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 120 報 生育量・葉色および葉鞘染色比による窒素制限効果の判定*

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)

窒素制限処理の終了する葉令指数約 90 の時期において、葉色や葉鞘澱粉の蓄積程度の調査により、水稻の栄養状態を動的に判断し得ること、葉身窒素含有率の推定には葉色程度/葉鞘染色比がより有効であることを前報⁷⁾において明らかにした。生育中期、すなわち葉令指数 70~90 の期間に行なう窒素制限の目的は、目標収量を得るのに必要な単位面積当たり穎花数を確保した上で、体内窒素濃度を低下させてこの期間の生育を抑制し、出穂後の受光態勢改善の基礎を築くことにある^{2,3)}。したがって、葉色程度あるいは葉鞘染色比のみによる診断で穂肥の要否を決定しようとする試み^{1,8)}もなされているが、これらは特定の条件下での

み有効であり、一般的には、単に葉色がさめたから、あるいは葉鞘染色比が高くなつたからといつて、上述の窒素制限の目的が達成されたか否かを判定するのは困難である。すなわち、窒素制限の効果は、あくまでも、その時の単位面積当たりの乾物重、あるいは茎数などの生育量の大小との関連において評価されなければならない^{5,6)}。このような観点から、本研究においては、窒素制限終了時における葉色程度および葉鞘染色比とともに、地上部乾物重および第 5 節間長等の要因と収量および収量構成要素との関係を解析し、窒素制限効果の判定と穂肥施用時期の判定に有効な知見を得たので報告する。

Table 1 Cultural conditions of tested materials

Cultural media	Treatment number	Date of transplanting (or sowing)	Concentration or amount of basal nitrogen	Period of nitrogen restriction treatment	Nitrogen concentration in culture solution during middle growth stage
Cultured in gravel	1	May 9	30 (ppm)	June 16~July 13	10 (ppm)
	2	〃	30	〃	5
	3	〃	60	〃	0
	4	〃	60	〃	30
	5	June 1	40	June 26~July 17	10
	6	June 22	30	July 10~July 31	10
Cultured in frame	7	May 9	12 (g/m ²)	June 17~July 19	
	8	〃	12		
Directly sown in field	9	(Apr. 9)	10 (g/m ²)	July 2~July 27	
Transplanted in field	10	May 18	12.5 (g/m ²)	June 21~July 20	
	11	〃	0		
	12	June 20	8	July 11~Aug. 8	
	13	〃	0		

Note: 1) Variety Manryo was used

2) Date and amounts of nitrogen in 1972 were shown in this table except treatment nos. 5 and 9 which were carried out in 1970

3) Nitrogen absorption by rice plants during the middle growth stage (70~90 in LNI) was restricted by means of decreasing nitrogen concentration in gravel culture and of midsummer drainage in treatment nos. 7~13 except treatment no. 8 (Flooded)

* 昭和 48 年 10 月 23 日 受理

第 156 回講演会 (昭和 48 年 10 月) において発表

試 験 方 法

品種マンリョウを供試し、1969～1972年の4ケ年にわたって、礫耕栽培、土耕の枠栽培、一般圃場での直播ならびに移植栽培により、培養液の窒素濃度や基肥窒素施用量を異にするとともに、生育中期における窒素の吸収を制限して、葉令指数約90の時期に茎数や乾物重などの生育量や葉色の異なる材料を育成した。代表的な試験区を第1表に示した。このようにして得られた4ケ年分、82点の材料について、葉令指数約90の時期における葉身窒素含有率、地上部乾物重および第5節間長を測定した。1971～1972年には、このほかに葉色程度と葉鞘染色比をも測定した⁷⁾。成熟期には、外部形態、倒伏程度および収量を調査し、葉身窒素含有率、地上部乾物重および第5節間長等が倒伏、収量および収量構成要素等に及ぼす影響を検討した。そして、これらの結果を穂肥施用時期の判定に役立てるために、葉身窒素含有率、地上部乾物重および倒伏程度等を、葉令指数約90の時期に、容易にしかも迅速に測定し得る形質、たとえば、葉色程度/葉鞘染色比、茎数および第5節間長等におきかえて、同様の検討を試みた。

試験結果および考察

1. 窒素制限終了時の葉身窒素含有率と生育量が収量に及ぼす影響

生育量を表わす指標として地上部乾物重（以下乾物重と略記する）をとり、また体内窒素レベルの指標として葉身窒素含有率（以下葉身N%と略記する）をとつて、それらが収量、 m^2 当たり穎花数および登熟歩合に及ぼす影響をみたものが第1～2図である。これらの図によれば、窒素制限終了時の乾物重が400～500 g/m^2 のときには、葉身N%が2.6～3.0%のときに最高収量が得られたが、乾物重が500～600 g/m^2 のときには、葉身N%2.2～2.6%のところで最高収量が得られている。乾物重レベルが同じ場合に葉身N%がとくに高くなると収量が減少しているのは、窒素制限による生育抑制効果が不十分なために、倒伏・受光態勢の悪化等により、第2図の右図にみられるように、登熟歩合が低下したからである。また、葉身N%が高い群では、乾物量レベルがとくに大きくなると同様の関係がみられる。一方、窒素制限が十分に達成されたと考えられる葉身N%2.2%以下の群では、乾物重が増加するにつれて収量も増大しているが、収量の絶対値は、葉身N%2.2～2.6%の場合

Fig. 1 Effects of the nitrogen content in leaf blades and the dry weight of the top at the end of the nitrogen restriction treatment on the eventual grain yield
Note: The numeral on each histogram shows the grain yield

Fig. 2 Effects of the nitrogen content in leaf blades and the dry weight of the top at the end of the nitrogen restriction on the number of spikelets per square meter and the percentage of ripened grains

よりも低い。これは、第2図の左図にみられるように、 m^2 当たり穎花数が少ないためである。すなわち、乾物重および葉身N%が大きくなると m^2 当たり穎花数が増加するが、登熟歩合が低下するために、 m^2 当たり穎花数と登熟歩合の積で代表される収量には、第1図にみられるような極大値が生ずるわけである。

乾物重のかわりに茎数を用いて同様の関係をみたものが第3図である。 m^2 当たり茎数600～700本のときは葉身N%2.6～3.0%のところで、また、 m^2 当たり茎数700本以上の群では、葉身N%2.2～2.6%

Fig. 3 Effects of the number of tillers per square meter and the nitrogen content in leaf blades at the end of the nitrogen restriction on the eventual grain yield

Note: The numeral on each histogram shows the grain yield

のところでそれぞれ最高収量が得られており、乾物重を用いた場合と類似の傾向が認められた。また、前報⁷⁾第1図の関係を利用して、葉身N%を葉色程度/葉鞘染色比でおきかえたものが第4図である。1971～1972年のみのデータで、調査点数が少ないが、乾物重あるいは茎数と葉色程度/葉鞘染色比の間には、第1図～第3図の場合と同様の関係が得られた。すなわち、乾物重 600～800 g/m²、または、茎数 500～700 本/m²で、葉色程度/葉鞘染色比 0.05～0.08 のとき最高収量が得られた。

これらの数値は、品種マンリョウを供試して得られたものであり、倒伏抵抗性や耐肥性などの高い品種を用いれば、この時期の乾物重および葉身N%の値、あるいは、茎数および葉色程度/葉鞘染色比の値をさらに高めることができるものと考えられる。

2. 単位面積当たり穎花数と登熟歩合に代わる指標

上述のように、乾物重と葉身N%のある組み合わせのもとで最高収量が得られているが、これは、m²当たり穎花数を増す条件と登熟歩合を高める条件が相反するためである。m²当たり穎花数は、この時期における窒素吸収量と密接な関係がある⁹⁾。窒素吸収量は、乾物重と窒素含有率に分解できるので、乾物重と葉身N%の積も当然、m²当たり穎花数と密接な関係($r=0.739^{***}$)を示した。一方、登熟歩合は出穂後にならないと予測できず、しかも天候に左右される面が大きいけれども、倒伏との関係が深いので、倒伏程度に強い影響をもつ下部節間の長さ⁴⁾から登熟歩合を推

Fig. 4 Effects of the dry weight of the top, the number of tillers per square meter, and the ratio of the leaf color grade to the percentage of stained length of leaf sheath at the end of the nitrogen restriction on the eventual grain yield

Note: 1. The percentage of stained length is the mean of the second and the third leaf sheath

2. The numeral on each histogram shows the percentage of ripened grains

定し得るのではないかと考えられる。そこで、m²当たり穎花数と登熟歩合にかわつて、この時期に測定可能な形質として、乾物重と葉身N%の積と第5節間長をとり、これらが収量に及ぼす影響をみたものが第5図である。この図によれば、乾物重と葉身N%の積が小さく、したがってm²当たり穎花数が少ないときは、第5節間長が長いほど収量も高いが、乾物重と葉身N%の積が大きいときは、第5節間長が長いと収量が低く、乾物重と葉身N%の積が12.0～16.0で第5節間長が3～4 cmのときに最高収量が得られた。乾物重と葉身N%の積が16.1以上、第5節間長4～5 cmの場合にも比較的収量が高いけれども、この場合には倒伏の危険も大きく安定性に欠ける。このように、乾物重と葉身N%の積はm²当たり穎花数の指標として、また第5節間長は登熟歩合に代わる指標として利用することができるものと考えられる。

3. 窒素制限終了時の乾物重と葉身N%が第5節間長に及ぼす影響

窒素制限終了時の乾物重と葉身N%が第5節間長に及ぼす影響を第6図に示した。この図によれば、乾物重と葉身N%が大きいほど第5節間長も長くなることが認められる。そして、乾物重が500～600 g/m²の場合には、葉身N%が3.0%以上で、また、乾物重が600 g/m²以上の場合は葉身N%が2.6%以上であると、第5節間長が5 cm以上となり、第6図

Fig. 5 Effects of the product of the dry weight of the top and the nitrogen content in leaf blades at the end of the nitrogen restriction and the length of the fifth internode at maturity on the eventual grain yield

Note: Numerals on histogram show the percentage of the lodged plots

に示したように、この区分に入る試験区の半数以上が倒伏している。したがって、第1図および第2図の対応する位置における収量および登熟歩合の低下は、第5節間長の伸びすぎによる倒伏によつて説明することができる。

乾物重と葉身 N% を基数と葉色程度/葉鞘染色比でおきかえたものが第7図である。この図からも、茎数が多いほど、また、葉色程度/葉鞘染色比が大きいほど第5節間長は伸び易いことがわかる。そして、茎数 500 本/m² 以上では葉色程度/葉鞘染色比が 0.05 以上になると、第5節間長が 5 cm をこえ、この区分に入る大部分の試験区が倒伏した。この事実もまた、第4図の対応する位置における収量の低下を説明するものである。これらの結果、窒素制限終了時における茎数、葉色、葉鞘染色比および第5節間長の測定値が得られれば、目標とする収量に対して、生育中期の窒素制限が適度実施されたか否かの判定が可能となる。

4. 窒素制限終了時における第5節間長の推定

窒素制限終了時は葉令指数約 90 の時期であるから、止葉が 16 枚の品種ならば、15 枚目の葉が伸長中であり 14 枚目の葉が最上展開葉である。葉鞘染色比を測定した第2葉および第3葉は、最上展開葉から

Fig. 6. Effects of the dry weight of the top and the nitrogen content in leaf blades at the end of the nitrogen restriction on the length of the fifth internode at maturity

Note: Numerals on histogram show the percentage of the lodged plots, and the signs of black circle and triangle indicate that the percentage of lodged plot was more than 50 and 20~50, respectively

Fig. 7. Effects of the number of tillers per square meter and the ratio of the leaf color grade to the percentage of stained length of leaf sheath at the end of the nitrogen restriction on the length of the fifth internode at maturity

Note: Numerals on histogram show the percentage of the lodged plots

Table 2 The ratio of the length of the fifth internode from the uppermost one at the end of the nitrogen restriction treatment to that of the same internode at maturity

Growth stage	Length of the fifth internode	Ratio of internodal length
Leaf number index	mm	%
80~85	17.2	43
86~87	28.0	70
88~89	32.1	80
90~92	32.3	81
Maturity	40.4	100

数えたものなので、それぞれ、13葉および12葉に対応する。そして、穂首節間を第1と数えれば、5番目の節間は12葉と13葉の着生節位にはさまれた節間である。したがって、最上展開葉から数えた第2葉および第3葉の葉鞘染色比の多少と第5節間長は、その時の稲体の栄養状態を忠実に反映しているはずである。第2表にみられるように、第5節間長は葉令指数80~85のころから測定でき、葉令指数約90の時期には成熟期の長さの約80%に達している。第6図によれば、成熟期の第5節間長が5cm以上に伸長している●印群は倒伏し易いが、第5節間長が4~5cmの▲印群は約1/3の区で倒伏がみられたにすぎず、第5節間長がさらに短く3~4cmの場合にはほとんど倒伏がみられない。第5節間長は乾物重と葉身N%，または茎数と葉色程度/葉鞘染色比によつて大きく影響されるが、この試験の範囲内では、窒素制限終了時の第5節間長が成熟期の長さの約80%伸長しているとして4cm以下であれば、大巾に倒伏を軽減することができると思われる。

5. 窒素制限効果の判定と穂肥施用時期の決定

本実験に供試した品種マンリョウに関する限りでは窒素制限終了時に茎数500~700本/m²および葉色程度/葉鞘染色比0.05~0.08（または乾物重500~600g/m²および葉身N%2.2~2.6%）とm²当たり穎花数がかかり確保された状態で、しかも、その時の第5節間長が4cm以下であれば、倒伏の危険も少ないので、直ちに穂肥を施用してよいものと判断される。

しかし、この時、茎数（または乾物重）や、葉色程度/葉鞘染色比（または葉身N%）が同じレベルであつても、第5節間長が4cm以上の場合には倒伏の危険が大きいので、施用時期をおくらせるか、あるいは少量のみ施肥しておき、残余を7~10日後に施用する

などの工夫が必要であらう。また、第5節間長が同じでも、茎数（または乾物重）あるいは葉色程度/葉鞘染色比（または葉身N%）のいずれかが上述の値より高い場合には、倒伏の危険が大きいから穂肥の時期をおくらせる必要がある。

しかし、品種が異なれば当然その絶対値も異なるものと考えられる。たとえば、短稈で倒伏抵抗性が大きく、しかも1穂穎花数の多い品種を利用できるようになれば、乾物重や第5節間長が同じでも、さらに葉身N%を高め、窒素吸収量を高めることができるであらう。したがって、供試品種ごとに第5節間長の安全な長さを確める必要がある。

従来、穂肥の時期の決定は、幼穂長や葉令指数を目安にしてきたが、その時の生育状態を示す指標として茎数・葉色程度、葉鞘染色比および第5節間長を勘案することにより、さらに適切な調節が可能となるであらう。

摘 要

葉令指数88~90の時期において、窒素制限が十分に達成されたか否かを判定する資料を得るため、品種マンリョウを供試し、圃場における葉色程度と、乾物重、茎数および第5節間長等の生育量が倒伏・収量および収量構成要素に及ぼす影響を検討し、つぎの結果を得た。

1. 乾物重と葉身N%が、それぞれ、500~600g/m²と2.0~2.6%、および400~500g/m²と2.6~3.0%のとき最高収量が得られ、これらの形質のいずれか一方がさらに高い値を示すときは収量が低下した。

2. 乾物重を茎数で、葉身N%を葉色程度/葉鞘染色比でそれぞれ置換えても、同様の関係がみられた。すなわち、茎数500~700本/m²、葉色程度/葉鞘染色比0.05~0.08のときに収量が最大となり、これらの形質のいずれか一方がさらに高い値を示すときは、倒伏する場合が多くなり、登熟歩合が低下して収量も低下した。

3. 茎数（または乾物重）、あるいは葉色程度/葉鞘染色比（または葉身N%）が上記の限界値をこえたときに倒伏する場合が多くなるのは、下部節間（穂首節間から数えて5番目の節間）が伸びるためであり、前項の条件下で倒伏させないためには、この時期の第5節間長を4cm以内、成熟期の長さで5cm以内に抑える必要があつた。

4. 上述の諸点から、本実験の範囲内では、葉令指

数 88~90 の時期に、茎数 500~700 本/m² (または乾物重 500~600 g/m²) 葉色程度/葉鞘染色比 0.05~0.08 (または葉身 N% 2.2~2.6%) のとき、第5節間長が 4 cm 以内であれば、直ちに穂肥を施用してよいが、葉色程度/葉鞘染色比 や茎数がこれより大きい、あるいは第5節間長がこれより長ければ、穂肥の時期をおくらせるのがよいと判断できる。

引用文献

1. 飯田一郎 1968. 稲の穂肥要否判定法. 農業技術 23: 257—260.
2. 松島省三・和田源七・田中孝幸・星野孝文 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 65 報 高収量成立に及ぼす有機質施用の意義. 日作紀 32: 39—43.
3. ———・田中孝幸 1963. ———. 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.
4. 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄・城島 昇 1970. ———. 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. ———・———・——— 1973. ———. 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.
6. ———・———・——— 1973. ———. 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. 日作紀 42: 506—512.
7. ———・———・——— 1974. ———. 第 119 報 葉色と葉鞘染色比による窒素制限効果の判定. 日作紀 43: 161—166.
8. 大島正男 1966. 水稻の穂肥要否の簡易判定法. 農及園. 41: 1081—1082.
9. 和田源七・松島省三・松崎昭夫 1968. 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 86 報 穎花数の成立におよぼす窒素の影響. 日作紀 37: 417—423.

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

CXX. Effects of the nitrogen restriction on the grain yield judged from the growth amount, the leaf color and the percentage of stained length of leaf sheath

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

Summary

In order to obtain some informations whether the nitrogen restriction treatment was adequately carried out or not, the leaf color grade in field conditions, the growth amounts such as the dry weight, the number of tillers and the length of lower internodes (especially the fifth internode from the uppermost one) were individually checked at the late stage of spikelets initiation (90 in leaf number index).

The effects of above mentioned factors on the lodging, the percentage of ripened grains and the grain yield, as far as var. Manryo was concerned, were summarized as follows:

1. As to the combined effects of nitrogen content in leaf blades and the top weight of the plant on the grain yield, two optimal combinations of the former and the latter, i.e., $(2.2\sim 2.6\%) \times (500\sim 600 \text{ g/m}^2)$ and $(2.6\sim 3.0\%) \times (400\sim 500 \text{ g/m}^2)$, brought the highest yield. However, in case of the nitrogen content and the top weight being larger or smaller than the optimal values indicated above, the grain yield decreased.

2. Even if the nitrogen content in leaf blades was substituted by the ratio of the leaf color grade to the percentage of stained length of leaf sheath, and the dry weight of the top was replaced with the number of tillers, the similar relations mentioned above were recognized. For instance, the combination of 0.05~0.08 in the ratio of the leaf color grade to the percentage of stained length of leaf sheath and 500~700 tillers per square meter brought forth the maximum grain yield.

3. When the nitrogen content in leaf blades or the dry weight of the top exceeded their optimum, the decrease of the grain yield was brought about by the decrease of the percentage of ripened grains. This decrease of percentage was caused mainly through lodging which was attributed to the length of the fifth internode.

4. Judging from the factors mentioned above, the following conditions seemed to be desirable for raising of the grain yield. That is, a) 0.05~0.08 in the ratio of the leaf color grade to the percentage of stained length of leaf sheath (or 2.2~2.6% in nitrogen content of leaf blades), b) 500~700 tillers per square meter (or 500~600 g/m² in dry weight of the top) and c) less than 4 cm in length of the fifth internode.