ETH zürich

ETH Library

Partitioning response of Vitis vinifera L. to Environmental stress

vegetative and reproductive growth as affected by nitrogen availability under limiting irradiance

Doctoral Thesis

Author(s):
Keller, Markus

Publication date:
1995

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-001425816

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH ex B

18. April 1995

Diss. ETH No. 11004

Partitioning Response of *Vitis vinifera* L. to Environmental Stress: Vegetative and Reproductive Growth as Affected by Nitrogen Availability under Limiting Irradiance

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH
for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
Markus Keller
Dipl. Ing. Agr. ETH Zürich (Switzerland)
born November 15, 1963
citizen of Truttikon (ZH)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. J. Nösberger, examiner
PD Dr. W. Koblet, co-examiner

J. Nösberger

ETH-BIBLIOTHEK ZÜRICH
CatE

1995

Partially published in: Vitis 33, 81-86 (1994)
Partially accepted for publication in: Vitis

I Zusammenfassung

Verteilung von Assimilaten in *Vitis vinifera* L. unter Umweltstress: Einfluss der Stickstoff-Verfügbarkeit auf das vegetative und reproduktive Wachstum unter ungünstigen Lichtverhältnissen

In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen der Verfügbarkeit von Stickstoff (N) unter limitierenden Lichtverhältnissen auf die Erscheinungen der Infloreszenznekrose und Stiellähme der Weinrebe *Vitis vinifera* L. untersucht. Dabei interessierte die Verteilung von Trockenmasse, Kohlenstoff (C) und N sowie die Entwicklung der Blattfläche. Ausserdem wurde der Gaswechsel und der Nährstofftransport im Xylem gemessen und das reproduktive Wachstum beobachtet.

In einem ersten Schritt wurden im Phytotron traubentragende Riesling x Sylvaner-Topfreben während der Blütezeit unter zwei verschiedenen Lichtintensitäten mit steigenden N-Gaben (0, 1, 5, 10, 100 mM NH_4NO_3) gedüngt. Die Lichtvarianten dienten der Simulation einer mittleren (Verfahren ML: Photonenfluss-Dichte 140 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ PAR) und einer starken Bewölkung (Verfahren LL: 30 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ PAR). Im Verfahren LL sank die Nettophotosyntheserate ausgewachsener Blätter auf Null, während die Transpirationsrate gegenüber dem Verfahren ML um 22% abnahm. Der CO_2-Austausch reagierte nicht auf die N-Düngung, aber die Transpiration nahm mit steigendem N-Angebot stetig ab. Gegen Blütenende traten plötzlich typische Symptome von Infloreszenz-Nekrosen auf, was zum Abstossen dieser Organe führte. Die Nekrosen konnten ausschliesslich bei der tiefen Lichtvariante beobachtet werden und waren unabhängig vom N-Angebot.

Die N-Konzentration im Xylem stieg bis zu einem N-Angebot von 5 mM NH_4NO_3 an, und NO_3^- stellte mit bis zu 14 mM den Hauptbestandteil der im Xylemwasser gelösten Stoffe dar, insbesondere unter Lichtmangel und bei hoher N-Verfügbarkeit. In der LL-Variante konnten nur Spuren von organischen N-Transportverbindungen gefunden werden, während in ML die Konzentrationen von Glutamin und Glutamat mit steigender N-Versorgung zunahmen. Die Gehalte an P, K und Mg im Xylemwasser wurden durch Lichtmangel etwa halbiert, reagierten aber nicht auf die N-Düngung.

Zwischen N-Angebot und N-Konzentration in der Trockenmasse konnte in allen Pflanzenteilen ein enger Zusammenhang gefunden werden. Die Lichtverhältnisse hatten keinen Einfluss auf die gesamte N-Menge pro Rebe, obwohl Lichtmangel die N-Konzentration in den annuellen Pflanzenteilen um 34 - 86% erhöhte. Die C-Gehalte wurden weder durch die N-Stufe noch durch das Lichtangebot wesentlich beeinflusst. Dennoch führte das Verfahren LL zu einer starken, N-unabhängigen Abnahme der nicht-strukturellen Kohlenhydrate im Stamm und den Wurzeln. In ML nahm diese C-Fraktion dagegen mit zunehmender N-Verfügbarkeit ab.

Die optimalen N-Gaben waren 1 mM NH_4NO_3 für das Wurzelwachstum und 5 mM für das Triebwachstum, und zwar sowohl nach der Blütezeit, als auch am Ende der Vegetationsperiode. Dieser Effekt war nur in ML sichtbar und wurde vor allem durch die stimulierende N-Wirkung auf die Blatt- und Geiztriebbildung verursacht. Lichtmangel führte, unabhängig vom N-Angebot, zu einem verstärkten Blatt- und Geiztriebwachstum. Allerdings war in LL die Gesamtproduktion von Trockenmasse vermindert, und die Infloreszenzen wurden am stärksten beeinträchtigt (31% weniger Trockenmasse als in ML), gefolgt von den Blättern (-23%), Wurzeln (-17%), Trieben (-16%) und dem Holzteil (-10%).

Im Folgejahr war der Lichteffekt auf das vegetative Wachstum gegenüber der Stress-Saison umgekehrt, und die stärkste Reaktion auf die N-Verfügbarkeit war gegen 100

mM NH_4NO_3 verschoben. Limitierende Lichtverhältnisse während der Bildung der Blütenanlagen halbierten die Knospenfruchtbarkeit, beschleunigten aber den Austrieb und die Entwicklung der jungen Triebe im Folgejahr. Die optimale N-Dosis für die Knospenfruchtbarkeit und den Wiederaustrieb lag bei 5 mM NH_4NO_3.

Eine weitere Studie mit traubentragenden Riesling x Sylvaner-Topfreben wurde im Freiland durchgeführt, wo während der Blütezeit bei zwei N-Stufen (0, 10 mM NH_4NO_3) entweder die Gescheine oder die Blätter separat beschattet wurden. Das Beschatten der Blätter reduzierte deren Nettophotosyntheserate auf Null und die Transpirationsrate auf 44% der Kontrolle, während der Gaswechsel nicht auf das Abdunkeln der Gescheine reagierte. Die N-Zugabe erhöhte die Transpiration der Blätter, hatte aber keinen Einfluss auf deren Photosyntheseleistung. Die Verfahren beeinflussten weder den Blühverlauf noch den Fruchtansatz.

In einer zweiten Gruppe von Experimenten wurden Gescheine und reife Trauben von Riesling x Sylvaner-Reben im Feld in wässrige Lösungen des Glutaminsynthetase-Inhibitors Phosphinothricin (PPT) eingetaucht. Erhöhte PPT-Konzentrationen verursachten typische Symptome von Infloreszenz-Nekrosen. Auf reifen Trauben konnten hingegen keine nekrotischen Symptome induziert werden.

Zusätzlich wurden zu verschiedenen Zeitpunkten im Feld Einaugenstecklinge von Riesling x Sylvaner und Blauburgunder-Reben geschnitten und - mit oder ohne zugehörigem Blatt - in Lösungen mit oder ohne PPT gestellt. Alle Behandlungen, einschliesslich der H_2O-Kontrolle, riefen stiellähmeähnliche nekrotische Symptome hervor, die sich umso langsamer entwickelten, je älter die behandelten Trauben waren. Hohe PPT-Konzentrationen begünstigten das Auftreten der Symptome. Im Gegensatz zu KNO_3 beschleunigte die Zugabe von NH_4NO_3 zur Inkubationslösung die Nekrosenbildung, sogar in Abwesenheit von PPT. Anderseits vermochten Metallkationen wie Mg^{2+}, Ca^{2+} und K^+ in PPT-freien Lösungen das Auftauchen der Läsionen zu verzögern. Wurden die Stecklinge verschiedenen Umweltbedingungen ausgesetzt, konnte kein Lichteffekt beobachtet werden. Wind anderseits reduzierte das Auftreten von Infloreszenz-Nekrosen und Stiellähme. Am effizientesten vermochten ein am Steckling belassenes Blatt oder die Zugabe von Saccharose zur Inkubationslösung die Nekrosenbildung hinauszuzögern.

Die vorliegenden Resultate belegen, dass die Rebe sich sehr gut an Stressbedingungen anpassen kann und dass C- und Nährstoff-Reserven in älteren, absterbenden Blättern sowie in den überdauernden Reborganen für kompensatorisches Wachstum und für den Wiederaustrieb wichtig sind. Die Blüteperiode ist kritisch für das reproduktive Wachstum, das empfindlicher auf Lichtmangel reagiert als das vegetative Wachstum. Im weiteren wurde indirekt das Vorliegen von Glutaminsynthetase im Stiel-, Blüten- und Beerengewebe nachgewiesen und die Beteiligung von NH_4^+ am Auftreten von Infloreszenz-Nekrosen und Stiellähme bestätigt. Es konnte allerdings auch gezeigt werden, dass N-Aufnahme und primäre N-Assimilation keinen Einfluss auf diese Erscheinungen haben. Es scheint eher, dass eine stress-induzierte Limitierung des Assimilatangebots in konkurrenzschwachen Organen Seneszenzprozesse auslösen kann, um das Ueberleben des Rebstocks sicherzustellen. Die Akkumulation von NH_4^+ ist möglicherweise nur eine Begleiterscheinung der Seneszenz und des Proteinabbaus aufgrund einer Kohlenhydratverarmung.

II Summary

This thesis was initiated to relate the phenomenons of inflorescence necrosis and bunch-stem necrosis in *Vitis vinifera* L. to nitrogen (N) availability and light intensity. For the investigation of these relationships, the partitioning of dry matter, carbon (C), N and leaf area were investigated. In addition, gas exchange, nutrient transport and the response of reproductive growth were assessed.

In a controlled environment facility, five different levels of N (0, 1, 5, 10, 100 mM NH_4NO_3) were applied to fruiting pot-grown Müller-Thurgau vines under 2 different levels of irradiance during bloom. The light treatments were chosen for simulation of moderate (treatment ML: photon flux density 140 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ PAR) and heavy (treatment LL: 30 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ PAR) cloud covers. Net CO_2 assimilation rate was reduced to zero, and the transpiration rate declined by 22% in LL compared to ML. CO_2 exchange did not respond to N availability, but transpiration decreased with increasing level of N supply. Severe symptoms of inflorescence necrosis appeared in the LL treatment at the end of flowering, leading to abortion of these organs. Tissue necrosis was independent of N nutrition.

The concentration of total N in the xylem sap increased as N supply was increased, but there was no further rise above the 5 mM supply level. NO_3^- was the principal xylem solute, in particular under severe light restriction and high N availability, reaching concentrations of up to 14 mM. In the LL regime total N in the xylem sap was about 50% of ML, and only traces of organic N could be detected, whereas in ML glutamine and glutamate increased with increasing N application level. Light limitation reduced the concentrations of P, K and Mg in the xylem sap by about 50%, but there was no response to N supply.

There was a strong relationship between N availability and N concentration in all plant parts. The amounts of total N per vine were not affected by the light treatments, although low-light stress increased N concentrations in the dry matter of the annual organs by 34 - 86%. The effects of light and N supply on C contents were minor, even though in LL non-structural carbohydrates in the trunk and roots were depleted, regardless of N supply. In ML, however, this C fraction declined as N availability increased.

The optimum N addition levels were 1 mM NH_4NO_3 for root growth and 5 mM for shoot growth, respectively, both after bloom and at the end of the first growing season. This growth response to N supply was apparent only in ML and was mainly due to an N-induced enhancement of leaf and lateral shoot formation. Low-light stress strongly triggered the growth of new leaves and laterals, regardless of N supply. Yet, total dry matter production was reduced in LL, and inflorescences were most severely affected (31% less dry matter than in ML), followed by leaves (-23%), roots (-17%), shoots (-16%) and wood (-10%).

In the second-season, the light effect on shoot growth was inverted compared with the first season, and the peak response to N supply was shifted towards 100 mM NH_4NO_3. Limiting light conditions during inflorescence initiation reduced bud fertility by 50% but advanced the date of bud break and expedited the rate of development of the new shoots in the subsequent season. The optimum N supply rate for both bud fertility and development was 5 mM NH_4NO_3, regardless of irradiance.

In the field, fruiting pot-grown Müller-Thurgau vines were exposed to differential leaf or inflorescence shading in combination with 2 levels of N supply (0, 10 mM NH_4NO_3) during bloom. Leaf shading inhibited net photosynthesis and reduced transpiration to 44% of the control, while adjacent leaves failed to respond to separate shading of the flower clusters. Added N increased transpiration but not photosynthesis. Neither flowering nor berry set were influenced by the experimental treatments.

In a second group of experiments, clusters of Müller-Thurgau grapevines were immersed in aqueous solutions of the glutamine synthetase inhibitor phosphinothricin (PPT) in the field. Typical symptoms of inflorescence necrosis developed after application of elevated PPT concentrations to flower clusters, whereas no necrotic symptoms could be induced in mature clusters.

In addition, single-node cuttings of field-grown Müller-Thurgau and Pinot noir vines with one cluster, with or without adjacent leaf, were incubated in various solutions with or without PPT at several phenological stages. Necrotic symptoms occurred in all treatments including the H_2O control. At early stages of development, these symptoms appeared earlyer than at later stages, and elevated PPT concentrations precipitated the development of necrotic manifestations. The addition of NH_4NO_3 to the solution enhanced the appearance of symptoms both in the presence and absence of PPT, while KNO_3 did not. In incubation solutions without PPT, the supply of Mg^{2+}, Ca^{2+} and K^+ reduced the incidence of bunch-stem necrosis. When cuttings were exposed to different environmental conditions, there was no significant light effect, but wind decreased both inflorescence necrosis and bunch-stem necrosis. A leaf, attached to the cluster, or the addition of sucrose to the solution effectively delayed the occurrence of necrotic symptoms.

From the present results it can be concluded that the grapevine has a large potential to acclimate to environmental stress and that carbon and nutrient reserves in older, sequentially senescing leaves and in the permanent structure are important for both compensatory and early-season growth. It is also emphasized that the bloom period is critical for reproductive development, which is more sensitive to low-light stress than vegetative growth. The data further indicate that glutamine synthetase is present in rachis, flower and berry tissues and that the buildup of toxic NH_4^+ levels is involved in the development of both inflorescence necrosis and bunch-stem necrosis. However, it was also shown that N uptake and primary N assimilation do not affect these disorders. Rather, a stress-induced limitation of photoassimilate supply appears to be involved in triggering senescence processes in organs with low sink priority, in order to guarantee survival of the vine. The buildup of NH_4^+ may, therefore, be a secondary effect related to senescence and protein breakdown due to carbon depletion.