

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 117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4号
掲載ページ	p. 506-512
発行年月	1973年12月

水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究

第117報 生育抑制効果に及ぼす窒素制限開始時の生育量と窒素制限期間中の窒素濃度の影響*

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¹⁾においては、窒素制限の程度を表わす指標として、無窒素処理期間の長さをとれば、窒素制限開始時の生育量に応じて、それに適した無窒素処理期間の長さも異なることが明らかにされた。たとえば、地上部乾物重約 200 g/m² (窒素含有量約 6 g/m², 茎数約 800 本/m²) のときに 4 週間の無窒素処理が適当であるとされたが、地上部乾物重約 100 g/m² のときには約 3 週間の無窒素処理が適当であるとみられた。また、無窒素処理開始時の生育量が小さいと、3 週間の処理でも根を害する可能性のあることも示唆された。しかし圃場条件下では、土壌中の窒素が全くなくなることは起り得ないので、生育量が同じならば、より長期間の窒素制限を行なうことができるものと考えられる。

そこで、水稲の生育抑制効果に及ぼす窒素制限開始時の生育量と窒素制限期間中の窒素濃度(窒素供給量)

の関係を明らかにする目的でこの試験を行なつた。

試験方法

品種マンリョウを供試し、礫をつめた 1/5000 アールポットに 3 株 1 本植 (1972 年 5 月 25 日) とした。窒素濃度 30 ppm 相当量を含む培養液 (第 1 表) をポット当たり 2 l 給与し、週 2 回更新した。葉令指数 70 の時期までは、窒素濃度 30 および 60 ppm 相当量の培養液 (60 ppm の培養液は各成分とも第 1 表の倍の濃度である) を与え生育量を異にする 2 組の材料を育成した。葉令指数 70 の時期 (6 月 19 日) からは、各組とも培養液の窒素濃度を 0, 5, 10 および 30 ppm の 4 段階とし、第 1 図に示した所定の日数を経過させたのち、第 2 表に示される時期に、根の生理活性を示す指標として、根による ³²P の吸収量および酸素消費量を測定した。根の酸素消費量としては、株全体の根を供試し、D.O. メーター (給水化学製) により溶存酸素の減少量を測定した (ポット内 3 反復)。また ³²P はポット当たり 20 μCi の割合で施用し、2 日 (または 3 日) 間吸収させたのち稲株を採取し、乾燥・秤量して分析試料とした。³²P activity はこの試料を無機分解した

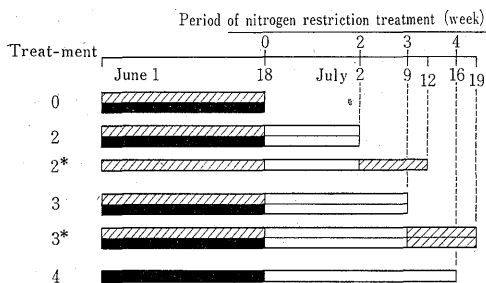


Fig. 1 Experimental design

- Note; 1. 2* or 3* means 2 week-treatment or 3 week-treatment and thereafter 10 day nourishment with 30 ppm nitrogen solution, respectively.
 2. The upper column (oblique line) was fed with 30 ppm nitrogen before treatment and the lower (black) 60 ppm in each pair.
 3. During the period of the nitrogen restriction treatment, 0, 5, 10 and 30 ppm of nitrogen were supplied.

Table 1 The components of nutritional solution

Component	Concentration	Salt used
N	30 ppm	(NH ₄) ₂ SO ₄
P ₂ O ₅	30	KH ₂ PO ₄
K ₂ O	20	〃
MgO	15	MgSO ₄ ·7H ₂ O
CaO	7	CaCl ₂ ·2H ₂ O
Fe	4	Fe-Citrate
SiO ₂	about 100	Sodium silicate

- Note; 1. Nutritional solution was adjusted to pH 5~6 by HCl.
 2. During the period of the nitrogen restriction, only nitrogen concentration was lowered to 0, 5 and 10 ppm, respectively.

* 昭和 48 年 5 月 15 日受理
 第 155 回講演会 (昭和 48 年 4 月) において発表

Table 2 The design of the determination of oxygen consumed by roots, and of the application and the sampling of ^{32}P

Treatment	Date of O_2 determination	Date of application of ^{32}P	Date of sampling of ^{32}P	No. of days from application to sampling
0	June 18	June 18	June 22	4
2	July 3	July 2	July 5	3
2*	14	13	15	2
3	10	9	11	2
3*	20	20	22	2
4	17	16	18	2

Note; ^{32}P was applied at the rate of $20 \mu\text{Ci}$ per pot as a form of $\text{H}_3 \text{ } ^{32}\text{PO}_4$ (in 0.08 N HCl solution).

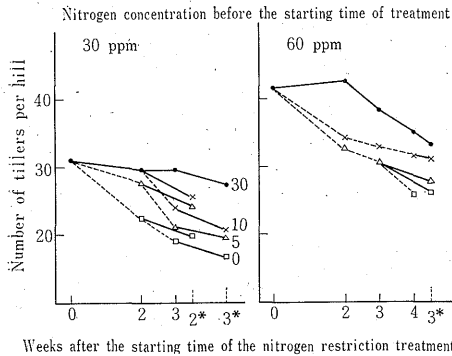


Fig. 2 Changes in the number of tillers per hill after the nitrogen restriction treatment

Note; Numerals in the figure (0, 5, 10 and 30) mean the nitrogen concentration (ppm) of the nutritional solution during the period of nitrogen restriction.

ものについて、放射能自動測定装置 (Aloka JDC 105 型) により測定した。1区2ポット供試し、葉身・葉鞘・根の三部分に分けて計測した。

試験結果および考察

1. 窒素制限の程度が茎数および乾物重におよぼす影響

葉令指数 70 の時期から培養液の窒素濃度を 0, 5 および 10 ppm に低下させた場合の茎数の推移を第 2 図に示した。図中、破線は窒素制限期間中であることを示し、実線は N 30 ppm 相当量の培養液が供給されていることを示している (以下の図も同じ)。すでに最高分げつ期を過ぎて、茎数減退期にあつていたため、窒素制限処理 (以下処理と略記) 開始までの培養

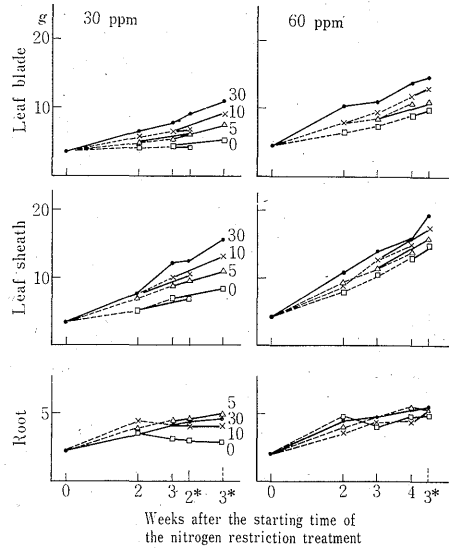


Fig. 3 Changes in the dry weight per pot of root, leaf sheath and leaf blade after the nitrogen restriction treatment

液窒素濃度が高い 60 ppm の組 (処理前 N 60 ppm 群と略記) では処理開始と同時に、N 0, 5 および 10 ppm 区の茎数が減少しているが、N 30 ppm 区では 2 週間目以後になつて減少がみられる。また処理前 N 30 ppm 群では、はじめ N 0 ppm 区での茎数の低下が著しいが、2 週目をすぎると N 5 および 10 ppm 区でも茎数の低下が大きくなつていく。

根の酸素消費量および ^{32}P の吸収量の測定に供試された材料を 70°C の通風乾燥機で 24 時間乾燥した後、葉身、葉鞘および根の部分に分けて乾物重を測定した結果を第 3 図に示した (4 ポット平均値)。第 3 図によれば窒素制限期間中の培養液窒素濃度 (処理中 N 濃度) が低いほど、葉身重の増加速度が小さい。つまり処理中 N 濃度が低いほど生育抑制効果が大きい。そしてこの効果は処理前 N 濃度が低いときにいつそう大きい (30 ppm 群と 60 ppm 群の比較)。たとえば、処理前 N 30 ppm 群において、3 週間処理後 10 日間 N 30 ppm の培養液を給与した場合における N 0 ppm 区の葉身重は 5.6 g であり、標準区 (N 30 ppm 区) の 10.9 g に対して 46% であるが、処理前 60 ppm 群で同様の比較をすると、N 0 ppm 区の葉身重は 10.3 g で標準区の 14.7 g に対して 70% に相当している。

葉鞘重も葉身重と同様の傾向を示した。すなわち、3 週間処理後 10 日間 N 30 ppm の培養液を与えた場合における N 0 ppm 区の葉鞘重を標準区のそれに比

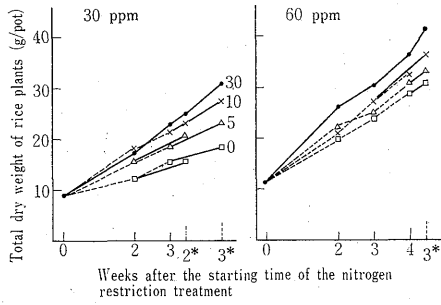


Fig. 4 Changes in the total dry weight of rice plants after the nitrogen restriction treatment

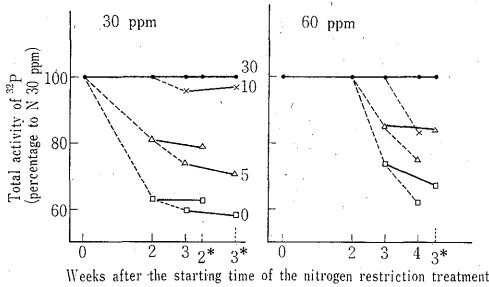


Fig. 5 Changes in the total activity of ^{32}P after the nitrogen restriction treatment

較すると、処理前 N 30 ppm 群と 60 ppm 群とでは、前者が 50% 後者が 82% であり、葉身重同様処理前 N 濃度が低い場合に窒素制限の効果が大きかった。

しかし、根重は葉身重や葉鞘重と若干趣を異にしている。すなわち、処理前 N 30 ppm 群における N 0 ppm 区では、2 週間以上処理を受けると根重の減少がみられるが、それ以外の区では、根重にあまり影響がみられなかった。このことは N 5 ppm 以上の培養液が供給されていれば、乾物重で表現した根の生育にはほとんど支障がないことを示すものであろう。

第 4 図は各部乾物重の和、すなわち全乾物重の推移を示す。葉身および葉鞘部における同様の方法によつて、無窒素処理の効果を比較すると、処理前 N 30 ppm 群では 55%、処理前 N 60 ppm 群では 79% (第 4 表参照) であり、処理前 N 濃度が低いときに窒素制限の効果が大きい。また、処理前 N 濃度が同じ群の中では、処理中 N 濃度が低いほどその効果の大きいことがわかる。

2. ^{32}P の吸収

窒素制限処理により根が害される可能性が示唆されているので^{1)~3)}、窒素制限処理が根の養分吸収に与える影響を知るために、第 1 表に示された培養液の磷酸

を ^{32}P でおきかえて、その吸収利用状況を調べた。

施用後 2 日目と 3 日目に吸収された ^{32}P の平均値を用いて、葉身・葉鞘および根における activity の和、すなわち、total activity を第 5 図に示した。第 5 図は処理中 N 0、5 および 10 ppm 区の activity を標準区 (N30 ppm 区) のそれに対する指数として表示したものである。この図によれば、処理前 N 30 ppm 群では処理開始と同時に N 0 および 5 ppm 区では total activity の低下がみられ、その程度は処理中 N 濃度が低いほど大きい。一方、処理前 N 60 ppm 群では、処理開始後 2 週間目までは処理による total activity の低下は認められず、4 週間目になつてはじめて、処理前 N 30 ppm 群の 3 週間目とほぼ同程度の値を示した。所定日数の処理終了後、再び N 30 ppm の培養液を供給すれば、その後の 10 日間で、total activity の低下の傾斜が鈍り、処理中 N 濃度が高い場合にはその回復がみられる。また、処理中 N 濃度が低い場合でも、さらに数日後に測定すれば、回復がみられるものと考えられる。この傾向は窒素供給時期が早い (処理期間が短い) ほど、また同じ期間処理を受けた場合は処理前 N 60 ppm 群のほうが著しい。これは前報¹⁾において明らかにされたように、処理期間が同じときは、処理開始時の生育量が大きいと、窒素制限の影響の度合いが小さいことを ^{32}P 吸収の面から裏づけるものであるとみられよう。

3. 根の酸素消費量

窒素制限処理が根の活力に及ぼす影響力を表わす指標として、根による酸素消費量を測定し、それぞれの標準区に対する指数として表示したものが第 6 図である。第 6 図において、右側の図は生根 1g・1 時間当たりの酸素消費量 (以下酸素消費能力と呼ぶ) を示し、左側の図は、ポット当たり (3 株合計値) 1 時間の酸素消費量を示す。まず右側の図によれば、処理前 N 30 ppm 群では処理開始と同時に酸素消費能力の低下がみられ、また、処理中 N 濃度が低いほどその低下の程度が大きい。しかし、処理中 N 0 および 5 ppm 区においても、処理開始後 3 週目から再び N 30 ppm の培養液が与えられると、10 日目には酸素消費能力が回復して標準区とほぼ同じレベルに達した。すなわち、根の酸素消費能力でみるかぎり、3 週間無窒素処理をしても、それにより低下した根の機能は回復し得るものと言えよう。一方、処理前 N 60 ppm 群では、N 0 ppm 区を除いては、4 週間処理でも根の酸素消費能力の低下は軽微であつた。

つぎに、左側の図は、上述の酸素消費能力と根重の

積であり、³²P total activity と同様の傾向がみられた。すなわち、処理前 N 30 ppm 群では、処理開始と同時に酸素消費量の低下がみられ、処理中 N 濃度が低いほどその程度が大きかった。一方、処理前 N 60 ppm 群では処理開始後 2~4 週目において酸素消費量が低下しているのは、処理中 N 0 ppm 区のみであり、その他の区においては、根の酸素消費量に差がみられなかった。さらに N 0 ppm 区では 3 週間経過したあとでも、窒素を供給すれば、根の酸素消費量の回復がみられた。

これを要するに、単位根重当たりの酸素消費量（酸素消費能力）では窒素制限による影響が比較的わずかであり、しかも、窒素制限処理後に窒素供給を復元すれば、すみやかに根の酸素消費能力が回復するとみられる。しかし窒素制限処理により、根の乾物重が減少するために、ポット当たり酸素消費量は回復し難く、処理前 N 30 ppm 群では 3 週間、処理前 N 60 ppm 群では 4 週間の無窒素処理をすると、その後の生育の回復に支障がでてくるとみられる。すなわち、根の酸素消費量からみた場合は、この程度が窒素制限の限界であると考えられる。

4. 窒素制限処理の効果とその限界

以上、各種の測定指標について、処理開始時の生育量と処理中 N 濃度および処理期間が、生育抑制に及ぼす影響を検討してきたが、処理の効果が認められはじめる時期と、処理終了後 N 濃度のレベルアップにより生育抑制程度の軽減または回復がみられなくなる時期（回復の限界）を第 3 表に示した。第 3 表によると、処

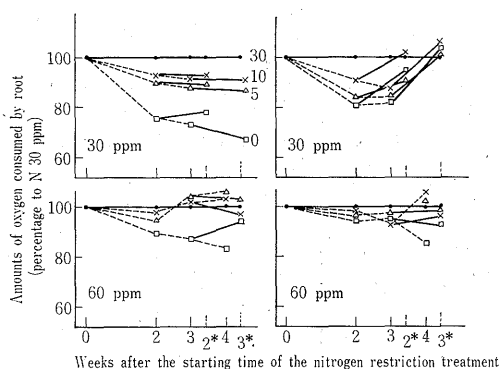


Fig. 6 Changes in the amount of oxygen consumed by roots after the nitrogen restriction treatment

理前 N 30 ppm 群では、処理開始時の生育量が小さいために、処理開始後 2 週目で、すでに生育抑制効果がみられる。そして、処理中 N 濃度が低いほど処理による影響のあらわれる時期が早い。一方、処理前 N 60 ppm 群では、処理開始時の生育量が大きいので、処理の影響の発現もまたおそいことがわかる。また、処理の影響から回復し得る限界も処理前 N 濃度、すなわち処理開始時の生育量によつて異なる。たとえば処理前 N 30 ppm 群では約 3 週間、処理前 N 60 ppm 群では約 4 週間の無窒素処理を受けても、その後培養液 N 濃度を高めてやれば、³²p の吸収や酸素消費量でみた根の活力は回復するものと推定された。

つぎに、処理前 N 濃度と処理中 N 濃度が、生育抑制効果に及ぼす影響を検討するため、3 週間処理後、

Table 3 The indicative time of the nitrogen restriction effect to plant growth and the recovering limit judged from the growth retardation brought about by the treatment

Item	Nitrogen concentration before treatment					
	30 ppm			60 ppm		
	Nitrogen concentration during the treatment (ppm)					
	0	5	10	0	5	10
Number of tillers	2 →	3 →	3 →	2 →	2 →	2 →
Dry weight of rice plants	2 → 3	3 → 3	3 → 3	2 → 4	2 → 4	2 → 4
³² P total activity of rice plants	2 → 3	2 → 3	3 → 3	3 → 4	3 → 4	4 → 4
Amounts of O ₂ consumed per unit root weight	2 → 3	2 → 3	2 → 3	4 → 4	→ 4	→ 4
Amounts of O ₂ consumed per whole roots	2 → 3	2 → 3	2 → 3	2 → 4	→ 4	→ 4

Note; 1. Number of tillers decreased consistently because of the degeneration of invalid tillers.

2. Numerals (week) at the left hand of arrows show the occurrence time of the nitrogen restriction effect, and numerals at the right hand show that the growth retardation of rice plants could not be recovered if the treatment was carried out longer than the numeral in the table.

3. Bold-faced numerals indicate, however, that the growth retardation could recover even if the treatment was carried out longer than the numeral in the table.

培養液 N 濃度を 30 ppm に高めてから 10 日目における各種形質の相対値を第 4 表に示した。この表の数字は、処理前 N 濃度の同じ群内で、それぞれ、処理中 N 30 ppm 区の値を 100 としたときの指数である。第 4 表によれば、処理中 N 濃度が低いほど、どの形質もその指数が小さい。そして、処理中 N 濃度が同じでも、処理前 N 濃度が低いとこの指数も小さい。処理前 N 30 ppm 群の処理開始時の生育量(茎数・乾物重)は、処理前 N 60 ppm 群のそれと比較すると約 76% である(第 4 表、カッコ内の数字の平均)が、3 週間処理後の比較では、約 90% でありその差が小さくなっている。第 4 表に示された 4 形質について、処理中 N 濃度ごとに、これらの指数の平均値を求め、さらに、処理前 N 60 ppm、処理中 N 30 ppm 区(60~30 ppm 区)を 100 とした場合の指数に換算したものが最下段の数値である。これらの数値をみると、処理前 N 60 ppm 群で生育量が大きいと、処理中 N 0 ppm であっても(60~0 ppm 区)、処理前 N 30 ppm 群で処理中 N 10 ppm(30~10 ppm 区)の場合とほぼ同程度の生育抑制効果を示すにすぎない。このように、水稻の生育に及ぼす窒素制限処理の効果は、窒素制限開始時の生育量、窒素制限期間の培養液窒素濃度、さらに窒素制限の期間によつて大きく影響されると言えよう。

摘 要

籾耕ポット栽培により、窒素制限開始時の生育量を異にする材料を育成し、窒素制限の期間および窒素制限期間中の窒素濃度を異にする試験区を設けた。乾物重、培養液に給与した ^{32}P の吸収および根の酸素消費量等を指標として、窒素制限開始時の生育量と窒素制限期間中の窒素濃度が生育抑制効果に及ぼす影響について検討し、つぎの結果を得た。

1. 窒素制限期間中の窒素濃度が低いほど、乾物重、 ^{32}P activity および根の酸素消費量等の低下度が大きい。
2. 窒素制限期間中の窒素濃度が同じときは、窒素制限開始時の生育量が小さいほど、乾物重、 ^{32}P activity および根の酸素消費量等の低下度が大きく、処理期間が長いほどその影響が大きい。
3. 処理前 N 30 ppm 群では、処理開始後 2 週目から、処理前 N 60 ppm 群では同じく 3 週目から処理の影響が著しくなる。そして ^{32}P の吸収や根の酸素消費量等の点からみて、処理前 N 30 ppm 群では約 3 週間、処理前 N 60 ppm 群では約 4 週間の無窒素処理を受けても、その後の窒素の供給により生育が回復するものと推定された。
4. 3 週間処理後、窒素が供給されてから 10 日目における処理前 N 30 ppm 群の生育量は、処理前 N

Table 4 Comparison of the effects brought about by the nitrogen restriction treatment at the middle growth stage

Item	Nitrogen concentration before the treatment								Ratio of 30~30 60~30
	60 ppm				30 ppm				
	Nitrogen concentration during the treatment (ppm)								
Number of tillers (per pot)	33				27				82
	100	91	76	76	100	78	74	59	(74)
Dry weight of rice plants (g/pot)	40.4				30.7				76
	100	91	84	79	100	87	77	55	(78)
^{32}P total activity (cpm/pot)	18400				14900				81
	100	81	68	66	100	90	67	53	
Amounts of O_2 consumed by roots per pot (mg/hr.)	3.39				3.92				116
	100	98	101	97	100	87	86	65	
Mean effect of restriction									
	to each 30 ppm plot	100	90	82	79	100	86	76	58
to 60~30 ppm plot	100	90	82	79	89	77	68	52	

Note; 1. Measurement values were obtained in the case of Treatment 3*, in which 30 ppm of nitrogen was supplied for 10 days after 3 weeks of nitrogen restriction treatment.

2. Numerals in parentheses in the number of tillers and the dry weight of rice plant show the values at the starting time of treatment.

60 ppm 群のその約 90% である。そして、60~30 ppm 区を 100 とした時の指数で比較すると、60~0 ppm 区と 30~10 ppm 区はほぼ同程度の生育抑制効果を示した。

5. したがって、窒素制限の効果を論ずる場合には窒素制限開始時の生育量、窒素制限期間の窒素供給量および処理期間との関連において検討する必要がある。

引用文献

1. 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄 1973. 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. 日作紀 42 : 362—369.
2. 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.
3. 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およぼす影響. 日作紀 39 : 505—510.

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

CXVII. The effects of the growth potency (amount) at the starting time of the nitrogen restriction treatment and the nitrogen concentration of nutritional solution during the treatment on the further growth of rice plants

Akio MATSUZAKI, Seizo MATSUSHIMA* and Toyoo TOMITA
(National Institute of Agricultural Sciences, Konosu, Saitama,
and *Nippon Koei Co., Ltd., Tokyo)

In the previous paper, the authors estimated that the effect of the nitrogen depletion treatment on the further growth might vary according to the growth potency (e.g., growth amount such as the dry weight of plants or the number of tillers) at the starting time of the treatment and the length of the treatment. From the same point of view as in the previous paper, furthermore, the authors tried some experiments to clarify the effect of the growth potency at the starting time (70 in leaf number index) of the nitrogen restriction treatment and the nitrogen concentration of nutritional solution during the treatment on the further growth of rice plants. Achieving this purpose, the rice plants with different amount of growth at LNI 70, raised by the different amount of nitrogen supply under gravel culture, were supplied with different levels of nitrogen solution during the period of the middle growth stage (70-90 in LNI). The following results were obtained:

1. The lower the nitrogen concentration of the nutritional solution during the treatment, the less in the dry weight, the total activity of ^{32}P in rice plants and the amount of oxygen consumed by roots, at the expiry of the treatment.

2. Under an identical nitrogen concentration during the treatment, the smaller the growth amount at LNI 70 was, the greater the decrease was found in the dry weight, total activity of ^{32}P and the amount of oxygen consumed by roots, respectively. And the longer in the length of the treatment, the higher effect of growth retardation was obtained.

3. Judging from the amount of ^{32}P uptake and the oxygen consumed by roots, in the plants fed with 30 ppm of nitrogen before the treatment, conspicuous effects of the treatment on the plant growth appeared in 2 weeks after the starting time of the treatment, and the rice plants seemed to be able to recover from the growth retardation by the treatment in the case of 3 week-treatment. And also in the plants fed with 60 ppm of nitrogen before the treatment, the effect of the treatment was detected in 3 weeks after the starting time of the treatment and the rice plants seemed to be able to recover from the growth retardation even in 4 week-non-nitrogen treatment.

4. Comparing with the ratio of the growth amount of the plants fed with 0, 5 and 10 ppm of nitrogen during the treatment against that of control (which was supplied with 60 ppm of nitrogen before the treatment and 30 ppm during the treatment, abbr. 60-30 ppm), the indices of the growth amount of 60-0 ppm and 30-10 ppm showed nearly identical values, at 10 day nourishment with 30 ppm of nitrogen solution after 3 week-treatment.

5. Examining the effect of the nitrogen restriction treatment on the growth of rice plants, it is necessary to consider the following 3 factors; the growth amount at the starting time of the treatment, the nitrogen concentration of nutritional solution during the treatment and the length of the treatment period.