

東北地域における飼料用米向け水稻品種・系統の収量性

福嶋陽¹⁾・太田久稔²⁾・横上晴郁²⁾・津田直人²⁾

(¹⁾ 農研機構食農ビジネス推進センター, (²⁾ 農研機構東北農業研究センター)

要旨：東北地域における飼料用米向け水稻品種・系統の収量性を明らかにする目的で、既存の多収品種の「ふくひびき」、「べこあおば」、新しい多収品種・系統の「いわいだわら」、「奥羽 418 号」を用いた生産力検定試験の結果を解析した。飼料用品種は主食用品種と比較して、標肥移植栽培においてすでに多収であり、多肥移植栽培によってその収量差は拡大した。飼料用 4 品種・系統の中では、多肥移植栽培における収量に有意差は認められなかった。一方、極多肥移植栽培においては、稈長が短く耐倒伏性に優れた「奥羽 418 号」、「べこあおば」の粗玄米重が多い傾向にあった。しかし、これらの 2 品種・系統の極多肥栽培による増収効果は僅か 2% であったことから、極多肥栽培により収量の飛躍的向上を目指すことは困難であると判断した。さらに、その後に育成された新系統を含めた飼料用向け 10 品種・系統と主食用 6 品種の多肥移植栽培における収量性を比較・解析した。その結果、すべての飼料用向け 10 品種・系統に共通の特性として、穂数が少なく、1 穂シンク容量 (=1 穂粒数 × 1 粒重) が極めて大きいことが認められた。しかし、既存の多収品種「ふくひびき」、「べこあおば」を明らかに上回る多収の品種・系統は認められなかった。以上の結果から、さらなる極多肥品種を育成することは困難な現況にあり、むしろ安定多収や大規模化・低コスト化を可能とする品種を育成することが重要であると考察した。

キーワード：収量、飼料用米、水稻、多肥栽培、東北地域。

近年、わが国の水稻作においては、耕畜連携による水田の有効利用の観点から、飼料用米の生産が推進されている。飼料用米の生産においては、多収・低コスト・省力であることが望ましく、そのためには、多肥栽培や直播栽培に適した多収品種が求められる。東北地域に適した多収品種としては、「アキヒカリ」(1976 年育成)、「ふくひびき」(1993 年育成) などが古くから知られており、近年では、極大粒の「秋田 63 号」(2002 年育成)、「べこあおば」(2005 年育成) などが育成されている。そして、「ふくひびき」は、1 穂粒数が多く、やや大粒であるためにシンク容量が大きく多収であること (Wang ら 1997, Fukushima ら 2011a)、「秋田 63 号」および「べこあおば」は、極大粒であるためにシンク容量が極めて大きく多収であることが明らかにされている (Mae ら 2006, Fukushima ら 2011a)。その後、農研機構東北農業研究センター (以下、東北農研) においては、多収品種の「いわいだわら」を育成し (2013 年育成、福嶋ら 2014)、さらには「奥羽 418 号」などの多収系統を作成してきた。これら多収の品種・系統は、穂が大きい点では共通するが、出穂期、稈長、1 穂粒数、穂数、千粒重の組み合わせは互いに異なる。今後、東北地域において、多収栽培技術を確立する、あるいは、さらなる極多収品種を育成するためには、既存の多収品種・系統の多収要因を明確にする必要がある。

著者らは、水稻の品種育成のために実施される生産力検定試験の結果を解析することによって、新品種に適した栽培技術の確立に役立てるとともに、今後の品種育成の方向性を示すことを試みてきた (福嶋ら 2015a, 福嶋ら 2017a, b)。

本研究では、生産力検定試験の結果を解析することにより、東北地域における飼料用米向けの多収品種・系統の収量性を明確にしようとした。

材料と方法

東北農研大仙拠点 (秋田県大仙市) の水田圃場において実施した生産力検定試験の標肥移植栽培 (2012 年, 2014 年)、多肥移植栽培 (2010~2016 年)、極多肥移植栽培 (2011~2014 年)、および多肥直播栽培 (2010~2016 年) の結果を解析した。飼料用米向けの多収品種「いわいだわら」、「ふくひびき」、「べこあおば」、多収系統の「奥羽 418 号」を用いた。さらに、その後の多収系統の「奥羽 421 号」、「奥羽 427 号」、「奥羽 436 号」、「奥羽 437 号」、「羽系 2078」に関する多肥移植栽培の結果を解析した。「あきたこまち」、「ひとめぼれ」等の主食用の品種も比較品種として、解析に加えた。

栽培方法・調査方法は、福嶋ら (2015a) と同様である。概略を述べると、移植栽培においては、移植時期は 5 月 18~23 日の間、栽植様式は条間 30 cm、株間 15 cm、1 株 3 本の手植えとした。直播栽培においては、焼石膏で粉衣した催芽種子を、条間 30 cm、200 粒 / m² の密度で表面条播した。播種時期は 5 月 7~15 日の間、播種後は湛水管理とした。窒素施肥の総量は、標肥移植栽培は 7 kg/10 a、多肥移植栽培は 12 kg/10 a、極多肥移植栽培 16 kg/10 a、多肥直播栽培は 12 kg/10 a とした。1 区当たり、移植栽培は 40 株、直播栽培は 1.8 m² を、成熟期以降に収穫し、収量・品質調査に供試した。玄米の外観品質 (以下、品質) は、目

第1表 秋田県大仙市における年次別の気象概況、および飼料用米品種・系統の出穂期、および粗玄米重。

年次	平均気温 (°C)			日照時間 (時間 / 月)			出穂期 (月 / 日)		粗玄米重 (g/m ²)	
	6月	7月	8月	6月	7月	8月	多肥移植	多肥直播	多肥移植	多肥直播
2010	20.7	24.4	26.6	175	120	212	8/ 1	8/ 8	825	839
2011	19.5	24.7	24.7	160	200	173	8/ 2	8/ 8	854	815
2012	19.7	23.3	26.2	226	178	238	8/ 2	8/ 9	882	861
2013	21.2	23.0	24.4	244	94	174	8/ 1	8/10	854	661
2014	21.3	23.7	23.9	184	189	100	7/30	8/11	818	828
2015	19.8	23.6	24.0	194	181	158	8/ 1	8/ 9	866	832
2016	19.6	23.1	25.4	163	171	232	8/ 1	8/10	898	876
7年平均	20.3	23.7	25.0	192	162	184				
平年値	19.2	22.6	24.1	165	156	185				

平均気温および日照時間は、気象庁が公表している秋田県大仙市のデータを用いた。出穂期、粗玄米重は「いわいだわら」、「ふくひびき」、「奥羽418号」、「べこあおば」の平均値。

第2表 標肥移植栽培および多肥移植栽培における飼料用米向け水稻品種と主食用水稻品種の収量性。

栽培方法	品種・系統名	出穂期 (月 / 日)	稈長 (cm)	穂数 (本 / m ²)	千粒重 (g)	粗玄米重 (g/m ²)	屑米重 (g/m ²)	風乾全重 (g/m ²)	藁重 (g/m ²)	倒伏程度 (0-5)	品質 (1-9)	玄米蛋白質 (%)
標肥移植	いわいだわら	7/29 ^c	82 ^b	300 ^b	27.0 ^b	755 ^a	24 ^a	1774 ^a	813 ^{ab}	0.0 ^b	7.4 ^b	6.19 ^{ab}
	ふくひびき	8/ 1 ^b	73 ^c	343 ^b	24.8 ^c	740 ^{ab}	13 ^a	1640 ^a	749 ^b	0.0 ^b	5.5 ^c	6.00 ^b
	べこあおば	8/ 3 ^a	69 ^c	349 ^b	32.1 ^a	697 ^{ab}	17 ^a	1660 ^a	800 ^{ab}	0.0 ^b	8.5 ^a	6.03 ^b
	あきたこまち	7/31 ^{bc}	85 ^{ab}	467 ^a	22.5 ^d	663 ^b	17 ^a	1716 ^a	899 ^a	1.3 ^{ab}	4.1 ^d	6.58 ^a
	ひとめぼれ	8/ 3 ^a	90 ^a	499 ^a	23.1 ^d	670 ^{ab}	15 ^a	1708 ^a	884 ^a	2.4 ^a	4.0 ^d	6.16 ^{ab}
多肥移植	いわいだわら	7/28 ^c	87 ^{ab}	341 ^b	27.6 ^b	819 ^{ab}	31 ^a	1977 ^a	937 ^c	0.9 ^b	7.7 ^a	7.40 ^{ab}
	ふくひびき	7/31 ^b	80 ^{bc}	387 ^b	24.7 ^c	874 ^a	29 ^a	1988 ^a	940 ^{bc}	1.0 ^b	6.1 ^b	6.99 ^b
	べこあおば	8/ 3 ^a	74 ^c	393 ^b	31.7 ^a	871 ^a	27 ^a	2051 ^a	985 ^{abc}	0.1 ^b	8.4 ^a	6.96 ^b
	あきたこまち	7/30 ^{bc}	92 ^a	532 ^a	22.1 ^d	741 ^{ab}	26 ^a	1923 ^a	1003 ^a	3.8 ^a	4.4 ^c	7.79 ^a
	ひとめぼれ	8/ 3 ^a	95 ^a	571 ^a	22.1 ^d	694 ^b	35 ^a	1903 ^a	1044 ^{ab}	3.8 ^a	4.8 ^c	7.28 ^{ab}
標肥移植	飼料用3品種平均	8/ 1	74	331	28.0	731	18	1691	787	0.0	7.1	6.07
	主食用2品種平均	8/ 2	88	483	22.8	666	16	1712	891	1.9	4.1	6.37
多肥移植	飼料用3品種平均	7/31	81	374	28.0	854	29	2005	954	0.7	7.4	7.12
	主食用2品種平均	8/ 1	93	551	22.1	718	31	1913	1023	3.8	4.6	7.53
分散分析	品種	**	**	**	**	*	NS	NS	**	**	**	*
	施肥法	*	**	**	NS	**	**	**	**	**	**	**
	交互作用	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

2012年、2014年の平均値。倒伏程度：0（皆無）～5（完全倒伏）。品質：1（上上）～9（下下）。同一文字を付した数値は、同一栽培方法内でBonferroni法（対応ありのn=4（2年×2反復））により5%水準で有意でないことを示す。*、*、NSは、年次をブロックとする2要因の乱塊法（標肥移植×多肥移植×5品種×2年）においてそれぞれ1%水準、5%水準で有意であることを、有意でないことを示す。

視で評価した。精玄米の蛋白質含量（以下、玄米蛋白質）は、近赤外分光分析装置（FOSS社 infratec1214）を用いて測定した。さらに、2015年、2016年の多肥移植栽培においては、簡易法（福馬ら2017a）により1穂粒数、および登熟歩合を測定した。

結 果

1. 年次別の気象概況、出穂期、および粗玄米重

平年値と比較して、試験を実施した7年間の気温は高い傾向にあり、特に2010年8月、2012年8月が高かった（第1表）。日照時間は、年次による変動が大きかったが、6月

が長い傾向にあり、2013年7月と2014年8月が短かった。出穂期の年次間差異は、多肥移植栽培、多肥直播栽培ともに3日以内と小さかった。粗玄米重の年次間差異は小さかった。ただし、2013年の多肥直播栽培で、粗玄米重が少なく、その原因は不明であった。

2. 標肥移植栽培および多肥移植栽培における飼料用米向け品種と主食用品種の収量性

標肥移植栽培と比較して多肥移植栽培は、稈長が長く、穂数が多かったが、千粒重に有意差は認められず、粗玄米重は増加した（第2表）。また、風乾全重や藁重は多かつ

第3表 多肥移植栽培, 極多肥移植栽培, および多肥直播栽培における飼料用米向け水稻品種・系統の収量性.

栽培方法	品種・系統名	苗立ち数 (本/m ²)	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	千粒重 (g)	粗玄米重 (g/m ²)	多肥移植 比(%)	屑米重 (g/m ²)	風乾全重 (g/m ²)	藁重 (g/m ²)	倒伏程度 (0-5)	品質 (1-9)	玄米蛋白質 (%)
多肥移植	いわいだわら		7/29 ^c	91 ^a	327 ^b	26.4 ^c	835 ^a		28 ^a	1988 ^b	941 ^b	1.4 ^a	7.7 ^b	7.38 ^{ab}
	ふくひびき		8/ 1 ^b	82 ^b	394 ^a	24.4 ^d	858 ^a		25 ^a	1960 ^b	929 ^b	0.9 ^{ab}	5.9 ^c	7.15 ^b
	奥羽 418 号		8/ 1 ^b	67 ^d	336 ^b	28.4 ^b	870 ^a		18 ^b	1976 ^b	907 ^b	0.0 ^b	8.4 ^a	7.66 ^a
	べこあおば		8/ 4 ^a	76 ^c	385 ^a	32.6 ^a	864 ^a		27 ^a	2060 ^a	1008 ^a	0.4 ^b	8.2 ^{ab}	7.30 ^b
極多肥移植	いわいだわら		7/30 ^c	92 ^a	331 ^b	26.5 ^b	767 ^a	93	43 ^a	1905 ^b	943 ^b	3.3 ^c	7.7 ^b	7.83 ^{ab}
	ふくひびき		8/ 2 ^b	84 ^b	411 ^a	24.1 ^c	856 ^a	100	38 ^a	1993 ^{ab}	963 ^b	2.6 ^{bc}	5.9 ^c	7.64 ^b
	奥羽 418 号		8/ 2 ^b	69 ^d	356 ^b	28.3 ^b	885 ^a	102	25 ^a	2113 ^{ab}	1012 ^{ab}	0.0 ^a	8.4 ^a	8.01 ^a
	べこあおば		8/ 5 ^a	78 ^c	406 ^a	31.6 ^a	872 ^a	102	31 ^a	2208 ^a	1125 ^a	0.8 ^{ab}	8.2 ^{ab}	7.80 ^{ab}
多肥直播	いわいだわら	107 ^a	8/ 6 ^c	86 ^a	374 ^b	25.8 ^c	813 ^a	97	31 ^a	1923 ^a	904 ^b	3.3 ^a	7.4 ^b	6.56 ^b
	ふくひびき	120 ^a	8/ 9 ^b	78 ^b	494 ^a	24.2 ^d	822 ^a	96	24 ^b	1982 ^a	992 ^a	2.5 ^{ab}	5.5 ^c	6.59 ^b
	奥羽 418 号	110 ^a	8/ 9 ^b	65 ^d	426 ^{ab}	27.9 ^b	813 ^a	93	19 ^b	1973 ^a	963 ^{ab}	0.6 ^b	8.4 ^a	7.13 ^a
	べこあおば	114 ^a	8/12 ^a	74 ^c	485 ^a	31.8 ^a	815 ^a	94	27 ^{ab}	2007 ^a	1001 ^a	1.2 ^{ab}	8.1 ^{ab}	6.77 ^{ab}
多肥移植	4品種平均		8/ 1	77	354	28.4	852		28	1978	939	0.4	7.6	7.36
極多肥移植	4品種平均		8/ 2 ^{**}	81 [*]	376 [*]	27.6 [*]	845 ^{NS}	99	34 ^{NS}	2054 ^{NS}	1011 ^{NS}	1.7 ^{NS}	7.5 ^{NS}	7.82 [*]
多肥移植	4品種平均		8/ 1	79	361	27.9	857		25	1996	946	0.7	7.5	7.45
多肥直播	4品種平均		8/ 9 ^{**}	76 ^{NS}	445 ^{**}	27.4 ^{NS}	816 ^{NS}	95	25 ^{NS}	1971 ^{NS}	965 ^{NS}	1.9 [*]	7.4 ^{NS}	6.76 [*]

多肥移植, 多肥直播は2010~2016年までの7年間の平均値, 極多肥移植は2011~2014年までの4年間の平均値, 多肥移植と極多肥移植の粗玄米重の比率(%)は4年間の平均値から算出した. 倒伏程度:0(皆無)~5(完全倒伏). 品質:1(上上)~9(下下). 同一文字を付した数値は, 同一栽培方法内では対応ありの Bonferroni 法 (n は年次数) により 5%水準で有意でないことを示す. **, *, NS は, 1 標本 t 検定 (n は年次数) においてそれぞれ 1%水準, 5%水準で有意であること, 有意でないことを示す.

たが, 品質は低下し, 玄米蛋白質は増加した. いずれの栽培方法においても, 食用品種と比較して飼料用品種は, 稈長が短く, 穂数が少なく, 千粒重は重く, 粗玄米重は多い傾向にあった. また, 風乾全重に大きな差異は認められないが, 藁重は少なく, 倒伏程度が少なく, 品質は劣り, 玄米蛋白質は低い傾向にあった. 標肥移植栽培と多肥移植栽培の間で, 品種特性が大きく異なることはなかったが, 多肥移植栽培による粗玄米重の増加程度は, 品種間でやや異なっていた. すなわち, 標肥移植栽培における粗玄米重は, 飼料用 3 品種平均で 731 g/m², 主食用 2 品種平均で 666 g/m²であり, 飼料用品種が主食用品種より 10%多かった. 一方, 多肥移植栽培における粗玄米重は, 飼料用 3 品種平均で 854 g/m², 主食用 2 品種平均で 718 g/m²であり, 飼料用品種が主食用品種より 19%多かった. すなわち, 飼料用品種は主食用品種と比較して, 標肥移植栽培においてすでに多収であり, 多肥移植栽培によってその収量差は拡大した.

3. 多肥移植栽培における飼料用米向け 4 品種・系統の収量性

出穂期は, 「いわいだわら」が7月29日, 「ふくひびき」が8月1日, 「奥羽 418 号」が8月1日, 「べこあおば」が8月4日であった(第3表). 稈長は, 「いわいだわら」が91 cm と最も長く, 「奥羽 418 号」が67 cm と最も短かった. 穂数は, 「ふくひびき」, 「べこあおば」が, 「いわいだわら」, 「奥羽 418 号」より多かった. 千粒重は「べこあおば」, 「奥

羽 418 号」, 「いわいだわら」, 「ふくひびき」の順に重かった. 粗玄米重は, 有意な品種・系統間差異は認められなかったが, 「いわいだわら」はやや少ない傾向にあった. 藁重は「べこあおば」が他の3品種・系統より重く, その結果, 風乾全重も「べこあおば」が他の3品種・系統より重かった. 品質は, 主食用品種が通常 4.0~5.0 の範囲であるのに比べて, いずれの品種・系統も劣っていた. 特に, 「奥羽 418 号」, 「べこあおば」の品質は極めて劣っていた. 玄米蛋白質は, 「奥羽 418 号」でやや高く, 「ふくひびき」, 「べこあおば」でやや低かった.

4. 極多肥移植栽培, および多肥直播栽培における飼料用米向け 4 品種・系統の収量性

各特性の品種・系統間差異は, 極多肥移植栽培, あるいは多肥直播栽培によって, 大きく広がること, あるいは逆転することはほとんどなかった(第3表). 極多肥移植栽培は多肥移植栽培と比較して, 4 品種・系統平均で稈長が77 cm から81 cm に増加し, 穂数が354 本/m² から376 本/m² に増加し, 千粒重は28.4 g から27.6 g にやや減少し, 粗玄米重はほぼ同じであり, 玄米蛋白質が増加した. 品種・系統別にみると, 極多肥移植栽培においては, 倒伏程度が「いわいだわら」で3.3, 「ふくひびき」で2.6 と大きかった. また, 粗玄米重には有意な品種・系統間差異は認められなかったが, 倒伏程度が最も大きかった「いわいだわら」は他の3品種・系統より粗玄米重が少ない傾向にあった.

多肥直播栽培は多肥移植栽培と比較して, 4 品種平均

第4表 多肥移植栽培における飼料用米向け有望系統の収量性.

品種・系統名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	千粒重 (g)	粗玄米重 (g/m ²)	対照比 (%)	風乾全重 (g/m ²)	藁重 (g/m ²)	倒伏程度 (0-5)	品質 (1-9)	玄米蛋白質 (%)
奥羽 421 号	8/ 3 NS	88 **	304 **	28.8 **	881 NS	103	2082 NS	989 NS	0.6 NS	8.5 NS	7.56 NS
べこあおば	8/ 4	77	382	32.8	855		2050	1009	0.3	8.2	7.25
奥羽 427 号	7/31 NS	81 NS	427 NS	29.4 **	856 NS	99	1970 NS	914 NS	0.4 NS	7.2 **	7.45 NS
ふくひびき	7/31	80	396	24.3	868		1944	900	1.2	6.1	7.39
奥羽 436 号	7/24 NS	74 NS	354 NS	23.9 NS	864 *	111	1833 NS	782 *	0.2 NS	4.9 **	7.99 NS
べこごのみ	7/23	81	327	22.8	779		1803	849	0.0	6.6	8.44
ふくひびき	8/ 1	80	403	24.3	854		1933	903	1.0	5.9	7.39
奥羽 437 号	8/ 3 NS	75 NS	356 NS	30.4 NS	914 NS	103	2060 NS	927 NS	0.0 NS	7.7 NS	7.84 NS
べこあおば	8/ 4	75	401	32.3	891		2097	999	0.0	8.0	7.64
羽系 2078	8/ 1	84	387	28.4	899	103	2160	1044	0.8	8.0	7.45
ふくひびき	8/ 1	80	428	23.7	872		1965	909	1.6	5.5	7.60

「奥羽 421 号」は 2010～2015 年, 「奥羽 427 号」は 2012～2016 年, 「奥羽 436 号」は 2013, 2015, 2016 年, 「奥羽 437 号」は 2014～2016 年, 「羽系 2078」は 2015, 2016 年の多肥移植栽培の結果. 「奥羽 436 号」は「べこごのみ」を対照品種とした. 倒伏程度: 0 (皆無)～5 (完全倒伏). 品質: 1 (上上)～9 (下下). **, *, NS は, 1 標本 t 検定 (n は年次数) においてそれぞれ 1% 水準, 5% 水準で有意であること, 有意でないことを示す.

第5表 多肥移植栽培における主食用および飼料用米向け水稻品種・系統の収量性.

主な用途	品種・系統名	出穂期 (月/日)	穂数 (本/㎡)	千粒重 (g)	1穂粒数	1穂シンク容量 (g)	登熟歩合 (%)	粗玄米重 (g/㎡)	稈長 (cm)	倒伏程度 (0-5)
主食用	まっしぐら	7/27 ^g	491 ^{bc}	22.3 ^{efg}	89 ^{def}	1.99 ^{def}	90.7 ^a	809 ^{cde}	83 ^b	0.9 ^{bc}
	ちほみのり	7/27 ^g	586 ^a	21.8 ^g	78 ^f	1.69 ^f	88.7 ^a	828 ^{bcd}	79 ^{bcd}	0.8 ^{bc}
	あきたこまち	7/30 ^{ef}	507 ^b	22.0 ^{fg}	83 ^{ef}	1.84 ^{ef}	86.4 ^a	769 ^{def}	93 ^a	2.9 ^a
	萌えみのり	8/ 2 ^{bcd}	560 ^{ab}	23.1 ^{efg}	77 ^f	1.77 ^f	78.6 ^a	853 ^{abc}	76 ^{cde}	0.3 ^{bc}
	ひとめぼれ	8/ 4 ^{abc}	595 ^a	22.3 ^{efg}	76 ^f	1.70 ^f	78.5 ^a	702 ^f	92 ^a	3.6 ^a
	えみのあき	8/ 6 ^a	534 ^{ab}	22.5 ^{egf}	72 ^f	1.62 ^f	84.4 ^a	751 ^{ef}	69 ^{fg}	0.0 ^c
飼料用	べこごのみ	7/22 ^h	322 ^f	21.7 ^g	143 ^a	3.11 ^{abc}	77.5 ^a	811 ^{cde}	81 ^{bc}	0.0 ^c
	奥羽 436 号	7/24 ^h	353 ^{def}	23.3 ^{ef}	113 ^{abcde}	2.64 ^{bc}	83.1 ^a	898 ^a	76 ^{cde}	0.3 ^{bc}
	いわいだわら	7/29 ^{fg}	332 ^{ef}	25.1 ^d	141 ^{ab}	3.54 ^a	78.7 ^a	873 ^{abc}	92 ^a	1.6 ^b
	ふくひびき	7/31 ^{def}	405 ^{de}	23.6 ^e	110 ^{bcde}	2.60 ^{bcd}	86.5 ^a	866 ^{abc}	80 ^{bc}	0.8 ^{bc}
	羽系 2078	7/31-	377-	29.2-	103-	3.00-	91.4-	934-	81-	0.0-
	奥羽 427 号	7/31 ^{de}	419 ^{cd}	28.0 ^c	90 ^{def}	2.53 ^{cde}	86.8 ^a	866 ^{abc}	80 ^{bc}	0.0 ^c
	奥羽 418 号	8/ 2 ^{cde}	352 ^{def}	27.8 ^c	125 ^{abc}	3.47 ^a	77.1 ^a	886 ^{ab}	64 ^g	0.0 ^c
	奥羽 421 号	8/ 3-	329-	28.1-	131-	3.68-	79.1-	893-	88-	0.0-
	奥羽 437 号	8/ 4 ^{abc}	343 ^{def}	30.4 ^b	115 ^{abcd}	3.51 ^a	75.7 ^a	916 ^a	73 ^{ef}	0.0 ^c
	べこあおば	8/ 4 ^{ab}	396 ^{def}	32.4 ^a	102 ^{cdef}	3.29 ^{ab}	77.8 ^a	900 ^a	74 ^{de}	0.0 ^c
主食用	平均値	8/ 1	546	22.3	79	1.77	84.5	786	82	1.4
飼料用	平均値	7/30	363	27.0	117	3.14	81.4	884	79	0.3

多肥移植栽培における 2015 年, 2016 年の平均値. 「奥羽 421 号」は 2015 年, 「羽系 2078」は 2016 年の値. 1 穂シンク容量: 1 穂粒数 × 1 粒重. 倒伏程度: 0 (皆無)～5 (完全倒伏). 同一文字を付した数値は, 対応ありの Bonferroni 法 (n=4, 2 年間 × 2 反復) により 5% 水準で有意でないことを示す.

で穂数が 361 本/m² から 445 本/m² に増加した. 倒伏程度は, 0.7 から 1.9 に増加し, 特に, 「いわいだわら」では 1.4 から 3.3 に, 「ふくひびき」では 0.9 から 2.5 に大きく増加した. 粗玄米重は, 有意ではないものの 4 品種平均で 857 g/m² から 816 g/m² に減少した. その減少程度は, 「ふくひびき」がやや小さく, 「いわいだわら」が最も小さかった. すなわち, 多肥直播栽培においては, 倒伏程度が大き

かった「いわいだわら」や「ふくひびき」が, むしろ粗玄米重の減少程度が小さかった.

5. 多肥移植栽培における多収系統の収量性

「奥羽 421 号」は「べこあおば」と比較して, 稈長が長く, 穂数が少なく, 千粒重が少なかった (第 4 表). 粗玄米重は, 有意差は認められなかったが, 3% 多かった. 風乾全重や

藁重にも有意差は認められなかった。「奥羽 427 号」は「ふくひびき」と比較して、稈長は同程度、穂数は同程度、千粒重が重かった。粗玄米重は同程度であった。「奥羽 436 号」は、同じ極早生品種の「べこごのみ」と比較して、稈長は、有意差は認められないが 7 cm 短く、穂数、千粒重は同程度であった。その結果、「奥羽 436 号」は、「べこごのみ」より粗玄米重が 11%、有意に多く、早生品種の「ふくひびき」と粗玄米重が同程度であった。乾物生産の点からは、「奥羽 436 号」は「べこごのみ」と比較して、風乾全重に差異は認められなかったが、藁重が少なかった。「奥羽 437 号」は「べこあおば」と比較して、稈長は同程度であり、穂数は、有意差は認められないがやや少なく、千粒重も有意差は認められないがやや軽かった。粗玄米重は、有意差は認められないが 3% 多かった。「羽系 2078」は、「ふくひびき」より粗玄米重が 2 年間の平均で 3% 多かった。以上のように、「ふくひびき」、「べこあおば」と比較して、粗玄米重が 3% 程度多い系統は認められたが、統計的に有意に多い系統は認められなかった。

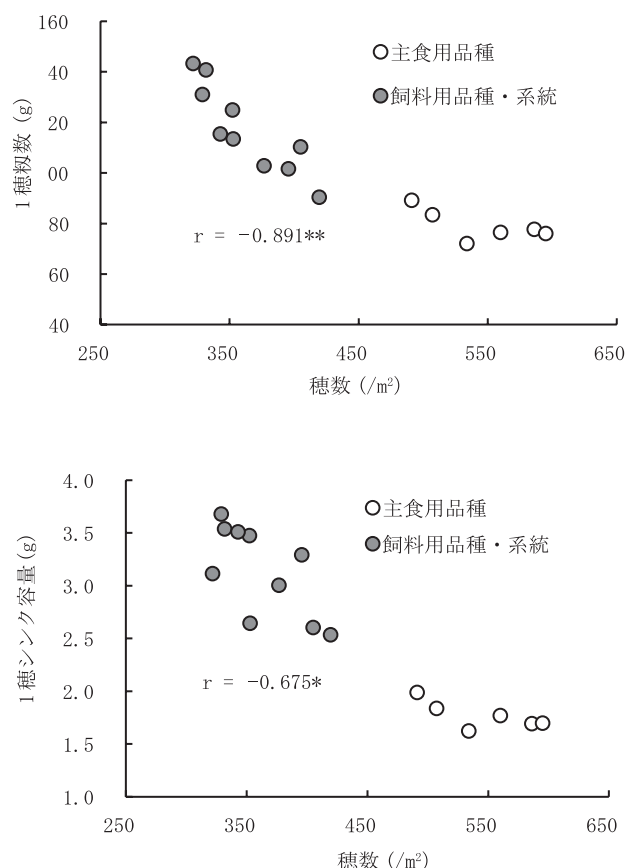
6. 飼料用米品種・系統と主食用品種の収量性の比較

2015 年、2016 年の多肥移植栽培について、簡易法により測定した 1 穂粒数、および登熟歩合を含めた収量関連形質を主食用品種と飼料用米品種・系統の間で比較した（第 5 表）。概して、飼料用米品種・系統は、主食用品種と比較して、穂数が少なく、また 1 穂粒数が多い、あるいは千粒重が重いこと 1 穂シンク容量（=1 穂粒数×1 粒重）が明らかに大きかった。登熟歩合には有意な差異は認められなかった。その結果、粗玄米重は、飼料用米品種・系統が主食用品種より多い傾向にあった。穂数と 1 穂粒数、1 穂シンク容量との関係を第 1 図に示した。すべての品種・系統を込みした場合、穂数が増加すると、1 穂粒数および 1 穂シンク容量が減少するという関係が認められた。飼料用米品種・系統は、主食用品種と比較して、穂数は少ないが、1 穂粒数が多く、1 穂シンク容量が極めて大きかった。飼料用米品種・系統内の穂数との相関係数は、1 穂粒数の $r=-0.891$ が 1 穂シンク容量の $r=-0.675$ より高かった。すなわち、飼料用米品種・系統においては、千粒重の大小に係わらず穂数と 1 穂粒数の間に高い負の相関関係が認められた。

考 察

1. 東北農研が育成した飼料用米向け品種・系統の収量性

本研究では、生産力検定試験の結果を解析することにより、東北地域における飼料用米向け品種・系統の収量性を明確にしようとした。まず、飼料用米品種と主食用品種の収量性を比較した（第 2 表）。前報（福罵ら 2017b）において、東北農研が育成した主食用 3 品種は既存の主食用品種と比較して、標肥移植栽培における収量差は少ないが、多肥移植栽培において多収であること、一方、「ふくひびき」は



第 1 図 東北地域における主食用および飼料用米向け水稻品種・系統の穂数と 1 穂粒数、1 穂シンク容量との関係。

1 穂シンク容量 = 1 穂粒数 × 1 精玄米粒重。相関係数 r は 10 の飼料用米品種・系統に関して算出した。** は 1% 水準、* は 5% 水準で有意であることを示す。

主食用品種と比較して標肥移植栽培においてすでに多収であることを示した。本研究においても、「ふくひびき」を含めた飼料用米品種は主食用品種と比較して、標肥移植栽培においてすでに多収であり、多肥移植栽培において収量差が拡大することを明らかにした。

次に、多肥栽培における飼料用米向け品種・系統の収量性の差異について解析した（第 3 表）。いずれの栽培方法においても、4 品種・系統の粗玄米重に有意差は認められなかった。しかし、極多肥移植栽培においては、「いわいだわら」、「ふくひびき」は倒伏程度が大きく、「奥羽 418 号」、「べこあおば」は倒伏程度が小さかった。そして、多肥移植栽培に対する極多肥移植栽培の収量比は、「いわいだわら」は 93% と低下し、「ふくひびき」は 100% と同程度であったの対して、「奥羽 418 号」と「べこあおば」は 102% とやや増加した。このことから、極多肥栽培で超多収を目指すには、耐倒伏性が優れた「奥羽 418 号」、「べこあおば」が適していると判断された。しかし、極多肥移植栽培による「奥羽 418 号」、「べこあおば」の収量増は、僅かに 2% であった。また、「べこあおば」の多肥栽培条件下における窒素追肥の時期や栽植密度の制御についても大きな増収効果は

認められていない (Fukushima ら 2011b)。これらのことから、現存の多収品種・系統を用いて、施肥法や栽植密度の制御によって、収量を飛躍的に高めることは困難であると考えられる。一方、多肥直播栽培は、多肥移植栽培と比べて、粗玄米重が4品種平均で95%に減少した。そして、「いわいだわら」、「ふくひびき」は、「奥羽418号」、「べこあおば」より多肥直播栽培における倒伏程度は明らかに大きいにもかかわらず、粗玄米重の減少程度は小さかった。この一因として、出穂期が「いわいだわら」は早く、「べこあおば」は遅いことが挙げられる。主食用品種の直播栽培においても、早生品種は中生品種よりも収量の減少程度が少ないことが示され、その要因として、出穂期が遅くなるに伴い登熟期間の温度や日射量が低下することが考えられている (福馬ら 2017b)。これらのことから、秋田県大仙市の気象条件においては、早生品種が中生品種よりも直播栽培に適していることが示唆される。

その後の多収系統に関しては、「ふくひびき」や「べこあおば」と比べて、稈長、穂数、千粒重に有意差が認められる場合があったが、粗玄米重が有意に多い系統は見つからなかった (第4表)。以上の多収品種・系統の特性を明確にするため、食用品種を含めた多数の品種・系統について形質間の関係を解析したところ、飼料用向け品種・系統は共通して穂数が少なく、1穂シンク容量が極めて大きかった (第5表、第1図)。このことから、東北地域において飼料用向けの多収品種の育成においては、穂数が多い系統よりも、1穂シンク容量が大きい系統が選抜されてきたと推察される。ただし、主食用には、品質が優れることも同時に求められるため、1穂粒数が多い系統や大粒の系統は選抜されなかった。一方、飼料用米向けには、主食用と識別性があることが望ましいので、むしろ品質が劣る大粒や1穂粒数の多い系統が選抜されてきたという点も考慮する必要がある。

2. 今後の東北地域における飼料用米向け多収品種の育成に向けて

本研究の結果、穂数が少なく、1穂シンク容量が極めて大きいことが、飼料用米向けの多収品種・系統に共通する特性と考えられた。しかし、そのような品種・系統の中で、「ふくひびき」、「べこあおば」を明らかに上回る多収系統は認められなかった。前報 (福馬ら 2017b) においては、中食・外食用の多収品種の育成においては、乾物生産能力を高めることは必須ではなく、「ふくひびき」のように短稈で1穂粒数が多く、千粒重がやや重いことに着目することが重要であると推察した。一方、「ふくひびき」や「べこあおば」を上回る極多収品種を育成するためには、新たな方向性が必要であろう。その一つとして、インド型品種の利用が挙げられる。すなわち、東北地域ではやや大粒～極大粒の日本型品種で多収を達成しているのに対して、それ以南の地域では、粒大は標準的な「タカナリ」や「北陸

193号」などのインド型品種によって多収を達成している事例がみられる。しかし、最近、長田ら (2016) は、インド型品種は日本型品種よりも多収を達成するための登熟適温が高いと推定している。よって、登熟期間の気温が低い東北地域においては、インド型品種の特性を利用した極多収品種の育成は難しいと推察される。一方、収量性を高めるためには、草丈を高く、葉面積密度を低くすることによって全乾物重を多くするという方向性もある (武田ら 1983, 黒田ら 1989)。しかし、東北地域においては、風乾全重や藁重は、出穂期が遅いほど多いという関係にあり、稈長との間には有意な正の相関関係は認められない (福馬ら 2017a)。また、本研究における多収品種・系統の中では、「いわいだわら」と「奥羽421号」は、稈長が長い風乾全重は多くはない。以上のように、「ふくひびき」や「べこあおば」を上回る極多収品種を育成するための明確な方向性は見当たらない現状にある。

一方、飼料用米向け水稻の生産現場においては、極多収を実現することよりも、安定多収、および省力・低コスト・規模拡大が重要であろう。現在の東北地域における飼料用米向け品種は、多収であるが、安定性という点からは、育苗時の発芽・出芽が不安定である (福馬ら 2015b)、穂ばらみ期耐冷性が弱い、特殊ないもち病真性抵抗性を持ち、その崩壊の危険性がある等の問題がある。「奥羽427号」は、穂ばらみ期耐冷性が強く、「羽系2078」は、穂ばらみ期耐冷性およびいもち病圃場抵抗性が強い (東北農研内部資料、水稻品種育成試験成績書)。これらの系統は、「ふくひびき」や「べこあおば」を上回る多収系統ではないが、安定性が改善された系統と言える。また、「奥羽436号」は、極早生品種の中では、既存の多収品種「べこごのみ」以上の多収であることから、直播栽培、晩植栽培、東北北部の移植栽培などの利用が期待できる。今後の課題としては、著者らの東北農研内および現地の観察によると、飼料用米向け品種は、ばか苗病、紋枯れ病、カラバエに弱い傾向にあり、これらの病虫害に対する抵抗性を備えた品種の育成が挙げられる。また、「いわいだわら」は「ふくひびき」と比較して、本研究を実施した秋田県大仙市においては、収量が同程度かやや劣るが、普及地域である岩手県一関市においては、収量が同程度かやや優る (福馬ら 2014)。このように品種によって、栽培適地が異なるので、その要因を解明するとともに、広域適応性の品種を育成することも必要であろう。さらに、省力・低コスト・規模拡大の点からは、苗立ち性の優れた直播適性品種、作期拡大を可能とする晩植適性品種、玄米が乾燥しやすく乾燥費を削減できる品種の育成なども重要であろう。

引用文献

- Fukushima, A., Shiratsuchi, H., Yamaguchi, H. and Fukuda, A. 2011a. Varietal differences in morphological traits, dry matter production and yield of high yielding rice in the Tohoku region of Japan. *Plant Prod.*

- Sci. 14: 47-55.
- Fukushima, A., Shiratsuchi, H., Yamaguchi, H. and Fukuda, A. 2011b. Effects of nitrogen application and planting density on morphological traits, dry matter production and yield of large grain type rice variety Bekoaoba and strategies for super high-yielding rice in the Tohoku region of Japan. *Plant Prod. Sci.* 14: 56-63.
- 福島陽・太田久稔・梶亮太・津田直人・中込弘二・山口誠之・片岡知守・遠藤貴司・田村泰章 2014. 東北中南部の飼料用米生産に適した水稻品種「いわいだわら」の育成. *東北農研研報* 116: 1-11.
- 福島陽・太田久稔・梶亮太・津田直人 2015a. 生産力検定試験成績を利用した水稻の収量形成要因の解析. *日作紀* 84: 249-255.
- 福島陽・太田久稔・梶亮太・津田直人 2015b. 東北地域 of 飼料用水稻品種における温湯消毒および低温浸種が種子の発芽率に及ぼす影響. *日作紀* 84: 439-444.
- 福島陽・横上晴郁・津田直人 2017a. 東北地域における多収・高品質の水稻品種を育成するために着目すべき形質の解析. *日作紀* 86: 236-242.
- 福島陽・太田久稔・梶亮太・津田直人 2017b. 東北農研が育成した水稻品種における多肥栽培および直播栽培の収量・品質. *日作紀* 86: 339-346.
- 黒田栄喜・大川泰一郎・石原邦 1989. 草高の異なる水稻品種の乾物生産の相違とその要因の解析, とくに個体群内におけるガス拡散に着目して. *日作紀* 58: 374-382.
- Mae, T., Inaba, A., Kaneta, Y., Masaki, S., Sasaki, M., Aizawa, M., Okawa, S., Hasegawa, S. and Makino, A. 2006. A large-grain rice cultivar, Akita 63, exhibits high yields with high physiological N-use efficiency. *Field Crops Res.* 97: 227-237.
- 長田健二・大角壮弘・吉永悟志・中野洋 2016. 水稻多収品種における登熟期気象条件と収量との関係の品種間差. *日作紀* 85: 367-372.
- 武田友四郎・岡三徳・梶和一 1983. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第1報 明治期以降の新旧品種の乾物生産特性. *日作紀* 52: 299-306.
- Wang, Y., Kuroda, E., Hirano, M. and Murata, T. 1997. Analysis of high yielding mechanism of rice varieties belonging to different plant types, I. Comparison of growth and yield characteristics and dry matter production. *Jpn. J. Crop Sci.* 66: 293-299.

Yielding Ability of Rice Varieties and Lines for Feed in the Tohoku Region of Japan : Akira FUKUSHIMA¹⁾, Hisatoshi OHTA²⁾, Narifumi YOKOGAMI²⁾ and Naoto TSUDA²⁾ (¹⁾ Agri-Food Business Innovation Center, NARO, 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8517, Japan; ²⁾ Tohoku Agricultural Research Center, NARO)

Abstract : Yielding abilities of elite high yield varieties “Fukuhibiki” and “Bekoaoba”, a new high yield variety “Iwaidawara”, and a new high yield line “Ouu418” were examined, using the data of the performance test for breeding. These varieties, which were for feed, showed higher yield, compared with the varieties for staple food under the condition of standard nitrogen application. The varietal difference in yield was enlarged by high nitrogen application (HN). The yield did not significantly vary with variety or line by HN. By contrast, “Bekoaoba” and “Ouu418”, which had a short culm and strong lodging resistance, had slightly higher yield by extremely HN. However, the increase in yield was only 2%, suggesting that it was difficult to increase the yield by extremely HN. Yielding abilities of 10 varieties and lines including other new lines for feed and 6 varieties for staple food were compared. All 10 varieties and lines had the smaller number of panicles per area and the larger sink size per panicle (=the number of spikelet per panicle × single grain weight). However, we found no lines showing significantly higher yield, compared with the high yield varieties “Fukuhibiki” and “Bekoaoba”. We concluded that breeding for extremely high yield was difficult and that breeding for varieties with a stable high yield and that allow large scale - low cost cultivation was more important.

Key words : Feed rice, High nitrogen application, Rice, Tohoku region, Yield.