

北海道において疎植栽培されたイネ品種「ななつぼし」の生育、収量および玄米品質

林 怜史

(農研機構北海道農業研究センター)

要旨：寒地である北海道の水稲移植栽培では、出穂始めから終わりまでの期間を短くし、整粒歩合を確保するため、密植栽培が推奨されているが、経営の大規模化を背景に、省力化、低コスト化を目的とした疎植栽培への要望が高まっている。そこで、本研究では、水稲品種「ななつぼし」を用いて疎植栽培を行った際の生育、収量、品質について調査を行った。2013年から2015年にかけて、北海道農業研究センター(札幌市)内の水田において、条間30 cmの田植え機を用いて、株間4段階、植え付け本数2段階を組み合わせた8条件で移植した。試験を行った3か年は、いずれも平年並み以上の気温、日射量となったが、植え付け本数の削減は登熟歩合の低下による有意な減収や未熟粒の増加を招いた。株間を広げることによる減収は認められなかったが、整粒歩合が低下し、未熟粒が増加する傾向が見られた。一穂粒数と整粒歩合との間には有意な負の相関がみられ、登熟期の気温が低い(出穂後40日間の積算気温800℃未満)条件では一穂粒数が70粒を上回ると整粒歩合が70%を下回った。植え付け本数標準区では、株間22 cmで一穂粒数は70.7粒であったことから、整粒歩合70%以上を確保するという点では、株間22 cmまでの疎植にとどめることが望ましいと考えられた。

キーワード：イネ、植え付け株数、栽植密度、疎植、ななつぼし、一株苗数、北海道。

北海道の水田農業においては、後継者不在の高齢生産者の離農が進んでおり、それらの生産者が手放した農地は地域の中核的な生産者(担い手)に集積されていくと予想されている。細山(2012)の予測では、2020年には1戸あたりの平均経営規模が100 haを超える地域があるとされており、低温で作業適期の短い北海道においては、適期作業を可能にするための省力化や労働ピークの平準化が大きな課題となっている。また、米価の下落が続く近年においては、省力化とともに低コスト化を図ることが求められている。省力的で低コストな栽培技術として、直播栽培が注目を集めているが、播種機などの機械装備がない場合には、新規に導入する必要がある。コストの低減につながらない可能性がある。一方で、疎植栽培であれば、既存の田植え機の設定を変えるだけであり新たな機械への投資を必要とせず、熟練した移植体系の作業をほぼそのまま継続することができるため、比較的容易に取り組むことができると考えられる(川崎ら1998)。北海道の15 ha以上の経営規模においては、育苗にかかる労働時間は10 aあたり4.63時間と、全体の作業時間の32%を占めており(農林水産省2016)、疎植栽培によって10 aあたりの育苗箱数を削減することができれば、労働時間だけでなく、育苗にかかる費用も低減できると期待される。実際に、暖地における試験では、疎植栽培(奈良県10.6株 m^{-2} 、香川県11.1または14.8株 m^{-2} 、愛媛県9.3または11.1株 m^{-2})においても慣行栽培(奈良県17.6株 m^{-2} 、香川県22.2株 m^{-2} 、愛媛県18.5株 m^{-2})並みの収量が得られつつ、整粒

歩合もほぼ維持されて(最大でも3ポイントの低下)おり(大野ら2001、杉山2004、木村ら2005、安田ら2006、杉山ら2007)、低コスト省力栽培技術として有効であると考えられている。しかし、北海道では、幼穂形成期の後に最高分げつ期を迎えることから、出穂始めから穂揃いまでの期間が長くなる(北海道米麦改良協会2011)。そのような条件下で登熟を安定させるために、出穂始めから終わりまでの期間を短くし、穂揃いを良好にするための密植栽培が推奨されてきた(慣行の栽植密度は約24株 m^{-2} 、10 aあたりの育苗箱数は約35箱)。また、暖地と比較して気温の制約が厳しい寒冷地においては、疎植栽培による減収は認められなかったという報告がある(齋藤ら2008)。一方、「あきたこまち」の疎植栽培において穂数が確保できなかった場合や逆に茎数過剰となった場合に減収することが報告されている(松波ら2016)。さらに、様々な栽培条件が玄米タンパク含有率に与える影響を北海道のうるち米栽培地帯全域で調査した結果、玄米タンパク含有率は密植によって低下し、疎植によって高まることが報告されている(五十嵐ら2005)。北海道以外においても、疎植栽培において玄米の高タンパク化が発生したことが報告されている(杉山ら2007、松波ら2013)。これらのことから、疎植栽培における減収の危険性は、暖地よりも寒地や寒冷地で高く、高タンパク化も懸念されると考えられる。そこで、本研究では、北海道において疎植栽培を行い、その品質、収量を評価することで、北海道における疎植栽培にどの程度減収や品質低下の危険性があるかを明らかにすることを目的とした。

2016年9月16日受理。連絡責任者：林 怜史 〒062-8555 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘1

TEL 011-857-9300, FAX 011-859-2178, hayashis@affrc.go.jp

本研究の一部は革新的技術緊急展開事業(うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立)により行った。

材料と方法

1. 栽培方法

試験は、2013年から2015年にかけて、農研機構 北海道農業研究センター（札幌市、北緯43度1分、東経141度25分、標高64m）内の水田（火山性土）において行った。品種は北海道において最も作付け面積の広い「ななつぼし」（偏穂数型）を供試した。播種は4月17日（2013年）、4月23日（2014年）、4月22日（2015年）とし、播種量は育苗箱あたり130g（催芽種子）とした。移植日は5月23日（2013年）、5月20日（2014年）、5月19日（2015年）であった。2013年は低温により育苗期間が長くなったが、いずれの年も中苗移植であった。施肥は、代かき前に窒素 2.4 g m^{-2} 、リン酸 2.4 g m^{-2} 、カリ 2.4 g m^{-2} を全層施肥し、田植え時に窒素 5.6 g m^{-2} 、リン酸 4.2 g m^{-2} 、カリ 3.5 g m^{-2} を側条施肥した（施用した窒素肥料は、全層、側条ともに速効性）。田植えには、条間30cm、8条植えの田植え機を用い、株間の設定を14cm、18cm、22cm、30cmの4段階とした。また、それぞれの株間について、移植時の掻き取り量の設定を2段階設け、植え付け本数について標準（4.3本）と少（2.8本）の区を設けた。各試験区の実際の株間、植え付け本数、10aあたり育苗箱数は第1表のとおりであった。欠株については補植を行った。試験区の配置は、株間を主区、植え付け本数を副区とした分割区法とし、反復数は3とした。試験区の大きさは $2.4\text{ m} \times 6\text{ m}$ （2013年、2014年）または $2.4\text{ m} \times 12\text{ m}$ （2015年）とした。

2. 調査項目

2014年、2015年には、6月中旬から7月下旬までの茎数の推移を、約7日の間隔で調査した。また、2015年には、出穂開始前日の7月29日から8月17日までの20日間、出穂した茎数の推移を1から3日の間隔で調査した。この調査から、以下の式により、調査日における出穂率を算出した。

調査日Aにおける出穂率 = 調査日Aにおいて出穂していた（穂の先端の穎花が抽出した）茎数 / 調査最終日において出穂していた茎数 $\times 100$ （%）

いずれの年においても、出穂日（約50%の茎において出穂が確認された日）を調査し、成熟期には 2.7 m^2 を地際から刈り取り、地上部乾物重、収量、収量構成要素（面積あたり穂数、一穂あたり粒数、登熟歩合、千粒重）、玄米品質および窒素吸収量を求めた。地上部乾物重は、 80°C において3日以上通風乾燥した後に測定した。収量は、粒厚 1.9 mm 以上の精玄米を水分15%に調整した値とした。登熟歩合は、総粒数（面積あたり穂数 \times 一穂あたり粒数）に対する精玄米粒数の割合とし、千粒重は精玄米について測定した。玄米品質については、静岡製機RS-2000Xによって測定した。窒素吸収量はサンプルを粉碎後、CNコード（elementar社、vario MAX CNS）を用いて窒素含有率を測

第1表 年次ごとの株間、植え付け本数の実測値と10aあたり育苗箱数。

株間設定 (cm)		株間実測 (cm)		
		2013	2014	2015
14		13.8	14.2	13.5
18		18.4	17.9	18.5
22		22.1	21.4	21.4
30		29.8	31.2	30.8
植え付け本数		植え付け本数実測 (本 株 ⁻¹)		
設定		2013	2014	2015
標準		4.4	4.1	4.3
少		3.1	2.6	2.8
株間 (cm)	植え付け本数	育苗箱数 (箱 10 a ⁻¹)		
		2013	2014	2015
14	標準	38.1	36.7	39.0
	少	23.8	22.9	24.4
18	標準	28.6	29.1	28.5
	少	17.9	18.2	17.8
22	標準	23.8	24.4	24.6
	少	14.9	15.2	15.3
30	標準	17.7	16.7	17.1
	少	11.1	10.4	10.7

10 aあたり育苗箱数は試験圃場全体で使用した育苗箱数と株間実測値、苗かき取り量設定値から算出。

定し、乾物重に乗じて算出した。玄米タンパク含有率は、CNコードで測定した玄米窒素含有率に定数5.95を乗じて算出した。気象データは、北海道農業研究センター内の気象観測露場（試験圃場から約800m）の値を用いた。移植後から出穂日までの日平均気温について、丹野ら（2007）の方法によって簡易有効積算気温を求めた。この簡易有効積算気温をもとに、5月20日に移植を行った場合に出穂晩限（出穂後40日間の積算気温が 750°C 以上となる最も遅い出穂日、北海道米麦改良協会（2011））までに収穫を迎えるかを、1981年から2010年までの農研機構メッシュ農業気象データ（大野2014）を用いて計算した。この30年のうち、出穂晩限までに収穫を迎えると計算された年数の占める割合を、晩限内出穂安全率とした。

3. 統計解析

Gomez and Gomez（1984）の方法に基づき、3か年の分割区法の分散分析を行い、年次、株間、植え付け本数およびそれらの間の交互作用について検定を行った。5%水準で有意であった項目については、TukeyのHSD法によって多重検定を行った。なお、統計解析にはSystat 13.1を用いた。

結 果

1. 気象条件

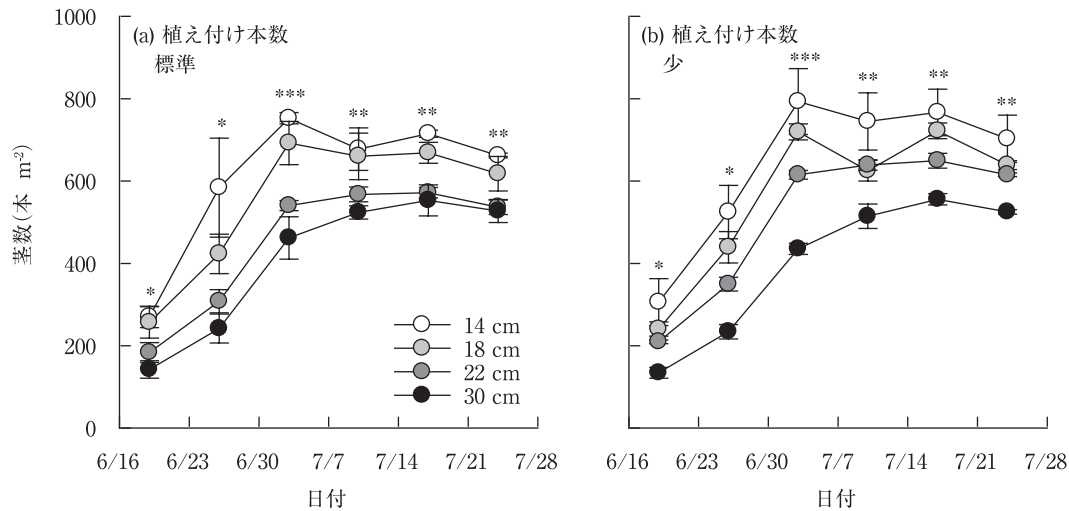
2013年は、移植日（5月23日）頃まで低温で推移した

第2表 作付期間中の平均気温、積算日射量。

平均気温 (℃)					積算日射量 (MJ m ⁻²)				
	2013	2014	2015	平年		2013	2014	2015	平年
5 月	10.0	12.2	12.5	10.6	5 月	480	555	672	547
6 月	16.2	17.1	15.2	14.8	6 月	665	541	503	568
7 月	20.8	20.7	19.5	18.9	7 月	597	595	513	524
8 月	21.6	20.5	20.5	20.8	8 月	441	464	473	480
9 月	17.3	16.3	16.5	16.4	9 月	365	425	345	390
平均	17.2	17.4	16.8	16.3	合計	2548	2581	2506	2509

平年値は1981年から2010年の平均値。

平年より値が低いものを網掛けで示した。



第1図 2014年における茎数の推移。

縦線は標準誤差を示す。*, **, *** は、それぞれ分散分析において株間に5%, 1%, 0.1%水準で有意差があったことを示す。

ものの、6月以降の平均気温は高かった(第2表)。日射量は、穂数や一穂粒数の決定に重要である出穂期まで(6月、7月)が高く、登熟期(8月、9月)は低かった。2014年も同様に、7月までの気温が高く、8月以降は平年を下回る気温となったものの、生育期間全体の平均気温、日射量は3か年の中で最も高かった。2015年は、平年の平均気温を下回ったのは8月のみであったものの、生育期間全体の平均気温は3か年で最も低く、平年値に近かった。日射量は、5月に極めて高い値を示したものの、6月以降は平年値を下回り、3か年で唯一生育期間全体の日射量が平年をわずかに下回った。

2. 茎数の推移、出穂

2014年、2015年とも、茎数は、株間が狭いほど増加が早く、2015年6月18日の測定を除き、株間の有意な影響が見られた(第1図、第2図)。また、2015年における茎数の増加は、2014年と比較すると緩慢であった。

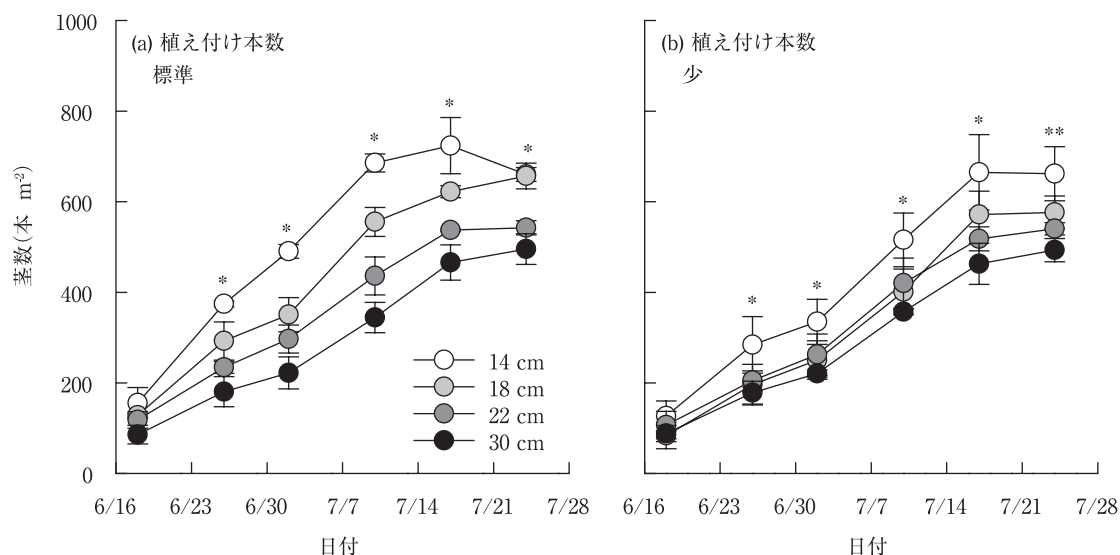
2013年、2014年の出穂日は2015年より有意に早かった(第3表)。株間を広げること、植え付け本数を減らすこと

のいずれによっても出穂は有意に遅れ、移植後から出穂日までに必要な簡易有効積算気温は有意に高くなった。晩限内出穂安全率は、株間14 cm区では90%であったが、株間30 cm植え付け本数少区では73%と低かった。2015年の出穂率は、株間が狭いほど早く増加し、8月4日から10日にかけて株間の有意な影響が見られた(第3図)。また、植え付け本数標準区は少区より出穂率の増加が早く、8月3日から10日にかけては有意な差が認められた。

3. 収量、玄米品質

株間は成熟時地上部乾物重、精玄米収量、収量構成要素、窒素吸収量や玄米タンパク含有率に有意な影響をおよぼさなかったが、株間を広げることで一穂粒数が増加し、整粒歩合が下がり、未熟粒が増加する傾向が見られた(第4表)。本試験で用いた玄米品質判定機では、未熟粒の詳細な分類はできなかったが、未熟粒と判別された粒の多くは青未熟粒であった。

植え付け本数を減らすことで穂数が有意に減少したが、一穂粒数が増加したため、総粒数には有意な差は見



第2図 2015年における茎数の推移。

縦線は標準誤差を示す。*, ** は、それぞれ分散分析において株間に5%, 1%水準で有意差があったことを示す。

第3表 年次、試験区ごとの出穂日、移植後から出穂までの簡易有効積算気温、晩限内出穂安全率。

株間 (cm)	植え付け本数	出穂日				簡易有効積算気温 (°C)				晩限内出穂安全率 (%)
		2013	2014	2015	平均	2013	2014	2015	平均	
14	標準	7月30日	7月28日	8月5日	7月31日	970	994	1002	989	90.0
	少	7月30日	7月29日	8月5日	8月1日	978	1015	1011	1001	90.0
18	標準	7月30日	7月29日	8月6日	8月1日	970	1008	1040	1006	86.7
	少	7月30日	7月29日	8月6日	8月1日	978	1015	1033	1009	86.7
22	標準	7月29日	7月29日	8月7日	8月1日	963	1015	1046	1008	86.7
	少	7月30日	7月30日	8月8日	8月2日	978	1037	1066	1027	83.3
30	標準	8月1日	7月31日	8月7日	8月2日	1011	1044	1052	1036	83.3
	少	8月1日	7月31日	8月9日	8月3日	1011	1059	1101	1057	73.3
年次平均値		2013	7月30日 ^b				982 ^b			
		2014	7月30日 ^b				1024 ^a			
		2015	8月6日 ^a				1044 ^a			
株間平均値		14	7月31日 ^b				995 ^b			
		18	8月1日 ^{ab}				1007 ^{ab}			
		22	8月1日 ^{ab}				1017 ^{ab}			
		30	8月3日 ^a				1046 ^a			
植え付け本数平均値		標準	8月1日 ^b				1010 ^b			
		少	8月2日 ^a				1023 ^a			

年次、株間、植え付け本数平均値横のアルファベットが同一のものは、TukeyのHSD検定で有意差がないことを示す(5%水準)。

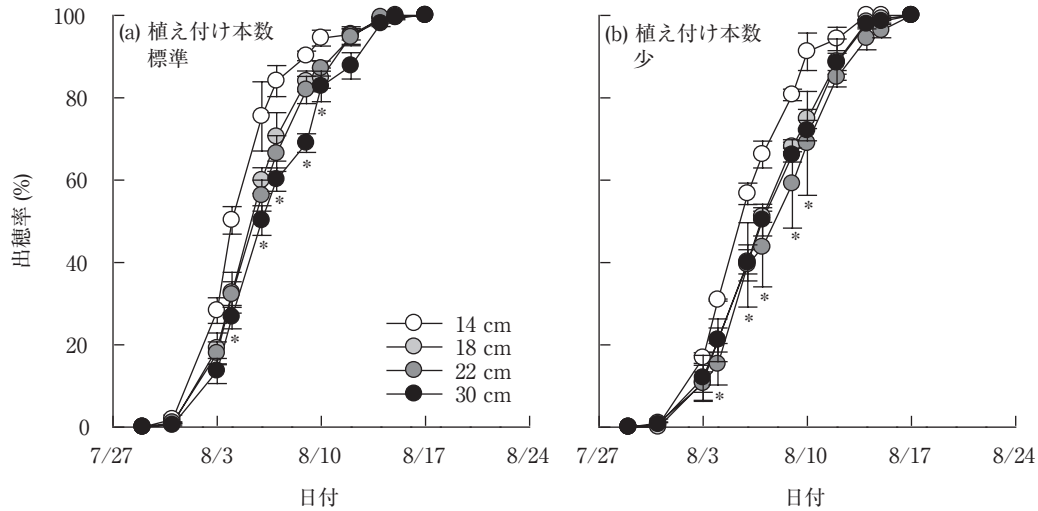
5%水準で有意な交互作用は認められなかった。

試験地における出穂晩限は8月15日。

られなかった(第4表)。成熟時地上部乾物重、精玄米収量、登熟歩合においては年次と植え付け本数の間に有意な交互作用が見られ、2013年においては植え付け本数標準区の値が少区より高かった(第4図)。2015年の整粒歩合は他の年次より有意に低く、植え付け本数標準区の値が少区より

有意に高かった。これに伴い、2015年の未熟粒歩合は他の年次より有意に高く、植え付け本数少区の値が標準区より有意に高かった。

10aあたり育苗箱数が約24箱の2区(株間14cm植え付け本数少区と株間22cm植え付け本数標準区)を比較す



第3図 2015年における出穂率の推移。

縦線は標準誤差を示す。*は分散分析において株間に5%で有意差があったことを示す。

第4表 年次、株あたり苗数ごとの収量、収量構成要素および玄米品質 (2013年から2015年の平均値)。

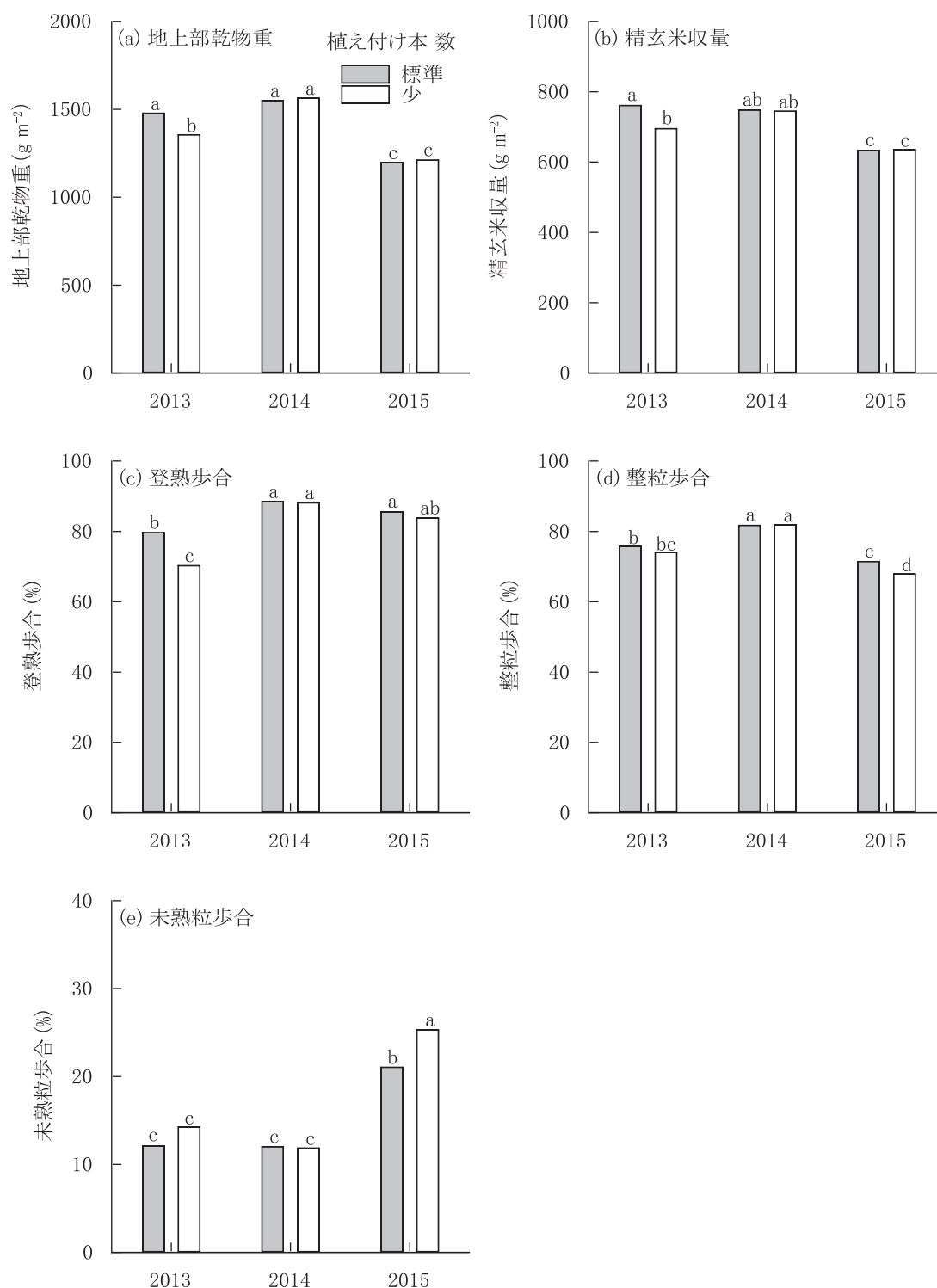
株間 (cm)	植え付け本数	地上部 乾物重 (g m^{-2})	精玄米 収量 (g m^{-2})	穂数 (本 m^{-2})	一穂 粒数 (粒 穂^{-1})	総粒数 (千粒 m^{-2})	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g 千粒^{-1})	窒素 吸収量 (g m^{-2})	玄米 タンパク (%)	整粒 歩合 (%)	未熟粒 歩合 (%)
14	標準	1422	697	564	61.5	34.6	89.1	22.7	9.7	6.69	80.0	10.6
	少	1382	686	529	67.9	35.7	84.2	22.9	9.6	6.52	77.0	14.3
18	標準	1436	720	544	69.8	37.9	83.8	22.7	9.8	6.54	75.5	15.8
	少	1420	713	504	76.5	38.4	83.4	22.7	10.0	6.56	75.5	16.3
22	標準	1409	722	552	70.7	39.2	82.6	22.7	10.1	6.61	77.4	14.0
	少	1345	683	468	82.8	38.7	78.8	22.8	9.8	6.66	74.1	17.9
30	標準	1368	717	476	81.4	38.4	82.6	22.8	10.4	6.83	72.4	19.8
	少	1358	685	446	91.1	39.8	76.5	23.0	10.3	6.96	71.7	20.0
年次平均値	2013	1417	728	522	84.9 ^a	43.8 ^a	74.9	22.6 ^b	10.1	6.64	74.9	13.2
	2014	1557	746	527	71.6 ^b	37.2 ^b	88.3	22.8 ^{ab}	10.6	6.53	81.8	11.9
	2015	1204	634	482	69.0 ^b	32.5 ^b	84.7	23.0 ^a	9.2	6.85	69.7	23.2
株間 平均値	14	1402	692	547	64.7	35.2	86.7	22.8	9.7	6.61	78.5	12.4
	18	1428	716	524	73.1	38.2	83.6	22.7	9.9	6.55	75.5	16.0
	22	1377	702	510	76.7	38.9	80.7	22.7	9.9	6.63	75.8	16.0
	30	1363	701	461	86.3	39.1	79.6	22.9	10.4	6.90	72.0	19.9
植え付け本数 平均値	標準	1409	714	534 ^a	70.8 ^b	37.6	84.5	22.7 ^b	10.0	6.67	76.3	15.1
	少	1376	692	487 ^b	79.6 ^a	38.1	80.7	22.8 ^a	9.9	6.68	74.6	17.1

分散分析 P 値

年次	**	**	†	**	**	**	*	ns	ns	***	**
株間	ns	ns	ns	†	ns	ns	ns	ns	ns	†	†
年次 × 株間	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
植え付け本数	ns	*	***	***	ns	**	*	ns	ns	**	**
年次 × 植え付け本数	*	*	ns	ns	ns	**	ns	ns	†	*	*
株間 × 植え付け本数	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	†
年次 × 株間 × 植え付け本数	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

株間、植え付け本数平均値横のアルファベットが同一のものは、Tukey の HSD 検定で有意差がないことを示す (5%水準)。ただし分散分析が 5%水準で有意でない項目、交互作用が 5%水準で有意である項目については検定を行っていない。

***, **, *, † は分散分析の P 値がそれぞれ 0.1%, 1%, 5%, 10%未満であることを、ns は 10%以上であることを示す。



第4図 年次、植え付け本数ごとの成熟時地上部乾物重 (a), 精玄米収量 (b), 登熟歩合 (c), 整粒歩合 (d), 未熟粒歩合 (e). これらの項目においては, 年次と植え付け本数に5%水準で有意な交互作用が認められた. アルファベットが同一のものは, Tukey の HSD 検定で有意差がないことを示す (5%水準).

ると, 2013 年においては株間 22 cm 植え付け本数標準区が株間 14 cm 植え付け本数少区より有意に多収となった (第5表). これは穂数によるものであった (データ省略). その他の年次の収量に有意差はなく, 玄米タンパク含有率, 整粒歩合, 未熟粒歩合については, いずれの年次において

も差は見られなかった. 10 a あたり育苗箱数が約 17~18 箱の 2 区 (株間 18 cm 植え付け本数少区と株間 30 cm 植え付け本数標準区) の比較では, 2013 年において株間 30 cm 植え付け本数標準区が株間 18 cm 植え付け本数少区より多収となる傾向が見られた. また, 2015 年の玄米タンパク含

第5表 10aあたり育苗箱数がほぼ等しい2試験区における収量および玄米品質.

年次	試験区	精玄米収量 (g m ⁻²)	玄米タンパク (%)	整粒歩合 (%)	未熟粒歩合 (%)
約24箱 10a ⁻¹					
2013	株間14cm 植え付け本数少	673 [*]	6.36	76.7	11.4
	株間22cm 植え付け本数標準	785	6.58 ^{ns}	76.8 ^{ns}	11.7 ^{ns}
2014	株間14cm 植え付け本数少	744	6.51	82.9	10.7
	株間22cm 植え付け本数標準	728 ^{ns}	6.46 ^{ns}	84.2 ^{ns}	9.4 ^{ns}
2015	株間14cm 植え付け本数少	641	6.69	71.4	20.7
	株間22cm 植え付け本数標準	654 ^{ns}	6.78 ^{ns}	71.3 ^{ns}	20.9 ^{ns}
約17~18箱 10a ⁻¹					
2013	株間18cm 植え付け本数少	717 [†]	6.62	75.1 [*]	13.6
	株間30cm 植え付け本数標準	792	6.74 ^{ns}	72.5	15.1 ^{ns}
2014	株間18cm 植え付け本数少	773	6.47	80.6	12.5
	株間30cm 植え付け本数標準	742 ^{ns}	6.64 ^{ns}	79.8 ^{ns}	15.4 ^{ns}
2015	株間18cm 植え付け本数少	650	6.61	71.0	22.9 [*]
	株間30cm 植え付け本数標準	618 ^{ns}	7.10 [†]	64.9 [*]	29.0 [*]

*, †は年次内における分散分析のP値がそれぞれ5%, 10%未満であることを, nsは10%以上であることを示す.

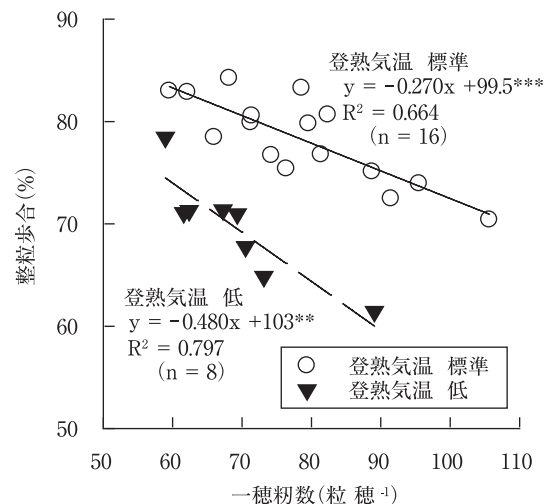
有率は株間30cm 植え付け本数標準区が株間18cm 植え付け本数少区より高い傾向が見られた. 整粒歩合においては, 2013年, 2015年に, いずれも株間18cm 植え付け本数少区が株間30cm 植え付け本数標準区より有意に高かった. また, 2015年の未熟粒歩合においては, 株間30cm 植え付け本数標準区が株間18cm 植え付け本数少区より有意に高かった.

一穂粒数と整粒歩合との間には, 標準的な登熟気温(出穂後40日間の積算気温802~845℃, 2013年および2014年)の場合, 登熟気温が低い場合(同739~770℃, 2015年)のいずれにおいても有意な負の関係が認められた(第5図). 一穂粒数が同等の場合, 登熟気温が低い条件における整粒歩合は標準的な登熟気温の場合より低かった. 登熟気温が低い条件では, 一穂粒数が70粒を上回ると, 整粒歩合が70%を下回ったが, 標準的な登熟気温においては一穂粒数100粒でも70%以上の整粒歩合が得られた.

考 察

1. 気象条件の影響

試験を行った3か年では, 2015年において日射量が平年をわずかに下回ったものの, 平均気温はいずれも平年を上回り, 低温年は含まれなかった. 試験を行った北海道石狩管内における作況指数は, 2013年が105, 2014年が108, 2015年が106と高く, それに伴って試験の収量水準も高いものとなった. 今回の試験においては, 2015年の出穂日が2013年, 2014年と比較すると7日遅かった(第3表). これは, 6月, 7月の気温や日射量が低かった影響もあるが, 試験圃場の場所が異なったことも影響したと考えられる. 北海道農業研究センターでは, 貯水池の水を灌漑用水とし



第5図 一穂粒数と整粒歩合との関係.

, *は直線回帰がそれぞれ1%, 0.1%水準で有意であることを示す.

て利用しているが, 貯水池で用水が温められるため, 貯水池に近い水田の方が早く出穂する傾向が見られる. 2013年, 2014年の試験圃場は貯水池に近接していたのに対し, 2015年は約350m離れていた.

北海道においては, 1884年から2015年までの132年間に, 遅延型12回, 障害型8回, 両者の併行型11回と, 平均すると4年に1回の割合で低温の被害に遭っており(北海道米麦改良協会2011), 収量, 品質を維持したうえでどの程度の疎植化が可能であるかという点については, 低温年の評価が不可欠である. 今回の試験における移植後から出穂日までの簡易有効積算気温は, 最低で株間14cm 植え付け

本数標準区の989℃、最高で株間30 cm 植え付け本数少区での1057℃であった(第3表)。5月20日に移植した場合に出穂晩限(試験地では8月15日)までにこれらの簡易有効積算気温が確保されるかを、1981年から2010年までの30年のデータから算出したところ、株間30 cm 植え付け本数少区では安全率73.3%であった。この値は他の区と比較して10ポイント以上低く、この期間に発生した8か年の低温年のうち5か年において出穂晩限までに収穫に至らないと算出されたうえ、低温年ではない3か年においても出穂晩限までに収穫に至らないと算出された。これらのことから、株間30 cm 植え付け本数少区は危険性が高いと考えられた。

2. 株間の影響

収量面では、これまでの知見においても、疎植栽培によって減収した場合、減収しなかった場合の両方が報告されている。岩手県において「あきたこまち」と「ひとめぼれ」を用いて疎植栽培した試験で、疎植栽培によって「あきたこまち」では穂数や一穂粒数が、「ひとめぼれ」では登熟歩合が低下し、それに伴う減収が見られている(平野ら1997)。一方、山形県において「はえぬき」を用いた疎植栽培では、一穂粒数による補償作用のため、収量の低下は認められなかったという報告がある(齋藤ら2008)。今回の試験においても、株間を広げたことによって穂数が減少する傾向は見られたが、一穂粒数による補償作用のため、総粒数や収量には差が見られなかった(第4表)。品質面では、一穂粒数が多いと整粒歩合が低下した(第5図)。今回の試験では、1次枝梗着生期、2次枝梗着生期の割合の調査は行わなかったが、東北地方において行われた試験では、一穂粒数が多いと登熟に不利な2次枝梗着生期が増加することが報告されており(吉永ら2008)、今回の試験においても、2次枝梗着生期の増加が整粒歩合の低下に影響した可能性がある。

北海道における出穂晩限は出穂後40日間の積算気温750℃が得られる最も遅い日とされているが、これは軽度の登熟不良を想定したものであり、高い整粒歩合を得るためには800℃以上の積算気温が必要であるとされている(北海道米麦改良協会2011)。そこで、出穂後40日間の積算気温800℃以上を標準的な登熟気温とすると、標準的な温度条件においては、一穂粒数100粒でも一等米の基準である整粒歩合70%が得られた。しかし、出穂後40日間の積算気温が800℃に満たない条件では、一穂粒数が70粒を超えると整粒歩合70%を下回った。植え付け本数標準区では、株間22 cmで一穂粒数は70.7粒であったことから、登熟期の気温が低い条件においても整粒歩合70%以上を安定的に確保するという点では、株間22 cmまでの疎植にとどめることが望ましいと考えられた。また、株間を広げることで出穂期、穂揃い期が遅くなった(第3表、第1図)。出穂率が10%に達した日から90%に達した日までの期間

を穂揃い日数とすると(測定を実施しなかった日は、その前後の測定値が直線的に推移したと仮定して算出)、株間が広がるにつれて穂揃い日数が増加する傾向が見られ、株間14 cmでは8.8日、30 cmでは10.5日であった。穂揃い日数が長くなると、出穂始期に出穂した穂と出穂終期に出穂した穂で登熟のばらつきが生じる懸念があり、このことも玄米品質を低下させる危険性がある。

今回の試験では、玄米タンパク含有率は6.5%から7.0%であり、株間30 cm区においては低タンパク米の基準である6.8%(北海道米麦改良協会2011)を上回った(第4表)。「きらら397」や「ほしのゆめ」では、出穂後40日間の積算気温が約850℃の場合に最も精米タンパク含有率が低くなることが報告されている(丹野ら2010)。今回の試験においては、出穂後40日間の積算気温は最高で848℃であり、株間の広い区では出穂の遅れによって登熟期の気温が低下し、玄米タンパク含有率の上昇につながったと考えられた。低温年においては、登熟期間の積算気温がさらに不足し、玄米タンパク含有率がより高まることが懸念される。また、空知地域などで多く見られる泥炭土壌においては玄米タンパク含有率が高まりやすい(五十嵐ら2005)ことから、疎植栽培が玄米タンパク含有率におよぼす影響については、気象条件や土壌条件などを考慮し、慎重に評価する必要がある。

3. 植え付け本数の影響

本試験では、2013年に、植え付け本数を減らしたことによる減収が認められた(第4図)。この減収は、地上部乾物重の低下や、登熟歩合の減少によるものであった。植え付け本数については、機械移植を想定して1本から6本の範囲で変動させても減収しない(角田ら1971)、4本から2本に減らしても減収しない(藤田1993)、4本から1本に減らすことで減収した(中野・水島1994)という報告があり、収量に対する影響は一定ではない。稲葉・北野(2005)は、植え付け本数を1本から9本まで5段階に変化させた試験で、植え付け本数を減らすと株あたりの分げつ発生が遅れ、1次分げつが高節位まで発生すること、2次分げつや3次分げつの発生が増加すること、穂揃いまでの日数が長くなることを報告している。今回の試験においても、植え付け本数を減らすことによる分げつ発生(茎数増加)の遅れ(第2図)や穂揃いの遅れ(第3図)が2015年に見られている。中苗「あきたこまち」では、主茎および低次低節位(第4から第7節位の1次分げつ)から得られる穂の整粒歩合が高いことが知られている(金ら2005)。また、湛水直播栽培の低苗立ち密度条件において、高位分げつとその母茎とを比較した試験では、高位分げつの一穂粒数、登熟歩合、千粒重は母茎より小さく、ほぼ全ての粒が未熟粒であったと報告されている(名越ら2010)。今回の試験においても、植え付け本数を減らすことによって、2013年には登熟歩合が低下、2015年には整粒歩合が低下して未熟

粒歩合が増加したが、高次または高位分げつの発生がその原因となった可能性が考えられる。これらのことから、植え付け本数を減らすことによる疎植化は、登熟歩合の低下による減収や未熟粒の増加を招く危険性があり、北海道における「ななつぼし」の疎植栽培には適していないと考えられた。

4. 10 a あたり育苗箱数が同等の試験区の比較

本試験においては、株間 14 cm 植え付け本数少区と株間 22 cm 植え付け本数標準区の 10 a あたり育苗箱数が約 24 箱、株間 18 cm 植え付け本数少区と株間 30 cm 植え付け本数標準区の 10 a あたり育苗箱数が約 17~18 箱と、同等であった（第 1 表）。そこで、慣行栽培（株間 14 cm 植え付け本数標準区、10 a あたり育苗箱数約 38 箱）から育苗箱数を 4 割弱削減する（10 a あたり育苗箱数約 24 箱）場合と、5 割強削減する（10 a あたり育苗箱数約 17~18 箱）場合に、株間のみを広げる方法と植え付け本数も削減する方法のいずれが適しているかを検討した。

10 a あたり育苗箱数が約 24 箱の 2 試験区においては、玄米タンパク含有率、整粒歩合、未熟粒歩合に差はなかった一方で、株間 22 cm 植え付け本数標準区が株間 14 cm 植え付け本数少区より有意に多収となる年次があった（第 5 表）。このことから、10 a あたり育苗箱数を約 24 箱 10 a に削減する場合には、植え付け本数を減らすより株間を広げる方が適していると考えられた。

一方、10 a あたり育苗箱数が約 17~18 箱の 2 区の比較では、株間 30 cm 植え付け本数標準区の玄米タンパク含有率が株間 18 cm 植え付け本数少区より高い傾向が見られ、整粒歩合が有意に低く、未熟粒が有意に多い年次があった。このことから、10 a あたり育苗箱数を約 17~18 箱 10 a に削減する場合には、10 a あたり育苗箱数が約 24 箱の場合のように株間を広げただけの疎植でなく、株間を広げつつ植え付け本数も減らした疎植の方が適していると考えられた。

この違いには、各試験区の出穂日や一穂粒数が影響していると考えられた。10 a あたり育苗箱数が約 24 箱の 2 区の出穂日には明確な差はなかったが、10 a あたり育苗箱数が約 17~18 箱の 2 区の出穂日は、いずれの年も株間 18 cm 植え付け本数少区の方が株間 30 cm 植え付け本数標準区より早かった（第 3 表）。また、株間 18 cm 植え付け本数少区の一穂粒数は株間 30 cm 植え付け本数標準区より約 5 粒少なかった（第 4 表）。一穂粒数が少ないと整粒歩合が高まる関係（第 5 図）が認められており、このことが株間 30 cm 植え付け本数標準区の整粒歩合が株間 18 cm 植え付け本数少区より低い要因となったと考えられた。

5. 疎植栽培が「ななつぼし」の収量、玄米品質におよぼす影響

北海道の平年並み以上の気象条件における「ななつぼし」

の疎植栽培では、植え付け本数の削減は登熟歩合の低下による有意な減収や未熟粒の増加を招いた。株間を広げることによる減収は認められなかったが、整粒歩合が低下し、未熟粒が増加する傾向が見られた。一穂粒数と整粒歩合との間には有意な負の相関がみられ、登熟期の気温が低い条件では一穂粒数が 70 粒を上回ると整粒歩合が 70% を下回った。植え付け本数標準区では、株間 22 cm で一穂粒数は 70.7 粒であることから、登熟期の気温が低い条件においても安定的に整粒歩合 70% 以上を確保するという点では、株間 22 cm までの疎植にとどめることが望ましいと考えられた。

謝辞：本試験の実施にあたり、農研機構 北海道農業研究センター業務第 2 科の伴和秋氏、國岡浩由氏、水田作研究領域契約職員の皆様に多大なるご支援、ご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 藤田究 1993. 異なる 1 株植付本数および栽植密度におけるコシヒカリの生育特性 第 1 報 生育収量および乾物生産特性. 日作四国支紀 30: 13-20.
- Gomez, K.A. and Gomez, A.A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. Second edition. John Wiley & Sons, New York. 1-680.
- 平野貢・山崎和也・Truong Tac Hop・黒田栄喜・村田孝雄 1997. 窒素施肥体系および疎植の組合わせ栽培が水稻の生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 66: 551-558.
- 北海道米麦改良協会 2011. 北海道の米づくり [2011年版]. 北海道米麦改良協会, 札幌. 1-310.
- 細山隆夫 2012. 道央水田地帯における担い手の将来展望と性格. 北海道農業研究センター農業経営研究 107: 1-41.
- 五十嵐俊成・安積大治・竹田一美・島田悟 2005. 北海道米のタンパク質含有率に及ぼす栽培条件の影響. 北農 72: 16-25.
- 稲葉健五・北野正顕 2005. 1 株当たり植付苗数が水稻の分げつ生産に及ぼす影響. 日作紀 74: 141-148.
- 川崎哲郎・川内博文・杉山英治 1998. 農作業の現状と作業合理化のための技術的課題 - 西南暖地における大規模水稻経営の確立 -. 農作業研究 33: 197-204.
- 木村宏・森重陽子・杉山英治・住吉俊治・河内博文・川崎哲郎 2005. 疎植水稻の生育特性と安定生産技術. 愛媛農試研報 39: 1-9.
- 金和祐・金田吉弘・柴田智・佐藤馨・三浦恒子・佐藤敦 2005. 中苗あきたこまちの高品質・良食味米安定生産に適した分げつの次位・節位. 日作紀 74: 149-155.
- 松波寿典・能登屋美咲・松本眞一・三浦恒子・佐藤雄幸・松波麻耶 2013. 疎植栽培した「あきたこまち」の生育、収量、品質. 日作東北支部報 56: 25-26.
- 松波寿典・能登屋美咲・三浦恒子・金谷裕・松波麻耶・佐藤雄幸 2016. 寒冷地北部において疎植栽培したあきたこまちの茎数過剰に伴う低収要因. 日作紀 85: 67-76.
- 名越時秀・内田良太・玉井富士雄・平野繁・広瀬友二・元田義春・福山正隆 2010. 水稻湛水直播栽培における低苗立ち密度で出現した高位分げつとその母茎との形質比較. 日作紀 79: 424-430.
- 中野尚夫・水島嗣雄 1994. 水稻の一株植付本数の違いが収量構成要

- 素および収量に及ぼす影響. 日作紀 63: 452-459.
- 農林水産省 2016. 平成 25 年産米及び麦類の生産費. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001132080> (2016/02/01 閲覧).
- 大野宏之 2014. メッシュ農業気象データ利用マニュアル. 中央農研研究資料. 9: 1-77.
- 大野高資・杉山英治・川崎哲郎 2001. 水稻疎植栽培が省力・低コスト化に及ぼす影響. 愛媛農試研報 36: 1-5.
- 齊藤博行・秋場善憲・早坂崇 2008. 山形県における水稻「はえぬき」の疎植栽培について. 日作東北支部報 51: 3-4.
- 杉山高世 2004. 水稻ヒノヒカリの疎植栽培における収量及び玄米品質. 奈良農技セ研報 35: 23-25.
- 杉山高世・土井正彦・西尾和明 2007. 奈良県における水稻ヒノヒカリの疎植栽培. 奈良農総セ研報 38: 41-46.
- 丹野久・田中英彦・古原洋・佐々木亮・三浦周 2007. 寒地水稻の土中湛水直播栽培における簡易有効積算気温による品種選定. 日作紀 76: 591-599.
- 丹野久・本間昭・宗形信也・吉村徹・平山裕治・前川利彦・沼尾吉則・尾崎洋人・荒木和哉・菅原彰 2010. 北海道産うるち米の精米蛋白質含有率とアミロース含有率における年次間および地域間差異と生育特性との関係. 日作紀 79: 440-449.
- 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.
- 安田英樹・宮下武則・福島淳・山田千津子 2006. 水稻疎植栽培と短期育成苗を組み合わせた省力低コスト栽培法の確立. 香川農試研報 58: 9-17.
- 吉永悟志・白土宏之・長田健二・福田あかり・中林光文・横山裕正・木村利行・日影勝幸・小田中温美・浅野真澄・三上雄史・島津裕雄・木川裕美・三浦恒子・若松一幸・山川淳・井上由紀・浅野目謙之・中山芳明・島宗知行・鈴木幸夫・木田義信・佐々木園子 2008. 東北地域における直播水稻の登熟特性と収量・品質関連形質. 東北農研研報 109: 41-82.

Growth, Grain Yield and Grain Quality of Sparsely Planted Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivar “Nanatsuboshi” in Hokkaido :
Satoshi HAYASHI (*Hokkaido Agricultural Research Center, NARO, Sapporo 062-8555, Japan*)

Abstract : In Hokkaido, dense planting of rice has been recommended to keep a higher percentage of whole grain (PWG), but sparse planting is demanded to save labor and cost. A field experiment of sparse planting was conducted in NARO Hokkaido Agricultural Research Center from 2013 to 2015. Rice cultivar “Nanatsuboshi” was transplanted with 30 cm row spacing at 4 levels of hill spacing and 2 levels of seedling number per hill (SNPH). Temperature in cropping season was higher than in an average year in all of the 3 years, but reduced SNPH resulted in lower grain yield due to lower percentage of ripened grains than standard SNPH. Wider hill spacing did not reduce the yield significantly, but tended to decrease PWG. Spikelet number per panicle (SNPP) was negatively correlated with PWG, and the PWG was lower than 70% when SNPP exceeded 70 under a low temperature condition at the grain-filling stage (cumulative mean temperature at 40 days after heading was lower than 800°C). In standard SNPH, SNPP with 22 cm hill spacing was 70.7. Therefore, to maintain more than 70% PWG, hill spacing should not be wider than 22 cm.

Key words : Hokkaido, Number of hills per area, Nanatsuboshi, Number of seedlings per hill, Planting density, Rice, Sparse planting.