

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 116報

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	松崎, 昭夫 松島, 省三 富田, 豊雄
巻/号	42巻3号
掲載ページ	p. 362-369
発行年月	1973年9月

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 116 報 生育抑制効果に及ぼす窒素制限開始時の生育量と無窒素処理期間の影響*

松崎昭夫**・松島省三***・富田豊雄**

(**農林省農業技術研究所・***日本工営株式会社)

前報^{2,3,4)}の生育時期別無窒素処理の結果、窒素制限を必要とする時期は、葉令指数 70~90 の期間であることが明らかにされた。そして、この無窒素処理は、形態的には稲体を矮小直立化し、体質的には窒素含有率の低下に伴って炭水化物含有率を高める効果をもっている。その結果として、倒伏抵抗性の強化と光エネルギーの高度利用のために登熟歩合が高められ、収量の増加がもたらされている。その反面、無窒素栽培は根圏を還元化し、根腐れを誘発することも示唆されているが⁵⁾、一方、発生後間もない新根は減数分裂期ごろまでは、10 日間の無窒素処理により影響を受けないことも実証されている⁶⁾。しかし、これまでの研究の多くは窒素供給の有無を論じているのみで、むしろ定性的であり、定量的な研究は少ない。すなわち、窒素の供給停止に附随して生ずる諸現象は、窒素供給停止時の生育量と窒素供給停止期間の長短によつて、かなり数量的に表現できるものと考えられるが、この点についての研究が乏しい。このような観点から、窒素制限開始時における生育量を異にする材料について窒素制限の期間を異にする実験を行ない、若干の数量的知見を得たので報告する。

実験方法

品種マンリョウを供試し、1969 年 5 月 13 日、1 区面積 1.6 m²、深さ 0.3 m の礫耕ベッドに移植 (29.1 株/m² 3 本植) し、前報³⁾所載の水耕液を用いて培養した。活着後 2 週間目と 5 週間目から、それぞれ 3 週間および 4 週間の無窒素処理を施した。第 1 表に処理開始および終了時、処理期間および処理開始までの培養液窒素濃度等を示した。すなわち、無窒素処理開始時に生育量を異にする材料を得るために、処理開始前の窒素濃度を 30 ppm と 60 ppm の 2 段階とした。処理期間中は培養液から窒素成分を除き、処理終了後は再び窒素濃度 30 ppm の完全培養液を給与した。株当たり 2 l の培養液を週 2 回更新した。処理開始時と終了時を中心に数回サンプリングを行ない、乾物重・稲体各器官の窒素含有率を調査し、処理開始時の生育量と処理期間が生育抑制に及ぼす影響について種々検討を加えた。

実験結果

1. 収量および収量構成要素

まず注目すべき点は、無処理区 (第 1 区・5 区) に

Table 1. Experimental design.

Treatment number	Nitrogen concentration before depletion treatment	Nitrogen depletion treatment				No. of leaves on main culm
		Period of treatment	Date of the starting and the end	No. of days before heading	Leaf number index (LNI)	
1	30 ppm	— week	—	—	—	16.5
2	30	3	May 29—June 18	76-56	58-71	16.4
3	30	4	May 29—June 25	69-42	62-81	15.5
4	60	4	May 29—June 25	67-42	62-80	15.7
5	60	(4)	June 26—July 23	45-18	81-92	16.0
6	30	3	June 16—July 9	51-31	76-86	16.0
7	30	4	June 19—July 16	52-27	75-88	16.0
8	60	4	June 19—July 16	52-25	76-89	16.0

Note: Treatment number 5 was used as the control of treatment numbers 6-8, until June 26.

* 昭和 48 年 2 月 23 日受理
第 155 回講演会 (昭和 48 年 4 月) において発表

Table 2. The grain yields and their components.

Treatment number	No. of panicles per m ²	No. of spikelets		Percentage of ripened grains	Weight of 1000 grains	Grain yield
		per panicle	per m ²			
1	765	59	45.4×10 ³	59.6%	24.0 g	54.6 kg/a
2	521	75	38.8	76.9	23.9	59.9
3*	—	—	—	—	—	—
4	483	72	34.7	73.5	23.4	50.2
5	655	60	39.0	68.1	24.4	54.4
6	640	61	39.0	79.4	24.6	64.0
7	675	59	39.9	82.2	25.5	70.2
8	757	58	43.8	67.5	24.9	61.8

Note: The rice plant in the treatment number 3 died of root-rot by the time of heading.

比し、大部分の区で無窒素処理（以下処理と略記する）による登熟歩合の向上が明らかにみられることである（第2表）。その結果、とくに第6区および第7区の収量が高くなっている。ついで、第8区と第2区の収量が高いが、第8区は登熟歩合の向上が不十分であり第2区では処理開始前に生育量不足のため穎花数が少なく、いずれも十分な収量をあげるに至らなかった。また、第3区は処理開始前の生育量が小さく、しかも4週間の処理を受けたので、出穂期ごろに根腐れにより枯死したので収量成績は得られなかった。

このように、処理開始時の生育量の小さい第2～第4区では3～4週間の処理により受光態勢が改善され

て登熟歩合の向上がみられるが、穎花数が不足して多収とならないばかりか、第3区のように、処理開始時の生育量が小さいのに処理期間が長いと、個体としての生育を全うすることすら不可能となる。一方、第8区のように、処理開始時の生育量が大いいと、4週間の処理でもなお、受光態勢に対する改善効果は不十分であり、したがって登熟歩合も低い。これらの結果から、生育中期の無窒素処理による生育抑制効果は収量構成要素の点からみても、処理開始時の生育量と処理期間に大きく左右されていることは疑いえない事実である。

2. 茎数・葉色および外部形態

無窒素処理が茎数の推移に及ぼす影響は、第1図にみられるように、処理開始時の茎数が少ない第2～第4区では、処理開始後直ちに分げつの増加が抑制され最高茎数も少なくなる。この傾向は処理期間が長いほど著しい。しかし、処理開始時の茎数が若干多い第4区は、第2区および第3区よりも茎数が多く経過している。最高分げつ期ごろに処理を受けた第6～第8区は、第2～第4区と比較すると処理の影響が小さい。しかし、処理開始時の茎数が多い第8区は、やはり第6区および第7区より終始茎数が多く経過している。すなわち、第1図は、処理開始時期・処理開始時の茎数および処理期間の長さによつて、茎数の推移が著しく異なることを示している。

KI型葉緑素計¹⁾で測定した葉色程度を、第1区の測定値に対する指数として示したものが第2図である。茎数の場合と同じように、処理期間が長いほど（第2区と第3区の比較）、また、処理開始時の生育量が小さいほど（第3区と第4区の比較）処理による葉色の低下度が大きい。

外部形態の中でも、倒伏を通じて受光態勢に与える

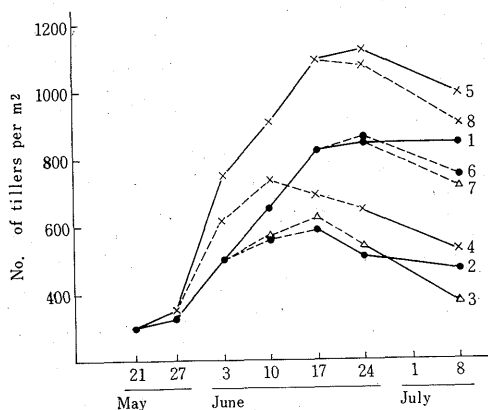


Fig. 1. Effects of the nitrogen depletion treatment on the number of tillers.

Note: 1. Broken line represents the period of the nitrogen depletion treatment.

2. Numerals in the figure mean the treatment number (see table 1).

3. The same sign will be used in the following figures.

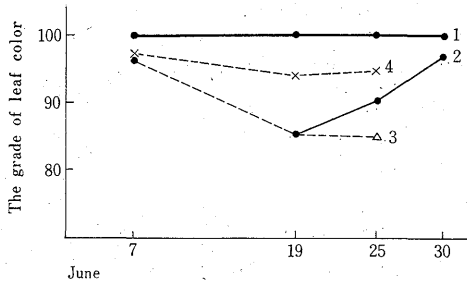


Fig. 2. Effects of the nitrogen depletion treatment on the discoloration of leaves. Note: The grade of leaf color (measured by Type KI chlorophyll meter) is represented as percentage to that of control.

影響が大きい節間長の測定値を、第1区に対する指数値で示したものが第3図である。処理開始時期の早い第2区および第4区では上から数えて3~5番目の節間の短縮に、また、処理開始時期のおそい第6~第8区では、上から2~4番目の節間の短縮にもつとも強く処理の影響がでていることは、前報^{2,3,4)}とよく一致している。ここで注目したいのは、この処理による節間短縮程度もまた処理期間の長さや処理開始時の生育量の大小の影響を受けていることである。すなわち、処理開始時の茎数の多い第8区は、同じ期間処理された第7区に比較すると、節間長の短縮程度が著しく小さい。また、処理期間の長い第7区は、処理期間の短い第6区と比較すると、より上位節間にまで処理の影響が及んでいることがわかる。このような外部形態の変化は、稲体内部の質的变化に伴う稈の強さの強化とともに、倒伏抵抗性に深い関連がある⁴⁾。第3表にみられるように、最高収量の得られた第7区では、主として外部形態の矮小化によるモーメントの減少のために、また、第6区では乳熟期から成熟期にかけての稈の強さの低下が少ないため、それぞれ倒伏抵抗性が増し、登熟歩合の向上に寄与したことがわかる。ま

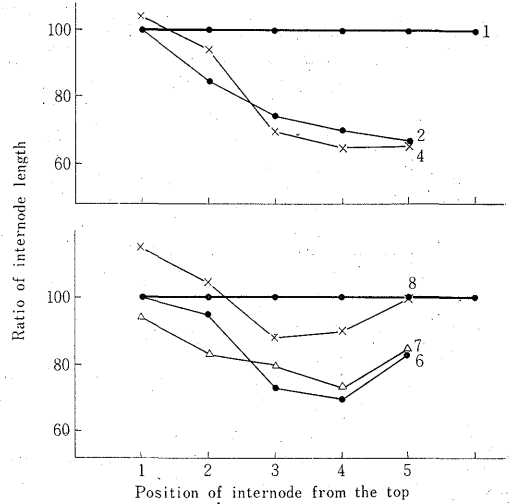


Fig. 3. Effects of the nitrogen depletion treatment on the elongation of internodes. Note: Internode length in each position is converted into the percentage to that of control.

た、第8区は4週間処理を受けたにもかかわらず、処理開始時の生育量が大きいため、葉色の低下・節間の短縮いづれも不十分であり、この結果、倒伏指数も高く、受光態勢の改善・登熟歩合の向上に貢献できなかったとみられる。

3. 乾物重・窒素含有率および窒素含有量

乾物重の増加経過を第4図に示した。茎数の場合と同じように、移植後2週間目(5月29日)からの処理では、処理後直ちに乾物重増加速度が低下する。そして、処理終了時の乾物重は、処理期間の同じ場合は処理開始時の乾物重が小さい第3区が、乾物重の大きい第4区よりも小さく、処理開始時の乾物重が同じときは、処理期間の長い第3区の乾物重が第2区のそれより小さい。乾物重がかなり大きくなった6月19日

Table 3. Effects of the nitrogen depletion treatment on the lodging resistance of rice plants.

Treatment number	At milk ripening stage			At maturity		
	Breaking strength	Moment	Lodging index	Breaking strength	Moment	Lodging index
1	3.22 kg	1.02 kg·cm	314	2.07 kg	1.02 kg·cm	495
2	4.61	1.06	229	2.66	0.95	360
4	—	—	—	3.82	0.92	240
6	5.03	1.05	208	3.73	0.98	263
7	—	—	—	3.22	0.66	205
8	—	—	—	2.32	0.95	410

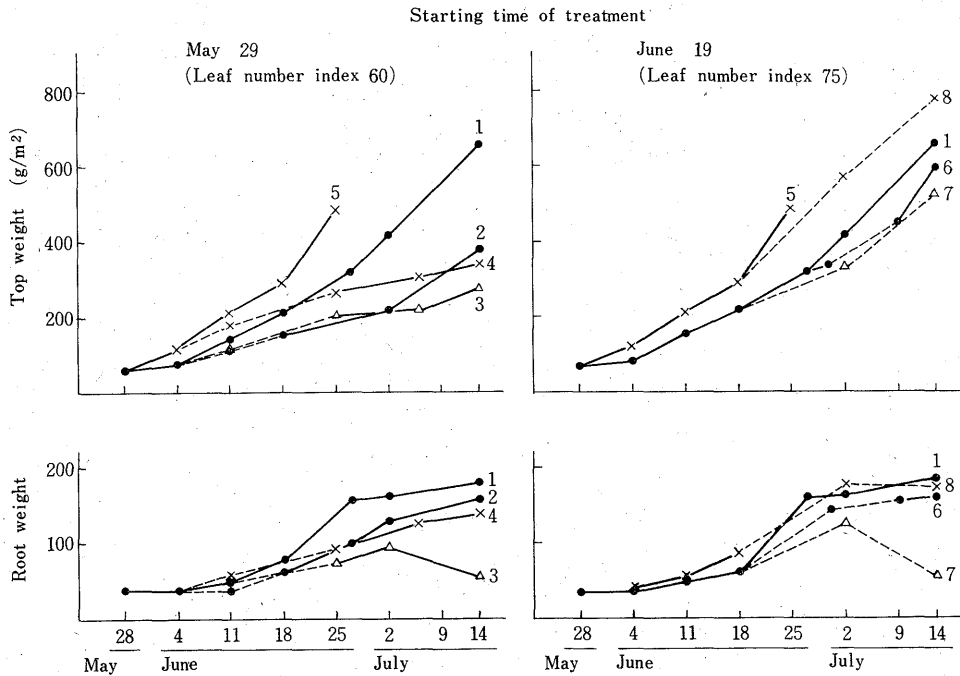


Fig. 4. Effects of the nitrogen depletion treatment on the dry weight of rice plants.

Table 4. An increasing rate of the dry weight of rice plants and the amount of nitrogen absorbed during 2 weeks after the end of the nitrogen depletion treatment.

Period of the nitrogen depletion treatment (week)	Starting time of nitrogen depletion treatment					
	May 29			June 19		
	0	3	4	0	3	4
Treatment no.	1	2	3	1	6	7
Dry weight of rice plant (g/m ² /week)	144.5 (100)	67.0 (46)	17.7 (12)	144.5 (100)	236.6 (164)	226.5 (157)
Amounts of nitrogen absorbed (g/m ² /week)	2.45 (100)	1.17 (48)	0.59 (24)	2.58 (100)	3.08 (120)	3.45 (134)

からの処理では、5月29日からの処理に比較して、乾物重増加速度に対する抑制効果が小さい。地上部を葉身および稈を含む葉鞘に区分してみると、葉身部でとくにこの傾向が著しい。窒素供給が再開されると各部とも乾物増加速度が増す。しかし、5月29日から4週間処理を受けた第3区の根部では、窒素供給再開後の乾物重の増加がみられず、出穂期ごろには根腐れ症状を呈してついに枯死した。

器官別窒素含有率の推移を第5図に示した。各部とも処理開始後直ちに窒素含有率の低下がみられるが、処理開始時期が早く、乾物重の小さいときに処理された第2～第4区において、その低下速度が著しい。ま

た、器官別にみると葉身部における窒素含有率の低下がもつとも顕著である。根腐れにより枯死した第3区の根部窒素含有率は、処理終了時でも1%以上であり、その後の窒素供給再開により再び増加している。したがって、根腐れの原因は根の窒素含有率の低下のみでは説明が困難である。

窒素含有量の推移に及ぼす無窒素処理の影響を第6図に示した。乾物重および窒素含有率の場合と同様に、処理の影響は生育量(たとえば乾物重)の小さい時期に処理された第2～第4区において著しい。また、同一時期に処理をはじめた場合には、処理開始前の培養液窒素濃度が低く、窒素含有量の少ない第3区

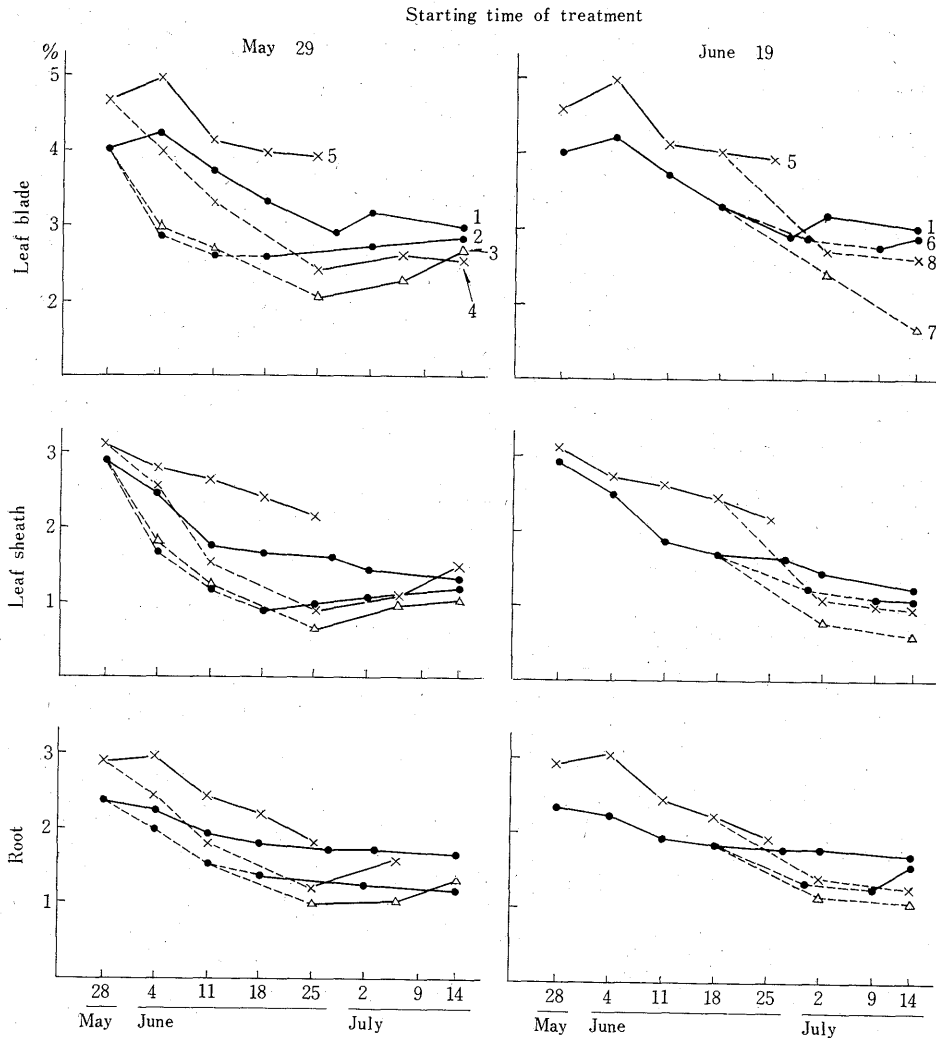


Fig. 5. Effects of the nitrogen depletion treatment on the nitrogen content of different parts of rice plants.

および第7区は、それぞれ処理開始前の培養液窒素濃度の高い第4区および第8区よりも処理終了時の窒素含有量が明らかに小さい。第2区と第3区および第6区と第7区と比較では、当然のことであるが、処理期間の長い第3区および第7区の窒素含有量が小さい。また、器官別にみると、葉身部でこの傾向が著しい点は乾物重および窒素含有率の場合と同様である。根腐れをおこした第3区の地上部窒素含有量は、窒素供給再開後増加するが、根部の窒素含有量はほとんど増加しない。このことは、根部窒素含有量の絶対値が $1\text{g}/\text{m}^2$ (株当たり約 30mg) 以下であることと共に、第3区の根腐れと関係があるものと考えられる。

論 議

以上の結果から、無窒素処理が生育抑制に及ぼす影響は、処理開始時の生育量 (たとえば茎数・乾物重など) と処理の程度 (無窒素処理期間) によつて大きく異なることがわかつた。すなわち、処理開始時の乾物重が小さいときは、3週間の処理で、茎数・外部形態・乾物重および窒素含有率に明らかに影響がみられる。そして、処理期間を延長するとこの傾向はさらに著しくなる。しかし、処理開始時の乾物重が大きいと、4週間処理でもなお、乾物重が小さいときの3週間処理よりも影響が小さい。たとえば、本実験で、葉令指数 $70\sim 90$ の期間処理を受けた第6および第7区

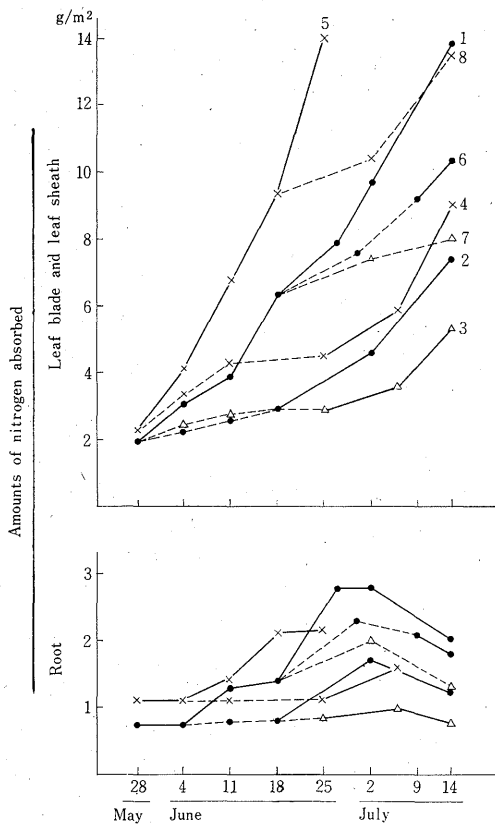


Fig. 6. Effects of the nitrogen depletion treatment on the amount of nitrogen absorbed by rice plants.

は、処理開始時の地上部乾物重約 200 g/m²、地上部窒素含有量約 6 g/m²であるが、4週間処理を受けた第7区のほうが、3週間処理の第6区よりも受光態勢の改善による登熟歩合の向上が著しく、収量も多い。また、処理開始時の地上部乾物重約 300 g/m²、地上部窒素含有量約 9 g/m²の第8区は、4週間処理でもなお、受光態勢の改善効果が十分とはいえず、収量も第6区よりむしろ低い。一方処理開始時の地上部乾物重約 100 g/m²、地上部窒素含有量約 3 g/m²の第3区は、4週間処理により根腐れをおこし枯死したが、3週間処理の第2区は、正常に生育した。これらの事実から、葉令指数 70の時期における生育量が、地上部乾物重約 300 g/m²、地上部窒素含有量約 9 g/m²或いは茎数 1000 本/m²を超すと、無窒素処理のような激しい処理を加えてもなお、姿勢の調節が困難となるものと想像される。実際栽培上における窒素制限の手段は、礫耕栽培における無窒素処理に比較すれば、かなり効力が小さいので、窒素制限開始時の生育量には限界があるのではないかと推察される。

根腐れをおこした第3区は、処理終了後窒素の供給を受けて、地上部乾物重の増加はみられたが、根重はむしろ減少した(第4図)。処理終了後2週間目(7月10日)には、すでに下葉の枯れ上がりが見られた、この時の根は、古い根はすでに壊死しており、発根直後の分岐根の少ない根から成っていた。したがって、根の窒素含有率が比較的高いのは、新根が多いためである。岡島氏⁵⁾によれば、約2週間の無窒素栽培の後穂首分化期ごろに窒素の供給を再開すると、その後発生した新根はもちろん、既存の古い根もその窒素含有率が高まり、硫化水素の発生も少ないという。しかし4週間処理を受けた第3区は、窒素供給再開により根の窒素含有率は回復したにもかかわらず、ついに根腐れを招き枯死するに至ったことは、根腐れの誘起が根の窒素含有率のみならず、根部窒素含有量の絶対値とも関連があるものと考えられる。ちなみに、第3区の根部窒素含有量は 1 g/m²(株当たり約 30 mg)以下であった。

窒素制限処理が、その時の生育量に対して強すぎるかどうかは、処理終了後約2週間の期間における乾物重および窒素含有量の増加率からも判断することができると思われる。すなわち、第4表にみられるように、出穂期ごろに枯死した第3区は、処理終了後の乾物重および窒素含有量の増加率が同じ時期の無処理区のそれに比較して、それぞれ 12% および 24% であり、第2区のそれと比較しても約 1/2 にすぎない。一方、処理開始時の生育量の大きい第6区および第7区は、処理終了後の乾物重および窒素含有量の増加率が同じ時期の無処理区よりも大きい。これらのことから、処理終了直後の乾物重および窒素含有量の増加率が無処理区のそれに比して半分以下になると、その後の生育に支障があるものと推察される。

以上、茎数・乾物重および窒素含有量などの推移からみて、窒素制限の効果は、処理開始時の生育量が小さく、処理期間が長いときに著しく、処理開始時の生育量が大きいか、あるいは処理期間が短いとその効果が小さいことがある程度数量的に証明された。この一例として、処理開始時の乾物重が 100 g/m²以下のときに4週間の処理を与えると、その後生育が回復しないが、処理開始時の乾物重が 300 g/m²のときは、4週間処理でも生育抑制効果は十分でないことがみられた。また、処理終了後約2週間の乾物重および窒素含有量の増加率が無処理区のそれと比較して半分以下であるとその後生育に支障が生ずると推定される事例も得られた。

摘 要

従来の研究から、生育中期における窒素制限の効果は、窒素制限開始時の生育量（茎数・乾物重など）によつて異なることが推察されていた。しかし、数量的な知見については事例が少ないので、籾耕栽培により、窒素制限開始時の生育量を異にする区と窒素制限期間を異にする区を設けて、窒素制限開始時の生育量と窒素制限の程度との数量的関係について検討を加え、つぎの結果を得た。

1. 同一生育時期に、同じ期間無窒素処理を施したとき、処理開始時の生育量が大きいと、生育量が小さい場合に比較して、茎数の減少程度、葉色の低下度合、窒素含有率の低下度、外部形態の短縮程度などがいずれも小さく、乾物重および窒素含有量の低下度も少ない。すなわち、窒素制限の効果が小さい。

2. 同一生育時期・同一生育量るとき、処理期間が短い（3週間処理）と、処理期間が長い（4週間）場合に比較して、当然ではあるが処理の効果が小さい。

3. 処理開始時の生育量が小さいときに、長期間処理を施すと、その後再び窒素を供給しても、生育が回復しない。この試験の範囲内では、処理開始時の乾物重が 100 g/m^2 程度のときは、3週間処理が限度であり、4週間処理では生育が回復しない。処理終了直後の乾物重および窒素含有量の増加率が無処理区のそれの半分以下であると、その後の生育に支障が生ずるとみられた。

4. 一方、処理開始時の乾物重が約 300 g/m^2 のときは4週間処理でもなお窒素制限の効果は十分でない。

5. これらの結果、窒素制限処理の効果は、処理開始時の生育量と処理の程度（無窒素処理の期間）によつて左右されることが判明したので、今後さらにその数量的な関係を探究する必要があると考えられる。

引用文献

1. 稲田勝美 1965. 作物葉の緑色程度ならびに葉緑素含量の測定法とその応用に関する研究. 第2報 葉緑素計の特性ならびに示度と葉緑素含量との関係. 日作紀 33 : 301—308.
2. 松島省三・田中孝幸 1963. 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66報 稲の姿勢を任意に調節する方法の研究. 日作紀 32 : 43—46.
3. ———・和田源七・松崎昭夫・山浦 実 1968 同 第82報 生育各期における無窒素処理が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 37 : 175—181.
4. 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄・城島 昇 1970. 同 第97報 生育時期別無窒素処理が出穂後の受光態勢および倒伏抵抗性におよぼす影響. 日作紀 39 : 330—336.
5. 岡島秀夫 1960. 水稻根群の生理機能に関する研究. とくに窒素栄養を中心にして. 東北大農研彙 12 : 1—146.
6. 李 鐘薫・太田保夫 1970. 水稻の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究. 第4報 窒素の欠除および株内根域環境のちがいが根と地上部に及ぼす影響. 日作紀 39 : 505—510.

Analysis of Yield-Determining Process and Its Application to Yield-Prediction and Culture Improvement of Lowland Rice

CXVI. The effects of the growth amount at the starting time of nitrogen depletion treatment and the length of its treatment period on the growth control of rice plants

Akio MATSUZAKI, Seizo MATSUSHIMA* and Toyoo TOMITA

(National Institute of Agricultural Sciences, Konosu, Saitama,
and* Nippon Koei Co., Ltd., Tokyo)

Summary

According to the authors previous studies, it was estimated that the effects of nitrogen depletion treatment at the middle stage of growth (70-90 in leaf number index) on the growth control varied with the amount of dry matter at the starting time of that treatment and with the length of treatment period. Therefore, raising rice plants with different amount of dry matter at the starting time of that treatment and varying the length of treatment period under gravel culture, the authors tried to clarify the above mentioned effects. The following are the results obtained in this study.

1. The plant with larger amount of dry matter at the starting time of that treatment gave less effect on the growth control than the plant with smaller amount of dry matter, even though the nitrogen depletion treatment was practised at the same growth stage for the same period.

If the amount of dry matter at the starting time of that treatment was the same, the effect of 4 week-treatment was severer than that of 3 week-treatment.

2. When the dry matter of rice plants was lower than 100 g/m^2 at the starting time of that treatment and the treatment was carried out for 4 weeks, the retardation of the plant growth by that treatment could not be recovered in spite of the nitrogen being fully supplied after that treatment, and the rice plant suffered from root-rot and then died away. However, in the case of the amount of dry matter being more than 300 g/m^2 at the starting time of treatment, only little control effect on the plant growth was observed, even if 4 week-treatment was conducted.

3. It was supposed that there existed an optimum growth amount at the starting time of nitrogen restriction treatment and its corresponding optimum length of treatment period; so far as the present experiment was concerned, for example, the optimum growth amount at the starting time of the treatment appeared to be $200\text{-}300 \text{ g/m}^2$ in the dry matter of rice plants (800-1000 in the number of tillers per square meter and $6\text{-}9 \text{ g/m}^2$ in the absorbed amount of nitrogen) and its corresponding optimum length of treatment period seemed to be 4 weeks.

4. From the results above mentioned, it will be deduced that the effect of nitrogen depletion treatment on growth control was definitely governed by both the growth amount at the starting time of that treatment (which was mainly proportional to the amount of nitrogen absorbed by that time) and the length of treatment period.