

飼料用米「べこあおば」の疎植栽培に 対する肥効調節型肥料の効果

元 農研機構東北農業研究センター
水田作研究領域

土 屋 一 成

1. はじめに

飼料用米は流通価格が安い（25～30円/kg）ため、低コスト生産技術の導入や多収穫（粗玄米重で800kg/10a以上）技術の開発が重要である。直播栽培による低コスト化も考えられるが、直播機の導入等の新たな投資が必要である。さらに、育苗コストを抑えることも重要である。そこで、持続的な資源循環型飼料用米生産を目指して、東北日本海側北部地域において家畜ふん堆肥施用条件下で近年、普及が進んでいる疎植栽培技術と肥効調節型肥料を用いた全量基肥施肥技術を導入することにより、省力化や育苗コスト、追肥コスト及び追肥労力を低減しながら飼料用米の多収穫栽培技術の開発を試みた結果、慣行栽培と同程度の収量を得たので紹介する。

P₂O₅2.8%, K₂O4.9%, C/N比22.3) 3.6t/10aを連用している圃場と隣接無施用の水稻連作圃場で栽培試験を実施した。飼料用米作付前の2010年と2011年10月の2ヶ年平均の土壌理化学性を表1に示した。家畜ふん堆肥を連用している圃場では無施用土壌に比べ培養窒素や熱水抽出性窒素で示される可給態窒素、可給態リン酸の指標のトルオーグリン酸、交換性カリとも多く、地力が高かった。なお、可給態窒素及び家畜ふん堆肥無施用のトルオーグリン酸は無窒素区と施肥区で差が無かったが、交換性カリや家畜ふん堆肥施用のトルオーグリン酸は施肥区の方が無窒素区よりやや高めであった。

施肥試験として無窒素区（0-0-0-0）、多肥区（堆肥無施用で8-3-4-3）、標肥区（家畜ふん

表 1. 飼料用米作付前土壌の理化学性（2010-11年10月の2ヶ年平均）

堆肥施用	窒素施肥	窒素施用 kg/10a	mg/100g			
			培養窒素	熱抽N	トルオーグリン酸	交換性カリ
無	無窒素	0-0-0-0	10.7	3.9	24.2	7.6
	多肥	8-3-4-3	10.4	3.7	23.9	8.8
	速効性+肥効調節型肥料	(3+12)-0-0-0	11.2	3.7	23.9	9.8
有	無窒素	0-0-0-0	18.7	7.9	45.1	26.1
	標肥	4-2-3-3	18.2	8.0	46.4	33.5
	速効性+肥効調節型肥料	(2+8)-0-0-0	17.2	8.3	48.1	30.2

注1) 堆肥は完熟家畜ふん堆肥を3.6t/10a施用。

注2) 培養窒素は30℃、4週間灌水培養。熱水抽出性窒素はオートクレーブ法による。

2. 方法

2011年～2012年の2ヶ年にわたり、秋田県大仙市の農研機構東北農業研究センター大仙研究拠点内の細粒灰色低地土において、2003～2004年より完熟家畜ふん堆肥（牛ふん：豚ふん：鶏ふん＝6：3：1で水分73%，乾物中全窒素1.8%，

堆肥施用で4-2-3-3）のほか、堆肥無施用で減肥した速効性肥料+肥効調節型肥料区（(3+12)-0-0-0区：速効性窒素（硫安）3kg/10a+LP70-N7.5kg/10a+LPS80-N4.5kg/10a、堆肥施用で減肥した(2+8)-0-0-0区：速効性窒素（硫安）2kg/10a+LP70-N5kg/10a+LPS80-N3kg

/10a) を設けた (表2)。基肥窒素は5月8日頃に過磷酸石灰及び塩化カリ (P_2O_5 , K_2O はそれぞれ8kg/10a) とともに施用した。なお、窒素追肥は分けつ期6月17日, 幼穂形成期7月14日頃, 減数分裂期7月28日に硫酸で表面施用した。5月15日頃に飼料用米品種「べこあおば」(稚苗: 25日苗) を1株3.5~4本植えとし, 機械移植した。栽植密度は慣行栽培を70株/坪 (約21株/ m^2), 疎植栽培を37株/坪 (約11株/ m^2) とした (写真1)。中干しは6月26日~7月4日頃, 収穫は9月24日~27日に行った。調査項目は水稻の生育・収量及

び収量構成要素, 主稈の枝梗調査, 葉身長, 節間長及び第3節間の茎太であった。各年次とも1区78 m^2 , 1反復で試験を実施した。

3. 結果と考察

1) 肥効調節型肥料の窒素積算溶出率の推移

リニア型の肥効調節型肥料LP70は2011~2012年のいずれの年も施用後, 直線的に溶出し, 70~75日後の7月中旬~下旬に80%溶出に達した (図1)。一方, シグモイド型のLPS80は施用後, 40日程度はほとんど溶出せず, 6月20日頃から溶出が始まり, 90~100日経過した8月10日頃に80%溶出に達した (図1)。したがって, LP70は基肥, 分けつ肥, 穂肥, LPS80は穂肥の役割を果たしていると考えられた。

2) 完熟家畜ふん堆肥施用下における疎植栽培及び肥効調節型肥料の影響

(1) 疎植栽培の影響

水稻の草姿は慣行栽培 (株間16cm, 70株/坪) で株が閉じた状態になるのに対し, 疎

表2. 試験区の構成

栽植様式	堆肥施用	窒素施用	基肥窒素施用量				追肥硫酸		
			硫酸	LP70	LPS80	計	6/17	7/14	7/28
慣行 70株/坪	無	0-0-0-0	0	-	-	0	-	-	-
		8-3-4-3	8	-	-	8	3	4	3
		(3+12)-0-0-0	3	7.5	4.5	15	-	-	-
有	有	0-0-0-0	0	-	-	0	-	-	-
		4-2-3-3	4	-	-	4	2	3	3
		(2+8)-0-0-0	2	5	3	10	-	-	-
疎植 37株/坪	無	0-0-0-0	0	-	-	0	-	-	-
		8-3-4-3	8	-	-	8	3	4	3
		(3+12)-0-0-0	3	7.5	4.5	15	-	-	-
有	有	0-0-0-0	0	-	-	0	-	-	-
		4-2-3-3	4	-	-	4	2	3	3
		(2+8)-0-0-0	2	5	3	10	-	-	-

注) 堆肥は完熟家畜ふん堆肥を3.6t/10a施用。



条間30cm, 株間16cmで70株/坪 (約21株/ m^2)



条間30cm, 株間30cmで37株/坪 (約11株/ m^2)

写真1 飼料用米「べこあおば」の慣行栽培 (左) と疎植栽培 (右) の栽植様式の違い

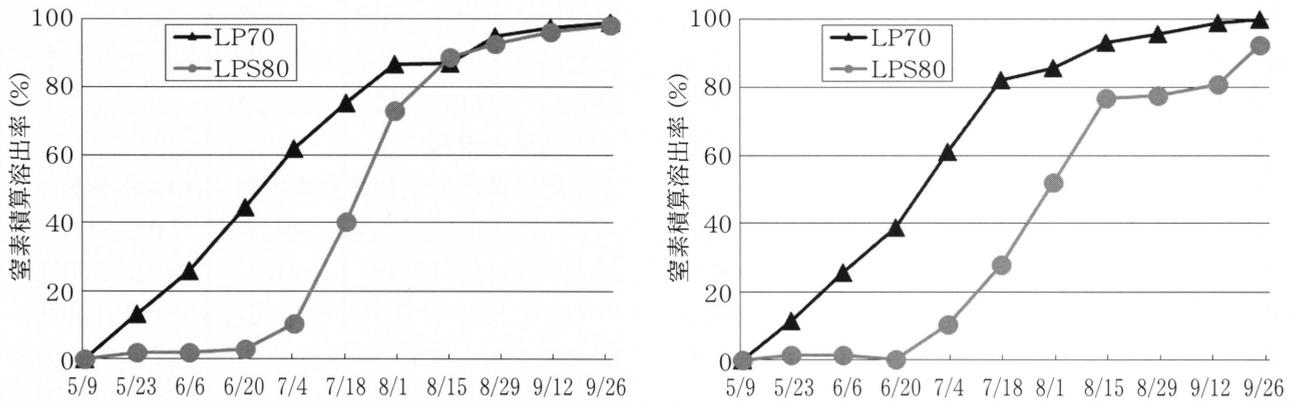


図1. 窒素積算溶出率の推移 (左: 2011年, 右: 2012年)

植栽培 (株間30cm, 37株/坪) では7月上旬には株が開帳して横に張り出すようになった (写真2)。疎植栽培は、慣行栽培に比べ、草丈、稈長とも5~7%ほど長かったが、第3節間がやや太く、倒伏程度に大きな差は無かった (表5, 表6, 写真3)。また、初期茎数が50%程度少なかった (表3)。7月中旬の幼穂形成期以降の茎数も15~20%程度少なかった (表3)。また、初期乾物重も50%程度少なく、後期乾物重も10%程度少なかった (表3)。疎植栽培における地上部窒素吸収量は分けつ期には慣行の57%程度と低かったが、7月中旬の幼穂形成期以降は慣行より5~10%程度低くなった (表4)。また、疎植栽培における葉色は全生育期間にわたり、慣行栽培に比べ、SPAD値で2~3程度高めに推移し、葉色が濃かった (表4)。出穂期は栽植密度によってほとんど変わらなかった。みかけの施肥窒素利用率は疎植栽培で54%と、慣行の64%に比べ10ポイント低い傾向であった (表4)。

収穫物調査では、疎植栽培において慣行栽培より穂数が10%程度少なかったが、籾/わら比が6%高く、一穂籾数は15%程度多いが、登熟歩合は低めとなった。しかし、総籾数、千粒重、玄米タンパク質含有率は同程度であり、粗玄米重も収量指数が97~103と同程度であった (表5)。また、疎植栽培により主稈の一次枝梗本数、籾数は2~5%程度、主稈の二次枝梗本数、籾数は10%程度それぞれ増加した (表6)。さらに、疎植栽培により主稈の一次枝梗籾割合は少なめ、木村ら



写真2. 飼料用米「べこあおば」の慣行栽培 (左) と疎植栽培 (右) の7月上旬の生育状況 (右の疎植栽培は開帳型の草姿となる)



写真3. 2011年の収穫期の株状況 (上3株が疎植栽培で、下3株の慣行栽培より稈長が長い)

表3. 飼料用米「べこあおば」の生育(2011-12年の平均)

栽植 様式	堆肥 施用	窒素施用 kg/10a	草丈(cm)			茎数(本/m ²)			茎葉乾物重(kg/10a)				
			6/13	7/12	7/25	6/13	7/12	7/25	8/2	6/13	7/12	7/25	8/6
慣行 70株/坪	無	0-0-0-0	30	56	60	124	295	264	242	18	182	373	622
		8-3-4-3	35	66	72	304	578	493	423	50	482	775	1143
		(3+12)-0-0-0	34	68	72	320	548	481	411	46	468	829	1112
	有	0-0-0-0	31	64	68	194	456	405	352	27	345	596	1020
		4-2-3-3	32	68	73	267	589	540	438	38	459	804	1252
		(2+8)-0-0-0	33	70	74	286	589	524	446	47	472	821	1228
疎植 37株/坪	無	0-0-0-0	31	60	65	88	235	233	199	12	166	345	582
		8-3-4-3	35	71	75	152	448	423	352	24	399	711	1058
		(3+12)-0-0-0	34	72	77	149	433	408	328	23	374	736	995
	有	0-0-0-0	31	66	71	115	347	325	272	16	264	531	862
		4-2-3-3	33	71	77	153	461	431	363	23	362	748	1138
		(2+8)-0-0-0	34	75	80	157	465	442	356	25	376	733	1089
慣行(除無窒素区)			34	68	73	294	576	510	430	45	470	807	1184
疎植(除無窒素区)			34	72	77	153	452	426	350	24	378	732	1070

注) 堆肥は完熟家畜ふん堆肥を3.6t/10a施用。

表4. 飼料用米「べこあおば」の窒素吸収量, 葉色の推移等(2011-12年の平均)

栽植 様式	堆肥 施用	窒素施用 kg/10a	地上部窒素吸収量(kg/10a)					見かけの 施肥窒素 利用率(%)	葉色				出穂期 月/日	
			分げつ期		幼形期	減分期	穂揃期		収穫期	展開第2葉				止葉
			6/13	7/12						6/13	7/11	7/25		
慣行 70株/坪	無	0-0-0-0	0.4	2.6	3.8	5.3	6.0	—	32	38	35	34	8/7	
		8-3-4-3	1.6	7.3	10.4	13.7	16.2	57	44	41	38	40	8/6	
		(3+12)-0-0-0	1.5	8.4	11.1	13.4	16.0	67	42	42	39	39	8/5	
	有	0-0-0-0	0.8	5.5	6.8	9.0	9.4	—	40	42	37	35	8/7	
		4-2-3-3	1.2	7.7	11.8	17.2	19.1	81	41	43	40	42	8/8	
		(2+8)-0-0-0	1.4	8.5	11.6	15.0	14.2	49	42	42	38	39	8/8	
疎植 37株/坪	無	0-0-0-0	0.3	2.6	3.8	5.5	7.1	—	36	42	37	37	8/7	
		8-3-4-3	0.8	7.3	10.9	14.0	14.5	41	46	45	44	43	8/7	
		(3+12)-0-0-0	0.7	7.9	10.8	11.7	15.3	54	43	44	41	41	8/7	
	有	0-0-0-0	0.5	4.9	6.7	8.6	9.7	—	40	45	39	38	8/8	
		4-2-3-3	0.7	8.0	11.7	15.1	16.5	57	44	46	42	43	8/8	
		(2+8)-0-0-0	0.8	8.7	10.8	13.7	15.9	62	43	47	41	41	8/7	
慣行(除無窒素区)			1.4	8.0	11.2	14.8	16.4	64	42	42	39	40	8/6	
疎植(除無窒素区)			0.8	8.0	11.0	13.6	15.5	54	44	45	42	42	8/7	

注1) 堆肥は完熟家畜ふん堆肥を3.6t/10a施用。

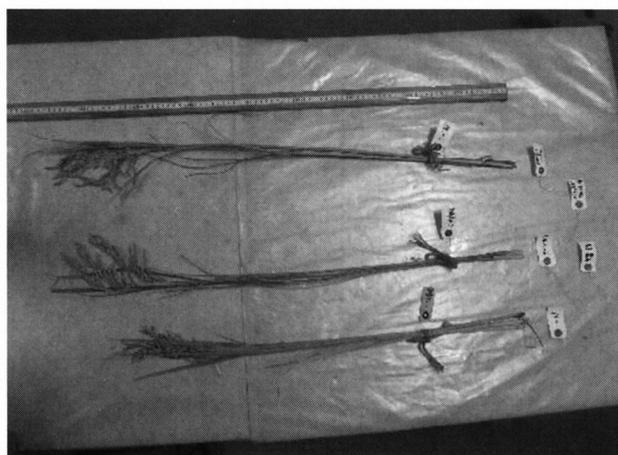
2) 葉色はSPAD502の値。

(2005)の場合と同様に主稈の二次枝梗割合は多めとなった(表6)。また, 疎植栽培により止葉, 第2葉と第3葉の葉身長が1~2cm長く, 第2~第4節間が長めで, これが稈長の長い理由と考えられた。さらに, 第3節間の茎は太めであ

り, これが稈長が長いにもかかわらず倒伏程度が慣行栽培と差が小さい原因の一つと考えられた(表6)。

(2) 肥効調節型肥料の影響

草丈は疎植, 堆肥施用の有無にかかわらず, 肥



慣行栽培



疎植栽培

写真4. 2012年の収穫期の株状況（一番上の肥効調節型肥料施用区では稈長が中央の慣行施肥と同等以下になる）

効調節型肥料施用で長くなったが、稈長は同等以下であった（写真4，表3，表5）。茎数は堆肥施用でほぼ同じであったが、堆肥無施用で、肥効調節型肥料施用により5%程度少なかったが、茎葉乾物重は差が小さかった（表3）。慣行栽培の肥効調節型肥料施用減肥区では穂数は1割前後少なかったが、疎植栽培ではほぼ同じであった（表5）。慣行栽培の堆肥施用を除き、肥効調節型肥

料施用減肥区で見かけの施肥窒素利用率が高いものの、地上部窒素吸収量は少なめで、葉色もやや淡かった。なお、出穂期はほとんど変わらなかった（表4）。

一穂粒数は、慣行栽培の堆肥施用を除き、肥効調節型肥料施用減肥区で慣行と同等以上となった（表5）。肥効調節型肥料施用減肥区では窒素を減肥しない場合に比べ、総粒数は少なめで、登熟歩

表5. 飼料用米「べこあおば」の収量及び収量構成要素（2011-12年の平均）

栽植様式	堆肥施用	窒素施用 kg/10a	稈長 cm	穂数 本/m ²	籾/わら	粗玄米重 kg/10a	同左指数	疎植/慣行	倒伏程度	総粒数 ×1000/m ²	一穂粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 g	玄米タンパク質含有率(%)
慣行 70株/坪	無	0-0-0-0	58	219	1.30	496	52	-	0.0	16.1	74	85.3	32.9	5.0
		8-3-4-3	69	408	1.36	948	100	-	0.1	34.0	83	67.9	32.8	6.7
		(3+12)-0-0-0	67	385	1.28	911	96	-	0.1	32.5	84	71.0	33.1	6.3
	有	0-0-0-0	64	319	1.40	765	76	-	0.0	25.9	81	79.4	32.4	5.4
		4-2-3-3	72	428	1.43	1008	100	-	0.6	39.2	92	60.8	32.7	6.9
		(2+8)-0-0-0	70	375	1.38	926	92	-	0.0	33.4	89	71.4	32.4	6.1
疎植 37株/坪	無	0-0-0-0	63	190	1.36	511	55	103	0.0	16.8	88	82.5	32.5	5.2
		8-3-4-3	73	356	1.46	929	100	98	0.5	33.8	95	67.8	32.6	6.2
		(3+12)-0-0-0	73	351	1.41	923	99	101	0.1	34.0	97	67.1	32.5	6.5
	有	0-0-0-0	69	277	1.46	744	75	97	0.0	26.2	95	76.3	32.0	5.2
		4-2-3-3	74	369	1.51	983	100	98	0.8	38.4	104	62.4	32.5	6.7
		(2+8)-0-0-0	75	361	1.38	957	97	103	0.1	37.6	104	63.1	32.2	6.4
慣行 (除無窒素区)			69	399	1.36	948	-	-	0.2	34.8	87	67.8	32.7	6.5
疎植 (除無窒素区)			74	359	1.44	948	-	100	0.4	35.9	100	65.1	32.4	6.5

注1) 堆肥は完熟家畜ふん堆肥を3.6t/10a施用，成熟期は9月24-27日。

2) 粒数，玄米重，千粒重，玄米タンパク質含有率は水分15%換算，倒伏程度は0（無）～4（甚）。

表6. 飼料用米「べこあおば」の主稈の枝梗、葉身長、節間及び茎太（2011-12年の平均）

栽植 様式	堆肥 施用	窒素施用 kg/10a	主稈						葉身長			節間長				第3節間 長径 × 短径 (mm ²)
			一次枝梗			二次枝梗			止葉	第2葉	第3葉	I	II	III	IV	
			本数	粗数	粗割合 (%)	本数	粗数	粗割合 (%)								
慣行 70株/坪	無	0-0-0-0	9.5	55	61	14	37	39	40	34	34	33	15	8	2	28.4
		8-3-4-3	11.3	64	54	19	54	46	33	37	40	35	19	12	6	26.8
		(3+12)-0-0-0	11.1	65	60	17	45	40	33	38	39	35	18	11	5	27.1
	有	0-0-0-0	10.5	61	59	16	43	41	31	37	36	34	16	10	4	26.5
		4-2-3-3	11.3	63	51	21	61	49	35	38	42	36	17	12	5	25.5
		(2+8)-0-0-0	11.0	63	55	19	52	45	31	37	41	33	18	13	6	25.9
疎植 37株/坪	無	0-0-0-0	10.7	63	58	18	47	42	30	36	35	34	16	9	3	30.6
		8-3-4-3	11.3	64	54	19	54	46	33	37	40	35	19	12	6	26.8
		(3+12)-0-0-0	12.2	71	57	20	55	43	34	41	42	35	19	12	6	30.3
	有	0-0-0-0	11.0	65	56	19	52	44	31	38	38	34	17	11	5	26.8
		4-2-3-3	11.6	68	51	23	66	49	35	41	43	36	19	13	7	23.6
		(2+8)-0-0-0	11.6	67	53	21	60	47	32	41	45	35	19	14	7	28.3
慣行（除無窒素区）			11.2	64	55	19	53	45	33	38	40	35	18	12	5	26.3
疎植（除無窒素区）			11.7	67	54	21	59	46	34	40	42	35	19	13	6	27.2

注) 堆肥は完熟家畜ふん堆肥を3.6t/10a施用，成熟期は9月24-27日。

合は高め，一穂粗数は多く，粗粒比は低く，粗玄米重も1~8%とやや低めとなった。千粒重は同等か多めで，玄米タンパク質含有率は低めとなった（表5）。さらに，主稈の一次枝梗本数，粗数はやや増加し，主稈の二次枝梗本数，粗数はやや減少した（表6）。さらに，肥効調節型肥料施用減肥区で主稈の一次枝梗粗割合は多めで，二次枝梗粗割合は少なくなった（表6）。また，疎植栽培の肥効調節型肥料施用減肥区では第2葉と第3葉の葉身長が2~4cm長いものの，第1~第4節間は変わらず，第3節間の茎は太めであり，このことが倒伏程度の低い理由と考えられた（表5，表6）。

4. 論議及びまとめ

東北太平洋側北部地域では，飼料用イネにおいて疎植栽培は慣行栽培に比べ黄熟期乾物収量が5%程度，減収することが報告されている（関矢ら：2012）。一方，東北日本海側南部地域においては，飼料用米について疎植栽培により収量が同等以上となることが認められている（齋藤ら：2009，齋藤ら：2010）が，東北日本海側北部地域ではその効果が不明であった。また，食用米についても，関東北部では食用品種「なすひかり」

について，疎植栽培により慣行栽培と同等以上の収量が得られ，玄米の外観品質が慣行栽培より優れ，玄米タンパク質含有率が慣行栽培よりわずかに低い傾向が見られたことが報告されている（五月女ら：2011）。さらに，水稻「コシヒカリ」についても疎植栽培により慣行栽培と同等の収量・外観品質が得られている（和田ら：2011）。

そこで，農研機構東北農業研究センター大仙研究拠点（秋田県大仙市）において，家畜ふん堆肥を連用している水田と無施用水田で，飼料用米「べこあおば」を70株/坪の慣行栽培と37株/坪の疎植栽培で速効性肥料の硫酸に肥効調節型肥料のリニア型のLP70とシグモイド型のLPS80を組み合わせ，慣行施肥の17%減肥で2カ年の栽培試験を行い，生育，収量及び収量構成要素に及ぼす影響を調べた。

その結果，疎植栽培及び肥効調節型肥料施用も水稻の生育特性や収量構成要素については，従来の報告（木村ら：2005，齋藤ら：2009，齋藤ら：2010，五月女ら：2011，和田ら：2011，関矢ら：2012，川島：2016）で明らかとなった食用米あるいは飼料用米の場合と一部を除き，類似の結果が得られ，東北日本海側北部地域でも疎植栽

培により慣行栽培とほぼ同等の収量が得られた。すなわち、本試験では飼料用米「べこあおば」は37株/坪の疎植栽培で堆肥無施用、18kgN/10aの施肥で粗玄米収量929g/10a、肥効調節型肥料を用いた17%減肥の15kgN/10aでも923kg/10a、家畜ふん堆肥3.6t/10a施用条件では12kgN/10aの施肥で983kg/10a、肥効調節型肥料を用いた17%減肥の10kgN/10aでも957kg/10aと超多収となり、それぞれの70株/坪の慣行栽培に比べ指数で101~103と同程度以上であった。

以上のように、水稻の疎植栽培では使用苗箱数が半減することによる育苗コストの削減と苗の運搬回数の半減による労働時間の軽減を図ることができ、さらに、速効性の硫安と肥効調節型肥料のリニア型LP70とシグモイド型LPS80を組み合わせることにより追肥作業の省力化を図ることができ、東北日本海側北部地域でも飼料用米の疎植栽培(土屋ら：2012, 土屋ら：2013)における肥効調節型肥料施用の優位性が認められた。

参 考 文 献

- 1) 木村浩・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 愛媛県農業試験場研究報告 39, p.1-9
- 2) 齋藤博行・三宅隆(2009). 転作大豆栽培後の飼料用米疎植栽培について. 日本作物学会東北支部会報. 52 : 11-12
- 3) 齋藤博行・若生崇・伊藤雄太(2010). 飼料用米の疎植栽培と多収穫について. 日本作物学会東北支部会報 53 : 65-66
- 4) 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 栃木研報, 66 : 1-9
- 5) 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80(別2) : 2-3
- 6) 関矢博幸・河本英憲(2012). 東北地域における飼料用稲疎植栽培の収量性. 東北農業研究. 64 : 7-8
- 7) 土屋一成・西田瑞彦・吉田光二・高橋智紀(2012). 飼料用米「べこあおば」に対する疎植栽培の効果. 日本作物学会東北支部会報. 55 : 25-26
- 8) 土屋一成・西田瑞彦・高橋智紀・吉田光二(2013). 東北日本海側北部地域における飼料用米「べこあおば」に対する疎植栽培の影響. 東北農業研究. 66 : 29-30
- 9) 川島寛(2016). 水稻疎植栽培の安定化に対する肥効調節型肥料の効果 農業と科学. 685 : 1-6