



浮イネの深水適応における光合成産物の供給と分配に関する研究

平野, 達也

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1996-03-31

(Date of Publication)

2014-04-11

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1565

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3116913>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001565>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	平野達也	（大阪府）
博士の専攻分野の名称	博士（学術）	
学位記番号	博い第258号	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の日付	平成8年3月31日	
学位論文題目	浮イネの深水適応における光合成産物の供給と分配に関する研究	

審査委員	主査 教授 安田 武司		
	教授 上島 脩志	教授 王子 善清	
	助教授 内田 直次		

論文内容の要旨

浮イネは東南アジアなどの雨季の洪水によって深水となる地域で栽培されているインド型イネである。この環境下で浮イネは急速な節間の伸長による旺盛な生長を行う一方で、同化可能な葉面積が低下する。そこで、浮イネは光合成産物の供給を高めることおよび光合成産物の分配を効率的に行うことによって深水に適応していると思われる。光合成産物の供給に関しては、主稈の葉齢進行が深水下で促進され、ソースとなる上位葉を維持すること、主稈の最上位展開葉の光合成能力が高くなることが知られているが、そのような増加をもたらす葉内の要因や葉の急速な発育を支える窒素の供給など不明な点が多い。また、光合成産物の分配に関してはほとんど報告されていない。そこで本研究は、浮イネにおける光合成産物に関するソースおよびシンクの能力の深水下での特徴とその適応機構を解明することを目的として行った。本論文は次の4つの章から構成されている。

第一章では、深水下における浮イネと非浮イネの生育の違いと光合成能力の変化を検討するため、約9.6葉期に浮イネ品種のHabiganj Aman II (HA)と非浮イネ品種のTaichung Native 1 (TN)を、その第7葉の葉身が完全に水没する水位で深水処理した。光合成能力は光およびCO₂飽和下の酸素放出速度を気相型酸素電極法により測定することで算出した。その結果、深水処理したHAは対照区よりも主稈の葉齢が進行した。また、深水処理4日目に、HAの主稈上位2葉のCO₂固定酵素であるRubiscoの含量は対照区よりも増加し、深水処理8日目には、HAの最上位完全展開葉の光合成能力が対照区よりも高かった。一方、深水下でのTNではそのような変化は認められなかった。以上の結果から、浮イネは非浮イネと異なり、深水下で水面上の上位葉の生育を旺盛に行うことができ、水面上にある葉の光合成能力を維持できることが明らかになった。しかし、この光合成能力の増加はRubisco含量の増加だけでは説明できない部分もあり、さらにその要因を調査する必要がある。

第一章で明らかになったような浮イネの若い上位葉の急速な生長には窒素の供給が必要である。そこで第二章では、深水下での浮イネの成育に必要な窒素の供給に関する深水の影響とその適応を検討した。まず、浮イネを標準窒素区(1.0mM NH₄NO₃)と高窒素区(1.5mM NH₄NO₃)の2段階で窒素処理し、それぞれ深水下と普通栽培下で生育させ、葉の光合成能力および窒素含量を測定した。

対照区の植物体においては、高窒素処理により上位葉の光合成能力および全窒素含量が増加し、下位葉におけるそれらの低下も抑制された。しかし、深水処理した植物体においては、上位葉の光合成能力および全窒素含量に窒素施肥量の影響はなく、また水没した下位葉におけるそれらの低下は高窒素処理で抑制されなかった。さらに、標準窒素量で深水処理した植物体の上位葉は、高窒素施肥量で普通条件下で生育した植物体と同レベルの高い葉身窒素含量を有していた。深水下で生育している浮イネの根から ^{15}N を与えると、その吸収量は普通栽培下よりも低下することが知られており、深水下で生育した浮イネは根から吸収した窒素以外の窒素、すなわち下位葉からの再分配窒素により上位葉の光合成能力と生長を維持している可能性が考えられた。

そこで、深水によって水没した下位葉の老化を調査するため、深水下で上位葉の生長速度が異なるHAとTNを第7葉身が水没する水位で深水処理し、その水没葉身の光合成能力およびタンパク質画分の変化とタンパク質分解酵素活性を調査した。HAにおける水没葉身の光合成能力はTNよりも急速に低下した。この低下はRubisco含量の低下と相関が高く、深水により水没したHAの下位葉ではRubiscoの分解が促進され、老化が促進されることが明らかになった。さらに、水没によるHAとTNの下位葉の老化速度の差が、両品種の水没に対する葉の反応性の差であるのか、シンクである上位葉の生長速度の違いから生じる窒素再分配速度の差によるものかを検討するため、両品種の植物体から切断した第7葉身を同様の条件下で深水処理して、上記の項目に関して調査した。深水処理によって水没した切断葉の老化速度において品種間の差はなかった。よって、水没したHAの着生下位葉の老化がTNのそれよりも促進されるのは、生長中の上位葉における窒素の要求量の増加によるものであると考えられる。また、水没したHAの着生葉において、タンパク質分解酵素活性が処理2日後に著しく増加した。この活性増加はその後生じる急速なタンパク質含量の低下と関連があると考えられた。以上の結果から、深水下のHAにおいて水没した下位葉のRubiscoをはじめとするタンパク質は活性の増加したタンパク質分解酵素により分解され、若い上位葉の生長促進による葉数増加に対応するための重要な窒素源となる。このような浮イネの特性は現在までに報告されておらず、深水下での浮イネの生育に重要な役割を担っていると考えられた。

第三章では、光合成産物の転流能力に関して検討するため、その転流速度を $^{13}\text{CO}_2$ を用いて調査した。供試材料として、第7葉身の半分が水没する水位で5日間深水処理した10.3葉期の浮イネ植物体と、対照として普通栽培条件下で10.3葉期まで生育させた植物体を使用した。深水処理した植物体の第9葉(9L)と第10葉(10L)における光合成産物の転流速度は対照区のそれらよりも高かった。これらの葉においては、スクロースの含量およびスクロース/デンプン比が増加していた。9Lと10Lに対する主要なシンクは、それぞれ最上位節間である第9節間と出葉中の第11葉であり、これらは深水下で急速に生長が促進されている器官である。以上のことから、深水下におけるシンクの生長促進に対応して、そのソース葉である9Lと10Lの光合成産物の転流速度が増加することが明らかになった。

次に、スクロースの生合成に関与している酵素であるスクロースホスフェイトシンターゼ (SPS) と細胞質フルクトースビスホスファターゼ (FBPase) の活性を調査した結果、よりin vivoに近い条件で測定されたSPS (V_{limiting}) 活性およびFBPase活性が、深水下で生育している植物体の9Lと10Lで対照区よりも高かった。また、これら両酵素活性と転流速度およびスクロース含量との間には高い正の相関があった。よって、深水下での浮イネ上位葉における転流速度の増加はSPSの活性化率 ($V_{\text{limiting}}/V_{\text{max}}$) およびFBPase活性の増加と密接な関係にあることが示唆された。

第四章では、生長に必要な光合成産物のシンク器官への分配に関して、深水下における変化を調査し、その分配の変化とシンク器官の生長をスクロース分解酵素との関係から考察した。深水処理した

浮イネ植物体のその処理後1, 3, 5日目に $^{13}\text{CO}_2$ を同化させ、各器官への ^{13}C の分配を調査した。その結果、最上位節間である第9節間への光合成産物の分配は処理1日目から対照区よりも著しく増加し、逆に第8節間への分配は低下した。また、葉の未抽出部分への分配も深水下で徐々に増加した。つまり、深水下で生育した浮イネは光合成産物の分配パターンの変化が生じていることが示された。

次に、光合成産物の分配とスクロース分解酵素活性の関係を調査した。最上位の第9節間へのラベル炭素の分配は深水処理1日目から5日目まで対照区よりも増加した。伸長している組織において活性が高いことが知られている酸性インペルターゼ(AI)活性は、第9節間において深水後1日目に著しく増加したが、その後急速に活性は低下した。そこで、もう一つのスクロース分解酵素であるクロースシンターゼ(SS)活性を調査すると、第9節間において深水処理5日目に対照区より増加した。以上のことから、スクロース分解に関与しているAIとSSは、最上位節間という一つの組織においてそれぞれ異なる時期に活性が増加し、シンクにおけるスクロースの比率を低下させることにより、シンク器官への光合成産物の分配における変化と密接に関係していることが示唆された。

さらに、深水下における最上位節間の生長におけるスクロース分解酵素の働きを検討した。深水下において、最上位節間は伸長が開始すると同時に急速に伸長し、ほぼ2日間で15cm伸長した。その急速な伸長時期に乾物重は増加し、さらにその後の伸長がほぼ停止した時期にも乾物の蓄積が生じた。AI活性は節間の急激な伸長時期にのみ増加し、SS活性は乾物の蓄積が生じている前述の二度の時期に増加した。以上の結果から、スクロースの代謝に関与しているAIとSSは伸長中の節間においてそれぞれ異なる時期に活性が増加し、AIは伸長細胞への浸透物質の供給、SSは伸長後の乾物の蓄積という節間の生長に異なる役割を持っていることが示唆された。

以上のように、浮イネは水没した下位葉のタンパク質の分解を促進し、それは水面上にある上位葉の生長と光合成能力の維持に必要とされる重要な窒素源となる。そして浮イネは光合成産物を効率的に、迅速に生長中の部位に分配していること、ソース葉ではSPSの活性化率とCytosolic FBPase活性が増加していることが明らかになった。また、伸長節間ではその伸長初期にはAI、伸長後期にはSS活性の増加が重要な役割を演じていることが示唆された。これら一連の代謝調節が深水という過酷な環境下での浮イネの旺盛な生育を可能にするものと考えられた。

論文審査の結果の要旨

浮イネは東南アジアなど雨季の洪水によって深水となる地域で栽培されているインド型イネである。この環境下で浮イネは急速な節間の伸長による旺盛な生長を行う一方で、水面上の同化可能な葉面積が低下する。そこで、浮イネは光合成産物の供給を高めることおよび光合成産物の分配を効率的に行うことによって深水条件に適応していると思われる。そこで、本研究は、浮イネにおける光合成産物に関するソースおよびシンクの能力に及ぼす深水の影響とその適応を解明することを目的として行なわれた。

第一章では、深水条件下における浮イネと非浮イネの生育の違いと光合成能力の変化を検討するため、浮イネ品種のHabiganj Aman II (HA)と非浮イネ品種Taichung Native 1 (TN)を、上位から3枚目の葉身が完全に水没する深水処理し、酸素放出速度と気相型酸素電極法により光合成能力を測定した。深水処理したHAは主稈の葉齢が進行し、深水処理4日目には、上位葉の CO_2 固定酵素であるRubiscoの含量が増加し、8日目には、最上位完全展開葉の光合成能力が対照区よりも高く、浮イネは非浮イネと異なり、上位葉の旺盛な生育により、水面上にある葉とその光合成能力を維持で

きることを明らかにした。

第二章では上位葉の急速な生長に必要な窒素の供給に関し、深水処理の影響を検討している。浮イネを標準窒素区 (1.0mM NH_4NO_3) と高窒素区 (1.5mM NH_4NO_3) の2段階で窒素を与えた。対照区の植物体では、高窒素処理により上位葉の光合成能力および全窒素含量が増加し、下位葉でのそれらの低下も抑制された。しかし、深水処理した植物体においては、上位葉の光合成能力および全窒素含量に窒素施肥量の影響はなかった。また、水没した浮イネの下位葉のRubisco含量とタンパク含量は非浮イネよりも急速に低下した。浮イネの切断した下位葉の浸水処理での老化速度は、着生葉よりも遅く、また、品種間にも差はなく、深水条件下の浮イネは、水没した下位葉のタンパク質を分解し、急速に生長しているシンクへの窒素再分配が積極的に行われていると推察している。

第三章では、安定同位体 ^{13}C を用いて炭酸同化させた上位葉からの ^{13}C の減少から転流速度を調べた。深水処理した植物体の上位葉における転流速度は対照区よりも高く、また、シュクロースの含量およびシュクロース/デンプン比が増加していた。さらに、シュクロースの生合成に関与している酵素であるシュクロースホスフェイトシンターゼ (SPS) と細胞質フルクトースビスホスファターゼ (FBPase) の活性を調査した結果、深水条件下で生育している植物体の上位葉でどちらの酵素活性も高いことを認め、シンクの生長促進に対応したものであると考察している。

第四章では、光合成産物のシンク器官への分配を ^{13}C を用いて調べた。深水条件下では、伸長する最上位節間への光合成産物の分配が処理1日目から対照区よりも著しく増加し、逆に、伸長しない下位節間への分配は低下した。また、未抽出葉部への分配も増加し、深水条件下で生育した浮イネは光合成産物の分配パターンを変化させることが示された。

急速に伸長している節間の酸性インベルターゼ (AI) 活性は、深水直後から著しく増加しヘキソースの蓄積を伴っており、AIはシュクロースを加水分解して伸長細胞での浸透圧を維持していると推察している。またシュクロースの加水分解に関与するシュクロースシンターゼ (SS) 活性も深水処理により伸長節間で増加し、下位節間で急速に低下していることから、シンクにおけるシュクロースの比率を低下させることによりシンク器官への光合成産物の分配を促進していると示唆される。

さらに、深水下における最上位節間の生長とシュクロース分解酵素活性の関係を長期間にわたって経時的に調査している。深水条件下での急速な節間伸長時期に乾物重は増加するが、その後の伸長がほぼ停止した時期にも再び乾物の蓄積が生じた。AI活性は節間の急激な伸長時期にのみ増加し、SS活性はどちらもの乾物の蓄積時期に増加した。AI活性の著しい増加は、伸長している節間に特異的に見られ、光合成産物の供給や伸長細胞の浸透圧の維持に重要な役割を持つことを示唆している。

以上のように、本研究は、浮イネの深水条件への適応を調べ、水没した下位葉のタンパク質の分解を促進し、その窒素を急速に生長する若い上位葉へと分配して光合成能力を高く維持し、急速に伸長する節間や先端葉への光合成産物の分配を促進する一連の適応機能を明らかにし、浮イネが窒素および炭素の効率的分配により深水条件に適応していると結論している。これらは、熱帯植物における環境適応機構、また光合成機構の研究について重要な知見を得たものとして価値有る集積と認める。

よって、学位申請者平野達也は、博士(学術)の学位を得る資格があると認める。