

冷害被害米の成分特性とその発芽による GABAを中心とした遊離アミノ酸の変化*

武山 進一^{**}、遠山 良^{**}、齊藤 博之^{***}

冷害年は米の収穫量が落ちその商品価値も低下することから、冷害被害を受けた米は付加価値の向上が求められる。H15年産の篩下米について、その成分特性を調査すると共に、発芽玄米用途への検討として、発芽時のGABAを中心とする遊離アミノ酸の変化について調査した。篩下米の未熟粒はタンパク質が少ないが遊離アミノ酸量が多く、GABA量は10mg%以上を示すものもあった。篩下米の32℃での発芽率は89～94%で、発芽処理12時間後程度まではそのGABA量は篩い上を上回る場合もあった。篩下米やその未熟粒について発芽処理による価値向上の可能性を見出すことが出来た。

キーワード：冷害被害米、発芽玄米、篩下米

Composition Characteristics of Damaged Rice by Cold-weather and Changes of γ -Amino-butyric Acids(GABA) and Free Amino Acids During Germination

TAKEYAMA Shinichi, TOYAMA Ryo and SAITO Hiroyuki

In the year of cold-weather summer, the yield of rice crop is reduced and the quality of the rice is low, therefore the improvement of its value by the process of after harvest is demanded. We investigated the composition characteristics of poorly ripened rice (grain thickness is 1.9mm or 2.0mm under) harvested in 2003, and also examined the changes of γ -Amino-butyric Acids (GABA) and free amino acids during germination. The protein contents of immature grain were low, but the total free amino acids content were higher than those of normal grain so that some of those GABA contents of some samples were 10mg/100g over. The germination rates of poorly ripened rice were 89-94% at 32°C, and the GABA contents exceeded that of the normal rice during about 12hours after the germination process. We found the possibility of improving the value of poorly ripened rice or immature grain, by the process of germination.

key words : damaged rice by cold-weather, germinated brown rice, poorly ripened rice (grain thickness is 1.9mm or 2.0mm under)

1 緒 言

平成15年の東北地方の稲作は10年ぶりの大冷害となり、水稲作況指数80(東北全体)と作柄が大きく低下した。冷害による被害を受けた米の品質は低く、また規格外米やくず米の占める割合が高くなる。冷害を起こさないための栽培面での検討は長年行われているが、回避出来ずに収穫された冷害被害米を有効活用しようとする検討は積極的には行われていない。また、平年作とされる年の場合でもくず米や規格外の米、あるいは冷害多発地域産の米は、商品価値が低い米として扱われている。これらを有効活用するために、その品質や特徴に着目した加工食

品開発や、付加価値を向上する研究を行う必要がある。冷害被害米の付加価値向上の方策として、玄米の機能性成分のひとつであるGABAに着目した。すでに玄米のGABAの蓄積について多くの研究がなされている^{1~4)}が、タンパク質含量が高いとされる冷害被害米⁵⁾での研究は事例がない。

我々は、冷害年次収穫米から市販流通品より粒厚が小さい篩下米を、冷害被害米として設定し、その成分的特徴を調べると共に、篩下玄米の発芽過程におけるGABAを中心とした遊離アミノ酸の変化について調査した。

* 先端技術を活用した農林水産研究高度化事業研究

** 食品技術部

*** 理事兼技術支援統括部長

2 実験方法

2-1 試料

H15年岩手県花巻地区で収穫された飯米と酒米を試料とした。飯米は、ひとめぼれ、あきたこまちの2品種、酒米は吟ぎんが1品種を、粒厚の異なる3規格ずつ供試した。飯米については、粒厚1.9mm以上の玄米を篩い上、この粒厚に満たない玄米を篩下玄米のうち、粒厚1.9~1.8mmを篩い下1、粒厚1.8mm未満を篩い下2と、標記する。酒米については、飯米に比べ大粒であることから、粒厚2.0mm以上の玄米を篩い上と標記し、その粒厚に満たない、粒厚2.0~1.9mmを篩い下1、粒厚1.9~1.85mmを篩い下2と標記する。

玄米の水分は15.6~16.3%に調整されていたが、長期保管時の品質維持のために、室内で自然乾燥し水分14%前後迄乾燥した。

2-2 処理条件

2-2-1 風力選別処理

篩下玄米中の稲麴病粒除去のため、国光社製風力選別機EF-30を用いて選別した。

2-2-2 色彩選別による選別処理

篩下玄米について玄米粒の色調の違いによる成分特性を調査するため、品質判定機RS-2000（静岡精機製）を用いて篩下玄米の選別処理を行った。同機種による品質判定区分名＝良質粒、未熟粒、被害粒、死米、着色粒、胴割粒、の6種に選別すると共に、それぞれの割合（粒数比）を求めた。

2-2-3 玄米の発芽処理

玄米10gに水15mlを加え32℃で浸漬し、玄米を発芽させた。

2-3 測定条件

2-3-1 一般成分分析

水分は常圧乾燥法(135℃、2時間)、タンパク質はTECATOR社製ケルテック2020型分解装置及び同社製ケルテック1035型自動蒸留装置による測定、灰分は550℃直接灰化法による測定を行った。

2-3-2 発芽率測定

篩下玄米の発芽する能力の有無を調べるため、発芽率を測定した。シャーレ3枚にろ紙を敷き、ろ紙が浸る程度に蒸留水を加え、篩下玄米各100粒ずつを入れ置床した。32℃で20時間後に発芽数を計測し、発芽率を求めた。僅かでも芽が出ていれば発芽とし、判断がつかねる場合には更に32℃保存を継続し発芽の有無を確認した。

2-3-3 GABA及び遊離アミノ酸測定

発芽処理後のGABA量を、6、12、24、36時間後に測定した。発芽した玄米を遠心分離(1000rpm、5分)して付着水を除き30℃で2時間乾燥後、大久⁴⁾らの試験法に準じ、0.1N-HCLで抽出後、全自動高速アミノ酸分析機(日本電子JLC-300)にて測定した。

3 実験結果及び考察

3-1 篩下米の特徴

3-1-1 風力選別による稲麴粒除去

入手した篩下米は、冷害被害を受けたものであり、稲麴病に侵された玄米が大量に混入していた(写真1)。稲麴病は稲穂に黒麴カビが付着したもので、舂摺り後にも黒色の粒として残存することから、今回の試験においても予めこれを除去する必要があった。稲麴病粒は正常な玄米粒に比べ軽量なことから、風力選別機を用いて、これらの除去を検討した。その結果、篩い下1では軽量部分約20%、篩い下2では同27~33%の除去を行うことで、稲麴病粒の除去が出来た。



写真1 稲麴病に侵された玄米（黒色部分）

3-1-2 篩下米の成分的特徴及び品質判定

篩い下1及び篩い下2について、品種及び粒厚サイズ毎のタンパク質、灰分、遊離アミノ酸量、千粒重を表1に示す。品質判定機によって選別された品質判定区分毎の玄米を写真2に示す。

篩い下と篩い上を比較すると、篩い下1の方がタンパク質、灰分の割合は高く全遊離アミノ酸量が多かった。

また、篩い下1と篩い下2との比較では、篩い下2の方が、灰分と全遊離アミノ酸量が多いのに対し、タンパク質はほぼ同じ値であった。

表1 品種及び粒厚毎の測定結果

用途	品種	粒厚	粒厚区分	タンパク質 (%)	灰分 (%)	遊離アミノ酸 (nmol/g)	千粒重(g)
飯米	ひとめぼれ	1.9mm以上	篩い上	7.73	1.46	7521	20.7
		1.9-1.8mm	篩い下1	8.50	1.63	10061	16.4
		1.8mm未満	篩い下2	8.36	1.66	11544	13.7
	あきたこまち	1.9mm以上	篩い上	9.00	1.60	8977	19.4
		1.9-1.8mm	篩い下1	10.23	1.77	9565	16.2
		1.8mm未満	篩い下2	10.32	1.83	14193	13.8
酒米	吟ぎんが	2.0mm以上	篩い上	8.85	1.51	5180	24.3
		2.0-1.9mm	篩い下1	9.31	1.59	9828	19.8
		1.9-1.85mm	篩い下2	9.37	1.66	13337	17.0

タンパク質、灰分、遊離アミノ酸量は乾物換算値、千粒重は水分13.8%換算値

篩下米は色調の異なる玄米粒で構成されていることが特徴である。篩下米の品質を把握するため、色彩選別方法による品質判定機を用い、品質判定区分割合(粒数%)を求めた(表2)。

表2 品質判定区分割合(粒数%)

品種	粒厚区分	良質粒	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	胴割粒
ひとめぼれ	篩い下1	50.9	18.8	24.2	4.9	0.7	0.5
	篩い下2	22.9	27.9	26.4	20.6	2.1	0.1
あきたこまち	篩い下1	61.6	6.5	29.7	0.6	0.7	0.9
	篩い下2	41.9	13.7	38.5	4.1	1.5	0.3
吟ぎんが	篩い下1	67.5	11.3	16.9	2.6	0.3	1.4
	篩い下2	36.2	19.6	31.1	10.4	2.2	0.5

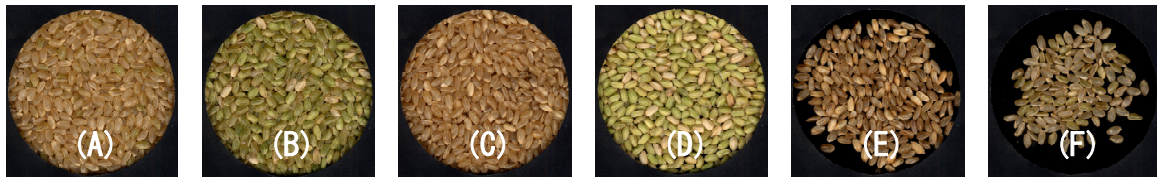


写真2 品質判定機による選別例（ひとめぼれ、篩い下1）

(A) 良質粒；(B) 未熟粒；(C) 被害粒；(D) 死米；(E) 着色粒；(F) 胴割粒

その結果、篩い下2は篩い下1よりも、被害粒、未熟粒、及び死米の構成割合が多かった。また、供試試料3品種では良質粒の占める割合が異なっているが、供試試料の栽培地域が異なるため、品種特性よりも被害程度の差が品質に影響を及ぼしたと判断される

3-1-3 品質判定区毎の成分的特徴

品質判定機による品質判定区毎の成分的特徴を調べるため、タンパク質、灰分、γ-アミノ酪酸(GABA)、全遊離アミノ酸量を測定し、品質判定区分間の有為差検定を行った。その結果を表3に示す。タンパク質含量では、被害粒が高く、良質粒、未熟粒、死米の順に低くなった。全遊離アミノ酸量については、死米が高く、未熟粒、良質粒、被害粒の順に低下した。GABA含量については、死米と未熟粒が高く、良質粒と被害粒を大きく上回っていた。灰分については品質区分間の差は認められなかった。

冷害米など低温・低日照条件下で登熟が不良になるときに高タンパク質となりやすく⁵⁾、また玄米中の遊離アミノ酸は登熟にともない急激に低下する⁶⁾とされている。今回の結果では、未熟粒はタンパク含量は少ないが、遊離アミノ酸含量が多く、その構成成分であるGABA含量も多いという特徴が認められた。

各測定項目間での相関係数は、タンパク質含量と灰分含量が0.552、タンパク質含量と全遊離アミノ酸含量が-0.569であった。また、全遊離アミノ酸含量とGABA含量には、0.908（危険率5%）の正の相関が認められた。

3-1-4 品質判定区による遊離アミノ酸の特徴

ひとめぼれの篩い下1について、良質粒、未熟粒、被害粒、死米の各アミノ酸組成を、表4に示した。表には良質粒の中の全遊離アミノ酸に対する比率が1%以上のアミノ酸についてのみ示している。また、“アミノ酸量比”と

表3 品質判定区分毎の一般成分分析値

品種	粒厚区分	品質区分	タンパク質 (% D.W.)	灰分 (% D.W.)	GABA (mg% D.W.)	遊離アミノ酸 (nmol/g D.W.)
ひとめぼれ	篩い下1	良質粒	8.45	1.60	3.8	8964
		未熟粒	7.97	1.60	10.1	13932
		被害粒	8.50	1.63	3.3	7895
		死米	7.02	1.62	12.7	17572
ひとめぼれ	篩い下2	良質粒	8.22	1.62	5.6	8854
		未熟粒	7.98	1.56	11.2	13513
		被害粒	8.56	1.63	4.1	7213
		死米	7.49	1.72	11.1	15049
あきたこまち	篩い下1	良質粒	9.68	1.76	3.7	9710
		未熟粒	8.80	1.69	8.5	15179
		被害粒	10.12	1.84	4.0	8908
		死米	9.78	1.81	3.9	9567
あきたこまち	篩い下2	良質粒	8.91	1.75	8.7	13555
		未熟粒	10.21	1.83	4.1	8822
		被害粒	10.21	1.83	4.1	8822
		死米	8.73	1.86	9.4	14201
吟ぎんが	篩い下1	良質粒	8.67	1.56	2.2	6990
		未熟粒	8.69	1.61	5.1	11305
		被害粒	8.99	1.61	2.4	6749
		死米	8.05	1.67	8.2	15525
吟ぎんが	篩い下2	良質粒	8.99	1.59	2.9	7702
		未熟粒	9.17	1.64	6.4	12803
		被害粒	9.68	1.68	2.3	6405
		死米	8.35	1.71	8.5	16063
平均*		良質粒	8.96 ^a	1.66 ^a	3.7 ^b	8631 ^a
		未熟粒	8.59 ^b	1.64 ^a	8.3 ^a	13381 ^b
		被害粒	9.35 ^c	1.70 ^b	3.4 ^c	7665 ^c
		死米	7.93 ^d	1.71 ^a	10.0 ^c	15682 ^d

*) 一元配置分散分析：異なるアルファベットの間には有為差あり(p>0.05)。

して、良質粒の遊離アミノ酸量を1とした場合の未熟粒、被害粒、死米の遊離アミノ酸量を比率で示した。

この“アミノ酸量比”は、未熟粒ではアスパラギンで0.5、グルタミンで2.2、GABAで2.7を示し、死米ではアスパラギンで0.7、グルタミンで2.5、GABAで3.3であった。被害粒は、グルタミンで0.4と低値であった以外は、良質粒とほぼ変わらぬアミノ酸組成と量を示していた。以上のことから、未熟粒と死米ではグルタミンとGABAが多く、アスパラギンは少ない傾向が見られた。

表4 ひとめぼれ（篩い下1）の品質区分毎の遊離アミノ酸組成

アミノ酸	良質粒		未熟粒			被害粒			死米		
	アミノ酸量 (nmol/g D.W.)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量 (nmol/g D.W.)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量比 (未熟粒/良質粒)	アミノ酸量 (nmol/g D.W.)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量比 (被害粒/良質粒)	アミノ酸量 (nmol/g D.W.)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量比 (死米/良質粒)
ASP	1850	20.6	2443	17.5	1.3	1505	19.1	0.8	3080	17.5	1.7
THR	86	1.0	192	1.4	2.2	95	1.2	1.1	368	2.1	4.3
SER	555	6.2	1101	7.9	2.0	466	5.9	0.8	1441	8.2	2.6
ASN	1044	11.6	533	3.8	0.5	777	9.8	0.7	694	3.9	0.7
GLU	2169	24.2	3339	24.0	1.5	1965	24.9	0.9	4256	24.2	2.0
GLN	791	8.8	1748	12.5	2.2	355	4.5	0.4	2001	11.4	2.5
GLY	125	1.4	254	1.8	2.0	131	1.7	1.0	411	2.3	3.3
ALA	844	9.4	1142	8.2	1.4	799	10.1	0.9	1620	9.2	1.9
VAL	110	1.2	281	2.0	2.6	107	1.4	1.0	469	2.7	4.3
GABA	367	4.1	975	7.0	2.7	318	4.0	0.9	1227	7.0	3.3
ARG	345	3.8	389	2.8	1.1	319	4.0	0.9	474	2.7	1.4
全アミノ酸	8964		13932		1.6	7895		0.9	17572		2.0

3-2 GABA産生に関する試験

3-2-1 篩下米の発芽率

ひとめぼれ、あきたこまち及び吟ぎんがの篩下米（篩い下1及び篩い下2）の発芽率測定結果を表5に示す。ひとめぼれとあきたこまちは89～94%、吟ぎんがは82～85%の発芽率であり、篩下米でも高い発芽率を示した。品質判定機による選別区分毎の比較では、良質粒（平均92.5%）と被害粒（平均91.7%）が高く、未熟粒（平均83.8%）、死米（51～81%）の順に低下した。

表5 発芽率（粒数%）

品種	粒厚区分	発芽率(%)	品質区分別発芽率(%)					
			良質粒	未熟粒	被害粒	死米	着色粒	胴割粒
ひとめぼれ	篩い下1	94	95	86	94	66	(86)	(84)
	篩い下2	89	96	87	93	81	(86)	(100)
あきたこまち	篩い下1	91	92	91	95	(76)	(93)	(91)
	篩い下2	89	95	90	93	(77)	(77)	(90)
吟ぎんが	篩い下1	85	90	78	90	(59)	(68)	(92)
	篩い下2	82	87	71	85	51	(70)	(85)

備考) 300粒未満の場合には、(参考値)とした。

3-2-2 発芽処理によるGABA産生

32℃水浸漬により玄米を発芽処理した場合のGABA量を図1に示した。ひとめぼれの場合、12時間後迄は篩い下1及び篩い下2のGABA量は篩い上と同等かそれ以上であったが、24時間後には逆転し、篩い下2では36時間後に初期値と同程度まで減少した。この傾向は、吟ぎんがの場合でより顕著に現れており、粒厚が小さいほど12時間程度迄の初期段階でのGABA量が多いが、その後は減少に転じ粒厚が大きいほどGABA量が多くなった。あきたこまちの場合は、初期段階から篩い上(破線)のGABA量が、篩下米のGABA量を上回り、上昇傾向は36時間後まで続いた。ただし、篩下米(実線)の粒厚毎のGABA量の推移に関しては、ひとめぼれや吟ぎんがと同様の増減傾向が認められた。

斎藤ら⁷⁾は、40℃で振とうしながら4時間浸漬する方法でGABAを蓄積させ、玄米粒厚がGABAの蓄積に及ぼす影響をしらべたところ、粒厚が小さくなるにつれGABAの蓄積量が増加し、粒厚1.7mm未満では粒厚2.0mm以上の4.5倍に達したとしている。

今回の試験は、GABAを蓄積させる方法として一般的な発芽玄米製造に準じた条件をとり、また冷害被害をうけた米という品質上の違いもあるが、試験対象とした3品種ともに粒厚が小さい程GABA量が極端に増加するという結果は得られなかった。

3-2-3 発芽による遊離アミノ酸の変化

粒厚と発芽時のアミノ酸の関連について、ひとめぼれの12時間浸漬時の粒厚別のアミノ酸組成を、表6に示す。この表には“アミノ酸量比”として、粒厚毎のアミノ酸量を浸漬前のアミノ酸量を1とした場合の比率で示した。

アスパラギン酸とグルタミン酸は、粒厚にかかわらず減少傾向を示すアミノ酸で、アスパラギン酸は0.4～0.5

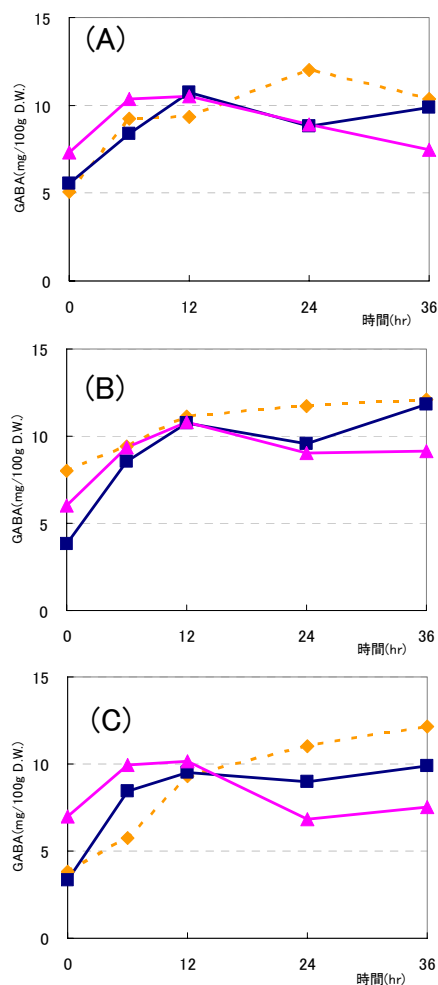


図1 発芽によるGABA量の推移

(A) ひとめぼれ；(B) あきたこまち；(C) 吟ぎんが

—◆— 篩い上 —■— 篩い下1 —▲— 篩い下2

に、グルタミン酸は0.7に減少している。これに対し、アラニンとGABAは増加傾向を示すアミノ酸で、篩い上のアミノ酸量比はそれぞれ、2.1、1.8に増加したが、篩い下1では1.6、1.9に、篩い下2では1.2、1.4の増加にとどまった。粒厚が小さくなると増加量は少なくなるものの、篩い下1であれば、篩い上と遜色ない増加量と言えた。このような遊離アミノ酸の変化は、茶の嫌气的条件下での遊離アミノ酸の変動と類似することが指摘⁴⁾されており、津志田ら⁸⁾は茶の嫌气的条件下でGABAとアラニンが増加しグルタミン酸とアスパラギン酸が減少したと報告している。アラニンについては、人工乾燥米中の遊離アミノ酸に非常に多い⁹⁾ことが知られているが、大久ら⁴⁾は初発芽玄米の50℃及び60℃の加熱処理でアラニンが増加することを確認し、この場合グルタミン酸からGABAが合成されるよりも、グルタミン酸のアミノ基転移によりアラニンが合成される方向に変化すると考えた。アスパラギン

表6 ひとめぼれの12時間浸漬時の粒厚別、遊離アミノ酸組成

アミノ酸	篩い上			篩い下1			篩い下2		
	浸漬前	12時間後		浸漬前	12時間後		浸漬前	12時間後	
	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量比 (12時間後 /浸漬前)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量比 (12時間後 /浸漬前)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸組成 (mol%)	アミノ酸量比 (12時間後 /浸漬前)
ASP	25.6	11.0	0.4	20.0	10.9	0.5	18.2	10.3	0.5
THR	1.0	2.0	1.8	1.0	2.3	2.1	1.3	2.4	1.5
SER	5.5	4.1	0.7	6.4	4.8	0.7	7.0	5.4	0.6
ASN	10.7	4.6	0.4	9.5	5.4	0.5	5.4	3.1	0.5
GLU	23.3	19.1	0.7	25.0	18.1	0.7	24.4	19.5	0.7
GLN	6.3	4.6	0.7	7.4	8.3	1.1	6.7	9.0	1.1
GLY	1.3	3.0	2.1	1.7	3.1	1.7	2.0	3.2	1.3
ALA	7.7	17.5	2.1	9.7	16.1	1.6	9.9	14.9	1.2
VAL	1.0	2.3	2.1	1.5	2.5	1.6	2.0	2.8	1.1
GABA	6.5	13.3	1.8	5.4	10.7	1.9	6.1	10.8	1.4
ARG	4.5	6.1	1.2	3.9	4.7	1.2	3.6	4.4	1.0
全アミノ酸			0.9			1.0			0.8

酸については、杵淵ら²⁾は、アスパラギン酸がアスパラギン酸アミノトランスフェラーゼの働きでグルタミン酸になりGABAの産生につながると報告している。今回確認された遊離アミノ酸の変化も茶や初発芽玄米など同様の変化をとるものと推察された。

4 結 言

15年産3品種の篩下米について、その成分特性を調査すると共に、発芽玄米用途への利用を図るため、発芽時のGABAを中心とする遊離アミノ酸の変化について調査し、以下のことが分かった。

- (1) 篩い下のタンパク質、灰分、遊離アミノ酸量は、篩い上よりも高い傾向にあった。
- (2) 篩下玄米のうち品質判定機により選別した未熟粒や死米は、良質粒に比べてタンパクが少ないが遊離アミノ酸量が多く、GABA量は10mg%以上を示すものもあった。
- (3) 篩下玄米の32℃での発芽率は89~94%と高く、GABAは浸漬12時間程度までは、篩い上のGABA量を上回る場合もあった。
- (4) ひとめぼれの篩い下1では、12時間浸漬後の遊離アミノ酸は、アスパラギン酸が極端な減少(5割減)を示すが、アラニンとGABAはそれぞれ1.6倍、1.9倍に増加し、全遊離アミノ酸に占めるGABAの組成割合は5.4%から10.7%に増加した。

以上より、篩下米やその未熟粒について、発芽処理による価値向上の可能性を見出すことが出来た。

本研究は、平成16年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業研究「やませ気象下の水稻生育・被害予測モデルと冷害回避技術の開発」の一課題として行われた。

文 献

- 1) SAIKUSA, T., HIRONO, T. AND MORI, Y.: Biosci. Biotech. Biochem., **58**, 2291(1994)
- 2) 杵淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎彬, 山元皓二: 食科工, **46**, 323 (1999)
- 3) 大久長範, 阿部雪子: 秋田県総合食品研究所報告, **1**, 85 (1999)
- 4) 大久長範, 大能俊久, 森勝美: 食科工, **50**, 316 (2003)
- 5) 石谷孝佑, 大坪研一編: 米の科学, p. 81, 朝倉書店 (1995)
- 6) 建部雅子, 宮田邦夫, 金村徳夫, 米山忠克: 土肥誌, **65**, 503 (1994)
- 7) 斎藤幸雄, 大澤実: 日本作物学会関東支部会報, **17**, 30 (2002)
- 8) 津志田藤二郎, 村井敏信, 大森正司, 岡本順子: 農化, **61**, 817 (1987)
- 9) 藤巻正生, 加藤博通, 荒井粽一, 阿部誠: 日食工誌, **22**, 83 (1975)