

稲わら施用による水稻の初期生育障害に関する研究 (第2報)

エタノール可溶性画分による生育障害の特徴

長 井 武 雄

(鳥取大学農学部農芸化学科)

Studies on the Growth Retardation of Lowland Rice Plants
resulting from the Application of Straw (Part 2)

The Growth of Rice Plants as affected by the Application
of Ethanol-Soluble Component

Takeo NAGAI

(Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University)

Some investigations were made by green-house experiments to clarify how the ethanol-soluble component of rice-straw has an influence on growth, nutrient uptake and translocation of rice plants. For this purpose, an 80 per cent ethanol-extract obtained from 30 g of the rice-straw was injected into 3 kg of soil placed in a 4 liter pot, in which rice plants were grown.

When the ethanol-extract was injected at the tillering stage or the panicle initiation stage, the elongations of shoots were retarded for about twenty days after the injection. At an early stage of such a retardation, the leaves wilted with a rise of temperature in the daytime. In this case, the temperature of the wilting leaves was 1-2°C higher than that of the atmosphere. At seven days after the injection at the tillering stage, the catalase activity of leaves in the daytime dropped to 70 per cent of the control plant and then the sugar content of root showed a marked decrease. From the results of the injection at the heading stage, it was suggested that the translocation of carbohydrate from leaves to ears or roots did not get along smoothly. When the injection was made at the panicle initiation stage, silica, calcium and phosphorus concentrations of stems and leaves at the heading stage were very low as compared with the control plant.

緒 言

先報¹⁾においては、稲わらから各種溶剤で逐次抽出して得られた5個のフラクションを土壤に添加し、それぞれが水稻の初期生育に如何なる影響を与えるかを検討した結果から、稲わら施用によって生ずる初期生育の抑制は稲わら中の80%エタノール可溶部分に負うところが大

きいと判断された。そして、恐らくエタノール可溶部自身に含まれるか、あるいはこのフラクションの分解過程で生ずるある種要因が水稻の養分吸収を妨げると共に、過剰のFe吸収をもたらし初期生育に大きな影響を与えていると考えられた。

本報告においては、予めワグネルポットを用いて均一

条件下で水稻を栽培しておき、これにそれぞれ分けつ盛期、幼穂形成期、出穂開花期の3時期を選んでエタノール可溶部を添加し、この処理がその後の生育、養分吸収及び物質の体内移動などに如何なる影響を及ぼすかを明らかにしようとした。

実 験

(1) 実験法

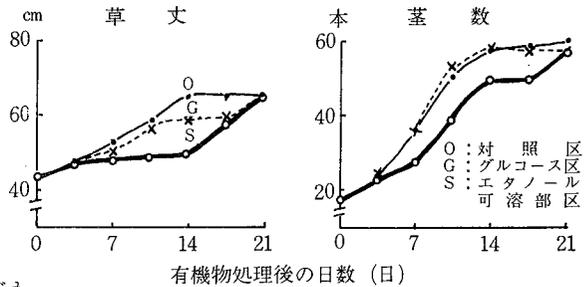
本研究に供試した土壌及び稲わらは第1報¹⁾と同じものである。また、稲わらから80%エタノール可溶部を分離する方法は第1報に従った。6月19日、風乾土壌3Kgに塩加磷安284号(12-18-14)を用いてNとして0.8g相当量を水溶液で加えてよく混合し、これを5千分の1アール・ポットにつめて直ちに灌水する。翌日、水稻苗(品種:ヤマビコ)3本を1株として1ポット当り1株宛移植する。

その後、分けつ盛期(7月12日、移植22日後)、幼穂形成期(8月2日)及び出穂開花期(9月3日)の3期を選び、それぞれ土壌量の1%に相当する30gの稲わら粉末から分離された80%エタノール可溶部3gをポット内の土壌に注入する。注入に際しては、あらかじめポットへの灌水を制限しておき土壌の表面水がなくなってから、エタノール可溶部の2.5%液120mlを大型注射筒を用いて水稻株のまわり数ヶ所に注入した。有機物の注入後、さらに3~4週間栽培を継続して処理による影響を調査することにした。追肥は窒素加里化成C12号(16-0-20)を用い、Nとして0.2g相当量を幼穂形成期における有機物の注入処理を行う前日に与えた。

なお、本試験における処理は2連制とし、またエタノール可溶部添加区の他に、各期に同量のグルコースを添加する区を設けてその効果を比較することにした。

(2) 実験結果

a) 分けつ盛期における処理の結果



第1図 有機物処理後の生育状況

移植22日後、平均で草丈が49.3cm、茎数が1ポット当り17本に達したときに、分けつ盛期における有機物添加を行い、その後21日間栽培を継続した。有機物処理後の生育状況を第1図に示す。

エタノール可溶部を注入して3日目頃から、日中気温の上昇と共に葉が巻き萎れる現象を呈した。そして、この頃から草丈の伸長にも影響が現われ、有機物を与えて14日目頃まで伸長がほとんど停滞している。14日目以降は回復の兆がみられて伸長も著しく、21日後には対照との間にほとんど差を示さない。エタノール可溶部添加の影響は茎数の増加にも現われ、7日後には10本程度対照区との間に差がみられる。グルコースを添加した場合には、少し遅れて10日目以降に多少の伸長停滞を示したが、茎数の増加にはほとんど影響がみられず、また葉身の萎れる現象も認められなかった。

つぎに有機物を処理して7日後、及び21日後の午後1時に抜きとりした植物体の生育量、及び葉身の平均水分含有率を示すと第1表のとおりである。

これによると、エタノール可溶部区は生育量が明らかに小さく、また日中における葉身の萎れを反映して、7日後の葉身水分含有率が対照区より10%ほど減少している。

第1表 葉身の水分含有率及び生育量

試 験 区	7 日 後			21 日 後		
	葉身水分含有率 %	茎葉重 g	根重 g	葉身水分含有率 %	茎葉重 g	根重 g
対 照 区 (O)	70.1	3.1	0.7	71.1	14.6	2.5
グ ル コ ー ス 区 (G)	70.6	3.2	0.9	70.3	12.3	3.5
エ タ ノ ー ル 可 溶 部 区 (S)	59.8	2.7	0.6	72.2	9.2	2.2

第 2 表 土 壤 の pH, Eh₆ 及 び 根 の 活 力

試 験 区	土 壤 pH		土 壤 Eh ₆ *		根 の 活 力**	
	7 日 後	21 日 後	7 日 後	21 日 後	7 日 後	21 日 後
対 照 区	6.4	6.3	mV -12	mV -90	9.4	6.1
グ ル コ ー ス 区	6.6	6.7	-70	-174	7.7	6.2
エ タ ノ ー ル 可 溶 部 区	6.7	6.6	-19	-150	8.4	6.8

*) 日立掘場pHメーター, M-5型使用, 電極差込み2時間後に測定。

***) α-ナフチルアミン酸化量(乾物1g当りmg数)。

第 3 表 葉 身 の カ タ ラ ー ゼ 活 性 と 茎 葉 , 根 の 炭 水 化 物 含 有 率

(午後1時に試料採取)

試 験 区	葉 身 の カ タ ラ ー ゼ 活 性 *		茎 葉 の 炭 水 化 物 含 有 率 (%)				根 の 炭 水 化 物 含 有 率 (%)			
	7 日 後	21 日 後	7 日 後		21 日 後		7 日 後		21 日 後	
			全 糖	澱 粉	全 糖	澱 粉	全 糖	澱 粉	全 糖	澱 粉
対 照 区	85	57	7.25	17.2	7.75	18.5	4.41	18.6	6.63	17.4
グ ル コ ー ス 区	91	84	7.63	16.4	8.75	17.5	4.96	17.3	3.21	17.6
エ タ ノ ー ル 可 溶 部 区	60	80	7.88	17.1	6.67	16.2	2.39	18.9	1.96	16.8

*) 乾物100mg当りのO₂発生量(ml)(新鮮物1gをとり50mlのpH7.0のphosphate bufferで磨砕する。これに30% H₂O₂ 2mlを加え, 28℃ 30分間で発生するO₂を測定)。

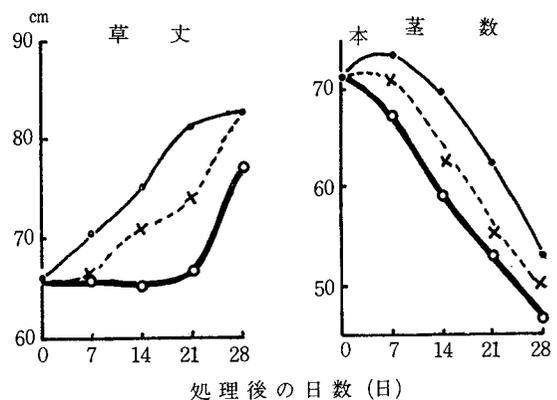
土壤の表面下5cmの部位で測定したEh₆を第2表によってみると, エタノール可溶部区はグルコース区より高い値を維持しており, とくにエタノール可溶部の添加によって著しく還元が進行したとも云えない。根のα-ナフチルアミン酸化量は7日後で対照のわずか10%減, また21日後では10%増であって, 根のパーオキシダーゼ作用はあまり低下していないと云っても良いようである。

しかし, 第3表にみられるように, 同化作用と関係の深い葉身のカタラーゼ活性は7日後で対照の70%にまで低下している。7日後の炭水化物含量は茎葉では対照に比べてとくに差を認めないが, 根では全糖がかなり低下しており, この差は21日後になると一そう著しくなっている。

b) 幼穂形成期における処理の結果

窒素加里化成 C12号(16-0-20)を追肥した翌日の8月2日に, 1ポット当り茎数71本, 草丈65~67cmの生育状態を示すポットを選び出し, これにそれぞれエタノール可溶部及びグルコースの2.5%液120mlを与えて9月1日まで栽培を続けた。その間の草丈及び茎数の推移

を示すと第2図のとおりである。



第 2 図 有 機 物 処 理 後 の 生 育 状 況

分けつ盛期に処理した場合と同様, エタノール可溶部を添加してのち3週間ほどは草丈の伸長が全く停滞し, また弱小茎の無効化も著しく促進されている。

エタノール可溶部を添加して2日目には日中の気温の上昇と共に葉が巻き萎凋を示したので, 各区の葉温を測

第4表 葉面温度の測定結果

試 験 区	(午後2時)					
	2 日 後 * (8月4日, 33.7℃)		4 日 後 (8月6日, 32.3℃)		9 日 後 (8月11日, 32.8℃)	
	A**	B***	A	B	A	B
対 照 区	33.0	33.2	31.8	31.5	—	31.8
グ ル コ ー ス 区	32.5	33.0	31.9	31.8	—	31.7
エ タ ノ ール 可 溶 部 区	35.0	34.8	32.3	32.8	—	31.9

*) 括弧内の数値は葉温測定時の気温。
 **) 草丈の最高先端より6cmの部位について、6枚の葉身を重ねて測定。
 ***) 最高草丈を示す茎の第3位葉を対象とし、葉の先端より5cmの部位を測定。

第5表 収 穫 物 調 査

試 験 区	1ポット 穂 数	平 稈 均 長	平 穂 均 長	1ポット 総着粒数	1 着 粒 数
対 照 区	52.0	51.9	15.0	2,649	50.9
グ ル コ ー ス 区	51.0	51.9	15.0	2,668	52.3
エ タ ノ ール 可 溶 部 区	47.0	47.3	14.7	2,357	50.1

第6表 収 量 調 査

試 験 区	穂 重 (g)	茎 葉 重 (g)					根 重 (g)
		稈	葉 身	葉 鞘	無効茎	合 計	
対 照 区	10.0	34.9	25.0	36.4	13.3	109.6	13.5
グ ル コ ー ス 区	10.1	33.8	25.9	34.9	10.7	105.4	13.2
エ タ ノ ール 可 溶 部 区	8.6	30.9	23.2	31.0	9.4	94.5	12.9

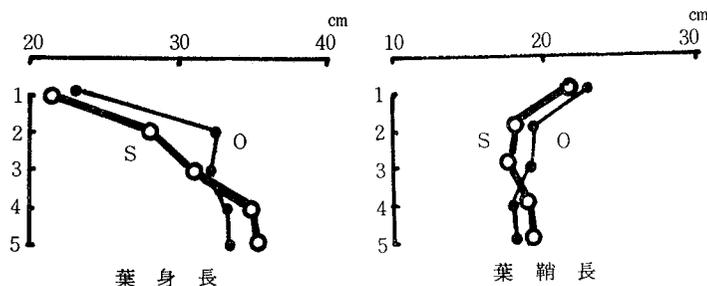
定してその結果を第4表に示した。

エタノール可溶部を添加してのち2~4日間ほど葉温が対照区より1~2℃上昇しており、蒸散が順調でないことを示している。

有機物を処理して1ヶ月たった9月1日に抜きとりした収穫物の調査結果を第5表及び第6表に示す。

グルコース区は対照に比べて殆んど差がみられない。しかし、エタノール可溶部区は穂重、茎葉重ともに小さく、また1ポット穂数、稈長などは草丈の伸長停滞、弱小茎の無効化促進を反映してともに小さい。

有効茎につき、上から数えて第5位までのそれぞれの



第3図 葉身と葉鞘の生長に及ぼすエタノール可溶部の影響

葉について葉身長と葉鞘長の平均値を求めて第3図に示した。

これによると、葉身では第2葉が、また葉鞘では第2

及び第3葉鞘がとくに対照より短かく、丁度有機物を添加した時期に成長中であった器管のその後の生育が妨げられたことを示している。

第8表によって Fe の吸収をみると、エタノール可溶部を添加すれば下位葉の濃度は高くなっているが、生長が抑制された葉の濃度は著しく小さい。これらの結果は

第 7 表 機 無 要 素 の 含 有 率 と 吸 収 量

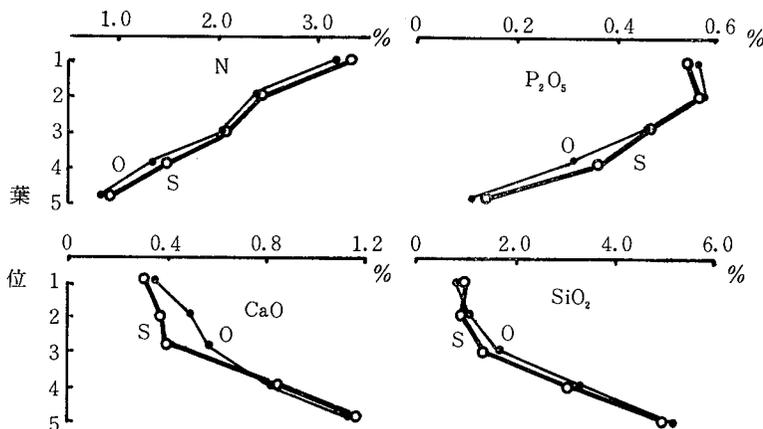
試 験 区	SiO ₂		N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
	穂	茎葉	穂	茎葉	穂	茎葉	穂	茎葉	穂	茎葉	穂	茎葉
要 素 含 有 率 (%)												
対 照 区	1.74	2.37	1.50	1.06	0.45	0.47	0.93	1.20	0.16	0.30	0.24	0.34
グ ル コ ー ス 区	1.69	2.14	1.65	1.11	0.46	0.46	0.86	1.17	0.14	0.31	0.27	0.36
エタノール可溶部区	1.82	1.96	1.46	1.12	0.45	0.45	0.88	1.27	0.10	0.29	0.25	0.35
要 素 吸 収 量 (g/ポット)												
対 照 区	2.78 (100)		1.31 (100)		0.56 (100)		1.41 (100)		0.35 (100)		0.39 (100)	
グ ル コ ー ス 区	2.43 (88)		1.34 (102)		0.53 (95)		1.32 (94)		0.34 (98)		0.41 (104)	
エタノール可溶部区	2.01 (72)		1.19 (90)		0.47 (84)		1.28 (90)		0.29 (82)		0.36 (90)	

無機要素の含有率及び吸収量を示した第7表によると、土壤にエタノール可溶部を添加して著しく吸収が低下した要素として、SiO₂、CaO、及び P₂O₅ を挙げることができる。また、有効茎につき葉別別の SiO₂、N、P₂O₅、及び CaO の蓄積状況を見ると、第4図に示されるように、とくに CaO 及び SiO₂ などの要素は成長が抑制された葉身への配分が減少している。

SiO₂²⁾、CaO³⁾、Fe⁴⁾ などの蓄積が蒸散に影響されたことを示すものであろう。

c) 出穂開花期における処理の結果

9月2日、1ポット当たり穂数が52本ものものを選び、これにそれぞれエタノール可溶部及びグルコースを添加して9月24日まで約3週間栽培を続けた。収穫物の調査結果を示すと第9表のとおりである。



第4図 葉身の要素含有率

第 8 表 有効茎の Fe 含有率 (ppm)

試 験 区	第 1 葉	第 2 葉	第 3 葉	第 4 葉	第 5 葉	稈
対 照 区	286	369	390	395	487	1110
エタノール可溶部区	261	195	413	497	609	978

第 9 表 収 穫 物 の 調 査

試 験 区	穂 重 (g)	茎 葉 重 (g)	穂重/茎葉重	1 穂 着 粒 数	1 穂 稈 実 粒 数	稈 実 歩 合 (%)	稈 実 粒 重 (g)
対 照 区	63.6	70.0	90.8	59.0	53.2	90.2	60.2 (100)
グ ル コ ー ス 区	59.2	73.6	80.4	59.4	52.7	88.7	54.0 (90)
エタノール可溶部区	54.8	72.1	76.0	57.9	44.3	76.5	47.0 (78)

これによると、エタノール可溶部区は1ポット当りの茎葉重が比較的大きいけれど、稈実粒重は小さく対照区の78%程度の値を示す。

第 10 表 有機物処理後の乾物増加量 (g/ポット)

		対 照 区	グ ル コ ー ス 区	エ タ ノ ー ル 可 溶 部 区
茎 葉 重	出 穂 期	96.3	96.3	96.3
	収 穫 期	70.0	73.6	72.1
	減 少 量	26.3	22.7	24.2
穂 重	出 穂 期	10.0	10.0	10.0
	収 穫 期	63.6	59.2	54.8
	増 加 量	53.6	49.2	44.8
出穂後の純増加分		27.3	26.5	20.6

第10表によると、エタノール可溶部区の穂重の純増加量は他の区より小さく、エタノール可溶部の添加が同化作用に大きな影響を与えることを示している。また茎葉重の減少量も比較的小さいので、茎葉部から穂部への同化産物の移動も円滑を欠いたことがうかがわれる。

連鎖構成の1単位⁹⁾を構成している葉と節間の組合わせのうち、止葉—第1葉鞘—第2節間、及び第3葉—第3葉鞘—第4節間のそれぞれにおける炭水化物の蓄積量を第11表によってみると、対照区あるいはグルコース区に比べ、エタノール可溶部区は葉身、葉鞘における蓄積量は大きい、節間における蓄積量はかなり小さい。こ

第 11 表 連鎖構成単位における炭水化物の蓄積量 (mg/茎)

部 位	対 照 区	グ ル コ ー ス 区	エ タ ノ ー ル 可 溶 部 区
止 葉	13.9	16.7	21.3
第 1 葉 鞘	26.8	27.7	29.4
第 2 節 間	35.1	29.7	24.6
第 3 葉	23.9	26.0	27.7
第 3 葉 鞘	32.9	30.0	34.4
第 4 節 間	49.5	42.4	34.9

これらの結果は葉身から穂への同化産物の転流が円滑に進んでいないことを示すものであろう。

考 察

水稻が稲わらの施用によって著しい害を受けると、晴天の日中葉が巻き萎れることが多い⁹⁾。本研究においても稲わらのエタノール可溶性フラクションを土壤に与えて2~3日後には、日中の水分の吸収と蒸散のバランスが失われて葉が萎凋している。分けつ期に与えた場合には、日中の葉身水分含有率は約60% (対新鮮物) に低下しており、また幼穂形成期に与えた場合には、日中気温を超える葉温度を示した (第1表・第4表)。水分含有率が低下している場合の葉身のカタラーゼ活性はかなり低下しており、同化作用のおとろえていることがうかがわれる。この点は出穂開花期にエタノール可溶部を与えた場合、その後の乾物重の純増加分が他の区より小さいことから明らかであらう。

茎葉の炭水化物濃度は障害の初期に成長が停滞するので、ほとんど対照区と差がないけれど、成長が再開される後期には減少が目立っている。これに対し、根では初期においても全糖濃度に明らかな減少が認められ、この差は生育の回復期にはいつそう著しくなっている。先報¹⁾においては、稲わらの分解初期の段階で水稻の根が Fe の侵入を防止する機能は、必ずしも低下していないと推定された。本報の第 2 表に示した結果においても地上部の生育抑制から予想されるほど、根の α -ナフチルアミン酸化力（パーオキシダーゼ作用²⁾）は低くないようである。しかし、根における糖含量の著しい減少は地上部からの呼吸源の供給が十分でないことを示すもので、これによって、結局、根の活力が低下して養分の吸収に支障を来たすと共に、根腐れを誘起する可能性がある。湛水土壤中で稲わらの易分解性フラクションの分解がある程度進んだ頃に、水稻の地上部への Fe の移行量が著しく増大する事実³⁾は、このような根における糖含量の著しい減少と無縁ではないと考えられる。

太田⁴⁾は Ca 供給量を減らすと、明らかに同化産物の根への移動率が低下すること、そして同化産物の転流に機能的に関与する Ca は、たえずその部位に新しく送られてくるごく少量のある形態のものであろうことを報告している。本研究の結果では、吸収が蒸散と関係の深い Ca はエタノール可溶部の添加によって成長中の器管における蓄積量が減少した。このような Ca 吸収量の減少が地上部から根への糖の移動、あるいは葉から穂への同化産物移動の不良化⁵⁾に及ぼした影響は少なくないと考えられる。

要 約

水稻の初期生育に対する稲わらの阻害作用は、稲わら中のエタノール可溶性画分に負うところが大きいと考えられるので、ポット栽培の水稻を用い分けつ期、幼穂形成期、及び出穂開花期のそれぞれ三期にエタノール可溶部を与え、この処理がその後の生育、養分吸収及び物質の体内移動などに及ぼす影響を明らかにしようとした。

得られた結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 土壌量の 1% に相当する稲わら粉末から抽出した 80% エタノール可溶部を分けつ期、あるいは幼穂形成期に土壌に注入すると、2~3 日後から 10~20 日間に亘って草丈の伸長が停滞した。とくに幼穂形成期処理の場合には、第 2 葉身、第 2 及び第 3 葉鞘の成長が抑制された。

(2) このような障害の初期には、日中の気温の上昇に伴って葉身が巻き萎凋を示した。とくに幼穂形成期の場合には、処理して 2 日後の日中の葉温は気温を超えており、対照より 2℃ほど高かった。

(3) 分けつ期に処理した場合、7 日後の日中における葉身のカタラーゼ活性は対照の 70% 程度に低下しており、また根中の糖含有率は著しく減少した。

(4) 幼穂形成期に処理してから出穂開花期までに SiO_2 、 CaO 及び P_2O_5 の吸収低下が目立った。このうち、 SiO_2 及び CaO は成長が抑制された葉身への配分が減少した。

(5) 出穂開花期に処理すると、その後の穂重の純増加分は対照区に比べて著しく低下した。また、収穫時の炭水化物含量は葉身及び葉鞘では高いレベルにあったが、節間ではかなり低く、同化産物の葉から穂への移動が円滑に進んでいないと考えられる。

終りに臨み、本報告のとりまとめに際して種々助言を賜わった藤堂誠教授に深謝いたします。

文 献

- 1) 長井武雄：鳥大農研究報告，25，1 (1973)
- 2) Tanaka, A. and Park, Y.D. : *Soil Sci. and Plant Nutr.*, 12, 191 (1966)
- 3) 三井進午・麻生末雄・熊沢喜久雄：土肥誌，22，46 (1951)
- 4) 田中 明・但野利秋：土肥誌，40，380 (1969)
- 5) 山根忠昭・松浦一人：中国地域共同研究成果集録，5，89 (1970)
- 6) 相見靈三・藤巻和子：日作紀，28，205 (1959)
- 7) 太田安定・金丸日支男・富川厳雄・出口正夫：土肥誌，40，192，374 (1969)
- 8) 石塚喜明・田中 明：土肥誌，31，491 (1960)
- 9) 石塚喜明・田中 明：水稻の栄養生理，205頁 (1969)，養賢堂