

水稻発育段階予測法の植付本数の異なる条件への適用

山本良孝・川口祐男・高橋 渉

(富山県農業技術センター)

1993年7月23日受理

要 旨 : 日平均気温に基づく水稻の発育段階予測法 (DVI 方式) を 1 株の植付本数の異なるコシヒカリの生育に適用し、葉齢、莖数、1 莖乾物重など生育の特徴を数学モデルを用いて明らかにした。

DVI 値と葉齢の間には曲線式がよく当てはまり、1 株の植付本数が多いものほど葉齢の進展が遅く、主稈総葉数も 1 本植えと 8 本植えで約 1.5 葉の差異が認められた。

DVI 値と莖数の間には 3 次曲線がよく当てはまり、1 株の植付本数が多いものほど莖数が多く推移し、推定有効分げつ終止期、最高分げつ期ともに、早くなった。また、1、2 本植えでは幼穂形成期 (DVI 値 = 0.700) 以降に最高分げつ期となった。

発育段階を揃えた場合には、1 莖乾物重と 1 穂穎花数との間には高い正の相関が認められた。幼穂形成期以降は分げつの発生次位に関係なく 1 莖乾物重から 1 穂穎花数の推定が可能であるが、幼穂形成期以前においては分げつの発生次位を考慮する必要があった。

主稈及び第 4 節位分げつの 1 莖乾物重の推移には生長曲線がよく当てはまり、主稈及び第 4 節位分げつともに、1 株の植付本数が少ない場合には乾物重の増加が大きく、逆に、植付本数が多い場合には乾物重の増加が小さかった。

1 穂穎花数水準別の 1 莖乾物重の推移には、生長曲線がよく当てはまり、1 穂穎花数の少ないものほど発育段階の早い時期から乾物重が小さく推移した。

キーワード : 1 莖乾物重、植付本数、穎花数、莖数、水稻、発育段階、葉齢。

Application of Developmental Model for Analysis of Growth and Development of Rice Transplanted in Different Plant Numbers per Hill : Yoshitaka YAMAMOTO, Sachio KAWAGUCHI and Wataru TAKAHASHI (*Toyama Agricultural Research Center, 1124-1 Yoshioka, Toyama 939, Japan*)

Abstract : To clarify the characteristics of rice growth, number of leaves, number of tillers and stem weight, the developmental stage estimation method (DVI method) using air temperature was applied to rice growth planted under different number of seedlings per hill conditions for the rice variety Koshihikari. The curve line models were well suited for comparison of the DVI values and the number of leaves in the different seedling groups. The number of leaves was higher at hills with a few seedlings than that of hills with many seedlings. In the main stem flag leaf number, there was a 1.5 leaf difference between 1-seedling hills and 8-seedling hills.

The three-dimensional curve line models were well suited for comparison of the DVI values and the number of tillers per hill for each seedling groups. The number of tillers was higher in the hills with many seedlings than the hills with a few seedlings at every developmental stage. Both the estimated emergence stage of the last tiller and the maximum tiller number stage appeared faster in the hills with many seedlings than in the hills with a few seedlings. The maximum tiller number stages of 1-seedling and 2-seedling hills followed the panicle formation stages.

A high correlation coefficient between stem weight and the number of spikelets per panicle was discovered at each developmental stage. However, it was necessary to consider the tillering dimension before the panicle formation stage.

The growth curves were well suited for comparison of the DVI values and the stem weights of the main stem and the 4th node tiller for each seedling number per hill. The dry weight of stems decreased as the seedling number per hill increased.

The growth curves were well suited for comparison of the DVI values and the stem weights for each number of spikelets per panicle. The dry weight of the stems decreased with the number of spikelets per panicle.

Key words : Developmental stage, Number of spikelets, Number of seedlings per hill, Number of tillers, Plant age in leaf number, Rice, Stem weight.

水稻の生育を正確に診断するためには、発育段階を的確に把握することが必要である。筆者ら²¹⁾は前報において、日平均気温に対応した発育量に曲線式を当てはめ、1 日当たりの発育量を積算して水稻の発育段階を表す方法 (DVI 方式) が作期及び栽培地

域が異なる条件においてもよく適合することを報告した。また、DVI 方式に基づき、過去に調査した水稻の生育データを解析し、穎花数水準ごとの草丈、莖数、窒素吸収量等の生育相を明らかにするとともに、倒伏を防止しながら必要穎花数を確保するため

の、主要発育段階毎の適当生育量を設定した¹⁹⁾。この中で、草丈、窒素吸収量については穎花数水準毎に明確な差が認められたが、茎数については明確な差が認められず、茎質を考慮する必要があることが示唆された。

一方、筆者らは水稻の栽培において、1株の植付本数が生育初期から分げつの発育に強い影響を及ぼし¹⁸⁾、収量並びに収量構成要素¹⁶⁾、さらには、倒伏にも大きく関与することを明らかにしてきた²⁰⁾。

そこで、分げつの生育状況をより正確に把握することを目的に、気温による水稻の発育段階予測法を植付本数の異なる条件に適用し、分げつの発生並びに生育経過を数学モデルにより診断する方法を明らかにしたので報告する。

なお、本報より堀江ら²⁾の提案に従い水稻の発育段階予測法をDVS²¹⁾(DeVelopmental Stage)方式からDVI(DeVelopmental Index)方式に表現を改める。

材料と方法

水稻「コシヒカリ」を供試し、1986年、1988年の5月7日に稚苗を、栽植密度23.0株/m²の条件で1株の植付本数1, 2, 4, 6, 8本の5段階に手植えた。

第1表に示すとおり、葉齢は1986年に5回調査し、A式を当てはめて植付本数別の葉齢の推移を検討した。

$$A \text{ 式} \cdots \cdots L = A \times (1 - e^{(-B \times DVI)}) + C$$

ただし、Lは葉齢、A, B, Cはパラメータを示す。

茎数は1986年には8回、1988年は4回、合計12回調査し、B式を当てはめて植付本数別の茎数の推移を検討した。

$$B \text{ 式} \cdots \cdots NT = A \times DVI + B \times DVI^2 + C \times DVI^3 + D$$

ただし、A, B, C, Dはパラメータを示す。

分げつの発生節位別の1茎毎の乾物重を1986年には3回、1988年には6回、合計9回調査するとともに、成熟期には分げつの発生節位別の穎花数を調査し、各主要発育段階のDVI値を分げつ盛期は0.297(1988年)、最高分げつ期は0.508(1988年)、幼穂形成期は0.685(1986年)、0.700(1988年)、出穂期は0.980(1986年)、1.000(1988年)として1茎当たりの乾物重と1穂穎花数との関係を求めた。

さらに、主稈および4節位から発生した分げつについてC式を当てはめて植付本数別の1茎乾物重の推移を検討した。

$$C \text{ 式} \cdots \cdots SW = MXW \times (1 - e^{(-A \times DVI^B)})$$

ただし、SWは1茎乾物重、MXWは最高1茎乾物重、A, Bはパラメータを示す。

また、全ての発生節位を対象に1穂穎花数水準が120±5粒、100±5粒、80±5粒、60±5粒に相当する分げつを抽出し、各穎花数水準毎にC式を当てはめて1茎乾物重の推移を検討した。

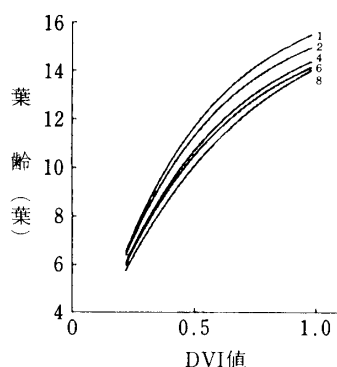
DVI値は前報²¹⁾により求めた。

結果と考察

1株の植付本数別の葉齢の推移を第1図に示した。各植付本数ともDVI値と葉齢との間には曲線式がよく当てはまり、植付本数の少ないものほど葉齢が大きく推移した。植付本数による葉齢の差は移植後2週間目(DVI値=0.166)から認められ、その後、生育が進むにつれて拡大し、最高分げつ期(DVI値=0.500)頃には1本植えと8本植えとの間には約1.5葉の差がみられた。また、主稈総葉数でも1本植えでは15.6葉、8本植えでは14.1葉と両者の間には1.5葉の差が認められた。本試験における4本植

第1表 各調査項目の調査月日とDVI値

葉齡	1986 年(月, 日)	5.7	5.21	6.4	7.2	7.16	8.8		
	DVI 値	0.097	0.166	0.274	0.541	0.685	0.980		
莖数	1986 年(月, 日)	5.14	5.21	6.4	6.11	6.25	7.9	7.23	8.8
	DVI 値	0.130	0.166	0.274	0.607	0.473	0.607	0.751	0.980
	<hr/>								
	1988 年(月, 日)	6.6	6.27	7.16	8.11				
	DVI 値	0.297	0.508	0.700	1.000				
	<hr/>								
1 莖当り乾物重	1986 年(月, 日)	7.16	8.8	9.24					
	DVI 値	0.685	0.980	2.000					
	<hr/>								
	1988 年(月, 日)	6.6	6.27	7.16	8.11	8.30	9.22		
	DVI 値	0.297	0.508	0.700	1.000	1.503	2.007		



第1図 DVI値に対応した植付本数別の葉齢の推移。図中の数字は1株の植付本数を示す。
モデルは次式を用いた。
A式…… $L = A \times (1 - e^{-B \times DVI}) + C$
ただし、Lは葉齢、A、B、Cはパラメータを示す。

植付本数別のパラメータと相関係数

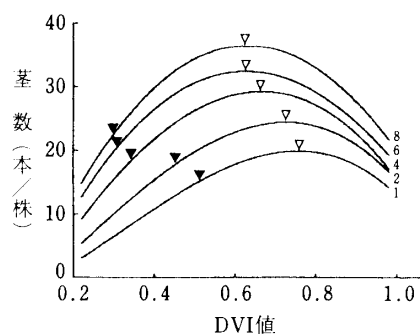
植付本数	A	B	C	R
1本	17.843	2.256	-0.411	1.000
2本	17.113	2.260	-0.299	0.999
4本	16.430	2.059	0.124	1.000
6本	16.133	2.021	0.223	1.000
8本	16.475	1.684	0.679	0.999

えの葉齢の推移と筆者ら¹⁷⁾が報告した10年間いずれも、1株4本植えて栽培したDVI値と葉齢との関係を比較すると、DVI値=0.500では本試験のモデルでは10.7葉、モデルは同一ながらパラメータの推定に用いたデータが異なる式では10.7葉、DVI値=0.700では12.7葉、12.8葉、DVI値=0.900では14.0葉、14.3葉と殆ど一致した。

この結果、植付本数が異なる場合には葉齢及び主稈総葉数が異なるために、発育段階を葉齢で表すことは不可能であるものと考えられる。また、植付本数が一定の場合はDVI値と葉齢との間に曲線式がよく当てはまりDVI値によって葉齢を推定することが可能と考えられる。さらに、植付本数によって出穂期の差が殆ど認められないことから、植付本数が異なる場合及び未知の場合にはDVI値によって発育段階を推定することが有効と考えられる。

DVI値に対応した1株の植付本数別の茎数の推移を第2図に示した。いずれの植付本数においても3次曲線がよく当てはまり、植付本数が多い程、茎数が多く推移し、最高分げつ数、穂数ともに多くなった。

各曲線式から求めた植付本数別の推定有効分げつ終止期、最高分げつ期を第2表に示した。推定有効分げつ終止期は植付本数が多い程早く、1本植えて



第2図 DVI値に対応した植付本数別の茎数の推移。

*図中の数字は1株の植付本数を示す。

**▼は推定有効分げつ終止期、▽は最高分げつを示す。モデルは次式を用いた。

B式…… $NT = A \times DVI + B \times DVI^2 + C \times DVI^3 + D$

ただし、NTは1株当りの茎数、A、B、C、Dはパラメータを示す。

植付本数別のパラメータと相関係数

植付本数	A	B	C	D	R
1本	24.221	65.166	-71.625	-4.694	0.977
2本	59.414	22.006	-57.890	-8.176	0.969
4本	116.494	-62.825	-24.933	-13.133	0.970
6本	164.837	-152.609	22.091	-16.432	0.969
8本	172.131	-150.414	14.253	15.875	0.966

第2表 植付本数別の推定有効分げつ終止期と最高分げつ期。

植付本数	推定有効分げつ終止期		最高分げつ期	
	推定茎数		推定茎数	
	DVI 値	(本/株)	DVI 値	(本/株)
1本	0.501	14.8	0.756	19.9
2本	0.443	17.5	0.725	24.4
4本	0.338	18.1	0.664	29.2
6本	0.302	20.1	0.625	32.4
8本	0.302	23.8	0.628	36.4

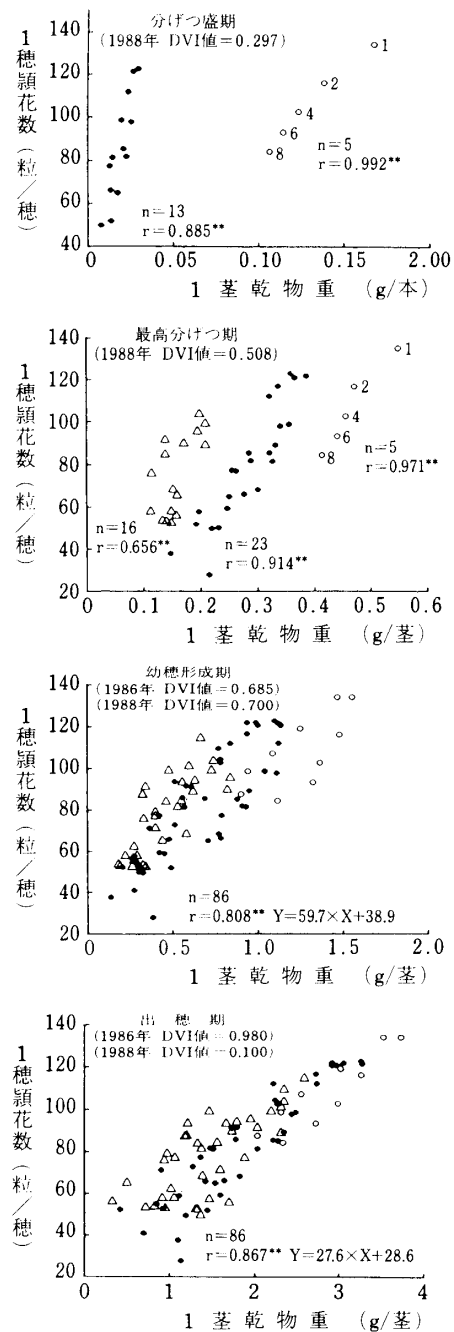
DVI値=0.501(6月30日に相当)、8本植えてDVI値=0.302(6月8日に相当)と両者の間には約0.2の差、日数にして20日以上之差が認められた。最高分げつ期についても植付本数が多い程早く、1本植えてDVI値=0.756(7月24日に相当)、8本植えてDVI値=0.628(7月11日に相当)と両者の間には約0.13、日数にして13日程度の差が認められた。また、植付本数が1、2本と少ない場合では推定有効分げつ終止期と最高分げつ期の間隔が短く、遅く発生した分げつでも有効化するものと考えられる。さらに、幼穂形成期のDVI値が0.7であることから1本植えて、2本植えた場合は幼穂形成期を過ぎても分げつが発生するものと考えられる。

和田¹³⁾は暖地水稻の特徴的な生育相として、最高分けつ期から幼穂形成期までの生育期間 (Vegetative Lag Phase, 停滞期) が存在し、機械移植栽培では栽植密度が高くなる上に1株の植付本数が多くなるため、初期の茎数増加が旺盛ながら茎当たりの乾物重が小さく、停滞期が長くなって、これ以降の乾物生産速度が減少し、この結果、有効茎歩合の低下や1穂穎花数の減少をもたらすことを報告している。本試験においても1株の植付本数が6, 8本と多い場合には同様な生育経過をたどった。一方、1株の植付本数が1, 2本と少ない場合は幼穂形成期の後に最高分けつ期に達し、停滞期が無くなることが明らかとなった。この結果、機械移植栽培の特徴である生育初期からの急速な分けつ増加による過繁茂と生育後期の栄養凋落の回避には、1株の植付本数を少なくすることが有効と考えられる。

各発育段階別の1茎当たりの乾物重と1穂穎花数との関係を第3図に示した。分けつ盛期 (DVI 値 = 0.297) においては1茎乾物重と1穂穎花数との間には高い正の相関が認められた。主稈についてみるとこの発育段階において植付本数毎に1茎乾物重の差がみられ、植付本数の少ないものほど1茎乾物重が大きく、1穂穎花数も大きくなった。しかし、主稈と1次分けつとの間には明確な差異が認められ、1次分けつの方が1茎乾物重が小さいながら、1穂穎花数が大きくなることが認められた。また、最高分けつ期 (DVI 値 = 0.508) においても1茎乾物重と1穂穎花数との間には高い正の相関が認められたが、主稈、1次分けつ、2次分けつでは1茎乾物重と1穂穎花数との関係が異なり、2次分けつでは1茎乾物重が小さい割に1穂穎花数が大きい傾向が認められ、次いで、1次分けつ、主稈の順であった。この理由として、分けつ次位が高いもの程発生が遅く、発生後の発育量が小さいためと考えられる。

幼穂形成期 (DVI 値 = 0.700) 以降においては1茎乾物重と1穂穎花数との関係における分けつの発生次位間の差は小さくなり、分けつの発生次位に関係なくほぼ1本の直線式で1穂穎花数の推定が可能と考えられる。

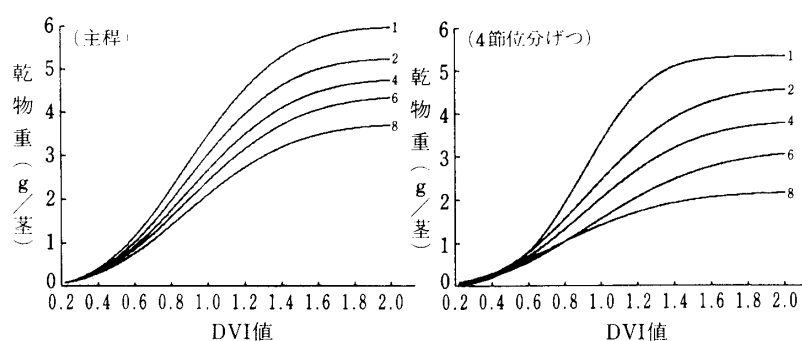
以上の結果、発育段階を正確に把握すれば1茎乾物重から1穂穎花数を推定することが可能であり、幼穂形成期以前においては1茎乾物重と1穂穎花数との間には分けつ次位によって明かな差異が認められることから、分けつの発生次位を考慮する必要があるものと考えられる。



第3図 発育段階別の1茎乾物重と1穂穎花数との関係

1. 図中の数字は1株の植付本数を示す。
2. ○は主稈, ●は1次分けつ, △は2次分けつを示す。
3. **は1%水準で有意であることを示す。

次に、植付本数別の主稈、4節位分けつの1茎乾物重の推移をDVI値を基に生長曲線を当てはめ第4図に示した。いずれの場合も生長曲線がよく当てはまり、主稈、第4節位分けつともに植付本数が少ないもの程乾物重が重くなった。乾物重の差はDVI値=0.6以降急激に拡大し、その差は主稈より第4



第4図 DVI値に対応した植付本数別の主稈（左）、4節位分げつ（右）の1茎乾物重の推移

図中の数字は1株の植付本数を示す。

モデルは次式を用いた。

$$C式 \cdots \cdots SW = MXW \times (1 - e^{(-A \times DVI^B)})$$

ただし、SWは1茎乾物重、MXWは最高1茎乾物重、A、Bはパラメータを示す。

植付け本数別のパラメータと相関係数（主稈）

植付本数	MXW	A	B	R
1本	5.981	0.858	2.696	0.994
2本	5.249	0.851	2.664	0.994
4本	4.767	0.812	2.575	0.994
6本	4.360	0.802	2.510	0.993
8本	3.713	0.833	2.494	0.995

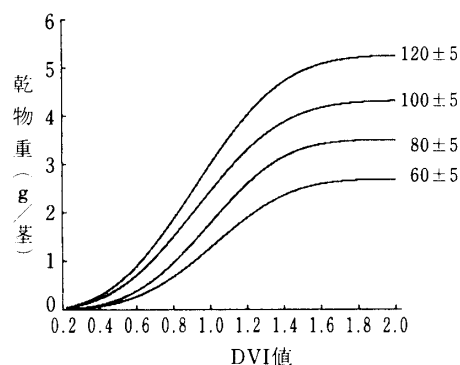
植付本数別のパラメータと相関係数（4節位分げつ）

植付本数	MXW	A	B	R
1本	5.321	0.978	3.491	0.989
2本	4.577	0.766	2.701	0.989
4本	3.798	0.770	2.589	0.984
6本	3.114	0.703	2.428	0.991
8本	2.183	1.056	3.577	0.980

節位分げつで顕著であった。1、2本植えでは第4節位分げつでも主稈とほぼ同等の乾物重に達するのに対し、4本、6本、8本植えと植付本数が多くなるにつれて主稈より軽くなった。

松尾⁵⁾は分げつの発生時期が遅く、発生節位及び発生次位が高くなるにつれ、規則的に1穂粒数が少なくなることを報告している。また、山本ら¹⁴⁾は分げつを切除する試験を行い節位別の1次分げつの子実生産力は一般に下位節ほど優るが、1次分げつの多少、および他の1次分げつの出現節位によって著しく変化することを報告している。本試験においても主稈より第4節位分げつの1茎乾物重が低くなる傾向が認められたが、植付本数が少ない場合にはその傾向が僅かなのに対し、植付本数が多い場合には低下傾向が顕著にみられた。このことから、植付本数が少なく地上部の競合が小さい場合には後発の分げつでも生長が旺盛で1茎乾物重が大きくなるのに対し、植付本数が多く、地上部の競合が大きい場合には主稈及び発生が早い強勢分げつでも発育が制限され、1茎乾物重が小さくなるものと考えられる。また、前述したように植付本数が多い場合は葉齢の展開も遅くなるので、分げつの発生も遅く、このことも1茎乾物重を小さくする理由の1つと考えられる。

全ての分げつを対象に、1穂粒数水準毎の1茎



第5図 1穂粒数水準毎の1茎乾物重の推移。

図中の数字は1穂粒数水準（粒/穂）を示す。

モデルは次式を用いた。

$$C式 \cdots \cdots SW = MXW \times (1 - e^{(-A \times DVI^B)})$$

ただし、SWは1茎乾物重、MXWは最高1茎乾物重、A、Bはパラメータを示す。

1穂粒数水準別のパラメータと相関係数

穎花数水準 (粒/穂)	MXW	A	B	R
120 ± 5	5.256	0.842	2.942	0.986
100 ± 5	4.318	0.831	2.991	0.989
80 ± 5	3.506	0.705	2.911	0.981
60 ± 5	2.689	0.639	3.511	0.973

乾物重の推移を明らかにするため、DVI値をもとに生長曲線を当てはめ、第5図に示した。何れの水準でも生長曲線がよく当てはまり、穎花数水準の大きいものは発育段階の早い時期から1茎乾物重が高

く、逆に、穎花数水準の小さいものは発育段階の早い時期から1茎乾物重が低く推移することが明らかとなった。

前述したように、幼穂形成期以前においては、分けつの発生次位を考慮しなければ1茎乾物重から1穂穎花数を推定することができなかったが、DVI値に対応した穎花数水準別の生長モデルを利用することにより、発生次位を考慮しなくても1茎乾物重の推移から1穂穎花数が推定できるものと考えられる。ただし、本試験において求めた1茎乾物重と1穂穎花数の関係が栽培条件が異なる場合にも適合するかどうか、今後、検討が必要である。

従来、水稻の発育段階を表す方法として松島⁸⁾が報告した葉齢、葉齢指数があり、水稻の栽培にも広く活用されている。しかし、本試験の結果にみられるように、1株の植付本数が異なる場合には生育初期から葉齢の展開が異なり、1株の植付本数を揃えないかぎり発育段階の指標としては使用できないものと考えられる。また、移植後日数、出穂前後日数など暦日で水稻の発育段階を表す方法、幼穂長、葉耳間長など形態によって表す方法⁷⁾があるが、暦日で表す方法では気象変動により、日数と水稻の発育段階に差異が生じること、また、形態をもとに発育段階を表す方法では一部期間だけしか活用することが出来ないなどの問題点があり、発育全期間を通じて発育段階を表すことができなかった。しかし、DVI方式を用いることにより全生育期間を連続した数値で表すことができ¹⁵⁾、茎質を把握する時のように発育段階を正確に求めることが要求される場合に、特に、有効と考えられる。また、DVI値をもとに全生育期間の1茎乾物重の生長曲線を求めることも可能となった。

角田ら¹¹⁾、石井³⁾らは不均一な1株植付本数の試験を行い、株内競争指数は1株植付本数の増加とともに比例的に増加すること、生育初期から1株植付本数の増加が生長率を低下させることを報告している。本試験の結果においても1株の植付本数が異なることにより生育初期から葉齢、茎数、1茎乾物重に大きな差異が認められた。本試験においては地上部の生育の違いについて検討したが、前田ら⁴⁾、原田ら¹⁾は1株の植付本数の差異が、1次根の種類や伸長方向にも影響を与えることを報告しており、植付本数と地下部の生長との関係についても検討が必要である。

松島^{6,7)}は1穂穎花数の予察に穎花分化期頃の稈

基第一伸長節間の太さが有効であることを、また、高橋ら^{9,10)}は出穂期及び出穂後20日に茎断面写真を画像解析することにより1穂穎花数、登熟歩合、品質等を推定することが可能であることを報告している。また、和田ら¹²⁾は1穂穎花数の決定には窒素吸収量が重要なことを報告している。本試験においては1穂穎花数の推定にDVI値に対応した穎花数水準別の1茎乾物重の生長モデルを利用することが有効と考えられたが、連続的、かつ、簡易に1茎乾物重及び窒素吸収量をモニタリングする方法の開発が重要と考えられる。

なお、本報における各種モデルのパラメータは、富山県農業技術センター・農業試験場内における慣行法による稚苗移植栽培から求めたものであり、栽培地域や栽培方法の異なる条件での、これらのパラメータの適合性については、今後検討が必要である。

引用文献

1. 原田二郎・前田忠信・山崎耕宇 1986. 植付苗数を異にする水稻1次根の伸長方向別分布. 日作紀 55 (別1): 62-63.
2. 堀江 武・中川博視 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 第1報 モデル基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用. 日作紀 59: 93-107.
3. 石井龍一・角田公正・町田寛康 1972. 作物の生育・収量に及ぼす栽植の不均一性の影響に関する研究. 第2報 1株植付苗数の不均一の水稲個体群における株間補償と個体間競争. 日作紀 41: 57-62.
4. 前田忠信・原田二郎・山崎耕宇 1986. 植付苗数を異にする水稻の分けつ構成と1次根数および分布の変動. 日作紀 55 (別1): 64-65.
5. 松尾孝嶺 1951. 水稻栽培の理論と実際. 農業技術協会, 東京.
6. 松島省三・角田公正 1956. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. XXXVI—穂穎花数の予察について (1). 日作紀 25: 141-142.
7. ———— 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. XLII—穂穎花数並びに一株総穎花数の予察について (2). 日作紀 26: 87-88.
8. ———— 1965. 稲作の理論と技術—収量成立の理論と応用—. 養賢堂, 東京: 76-94.
9. 高橋 渉・林 征三・川口祐男・山本良孝 1992. 画像解析を利用した水稻の茎質診断. 日作紀 61 (別1): 256-257.
10. ————・川口祐男・南山 恵 1993. 画像を利用した茎質診断 第2報 茎の太さと登熟・玄米品質の関係. 日作紀 62 (別1): 280-281.
11. 角田公正・石井龍一・町田寛康 1972. 作物の生育・収量に及ぼす栽植の不均一性の影響に関する研究. 第1報 1株植付苗数の不均一が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 40: 1-6.

12. 和田源七・松島省三 1961. 水稻収量成立原理とその応用に関する作物学的研究. LXIII穎花数成立機構に関する研究. 日作紀 31:23-26.
13. 和田 学 1981. 暖地水稻のVegetative Lag Phaseに関する作物学的研究. —とくに窒素吸収パターンとの関連—. 九州農業試験場報告 21:113-250.
14. 山本由徳・池内浩樹 1990. 水稻の主稈における節位別分けつの子実生産力. 第1報 分けつ出現節数と出現節位の影響. 日作紀 59:8-18.
15. 山本良孝・田守健夫・川上義昭・川口祐男 1986. 気温による水稻の發育段階予測法について. 北陸作物学会報 21:47-48.
16. ———・川上義昭・川口祐男 1986. 水稻の分けつ発生と發育に関する研究. 第2報 1株の植付本数が分けつ発生並びに収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 55 (別1):3-4.
17. ———・—————・————— 1987. 気温による水稻の發育段階予測法. 第2報 DVS値と葉齡. 葉齡指数及び幼穂長との関係. 北陸作物学会報 22:17-18.
18. ———・—————・————— 1987. 水稻の分けつ発生と發育に関する研究. 第2報 1株の植付本数が初期生育に及ぼす影響. 日作紀 56 (別1):34-35.
19. ———・川口祐男・浅生秀孝・高橋 渉 1988. 水稻における生育診断・予測法. 第1報 着粒数水準別の生育経過について. 日作紀 57 (別2):131-132.
20. ———・渡辺 徹・川口祐男・高橋 渉 1989. 水稻の分けつ発生と發育に関する研究. 第4報 1株の植付本数と挫折重との関係. 日作紀 58 (別2):17-18.
21. ———・川口祐男・高橋 渉 1993. 水稻發育段階予測法の異なる作期及び地域への適用. 日作紀 62. 485-490.