

栃木県産米の食味変動要因と肥培管理による改善法

大谷和彦・薄井雅夫¹⁾・青木純子・山口正篤・福島敏和¹⁾・佐藤圭一²⁾・星一好³⁾

摘要 : 1995 ~ 1999 年栃木県産米のタンパク質含有率(玄米乾物)の平均値は 7.55 %で、5.4 ~ 10.2 %と変動の幅が大きかった。その変動要因は、地域、品種および土壌ごとに異なっていた。そして、食味改善のためにはタンパク質含有率を 8 %以下にする必要があった。

米タンパク質含有率を高めてしまう肥培管理は、基肥や追肥で窒素を多く施肥することであった。多湿黒ボク土において、基肥窒素量 0.2kg/a、出穂前 40 日に肥効調節型窒素肥料で 0.2kg/a の計 0.4kg/a、慣行の 6 割に窒素施肥量を減らすと、米タンパク質含有率が明らかに下がった。気象要因では、登熟期の積算気温の関与が大きかった。特に、登熟後半も高温が続くとタンパク質含有率は高まった。また、出穂前 20 日の生育量から、タンパク質含有率および玄米収量を予測することができた。

キーワード : 食味, タンパク質, 窒素の減肥, 積算気温, 食味計

Factors controlling the taste quality of rice produced in Tochigi Prefecture and the methods for improvement of the taste quality by management of fertilizer application

Kazuhiko OYA, Masao USUI, Junko AOKI, Masahiro YAMAGUCHI,
Toshikazu HUKUSIMA, Keiichi SATO, Kazuyoshi HOSHI

Summary : The average protein content of rice (dried unpolished husked rice) produced in Tochigi Prefecture from 1995 to 1999 was 7.55%. The values of protein content had a wide range of variance, 5.4 - 10.2%. The factors controlling the variance were different depending on locality, cultivar and type of soil. To improve the taste quality, it was necessary to maintain the protein content at a level lower than 8%. The practice of fertilizer application that induced the high protein content in rice was the applications of large amount of nitrogen in basal dressing and topdressing. The reduced application of nitrogen fertilizer to the level of 60% of the generally practiced amount clearly lowered the protein content in rice. Specifically, in the rice culture in high-moisture andosol field, an application of basal nitrogen dressing of 0.2 kg/a, and an application of controlled-effect-type nitrogen fertilizer as top dressing 40 days before heading, making the total of 0.4 kg/a, made the desired drop in the protein content. Among the meteorological factors, the effect of the accumulated temperature in the ripening period was significant. In particular, the continued high temperature in the later half of the ripening period tended to raise the protein content. From the 'growth level' (number of stems x leaf color) at the stage of 20 days before heading, it was possible to predict the protein content and the yield of unpolished rice.

Key words : taste quality, protein, reduced application of nitrogen fertilizer, accumulated temperature, food taste meter

1) 現 栃木県農務部経営技術課 2) 現 栃木県南那須農業振興事務所経営普及部 3) 現 栃木県塩谷農業振興事務所経営普及部
(2003.7.31 受理)

I 緒言

栃木県の水田率は全国的に高く、一戸当たりの耕地面積も多く、稲作は本県農業の基幹的役割を果たしている。県産米の3分の2は首都圏を中心に県外に出荷されており、主産県として高い評価を得ている。業態別の仕向先は、コンビニエンスストア向けが一番多く、次いでスーパー・量販店、外食産業、生協、小売店の順になっている¹⁷⁾。また、米の単収は1996年以降安定して全国平均を上回っているため、2002年には単収平年値が52.3kg/aと全国平均を上回り、栽培技術の高位平準化が進んでいる。しかし、高温乾燥風や日照不足による登熟障害が原因で、近年玄米検査等級の低下が著しい¹⁷⁾。2001年は、登熟初期の低温寡照と籾数過多が、2002年は高温乾燥風で乳白粒が発生し、胴割粒の発生も伴い2年連続で著しく品質が低下している。

高温寡照や低温寡照による登熟不良で外観品質が劣る米は、タンパク質含有率が高く食味は低下する¹⁸⁾とされている。米の食味を左右する要因の一つはタンパク質で、米タンパク質含有率が高まると食味は低下する¹⁹⁾。温暖地に位置する栃木県において、官能による食味評価と有意な負の相関が認められる物理・化学的特性は、タンパク質含有率と糊化温度（粘度が上がり始める温度）である¹⁹⁾。これらのことから米流通関係者からは、タンパク質含有率の低下と、一定品質でまとまった量の米の確保が強く求められている。タンパク質含有率6.5%以下（玄米水分15%）を求める業者もあり、栃木県では栃木米品質標準ゴーイチマル（5～10）運動を推進しており、タンパク質含有率の目標値を6～7%にしている。

この調査研究の目的は、地域別の食味実態を明らかにし、肥培管理技術を改善し食味品質の向上を図ることである。今回、食味分析計を用いて、タンパク質含有率に影響を及ぼす要因を解析し、肥培管理による食味改善方法を明らかにしたので報告する。

II 試験方法

1. 供試材料

1) 食味実態調査

県内14カ所の農業改良普及センター（現8カ所の農業振興事務所）の協力を得て、農家産玄米500gとその耕種概要（第1表）を、1995～1999年の5年間で1,552点収集した。栽培農家は5年間とおして同一とは限らなかった。玄米サンプルは、現状把握のため現地の乾燥調製方法のまま密封し、農業試験場において外観品

質と成分分析を行った。

第1表 米食味実態調査 サンプル調査票

サンプル番号	
1.	普及センター名
2.	品種名
3.	地名（ほ場所在地）
4.	土壌群
5.	土壌統
6.	苗栽培様式（稚苗、乳苗、中苗、成苗、直播、他）
7.	耕種概要
1)	移植時期（前作物）
2)	堆肥肥（有無、種類名、施肥量）
3)	稲わら（有無）
4)	土づくり肥料（有無、種類名、施肥量）
5)	基肥施用方法（全層、植代時、表層、側条、他）
6)	基肥（窒素、リン酸、カリ、施肥量）
7)	追肥時期（種類、施肥量）
8.	生育
1)	出穂期
2)	刈取時期
3)	倒伏程度
4)	収量
5)	玄米検査等級
6)	その他

2) 肥培管理方法の試験

農業試験場の厚層多腐植質多湿黒ボク土においてコシヒカリを用いて、5月上旬植の稚苗手植で、栽植密度、施肥量と時期および水管理などの肥培管理方法と食味成分の関係について検討した。収量構成要素および玄米収量は、平均的30株を全量調査した。葉色はF社製葉色板とM社製SPAD502 IIを用いて測定した。

施肥窒素量と追肥時期については1998～2002年に、基肥の種類を速効性窒素肥料、肥効調節型窒素肥料LPS100およびLPSS100の3種類、窒素成分量0～0.3kg/aで検討した。追肥時期は出穂前40日、20日、15日および無施用区を設けた。栽植密度は、20.8株/m²とやや密植な23.8株/m²の2水準とした。

カリの中間追肥は1998～1999年に、塩化カリとカリ含有資材すこやかつなぎの2種類を、カリ成分量0.5と1kg/aで検討した。収量構成要素は1996～1997年、タンパク質含有率の推測は1999～2000年に、前記の栽培試験のデータを用いた。リン酸施肥法については、今市現地の黒ボク土（可給態リン酸10mg/100g）で実施し、基肥区はようりんでリン酸成分2kg/a、追肥区は出穂前40日に重過石でリン酸成分量1.36kg/a施肥した。

第2表 地域別のサンプル数、施肥量および品質

項目	県北	県中	県南	全県
総数 (サンプル数)	647	422	483	1,552
1. 品種名	(割合%)	(割合%)	(割合%)	(割合%)
1) コシヒカリ	631 (97.5)	389 (92.2)	263 (54.5)	1,283 (82.6)
2) ひとめぼれ	13 (2.0)	20 (4.7)	19 (3.9)	52 (3.4)
3) 晴れすがた	0	2 (0.5)	139 (28.8)	141 (9.1)
4) 月の光	1 (0.2)	2 (0.5)	13 (2.7)	16 (1.0)
5) あさひの夢	0	0	15 (3.1)	15 (1.0)
6) その他	2 (0.3)	9 (2.1)	34 (7.0)	45 (2.9)
2. 土壌				
1) 多湿黒ボク土	304 (47.0)	217 (51.4)	102 (21.1)	623 (40.2)
2) 黒ボクグライ土	61 (9.4)	13 (3.1)	7 (1.4)	81 (5.2)
3) 褐色低地土	8 (1.2)	6 (1.4)	20 (4.1)	34 (2.2)
4) 灰色低地土	217 (33.5)	162 (38.4)	331 (68.5)	710 (45.7)
5) グライ土	43 (6.6)	24 (5.7)	23 (4.8)	90 (5.8)
6) 不詳	14 (2.2)	0 (0)	0 (0)	14 (0.9)
3. 栽培型 (移植日)				
1) ~5月10日	517 (79.9)	277 (65.6)	118 (24.4)	912 (58.8)
2) 5月11~25日	118 (18.2)	109 (25.8)	45 (9.3)	272 (17.5)
3) 5月26日~	3 (0.5)	30 (7.1)	320 (66.3)	353 (22.7)
4) 不詳	9 (1.4)	6 (1.4)	0 (0)	15 (1.0)
4. 有機物の施用				
1) あり	273 (42.2)	92 (21.8)	108 (22.4)	473 (30.5)
5. 稲わらの施用				
1) あり	391 (60.4)	337 (79.9)	312 (64.6)	1,040 (67.0)
6. 土壌改良材の施用				
1) ようりん	286 (44.2)	145 (34.4)	146 (30.2)	577 (37.2)
2) ケイカル	173 (26.7)	110 (26.1)	83 (17.2)	366 (23.6)
3) その他	8 (1.2)	93 (22.0)	57 (11.8)	158 (10.2)
7. 基肥施肥方法				
1) 全層施肥	300 (46.5)	284 (67.3)	276 (57.1)	860 (55.4)
2) 側条施肥	258 (39.9)	108 (25.6)	157 (32.5)	523 (33.7)
3) 全層+側条施肥	43 (6.6)	3 (0.7)	10 (2.1)	56 (3.6)
4) 表層	13 (2.0)	3 (0.7)	24 (5.0)	40 (2.6)
5) なし	33 (5.1)	24 (5.7)	16 (3.3)	73 (4.7)
8. 施肥量 (kg/a)	(標準偏差)	(標準偏差)	(標準偏差)	(標準偏差)
1) 基肥 (1) 窒素	0.26 (1.4)	0.29 (1.3)	0.31 (1.8)	0.29 (1.6)
(2) リン酸	0.56 (3.9)	0.62 (3.5)	0.65 (3.5)	0.60 (3.7)
(3) カリ	0.49 (3.8)	0.53 (3.4)	0.56 (3.5)	0.53 (3.6)
2) 穂肥窒素量	0.29 (1.5)	0.26 (1.6)	0.22 (1.8)	0.26 (1.7)
3) 合計窒素量	0.58 (2.0)	0.56 (2.1)	0.54 (2.6)	0.55 (2.3)
9. 玄米品質				
1) 白度	20.3 (1.1)	20.0 (1.2)	20.2 (1.1)	20.2 (1.1)
2) 玄米千粒重 (g)	21.5 (0.8)	21.5 (1.0)	21.1 (1.0)	21.4 (0.9)
3) 良質粒率 (%)	86.0 (5.0)	86.3 (5.1)	85.3 (7.1)	85.9 (5.8)
4) 白未熟粒率 (%)	7.0 (3.4)	7.9 (3.8)	7.9 (4.7)	7.5 (3.9)
5) 胴割粒率 (%)	2.4 (2.2)	2.4 (2.6)	2.8 (3.0)	2.5 (2.5)
10. 食味計 (ケット)				
1) 評価値 (As-is)	72.7 (4.0)	72.5 (3.9)	69.9 (3.6)	71.8 (4.1)
2) タンパク質 (乾物、全品種)	7.54 (0.5)	7.46 (0.5)	7.80 (0.5)	7.55 (0.5)
3) アミロース	19.1 (1.2)	19.1 (1.4)	18.6 (1.1)	18.9 (1.2)
4) 脂肪酸	14.8 (4.3)	15.2 (5.1)	15.2 (4.5)	15.2 (4.6)
5) 評価値(14.5%)	71.9 (3.7)	72.2 (3.4)	70.5 (3.3)	71.5 (3.6)
6) コシヒカリ蛋白含有%	7.54	7.46	7.61	7.53

2. 玄米外観品質調査方法

玄米千粒重は、2,000~2,500粒を2反復、玄米水分14.5%に補正して求めた。玄米白度は、Ke社製白度計

C-300-3を用いて2反復調査した。玄米外観品質は、Si社製品品質判定機RS-2000を用いて2,000粒調査し、粒数パーセントで求めた。

3. 玄米成分調査方法

食味関連形質は、Ke 社製食味計 AN-800 および Sa 社製汎用食味計 TB15A を用いて、玄米温度約 20℃ で測定し、玄米の水分 0% 当たりのタンパク質含有率で求めた。毎年玄米千粒重や外観品質が異なるため、ケルダール法による窒素含有率から近赤外線法によるタンパク質含有率の補正をした。また、タンパク質含有率の平均値は、7.09 ~ 8.45 % と年次間差があったため、要因解析には年次間の平均値をそろえる補正を行った。食味評価値は、玄米水分補正をしない評価値 (As-is 値) を用い流通実態に近い値で表示した。

4. 統計解析方法

県産米タンパク質含有率分布のパターンと年次、土壌、肥培管理、玄米外観品質の分布パターンおよび地域間のタンパク質含有率分布の類似性を、クラスター分析 (変数クラスターによるウォード法、マハラノビスの汎距離) を用いて分類した。次に、地域の特徴を因子分析 (バリマックス法) を用いて把握した。重回帰分析 (変数選択は総当たり法) によって、タンパク質含有率を推定する式から影響の大きい要因を検討した。

Ⅲ 試験結果

1. 実態調査

1) サンプル米の概要

供試した米サンプルは、品種、土壌および移植時期について地域間で差が認められた (第 2 表)。県北部の品種はコシヒカリが大部分で、土壌群は多湿黒ボク土 (以下黒ボク土) が 47 %、5 月 10 日には移植の約 80 % が済んでいた。県中部もコシヒカリの割合は高いが、ひとめぼれが 4 % あり、黒ボク土の割合は 51 %、5 月 11 ~ 25 日の移植を 25 % 行っていた。県南部のコシヒカリの割合は 54 % と県中・北部に比べ低く、晴れすがた、ひとめぼれおよびあさひの夢の割合が高かった。県中・北部に比べ県南部は、灰色低地土の割合が 68 % と高く、移植時期も 5 月 26 日以降の割合が 66 % と高かった。

有機物、稲わらおよび土壌改良材の施用量も、地域間で差が認められた。県北部の堆肥の施用割合は、42 % と他地域の約 2 倍と高かった。ようりんやケイカルと言った土壌改良材の施用割合も県北部が最も高く、中部、南部と低くなった。稲わらは堆肥の副資材や飼料にも使われるため、県北部の稲わら施用割合は最も低かった。

基肥の施肥方法について、側条施肥割合が最も高いのは、県北部であった。県北部は、移植期の気温が低く初期生育を早く確保する必要から側条施肥が多いと考えら

れた。次いで側条施肥割合の高い地域は、6 月中旬移植の多い県南部であった。

基肥窒素量は、県北部が最も少なく、南部、中部の順に多かった。県北部は、堆肥の施用が他地域より多く、側条施肥が多いため基肥窒素量を減らしていると考えられた。県南部は、品種がコシヒカリより耐倒伏性に優る晴れすがたやあさひの夢のサンプルが多いため、基肥窒素量が県中部に比べ多かった。一方、穂肥窒素量は県北部、中部、南部の順に多く、窒素施用の合計量も県北部、中部、南部の順に多かった。

玄米外観品質のうち白度、玄米千粒重および良質粒率について、地域間で大きな差は認められなかったが、胴割粒率については県南部が、白未熟粒は県中・南部がやや高かった。コシヒカリのタンパク質含有率 (玄米乾物以下同) は、県中部、北部、南部の順に低いが、その差は地域平均値で 0.15 % 程度と僅かであった。食味評価値地域間差も全品種を含んだ平均値で 2.8 点と小さかった。

2) タンパク質含有率と変動要因の相互関係

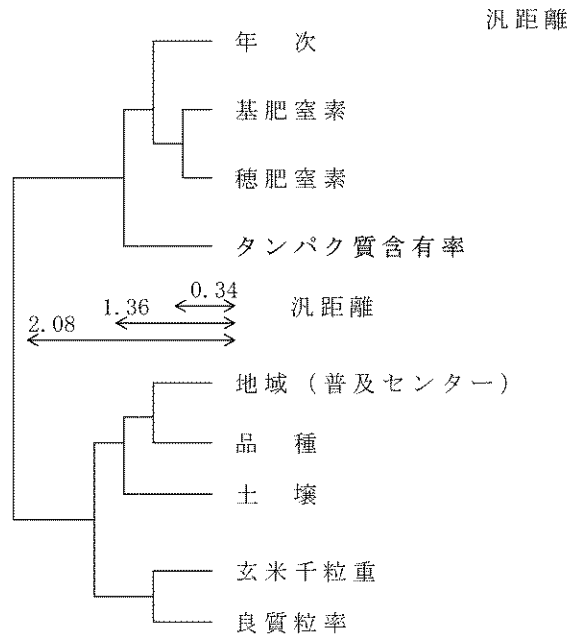
米タンパク質含有率の 5 年間平均値は 7.55 % で、変動幅は 5.4 ~ 10.2 %、変動係数 7.3 % とそのばらつきは玄米収量並に大きかった。タンパク質含有率の変動と似た変動をしている要因は、年次、基肥および穂肥窒素量であった (第 1 図)。地域、品種および土壌の分布と、タンパク質含有率の分布の類似性は低かった。このことから、タンパク質含有率の変動要因を解析する時に、地域、品種および土壌群を区別して分析しないと、要因の相互作用などによって正確に解析できないと考えられた。今回調査でも、玄米千粒重が重い方がタンパク質含有率が高くなる所があれば、逆に低くなる所もあった。良質粒率、白未熟粒および胴割粒についても同様な関係が見られ、玄米外観品質別にタンパク質含有率を分析する方が良い場合もあった。

3) タンパク質含有率による地域区分

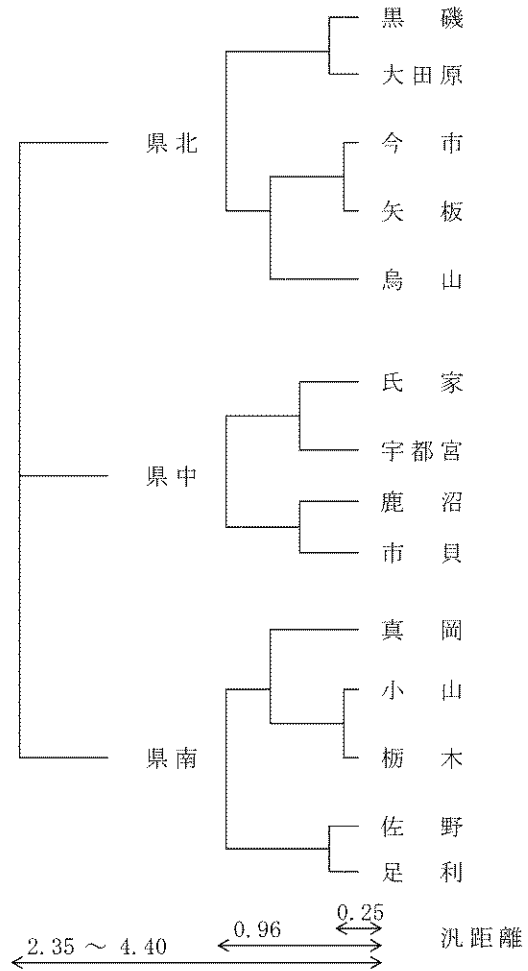
県内地域をタンパク質含有率でクラスター分析すると、県北、県中および県南を更に、今市と矢板、小山と栃木および黒磯と大田原等の似通った地域に区分できた (第 2 図)。これは水稻生育期間中の積算気温や、出穂期の分布と一致していた。また、鹿沼と市貝も県の東西と距離は離れているが、どちらも中山間地があり、タンパク質含有率の分布が似ていた。真岡地域は、タンパク質含有率の分布からは県南地域に分類できた。

4) 移植時期と食味の関係

コシヒカリの移植時期は 5 月 11 ~ 25 日の方が、その前後の移植期のものよりタンパク質含有率が低く、食味



第1図 要因の類似性



第2図 地域の類似性

評価値が高まった(第3表)。県南部の灰色低地土は、これよりやや遅い5月26日～6月5日が良好であった。また、玄米千粒重は、気温の日較差が大きくなる10月初旬に収穫するものが重かった。県南部黒ボク土を除き、玄米千粒重は重い方が、タンパク質含有率は低かった。また、玄米収量は移植時期が遅くなるに従い、減収する傾向であった。

5) タンパク質含有率の土壌間差

土壌別のタンパク質含有率に有意差は認められるが、それは限られた土壌間のものであった(第4表)。県北部の黒ボクグライ土とグライ土産米のタンパク質含有率が他の地域・土壌に比べ高いことが多く、県中部の灰色低地土、グライ土産米および県南部灰色低地土の普通植産米が低い傾向であった。グライ土産の米タンパク質含有率の標準偏差は、県北、中、南部いずれにおいても他の土壌に比べばらつきが大きい傾向であった。各土壌の年次変化を見ると、安定してグライ土、灰色低地土産の米タンパク質含有率が低く、黒ボク土産のものが高かった(第5表)。しかし、その差は0.18～0.52%とほ場

間差に比べ小さかった。また、透水性の劣るグライ土の上に黒ボク土が堆積した黒ボクグライ土産米のタンパク質含有率は、登熟後半に気温が低下する1995年と1997年は低い傾向であった。褐色低地土のサンプル数は少なく、地域が限られていたため要因の解析はできなかった。

6) 窒素施肥量と時期が食味外観品質に及ぼす影響

県北部の食味評価値が劣るサンプルの特徴は、穂肥窒素量が地域の平均値より多いことであった(第6表)。また、一般に穂肥には窒素とカリを施用するが、食味が劣る58サンプル中に、リン酸を追肥する事例が15サンプルと高い割合であった。

県中部の食味評価値が劣るサンプルの特徴は、黒ボク土では窒素施肥の合計量が多く、灰色低地土では中間追肥量、倒伏が多いことであった。この地域の灰色低地土では、穂肥窒素量を多く施用し玄米千粒重は重くなるが、タンパク質含有率も高くなり食味評価値を下げる傾向が見られた(第7, 8表)。

県南部の食味評価値が劣るサンプルの特徴は、基肥窒素量が少なく、穂肥窒素量は多く、未熟粒率が高く、

第3表 移植時期と収量・食味の関係

地域	土壌群	サンプル数	移植時期 月日	収穫期 月日	玄米		食味	
					収量 kg/a	千粒重 g	評価値	タンパク質 含有率%
県北	多湿黒ボク土	237	4/15~5/10	9/26	53.1	21.4	72	7.50+
		51	5/11~25	10/5	51.7	21.8**	73	7.39
		3	5/26~	10/5	55.6	21.6	72	7.67
県北	灰色低地土	171	4/15~5/10	9/26	51.1	21.5	72	7.42
		41	5/11~25	10/3	49.3	21.7+	73	7.35
県中	黒ボク土	164	4/20~5/10	9/16	53.6	21.2	71	7.69
		28	5/11~25	9/23	53.8	21.9**	73	7.69
		3	5/26~	10/2	43.5	22.2**	71	7.55
県中	灰色低地土	68	4/20~5/10	9/18	51.6	21.5	72	7.55**
		60	5/11~25	9/25	48.8	21.5	74	7.24
		19	5/26~	10/3	44.4	21.7	74	7.48*
県南	黒ボク土	47	4/27~5/10	9/18	52.0	21.0	72	7.62
		24	5/11~25	9/21	50.2	21.4*	72	7.59
		10	5/26~	10/4	47.6	21.8*	70	8.12**
県南	灰色低地土	53	4/27~5/10	9/13	51.3	20.9	70	7.72**
		17	5/11~25	9/24	48.7	21.2*	71	7.56
		83	5/26~	10/6	43.7	21.7**	72	7.52

注 玄米千粒重とタンパク質含有率の右肩の記号は、有意水準**：1%，*：5%，+：10%で下線値との有意差を表す。コシヒカリ。

第4表 米タンパク質含有率の土壌間差

地域	県北				県中			県南			
	多湿 黒ボク土	黒ボク グライ土	灰色 低地土	灰色 グライ土	多湿 黒ボク土	灰色 低地土	灰色 グライ土	多湿 黒ボク土 早植	灰色 低地土 早植	灰色 グライ土 普通植	灰色 低地土 普通植
数	237	45	171	37	164	68	24	58	28	9	66
タンパク質 含有率	7.8	8.0	7.7	8.0	7.7	7.5	7.2	7.6	7.8	7.6	7.5
標準偏差	0.67	0.50	0.64	0.82	0.49	0.46	0.57	0.41	0.46	0.66	0.45
多湿黒ボク土	—	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	**	n. s	n. s	n. s	**
黒ボクグライ土	—	—	*	n. s	*	**	**	**	n. s	n. s	**
県北 灰色低地土	—	—	—	*	n. s	n. s	**	n. s	n. s	n. s	n. s
県北 グライ土	—	—	—	—	n. s	**	**	*	n. s	n. s	**
県中 多湿黒ボク土	—	—	—	—	—	n. s	**	n. s	n. s	n. s	n. s
県中 灰色低地土	—	—	—	—	—	—	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s
県中 グライ土	—	—	—	—	—	—	—	n. s	**	n. s	n. s
県南 多湿黒ボク土	—	—	—	—	—	—	—	—	n. s	n. s	n. s
県南 灰色低地土(早植)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	n. s	n. s
県南 グライ土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	n. s
県南 灰色低地土(普通植)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注. 品種はコシヒカリ. タンパク質含有率は1995~1999年の年次間で補正. 移植時期は県南地域の記載した物以外は、5月10日以前移植の早植. ボンフェローニ多重比較. 土壌間の有意差は**が1%, *が5%, n. sが認められずを示す.

第5表 土壌別米タンパク質含有率の年次変化

土壌群	年度	95	96	97	98	99
		% (標準偏差, 順位)	% (標準偏差, 順位)	% (標準偏差, 順位)	% (標準偏差, 順位)	% (標準偏差, 順位)
多湿黒ボク土		7.29(0.6 ③)	7.08(0.4 ③)	6.97(0.6 ③)	8.47(0.5 ③)	7.89(0.4 ③)
黒ボクグライ土		7.02(0.6)	7.07(0.4)	6.58(0.2)	8.39(0.4)	7.89(0.4)
灰色低地土		7.08(0.5 ①)	7.06(0.5 ②)	6.91(0.5 ②)	8.29(0.5 ②)	7.78(0.4 ②)
グライ土		7.09(0.6 ②)	6.56(0.5 ①)	6.77(0.5 ①)	8.29(0.4 ①)	7.62(0.5 ①)

注. コシヒカリの移植時期. 地域を含めた平均値. 丸数字は3土壌のタンパク質含有率が少ない順位.

第6表 食味が劣るサンプルの施肥量および玄米品質

土壌	県北				県中				県南						
	穂肥窒素 kg/a	穂肥リン酸 kg/a	タンパク質含有率%	食味評価値	中間窒素 kg/a	合計窒素 kg/a	玄米千粒重 g	倒伏	タンパク質含有率%	食味評価値	基肥窒素 kg/a	穂肥窒素 kg/a	未熟粒率%	タンパク質含有率%	食味評価値
多湿黒ボク土	0.33	0.08	8.3	68	0.005	0.63	21.5	2.3	8.3	68	0.23	0.20	7.9	8.2	68
灰色低地土	0.37	0.08	8.3	67	0.046	0.66	21.6	2.9	8.3	70	0.26	0.39	12.0	8.5	69
地域平均値	0.28	0.05	7.4	72	0.006	0.55	21.3	2.2	7.6	71	0.31	0.24	8.9	7.7	71

注. コシヒカリ. 各項目は統計的にタンパク質含有率に影響力が大きいもの. 早植産. 食味が劣るサンプルは, タンパク質含有率が8%以上のものの平均値.

第7表 県中灰色低地土のタンパク質含有率に影響する要因

要因	F 値	判定	単相関
玄米千粒重	4.0	*	正
被害粒率	4.8	*	正
基肥窒素量	3.6		負

注. タンパク質含有率に関する重回帰分析より

側条施肥田植機で移植するとタンパク質含有率が高まる傾向であった(第9表). 6月移植は高温のため, 初期生育が旺盛になり過剰げつをさせると, 未熟粒率が高く登熟が劣る稲になるためと考えられた.

7) 登熟期の気温と食味の関係

1995年の米タンパク質含有率の県平均値は7.2%, 1996年7.2%, 1997年7.1%と低いが, 1998年は8.4%, 1999年7.9%と高くなった(第3図). 年次間でタンパク質含有率に最大1.3%の幅があった. これは土壌別タンパク質含有率の最大差0.5%(第5表)より大きかった.

気温が平年並に経過した1996, 1997年は, 高く経過した1999年よりタンパク質含有率が低かった(第4図). 平均気温が平年値±2℃の範囲にあると, タンパク質含有率は高くならなかった. また, 8月の気温が高くても, 登熟後半の9月上旬から気温が平年並になる1995年のタンパク質含有率は低かった. 反対に9月中旬から気温が平年より高くなる1998年のタンパク質含有率は, 5年間で最も高くなった.

8) 品種と食味の関係

品種によるタンパク質含有率の差は大きかった. コシヒカリのタンパク質含有率が最も低く, あさひの夢, ひとめぼれ, 晴れすがた, 月の光の順に高くなった(第10表). 灰色低地土において, コシヒカリと他品種のタンパク質含有率は0.4~1.0%の差があり有意差が認められるが, 黒ボク土ではその差がほぼ半分に縮まり, 有意差も小さくなる傾向であった. 黒ボク土産コシヒカリのタンパク質含有率の分散は, 灰色低地土に比べ大き

第8表 県中灰色低地土の玄米千粒重に影響する要因

要因	F 値	判定	単相関
基肥窒素量	10.4	**	負
地域	10.5	**	正
穂肥窒素量	4.2	*	正

注. 玄米千粒重に関する重回帰分析より

第9表 県南地域の施肥方法とタンパク質含有率

施肥方法	サンプル数	施肥窒素量 kg/a			タンパク質含有率%
		基肥	穂肥	合計量	
側条施肥	68	0.23	0.24	0.47	7.69*
全層施肥	164	0.27	0.18	0.45	7.54

注. 全層施肥は植代時施用を含む. コシヒカリ. タンパク質含有率は6%水準で有意差がある.

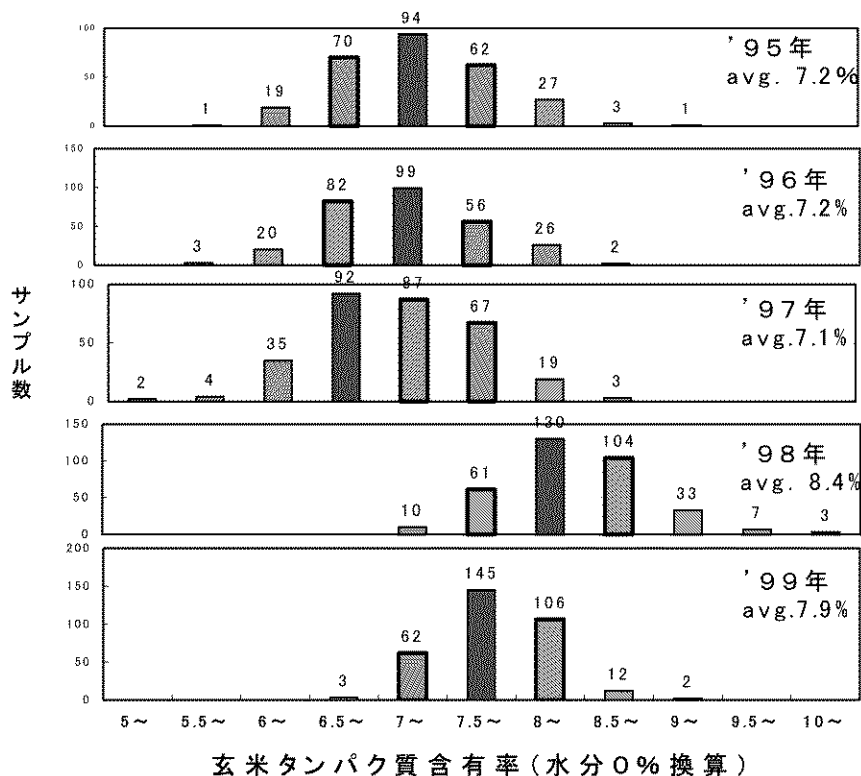
く, ばらつきが大きい傾向であった.

9) 地域ごとのタンパク質含有率に及ぼす要因

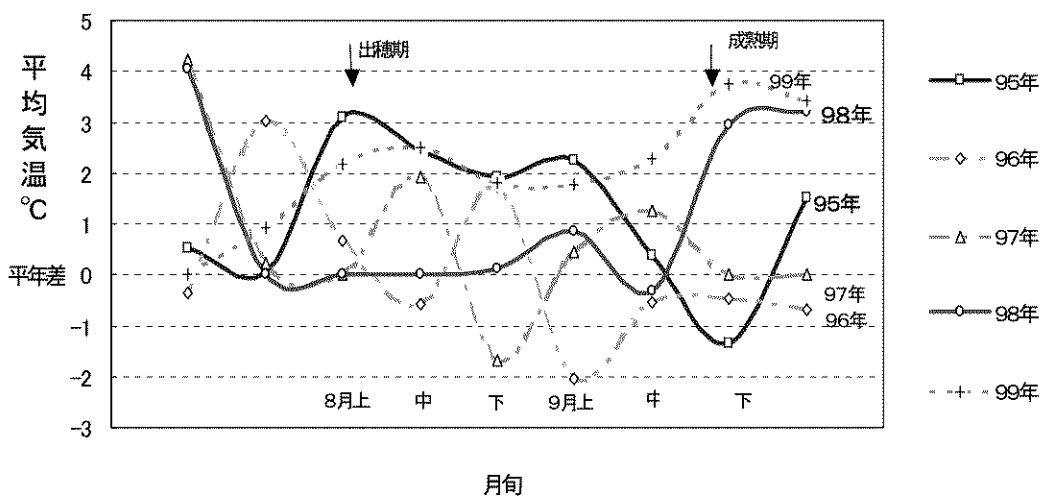
地域別にタンパク質含有率を左右する要因をまとめると第11表のようになった. タンパク質含有率を推測するのに有効な要因を, 重回帰式から求め, タンパク質含有率が8%以上のサンプルと地域の平均値を比較した. 推測式の寄与率 $R^2 = 0.56$ 程度で, 説明する要因として良く当てはまり, $R^2 = 0.44$ で精度は劣るが推測できると考えられた.

(1) 黒磯・大田原地域は, 黒ボク土, 灰色低地土とも, タンパク質含有率が高い米の玄米白度および良質粒率は低かった. 玄米白度と刈り取り時期には弱い負の相関関係があり, 現在よりやや早く収穫すると玄米白度が高まり食味が向上する傾向であった. 灰色低地土では, 玄米千粒重が重い米の方が, 良質粒率, 玄米白度とも高まり食味が向上する傾向であった. 黒磯~鳥山の県北部では, 玄米白度, 玄米千粒重および良質粒率とタンパク質含有率の間に, 負の相関が認められる所が多かった.

今市・矢板地域の黒ボクグライ土のタンパク質含有率



第3図 年次別のタンパク質含有率



第4図 年次別登熟期の気温経過（平年差）

第10表 品種別のタンパク質含有率

	黒ボク土		灰色低地土	
	品種	タンパク質含有率 (標準偏差)	品種	タンパク質含有率 (標準偏差)
県中 (早植)	①コシヒカリ	7.7 (0.49)	①コシヒカリ	7.2 (0.42)
	②ひとめぼれ	8.0 (0.35)*	②ひとめぼれ	7.8 (0.47)**
県南 (普通植)	①コシヒカリ	8.1 (0.56)	①コシヒカリ	7.5 (0.47)
	②晴れすがた	8.4 (0.46)+	②あさひの夢	7.9 (0.30)* (対月**)
			③ひとめぼれ	7.9 (0.62)**
			④晴れすがた	8.2 (0.37)**
			⑤月の光	8.5 (0.42)**

注. 1995～1999年平均値. 標準偏差の右の記号は有意水準で, **: 1%, *: 5%, +: 10% でコシヒカリとの有意差を表す. 丸数字は地域での順位. 県北地域はコシヒカリのみ.

第11表 地域ごとのタンパク質含有率を高くする要因

4/15～5/10 植コシヒカリ

地域、土壌群 表中の要因は、タンパク質含有率を推定する重回帰分析で有効なもの、 R^2 は寄与率、()は単相関係数。

1. 黒磯，大田原
多湿黒ボク土

玄米白度(-0.47)，良質粒率(-0.43)

$R^2 = 0.40$

	サンプル数	玄米白度	良質粒	玄米千粒重	堆肥	基肥施肥法	タンパク質含有率
高タンパク質米	34	19.5	84.1%	21.3g	53%(1.7t)	1.7	8.4%
地域の平均	102	20.1	87.1%	21.6g	69%(1.7t)	1.6	7.7%

注. 堆肥は施肥：1，無：0とし表中は実施率。基肥施肥法は，全層施肥：1，側条施肥：2とした。

灰色低地土

玄米白度(-0.73)，良質粒率(-0.44)

$R^2 = 0.56$

	サンプル数	玄米白度	良質粒率%	玄米千粒重	堆肥	穂肥窒素	タンパク質含有率
高タンパク質米	10	19.4	85.1%	21.3g	40%(1.6t)	0.45kg	8.4%
地域の平均	42	20.5	86.8%	21.7g	50%(1.6t)	0.35kg	7.6%

2. 今市，矢板
多湿黒ボク土

玄米千粒重(-0.44)，良質粒率(-0.40)

$R^2 = 0.38$

	サンプル数	良質粒	玄米千粒重	玄米収量	総窒素	タンパク質含有率
高タンパク質米	32	83.4%	21.0g	49.9kg	0.59kg	8.4%
地域の平均	77	85.4%	21.4g	51.4kg	0.55kg	7.9%

灰色低地土

玄米白度(-0.52)，玄米千粒重(-0.46)，良質粒率(-0.41)，玄米収量(-0.40)

$R^2 = 0.49$

	サンプル数	玄米白度	良質粒	玄米千粒重	玄米収量	基肥カリ	タンパク質含有率
高タンパク質米	37	20.0	82.6%	21.0g	46.1kg	0.33kg	8.5%
地域の平均	98	20.6	85.4%	21.5g	50.1kg	0.40kg	7.7%

黒ボクグライ土

玄米千粒重(-0.47)

$R^2 = 0.25$

	サンプル数	玄米白度	玄米千粒重	タンパク質含有率
高タンパク質米	23	20.1	20.8g	8.5%
地域の平均	40	20.5	21.2	8.0%

3. 烏山
多湿黒ボク土

玄米白度(-0.41)

$R^2 = 0.49$

	サンプル数	玄米白度	玄米千粒重	穂肥窒素	玄米水分	タンパク質含有率
高タンパク質米	22	19.8	20.9g	0.29kg	14.7%	8.5%
地域の平均	47	20.2	21.2g	0.26kg	15.2%	7.7%

注. 倒伏は0：無～5：甚の6段階。

4/15～5/10 植コシヒカリ，一部ひとめぼれ

地域，土壤群 表中の要因は，タンパク質含有率を推定する重回帰分析で有効なもの， R^2 は寄与率，()は単相関係数.

4. 氏家，宇都宮
多湿黒ボク土

玄米水分(-0.54)

$R^2 = 0.35$

	サンプル数	玄米水分	玄米千粒重	中間窒素	窒素合計量	タンパク質含有率
高タンパク質米	31	14.1%	21.3g	0.008kg	0.58kg	8.5%
地域の平均	105	14.7%	21.0g	0.004kg	0.55kg	7.7%

灰色低地土

玄米水分(-0.63)，良質粒率(+0.52)，施肥法(-0.49)

$R^2 = 0.47$

	サンプル数	玄米水分	良質粒	施肥法	基肥リン酸	堆肥	タンパク質含有率
高タンパク質米	8	13.6%	86.4%	1.1	0.93kg	0%(0t/10a)	8.3%
地域の平均	38	14.5%	85.7%	1.3	0.70kg	21%(0.7t/10a)	7.7%

注. 基肥施肥法は，全層施肥：1，側条施肥：2とした時の平均，堆肥は施用割合と量.

多湿黒ボク土 ひとめぼれ

穂肥窒素(-0.60)，窒素総量(-0.44)

$R^2 = 0.51$

	サンプル数	穂肥窒素	合計窒素量	胴割粒	タンパク質含有率
高タンパク質米	8	0.37kg	0.73kg	0.83%	8.3%
地域の平均	18	0.41kg	0.74kg	1.58%	7.9%

5. 鹿沼，市貝
多湿黒ボク土

玄米水分(-0.39)

$R^2 = 0.29$

	サンプル数	玄米水分	玄米千粒重	玄米白度	胴割粒	合計窒素量	タンパク質含有率
高タンパク質米	18	14.3%	21.8g	20.0	2.6%	0.71kg	8.5%
地域の平均	56	14.7%	21.6g	20.1	3.3%	0.71kg	7.7%

灰色低地土

胴割粒率(+0.57)，玄米水分(-0.45)

$R^2 = 0.44$

	サンプル数	玄米水分	胴割粒	中間窒素	玄米千粒重	稲藁	タンパク質含有率
高タンパク質米	6	14.3%	5.9%	0.050kg	21.4g	83%	7.8%
地域の平均	24	14.6%	3.2%	0.022kg	21.5g	92%	7.4%

注. 稲藁は施用：1，無：0とし表中は実施率.

グライ土

$R^2 = 0.20$

	サンプル数	玄米水分	中間窒素	基肥リン酸	稲藁	タンパク質含有率
高タンパク質米	3	14.3%	0.050kg	0.58kg	83%	7.8%
地域の平均	24	15.2%	0.004kg	0.78kg	42%	7.4%

早植は4/27～5/10、普通植は5/26以降。品種はコシヒカリと晴れすがた。

地域、土壌群 表中の要因は、タンパク質含有率を推定する重回帰分析で有効なもの、 R^2 は寄与率、()は単相関係数。

6. 小山, 栃木

多湿黒ボク土 コシヒカリ 早植 $R^2 = 0.31$

	サンプル数	倒伏	稲藁	穂肥窒素	タンパク質含有率
高タンパク質米	8	1.4	38%	0.17kg	8.3%
地域の平均	22	1.8	59%	0.20kg	7.9%

注. 稲藁は施用: 1, 無: 0とし表中は実施率。

灰色低地土 コシヒカリ 早植 基肥りん酸(+0.45), 玄米水分(-0.41), 穂肥窒素(+0.41) $R^2 = 0.43$

	サンプル数	基肥りん酸	玄米水分	穂肥窒素	堆肥	ようりん	タンパク質含有率
高タンパク質米	9	0.76kg	14.1%	0.36kg	11%(1.5t)	67%	8.3%
地域の平均	26	0.69kg	14.3g	0.30kg	25%(1.1t)	68%	7.9%

灰色低地土 コシヒカリ 普通植 玄米水分(-0.58), 穂肥窒素(+0.42) $R^2 = 0.40$

	サンプル数	玄米水分	穂肥窒素	稲藁	タンパク質含有率
高タンパク質米	4	13.5%	0.33kg	50%	8.4%
地域の平均	21	14.2%	0.17kg	52%	7.7%

7. 佐野, 足利

灰色低地土 コシヒカリ 普通植 玄米水分(-0.45) $R^2 = 0.32$

	サンプル数	玄米水分	穂肥窒素	基肥施用法	玄米収量	タンパク質含有率
高タンパク質米	26	13.5%	0.33kg	1.5	50.7kg	8.4%
地域の平均	40	14.3%	0.14kg	1.4	43.3kg	7.4%

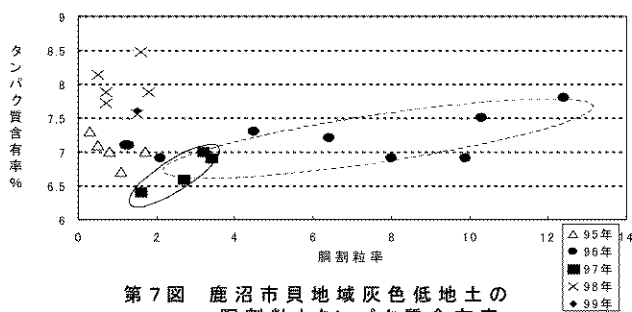
灰色低地土 晴れすがた 普通植 $R^2 = 0.35$

	サンプル数	玄米水分	穂肥窒素	堆肥	玄米白度	タンパク質含有率
高タンパク質米	26	13.8%	0.25kg	0%(0t)	19.8	8.4%
地域の平均	42	13.9%	0.22kg	7%(1.0t)	20.2	8.0%

8. 真岡

多湿黒ボク土 コシヒカリ 早植 玄米千粒重(-0.48) $R^2 = 0.35$

	サンプル数	玄米千粒重	堆肥	良質粒	中間窒素	タンパク質含有率
高タンパク質米	2	19.5g	0%(0t)	78.1%	0kg	8.1%
地域の平均	31	21.2g	25%(0.9t)	82.0%	0.003kg	7.4%



第7図 鹿沼市貝地域灰色低地土の胴割粒とタンパク質含有率

が高い米は、玄米千粒重が軽い傾向であった。堆肥と玄米千粒重には弱い負の相関関係があり、黒ボクグライ土では堆肥量をひかえると玄米千粒重は重くなる傾向であった。

鳥山地域の黒ボク土では、穂肥窒素量を減らすと、玄米白度が高まり食味が向上する傾向であった。

(2) 氏家・宇都宮～佐野・足利の県中・南地域では、玄米水分がタンパク質含有率に及ぼす影響が強かった。この地域の黒ボク土、灰色低地土とも玄米水分が15%に近い米の方が、タンパク質含有率が低い傾向であった。氏家・宇都宮地域の灰色低地土では、堆肥や稲わら等の有機物を施用した米の方が、タンパク質含有率が低くなる所が多かった。また、黒ボク土では中間窒素や窒素施肥量を減らす方が、タンパク質含有率が低くなる傾向であった。灰色低地土では基肥リン酸施肥量が0.93kg/aと県平均値の0.56～0.65kg/aより多く、倒伏も多くタンパク質含有率が高まっていた。

鹿沼、市貝地域では、胴割粒が多く発生した1996と1997年は、胴割粒率が高い米のタンパク質含有率が高くなる傾向であった(第5図)。しかし、氏家・宇都宮地域の灰色低地土産ひとめぼれでは、これと逆のタンパク質含有率が高い米ほど胴割粒の発生が少なかった(第11表)。これは、胴割粒率とタンパク質含有率間の相関関係ではなく、玄米水分や登熟過程の違いがタンパク質含有率に影響しており、玄米外観品質とタンパク質含

有率の関係ではないと考えられた。

(3) 小山、栃木の早植黒ボク土は、稲わら等の有機物を施用し、倒伏を1.8程度にする方が、タンパク質含有率が下がる傾向であった。また、灰色低地土の早植地域では、基肥リン酸が0.76kg/aと県平均より多く施肥すると、タンパク質含有率が高まっていた。

2. 食味改善のための肥培管理

1) 窒素施肥量と時期が食味に及ぼす影響

実態調査から、5年間を通じて多湿黒ボク土で栽培された米タンパク質含有率が高いことから、多湿黒ボク土における肥培管理方法を検討した。窒素施肥量の多いことが、タンパク質含有率を高める要因になっているところが、黒ボク土において4地域あった。一般に、黒ボク土では、地温の上昇とともに土中窒素が溶出し後期追肥のように働き、タンパク質含有率を高めると言われている。そこで、タンパク質含有率を下げる窒素施肥量と時期について検討した。

黒ボク土において、窒素施肥量を慣行0.7kg/aの6割、0.4kg/aに減らすと、タンパク質含有率は慣行より0.8%下がり、食味評価値が高まった(第12表)。窒素減肥栽培の場合、栽植密度は23.8株/m²が良かった。1998～2000年の23.8株/m²の玄米収量は52.6kg/aで、それより粗い20.8株/m²の玄米収量49.2kg/aより穂数不足による低収が軽減された。窒素施肥の時期と量は、基肥に0.2kg/a、出穂前40日に肥効調節型窒素を50%含む肥料を0.2kg/a追肥する施肥方法が優れていた。最高分けつ期(出穂前40日)に追肥し茎数を確保した方が、幼穂形成期(出穂前23日)に追肥し1穂当たりの初数を確保するより、出穂期の生育量が確保でき5年間の玄米収量、品質・食味のばらつきが少なかった。追肥時期は通常より早いですが、速効性窒素が0.1kg/aであるため、稈長は慣行より短く倒伏は少なかった。玄米収量は、慣行より5%程度減収した。

第12表 多湿黒ボク土における施肥窒素量が生育、食味に及ぼす影響

窒素施肥 時期と量 kg / 10a	出穂期 生育量	成熟期			玄米 収量 kg/a	同左 比率 %	倒伏 程度	みかけの 窒素 利用率 %	タンパク質 含有率 (乾物) %	食味 評価値
		稈長 cm	総粒数 百粒/m ²	登熟度 g × %						
2-2-0	1577	81	297	1887	56.6	95	2.1	50	8.0	74
2-0-2	1507	82	286	1953	56.2	95	1.9	31	8.1	74
3-0-4 (慣行)	1763	84	305	1907	59.4	100	2.5	49	8.8	67

注. 農試厚層多腐植質多湿黒ボク土、1998～2002年。品種はコシヒカリ。窒素施肥時期は、基肥一出穂前40日一出穂前23日。栽植密度は23.8株/m²。基肥は速効性窒素、追肥は肥効調節型窒素肥料。慣行区の追肥時期は出穂前18日。生育量は葉色×穂数(茎数)、登熟度は玄米千粒重×登熟歩合、みかけの窒素利用率は(稲体窒素吸収量-無窒素区量)/施肥窒素量で、1998～2000年調査。タンパク質含有率はケルダール法による窒素含有率×5.95。食味評価値は、1998年はSa式、1999～2002年はSi式食味計。慣行区は総もみ数が305百粒/m²と少ないため登熟度は高いが、食味関連形質は劣った。

2) リン酸施肥量と時期が食味に及ぼす影響

実態調査からリン酸を多く施用すると、タンパク質含有率が高まる傾向であった。灰色低地土の2地域でタンパク質含有率を高める要因になっていた。リン酸は、黒ボク土の土壤改良材として用いられているが、灰色低地土で多施用すると、タンパク質含有率を高める傾向が見られた。リン酸施肥は、窒素追肥に類似した効果があった。リン酸施肥量が多かたり施肥時期が遅いほど、生育量、総粒数、窒素およびリン酸の稲体吸収量が増し、慣行に比べ玄米窒素含有率が高まった(第13表)。このことからリン酸は、基肥時に土壤診断に基づいた適正

量を施すのが良いと考えられた。

3) カリ追肥が食味に及ぼす影響

従来よりコシヒカリの良質米生産のために、出穂前40日のカリ追肥が勧められている。実態調査でも、カリ施用量が少ないとタンパク質含有率が高まる事例があった。農業試験場内の基肥窒素量を減らした栽培で、カリを中間追肥すると、登熟前半の倒伏が少なくなり登熟が良くなる結果、良質粒率が高まり食味評価値が高まる傾向であった(第14表)。塩化カリに比べすこやかつなぎの方が、茎数の増加が多かった。

第13表 リン酸施肥時期・量が生育・食味に及ぼす影響

	リン酸 基肥時+ 追肥時 kg/a		生育量	総粒数 百粒/m ²	玄米 収量 kg/a	窒素含有量		リン酸 含有量 穂 g/m ²
	成熟期 g/m ²	玄米 率%						
基肥区	2.0	+ 0	1442	271	54.5	12.3	1.42	1.78
追肥区	0.36	+ 1.0	1412	253	51.2	11.0	1.52	1.76
慣行区	0.36		1215	246	49.6	10.9	1.38	1.61

注. 今市市黒ボク土現地. 1998年. 可給態りん酸は10mg/100g. いずれの区も基肥時に過りん酸石灰をリン酸成分で0.36kg/a. 基肥区はそれによる成リン肥を加え合計2kg/a. 追肥区は出穂前40日に重過りん酸石灰でりん酸成分1kg/a. 慣行区は出穂前18日に窒素肥料0.4kg/aを追肥. 品種はコシヒカリ.

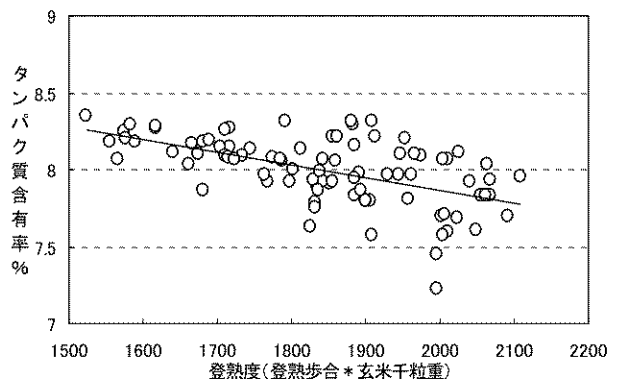
第14表 加里の中間追肥が生育・品質に及ぼす影響

肥料 種類	追肥量 kg/a	穂数 本/m ²	倒伏		良質粒 率%	未熟粒 率%	食味 評価値
			出穂後 15日	成熟期			
すこやかつなぎ	0.5	366	1.3	2.3	86	3.5	64
すこやかつなぎ	1.0	371	1.0	2.3	87	3.0	66
塩化カリ	0.5	374	1.8	2.3	86	3.3	65
塩化カリ	1.0	357	1.5	2.1	85	3.5	64
無施用	0	367	1.8	3.3	85	3.5	63

注. 農試. 1999年. すこやかつなぎは加里成分を24%, その他珪酸, リン酸及び苦土を含む. 基肥窒素量はいずれも0.3kg/a. 追肥時期は出穂前40日. 倒伏は0(無)~5(甚).

4) 登熟度と食味

登熟度(玄米千粒重×登熟歩合)が高い米のタンパク質含有率は低く、食味評価は高まる傾向であった(第6図, 第15表)。登熟度とタンパク質含有率は負の相関関係であった。登熟度と玄米白度は正の関係が強く(第8図)、登熟度と総粒数は負の相関関係であった(第7図)。食味官能試験で評価が高い米のタンパク質含有率は、8%以下であった(第9図)。8%より低いと有意差が認められる割合が増した。これらのことから食味改善のためには、総粒数を32,000~33,000粒/m²、玄米白度は高く登熟度を1,850以上に高めるのが好ましいと考えられた(第6,7,8図)。



第6図 登熟度とタンパク質含有率の関係

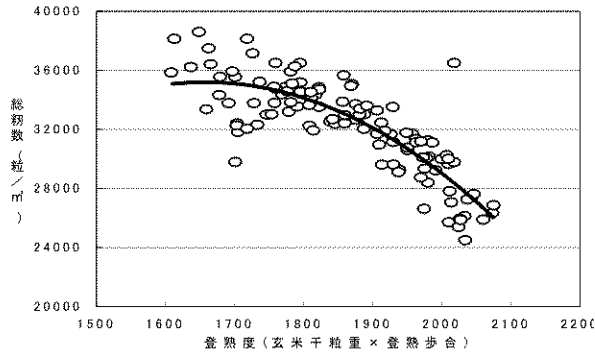
注. 1996~1997年農試. 早植, 基肥0~0.6kg/a, 追肥0~0.4kg/a, 追肥時期は出穂前23~10日, 品種はコシヒカリ. タンパク質含有率は, Sa製食味計TB15Aで測定.

第15表 収量構成要素と品質食味の相関関係

	外観品質		食味	
	白度	未熟粒率	タンパク質	評価値
総粒数	-0.77	0.74	0.64	-0.52
登熟歩合	0.74	-0.65	-0.54	0.55
登熟度	0.80	-0.59	-0.55	0.53
倒伏	-0.71	0.66	0.52	-0.42

注. 農試. 1996～1997年.

登熟歩合と玄米千粒重の相関係数は0.3程度.



第7図 登熟度と総粒数の関係

5) 落水, 収穫時期と品質・食味

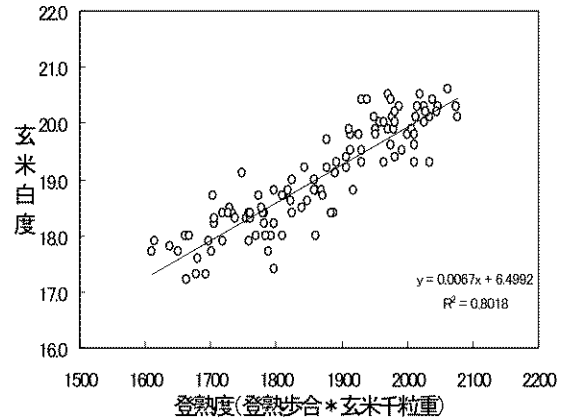
落水時期が遅いほど穂の黄化は遅く, 登熟度は高まり, 食味評価値が高まる傾向であった(第16表). また, 落水時期を遅くした方が, 倒伏が少なく, 白未熟粒が少なく玄米品質が高まった. 食味改善のための落水時期は, 出穂後35日程度が適当と考えられた.

収穫時期が早いと, 玄米白度は低く, 未熟粒率やタンパク質含有率が高かった(第17表). 一方, 成熟期後7日以上たち帯緑色粒が無い玄米は, 千粒重が減少し, 薄茶米等も増加しタンパク質含有率が高まった. 千粒重, タンパク質含有率および食味評価値が高位安定するのは, 帯緑色粒率が10～1%の範囲で, 収穫時期は成熟期±4～5日であった.

第16表 落水時期と生育, 品質・食味の関係

落水時期 出穂後	登熟歩合 %	登熟度	玄米収量 kg/a	倒伏	玄米外観品質			食味	
					白度	良質粒率 %	未熟粒率 %	タンパク質 %	評価値
15日	82	1821	60.4	3.3	19.8	88	8.8	7.9	76
25日	83	1824	60.5	3.1	20.2	89	7.5	7.9	76
35日	86	1896	62.6	2.9	20.3	90	6.9	7.8	78

注. 農試. 1996～1997年. 品種はコシヒカリ. Si式品質判定機RS-2000, Sa式汎用食味計を使用. 帯緑色粒率は平均株の最上穂1本と最下位から3番目穂1本の計20穂調査. 帯緑色もみ率を基に収穫前日を推定し, 2カ年の平均値.



第8図 登熟度と玄米白度の関係

注. 玄米白度はKe製白度計C-300-3で測定.

6) 玄米粒厚と食味

玄米粒厚は厚い方が, タンパク質含有率は下がる傾向であった(第10図). しかし, 登熟度が低い時は, 粒厚を厚くしても, タンパク質含有率は8.4%より下がらなかった. 一方, 登熟度が2,000(玄米千粒重22.2g × 登熟歩合90%)を超えるような場合には, 粒厚によるタンパク質含有率の差は僅かであった.

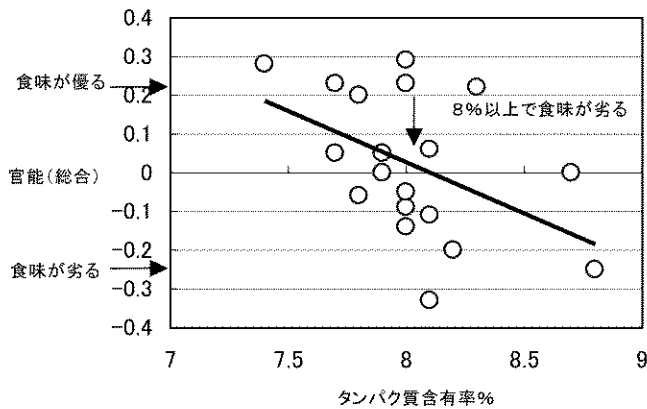
7) タンパク質含有率の予測

出穂前20日の生育量(茎数×葉色)から, タンパク質含有率を予測した(第11図). 穂肥を出穂前23日に肥効調節型窒素肥料で0.2kg/a施肥すればタンパク質含有率を高めずに玄米収量が確保できた. 穂肥窒素0.4kg/aと多く施肥すると, タンパク質含有率は8.4%より高く, 出穂前20日の生育量に比例して増加した. 出穂期の生育量とタンパク質含有率の関係も同様であった(第12図). また, 出穂前20日や出穂期の生育量から玄米収量も概ね予測することが可能であった(第13, 14図)

第17表 収穫時期が品質・食味に及ぼす影響

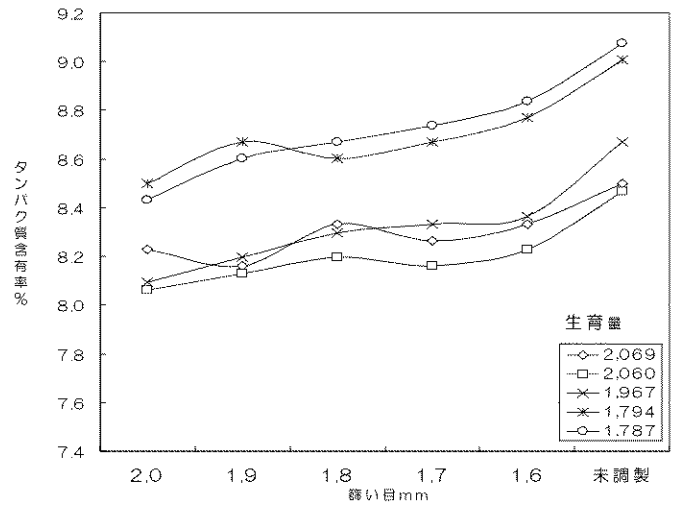
収穫時期 成熟期前	帯緑色 籾率 %	千籾重 g	玄米			食味	
			白度	良質粒率 %	未熟粒率 %	タンパク質 %	評価値
-18日	39	15.6	19.7	86	14	8.1	74
-16日	30	14.9	19.7	88	11	8.1	75
-12日	19	17.2	19.6	89	10	8.0	75
-9日	16	17.5	19.9	90	9	8.0	76
-4日	9	19.8	20.5	91	7	7.6	80
0日	5	18.9	20.5	90	7	7.7	78
+5日	1	19.4	21.2	91	5	7.5	81
+7日	0	17.3	20.6	90	6	7.9	77

注. 第15表と同じ. 千籾重は玄米収量比較の目安.

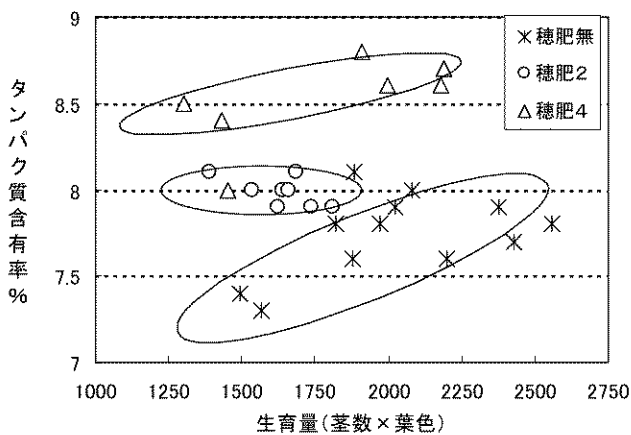


第9図 タンパク質含有率と食味官能

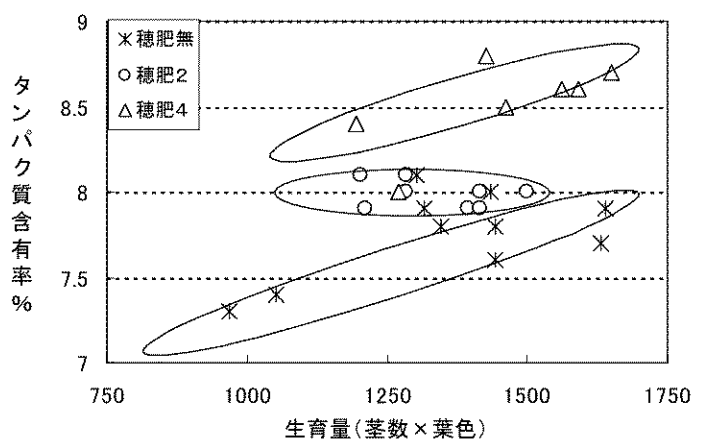
注. 1999～2000年農試産コシヒカリ..



第10図 生育量と玄米粒厚がタンパク質含有量に及ぼす影響.

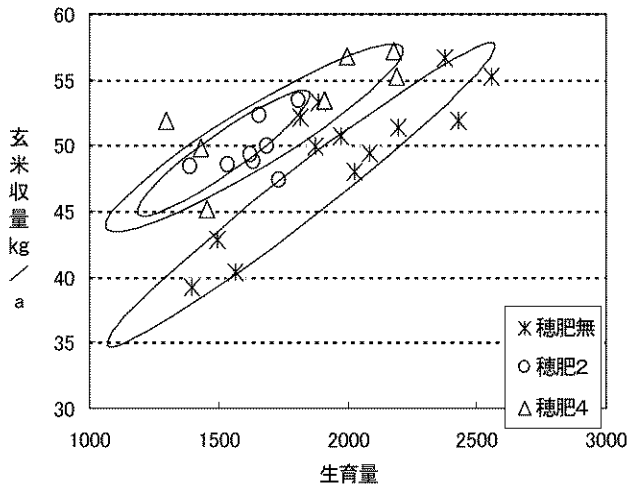


第11図 出穂前20日の生育量とタンパク質含有率の関係

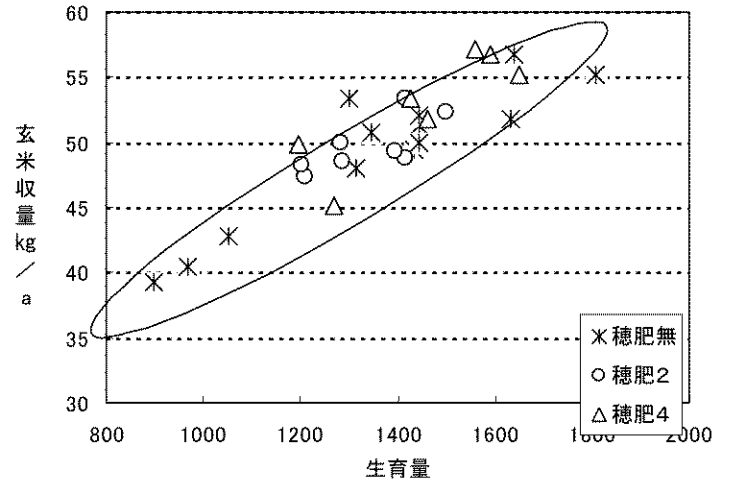


第12図 出穂期の生育量とタンパク質含有率の関係

注. 農試多湿黒ボク土, 1999～2000年. 5月上旬移植コシヒカリ. 慣行栽培でタンパク質含有率が高いほ場. 基肥窒素0～0.4kg/a, 穂肥窒素0～0.4kg/a. 栽植密度20.8, 23.8株/m²..



第13図 出穂前20日の生育量と玄米収量の関係



第14図 出穂期の生育量と玄米収量の関係

IV 考察

本研究の目的は、生産、流通現場に普及している食味計を用いて、食味低下の要因を見出し、肥培管理の改善策を体系化することである。そして、玄米品質を均一にし、全体の食味のレベルアップを図ることである。一般に米の品質は、外観品質、炊飯米の食味および栄養的価値からなっている。炊飯米の味は、五感によって評価されるが、硬さや粘りなどの物理的要素が、食味の7～8割に寄与しているとも言われている²⁾。タンパク質含有率が高まると、デンプンの熱糊化性や粘りが低下することが認められている。最近では、分子量が大きい炭水化物やタンパク質でも、味覚を発現するとも言われている。本県が位置する温暖地においては、アミロース含有率の影響は比較的少なく、タンパク質含有率が食味を左右する主要因といわれている^{3,4)}。アミロースに比べてタンパク質含有率は、同一品種でも栽培環境による変動が大きいことも認められている²⁾。炊飯米を食べた官能総合評価とタンパク質含有率とは、負の相関関係にある(第9図)。タンパク質含有率が8%を越えると食味に有意差が現れ始める。また、タンパク質含有率で0.8%程度差があると、食べた時に有意差が現れる傾向である。栃木県全体で、タンパク質含有率が8%を越えるサンプルの割合は32%あり、1/3の米の食味改善が必要と考えられる。

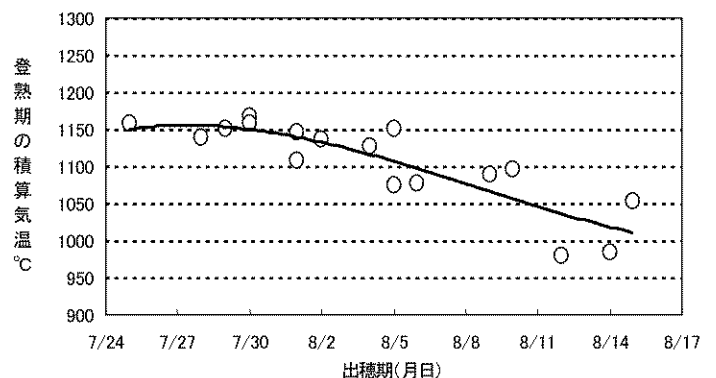
1. 登熟期の気温

米のタンパク質組成は、必須アミノ酸含量が高く、アミノ酸バランスがとれたグルテリンが65～80%を占め、栄養的に良質とされ、玄米中に均一に分布する¹⁵⁾。一方、タンパク質の一種プロラミンは、窒素施肥量が増す

ほど、また施肥時期が遅いほど高まる¹⁶⁾といわれている。品種、栽培法によって玄米タンパク質組成が変化することが報告されている¹⁾。

タンパク質含有率の変動幅を大きくしている要因の一つに、年次間変動がある。米タンパク質含有率が高い年に共通している気象は、登熟期が平年より高温に経過することである。調査した5カ年で、移植時期を5月11日～25日にすると、タンパク質含有率が下がる傾向であった。その時期にコシヒカリを移植すると、出穂期は県北部が8月10日、中部が8月8日、南部が8月6日頃になる。登熟期の積算気温は、1,070℃±30℃になる(第15図)。新潟産コシヒカリのタンパク質含有率が最も下がる登熟期の平均気温は、25℃といわれており¹⁾、ほぼ栃木産コシヒカリと同じ積算気温になる。タンパク質含有率が下がる登熟期の適温があり、それより高くても低くてもタンパク質含有率は高まると考えられる(第3表)。

胚乳の最も外側の糊粉層は成熟につれて細胞内容物が増し、登熟気温が高いと厚さも著しく増す^{16,17)}。プロラ



第15図 出穂期と登熟期積算気温の関係

ミン（プロテインボディール I）は遅く蓄積が始まり胚乳の最外層に多く分布するといわれている¹⁰⁾。これらのことから、登熟後半の高温による玄米タンパク質含有率が高まる原因に、プロラミンの組成割合（プロテインボディール I / 総プロテインボディール）と含有率が高まった可能性が考えられる。

2. 土壌

本県水田の土壌別割合は、多湿黒ボク土が 41 % で最も多く、次いで灰色低地土の 39.1 %、黒ボクグライ土 11.8 %、グライ土 6.4 % の順となっている¹⁰⁾。多湿黒ボク土（以下黒ボク土）産の米タンパク質含有率は、他の土壌群に比べ安定して高い。黒ボク土では、成熟期の茎葉部に窒素が多量に残り、穂へスムーズにデンプンが分配されずタンパク質含有率が高まる¹¹⁾とされている。コシヒカリは新潟県で、ササニシキは宮城県で栽培すると低タンパク質米になるが、放射線育種場（茨城県）で作ると低タンパク質米にならないと報告されている¹⁰⁾。食味に関しても、適地適作があり、どの地域で栽培してもコシヒカリが群を抜いて良食味米になるとは限らない。あさひの夢は、黒ボク土でコシヒカリ並にタンパク質含有率が低く、栽培特性や外観品質が優れる。コシヒカリ栽培が適していない地域には、それらの品種を導入した方が、米品質は安定すると考えられる。

3. 生育制御によるタンパク質含有率の改善

食味改善のためには、生育途中で米タンパク質含有率を予測し、肥培管理によってそれを制御する必要がある。平らは、出穂期の稔実粒数当たりの葉身窒素含有率から、タンパク質含有率を推定している¹²⁾。ほ場間あるいはほ場内レベルで穂肥時期にタンパク質含有率を予測できれば、品質・食味の均一化が効率的に図れる。

黒ボク土でタンパク質含有率が 8 % を超える所では、肥培管理を改善し、第 18 表のような生育量に制御すると、米タンパク質含有率が下がり食味改善ができる。出穂前 20 日の生育量が 1,900 ~ 2,600 と大きい時は、穂肥を施肥しない方がよく、タンパク質含有率は、生育量に応じて 7.5 ~ 8 % になる（第 11 図）。生育量が 1,900 より小さい時は、穂肥窒素 0.2kg/a を施肥する。

穂肥によって出穂期の生育量は無追肥より大きくなり、玄米収量は生育量に応じて 47 ~ 54kg/a、タンパク質含有率 8 % 程度になる。慣行に比べタンパク質含有率は 0.6 ~ 0.8 % 下げられる（第 12 表）。多収のための肥培管理は、出穂前 20 日の標準的な生育指標値が 1,900 ~ 2,200 で、出穂前 15 日に 0.3kg/a の窒素追肥をする。食味が劣るところでは食味改善のための適正生育量はそれより小さいと考える。多収の栽培技術は籾数確保に重点を置き、品質低下を招かない範囲で玄米千粒重と登熟歩合の向上をねらう。一方、食味改善の肥培管理は、生育量をやや抑え、一粒毎の登熟向上を図るために余裕が持てる籾数に制御することと考える。

食味改善の効果が高い肥培管理法は、窒素施肥量を減らすことである。基肥窒素量を減らし、一般の穂肥時期より早い最高分け時期（出穂前 40 日）に肥効調節型窒素肥料で 0.2kg/a を追肥する体系である。窒素肥料を減肥する栽培においては、出穂前 40 日に追肥した方が根の活力が高く、窒素の利用効率が高まっていた。また、窒素肥料を減らして食味向上を図る肥培管理では、カリの中間追肥によって稈質を強くし、落水時期を出穂後 30 ~ 35 日にすることで倒伏を軽減させ、登熟後半まで同化産物の転流を図る。今後の課題は、食味改善を図りながら、玄米収量を減取させないで、粒厚を厚くすることである。今回の米食味実態調査の中には、玄米収量が多い方がタンパク質含有率が低い傾向の所もあった（第 11 表）。窒素の減肥以外にも、土作りや水管理によって根や葉の活性を登熟後期まで保てば、同化産物の転流を促進させ、籾数を 33,000 粒/㎡より多くして玄米収量を高めても、食味が向上する可能性があると考えられる。現在、農業試験場では、タンパク質含有率 8 % 以下、玄米収量 54kg/a を目標に、肥料の種類、水管理および移植時期等について引き続き検討を行っている。また、関係団体においても、食味計を用いた食味改善の取り組みが推進されている。県北、県中および県南の 3 地域に分けて解析したのに比べ、8 地域に細分した方が要因間の相関関係や寄与率も高まっていた。食味が劣るほ場あるいは箇所を集中して改善するためにも、継続した米食味の

第 18 表 黒ボク土壌における食味改善のための肥培管理

出穂前 20 日の 生育量	追肥 窒素量	出穂期の 生育量	タンパク質 含有率	玄米収量 kg/a
1,200 ~ 1,900(小)	→ 0.2 kg / a	→ 1,200 ~ 1,500	→ 8 %	47 ~ 54
1,900 ~ 2,600(大)	→ 0 kg/ a	→ 1,300 ~ 1,700	→ 7.5 ~ 8 %	47 ~ 56

注. 1999 ~ 2000 年農試。品種はコシヒカリ。

追肥は出穂前 20 日に肥効調節型窒素肥料 50 %。

タンパク質含有率は玄米乾物値で、As-is 値（水分 15 % を含むもの）に比べ 1.2 % 程度高くなる。

データ収集、解析および改善策を講じて、県産米の一層の高品質良食味化が図られることを期待する。

謝辞

本試験に当たり、高品質良食味米安定生産技術確立のために、米サンプルの生産と収集に尽力された稲作生産者、農業改良普及センター稲作担当者各位に謝意を表す。また、品質成分分析や栽培管理において、作物経営部の増淵清一、柴田知生、現農業大学校の大根田悟、現栃木分場の若樹淳、現宇都宮市在住の高橋憲一、鱒淵肇氏に多大な協力をいただいた。ここに厚く謝意の意を表す。

引用文献

- 1) 稲津脩(1989)良食味米の理化学特性と栽培. 日作紀. 188 シンポジウム要旨.
- 2) 岩崎哲也(1990)農業技術体系作物編
- 3) 笠原正行(1996)米の食味計の特徴と利用法. 農業技術. 51(4). 163-166.
- 4) 松江勇次, 小田原孝治, 比良松道(1996)北部九州産米の食味に関する研究第7報食味の産地間差とその要因. 日作紀. 65(2): 245 - 252.
- 5) 森田敏, 白土宏之, 高梨純一, 藤田耕之輔ら(2002)高温が水稻の登熟に及ぼす影響—高昼温の影響の違いの解析—. 日作紀. 71(1): 102 - 109.
- 6) 長戸一雄, 江幡守衛(1960)登熟期の気温が水稻の稔実に及ぼす影響. 日作紀. 28: 275 - 278
- 7) 長戸一雄, 江幡守衛(1965)登熟期の高温が穎果の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀. 34: 59 - 66
- 8) 大坪研一(1995)米の品質評価. 農機学会誌. 57(2): 93 - 98.
- 9) 大淵光一(1990)ササニシキの食味関連理化学性の変動第1報 窒素施肥条件と食味関連の理化学性. 東北農業研究. 43:
- 10) 岡留博司, 栗原昌之, 楠田宰, 豊島英親, 金静逸, 下坪訓次, 松田智明, 大坪研一(1999)窒素施肥の異なる炊飯米の多面的物性評価法. 日作紀. 68: 211 - 216.
- 11) 平宏和(1972)食糧研究所研究報告. 27: 11 - 14
- 12) 平俊雄(1997)出穂期における水稻品種コシヒカリの玄米窒素含有率の推定. 日作紀. 66(4): 706-707.
- 13) 佐藤恭子, 伊藤浩, 大久保堯司, 大谷和彦, 小島隆(1995)栃木県における理化学的特性による米食味評価. 栃木農試研究報告. 43: 9 - 18.
- 14) 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. 日作紀. 67: 139-146
- 15) 田中國介(1993)米蛋白質の化学「米研究の最前線」資料. 食品総合研究所
 - 16) 寺島一男, 斎藤祐幸, 酒井長雄, 渡部富男, 尾形武文, 秋田重誠(2001)1999年の夏期高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀. 70(3): 449 - 458
 - 17) 栃木県(2002)平成13年度首都圏農業推進計画 21 (統計資料編)
 - 18) 栃木県(1978)栃木県耕地土壌図. 日本の耕地土壌の実態と対策. 土壌保全調査事業全国協議会