

## 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

松波寿典<sup>1)</sup>・能登屋美咲<sup>2)</sup>・三浦恒子<sup>3)</sup>・金和裕<sup>3)</sup>・松波麻耶<sup>4)</sup>・佐藤雄幸<sup>5)</sup>

(<sup>1)</sup> 農研機構東北農業研究センター, (<sup>2)</sup> 秋田県農業研修センター, (<sup>3)</sup> 秋田県農業試験場, (<sup>4)</sup> 日本学術振興会特別研究員,

<sup>5)</sup> 秋田県農林水産部農林政策課)

**要旨:** これまで寒冷地北部における水稻の疎植栽培で安定した収量を得るためには穂数の確保が重要であるとされてきた。しかし、茎数の発生が著しく多く、穂数が多い年次において疎植栽培したあきたこまちで低収となる現象が認められた。そこで、本研究では、15.1 株/m<sup>2</sup>と11.2 株/m<sup>2</sup>の栽植密度で疎植栽培したあきたこまちに関して、低収となった2012年と平年並であった2010, 2011, 2013年の生育特性、収量および収量構成要素、品質について比較し、寒冷地北部において疎植栽培した水稻の茎数過剰に伴う低収要因について検討した。その結果、寒冷地北部において疎植栽培したあきたこまちで、移植期以降、好天に恵まれ、苗の活着が良好となり、葉齢の進展も著しい場合、初期分げつの発生は旺盛となり、加えて、中干し期間の降水量が著しく多くなると無効分げつの抑制が不十分となり、有効分げつ決定期以降まで茎数が多く経過する。一方、草丈は短めに推移し、最高分げつ期頃から葉色が淡く経過した場合、減数分裂期の葉色は著しく低下し、2次枝梗粗数の減少に伴い一穂粗数が減少し、m<sup>2</sup>当たりの総粗数が不足することで、低収になることが明らかとなった。したがって、寒冷地北部における疎植栽培で安定多収を達成するためには、m<sup>2</sup>当たりの穂数を確保することに加え、最高分げつ期以降の葉色を適度に保ち、一穂粗数の減少を防ぐことも重要であると考えられた。

**キーワード:** あきたこまち、収量、水稻、疎植栽培、一穂粗数。

現在、長期化するコメの消費量の低迷や米価の下落、貿易のグローバル化などに伴い、営農を取り巻く環境は厳しさを増している。加えて、農業従事者の高齢化や担い手後継者不足の問題が顕著化している。したがって、今後、水稻作付け農家が所得を確保するためには「低コスト化」、「作業の省力化」、「大規模化」をキーワードとした水田作農業の競争力、生産力を向上させるための栽培技術の確立が重要である。

これまで、米生産費や労力低減の観点から、直播をはじめとする省力化を目的とした研究が進展してきた(丹野ら2007, 吉永ら2007, 山内2012)。しかし、直播栽培は育苗のコストや労力が軽減される利点がある一方で、出芽、苗立ちや雑草防除が不安定であり(森田1995, 井上2006)、生育制御や収量向上などの課題が多い。このため、水稻作付面積全体に占める直播栽培面積の割合は、平成21年度現在、東北地域で0.9%, 秋田県で1.2%であり、ごく一部での導入となっている(農水省2009)。

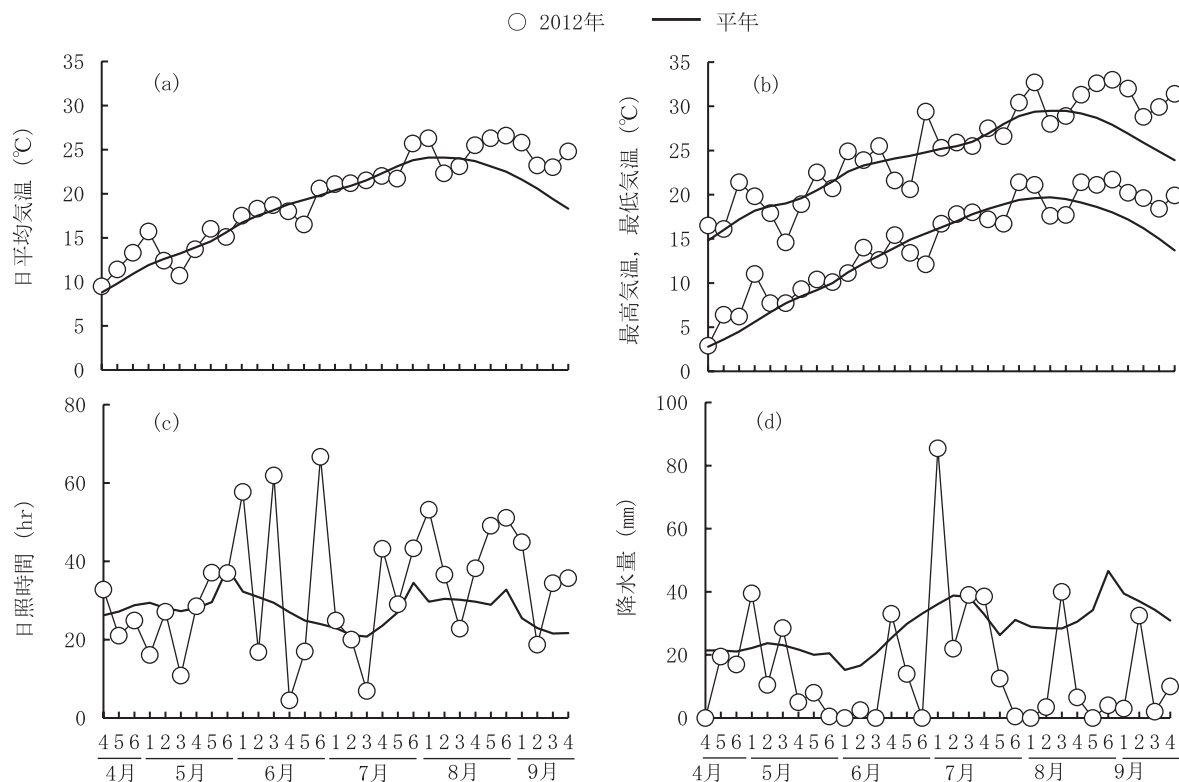
株間を広くし栽植密度を少なくすることで育苗箱数を低減できる疎植栽培は播種・育苗作業の省力化や生産費の削減が可能で、大規模化あるいは省力化生産技術として期待されている(川崎ら1998, 大野ら2001)。疎植栽培の作業管理は従来の方と変わらず、既存の田植機で対応できることから、経営規模に関わらず、兼業農家にも導入し易い低コスト省力技術である。また、疎植ではいもち病等の病害に罹病しにくいこと(前田2002)や、害虫による被害も少ないこと(田中ら1993, 村山ら1998)などから、低農

薬栽培への活用も期待されている(片野ら1983, 佐藤1995)。

これまで西南暖地を中心に疎植栽培に関する研究が進展し、疎植栽培した主要銘柄品種の収量水準は標準栽培並となっている(大橋・今井2004, 杉山2004, 木村ら2005, 安田ら2006, 伊藤ら2010, 和田ら2011)。温暖地では栽植密度が低下するほどm<sup>2</sup>当たりの穂数は減少するが、補償作用的に一穂粗数が増加するため、m<sup>2</sup>当たりの総粗数の減少程度は少なく、疎植による収量低下は小さいとされている(井上ら2004)。しかし、寒冷地北部におけるあきたこまちの疎植栽培では、m<sup>2</sup>当たりの穂数不足に伴いm<sup>2</sup>当たりの総粗数も不足し、低収となることが報告されている(平野ら1997)。したがって、これまでは寒冷地北部において疎植栽培したあきたこまちで安定した収量を得るためには、茎数を多く確保することにより穂数不足を回避し、それに起因する粗数不足を最小限に抑えることが重要であると考えられてきた。しかし、茎数が多く発生した2012年において疎植栽培したあきたこまちの収量は他の年次に比べ、著しく少なかった。そこで、本研究では、寒冷地北部において疎植栽培したあきたこまちの茎数が過剰に発生し低収となった2012年と直近の3ヶ年の生育、収量および収量構成要素、品質について比較解析した。

### 材料と方法

本研究は播種量が乾籾100 g/箱の中苗あきたこまちを用い、秋田県秋田市雄和の連用水田(細粒グライ土)で実施



第1図 試験期間中の半旬別の日平均気温 (a), 最高気温, 最低気温 (b), 日照時間 (c), 降水量 (d) の推移。

平年値は1981年から2010年までの30年間の観測値を平均で表した。

した。2010年5月17日, 2011年5月16日, 2012年5月15日, 2013年5月16日に田植機 (NSU67; クボタ社製) の栽植密度の設定を50株/坪, 37株/坪とし, 株間をそれぞれ広げることで, 15.1株/m<sup>2</sup>, 11.2株/m<sup>2</sup>の栽植密度で機械移植した。移植時のかきとり本数は4本設定とした。機械移植後, ボーダーを除く試験区内の植え付け本数が1株4本となるよう補植と間引きを行った。移植5~6日前に基肥として硫加燐安11号を秋田県の21.1株/m<sup>2</sup>の標準栽培における標準施肥量であるN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oをそれぞれ0.7 kg/a (秋田県農林水産部2015)を全層施用し, 追肥は減数分裂期に硫安をN成分として秋田県の標準追肥量である0.2 kg/a施用した。試験区はそれぞれ2反復とした。中干し期間は, 2010年は6月29日から7月15日, 2011年は6月27日から7月14日, 2012年は6月25日から7月14日, 2013年は6月25日から7月14日であった。

生育期間中の6月10~11日, 6月17~18日, 6月24~25日 (有効分げつ決定期), 7月4~5日 (最高分げつ期), 幼穂形成期, 減数分裂期, 出穂期に生育中庸な20株 (計40株) について茎数を調査し, さらに中庸な10株 (計20株) については葉齢を調査後, 最上位完全展開葉の葉色を葉緑素計 (SPAD-502, コニカミノルタ社製) で測定した。分げつ調査に際しては, 移植時に隣接する2条の連続5株について主稈葉齢が揃った苗を1株あたり4本手植えし, 株内の1個体, 1反復あたり計10個体の分げつの発生次位・節位を成熟まで定期的に調査した。調査は, 分げつ発生後,

順次節位別に色の異なるリングをはめて節位を区別して行い, 不完全葉の基部から発生した分げつを第1節からの分げつとした。なお, 本研究ではリングによる個体間の物理的な干渉作用や調査時の人為的な個体接触による影響を極力小さくするため, 1株全個体調査ではなく, 1株1個体調査とした。

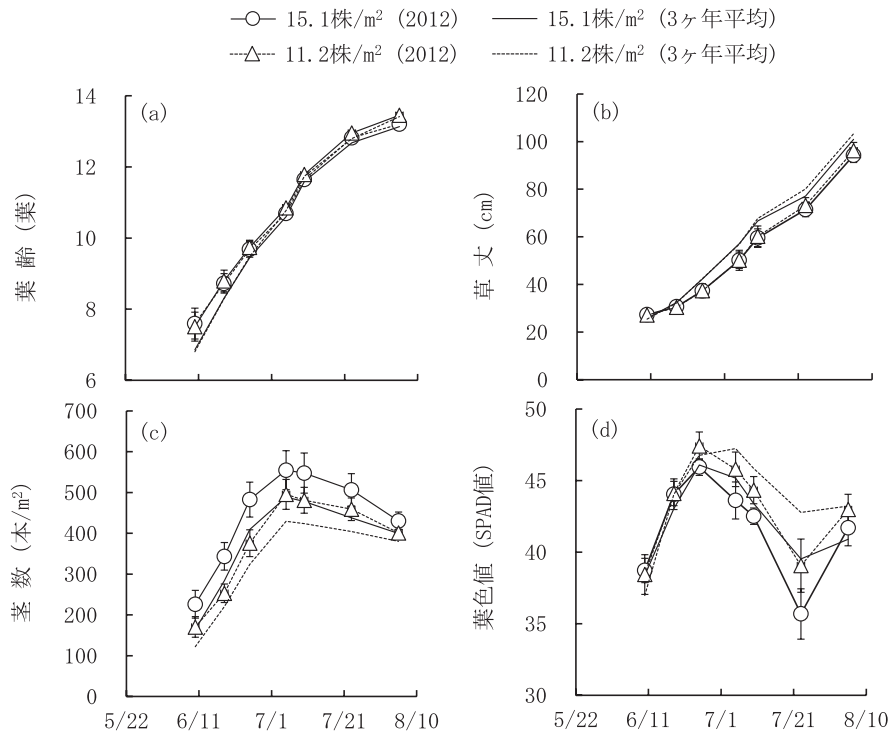
成熟期に隣接する4条の連続15~24株 (4.3 m<sup>2</sup>~5.4 m<sup>2</sup>) を坪刈し, 収量調査を実施した。収量構成要素は坪刈地点に隣接する2条の連続10株 (計20株) のうち穂数が平均的な5株について調査した。1.9 mmの篩選別後の精玄米の外観品質調査は東北農政局秋田農政事務所および財団法人日本穀物検定協会東北支部に依頼し, 1~9 (1等上~3等下) の9段階で評価した。なお, カメムシによる被害粒および胴割粒は外観品質の評価の対象外とした。精玄米タンパク質含有率はケルダール法で分析し, 良質粒率は品質判定機 (RS-2000, 静岡製機) により胴割米は判定せず, 未熟粒, 被害粒, 死米, 着色粒を除いた良質粒の割合で示した。

気象データは最寄りのアメダス地点である大正寺の観測値を使用した。

## 結 果

### 1. 2012年の気象概況

2012年の気温は4月後半から5月上旬にかけて平年差+1.7℃と高く推移した後, 5月3半旬は平年差-2.5℃と



第2図 葉齢 (a), 草丈 (b), 茎数 (c), 葉色値 (d) の推移.

図中の棒線は標準誤差 (n=2) を示す.

第1表 2012年と3ヶ年平均の各生育時期.

栽植 密度 (株/m <sup>2</sup> )	試験年次	最高分げつ期	幼穂形成期	減数分裂期	出穂期	成熟期
15.1	2012	7月5日	7月11日	7月26日	7月31日	9月13日
	3ヶ年平均	7月5日	7月11日	7月23日	7月31日	9月12日
11.2	2012	7月5日	7月11日	7月26日	8月1日	9月13日
	3ヶ年平均	7月5日	7月11日	7月23日	7月31日	9月12日

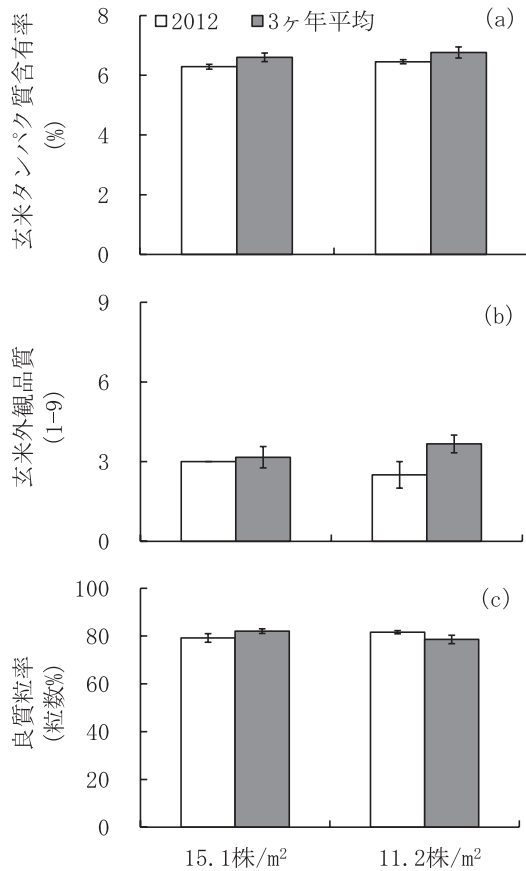
第2表 2012年と3ヶ年平均における収量および収量構成要素.

栽植密度 (株/m <sup>2</sup> )	試験年次	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	一穂粒数	総粒数 ( $\times 10^3$ /m <sup>2</sup> )	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)
15.1	2012	399 $\pm$ 36	62.6 $\pm$ 2.0	25.0 $\pm$ 3.1	93.7 $\pm$ 1.5	23.0 $\pm$ 0.1	48.9 $\pm$ 4.3
	3ヶ年平均	376 $\pm$ 46	78.1 $\pm$ 3.8	28.9 $\pm$ 3.4	89.1 $\pm$ 1.9	23.0 $\pm$ 0.4	59.4 $\pm$ 2.6
		(106)	(80)	(86)	(105)	(100)	(82)
11.2	2012	374 $\pm$ 21	65.1 $\pm$ 0.7	24.3 $\pm$ 1.6	93.1 $\pm$ 0.7	23.0 $\pm$ 0.1	51.4 $\pm$ 2.8
	3ヶ年平均	347 $\pm$ 30	86.1 $\pm$ 2.7	30.0 $\pm$ 3.4	89.1 $\pm$ 2.8	23.0 $\pm$ 0.3	60.9 $\pm$ 4.8
		(108)	(76)	(81)	(105)	(100)	(84)

表中の値は平均値  $\pm$  標準誤差 (n=2 または 3) を示す. 括弧内の数値は3ヶ年平均を100とした時の2012年の相対値を表す.

なった(第1図a). その後, 気温は6月5半旬, 7月5半旬, 8月2半旬は平年より低くなったが, 9月4半旬まで平年より高い経過となり, 移植後にあたる5月4半旬から収穫期頃の9月4半旬にかけての気温の平年差は+1.1℃となった. 気温の日較差は5月2半旬から4半旬, 6月4半旬で

小さく, 5月5半旬, 6月6半旬, 7月4半旬から5半旬で大きかった(第1図b). 2012年の日照時間は6月4半旬と7月3半旬で極端に少なかったが, 5月4半旬から9月4半旬まで平年比128%となり, 生育期間を通して, 日照条件は良好であった(第1図c). 降水量は6月4半旬を



第3図 2012年の玄米タンパク質含有率 (a), 玄米外観品質 (b), 良質粒率 (c).

図中の棒線は標準誤差 (n=2 または 3) を示す。

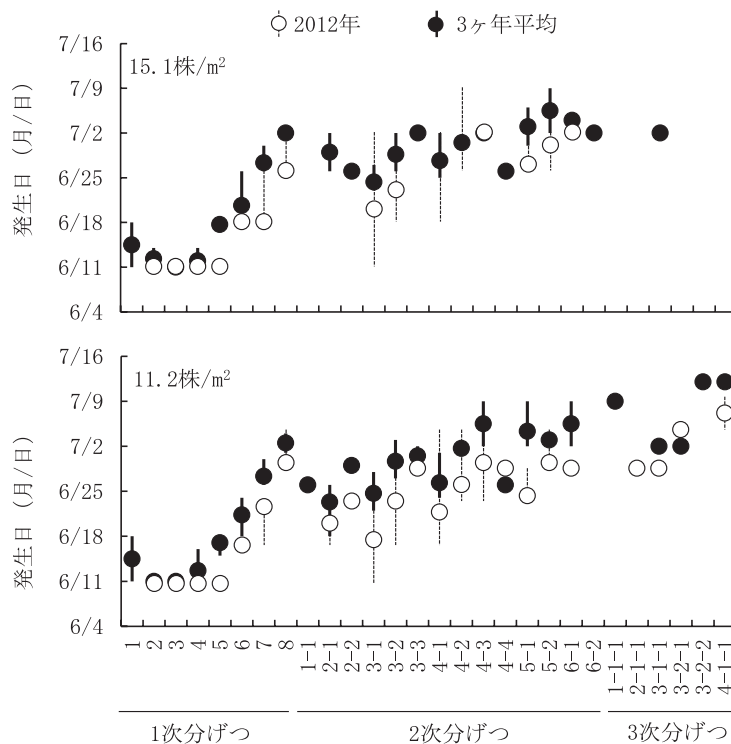
除き, 移植後の5月4半旬から6月6半旬まで平年比31%と著しく少なかったが, 7月1半旬から4半旬までは平年比126%と多く, 特に7月1半旬は平年比236%と著しく多かった。その後, 降水量は8月3半旬を除くと収穫期頃まで平年よりも少なかった (第1図d)。

## 2. 2012年の生育概況

2012年の葉齢進展は6月下旬頃までは3ヶ年平均より早かったが, それ以降は, 3ヶ年平均と同様の経過を示した (第2図)。草丈は6月中旬までは3ヶ年平均と同様の推移を示したが, 6月下旬以降は3ヶ年平均に比べ, 低く推移した。茎数は生育期間を通して3ヶ年平均よりも著しく多く経過した。葉色値の推移は6月下旬までは3ヶ年平均と同様であったが, 7月以降は出穂期まで, 3ヶ年平均より著しく淡かった。2012年は3ヶ年平均に比べ, 減数分裂期は3日遅れたが, その他の生育時期は3ヶ年平均とほぼ同時期であった (第1表)。

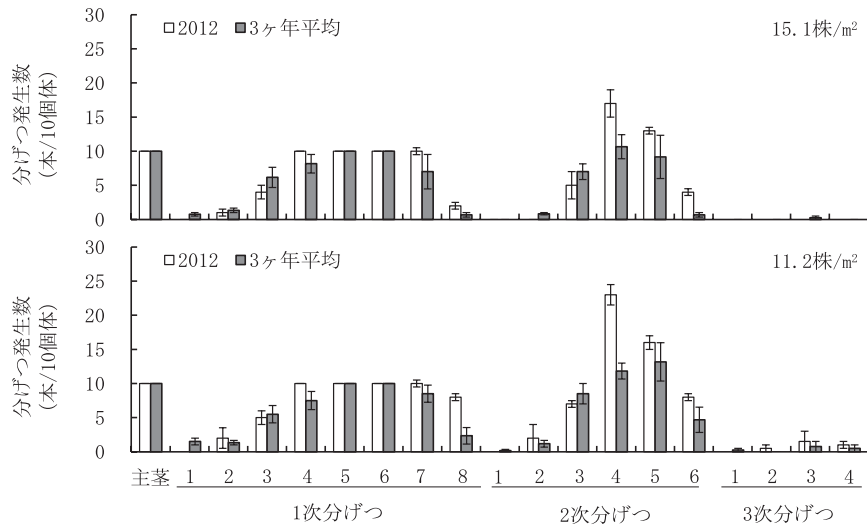
## 3. 2012年の収量および収量構成要素, 品質

2012年は3ヶ年平均に比べ,  $\text{m}^2$ 当たりの穂数は6~8%多い傾向がみられ, 登熟歩合も優れる傾向がみられたが, 一穂粒数の著しい減少に伴い,  $\text{m}^2$ 当たりの総粒数は14~19%少ない傾向がみられ, 精玄米重も16~18%少ない傾向がみられた (第2表)。2012年は3ヶ年平均に比べ, 玄米タンパク質含有率は低い傾向がみられ, 玄米外観品質が優れる傾向がみられ, 良質粒率は2012年と3ヶ年平均とほ



第4図 2012年の次位, 節位別の分げつの発生時期。

図中の棒線は発生初日と発生終日 (n=2 または 3) を示す。



第5図 2012年の次位、節位別の分げつ発生数。

図中の棒線は標準誤差 (n=2 または 3) を示す。

第3表 試験期間を通しての栽植密度を含めた一穂粒数と各生育時期の草丈、茎数、葉色値との相関関係。

		一穂粒数	草丈				茎数				葉色値			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
一穂粒数		—												
草丈	I	0.68	—											
	II	0.75*	0.75*	—										
	III	0.77*	0.46	0.91**	—									
	IV	0.88**	0.45	0.70	0.83*	—								
茎数	I	-0.74*	-0.13	-0.41	-0.63	-0.76*	—							
	II	-0.74*	-0.23	-0.63	-0.80*	-0.71*	0.91**	—						
	III	-0.72*	-0.23	-0.63	-0.80*	-0.69	0.91**	0.99***	—					
	IV	-0.86**	-0.45	-0.77*	-0.87**	-0.80*	0.88**	0.96***	0.96***	—				
葉色値	I	0.04	0.52	0.24	-0.06	-0.22	0.11	-0.00	-0.01	-0.03	—			
	II	0.57	0.17	0.65	0.80*	0.58	-0.75*	-0.91**	-0.91**	-0.83*	0.20	—		
	III	0.67	0.06	0.42	0.67	0.74*	-0.88**	-0.86**	-0.83*	-0.77*	-0.03	0.85**	—	
	IV	0.94***	0.55	0.71*	0.79*	0.89**	-0.85**	-0.83*	-0.81*	-0.90**	0.13	0.73*	0.84**	—

I は有効分げつ決定期、II は最高分げつ期、III は幼穂形成期、IV は減数分裂期を示す。表中の\*, \*\*, \*\*\* はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示す。

は同程度であった (第3図)。

#### 4. 2012年の次位、節位別の分げつ発生時期と発生数

2012年は3ヶ年平均に比べ、第4節以降の1次分げつと2次分げつの発生時期が早い傾向がみられた (第4図)。2012年は3ヶ年平均に比べ、第4、7、8節の1次分げつ、第4節から第6節までの2次分げつが多く発生する傾向がみられた (第5図)。

#### 5. 一穂粒数と生育時期別の草丈、茎数、葉色値の相関関係

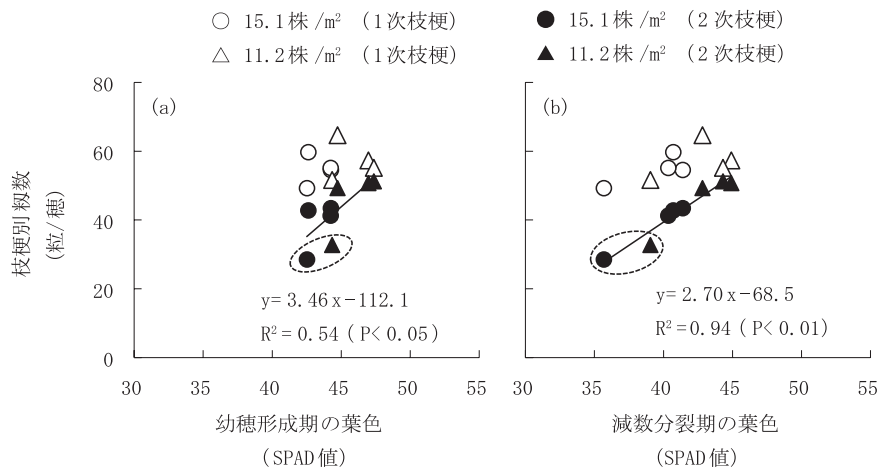
2010年から2013年を含めた一穂粒数と生育時期別の草丈、茎数、葉色値の相関関係を第3表に示した。一穂粒数

は最高分げつ期以降の草丈と有意な正の相関関係を示し、有効分げつ決定期以降の茎数とは有意な負の相関関係を示した。特に、一穂粒数は減数分裂期の葉色値と最も密接な正の相関関係を示した。また、一穂の形態形成の重要な時期にあたる幼穂形成期と減数分裂期の葉色と枝梗別粒数の関係についてみると、いずれの生育時期とも2次枝梗粒数との間にのみ有意な正の相関関係が認められた (第6図)。また、幼穂形成期において2012年の2次枝梗粒数のプロットは他の3ヶ年よりも低い位置に分布した。

#### 考 察

低収となった2012年の育苗期にあたる4月上旬から移植期にかけて、気温は平年差+0.7℃、日照時間は平年比





第6図 試験期間を通しての幼穂形成期 (a)、減数分裂期 (b) の葉色と枝梗別粗数の関係。

図中のプロットは平均値 ( $n=2$ ) を示し、回帰直線は 15.1 株 / m<sup>2</sup> と 11.2 株 / m<sup>2</sup> を含めた直線を表す。点線で囲ったプロットは 2012 年のプロットを示す。

88% となり、平年に比べ日照時間がやや少ない気象経過となった (第1図)。苗質と日照時間に関して、小型人工気象室下では 20%，自然光条件下では 70% 遮光することで、草丈、葉令は遮光による影響は受けず、苗の乾物重が減少することが報告されている (松島ら 1968, 西尾・藤井 1978)。2012 年の育苗期の日照環境はこのような遮光条件とは異なるとともに、2012 年の秋田県の作柄概況でも日照不足に遭遇した事例はなく、全県的に苗質は平年並であった (秋田県農林水産部 2012)。本研究では苗質の調査は実施していないが、上記の報告を踏まえると 2012 年の苗質はほぼ平年並であったと推察された。また、第1, 2, 3 節の1次分げつの発生開始時期と発生本数に 2012 年と3ヶ年平均で明瞭な違いは認められなかったことから、2012 年の苗の葉齢進展は平年並であったと考えられた (第4図, 第5図)。したがって、2012 年は移植期以降の気温や日照、降水量およびこれらが影響を与えた土壌環境により分げつの発生が促進され、茎数過剰となったと考えられた。水稻の分げつの発生は温度環境と土壌中の窒素栄養状態による影響を強く受ける。また、水稻の生育期間において、分げつの発生に対して日照は光合成を介して促進的に、降水量は中干しを介して抑制的に作用する。これらのことから、2012 年の生育特性を温度、窒素、日照、降水量に着目して考察する。

2012 年の移植時期にあたる 5 月の 3 半旬は、一時的に低温に見舞われたが、その後は 6 月下旬まで平年より気温は高く、日照時間も多かった。移植後の気温が高い場合、根張りが良く、活着が良好となる (星野ら 1966, 上田ら 1998)。また、移植後 10 日間の平均気温が高いと発根能力が優れ (佐藤ら 2008a)、さらに発根重が重いと累積分げつ数が多くなる (佐藤ら 2008b)。したがって、2012 年の移植苗は発根能力が優れ、活着は良好であったと推察された。安藤ら (1988) は、平年よりも高温となる条件下では、交

換性アンモニア態窒素の吸収利用が早くから可能になり、土壌溶液中のアンモニア態窒素に必ずしも依存しないで茎数増加が進行することを指摘している。羽生・内島 (1962) の生長気温当量を用いた有効積算温度示数が 400 前後まで水稻体内の窒素量は指数的に増加し (高橋ら 1976)、本研究において有効積算温度指数 400 は 2012 年では最高分げつ期にあたる。つまり、2012 年では、活着が良好であったことに加え、5 月下旬から 6 月中旬までの気温が平年に比べ高く推移したことで交換性アンモニア態窒素の吸収利用が早期から可能となり、最高分げつ期まで窒素吸収が促進され、茎数増加が著しくなったと考えられた (第2図 c)。また、基肥窒素量が多い場合や高温環境下では、主茎葉齢の進展は早まり、茎数増加が速まる (後藤・星川 1986, 後藤・齊藤 1992)。2012 年は生育初期の葉齢進展が早く、第5節以降の1次分げつおよび各節の2次分げつの発生も早まり、第4, 7, 8 節の1次分げつ、第4, 5, 6 節の2次分げつが多く発生する傾向がみられた (第4図, 第5図)。さらに、2012 年は平年に比べ、中干し開始時にあたる 6 月 6 半旬は多照で最高気温は 29.4℃、最低気温は 12.1℃と日気温較差も大きく、加えて中干し期間中にあたる 7 月 1 半旬の降水量が異常に多かった (第1図 d)。秋田県では 6 月 6 半旬から 7 月 1 半旬が多照で経過した場合、日気温較差が大きくなり、有効分げつ決定期から最高分げつ期頃までの茎数の増加が多くなる (佐藤・松本 2012)。また、夜温と暗呼吸速度には密接な関係が認められ、夜温が 12℃前後で暗呼吸速度は著しく低くなることが示唆されている (佐藤・金 1980)。つまり、この時期、多照に伴い活発に光合成したことに加え、大きい日較差は呼吸消費の抑制効果をもたらし、その結果、分げつの発生が促進されたと推察された。中干しは、土壌残存窒素を強制的に溶脱、脱窒させ、水稻の養水分吸収を抑制することで高次位・節位の弱勢な分げつを早期に無効化するための重要な水管理である

(米野ら 1982, 溝口ら 1992)。しかし, 2012 年は中干し開始時期の多照と日較差は分げつの発生を促進し, 加えて, 不十分な中干しにより過剰な分げつを早期に無効化することが出来なかったと推察された。つまり, 2012 年では, 移植期以降の好天に伴い苗の活着は良好となり, 生育初期の葉齢の進展および分げつの発生開始が早まった。そして, その後の高温経過に伴い窒素吸収と分げつの発生が促進され, 茎数が著しく増加し, 加えて, 中干し期間における無効分げつの抑制が不十分となったことで, 最高分げつ期以降も過剰な茎数が維持されたと考えられた。

上記のように 2012 年は最高分げつ期まで旺盛な生育を示した一方で, 最高分げつ期以降, 草丈は低く推移し, 葉色は著しく低下した (第 3 図)。秋田県では移植から 7 月初旬まで気温が高く経過した場合, 最高分げつ期以降, 葉色と土壌中のアンモニア態窒素量が急激に低下し, 幼穂形成期以降の窒素吸収量の増加が緩慢になる現象が認められている (佐藤ら 2008c)。一般的に, 高温条件下や土壌からの窒素供給量が多い場合, 草丈や稈長は長くなり, 窒素供給量が少ない場合は草丈や稈長は短くなる傾向が認められている (八柳・竹内 1960, 宮川・児玉 1993, 佐々木ら 2001)。また, 生育時期別に窒素施用量を変動させることで, 葉身長と節間長が変動することも示唆されている (松崎ら 1970)。さらに, 本研究では茎数と草丈の間には総じて負の相関関係が認められたことから, 生育初期の旺盛な茎数増加が草丈に影響を及ぼしていると考えられた。その他に, 水稻の下位節間は下位節間伸長期における稈基部の光環境状態の影響を強く受けることが報告されている (上地ら 1993)。秋田県において 6 月下旬の日照時間が多い年次では, あきたこまちは短稈多げつ型の生育を示す傾向がみられる (秋田県農林水産部 2012)。これらのことから, 2012 年の草丈が短くなった要因としては, 最高分げつ期までの高温・多照に伴う著しい茎数増加や窒素供給量の不足, 節間伸長期の稲体の栄養状態および群落構造, 日射環境など複合的な影響が考えられた。疎植水稻の安定多収を達成するためには, 草型に影響を及ぼす生理, 形態, 生態的な特性と気温, 日照, 土壌などの物理的環境要因の相互作用の解明が重要であると考えられ, 今後の研究の進展が期待される。

収量構成要素についてみると, 2012 年は  $\text{m}^2$  当たりの穂数が多く, 登熟歩合も高かったが, 一穂粒数が著しく少なかったため,  $\text{m}^2$  当たりの総粒数は少なくなり, 著しい低収となった (第 2 表)。つまり, 2012 年の低収は一穂粒数の減少が主たる要因であったといえる。最高分げつ期以降の窒素吸収量の増分は穎花数の水準に関係し (山本ら 1996), 幼穂形成期から減数分裂期にかけての追肥は 2 次枝梗粒数の増加に伴い, 一穂粒数を増加させる (松尾ら 1986, 吉野ら 2007)。また, 分化 1 次枝梗当たり分化 2 次枝梗数は穂首分化期から穎花分化始期までのシュート窒素含有率の増分と高い相関関係が認められている (小林ら

2001)。これらのことから, 最高分げつ期以降の幼穂形成期から減数分裂期にかけての稲体の窒素栄養状態は穎花原基, 特に幼穂下位の 2 次枝梗着生粒数の分化・発達に影響を及ぼすと考えられる。本研究においても一穂粒数と幼穂形成期, 減数分裂期の葉色の間には正の相関が認められ (第 3 表), 一穂粒数の減少は主に 2 次枝梗粒数の減少に起因していた (第 6 図)。また, 第 6 図 a において 2012 年のプロットは他の 3 ケ年よりも低い位置に分布し, 幼穂形成期から減数分裂期にかけて葉色は著しく低下した (第 2 図 d, 第 6 図)。したがって, 幼穂形成期から減数分裂期にかけて 2 次枝梗における退化粒数が増加したと考えられた。一方, この時期の気象条件についてみると, 2012 年では幼穂形成期にあたる 7 月 2 半旬から減数分裂期にあたる 7 月 5 半旬にかけて, 気温と日照時間はほぼ平年並であった。つまり, 本研究では幼穂形成期から減数分裂期にかけての稲体の窒素栄養の不足が 2 次枝梗粒数の減少をもたらした主な要因であると考えられた。次に, 稲体が窒素栄養不足に陥った要因について考察する。水稻の 2 次枝梗粒数は密植により減少するが (上林ら 1983), この現象と穂首分化期から穎花分化始期までのシュート窒素含有率の関連性が指摘されている (小林 2001)。本研究では最高分げつ期以降, 茎数と葉色値は総じて負の相関がみられた (第 3 表)。また, 茎数が過剰となった 2012 年の葉色は最高分げつ期以降に低下した (第 2 図 d)。さらに, 最高分げつ期の葉色値は幼穂形成期および減数分裂期の葉色値と密接な関係を示した (第 3 表)。つまり, 本研究における減数分裂期の葉色の低下には最高分げつ期の過剰な茎数および葉色が関係していることが示唆された。これらのことから, 寒冷地北部で疎植栽培したあきたこまちにおいて, 有効分げつ決定期以降, 茎数が多く, 草丈が短く, 葉色が淡い生育を示した場合, 減数分裂期の葉色は著しく低下する現象が発生し, その葉色の低下は 2 次枝梗粒数の減少をもたらし, 一穂粒数の著しい減少に結びつくことが明らかとなった。

本研究では 2012 年の玄米タンパク質含有率, 玄米外観品質, 良質粒率など品質に関するパラメーターは, 3 ケ年平均と同等か優れる傾向がみられた (第 3 図)。コシヒカリでは, 早い時期の穂肥施用により, 未熟粒割合の高い 2 次枝梗粒が増加し, 外観品質が低下する (吉野ら 2007)。また, 直播栽培において一穂粒数が著しく減少した場合, 2 次枝梗着生粒の割合が減少するため登熟や玄米品質の安定化に有利になることが示唆されている (吉永ら 2008)。疎植では  $\text{m}^2$  当たりの穂数の不足を補うため, 一穂粒数が補償作用的に増加するが, 一穂粒数の増加は主に品質が劣る 2 次枝梗着生粒数の増加により, 玄米タンパク質含有率は高く, 稔実障害も発生し易いことが指摘されている (中谷 1975, 杉山ら 2007)。これら既往の研究を踏まえると, 登熟や品質が劣る 2 次枝梗粒数の減少に伴い一穂粒数が減少した 2012 年は, 登熟環境も良好であったことから, 品質は低下しなかったと考えられた。



以上のことから、寒冷地北部において疎植栽培したあきたこまちで、移植期以降の気温が高く、日照時間も長く経過した場合、苗の活着は良好となり、葉齢の進展も早くなったことから、初期分げつの発生は旺盛となった。また、2012年は中干しによる分げつの無効化が不十分であったことから、有効分げつ決定期以降も茎数は多く経過する一方で、草丈は短めに推移し、最高分げつ期以降は葉色が淡い生育を示した。そして、このような生育を示した場合、減数分裂期の葉色が著しく低下し、2次枝梗初数の減少に伴い一穂初数が減少し、 $\text{m}^2$ 当たりの総初数が不足することで低収となることが明らかとなった。したがって、寒冷地北部における疎植栽培で安定多収を達成するためには、穂数を確保することに加え、最高分げつ期以降の葉色を適度に保ち、一穂初数の減少を防ぐことも重要である。

近年、山形県の庄内地域では移植から7月初旬の最高分げつ期までの平均気温が上昇傾向にある(松田ら2014)。秋田県の横手地域においても移植から7月初旬までの積算気温は2000年以降高くなる傾向が認められている(佐藤ら2008c)。したがって、東北日本海側では移植期から最高分げつ期までの温度環境が近年、高まっていると推察され、今後も2012年のような茎数過剰に伴う葉色の低下に遭遇する可能性が予想される。11.1株/ $\text{m}^2$ の疎植や20.0株/ $\text{m}^2$ で植え付け本数を2本前後として栽培した疎植少げつ型の水稲は施肥効率がよく、減肥による収量確保と品質の安定が両立する可能性が示唆されている(橋川2001)。また、疎植栽培した水稲は基肥量と追肥量を標準施肥体系より約30%減じた場合でも、出穂後20日間の葉色は標準施肥体系で標準栽培した水稲と同等であることが報告されている(大橋ら1999)。そして、疎植栽培した水稲は地上部に対する根の発達が旺盛で土壌深層に根を多く分布し(田中・有馬1996)、登熟期間中の受光態勢と純同化率が優れ(橋川1983, Truongら1998)、生育後半まで根の活性と光合成能力が維持される(大橋・今井2004)。さらに、無追肥による収量、品質への著しい影響は認められていない(五月女ら2011)。これらの報告を踏まえると、疎植栽培した水稲は標準栽培した水稲に比べ、養分吸収能力と登熟期の乾物生産能力が優れていると考えられる。したがって、各地域において標準栽培した水稲の施肥基準が疎植栽培した場合も適当であるかは品種、栽植密度を踏まえて、地域ごとに今後、検討する必要があると考えられる。その中でも、本研究の2012年のように茎数過剰に伴う一穂初数の減少を回避するためには、登熟能力に優れる疎植水稲は、標準栽培した場合の施肥基準よりも減数分裂期以降の追肥量を減じ、幼穂形成期にも窒素供給される施肥体系を構築することが望ましいと考えられる。また、施肥体系の検討だけでなく、本研究のような気象および生育経過を辿り茎数が過剰となった場合、早めの中干しや深水管理を徹底することで、無効分げつを早期に抑制し、有効茎歩合を高めて一穂を充実させ、登熟形質の向上を図ることも低収を回避する

ために重要であると考えられる。

**謝辞:** 本研究の実施に際して、秋田県未来農業のフロンティア育成研修生および秋田県農業試験場の非常勤職員の方々に多大な協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 秋田県農林水産部 2012. 平成24年度作況ニュース-第8号 総括編-。  
秋田県農林水産部 2015. 稲作指導指針. 1-217.  
安藤豊・安達研・南忠・西田直樹 1988. 水稲生育初期の茎数と土壌アンモニア態窒素の関係. 日作紀 57: 678-684.  
後藤雄佐・星川清親 1989. 水稲の分げつ性に関する研究-第4報 分げつ性に及ぼす温度の影響-. 日作紀 58: 68-73.  
後藤雄佐・斎藤満保 1992. 個体群における水稲の分げつ性の解析-第1報 基肥窒素量を異にする圃場条件下での茎数増加様式-. 日作紀 61: 356-363.  
羽生寿郎・内島立郎 1962. 作物の生育と気象との関連に関する研究 第1報 水稲の出穂期と気温との関係. 農業気象 18: 109-118.  
橋川潮 1983. 極端な疎植水稲にみられる多収性. 滋賀県立短期大学学術雑誌 25: 47-51.  
橋川潮 2001. 低投入栽培で高収安定生産が可能-疎植・少肥を基本として-. 日作紀 70(別1): 276-277.  
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稲の生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 66: 551-558.  
星野孝文・松島省三・富田豊雄・定金章 1969. 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89報 各種の気温・水温条件下で育成した苗の各種の気温・水温条件下での活着良否について (2) 葉令が同一の苗を移植した場合. 日作紀 38: 279-286.  
井上健一・林恒夫・湯浅佳織・笈田豊彦 2004. 水稲品質食味要因の安定性に関する研究 第2報 疎植条件が水稲の物質生産と収量品質に及ぼす影響. 福井農試研報 41: 15-28.  
井上健一 2006. 福井県における湛水直播栽培の普及状況と問題点. 農業技術 61: 548-551.  
伊藤千春・渋谷岳・林雅史 2010. 有機肥料施用下での水稲の生育・収量に及ぼす栽植密度の影響. 東北農業研究 63: 25-26.  
上林美保子・熊谷幸博・佐藤友彦・馬場広昭・笹原健夫 1983. 水稲の穂の構造と機能に関する研究 第5報 栽植密度・肥料水準を考えた場合の穂型の変動. 日作紀 52: 266-282.  
上地由郎・林茂一・堀江武 2001. 水稲の下位節間長に及ぼす窒素と稈基部光環境の影響. 日作紀 62: 164-171.  
片野学・佐藤宏・佐藤種治・佐藤正広 1983. 自然農法水田における水稲栽培に関する研究 第2報 育苗法, 栽植密度, 搬入有機物の種類・量ならびに有機物マルチの影響, 岩手県下における一事例. 日作東北支部報 26: 5-6.  
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. 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. 疎植水稲の生育特性と安定生産技術. 愛媛県農試研報 39: 1-9.  
小林和広・中瀬寛子・今木正 2001. 穂首分化期の窒素追肥と栽植密度の組み合わせが水稲の面積当たり穎花数に及ぼす影響. 日作紀 70: 34-39.  
前田忠信 2002. 低農薬栽培における栽植密度が水稲の生育, 収量と穂



- いもち発生に及ぼす影響. 日作紀 71: 50-56.
- 松田裕之・中場勝・森静香・藤井弘志 2014. 山形県における 1980 年以降の気象推移が最高分げつ期のイネ生育に与える影響. 日作紀 83: 242-248.
- 松尾善義・小松良行・上村幸正 1986. 水稻アケノホシにおける穂肥時期が籾数の構成内容に及ぼす影響. 日作四国支報 23: 13-22.
- 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄・城島昇 1970. 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 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.
- 松島省三・田中孝幸・星野孝文 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 81 報 苗代期の気温・水温・遮光および施肥量の各種の組み合わせが水稻苗の諸形質に及ぼす影響. 日作紀 37: 169-174.
- 宮川英雄・児玉徹 1993. あきたこまちの分げつ体系と穂数に及ぼす幼穂形成期の窒素追肥効果. 東北農業研究 46: 27-28.
- 溝口一彦・小田原孝治・松江勇次 1992. 中干し程度の違いがコシヒカリの生育・収量に及ぼす影響. 日作九支報 59: 32-35.
- 森田弘彦 1995. 水稻直播栽培における雑草防除の現状と問題点. 植物防疫 49: 9-15.
- 村山成治・田中与次郎・須藤宏樹 1998. 低投入型稲作に関する研究－疎植低農業栽培における生産生態－. 日作東北支部報 41: 19-21.
- 中谷治夫 1975. 水稻の栽培条件と収量, 米質に関する研究. 第 7 報 分げつ次位, 節位および枝梗別品質について. 日作北陸会報 10: 18-22.
- 西尾敏彦・藤井定吉 1978. 水稻苗の物理的性質に関する研究. 第 6 報 光の強さおよび気温影響. 日作紀 47: 431-437.
- 農水省 2009. 水稻直播栽培技術の普及状況. [http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/pdf/100611\\_1-01.pdf](http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/pdf/100611_1-01.pdf) (2014/12/20 閲覧).
- 大橋善之・静川幸明・岡井仁志 1999. 水稻の疎植減肥条件下での施肥法が玄米品質及び白米中の粗タンパク質含有率に及ぼす影響. 日作紀 (別 1) 68: 10-11.
- 大橋善之・今井久遠 2004. 京都府丹後地域における水稻「コシヒカリ」の疎植栽培が収量, 品質に及ぼす影響. 日作紀 (別) 73: 26-27.
- 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.
- 佐々木良治・堀江武・鳥山和伸・柴田洋一 2001. 水稻稈長の年次変動とそれに関与する要因. 日作紀 70: 489-498.
- 佐藤庚・金鐘萬 1980. 水稻個体群における個葉の生産・消費活動との関係. 第 2 報 葉位別個葉の光合成・呼吸に対する温度の影響. 日作紀 49: 251-256.
- 佐藤徳雄 1995. 水稻の低農業栽培に関する生産生態学的基礎研究－4 年間の成績－. 日作東北支部報 38: 19-21.
- 佐藤雄幸・金和裕・宮川英雄 2008a. せん根苗の発根による移植苗の活着評価. 第 1 報 発根と気象要素との関係. 日作東北支部報 51: 5-6.
- 佐藤雄幸・金和裕・宮川英雄 2008b. せん根苗の発根による移植苗の活着評価. 第 2 報 発根と本田初期分げつの関係. 日作東北支部報 51: 7-8.
- 佐藤雄幸・松波寿典・三浦恒子・柴田智・金和裕・宮川英雄 2008c. 分げつ期の気温経過が水稻生育と土壌アンモニア態窒素に及ぼす影響. 平成 20 年度東北農業研究成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouchou/H20/suitou/H20suitou035.html> (2014/12/24 閲覧).
- 佐藤雄幸・松本真一 2012. 水稻定点圃における水稻品種「あきたこまち」の穂数低下要因. 東北農業研究 65: 49-50.
- 五月女恭子・青沼伸一・大谷和彦・飯田貴子・高齋光延・塚原俊明 2011. 全量基肥施肥と疎植を組み合わせた水稻「なすひかり」の高品質安定栽培法. 栃木農試研報 66: 1-9.
- 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.
- 高橋重郎・和田源七・庄子貞雄 1976. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について－第 6 報 温度が水稻の窒素吸収および土壌中のアンモニア態窒素の消長に及ぼす影響－. 日作紀 45: 213-219.
- 田中寛・高浦裕司・岡田清嗣 1993. 水稻の疎植による病害虫の発生抑制効果. 大阪農技セ研報 29: 19-25.
- 田中典幸・有馬進 1996. 水稻の根の生育に及ぼす栽植密度の影響. 日作紀 65: 71-76.
- 丹野久・相川宗厳・山崎信弘・森脇良三郎・天野高久 2007. 寒地における水稻の湛水土中直播栽培の播種様式が収量に及ぼす影響. 日作紀 76: 586-590.
- Truong H.T., Hirano, M., Iwamoto, S., Kuroda, E. and Murata, T. 1998. Effect of top-dressing and planting density on the number of spikelets and yield of rice cultivated with nitrogen-free basal dressing. Plant Prod. Sci. 1: 191-198.
- 上田一好・楠谷彰人・浅沼興一郎・一井真比古 1998. 香川県における水稻品種キヌヒカリの移植時期に関する研究－活着期, 出穂期および成熟期と気温との関係－. 日作紀 67: 136-142.
- 和田義春・高橋行継・手塚章浩・大川智一・吉成賢治・雑賀正人・庄山寿 2011. 緩効性肥料を用いた水稻コシヒカリの疎植栽培が収量と玄米外観品質に及ぼす影響. 日作紀 (別 2) 80: 2-3.
- 山本良孝・川口祐男・高橋渉 1996. 穎花数水準が異なる水稻コシヒカリにおける発育指数対応の生長指標. 日作紀 65: 425-429.
- 山内稔 2012. 鉄コーティング種子を用いた水稻湛水直播技術. 日作紀 81: 148-159.
- 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 35: 23-25.
- 八柳三郎・竹内徳猪 1960. 水稻品種の生態に関する研究 IV. 節間伸長に関する二三の考察. 日作紀 29: 82-84.
- 米野操・田中純一・板垣賢一・青柳英助・田中伸幸 1982. 水稻生育中期の水管理にともなう土壌の 2, 3 の性質と生育収量に及ぼす影響. 山形県農試研報 17: 45-57.
- 吉永悟志・境谷栄二・吉田宏・山本昌子・若松一幸・菊池栄一・本間昌直 2007. 東北地域の水稲湛水直播栽培における酸素発生剤被覆量と苗立ちとの関係. 日作紀 76: 445-449.
- 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.
- 吉野裕一・太田和也・在原克之・小山豊 2007. 穂肥の施用が水稻の玄米外観品質と食味に及ぼす影響. 千葉農総研研報 6: 95-102.

**Growth Characteristics Related to Low Productivity of Sparsely Planted Rice Cultivar Akitakomachi in Cool Climate Area of Japan :** Toshinori MATSUNAMI<sup>1)</sup>, Misaki NOTOYA<sup>2)</sup>, Chikako MIURA<sup>3)</sup>, Kazuhiro KON<sup>3)</sup>, Maya MATSUNAMI<sup>4)</sup> and Yuko SATO<sup>5)</sup> (<sup>1)</sup>NARO Tohoku Agricultural Research Center, Morioka 020-0198, Japan; <sup>2)</sup>Akita Prefectural Agricultural Training Center; <sup>3)</sup>Akita Prefectural Agricultural Experiment Station; <sup>4)</sup>JSPS research fellow; <sup>5)</sup>Agriculture and Forestry Policy Division, Akita Prefectural Department of Agriculture, Forestry and Fisheries)

**Abstract :** This study analyzed the yielding variation factor of sparsely planted rice cultivar “Akitakomachi” in Tohoku region, Japan. For four years (2010–2013), Akitakomachi was grown at densities of 15.1 hills m<sup>-2</sup> and 11.2 hills m<sup>-2</sup> with conventional cultivation. The grain yield in 2012 was lower than that in the other three years, in spite of the production of many panicles. In 2012, tillering was markedly stimulated, because of the high temperature and solar radiation after transplanting, and heavy precipitation during mid-summer drainage. On the other hand, the leaf color and plant height after the maximum tiller number stage in 2012 was comparably lower than in normal years. The number of spikelets per panicle was markedly decreased in 2012, resulting in 16–18% lower yield than in normal years under both sparse planting densities. There was a significant positive correlation between the spikelet number per panicle and the leaf color at meiotic phase, and the reduction of the spikelet number per panicle and the leaf color at meiotic phase, and the reduction in the number of spikelets per panicle was mainly due to the reduction in the number of spikelets at the secondary rachis-branch. These results suggest that maintaining moderate leaf color after maximum tiller number stage and prevention of decrease in the number of spikelets per panicle are important to achieve high yielding under sparse planting in a cool climate region.

**Key words :** Akitakomachi, Rice, Sparse planting, The number of spikelets per panicle, Yield.

---