

# 長岡市川口武道窪の水稲圃場における玄米タンパク質含有率と葉色との関係

## 第2報 タンパク質含有率の年次変動および土壌肥沃度との関係

福山利範<sup>1\*</sup>・阿部信行<sup>1</sup>

(平成24年1月13日受付)

### 要約

長岡市川口武道窪の32圃場の水稲について、玄米タンパク質含有率と葉色の推移および土壌肥沃度との関係を調査した。タンパク質含有率は5.3%から7.8%の変異を示し、土壌中のアンモニア態窒素含量と有意な正の相関を示した。また、葉色 (SPAD値) とも正の相関を示し、とくに収穫10日後が  $r = 0.920$  と高かった。タンパク質含有率の年次相関が高かったため、収穫10日後の SPAD 値33で圃場を仕分け、タンパク質含有率の高低に基づく分別収穫が提案された。

新大農研報, 64(2):151-158, 2012

キーワード: 玄米タンパク質、コシヒカリ BL、SPAD 値、土壌肥沃度、葉色

中越地震 (2004年10月) で大きな打撃を受けた長岡市川口武道窪地域は、2005年に農事法人組合「グループファーム武道窪」を立ち上げ、全国的ブランド米「魚沼コシヒカリ」の高品質安定生産の確立に励んでいる。しかしながら、組合の圃場は同一の肥培管理が行われているにもかかわらず、食味に深く関与するとされている玄米タンパク質含有率にかなりのばらつきがある (福山と阿部, 2010)。この品質のばらつきの原因を明らかにし制御すること、あるいはタンパク質含有率による仕分け収穫で産米を分別し、市場に有利な形で流通させることは「グループファーム武道窪」の活性化には重要な課題である。

武道窪の32圃場には玄米タンパク質含有率について5%~6.8%の差異があり、収穫7日後の乳熟期の止葉の SPAD 値で分別して収穫することが提案された (福山と阿部, 2010)。森ら (2010) は山形県庄内地域のはえぬきの葉色診断を行い、収穫17~20日後の糊熟期の SPAD 値で玄米タンパク質含有率の仕分けを提案している。

本研究では、武道窪における玄米タンパク質含有率の変異と土壌肥沃度との関係を明らかにし、さらに SPAD 値による分別収穫の可能性について検討した。

### 材料および方法

長岡市川口武道窪の農事法人組合「グループファーム武道窪」が管理する32圃場および比較対照として新潟大学農学部附属フィールド科学教育研究センター新通ステーション (新潟市西区新通) の1圃場を調査対象とした。

武道窪の32圃場については土壌分析を行うため、2011年5月7日に各圃場5ヵ所から土を採取した。土サンプルは室内で乾燥させ、乳鉢で粉碎後1mmの篩を通し分析に供した。全農型土壌分析器 ZA-II (富士平工業) により、アンモニア態窒素、リン酸および腐植量を測定した。

各圃場とも作付け品種はコシヒカリ BL で、本田移植は5月22日に坪当たり50株の栽植密度で行われた。施肥は、土づく

り用として「魚沼ロマン土づくり (P = 7%)」 (北魚沼農協) を10a当り40kg、基肥として「有機50魚沼ロマン元肥一発 (N:P:K = 12%:7%:6%)」 (北魚沼農協) を10a当り50kg 施した。ただし、圃場-24、25、26 (表1参照) は40kgである。また、中間追肥として7月初旬に「魚沼ロマングルメエース (P = 6%)」 (北魚沼農協) を10a当り20kg 施した。対照区の新通圃場は、基肥として N:P:K = 12%:16%:14% を10a当り30kg、追肥として N:P:K = 15%:0%:20% を7kgずつ2回に分けて施した。

各圃場で標準的な生育を示す地点で連続する10株を選定し、以下の調査を行った。

葉色は、7月21日、8月1日、11日、21日、9月1日および収穫期 (9月14日) に葉緑素計 (ミノルタ SPAD-502) を用いて株毎に最長稈の止葉中位部を測定した。なお、7月21日は止葉が展開していなかったため、上から2番目の展開葉の中位部を調査した。収穫したサンプルはビニルハウス内で2週間の自然乾燥を行った。

株毎に、穂数、最長稈の稈長、穂長、1穂穎花数、稈実粒数を調査した後、圃場ごとに脱穀・粃摺りを行った。粗玄米重を測定し、1.8mm 篩で選別して精玄米率を算出した。精玄米について、食味分析計 (静岡製機 PS-500) でタンパク質含有率 (水分0%とした乾物基準)、アミロース含量 (総デンプン比)、食味スコアを測定し、さらに目視により整粒 (正常粒)、心白・乳白・基白・腹白を含む障害粒、青未熟粒に分けた。

### 結果

#### 1. 武道窪圃場の土壌分析

表1に土壌分析の結果を示した。アンモニア態窒素は圃場-9が3.6mg/100gと最も多く、ついで圃場-21および26が3mg以上と多かった。濃度が低かったのは圃場-4と12で1.1mg/100gであり、圃場間の変動係数 (CV) は31.1%であった。リン酸濃度は14.1~98.2mg/100gと変異幅が広く、CVは42.2%と高かった。圃場-1、2、25が20mg以下ととく

<sup>1</sup> 新潟大学農学部 fukuyama@agr.niigata-u.ac.jp

表1 アンモニア態窒素、リン酸、腐植量の圃場間差異

圃場番号	NH <sub>4</sub> -N (mg/100g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	腐植 (%)
1	1.2	14.1	4.7
2	2.4	15.7	5.5
3	1.4	80.5	6.8
4	1.1	79.0	7.2
5	1.6	59.3	6.7
6	1.6	66.3	7.7
7	1.5	63.2	9.7
8	2.1	69.8	7.9
9	3.6	66.5	7.9
10	1.3	76.2	7.2
11	1.7	80.9	7.0
12	1.1	40.3	7.0
13	1.6	29.1	8.2
14	1.9	98.2	7.4
15	2.6	74.4	9.0
16	1.4	82.7	7.2
17	1.8	44.9	7.4
18	2.5	61.2	6.5
19	1.4	60.1	6.7
20	1.6	42.9	6.6
21	3.0	39.5	7.1
22	2.5	52.0	6.7
23	2.3	43.6	7.6
24	2.6	30.6	2.4
25	2.4	19.2	2.0
26	3.2	26.6	2.1
30	2.1	25.9	12.0
31	2.4	74.0	10.9
32	2.5	36.7	12.0
33	2.0	37.4	12.0
34	2.7	49.8	7.1
35	2.4	42.4	6.7
最大	3.6	98.2	12.0
最小	1.1	14.1	2.0
平均	2.0	52.6	7.3
CV (%)	31.1	42.2	33.4

に低かった。腐植量は2%から12%の変異がみられたが、圃場-30、32および33は分析器の測定上限(12%)に達しており、実際にはさらに高い可能性がある。圃場-24、25、26は2%程度と低かったが、いずれも水はけが悪く湿田状態であった。

## 2. 水稻の生育、収量および玄米品質調査

葉色 (SPAD 値) の推移を表2に示す。武道窪圃場の出穂日は8月11日であったので、表中の測定日7月21日は出穂21

日前、8月1日は10日前、21日は10日後、9月1日は21日後、9月14日は収穫日で出穂後34日となる。武道窪32圃場のSPAD平均値を時期別にみると、8月中は大きな変動はみられず圃場間のばらつきを示す変動係数(CV)も10%前後と低かった。9月14日は平均で20.9と退色が顕著であったが13.7(圃場-32)から33.5(圃場-26)と広い変異幅(CV=24%)がみられた。これらの傾向は対照とした新通圃場とほぼ同じであった。6回の測定値の平均で32圃場の変異をみると、圃場-26が37.2と最も高く、ついで圃場-8が37.1であった。一方、圃場-13、32~35は25以下と低い値を示した。

表3には稈長および収量関連形質の調査結果を示した。稈長は32圃場間で77~102cmの変異を示し、平均は91cmで新通(92.6cm)とほぼ同じであった。穂数は14.9~25.8本とやや広い変異を示し(CV=12.4%)、平均は20.8本であった。穂長はCVが4%と最も小さく平均値は184mmであったが、1穂粒数は85から149と広い変異を示し(CV=13%)、平均は115粒であった。株当りの精玄米(1.8mm篩上)重は21から42gと2倍の変異がみられ、CVも15.5%と最大であった。千粒重は平均が21.3gで圃場間変異は小さかった。

表4には精玄米の品質と食味関連形質の調査結果を示した。障害粒は主に乳白であったが出現頻度の平均は11.4%と低く、また青粒も平均2.2%と少なかった。したがって、整粒割合は78.5%以上、平均86.4%と高かった。食味に関連する玄米のタンパク質含有率(水分0%換算値)は5.3%から7.8%の圃場間変異を示した。圃場-2、8、9、26がいずれも7%以上と高かった。一方、圃場-13、32および33は5.5%未満ととくに低かった。アミロース含量は平均20.6%で圃場間差異はほとんどなかった。食味スコアは66.5から92とやや広い変異を示し、平均が83.1で対照の新通(79.5)より高かった。タンパク質含有率と食味スコアとの相関係数は $r = -0.984$ ときわめて高い値であった。

武道窪の32圃場は3圃場(24、25および26)を除き施肥条件が同じであったので、玄米タンパク質含有率の圃場間差異の原因を知るために土中アンモニア態窒素量との関係を調べた。図1に示すように、タンパク質含有率と土中窒素量とは $r = 0.573$ と0.1%水準で有意な正の相関がみられた。窒素量が3mg/100gと多かった3圃場(9、21および26)はいずれもタンパク質が6.5%を超えていた。一方、窒素量が2~2.5mg/100gでもタンパク質含有率が7%を超える圃場(2および8)もみられ、得られた一回帰式の寄与率( $R^2$ )は0.328と全体の変異の33%しか説明できなかった。

つぎに、玄米タンパク質含有率と葉色(SPAD値)の推移との関係を調べた。図2に示したように、いずれの測定時期でも0.1%水準で有意な正の相関関係が得られたが、とくに出穂日(8月11日)以降の相関が高く、収穫日(9月14日)が $r = 0.925$ と最高で、ついで出穂10日後(8月21日)が $r = 0.920$ と高かった。

## 考察

2004年の中越地震で壊滅的な被害を受けた長岡市川口武道窪では、農事法人組合「グループファーム武道窪」を立ち上げ、震災からの復興に取り組んでいる。著者らは、この組合の高品質米の安定生産に寄与するために2009年からイネの生育および玄米品質を調査してきた(阿部、未発表;福山と阿部、2011)。組合が管理する32の圃場間にはかなりの玄米タンパク質含有

表2 葉色（SPAD 値）の時期別推移と平均値

圃場 番号	SPAD 値（測定日）						平均値
	7月21日	8月1日	8月11日	8月21日	9月1日	9月14日	
1	30.6	27.5	29.9	31.1	27.4	16.7	27.2
2	33.3	31.3	36.6	38.5	34.3	28.1	33.7
3	29.9	26.5	29.9	30.1	26.6	16.6	26.6
4	33.3	31.3	30.9	29.9	27.5	17.7	28.4
5	34.6	29.9	30.9	30.5	29.4	19.0	29.1
6	36.4	31.5	30.7	32.8	30.1	23.3	30.8
7	31.0	30.7	26.3	28.5	27.3	16.5	26.7
8	39.4	40.1	37.0	38.6	36.6	31.1	37.1
9	35.7	32.8	34.8	35.6	33.9	28.3	33.5
10	33.2	30.3	29.9	32.0	27.9	20.9	29.0
11	33.3	31.4	30.3	31.9	30.1	19.4	29.4
12	32.3	28.2	28.7	30.0	25.2	20.4	27.5
13	27.9	25.6	25.9	27.7	23.7	14.5	24.2
14	29.9	29.4	29.2	30.0	25.4	19.4	27.2
15	30.8	31.3	29.9	30.8	26.4	17.3	27.8
16	31.3	28.6	30.2	30.6	27.5	20.0	28.0
17	33.9	33.1	32.1	33.2	30.9	23.0	31.0
18	34.0	29.3	29.4	32.3	29.3	22.0	29.4
19	31.7	29.3	30.1	29.9	27.7	19.1	28.0
20	35.1	32.5	31.5	31.8	31.4	25.1	31.2
21	34.5	30.6	33.2	34.3	31.0	25.1	31.5
22	34.6	31.8	33.2	34.0	32.6	25.7	32.0
23	35.1	33.4	33.1	35.3	32.5	26.8	32.7
24	34.2	30.9	32.5	32.5	28.0	19.3	29.6
25	35.3	29.2	32.3	31.4	31.2	24.4	30.6
26	39.5	35.2	37.1	39.2	38.8	33.5	37.2
30	33.6	33.7	31.2	29.7	28.9	16.9	29.0
31	32.3	34.0	29.2	30.2	27.6	17.7	28.5
32	27.3	26.4	27.6	26.1	23.2	13.7	24.1
33	26.6	26.6	31.0	26.8	23.4	15.5	25.0
34	28.9	28.6	26.4	26.9	20.3	17.9	24.8
35	28.2	27.1	28.0	26.8	21.3	14.1	24.3
最大	39.5	40.1	37.1	39.2	38.8	33.5	37.2
最小	26.6	25.6	25.9	26.1	20.3	13.7	24.1
平均	32.7	30.6	30.9	31.5	28.7	20.9	29.2
CV(%)	9.6	9.8	9.2	10.6	14.5	24.0	11.4
新通	31.0	28.5	31.3	33.9	32.1	25.7	30.4

表3 稈長および収量関連形質

圃場 番号	稈長 (cm)	穂数	穂長 (mm)	1穂粒数	精玄米重 (g/1株)	千粒重 (g)
1	84.0	18.5	182	112	28.8	21.4
2	92.1	20.9	186	116	34.4	22.0
3	89.5	20.6	178	107	31.6	21.4
4	92.5	19.0	188	122	30.6	20.8
5	91.8	20.7	180	115	35.0	21.6
6	96.8	19.8	192	131	34.9	21.4
7	84.9	14.9	174	98	21.9	20.9
8	97.4	21.9	200	149	39.3	22.3
9	95.1	21.8	183	111	29.0	21.6
10	91.7	22.7	191	119	36.2	21.5
11	93.6	23.1	185	116	35.6	21.1
12	91.4	18.9	177	102	29.0	21.4
13	79.8	17.2	169	85	21.0	21.1
14	84.7	22.9	178	106	37.4	21.5
15	92.2	21.5	182	110	34.9	21.2
16	91.9	17.7	178	105	27.2	21.7
17	92.6	23.6	190	121	37.4	21.7
18	93.6	24.5	183	98	33.7	21.6
19	88.9	25.2	177	97	35.1	21.7
20	97.9	23.2	185	118	33.6	21.2
21	94.6	25.8	199	133	42.3	21.7
22	97.7	25.0	192	132	40.9	21.8
23	96.3	22.9	189	122	35.1	21.8
24	92.7	17.6	188	135	34.9	20.8
25	95.2	19.8	186	132	35.2	21.8
26	101.9	21.0	198	148	36.5	21.4
30	86.3	19.0	191	108	29.6	21.3
31	91.3	19.1	188	116	29.6	20.5
32	85.4	19.6	177	106	27.7	20.9
33	85.9	20.1	180	106	27.3	20.3
34	84.1	20.5	184	112	29.9	20.9
35	77.0	18.1	175	96	25.9	20.5
最大	101.9	25.8	200	149	42.3	22.3
最小	77.0	14.9	169	85	21.0	20.3
平均	91.0	20.8	184	115	32.5	21.3
CV (%)	6.1	12.4	4	13	15.5	2.2
新通	92.6	21.4	168	88	23.0	20.5

表4 玄米品質および食味関連形質

圃場 番号	整粒 (%)	障害粒 (%)	青粒 (%)	タンパク質 含有率 (%)	アミロース 含有率 (%)	食味 スコア
1	89.9	8.2	1.9	6.1	20.5	86.0
2	85.8	9.3	4.9	7.4	20.8	71.0
3	89.5	9.6	1.0	5.6	20.9	88.0
4	85.2	13.2	1.6	5.6	20.5	87.5
5	87.0	11.3	1.7	5.8	20.5	87.5
6	86.8	10.6	2.6	6.0	20.7	85.5
7	89.1	8.4	2.4	5.5	20.7	89.0
8	86.8	7.7	5.5	7.8	20.9	68.0
9	78.5	17.1	4.4	7.7	20.9	66.5
10	90.3	9.3	0.5	5.9	20.7	85.0
11	85.7	11.7	2.6	5.9	20.7	82.5
12	87.8	11.6	0.5	5.5	20.8	89.0
13	88.2	10.1	1.7	5.3	20.3	92.0
14	86.9	12.2	0.9	5.9	20.6	85.5
15	83.4	15.4	1.3	5.8	20.6	85.5
16	85.9	12.6	1.5	6.0	20.5	85.5
17	88.6	10.7	0.7	6.2	20.8	82.0
18	83.8	13.9	2.3	6.2	20.6	84.5
19	89.2	8.7	2.1	5.8	20.7	85.0
20	84.0	13.5	2.5	6.4	20.8	80.0
21	87.7	8.9	3.4	6.6	20.6	80.0
22	85.6	10.9	3.5	6.6	21.0	76.5
23	84.9	13.1	2.0	6.8	20.7	78.0
24	90.9	8.3	0.9	6.3	20.6	82.5
25	85.9	12.1	2.1	6.8	20.9	77.0
26	84.2	7.6	8.1	7.8	21.0	67.0
30	84.2	12.6	3.2	5.8	20.7	86.0
31	85.6	12.5	1.8	6.0	20.7	83.5
32	82.6	16.8	0.5	5.4	20.3	91.5
33	85.3	13.5	1.2	5.3	20.4	91.5
34	86.8	13.0	0.2	5.5	20.2	89.5
35	89.0	10.2	0.8	5.7	20.1	91.0
最大	90.9	17.1	8.1	7.8	21.0	92.0
最小	78.5	7.6	0.2	5.3	20.1	66.5
平均	86.4	11.4	2.2	6.1	20.6	83.1
CV(%)	3.0	22.0	76.6	11.5	1.1	8.5
新通	86.7	12.8	0.5	6.6	20.6	79.5

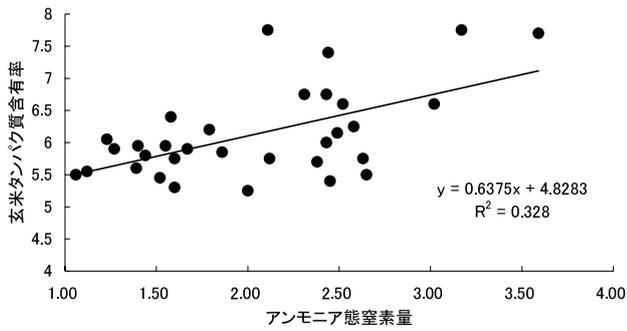


図1 土壌のアンモニア態窒素量と玄米タンパク質含有率との関係

率の差異があったので、今回の結果を合わせて年次相関を算出したところ、2009年と2010年は  $r = 0.429$  (5%水準で有意)、2009年と2011年は  $r = 0.615$  (0.1%水準で有意)、2010年と2011年は  $r = 0.696$  (0.1%水準で有意)といずれも高い相関を示した。すなわち栽培年次に関わらずタンパク質含有率が高い、あるいは逆に低い圃場のあることが示された。これら32の圃場は同一の栽培方法、施肥管理が行われているので、タンパク質含有率の変動要因としては個別圃場の土壌成分の違いによることが予測された。そこで、本研究では春耕前に土壌を採取し、アンモニア態窒素、リン酸および腐植量を調査した。その結果、図1に示したようにアンモニア態窒素量と玄米タンパク質含有率との間には  $r = 0.573$  と0.1%水準で有意な正の相関が検出された。したがって、アンモニア態窒素が3 mg/100g以上の圃場は基肥を控えるなどの対策が必要であろう。しかしながら、アンモニア態窒素が3 mg以下でもタンパク質含有率が7%を超える圃場もあり、図1の回帰式の寄与率が32.8%であること

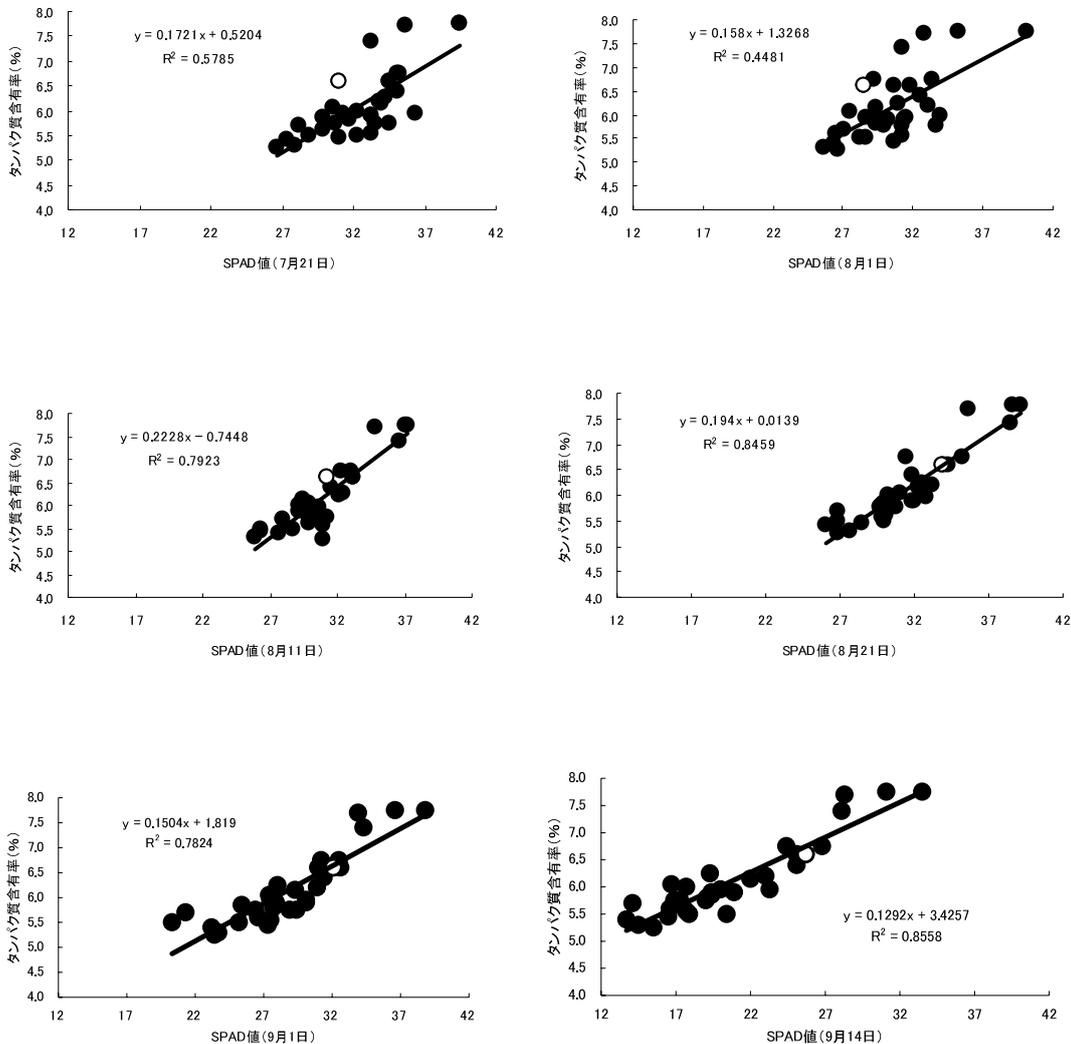


図2 異なる時期における葉色 (SPAD 値) と玄米タンパク質含有率との関係  
相関係数は、7月21日から順次  $r = 0.761, 0.669, 0.890, 0.920, 0.885$  および  $0.925$  でいずれも0.1%水準で有意。白丸は新通圃場で相関分析からは除外。

を考慮すると土壤肥沃度だけでは説明できないことは明らかである。調査株が10と少ないこともあり、圃場内のサンプリングエラーも含めて他の要因についても今後の更なる調査を必要とする。岡本ら（1989）も玄米の窒素含量と土壤の可給態窒素との関係を調べ、5%水準で有意な正の相関を示したが、その寄与率は56%程度であった。

食味に深く関わる玄米タンパク質含有率については法人組合の32圃場で揃えることが望まれるが、実際には上述のようにばらつきがあり、その原因についてはまだ十分確定できていない。そこで、次善の策としてタンパク質含有率によって分別収穫することが考えられる。著者らは2010年の武道窪の調査で出穂後1週間目の止葉のSPAD値と玄米タンパク質含有率の相関が高いことから、この時期のSPAD値（33）を境界値として圃場を分別することを提案した（福山と阿部、2011）。本実験でも同様の調査をしたところ、収穫日（9月14日）のSPAD値がタンパク質含有率と最も相関が高く（ $r = 0.925$ ）、ついで出穂10日後（8月21日）の相関が0.920と高かった。SPAD値によって分別収穫を行うには、できれば収穫前に圃場が区別されていることが作業計画上望まれるので、出穂10日後のSPAD値を使うことが考えられる。福山と阿部（2011）が提案したSPAD値33で8月21日の圃場を区別すると、33未満が24圃場でそれらのタンパク質含有率は5.3%～6.8%、平均値が5.8%、33以上の8圃場は6.2%～7.8%で、その平均値は7.1%であり、両群間には1.3%の差が認められた。森ら（2010）は、山形県庄内地方における品種「はえぬき」を用いた実験で、糊熟期（出穂後17～20日）のSPAD値32を境界として玄米タンパク質含有率を仕分けることを提案している。SPAD値測定が出穂後10日前後の本実験とはやや異なるが、これは栽培地の違いあるいは品種が異なることによるものだろう。

武道窪は、元来「魚沼コシヒカリ」として全国的に有名な良食味米産地であるが、分別収穫を取り入れ、さらなる特別ブランドを確立し、地域農業の活性化に繋げることが望まれる。

## 謝辞

新潟県長岡市川口武道窪の農事法人組合「グループファーム武道窪」には、調査圃場の提供、試料採取に多大な協力を得た。記して深謝する。

## 引用文献

- 福山利範・阿部信行. 2011. 長岡市川口武道窪の水稲圃場における玄米タンパク質含有率と葉色との関係. *新大農研報* **63**: 55-62.
- 森静香・横山克至・藤井弘志. 2010. 山形県の庄内地域における登熟期の葉色診断による産米の玄米タンパク質含有率別仕分け法. *日作紀* **79**: 113-119.
- 岡本正弘・堀野俊郎・脇本賢三・新井利直・坂井真. 1989. 土壌型による食味の変動と米の成分との関係. *日作紀* **58(別号1)**: 68-69.

# Relationships between Protein Content of Rice Grain and Leaf Color in Paddy Field of Budokubo, Nagaoka City.

## 2. Yearly Variation of Protein Content and Its Relation to Soil Fertility

Toshinori FUKUYAMA<sup>1\*</sup> and Nobuyuki ABE<sup>1</sup>

(Received January 13, 2012)

### Summary

Relationships among protein content of brown rice grains, the change of leaf color and soil fertility were investigated in 32 paddy fields of Budokubo, Nagaoka City. Protein content varied from 5.3 % to 7.8 % , and positively correlated with the nitrogen content of the soil of 32 fields. Protein content also showed significant correlations with leaf color (SPAD value) from booting stage to harvest, especially high( $r=0.920$ ) with those of 10 days after heading. Since yearly correlation of protein content was significantly high, it was recommended that the fields with low and high protein content should be separately harvested using the border leaf color, SPAD value of 33, 10 days after heading.

*Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 64(2):151-158, 2012*

**Key words** : Koshihikari BL, Leaf color, Protein content of rice grain, SPAD value, Soil fertility

---

<sup>1</sup> Faculty of Agriculture, Niigata University