

## 籾当たり葉面積と葉身窒素濃度からみた水稻登熟過程の解析

— 特に根部呼吸速度との関連において —

津野幸人\*・山口武視\*・中野淳一\*・近藤 寿\*\*

### Analysis of Grain Filling Process of Rice Plant from the View Point of Sink - Source Relationship and the Role of Root Respiration in Its Relationship

Yukindo TSUNO\*, Takeshi YAMAGUCHI\*, Junichi NAKANO\* and Hisashi KONDO\*\*

Nine experimental plots, heavy or light fertilization, deep tillage, and dosing of rice-straw-compost, had 512–596g/m<sup>2</sup> of brown rice yields. It seems possible that the yields were boosted by increasing the ratio of weight of 1000-whole-grains to the weight of fully ripened grains. In order to make clear the factors affecting the ripening process, the increasing amount of grain weight at the ripening period was divided into parts,  $\Delta SW_1$  (0 to 16 days after heading) and  $\Delta SW_2$  (16 days after heading to harvest time). As the results of a multiple regression analysis for  $\Delta SW_1$ , two factors, the leaf area per spikelet (F/S) and leaf nitrogen content (LN%) were shown 0.882\* of a regression coefficient. According to the analysis, F/S had a positive effect to  $\Delta SW_1$ , and LN% had a negative effect to  $\Delta SW_1$ . Therefore, the index of  $(F/S) / (LN\%)$  showed a high positive correlation ( $R=0.876^*$ ) to  $\Delta SW_1$ . In the later period of ripening,  $\Delta SW_2$  had a significant multiple correlation coefficient ( $r=0.918^*$ ) with F/S and LN%, and also a close correlation was found between  $\Delta SW_2$  and LN% ( $r=0.906^*$ ). Throughout the ripening period, root respiratory rate had high positive correlation to F/S and LN%, respectively. It is concluded that excessive high LN% rather inhibits the grain filling in an early period, and that higher LN% increases the accumulation rate of grain filling through the increasing of photosynthesis of leaf in a later period.

#### 結 言

多収穫をめざす稲作をみると、単位面積当たり籾数は多く確保できながらも、登熟歩合が低下して所期の目標

が達成できない場合が多い。これは、肥大の不十分な玄米、とくに粒厚の薄い米粒の増加<sup>19)</sup>によるものであり、登熟後期における米粒の発育不全に起因するものが多く、不授精に起因する不稔籾の増加によるものは少ない。津

\*鳥取大学農学部農林総合科学科生物生産学講座

\*Department of Agrobiolgy, Faculty of Agriculture, Tottori University

\*\*広島県吉田高等学校教諭.

野・王<sup>15)</sup>は、登熟過程の解析にあたって、登熟期を出穂後15日までの前期と、それ以後の後期に2分し、前期は胚乳部容積が決まる時期であり、出穂15日後の容積はすでに完熟期の粗玄米千粒重と1.0に近い相関係数を示すこと、そして、胚乳部容積の決定にあずかるころの登熟前期の生籾重の増加は、籾当たり葉面積と穂軸重（枝梗を含む）の両形質で94%説明できるとした。さらに、出穂後15日以後の粒重増加は、茎に貯蔵された炭水化物の転流とその期間の光合成量に依存しており、光合成量は籾当たり葉面積に左右される、ということ明らかにした。これに加えて、籾当たり葉面積は、登熟期間の根の呼吸速度と高い正の相関のあることも指摘した。これらの結果は、日交雑種を含んだ非常にタイプの異なる4品種を材料として得られたものである。

上記論文<sup>15)</sup>の基本となる考え方は、粗籾千粒重/精籾千粒重（登熟度）が登熟歩合と高い正の相関（ $r = 0.974^{***}$ ）のあることより、粗籾千粒重を高めるのが登熟歩合の向上に結びつくというものである。そして、粗籾千粒重増加の量的要因として籾当たり葉面積、質的要因として光合成速度と高い相関をもつ葉身窒素濃度を取り上げたのである。

我々は、鳥取大学農学部附属農場において水稻の多収獲栽培を試みてきたが、単位面積当たり籾数は十分に確保したが登熟歩合の低下により収量水準は600 g/m<sup>2</sup>台に止まった。そこで、登熟歩合低下の原因を的確に捉えるため、また、上述した考え方<sup>15)</sup>の適用で、栽培条件に起因する1品種内の粒重増加の差異を説明することができるかどうか、を明らかにするために以下に述べる試験を1990年に実施して、幾つかの知見を得たので報告する。

## 材料と方法

品種ヤマビコを第1表にかかげた9種の耕種条件で栽培した。堆肥は、前年の秋に稲藁1トンに菜種油粕60kgを加えて堆積・調整し、5月22日の荒起こし時に施用した。各区2aの1区制で、4.3葉齢の苗を1990年6月5日に20.7株/m<sup>2</sup>の密度で機械移植した。出穂期は全区8月22日であり、収穫は全区10月17日に行なった。

収量調査は抜き取り調査株と近接した場所1aを全刈りで行い、粗玄米を1.8mm幅の縦目篩で選別して収量（水分15%）とした。この年は、出穂期まで天候は順調であったが、9月中旬に秋雨前線が停滞したため日照不足を招いた。しかし、全県の作況指数は平年並みの101であった。

出穂後2日、同16日、同30日および収穫期に、それぞれ各区の平均穂数に最も近い2株を慎重に選んで、株を中心として20cm×30cmの面積で深さ20cmの立方体に土を根ごと丁寧に掘取り、根部を洗い出した。そして既報<sup>14)</sup>の手続きにより根からのCO<sub>2</sub>発生量を測定し、30℃の値に補正して呼吸速度とした。さらに、その2株の全葉身緑色部面積を自動葉面積計で測定した。また、その株の穂を粗籾千粒重の調査材料とした。稲体各部位の全N量をセミ・マイクロケルダール法で定量した。葉身、稈・葉鞘部のP、K含有量はモリブデン・イエロー比色法と原子吸光法でそれぞれ測定した。化学分析の結果はすべて乾物当たりの百分比で示した。

試験結果のとりまとめに当たって、登熟進行度の判定には粗籾千粒重を用いた。これは、前記した理由の他に、測定が容易な形質であるからである。さらに、既報<sup>15)</sup>の考え方に従って、粗籾千粒重の増加を登熟前期分（ $\Delta SW_1$ : 出穂～16日後）と同後期分（ $\Delta SW_2$ : 出穂16日後～収穫期）に分けて、それぞれに関与する要因を解析した。調査材料が標本全体形質をどの程度代表しているかが問題となるが、第1表で平均穂数に最も近い穂数をもつ代表株2株からの計算収量と全刈りによる収量とがかなりよい一致をみている。これより上記抽出方法による粗籾千粒重は区全体を代表しているとみなした。なお、各区40株の穂数の変異係数は7、8区が22%で、他の区は16～19%の範囲であった。

この試験は、各種の処理が収量に及ぼす効果をみるのが目的ではなくて、試験区間で生じた粒重増加の差をなるべく単純な形質を指標として統一的に説明しようとするものである。従って、主に問題とするのは各形質の区間における変動幅であり、それを説明し得る理論を導こうというのである。これらの点を考慮しながら論述していきたい。

## 結果および考察

### 1. 収量ならびに生育の概況

まず、第1表で収量構成要素を検討すると、1株穂数は19～20本の範囲で区間に大きな差はなかった。それ故、m<sup>2</sup>当たりの穂数も390～420本と接近した。1穂籾数は区間の差が大きく、5区の66個が最少で、2区の84個が最多であった。表面排水溝を設けた9区を除けば、出穂前32日に穂肥を与えた区は同20日前施用の区よりも平均8粒多くなった。m<sup>2</sup>当たりの籾数は、最少の1区約2.9万粒より最多の2区3.5万粒まで、約6千粒の差が生じた。登熟歩合は、7区の65.2%を最低として最高は3区の

第1表 試験区の構成および収量構成要素.

試験区	N施用量 (g/m <sup>2</sup> )			穂 数		穎 花 数		登 熟 歩 合 (%)	千 籾 当 り 収 量 (g)	精 玄 米 千 粒 重 (g)	収 量 (g/m <sup>2</sup> )	
	B	-32	-20	穂/株	穂/m <sup>2</sup>	個/穂	×10 <sup>3</sup> 個/m <sup>2</sup>				全刈り	(2株)*
1	6	—	4	18.7	387	74.6	28.89	80.1	19.0	23.1	549	(535)
2	4	4	—	20.3	420	83.5	35.08	70.9	15.8	22.8	556	(567)
3	4	—	4	19.1	395	75.0	29.64	87.0	19.9	23.4	591	(603)
④	4	4	—	19.5	404	79.5	32.12	79.4	17.1	22.7	549	(579)
⑤	4	—	4	18.7	387	66.0	29.99	80.8	19.4	23.8	583	(577)
6	6	—	4	19.6	406	72.8	29.54	83.6	18.9	22.4	557	(553)
⑦	6	4	—	19.5	404	80.5	32.52	65.2	15.7	22.6	512	(479)
⑧	6	—	4	19.3	400	76.9	30.74	80.5	18.2	23.0	559	(569)
⑨	6	—	4	19.5	404	81.9	33.10	77.2	18.0	23.3	596	(595)

1. 試験区：□は稲わら堆肥1.2kg/m<sup>2</sup>施用。○は排水溝設置。太肉数字は耕深20cm, 他は耕深15cm。出穂期：8月22日, 収穫期：10月17日。

2. 全区共通の施肥条件 基肥(記号B, 6月2日)：P-4.4, K-8(g/m<sup>2</sup>)。分げつ肥(6月27日)：N-2, K-2.5(g/m<sup>2</sup>)。穂肥：出穂前日数-32と-20に施用。実肥：穂揃期に2gN/m<sup>2</sup>。

\*：代表株2株より計算。

第2表 出穂後2日および同30日における生育量に関する形質ならびに根部呼吸速度 (r<sub>0</sub>) と出穂前の群落葉色。

区 No.	葉面積指数		茎 当 り F		葉 身 N %		r <sub>0</sub>		葉 色 板 示 度 (月/日)		
	2 日	30 日	2 日	30 日	2 日	30 日	2 日	30 日	7/10	7/24	8/19
1	5.5	2.1	142	55	2.43	1.54	1.68	0.66	5.6	4.6	5.4
2	6.1	1.9	146	46	2.25	1.50	1.41	0.72	5.5	3.9	5.0
3	4.4	3.0	112	76	1.99	1.54	1.44	0.77	5.5	3.9	5.0
④	5.2	2.2	128	55	1.93	1.49	1.29	0.89	5.5	4.8	5.1
⑤	4.0	2.5	102	65	2.12	1.85	1.24	0.58	5.5	4.8	5.3
6	4.9	3.2	121	78	2.27	1.69	0.94	0.85	5.8	4.6	5.7
⑦	4.8	2.0	118	44	2.10	1.67	1.37	0.75	5.6	4.5	5.5
⑧	5.4	2.5	136	63	2.17	1.62	1.65	0.88	5.6	4.5	5.5
⑨	4.8	3.1	120	77	2.11	1.80	1.56	0.56	5.8	4.8	5.3

F：葉面積, cm<sup>2</sup>. N%：乾物当り. r<sub>0</sub>：mgCO<sub>2</sub>gDW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, 30°C. 葉色板：フジカラースケール.

87.0%であった。単収をみると、最高は9区の596g/m<sup>2</sup>、次いで3区の591g/m<sup>2</sup>であり、最低は7区の512g/m<sup>2</sup>であった。7区の単収は区間で最低とはいえず、当大学研究農場の平均水準以上であるが、登熟歩合が区間で最低のため最下位となった。登熟歩合より第3表脚注の式により登熟度(D)を算出すると7区は76.7%であった。単収最

高の9区は、籾数が3.3万個と多いにもかかわらず登熟度を85.7%に保ち、かつ精玄米千粒重が高めの23.3gであった。

登熟期間の生育に関する形質は第2表にかかげた。処理区の中で特徴ある生育を示したのは2区で、出穂2日後では区間最大の葉面積指数6.1が同30日後で1.9となり、

第3表 粗粃千粒重 (SW) の前期増加量 ( $\Delta SW_1$ ) および後期増加量 ( $\Delta SW_2$ ) とその関連形質の数値.

区 No.	$\Delta SW_1$ (g)	$\Delta SW_2$ (g)	SW (g)	$\Delta SW_1/SW$ (%)	D (%)	F/粃 (cm <sup>2</sup> )		LN%		PN% 前期	穂軸重(g) 前期
						前期	後期	前期	後期		
1	18.5	4.2	22.7	81.5	87.6	1.73	0.73	2.18	1.59	1.14	0.810
2	17.7	3.5	21.2	83.5	81.4	1.57	0.57	2.04	1.49	1.11	0.800
3	17.5	6.0	23.5	74.5	92.3	1.39	0.97	1.88	1.55	1.13	0.835
④	18.1	2.1	20.2	89.6	87.2	1.52	0.66	1.89	1.47	1.10	0.785
⑤	15.0	8.8	23.8	63.0	88.1	1.32	0.83	2.03	1.85	1.27	0.795
6	16.4	6.3	22.7	72.2	90.0	1.61	1.08	2.10	1.69	1.28	0.790
⑦	15.0	5.9	20.9	71.8	76.7	1.30	0.61	2.01	1.67	1.22	0.710
⑧	16.0	5.1	21.1	75.8	87.9	1.53	0.80	2.08	1.62	1.28	0.815
⑨	16.2	5.3	21.5	75.3	85.7	1.37	0.93	2.07	1.68	1.06	0.815

F/粃: 粃当たり葉面積. LN%: 葉身窒素濃度. PN%: 穂の窒素濃度. 穂軸重: 粃千個当たり穂軸+枝こう重.  
D(登熟度): 粗粃千粒重/精粃千粒重, 津野・王の式<sup>11)</sup>(登熟歩合, %) =  $1.48D - 49.5$ より求めた.

69%もの葉面積を減じた。一方, 出穂2日後で4.0~4.9の葉面積指数であった3, 5, 6区では, 同じ期間に32~37%の葉面積を減らしたにすぎない。1茎当たり葉面積は, 出穂2日後で102~146cm<sup>2</sup>の範囲であったが, 同30日後で44~78cm<sup>2</sup>となり, 収量最低の7区が最少であった。

出穂2日後の葉身N%は1, 2, 6区が2.25~2.43%の範囲で, 比較的高い値を示したものの, 同30日後では全区が2%を割り1.5~1.9%の範囲まで低下した。この原因は, 他年度の試験において実肥の量または回数を増しても, 葉の枯れ上がりと葉身N%の低下を防止出来なかった点より, 透水性1mm/日以下という水田条件がもたらす根部機能の低下によるものと考えられる。

そこで, 第2表の根部呼吸速度をみると, 出穂2日後では1, 8, 9区が $1.5\text{mgCO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ 以上の値であったが, 登熟の進行と並行して同30日後では全区が0.9以下に低下した。これ以後の低下傾向は緩慢であるが区間最低で0.5まで低下した。

出穂に至るまでの群落葉色の変化を葉色板の示度で見ると, 分けつ期から幼穂形成始期にかけて一旦低下し, 穂肥施用により出穂前に再び高まるという経過であった(第2表)。

## 2. 登熟前期における粗粃千粒重増加量 ( $\Delta SW_1$ ) の解析

登熟期間を出穂から16日後までと, その後収穫期までとに二分して, それぞれの期間の粗粃千粒重増加量を記号 $\Delta SW_1$ ,  $\Delta SW_2$ で表示し, それらの値を第3表にあげ

第4表 粗粃千粒重 (SW) の前期増加量 ( $\Delta SW_1$ ) と後期増加量 ( $\Delta SW_2$ ) に相関を持つ形質とそれらの間の相関係数.

登熟 期間	形質	F/粃	F/茎	LN%	PN%	$\Delta SW$
前期	LAI	0.832**	0.897**	0.317	-0.234	0.631*
	F/粃	1.000	0.900**	0.509	-0.531	0.717*
	F/茎		1.000	0.332	-0.053	0.854**
	LN%			1.000	0.278	-0.078
	PN%				1.000	-0.621*
後期	LN%	0.409	0.375	1.000	-	0.906**

略号: LAI=葉面積指数. F=葉面積(cm<sup>2</sup>).

LN%=葉身窒素濃度. PN%=穂の窒素濃度.

た。ただし,  $\Delta SW_1$ には出穂時の粃殻重約2gを含む。

$\Delta SW_1$ の最大値は1区の18.5gで, 最小値は5, 7区の15.0gであった。収穫期の粗粃千粒重(SW)に占める $\Delta SW_1$ の比率は, 72%(6, 7区)~90%(4区)の範囲であり, 平均すると76.4%となる。この登熟前期の2週間で登熟が8割近くまで進行したという結果である。

さて, そこで全区の $\Delta SW_1$ を一括して, これと有意な相関関係を示す形質を探索したところ, 第4表の4形質すなわち葉面積指数(LAI), 粃当たり葉面積(F/粃), 1茎当たり葉面積(F/茎)および穂部窒素濃度(PN%)にそれを認めた。これらの内で葉面積に関する形質は互いに高い正の相関をもつことが第4表の相関行列よりう

第5表 粗籾千粒重の前期増加量 ( $\Delta SW_1$ ) ならびに後期増加量 ( $\Delta SW_2$ ) を目的変数とした重回帰分析

$\Delta SW$	PN %	F / 茎	F / 籾	LN %	穂軸重	Y 切片	重相関係数
$\Delta SW_1$	-0.84	-	5.80	-	3.86	14.92	0.929*
	(-0.56)	-	(0.65)	-	(0.11)	-	
	-	-	8.43	-7.62	6.34	14.66	0.897*
	-	-	(0.95)	(-0.57)	(0.17)	-	
	-8.79	-	6.10	-	-	18.01	0.924**
	(-0.58)	-	(0.69)	-	-	-	
$\Delta SW_2$	-	0.11	-	-	10.56	-3.51	0.899**
	-	(0.79)	-	-	(0.28)	-	
	-	-	9.09	-8.06	-	19.60	0.882*
	-	-	(1.02)	(-0.60)	-	-	
	-	0.05	-	11.43	7.57	-22.41	0.944**
	-	(0.26)	-	(0.70)	(0.21)	-	
$\Delta SW_2$	-	-	1.54	12.93	3.88	-20.08	0.992**
	-	-	(0.14)	(0.80)	(0.11)	-	
	-	-	1.80	13.64	-	-18.32	0.918**
	-	-	(0.16)	(0.64)	-	-	

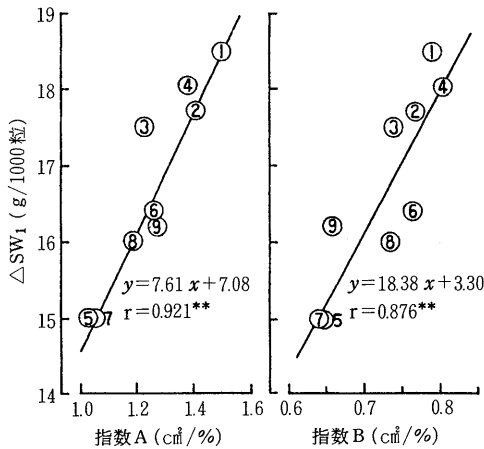
注. 略号は第4表と同じ。( )内の数字は標準偏回帰係数。

かがえる。津野・王<sup>15)</sup>は登熟前期の生籾重増加量を目的変数とし、F/籾と穂軸重とを説明変数とした重回帰分析で0.969\*\*という高い重相関係数を得ているので、本試験ではこれらにPN%を加えた3要因を説明変数として $\Delta SW_1$ について重回帰分析を行なうと、重相関係数は0.929\*であった(第5表)。つまり、これら3要因で前期粒重増加を86%説明できるという結果であるが、各要因の標準偏回帰係数のうち穂軸重のそれが0.11と最も低く、これの $\Delta SW_1$ に関与する程度が他の2要因よりも低い。これに関して、穂軸重の関与度が大きであった別報<sup>15)</sup>とは異なり、本試験では1品種を用いたので穂軸重の変異幅が小さいので、このウェイトが減じたのであろう。

事実、第5表にあるとおりF/茎と穂軸重を説明変数とすると0.899\*\*の重相関係数がえられ、籾当たり穂軸重は籾への物質転流の良否に係わる形質として位置づけるべきであろう。この穂軸重は、穂首節間直下の第1節間重と負の相関( $r = -0.85**$ )があり、穂の外郭形成期と第1節間重増加期がほぼ一致する<sup>6)</sup>ことより、これら両器官で構造物質の分配を巡る競合のあることが推察される。

一方、PN%とF/籾を説明変数として同じく重回帰分析を行なうと、重相関係数は0.924\*\*であって、この2要因でも前記3要因と同程度の説明が期待できる。注目すべき点は、重回帰式の係数の符号である。つまり、 $\Delta SW_1$ に対してF/籾はプラスに、PN%はマイナスに作用することを示している。この点に着目してF/籾をPN%で除して指数Aを作り、これと $\Delta SW_1$ との関係を求めると、第1図左図のとおり高い正の相関関係が成立し、係数は0.921\*\*であった。

第5表で、PN%同様にLN%も $\Delta SW_1$ にマイナス要因として作用しているの、F/籾をLN%で除して指数Bを算出し、これと $\Delta SW_1$ との関係を図示したのが第1図右図である。指数Bでも同Aの場合と同様に $\Delta SW_1$ の区間差が説明できるのである。すなわち、1区において大きな $\Delta SW_1$ が得られたのは、籾当たり葉面積が中で穂の窒素濃度が比較的低い値であったからである。また、5, 7区の $\Delta SW_1$ が小であったのは、1区の場合と逆の理由によるものである(第3表参照)。なお、本試験の場合は葉面積指数6.1が最大であって、登熟の進行に伴って葉面積は減るのであるから、F/籾に係わる受光エネルギーは考慮しなかった。



第1図 指数A, Bと $\Delta SW_1$ との関係。

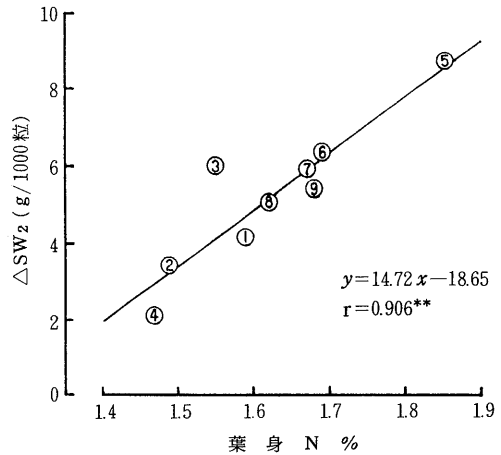
指数A=(F/籾)÷PN%, 指数B=(F/籾)  
÷LN%  
丸囲み数字は試験区No.

なお、玄米のN%は稲体のそれを反映するものであり、登熟後期のPN%は玄米のN%に近いと考えられるが、高橋<sup>7)</sup>のN施用量を段階的に変えた試験で、収穫期の籾と玄米それぞれのN%の間の相関係数を算出すると0.947\*\*の値が得られた。

この項の結果を要約すると、シンク：ソース比の量的表現形質であるF/籾は $\Delta SW_1$ に対してプラスに作用する。他方、ソース側の光合成速度に関与するLN%<sup>8,13)</sup>あるいは稲体のN条件を反映するPN%はいずれも粒重増加を遅延する方向に作用するといえる。これについての論議は、総合考察の項で行なうこととする。

### 3. 登熟後期における粗籾千粒重増加量 ( $\Delta SW_2$ ) の解析

第3表で $\Delta SW_2$ の値をみると、最大値は8.8g (5区)で、最小値は2.1g (4区)であった。この差の生じる原因を探るため、まず既報<sup>15)</sup>の解析手法と同様に、茎当たり葉面積 (F/茎)、LN%そして穂軸重の3要因を説明変数として、 $\Delta SW_2$ について重回帰分析を行なった。結果は第5表のとおり0.944\*\*という高い重相関係数を得た。同様にF/籾、LN%、穂軸重の3要因、またF/籾、LN%の2要因を用いて重回帰分析を行なえば、いずれも第5表に示した高い重相関係数が得られた。これら要因のなかでの標準偏回帰係数はLN%が最も大である。他方、 $\Delta SW_2$ と各要因との間の単相関係数を計算す



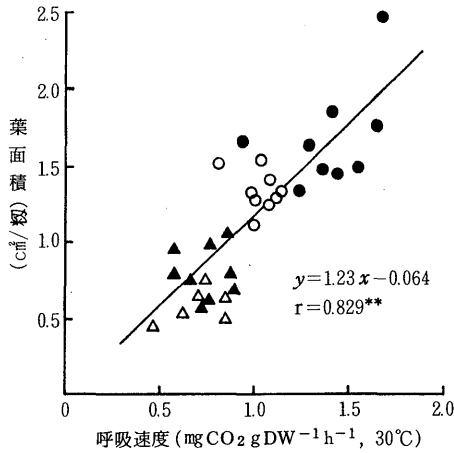
第2図 葉身窒素濃度と $\Delta SW_2$ との関係。  
丸囲み数字は試験区No.

ると、有意な相関を示したのはLN%のみであった (第4表)。

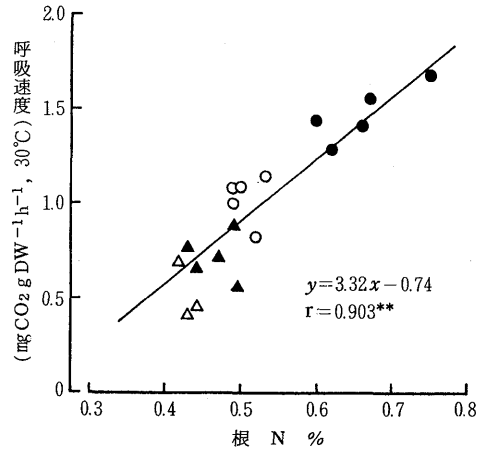
ここで、LN%と $\Delta SW_2$ との関係を図示すると第2図のとおりで、5区と4区との間にみられた $\Delta SW_2$ の大きな差は、葉身窒素濃度の差として捉えられ、非常に単純な要因に原因をもとめることができた。LN%は光合成速度と高い正の相関をもつ形質であることは勿論であるが、一方、籾当たり葉面積はシンク：ソース比の量的表現形質として重要である。第5表でLN%にF/籾と穂軸重を加えて3要因を説明変数として用いると、0.992という最も高い重相関係数が得られた。

さて、第5表でF/籾の標準偏回帰係数をみると、その値は $\Delta SW_1$ の場合よりも $\Delta SW_2$ に関する場合が小である。つまり、本試験においては登熟後期ではF/籾のウェイトが軽くなり、光合成速度に関与するLN%のウェイトが重くなったことを物語っている。第2表にあるとおり、本試験の全区においては出穂後30日のLN%が2%を割り、そのため光合成速度が低下していたと推察される。この状態ではLN%を高く維持し、高い光合成速度を保持した区ほど粒重増加が大となるのである。

前項の結果は、出穂期に葉身N濃度が高いと、それが登熟初期における粒重増加を遅らせる要因として作用することを示唆している。他方、本項では出穂後16日を過ぎれば、葉身N濃度が低下しないことが粒重増加にとって必要である、という結論が導かれた。これらは従来の実肥の在り方、即ち、穂揃期施用に再検討を求めるものであるので総合考察でそれを論議したい。



第3図 登熟期における根部呼吸速度と籾当たり葉面積との関係。  
●：出穂後2日，○：同16日，▲：同30日，  
△：収穫日。

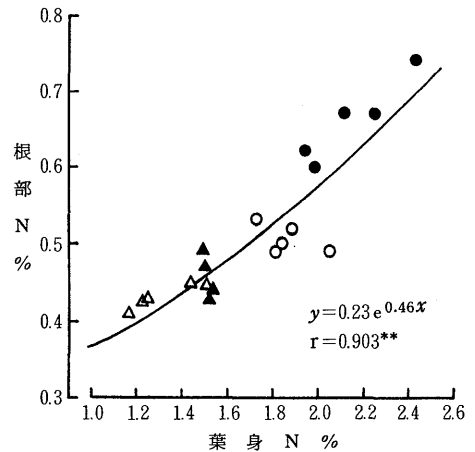


第4図 登熟期における根部窒素濃度と根部呼吸速度との関係。  
図中の記号は第3図と同じ。

4. F/籾と根部呼吸速度 (r<sub>0</sub>) との関係の解析

登熟の全期間にわたってF/籾は、粒重増加にプラスに作用する重要な要因であり、とくに登熟後期における葉面積の確保は粒重増加に係わる切実な問題である。津野・王<sup>15)</sup>は、出穂後40日のF/茎と登熟期間の根部呼吸速度 (r<sub>0</sub>) の平均値との間に高い正の相関を認めた。また、6処理区間で葉面積とLN%に大きな差のあった別の試験<sup>17)</sup>では、穂揃後15日でF/茎~LN%及びF/籾~LN%それぞれの相関係数を求めると、0.976\*\*と0.877\*であった。これらの諸結果は登熟期間において、F/籾とr<sub>0</sub>あるいはLN%との間の関連性を示唆するものであるが、本試験では同一時期での上記形質の変異幅が少ない(第2表参照)。そこで、全区をこみにして全登熟期間についてr<sub>0</sub>とF/茎との相関係数を計算すると0.837\*\*(F/茎=86.3r<sub>0</sub>+2.15)であった。次に、同様にr<sub>0</sub>とF/籾の関係をみると、第3図のとおりであって、両者の間には0.829\*\*の高い正の相関関係があり、r<sub>0</sub>の低下とF/籾の減少とは、登熟期間にほぼ平行して進行していることが指摘できる。

津野・山口<sup>14)</sup>によれば、r<sub>0</sub>に関与する要因として根部の窒素濃度と糖含有率をあげている。ここで根部N%とr<sub>0</sub>との関係を求めてみると、第4図のとおり一次回帰式で示され相関係数は0.903\*\*であった。さらに、



第5図 登熟期における葉身窒素濃度と根部窒素濃度との関係。  
図中の記号は第3図と同じ。

LN%と根部N%の間にも第5図の指数式で示される関係 (r=0.903\*\*) が成立した。登熟の進行にともなって穂に窒素が集積し、稲体各部位の窒素濃度が低下するのであるが、なかでも葉身の低下は稈・葉鞘よりも著しく<sup>11)</sup>、同様に根部も葉身と類似した経過をたどることが第5図より指摘できる。第3, 4, 5図でみた関係

は、登熟に関与する重要な形質として挙げってきたF/粗とLN%は、根部N濃度を介在して、登熟期間の根の活力-呼吸速度で表現される-と密接な相関関係が有するのである。

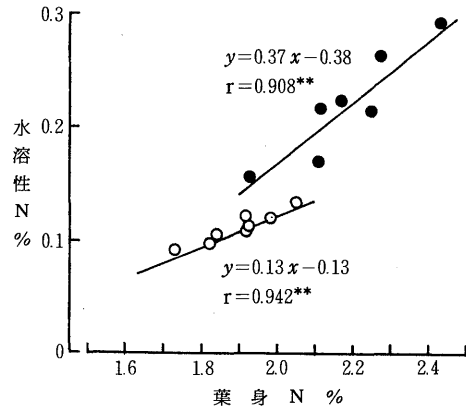
上記の関係について言えば、岡島<sup>5)</sup>の詳細な水稲根の研究によると、N欠乏により変動する根の生理機能の主なものは、呼吸の低下と培地に対する酸化的作用の衰微が認められている。また、N欠乏根ではN同化の不活発化が指摘されている。馬場・稲田<sup>1)</sup>はN、P、Kの3要素の大部分は新根より摂取され、他の微量元素は比較的古い根より摂取されるとしている。

これらの研究ならびに関連する生理学的知見を総合して考えると、呼吸速度の低下した根では無機養分の吸収機能が衰弱して吸収量が減少する。登熟が開始すると茎葉に保有するNは、炭水化物とはほぼ一定比を保ちつつ穂に集積する<sup>2)</sup>。例えば津野・清水<sup>10)</sup>は、6種の施肥条件を変えた区で生育した水稲の登熟期間を3区分し、それぞれの期間の穂重増加量(Y, g)と穂に集積した全窒素量(X, mg)との間には、 $Y=0.90X-0.10$  ( $r=0.985^{**}$ )で示される関係が成立したと報告している。この時、土壌からのN吸収の少ない水稲では、葉身の保持するN量が穂に集積するNの供給源となり、LN%の低下と葉の枯れ上がりりが同時進行する<sup>12)</sup>のである。さらに、この現象は登熟期の深水によって加速されることが報告されており<sup>11)</sup>、この時期の水管理の重要性が指摘できる。また、光合成の低下した個体では、根部に分配される炭水化物が減少し、これが根の呼吸速度の低下<sup>14)</sup>を速めることも考えられる。

### 総合考察

登熟前期の粗粒千粒重増加量 $\Delta SW_1$ に関して、葉身窒素濃度(LN%)はマイナスに作用することは既に第1図と第5表でみた。光合成速度にとってはプラスの要因が、なぜ粒重増加にマイナスに作用するのであろうか。この疑問を解く鍵として問題としたいのは穂の水溶性N%である。本試験では、出穂16日後の粒重とそれとの間には $-0.820^*$ という負の相関が認められた。また、穂の窒素濃度(PN%)は $\Delta SW_1$ と負の相関がある(第4表)。PN%は土壌および稲体のN条件下で上下するものの、登熟期間中はほぼ一定範囲を保つ<sup>2,10)</sup>。PN%が高ければ、穂の水溶性N%も高いことが予想される。

登熟期における穂の水溶性N%について山田<sup>20)</sup>の成績を検討すると、それはLN%との間で $r=0.728^{**}$ の相関係数が計算された。同様に本試験でそれを求めると、



第6図 葉身窒素濃度と穂の水溶性窒素濃度との関係。

●：出穂後2日，○：出穂後16日。

第6図のとおり両者間に2日後で $0.908^{**}$ という高い正の相関が認められ、出穂16日後となると回帰直線の勾配が緩やかになるが、相関係数は $0.942^{**}$ であった。つまり、窒素濃度の高い葉身をもつ個体の穂で水溶性N%が高いという現象がみられた。登熟開始時の穂揃期にはLN%の高い葉身からはより多くの水溶性Nがすでに穂に供給されており、水溶性N濃度が高い条件の下で炭水化物(糖)を受け入れ、デンプンを合成することになる。

津野ら<sup>16)</sup>は登熟抑制処理を受けた玄米でアンモニア濃度が高まること、また、玄米中のアンモニア濃度は、アミノ酸類の濃度(水溶性N%)に比例して高まることを指摘している。また、正常に生育した水稲においても、アンモニア濃度の高い玄米は肥大が遅れるという現象は、すでに筆者らによって確認され<sup>17)</sup>ており、その作用機作の解明は未着手の状態であるが、登熟前期で水溶性窒素濃度が高いことは、粒重増加のマイナスの要因として作用することが粒重増加傾向より推論される。

LN%と $\Delta SW_1$ との関係について言えば、翌年繰り返してこの関係を再検討しても、同様の高い負の相関が得られた。穂揃後2週間を経過すれば、第6図に示したように炭水化物の蓄積により玄米中の乾物当たり水溶性N濃度は低下して、その登熟への抑制的作用は軽微となる<sup>17)</sup>。一方、登熟中期以後のLN%は低下しているの、これを高めることが光合成速度を高めるという結果となって $\Delta SW_2$ の増加に貢献すると考えられる。

次に問題として取り上げねばならぬのは、本試験を実



第6表 登熟期における葉身と稈・葉鞘のP, KおよびSiO<sub>2</sub>含有率(対乾物%)。

器官	区 No.	出穂後2日			出穂後16日			出穂後30日			収 穫 日		
		P	K	SiO <sub>2</sub>	P	K	SiO <sub>2</sub>	P	K	SiO <sub>2</sub>	P	K	SiO <sub>2</sub>
葉身	1	0.55	2.9	9.5	0.45	2.2	9.9	0.38	1.8	10.6	0.36	1.9	11.8
	2	0.50	2.5	10.1	0.41	2.5	11.6	0.37	1.7	12.5	0.35	1.6	15.4
	3	0.50	2.8	10.1	0.44	2.3	10.3	0.36	1.8	10.5	0.36	1.8	11.8
	4	0.52	2.7	9.5	0.43	2.3	11.3	0.39	2.0	12.1	0.40	2.1	11.4
	9	0.50	2.6	9.5	0.51	2.9	9.8	0.40	2.2	10.4	0.42	2.3	9.6
稈 + 葉鞘	1	0.72	3.9	8.9	0.49	4.6	9.0	0.39	4.5	9.5	0.30	3.7	8.9
	2	0.60	3.7	9.0	0.40	4.9	11.0	0.32	4.2	11.1	0.31	3.8	9.5
	3	0.58	3.1	7.8	0.44	4.8	9.3	0.33	3.7	9.7	0.31	3.3	8.4
	4	0.61	3.2	8.1	0.44	4.7	10.1	0.39	3.9	9.1	0.38	3.8	9.0
	9	0.63	3.5	7.9	0.62	5.1	9.2	0.42	4.9	9.4	0.37	4.9	8.2

施した水田で、登熟後期に葉身の窒素濃度がなぜ著しく低下するかということである。既述のとおり、本試験を実施した水田は、透水性が悪いうえに灌漑施設が不便で意のままに落水できない。それ故に、根を健全に保つ措置としての間断灌漑の実施は困難である。不十分なながらも排水溝により表面排水を試みた9区は、第6表に見られるとおり、出穂16日以後で葉身のK含有率を、他区に比して高く保つことが出来た。また、出穂後30日の葉身N%も高い(第2表)。しかし、9区のr<sub>0</sub>は出穂30日以後は区間で最低であった。この点については落水によって土壌が大気に曝されることにより、水田表層に分布する根に酸素が供給され、その機能がよりよく発現し、そこに存在するN, Kをより多く吸収し得たのではないかと推論できる。

以上の諸結果と実際の水稻栽培とを照合させて検討すると以下の通りである。

まず、過繁茂をさけて適切な最大葉面積指数を確保したうえで、籾当たり葉面積を登熟期全般にわたって多く確保することが重要である。例えば、出穂期の葉面積指数を6~7に抑えて、F/籾を1.5cm<sup>2</sup>確保するとm<sup>2</sup>当たり籾数は約4.0~4.7万個となる。これで収量700~800g/m<sup>2</sup>の枠組みは固まるのである。課題は、その葉面積を収穫期までどれほど維持出来るかである。筆者らの手許の成績では収穫期で1.0cm<sup>2</sup>を維持できたのが最高であっ

た。このときの出穂30日後におけるr<sub>0</sub>は1.44mgCO<sub>2</sub>gDW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>で、同じくLN%は2.4という高い値であった。この籾は出穂期のLN%は3.0%で、明らかにΔSW<sub>1</sub>は低下しており、第1図の関係が示すとおりに、高いLN%からもたらされるところのPN%によって指数Aが低下したのである。

重要な問題点は、ソース側の光合成速度に強いかかわるLN%が登熟前期では、粒重増加を遅延させるというマイナス要因として作用する点である。登熟初期の粒重増加の遅延を登熟後期において取り戻すことができれば問題はない。しかし、本試験の2, 4区のごとく、籾数を多く確保しながらもLN%の低下のために取り戻せない場合がある。あるいは、登熟後期では穂の老化によるシンク機能の衰退も問題となる。また、秋冷による気温低下のために、第2次枝梗に着生する弱勢籾は登熟不良のままに収穫されることもある。村上ら<sup>4)</sup>の盛岡における作期を異にした試験では、登熟歩合は出穂後40日間の平均気温とr=0.880の相関係数が算出され、収量はほぼ21℃を頂点として14.2℃に至って0となる2次式で示された。この関係は暖地においても中山間地稲作では発動すると考えられる。

登熟初期の粒重肥大を促すための有効な手立ては、登熟開始時のLN%を引き下げることであるが、このため葉色が薄くなり過ぎて気孔開度の低下を招いたり<sup>18)</sup>,

根が衰弱したのではかえって逆効果となる。筆者らの成績では、上位3枚の個葉平均葉色が葉色板(富士カラースケール)の示度で5.5~6.0, 個体の平均LN%が2.2~2.5程度が適当ではないかと考えられる。出穂期にこの値を維持する稲には穂肥を省くか,あるいは遅らせて施して出穂期の葉色を収穫期近くまで維持する措置が必要である。このためには,すでに強調したとおり呼吸速度の高い根を確保すると同時に,その機能が発揮できる水管理をしなければならない。とくに,透水性の不良な水田では,間断灌漑<sup>9)</sup>あるいは飽水状態の水管理が必要と思われる。これに伴って田面の細心な均平化もまた重要な作業上の課題となる。

上記した個々の数値については,地域,品種を異にした場合には,変更の余地を残していると思うが,基本的な方向については年度を変えて実施した試験結果もこれを支持している。また,精米の食味と胚乳部の窒素(蛋白)含有率との間には負の相関関係が認められる場合<sup>3,21)</sup>が多い。食味と実肥の関係についても,本論文の結果との関連で検討を要する課題である。

#### 引用文献

- 1) 馬場 昶・稲田勝美:作物根の生理的研究. 第1報 新旧根に分級した水稻根の特性と無機成分吸収との関係. 日作紀, 24 151-154 (1958)
- 2) 石塚喜明・田中 明:水稻の生育過程に関する研究. 第1報 無機栄養素吸収移動経過. 土肥誌, 23 23-28 (1951)
- 3) 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄:水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第113報 穂揃期窒素追肥が品質に及ぼす影響. 日作紀, 42 54-62 (1973)
- 4) 村上利男・和田道宏・吉田善吉:寒冷地における水稻生育の気象反応に関する定量的研究. 東北農試研究報告, 45 33-100 (1973)
- 5) 岡島秀夫:水稻根群の生理機能に関する研究 東北農試研報, 12 1-146 (1960)
- 6) 瀬古秀生・佐本啓智・鈴木嘉一郎:水稻地上部諸器官の発育過程に関する研究 1. 水稻伸長期に於ける地上部諸器官の伸長, 乾物重の推移及びその相互関係について. 日作紀, 24 189-190 (1956)
- 7) 高橋治助:栄養生理から見た各種作物の特性. 作物の生理生態. 朝倉書店, 東京 (1959) pp.149-156
- 8) 武田友四郎・玖村教彦:水稻に於ける収量成立過程の解析. (I)窒素条件が葉面積, 同化能率及び呼吸能率に及ぼす影響. (II)受光態勢並びに物質生産過程に及ぼす窒素条件の影響について. 日作紀, 26 165-175 (1957)
- 9) 田中市郎・野島数馬・上村幸正:排水が水稻の生育に及ぼす影響 第2報 異なる窒素の施肥量および播種における灌漑法と水稻の生育収量との関係. 日作紀, 32 89-93 (1963)
- 10) 津野幸人・清水強:登熟期における水稻の炭水化合物と窒素の行動にみられる相互関係. 中国農業研究, 14 5-6 (1959)
- 11) 津野幸人:イネの科学. 農文協, 東京, (1970) pp. 210-212.
- 12) 津野幸人:イナ作多収穫論 農業技術体系 作物編 2. 農文協, 東京, (1976) pp.59-103.
- 13) 津野幸人・稲葉伸由・清水強:主要作物の収量予測に関する研究. V 水稻群落の乾物生産と体内窒素並びに日射量との関係. 日作紀, 28 188-190 (1959)
- 14) 津野幸人・山口武視:水稻光合成の高温低下現象と根の呼吸速度との関係ならびに根の呼吸速度に関与する要因の解析. 日作紀, 56 536-546 (1987)
- 15) 津野幸人・王余龍:水稻の登熟過程にみられた品種間差とその原因の解析-一割当たり葉面積の意義について-. 日作紀, 57 119-131 (1988)
- 16) 津野幸人・山口武視・牛見哲也:登熟抑制処理の水稻にみられる粒重と玄米中のアンモニウム濃度との関係. 日作紀, 59 481-493 (1990)
- 17) 津野幸人・山口武視・中野淳一・信貴竜人:登熟期前半における玄米中のアンモニウム態窒素濃度と粒重増加速度との関係. 日作紀, 60 (別2) 15-16 (1991)
- 18) 津野幸人・山口武視・面地理・甲斐宏一:水稻の葉色と気孔開度ならびにその日変化. 日作紀, 60 475-483 (1991)
- 19) 山田登・太田保夫・榊渕欽也:水稻の登熟に関する研究 第1報 登熟における窒素の役割について. 日作紀, 26 111-115 (1957)
- 20) 山田登:水稻の冠水抵抗に関する生理的研究. 農技研報, D8 1-112 (1959)
- 21) 山下鏡一・藤本堯夫:肥料と米の品質に関する研究 2. 窒素肥料が米の食味, 炊飯特性, デンプンの理化学的特性に及ぼす影響 東北農試報, 48 65-79 (1974)