

水稻圃場試験調査法の改善のための基礎研究

第2報 機械移植水稻における量的諸形質の 変動係数と標本数の目安

楠 田 宰

(中国農業試験場)

平成2年4月26日受理

要 旨：水稻の機械移植では、1 株植付け本数を一定にすることは一般に困難であり、この本数にはばらつきが生じる。このばらつきは、その後の水稻諸形質の株間変動に影響を与えているものと考えられる。そこで、通常の機械移植水稻における量的諸形質の株間変動係数、また、1 株植付け本数をランダムに変動させた場合の量的諸形質の株間変動係数に及ぼす影響を調査、解析し、標本調査を行う場合の必要標本数について検討した。

1 株植付け本数の変動係数が40% 程度の機械移植水稻においては、草丈、稈長などの伸長形質の変動係数は手植え水稻のそれに比べてほとんど差が認められなかった。しかし、茎数、穂数、全籾数などの数量形質および乾物重、穂重などの重量形質の変動係数は機械移植水稻の方が大きい傾向にあり、その差は、最高分げつ期に最も大きく、穂揃期、成熟期へと生育が進むに従って小さくなった。さらに、数量形質、重量形質の変動係数は、1 株植付け本数の変動係数が20% までは増大の程度が小さかったが、40% になると急増した。

機械移植水稻の標本調査を行う場合、手植え水稻における調査と同程度の精度で推定値を得るのに必要な標本数は、伸長形質については手植え水稻と同数、数量形質、重量形質については、最高分げつ期では手植え水稻の2.3 倍程度、穂揃期では1.7 倍程度、成熟期では1.2 倍程度が必要と判断された。また、ポット成苗田植機のように1 株植付け本数の変動係数が20% 程度以下の場合には、手植え水稻における標本数と同数で良いと判断された。

キーワード：機械移植、水稻、1 株植付け本数、標本数、標本調査、変動係数、圃場試験、量的諸形質。

A Basic Study on Field Experiment and Investigation Methods in Rice Plant II. Coefficient of variation and standard sample size in the survey of quantitative characters of mechanically transplanted rice : Osamu KUSUDA (*Chugoku National Agricultural Experiment Station, Fukuyama, Hiroshima 721, Japan*)

Abstract : In order to obtain standard sample size in sample survey of quantitative characters of mechanically transplanted rice, the coefficients of variations (CV) of characters were investigated at growth period of maximum tiller number stage, full heading stage and maturing stage.

CV of number of seedling per hill in mechanically transplanted rice was about 40%. CV of characters such as number of tiller, number of panicle, fresh weight, number of spikelet per hill and panicle weight were larger than the CV in hand-transplanted rice on account of variation of number of seedling per hill. The difference between the CV in mechanically transplanted rice and the CV in hand-transplanted rice was large in maximum tiller number stage, but the difference decreased according to growth. It was judged that standard sample sizes of these characters in maximum tiller number stage were 2.3 times the sizes in hand-transplanted rice, the sample sizes in full heading stage were 1.7 times the sizes in hand-transplanted rice, and the sample sizes in maturing stage were 1.2 times the sizes in hand-transplanted rice.

While, CV of characters such as plant height, culm length and panicle length were almost equal to the CV in hand-transplanted rice. Therefore, it was judged that standard sample sizes of these characters were equal to the sizes in hand-transplanted rice.

Key words : Coefficient of variation, Field experiment, Mechanically transplant, Number of seedling per hill, Quantitative character, Rice plant, Sample size, Sample survey.

水稻の栽培がほとんど機械移植で行われるようになり、農業試験場等の栽培試験も、1 株植付け本数を一定とした手植えに代わって、機械移植により実施される場合が多くなった。

水稻の機械移植では、一般に1 株植付け本数を一定にすることは困難であり、この本数にはばらつ

きが生じる。このばらつきは、その後の水稻諸形質の株間変動に影響を与えているものと考えられる。機械移植の普及拡大に前後して、1 株植付け本数のばらつきがその後の生育に及ぼす影響について多くの試験がなされたが、機械移植水稻の諸形質の変動に関する試験は少なくその実態は十分に解明されて

いない。

このため、機械移植水稻の諸形質を標本調査する場合の必要標本数は明らかにされておらず、調査標本数は各試験担当者の経験から手植え水稻に準じて決定される場合が多い。試験結果の精度を確保し、効率的な調査を行うには、形質ごとに目標精度に応じた必要標本数を明らかにしておく必要がある。

そこで、本報では機械移植水稻の量的諸形質の株間変動係数、また、1 株植付け本数をランダムに変動させた場合の量的諸形質の株間変動係数に及ぼす影響を調べ、その結果に基づいて、機械移植された水稻を標本調査する場合に必要な標本数について検討した。

材料と方法

試験 I 機械移植水稻における量的諸形質の変動係数の解明

通常の機械移植水稻における量的諸形質の株間変動係数（以下では、単に“変動係数”と略称する）の実態を明らかにするために以下の試験を行った。1985 年および 1986 年に、中国農業試験場の水田圃場（細粒灰色低地土、佐賀統）において、第 1 表に示した方法で水稻を機械移植した。

1985 年は最高分げつ期、穂揃後 12 日目および成熟期に、圃場で 5 条×5 m の任意の区画から全株（約 140 株）をそれぞれ採取し、量的諸形質を株ごとに調査し、変動係数を算出した。1986 年は最高分げつ期、穂揃期および成熟期に、圃場で 8 条×5 m の任意の区画から全株（約 240 株）をそれぞれ採取し、1985 年と同様の調査を行った。なお、1 株植付け本数および植付け深度を移植後 4 日目に調査した。

各調査時に以下の手順で調査を行った。

最高分げつ期および穂揃期（穂揃後 12 日目も同様）の調査は、圃場より株を掘り取り、根の周囲に付着した泥を高圧水道水で洗い落とし、株ごとに草丈、茎数・穂数、生体重を測定した。乾物重は、稲を茎ごとに分解して株元に残った泥をさらに良く洗

い落とし、根をはさみで切り落とし、80°C で 48 時間以上乾燥した後に秤量した。

成熟期の調査は株を地際から刈り取り、株ごとに最長稈長、最長稈穂長、穂数、穂重、および全粒数を測定した。この結果をもとに、1 穂粒数（全粒数／穂数）を株ごとに算出した。

試験 II 1 株植付け本数の変動が量的諸形質の変動係数に及ぼす影響の解明

1 株植付け本数（以下では、単に“植付け本数”と略称する）の変動が量的諸形質の変動係数に及ぼす影響を明らかにするために、日本晴を供試し、1987 年 4 月 22 日に 1 箱当たり 100 g 播種した苗を 5 月 19 日に以下の方法で手植えした。

植付け本数の変動係数を 0%, 20%, 40%, 60% とした 4 種類の試験区を設け、各区 2 反復で試験した。各試験区とも、植付け本数の平均値が 4.0 で、変動係数が上述の各設定値となるような正規乱数 240 個をコンピュータで発生させ、その発生順に 8 条×30 株の区画に 240 株を植付けた。各試験区は植付け本数を 4 本とした株で囲み、調査株に周辺効果が現われないようにした。なお、栽植密度は全試験区ともに条間 30 cm、株間 15 cm の 22.2 株/m² とした。

最高分げつ期、穂揃期および成熟期に、各試験区より 240 株全株を採取して、量的諸形質を株ごとに調査し、変動係数を算出した。各調査時における調査は試験 I と同様に行った。

なお、正規乱数の発生にあたっては、農林水産研究計算センターのコンピュータを使用した。

結果と考察

1. 機械移植水稻における 1 株植付け本数（植付け本数）の変動

1985 年、1986 年の機械移植における植付け本数の平均値と変動係数を第 2 表に示した。

両年ともに 1 箱当たり 180 g 播きの苗を移植したものであるが、植付け本数の平均値には差があった。これは、使用機種が異なったので苗のかきとり

第 1 表 機械移植の方法。

試験年	播種期	播種量	移植期	使用田植機	栽植密度	窒素施肥量
1985	5月30日	180 g/箱	6月20日	Y社歩行型 2 条植え	17.6 株/m ² (31.4×18.1 cm)	1.0 kg/a
1986	5月29日	180 g/箱	6月18日	I 社歩行型 2 条植え	18.7 株/m ² (32.4×16.5 cm)	0.8 kg/a

供試品種は両年ともに日本晴である。

播種は設定量（乾粒換算）の粒を手でばら播きした。

第2表 機械移植における1株植付け本数.

試験年	1株植付け本数		
	調査株数	平均値	変動係数
	(株)	(本)	(%)
1985	420	6.39	37.4
1986	977	4.26	42.0

量に差があった（かきとり量の調整は特に行わなかった）ためと考えられる。しかし、植付け本数の変動係数は両年とも約40%であった。従来の報告^{2,14,15)}でも1箱当たり播種量が200g前後の場合は、植付け本数の変動係数は40%程度であり、本試験における機械移植の植付け精度は植付け本数の変動の点からみれば、一般の稚苗機械移植と同程度と判断される。

2. 機械移植水稻における量的諸形質の株間変動

機械移植水稻の量的諸形質の株間変動を、第1報⁶⁾で明らかにした植付け本数を一定とした手植え水稻（以下では、単に“手植え水稻”と略称する）と比較したのが第3表である。

最高分げつ期、穂揃期の草丈および成熟期の稈長、穂長などの伸長形質の変動係数は、機械移植水稻と手植え水稻との間でほとんど差が認められな

った。しかし、茎数、穂数、全粒数などの数量形質および生体重、乾物重、穂重などの重量形質の変動係数は、機械移植水稻の方が大きい傾向にあった。

また、手植え水稻と機械移植水稻との差は最高分げつ期には大きかったが、穂揃期、成熟期と生育が進むに従って小さくなった。これに関連して、植付け本数が均一な個体群における比較で、太田ら⁹⁾、立野ら¹⁰⁾は、植付け本数が多いほど有効茎歩合が低く、植付け本数の違いによる穂数の差は、茎数の差よりも小さいと報告している。植付け本数の異なる株が混在する機械移植においては、植付け本数が多い株と少ない株とで同様のことが起こり、植付け本数の違いによる穂数の差は、茎数の差よりも小さくなるものと推測される。この結果、機械移植水稻の最高分げつ期における茎数の変動係数は、植付け本数の変動のために手植え水稻の145%であったのが、穂揃期、成熟期の穂数の変動係数では手植え水稻の112~137%と、差が縮小したものと判断される。

重量形質は茎数、穂数と高い正の相関があるので、植付け本数の違いによる重量形質の差も、最高分げつ期よりも穂揃期、成熟期の方が小さく、重量形質の株間変動に及ぼす植付け本数の変動の影響は、最高分げつ期に比べて穂揃期、成熟期では小

第3表 手植え水稻と機械移植水稻における量的諸形質の株間変動係数.

		手植え	機械移植 1985年	機械移植 1986年	機械移植 平 均
<最高分げつ期>		(%)	(%)	(%)	(%)
草	丈	4.47	4.81	4.10	4.46
茎	数	13.34	17.55	21.13	19.34
生	体	15.30	21.71	26.14	23.93
乾	物	15.55	—	26.31	—
<穂 揃 期>					
草	丈	3.55	3.03	2.83	2.93
穂	数	12.42	15.90	18.23	17.07
生	体	12.53	14.06	17.80	15.93
乾	物	12.16	—	16.54	—
<成 熟 期>					
最	長	3.95	3.84	2.94	3.39
最	長	6.21	5.75	5.14	5.45
穂	数	14.42	14.09	18.28	16.19
穂	重	14.96	12.52	16.16	14.34
全	粒	14.82	12.99	16.41	14.70
1	穂	8.16	9.97	8.63	9.30

手植え水稻の変動係数は、第1報⁶⁾による。

—は調査せず。

第4表 機械移植と手植えにおける植付け深度。

試験区	調査 株数	平均値	変動 係数	深植え 割合
	(株)	(cm)	(%)	(%)
機械移植	232	1.55	49.7	5.4
手 植 え	366	2.54	36.4	35.2

深植え割合: 3 cm 以上に深植えされた株の割合。

くなったものと考えられる。

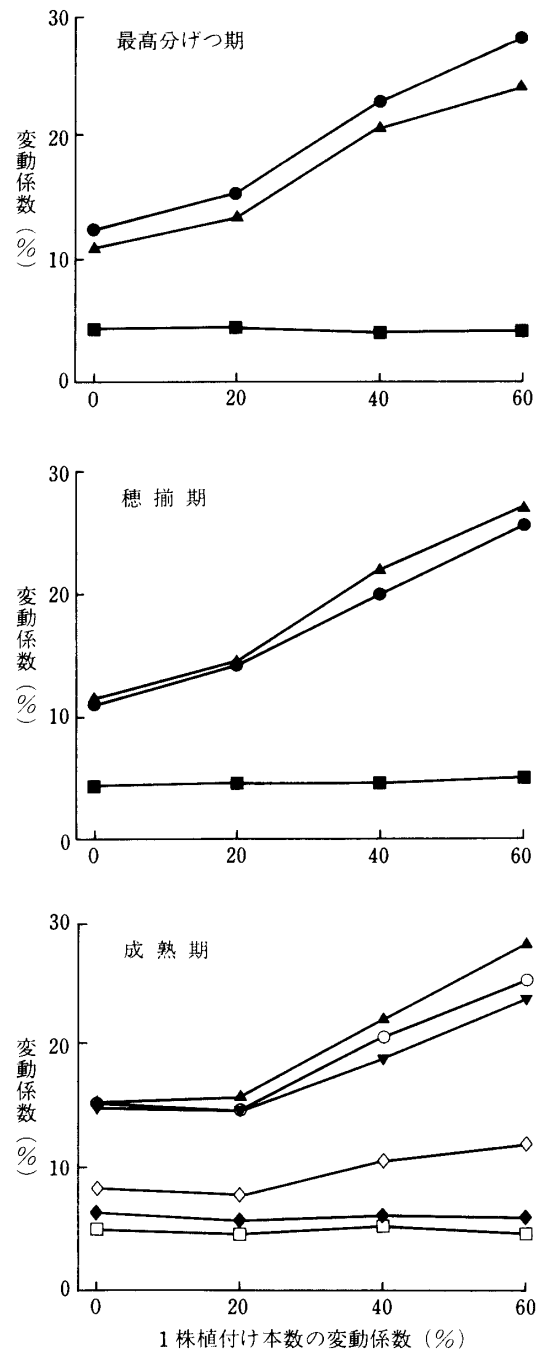
このように機械移植水稻と手植え水稻との数量形質、重量形質の変動係数の差は、穂揃期や成熟期には小さく、1985年の機械移植水稻の成熟期の変動係数は、逆に手植え水稻よりも小さかった。山本ら¹⁵⁾の、植付け本数を一定にした手植え水稻と機械移植水稻(植付け本数の変動係数は36.7%)との比較においても、手植え水稻の方が最高茎数、穂数、粒数等の株間変動は大きく、その一因は苗の植付け深度の変動の大きさにあるとしている。

第4表に1985年に調査した機械移植と手植えにおける苗の植付け深度を示した。機械移植水稻の植付け深度の変動係数は、山本ら¹⁵⁾の結果とは異なり手植え水稻よりも大きかった。しかし、分けつの休眠に大きな影響を及ぼす3 cm以上に深植え⁷⁾された苗の割合は機械移植の方が小さく、茎数の変動係数を増大させる要因としての植付け深度の影響は、機械移植の方が手植えよりも小さかったものと推察される。

このように、機械移植水稻と手植え水稻との量的諸形質の株間変動の差異は、植付け本数の変動の影響力と植付け深度の変動の影響力との程度の違いによって異なり、機械移植水稻の諸形質の変動係数が手植え水稻よりも小さくなる場合もある。しかし、成熟期の変動係数が手植え水稻に比べて小さかった1985年も、穂揃期には大きかったことや、遠藤ら¹⁾、香田⁵⁾が穂数の変動係数は機械移植の場合が手植えの場合よりも大きいと報告していることなどから、一般的には、植付け深度の変動の影響よりも植付け本数の変動の影響を強く受けて、数量形質や重量形質の変動係数は機械移植の場合が手植えの場合よりも大きくなるとみる方が妥当であろう。

3. 1株植付け本数(植付け本数)の変動が量的諸形質の変動係数に及ぼす影響

植付け本数の不均一性が生育やその変動に及ぼす影響については、これまでに多くの研究がなされている^{3,4,11,13)}。しかし、ほとんどの試験が植付け本



第1図 1株植付け本数の変動が量的諸形質の株間変動に及ぼす影響。

■: 草丈, ▲: 穂数 (最高分けつ期は茎数)
●: 生体重, □: 最長稈長, ◆: 最長稈穂長,
○: 穂重, ▼: 全粒数, ◇: 1穂粒数。

数の異なる株を交互に植付けるなどの規則的な配置による試験である。しかし、機械移植水稻の調査法を考える場合、より機械移植に近い条件下での実態を明らかにしておく必要がある。そこで、試験 II では機械移植水稻における植付け本数の変動の実態により近づけるために、植付け本数は正規分布するように選び、移植に際しては植付け本数を異にする

株をランダム配置した。

試験 II における、植付け本数の変動と諸形質の変動係数との関係を第1図に示した。

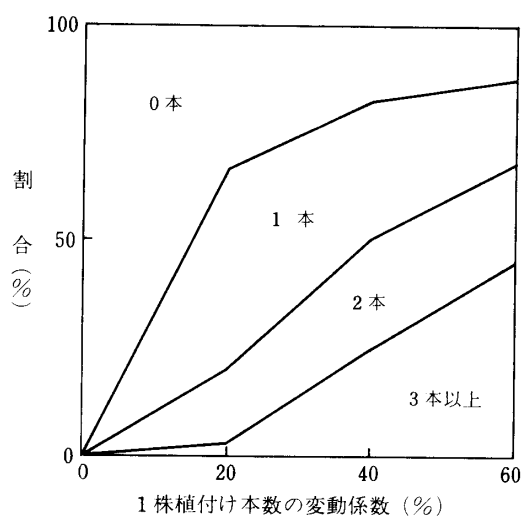
最高分げつ期、穂揃期の草丈および成熟期の最長稈長、最長稈穂長などの伸長形質の変動係数は、植付け本数の変動が大きくなっても、ほとんど影響はみられずほぼ一定の値であった。

最高分げつ期、穂揃期の茎数・穂数や成熟期の穂数、全粒数などの数量形質および最高分げつ期、穂揃期の生体重や成熟期の穂重などの重量形質の変動係数は、植付け本数の変動が大きくなるに従って大きくなった。また、1穂粒数の変動係数も、植付け本数の変動が大きくなるに従って大きくなったが、その程度は小さかった。

植付け本数の変動の増大に伴う、最高分げつ期、穂揃期における茎数・穂数および生体重の変動係数の増大程度は、0% 区～20% 区<40% 区～60% 区<20% 区～40% 区の順で、20% 区～40% 区で特に大きかった。また、成熟期における穂数、穂重、全粒数、1穂粒数の変動係数の増大程度は、0% 区～20% 区<20% 区～40% 区≒40% 区～60% 区であった。

以上のように、伸長形質の株間変動には植付け本数の変動による差はほとんどみられなかったが、数量形質、重量形質の株間変動は植付け本数に変動がある区が大きく、植付け本数が異なる株を規則的に配置した角田ら¹³⁾と同様の結果であった。さらに、本試験では植付け本数の変動が大きくなるに従って数量形質、重量形質の変動が増大し、その増大程度は植付け本数の変動が20% までは比較的小さいが、40% になると急増することが明らかとなった。

この原因については以下のように考えられる。すなわち、植付け本数の変動が増すにつれて、当然ながら隣接株間や隣接条間における植付け本数の差も大きくなる。水稻個体群内の1本植え株の周辺株への影響は、隣接株に大きく、隣接条株に小さく、また、その影響は隣接株で吸収され2株目には及ばない場合が多いとの報告⁹⁾がある。そこで、隣接株間における植付け本数の差と諸形質の株間変動との関係について検討した。第2図に各試験区の隣接株間における植付け本数の差の出現割合を示した。植付け本数の変動が大きくなるにつれて隣接株との植付け本数の差は増大している。すなわち、石井ら⁴⁾、角田ら¹³⁾の報告のように隣接株間との植付け本数の差が大きいほど影響力が大きくなり、数量



第2図 隣接株間における1株植付け本数の差の出現割合。

形質、重量形質の株間変動も増大したものと考えられる。

また、植付け本数の変動係数が20% になると1本差の株間が急増する。これに対して、2本差以上の株間は40% 区になると急増し、数量形質、重量形質の変動係数の増加と類似した増加である。すなわち、隣接株間における植付け本数の差が1本までは、数量形質、重量形質のその後の生長に及ぼす影響は小さいが、2本以上になると影響は大きく、株間変動が大きくなったものと推測される。この結果、植付け本数の変動が20% まではこれらの形質の変動係数の増加程度は小さかったが、40% になると急増したものと考えられる。

4. 機械移植水稻における標本数の目安

以上の結果をもとに、機械移植水稻の量的諸形質の標本調査における必要標本数について検討した。

伸長形質の変動係数は、植付け本数の変動係数が40% 程度の植付け精度で機械移植した場合にも、手植え水稻における変動係数とほとんど同じであった。このことから、目標精度に対応した標本数は、第1報⁶⁾で明らかにした手植え水稻の場合と同様でよいと判断された。

数量形質、重量形質の変動係数は、植付け本数の変動係数が40% になると明らかに植付け本数の変動の影響を受けていた。しかし、先にも述べたように機械移植水稻は手植え水稻と比べて、植付け本数の変動のほかに植付け深の変動、植付け条間・株間の変動等の影響を受けている。これらの影響の強弱により、量的諸形質の変動の程度が異なる。試験 I における1985年と1986年の植付け本数の変動係数

はほぼ同じであるのにその後の量的諸形質の変動係数が異なったのも、試験 II の 40% 区の変動係数が、植付け本数の変動係数が約 40% であった試験 I における機械移植に比べて大きかったのも、このためと推測される。このように、機械移植水稻の株間変動は機械移植の仕方によって異なるので、量的諸形質の変動係数を推定することは難しいが、試験 I で明らかにした量的諸形質の変動係数を用いて機械移植水稻における標本数の一つの目安を算出することとした。

植付け本数の変動係数が約 40% であった機械移植水稻 (試験 I) における数量形質、重量形質の変動係数の平均値は、第 1 報⁶⁾ で明らかにした手植え水稻の変動係数に比べて、最高分げつ期は約 1.5 倍、穂揃期は約 1.3 倍、成熟期は約 1.1 倍の大きさであった。標本調査法の単純任意抽出法¹²⁾ では、調査対象形質の変動係数が n 倍になると同一精度の推定値を得るのに必要な標本数は n^2 倍になる。従って、機械移植水稻の数量形質、重量形質の調査必要標本数は、最高分げつ期には第 1 報⁶⁾ で明らかにした手植え水稻における標本数の 2.3 倍程度、穂揃期は 1.7 倍程度、成熟期は 1.2 倍程度となる。ただし、この標本数は第 1 報⁶⁾ でも述べたように、標本をランダムに抽出して調査する場合の数である。

本報では、植付け本数の変動係数が 20% の区におけるこれらの形質の変動係数は、0% 区と大きな差はなく、両区ともに第 1 報⁶⁾ で明らかにした手植え水稻の変動係数がとり得る範囲内の大きさであった。すなわち、植付け本数の変動係数が 20% 程度以下であれば手植え水稻と標本数の上で区別する必要はないものと考えられる。ポット成苗田植機では、ほとんどの株の植付け本数がモードを中心に ± 1 本の中にあり、植付け本数の変動係数が 20~25% との報告⁸⁾ がある。このような植付け本数の変動が小さい田植機による試験の場合は、目標精度を達成するための標本数は手植え水稻の場合と同数で良いものと考えられる。

引用文献

1. 遠藤征彦・佐々木忠勝 1979. 機械移植における水稻収量調査方法に関する一考察. 日作東北支部報 22: 53—54.
2. 橋川 潮・北川 治・山下勝男 1974. 中苗を用いた場合の田植機の移植精度について. 滋賀県農業試験場研究報告 16: 114—117.
3. ———・白岩立彦 1987. 早植水稻の多収生育相に関する研究. 第 6 報 株当たり植付け本数の変動が収量性に及ぼす影響—高収レベルの場合. 近畿作育研究 32: 30—33.
4. 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な水稻個体群における株間補償と個体間競争. 日作紀 41: 57—62.
5. 香田三蔵 1978. 水稻機械植栽培における作況調査方法の研究. 農林統計研究 12 (2): 1—14.
6. 楠田 幸 1990. 水稻圃場試験調査法の改善のための基礎研究. 第 1 報 量的諸形質の変動係数と標本数の目安. 日作紀 59: 80—88.
7. 村上利夫 1984. 活着とその停滞のタイプ. 農山漁村文化協会編, 稲作全書イネ II—栽培技術の基本—, 農山漁村文化協会, 東京, 211—214.
8. 新田政司・吉田功三・岡島正昭・佐々木忠勝 1982. 成苗機械移植栽培法—みのる樹脂ポット—. 東北農業研究 31: 27—28.
9. 太田 孝・西郷昭三郎・村越一彦・鈴木金苗 1968. 水稻栽培条件の許容度に関する研究. 第 10 報 田植機栽培の 1 株植付本数の許容度について. 静岡県農業試験場報告 16: 1—6.
10. 立野喜代太・伊藤健次 1971. 西南暖地における稚苗稲作技術に関する研究. 第 1 報 1 株植付苗数の多少が稚苗移植水稻の生育, ならびに収量におよぼす影響. 日作九州支部報 35: 1—11.
11. ———・——— 1971. ———. 第 2 報 1 株植付苗数の不均一性が稚苗移植水稻の収量におよぼす影響. 日作九州支部報 35: 12—14.
12. 津村善郎・築林昭明 1986. 標本調査法. 岩波書店, 東京, 69—70.
13. 角田公正・石井龍一・町田寛康 1971. 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性が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 40: 1—6.
14. 山本由徳 1987. 機械移植栽培水稻における収量関連形質の株間変動. 日作四国支部記事 24: 7—17.
15. ———・濃野淳一 1988. 機械移植水稻と手植移植水稻の生育, 収量の株間変動の比較. 日作四国支部記事 25: 7—12.