肥料と米の品質に関する研究(4)

窒素肥料による精米のタンパク質の変化と食味との関係

誌名	東北農業試験場研究報告
ISSN	04957318
著者名	山下,鏡一 藤本,堯夫
発行元	農林省東北農業試験場
巻/号	48号
巻号補足	
掲載ページ	p. 91-96
発行年月	1974年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

肥料と米の品質に関する研究

4　窒素肥料による精米のタンパク質の変化と食味との関係

山下鏡一・藤本堯夫

Studies on Fertilizers and Quality of Rice

Ⅳ. Relationship between protein content of milled rice as affected by nitrogen fertilization and eating quality

Keiichi YAMASHITA and Takao FUJIMOTO

第2報では米のタンパク質含量と食味とは関係が深く，官能試験の結果，タンパク質含量の高いものは粘りを減じ，硬さを増し，味との間には高い逆相関がみられた。また，平行板プラストメータによる炊飯の粘弾性値とも逆相関のあることを明らかにした。白米中のタンパク質は窒素肥料によって影響されるが，その増加は単なる量的変化だけでなく，各種タンパク質の比率にも影響が現れることは，石塚・田中[3]，尾崎・森山[11]などの報告からも明らかである。それで食味や粘弾性等炊飯の物理的性質とタンパク質の種類との関係について明らかにするために，食味試験に用いた精米を用い，タンパク質の種類の変化について検討した。また，ぬかについての分析成績が少ないのでこれについても分別定量した。

1　抽出条件についての検討

タンパク質を水，食塩水，アルコール，か性ソーダ液等の溶媒によって分別定量する方法は，古くから多くの研究者によって行われてきた。また，抽出方法には振とう，平衡抽出法と，カラムにサンプルを塡充し溶媒を浸透して抽出する浸透抽出法などがある。

抽出率は試料の粉末度によって著しく影響を受けることが，Cagampang et al.[1]によって明らかにされているが，これ以外に搗精歩留，振とう時間，浸出回数，溶液の分離等各種の条件が影響することが予想される。それで，まず，抽出条件について検討を行った。

検討した抽出条件

(1)　搗精歩留(%)：100（玄米），94，91，88

(2)　粉末度(メッシュ)：30，60，100

(3)　脱脂(エーテル処理)：処理，未処理

(4)　抽出振とう時間（時間）：0.5，1，2

(5)　遠心分離(回転数，分)：4000r. p. m. 5分，12000 r. p. m. 15分

(6)　抽出回数：1，1～3

なお，溶媒（水）と米粉末との割合は10：1として行った。浸出液の窒素はケルダール法で定量し，得られた結果を比率で示した。

1.1　実験結果

搗精度の違いによる抽出量の差は大きく，搗精歩留が91と94%では差がみられなかったが，88%精米では抽出量が約30%減少した。これは玄米中における，タンパク質の分布が不均一で胚乳の外側に密に部分布していることによるもので，特に水溶性，食塩可溶窒素の部分が影響を受けやすいとみられる。したがって搗精歩留はできるだけ一定にする必要がある。

粉末度はCagampang et al.[1]によって示されたように，抽出に対する影響が大きい。60メッシュに対し100メッシュでは約30%抽出量が増大している。既往の報告をみると0.5mm以下とか40～60メッシュ粉末といった実験が多いが，このことが抽出能率の低い主な原因であろうかと思われる。

振とう時間は0.5時間と1時間とでは大差ないが，2時間になると20%の差がみられた。また，エーテル処理による影響は振とう時間で違い，1時間振とうで約15%，2時間振とうで約30%の差がみられた。

振とう回数を重ねるにつれて，米粉末の微粒子が分散し，透明な抽出液が得難くなってくる。遠心分離は4000

r. p. m. 5分間では不十分で，12000r. p. m. 15分の場合に比較し，10～20%高い値を示した。

抽出回数との関係は3回抽出量の合計の70%が第1回目に抽出され，第2回目は20%が抽出された（第1表）。

Table 1　Relation of extracting condition and amount of water soluble nitrogen

Percentage of milled rice (%)	Particle size of powdered samples (mesh)	Deffated	Shaking time (min.)	Centrifuge r. p. m	Centrifuge minutes	Yields of nitrogen (Index)
88	100	+	120	4,000	5	79
91	100	+	120	4,000	5	111
94	100	+	120	4,000	5	111
100 (brown rice)	100	+	120	4,000	5	174
91	60	+	120	4,000	5	81
91	30	+	120	4,000	5	64
91	100	−	120	4,000	5	79
91	100	−	120	12,000	15	57
91	100	−	60	4,000	5	73
91	100	−	60	12,000	15	56
91	100	+	60	4,000	5	89
91	100	+	30	4,000	5	88
91	100	+	120	12,000	15	100

Percentage of milled rice (%)	Particle size of powdered samples (mesh)	Deffated	Shaking time (min.)	Centrifuge r. p. m.	Centrifuge minutes	Increased nitrogen for each increment 1 st	2 nd	3 rd
91	100	+	120	12,000	15	73	19	8
91	100	+	120	4,000	5	66	22	12
91	100	+	60	4,000	5	67	22	11

2　精米，ぬかの各種タンパク質の分別定量

2.1　供試材料及び実験方法

供試材料は，前報と同じ玄米（昭和45年度収穫米）を用いた。分別定量は満田[9]によって示された方法と1の実験結果とから次のように行った。すなわち，各玄米を搗精歩留を91%となるように精米し，精米とぬかに分けた精米は100メッシュをほとんど通過するまで粉砕したものを，また，ぬかはそのままで，エーテルで処理して脱脂したものを分析に供した。これらの一定量に対し水10倍量を加え2時間振とう抽出し，遠心分離して抽出液を分離した。この操作を3回繰返し，得られた溶液を混合し，その一部についてケルダール法で窒素を定量した。続いて3%NaCl液で水と同様の処理をして抽出し，更に残渣を70%エチルアルコールで水と同様に処理して抽出した。遠心分離はアルコール抽出の場合は4000r. p. m. 5分間，水，NaClによる抽出の場合は12000r. p. m. 15分間で行った。

また，別にサンプルをとり，0.1% NaOH で1時間振とうし抽出液を分離し　これを5回繰り返し，得られた液を混合し，その一部について窒素を定量した。この値から水，NaCl，アルコール抽出液の窒素合量を差し引いたものを0.1% NaOH 可溶Nとした。また，この値と全窒素との差を不溶性Nとした。

非たん白態一窒素は水溶性窒素の一部に酢酸鉛溶液を加えよく振とうして，一夜放置した後遠心分離し，沈澱を少量の80%アルコールで洗滌後，ケルダール法で窒素を定量し，これを水溶性タンパク態窒素とした。また，この値と水溶性窒素との差を非タンパク態窒素とした。

2.2　実験結果及び考察

各試験区の精米のタンパク質含量はフジミノリが8～10%，ササニシキが6～9%となっており，ぬかの場合はフジミノリが16～17%，ササニシキが15～16%で，ぬかの中のタンパク質含量は精米に比較して約2倍になっている。しかしながら，施肥による変動はむしろ精米の方がぬかよりも大きい。品種間でも差がみられ，フジミノリの方がササニシキより全般に1～2%高い値であ

る。

施肥窒素による精米，ぬかのタンパク質の増加は大きく，精米で30～35%，わらで6～9%の増加となっている。処理の中でも実肥すなわち出穂期の追肥による増加が特に著しい。これについては尾崎[10]によって指摘されて以来多くの研究者によっても認められている。

速水[2]は水稲の生育期間別供給 ^{15}N の吸収利用について試験を行い，出穂～成熟期間における吸収窒素の分布，器官別の配分率は，$^{15}N/^{14}N$ の比率からみると，穂>稈>葉鞘>葉身の順で非同化器官で高いことを認め，また，この期間の吸収窒素はもみ構成窒素として直接の役割が高く，形態別分布でみると登熟期の吸収窒素は，白米>ぬか>>枝梗>もみがらの順序で，白米に最も高いことなどを明らかにしている。

次に各区の各種タンパク質についての増減についてはぬかでは傾向が明らかでないが，精米では全タンパク質の増加に伴うNaOH可溶のGlulelinの増加が著しく，次いでアルコール可溶のProlamin，食塩水可溶のGlobulinの増加もみられる。しかし，水溶性のAlbuminの増減はみられない。

Glutelinは全タンパク質中約70%を占め，その比率も全タンパク質の増加に伴って増大しているが，Prolamin Globulin，Albumin等の比率にはほとんど変化がみられない。また，Glutelinの比率の増減はResidualの増減と逆の関係になっており，これらの合計値では全タンパク質の増減にかかわらずほぼ一定値となっている。もしCagampang et al[1]が指摘しているようにGluteleinとResidualとは本質的に違わないものとすれば，全タンパク質の増減にかかわらず各種タンパク質の比率にはほとんど変動がみられないという結果となる(第2，3表)。

Table 2 Effects of nitrogen fertilization on the content of protein in the milled rice
(Nitrogen percentage on dry matter basis)

Fraction of protein	Fertilizer treatments*						
	80-0-0	120-0-0	80-30-0	80-60-0	80-0-30	80-0-60	80-30-30
	(Var. Fujiminori)						
Water soluble-N (Non-protein)	0.05(4)	0.04(3)	0.04(3)	0.06(4)	0.05(3)	0.05(3)	0.05(3)
Albumin-N	0.05(4)	0.06(4)	0.06(4)	0.04(3)	0.04(3)	0.05(3)	0.05(3)
Globulin-N	0.11(9)	0.12(8)	0.13(10)	0.13(8)	0.13(9)	0.13(8)	0.14(9)
Prolamin-N	0.05(4)	0.06(4)	0.06(4)	0.07(4)	0.06(4)	0.07(4)	0.08(5)
Glutelin-N(A)	0.88(70)	0.98(67)	0.95(69)	1.10(69)	1.09(73)	1.14(71)	1.16(71)
Residual-N(B)	0.12(9)	0.21(15)	0.13(10)	0.18(12)	0.13(8)	0.18(11)	0.16(10)
(A)+(B)	1.00(79)	1.19(82)	1.08(79)	1.28(81)	1.22(81)	1.32(82)	1.32(81)
Total nitrogen	1.26(100)	1.46(100)	1.37(100)	1.59(100)	1.50(100)	1.61(100)	1.64(100)
Extraction efficiency	91	90	91	90	91	89	89
	(Var. Sasanishiki)						
Water sol.-N (Non-protein)	0.05(4)	0.04(3)	0.04(4)	0.05(4)	0.05(4)	0.04(3)	0.05(4)
Albumin-N	0.03(3)	0.04(3)	0.04(4)	0.04(3)	0.04(3)	0.04(3)	0.04(3)
Globulin-N	0.10(9)	0.12(9)	0.10(9)	0.12(9)	0.12(9)	0.13(9)	0.12(9)
Prolamin-N	0.05(5)	0.07(6)	0.05(5)	0.08(6)	0.06(5)	0.08(6)	0.08(6)
Glutelin-N(A)	0.77(71)	0.92(72)	0.79(74)	1.05(77)	0.99(76)	1.13(78)	1.01(74)
Residual-N(B)	0.07(7)	0.07(6)	0.03(3)	0.04(3)	0.05(3)	0.03(2)	0.05(4)
(A)+(B)	0.84(78)	0.98(78)	0.82(77)	1.09(80)	1.04(79)	1.16(80)	1.06(78)
Total nitrogen	1.08(100)	1.27(100)	1.07(100)	1.37(100)	1.31(100)	1.45(100)	1.36(100)
Extraction efficiency	94	94	98	98	95	98	96

* Nitrogen applied kg/ha Basal-at ear primordia forming-at heading

Table 3 Effects of nitrogen fertilization on the content of protein in the rice bran
(Nitrogen percentage on dry matter basis)

Fraction of protein	Fertilizer treatments*						
	80-0-0	120-0-0	80-30-0	80-60-0	80-0-30	80-0-60	80-30-30
	(Var. Fujiminori.)						
Albumin-N**	1.40(53)	1.48(52)	1.40(50)	1.42(50)	1.38(49)	1.39(49)	1.37(47)
Globulin-N	0.24(9)	0.28(10)	0.29(10)	0.29(10)	0.29(10)	0.29(10)	0.30(10)
Prolamin-N	0.03(1)	0.03(1)	0.04(1)	0.04(1)	0.04(1)	0.04(1)	0.05(2)
Glutelin-N(A)	0.25(9)	0.25(9)	0.38(14)	0.39(14)	0.40(14)	0.29(10)	0.39(13)
Residual-N(B)	0.73(28)	0.82(28)	0.71(25)	0.73(25)	0.72(26)	0.85(30)	0.79(28)
(A)+(B)	0.89(37)	1.07(37)	1.09(39)	1.12(39)	1.12(40)	1.14(40)	1.18(41)
Total nitrogen	2.65(100)	2.86(100)	2.82(100)	2.86(100)	2.83(100)	2.85(100)	2.90(100)
Extraction efficiency	72	71	75	75	75	71	73
	Var. Sasanishiki.)						
Albumin-N**	1.37(53)	1.45(54)	1.37(53)	1.40(51)	1.34(51)	1.39(52)	1.29(49)
Globulin-N	0.25(10)	0.29(11)	0.27(11)	0.29(11)	0.28(11)	0.29(11)	0.25(10)
Prolamin-N	0.04(2)	0.04(2)	0.04(2)	0.04(2)	0.05(2)	0.05(2)	0.04(2)
Glutelin-N(A)	0.28(11)	0.27(10)	0.25(10)	0.33(12)	0.27(10)	0.20(8)	0.33(13)
Residual-N(B)	0.63(24)	0.63(24)	0.66(25)	0.68(25)	0.69(27)	0.75(27)	0.70(27)
(A)+(B)	0.91(35)	0.90(34)	0.91(35)	1.01(37)	0.96(37)	0.95(35)	1.03(40)
Total nitrogen	2.58(100)	2.69(100)	2.59(100)	2.74(100)	2.62(100)	2.68(100)	2.61(100)
Extraction Efficiency	75	76	75	75	74	72	73

* Nirrogen applied kg/ha Basal-at ear Primordia forming-at heading

** It contains, water soluble non-Protein-N

Albumin : Globulin : Prolamin : Glutelin +Residual を品種ごとに各処理区を平均すると，フジミノリが7：9：4：70+10，ササニシキが7：9：5：75+4となり，両品種とも極めて類似した値となっている。ただ，ササニシキの場合，Residualがフジミノリの約½となっている。GlutelinとResidual はともに同一のタンパク質とみなされるとしても，同一条件下で抽出した結果，このような相違がみられたのであるから，重合度に違いがあるとみてよい。これが品種的な特徴の一つであるかどうかについては，食味との関係の下にさらに検討を要する問題である。

以上に得られた結果から精米のタンパク質含量と食味との関係について考察すると，高タンパク米となって食味が不良となる原因は，タンパク質の増大に伴う水や食塩水に不溶性のタンパク質であるProlaminやGlutelinがとくに量的にみてGlutelinの増加によって炊飯の粘弾性が低下し，硬さを増すといったことによるものとみることができる。タンパク質によって粘弾性が低下するという点については従来の一般的概念からすれば全く逆の関係を示している。すなわち，かまぼこにおいては，いわゆる足といわれる奥歯で噛みしめるときの弾力と，前歯で噛み切るときの歯切れに対する低抗が重視されているが，この足の強さは魚肉の性質，すなわち，赤身魚類と白身魚類とで異なることが知られ，本質的にはGlobulinの一種である可溶性ミオシンの量によって決定する[6]。また，うどんではGluten量の多い強力粉が弾性が大きく好まれているが，Glutenを構成しているGlutenin とGliadinでは全く性質が異なり，Glutenin は硬いゴム状で弾性が強く，Gliadin の方はシラップ状を呈し，流動性のあるネバネバした物質であるといわれている。

このようにタンパク質の種類によって粘性，弾性等の性質が著しく異なることが分かるが，米のGlutelinがどのような性質を有するかについては明らかでない。それで，Glutelin の性質によって炊飯の粘弾性値が低下する原因についても明らかでない。ただいえることは，かまぼこにしてもうどんにしても，食塩と水を加えすりつぶす，あるいはこねるという操作が加わっているのに対し，炊飯ではそのような操作が加わらない。したがって

胚乳におけるタンパク質の分布や存在形態がGlutelinの性質とともに影響するものと考えられる。胚乳中でのタンパク質の分布や存在形態については，Little and Dawson[7]，木戸・梁取[5]や満田・村上[8]等によって明らかにされつつあるが，米の場合搗精によってタンパク質の最も密な部分が表面に現れ，水に難溶性のタンパク質がデンプン粒を包むフイルムの厚さを増し，あるいはプロティンボディの密度を増すことなどによって，炊飯の際の吸水を妨げ，デンプン粒の膨脹や崩壊等を規制するなどして，炊飯の物理性に変化をもたらし，歯ざわり，歯当たり等を不良にするものと推定される。

斉藤ら[12]は味との関連で炊飯の物理性について重視し，米粒各部における吸水分布の差異が米飯における組織の崩壊に密接に関係し，これによって米飯の物理性が支配されるものと考えている。

米のタンパク質含量と吸水速度，分布等との関係については更に今後検討を要する問題である。

一方，我々は食味官能試験を実施するに当たって，炊飯条件を一定にして比較している。したがって高タンパタ質米に対して加える水量や炊飯時間を変えた場合の変化についても検討を要する点であろう。

この点に対してJuliano et al.[4]が述べている，Oñate and del Mundo (1963) の実験結果も，水や炊飯時間の調節によって高タンパク米の食味をある程度改善し得る可能性のあることを示唆している。

米の栄養的評価と食味的評価のこの相反する性質をどこまで一致させ得るかという試みは，今後の大きな課題の一つである。

3 要　　約

第2報で米のタンパク含量が，炊飯の食味評価値と逆相関の関係にあることを明らかにしたが，これに引き続きタンパクの内容について検討し，各種タンパクの変化と食味との関係を知ろうとした。また，ぬかについての分析値がほとんどないので，これについても検討した。

その結果を要約すると，

1　施肥窒素によるタンパクの増大はAlbumin以外のタンパク特にGlutelinの増加によるものであった。全タンパク中の各種タンパクの比率はGlutelinは増大したが，それ以外はほとんど変化がみられなかった。このことから，高タンパク米の食味不良化は主としてGlutelinの増加に伴う炊飯の粘弾性の低下と硬さによるものとみられるが，これはGlutelinの性質よりも胚乳中での分布や存在形態に関連が深いものと解された。これら高タンパク米の食味に対する欠点が，炊飯時における水量と炊飯時間の調節によって，どの程度除去しうるかについては更に検討を要する。

2　ぬかのタンパク含量は精米の約2倍で量的に多いが，施肥窒素等による含量の変化が小さく，各種タンパクの変化の傾向も明らかでなかった。質的には精米と異なり，Albuminが全タンパク中約50%を占め栄養的な観点から重視すべきである。

4 引 用 文 献

1）Cagampang, G. B.,L. J. Cruz, S. G. Espiritu, R. G. Santiago and B. O. Juliano. 1966. Studies on the extraction and compositin of rice proteins 43：145-155.

2）速水和彦. 1971. 水稲品種の栄養生理的研究，昭和45年度東北農試土壌肥料に関する試験成績1～24.

3）石塚喜明・田中明. 1951. 水稲の要素代謝に関する研究 第1報 土肥誌 21：23-28.

4）Juliano, B. O., L. U. Oñate and A. M. del Mundo. 1965. Relation of starch composition, protein content and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technology 19：116-121.

5）木戸三夫・梁取昭三. 1965. 米粒蛋白質集積過程の組織化学的研究. 日作紀 31：204-209.

6）岸本昭 1965 食品のレオロジー（特にかまぼこについて）. 材料 14：30-35.

7）Little, R. R. and E. H. Dawson. 1960. Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernels. Food Research 25：611-622.

8）満田久輝・村上和雄. 1969. 米胚乳のプロテインボデイ. 植物生理 8：1-5.

9）満田久輝. 1970. 米タンパク質の分離；京大農学部食品工業教室編，食品工学実験書，上巻，602 P，東京，養賢堂.

10）尾崎清. 1949. 水稲の窒素代謝に関する研究，出穂期以後の窒素の供給が玄米の蛋白質の種類及その含量に及ぼす影響について（その一，その二）. 土肥誌 20：31-39.

11）尾崎清・森山真明. 1953. 水稲の窒素代謝に関する研究(1)，出穂開始期以后の窒素の供給が米の品質に及ぼす影響について(その3). 土肥誌 23：146-148.

12）斉藤昭三・馬場操・佐藤ヨシイ. 1964. 米飯の物理性に関する研究 第6報 米飯に於ける組織残存の要因について. 新潟食品研究所研究報告 8：79-84.

Studies on Fertilizers and Quality of Rice

Ⅳ. Relationship between protein content of milled rice as affected by nitrogen fertiliztion and eating quality

Keiichi YAMASHITA and Takao FUJIMOTO

Summary

Protein compositions of milled rice and bran were examined in order to make it clear the relationship between changes in protein composition and eating quality, following the previous report (part 2) in which it was clarified that total protein content of rice is negatively correlated with sensory evaluation score of milled rice.

Results obtained are as follows;

1 Glutelin was the principal protein of the milled rice. Increase in protein content of milled rice by nitrogen fertilization was caused by proteins except Alubumin, especially by Glutelin.

Concerning the ratio of each protein fractions to total protein, only Glutelin increased and other protein fractions stayed in almost the same ratio. The mean ratio of Alubumin: Globulin: Prolamin: Glutelin was 7 : 9 : 5 : 79 and this ratio was practically independent of the method of nitrogen fertilization. It was considered that deterioration in eating quality of protein rich rice is attributed to decrease in viscosity and elasticity and to increase in hardness of cooked rice due to increased Glutelin, and that the cause of these phenomena are related to distribution and existence form in endosperm rather than nature of Glutelin.

2 Protein content in rice bran was about twice as much as milled rice. The mean ratio of Alubumin: Globulin: Prolamin: Glutelin was 51 : 10 : 2 : 37. Protein compositions of rice bran were slightly influenced by the method of nitrogen fertilization and they did not show a definite tendency. It must be noted from nutritional point of view that they are quite different from milled rice and Alubumin occpies about 50%.