

トリアコンタノールの葉面散布が水稻の生育・収量に及ぼす影響

第2報 散布濃度を中心として*

川島 栄・村田吉男・名越時秀

横沢健二・中村隆博**

(東京農業大学・**帝人株式会社)

昭和63年7月29日受理

要 旨: トリアコンタノール (TRIA) を生育初期に葉面散布すると玄米増収効果を示すことが分かっているが、使用濃度幅が広くなかったため、本報では散布濃度の効果に重点を置き、TRIA が水稻の生育・収量に及ぼす効果の確認と解析を試みた。結果は次のとおりであった。

1. 有効な処理濃度の範囲は広く (0.2~10 ppb)、分けつ初期のみの 10 ppb 液散布で最高 16% の増収が得られ、有効濃度幅は比較的広いことが分かった。
2. 生育初期の地上部生育は若干抑制される傾向を示したが、生育後期の根系は処理により著しく大きく保たれることが見出された。
3. 増収の要因は、登熟歩合と玄米千粒重の向上による場合が多かった。
4. 処理区の出穂後全乾物増加量と登熟期間の純同化率 (NAR) はともに無処理区より高く、この両者の間には全区をこみにして高い正の相関関係が認められた。

以上の結果から、生育初期の水稻への TRIA の葉面散布は、地上部の生長はある程度抑制するが、穂数や粒数を増やし、根系の増大による出穂後乾物生産の向上を通じて登熟歩合を高め、増収に導いたものと推定された。

キーワード: 収量, 水稻, 生育, トリアコンタノール, 有効濃度, 葉面散布。

Effect of Foliar Application of Triaccontanol on Growth and Yield of Rice Plants II. Effect of the triaccontanol concentration: Sakae KAWASHIMA, Yoshio MURATA, Tokihide NAGOSHI, Kenji YOKOZAWA and Takahiro NAKAMURA** (*Tokyo University of Agriculture, Setagaya, Tokyo 156, Japan, **Teijin Limited, Chiyoda, Tokyo 100, Japan*)

Abstract: In the previous paper it was reported that the yield of rice was increased by the foliar application of triaccontanol (TRIA) at early growth stages. However, as the range of TRIA concentration used was not so wide, the effect of concentration was examined in this report. Main results obtained are as follows:

1. The range of effective concentration was found to be wide, from 0.2 to 10ppb, and the highest yield, 16% over the control, was obtained by 10ppb sprayed at the early tillering stage.
2. By TRIA-spraying, growth of the top was slightly inhibited, but the root system during the ripening period remained considerably heavier than the non-treated control.
3. In most cases, yield increase was brought about by increases in the percentage of ripened grains and in 1000-grain weight.
4. Both the dry weight increase and NAR during the ripening period were higher in the TRIA-treated plots than in the control plot. A high, positive correlation was found between these two growth parameters.

From these results it was inferred that TRIA-application increased the number of panicles and grains and, in addition, helped maintain a large and healthy root system during the grain-filling period, which contributed to promoting ripening by increasing dry matter production after heading.

Key words: Effective concentration, Foliar application, Growth, Rice plants, Triaccontanol, Yield.

前報⁶⁾で、トリアコンタノール (TRIA) のコロイド分散液を水稻コシヒカリと日本晴の分けつ初期に 0.2 ppb と 1 ppb の濃度で、また前者の苗代末期に 10 ppb の濃度で、それぞれ葉面散布した結果、無散布区に比べて玄米収量を 10~14% 増大したが、重複散布は効果が低いことを報告した。このように、水稻の苗代末期や分けつ初期のみの散布で効果

が高く、その有効な濃度にかかなりの幅 (0.2~10 ppb) のあることが判明した。

そこで著者らは、水稻2品種を供試し、合成 TRIA の処理濃度を3段階に変え、分けつ初期のみの散布と、分けつ初期と出穂期との重複散布を組み合わせた圃場試験を行い、TRIA が水稻の生育や収量に及ぼす効果をより広い濃度と散布法の組み合わせの下に検討した。

* 大要は、第182回講演会 (昭和61年10月) において発表。

Table 1. Dates of growth stages of the rice cultivars used in this experiment.

Cultivar	Seeding date	Trans-planting date	Early tillering stage ¹⁾	Young panicle formation stage	Heading date	Maturing date
Koshihikari	Apr. 24	Jun. 11	Jun. 26	Jul. 19	Aug. 19	Oct. 4
Nipponbare	May 2	Jun. 18	Jul. 6	Aug. 1	Aug. 27	Oct. 17

¹⁾Date of TRIA-application.

材料と方法

本試験は1985年4月から10月まで、神奈川県厚木市の東京農業大学厚木中央農場の洪積性関東火山灰質埴壌土の水田圃場で行った。供試品種は、水稻コシヒカリと日本晴である。播種量は110 ml/m²で、条間7.5 cmの条播とし畑状態で育苗し、生育中庸な苗を移植した。なお、播種日と移植日は第1表のとおりである。栽植様式および密度は、畦間33 cm、株間13.5 cmの1株2本の南北並木植で22.4株/m²植とした。基肥はトモエ化成12号(N:P:K=8:7:5)を10 a当たりコシヒカリに25 kg、日本晴に40 kgを全層施肥し、穂肥はNK化成C6号(N:P:K=17:0:17)を両品種とも10 a当たり12 kg施肥した。なお、前年秋耕時に10 a当たりソフトシリカ(SiO₂ 73%, CaO 3%)を100 kg、溶成燐肥を60 kgおよび堆肥2トンを全面散布して、20 cmの深さにロータリー耕した。

試験区分は、合成TRIAのコロイド分散液を用い、品種区分2区(コシヒカリ、日本晴)、処理期区分2区(分けつ初期散布S、分けつ初期および出穂期の重複散布D)、濃度区分3区(低濃度L 0.2 ppb、中濃度M 1 ppb、高濃度H 10 ppb)とし、これに無散布の対照区(C区)を設け、1区4反復の乱塊法で比較した。なお、各1小区画の面積は4 m² (2 m×2 m)とした。

処理方法は、本剤の分散液を晴れた日の午前10時から12時までの気温の比較的高く、気孔開度の大きい時に、噴霧器で茎葉に190 ml/m²散布し、翌日再び同様に散布した。なお、散布時期は第2表に示したとおりであるが、コシヒカリの出穂期散布は出穂7日後と8日後の8月26日と27日である。

調査方法は、生育調査、収量調査ともに、各小区画内のボーダー列や株を除いた小区画の中心の隣接する4列より、出穂前は茎数を、出穂後は穂数をそれぞれ20株について調査し、その平均値に近い株を採取した。各小区画より生育調査では2株ずつ1

Table 2. Design of TRIA treatment.

Cultivar	Plot	Application stage	Concentration(ppb)
Koshihikari	SL	Early tillering stage	0.2
	SM	Early tillering stage	1.0
	SH	Early tillering stage	10.0
	DL	Early tillering stage + Heading time	0.2
	DM	Early tillering stage + Heading time	1.0
	C	No-application	—
Nipponbare	SL	Early tillering stage	0.2
	SM	Early tillering stage	1.0
	SH	Early tillering stage	10.0
	C	No-application	—

区当たり計8株、収量調査では5株ずつ計20株を掘り取り調査した。生育調査は、分けつ初期、幼穂形成期および出穂期にそれぞれ行い、収量調査は成熟期に収穫し、2週間架干しの風乾物について行った。

根部は、一株当たりの占有面積(33 cm×13.5 cm)に含まれる部分を深さ20 cmまで掘り取り、その重量を調査した。

結 果

1. 生育に及ぼす影響

草丈：全生育期間を通じて、ほとんどの処理区でC区より草丈は僅かに低く、とくに日本晴のSM区とSH区の出穂期では有意差が認められた(第3表)。

葉面積：日本晴の成熟期の葉面積は処理区で大きい、それ以外は両品種ともほとんどの処理区で小さく、草丈と同様な傾向を示した(第4表)。

根重：日本晴では幼穂形成期と出穂期にはやや大きい傾向を示したが、成熟期に処理区の根重はC区より小さかった。コシヒカリではほとんどの処理区で大きく、とくに、出穂期と成熟期はC区より著しく大きく、有意差が認められた(第5表)。

全乾物重：日本晴では処理区的全乾物重はC区よ

Table 3. Comparison of plant length(cm) at each growth stage.

Cultivar	Growth stage	Plot					
		SL	SM	SH	DL	DM	C
Koshihikari	I	60.7**	64.1	64.2	—	—	64.8
	II	115.3	115.3	114.3	—	—	115.5
	III	114.9	114.3	114.8	118.1	115.9	116.7
Nipponbare	I	71.2	69.6	70.7	—	—	70.5
	II	108.3	105.2*	106.6*	—	—	109.3
	III	107.2	106.8	106.6	—	—	107.1

I : Young panicle formation stage, II : Heading time, III : Maturing stage.

***Difference between the plot and C is significant at 5% and 1% level, respectively.

Table 4. Comparison of leaf area (cm²) per hill at each growth stage.

Cultivar	Growth stage	Plot					
		SL	SM	SH	DL	DM	C
Koshihikari	I	553*	613	591	—	—	637
	II	1717	1752	1766	—	—	1760
	III	1094	1139	1149	1224	1175	1195
Nipponbare	I	1717	1739	1945	—	—	1790
	II	2464	2265**	2433	—	—	2596
	III	1670	1499	1496	—	—	1424

I, II, III, *and **are the same as in Table 3.

Table 5. Comparison of root dry weight (g) per hill at each growth stage.

Cultivar	Growth stage	Plot					
		SL	SM	SH	DL	DM	C
Koshihikari	I	0.98	1.20	1.19	—	—	1.17
	II	3.16	3.22*	3.41*	—	—	2.58
	III	3.23*	3.32*	3.25	3.25*	3.13	2.79
Nipponbare	I	2.75	2.44	2.78	—	—	2.52
	II	4.80	4.84	4.78	—	—	4.58
	III	4.55*	5.18	4.54*	—	—	5.26

I, II, III, *and **are the same as in Table 3.

Table 6. Comparison of total dry weight (g) per hill at each growth stage.

Cultivar	Growth stage	Plot					
		SL	SM	SH	DL	DM	C
Koshihikari	I	5.8*	6.6	6.4	—	—	6.7
	II	52.7	51.5	53.3	—	—	52.0
	III	72.7	71.5	74.2	74.5	75.0	70.4
Nipponbare	I	16.9	16.8	18.8	—	—	17.5
	II	55.5	53.0	54.2	—	—	55.3
	III	82.7	76.0	77.5	—	—	78.0

I, II, III, are *the same as in Table 3.

り小さい場合が多い。しかし、コシヒカリは幼穂形成期には処理区の方が小さいが、出穂期から成熟期までの生育後期には TRIA 処理により全乾物重が増大する傾向がみられる (第6表)。

2. 収量構成要素に及ぼす影響

一株穂数：両品種とも、一株穂数はすべての処理区で多く、コシヒカリはC区の穂数は13.7本であるのに対して、処理区では13.9～14.4本となり、

Table 7. Comparison of yield components and weight of hulled rice (brown rice).

Cultivar	Plot	Number of panicles per hill	Number of grains per panicle	Percentage of ripened grains (%)	1000 grains weight of hulled rice(g)	Weight of hulled rice per hill(g)
Koshihikari	SL	13.9±0.6	103.0±2.1	79.5±0.7**	21.6±0.02**	24.5±0.7(114)*
	SM	14.3±0.3	98.3±1.7	78.6±1.6*	21.7±0.14*	24.0±1.0(112)*
	SH	14.4±0.4	103.5±1.7	77.6±2.2*	21.6±0.17*	24.9±0.9(116)*
	DL	14.3±0.4	104.4±2.5	73.1±1.9	21.6±0.26	23.4±1.0(109)
	DM	14.3±0.2*	105.4±2.6	74.9±2.6	21.3±0.19	24.1±1.4(112)
	C	13.7±0.2	101.9±3.1	72.8±1.4	21.2±0.12	21.4±0.8(100)
Nipponbare	SL	17.3±0.4	96.9±1.4	71.9±0.5	22.9±0.08	27.6±1.1(107)
	SM	15.9±0.3	97.8±0.7	71.6±0.6	22.9±0.18	25.5±0.6(99)
	SH	16.2±0.4	96.1±2.2	75.6±0.7*	22.9±0.07	26.9±0.9(104)
	C	15.8±0.9	100.4±2.6	72.1±1.5	22.8±0.05	25.8±0.6(100)

Each value indicates mean with standard error. Numerals in the parentheses are values in percentage to the control(C).

* and ** are the same as in Table 3.

Table 8. Comparison of number and weight of grains per hill.

Cultivar	Plot	Number of whole paddy	Number of winnowed paddy	Weight of whole paddy (g)	Weight of winnowed paddy (g)
Koshihikari	SL	1426±53	1133±35*	35.1±1.1	30.5±0.9**
	SM	1406±33	1105±38	34.2±1.1	29.8±1.2*
	SH	1486±51	1151±42*	36.6±1.3	31.2±1.4*
	DL	1485±26*	1086±43	36.1±1.1	28.5±1.3*
	DM	1506±26*	1130±58	36.6±1.4	29.4±1.8
	C	1390±38	1012±32	33.6±1.4	26.1±1.0
Nipponbare	SL	1677±61	1206±51	39.0±1.6	30.8±0.8
	SM	1556±45	1114±35	35.2±1.1	30.8±0.8
	SH	1551±56	1172±36	36.4±1.3	32.5±1.1
	C	1575±65	1133±25	35.7±0.7	31.1±0.7

Each value indicates mean with standard error.

* and ** are the same as in Table 3.

日本晴ではC区が15.8本、処理区は15.9～17.3本である(第7表)。

一穂粒数：日本晴ではすべての処理区で一穂粒数はC区より少ないが、コシヒカリではSM区以外のすべての処理区で多い傾向がある(第7表)。

登熟歩合：登熟歩合は、後述の精粒数・精粒重の傾向からも推測されるとおり、TRIA処理により高められる場合がほとんどである。すなわち、コシヒカリではすべての処理区で高く、とくに、SL区、SM区およびSH区で著しく高められ、有意な差が認められた。しかし、日本晴では、SH区はC区より高いが他の区はやや低い(第7表)。

玄米千粒重：両品種とも、TRIA処理によって僅かに増加する傾向がある。とくに、コシヒカリのSL区、SM区およびSH区はC区との間に登熟歩合と同様に有意差が認められた(第7表)。

3. 収量に及ぼす効果

粒数および粒重：一株粒数および一株粒重は、日本晴では処理区の方が多い場合もあるが大差はみられない。しかし、コシヒカリでは両者ともにすべての処理区でC区より多く、有意差の認められた区も多い。しかも、精粒数と精粒重で差はとくに顕著であり、登熟が良好となったことがうかがわれる(第8表)。

一株玄米重(収量)：日本晴のSM区の玄米重は、C区に対して1%の減収となったが、これ以外のすべての処理区では両品種とも増収した。すなわち、日本晴では4～7%、コシヒカリでは9～16%それぞれ増収した。とくに、登熟歩合と玄米千粒重が高められたコシヒカリのSL区、SM区およびSH区ではそれぞれ14%、12%および16%の増収となり、ともに5%水準で有意差が認められた(第7表)。

4. 出穂後の乾物生産と収量の関係

前述のように、処理区で籾数の増加に比べて精粒重の増大がより著しく、また、登熟歩合と玄米千粒重がともに増大したことから、TRIA は出穂後の水稻の乾物生産に大きな影響を及ぼしたものと考えられる。そこで、出穂後の乾物生産と収量の関係について検討した。

処理区の根重は、コシヒカリでは出穂期と成熟期に著しく重く、日本晴でも出穂期にはやや重い傾向を示した。出穂後の全乾物増加量 (ΔW) および出穂期から成熟期の純同化率 (NAR) は、両品種ともに処理区で高い。そこで、このような水稻の収量に影響を与える要因についてそれぞれ相関関係を調べた。

その結果、出穂期根重 (RW) と ΔW の間には、日本晴では明らかでないがコシヒカリでは正の相関 ($r=0.6069$) を示す傾向にある。他方、NAR と ΔW の間には、日本晴では 10% 水準で正の相関 ($r=0.9385$) がみられる程度であるが、コシヒカリの場合は、 $r=0.9813$ (0.1% 水準で有意) と高い正の相関が認められた (第 1 図)。また、前述のように、出穂期根重と ΔW は両品種ともにすべての処理区で対照区より高く、このうち前者と玄米収量の間にはコシヒカリの場合は高い正の相関 ($r=0.9586$, 1% 水準で有意) が認められる (第 2 図)。ただし、両品種を含めると RW, ΔW とともに玄米収量と有

意な相関を示し、その値はそれぞれ $r=0.8956$ (0.1% 水準で有意), $r=0.8177$ (1% 水準で有意) である。

考 察

草丈は、ほとんどの場合に処理区で低く、葉面積は日本晴の成熟期では処理区でやや大きい、全般的に処理区で小さい。全乾物重は、草丈や葉面積の傾向からも推察できるように、出穂期頃までは処理区が少なく、しかし、成熟期にはほとんどの場合に処理区で大きく、出穂後の乾物生産量が大であることを示す。この傾向はとくにコシヒカリで顕著である。このように、TRIA は生育前半期の地上部生長に対してはやや抑制的に作用する傾向がある。しかし、生育の後半期の乾物重、とくに地下部重 (根重) はほとんどの場合に処理区で重く、この傾向はコシヒカリでより強い。

収量構成要素のうち、登熟歩合と玄米千粒重はコシヒカリではすべての処理区で高く、日本晴でも玄米千粒重は処理区で重い傾向を示し、登熟歩合も高濃度散布区では高まった。これらの傾向は、前報⁶⁾より一層顕著である。このことは、TRIA が登熟期間である出穂後の生育、とくに地下部 (根系) の生長を促進する作用が強く、それが粒の充実促進をもたらしたものと考えられる。

子実生産に対する出穂後の同化産物の寄与率は出

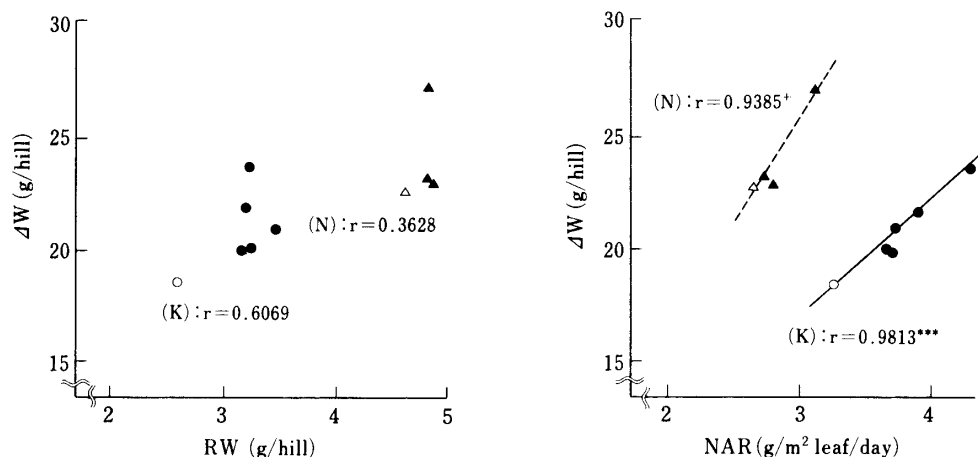


Fig. 1. Correlations of dry weight increase after heading (ΔW) with root dry weight at heading time (RW) and net assimilation rate from heading to maturity (NAR).

Control Treatment Cultivar
 ○ ● Koshihikari
 △ ▲ Nipponbare
 (K): Koshihikari (N): Nipponbare

+, ***, Significant at 10% and 0.1% level, respectively.

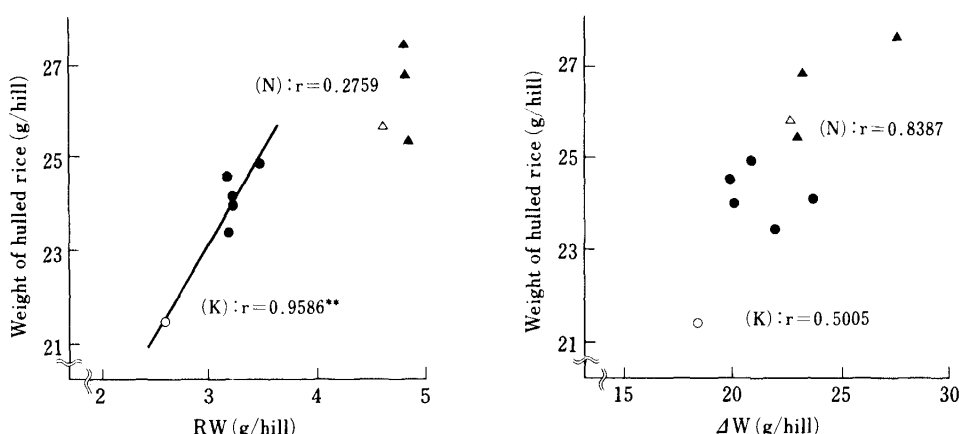


Fig. 2. Correlations of hulled rice yield with root dry weight at heading time (RW) and dry weight increase after heading (ΔW). Symbols in the figure are the same as those in Fig. 1.

** Significant at 1% level.

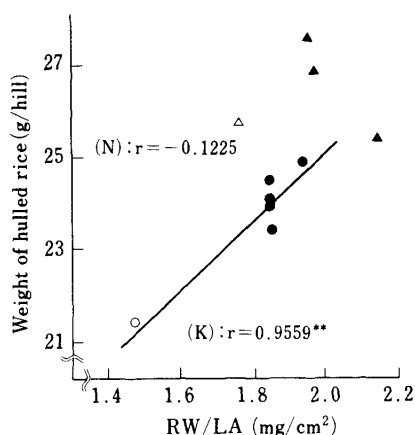


Fig. 3. Correlation between root dry weight per leaf area (RW/LA) at heading time and hulled rice yield. Symbols in the figure are the same as those in Fig. 1.

** Significant at 1% level.

穂前のそれより大きく^{4,7,8,9,12,13)}, 多収のためには、穎花数、出穂後乾物生産量を増やすことはもちろん、同時に貯蔵炭水化物を増やすことが重要である⁵⁾とされている。前述のように、 ΔW および NAR がともに処理区で高いことは、光合成の働きが高められたためと考えられるが、この点に関しては直接の証明はまだない。高濃度 CO_2 の下で、TRIA 処理された緑藻の光合成能力が高まることは報告¹⁾されているが、高等植物での信頼すべき報告はない。しかし、本試験の処理区では出穂期根重が重いことに加えて、葉面積に対する根重の割合も大きい (第3図)。これらのことから、TRIA 処理は、生育後期の根の水分吸収量を増し、気孔開度を大き

くして^{2,3)} 光合成速度を高めるか、あるいは根のサイトカイニン生成量を増やして¹⁰⁾ 光合成能力を高めることにより、収量内容物の生産を増やし、玄米への配分を増して、増収に導くのではないかと推測される。第1図～第3図に示した各種の相関はこの可能性を支持するものと考えられる。

日本晴では、収量構成要素に対する TRIA の効果はあまり明確に現われなかったが、コシヒカリではその効果が明らかで、効果がみられなかったのは分けつ初期の中濃度 (1 ppb) 散布区で一穂粒数が4%の減少となった場合のみであった。この違いは品種の特性に基づくと思われるが詳細は明らかでない。

散布濃度の相違による効果の差異は明らかではなく、その有効な濃度にかかなりの幅があるものと考えられる。これは、著者らが前報⁶⁾で報告した結果ともほぼ同様であり、Houtz ら¹¹⁾や Ries¹²⁾の報告した各種の生理、生化学的影響においても同様である。

また、分けつ初期と出穂期の重複散布による増収効果は、分けつ初期のみの散布を上回ることはなかった。その原因として、1) 散布の効果は充分長く持続し、1回以上は必要ないのか、2) 重複散布により促進効果を発現させるためには、出穂期の散布では時期が遅すぎるのか、あるいは、3) 散布作業による根の傷害その他のマイナスにより促進効果が打ち消されるためか、の3つの可能性が考えられるがそのいずれによるかはまだ明らかでない。

以上の結果から総合的に判断すると、水稻に葉面散布された TRIA は、生育初期の地上部生育には

やや抑制的に作用するが、穂数や粒数は増大し生育後期の根系の生長を促す。また、出穂後の登熟期間には、根系の発達が増大が光合成速度を高め、乾物生産の向上を通じ、登熟歩合や玄米千粒重を高めることによって収量増加を実現したものと考えられる。

引用文献

1. Houtz, R.L., S.K. Ries and N.E. Tolbert 1985. Effect of triacontanol on *Chlamydomonas*. I. Stimulation of growth and photosynthetic CO₂ assimilation. *Plant Physiol.* 79: 357-364.
2. 石原 邦・石田康幸・小倉忠治 1971. 水稻葉における気孔の開閉と環境条件. 第2報 気孔開度の日変化について. *日作紀* 40: 497-504.
3. ————・————— 1971. ————. 第3報 異なった葉位における気孔開度およびその日変化の相違について. *日作紀* 40: 505-512.
4. 石塚喜明・田中 明 1952. 水稻の生育経過に関する研究. 第2報 各種有機成分の水稻生育経過に伴う消長. *土肥誌* 23: 113-116.
5. 翁 仁憲・武田友四郎・懸 和一・箱山 晋 1982. 水稻の子実生産に関する物質生産的研究. 第1報 出穂期前に貯蔵された炭水化物および出穂後の乾物生産が子実生産に及ぼす影響. *日作紀* 51: 500-509.
6. 川島 栄・村田吉男・坂根一則・名越時秀・戸井祥夫・中村隆博 1987. トリアコンタノールの葉面散布が水稻の生育収量に及ぼす影響. 第1報 処理時期を中心として. *日作紀* 56: 555-562.
7. 松島省三・和田源七 1958. 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48報 水稻登熟機構の研究(9). 出穂前貯蔵炭水化物・出穂後蓄積炭水化物及び出穂時窒素含量が水稻の登熟歩合並びに収量に及ぼす影響. *日作紀* 27: 201-203.
8. ————・—————・松崎昭夫 1966. ————. 第74報 高収量成立原理の探索と実証. *日作紀* 34: 321-328.
9. 村田吉男・猪山純一郎・姫田正美・泉 清一・河辺受宏・神前芳信 1966. 光合成と物質生産から見た水稻の深耕密植栽培の研究. *農技研報* D15: 1-54.
10. Oritani, T. and R. Yoshida 1973. Studies on nitrogen metabolism in crop plants. VII. Cytokinins and abscisic acid-like substances levels in rice and soybean leaves during their growth and senescence. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 42: 280-287.
11. Ries, S.K. 1985. Regulation of plant growth with triacontanol. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2: 239-285.
12. 曾我義雄・野崎倫夫 1957. 水稻における蓄積炭水化物の消長と登熟との関係. *日作紀* 26: 105-108.
13. 田中 明 1973. Source-Sink 関係よりみた多収性の解析. *育種学最近の進歩* 第15集. 日本育種学会. 29-39.