

ISSN 2188-6806

BULLETIN
OF
THE AKITA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION

No. 58
March 2020

秋田県農業試験場研究報告

第 58 号
令和 2 年 3 月

秋 田 農 試
研 究 報 告

Bull. AKITA
Agric. Exp. Stn.

AKITA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION

AKITA, JAPAN

秋 田 県 農 業 試 験 場

秋田県農業試験場研究報告第 58 号

目 次

研 究 報 告

水稻品種“ぎんさん”の栽培特性の解明と目標収量及び収量構成要素の設定

1 ～10

柴田 智，佐藤健介，小玉郁子，川本朋彦，伊藤征樹，佐山 玲

カドミウム低吸収性遺伝子 (*osnramp5-2*) をヘテロで持つイネのカドミウム吸収性

11～14

高橋 竜一，伊藤 正志，川本 朋彦

研 究 短 報

輸入樹脂被覆肥料 (PCU) の窒素溶出特性と水稻への肥効

15～20

伊藤 千春，渋谷 允

BULLETIN
OF
THE AKITA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION
No.58 (March 2020)
CONTENTS

Original Reports

Investigation of Cultivation Characteristics and an Establishment of Yield Targets and Yield Components, in the Rice Variety“Ginsan”

1～10

Satoru SHIBATA, Kensuke SATO, Ikuko KODAMA, Tomohiko KAWAMOTO ,
Masaki ITOH and Akira SAYAMA

Cadmium absorption of *OsNRAMP5/osnramp5-2* hetero plants

11～14

Ryuichi TAKAHASHI, Masashi ITO and Tomohiko KAWAMOTO

Short Reports

Nitrogen Release Characteristics and Fertilizer Response to Paddy Rice of Imported Coated Urea

15～20

Chiharu ITO and Makoto SHIBUYA

水稻品種“ぎんさん”の栽培特性の解明と 目標収量及び収量構成要素の設定

柴田 智, 佐藤健介, 小玉郁子, 川本朋彦, 伊藤征樹*, 佐山 玲

Investigation of Cultivation Characteristics and Setting of Target Yield and Yield Components, in the Rice Variety "Ginsan"

Satoru SHIBATA, Kensuke SATO, Ikuko KODAMA, Tomohiko KAWAMOTO, Masaki ITOH* and
Akira SAYAMA

(Akita Agricultural Experiment Station, *Present Address : Akita Prefectural Plant Protection Office)

Abstract

In this study, we discussed about characteristics of rice variety "Ginsan", using the results of fertilizer experiment from 2011 to 2017. In the same of fertilizer condition, the yield of "Ginsan" was about 19% higher than that of "Akitakomachi". The protein content in the grains of "Ginsan" was less than "Akitakomachi". There were no significant differences between the number of panicles per m² and the percentage of ripened grains in "Ginsan" and "Akitakomachi". A larger number of spikelets per panicle and a larger 1,000 grain weight was observed in "Ginsan" compared to "Akitakomachi". When the topdressing of nitrogen was applied at the panicle formation stage or the meiotic stage, a higher whole grain rate and lower protein content were influenced with on the presence or absence of topdressing. The protein content in the grains showed a significant correlation with the leaf color value at the full heading stage. When the leaf color value at the full- heading stage is 35.8, it can be estimated that the protein content in the grains will be about 7.3%. Furthermore, we set that a target yield was 66 kg/a. In that case, the target components were 460~470 to number of panicles per m², 72~74 to number of spikelets per panicle, 34,000 to number of spikelets per m², 80 to percentage of ripened grains and 24.5g of 1,000grain weight.

Key Words: rice, Ginsan, protein content, 1,000 grain weight, top dressing, target yield

緒 言

水稻品種“ぎんさん”は、コストパフォーマンスに優れた純米酒の原料米品種として開発され、2015 年 9 月に品種登録された（品種登録番号第 24455 号）。この品種は、秋田県の主要品種“あきたこまち”に比較して、収量性が高く、醸造適性に優れ、製成酒の官能評価が優れるため、高品質で低価格の純米酒用原料米としての利用が見込まれている（佐藤ら 2014）。

“ぎんさん”の一般栽培は、2015 年から始まり、2018 年には作付面積が 200ha 程度まで増加している。

また、共同育成機関である秋田県総合食品研究センター醸造試験場が開発した、「蔵付き分離酵母」（大野ら 2016）や県オリジナル酵母「AKITA 雪国酵母」を使用し“ぎんさん”を原料米とした純米酒の商品（平成 30 年度 総合食品研究センターの業務概要 秋田県総合食品研究センター）が発売される等県内酒造会

本報告の一部は、第 60 回東北農業試験研究発表会で発表した。

秋田県農業試験場, *現秋田県病害虫防除所

2020 年 3 月 17 日受理

社からの需要が増えてきている。

一方、米の消費量が減少する中、多様な用途別需要に適応した生産・販売を行うことが米産地や生産者に求められ（小野 2013）、秋田県でも多様な品種構成による米の生産・販売戦略が提案されている（秋田米生産・販売戦略 秋田の米ぢから 平成 29 年 9 月秋田県農林水産部）。こうした米情勢の中、“ぎんさん”の普及は、秋田県の米戦略とも合致し、その酒造用原料米としての特徴を生かした高品質安定多収生産技術の確立は重要と考えられる。しかし、栽培特性の解明が不十分で、栽培暦等の栽培資料が未完成であった。

そこで、2011～2016 年に行った生産力検定試験・奨励品種決定調査及び 2017 年の施肥反応試験の結果を用いて、“あきたこまち”と比較した“ぎんさん”の栽培特性をまとめるとともに、目標収量及び収量構成要素等を作成したので報告する。

材料と方法

試験—1 “あきたこまち”と比較した“ぎんさん”の生育と収量性

生産力検定試験・奨励品種決定調査は、2011～2016 年に秋田農試圃場（以下農試）で行った。品種は、“ぎんさん”と“あきたこまち”を用いた。育苗は、乾籾 100g/箱播きで約 35 日育苗の中苗を用いた。移植は、5 月 14～16 日に栽植密度 22.2 株/m²で一株当たり 4 本になるよう手植えで行った。

試験区は、基肥量（N-P₂O₅-K₂O）各 0.6～0.7kg/a の標肥区と各 0.9～1.2kg/a の多肥区を設定した。反復は、2012～2014 年が 3 反復で、他の年は 2 反復で行った。追肥は、2011～2014 年は減数分裂期に窒素量で 0.2kg/a 施用し、2015、16 年は無施用とした。

収量調査は、1 区 64 株の坪刈により行った。玄米重と千粒重は、玄米水分 15%に換算して算出した。節目は、2011～2012 年が 1.85mm、2013～2016 年は 1.9mm を使用した。玄米外観品質は、（財）日本穀物検定協会東北支部に依頼して 9 段階で評価した。

玄米蛋白質含有率は、2012～2016 年産の精玄米について近赤外分析装置（ヒールテック社 Spectra Star）を使用して測定し、乾物換算した値を用いた。

分解調査は、2016 年の奨励品種決定調査（農試本試験及び現地調査（大館市、男鹿市））において、成熟期に平均穂数に近い株を 3 株採取して調査した。

試験—2 追肥時期・量の違いが生育・収量・品質に及ぼす影響

追肥に関する施肥反応試験は、2017 年に農試で行った。育苗は、乾籾 100g/箱播きで 31 日育苗の中苗を用いた。移植は、5 月 15 日に栽植密度 22.2 株/m²で一株

当たり 4 本になるよう手植えで行った。基肥量（N-P₂O₅-K₂O）は、各 0.7kg/a の標肥区と各 1.2kg/a の多肥区の 2 水準設けた。追肥処理は、①無追肥区（追肥窒素量 0kg/a）、②幼穂形成期追肥区（追肥窒素量 0.2kg/a、以下幼形追肥区とする）、③減数分裂期追肥区（追肥窒素量 0.2kg/a、以下減分追肥区とする）、④幼穂形成期＋減数分裂期区（追肥窒素量 0.2kg/a＋0.2kg/a、以下幼形＋減分区とする）、⑤幼穂形成期＋減数分裂期区（追肥窒素量 0.3kg/a＋0.3kg/a、以下 3＋3 区とする）の 5 区を設定し 2 反復で行った。

生育調査は、1 区 10 株を調査した。

収量調査は、1 区 80 株の坪刈により行った。玄米重と千粒重は、節目 1.9mm を使用した精玄米について、玄米水分 15%に換算して算出した。玄米外観品質は、（財）日本穀物検定協会東北支部に依頼して 9 段階で評価した。玄米の整粒率と未熟粒率は、（株）サタケ製穀粒判別器（RGQI20A）を使用し、1000 粒/区調査した。

玄米蛋白質含有率は、改良デュマ燃焼法（SUMIGURAPH NC-TRINITY）により全窒素含量を測定し、これに蛋白質換算係数 5.95 を乗じて乾物換算で算出した（秋田県総合食品研究センター醸造試験場分析）。

分解調査は、成熟期に平均穂数に近い株を 3 株採取して調査した。

試験—3 目標収量の設定及び収量構成要素等の策定

試験—1 と 2 のデータを使用して、目標収量及び収量構成要素等の策定と時期別生育目標例の提示を行った。

結 果

試験—1 “あきたこまち”と比較した“ぎんさん”の生育と収量性

“ぎんさん”と“あきたこまち”の生育調査及び収量調査結果をそれぞれ第 1 表に示した。“ぎんさん”は“あきたこまち”に比べて、稈長は短く、穂長は長かったが、穂数は有意な差がなかった。最高分けつ期では、草丈と茎数ともに有意な差がなかった。倒伏程度は両品種とも同程度であった。全重は重いかわら重の差がなく、精籾重が重く籾わら比の高い草型であった。“ぎんさん”の玄米重は、最小 56.2～最大 81.5kg/a（全区平均 71.1kg/a）で“あきたこまち”より最小 114～最大 126%（全区平均 119%）重く、千粒重は最小 22.6～最大 24.8g（全区平均 23.8g）で最小 104～最大 108%（全区平均 107%）重かった。玄米の外観品質は同程度で、玄米蛋白質含有率は低かった。

第1表 生育・収量調査結果

品種名	試験区	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	草丈 ¹⁾ cm	茎数 ¹⁾ 本/m ²	倒伏 ²⁾ 0-5	全重 kg/a	わら重 kg/a	精粒重 kg/a	玄米重 ³⁾ kg/a	千粒重 ³⁾ kg/a	品質 ⁴⁾ 1-9	タンパク質 ⁵⁾ d.w.%
ぎんさん	標肥	68	17.8	443	54	617	0.2	154.2	63.1	83.3	67.3	24.1	2.6	7.4
	多肥	76	17.9	494	59	722	0.7	173.9	74.5	94.0	74.8	23.6	3.4	7.2
あきたこまち	標肥	76	17.1	431	54	566	0.0	136.9	62.0	70.7	56.4	22.6	2.1	7.4
	多肥	85	17.1	476	59	696	1.0	161.1	74.6	79.9	62.6	22.0	2.9	7.7
分散分析 ⁶⁾	品種間	***	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	**	***	***	n.s.	*
	基肥量間	***	n.s.	**	*	*	*	**	**	**	**	†	n.s.	n.s.
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

1) 草丈と茎数は、最高分けつ期に調査した。

2) 倒伏は、0(無)～5(完全倒伏)の6段階評価。

3) 玄米重と千粒重は、玄米水分15%換算値。

4) 品質は、良(1)～不良(9)の9段階評価。

5) タンパク質は、玄米蛋白質含有率(乾物換算値)を示す。

6) ***, **, *, †は、それぞれ0.1、1、5、10%水準で有意な差があり、n.s.は、差がないことを示す。

第2表 ぎんさんの玄米重と生育調査結果の重回帰分析

目的変数	説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	判定
玄米重	穂長	11.6	0.87	**
	穂数	0.1	0.44	*
修正済み決定係数		0.670		
F値		12.2	**	

注) **, *はそれぞれ1、5%水準で有意

第3表 あきたこまちの玄米蛋白質含有率と生育・収量調査結果の重回帰分析

目的変数	説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	判定
玄米蛋白質含有率	玄米重	0.05	0.58	*
	茎数	0.00	-0.37	n.s.
修正済み決定係数		0.412		
F値		4.8	*	

注) **, *はそれぞれ1、5%水準で有意、n.s.は有意でないことを示す。

第4表 分解調査結果

品種名	穂長 cm	枝梗数		粒数		1穂粒数	総粒数 ×千/m ²	登熟歩合 %	節間長(cm)				
		1次	2次	1次	2次				1	2	3	4	5
ぎんさん	17.8	9.9	13.8	53.7	38.8	92.5	38.4	90	30.0	17.5	11.4	7.0	1.4
あきたこまち	16.6	9.3	13.2	51.1	36.3	87.4	34.3	89	29.6	18.8	14.9	8.1	1.4
分散分析	***	*	***	**	n.s.	*	†	n.s.	n.s.	**	***	n.s.	n.s.

注) ***, **, *, †は、それぞれ0.1、1、5、10%水準で有意な差があり、n.s.は、差がないことを示す。

穂長、枝梗数、粒数は、各株最長穂長から1、3、5、7番目の穂を調査した。

標肥区と多肥区を比較すると、両品種ともに多肥区で穂長が長く、穂数が多く、最高分けつ期の草丈が長く、茎数が多かった。全重、わら重、精粒重、玄米重は重く、千粒重は軽くなる傾向であった。倒伏程度は大きくなった。玄米外観品質と玄米蛋白質含有率は差がなかった。しかし、玄米蛋白質含有率において品種と基肥量の交互作用が見られた。

以上の項目を説明変数、玄米重を目的変数として、増減法により重回帰分析を行った。“ぎんさん”では、穂長と穂数の項目が選択され、それぞれの標準偏回帰係数は0.87と0.44であった(第2表)。“あきたこまち”では、穂長の項目が選択されたが有意ではなかった(表省略)。

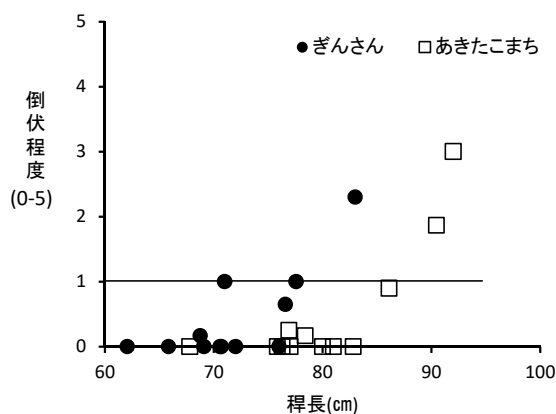
また、目的変数を玄米蛋白質含有率にして重回帰分析を行ったところ、“ぎんさん”では、穂長と千粒重の項目が選択されたが有意ではなかった(表省略)。

“あきたこまち”では、玄米重と最高分けつ期の茎数が選択され、玄米重の標準偏回帰係数は0.58であったが、最高分けつ期の茎数は有意ではなかった(第3表)。

“ぎんさん”と“あきたこまち”の分解調査結果を第4表に示した。“ぎんさん”は“あきたこまち”に

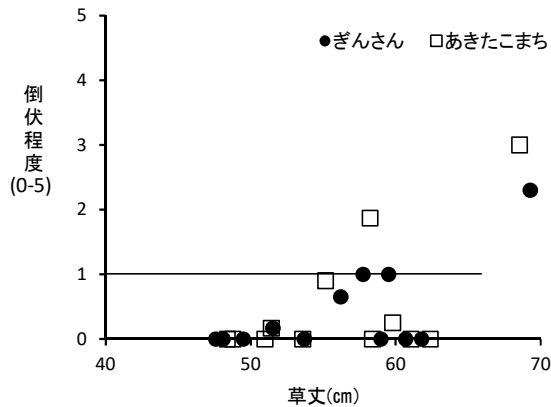
比べて、1次、2次ともに枝梗数が多く、1次枝梗粒数は多かったが、2次枝梗粒数は有意な差がなかった。1穂粒数と総粒数は多く、登熟歩合の差はなかった。節間長は、第2、3節間が短かった。

穂長と倒伏の関係を見ると、両品種ともに穂長が長くなると倒伏程度が大きくなったが、“ぎんさん”は“あきたこまち”に比べて、穂長が短いときから倒伏程度が大きくなり、穂長71cm以上で倒伏程度1.0以上になった(第1図)。



第1図 穂長と倒伏の関係

最高分げつ期の草丈と倒伏の関係を見ると、両品種ともに同じ傾向で、草丈が長くなると倒伏程度が大きくなり、草丈 57cm 以上で倒伏程度 1.0 以上になった。また、草丈が同じなら“ぎんさん”の方が倒伏程度が小さい傾向であった（第 2 図）。



第2図 最高分げつ期の草丈と倒伏の関係

試験—2 追肥時期・量の違いが生育・収量・品質に及ぼす影響

生育調査の結果を第 5 表に示した。稈長は、多肥区が標肥区より長く、追肥量が多くなると長くなる傾向であった。穂長は、基肥量の差が判然としなかったが、追肥量が多くなると長くなる傾向であった。穂数は、多肥区が標肥区より多く、特に 3+3 区で多かった。倒伏程度は、多肥区が標肥区より大きく、追肥量が多くなると大きくなる傾向であった。

収量調査の結果を第 6 表に示した。全重と精粒重は、多肥区が標肥区より多くなる傾向であった。標肥区は、追肥により多くなったが、多肥区は、追肥の影響は判然としなかった。わら重は、多肥区が標肥区より多くなる傾向であったが、追肥を 2 回した区では追肥の影響は判然としなかった。わら比は、基肥の影響は判然としなかったが、追肥を 1 回した区では高かった。

第5表 基肥別追肥別生育・分解調査結果

基肥 水準	平均	追 肥 処 理				
		無	幼形	減分	幼+減	3+3
草丈 cm	標肥 59.7 多肥 68.1	57.2 66.1	58.8 69.3	60.1 66.5	59.9 69.2	62.3 69.4
茎数 本/㎡	標肥 26.9 多肥 35.6	27.9 36.3	26.4 37.1	26.8 35.2	25.8 33.6	27.7 35.9
穂長 cm	標肥 19.6 多肥 19.8	18.2 19.0	19.5 19.3	19.3 19.6	20.0 20.3	21.2 20.6
稈長 cm	標肥 71.6 多肥 80.4	66.1 76.4	71.1 82.3	71.2 77.6	72.2 82.0	77.4 83.8
穂数 本/㎡	標肥 461 多肥 530	437 535	458 533	422 500	460 517	526 567
倒伏 (0-5)	標肥 0.5 多肥 1.0	0 0.5	0.5 1	0.3 0.9	0.5 1.3	1 1.5
登熟歩合 %	標肥 76.9 多肥 65.8	85.9 78.6	78.7 65.6	82.0 70.3	75.7 57.3	62.4 56.9
1穂粒数 粒	標肥 75.2 多肥 74.9	63.5 67.8	74.1 71.5	77.7 74.3	79.4 82.3	81.3 78.6
㎡粒数 千粒/㎡	標肥 34.7 多肥 39.7	27.7 36.3	33.9 38.1	32.8 37.1	36.4 42.6	42.8 44.6

注) 無: 無追肥、幼形: 幼穂形成期 N0.2kg/a 追肥、減分: 減数分裂期 N0.2kg/a 追肥、

幼+減: 幼穂形成期 N0.2kg/a + 減数分裂期 N0.2kg/a 追肥、

3+3: 幼穂形成期 N0.3kg/a + 減数分裂期 N0.3kg/a 追肥

草丈と茎数は幼穂形成期に調査した。

第6表 基肥別追肥別収量・品質調査結果

基肥 水準	平均	追 肥 処 理				
		無	幼形	減分	幼+減	3+3
全重 kg/a	標肥 165.4 多肥 175.4	150.6 174.2	158.2 172.7	156.9 177.1	173.8 175.9	187.3 177.3
精粒重 kg/a	標肥 89.0 多肥 93.0	77.0 92.8	88.8 94.1	89.6 94.8	88.3 90.0	101.2 93.5
わら重 kg/a	標肥 76.4 多肥 82.4	73.6 81.4	69.4 78.7	67.3 82.2	85.5 85.9	86.1 83.8
わら比	標肥 1.18 多肥 1.14	1.05 1.15	1.28 1.20	1.33 1.16	1.05 1.06	1.18 1.12
玄米重 kg/a	標肥 72.1 多肥 76.2	61.9 76.3	71.4 77.1	73.6 78.1	72.2 73.8	81.2 75.9
千粒重 g	標肥 24.7 多肥 24.3	24.4 24.1	24.4 23.9	25.2 24.8	24.7 24.4	25.0 24.4
品質 (1-9)	標肥 2.2 多肥 2.6	2.0 2.5	2.0 2.5	2.0 2.5	2.0 2.5	3.0 3.0
玄米蛋白質 含有率 %	標肥 7.35 多肥 7.54	7.07 7.22	7.12 7.26	7.15 7.39	7.46 7.69	7.94 8.16
整粒率 %	標肥 69.7 多肥 59.4	77.2 64.5	73.9 63.2	75.0 62.2	62.8 50.8	59.7 56.4
未熟粒率 %	標肥 27.2 多肥 38.1	19.5 32.8	23.6 34.5	22.7 35.5	33.9 46.4	36.3 41.5

注) 無: 無追肥、幼形: 幼穂形成期 N0.2kg/a 追肥、減分: 減数分裂期 N0.2kg/a 追肥、

幼+減: 幼穂形成期 N0.2kg/a + 減数分裂期 N0.2kg/a 追肥、

3+3: 幼穂形成期 N0.3kg/a + 減数分裂期 N0.3kg/a 追肥

玄米重は、多肥区が標肥区より多くなる傾向であった。標肥区は、61.9～81.2kg/a の範囲で、追肥により多くなった。多肥区は、73.8～78.1kg/a の範囲で追肥の影響は判然としなかった。千粒重は、標肥区が多肥区より重く、減数分裂期追肥で特に重かった。

品質調査の結果を第 6 表に示した。玄米外観品質は、2～3 で全て 1 等米であった。整粒率は、標肥区が多肥区より高く、追肥量が多くなると低下する傾向であった。未熟粒率は、標肥区が多肥区より低く、追肥量が多くなると増加する傾向であった。玄米蛋白質含有率は、標肥区が多肥区より低く、追肥量が多くなると高くなった。

分解調査の結果を第 5 表に示した。登熟歩合は、標肥区が多肥区より高く、追肥量が多くなると低下した。1 穂粒数は、基肥量の差が判然としなかったが、追肥量が多くなると増加する傾向であった。㎡当たり粒数は、多肥区が標肥区より多く、追肥量が多くなると増加する傾向であった。

次に、各調査項目間の相関関係を分析した。

㎡当たり粒数と整粒率の間には、負の相関がみられ、整粒率を目的変数にした場合、回帰式

$$y = -0.0013x + 114.15 (R^2 = 0.5669) \text{ が得られた (第 3 図) 。}$$

㎡当たり粒数は、穂数及び 1 穂粒数ともに正の相関があり、㎡当たり粒数を目的変数にした場合、それぞれ $y = 84.968x - 4878.7 (R^2 = 0.6603)$ と、 $y = 581.02x - 6369.7 (R^2 = 0.4878)$ の回帰式が得られた（第 4、5 図）。

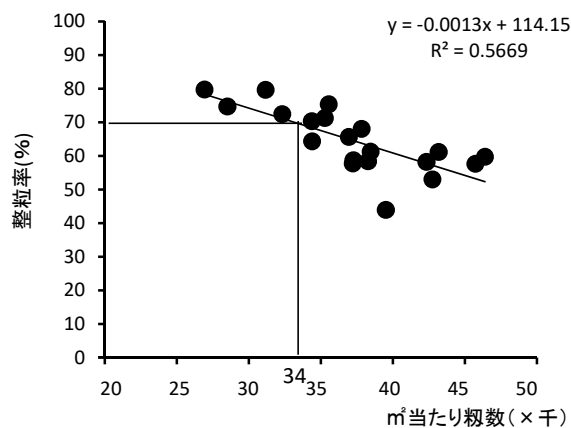
登熟歩合と整粒率の間には、正の相関がみられ、整粒率を目的変数にした場合、回帰式

$$y = 0.7475x + 11.191 (R^2 = 0.7009) \text{ が得られた (第 6 図) 。}$$

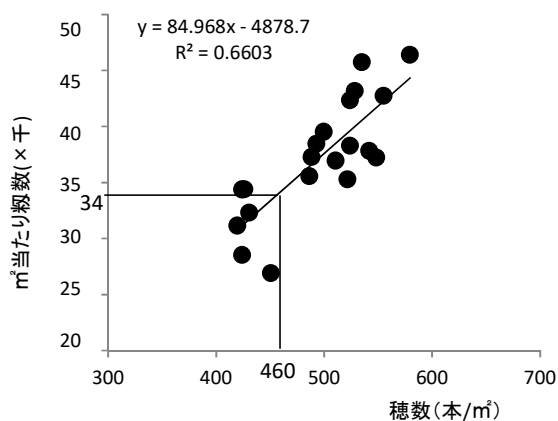
玄米蛋白質含有率と㎡当たり粒数の間には、正の相関がみられ、玄米蛋白質含有率を目的変数にした場合、回帰式 $y = 0.00006x + 5.2146 (R^2 = 0.6254)$ が得られた（第 7 図）。

玄米蛋白質含有率と穂揃い期の葉緑素計値の間には、正の相関がみられ、玄米蛋白質含有率を目的変数

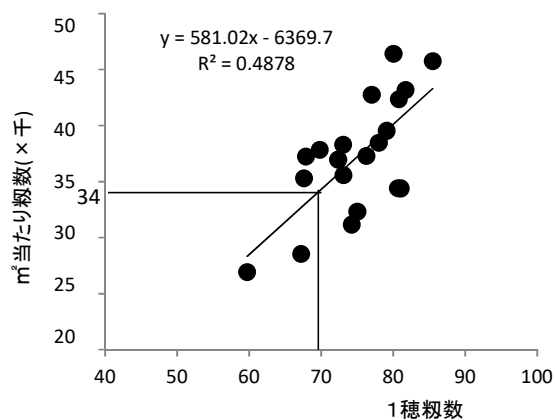
にした場合、回帰式 $y=0.1154x+3.1713$ ($R^2=0.6803$) が得られた (第8図) . ②幼形追肥区では、幼穂形成期の葉緑素計値が 38.3~43.7 の時、穂揃い期の葉緑素計値が 35.0~35.8 で玄米蛋白質含有率は 7.3%未満 (7.01~7.28%) であった (第9図) . ③減分追肥区では、減数分裂期の葉緑素計値が 34.3~36.9 の時、穂揃い期の葉緑素計値が 36.7~37.9 で玄米蛋白質含有率は 7.3%以上が 4 例中 3 例 (6.79~7.51%) あった (第10図) .



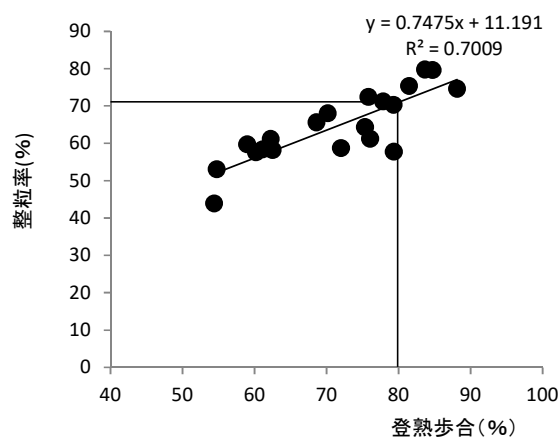
第3図 籾数と整粒率の関係



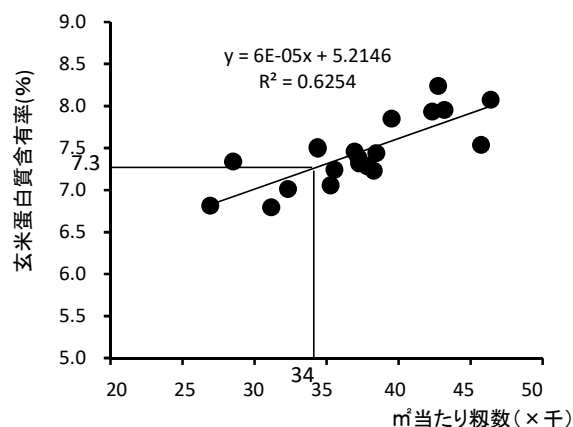
第4図 穂数と籾数の関係



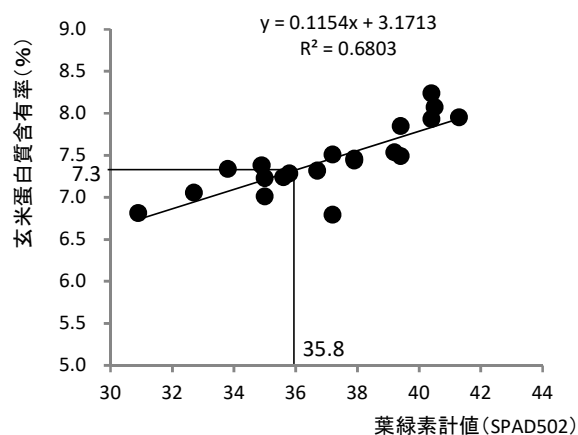
第5図 1穂籾数と籾数の関係



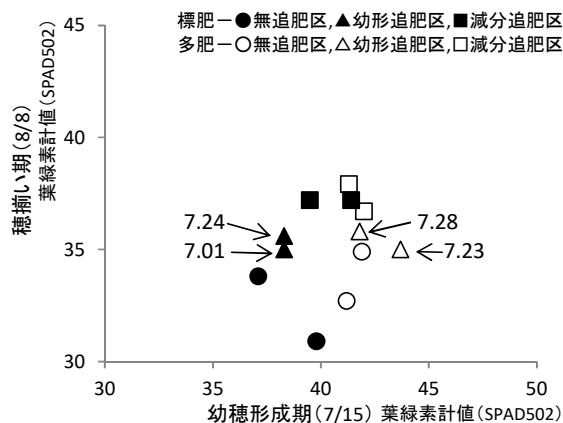
第6図 登熟歩合と整粒率の関係



第7図 籾数と玄米蛋白質含有率の関係

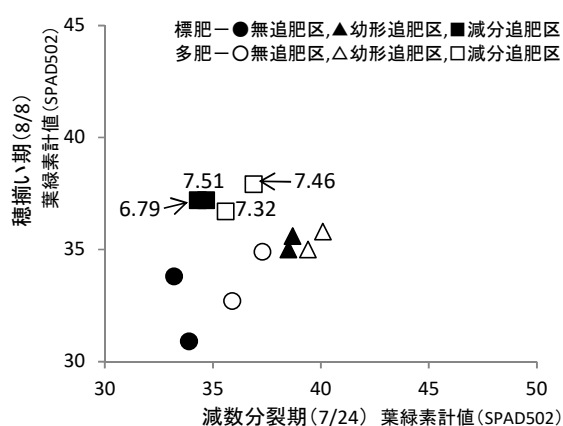


第8図 葉色と玄米蛋白質含有率の関係 (穂揃い期)



第9図 幼穂形成期と穂揃い期の葉色の関係

注) 図中の数字は玄米蛋白質含有率を示す



第10図 減数分裂期と穂揃い期の葉色の関係

注) 図中の数字は玄米蛋白質含有率を示す

そこで、穂数と m^2 当たり粒数との相関が1穂粒数と m^2 当たり粒数との相関より強かったので、穂数の目標を標準誤差を加えた値 460~470 本/ m^2 に修正した。次に、 m^2 当たり粒数が 34 千粒になるように1穂粒数を 72~74 に変更した。そして、千粒重を平均値 24.5g (第6表) とすることにより、目標収量 66.0 kg/a を確保できる収量構成要素を策定した (第7表)。また、この時の粒数から予想される玄米蛋白質含有率は 7.3%であった (第7図)。

しかし、“ぎんさん”の玄米蛋白質含有率の目標値は明らかになっていない。本試験では、目標収量に対応する粒数から玄米蛋白質含有率 7.3%が予想され、また、“ぎんさん”の平均玄米蛋白質含有率が 7.3% (第1表) であったことから、目標とする玄米蛋白質含有率を 7.3%と仮定した。この場合、玄米蛋白質含有率と葉緑素計値の関係から、穂揃い期の葉緑素計値 35.8 の時に玄米蛋白質含有率は 7.3%と考えられた (第8図)。

また、倒伏程度は、整粒率と負の相関が見られ、玄米蛋白質含有率と正の相関が見られた。倒伏程度が 0.5 以上になると整粒率は 70%未満 (第11図) で、玄米蛋白質含有率は 7.3%より大きくなる (第12図) と考えられた。そこで、倒伏程度の上限を 0.5 とした場合、稈長の目標は 73cm 下と考えられた (第13図)。

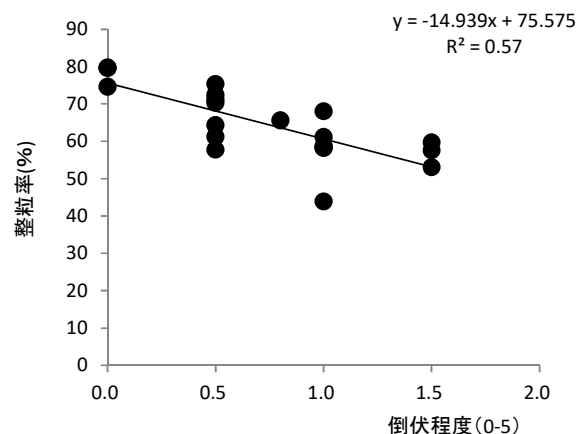
最高分げつ期の生育は、茎数が穂数と正の相関が高く、目標穂数を確保するためには 640~670 本/ m^2 必要 (第14図) で、草丈は倒伏との関係で 56cm が上限 (第2図) と考えられた。

試験—3 目標収量の設定及び収量構成要素等の策定

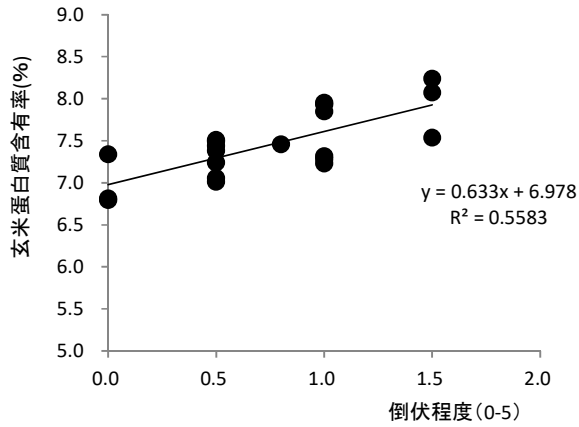
“ぎんさん”は、本試験の結果により“あきたこまち”と同一施肥量・施肥法で 14~26%の収量性向上が期待できる品種であることに基づいて目標収量の設定を行った。秋田県の“あきたこまち”の目標収量は、57.0 kg/a に設定されている (注：秋田県農林水産部 2018. 平成 30 年度稲作指導指針)。そこで、“ぎんさん”の目標収量を暫定的に 66.0 kg/a (あきたこまちの目標収量の 15%増: $57.0 \text{ kg/a} \times 115\% = 66.0 \text{ kg/a}$) に設定した。

以上の設定に基づいて、収量構成要素を策定するために第 1~10 図に示したデータを使用した。ここで 2016, 2017 年産の“ぎんさん”において、一部地域で充実度不足による等級低下が問題となったことから、最初に目標とする整粒率を 70%以上とした。目標とする整粒率を 70%以上とした場合、登熟歩合が 80%以上必要で、 m^2 当たり粒数は 34 千粒以下と考えられた (第3, 6図)。この時、穂数は 460 本/ m^2 、1穂粒数 70 粒と考えられた (第4, 5図)。

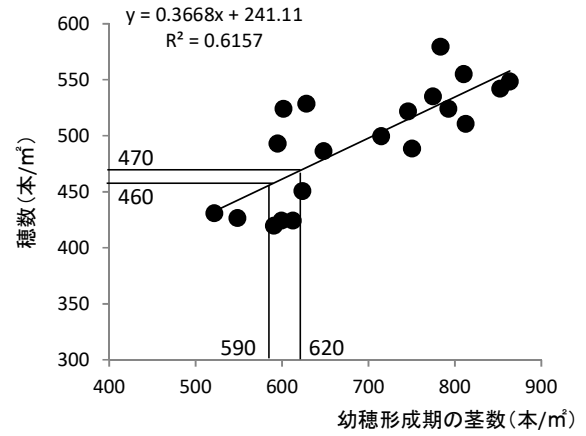
しかし、この場合、粒数は 32.2 千粒と計算された。



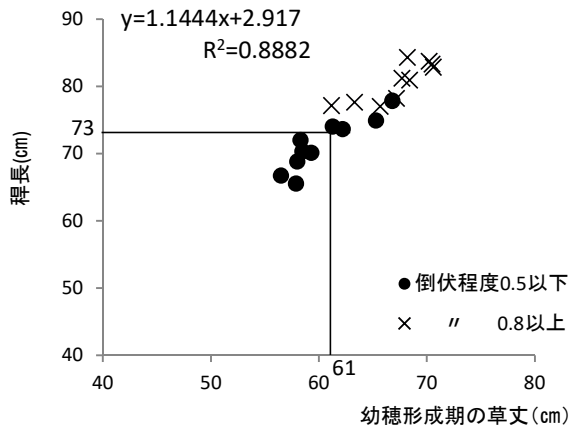
第11図 倒伏と整粒率の関係



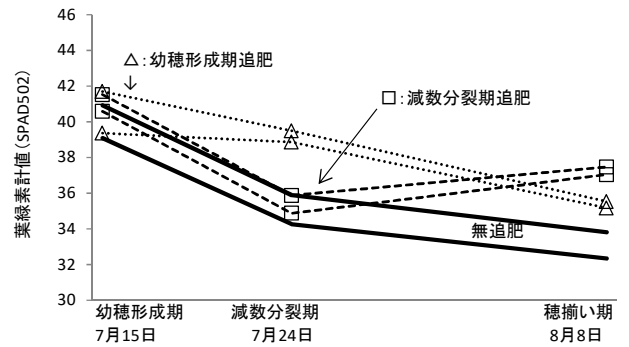
第12図 倒伏と玄米蛋白質含有率の関係



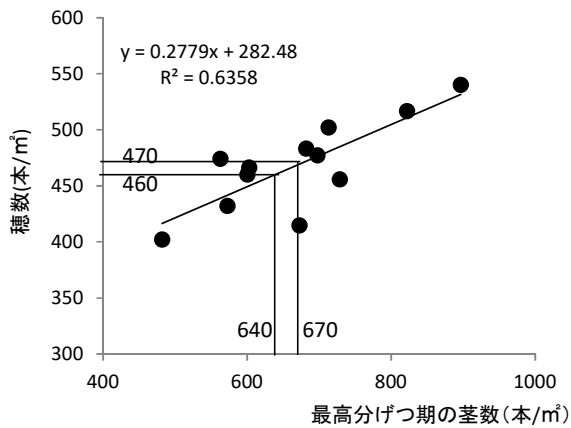
第15図 茎数と穂数の関係



第13図 草丈と稈長の関係



第16図 追肥処理別葉色の推移
(図中の線は、平均値±標準誤差の幅を示す。各試験区n=4)



第14図 茎数と穂数の関係

第7表 目標収量及び収量構成要素

	玄米重 kg/a	穂数 本/m ²	一穂粒数 粒	m ² 当たり 粒数(千)	登熟歩合 %	千粒重 g
ぎんさん	66.0	460～470	72～74	34.0	80以上	24.5
(参考) あきたこまち	57.4	440	69	30.4	88	21.5

注)あきたこまちは、稲作指導指針の中央地区の数字

第8表 時期別生育目標の例

	最 高 分げつ期	幼 穂 形成期	減数 分裂期	出穂期	
草丈 cm	56cm以下	61cm以下	—	73cm以下	稈長 cm
茎数	640 ～	590 ～	—	460 ～	穂数
本/m ²	670	620		470	本/m ²
葉色 SPAD502		44.0以下 追肥	→	36.0以下	玄米蛋白質含有率 7.3%以下
			37.0以下 追肥 →	38.0以下	玄米蛋白質含有率 7.5%以下

注)追肥は窒素成分で0.2kg/a施用。出穂期の葉色は止め葉を測定。

幼穂形成期の生育は、茎数が穂数と正の相関が高く、目標穂数を確保するためには 590～620 本/m²必要（第15図）で、草丈は稈長と正の相関が高く、61cm以下（第13図）と考えられた。

葉色の推移を第16図に示した。幼穂形成期追肥は、追肥することにより穂揃い期まで葉色を高く維持したが、幼穂形成期の葉緑素計値が 44.0 以下の時、穂揃い期の葉緑素計値は 36.0 以下で、玄米蛋白質含有率は 7.3%以下であった（第9図）。減数分裂期追肥は、追肥後の葉色が幼穂形成期追肥より高く、減数分裂期の葉緑素計値が 37.0 以下の時、穂揃い期の葉緑素計値は 38.0 以下で、玄米蛋白質含有率は約 7.5%以下であった（第10図）。

このように、整粒率（玄米外観品質）と玄米蛋白質含有率（玄米内部品質）の目標を設定して、時期別生育目標の例を示した（第8表）。

考 察

試験—1 “あきたこまち”と比較した“ぎんさん”の生育と収量性

2011～2016 年に行った、生産力検定試験・奨励品種決定調査の結果を基に“ぎんさん”と“あきたこまち”を比較して、“ぎんさん”の生育と収量性の特徴を明らかにした。

佐藤ら（2014）は、“ぎんさん”が“あきたこまち”比 15%以上の多収性があることを明らかにしているが、さらに 3 カ年分のデータを追加した本試験の結果でも同様に、“ぎんさん”は、“あきたこまち”と同じ施肥量・施肥法の場合に約 19%の収量性の向上が期待できることが確認できた（第1表）。

穂数には有意な差がなかったが、1 穂粒数が多いことから総粒数が多く、登熟歩合には差がなかったが、千粒重が重いことが多収の要因と考えられた（第1、4表）。

黒田ら（1999）は、寒冷地を対象とした多収性品種の育成では、m²当たり粒数を増大することあるいはm²当たり粒数を維持するとともに玄米千粒重を大きくすることによってシンク容量を拡大することの重要性を推察している。

そこで、玄米重を目的変数にして重回帰分析を行った結果、穂長と穂数の標準偏回帰係数が有意に高く、これらの項目が収量性に寄与する程度が高いと考えられた（第2表）。このことから“ぎんさん”の多収に向けた取り組みとして、穂長を長くして1 穂粒数を多くすること、穂数を多くとり総粒数を増やすことが重要なことと考えられた。

稈長と倒伏の関係を見ると、“ぎんさん”は短稈ではあるが、倒伏程度は“あきたこまち”並で、下位の節間長は“あきたこまち”と有意な差がなかった（第1、4表）。このように“ぎんさん”は、“あきたこまち”より稈長が短くても倒伏程度が大きくなるので、稈長 71～77cm 程度が上限と考えられた（第1図）。また、最高分げつ期の草丈と倒伏の関係を見ると、草丈 57cm を超えると倒伏程度が大きくなり始める（第2図）ので、7 月上旬の草丈は“あきたこまち”並の 46～51cm（注：秋田県農林水産部 2018.平成 30 年度稲作指導指針. 74）で十分と考えられた。

玄米蛋白質含有率は、酒造用原料米の酒造適性を判定する一つの項目として重要である。“ぎんさん”の場合、乳酸可溶性蛋白質が低くあまり削らなくても純

米酒用に適すると判断されている（秋田県農林水産部 2014）が、玄米蛋白質含有率に関して“あきたこまち”と複数年の比較はされていなかった。本試験の結果、“ぎんさん”は“あきたこまち”より玄米蛋白質含有率が低いことが確認された（第 1 表）。また、品種と基肥量の交互作用が見られた（第 1 表）。そして、重回帰分析の結果“あきたこまち”は、玄米重が玄米蛋白質含有率の増加に寄与する程度が高かった（第 3 表）が、“ぎんさん”ではそれが認められなかった。これらのことから、“ぎんさん”は、基肥を増やして収量が増加しても“あきたこまち”に比べると玄米蛋白質含有率の増加が少ない品種特性があると考えられた。

玄米重の窒素生産効率と玄米蛋白質含有率の間には負の相関が報告（稲津 2005）されているが、“ぎんさん”の玄米蛋白質含有率が低い理由として、父本である“秋田 63 号”の窒素生産効率が高い特性（Mac ら 2006, 小玉ら 2014）を受け継いだ可能性が考えられる。

今後、稲体窒素に関する分析を行い窒素生産効率の確認を行う必要がある。

試験—2 追肥時期・量の違いが生育・収量・品質に及ぼす影響

“ぎんさん”について、基肥量 2 水準と追肥 5 処理の組み合わせで施肥反応試験を行い、基肥量及び追肥の時期や量に対する生育・収量・品質の反応を調査した。

収量性の点から基肥量の影響を比較すると、基肥窒素量 0.7kg/a の標肥区では追肥による増収効果が認められ、特に 3 + 3 区の玄米重が最も多かった（第 6 表）。しかし、基肥窒素量 1.2kg/a の多肥区では、追肥の効果が判然とせず、追肥は不要と考えられた（第 6 表）。一方、品質の点から比較すると、多肥区では、玄米外観品質の差はなかったが、未熟粒の増加による整粒率の低下が見られ、登熟歩合の低下及び玄米蛋白質含有率の増加が認められた（第 5, 6 表）。このことから、使用用途を酒造用の原料米とした場合、基肥量は、玄米蛋白質含有率の低かった標肥区（基肥窒素量 0.7kg/a）並で十分と考えられた。

追肥の影響を比較すると、①無追肥区は、整粒率が高く、未熟粒が少なく、玄米蛋白質含有率が低い、標肥区では収量性が低かった（第 6 表）。④幼形＋減分区、⑤ 3 + 3 区の 2 回追肥処理は、収量の増加が認められたが、登熟歩合と整粒率の低下、玄米蛋白質含有率の増加により、酒造適性の低下が懸念された（第 5, 6 表）。つまり、②幼形追肥区または③減分追肥区の 1 回追肥処理の場合、玄米重、整粒率及び玄米蛋白質含有率の値が①無追肥区と④幼形＋減分区、⑤ 3 + 3 区の 2 回追肥処理の間にあり（第 6 表）、収量性及び酒造適性が高い追肥時期と考えられた。

また、②幼形追肥区では、葉色が淡く、玄米蛋白質

含有率が低い傾向があり、③減分追肥区では、登熟歩合が高く、千粒重が重い傾向があった（第 5, 6 表, 第 9, 10 図）。しかし、玄米蛋白質含有率と葉色の関係から、③減分追肥区では、②幼形追肥区に比較して追肥後の穂揃い期の葉緑素計値が高く、玄米蛋白質含有率が高くなる傾向が確認された（第 9, 10 図）。つまり、幼穂形成期には、葉緑素計値が 44.0 以下なら、追肥（N0.2kg/a）しても玄米蛋白質含有率 7.3% 以下が可能と考えられた（第 9 図）。一方、減数分裂期には、葉緑素計値が 37.0 以下なら、追肥（N0.2kg/a）した場合、玄米蛋白質含有率 7.3% を超えるが、7.5% 以下が可能と考えられた（第 10 図）。今後は、目標とする玄米蛋白質含有率を設定し、葉色により幼穂形成期あるいは減数分裂期の追肥を判定する方法を確立する必要がある。

酒造好適米品種“秋田酒こまち”の場合、 m^2 当たり収量の増加は玄米蛋白質含有率の増加を伴うことから窒素吸収量の制限により収量を適正数確保し、玄米蛋白質含有率を高めないように目標を設定している（柴田ら 2014）。“ぎんさん”も同様に m^2 当たり収量と玄米蛋白質含有率の間に正の相関が見られた（第 7 図）ので、目標とする玄米蛋白質含有率に応じて、適正な収量を設定する必要がある。また、玄米の窒素濃度の変動は、施肥が大きく影響（熊谷ら 1994）し、出穂期の葉身窒素濃度と相関が高い（丹野・飯島 1991）ことから、葉緑素計を用いて玄米蛋白質含有率を予測する方法が利用されている（勝場ら 2002）。“秋田酒こまち”の場合、葉色と玄米蛋白質含有率の関係から、玄米蛋白質含有率が 7.2% を超えないように葉色の目安を策定した（柴田ら 2014）。“ぎんさん”も同様に玄米蛋白質含有率と穂揃い期の葉緑素計値の間に正の相関が見られた（第 8 図）ので、目標とする玄米蛋白質含有率に応じて葉色の目安を策定する必要がある。

試験—3 目標収量の設定及び収量構成要素等の策定

酒造原料米に関しては、純米酒用等の製品別あるいは掛け米等の用途別に各原料米の特性を明確にし、多収・低コスト安定供給体制を整えるべきとの指摘（前重・小林 2000）がある。“ぎんさん”の場合、高品質で低価格の純米酒用原料米としての利用が見込まれており（佐藤ら 2014），“ぎんさん”の高品質安定多収生産技術の確立が急務と考えられる。

本試験では、収量性と酒造原料米としての品質の両面を兼ね備えることを目標とした。最初に“あきたこまち”と比較した“ぎんさん”の多収性を基に目標収量を設定した。次に、品質面では、目標とする整粒率を確保できる収量構成要素を策定し、玄米外観品質の向上を考慮した。また、玄米蛋白質含有率の目標を設定して、葉色との関係を明らかにすることにより玄米

内部品質の向上を考慮した。しかし、今回作成した時期別生育目標の例（第8表）はデータ数が少ないため、今後実用化するには、さらなるデータの追加と検証が必要である。

現在、2018年から始まった「秋田から醸す酒米生産拡大事業」の中で、“ぎんさん”の栽培マニュアル策定に向けた栽培試験が行われている。今後は、本試験の結果に加えて新たな調査データが蓄積されることにより、理想生育量の策定及び生育・栄養診断法の確立が期待される。

摘 要

“ぎんさん”は、“あきたこまち”と同じ施肥量の場合、約19%収量性が高かった。そして、複数年の比較により玄米蛋白質含有率が“あきたこまち”より低い品種特性を確認した。また、“あきたこまち”より多収となる要因として、1穂粒数が多いことによる総粒数の増加と千粒重の重さが推察された。

追肥時期に関しては、幼形追肥区では葉色が淡く、玄米蛋白質含有率が低い傾向があり、減分追肥区では登熟歩合が高く、千粒重が重い傾向があった。また、幼形追肥区または減分追肥区の1回追肥は、収量性と酒造適性の点から、無追肥区及び2回追肥（幼形＋減分区、3＋3区）より適していると考えられた。

目標収量は、“あきたこまち”の57.0 kg/aに対して、15%増の66.0 kg/aに設定した。この場合の収量構成要素は、穂数460～470本/m²、1穂粒数72～74粒、m²当たり粒数34.0千粒、登熟歩合80%、千粒重24.5gである。

酒造用原料米の品質評価として重要な玄米蛋白質含有率に関しては、穂揃い期の葉緑素計値との関係を明らかにした。穂揃い期の葉緑素計値35.8の時に玄米蛋白質含有率は7.3%と予測できるので、玄米蛋白質含有率を高めない葉色の目安として利用できる。

謝 辞

本研究の計画・実施にあたり、秋田県農業試験場長金和裕氏からは適切な指示と有益なご指導を賜った。秋田県総合食品研究センター醸造試験場主任研究員大野剛氏、研究員佐藤雅氏からは、玄米の分析でご尽力いただいた。圃場管理業務の関口一樹技能主任、信太正樹技能主任、研究補助業務の佐藤かおり氏、村田美樹子氏、伊東光浩氏、熊谷惣英氏からは絶大な御協力を戴いた。また、こまち農業協同組合営農経済センター一長沼沢雅明氏、秋田なまはげ農業協同組合営農センター佐藤怜太氏からは目標収量の設定に関して有益なご助言をいただいた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 秋田県農林水産部. 2014. 水稻新品種「ぎんさん（秋田107号）」の作付け本格化.
[http://www.e-komachi.jp/topic.sys/pdf/201405/02.pdf?PHPSESSID=0q5otqhot544k3126tr6ag3o02\(2018/11/26閲覧\)](http://www.e-komachi.jp/topic.sys/pdf/201405/02.pdf?PHPSESSID=0q5otqhot544k3126tr6ag3o02(2018/11/26閲覧))).
- 稲津脩. 2005. 高品質米（低タンパク質米）の栽培技術. 農機誌 67(1), 4-9.
- 大野剛・渡邊誠衛・上原智美・高橋仁. 2016. 秋田県蔵付き分離酵母シリーズ純米酒の商品化. 秋田県総合食品研究センター報告 18, 1-8.
- 小野雅之. 2013. 需要に適應する米の製品ミックスがカギ. AFC フォーラム 7, 3-6.
- 勝場善之助・土屋隆生・玉置雅彦. 2002. 酒米千本錦における品質向上のための施肥基準. 広島農技セ研報 72, 1-10.
- 熊谷勝巳・富樫正博・上野正夫・田中伸幸. 1994. 米粗蛋白質含量の年次及び地域変動と追肥窒素の影響. 山形農試研報 28, 69-80.
- 黒田栄喜・東直邦・岡田貴・阿部進・平野貢・村田孝雄. 1999. 寒冷地を対象とした新規育成品種における収量性、各収量構成要素および収穫指数の比較. 日作紀. 68(2), 235-244.
- 小玉郁子・川本朋彦・松本眞一・佐藤馨・田口光雄・京谷薫・加藤武光・畠山俊彦・眞崎聡. 2014. 水稻超多収品種「秋田63号」の育成. 秋田農試研報. 54, 1-22.
- 佐藤健介・小玉郁子・川本朋彦・加藤和直・高橋竜一・佐藤雄幸. 2014. 多収で酒造適性の優れる水稻新品種「ぎんさん（秋田107号）」の育成. 実用化できる試験研究成果 平成25年度. [http://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000008247_00/25-06.pdf\(2018/11/26閲覧\)](http://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000008247_00/25-06.pdf(2018/11/26閲覧))).
- 柴田智・金和裕・佐藤雄幸. 2014. 酒造好適米“秋田酒こまち”の高品位栽培技術の確立. 秋田農試研報. 54, 23-37.
- Mae, T., A. Inaba, Y., Kaneta, S. Masaki, M. Sasaki, M. Aizawa, S. Okawa, S. Hasegawa and A. Makino. 2006. A large-grain rice cultivar, Akita 63, exhibits high yields with high physiological N-use efficiency. Field Crops Research 97, 227-237.
- 丹野文雄・飯島正光. 1991. 水稻の栄養診断と予測技術に関する研究第6報粒厚および分げつ別玄米への窒素集積特性と玄米窒素濃度の予測法. 福島農試研報 30, 1-10.
- 前重道雅・小林信也編著. 2000. 最新日本の酒米と酒造り. 東京, 養賢堂, 141-147.
- 山根国男・西田清数. 1979. 酒米と酒 [2]. 農及園 54(2), 738-742.

カドミウム低吸収性遺伝子 (*osnramp5-2*) をヘテロで持つイネ のカドミウム吸収性

高橋 竜一, 伊藤 正志, 川本 朋彦

Cadmium absorption of *OsNRAMP5/osnramp5-2* hetero plants

Ryuichi TAKAHASHI, Masashi ITO and Tomohiko KAWAMOTO

(Akita Agricultural Experiment Station)

Abstract

The standard value of cadmium (Cd) concentration in rice grains is established at 0.4 mg/kg by the Food Sanitation Act. One of the most effective methods to prevent excess in the standard value is the usage of low Cd accumulating rice varieties (lcd varieties). We bred “Akikei 861” and “Akita 106 lcd” as lcd varieties instead of “Akitakomachi” and “Akita 106”. Cd absorption from soil to the root of the rice takes place mainly through *OsNRAMP5* transporter. Lcd varieties have a loss in the function of *OsNRAMP5* (*osnramp5-2*). In this study, we investigated Cd concentration in the shoots and the grains of *OsNRAMP5/osnramp5-2* hetero plants (“Komachi-hetero” and “106-hetero”) and compared them with lcd varieties and original varieties. When “Komachi-hetero” was grown in a field containing 0.46 mg/kg Cd, Cd concentration in the shoots was in between “Akitakomachi” and “Akikei 861”. There was no significant difference between “Komachi-hetero” and “Akitakomachi” in the grains themselves, but both of them were lower than the standard value. When “106-hetero” was grown in a field containing 0.96 mg/kg Cd, Cd concentration in the shoots and grains were in between “Akita 106” and “Akita 106 lcd”. Our results showed that Cd concentration in the grains of *OsNRAMP5/osnramp5-2* hetero plants is not as high as original varieties and maintains a value lower than the standard value.

Key Words: rice, cadmium, low Cd accumulating rice varieties, *osnramp5-2*, hetero plants

緒 言

コーデックス委員会による国際基準値の設定に基づき、国内のコメ中カドミウムの規格基準は食品衛生法で「0.4mg/kg 以下（玄米，精米）」と定められている。土壌に含まれるカドミウムは還元条件下では溶出しにくいことから（稲原ら 2007），コメのカドミウム低減対策として、出穂期の前後 3 週間湛水状態に保つ「湛水管理」が広く推奨されている（農林水産省 2018）。

しかし気象条件によっては水が確保しにくいことや、収穫時の作業性に影響を及ぼすことが問題となっている。また、近年コーデックス委員会で国際基準値が定められたヒ素は、湛水条件下でイネに吸収されやすく、カドミウムとトレードオフの関係であることが明らかにされている（Arao ら 2009）。そのため、ヒ素とカドミウムを同時に低減できる、カドミウム低吸収性品種の導入が、カドミウム低減対策として最も有効である

考えられている (Ishikawa ら 2016)。

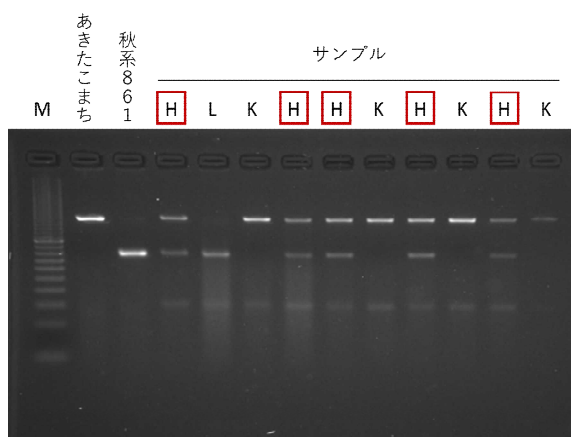
イネへのカドミウム流入は主に根の細胞膜に局在するトランスポーターである *OsNRAMP5* によることが明らかにされている (Ishimaru ら 2012)。カドミウム低吸収性品種として育成された「コシヒカリ環 1 号」はコシヒカリの突然変異体であるが、*OsNRAMP5* の機能が欠損したためにカドミウム低吸収性を示すことが明らかにされている (Ishikawa ら 2012)。そのため「コシヒカリ環 1 号」を交配母本として *OsNRAMP5* の機能欠損型遺伝子 *osnramp5-2* を導入することによってカドミウム低吸収性品種の育成が可能となり、現在多くの県でオリジナル品種のカドミウム低吸収性付与が進められている。秋田県においても「あきたこまち」を始め、県育成の主要品種についてカドミウム低吸収性付与を進めている。

通常イネは *OsNRAMP5* を持ち、*osnramp5-2* は劣性遺伝子であるため、*osnramp5-2* をホモで持つ場合のみカドミウム低吸収性を示す。今後カドミウム低吸収性品種が普及していく過程で *OsNRAMP5* を持つ個体と交雑し、*osnramp5-2* をヘテロで持つ個体が生じる可能性があるが、カドミウム吸収性がどのように変化するかはわかっていない。そこで *osnramp5-2* をヘテロで持つ個体についてカドミウム吸収性を調査し、原品種及びカドミウム低吸収性品種と比較した。

材料と方法

1. 供試材料と栽培方法

osnramp5-2 をヘテロで持つ個体 (以下「こまちヘテロ」) は、「あきたこまち」を母親、*lcd-kmt2* (コシヒカリ環 1 号) を父親として交配した後、「あきたこまち」を反復親として 9 回戻し交配し、自殖して得た BC₉F₂ 世代種子を用いた。比較として、「あきたこまち」を 7 回戻し交配したカドミウム低吸収性系統「秋系 861 (以下「こまち lcd」)」を用いた。



第1図 「こまちヘテロ」を選抜するための電気泳動写真。サンプルのLはカドミウム低吸収 (秋系861) 型、Kはあきたこまち型で、Hで示すような両方の遺伝子を持つ個体を選抜した。Mは分子量マーカー (20bp Ladder)。

「秋田 106 号」は育成中の一般粳系統である。「秋田 106 号」のヘテロ個体 (以下「106 号ヘテロ」) は、「秋田 106 号」を母親、*lcd-kmt2* (コシヒカリ環 1 号) を父親として交配した後、「秋田 106 号」を反復親として 2 回戻し交配し、自殖して得た BC₂F₂ 世代種子を発芽させて選抜した。同時に *osnramp5-2* をホモで持つ個体も選抜し、カドミウム低吸収性系統 (「秋田 106 号 lcd」) とした。

イネは秋田県農業試験場において育苗し、秋田県大仙市のカドミウム汚染圃場で栽培した。栽培前の作土層の土壌カドミウム濃度は、「あきたこまち」栽培圃場は 0.46 mg/kg、「秋田 106 号」栽培圃場は 0.96 mg/kg であった (0.1 M 塩酸抽出)。「あきたこまち」の栽培試験は 2018 年、「秋田 106 号」の栽培試験は 2015 年に行った。

育苗中に葉からゲノム DNA を抽出し、Ishikawa らの報告 (2012) の通り PCR 反応を行った後、制限酵素処理をし、図 1 に示すような電気泳動でバンドを 2 本検出したヘテロ個体を選抜した。移植は、条間及び株間を各 22 cm で栽植密度 20.7 株/m² とし、株当たり植え付け本数は 1 本となるように手植えした。水管理は、「あきたこまち」では出穂後約 4 日で落水し、その後は天水のみとした。「秋田 106 号」の栽培はカドミウムを吸収しやすいように節水栽培を行い、7 月下旬に落水した以降は天水のみとした。試験区は 1 区当たり約 60 株植え、「あきたこまち」、「こまちヘテロ」、「こまち lcd」は 2 区制、「秋田 106 号」、「106 号ヘテロ」、「秋田 106 号 lcd」は 1 区制とした。

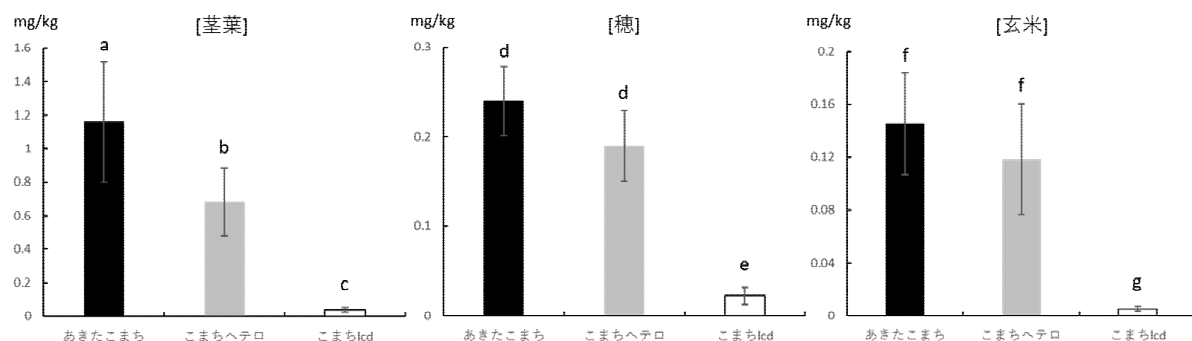
2. カドミウム濃度の測定

平均的な生育を示すイネの個体を各試験区内の 3 か所 (畦畔側から手前、中央、奥) から 2 株ずつ採取した。刈り取りは地際から約 5 cm より上部とした。刈り取ったイネは穂と茎葉に分け、80℃で 2 日間乾燥させた。サンプルは粉砕機 (SM100, ZM200; Retsch) で粉砕した。また、穂の一部を脱穀、籾摺りして玄米を得、卓上粉砕機 (Y-308B; 山本電機) で粉砕した。Takahashi らの報告 (2016) の通り抽出作業を行い、穂と茎葉はフレイム原子吸光光度計 (280FS AA; Agilent Tech.)、玄米はフレイムレス原子吸光光度計 (SpectrAA-880; Varian) でカドミウム濃度を測定した。

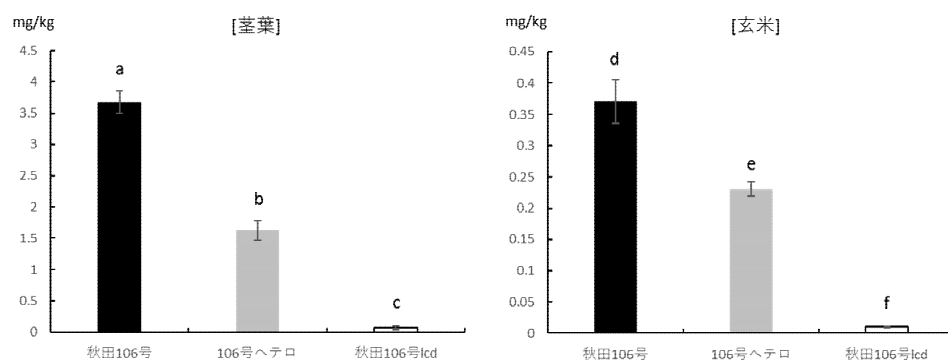
結果と考察

茎葉のカドミウム濃度は「あきたこまち」が 1.16mg/kg であったのに対し、「こまちヘテロ」が 0.68mg/kg で有意に低かった (図 2)。「こまち lcd」の茎葉カドミウム濃度は 0.04mg/kg で、「こまちヘテロ」は「あきたこまち」と「こまち lcd」の中間であった。

穂のカドミウム濃度は「あきたこまち」が 0.24mg/kg,



第2図 「あきたこまち」、「こまちヘテロ」、「こまちlcd」の茎葉、穂、玄米のカドミウム濃度。異なるアルファベットはTukey-Kramer法において5%水準で有意差があることを示す。



第3図 「秋田106号」、「106号ヘテロ」、「秋田106号lcd」の茎葉、玄米のカドミウム濃度。異なるアルファベットはTukey-Kramer法において5%水準で有意差があることを示す。

「こまちヘテロ」が0.19mg/kg, 「こまちlcd」が0.02mg/kgであり(図2), 玄米のカドミウム濃度は「あきたこまち」が0.145mg/kg, 「こまちヘテロ」が0.118mg/kg, 「こまちlcd」が0.005mg/kgであった(図2)。穂, 玄米ともに「こまちヘテロ」は「あきたこまち」より濃度が低かったが, 有意差は認められなかった。

「106号ヘテロ」のカドミウム濃度は茎葉, 玄米ともに「秋田106号」と「秋田106号lcd」の間であった(図3)。「秋田106号」の玄米カドミウム濃度は0.370mg/kgで食品衛生法で定められている基準値をやや下回る程度であったが, 「106号ヘテロ」はさらに有意に低い結果となった。

OsNRAMP5 の発現量を半分程度に抑制した組換え体(RNAi 体)は野生型よりカドミウムを多く吸収していたが(Ishimaru ら 2012, Takahashi ら 2014), 本研究において「こまちヘテロ」の茎葉のカドミウム濃度は「あきたこまち」と「こまちlcd」の間であった。「106号ヘテロ」も同様に「秋田106号」と「秋田106号lcd」の中間のカドミウム濃度を示した。RNAi 体では*OsNRAMP1* 等, 根へのカドミウム流入に関与する遺伝子の発現量が増加していたのに対し, 「コシヒカリ環1号」では変化が見られなかった(Takahashi ら 2011, Ishikawa ら 2012, Ishimaru ら 2012)。osnramp5-2 をヘ

テロで持つ個体は「コシヒカリ環1号」と同様の遺伝子発現を示すと考えられ, 「こまちヘテロ」や「106号ヘテロ」は根へのカドミウム流入経路である*OsNRAMP5* とカドミウムを輸送しない *osnramp5-2* を保有していることから, 原品種と低吸収性品種の中間的なカドミウム吸収性を示すと考えられた。

「こまちヘテロ」の穂と玄米のカドミウム濃度は「あきたこまち」よりも低い値を示したものの, 有意差は認められなかった。土壌カドミウム濃度が0.46 mg/kgと低い条件下では, 「あきたこまち」の玄米カドミウム濃度が0.145 mg/kgと低く抑えられていたため, 「こまちヘテロ」と差がない結果になったと考えられた。一方, 「106号ヘテロ」は玄米カドミウム濃度も茎葉と同じく「秋田106号」と「秋田106号lcd」の間であった。玄米カドミウム濃度が比較的高い場合, *osnramp5-2* をヘテロで持つ個体は *osnramp5-2* を持たない個体よりも有意に低い値を示すと考えられた。

本研究の結果から, *osnramp5-2* をヘテロで持つ個体の玄米カドミウム濃度は, カドミウム低吸収性品種よりは高くなるものの, *osnramp5-2* を持たない原品種個体より低くなることが明らかとなった。また, *osnramp5-2* をヘテロで持つ個体の玄米カドミウム濃度が原品種個体と同等となるのは, 原品種でも問題にな

らない程度の低濃度条件であった。土壌カドミウム濃度が高い等、条件によっては *osnramp5-2* をヘテロで持つ個体でも基準値を超える可能性は残っているため、*osnramp5-2* を持たない品種とカドミウム低吸収性品種が交雑しないような栽培管理を行うことが必須ではあるが、玄米カドミウム濃度において、*osnramp5-2* をヘテロで持つ個体が問題になる可能性は低いと考えられた。

摘 要

玄米及び精米のカドミウムの規格基準は「0.4mg/kg 以下」と食品衛生法で定められており、基準値を大幅に下回るカドミウム低吸収性品種の育成が進められている。カドミウムの低吸収性は、根の細胞膜に局在するトランスポーターである OsNRAMP5 が変異して機能欠損型の *osnramp5-2* となっているためであることが明らかとなっている。本研究では、*osnramp5-2* をヘテロで持つ個体（「こまちヘテロ」、「106 号ヘテロ」）のカドミウム濃度を測定し、原品種・系統である「あきたこまち」、「秋田 106 号」とそれぞれのカドミウム低吸収系統（「秋系 861（以下「こまち lcd」）」、「秋田 106 号 lcd」）と比較した。土壌カドミウム濃度が 0.46 mg/kg (0.1 M 塩酸抽出) の圃場で栽培したところ、「こまちヘテロ」の茎葉のカドミウム濃度は「あきたこまち」と「こまち lcd」の間であった。玄米と穂では「あきたこまち」よりも低い値を示したが、有意差は認められなかった。土壌カドミウム濃度が 0.96 mg/kg の条件下では「106 号ヘテロ」のカドミウム濃度は茎葉、玄米ともに「秋田 106 号」と「秋田 106 号 lcd」の間であった。本研究の結果から、*osnramp5-2* をヘテロで持つ個体の玄米カドミウム濃度は、カドミウム低吸収性品種よりは高くなるものの、*osnramp5-2* を持たない個体と同等もしくは低くなることが明らかとなった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、佐藤かおり氏、村田美樹子氏を始め、作物部水稻育種担当の方々にサンプルの調整をしていただいた。また、生産環境部の鈴木かつら氏にはカドミウム濃度分析において、多大なご協力をいただいた。イネの移植及び収穫は管理班の方々にご協力をいただいた。この場を借りて御礼申し上げる。「秋田 106 号」にかかわる試験は農林水産省・次世代ゲノム基盤プロジェクト「イネの DNA マーカー育種の利用促進 (RBS)」の支援によって行われた。

引用文献

Arao, T, K. Kawasaki, K. Baba, S. Mori and S. Matsumoto. 2009. Effects of water management on cadmium and arsenic accumulation and dimethylarsinic acid

concentrations in Japanese rice. Environ. Sci. Technol. 43. 9361-9367.

Ishikawa, S, Y. Ishimaru, M. Igura, M. Kuramata, T. Abe, T. Senoura, Y. Hase, T. Arao, N. K. Nishizawa and H. Nakanishi. 2012. Ion-beam irradiation, gene identification, and marker-assisted breeding in the development of low-cadmium rice. PNAS. 109. 19166-19171.

Ishikawa, S, T. Makino, M. Ito, K. Harada, H. Nakada, I. Nishida, M. Nishimura, T. Tokunaga, K. Shirao, C. Yoshizawa, M. Matsuyama, T. Abe and T. Arao. 2016. Low-cadmium rice (*Oryza sativa* L.) cultivar can simultaneously reduce arsenic and cadmium concentrations in rice grains. Soil Sci. Plant Nutr. 62. 327-339.

Ishimaru, Y, R. Takahashi, K. Bashir, H. Shimo, T. Senoura, K. Sugimoto, K. Ono, M. Yano, S. Ishikawa, T. Arao, H. Nakanishi and N. K. Nishizawa. 2012. Characterizing the role of rice NRAMP5 in manganese, iron and cadmium transport. Sci. Rep. 2. 286.

稲原誠・雄川洋子・東英男. 2007. 生育後期の湛水管理による水稻のカドミウム吸収抑制. 土肥誌. 78:149-155.

Takahashi, R, Y. Ishimaru, H. Nakanishi and N. K. Nishizawa. 2011. Role of the iron transporter OsNRAMP1 in cadmium uptake and accumulation in rice. Plant Signal. Behav. 6. 1813-1816.

Takahashi, R, Y. Ishimaru, H. Shimo, K. Bashir, T. Senoura, K. Sugimoto, K. Ono, N. Suzui, N. Kawachi, S. Ishii, Y.-G. Yin, S. Fujimaki, M. Yano, N. K. Nishizawa and H. Nakanishi. 2014. From Laboratory to Field: OsNRAMP5-Knockdown Rice Is a Promising Candidate for Cd Phytoremediation in Paddy Fields. PLoS ONE 9. e98816.

Takahashi, R, M. Ito, K. Katou, K. Sato, S. Nakagawa, K. Tezuka, H. Akagi and T. Kawamoto. 2016. Breeding and characterization of the rice (*Oryza sativa* L.) line “Akita 110” for cadmium phytoremediation. Soil Sci. Plant Nutr. 62. 373-378.

農林水産省 消費・安全局. 2018. コメ中のカドミウム低減のための実施指針 (改訂版) .

輸入樹脂被覆肥料 (PCU) の窒素溶出特性と水稻への肥効

伊藤 千春, 渋谷 允*

Nitrogen Release Characteristics and Fertilizer Response to Paddy Rice of Imported Coated Urea

Chiharu ITO and Makoto SHIBUYA*

(Akita Agricultural Experiment Station,

*Present Address : Agriculture and Forestry Department, Yuri Regional Development Bureau, Akita Prefecture)

結 言

米価の下落, 減反政策の見直し等から, コメの生産現場では生産性と競争力の高い大規模稲作の推進が求められている。また, 家庭用米の需要が減少する中で, 業務用米及び加工用米のニーズが増加しており, 安定供給のために多収で低コストかつ省力的な生産技術が必要である。

被覆尿素を配合した肥効調節型肥料の側条施肥技術は, 省力的で窒素利用効率が高く減肥も可能であること等から, 本県で普及・定着しつつある (秋田県農林水産部 2019)。近年は, 高窒素配合肥料や硝酸化成抑制剤を添加した肥料のように銘柄の多様化が進む一方で, 中国や北米など海外からの被覆肥料の導入も進んでいる (小林ら 2015)。輸入被覆肥料は国産の被覆肥料と比べて安価であり, 配合肥料の原料として利用することで肥料コストの低減が可能であるが, 溶出特性や作物への施用効果に係る知見は少ない。

本報では, 輸入被覆肥料の一種である樹脂被覆肥料 (Polymer Coated Urea: PCU) を供試し, ほ場埋設法により窒素溶出特性を把握するとともに, 全量基肥・側条施用の条件下で水稻の生育・収量等へ及ぼす影響について検討したので報告する。

方 法

1) 試験場所及び供試品種

試験は 2017 年と 2018 年に, 秋田農試内の 1,000 m² の水田ほ場で行った。土壌タイプはグライ低地土に分

類される。土壌の主な理化学性を第 1 表に示した。品種は各年次「めんこいな」で, 葉齢 3.5 程度の中苗を用いた。

2) 供試肥料, 試験区及び施肥量

第 1 表 試験圃場の土壌の理化学性

pH (H ₂ O)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	交換態			可給態		
		石灰 (CaO)	苦土 (MgO)	加里 (K ₂ O)	窒素 (N)	リン酸 ^z (P ₂ O ₅)	ケイ酸 ^y (SiO ₂)
5.4	16.6	1219	357	149	163	83	43

注) 2017 年 4 月 (耕起前) の作土の分析値。z: トルオ
ーグ法, y: 湛水保温静置法による。

本試験で供試した PCU には溶出期間の長短により 2M, 3M, 6M の 3 種類があり, 溶出タイプはリニア型で 25℃水中の溶出日数はそれぞれ 60 日, 90 日, 180 日とされている。本試験では PCU3M (TN43%) を供試し, 対照肥料として溶出日数の近い LP コート 100 タイプ (LP100, TN42%, ジェイカムアグリ (株) 製) を用いた。

試験区は PCU 区, LP 区の 2 区とし, それぞれ PCU3M 或いは LP100 を含む配合肥料を試作し施用した。第 2 表に PCU 区と LP 区で用いた配合肥料の成分と施肥量を示した。肥料中の窒素の割合や速緩比率は, 将来的に, 窒素利用効率が高くかつ高窒素配合とした一発型肥料での活用を想定して設計した。すなわち, 速効性窒素と PCU3M 或いは LP100 に由来する窒素の割合は, 従来の一発型肥料に多い 5:5 より被覆尿素的割合を高

第 2 表 試験区及び供試肥料, 施肥量

試験区	保証成分 (%) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	窒素の配合割合 (%)			施肥量(gN m ⁻²)*			
		速効性	LP100	PCU3M	設定値		実測値	
					2017年	2018年	2017年	2018年
PCU区	32-6-5	30	—	70	9.0	12.7	9.7	13.0
LP区	32-6-5	30	70	—	9.0	12.7	9.7	13.9

* 移植機からの落下量。

め、3:7とした。また、窒素・リン酸・加里の保証成分量は32:6:5（%）に揃えた。

2017年は5月22日、2018年は5月21日に、中苗を移植しつつ供試肥料を側条施用し、肥料の落下量から施肥量を算出した。追肥は行わなかった。

3) 調査項目及び方法

(1) 被覆肥料の窒素溶出率

PCU3MとLP100をそれぞれ1gずつ不織布で包んだ試料を30個作成し、水稻の移植後直ちに、条間で作土表面から5cmの深さに埋設した。成熟期まで、所定の期日に3連で試料を採取し、付着した泥や植物根を水道水で除去して肥料を取り出した。これを硫酸と過酸化水素で分解後100mLに定容し、ビーエルテック（株）製オートアナライザーQuAAtro 2HRを用いて肥料に残存する窒素量を求めた。これを埋設した肥料1g中の窒素量から差し引き、窒素溶出率を算出した。また、移植日から収穫日まで1時間おきに深さ5cmの地温を測定し（（株）ティアンドデイ製TR-7、商品名「おんどとり」）、日平均地温と積算地温を算出した。

これらのデータと小林ら（1997）の溶出モデル式及び表計算ソフト（マイクロソフト（株）製Excel）のソルバー機能を用いて、肥料の経時的な窒素溶出率を推定した。

(2) 水稻の生育、収量

水稻を移植後、各処理区内で3か所ずつ6条×26株の調査区を設定し、調査区内の全ての株について苗数を3～6本に調整した。このうち1条の連続する10株は、株当たり苗数を4本に揃え、出穂期まで主要な生育ステージ毎に茎数と葉色を、成熟期に穂数を測定した。葉色は葉緑素計（コニカミノルタ（株）製SPAD502plus）を用い、各株の最長茎について、最上位展開葉の前葉における葉身中央部を測定した。

水稻の収量は、成熟期に調査区内で地際から刈り取った80株を用いて調査した。すなわち、これらを屋外で天日乾燥後に脱穀、籾摺り及び選別（篩目1.9mm）を行い、精玄米重を測定した。精玄米重は水分15%換算に補正した。精玄米で千粒重の測定を行うとともに、肥料の窒素分析と同様の方法で窒素を定量し玄米窒素含有率を求め、換算係数5.95を乗じて玄米タンパク質含有率とした。

これとは別に、成熟期に生育調査用の10株から平均的な穂数を有する3株を採取し、室温で風乾後、一穂籾数と登熟歩合の測定に供した。登熟歩合は比重1.06g mL⁻¹の食塩水を用い、完全沈下籾数と全籾数の比として示した。

(3) 水稻の窒素吸収量

生育調査を行った日に、生育中庸な2～3株を各区の3か所から採取した。根を切除した後、穂揃期と成熟期では茎葉と穂に分割して48～72時間、80℃で通風乾

燥した。乾物重を測定後、粉碎器を用いて粉末状とした。得られた粉末試料0.5gを、肥料の窒素分析と同様の方法で酸分解し窒素を定量した。茎葉と穂の窒素含有量に各調査区の栽植密度を乗じ、生育時期毎の窒素吸収量を算出した。

4) 耕種概要

2017年は移植5月22日、幼穂形成期（幼形期）7月16日、減数分裂期（減分期）7月30日、出穂期8月11日、収穫10月5日、2018年は移植5月21日、幼形期7月17日、減分期7月27日、出穂期8月6日、収穫9月27日であった。栽植密度は各年次21.2株 m⁻²の設定で移植し、収穫時に株間と条間を調査区毎に測定し補正した。

結 果

1) 気象経過

試験を行った2か年の気象経過を第1図に示した。

2017年の場合、気温は、5月下旬と7月上旬中旬が高く、6月上旬と8月下旬～9月上旬は低温傾向であった。降水量は、7月中旬まで概ね平年並みであったが、7月22日から23日にかけて記録的な大雨となり、8月下旬の降水量も多かった。日照時間は、6月下旬、7月中旬及び8月上旬に多く、6月上旬と8月中下旬に少なかった。

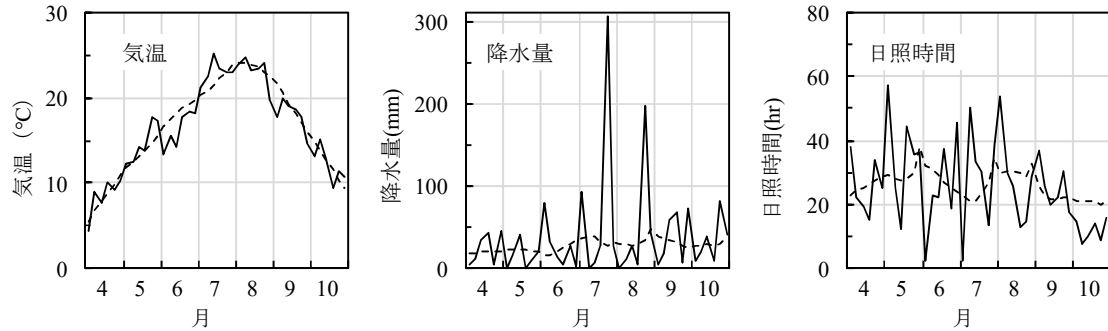
2018年の場合、気温は、5月下旬～6月上旬と7月に高く、6月中旬と8月中旬が低温傾向であった。降水量は、5月中旬（移植前）に多かった他、6月下旬～7月上旬と8月中旬～9月上旬にも多かった。7月下旬は少雨傾向であった。日照時間は、5月下旬～6月上旬と7月下旬に多く、6月中旬と8月下旬～9月上旬に少なかった。

なお、秋田県の作況指数は、2017年が99（平年並み）、2018年が96（やや不良）であった。

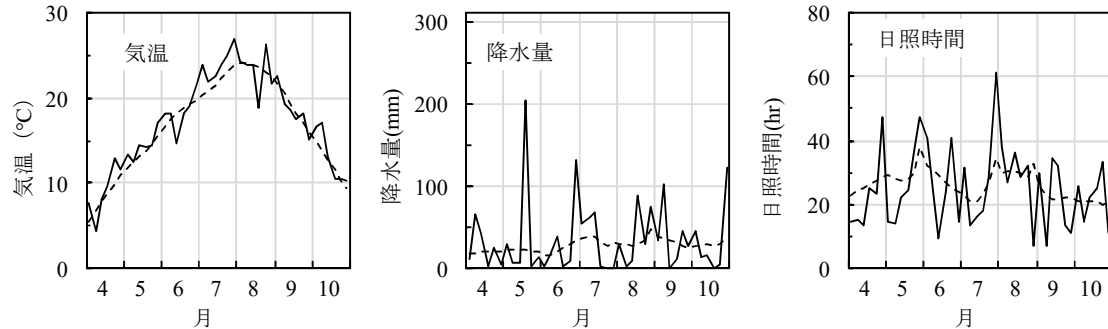
2) 地温に対する被覆肥料の窒素溶出特性

第2図に試験ほ場における各年次の地温の推移を示した。日平均地温を年次間で比較すると、移植後10日～20日、同60～75日及び同90～110日で2018年が、同0～5日及び同45～60日で2017年が高い傾向にあった。積算地温は、移植後0～15日では2018年がやや低いものの、それ以外の時期は概ね2018年の方が同等か高く推移しており、特に移植後20～45日（積算地温400～1000℃付近）と同100日（積算地温2300℃付近）以降は2か年の差が大きかった。

[2017年]

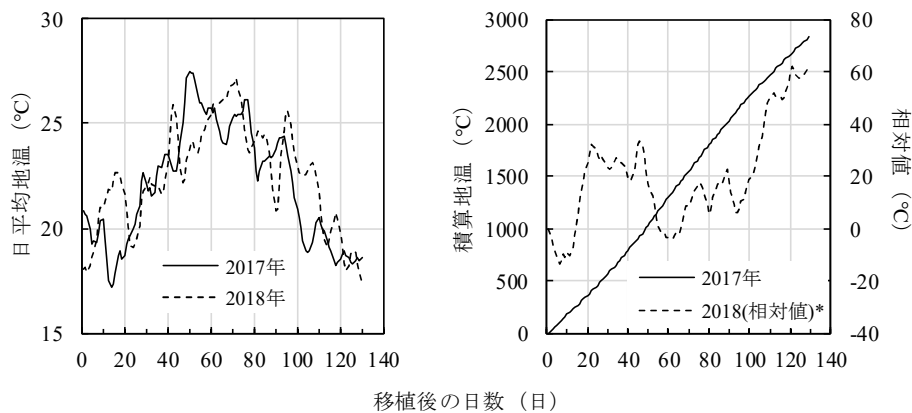


[2018年]



第1図 気象経過

注) アメダス大正寺, 半旬別データ。実線はそれぞれの実況値, 破線は平年値を示す。



第2図 試験ほ場における移植から収穫までの地温の推移

注) 深さ5cmで測定。日平均地温は5日移動平均で示した。*2017年に対する相対値で示した。

第3図に供試肥料の窒素溶出率と積算地温の関係を示した。LP100の窒素溶出率は、2018年は積算地温0℃から1000℃付近まではほぼ直線的で、その後3000℃付近まで放物線状であったのに対し、2017年は積算地温700℃付近までの窒素溶出率が2018年より小さく、その後急速に増加しS字状の窒素溶出パターンを示した。積算地温1000℃付近で2か年の窒素溶出率に大きな差が生じ、その後徐々に差が縮小する傾向にあったものの、窒素溶出率が80%に到達した時の積算地温は1300～1700℃で、年次間差が大きかった。一方、PCU3Mの

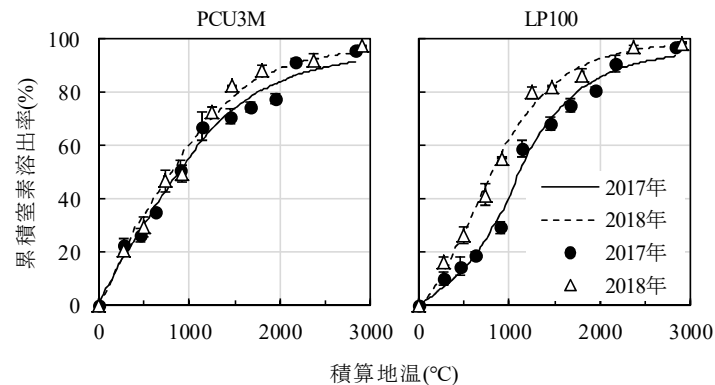
窒素溶出率は、2か年とも放物線状の溶出パターンを示した。80%の窒素の溶出に要した積算地温は1500～1700℃で、年次間の差はLP100より小さかった。いずれの肥料も、生育期間内の最終的な窒素溶出率は2か年とも90%以上であった。

3) 肥料の窒素溶出率の推移と水稻の生育

第4図に、供試肥料の窒素溶出率を年次別に暦日で示した。2017年の場合、PCU3Mの溶出はLP100より早く進む傾向にあり、移植後徐々に累積窒素溶出率の差が拡大し6月下旬～7月上旬に両者の差が特に大きかった。その後、幼形期にかけてLP100の溶出が進み、7月下旬以降では両者ほぼ同様の推移を示した。2018年の場合、LP100の溶出が2017年より早く進み、PCU3Mとの違いは2017年ほど明瞭でないが、PCU3Mの累積窒素溶出率はLP100と比べ移植から6月下旬までやや高く、7月以降同等かやや低く推移する傾向に

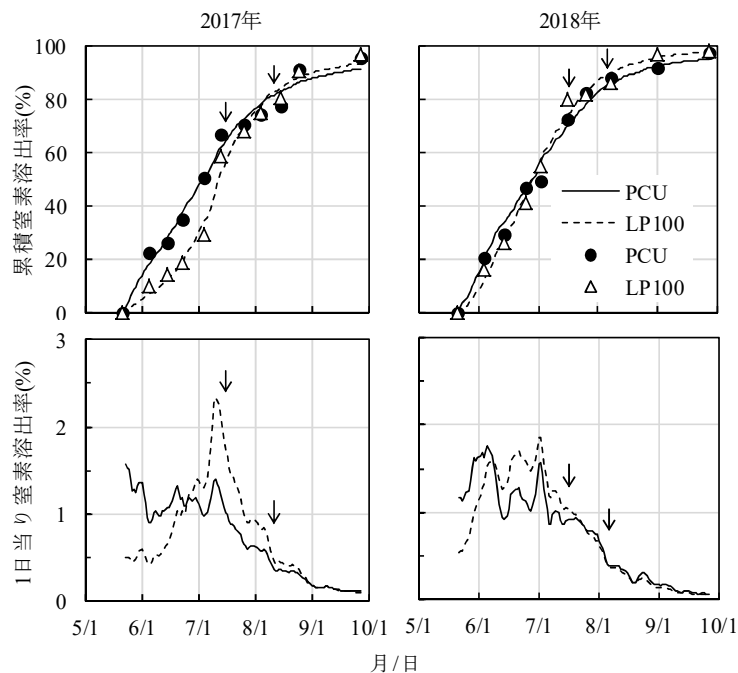
あった。1日当りの窒素溶出率で見ると、LP100は年次間で傾向がやや異なるものの、移植後に少なく、7月上旬に最も多くその後徐々に低下する傾向が認められた。これに対しPCU3Mは、移植直後或いは6月早々に溶出のピークがあり、その後9月下旬に向かって徐々に減少する傾向にあった。

第5図に水稻の窒素吸収量、茎数及び葉色の推移を示した。2017年の場合、PCU区では、LP区と比べ窒素吸収量が6月下旬～幼形期に多く、幼形期～出穂期に少ない傾向を示した。出穂期以降の窒素吸収量は両



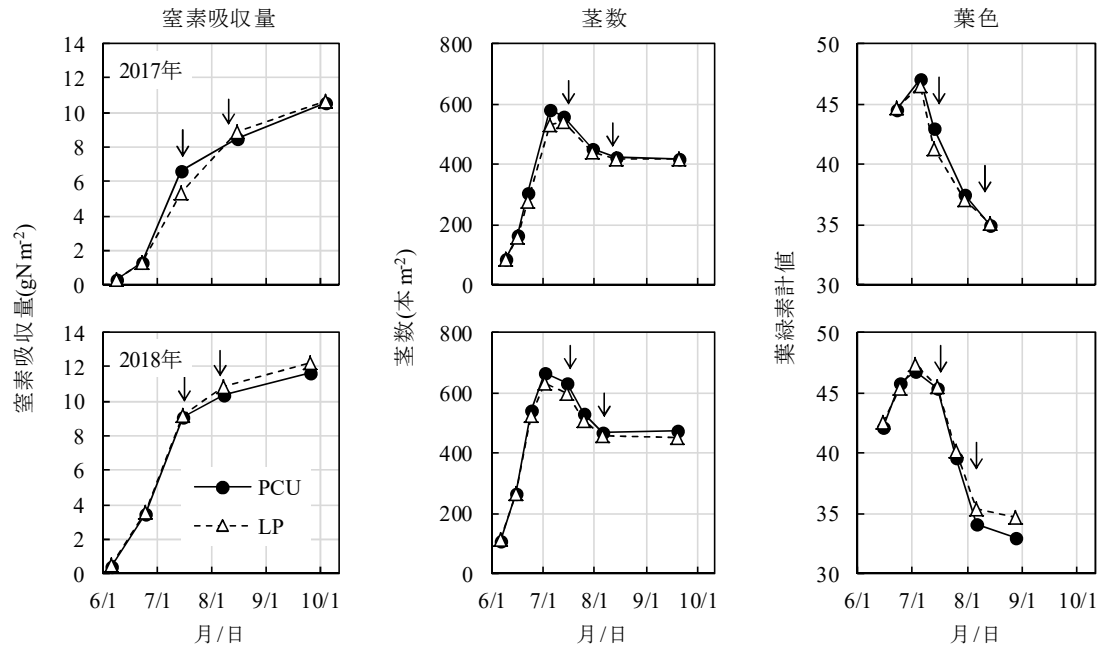
第3図 供試肥料の窒素溶出率と積算地温の関係

●（2017年）と△（2018年）は圃場埋設法による実測値。実線（2017年）と破線（2018年）は、小林ら（1997）の推定式とマイクロソフトエクセルのソルバー機能による推定値。縦棒は標準誤差。



第4図 試験圃場における供試肥料の窒素溶出率の推移

●（PCU）と△（LP100）は圃場埋設法による実測値。実線（PCU）と破線（LP100）は、小林ら（1997）の推定式とマイクロソフトエクセルのソルバー機能による推定値で、1日当り窒素溶出率は5日移動平均で示した。各図の下向き矢印は、左から順に幼形期、出穂期を示す。



第5図 水稻の窒素吸収量、茎数及び葉色の推移
各図の下向き矢印は、左から順に幼形期、出穂期を示す。

区ほぼ同等であった。茎数は、6月中旬から7月上旬にかけてLP区より多くなるものの、幼形期から出穂期にかけて差を縮小する傾向にあった。葉色は7月上旬から下旬にPCU区の方が濃い傾向にあり、特に幼形期頃に両区の差が大きかった。2018年の場合、窒素吸収量は幼形期まで両区ほぼ同等で、出穂期以降PCU区がやや少なく推移した。PCU区の茎数は、7月上旬～幼形期を中心にLP区よりやや多く推移した。葉色は7月以降同等かやや淡く、出穂期以降、両区の差が拡大する傾向にあった。

4) 水稻の収量と玄米品質

第3表に水稻の収量、収量構成要素及び玄米品質を示した。作況指数が96の「やや不良」であった2018年は、2017年と比べ収量が低かった。PCU区の収量は、LP区と比べ、各年次わら重がやや大きいものの粒重が低い傾向にあり、精玄米重は、2017年は同等であるが2018年はやや劣った。収量構成要素は、2017年は各項目でPCU区とLP区の差は小さく一定の傾向が認められないが、2018年はいずれの項目もPCU区がLP区より少しずつ小さかった。PCU区は、千粒重とタンパク質含有率がLP区より有意に低く、外観品質は有意ではないもののやや劣り2か年とも落等した。

考 察

PCU3Mは、LP100と比べ移植後速やかに窒素の溶出

が始まる傾向が2か年とも認められた。積算地温に対する溶出特性を比較すると、6月上中旬の地温の低かった2017年でLP100の溶出が遅れたのに対し、PCU3Mは年次間の違いが小さかった。輸入被覆肥料は国産被覆肥料と比較して溶出のバラツキがあるとされているが(全国農業協同組合連合会 2019)、本試験ではそのような傾向は確認されなかった。

一方で、国産被覆尿素肥料の溶出は、年次により変動することを住田ら(2003)や大塚(2018)が指摘している。また、小林(2015)は、被覆肥料の溶出は指数関数型であること、温度変化の大きい場合に溶出が早まること、被覆肥料の溶出の温度依存性が大きいほどその傾向が顕著であること等を指摘している。本試験を行った2か年は水稻移植後10～20日頃の地温の年次間差が大きく(第2図)、これがLP100における2か年の溶出の違いに影響したと推察される。一方、PCUは温度と溶出速度の関係がほぼ直線的であると推察されるが、溶出機作について本試験では明らかにできなかった。

水稻生育への影響を見ると、PCU区では生育の初期からLP区より茎数の多い傾向が2か年とも認められた。特に、LP100の溶出が遅れた2017年は、幼形期までの窒素吸収量が多く、葉色も濃い傾向にあった。2018年は、LP100の溶出が前年ほど遅れず、PCU3Mとの差が小さかったため、窒素吸収量や葉色では幼形期まで両区の違いが認められなかったが、PCU区で茎数の多い傾向は認められた。一方で、LP区と比べ幼形期以降

第3表 水稻の収量、収量構成要素及び玄米品質

年次	試験区	収量				収量構成要素					玄米品質	
		全重	わら重	1) 精粳重	2,3) 精玄米重	穂数	一穂 粳数	総粳数	登熟 歩合	2,3) 千粒重	2,4) タンパク質 含有率	5) 外観 品質
(g m ⁻²)		(本 m ⁻²)	(粒 穂 ⁻¹)	(千粒 m ⁻²)	(%)	(g 千粒 ⁻¹)	(%)					
2017	PCU区	1708	841	819 (0.98)	619	418	73.6	30.7	82.4	24.9	5.68	3.3
	LP区	1661	808	812 (1.01)	618	420	71.9	30.2	81.3	25.1	5.71	2.7
2018	PCU区	1493	733	727 (0.99)	509	460	60.2	27.7	88.6	22.9	5.91	3.3
	LP区	1468	687	751 (1.09)	558	465	61.0	28.4	89.7	23.5	6.31	3.0
分散分析のP値 ⁶⁾												
年次		0.001	0.005	0.001 (0.124)	0.000	0.004	0.003	0.062	0.002	0.000	0.001	0.747
試験区		0.382	0.221	0.566 (0.058)	0.068	0.752	0.880	0.910	0.992	0.005	0.033	0.347
年次×試験区		0.778	0.838	0.326 (0.268)	0.059	0.870	0.674	0.587	0.528	0.059	0.065	0.747

注 1) 括弧内は籾わら比. 2) 水分 15%換算. 3) 篩目 1.9mm. 4) ケルダール法により求めた窒素濃度に換算係数 5.95 を乗じた. 5) 穀物検定協会東北支部による 9 段階評価. 1~3 が 1 等の上, 中, 下, 4~6 が 2 等の上, 中, 下, 7~9 が 3 等の上, 中, 下. 6) 下線を付したところは $P < 0.05$.

の窒素吸収量が少なく、葉色が低下しやすい傾向にあった。また、籾わら比が低く、玄米タンパク質含有率は低いものの千粒重や外観品質の劣る傾向が認められた。

このように、PCU3M は LP100 と比べ茎数の早期確保という点で有利であるものの、移植後早々に溶出のピークがありその後徐々に溶出量が減少するため、生育中後期の窒素量が不足し葉色が低下する傾向にある。千粒重や外観品質が劣り落等していることから見ても、LP100 と比べ登熟機能の維持という点では劣ると考えられた。

以上のことから、PCU3M は初中期の生育を促進する効果は高いものの、本試験で検討した早緩比率 3:7 では、LP100 等溶出期間の長い被覆尿素の全量を代替するのは難しく、一部を代替する肥料として用いることが適切と考えられた。

摘 要

輸入被覆尿素の一種である PCU3M を供試し、LP100 を対照として、ほ場埋設法により窒素の溶出特性を確認した。また、速効性窒素と PCU3M 或いは LP100 由来窒素を 3:7 で配合した肥料を試作し、水稻への肥効を検討した。

1) ほ場埋設法によると、PCU3M の窒素溶出パターンは放物線状であり、LP100 と比べ溶出率の年次間差は小さかった。80%の窒素の溶出に要する積算地温は 1500~1700℃で、生育期間内の最終的な溶出率は 90%以上であった。

2) LP100 を配合した肥料と比べ、PCU3M を配合した肥料は茎数の早期確保には有利であるものの、生育

中後期の窒素量が不足する傾向にあった。したがって、PCU3M の活用にあたっては、LP100 等溶出期間の長い被覆尿素の一部を代替する肥料として利用することが適切と考えられた。

謝辞 本試験の実施にあたり、JA 全農あきた及び片倉コープアグリ（株）には肥料の入手、配合に際しご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 秋田県農林水産部. 2019. 稲作指導指針 平成 31 年 3 月. (附) 稲作関係資料 VII 機械及び農作業. P.227.
- 小林 新・藤澤英司・久保省三・羽生友治. 1997. ガウス補正法による溶出モデル式の改良. 土肥誌. 68:487-492.
- 小林 新. 2015. 樹脂系被覆肥料による革新的な施肥技術の開発と今後の展望 6. 樹脂系被覆肥料に期待される新たな機能と施肥技術への展望. 土肥誌. 86:563-572.
- 大塚紀夫. 2018. 被覆尿素のみの側条施肥による水稻の省力・低コスト施肥法. 農業と科学. 平成 30 年 8 月 1 日. 7-13.
- 住田弘一・加藤直人・西田瑞彦. 2003. 寒冷地水田における肥効調節型肥料の窒素発現の温度依存性. 東北農業研究. 56: 57-58.
- 全国農業協同組合連合会. トータル生産コスト取り組みメニュー. 労働費低減. 輸入肥効調節型肥料入り銘柄. <https://www.zennoh.or.jp/activity/costs.html> (令和 2 年 3 月 16 日確認).

編集委員長：佐野 広伸

査読者：佐藤 孝夫
松本 眞一
高橋 竜一
中川 進平
石田 頼子

研 究 報 告 第 58 号

令和 2 年 3 月発行

編集兼発行 秋 田 県 農 業 試 験 場
代表者 金 和裕
郵便番号 010 - 1231
秋田県秋田市雄和相川字源八沢 34-1
電話番号 018 - (881) - 3330
F A X 018 - (881) - 3939
