S.M., Farias, L.B.P., Izquierdo, F.G., Berbara, R.L.L., García, A.C., 2019. Die Blattapplikation von flüssigem Humusextrakt aus Vermicompost verbessert die Produktion und Fruchtqualität von Knoblauch (*Allium sativum* L.). *Int. J. Recycling Organic Waste Agric.* 8, 1093-513. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0279-1>.
- Basha, D.M.A., Hellal, F., El-Sayed, S., 2020. Effects of potassium and humic acid on amelioration of soil salinity hazardous on pea plants. *Asian J. Soil Sci. Plant Nutr.* 1-10. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2019/v5i430073>.

- Baskar, K., Sankaran, K., 2004. Auswirkung von Braunkohlen-Huminsäure auf verfügbaren S und seine Aufnahme in Kurkuma. *Agropedologie*. 14.
- Boldrin, P.F., Faquin, V., Ramos, S.J., Boldrin, K.V.F., Ávila, F.W., Guilherme, L.R.G., 2013. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *J. Food Compos. Anal.* 31 (2), 238-244. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.06.002>.
- Boogar, A.R., Shirmohammadi, E., Geikloo, A., 2014. Bulletin of environment, pharmacology and life sciences effect of humic acid application on qualitative characteristic and micronutrient status in *Petunia hybrid L.* *Env. Pharmacol. Life Sci.* 3, 15-19.
- Boussingault, J.B., 1868. Action deletere de la vapeur du mercure sur les plantes. *Agronomie* 4, 343-359.
- Brongiart, A., 1834. Sur l'epiderme des plantes. Nouvelles r'echerches sur lastructure de l'epiderm des v'eg'etaux. *Ann. Sci. Nat. (Bot)* 1, 65-71.
- Burkhardt, J., Basí, S., Pariyar, S., Hunsche, M., 2012. Stomatäre Penetration durch wässrige Lösungen - ein Update unter Einbeziehung von Blattoberflächenpartikeln. *New Phytol.* 196 (3), 774-787. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04307.x>.
- Bustamante Eguiguren, S., Nguyen, H.A., Caldwell, A., Nolin, K.A., Wu, C.A., 2020. Konvergenz der Morphologie und Chemie von Drüsentrichomen bei zwei montanen Affenblumenarten (*Mimulus*, Phrymaceae). *Flora: Morphology, Distribution, Funct. Ecol. Plants* 265. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151567>.
- Camargo Junior, O. A., Brandão Junior, J. U. T., Santos, H. S., Freitas, P. S. L. de. 2018. Hortaliças-fruto: aspectos gerais e uma estimativa da produção científica. In: *Hortaliças-fruto*. pp. 23-35. EDUEM.
- Canellas, L.P., Ferreira Da Silva, S., Lopes Olivares, F., 2005. Die Blattanwendung von *Herbaspirillum seropedicae* und Huminsäure erhöht die Maiserträge. *J. Food Agric. Environ.* 13, 146-153.
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P., Piccolo, A., 2015. Huminsäuren und Fulvosäuren als Biostimulanzien im Gartenbau. *Sci. Hort.* 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>.
- Cavalcante, Í.H.L., da Silva, R.R.S., Albano, F.G., de Lima, F.N., Marques, A.S., 2011. Blattspray von Huminstoffen auf die Sämlingsproduktion von Papaya (*Papaya*). *J. Agron.* 10 (4), 118-122. <https://doi.org/10.3923/ja.2011.118.122>.
- Cavalcante, Í.H.L., Silva-Matos, R.R.S., Albano, F.G., Silva Júnior, G.B., Silva, A.M., Costa, L.S., 2013. Blattspray von Huminstoffen auf die Sämlingsproduktion von gelben Passionsfrüchten. *J. Food Agric. Environ.* 11 (2), 301-304.
- Cha, J.Y., Kang, S.H., Ali, I., Lee, S.C., Ji, M.G., Jeong, S.Y., Shin, G.I., Kim, M.G., Jeon, J.R., Kim, W.Y., 2020. Huminsäure erhöht die Hitzestresstoleranz durch transkriptionelle Aktivierung von Hitzeschockproteinen in *Arabidopsis*. *Sci. Rep.* 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71701-8>.
- Chen, Y., Aviad, T., 1990. Auswirkungen von Huminstoffen auf das Pflanzenwachstum. In: *MacCarthy, P. (Ed.), Humic substances in soil and crop science: selected readings*. Madison, Wisconsin, S. 161-186.
- Cooper, R.J., Liu, C., Fisher, D.S., 1998. Einfluss von Huminstoffen auf die Bewurzelung und den Nährstoffgehalt von kriechendem Bentgras. *Crop Sci.* 38 (6), 1639-1644. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X00380060037x>.
- Cristofano, F., El-Nakhel, C., Roupael, Y., August 1. Biostimulierende Substanzen für eine nachhaltige Landwirtschaft: Herkunft, Wirkmechanismen und Auswirkungen auf Kürbisgewächse, Blattgemüse und Nachtschattengewächse. *Biomolecules*. <https://doi.org/10.3390/biom11081103>.
- da Silva Pereira, J., dos Santos Silva, D.L., da Silva, G.S., dos Santos Oliveira, D., 2018. Plantas ornamentais ocorrentes no município de aldeias altas, Maranhão, Brasil. *Acta Tecnológica* 13 (1), 79-93. <https://doi.org/10.35818/acta.v13i1.612>.
- Das, S., Rahman, F.H., Sengupta, T., Nag, K., 2020. Studies on the response of african marigold (*Tagetes erecta*) to npk, humic acid and zinc sulphate in red and lateritic soils of Jhargam district of west bengal. *Adv. Res.*
- de Aguiar, T.C., de Oliveira Torchia, D.F., de Castro, T.A.V.T., Tavares, O.C.H., de Abreu Lopes, S., da Silva, L.D.S., Castro, R.N., Berbara, R.L.L., Pereira, M.G., Garcia, A.C., 2022. Die spektroskopisch-chemometrische Modellierung von 80 Huminsäuren bestätigt die Identität der Strukturmuster von humifizierten organischen Stoffen trotz unterschiedlicher Entstehungsumgebungen. *Sci. Total Environ.* 833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155133>.
- de Castro, T.A.V.T., Berbara, R.L.L., Tavares, O.C.H., da Graça Mello, D.F., Pereira, E.G., de Souza, C.D.C.B., Espinosa, L.M., Garcia, A.C., 2021. Huminsäuren induzieren einen Eustress-Zustand über die Photosynthese und den Stickstoffmetabolismus, was zu einer Verbesserung des Wurzelwachstums bei Reispflanzen führt. *Plant Physiol. Biochem.* 162, 171-184. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.043>.
- de Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarréño, A.M., Olaetxea, M., García-Mina, J. M., 2020. Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid. *Front. Plant Sci.* 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00493>.
- de Souza, E.L., da Cruz, P.J.R., Bonfá, C.S., Magalhães, M.A., 2018. Plantas forrageiras para pastos de alta produtividade Bovinocultura, equideocultura, forragem, ovinocaprino cultura, produção. *Nutri Time* 15 (4), 8272-8284.
- del Amor, F.M., Cuadra-Crespo, P., 2011. Gasaustausch und antioxidative Reaktion von Paprika auf die Besprühung mit Harnstoff auf dem Blatt in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. *Sci. Hort.* 127 (3), 334-340. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.028>.
- Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., Alvino, A., 2005. Auswirkungen der Blattapplikation von Stickstoff und Huminsäuren auf Wachstum und Ertrag von Hartweizen. *Agronomie* 25 (2), 183-191. <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>.
- Demidchik, V., Shabala, S.N., Davies, J.M., 2007. Spatial variation in H O<sub>22</sub> response of *Arabidopsis thaliana* root epidermal Ca<sup>2+</sup> flux and plasma membrane Ca<sup>2+</sup> channels. *Plant J.* 49 (3), 377-386. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2006.02971.x>.

- O. Fioratti Telles de Moura, R. Luiz Louro Berbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al. 2023. Naa auf chemische, biochemische, ertrags- und ertragssteigernde Parameter von Sesam. *J. Soils Crops*.
- Desire, M.F., Blessing, M., Elijah, N., Ronald, M., Agather, K., Tapiwa, Z., Florence, M. R., George, N., March 1. Untersuchung des Potenzials von vernachlässigten Hülsenfrüchten und Ölsaaten für die Anreicherung von Lebensmitteln zur Verbesserung der Lebensmittel- und Ernährungssicherheit in kleinfärlichen Gemeinschaften: eine systematische Übersicht. *J. Agric. Food*. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100117>.
- Dhanasekaran, K., Elayaraja, D., Srinivasan, S., 2018. Wirkung der Blattapplikation von mit Mikronährstoffen angereicherter Huminsäure und Gibberellinsäure auf den Frucht- und Nussertrag von Cashew. *JETIR* 5 (5), 771-773.
- dos Santos, A.C.M., Rodrigues, L.U., de Andrade, C.A.O., da Carneiro, J.S., da Silva, R.R., 2018. Ácidos húmicos e nitrogênio na produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada Nas Ciências Agrárias* 11 (1). <https://doi.org/10.5935/paet.v11.n1.08>.
- Duan, D., Tong, J., Xu, Q., Dai, L., Ye, J., Wu, H., Xu, C., Shi, J., 2020. Regulationsmechanismen von Huminsäure auf Pb-Stress in Teeepflanze (*Camellia sinensis* L.). *Environ. Pollut.* 267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115546>.
- Dziugiel, T., Wadas, W., 2020. Möglichkeit der Steigerung des Ertrags von Frühkartoffeln durch Blattapplikation von Algenextrakten und Huminsäuren. *J. Cent. Eur. Agric.* 21 (2), 300-310. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2576>.
- El-Helaly, M.A., 2018. Effect of foliar application of humic and fulvic acids on yield and its components of some carrot (*Daucus carota* L.) Cultivars. *J. Horticultural Sci. Ornamental Plants* 10 (3), 159-166. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2018.159.166>.
- El-Hoseiny, H.M., Helaly, M.N., Elsheery, N.I., Alam-Eldein, S.M., 2020. Huminsäure und Bor zur Minimierung des Auftretens von Wechsellrieben und zur Verbesserung der Produktivität und Fruchtqualität von Mangobäumen. *HortSci*. 55 (7), 1026-1037. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15053-20>.
- Elkhatib, H.A., Gabr, S.M., Roshdy, A.H., Kasi, R.S., 2020. Effects of different nitrogen fertilization rates and foliar application of humic acid, fulvic acid and tryptophan on growth, productivity and chemical composition of common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Alexandria Sci. Exchange J.* 41 (2), 191-204. <https://doi.org/10.21608/asejaiqsae.2020.93900>.
- El-Sawy, S.M., El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Shedeed, S.I., 2021. Verbesserung des Ertrags, der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Fenchelzwiebeln durch Besprühen mit Kaliumhumat. *J. Horticultural Sci. Ornamental Plants* 13 (3), 272-281. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2021.272.281>.
- Ervin, E.H., Zhang, X., Roberts, J.C., 2008. Verbesserung der Wurzelentwicklung mit Blatt-Huminsäure-Anwendungen während der Etablierung von Kentucky Bluegrass-Soden auf Sand. *Acta Hort* 783, 317-322.
- Eskandari, S., Sharifnabi, B., 2020. Der Zeitpunkt der Blattspritzung beeinflusst die Wirksamkeit von Mangan zur Verbesserung der Resistenz von Gurken gegen *Podosphaera fuliginea*. *Sci. Hortic.* 261. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108780>.
- Fageria, N.K., Filho, M.P.B., Moreira, A., Guimarães, C.M., 2009. Blattdüngung von Kulturpflanzen. *J. Plant Nutr.* 32 (6), 1044-1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>.
- Fan, H.M., Wang, X.W., Sun, X., Li, Y.Y., Sun, X.Z., Zheng, C.S., 2014. Auswirkungen von Huminsäure aus Sedimenten auf Wachstum, Photosynthese und Chloroplasten-Ultrastruktur bei Chrysanthemen. *Sci. Hortic.* 177, 118-123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.010>.
- FAOSTAT, 2013. Statistische Datenbank der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation. Online verfügbar unter <http://faostat3.fao.org/home/index.html>.
- FAO, 2022. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Neuausrichtung der Lebensmittel- und Agrarpolitik, um gesunde Ernährung erschwinglicher zu machen. FAO, Rom.
- Fathima, P.S., Denesh, G.R., 2013. Influence of humic acid spray on growth and yield of chilli (*Capsicum annum* L.). *International Journal of. Agric. Sci.* 9 (2), 542-546.
- Fathy, M.A., Gabr, M.A., el Shall, S.A., 2010. Wirkung von Huminsäure-Behandlungen auf Wachstum, Ertrag und Fruchtqualität der Canino-Aprikose. *New York Sci. J.* 3 (12), 109-115.
- Faulin, E.J., Furquim De Azevedo, P., 2003. Distribuição de hortaliças na agricultura familiar: uma análise das transações. *Informações Económicas* 22 (11), 24-37. Felipe, L., Santoyo, R., Alcántar González, G., Ortega Escobar, M., Estrada, A.E., Soto Hernández, M., García, S., 1998. Fertilización foliar orgánica e inorgánica y rendimiento de sorgo en condiciones de salinidad. *Terra* 16 (3).
- Fernandez, V., Eichert, T., 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Crit. Rev. Plant Sci.* 28 (1-2), 36-68. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., Brown, P.H., 2013. Blattdüngung: wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. Internationaler Verband der Düngemittelindustrie, Paris, pp. 1-144.
- Fernández-Escobar, R., Benlloch, M., Barranco, D., Duenas, A., Gutiérrez Ganán, J.A., 1996. Reaktion von Olivenbäumen auf die volkstümliche Anwendung von aus Leonardit extrahierten Huminstoffen. *Sci. Hortic.* 66, 191-200.
- Ferrara, G., Brunetti, G., 2010. Efectos de los tiempos de aplicación de un ácido húmico del suelo sobre la calidad de las bayas de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) cv Italia. *Span. J. Agric. Res.* 8 (3), 817-822. <https://doi.org/10.5424/1283>.
- Filgueiras, T.S., 2021. Gramíneas do cerrado. IBGE, Rio de Janeiro.
- Fischer, T., 2017. Humusartige supramolekulare Strukturen haben polare Oberflächen und unpolare Kerne in nativen Böden. *Chemosphere* 183, 437-443. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.125>.
- Fontaneli, R.S., Pereira, H., Santos, D., Carlos Baier, A., 2009. Morfologia de leguminosas forrageiras. In: Fontaneli, R.S., Santos, H.P.F.R.S. (Eds.), Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul- Brasileira. 1 ed. Embrapa Trigo, Passo Fundo.

- Frioni, T., VanderWeide, J., Palliotti, A., Tombesi, S., Poni, S., Sabbatini, P., 2021. Blattanwendung vs. Bodenanwendung von Ascophyllum nodosum-Extrakten zur Verbesserung der Wasserstresstoleranz von Weinreben. *Sci. Hortic.* 277. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109807>.
- Fu, Y., Zhong, X., Zeng, J., Liang, K., Pan, J., Xin, Y., Liu, Y., Hu, X., Peng, B., Chen, R., Hu, R., 2021. Verbesserung des Kornertrags, der Stickstoffnutzungseffizienz und der Strahlungsnutzungseffizienz durch dichte Bepflanzung mit verzögerter und reduzierter Stickstoffapplikation im Reis-Doppelanbau in Südchina. *J. Integr. Agric.* 20 (2), 565-580. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63380-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63380-9).
- García, A.C., Castro, T. A. V. T., Berbara, R. L. L., Elias, S. S., Amaral Sobrinho, N. M. B., Pereira, M. G., Zonta, E. 2019. Revisão Sobre a Relação Estrutura-Função das Substâncias Húmicas e a sua Regulação do Metabolismo Oxidativo em Plantas Critical. (Abgerufen von <http://rvq.sbgq.org.br>).
- García, A.C., Santos, L.A., Izquierdo, F.G., Sperandio, M.V.L., Castro, R.N., Berbara, R.L.L., 2012. Huminsäuren aus Vermicompost als ökologischer Weg zum Schutz von Reispflanzen vor oxidativem Stress. *Ecol. Eng.* 47, 203-208. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.011>.
- García, A.C., Santos, L.A., de Souza, L.G.A., Tavares, O.C.H., Zonta, E., Gomes, E.T.M., García-Mina, J.M., Berbara, R.L.L., 2016. Vermicompost-Huminsäuren modulieren die Akkumulation und den Metabolismus von ROS in Reispflanzen. *J. Plant Physiol.* 192, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.01.008>.
- Gerardin, T., Douthé, C., Flexas, J., Brendel, O., 2018. Shade and drought growth conditions strongly impact dynamic responses of stomata to variations in irradiance in *Nicotiana tabacum*. *Environ. Exp. Bot.* 153, 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.019>.
- Gerum, A.D.A., Santos, G.S., Santana, M.D.A., Souza, J.D.S., Cardoso, C.E.L., 2019. *Fruticultura Tropical: potenciais riscos e seus impactos*. Cruz das Almas, S. 128.
- Gerzabek, M.H., Aquino, A.J.A., Balboa, Y.I.E., Galicia-Andrés, E., Granc'ic, P., Oostenbrink, C., Petrov, D., Tunega, D., 2022. Ein Beitrag der molekularen Modellierung zu supramolekularen Strukturen in organischer Bodensubstanz. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 185 (1), 44-59. <https://doi.org/10.1002/jpln.202100360>.
- Ghanbarpour, E., Rezaei, M., Lawson, S., 2019. Reduktion der Rissbildung bei Granatapfel Früchten nach Blattapplikation von Huminsäure, Calcium-Bor und Kaolin bei Wasserstress. *Erwerbs-obstbau* 61 (1), 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10341-018-0386-6>.
- Haider, F.U., Liqun, C., Coulter, J.A., Cheema, S.A., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M., Farooq, M., 2021. Cadmium-Toxizität bei Pflanzen: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 211. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>.
- Hasan, A.M., 2019. Effect of foliar application of humic acid and benzyladenine on growth and flowering of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *J. Univ. Duhok* 22 (1), 69-77. <https://doi.org/10.26682/avuod.2019.22.1.7>.
- Hassan, H., Fahmy, A., 2020. Effect of foliar spray with proline and humic acid on productivity and essential oil content of chamomile plant under different rates of organic fertilizers in sandy soil. *J. Plant Product.* 11 (1), 71-77. <https://doi.org/10.21608/jpp.2020.79156>.
- Hatami, E., Shokouhian, A.A., Ghanbari, A.R., Naseri, L.A., 2018. Milderung von Salzstress in Mandelunterlagsreben durch Huminsäure. *Sci. Hortic.* 237, 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.034>.
- Hernandez, O.L., Calderín, A., Huelva, R., Martínez-Balmori, D., Guridi, F., Aguiar, N. O., Olivares, F.L., Pasqualoto Canellas, L., 2015. Huminstoffe aus Vermicompost verbessern die städtische Kopfsalatproduktion. *Agronomy Sustain. Dev.* 35 (1). <https://doi.org/10.1007/s13593>.
- Hernández, R., Robles, C., Calderín, A., Guridi, F., Reynaldo, I.M., González, D., 2018. Efectos anti estrés de ácidos húmicos de vermicompost en dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales* 39 (2), 65-74.
- Huang, S., Wang, P., Yamaji, N., Ma, J.F., 2020. June 1 Plant Nutrition for Human Nutrition: Hinweise aus der Reiserforschung und Zukunftsperspektiven. *Mol. Plant Cell Press*. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.05.007>.
- Jan, J.A., Nabi, G., Khan, M., Ahmad, S., Shah, P.S., Hussain, S., Sehrish, S., 2020. Die Blattapplikation von Huminsäure verbessert Wachstum und Ertrag von Chilisorten (*Capsicum annum* L.). *Pak. J. Agric. Res.* 33 (3). <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.461.472>.
- Jawad, R.M., Majeed, B.H., 2017. Floral characters of gerbera (*Gerbera jamesonii*) as affected by foliar application of humic acid and calcium chloride. *Zagazig J. Agric. Res* 44 (3).
- Jeffree, C. E. 2007. Die Feinstruktur der Pflanzenkutikula. In: *Annual Plant Reviews*. Bd. 23, S. 11-125. Wiley Blackwell.
- Jindo, K., Olivares, F.L., da Malcher, D.J., Sánchez-Monedero, M.A., Kempenaar, C., Canellas, L.P., 2020. Vom Labor zum Feld: Die Rolle von Huminstoffen unter Freiland- und Gewächshausbedingungen als Biostimulans und Biokontrollmittel. *Front. Plant Sci. Front Media S.A.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00426>.
- Jung, H., Kwon, S., Kim, J., Jeon, J., 2021. Welche Eigenschaften von Huminstoffen werden untersucht, um ihren agronomischen Wert zu verbessern? *Molecules* 26 (760), 1-10. <https://doi.org/10.3390/molecules>.
- Kamel, S.M., Afifi, M.M.I., El-shoraky, F.S., El-Sawy, M.M., 2014. Fulvosäure: ein Mittel zur Bekämpfung von Mehltau und Falschem Mehltau bei Gurkenpflanzen. *Int. J. Phytopathol.* 3 (2), 101-108. <https://doi.org/10.33687/phytopath.003.02.0866>.
- Kandil, E.E., Abdelsalam, N.R., el Aziz, A.A.A., Ali, H.M., Siddiqui, M.H., 2020. Wirksamkeit von Nanodünger, Fulvosäure und Borddünger auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.). *Sugar Tech* 22 (5), 782-791. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00837-8>.
- Kandil, A.A., Sharief, A.E., Fathalla, F.H., 2012. Onion yield as affected by foliar application with amino and humic acids under nitrogen fertilizer levels. *ESCI J. Crop Product.* 02 (02), 62-72.

- Q. Vioratti Telles de Maura, R. Luiz Louvo Berbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al. Karakurt, Y., Unlu, H., Unlu, H., Padem, H., 2009. Der Einfluss von Blatt- und Bodendüngung mit Huminsäure auf Ertrag und Qualität von Paprika. Acta Agric. Scand. B. Soil Plant Sci. 59 (3), 233-237. <https://doi.org/10.1080/09064710802022952>.
- Karakurt, Y., Ozdamar-Unlu, H., Unlu, H., Tonguc, M., 2015. Antioxidative Verbindungen und Aktivität in Gurkenfrüchten als Reaktion auf die Anwendung von Huminsäure auf Blättern und im Boden. Eur. J. Hortic. Sci. 80 (2), 76-80. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.2.5>.
- Katkat, A., Çelik, H., Turan, M.A., Asy'k, B.B., 2009. Auswirkungen von Boden- und Blattanwendungen von Huminstoffen auf das Trockengewicht und die Mineralstoffaufnahme von Weizen unter kalkhaltigen Bodenbedingungen. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3 (2), 1266-1273.
- Kaya, M., Atak, M., Khawar, M., Çiftçi, C.Y., Özcan, S., 2005. Auswirkung der Saatgutbehandlung mit Zink vor der Aussaat und der Blattspritzung von Huminsäuren auf den Ertrag von Ackerbohnen (*Phaseolus vulgaris* L.). Int. J. Agric. e Biol. 7 (6), 875-878.
- Kaya, C., Şnbayram, M., Akram, N.A., Ashraf, M., Alyemeni, M.N., Ahmad, P., 2020. Mit Schwefel angereicherte Leonardit- und Huminsäure-Bodenzusätze erhöhen die Toleranz gegenüber Trockenheit und Phosphormangelstress bei Mais (*Zea mays* L.). Sci. Rep. 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62669-6>.
- Kazemi, M., 2013. Wirkung der Blattapplikation von Huminsäure und Kaliumnitrat auf das Wachstum von Gurken. Env. Pharmacol. Life Sci 2 (11), 3-06.
- Khaled, H., Fawy, H.A., 2011. Auswirkung verschiedener Mengen an Huminsäuren auf den Nährstoffgehalt, das Pflanzenwachstum und die Bodeneigenschaften unter salzhaltigen Bedingungen. Soil & Water Res. 6 (1), 21-29.
- Khan, M.A., Asaf, S., Khan, A.L., Jan, R., Kang, S.M., Kim, K.M., Lee, I.J., 2020. Erhöhung der Thermotoleranz von Tomatensetzlingen durch Inokulation mit SA1-Isolat von *Bacillus cereus* und Vergleich mit exogener Huminsäureapplikation. PLoS One 15 (4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232228>.
- Khorasaninejad, S., Alizadeh Ahmadabadi, A., Hemmati, K., 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Sci. Hortic. 239, 314-323. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.015>.
- Kishor, M., Jayakumar, M., Gokavi, N., Mukharib, D.S., Raghuramulu, Y., Udayar Pillai, S., 2021. Huminsäure als Blatt- und Bodenanwendung verbessert das Wachstum, den Ertrag und die Qualität von Kaffee (cv. C × R) in den Western Ghats von Indien. J. Sci. Food Agric. 101 (6), 2273-2283. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10848>.
- Kovalchuk, N.M., Simmons, M.J.H., 2021. Tensid-vermittelte Benetzung und Ausbreitung: Neue Fortschritte und Anwendungen. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 51. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.07.004>.
- Kritzinger, I., Lötze, E., 2019. Quantifizierung von Lentizellen in japanischen Pflaumensorten und ihr Einfluss auf die Gesamtdurchlässigkeit der Fruchtschale. Sci. Hortic. 254, 35-39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.082>.
- Leite, J.M., Pitumpe Arachchige, P.S., Ciampitti, I.A., Hettiarachchi, G.M., Maurmann, L., Trivelin, P.C.O., Prasad, P.V.V., Sunoj, S.V.J., 2020. Co-Addition von Huminstoffen und Huminsäuren mit Harnstoff erhöht die Effizienz der Stickstoffnutzung in Zuckerrohr (*Saccharum officinarum* L.). Heliyon 6 (10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05100>.
- Lessen, A.W., Olk, D.C., Dinnes, D.L., 2019. Application of a formulated humic product can increase soybean yield. Crop, Forage & Turfgrass Manage. 5, (1). <https://doi.org/10.2134/cftm2018.07.0053> 180053.
- Leventoglu, H., Erdal, I., 2014. Effect of high humic substance levels on growth and nutrient concentration of corn under calcareous conditions. J. Plant Nutr. 37 (12), 2074-2084. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920373>.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, H., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P.T., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A., Torquebiau, E.F., 2014. Klimagerechte Landwirtschaft für Ernährungssicherheit. Nature Climate Change 4, 1068-1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>.
- Liu, A., Contador, C.A., Fan, K., Lam, H.M., 2018. Interaktion und Regulierung des Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorstoffwechsels in Wurzelknöllchen von Leguminosen. Plant Sci. Front. Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01860>.
- Lotfi, R., Pessarakli, M., Gharavi-Kouchebagh, P., Khoshvaghti, H., 2015. Physiologische Reaktionen von *Brassica napus* auf Fulvinsäure unter Wasserstress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. Crop J. 3 (5), 434-439. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.05.006>.
- Mahmoudi, M., Samavat, S., Mostafavi, M., Khalighi, A., Cherati, A., 2014. The effects of humic acid and proline on morphological properties of *Actinidia Deliciosa* cv. Hayward under salinity. J. Appl. Sci. Agric. 9 (1), 261-267.
- Maibodi, N.D.H., Kaf, M., Nikbakht, A., Rejali, F., 2015. Effect of foliar applications of humic acid on growth, visual quality, nutrients content and root parameters of perennial ryegrass (*Lolium Perenne* L.). J. Plant Nutr. 38 (2), 224-236. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.939759>.
- Manas, D., Soumya, G., Kheyali, S., 2014. Effect of humic acid application on accumulation of mineral nutrition and pungency in garlic (*Allium sativum* L.). Int. J. Biotechnol. Mol. Biol. Res. 5 (2), 7-12. <https://doi.org/10.5897/ijbmr2014.0186>.
- Man-hong, Y., Lei, Z., Sheng-tao, X., McLaughlin, N.B., Jing-hui, L., 2020. Auswirkung von wasserlöslicher Huminsäure, die auf Kartoffelblätter aufgebracht wird, auf das Pflanzenwachstum, die Photosyntheseigenschaften und den Ertrag an frischen Knollen bei verschiedenen Wasserdefiziten. Sci. Rep. 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63925-5>.
- Mazhar, A.A.M., Shaddad, S.J., Abdel-Aziz, M.G., Mahgoub, M.H., 2012. Wachstums-Blüte und physiologische Inhaltsstoffe der *Chrysanthemum indicum* L. Pflanze als Reaktion auf unterschiedliche Mengen an Huminsäure und Salzgehalt. J. Appl. Sci. Res. 8 (7), 3697-3706.

- Meena, M.K., Dhanoji, M.M., Chandra Naik, M., 2018. Influence of humic acid foliar spray on physiological growth indices in Redgram (*Cajanus cajan*). *Pharmacology and Life Sciences Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*, 57-63
- Merget, A., 1873. Über die Phänomene der Thermoeffusion, die in den Feuillen auftreten, und über die Zirkulationsbewegungen, die sich in den Feuillen vollziehen. *Resultat dans l'acte de la respiration chlorophyllienne. Compt. Ren, Acad, Sci.* 77, 1468-1472.
- Mocellin, R. S. P. 2004. *Princípios das adubações foliares*. Canoas.
- Monda, H., Cozzolino, V., Vinci, G., Drosos, M., Savy, D., Piccolo, A., 2018. Molekulare Zusammensetzung des aus verschiedenen Grünkomposten extrahierten Humeoms und dessen Biostimulation auf das frühe Wachstum von Mais. *Plant and Soil* 429 (1-2), 407-424. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3642-5>.
- Monda, H., McKenna, A.M., Fountain, R., Lamar, R.T., 2021. Bioaktivität von Huminstoffen, die aus Schiefererzen extrahiert werden: Molecular Characterization and Structure- Activity Relationship With Tomato Plant Yield Under Nutritional Stress. *Front. Plant Sci.* 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.660224>.
- Muscolo, A., Sidari, M., Nardi, S., 2013. Huminstoffe: Relationship between structure and activity. deeper information suggests univocal findings. *J. Geochem. Explor.* 129, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.012>.
- Nachtiqatü, G.R., Nava, G., 2010. Adubação foliar: Fatos e mitos. *Agropecuária Catarinense* 23 (2), 87-97.
- Najarian, A., Souri, M.K., Nabigol, A., 2022. Einfluss von Huminstoffen auf vegetatives Wachstum, Blüte und Blattmineralien von *Pelargonium x hortorum*. *J. Plant Nutr.* 45 (1), 107-112.
- Nardi, S., Panuccio, M.R., Abenavoli, M.R., Muscolo, A., 1994. Auxin-ähnliche Wirkung von Huminstoffen, extrahiert aus den Fäkalien von *Allolobophora caliginosa* und *A. rosea*. *Soil Biol. Biochem.* 26 (10), 1341-1346.
- Nardi, S., Concheri, G., Pizzeghello, D., Sturaro, A., Rella, R., Parvoli, G., 2000a. Boden Mobilisierung organischer Stoffe durch Wurzelexsudate. *Chemosphere* 41, 653-658.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Reniero, F., Rascio, N., 2000b. Chemische und biochemische Eigenschaften von Huminstoffen, die aus Waldböden isoliert wurden, und Pflanzenwachstum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64 (2), 639-645. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642639x>.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Ertani, A., 2018. Hormonähnliche Aktivität der organischen Bodensubstanz. *Appl. Soil Ecol.* 123, 517-520. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.020>.
- Nardi, S., Schiavon, M., Francioso, O., 2021. Chemische Struktur und biologische Aktivität von Huminstoffen definieren ihre Rolle als Pflanzenwachstumsförderer. *Molecules* MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>.
- Nebbioso, A., Piccolo, A., Lamshöft, M., Spittler, M., 2014. Molecular characterization of an end-residue of humeomics applied to a soil humic acid. *RSC Adv.* 4 (45), 23658-23665. <https://doi.org/10.1039/c4ra01619j>.
- Ngullie, C.R., Tank, R.V., Bhandari, D.R., 2014. Effect of salicylic acid and humic acid on flowering, fruiting, yield and quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kesar. *Adv. Res. J. Crop Improvement* 5 (2), 136-139. <https://doi.org/10.15740/has/arjci/5.2/136-139>.
- O'Donnell, R.W., 1972. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Sci.* 116 (2), 106-112.
- Olaetxea, M., de Hita, D., Garcia, C.A., Fuentes, M., Baigorri, R., Mora, V., Garnica, M., Urrutia, O., Erro, J., Zamarreño, A.M., Barbara, R.L., Garcia-Mina, J.M., 2018. Hypothetischer Rahmen, der die wichtigsten Mechanismen integriert, die an der fördernden Wirkung von rhizosphärischen Huminstoffen auf das Wurzel- und Sprosswachstum von Pflanzen beteiligt sind. *Appl. Soil Ecol.* 123, 521-537. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.007>.
- Olaetxea, M., Mora, V., Bacaicoa, E., Baigorri, R., Garnica, M., Fuentes, M., Zamarreño, A.M., Spichal, L., Garcia-Mina, J.M., 2019. Root ABA and H<sup>+</sup>-ATPase are key players in the root and shoot growth-promoting action of humic acids. *Plant Direct* 3 (10). <https://doi.org/10.1002/pld3.175>.
- Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Rosa, R.C.C., Canellas, L.P., 2015. Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Sci. Hortic.* 183 (1), 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.012>.
- Oliveira Amatucci, J., Francisco Mógor, Á., Mógor, G., Bochetti de Lara, G., 2020. Neuartige Verwendung von Kalkalgen als Biostimulans für Pflanzen. *J. Appl. Phycol.* 32, 2023- 2030. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02077-5> / Published.
- Olk, D.C., Dinnes, D.L., Rene Scoresby, J., Callaway, C.R., Darlington, J.W., 2018. Huminstoffe in der Landwirtschaft: Potenzielle Vorteile und Herausforderungen für die Forschung - ein Überblick. *J. Soil. Sediment.* 18 (8), 2881-2891. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1916-4>.
- Osman, E.A.M., El-Masry, A.A., Khatib, K.A., 2013. Auswirkung von Stickstoffdünger und Blattspray mit Humin- und/oder Fulvosäuren auf Ertrag und Qualität von Reispflanzen. *Pelagia Res. Library Adv. Appl. Sci. Res.* 4 (4), 174-183.
- Osvalde, A., Karlsons, A., C'ekstere, G., Maļeckā, S. 2013. Wirkung von Huminstoffen auf den Nährstoffstatus und den Ertrag von Zwiebeln (*Allium Cepa* L.) unter Feldbedingungen. In: *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 66(4-5), 192-199. doi: 10.2478/v10046-012-0028-6.
- Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M., Kucukoduk, M., 2018. Huminsäure-induzierte Veränderungen des Wasserstatus, der Chlorophyllfluoreszenz und der antioxidativen Abwehrsysteme von Weizenblättern bei Cadmium-Stress. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 155, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.071>.
- Perminova, I., Garcia-Mina, J.M., Knicker, H., Miano, T., 2019. Huminstoffe und

naturnahe Technologien: Von der Natur lernen: Verständnis der Strukturen und Wechselwirkungen von Huminstoffen für die Entwicklung von umweltfreundlichen, naturnahen Technologien. *J. Soil. Sediment.* 19 (6), 2663-2664. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02330-6>.

- Q. Fioratti Telles de Maura, R. Luiz Louro, Barbara, D. Franca de Oliveira Torchia et al. Piccolo, A., 2002. Die supra-molekulare Struktur von Huminstoffen: Ein neues Verständnis der Humuschemie und Auswirkungen auf die Bodenkunde. Adv. Agron. 75, 57-134. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(02)75003-7).
- Pittarello, M., Busato, J.G., Carletti, P., Zanetti, L.V., da Silva, J., Dobbss, L.B., 2018. Auswirkungen verschiedener Huminstoffkonzentrationen auf die Wurzelanatomie und Cd-Akkumulation in Sämlingen von *Avicennia germinans* (Schwarze Mangrove). Mar. Pollut. Bull. 130, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.005>.
- Pizzeghello, D., Nicolini, G., Nardi, S., 2002. Hormonähnliche Aktivitäten von Huminstoffen in verschiedenen Waldökosystemen. New Phytol. 155 (3), 393-402. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00475.x>.
- Pizzeghello, D., Francioso, O., Ertani, A., Muscolo, A., Nardi, S., 2013. Isopentenyladenosin und Cytokinin-ähnliche Aktivität von verschiedenen Huminstoffen. J. Geochem. Explor. 129, 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.007>.
- Pizzeghello, D., Schiavon, M., Francioso, O., Dalla Vecchia, F., Ertani, A., Nardi, S., 2020. Bioaktivität von größenfraktionierten und unfraktionierten Huminstoffen aus zwei Waldböden und vergleichende Auswirkungen auf n- und s-Stoffwechsel, Ernährung und Wurzelanatomie von *Allium sativum* L. Front. Plant Sci. 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01203>.
- Popescu, G.C., Popescu, M., 2018. Ertrag, Beerenqualität und physiologische Reaktion der Weinrebe auf Blatt-Huminsäure-Anwendung. Bragantia 77 (2), 273-282. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017030>.
- Portu, J., González-Arenzana, L., Hermosin-Gutiérrez, I., Santamaría, P., Garde-Cerdán, T., 2015. Blattapplikation von Phenylalanin und Harnstoff bei der Weinrebe: Auswirkung auf den Phenolgehalt des Weins. Food Chem. 180, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.008>.
- Qiu, C., Sun, J., Shen, J., Zhang, S., Ding, Y., Gai, Z., Fan, K., Song, L., Chen, B., Ding, Z., Wang, Y., 2021. Fulvosäure erhöht die Dürre-resistenz von Tee-pflanzen durch Regulierung des Stärke- und Saccharose-stoffwechsels und bestimmter sekundärer Stoffwechselvorgänge. J. Proteomics 247. <https://doi.org/10.1016/j.jpro.2021.104337>.
- Rachid, A.F., Rahem Bader, B., Al-Alawy, H.H., 2020. Wirkung der Blattapplikation von Huminsäure und Nanocalcium auf Wachstum, Produktion und photosynthetische Pigmente von Blumenkohl (*Brassica oleracea* var *Botrytis*) in kalkhaltigem Boden. Plant Arch. 20, 32-37.
- Raheem, S., Ibrahim Al-Jaf, H., Raheem, S.M., Al-Jaf, H.I., Tofiq, G.K., 2018. Einfluss der Blatt- und Bodenapplikation von Huminsäure auf Wachstum und Ertrag von Kopfsalat. Euphrates J. Agric. Sci. 10 (2), 199-204.
- Razavi Nasab, A., Fotovat, A., Astarai, A., Tajabadipour, A., 2019. Effect of Organic Waste and Humic Acid on Some Growth Parameters and Nutrient Concentration of Pistachio Seedlings. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 50 (3), 254-264. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1559328>.
- Reddy, K., Bhuvaneshwari, R., Karthikeyan, P.K. 2020. Auswirkung der Blattapplikation von Dap, Huminsäure und einer Mikronährstoffmischung auf den Ertrag und die Qualitätsmerkmale von Erdnuss (*Arachis hypogaea* L.) Var. Tmv 7 in sandigem Lehmboden. Vol. 20 p. 521- 525.
- Reyes Perez, J.J., Izquierdo, F.G., Escobar, I.M.R., Ortega, Y.R., Mayoral, J.A.L., Amador, B.M., Espinoza, F.H.R., Fabre, T.B., Amador, C.A., Silvera, C.M.O., Morales, Y.A., Milanés, J.Y.R., 2011. Efectos del humus líquido sobre algunos parámetros de calidad interna en frutos de tomate cultivados en condiciones de estrés salino. Centro Agrícola 38 (3), 57-61.
- Ribeiro, F.E., del Peloso, M.J., Barbosa, F.R., de Gonzaga, A.C., de Oliveira, L.F.C., 2011. Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Circular técnica 89, 1-64.
- Rodrigues, E.S., Montanha, G.S., Marques, J.P.R., de Almeida, E., Yabuki, L.N.M., Menegário, A.A., Pereira de Carvalho, H.W., 2020. Blattapplikation von Seltenen Erden auf Sojabohnen (*Glycine max* (L)): Auswirkungen auf die Biometrik und Charakterisierung der Phytotoxizität. J. Rare Earths 38 (10), 1131-1139. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2019.09.004>.
- Rodrigues, L.U., Ribeiro Da Silva, R., Araújo De Freitas, G., Carlos, A., dos Santos, M., De, R., Tavares, C., 2018. Applied Research & Agrotechnology vol 11, n.2, may/ aug. <https://doi.org/10.5935/PAeT.V11.N2.11>.
- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., Cavagnaro, T.R., 2014. Eine Meta-Analyse und Überprüfung der Reaktion des Pflanzenwachstums auf Huminstoffe: Practical implications for agriculture. In: Advances in Agronomy. Vol. 124, pp. 37-89. Academic Press Inc.
- Sachs, J., 1884. Ein Beitrag zur Kenntniss der Ernährungsthätigkeit der Blüthe. Bot. Inst. Würzburg 3, 1-33.
- Safaei, Z., Azizi, M., Davarynejad, G., Aroiee, H., 2014. The Effect of Foliar Application of Humic Acid and Nanofertilizer (Pharmks) on Yield and Yield Components of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). J. Medicinal Plants By-products. 2, 133-140.
- Saidimoradi, D., Ghaderi, N., Javadi, T., 2019. Salinitätsstressminderung durch Huminsäureanwendung in Erdbeeren (*Fragaria x ananassa* Duch.). Sci. Hort. 256. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108594>.
- Sant'Anna, S.A.C., Martins, M.R., Goulart, J.M., Araújo, S.N., Araújo, E.S., Zaman, M., Jantalia, C.P., Alves, B.J.R., Boddey, R.M., Urquiaga, S., 2018. Biological nitrogen fixation and soil N<sub>2</sub>O emissions from legume residues in an Acrisol in SE Brazil. Geoderma Reg. 15. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00196>.
- Santoyo, L.F.R., González, G.A., Escobar, M.O., Estrada, A.E., Hernández, M.S., García, P.S., 1998. Fertilización foliar orgánica e inorgánica y rendimiento de sorgo en condiciones de salinidad. Terra 16 (3), 205-210.
- Savy, D., Brostaux, Y., Cozzolino, V., Delaplace, P., du Jardin, P., Piccolo, A., 2020. Quantitative Struktur-Wirkungs-Beziehung von humusartigen Biostimulanzien aus agroindustriellen Nebenprodukten und Energiepflanzen. Front. Plant Sci. 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00581>.

- Schreel, J.D.M., Steppe, K., 2020. Foliar water uptake in trees: negligible or necessary? *Trends Plant Sci.* 25 (6), 590-603. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.003>.
- Shahabivand, S., Padash, A., Aghaee, A., Nasiri, Y., Rezaei, P.F., 2018. Plant biostimulants (Funneliformis mosseae and humic substances) rather than chemical fertilizer improved biochemical responses in peppermint. *Iranian J. Plant Physiol.* 8 (2), 2333-2344. <https://doi.org/10.22034/ijpp.2018.539109>.
- Shinde, V., Dhanoji, M.M., Meena, M.K., Patil, R.P., 2020. Einfluss der organischen Blattdüngung auf Wachstum, Ertrag und Ertragskomponenten von Sonnenblumen. *J. Pharmacognosy Phytochem.* 9 (1), 1267-1269.
- Silva-Matos, R.R.S., Cavalcante, Í.H.L., Júnior, G.B.S., Albano, F.G., Cunha, M.S., Beckmann-Cavalcante, M.Z., 2012. Blattspray von Huminstoffen auf die Sämmlingsproduktion von Wassermelone cv. Crinson sweet. *J. Agron.* 11 (2), 60-64.
- Sindha, D.J., Satodiya, B.N., Sutaraya, N.K., 2018. Effect of foliar application of different chemicals and humic acid on fruit yield and quality of custard apple (*Annona squamosa* L.) cv local. *Int. J. Chem. Stud.* 6 (5), 75-77.
- Sladky, Z., 1959. Die Anwendung von extrahierten Humussubstanzen auf oberirdischen Pflanzenteilen. *Biol. Plant.* 1 (3), 199-204.
- Souri, M.K., Hatamian, M., 2019. Aminocheleate in der Pflanzenernährung: ein Überblick. *J. Plant Nutr.* 42 (1), 67-78.
- Stevenson, F.J., 1994. Humus-Chemie. Genese, Zusammensetzung, Reaktionen. John Wiley and Sons, New York.
- Suh, H.Y., Yoo, K.S., Suh, S.G., 2014. Knollenwachstum und Qualität von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.), beeinflusst durch Blatt- oder Bodenapplikation von Fulvosäuren und Huminsäuren. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55 (3), 183-189. <https://doi.org/10.1007/s13580-014-0005-x>.
- Susithra, M., Balasubramanian, A., Gobi, R., Sathiyamurthi, S., 2019. Yield maximization with nutrient management and nursery practices on transplanted red gram (*Cajanus cajan* (L) MILLSP.). *Plants Arch.* 19 (1), 323-326. Tagliavini, M., Toselli, M., 2005. Blattanwendungen von Nährstoffen. *Food-Web Interaktionen*, 53-59.
- Tavares, O.C.H., Santos, L.A., Ferreira, L.M., Sperandio, M.V.L., Da Rocha, J.G., Garcia, A.C., Dobbss, L.B., Berbara, R.L.L., De Souza, S.R., Fernandes, M.S., 2017. Huminsäure verbessert die Nitratkinetik in Systemen mit niedriger und hoher Affinität und verändert die Expression von H<sup>+</sup>-ATPasen der Plasmamembran und Nitrat-Transportern in Reis. *Annals of Applied Biology* 170, 89-103. <https://doi.org/10.1111/aab.12317>.
- Tei, F., de Neve, S., de Haan, J., Kristensen, H.L., 2020. Stickstoffmanagement von Gemüsekulturen. *Agric. Water Manage.* 240. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106316>.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., 2003. Einfluss der Blattdüngung mit Aminosäuren und Huminsäuren auf Produktivität und Qualität des Spargels. *Biol. Agric. Hortic.* 21 (3), 277-291. <https://doi.org/10.1080/01448765.2003.9755270>.
- Tejada, M., Rodriguez-Morgado, B., Paneque, P., Parrado, J., 2018. Auswirkungen der Blattdüngung mit einem aus Hühnerfedern gewonnenen Biostimulans auf den Maisertrag. *Eur. J. Agron.* 96, 54-59. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.003>.
- Teli, S.B., Matiwade, P., Yenagi, B., Kuligod, V., 2020. Boden- und Blattanwendung von Huminsäure auf die Produktivität von Erdnüssen (*Arachis hypogaea* L.). *Int. J. Chemical Stud.* 8 (1), 1315-1318. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1r.8438>.
- Terra, S.B., Oliveira, D.P.P., 2013. Floricultura: a produção de flores como uma nova alternativa de emprego e renda para a comunidade de Bagé-RS. *Revista Conexão UEPG* 9 (2), 342-353.
- Thakur, H., Rekka, K.B., Giri, Y.Y., Babu, S.N.S., Padmaja, G., 2017. Physikalisch-chemische Eigenschaften und Mikrobenzahl des Bodens nach der Ernte von Sonnenblumen (*Helianthus Annuus* L.) unter dem Einfluss von Huminsäure und Fulvosäure. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 6 (3), 413-416.
- Tranvik, L.J., 2014. Dystrophy in Freshwater **Systemsq**. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.
- Urrutia, O., Fuentes, M., Olaetxea, M., Garnica, M., Baigorri, R., Zamarreño, A. M., Movila, M., de Hita, D., Garcia-Mina, J. M. 2020. Der Einfluss der organischen Bodensubstanz auf die Mineralstoffversorgung der Pflanzen. In: Z. Rengel (Ed.), *Achieving sustainable crop nutrition*. pp. 291-306.
- Vaccaro, S., Ertani, A., Nebbioso, A., Muscolo, A., Quaggiotti, S., Piccolo, A., Nardi, S., 2015. Huminstoffe stimulieren die Stickstoffassimilation und den Aminosäurestoffwechsel von Mais auf physiologischer und molekularer Ebene. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2 (1). <https://doi.org/10.1186/s40538-015-0033-5>.
- van Tol de Castro, T.A., Garcia, A.C., Tavares, O.C.H., Pereira, E.G., de Souza, C.D.C.B., Torchia, D.F.D.O., de Pinho, C.F., Castro, R.N., 2022. Huminsäuren beeinflussen Photosynthetische Quanteneffizienz bei Reis unter Wasserdefizit. *Theor. Exp. Plant Physiol.* <https://doi.org/10.1007/s40626-022-00258-w>.
- van Wissenlingh, C., 1895. Sur la cuticularisation et la cutine. *Neerlad. Sc.Exact. Natur.* 28, 373-410.
- Vani, K., Rekha, B., Divya, G., Vani, K.P., Rekha, K.B., Divya, G., Nalini, N., 2017. Organic farming in Groundnut View project Quality parameters of nutri-cereal browntop millet through agronomic practices View project Performance of summer sesamum (*Sesamum indicum* L.) under integrated nutrient management. *J. Pharmacognosy Phytochem.* 6 (5).
- Varanini, Z., Pinton, R., 1995. Huminstoffe und Pflanzenernährung. *Fortschritte in der Botanik*, 97-117.
- Villegas-Espinoza, J.A., Reyes-Pérez, J.J., Nieto-Garibay, A., Higinio Ruiz-Espinoza, F., Cruz-Falcón, A., Murillo-Amador, B., 2018. Biostimulans Liplant<sup>®</sup>: seine Wirkung auf *Solanum lycopersicum* (L.), die auf leicht salzigen Böden angebaut wird. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Special* 20, 4137-4147.
- von Dohl, 1947. Untersuchung der frage: bildet die cellulose die grundlage sammtlicher vegetabilischen membranen? *Bot Zeitung* 5, 497-505.
- Wadas, W., Dziugiel, T., 2020. Veränderungen der Assimilationsfläche und des Chlorophyllgehalts von sehr frühen Kartoffelsorten (*Solanum tuberosum* L.) unter dem Einfluss von Biostimulanzien. *Agronomy* 10 (3). <https://doi.org/10.3390/agronomy10030387>.
- Wang, S., Tian, X., Liu, Q., 2020. Die Wirksamkeit von Blattanwendungen von Zink und Biostimulanzien zur Erhöhung der Zinkkonzentration und Bioverfügbarkeit von Weizenkorn. *Agronomy* 10 (2). <https://doi.org/10.3390/agronomy10020178>.
- Wang, Y., Yang, R., Zheng, J., Shen, Z., Xu, X., 2019. Exogene Blattapplikation von Fulvosäure lindert die Cadmiumtoxizität in Salat (*Lactuca sativa* L.). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 167, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.064>.
- Xudan, X., 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat. *Aust. J. Agr. Res.* 37 (4), 343-350. <https://doi.org/10.1071/AR9860343>.
- Yadav, G., Meena, M., 2021. Bioprospecting von Endophyten in Heilpflanzen der Wüste Thar: eine attraktive Ressource für Biopharmazeutika. *Biotechnol. Rep.* 30. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00629>.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Ag'ar, G., Dursun, A., Kul, R., Alim, Z., Argin, S., 2021. Huminsäure und Fulvosäure milderten die nachteiligen Auswirkungen von Cd auf das Pflanzenwachstum, die Physiologie und die biochemischen Eigenschaften der Gartenkresse. *Sci. Rep.* 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94860-8>.
- Yu, X., Yang, J., Wang, E., Li, B., Yuan, H., 2015. Effects of growth stage and fulvic acid on the diversity and dynamics of endophytic bacterial community in stevia rebaudiana bertoni leaves. *Front. Microbiol.* 6 (AUG). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00867>.
- Zafar, S., Li, Y.L., Li, N.N., Zhu, K.M., Tan, X.L., 2019. Recent advances in enhancement of oil content in oilseed crops. *J. Biotechnol.* 301, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.307>.
- Zandonadi, D.B., Canellas, L.P., Façanha, A.R., 2007. Indoleessig- und Huminsäuren induzieren die laterale Wurzelentwicklung durch eine konzertierte Aktivierung von Plasmalemma- und Tonoplast-H<sup>+</sup>-Pumpen. *Planta* 225, 1583-1595.
- Zandonadi, D.B., Santos, M.P., Dobbss, L.B., Olivares, F.L., Canellas, L.P., Binzel, M.L., Okorokova-Façanha, A.L., Façanha, A.R., 2010. Stickstoffmonoxid vermittelt die durch Huminsäuren induzierte Wurzelentwicklung und Aktivierung der H<sup>+</sup>-ATPase der Plasmamembran. *Planta* 231 (5), 1025-1036. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1106-0>.
- Zandonadi, D.B., Santos, M.P.S., Medici, L.O., Silva, J., 2014. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. *Hortic. Bras.* 32, 14-20.
- Zanin, S., Lidron, E., Rizzuto, R., Pallafacchina, G. 2019. Methods to measure intracellular Ca<sup>2+</sup> concentration using Ca<sup>2+</sup>-sensitive dyes. In: *Methods in Molecular Biology*. Vol. 1925, pp. 43-58. Humana Press Inc.
- Zárate, N.A.H., Vieira, M.C., 2017. Hortas: conhecimentos básicos. *Siriema; Dourados: MS*, pp. 1-289.
- Zhou, J., Zhang, C., Du, B., Cui, H., Fan, X., Zhou, D., Zhou, J., 2021. Auswirkungen der Boden- und Blattanwendungen von Silizium und Selen auf die Cadmiumakkumulation und das Pflanzenwachstum durch Modulation des antioxidativen Systems und der Cd-Translokation: Vergleich von Weich- und Hartweizensorten. *J. Hazard. Mater.* 402. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123546>.
- Zotarelli, L., Zatorre, N.P., Boddéy, R.M., Urquiaga, S., Jantalia, C.P., Franchini, J.C., Alves, B.J.R., 2012. Einfluss von Direktsaat und Häufigkeit einer Gründungsleguminose in der Fruchtfolge auf den Ausgleich des Stickstoffausstoßes und die Erhaltung der organischen Kohlenstoffvorräte im Boden. *Field Crop Res* 132, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>.