

# 水稻根における呼吸作用の生産生理学的意義に関する研究

山口, 武視

<https://doi.org/10.11501/3083859>

---

出版情報 : 九州大学, 1995, 博士 (農学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

#### 第4章 根の呼吸速度に關与する要因の解析

第3章では、根の呼吸速度が高い個体は光合成速度が40℃の高温でも低下しないこと、また、低夜温の影響を軽減するためにも根の呼吸速度が重要な一要因であることを明らかにした。さらに、遮光処理実験では、根の呼吸速度が乾物増加量と共軛して窒素吸収に關与する局面をとらえることができた。

山田・太田(1958a)は、水稻個体1日当たり窒素吸収量は個体当たり根の呼吸総量と極めてよく一致する、という事実を示している。根の呼吸総量を規定するところの一要素である根量は、出穂期頃に最大値に達することは広く認められており(佐々木 1932, 佐藤 1940, 岩槻・石黒 1938, 林ら 1956, 山田・太田 1956, 岡島 1960, 稲田 1967, 川田・副島 1974), これには根の発生節数, 発生節の太さ, 発生根数と分岐性などが關与することは常識的にも推察することができる。一方, 質的要因である呼吸速度に關与する要因についての統一的な説明は十分になされていないといっても過言ではなからう。

そこで本章では, 第3章の3つの実験結果より得られたデータをもとに, 根の呼吸速度に關与する要因を検討した(津野・山口 1987)。

#### 材料と方法

第3章の3つの実験で得た根の呼吸速度と根の窒素含有率および全糖含有率のデータを用いた。各実験の詳細については, それぞれの節に記載したとおりである。

また, 1984年に第3章第1節と同様の手順で栽培した水稻4品種(コシヒカリ, 日本晴, ハマアサヒ, 密陽29号)の栽培ポットを大学所在地と標高303mの地点にそれぞれ設置して, 中山間部の気象が生育に及ぼす影響を調査するための実験を行った。この実験から得られたデータも用いて根の呼吸速度に關与する要因の解析を行った。

## 結 果

### 1. 根の呼吸速度に關与する要因

水稻根の呼吸速度 (Ro) と根の窒素含有率 (NR) とは相関のあることが知られており (津野・鳥生 1974), またダイズでも同様のことが認められている (Kishitani and Shibles 1986, 李ら 1994a, 1994b). 本実験でこの点について検討すると, 第4-1表に示す結果が得られた. 回帰式の定数からみて, それぞれの直線には差異があり, 根の窒素含有率で示されるタンパク質含量の他に, 何らかの他の要因が關与していることが推察できる. そこで呼吸基質としての全糖含有率を取り上げて, 根の呼吸速度を目的変数とし, 根の窒素含有率と根の全糖含有率との2要因を説明変数として重回帰分析を行った. 1982年は全糖含有率が測定されていないので計算できないが, 上・下根をこみにしても, また, 年次の異なる品種, 処理をこみにしても, 第4-2表に示したような高い重相関係数が得られた. 年次をこみにした重回帰分析の寄与率は0.672であるので, 上記2要因でほぼ67%まで根の呼吸速度を説明することができる. 残りの不明の要因は, おそらく根の分岐性, 表面積, 根径などの形態的な要因を考慮することにより解明できるのではあるまいか. 第4-2表の年次をこみにした重回帰分析の結果より, 2要因の標準偏回帰係数を計算すると根の窒素含有率は0.589, 全糖含有率は0.463という値を得た. これより, 呼吸速度の変化には根の窒素含有率の方が強く関わっているが, 根の全糖含有率も無視し得ない役割を担っていることが指摘できる.

ところで, 上部3節根 (上根) とそれ以下の節から発生した根 (下根) との呼吸速度の差異を明らかにしておきたい. 第4-1図は1983年と1984年の測定例について, 上根 (X) と下根 (Y) の呼吸速度を対比したものである. 生育時期をこみにすると, 回帰式は $Y = 0.679X + 0.183$ となり相関係数は0.931で, 1:1の線とは一致しない. しかし, 詳細にみれば幼穂形成期 (図中の棒線を付した点) のものが, 1:1の線より外れている. つまり, この時期では上根の呼

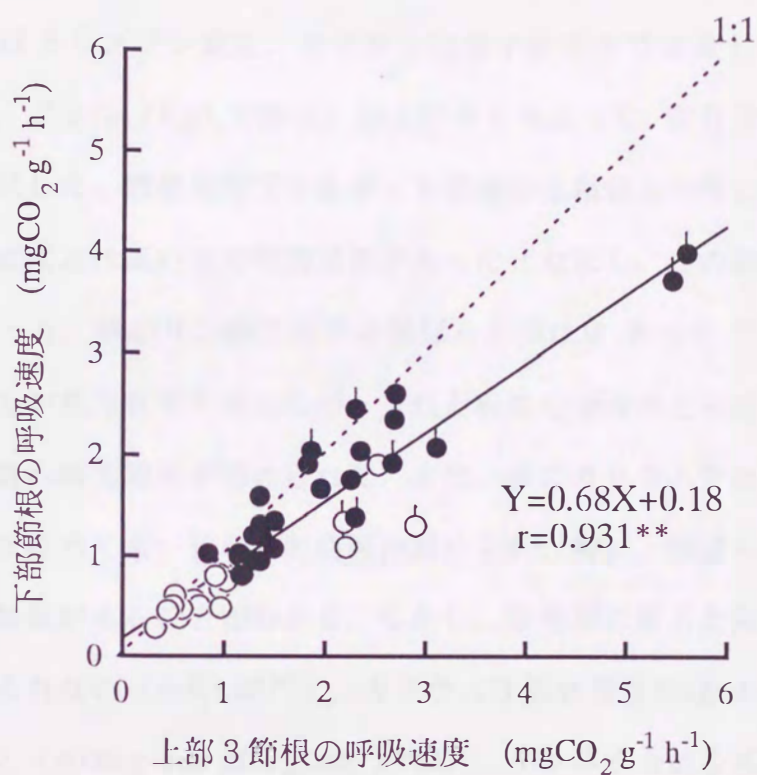
第4-1表 根の窒素含有率(NR, %)と根の呼吸速度(Ro, mgCO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)との1次回帰式および相関係数.

年次	上部3節根		下部節根		n
	回帰式	相関係数	回帰式	相関係数	
1982年	Ro=6.51NR-4.50	0.832**	Ro=1.42NR+0.02	0.647**	17
1983年	Ro=3.23NR-1.58	0.833**	Ro=1.34NR-0.42	0.861**	18
1984年	Ro=4.72NR-2.57	0.729**	Ro=3.96NR-1.99	0.824**	24
1987年	(Ro=4.102NR-0.747		r=0.875**)		12

1987年は上部・下部節根の加重平均値で計算した.

第4-2表 根の窒素含有率 (NR, %) ならびに全糖含有率 (S, %) と根の呼吸速度 ( $R_o$ ,  $\text{mgCO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) との重回帰分析.

年次	重回帰式	重相関係数	n
1983年	$R_o = 1.245NR + 0.667S - 0.357$	0.788**	36
1984年	$R_o = 4.007NR + 0.616S - 2.885$	0.826**	48
1987年	$R_o = 3.194NR + 0.688S - 1.538$	0.897**	12
全データ	$R_o = 3.369NR + 0.847S - 2.726$	0.820**	96



第4-1図 上部3節根の呼吸速度と下部節根の呼吸速度との関係.

○ : 1983年, ● : 1984年.

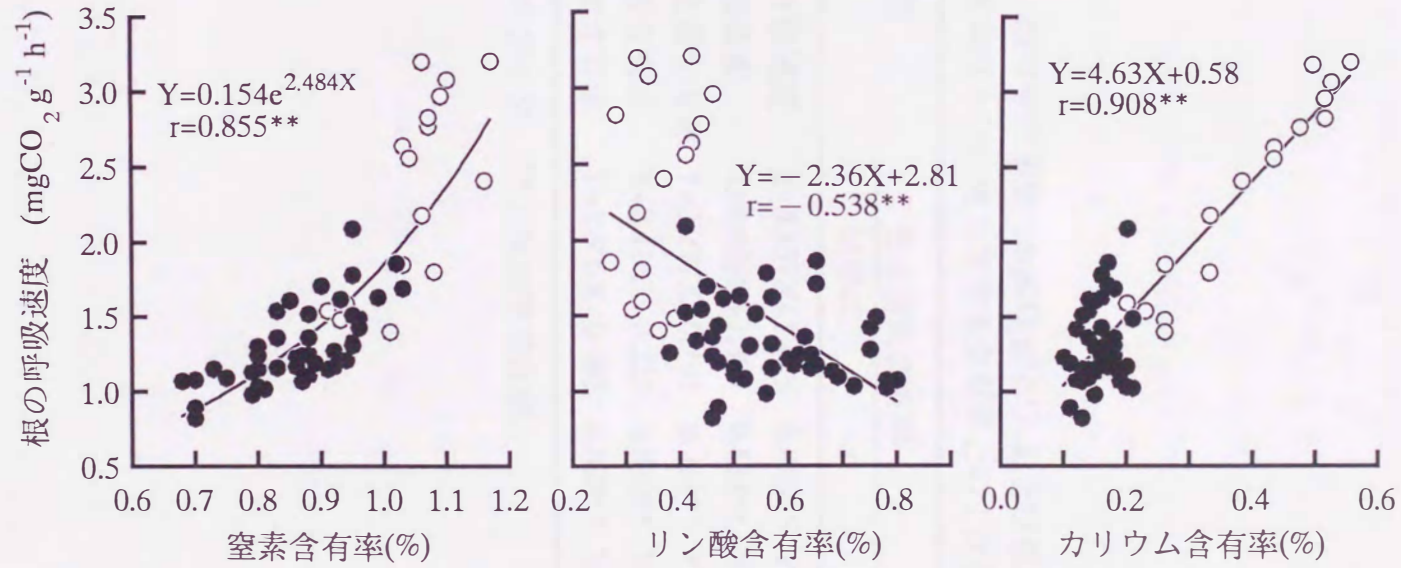
棒線を付した記号は幼穂形成期.

吸速度の方が高いが、出穂期以後ではすべて1:1線上にのっており、登熟期では上根と下根で呼吸速度にほとんど差がないという結果であった。

既述したように、根の無機成分のなかで窒素について根の呼吸速度との関係を検討してきたが、窒素以外の必須多量要素であるリン酸およびカリウムとの関係も検討しておきたい。これは、1992年に品種ヤマビコを13aの圃場で栽培し、窒素追肥量を6段階に変えた試験（第5-3表参照）のデータを用いて検討した（リン酸はモリブデン黄法、カリウムは原子吸光法で定量した）。第4-2図に根の窒素、リン酸（ $P_2O_5$ で表示）およびカリウム（K）含有率と根の呼吸速度との関係を示した。圃場条件下でもポット栽培の水稻根と同様に根の窒素含有率と根の呼吸速度とは高い正の相関関係があった（ただし、この場合は指数回帰式による）。一方、根のリン酸含有率は穂ばらみ期は0.3~0.5%と低含有率で、登熟期の方が高含有率であったが、これと根の呼吸速度との間には相関係数は低いものの負の相関関係が認められた。また、根のカリウム含有率と根の呼吸速度との間には極めて高い正の相関関係が認められ、特に、穂ばらみ期（○）は両者に密接な関係があることがわかる。しかし、登熟期に限ると両者の間に有意な相関は認められない（ $r=0.183^{NS}$ ）。カリウムは組織器官のageの若い部位に多く存在すること（Arnon and Horgland 1943）、タンパク合成を高めること（笹川ら 1973）などの報告があり、第4-2図の根のカリウム含有率と根の呼吸速度との関係は、根のageを反映している可能性を否定できない。根のカリウム含有率が呼吸速度にどのように関与しているかについては、今後の詳細な研究が必要である。

## 2. 根の窒素含有率の決定要因

根の窒素含有率に關与する要因を、1983年と1984年の試験から検討した結果が第4-3表である。葉身の窒素含有率は、上根の呼吸速度と高い正の相関関係（ $r=0.805^{**}$ ）があるが、同時に根の平均窒素含有率とも $r=0.892^{**}$ の相関係数が得られた。また、地上部全体の窒素含有率も根の窒素含有率と高い正



第4-2図 根の窒素含有率, リン酸含有率およびカリウム含有率と根の呼吸速度との関係.  
1992年のデータ. ○: 穂ばらみ期, ●: 登熟期.



第4-3表 根の呼吸速度 ( $\text{mgCO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) および根の窒素含有率と葉身窒素含有率ならびに地上部窒素含有率との1次回帰式および相関係数(r).

要 因	葉身窒素含有率		地上部窒素含有率		n
	回帰式	r	回帰式	r	
上部3節根の呼吸速度	$Y=0.451X+1.125$	0.805**	$Y=0.321X+0.475$	0.786**	42
下部節根の呼吸速度	$Y=0.456X+1.309$	0.654**	$Y=0.339X+0.569$	0.610**	42
上部3節根の窒素含有率	$Y=2.277X-0.194$	0.783**	$Y=1.633X-0.493$	0.714**	42
下部節根の窒素含有率	$Y=2.416X-0.320$	0.880**	$Y=1.844X-0.681$	0.831**	42
根部の平均窒素含有率	$Y=2.595X-0.493$	0.892**	$Y=1.947R-0.789$	0.849**	42

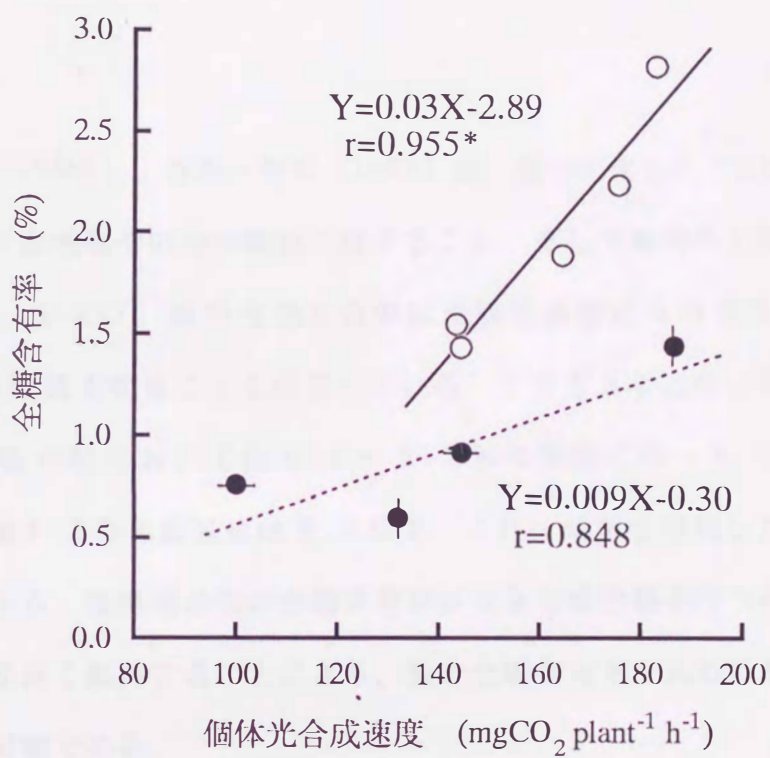
1983, 1984年のデータ. \*\* 1%水準で有意.

の相関関係 ( $r=0.849^{**}$ ) がある。これらの事実より、根の窒素含有率は個体全体の窒素含有率を反映したものであることがわかる。これは Tatsumi and Kono (1981) の報告にあるとおり、根の生長に必要な窒素の大部分が地上部より供給され、なかでも成熟葉および老化葉が重要な役割を果たしていることに基づいている。個体全体の窒素含有率は、その時の乾物量と窒素吸収量とで決まるので、乾物重が小さくて相対的に窒素吸収量の多い生育初期に高い窒素含有率を示し、以後、乾物生産量の増大にしたがって窒素含有率は減少するという経過をたどることになる。したがって、生育の進行とともに根の窒素含有率も低下し、これに伴って呼吸速度も低下していくので、登熟期において根の呼吸速度が低下することは不可避的な現象であるといえる。

### 3. 根の全糖含有率の決定要因

第4-2表の重回帰式からすれば、たとえ根の窒素含有率が低下しても、全糖含有率が高ければ上述した窒素含有率の低下による呼吸速度の低下を緩和できるはずである。根の呼吸速度の低下が大きな問題となるのは登熟期であるから、登熟期における根の全糖含有率に関与する要因を1983年の実験(第3章第1節)より検討した。

ごく素朴に考えて、地上部で生産された光合成産物が地上部で消費、あるいは地下部各器官に分配されて、その余剰分に応じて地下部へ分配されるとみなした。この実験の場合はポット栽培なので、群落条件で生育した場合と異なり受光態勢を考慮しなくとも光合成能力は個体光合成速度で表現できる。そこで、登熟中期における個体光合成速度と根の全糖含有率との関係を求めると、第4-3図のごとき傾向がみられた。この図中の○は浅水と透水処理および堆肥施用のもの、●は深水と剪葉処理のものである。両グループにおいてはそれぞれ個体光合成速度と根の全糖含有率との間に正の比例関係がある。ただし、深水や下位葉を剪除した個体では、同じ光合成速度でも根の全糖含有率は著しく低下している。剪葉処理によってみられる傾向は、下位葉が特に地下部に糖を供給する役割を担ってい



第4-3図 登熟中期における個体光合成速度と根の全糖含有率との関係.

○ : 浅水, 透水および堆肥処理, ● : 深水処理,  
● : 剪葉処理.

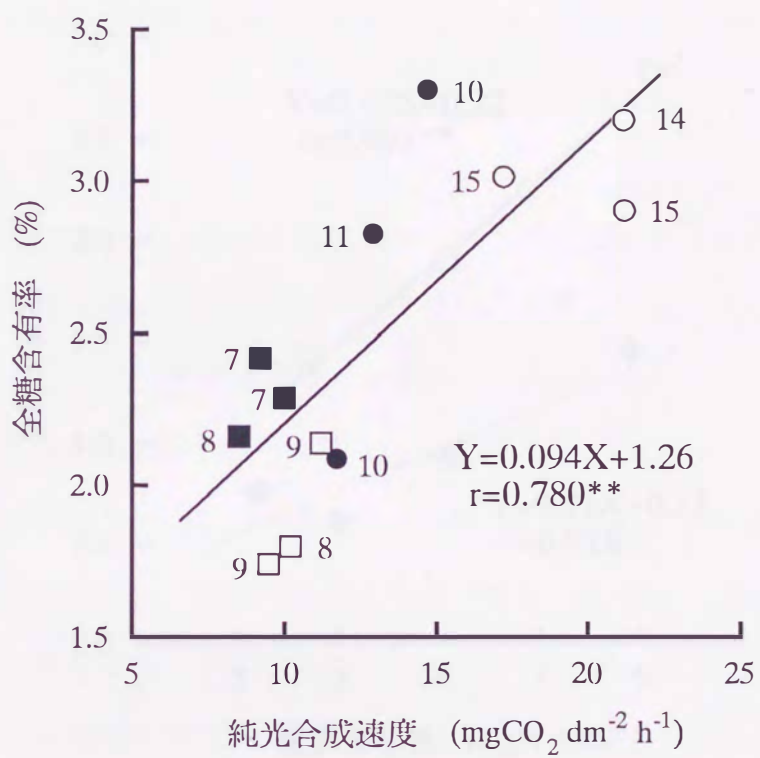
るとの知見（■中 1958）を裏付ける結果である。また、深水条件が糖類の根部への転流を抑制するという可能性を予知させる結果でもある。これは、登熟期における水管理のあり方を示しており、この時期の深水を避けることが根の健全性を保つうえで極めて重要であるといえる。さらに第4-3図の関係は、1987年の実験（第3章第2節）でも、純光合成速度の高い個体ほど根の全糖含有率が高いことが再確認された（第4-4図）。

### 考 察

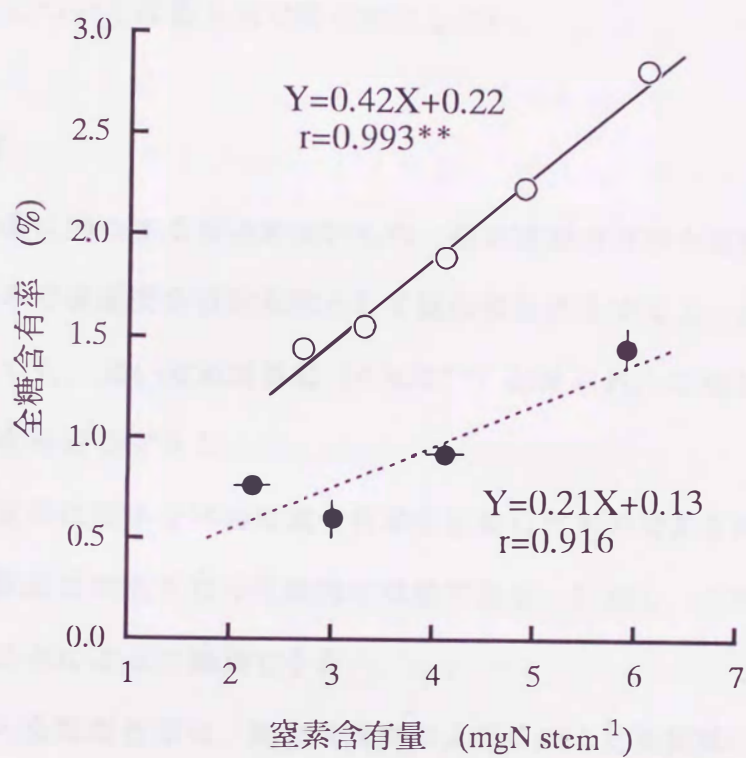
吉田・高橋（1958b）、吉田・宮松（1968）は、葉で同化した $^{14}\text{C}$ は6から10時間後に新根の先端部や旧根の側根に達すること、そして転流の主要形態がしょ糖であること、および、根の全糖含有率は幼穂形成期に3%で出穂期以後は1.0~1.5%に低下することを報告している。1983年に行った実験の全糖含有率は、登熟中期において約0.6~2.2%の範囲にあった（第3-3表参照）。また、第4-3図の最高値は2.9%で、これは堆肥を添加した区である。これらの結果から、登熟期の根の全糖含有率は大きな変動幅を持つので、登熟期の光合成速度を高く維持することにより、根の全糖含有率を高めて呼吸速度を高くすることが可能である。

第4-3図、第4-4図の結果の応用場面を考えると、光合成速度の測定が不可能な局面が多い。この時、光合成速度を簡便に表示できる形質があれば便利なので、次のような考え方を採用した。群落光合成速度は葉身の光合成速度と葉面積の積によって構成されるとみなせる。光合成速度は葉身の窒素含有率に比例するので、葉身に保有する窒素量と光合成速度との間には比例関係が成立する（津野・清水 1962）はずである。したがって、光合成速度を示す1茎当たり葉身窒素含量は、その茎から発生した根の全糖含有率と比例関係が成立する、という想定に基づいて第4-5図を作成した。

一見してわかるとおり、第4-5図は第4-3図の関係を忠実に反映したもので



第4-4図 純光合成速度と根の全糖含有率との関係.  
○：ユーカラ，●：藤坂5号，■：水原258号，  
□：密陽23号.  
図中の数字は根の窒素含有量(mg g<sup>-1</sup>)



第4-5図 登熟中期における1茎当たり葉身窒素含量と根の全糖含有率との関係。

○：浅水，透水および堆肥処理，●：深水処理，  
●：剪葉処理。

あり、1茎当たり葉身窒素含有量の多いものほど根の全糖含有率が高い。水稲栽培の実際場面では、第4-5図の関係と受光態勢の双方に考慮を払うならば、根の管理に対する有力な情報として利用することができるであろう。

さらに、葉身窒素含有率と根の呼吸速度とが高い相関関係にある(第4-3表)ことより、葉の窒素含有率を知ることによって、根の呼吸活性を推定できる可能性もある。この点については、圃場条件下で生育した稲体でも検討する必要があるので、これについては第5章で明らかにしたい。

### 摘 要

根の呼吸速度に因する要因を検討した。根の窒素含有率と全糖含有率を説明変数とし、根の呼吸速度を目的変数として重回帰分析をすると、品種、処理、年次をこみにしても、高い重相関係数(0.820\*\*)が得られ、この2要因で67%まで根の呼吸速度を説明できた。

根の窒素含有率は個体全体の窒素含有率を反映したものであるために、生育後期における呼吸速度の低下は不可避的な現象である。ただし、この現象は全糖含有率を高めることによって緩和できる。

登熟期の根の全糖含有率は、光合成速度およびそれと比例関係にある葉身窒素含量との間に高い正の相関関係のあることが認められた。これは年次が異なっても成立した。

## 第5章 登熟期における光合成関連形質と根の呼吸速度との関係

第3章では、ポット栽培した材料を用いて、不良環境下での光合成能力と根の呼吸速度との関連性を明らかにし、第4章で根の呼吸速度に関与する要因を検討した。

ここで問題となるのは、ポットで得られた成績が圃場レベルでも成立しうるかどうかという点である。圃場で伸長する根は、ポット栽培のような限られた土壌空間とは異なり、無限に近い広がりを持つので、1株の全根を採取することは困難である。そこで、株を中心として約15Lの土壌を堀あげ、そこに伸長している根で、その株全体の呼吸速度を代表させることとした。そして、これと地上部の光合成関連形質との関連性を明らかにする目的で、1985年より1993年にかけて鳥取大学農学部附属農場の水田（面積13a）で多収穫を意図した圃場試験を行った。

実際の圃場栽培の水稻で、根の呼吸速度の高低が問題となるのは登熟期である。これは、水稻の根群は出穂期前後に完成し、以後は減少するとの多くの報告（佐々木 1932, 佐藤 1940, 岩槻・石黒 1938, 林ら 1956, 山田・太田 1956, 岡島 1960, 稲田 1967, 川田・副島 1974）があるとおりに、登熟期の根は老化過程にあるからである。

そこで、本章では圃場条件下で生育した水稻について、光合成関連形質である葉身窒素含有率と葉面積に着目して、まず、第1節と第2節でそれら形質が粒重増加に及ぼす影響を解析した。そして、第3節で登熟期におけるそれら形質と根の呼吸速度との関係を明らかにしようとした。

### 第1節 水稻の登熟前半の粒重増加に及ぼす葉身窒素含有率の影響

穂に集積する炭水化物量は、出穂までに茎葉に蓄積された炭水化物量のうち、穂への移行量と出穂後の光合成量で決定されるが、後者が量的にみて収量を支配していることが知られている。出穂以後の光合成量は、もちろん群落光合成速度



に依存するが、それは葉身の光合成速度と葉面積指数ならびに受光能率、そして群落呼吸速度に分けられる。なかでも、群落光合成速度の中心的役割を担うのは個葉の光合成速度であり、これは葉身窒素含有率と高い相関を示すことは周知の事実である。しかしながら、多くの籾数を確保するために多量の窒素が穂肥で施された場合、出穂期の葉身窒素含有率と登熟歩合との間には負の関係にあることが指摘されている（村山 1983, 大島 1961）。この原因としては、追肥によって籾数の増加をみるが、葉面積指数が大となって受光能率の低下、群落呼吸量の増加などにより純光合成量が籾数に対して相対的に不足するためとの見解が示されている（村山 1983, 大島 1961, 山田ら 1957, 和田 1969）。

一方、大島（1962）はポット栽培の水稻に $^{14}\text{C}$ を用いた実験で、多量の窒素を穂肥として施すと、葉身から穂への炭水化物の転流が遅延すると報告している。また、津野ら（1990, 1991b）は登熟初期に葉身窒素含有率が高い場合は、玄米中アンモニア濃度が高まり、この程度に応じて粒重増加が抑制されることを報告している。

著者は鳥取大学農学部附属農場において水稻の多収穫栽培を試みてきたが、当圃場は透水性が $1\text{ mm day}^{-1}$ 内外と低く、このため出穂以後は根の呼吸速度が急速に低下し、窒素吸収が少なくなって、登熟後期には葉身窒素含有率が著しく低下して登熟歩合が向上せず、最高で $600\text{ g m}^{-2}$ 程度の収量水準で止まった。一方、鳥取県内のある農家では、多量の追肥で葉身窒素含有率を登熟後期まで高く維持して高水準の収量を上げている。この農家が育てた苗を用い、本学附属農場と農家の圃場に稲を栽培して双方の生育経過を比較して、登熟前半の粒重増加に及ぼす影響を、登熟期の葉身窒素含有率、玄米中アンモニア濃度、籾当たり葉面積に着目して解析を行った（山口ら 1995）。

## 材料と方法

鳥取県東伯郡北条町の稲作農家、牧田克巳氏が既存品種より分離育成した

MK-2号, MKおよびMK-Dの3系統を供試した(これらの系統は全国的にコシヒカリ栽培地帯の一部農家で栽培されているが, 品種として未登録であるので本報告では上の如く略記した)。MK-2号は穂重型で止葉を含む上位3葉は内側に軽く巻き, 直立葉で多収穫を意図した系統であり, MKとMK-Dはコシヒカリ並の食味でそれよりも短稈で, 倒伏しにくい特性を持つ系統である。

試験圃場は, 本学附属農場(鳥取市湖山町, 圃場名: 湖山と略称)と牧田氏圃場(鳥取県東伯郡北条町, 圃場名: 北条と略称)に設けた。供試面積は, 湖山は各系統とも約4a, 北条はMK-2号は4a, MKは6a, MK-Dは5aで, 1区制とした。両地区の稲作期間の平均気温と日照時間はほぼ同じであるが, 北条のMK-2号とMKが栽培された圃場は山の稜線で朝夕の日射が多少遮られる立地条件であった。

牧田氏が北条で育成(苗箱当たり70g播き)した稚苗のうち, MKとMK-2号は早期に莖数を確保する目的で早植えし(湖山:1991年5月8日, 北条:5月5日), MK-Dは湖山が6月12日, 北条は6月10日と普通期に移植した。栽植密度は湖山が20.2株 $m^{-2}$ で, 北条は22.2株 $m^{-2}$ であった。

栽培管理は北条と湖山とで第5-1表に示したとおりに個別の方法で行った。北条の肥培管理は, 前年の秋に乾燥鶏ふん200gと熔燐60g(計: N 8,  $P_2O_5$  20,  $K_2O$  4g $m^{-2}$ )を表層施用し, 秋耕はせず, 春耕時に過燐酸石灰20gと塩加カリ15g( $P_2O_5$  3.5,  $K_2O$  9g $m^{-2}$ )を全層施肥した。分けつ肥は硫安(1~2gN $m^{-2}$ )を3回施し, 幼穂形成期に $P_2O_5$  3.5g $m^{-2}$ と $K_2O$  6g $m^{-2}$ を重焼燐と塩加カリで施用し, それ以後は尿素を用いて, 穂肥3回, 実肥2回(各1.84gN $m^{-2}$ )と合計9回追肥した。一方, 湖山では基肥は春耕時に高度化成肥料(12-18-14)で施し, 分けつ肥1回, 穂肥2回, そして実肥は1回とした。

以上の水稻について, 幼穂形成期から登熟後期にかけて, 根の呼吸速度, 葉面積, 器官別乾物重等を調査した。調査個体は各区とも40株の莖数を調査し, 平

第5-1表 各試験区の内容と栽培条件(1991年)

系統名	圃場	移植日 (月・日)	穂揃日 (月・日)	収穫日 (月・日)	施肥量(gm <sup>2</sup> )									追肥 回数 (回)
					基肥			追肥			合計			
					N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
MK-2号	湖山	5.8	8.8	9.26	4.0	6.0	4.7	6.3	0	5.0	10.3	6.0	9.7	4
	北条	5.5	8.5	9.18	8.0	23.4	13.0	13.4	3.5	6.0	21.4	26.9	19.0	9
MK	湖山	5.8	8.5	9.26	4.0	6.0	4.7	8.3	0	7.5	12.3	6.0	12.2	5
	北条	5.5	7.31	9.18	8.0	23.4	13.0	15.2	3.5	6.0	23.2	26.9	19.0	10
MK-D	湖山	6.12	8.22	10.7	4.0	6.0	4.7	4.0	0	5.0	8.0	6.0	9.7	2
	北条	6.10	8.20	10.3	5.2	20.6	11.6	16.2	3.5	6.0	21.4	24.1	17.6	9

均の生育を示す1株を慎重に選定した。1株としたのは、葉身窒素含有率および葉面積など形質間の関係を求めるとき、同一個体の形質を比較する方がより密接な対応が得られると判断したためである。

収量調査は、各区40～80株の穂数を調査し、平均穂数に最も近い4～8株を選び、収量構成要素を常法で求めたのち、単位面積当たり収量に換算した。

また、穂揃後15日と30日に平均穂数に最も近い1株を選び、その有効茎のうち稈長の長い順に9穂をサンプリングし、無作為に3穂を1組として、1次および2次枝梗に着生する初めに区分して、粗玄米千粒重の調査に供した。9穂としたのは、各穂の出穂日をできるだけ揃えるためである。登熟期間中3回にわたってサンプリングした9穂の平均1穂重(Y)とその株の平均1穂重(X)の間には、 $Y=1.01X+0.4$  ( $r=0.96^{**}$ )の関係が得られたので、9穂で得られた値で、1株の穂重を代表できると判断した。生初は圃場で秤量ビンに採取し、密閉して実験室に運び、凍結乾燥させて真空デシケーター中で保存した。後日、1粒ごとに初から玄米を取り出し、粗玄米千粒重を求めた。

玄米中のアンモニア態窒素は以下の手順で分析した。まず、640ppmのフタル酸水素カリウム溶液(純水3LにpH4のフタル酸塩緩衝液200mLを添加)20mLで粗玄米250～500mg(乾物)を乳鉢中で磨砕したのち、遠沈管内で1.5時間(30℃)抽出して50mLに定容した。そして、遠沈した上澄み30mLを1gの酸化マグネシウムとともに、マイクロ・ケルダール蒸留装置を用いて蒸留して、アンモニアを1/100N塩酸で補集した。この50mL定容液の一部を、インドフェノール法で比色定量し、乾物当たりで濃度を表示した。

稲体各部位の全N量はセミ・マイクロケルダール法で定量した。

## 結 果

### 1. 生育と収量

両圃場の収量とその構成要素を第5-2表に示した。各区とも3.2万粒 $m^{-2}$ 以上

第5-2表 収量とその構成要素および収穫時の窒素吸収量.

系統	圃場	収量 (gm <sup>-2</sup> )	穂数 (m <sup>-2</sup> )	穎花数		登熟 歩合 (%)	精玄米 千粒重* (g)	窒素 吸収量 (gm <sup>-2</sup> )
				1穂	m <sup>2</sup>			
MK-2号	湖山	637.9	262.5	127.1	33364	87.2	21.93	14.81
	北条	612.7	285.4	125.8	35903	77.7	21.97	16.07
MK	湖山	555.2	388.6	83.0	32254	84.5	20.36	13.72
	北条	584.5	374.9	89.6	33591	86.2	20.18	15.54
MK-D	湖山	489.4	358.4	89.6	32113	73.0	20.89	13.22
	北条	568.7	402.8	91.5	36856	72.6	21.27	16.67

\* : 水分15%.

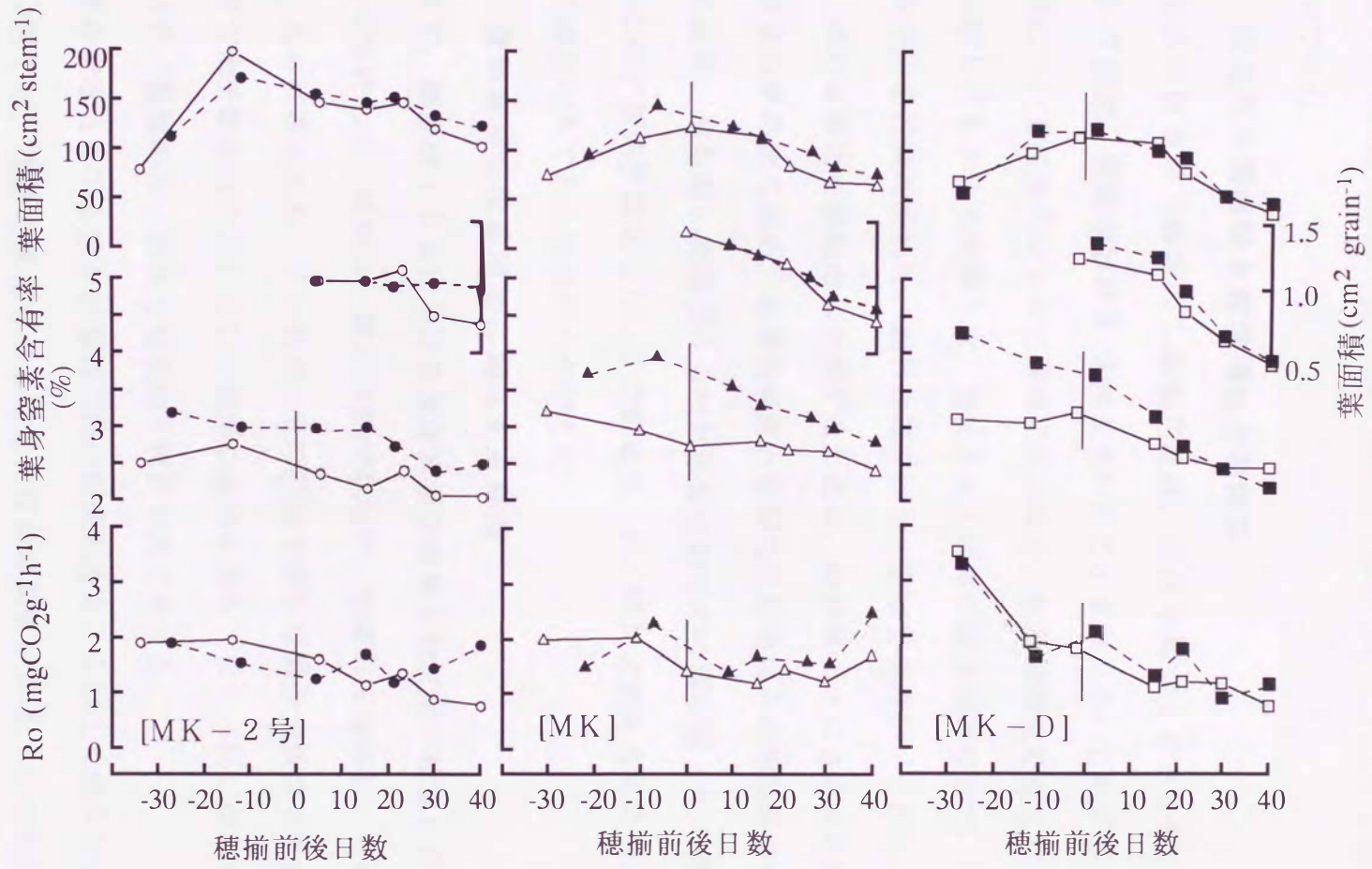
の初数を確保でき、最高の収量をあげたのは湖山のMK-2号で $638\text{ gm}^{-2}$ 、ついで北条の同系統の $613\text{ gm}^{-2}$ であった。最低収量は、湖山のMK-Dで $489\text{ gm}^{-2}$ であった。収穫時の窒素吸収量は、3系統平均で北条圃場の方が約 $2.2\text{ gm}^{-2}$ 多かった(第5-2表)。

第5-1図は北条と湖山における各系統の葉面積、葉身窒素含有率および根の呼吸速度を比較したものである。葉身窒素含有率の時期的推移を見ると(同図中段)、北条のMKとMK-Dは穂揃日までは3.5%以上と高い値で、登熟後期になっても2.5%内外であった。一方、湖山では全般に北条よりも低い葉身窒素含有率であるが、MK、MK-Dでは登熟後期でも2.5%程度の含有率を保持できた。

出穂期の1茎当たり葉面積(第5-1図上段)は、両圃場ともMK-2号は $150\text{ cm}^2\text{ stem}^{-1}$ 程度、MKおよびMK-Dは約 $120\text{ cm}^2\text{ stem}^{-1}$ であった。その後、MK-2号は緩やかに減少したのに対し、MK-Dは枯れ上がりのため急速に減少した。1茎当たり葉面積を穂数に乗じて求めた出穂期の葉面積指数は、最大が5(北条のMK-D)で、最小は4(湖山のMK-D)であり、全般に繁茂度は低かった。

さらに、シンク：ソース比の量的表現形質である初当たり葉面積(津野・王1988)は、MKとMK-Dは出穂期では $1.3\text{ cm}^2\text{ grain}^{-1}$ 程度であったが、その後の減少が大で、収穫期ではMKで $0.7$ 、MK-Dは $0.5\text{ cm}^2\text{ grain}^{-1}$ であった。一方、北条のMK-2号は出穂期は $1.0\text{ cm}^2\text{ grain}^{-1}$ と少なかったが、登熟期間を通してほぼ一定の値で推移した。

根の呼吸速度の時期的変化(第5-1図下段)をみると、MK-Dは幼穂形成期で高い値であった。また、MKおよびMK-Dでは出穂後、北条の方が高い値で推移した。登熟期間の根の呼吸速度の平均値は、3系統とも北条の方が湖山よりも18~30%高い値であった。しかし、本試験での湖山は、3系統とも穂揃期で $1.5\text{ mgCO}_2\text{ g}^{-1}\text{ h}^{-1}$ 程度、穂揃後30日でもMK、MK-Dは $1\text{ mgCO}_2\text{ g}^{-1}\text{ h}^{-1}$



第5-1図 各系統の葉面積，葉身窒素含有率および根の呼吸速度(Ro)の時期的推移。  
白印は湖山，黒印は北条。

内外の値であった。従来の測定結果では登熟中期には  $0.6 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  程度まで低下していた（津野・王 1988, 津野ら 1994）が、これよりも高い値を保つことができた。

## 2. 籾当たり葉面積と粒重増加との関係

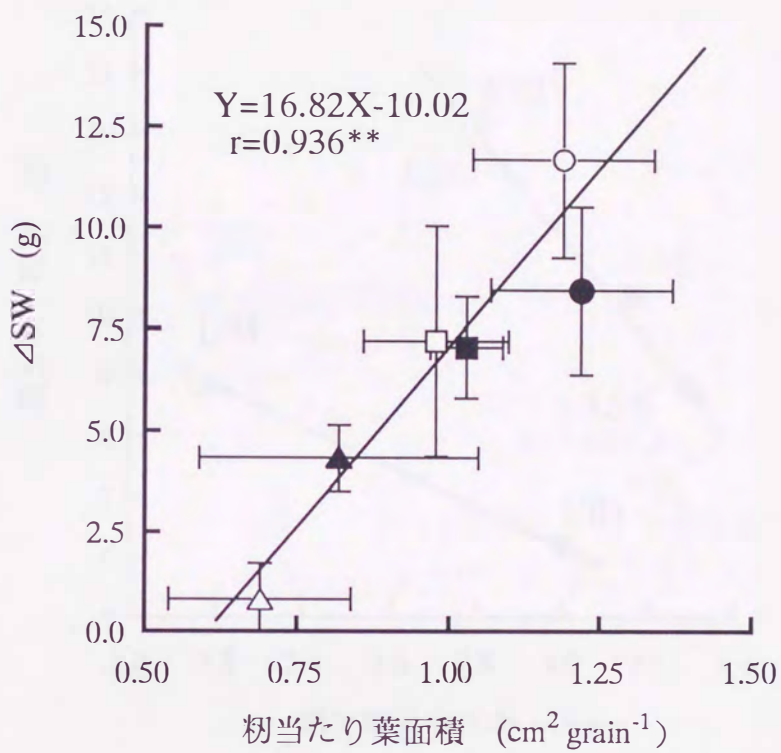
全区の抜き取り個体の1株穎花数は、全区平均で1604個、標準偏差は52.7個で、変動係数は3.3%ときわめて小さかった。したがって、抜き取り個体については各区でシンク容量に差はなく、粒重増加量を粗玄米千粒重の増加と比較してもよいと判断した。各区とも1個体の抜き取りなので、登熟期間内の粒重増加を区別に求めて、統計処理を行うことはできない。しかし、粒重増加に強く係わる要因を概括的に把握するために、両圃場ごとに3系統の粗玄米千粒重増加量の平均値を求め、各調査形質と期間内粒重増加との相関関係を検討した。その結果、最も高い相関がみられた形質は籾当たり葉面積（F/籾）で、第5-2図に示す関係が成立した。この図より、F/籾が大であるものほど粗玄米千粒重の増加は大である傾向がうかがえた。

## 3. 登熟前半の粒重増加に関与する要因

まず、穂揃後15日における葉身窒素含有率と粗玄米千粒重との関係を第5-3図で検討した。同図は、第5-2図でみたF/籾値のほぼ等しいもので区分したが、見られるとおり、F/籾が一定の範囲であれば葉身窒素含有率が高い個体ほど粗玄米千粒重は小さいという傾向が認められた。また、同じ葉身窒素含有率ならばF/籾値の高い個体で粗玄米千粒重が大であった。

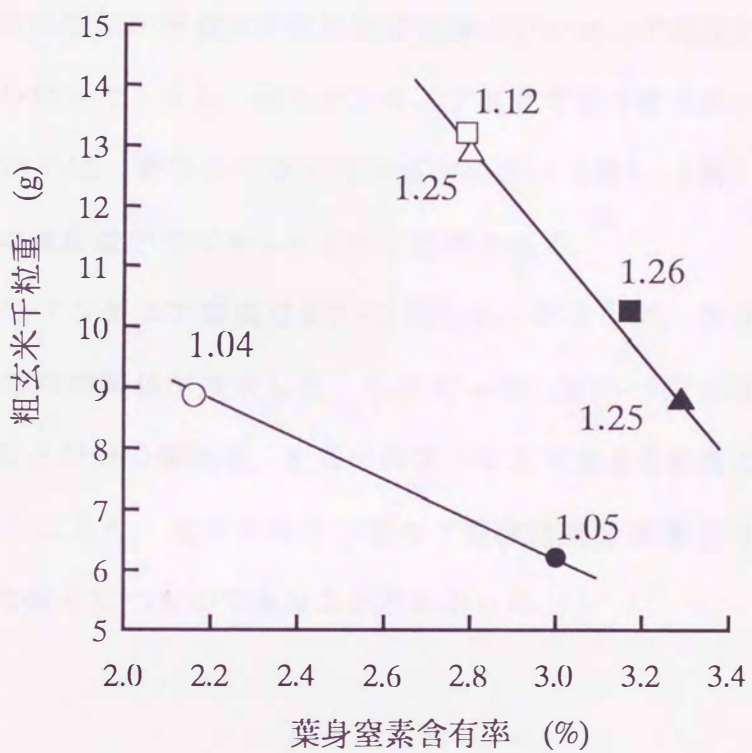
葉身窒素含有率と光合成速度に高い相関のあることは広く知られているが、第5-3図では、葉身窒素含有率と粒重には負の関係がある。この原因を明らかにするために、まず玄米中のアンモニア濃度と粒重との関係を検討した。これは、津野ら（1990）が、登熟初期の玄米中のアンモニア濃度と粗玄米千粒重との間に負の相関関係のあることを指摘し、別報（1991b）でもこの関係を再確認しているからである。





第5-2図 籾当たり葉面積と3系統平均粗玄米千粒重増加量(ΔSW)との関係.

○,●:穂揃日～穂揃後15日, □,■:穂揃後16日～30日,  
△,▲:穂揃後31日～収穫日. 白印は湖山,黒印は北条.  
記号に付した棒線は標準偏差.



第5-3図 穂揃後15日の葉身窒素含有率と粗玄米千粒重との関係。

○, ● : MK-2号, △, ▲ : MK, □, ■ : MK-D.

白印は湖山, 黒印は北条.

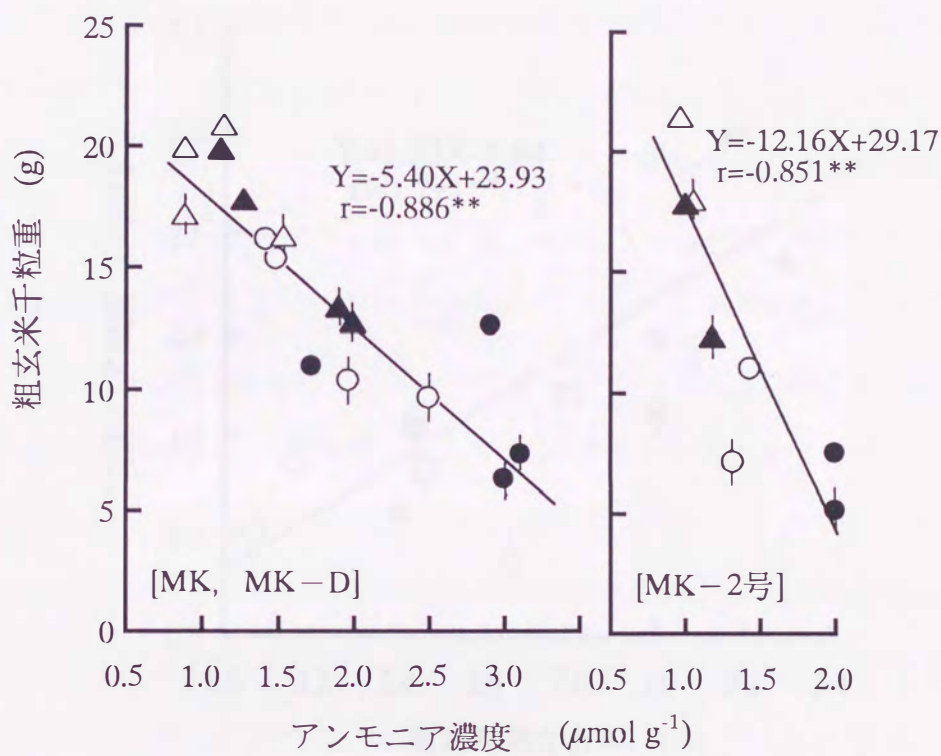
図中の数字は籾当たり葉面積 (cm<sup>2</sup> grain<sup>-1</sup>) .

穂揃後15日と同30日の玄米中アンモニア濃度とその時期の粗玄米千粒重との関係を見ると、第5-4図に示した結果となった。第5-4図左図は1穂籾数の少ない(106±11個)MKとMK-Dにおける関係で、1次、2次枝梗着生籾こみで相関係数 $r = -0.886^{**}$ (1%水準で有意)となり、1穂穎花数が多い(162±12個)MK-2号では同じく $r = -0.851^{**}$ であり(第5-4図右図)、1穂穎花数の多少で回帰式は異なるが、いずれも高い負の相関関係が成立した。特に、粒重増加が緩慢な2次枝梗着生籾のアンモニア濃度が穂揃後15日で高いことがわかった。また、同じアンモニア濃度でも籾数の多いものの粗玄米千粒重が小さいのは、籾当たり葉面積の値が小さい(第5-1図)ために、籾への光合成産物の供給量が少なかったものと推察される。

この玄米中のアンモニア濃度は第5-5図に示したように、葉身窒素含有率と極めて高い正の相関関係が成立した。したがって、第5-3図でみられた葉身窒素含有率と粒重との負の関係は、玄米中のアンモニア濃度と粒重とが負の相関関係(第5-4図)にあり、玄米中のアンモニア濃度は葉身窒素含有率と正の相関にあることより成り立つものであることがわかった。

## 考 察

本試験では、最高の単位面積当たり籾数は3.7万個 $m^{-2}$ であり、籾当たり葉面積は最大で1.4 $cm^2 grain^{-1}$ であった。両者を乗ずると最大葉面積指数は5.2となる。上記籾数で精玄米千粒重を22g、登熟歩合を90%とおくと、単収は733 $gm^{-2}$ となって、当地方では多収穫となり、しかも生育状態は過繁茂ではない。この様な条件のもとで、籾当たり葉面積は第5-2図のとおり粒重増加にプラスの要因として作用した。しかし、穂揃後15日で、葉身窒素含有率が3%以上と高い個体では、籾当たり葉面積が大であっても、粗玄米千粒重が小さいことを認めた(第5-3図)。この現象に関して、大島(1962)は窒素施用量が多い場合は炭水化物の葉から穂への転流が遅延することを $^{14}C$ を用いた実験で認め、

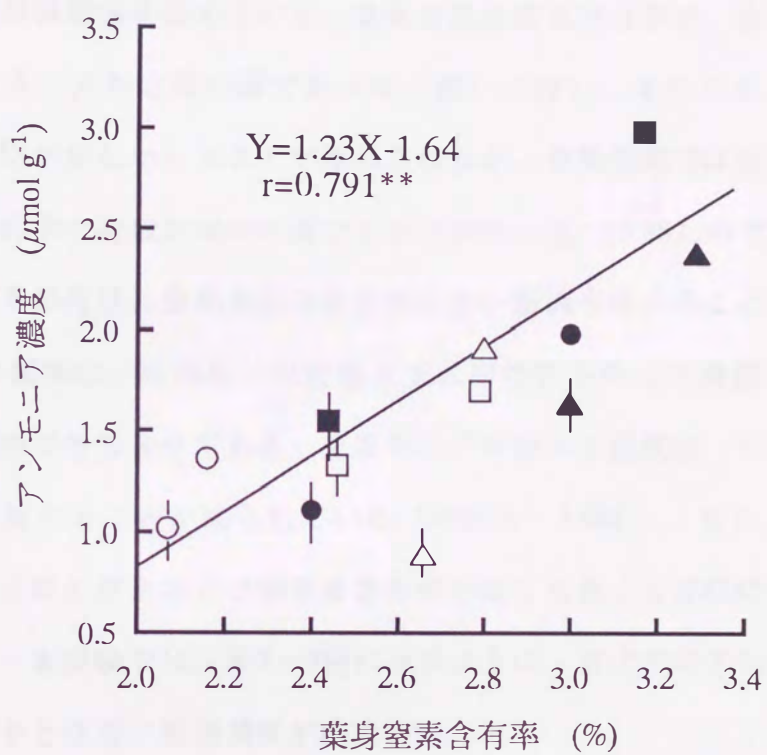


第5-4図 穂揃後15日と30日の玄米中のアンモニア濃度と粗玄米千粒重との関係.

○, ● : 穂揃後15日, △, ▲ : 穂揃後30日.

白印は湖山, 黒印は北条.

記号に棒線を付したものは2次枝梗着生籾.



第5-5図 穂揃後15日と30日の葉身窒素含有率と玄米中アンモニア濃度との関係。

○, ● : MK-2号, △, ▲ : MK, □, ■ : MK-D.  
白印は湖山, 黒印は北条.  
棒線付き記号は穂揃後30日.

また、玖村（1957）は登熟期に多量の窒素が供給されると、同化産物の穂への移行が妨げられ、葉身窒素含有率が2%を越えるとその可能性があることを指摘している。

また、登熟期の粒重増加は出穂前の稈・葉鞘部の炭水化物蓄積量と出穂後の光合成能力とに依存している（村山ら 1955, 清水・津野 1957, 和田 1969）が、和田（1969）は減数分裂期の植物体の窒素含有率と稈・葉鞘部分の炭水化物との間には負の相関関係を認めている。北条の葉身窒素含有率は、幼穂形成期から登熟初期では3～4%と高い値であった（第5-1図）。そのため、幼穂形成期の蓄積炭水化物が少なかったことが推察されるが、登熟初期では粒重増加と稈・葉鞘への炭水化物の蓄積が同時に進行する（津野・王 1988）ので、出穂前の蓄積炭水化物の不足だけに登熟初期の粒重が小さい原因を求めることはできない。

第5-3図の関係は、現象的には粒重と玄米中のアンモニア濃度との間の負の相関関係で説明できるようである。玄米中のアンモニア濃度は、玄米中のアミノ酸含有量に比例することが知られている（津野ら 1990）。また、葉身窒素含有率が高いほど穂の非タンパク態窒素含有率が高くなることは既に報告した（津野ら 1994）。本実験では、第5-5図に示すように、玄米中のアンモニア濃度と葉身窒素含有率とは高い相関関係が成立した。

アンモニアそのものが胚乳部のデンプン合成を阻害するのか、あるいはアミノ酸の過剰がデンプン合成に悪影響を及ぼすかは、本試験の手法で明らかにすることはできないが、少なくとも玄米へ窒素の過剰供給が登熟初期の粒重肥大を遅らせている現象は他の報告（津野ら 1990, 1991b）からも指摘できる。また、既報（津野ら 1990, 1991b）では玄米中アンモニア濃度と粗玄米千粒重との間の負の相関関係は穂揃後15日まで認められており、それ以降では両者の関係は明らかでなかった。これらの稲は、穂揃後15日以降の葉身窒素含有率が2%以下に低下しており、本試験のように葉身窒素含有率が穂揃後30日でも2.5%と高いと、その影響が登熟中期まで及ぶものと考えられる。

以上のことより、穂肥や実肥で窒素を多追肥して、過度に葉身窒素含有率を高めると、玄米に多くの窒素が供給され、その結果として、登熟初期の粒重増加が抑制されることが現象的に指摘できた。

### 摘 要

鳥取市湖山（大学附属農場）と鳥取県東伯郡北条町（農家圃場）とで同時期に移植した水稻3系統について、生育経過を比較した。北条の肥培管理の特徴は、多量の窒素追肥で葉身窒素含有率を登熟後期まで高く維持した。湖山は、当地方の慣行に準じて管理した。両者の大きな差は、北条で登熟初期の粒重増加が小さいことであった。この原因を、葉身窒素含有率、籾当たり葉面積（F/籾）、玄米中のアンモニア濃度に着目して解析した。

登熟期間全般を通じて、F/籾が大であるものほど粒重増加は大である傾向がうかがえた。しかし、穂揃後15日では、F/籾が一定の範囲であれば葉身窒素含有率の高い個体の粗玄米千粒重は小さかった。

玄米中のアンモニア濃度と粗玄米千粒重との間には負の相関が認められ、このアンモニア濃度は葉身窒素含有率と正の相関があった。北条の稲は登熟初期の葉身窒素含有率が3%以上と過度に高く、玄米中のアンモニア濃度が高かったために、粒重増加が抑制されたものと考えた。

## 第2節 登熟後半の粒重増加に及ぼす葉身窒素含有率と可能登熟率の

### 影響

前節では穂揃後15日の粒重は、籾当たり葉面積が大であるものほど増加量が大きであるが、葉身窒素含有率が過度に高いと、玄米中のアンモニア濃度が高く、それが粒重増加を抑制することを明らかとした。残る課題は、登熟後半の粒重増加に関与する要因を解明することである。前節の調査では、調査個体が1株であったので、期間増加量を算出することはできなかった。そこで、翌年の1992年に試験を行い、登熟後半の粒重増加に関与する要因を明らかにしようとした（山口ら1993）。

### 材料と方法

鳥取大学農学部附属農場の面積が13aの圃場に、品種ヤマビコを1992年6月3日に4.3齢苗を機械移植した。試験区の構成と内容は、第5-3表に示すとおりである。すなわち、基肥は5月22日に塩化硫安284(12-18-14)と塩化カリ(0-0-60)を用いて $m^2$ 当たり $N:P_2O_5:K_2O=4:6:10g$ を全層施肥した。穂肥は穂揃前32日に1.5g、同20日に $2gN\ m^{-2}$ 硫安で施用した。これ以後は尿素を用いて1回の施用量を $2gNm^{-2}$ とし、追肥回数と時期をかえた計6区の処理区を設けた。また、試験圃場は湖山池に隣接しており、そのため透水性が $1mm\ day^{-1}$ と悪い。この透水不良に起因するかんがい水の停滞を排除するため、全区に溝切り機によって処理区の周辺と約5mおきに深さ10cmの溝を7月16日に切った。なお、5区および6区には幅30cm、深さ50cmの排水溝をあらかじめ設置しておいた。

穂揃日(8月24日)以降、15日間隔で収穫日(10月3日)まで各区より6株を採取し、粗粒重、葉面積、根の呼吸速度および器官別乾物重を測定した。収量調査は、各区より100~130株の平均穂数を求め、それに近い15株を選んだ。そして15株の中より平均穂重に近い4株を選んで収量構成要素および



第5-3表 各試験区の施肥条件と収量および収量構成要素（1992年）.

試験区	追肥窒素量(g m <sup>-2</sup> )						穂数 計 (m <sup>-2</sup> )	穎花数		登熟歩合 (%)	精玄米 千粒重 (g)	収量 (g m <sup>-2</sup> )	
	-32	-20	-12	+2	+12	+20		1穂	m <sup>2</sup>				
1	1.5	2.0	—	—	—	—	3.5	328	79.6	26069	83.6	23.78	518
2	1.5	2.0	—	2.0	—	—	5.5	371	79.5	29495	86.4	23.24	592
3	1.5	2.0	—	2.0	2.0	—	7.5	373	80.3	29960	80.8	23.44	567
4	1.5	2.0	—	2.0	2.0	2.0	9.5	371	79.3	29420	82.0	23.17	559
5	1.5	2.0	2.0	—	2.0	2.0	9.5	430	82.2	35354	80.1	23.50	667
6	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	11.5	399	79.2	31625	86.2	23.95	653

元肥は全区同じ(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=4:6:10 g m<sup>-2</sup>). 試験区5, 6は周囲に排水溝設置.

栽植密度: 1~4区 22.9株 m<sup>2</sup>, 5区 24.3株 m<sup>2</sup>, 6区 24.8株 m<sup>2</sup>.

追肥窒素量の数字は穂揃前後日数.

計算収量を求めた。

乾物試料を硫酸-過酸化水素分解法で湿式灰化し、各器官の全窒素をイオンメーターで定量した。

## 結 果

### 1. 生育と収量

当年の気象は、栽培期間を通して気温、日射量ともに平年以上であった。しかし、穂ばらみ期（8月18日）と登熟後期（9月24日）に台風が襲来し、登熟後期の台風で5区と6区は湾曲して倒伏気味となったが、収量への影響はなかった。なお、鳥取県の稲作の作況指数は103であった。

各区の収量とその構成要素を第5-3表でみると、収量は最高が5区の $m^2$ 当たり667gで、次いで6区の653gであり、最低は1区の518gであった。収量とその構成要素との関係を見ると、収量は $m^2$ 当たり穎花数と正の相関関係（ $r=0.922^{**}$ ）が成立し、さらに、その穎花数は穂数との間に高い正の相関（ $r=0.933^{**}$ ）が認められた。登熟歩合と穎花数との間には、一般に穎花数が増加すると登熟歩合が減少する（松島 1957）が、本実験での2区および6区はこの関係より外れ、それぞれ86%という高い値であった。最も収量の高かった5区は、登熟歩合は区間最低の80.1%であるが、3.5万粒確保していることを考えると良好な登熟であったと言えよう。

ここで、第5-4表に示した各区のLAIをみると、穂揃後15日では3区が4.0と区間でもっとも高いが、穂揃後30日になると、急激に低下した。5、6区のLAIの低下は緩慢で、収穫日でも2.1と他の区よりも高い値であった。葉身窒素含有率は、穂揃日と穂揃後15日では5、6区が高い値であり、穂揃後30日になると、穂揃後12日に実肥を施した3、4、5、6区が1.5%前後の値を維持した。

### 2. 登熟後半の粗朶重増加に関与する要因

第5-4表 各試験区の粗粃千粒重, 精粃千粒重, 可能登熟率および葉面積指数(LAI)と葉身窒素含有率.

区	粗粃千粒重(g)			精粃千粒重(g)	可能登熟率(%)*		L A I				葉身窒素含有率(%)			
	0日	15日	収穫日		15日	収穫日	0日	15日	30日	収穫日	0日	15日	30日	収穫日
1	4.26	19.55	25.57	28.19	30.6	9.3	3.2	2.1	1.5	1.0	2.24	1.97	1.26	1.03
2	5.10	19.59	25.83	28.19	30.5	8.4	4.1	3.7	2.1	1.7	2.30	2.39	1.34	0.97
3	3.08	17.45	24.96	27.80	37.2	10.2	4.6	4.0	2.5	1.5	2.38	2.45	1.61	1.39
4	3.29	18.02	24.96	27.62	34.8	9.4	3.8	3.5	3.1	1.8	2.34	2.03	1.50	1.55
5	3.66	16.45	25.13	28.33	41.9	11.3	5.3	3.6	3.0	2.1	2.59	2.65	1.45	1.32
6	3.84	17.87	26.46	28.99	38.4	8.7	4.6	3.5	2.9	2.1	2.51	2.51	1.48	1.36

\*可能登熟率 = [ 1 - (粗粃千粒重 / 精粃千粒重) ] × 100. 日は穂揃後日数.

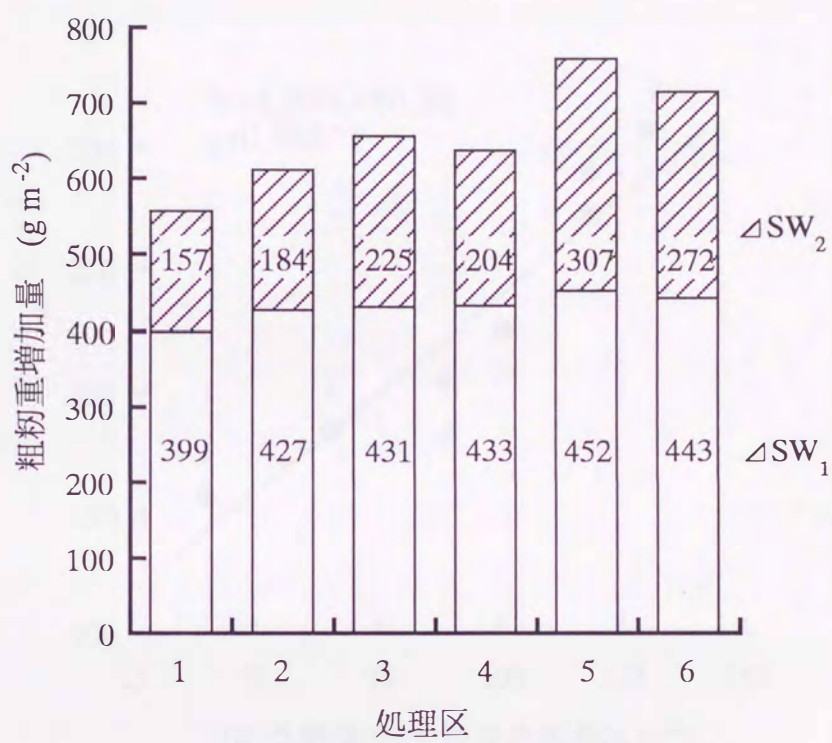
粒重増加に関与する要因を、 $m^2$ 当り粗粉重の増加量を用いて解析した。これは収穫時の $m^2$ 当り粗粉重と収量との間に $r = 0.987^{**}$ という極めて高い相関関係が成立しているからである。この粗粉重を穂揃日から穂揃後15日までの前期増加量( $\Delta SW_1$ )と、穂揃後15日から収穫日までの後期増加量( $\Delta SW_2$ )とに区分して検討した(第5-6図)。これをみると $\Delta SW_1$ は全区平均 $431 g m^{-2}$ で、変動係数(C.V.)4.2%であり、区間の差は極めて小さい。ところが、 $\Delta SW_2$ は全区平均が $225 g m^{-2}$ で、C.V.が24.9%である。特に、最も高収量の5区の $\Delta SW_2$ は $307 g m^{-2}$ であり、最も低収量の1区では5区の約半分の $157 g m^{-2}$ にとどまっている。この $\Delta SW_2$ と収量との間には正の相関関係( $r = 0.916^*$ )が認められた。したがって $\Delta SW_1$ に追加される $\Delta SW_2$ の多少が収量差となっているので、 $\Delta SW_2$ に関与する要因を検討した。

登熟後半の乾物生産を考えると、この期間に生産された炭水化物は穂に移行するのは当然であるが、稈・葉鞘部にも再蓄積されることが知られている。この稈・葉鞘部への炭水化物の再蓄積は、粉の炭水化物受取能力の低下を意味しており、これは登熟後期の粒重増加には無視し得ない要因である。そこで、 $\Delta SW_2$ すなわち、後期の粒重増加は、この期間の光合成能力と粉の炭水化物受取能力とによって決定されると考えた。ここでは、光合成能力を後期( $\Delta SW_2$ 形成期間)の平均葉身窒素量で代表させ、粉の炭水化物受取能力については、これを示す指標として登熟可能率という概念を打ち出した。すなわち、

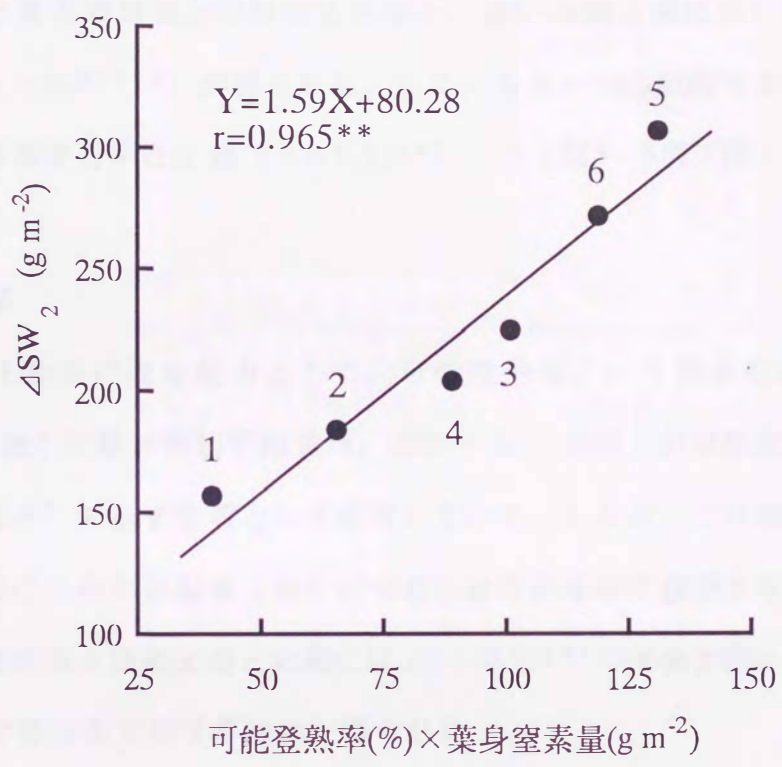
$$\text{可能登熟率} = [1 - (\text{粗粉千粒重} / \text{精粉千粒重})] \times 100 \dots (1)$$

で算出した(第5-4表)。ここで、粗粉とは無選別の粉のことであり、精粉とは比重1.06で沈んだ粉のことである。この式からわかるとおり、これは粉にあとどれだけつめこめるかを示す指標となり得ると判断した。

この両者の積と $\Delta SW_2$ との関係を第5-7図に示した。両者の間には極めて高い正の相関関係( $r = 0.966^{**}$ )が成立した。独立変数(X)に含まれる両形質を分けて検討すると、可能登熟率と $\Delta SW_2$ の間には $r = 0.961^{**}$ の関係があ



第5-6図 粗粉重の穂揃後15日までの増加量( $\Delta SW_1$ )  
とそれ以降の増加量( $\Delta SW_2$ ).



第5-7図 子実生産能力(穂揃後15日の可能登熟率×後期の平均葉身窒素量)と穂揃後16日から収穫日までの粗粉重増加量(ΔSW<sub>2</sub>)との関係。図中の数字は処理区番号。

り、葉身窒素量と $\Delta SW_2$ との間の相関係数は $r = 0.910^*$ であった。それ故に、これらの両形質で $\Delta SW_2$ の増減が説明できると考えた。ただし、可能登熟率は登熟前半で決定される形質なので、 $\Delta SW_2$ の決定期間ではいかんともし難い形質である。一方、後期の平均葉身窒素量は可變的形質なので、これについて検討する。

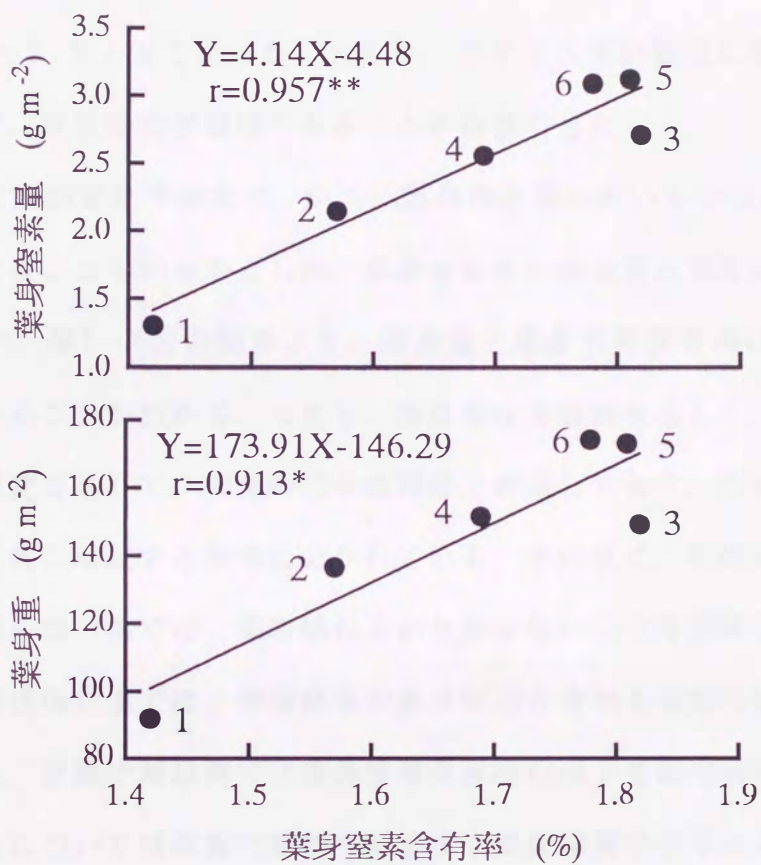
葉身窒素量は葉身窒素含有率と平均葉身重との積で示されるので、まず、葉身窒素含有率と葉身窒素量との関係を見ると、第5-8図上図に示したように高い正の相関( $r = 0.957^{**}$ )が得られた。また、もう一つの要因である平均葉身重は平均葉身窒素含有率と比例( $r = 0.913^*$ )した(第5-8図下図)。

### 考 察

粗の炭水化物受け取り能力として、可能登熟率という概念を導入したが、(1)式の粗粉千粒重/精粉千粒重は、津野・王(1988)が登熟度と呼び、登熟の良否を“重さ”で示す形質として提案している。したがって可能登熟率とは、炭水化物を粉にそのとき以後どれだけつめこめるかを示す指標となる。なお、収穫時の可能登熟率と登熟歩合との間には $r = -0.921^{**}$ の関係が認められ、津野・王(1988)の報告を支持する結果が得られた。

ここで可能登熟率の決定要因を明らかにしておく必要がある。あらためて(1)式をみると、精粉千粒重は品種が同じであれば非常に変動が少ない形質(松島 1957)であり、第5-4表で精粉千粒重の処理間の変動係数を求めると、1.7%である。したがって、可能登熟率は、粗粉千粒重の大小で決定されることになる。前節で登熟前半は葉身窒素含有率の影響を強くうけることを指摘した。そこで、穂揃後15日における葉身窒素含有率と可能登熟率との間の相関係数を求めると、0.722で有意ではないが、2区を除けば $0.937^{**}$ となる。

この可能登熟率と葉身窒素含有率との関係を確かなものとするために、1994年に行った実験結果で検討した。1994年は、穂肥の施肥量と時期を



第5-8図 後期の葉身窒素含有率と葉身窒素量および葉身重との関係.  
 図中の数字は処理区番号.



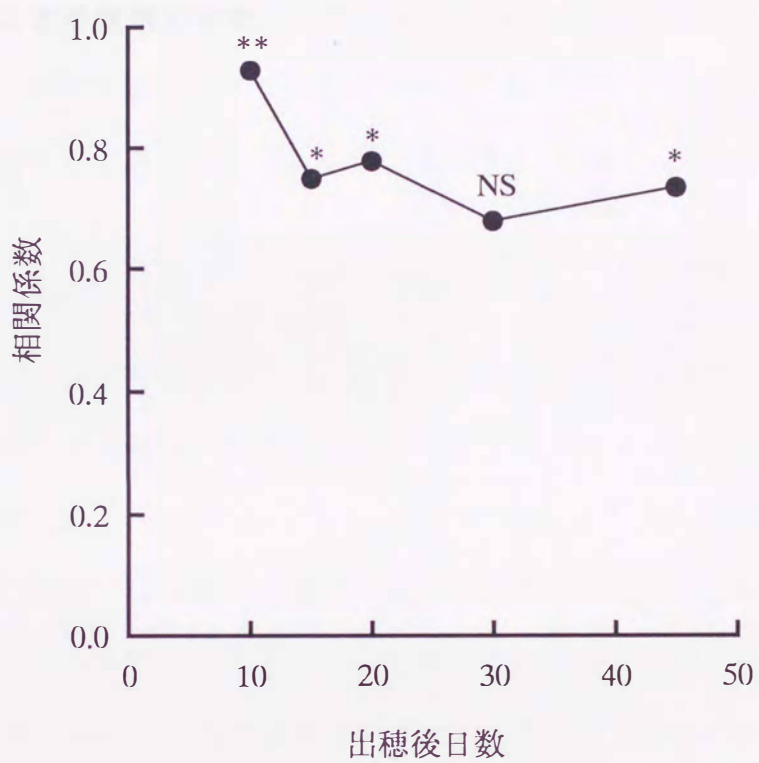
変えて葉身窒素含有率に差をつけた4区を設け、それらの半分を、受光態勢に差をつける目的で1株おきに、地際から20 cm部位で出穂7日前に剪除した。これら8区について可能登熟率と葉身窒素含有率との相関係数を計算すると、第5-9図に示す結果となった。個体密度を2分の1にするという極端な処理をしたにも係わらず、出穂後10日では、葉身窒素含有率と可能登熟率とは1%水準で有意な高い正の相関関係が成立した。なお、このときの葉身窒素含有率の範囲は、1.50~2.61%であった。つまり、当年でも登熟初期に葉身窒素含有率の高いものは、粒重増加が緩慢であることが指摘できた。

第5-7図で可能登熟率が大で、かつ、葉身窒素量の多いものほど $\Delta SW_2$ の増加量が大であることを明らかとした。葉身窒素量は葉身重と葉身窒素含有率の積で示されるが、第5-8図の関係より、葉身重と葉身窒素含有率は互いに関連して変動していることがわかる。つまり、葉身重は葉面積を通して、葉身窒素含有率は光合成速度を通して、個体の光合成速度を構成しており、両者は相補的な関係ではなく、共に増減する関係におかれている。それ故に、登熟後期まで葉身窒素含有率を高く保つ稲では、葉の枯れ上がりが少ないことを意味している。したがって、栽培技術の上では、穂揃期頃の葉身窒素含有率を過度にならないようにして、しかも、登熟中期以降では葉身窒素含有率の低下を防ぐ栽培管理が大切となるが、これについては次節で根の呼吸速度と葉身窒素含有率および葉面積との関連性より明らかにしていきたい。

### 摘 要

穂ばらみ期以後の窒素追肥量を変えて、登熟期の葉身窒素含有率に差をつける処理を行ったところ、穂揃後15日までの粒重に区間差は無かったが、穂揃後16日以降の粒重増加の多少が収量差となっていた。そこで、登熟後半の粒重増加に及ぼす影響について解析した。

登熟後半の粒重増加は、この期間の光合成能力と籾の炭水化物受け取り能力と



第5-9図 出穂後の経過にともなう葉身窒素含有率と可能登熟率との相関係数の変化。  
 \*\*, \* はそれぞれ1%, 5%水準で有意,  
 NSは有意差のないことを示す。

で決定されるとき、前者を期間平均葉身窒素量で代表させ、後者は可能登熟率  
 $= (1 - \text{粗粉重} / \text{精粉重}) \times 100$  と設定して算出した。これら 2 要因の積と登熟  
期後半の粒重増加量との間には高い正の相関が認められ、葉身窒素量が多く、可  
能登熟率が高いものほど登熟後半の粒重増加が大であった。

可能登熟率は粗粉重の大小で決定される要因であるが、これは葉身窒素含有率  
と高い正の相関関係があった。つまり、葉身窒素含有率が高いものは、粒重増加  
が緩慢であることを指摘できた。

### 第3節 登熟期の根の呼吸速度と葉身窒素含有率および葉面積との関係

第1節で登熟前半の粒重増加には初当たり葉面積がプラスの要因、葉身窒素含有率はマイナスの要因であること指摘し、第2節では、葉身窒素含有率は可能登熟率の決定要因であり、かつ登熟後半の粒重増加にはプラスの要因であることを明らかとした。したがって、穂揃期頃の葉身窒素含有率は過度に上げず、しかもそれを登熟後期まで低下させないことと、葉面積の拡大が望めない登熟期では、いかにそれを減少させないかが多収穫を挙げるうえで重要な問題となる。そこで本節では、葉身窒素含有率ならびに葉面積、特にシンク：ソースの表現形質である初当たり葉面積と、根の呼吸速度との関連性を明らかとしたい。

#### 材料と方法

第1、2節で述べた材料と方法で、初当たり葉面積、葉身窒素含有率および根の呼吸速度のデータを得た。根の全糖含有率は、ソモギ・ネルソン法で定量し、対乾物百分比で表示した。

また、上記の試験で得られた結果が、他の年次でも適用できるかどうかを検討するために、1985年と1990年の圃場試験で得られた値も用いた。両年も、鳥取大学農学部附属農場の面積が13aの圃場で実施し、供試品種はヤマビコで、栽培の概要および収量は第5-5、5-6表の通りである。

#### 結果

##### 1. 圃場条件下での根の呼吸速度の推移

まず、圃場条件下における根の呼吸速度の実態を示しておきたい。第5-10図に各年次の処理の平均値で根の呼吸速度の推移を示した。これをみると、根の呼吸速度は幼穂形成期では $2.5 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 以上と高く、穂ばらみ期から出穂期にかけて急激に低下し、 $1.0 \sim 1.5 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ の範囲にある。登熟期では登熟の進行とともに緩やかに低下した年（1985年、1990年）と、1991年お

第5-5表 試験区の施肥条件と収量ならびに収量構成要素（1985年）.

試験区 記号	基肥	穂肥		穂数 ( $m^2$ )	穎花数		登熟歩合 (%)	精玄米 千粒重(g)	収量 ( $g m^{-2}$ )
		表層	深層		1穂	$m^2$			
4-1.5	4	1.5	0	350	99.5	34775	78.1	23.37	584
4-4	4	0	4	363	102.2	37099	66.5	23.17	557
0-4	0	0	4	351	89.3	31344	76.4	23.34	548
0-8	0	0	8	361	101.0	36161	64.7	23.04	524

栽植密度：20株 $m^{-2}$ ，施肥量は $gN m^{-2}$ ．基肥は高度化成肥料(13-16-16)を施用．  
穂肥：表層はNK化成(16-0-20)で出穂前20日施用，深層は液肥(12-5-7)で出穂前34日に施用．

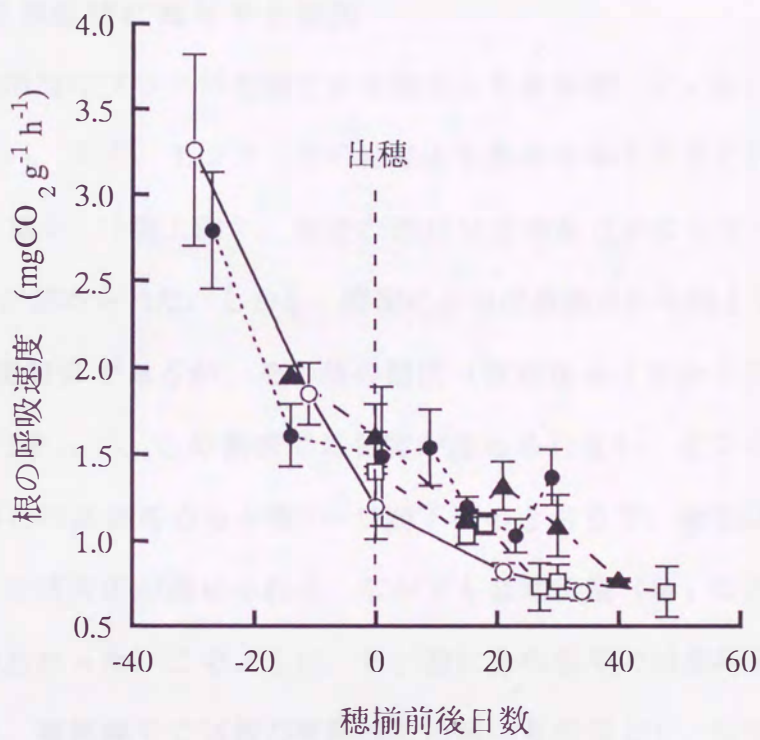
第5-6表 試験区の構成および収量構成要素 (1990年).

試験区	わら堆肥 (kg m <sup>-2</sup> )	N施用量 (g m <sup>-2</sup> )			穂数 (m <sup>-2</sup> )	穎花数		登熟歩合 (%)	精玄米千粒重 (g)	収量 (g m <sup>-2</sup> )
		B	-32	-20		1穂	m <sup>2</sup>			
1	0	6	-	4	387	74.6	28870	80.1	23.1	549
2	0	4	4	-	420	83.5	35070	70.9	22.8	556
3	0	4	-	4	395	75.0	29625	87.0	23.4	591
4	1.2	4	4	-	404	79.5	32118	79.4	22.7	549
5	1.2	4	-	4	387	77.5	25542	80.8	23.8	583
6	0	6	-	4	406	72.8	29557	83.6	22.4	557
7	1.2	6	4	-	404	80.5	32522	65.2	22.6	512
8	1.2	6	-	4	400	76.9	30760	80.5	23.0	559
9	0	6	-	4	404	81.9	33088	77.2	23.3	596

試験区9は排水溝設置. 試験区5~8は耕深20cm, 他は耕深15cm.

出穂期: 8月22日, 収穫期: 10月17日.

Bは基肥で化成肥料(12-18-14)で施用. 全区に6月27日にNK化成(16-0-20)を12.5g m<sup>-2</sup>施用. -32, -20は出穂前日数. 実肥を全区の穂揃期に2gN m<sup>-2</sup>施用.



第5-10図 幼穂形成期以降における根の呼吸速度の推移.

○ : 1985年, □ : 1990年, ▲ : 1991年,  
● : 1992年.

記号に付した棒線は標準偏差.

よび1992年のように穂揃後30日でも $1.4 \text{ mgCO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 程度と、高い値を維持した年とがあった。後者は兩年とも、穂肥として窒素を多追肥して（第5-1, 5-3表参照）、間断かんがいに心がけた。この根の呼吸速度と収量とは直接結びつくものではないが、1992年の収量を第5-3表でみると、最高で $670 \text{ gm}^{-2}$ と他の年次より高い収量を得ることができた。この区は3.5万粒もの穎花数をもちながら、登熟歩合は80%と高い値であった。

## 2. 籾当たり葉面積に關与する要因

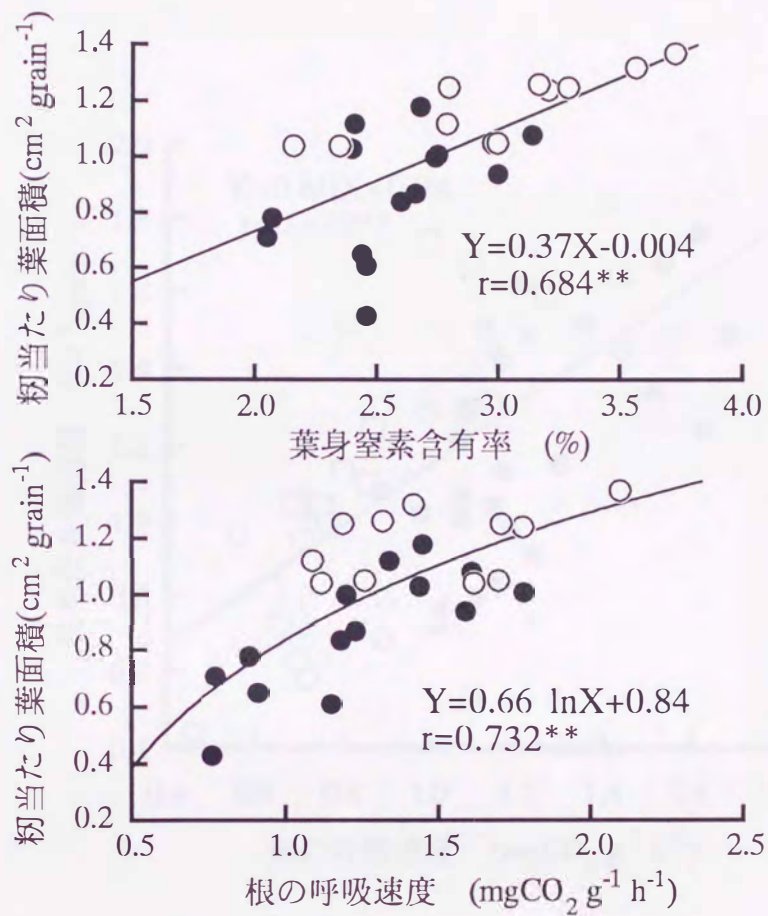
さて、粒重増加にプラスの要因である籾当たり葉面積（F/籾）に關与する要因を検討したい。まず、1991年の結果より葉身窒素含有率とF/籾との關係を求めると（第5-11図上図）、兩者の間には全体をこみにして $r = 0.684^{**}$ という正の相関が認められた。しかし、詳細にみれば穂揃日から同15日までは $r = 0.816^{**}$ の相関關係であるが、その後の期間（穂揃後21日から同40日）では $r = 0.462^{NS}$ であって、この期間では相関が認められない。ところが、根の呼吸速度とF/籾との關係をみると第5-11図下図のとおりで、全体は対数式で示される高い正の相関關係が認められた。なかでも登熟後期（●）のF/籾との相関が高いことがわかった。このように、F/籾は登熟前半では葉身窒素含有率と高い相関を持ち、登熟後半では根の呼吸速度の高いものほどF/籾が高く維持されたのである。

第5-11図で示した根の呼吸速度とF/籾との高い正の相関關係は、1991年の3系統をこみにして得られた結果であるが、他の年次では同一の品種（ヤマビコ）を供試しているので、年度が異なっても根の呼吸速度とF/籾との間に相関關係が得られるかどうかを検討した。その結果、第5-12図に示すように、兩者は年次が異なっても1本の回帰式で示される高い正の相関關係が成立した。

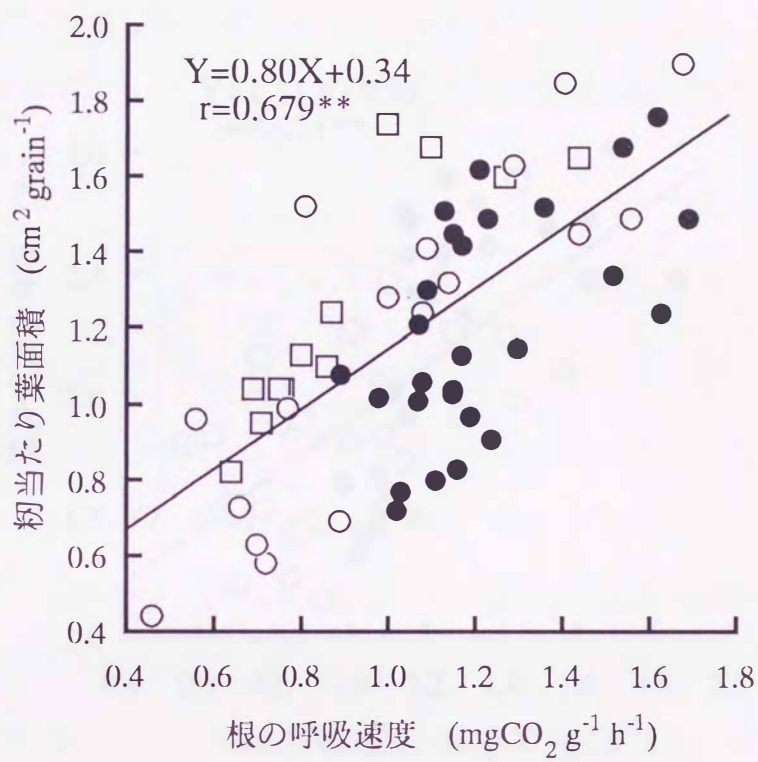
## 3. 葉身窒素含有率と根の呼吸速度との關係

根の呼吸速度が高い個体は葉身窒素含有率も高いことは、第3章のポット栽培した水稻で得られた結果であるが、圃場試験でこれを確かめると、第5-13図の

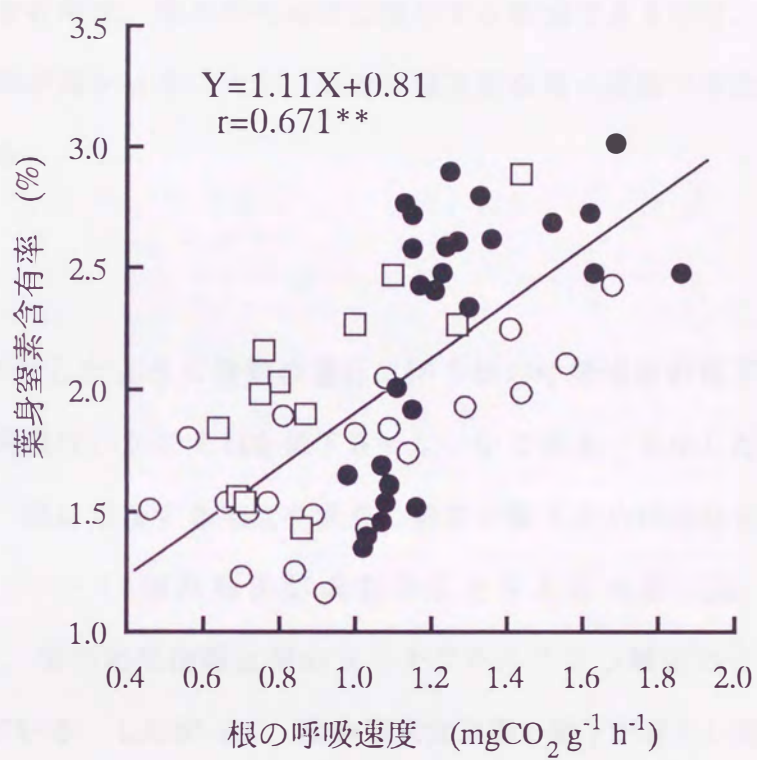




第5-11図 登熟期における葉身窒素含有率および根の呼吸速度と葉当たり葉面積との関係。  
○:穂揃日～穂揃後15日, ●:穂揃後21日～40日。



第5-12図 登熟期における根の呼吸速度と穂当たり葉面積との関係.  
 品種：ヤマビコ.  
 □：1985年, ○：1990年, ●：1992年.



第5-13図 登熟期における根の呼吸速度と葉身窒素含有率との関係。  
 品種：ヤマビコ。  
 □：1985年，○：1990年，●：1992年。

関係が得られた。根の呼吸速度と初当たり葉面積との関係と同様に、年次をこみにしても高い相関関係が得られたのである。

この関係を確実なものとするために、第5-7表に過去に湖山で得た登熟期の根の呼吸速度と根および葉身窒素含有率の値をあわせて示した。登熟期の根の平均呼吸速度の高い年で平均葉身含有率が高いことがわかる。同表には根の窒素含有率も表示しているが、1991年と1992年の根の窒素含有率は高い値であった。根の窒素含有率は、根の呼吸速度に關与する要因であるので、兩年において根の窒素含有率が高かったことが、根の呼吸速度を高く維持できた一因であることが指摘できる。

### 考 察

第5-10図に示したように登熟の進行に伴う根の呼吸速度の低下は避けがたいものである。問題はいかにそれを低下させないかである。老化した根は窒素吸収力が劣るので、穂に集積する窒素を葉身の窒素で賄うために枯れ上がりが大となり、第5-11、5-12図の関係が成立すると考えられる。延・太田の成績(1973)でも、葉の老化指数と根の $\alpha$ -ナフチルアミン酸化力との間に正の相関関係を認めている。したがって、葉身窒素含有率の低下が著しい登熟中期では、根の呼吸速度を高く維持して窒素吸収を促さなければならない。

根の呼吸速度に關与する要因として、すでに根の窒素含有率と根の全糖含有率をあげた(第4章参照)。1991年の試験でも根の窒素含有率と根の全糖含有率の2要因を説明変数、根の呼吸速度を目的変数、として重回帰分析を行った。その結果、0.807\*\*という高い重相関係数が得られ、ポット栽培と同様の結果が圃場条件下でも成立した。両要因の關与度を標準偏回帰係数で比べると、窒素が0.46、全糖が0.56と若干ながら全糖含有率の方が呼吸速度には強く關与していることがわかった。

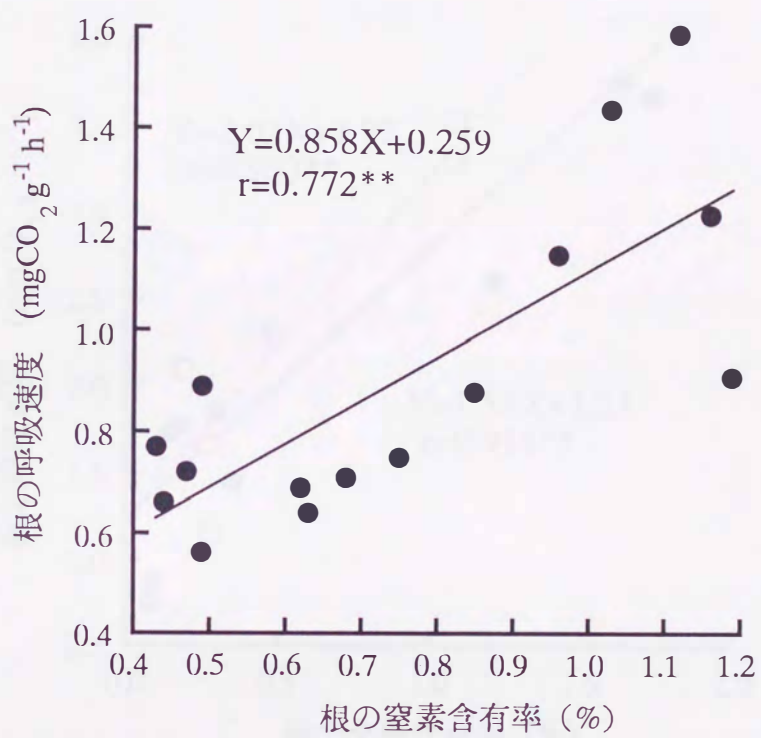
根の窒素含有率と根の呼吸速度との関係について言えば、これまでに得られた

第5-7表 登熟期における根の呼吸速度, 根部窒素含有率  
および葉身窒素含有率.

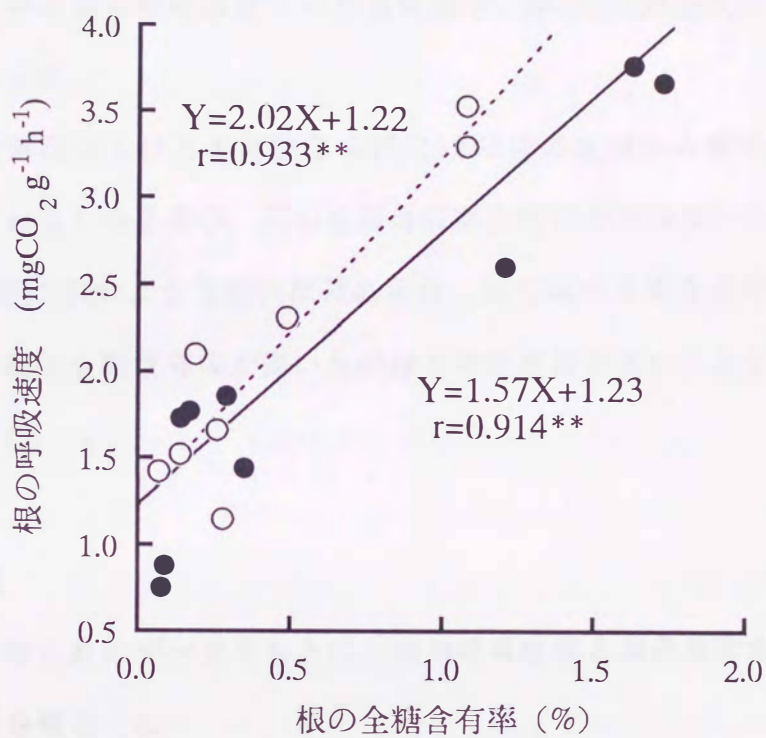
年次	圃場	根の呼吸速度 ( $\text{mgCO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	根部窒素含有率 (%)	葉身窒素含有率 (%)	n
1985	湖山	$0.91 \pm 0.25\text{a}$	$0.66 \pm 0.07\text{b}$	$2.03 \pm 0.42\text{a}$	12
1990	湖山	$1.07 \pm 0.35\text{ab}$	$0.55 \pm 0.10\text{a}$	$1.87 \pm 0.29\text{a}$	15
1991	湖山	$1.28 \pm 0.28\text{bc}$	$1.06 \pm 0.10\text{d}$	$2.60 \pm 0.34\text{b}$	9
1991	北条	$1.49 \pm 0.34\text{c}$	$1.12 \pm 0.08\text{d}$	$3.09 \pm 0.46\text{c}$	9
1992	湖山	$1.36 \pm 0.24\text{c}$	$0.89 \pm 0.06\text{c}$	$1.99 \pm 0.59\text{a}$	24

数値は穂揃期, 穂揃後15日, 同30日の平均値±標準偏差.

同一アルファベットは年次間で5%水準で差のないことを示す.



第5-14図 出穂後26日から34日における根の窒素含有率と根の呼吸速度との関係.



第5-15図 根における窒素含有率別にみた全糖含有率と呼吸速度との関係.

- :根部窒素含有率が0.8±0.1%,
- :根部窒素含有率が1.3±0.1%.

両者の相関関係は、幼穂形成期から登熟期にかけて得られたものである。根の窒素含有率も呼吸速度もageの進行とともに低下するので、両者の相関関係はageの反映（生長相関）ではないかとの疑問が生じる。そこで過去に圃場試験で得られたデータについて、出穂後26日から同34日までの同一時期で、根の窒素含有率と根の呼吸速度との関係を検討し、その結果を第5-14図に示した。この図からわかるとおり、同一時期でも両者の間には正の相関が得られた。したがって、根の窒素含有率と根の呼吸速度との相関関係は、単なるageを反映したものでないことがわかった。

さらに、登熟期における本試験ならびに1985年の成績から根の窒素含有率が一定の範囲にあるものを選び、根の全糖含有率と根の呼吸速度との関係を求めると、第5-15図に示すような関係が認められ、同じ根の窒素含有率であれば、呼吸基質である根の全糖含有率が高いものほど呼吸速度が高いことを明確にとらえることができた。

## 摘 要

圃場試験で得られたデータをもとに、根の呼吸速度と葉身窒素含有率および葉面積との関係を検討した。

粒重増加と密接な関係にある籾当たり葉面積は、登熟前半では葉身窒素含有率と高い相関を持ち、登熟後半では根の呼吸速度と正の相関関係が認められた。これは、根の呼吸速度が高い個体の葉身窒素含有率が高く、葉の枯れ上がりが少なかった結果であり、登熟後期まで根の呼吸速度が低下しないことが葉面積を高く保つゆえんであった。

また圃場試験でもポット栽培と同様に、根の呼吸速度には根の窒素含有率と根部全糖含有率の2要因が関与していることを確認し、同じ根の窒素含有率であれば、全糖含有率が高いほど高い呼吸速度であった。