

## アイガモ栽培における水稻の収穫時期の違いがタンパク質の組成、 アミロース含有率に及ぼす影響

浅野紘臣<sup>\*1)</sup>・平野文俊<sup>2)</sup>・磯部勝孝<sup>2)</sup>・櫻井英敏<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>日本大学短期大学部・<sup>2)</sup>日本大学)

**要旨:** 前報において、アイガモ栽培では収穫時期を成熟期より 10 日間程度遅らせることにより、青米の減少とともに収量が増加すること、また玄米中のタンパク質含有率が減少することにより、米の食味が向上する可能性を指摘した。ここでは前報で用いた材料のタンパク質およびその組成（グルテリン、アルブミン+グロブリン、プロラミン）とアミロース含有率について調査した。玄米および白米の全タンパク質含有率は、収穫時期が-10 日、±0 日、+10 日（早刈り、成熟期刈り、遅刈り）と遅くなるに従って品種（キヌヒカリ、コシヒカリ）や栽培法（慣行、アイガモ）を問わず減少する傾向があった。収穫時期の差によって玄米のタンパク質の組成含有率はグルテリンは 66.0-67.7%，アルブミン+グロブリンは 18.8-20.8%，プロラミンは 12.5-14.5%と変動し、品種や栽培法の別による若干の差は見られたが、収穫時期によると考えられる差は見られなかった。白米においてもグルテリン、アルブミン+グロブリン、プロラミンの含有率は玄米と同様に収穫時期による一定の傾向は見られなかった。このことからアイガモ農法でも成熟期から 10 日程度遅刈りしてもタンパク質の組成には大きく影響しないと考えられた。アミロース含有率は品種や栽培法を問わず白米では、早刈り、成熟期刈り、遅刈りの順に減少する傾向が見られた。以上のことから、前報で報告したアイガモ農法によって生産された米の遅刈りによる食味の向上には、青米、タンパク質含有率そしてアミロース含有率の減少による影響があったと考えられた。

**キーワード:** アイガモ、アミロース、収穫時期、タンパク質、有機栽培。

水稻の登熟期後半に窒素供給が過多となると米のタンパク質含有量が多くなり、米の食味に影響するとされている（稲津 1988, 勝木ら 1973, 松江ら 1991, 大坪 1995, 尾崎ら 1949, 平ら 1970）。アイガモ栽培は、基本的には有機農法のため、水稻に対する養分は有機物肥料が施用されている。有機物肥料の肥効は遅効的でその肥効は長期間持続し、水稻の登熟期後半においても肥効が見られることがある。その結果、慣行栽培に比べてアイガモ栽培においてはタンパク質含有量が多くなる場合がある（浅野ら 1999）。植物性のタンパク質は水可溶性のアルブミン、塩可溶性のグロブリン、酸またはアルカリ可溶性のグルテリンおよびアルコール可溶性のプロラミンに分けられる（Osborne 1924）。このうち、プロラミンはプロテインボディー I に集積し（Tanaka ら 1980）、プロテインボディー I はヒトにより消化されない非消化性顆粒であることが知られている（田中・小川 1986）。またプロラミンの割合が増すと米の食味が低下するのではないかとされているが明らかではない（建部ら 1996）。

著者らは、前報（浅野ら 1999）においてアイガモ栽培における米の品質の向上を図る目的で水稻の収穫期と米の外観品質および食味について調査し、成熟期より 10 日遅刈りしても米の外観品質や食味に影響が少ないことを明らかにした。そして食味向上の要因を青米の減少、タンパク質含有率やアミロース含有率の減少による可能性があることを述べた。本研究では前報で供試した材料と同一のものをを用いて、アイガモ栽培と慣行栽培において収穫時期の別

とそれぞれのタンパク質の組成（グルテリン、アルブミン+グロブリン、プロラミン）とアミロース含有率の関係を調査した。

### 試 験 方 法

#### 1. 供試米

供試した米（1997 産米）は、慣行栽培米（化成肥料使用）のコシヒカリ（愛甲郡愛川町産）とキヌヒカリ（平塚市産）、アイガモ栽培米（有機物肥料使用）のコシヒカリ（愛川町産：アイガモ栽培 5 年目、有機栽培 7 年目）とキヌヒカリ（平塚市産：アイガモ栽培、有機栽培とも 1 年目）を用いた。施肥量は、愛川町のアイガモ栽培は有機物肥料（完熟豚糞 300 g/m<sup>2</sup>、米糠・魚粉・カニ殻（10:7:3）140 g/m<sup>2</sup>、グアノ 500 g/m<sup>2</sup>、1 平方メートル分の籾殻/m<sup>2</sup>、ミネラル石灰 100 g/m<sup>2</sup>（これらは 5 年間ほぼ同様の施肥管理）で窒素は約 9.29 g/m<sup>2</sup>である。この他にアイガモの糞尿による養分が多少あると推定される。慣行栽培は化成肥料を窒素 2 g/m<sup>2</sup>、リン酸 4 g/m<sup>2</sup>、カリ 3 g/m<sup>2</sup>、平塚市のアイガモ栽培は有機物肥料を窒素 4.8 g/m<sup>2</sup>、リン酸 13.6 g/m<sup>2</sup>、カリ 6.2 g/m<sup>2</sup>、慣行栽培は化成肥料を窒素 4 g/m<sup>2</sup>、リン酸 10 g/m<sup>2</sup>、カリ 5 g/m<sup>2</sup>を施用した。移植時期は愛川町のアイガモ栽培は 5 月 29 日、慣行栽培は 6 月 15 日、平塚市はアイガモ栽培、慣行栽培とも 5 月 30 日である。出穂期は愛川町のアイガモ栽培は 8 月 17 日、慣行栽培は 8 月 20 日、平塚市は両栽培とも 8 月 19 日であった。収穫時期は成熟期（愛川町のアイガモ栽培、平

第1表 供試玄米および白米の水分含有率。

品 種	キヌヒカリ						コシヒカリ					
	慣 行			アイガモ			慣 行			アイガモ		
	-10	0	+10	-10	0	+10	-10	0	+10	-10	0	+10
玄 米	11.2	11.0	11.5	11.1	10.8	10.4	10.4	10.3	10.9	10.7	10.7	10.5
白 米	12.1	12.0	13.0	12.2	12.8	12.3	11.1	11.7	11.5	11.1	12.0	11.2

第2表 収穫時期の違いが玄米および白米のタンパク質含有率とその組成割合に及ぼす影響。

項 目	キヌヒカリ						コシヒカリ					
	慣 行			アイガモ			慣 行			アイガモ		
	-10	0	+10	-10	0	+10	-10	0	+10	-10	0	+10
玄 米												
全タンパク質	7.43a	6.99a	6.94a	7.53a	7.49a	6.85b	7.27a	7.07at	6.63b	8.12a	7.84ab	7.75b
グルテリン	66.7a	66.8a	66.0a	67.1a	67.2a	66.3a	67.4a	66.6a	66.6a	67.7a	66.8a	67.3a
アルブミン+グロブリン	20.8a	19.9a	20.3a	19.9a	19.7a	20.7a	18.8a	19.4a	18.9a	19.1a	19.3a	18.8a
プロラミン	12.5b	13.3a	13.7a	13.0a	13.1a	13.0a	13.8b	14.0ab	14.5a	13.2a	13.9a	13.9a
白 米												
全タンパク質	6.42a	6.38a	6.29a	7.18a	6.91b	6.90b	6.64a	6.44ab	6.33b	8.00ab	7.64b	7.43c
グルテリン	73.6ab	74.0a	72.6b	73.9a	74.6a	73.5a	74.8a	74.1ab	74.0b	74.4ab	73.3b	75.3a
アルブミン+グロブリン	13.8a	13.1a	13.6a	13.1a	12.9a	13.7a	12.6a	12.9a	12.6a	12.5ab	13.0a	12.0b
プロラミン	12.6b	12.9b	13.8a	13.1a	12.5a	12.8a	12.6b	13.0ab	13.4a	13.1ab	13.7a	12.7b

全タンパク質は乾物重に対する％，他はタンパク質に対する％。同一アルファベット間には，同一品種の同じ栽培法で栽培された玄米，または白米のタンパク質含有率およびその組成割合に5％レベル（Tukey 法）で有意差がないことを示す。

塚市のアイガモ栽培，慣行栽培は10月4日，愛川町の慣行栽培は10月14日）と成熟期の10日前（早刈り）および10日後（遅刈り）に，それぞれ生育の代表的な場所の6畦×80株を刈り取り，架干を行った。なお，試験田の土壌は愛川町は沖積壤土（中津川水系由来），平塚市は沖積壤土（相模川水系由来）である。その他の栽培の概要は前報（浅野ら1999）に示した。

## 2. 試料の調製

玄米および白米を粉碎機（Phirips 社製 HL2053）で試料の90％以上が100メッシュになるように粉碎し，100メッシュの篩を通したものを測定用の試料とした。なお，白米は精米機（佐竹社製 P-400）により，91％近くに搗精した。

## 3. 供試玄米および白米の水分含有率の定量

玄米および白米の水分含有率は，試料調製後それぞれの試料2gを用いて135℃3時間法によった。これらをタンパク質に対する乾物換算のために用いた（第1表）。

## 4. タンパク質の抽出と定量

全タンパク質含有率は，玄米試料を30メッシュに粉碎した後，ケルダール法により全窒素を定量した。各タンパク質はペプシンを用いた抽出法（建部ら1996）によった。つまり，粉碎した試料1gに0.5M NaClを含む50mMリン酸緩衝液（pH 6.8）20mLを加え，20分間振とう抽出し10000rpmで20分間遠心分離した。この操作を3回繰り返し，上清をアルブミン+グロブリン画分とした。次に沈殿を0.2M酢酸ナトリウム・塩酸緩衝液（pH 1.7）10

mLで洗浄後，同液20mLと1％ペプシン（4150 units/mg solid, sigma）0.2mLを加え，37℃で振とうしながら1時間インキュベートしグルテリンを可溶化し，10000rpmで20分間遠心分離した。このときの上清をグルテリン画分とした。沈殿に0.2M酢酸ナトリウム・塩酸緩衝液20mLを加え，20分間振とう抽出し10000rpmで20分間遠心分離した。この操作を2回繰り返し上清をグルテリン画分とし，沈殿をプロラミン画分とした。これらにより得られた各上清および沈殿をケルダール法により窒素含有量を定量した。タンパク質含有率は，それぞれの窒素含有量にタンパク質換算係数5.95を乗じて算出した。

## 5. アミロースの含有率の定量

アミロースの定量は，簡易ヨード比色法（新・食品分析法編集委員会1996）によった。

## 結果と考察

### 1. 玄米および白米のタンパク質含有率およびその組成割合

収穫時期による玄米および白米の全タンパク質含有率その組成割合を第2表に示した。全タンパク質含有率は，キヌヒカリの場合慣行栽培では玄米および白米とも収穫時期による差は見られなかった。アイガモ栽培では，玄米および白米とも収穫時期が遅くなるに従って全タンパク質含有率が減少する傾向があった。コシヒカリの場合は，玄米および白米とも慣行栽培に比べてアイガモ栽培の方が全タンパク質含有率は高い傾向にあった。このことはキヌヒカリの栽培水田がアイガモ栽培（有機栽培）2年目であるのに対して，コシヒカリの場合アイガモ栽培5年目（有機栽培

7年目)であることと関連があるものと推測された。水稻の収穫時期を遅らせることにより全タンパク質含有率が低下するという事は、松江ら (1991) と同様な結果であった。建部ら (1996) は窒素施用量が同等なら、窒素の施用時期が遅いほど米の全タンパク質含有量が高くなるとしている。このことは、アイガモ栽培に用いる有機質肥料の肥効が遅効的であればあるほど、またアイガモ栽培の場合、アイガモから糞尿が排泄され (通常アイガモは出穂期まで放飼されるため)、それが水稻の登熟期後半に窒素源として供給されることも加わってアイガモ栽培では、全タンパク質含有率が高くなる傾向があると考えられた。

玄米中のグルテリン含有率は品種、栽培法の別において収穫時期による差はほとんどなく、全タンパク質含有率の66-67%程度であった。白米のグルテリンに対しても収穫時期の影響は小さく、72-75%程度であった。玄米と比べると白米はグルテリン含有率が高く、建部ら (1996) と同様の傾向が見られた。グルテリンはデンプン性胚乳に存在し、糠層に存在しないとされている (田中ら 1990) ため、精米により糠層とデンプン性胚乳が削られた結果白米でグルテリン含有率が高くなるものと考えられた。

玄米中のアルブミン+グロブリンの含有率は品種、栽培法の別において収穫時期による差はなかったが、玄米のアルブミン+グロブリン含有率に比べて白米のそれは6-7%低下した。このことはアルブミンの多くは糠層に存在する (建部ら 1996) ためと考えられた。

プロラミン含有率は、慣行栽培では収穫時期を遅らせることにより、キヌヒカリは玄米と白米で最大1.2%、同様にコシヒカリは玄米で最大0.7%、白米では最大0.8%増加した。アイガモ栽培では収穫時期の別による変化は見られなかった。食味との関連で注目されているプロラミンは、デンプン性胚乳の外側に多く存在する (建部ら 1996) とされ、精米することにより胚乳の外側に多く存在するプロラミンは糠とともに除去されるものと考えられた。本試験では玄米と白米でプロラミンの含有率には差が見られなかった。これらのことから成熟期とその前後10日程度の収穫時期の違いでは、タンパク質組成の割合に大きい影響を及ぼさないものと考えられた。

## 2. 白米のアミロース含有率

収穫時期の別による白米のアミロース含有率を第3表に示した。キヌヒカリのアイガモ栽培では、早刈りと成熟期刈りの間にはアミロース含有率に差は見られなかったが遅刈りでは減少した。慣行栽培でもアイガモ栽培とほぼ同様な傾向が見られた。コシヒカリのアイガモ栽培では早刈りと成熟期刈り、成熟期刈りと遅刈りの間にはアミロース含有率に差は見られないが早刈りと遅刈りの間には差が見られた。慣行栽培では早刈りと成熟期刈りの間にはアミロース含有率に差は見られなかったが、早刈りおよび成熟期刈りと遅刈りの間では差が見られた。品種、栽培法の別にか

第3表 収穫時期の違いによる白米のアミロース含有率。

品 種	アイガモ			慣 行		
	収穫時期					
	-10	0	+10	-10	0	+10
キヌヒカリ	18.5a	18.1a	17.7a	17.8a	17.6a	17.4a
コシヒカリ	17.8a	17.5ab	17.1b	17.5a	17.4a	17.0b

-10:成熟期10日前刈り取り, 0:成熟期刈り, +10:成熟期10日後刈り取り。

同一アルファベット間には同一品種、栽培法のアミロース含有率に5%レベル (Tukey 法) で有意差がないことを示す。

かわらず収穫時期が遅くなることにより、アミロース含有率は減少する傾向にあったがその減少率はキヌヒカリで最大1.1%、コシヒカリで0.8%であった。食味官能試験では、遅刈りした場合でも食味の総合評価は成熟期刈りに比べて劣らなかった (浅野 1999)。このことは遅刈りによるアミロース含有率の減少は小さいとはいえ、このアミロース含有率の低下は食味に関与していると考えられた。

## 3. 総合考察

山下ら (1974) によれば、グルテリンは全タンパク質中の約70%を占め、その比率は全タンパク質の増加に伴って増大するがプロラミン、グロブリン、アルブミン等の比率にはほとんど変化が見られないとしている。本試験の場合も品種、栽培法の別や収穫時期の違いなどによってタンパク質組成の割合にはほとんど変化が見られなかった。なかでも食味に関係が深いと注目され、ヒトの消化器系で消化しがたいプロラミン (田中・小川ら 1986) の含有率は、玄米の場合キヌヒカリでは12.5-13.7%、コシヒカリは13.2-14.5%であり、白米の場合キヌヒカリでは12.9-13.8%、コシヒカリは12.0-13.0%とほとんど差は見られなかった。このように成熟期より10日程度の遅刈りではタンパク質の組成に対する含有率の変動はほとんどなく、遅刈りすることがタンパク質の組成に変化を生じ、それに伴って米の食味が影響を受けることは少ないと考えられた。従って、アイガモ農法によって生産された米の遅刈りによる食味の向上 (浅野ら 1999) には、前報で述べたように青米の減少とともに、タンパク質含有率やアミロース含有率の減少による影響もあったものと考えられた。

## 引用文献

- 浅野紘臣・磯部勝孝・坪木良雄 1999. アイガモ栽培における収穫時期の違いが米の外観品質とタンパク質含有量に及ぼす影響. 日作紀 68: 375-378.
- 稲津脩 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究. 北海道立農試報 66: 1-66.
- 勝木依正・横井善吾・熊谷健 1973. 水稻のちっ素施用法が玄米品質に及ぼす影響. 滋賀県農試研報 15: 13-22.

- 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 北部九州産米の食味に関する研究. 第2報 収穫期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀 60:494—503.
- 小川雅広・田中國介・葛西善三郎 1980. 水稻種子アリュールン顆粒の形成機構. 食糧科学研報. 46:7—17.
- 大坪研一 1995. 米の科学. 朝倉書店, 東京. 13—48.
- 尾崎清 1949. 水稻の窒素代謝に関する研究. 出穂期以降の窒素の供給が玄米の蛋白質の種類及びその含量に及ぼす影響について (その1, その2). 土肥誌 20:31—39.
- Osborne, T.B. 1924. The vegetable protein, Longmans Green & Co., New York. 1—154.
- 新・食品分析法編集委員会 1996. 食品分析法. 日本食品科学工業会編, 光琳, 東京. 564—566.
- 平宏和・松島省三・松崎昭夫 1970. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第92報 窒素施肥による米の蛋白質の収量およびその栄養価増大の可能性の栽培試験. 日作紀 39:33—40.
- Tanaka, K., T. Sugimoto, M. Ogawa and Z. Kasai 1980. Isolation and characterization of two types of protein bodies in the rice endosperm. Agri. Biol. Chem. 44:1633—1639.
- 田中國介・小川雅広 1986. お米のタンパク質. 化学と生物. 24:756—758.
- 田中國介・葛西善三郎・小川雅広 1990. 登熟の生理. 松尾孝嶺ら編 稲学大成. 第2巻「生理編」. 農文協, 東京. 55—74.
- 建部雅子・及川勉・松野宏治・清水恵美子・米山忠克 1996. 水稻白米のグルテリンおよびプロラミン含有率に対する窒素栄養条件の影響. 土肥誌 67:139—146.
- 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 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の関係. 東北農試研報 48:91—96.

**Effect of Harvest Time on the Protein Composition (Glutelin, Prolamin, Albumin) and Amylose Content in Paddy Rice Cultivated by Aigamo Duck Farming System:** Hiroomi ASANO<sup>\*1)</sup>, Fumitoshi HIRANO<sup>2)</sup>, Katsunori ISOBE<sup>2)</sup> and Hidetoshi SAKURAI<sup>2)</sup> (<sup>1)</sup>*Junior Coll. Nihon Univ., Fujisawa 252-8510, Japan*; <sup>2)</sup>*Coll. of Bioresource, Nihon Univ.*)

**Abstract:** Previously, we suggested that cultivation of paddy rice by Aigamo duck farming system, delayed the harvest time by about 10 days and improved the taste of rice due to the increased grain yield accompanied with the decrease in the number of green-kernel rice and protein content in brown rice. In this study, we examined the content and composition of protein and amylose content in the grain samples used in our previous report. The total protein content in brown and milled rice tended to decrease with the delay of the harvest time, irrespective of the cultivar (Koshihikari or Kinuhikari) by both the standard and Aigamo duck cultivation methods. The protein in the brown rice harvested either at maturity, 10 days earlier or 10 days later, consisted of 66.0–67.7% glutelin, 18.8%–20.8% albumin+globulin and 12.5–14.5% prolamin. The composition of protein varied slightly with the cultivar and the method of cultivation, but scarcely with the harvest time. The same was also the case for the protein in milled rice. Thus, the 10-days later harvest time did not affect the protein composition markedly even in the rice cultivated by Aigamo duck farming system. Amylose content in milled rice tended to decrease with the delay of harvest time in both cultivars and cultivation methods examined. These results suggest that late harvest in Aigamo duck farming system improved the rice taste to the decrease in the number of green-kerneled rice and the contents of protein and amylose.

**Key words:** Aigamo duck, Amylose, Harvest time, Organic cultivation, Protein.