水 稲 の 光 合 成 に 関 す る 研 究

第14報 水稻の物質生産および収量に及ぼす白色マルチングの効果*

村田 吉 男・秋田 重 誠・本 間 力

(農業技術研究所)

水稻の府県別平均収量(1957~1961)は8~9月の日平均気温および日射量と極めて密接な関係を示すことをさきに著者の1人は報告したが²⁾同一の場所に出穂後の日射量・温度条件を変えた場合にも、ほぼ同様な結果を示すことが中国農試から報告されている^{註1)}。いずれの場合も、日射の影響は常に正の方向に現われるのに対して、温度の影響はある一定の温度までは正の影響を及ぼすが、それを越えると、逆に悪影響を及ぼすことが示されている。高温の悪影響としては同化と呼吸のバランスの悪化のほか、土壌温度の高いことが根の活力を害しそれが地上部の光合成能力その他の活力に影響を及ぼす可能性が考えられた⁴⁾。実際に根の活力が地上部の光合成能力に影響を及ぼすことも示されている⁴⁾。

そこで人工的にこのころの地温を下げれば少なくとも暖地では収量によい結果を与えることが予想され、かんがい水の掛流し、カーボンブラック散布、敷ワラなどによつてよい結果を得ている例も報告されている⁵⁾。この場合、もし地温を下げると同時に光の強さを増す実際的な方法があれば、効果はより大きいと期待される。そのような具体的方法の一つとして、白色の合成樹脂板(発泡スチロール)を水面に敷くことが効果的ではないかと考え、栽培時期を3段階に変えた水稻について、このような遮光マルチングが地温・地面からの光の反射・乾物増加量および収量に及ぼす影

響をしらべた。

材料および方法

- 1) 水稻農林29号を表1の条件で鴻巣の圃場に栽培した。試験区は2区制とし、1区面積は15.2m²。但し、対照区のみは5区制とした。
- 2) マルチングは白色の発泡スチロール板(厚さ5mm)を水面上に敷きつめたもの。
- 3) 各区について株間における地面到達日射量および田面からの反射量の割合および地温・水温・気温の日変化をそれぞれ2回測定した。地面到達日射量は地表面より10cmの高さにおいて管型日射計を水平、上向きにして測定、反射量は地表面より15cmの高さにおいて、管型日射計を下向きにして測定。日射計には裏面にアルミ箔を張りつけた遮光板(30×6cm)を取りつけた。いずれの測定も条間の中央および株寄り、10ヶ所で行い、それらの平均値を示した。
- 4) 早・普通・晩植それぞれの出穂後20日に、各区から材料を抜きとつて乾物重・葉面積および葉面あたり光合成能力(Po)を測定した。調査株は40~60株の生育調査(草丈・茎数)を行い平均的な個体5株ずつを抜取つたものである。根は稲田の掘取機¹⁾を用い15cmの深さまで採集した。Poは完全展開した上位2枚の切断葉につき45kluxの人工光(白熱電球)28℃大気中CO₂濃度のもとでの測定値からCO₂300ppm

第1表 栽培時期条件および処理時期

栽 培 時 期	播 種	移 植	出 穂 期	マ ル チ ン グ 処 理 期 間	
				A (出穂前40日~収)	B (同25日~収穫)
早 植	4月20日	6月5日	8月27日	7.19—10.10	8.3—10.10
普 通 植	5・10	6・25	9・3	7.27—10.21	8.11—10.21
晩 植	5・25	7・10	9・13	8.2—11.3	8.16—11.3

註) 本田施肥: 基肥—堆肥 1200kg. 硫安 40kg (N—8.4kg)

硫加 20kg (K₂O—10.6kg). 過石 40kg (P₂O₅—6.8kg)

追肥—尿素 4.3kg (穂肥2%溶液葉面散布) いずれも10a当り。

栽植密度: 30cm×18cm, 1株2本植 (18.2株/m²)

* 昭和42年6月30日受理 註1) 中国農試作物第4研究室 1965. 水稻作季の移動に関する研究 3. 登熟期の気象要素と収量との関係. 昭和39年度水稻栽培試験成績書。

の値に補正したものである。

5) 収穫期に各区とも5株あて、区内の6カ所(対照区は15カ所)から採取した材料につき、収穫物調査・収量調査を行なった。

結 果

1. 温度の変化: 図1に示すようにマルチングにより気温はほとんど変化しないが水温および地温の最高がかなり低下することが認められる。その効果はもちろん LAI の小さい場合ほど大きく、LAI が 2.5 で晴天の場合(晩植区)、水温で 4°C、3cm 地温で 2.5°C、10cm 地温でもなお 1.5°C の差がある。LAI が 4 以上で晴天の場合(早植区)もなお水温で 1°C、3cm 地温で 0.8°C、10cm 地温で 0.7°C 程度の差が認められ、LAI が 3.0 の場合(普通植区)は両者の中間であつた(図省略)。

2. 日射の地面反射量の変化: 表2に、2回の測定における地面到達日射量および地面反射量の値を、いずれも裸地の水平日射量に対する比率で示し、また、これから計算した地面到達量に対する反射量の比率お

よび測定時の LAI を示した。地面到達日射量は門司・佐伯²⁾の光透過式 $I = I_0 e^{-KF}$ によく適合し、LAI が 1 では裸地の約70%であるが、3 では30%に減じ、4 では20%近くに低下する。この地面到達量のうち、上方へ反射する割合は対照区(C)では10.1~28.1%であるが、処理区(A)では25.8~47.5%に及び、処理区の反射率は対照区のその1~4倍、平均2.5倍に及んでいる。葉面積の増大につれて、透過量そのものが急速に低下するので、反射量の差はそれほど大きくないが、なおマルチングにより、LAI が2の時、裸地日射の約15%、4の時でも5%程度は強まっている。従つて LAI が4以下の場合、マルチングによる反射光の増大は無視できない量であるといふことができる。

3. 葉面あたり光合成能力および呼吸作用に及ぼす影響: 表3に示すように光合成能力は、マルチングにより早植区の1例を除き、ほとんど変化を示さなかつた。なお晩植区では、マルチング処理により穂ばらみ期に目立つて葉色が淡くなることが観察された。葉身

第1図 気温、水温、地温の日変化
(1965年8月17~18日測定)

第2図 生育時期にともなう葉面積指数の変化

第3図 乾物重の変化

第2表 マルチングによる地面反射日射量の変化

試 験 区	8 月 4 日 (晴)				8 月 18 日 (晴)				
	地面反射	地面到達	反射/到達	LAI	地面反射	地面到達	反射/到達	LAI	
早 植 区	C(対 照 区)	7.2	25.6	28%	3.4	2.3	22.7	10%	4.1
	A(長期マルチ)	7.2	27.9	26	3.6	8.9	25.5	35	4.8
普通植区	C	4.9	42.4	12	2.1	4.0	20.2	20	3.0
	A	20.8	43.9	48	2.0	6.6	25.5	27	2.8
晩 植 区	C	7.9	63.6	12	1.2	8.7	31.5	28	2.5
	A	29.0	64.0	45	1.1	14.3	32.0	45	2.6

註) いずれも、裸地での水平日射を 100 とした時の値。

第3表 葉身光合成能力・呼吸および根の呼吸

区		出 穂 期			出 穂 後 20 日		
		早 植	普通植	晩 植	早 植	普通植	晩 植
測 定	月 日	8.27	9.3	9.13	9.17	9.24	10.1
光合成能力 (P_o) $\text{mgCO}_2/\text{hr. } 100\text{m}^2$	C	9.00	9.87	11.00	7.78	6.29	6.12
	A	10.72	9.76	10.70	7.88	6.09	5.67
	B	9.11	9.05	10.30	7.82	6.03	5.09
呼 吸 (γ) $\text{mgCO}_2/\text{hr. g. DW.}$	C	1.01	1.07	1.00	0.46	0.93	1.18
	A	1.26	1.00	0.98	0.50	0.91	1.16
	葉身 B	1.13	1.00	0.99	0.49	0.81	1.00
	C	1.15	1.14	1.08	0.97	0.71	1.00
	A	1.16	1.37	1.14	0.77	0.78	1.16
	根 B	0.99	1.51	1.06	0.69	0.76	1.16

C : 対照, A : 長期マルチ, B : 短期マルチ, 各 2 点平均。

の呼吸は P_o とほぼ同じ傾向を示した。これに対して根の呼吸は、処理により早植区では変化なく、普通植区および晩植区では10~20%の促進が認められる。すなわち、マルチングにより地温の低下した区では根の呼吸活性が高く維持されたのである。なお、普通植、晩植のものは、マルチング区の方が黒色の根の割合が少ないことが観察された。

4. 葉面積・乾物重に及ぼす影響: LAI は出穂期ではマルチングにより減少する場合も増加する場合もあるが、出穂後20日頃にはやや減少する傾向を示した(図2)。出穂期および出穂20日後における地上部乾物重はマルチングによつて、いずれもあまり大きな変化を示していない(図3)。根の乾物重は早植区以外ではマルチングにより減少する傾向を示した。

5. 収量に対する効果: 表4に収量調査の結果を示した。精玄米重は早植のA区を除いて、いずれの場合もマルチングによつて増収していることが認められ、対照区に比べて最大15% (普通植のB区) の収量増加が認められた。効果は長期(A)よりも短期(B)処理区が明らかに大きい。

収量増加をもたらした形質としては登熟歩合の向上をあげることができる。すなわち、全粒数にはそれほど差はないのにマルチング区、とくにB区では登熟歩合の向上が認められ普通植では10%の増大をみている。また早植ではマルチングの効果低く、とくに長期処理区はかなりの収量低下を見たがこの場合は登熟歩合が低下している。

考 察

幼穂形成期から収穫期までの短期マルチングは精玄米収量を最大15%程度高めることが示された。効果は普通植で最も大きく、晩植がこれに続き、早植は最も劣る。しかし処理をさらに15日間長くすると効果はほとんどみられなくなる。従つてこの方法は生育の比較的後期に限つて収量にプラスに働き、幼穂形成期以前にはむしろマイナスに働くものと考えられる。マイナスの原因は明らかでないが、長期マルチ区は短期マルチ区に比べて登熟歩合の低下が著しいことが注目される。

増収に直接結びつく構成要素は登熟歩合の向上であ

第4表 収量調査

		精玄米重		全モミ数	
		実数 (g/m ²)	比数*	(個/m ²)	登熟歩合 (%)
早植	C	402	100	23.5×10 ³	76.6
	A	373	93	23.0	73.0
	B	417	104	22.9	75.5
普通植	C	314	100	23.0	62.3
	A	322	103	23.0	57.4
	B	362	115	21.7	72.4
晩植	C	189	100	21.0	39.0
	A	192	102	22.3	35.9
	B	206	109	21.8	42.2

*対照区を100とした時の処理区の割合。

るが、全もみ数は処理によりそれほど大きな変化をみていないので、もみへ配分されるべき炭水化物の生産量あるいはそのもみへの転流量がマルチングによつて増大したと考えなければならない。

さて、マルチングにより田面水および土壌の最高温度はかなり低下し、LAIが小さい場合は晴天であれば共に2~3°Cの差が認められた。これが土壌中の有害還元物質の発生を抑え、根の活力の保持に有利に働き、根の呼吸を高く保持させたものと考えられる。しかし地温の低いことは、他方で土壌中の窒素の有効化を抑制し、根の吸収量を減じ葉身窒素含量を低下させたに違いない。マルチング区の葉色が淡くなつたことがこれを裏づけている。光合成能力自体に対しマルチングの効果がみられなかつたのは、これらのプラスとマイナスが相殺されたためと考えられる。

乾物重のデータ(図3)と収穫物調査の結果(表4)とから、収穫期の穂重に占める出穂前の蓄積転流分(Te)と、出穂後の新たな同化分(As)とを計算して図4を得た。ただし登熟期間中の茎葉部の乾物重減少はすべて穂への転流によると仮定して計算した。図4から次のことがわかる。すなわち、マルチング区は対照区に比べて、いずれの場合も蓄積転流分が多い。また晩植の両区と普通植の短期処理区ではいずれも出穂後同化分が多い。

マルチングによりPoは促進されずLAIにも大差がみられないから、この出穂後同化分の増加は地面からの光の反射の増大によると推定される。光の反射増大効果の大きい区ほど、出穂後同化分の促進効果が一般に大きい事はこの推定を一そう有力にする。

他方出穂前の蓄積転流分がマルチングにより増加した原因については具体的な筋道は不明であるにせよ、根が健全に保たれたことが地上部の物質転流機能に好

第4図 収穫期穂重に占める出穂前の蓄積転流分と出穂後同化分

■ 登熟期間中の茎葉部からの転流量(Te)
□ 出穂期穂重(E₁)
▨ 登熟期間中の新たな同化量(As)
Te: 収穫期茎葉重-出穂期茎葉重
As: 収穫期穂重-(Te+E₁)

影響を及ぼすという可能性は十分考えられる。

こうして白色マルチングによる増収の原因は、結局地面からの光の反射の増大による光合成量の増加と、地温の低下による根の健全化との両者にあると考えられる。

摘 要

1) 栽培時期を変えて栽培した水稻に、幼穂形成期から収穫期まで白色の合成樹脂板によるマルチングを施したところ、早植ではほとんど効果がなかつたが、普通植、晩植では最大15%の収量増加がえられた。

2) マルチング区では水および土壌の最高温度の低下(最大2~3°C)と地面からの反射光の増大(最大、対照区の2~3倍)が認められた。

3) 根の呼吸の強さは処理区の方が高く、これは地温低下の効果と考えられる。

4) 葉の光合成能力にはマルチングの効果は現われなかつた。これは地温の低下により土壌窒素の有効化が抑えられ葉身窒素含量の低下を生じ、それが根の健全化によるプラスと相殺したためと思われる。

5) しかし、収量に占める出穂後の同化分は、普通植、晩植では処理区が大きく、これはマルチングによる地面からの反射光の増大によると考えられる。また処理全区において出穂前の蓄積転流分の増加が認められ、これは地温の低下による根の健全化と関係があると考えられる。

引用文献

1. 稲田勝美 1950. 水稻根の採取法. 農及園 35 (5): 877—878.
2. MONSI, M. und T. SAEKI., 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion Jap. Jour. Bot. 14(1): 22—52.
3. 村田吉男 1964. わが国水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について. 日作紀 33(1): 59—63.
4. 村田吉男・猪山純一郎・本間力 1965. 水稻の光合成に関する研究, 第13報, 光合成と根の生長および活力との相互関係. 日作紀 34(2): 148—153.
5. 佐藤正一 1960. 本邦暖地の稲作気候と水田微気候ならびに微気候調節に関する研究. 九州農試彙報 6: 259—364.

Studies on the Photosynthesis of Rice Plants

XIV. The effect of white mulch on dry matter production and yield of rice.

Yoshio MURATA, Shigemi AKITA and Tsutomu HONMA

(National Institute of Agricultural Sciences, Konosu, Saitama)

Summary

In a previous paper, it was reported that the yield of rice of various districts in Japan was influenced by the weather conditions, particularly by the temperature and the amount of solar radiation in the ripening period. A high correlation was found between the yield and the amount of solar radiation. As to the effect of temperature, however, it was, shown that there exists a certain optimum temperature.

The present experiment was carried out to apply this theory to a practical phase and to avoid the ill-effect of high soil-temperature and at the same time to increase the utilization of radiation energy of rice population by increasing reflection at the soil surface. The surface of paddy field was covered with white, foamed styrol board from the panicle-formation-period to harvest. The effect of such treatment on the soil-temperature, reflection of radiation, dry matter production and yield was investigated. A medium-term variety, Norin 29, was used. Three different seasons of cultivation were adopted. The period of mulching treatment was two, a long term one (from 40 days before heading to harvest) and a short term one (from 25 days before heading to harvest).

1. In treated plots, grain yield was increased about 10-15% compared with the non-treated plots in the standard and late cultivations but no increase in early cultivation.

2. In treated plots, daily maximum soil temperature was lowered and the reflection of radiation at soil (mulch) surface was increased.

3. In treated plots, the respiratory activity of root at later growth stages was maintained higher than non-treated plots.

4. Any enhancement of the photosynthetic activity of leaves was not brought about by the treatment. It was supposed that the favorable effects of higher activities of roots were masked by the decrease in nitrogen content in leaves as a result of the retarded decomposition of organic nitrogen in the soil due to lower soil temperature.

5. In spite of this, in treated plots the quantity of assimilated products which were assimilated after heading stage was more than that in non-treated plots. It was considered that this phenomenon was due to the increased reflection of radiation from the soil surface.

6. This treatment was effective only when it was applied at comparatively late growing stage. Before panicle formation period, it was found to be unfavorable for the growth as well as for the grain yield.