

第Ⅳ章 食味特性の環境変異とその解析

前章までに北海道産米の食味向上はアミロース、蛋白などの成分とその性質を示す熱糊化性、老化性を指標として取りくむべきであり、これらの特性値は本州産米よりも食味的に不利な方向にあることをこれまで明らかにした。熱糊化性、老化性は相互関係の検討から米粒中の成分に支配されることを明らかにした。北海道産米の食味を向上させるためにはこのような結果を踏まえて具体的な米生産技術の確立が必要となる。

本章では食味向上に必要な生産技術の改善手法の糸口を得る目的で、北海道内における食味特性の品種、栽培環境の変異を要因ごとに検討した。特に品種の遺伝的性質、登熟期間の温度、養分供給状態による食味特性の変動性とその要因を解析し、北海道産米の食味向上に必要な生産技術の位置づけと摘出をこころみた。

第1節 土壌型と食味特性

土壌型と食味の関係については古くから経験的に知られており、砂質土壌それも少し砂利の入った排水の良い水田から穫れる米が良いと考えられていた⁸⁴⁾。瀬戸、岡部⁸⁵⁾は泥炭土と砂質土で生産された米を分析し、それら土壌型による食味特性に差がないと考えた。その後、分析技術が進歩し、米の食味に関係した理化学的手法が確立されるに伴い土壌との関係が解明されはじめた。宮松、寺島⁶⁵⁾は土壌条件の違いが米の食味に影響していることを明らかにした。南、土居⁶²⁾は乾田タイプの黄褐色土壌、礫質土壌は湿田タイプの泥炭質土壌、グライ土壌よりも米飯の食味特性が良いとし、茶村ら¹⁰⁾は火山灰土壌、泥炭土壌で生産された米は粘りが少なく味が劣ると結論した。しかしながら、これらの研究は同一栽培環境条件下での土壌型の差違を検討したものでなく、この意味で土壌型と食味の関係を明らかにするためには不十分な点があった。

ここでは北海道中央部水田地帯の主要な5種類の土壌を用いて、同一栽培環境条件下で土壌型と食味特性の関係を正確に捉えようとした。すなわ

ち北海道中央部水田地帯に位置する空知、石狩支庁管内の5地点から採取してきた母材、堆積様式の異なる水田の作土を用いて同一条件で栽培試験を行った。この土壌の土壌統群は泥炭土—美唄統(高位泥炭土)、火山灰土—岩屋谷統(黒ボクグライ土)、洪積埴土—東滝川統(細粒灰色台地土)、沖積埴土—田川統(細粒強グライ土)、沖積壤土—新戒統(細粒褐色低地土)であり、北海道の水田はこの5種類の土壌で約80%占められている⁵⁸⁾。以下これを省略し泥炭土、火山灰土、洪積埴土、沖積埴土、沖積壤土と呼ぶ。

栽培試験は中央農試稲作部圃場に1区2.1m²(2連制)深さ48cmの木框を設置し、その底にビニールシートを敷き、それより33cmまでそれぞれの土壌をつめ、排水は心土部分に通したハイゼックスパイプ暗渠管で調節した。供試品種は「ほうりゅう」、共通施肥量N ; P₂O₅ ; K₂O ; MgO = 6 ; 8 ; 7 ; 4 kg/10 a で、その他の栽培条件は慣行に従った。試験は昭和46, 47, 48年の3ヶ年にわたり行った。

Table 22 は供試土壌の理化学的性質を示した。供試土壌の腐植、全窒素含有率は高い方から泥炭土、火山灰土、沖積埴土、洪積埴土の順であり、C/N比は泥炭土が他の土壌より高かった。また国際学会法による土壌の粒径組成は粗砂が火山灰土で64.2%、泥炭土で28.0%と高く、粘土含有率は洪積埴土、沖積埴土で高かった。置換容量は泥炭土で高く、火山灰土で低かった。

出穂期の土壌状態、葉身窒素濃度および生育、収量を3ヶ年間平均しTable 23に示した。土壌の酸化還元電位(E_h6)は火山灰土で高く、沖積埴土で低かった。出穂期の土壌中NH₄-Nは泥炭土が供試土壌中で最も高く、沖積壤土、洪積埴土、火山灰土、沖積埴土の順に低かった。泥炭土は生育初期から後期まで窒素供給量が他の土壌より多かった。これにより生育は旺盛となるほか、葉身窒素濃度も高まり、秋まさり的な稲となった。これに対し火山灰土は生育初期から後期まで窒素供給が少なく、後期に窒素不足となり出穂も早まっ

Table 22. Physicochemical properties of soil samples.

Soil group	pH		T-C (%)	Humus	T-N	C/N	N/5 Hcl soluble nutrient (mg/100g)		CEC (me)	Particle size distribution				Texture
	H ₂ O	Kcl					P ₂ O ₅	K ₂ O		Corse sand	Fine sand	Silt	Clay	
Andosol	6.0	5.1	0.41	8.1	4.7	11.5	36.3	15.3	11.6	64.2	15.8	14.4	5.6	SL
Diluvial soil (loam)	5.6	4.8	0.21	4.3	2.5	11.7	3.1	15.5	15.6	10.2	16.2	38.6	35.0	LiC
Alluvial soil (loam)	6.1	5.5	0.23	4.6	2.7	11.6	18.21	16.3	17.2	1.2	16.2	54.0	28.6	LiC
Alluvial soil (clayey loam)	55.4	4.7	0.34	7.1	4.1	12.1	4.9	12.9	15.9	16.5	31.4	28.5	23.6	CL

Table 23. Growth and yield on different soil.

Soil group	NH ₄ -N (mg)		Eh ₆ (mV)		Lamina nitrogen content (%)	Brown rice yield (Kg/10a)
	Panicle formation stage	Heading stage	Heading stage	Heading stage		
Peat soil	4.2	1.7	+ 2 1	4.4 1	5 6 4	
Andosol	1.7	0.8	+ 1 4 5	3.4 9	4 5 3	
Diluvial soil (loam)	2.0	0.8	+ 4 3	3.7 6	4 6 0	
Alluvial soil (loam)	2.1	0.7	- 1	3.9 7	4 9 9	
Alluvial soil (clayey loam)	2.0	0.9	+ 3 5	4.0 9	4 6 0	

Table 24. Average values of eating quality of Hokkaido rice from various soils over 3-year period.

Soil group	Amylogram		Texturogram			Cooking qualities		
	Maximum viscosity	Break-down	Hardness (H)	Adhesiveness (-H)	H/-H	Water up-take ratio	Expanded volume	Total solid
Peat soil	347	127	5.37	1.38	19.5	3.10	32.3	0.193
Andosol	382	161	4.64	1.77	13.1	2.90	30.4	0.159
Diluvial soil (loam)	364	144	4.66	1.77	13.2	2.95	31.1	0.172
Alluvial soil (loam)	360	139	4.83	1.66	14.5	2.98	31.4	0.172
Alluvial soil (clayey loam)	348	130	4.81	1.57	15.3	3.04	32.0	0.183

た。玄米収量は高い方から泥炭土、沖積埴土、沖積壤土、洪積埴土、火山灰土の順であった。

このようにして5土壤を用い、同一栽培環境条件下で生産した米の食味性を3ヶ年にわたり分析し、その平均値と差の有意性をTable 24, Fig. 43に示した。アミログラム最高粘度は火山灰土で最

も高く、泥炭土が最も低かった。ブレークダウン値もこれと類似の傾向にあり、いずれも土壤間で有意な差が認められた。アミログラム最高粘度は火山灰土と沖積埴土、泥炭土の間に1%水準で、火山灰土と洪積埴土、沖積埴土さらに洪積埴土と泥炭土との間には5%水準で有意な差が認められ

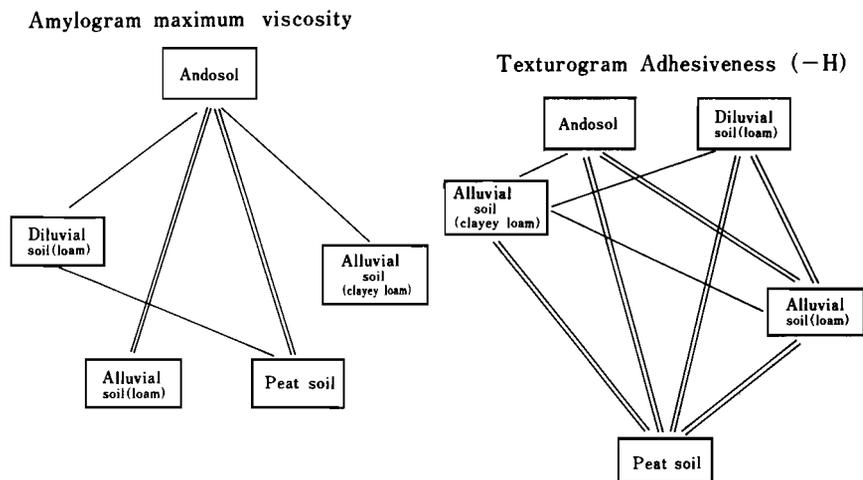


Fig. 43. Statistical differences among eating quality rice of rice from various soil.

—, =, Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table 25. Relationship between adhesiveness and inorganic component in rice.

Inorganic component	Correlation coefficient
N	-0.624*
P	-0.430
K	0.033
Mg	0.207
Mn	0.192
Fe	-0.513

* : Significant at the 5% levels, respectively.

た。炊飯特性の加熱吸水率は低い方から火山灰土、洪積埴土、沖積埴土、沖積壤土、泥炭土となっていた。膨張容積の土壤間における序列は加熱吸水率と類似しており、両特性の土壤間差は有意であった。このことは泥炭土の米は炊飯時に多く吸水し、釜ぶえすることを意味し、火山灰土から穫れた米と対照的であった。テクスチュログラムの硬さは泥炭土が最も大きく、次いで沖積埴土、沖積壤土、洪積埴土、火山灰土の順であった。粘りはこれとは逆で火山灰土、洪積埴土が大きく泥炭土が最も小さかった。粘りは泥炭土が他の4土壤より1%水準で有意に低く、また沖積壤土も火山灰土、洪積埴土よりは1%水準で有意に低いことが認められた。硬さ(H)/粘り(-H)は低い方から

火山灰土、洪積埴土、沖積埴土、沖積壤土、泥炭土の順となっていた。

このようなことから、供試した土壤間の食味特性は良い方から火山灰土>洪積埴土、沖積埴土≥沖積壤土>泥炭土の順となった。また、このような差の原因を明らかにするために米粒中に含まれる無機成分とテクスチュログラム粘り(-H)の相関関係を調べTable 25に示した。なお、この実験には本試験の5種類の土壤から穫れた昭和47、48年産米を用いた。粘り(-H)と相関のある米粒中の無機成分は窒素(N)含有率だけであり、土壤間の食味特性の差に窒素が関与していることが明らかになった。

本試験は栽培環境条件を同一とするために作土

を木框につめたものであり、実際の水田土壌と異なるのでこの方法で得た土壌間の差異を結論できるかどうか検討する必要がある。そこで本試験で用いた沖積粘土-田川統と隣接した所に存在する泥炭土-長富統を用い¹⁰⁸⁾、両土壌の差が木框試験と一致するかどうか検討した。試験は両土壌に木框試験と同一栽培法で「ゆうなみ」「ほうりゅう」を栽培し、食味特性を分析した。その結果、アミログラム最高粘度は沖積粘土590B. U、泥炭土565B. U となり、両土壌間に1%水準の有意な差が認められた。この傾向は木框試験の結果と類似するものであった。したがって木框試験結果は土壌型と食味特性の関係を示すものと考えられた。以上の結果、食味特性は北海道に分布する水田土壌の種類によって異なることは明らかであり、特に20%を占める泥炭土水田の食味特性が劣るため、これに対する食味向上技術の確立が必要と考えられる。

第2節 養分供給と食味特性

養分供給と食味特性の関係を明らかにすることは北海道産米の食味向上のための施肥技術を考える上で重要となる。山下、藤本¹¹⁸⁻¹²¹⁾は施肥窒素の食味特性に対する影響が澱粉のアミログラム特性よりもむしろ米飯の粘弾性の低下に現われるとし、りん酸については窒素よりも食味に与える影響が小さいとしながらも、無りん酸区の米飯の食味がりん酸施用区よりやや劣ることを認めた。カリについてはその施用の有無が米飯の食味特性に影響を示さないとしている。南、土居⁶³⁾、宮松、寺島⁶⁶⁾は窒素施肥と食味特性との間に負の相関のあることを認めている。ここでは北海道で窒素、りん酸、カリの欠除と供給によって食味特性がどのように変動するのか、さらに微量要素の供給と食味特性の関係を明らかにすることを目的とした。

まず窒素、りん酸、カリの欠乏、過剰が食味特性に与える影響を明らかにするために水耕試験を行った。水耕試験はビニールを敷いた1㎡、深さ33cmの有底木框をガラス室内に設置し、これに水耕液を入れ、直径20cmの穴が6ヶある蓋をして、この穴に石をつめたザルを置き苗を移植した。幼穂形成期までは水道水を用いN ; 40ppm (NH₄

NO₃), P ; 5 ppm (Na₂HPO₄) K ; 40ppm (K₂SO₄), Ca ; 40ppm (CaCl₂), Mg ; 40ppm (MgSO₄), Mn ; 1 ppm (MnSO₄)の水耕液を硫酸でpH5.0になるように調整し、全試験区の稲を栽培した。幼穂形成期からは脱塩水を用いて次の処理を開始した。

- N区 ; N 2 ppm (NH₄NO₃)
 - P区 ; P 0 ppm
 - K区 ; K 2 ppm (K₂SO₄)
 + N区 ; N 200ppm (NH₄NO₃)
 + P区 ; P 50ppm (Na₂HPO₄)
 + K区 ; K 400ppm (K₂SO₄)
 N・P・K区 ; N 40ppm (NH₄NO₃), P 5 ppm (NaHPO₄), K 40ppm (K₂SO₄) 対象要素以外の成分量はN ; 40ppm (NH₄NO₃), P ; 5 ppm (Na₂HPO₄), K ; 40ppm (K₂SO₄), Ca ; 40ppm (CaCl₂), Mg ; 40ppm (MgSO₄), Mn ; 1 ppm (MnSO₄), B ; 0.5ppm (H₃BO₃), Zn ; 0.2ppm (ZnSO₄), Cu ; 0.01ppm (CuSO₄), MO ; 0.005ppm ((NH₄)₆Mo₇O₂₄)とし、これを硫酸でpH 5.0になるように調整した。

成熟期の乾物重と茎葉、白米の3成分の含有率をTable 26に示した。総重はNPK区に比較して-N区、-P区、-K区で明らかに小さく、+N区でこれより大きく+P区、+K区でこれよりやや小さかった。成熟期茎葉中の欠乏、過剰処理の該当成分含有率は+N区2.28%、-N区0.77%、+P区1.25%、-P区0.09%、+K区2.12%、-K区0.93%であり、両区に大差が認められた。白米中の窒素含有率は+N区2.14%、-N区1.32%で大きな差となった。-P区、-K区の窒素含有率はそれぞれ2.13%、2.23%と高い値となった。白米中のりん酸含有率は+P区224mg%、-P区81mg%であり、NPK区123mg%よりも大きな差となっていた。白米中のカリ含有率は+K区116mg%、-K区67mg%と欠乏と過剰の差は49mg%あった。

この水耕試験から収穫した米の食味特性をTable 27に示した。アミロース含有率は3要素の欠乏、過剰によって差がほとんど認められなかった。3要素の欠乏、過剰は澱粉中のアミロース合成に対し影響を与えないことを意味し山下、藤本¹¹⁸⁻¹²¹⁾の結果と一致した。しかし、アミログラム最高粘

Table 26. Effect of fertilization on concentrations of three elements and yields.

Treatment	Dry matter yield(g/hill)	Stem and leaf in %			Milled rice (%)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
+N	56.0	2.28	0.72	1.93	2.14	1.40	9.6
+P	50.2	2.03	1.25	2.63	1.89	2.24	10.7
+K	49.4	2.42	0.49	2.12	1.82	1.82	11.6
-N	31.5	0.77	0.33	0.90	1.32	1.44	7.9
-P	42.5	1.78	0.09	1.33	2.13	8.1	7.4
-K	42.5	2.67	0.70	0.93	2.23	1.54	6.7
NPK	53.4	1.75	0.54	1.91	1.50	1.23	9.6

Table 27. Effect of excesses or deficiencies in three elements on eating quality.

Treatment	Amylose content (%)	Amylogram		Texturogram			Cooking qualities	
		Maximum viscosity	Breakdown	Hardness (H)	Adhesive-ness (-H)	H/-H	Expanded volume	Water up-take ratio
+N	21.2	365	114	4.5	1.8	12.5	33.0	3.12
+P	21.0	342	82	4.4	1.9	13.8	33.4	3.16
+K	21.5	350	95	4.4	1.7	12.9	33.1	3.10
-N	20.8	435	153	3.9	2.5	7.8	30.2	2.90
-P	21.5	304	62	4.3	1.6	13.4	32.6	3.08
-K	21.6	300	60	4.5	1.5	15.0	34.1	3.18
NPK	21.1	417	148	4.1	2.1	9.8	31.0	3.07

度はNPK区よりも-N区が高く、-P区、-K区はこれよりはるかに低い値を示した。また3要素の過剰区のアミログラム最高粘度はNPK区より低かった。テクスチュログラムの粘り(-H)値は-N区が最も大きく、-P区、-K区が小さかった。硬さ(H)/粘り(-H)は-N区が小さく次いでNPK区の9.8で、他の区は12.5~15.0の範囲に入る高い値であった。炊飯特性値は-N区が加熱吸水率、膨張容積ともに小さいのに対し、-P区、-K区は大きな値を示した。

以上のことから食味特性はNPK区に比較して-N区で向上し、-P区、-K区で著しく低下することが認められた。またN、P、Kを過剰に供給しても食味特性はいずれの場合も低下することを認めた。この結果は良質米のための施肥法を考えるうえで示唆を与えるものであるが、本試験が

ガラス室内での水耕試験結果である点を考慮しなければならず、水田状態でこのようなことが起こっているかどうかを明らかにする必要があった。

実際の水田状態で窒素、りん酸、カリが食味特性に対しどのような影響を与えているのかを知るために3要素試験^{24,45)}から生産された米を分析した。3要素試験は昭和32年に処理を開始したものであり、分析試料は昭和54年(23作目)、昭和56年(25作目)、昭和58年(27作目)の3ヶ年とした。処理は無肥料区、無窒素区、無りん酸区、無カリ区、3要素区を用いた。Table 28は処理開始から24作目までの収穫物と養分吸収の平均を示した。総重は3要素区に比較して、無肥料区、無窒素区は明らかに小さいが、無りん酸区、無カリ区には差が認められなかった。無窒素区は、もみ/わら比が高く、青米歩合、屑米歩合が低いため玄米

Table 28. Effect of fertilizers on yield and absorption of three elements.

Treatment	Drymatter yield (kg/10a)	Brown rice yield (kg/10a)	Grain straw ratio	Green-kerneled rice (%)	Rice screenings (%)	Nutrient uptake (kg/10a)		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
No fertilizer	1 0 0	44.9	1.2 5	23.7	3.6	12.6	5.2	11.9
No nitrogen	9 9	46.4	1.3 5	20.4	2.0	8.1	5.1	11.4
No phosphoric acid	1 1 1	47.8	1.1 7	28.3	4.5	14.5	5.6	14.5
No potassium	1 1 0	46.9	1.1 6	26.4	4.5	13.6	6.2	12.2
Three elements	1 1 1	48.3	1.1 8	23.2	4.0	14.2	6.3	14.2

Table 29. Effect of fertilizers on eating quality.

Treatment	Amylose content (%)	Protein content (%)	Amylogram		Texturogram		
			Maximum viscosity	Break down	Hardness (H)	Adhesiveness (-H)	H/-H
No fertilizer	23.5	7.3	3 6 9	1 3 1	4.0	2.5	8.0
No nitrogen	23.1	6.8	3 9 9	1 5 3	3.9	2.6	7.5
No phosphoric acid	23.1	8.3	3 1 4	1 1 3	4.4	1.8	12.2
No potassium	23.1	8.3	3 3 4	1 2 1	4.4	1.9	11.6
Three elements	23.1	7.7	3 4 2	1 2 8	4.2	2.2	9.5

収量は4%の減にとどまった。無りん酸区は玄米重、もみ/わら比で変らなかったが、青米歩合、屑米歩合が高く、りん酸吸収量が明らかに少なかった。無カリ区は3要素区より玄米重、もみ/わら比でやや低く、青米歩合、屑米歩合は明らかに高かった。このようなことから、各要素の欠除区はそれぞれの要素の供給量が制限因子となり、収獲物に影響を与えていることがうかがわれた。

Table 29にはこのような生育状況を示す3要素試験区の食味特性値を示した。アミロース含有率は3要素の欠除による差は認められなかった。蛋白含有率は無窒素区が最も低く、無りん酸区、無カリ区で高かった。アミログラム最高粘度は高い方から無窒素区、無肥料区、3要素区、無カリ区、無りん酸区の順となっており、この傾向はブレイクダウン値にも認められた。テクスチュログラム粘り(-H)は無窒素区が最も大きく、無りん酸区、無カリ区が小さかった。この傾向はH/-H値に認められ、りん酸、カリの欠除区の産米が硬くて粘

りの少ないことを示した。これに対し窒素欠除区は軟らかく良く粘る米の穫れることが示された。これらの結果から水耕試験で得られた3要素の欠乏と食味特性の関係は水田状態でも認められることが明らかとなった。

微量要素の供給と食味特性の関係をj知る目的で14要素を沖積埴土-田川統(細粒強グライ土)水田を用いて移植後7日目に株の左側3cm、深さ3~6cmに側条施肥した。共通肥料は化成肥料(塩化磷安14-14-14)で窒素-りん酸-カリを、8.0-8.0-8.0kg/10aとした。この試験から生産された米の食味特性を分析しTable 30に示した。

アミロース含有率は14要素の少、多肥いずれの試験区も標準区との差が認められなかった。蛋白含有率は、A1、B区でわずかに高く、Fe区で低い他は標準区と差が認められなかった。アミログラム最高粘度、ブレイクダウンはA1、B区でわずかに低かった。これらのことから食味特性に対し強く影響する微量要素は認められなかった。

Table 30. Effect of microelements on eating quality.

Treatment (kg/10a)	Amylose content (%)	Protein content %	Amylogram	
			Maximum viscosity	Breakdown
Standard plot	22.9	7.9	449	165
Mg-8	23.1	7.7	450	163
Mg-16	23.0	7.9	447	160
Ca-16	23.0	8.0	445	154
Ca-32	23.3	7.8	447	161
Si-16	23.6	7.8	459	165
Si-64	23.4	7.5	451	168
S-8	23.2	7.5	454	168
S-16	23.1	8.2	445	159
Na-8	23.3	8.1	434	157
Na-16	23.2	7.7	440	158
Cl-8	23.0	8.1	438	154
Cl-16	22.6	7.7	437	159
Al-8	23.4	8.3	431	158
Al-16	23.2	8.2	429	152
B-2.4	23.1	8.1	425	147
B-4.8	22.9	8.7	414	139
Zn-2.4	23.1	7.9	434	150
Zn-4.8	22.9	7.6	450	161
Cu-2.4	23.2	7.9	446	153
Cu-4.8	23.1	7.9	440	157
I-1.2	22.6	8.2	447	163
I-2.4	23.0	7.9	446	156
Fe-8	23.1	7.6	465	167
Fe-16	23.3	7.5	451	158
Mn-8	22.9	7.9	443	164
Mn-16	23.0	7.6	455	169
Mo-2.4	23.6	7.5	446	160
Mo-4.8	23.4	7.7	458	166

第3節 有機物施用と食味特性の関係

古くから有機物の施用は食味に対して有利に働くと考えられてきた⁸⁴⁾。北海道では糠かすを施用すると美味な米が穫れるといった言い伝えもある。また水田土壌の地力増進技術はその中心が稲わらや堆肥に依存しており、これら有機物施用と食味特性の関係を明らかにすることは食味向上のための土壌管理技術を考えるうえで重要となる。

そこで有機物施用と食味特性の関係を明らかにする目的で暗色表層疑似グライ土水田にTable 31に示す有機物資材をN量で5.0kg/10aとなるように施用した試験を行った。供試した有機物資材はTable 31に示すように炭素、ちっ素、りん酸、カルシウム含有率で大きく異なるものを使用した。炭素含有率の低いのは鶏ふん、皮脱じゅう、骨粉であり、稲わら、牛ふん堆肥、乾菌体でちっ素含

Table 31. Components of organic fertilizers.

Organic fertilizers	Components (%)											
	pH	Moisture	C	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca	Fe	Mn	SiO ₂
Rice straw	—	15.7	40.0	0.71	56.3	0.26	4.41	0.19	0.22	0.04	0.085	9.1
Chicken manure	7.28	11.9	31.5	3.37	9.3	5.63	2.99	0.68	5.06	0.25	0.034	—
Fish meal	7.30	6.4	47.6	8.00	6.0	8.6	4.46	0.36	7.63	0.16	0.003	—
Soybean meal	5.75	16.0	47.6	6.20	7.7	2.96	1.28	0.59	0.60	0.03	0.010	—
Stable manure	8.38	78.5	39.6	2.00	19.8	1.43	2.92	0.51	0.71	0.11	0.117	14.8
Tannery waste material	5.89	18.0	20.2	7.66	2.64	1.32	2.25	1.62	5.80	0.44	0.006	—
Fermentation residuum	6.50	10.0	55.5	2.30	24.13	0.19	1.19	0.16	0.14	0.03	0.063	—
Cuttlefish meal	5.18	14.0	58.1	4.80	12.10	3.47	0.13	0.09	tr	0.13	tr	—
Bone meal	5.55	8.0	13.7	4.60	2.98	23.80	0.18	0.52	16.00	0.07	tr	—

Table 32. Effect of organic fertilizers on eating quality.

Organic fertilizers	Amylose content (%)	Protein content (%)	Amylogram		Texturogram		
			Maximum viscosity	Break bown	Hardness (H)	Adhesiveness(-H)	H/-H
Rice straw	24.0	8.7	2 5 4	4 8	5.1	3.0	8.5
Chicken manure	23.8	7.6	2 6 8	7 3	4.8	3.6	6.7
Fish meal	23.7	8.1	2 6 2	6 5	4.9	3.4	7.2
Soybean meal	23.8	8.2	2 6 4	6 6	4.9	3.3	7.4
Stable manure	23.6	7.6	2 7 0	7 0	4.8	3.5	6.9
Tannery waste material	23.5	7.8	2 6 6	6 6	4.9	3.4	7.2
Fermentation residuum	23.7	7.9	2 7 0	6 8	4.8	3.5	6.9
Cuttlefish meal	23.8	7.9	2 7 0	6 5	4.9	3.4	7.5
Bone meal	23.5	7.9	2 7 2	7 2	4.9	3.5	7.0

有率が低かった。りん酸含有率の高い資材は鶏ふん、魚かす、骨ふんであり、鶏ふん、魚かす、皮脱じゅう、骨ふんではカルシウム含有率が高かった。

有機物施用区から収穫した米の食味特性を分析し、Table 32に示した。アミロース含有率は無処理区に比較してどの有機物施用区も変りなかった。これに対し蛋白含有率は無処理に比較してどの有機物施用区も高く、特に稲わら区、魚かす区、油かす区でその差が大きかった。アミログラム最高粘度、ブレークダウンは無処理区に比較してどの有機物施用区もやや低く、特に稲わら区でその差が大きかった。テクスチュログラム粘り(-H)は

大きい方から無処理区、鶏ふん区>牛ふん堆肥区、乾菌体区、骨ふん区>魚かす、皮脱じゅう、いかかす>油かす>稲わらの順となっていた。

以上のことから、食味特性は無処理区に比較して稲わら施用区は明らかに劣ったが、他の有機物施用区では同じか、やや劣る程度であり、有機物施用によって食味特性が向上することは認められなかった。

この結果は鰯かすを施用すると美味な米が採れるという言い伝えはまちがっていることを示唆するものであった。しかし、りん酸、カリの施用は当時ほとんどおこなわれておらず、このような水田に対する効果は不明であった。

Table 33. Effect of fish meal on eating quality of rice grown on potassium or phosphate deficient soil.

Treatment	Texturogram		
	Hardness (H)	Adhesiveness (-H)	H/-H
Nonphosphoric acid	4.5	2.6	8.7
Nonphosphoric acid in fish meal	4.4	3.4	6.5
Nonpotassium	4.6	2.4	9.6
Nonpotassium in fish meal	4.5	3.2	7.0

そこで3要素試験の無りん酸区、無カリ区の土壌を採取し、これを1/5万ワグネルポットにつめ、これにちっ素量で5gとなるようにTable 31に示した魚かすを入れ稲を栽培した。その結果をTable 33に示した。その結果、無りん酸区、無カリ区に比較して、これに魚かすを施用した区は食味特性が明らかに良くなった。このようなことから有機物施用はりん酸、カリが極度に欠乏している場合には食味特性に有利に働くことが認められた。

第4節 登熟温度と食味特性

北海道の稲作は北緯43度に位置しており、日本で最も低温地帯に分布している。このため水稲の登熟は東北、北陸の良質米生産地帯よりもはるかに低温で行われており、この意味で登熟温度と食味特性の関係を明らかにすることは食味向上のための栽培技術を確認するにあたって重要となる。

二國¹²³⁾は、穂部の登熟温度が澱粉の物理、化学的性質に及ぼす影響を研究し、低温区は高温区よりアミロース含有率が高くなることを明らかにした。さらに、澱粉生成の環境温度と澱粉の構造や熱糊化性との関係をも、明らかにした。

北海道の自然環境温度は、生産地帯、年次、登熟の前後、昼夜などで複雑に変動するため、これら環境温度の変動に対する米粒澱粉の挙動を明ら

かにする必要がある。

米の食味は不作年よりも豊作年の方がはるかに美味であることは一般的に評価されている。この

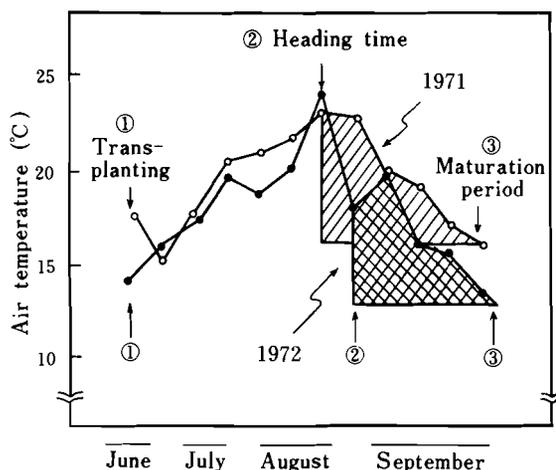


Fig. 44. Comparison of average daily temperature during ripening period between higher and lower temperature year.

原因は気象的要因が関与していることが考えられ、特に登熟期間の温度条件が米の食味特性に関係することが予想された。そこで昭和46年の典型的な低温年と昭和47年の高温年の旬別平均温度とアミロース含有率をFig. 44, Table. 34に示した。

昭和46年は、6～7月に低温で水稲の生育は遅

Table 34. Effect of ripening temperature on amylose content of rice.

Year	Amylose content (%)			Ripening temperature (°C)	
	Horyū	Yunami	Mean	Summation	Dairy mean
1971	23.1	23.6	23.4	7 2 4	18.1
1972	21.1	22.5	21.8	8 3 3	20.8

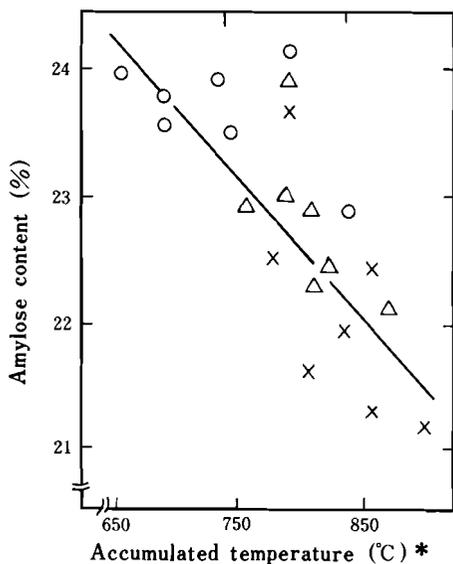


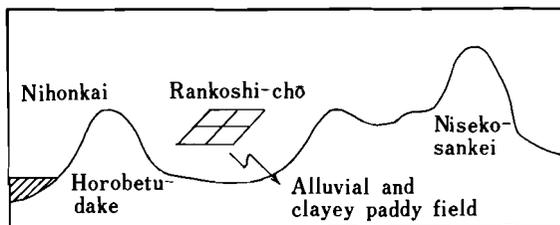
Fig. 45. Relationship between amylose content and accumulated temperature.

○, 1971; △, 1972; ×, 1973

$$r=0.871^{**}, y=-0.011x + 31.42, t=2.51^{**}$$

*Sum of the mean temperature for 40days after heading.

A. Production area of low-amylose rice.



B. Production area of high-amylose rice.

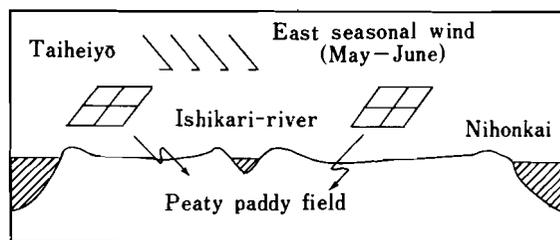


Fig. 46. Lateral views of two typical examples of producing areas in Hokkaido.

Table 35. Relationship between ripening temperature and eating quality.

Treatment	Accumulated ripening temperature (°C)	Amylose content (%)		Texturogram index (H/-H)	
		Nōrin.20	Yūnami	Nōrin.20	Yūnami
All 13°C *	5 2 0	24.4	25.5	7.6	11.5
All 18°C	7 2 0	23.8	24.4	6.7	8.2
All 23°C	9 2 0	20.8	21.9	6.0	7.0
First 13°C ** Second 23°C	7 2 0	22.9	24.1	6.5	8.1
First 23°C Second 13°C	7 2 0	21.8	23.2	6.2	7.9
Daytime 13°C *** Night 23°C	7 2 0	21.9	22.4	6.1	7.5
Daytime 23°C Night 13°C	7 2 0	23.3	22.6	6.9	8.6

*-----All ripening period. **-----First half period.

***-----Daytime (From 6 a.m. to 6 p.m.)

延し、出穂期も著しく遅れた。さらに8～9月が低温であったために、登熟期間の積算温度は40日間で724℃、日平均18.1℃と低かった。これに対して昭和47年は、6～7月が高温で水稻の生育は進み出穂期も早まった。さらに8～9月が高温であったために40日間の登熟期間積算温度は833℃、日平均20.8℃と高かった。この両年のアミロース含有率は昭和46年の23.6%に対し、昭和47年は21.8%と低かった。このアミロース含有率の差は登熟温度に由来して起こるものと考えられた。生産地帯による気象要因と食味特性の関係を明らかにするために、北海道中央部地帯の6ヶ所で3ヶ年にわたり土壌、品種、施肥を同一にして稲を栽培した。生産した米のアミロース含有率と登熟温度の関係をFig.45に示した。また6ヶ所の地帯で3ヶ年間のいずれの年も低アミロースであった所と、逆に高アミロースであった所の模式図をFig.46に示した。

アミロース含有率は登熟温度との間に $r = -0.871$ ($n = 18$) の高い水準で有意な負の相関のあることが認められた。生産地帯の温度条件によって起こるアミロース含有率の差は1%前後であった。この差はかなり大きなもので、生産地帯の差が主に温度条件に起因していることを暗示した。また、Fig.45の回帰直線は出穂期から40日間の平均積算温度91℃(2.3℃/日)の変動でアミロース含有率が1%動くことを示した。

この試験から低アミロース米生産地帯の代表に蘭越町を選んだ。蘭越町はニセコ山系のふもとにあり、日本海に近く、海との間に幌別岳があって盆地になっている。蘭越町の5～9月の温度は昼夜いずれも高い。このため水稻の生育は3ヶ年いずれも著しい促進を示し早期に出穂したため高温条件で登熟した。蘭越町の登熟温度の高い原因は早期に出穂したこと、盆地のため昼間高温であること、暖流の流れる日本海に近いこと夜温が高いことがあげられる。石狩平野の偏東風地帯ではアミロース含有率が3ヶ年とも高く、この地帯の稲の生育が蘭越町よりも遅れ、低温条件で登熟したためである。

このように生産年次、地帯による食味特性の相違は登熟温度の影響が大きいことが認められた。

そこで登熟温度と食味特性の関係を明らかにする目的で人工気象箱を用いたモデル実験を行った。実験には人工気象箱を用いて開花期から40日間、それぞれ13℃、18℃、23℃、前半13℃後半23℃、前半23℃後半13℃、昼13℃夜23℃、昼23℃夜13℃の処理を行い水稻を栽培した。なお処理温度の設定は登熟可能なものとし、ポット栽培した稲をそのまま人工気象箱に入れた。得られた試料のアミロース含有率とテクスチュログラム特性値を求めTable 35に示した。

アミロース含有率は両品種とも登熟温度が高くなるにつれ低くなった。このモデル試験の結果から登熟期(40日間)の積算温度が111℃、日平均2.8℃でアミロース含有率は1%変動する。また13℃から18℃の5℃ではアミロースの変動が少ないが、18℃から23℃で大きく変動する。テクスチュログラムの硬さ(H)/粘り(-H)はアミロース含有率と同様に高温で低くなり、食味特性が良くなることを示した。

登熟期間の積算温度は平均気温すなわち最低気温と最高気温の平均値を積算した値である。積算温度が720℃であったとしてもその内容はそれぞれ異なる。そこで積算温度を720℃として登熟の前後の温度、昼夜を変えることによって起こる食味特性の変化を調べた。登熟の前半低温でその分、後半高温であったものは全期間一定温度であったものよりも僅かに良い。逆に前半高温で後半低温であったものは全期間一定温度であるものに近い。したがって食味特性は登熟後半よりも前半の温度がより支配的に働くことが明らかである。この理由はおそらく米粒中の澱粉合成が登熟後半よりも前半により多いことに基因するものと考えられる。

午前6時から午後6時までの昼間高温でその分夜低温であったものは昼夜一定温度のものと食味特性に差は認められなかった。これに対し昼間低温でその分夜高温であったものは全期間一定温度であったものよりも食味特性は良く、全期間高温であるものに近い。したがって食味特性は昼よりも夜の温度がより支配的に働くことが明らかとなった。以上のことから北海道産米の食味向上には出穂期をできるかぎり早めて高温登熟させることの必要性を認めた。

Table 36. Difference in amylose content caused by varieties or growing conditions.

Rice varieties	Harvest years	Soil types	Growing district	Harvest times
n = 10	n = 4	n = 2	n = 4	n = 5
4.95	3.29	2.89	2.66	0.53

第5節 品種、栽培環境による食味特性の変異

食味を左右する要因は荷重の大きい方から品種＞産地＝気候＝栽培方法＝乾燥＝貯蔵＝搗精＞収穫生脱穀＝浸漬（淘洗）＝炊飯器＝蒸らしの順となっている⁷⁴⁾。即ち食味を左右する要因は殆どが米の生産現場にあって、流通や消費段階では要因の数も少なく、その荷重も小さいことを示している。したがって食味特性を向上させるためには生産現場の努力がきわめて重要となる。ここでは生産現場での食味要因とその荷重をアミロース含有率の変異から検討した。

アミロース含有率の品種、栽培環境による変異はTable 36に示すように品種が最も大きく、ついで生産年度、土壌、生産地帯、収穫時期の順となった。生産年度と生産地帯のアミロース含有率の変異は登熟期間の温度条件に由来しているものと考えられる。このようなことを考慮すれば北海道産米のアミロース含有率を支配する主な要因は品種の遺伝的性質、登熟期間の温度、養分供給状態の3つが考えられる。登熟期間の温度条件を人為的に変えることには限界があり、養分供給状態による変異もあまり大きなものでないから、北海道産米の食味を大巾に向上させるためには品種の遺伝的性質を活用することが最も良いと考えられた。もちろん食味の総合的な向上には食味特性を変動し得るすべての要因を活用し、総合的な食味向上技術を確認することが重要となる。北海道産米の食味向上のための総合技術は良食味品種の開発を緊急課題とし、次に良食味性を十分発揮できる土壌管理、施肥技術の確認と登熟温度を高めるために必要な良穂揃、早期出穂、早期登熟の栽培技術の確認が必要となると考えられた。

第6節 要 約

本章では食味向上に必要な生産技術の改善手法の糸口を得る目的で、北海道内における食味特性の品種、栽培環境の変異を要因ごとに検討した。

1. 産米の食味特性は北海道に分布する水田土壌型によって異なることを認めた。特に泥炭土水田の食味特性は他の土壌型よりも劣っていた。
2. 窒素は欠乏状態になると、その産米の食味特性が良くなることを認めた。りん酸、カリは欠乏状態になると食味特性を著しく低下させることを認めた。また、食味特性に強く影響を与える微量元素は認められなかった。
3. 食味特性は無処理区に比較して稲わら施用区の産米で明らかに劣り、他の有機物施用区は同じかやや劣る傾向にあり、有機物施用によって食味特性の向上は認められなかった。
4. アミロース含有率は登熟期間の温度が高くなると低下し、40日間の積算温度が111℃、日平均2.8℃で1%変動した。また登熟前半の温度は後半の温度より、夜温は昼温よりアミロース含有率を支配することを認めた。
5. アミロース含有率の品種、栽培環境による変異は品種が最も大きく、ついで生産年度、土壌、生産地帯、収穫時期の順となっていた。
6. 以上のことから北海道産米の食味向上のための総合技術は良食品種の開発を緊急課題とし、次に良食味性を十分発揮できる土壌管理、施肥技術の確認と登熟温度を高めるために必要な良穂揃、早期出穂、早期登熟の栽培技術の確認が必要と考えられた。

第V章 食味向上に有効な技術の改良

前章で品種、栽培環境による食味特性の変異とその解析から、北海道産米の食味向上のためには良食味品種の開発が最も大切であり、次に品種の良食味性を十分に発揮させる土壌管理、施肥技術、登熟温度等の向上などの栽培技術の確立が基本となることを明らかにした。また北海道の栽培環境のなかで食味特性に対し負に働いている要因を抽出し、これを改善してゆくことも北海道産米の総合的な食味向上技術に取って重要であり、さらにこれまでの稲作技術²¹⁾に対し食味向上と言う観点からの評価も必要であると考えられた。

すなわち北海道産米の食味向上は水稻の一つ一つの技術の改善とその組み立てによって得られる総合的なものと考えられた。そこで本章では北海道産米の食味向上に必要な具体的な手法の確立あるいは既存の稲作技術に対する食味向上からの評価を目的として土壌改良、施肥技術、収穫時期、貯蔵法について検討した。

第1節 土壌改良

北海道における土壌型と食味特性の関係は第IV章、第1節で検討した。その結果は泥炭土水田から穫れる米の食味特性が他の土壌より劣っていることが明らかにされた。この原因は、土壌間における窒素の放出パターンの差異によって起る米粒中の粗蛋白質含有率に支配されていることが明らかにされた²⁹⁾。北海道の泥炭地はほとんどが氾濫を繰り返してきた河川の流域に発達した沼湖泥炭で、その面積は20.1万haにも達する。すなわち、北海道の平坦な農地の主要部分を占めている。昭和25年以降、泥炭地の開拓は大規模排水と

客土事業によって行われ、北海道中央部地帯の泥炭地の大部分が水田化した。この水田面積は全道の20.8%を占めており、主要な土壌型となっている。藤森¹⁴⁾は水稻の生育収量の面から60m³/10a以上の客土で増加率の小さいことをあげ、泥炭地水田における客土量は60m³/10ha程度が限度であることを提案した。この客土量は現在北海道の泥炭地改良事業の基準となっている。ここでは食味特性の観点から泥炭地水田の客入土量について検討した。

試験は客入土量を異にする現地水田産米の食味特性の調査と客土による米質向上試験からなる。客入土量を異にする現地水田産米の食味特性の調査は空知、石狩両支庁管内の主要稲作地である江別市、当別町、南幌町、栗沢町、岩見沢市、北村、美瑛市、妹背牛町の8市町村の中で客入土量の異なる泥炭地水田を選定し、そこで生産された「ほうりゅう」と「イシカリ」を延べ60点の試料について調査した。一方、客土による米質向上試験は当部水田圃場に木框試験区を設け、Table 37に示す泥炭土に0, 30, 60, 90, 120/10aの客土を想定して洪積埴土あるいは沖積埴土の混合処理を行った。「ゆうなみ」「ほうりゅう」「ユーカラ」の3品種を栽培し、その産米を試料とした。共通施肥量はN-P₂O₅-K₂O-MgO=6-8-7-4kg/10aとした。試験は昭和48, 49年度の2ヶ年おこなった。

外見的な品質と食味特性を取りあげ、客入土量を異にする現地水田産米の食味特性の調査結果をTable 38に示した。粒厚2.2mm以上の上米は60および90m³客土田で最も多く、無客土水田および埴土

Table 37. Physicochemical properties of soils.

Soil group	T-N	T-C (%)	Humus (%)	CEC (me)	Mechanical composition (%)				Soil Texture
					Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay	
Peat soils	1.16	41.6	71.6	41.0	—	—	—	—	—
Gray lowland soils	0.17	1.4	2.3	20.1	0.8	18.6	36.0	49.6	HC
Brown lowland soils	0.08	0.2	0.4	26.2	7.3	16.6	30.8	45.3	HC

Table 38. Investigation of soil dressing effect on eating quality in regional trials.

Item	Peat soils	Soil dressing (m ² /10a)				Clay
		30	60	90	120	
Grain thickness (above 2.0mm%)	26.0	32.5	36.4	39.9	32.8	30.9
Perfect kernel (%)	67.2	67.3	71.2	75.3	75.6	78.7
Green-kerneled rice (%)	16.5	17.3	15.0	13.7	13.2	11.5
Dead kernel rice (%)	5.3	6.2	4.4	3.4	3.9	3.2
Rusty kernel rice (%)	10.3	8.5	8.2	7.0	6.2	5.1
Grain weight (g/1000)	21.7	22.1	22.9	23.0	23.1	22.6
Protein content	8.3	8.6	7.9	7.9	7.7	7.3
Amylogram						
Maximum Viscosity	317	314	335	338	358	364
Breakdown	111	116	121	125	137	143
Consistency	434	442	446	442	445	446
Texturogram						
Hardness	5.6	5.5	5.4	5.3	5.1	5.1
Adhesiveness	0.84	0.92	0.91	0.89	1.17	1.22
Gumminess	3.66	3.31	3.27	3.26	2.96	2.78
Cooking qualities						
Water uptake ratio (%)	2.89	2.84	2.81	2.76	2.88	2.75
Expanded volume (ml)	32.5	32.6	31.5	31.3	30.4	30.4
Iodine blue value	0.297	0.296	0.273	0.263	0.250	0.240
Total solid (mg)	300	295	263	247	237	228

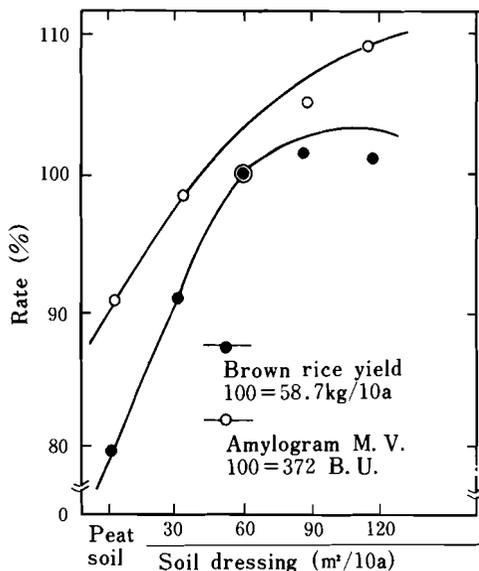


Fig. 47. Effect of soil dressing on yield and eating quality of rice.

水田で少なかった。整粒歩合は120m²客土田、埴土田で高く、客土量が少ない程低かった。青米、死米歩合は客土量が多い程減少する傾向にあり、客土により玄米の外見的品質は良化した。このようなことから玄米の外見的品質は客土量が多くなるほど良くなることを認めた。

アミログラムの最高粘度、ブレイクダウンは客土量が多くなるに従って高くなったが、コンシステンシーには密接な関係は認められなかった。テクスチログラムの硬さは客土量の多い程減少したが、付着性は逆に増大した。粗蛋白含有率は客土量の多い程減少しており、120m²客土田は30m²の客土田より1%も低かった。炊飯特性の加熱吸水率、膨張容積、よう素呈色度、溶出固形物は客土量の多くなるに従って減少する傾向を示した。このようなことから空知、石狩支庁管内の泥炭地水田では外見的品質、食味特性とともに客土量の多い

Table 39. Effect of soil dressing on eating quality.

Item	Peat solis	Soil dressing (m ² /10a)				Clay
		30	60	90	120	
Grain thickness (above 2.0mm%)	86.5	86.0	89.3	88.1	89.4	91.4
Perfect kernel (%)	70.1	72.4	74.5	75.2	79.1	79.7
Green-kerneled rice (%)	12.2	11.8	10.6	8.7	7.3	5.7
Dead kernel rice (%)	6.6	5.5	4.7	3.8	3.5	2.4
Rusty kernel rice (%)	10.5	10.1	9.8	11.9	11.3	11.9
Grain weight (g/1000)	22.4	22.5	22.6	22.7	23.0	22.9
Protein content	8.8	8.6	8.5	8.3	8.1	7.7
Amylogram						
Maximum Viscosity	341	368	372	384	397	403
Breakdown	130	142	150	157	157	167
Consistency	414	424	445	448	450	460
Texturogram						
Hardness	5.6	5.6	5.5	5.3	5.2	5.2
Adhesiveness	1.8	1.9	1.8	2.1	2.4	2.3
Gumminess	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6
Cooking qualities						
Water uptake ratio (%)	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8
Expanded volume (ml)	32.5	31.9	31.5	32.5	30.6	29.8
Iodine blue value	0.296	0.290	0.285	0.275	0.248	0.244
Total solid (mg)	288	278	260	239	217	215

水田で良くなっていることが認められた。以上の結果は現地調査で得られるものであるため、栽培環境条件がそれぞれ異なり、客入土量と食味特性の関係を定量的に結論するにはいたらず、この関係を精査することが必要であった。そこで客土による米質向上試験を行い、その結果をTable 39、Fig. 47に示した。

上米および整粒歩合は埴土水田で最大で、その他は客土量が多くなる程大きく、120m²客土水田では埴土水田に近い値を示した。青米、死米歩合は客土量を増すにしたがって減少し、埴土水田で最小値を示した。検査等級は無客土水田、30m²客土水田の他は1等に格付され、客土の効果が認められた。千粒重は客土量が多くなるほど大きくなり、120m²客土区で最大値を示した。搗精歩合は120m²客土水田が89.1%で無客土水田の88.1%よりも1%高かった。このようなことから外見的品質は埴土質の客土によって向上し、その適量は120m²以上であった。

アミログラム最高粘度は341~403 B. U.の範囲に分布しており、客土量が多くなるにしたがって高まった。ブレイクダウンは客土量が多くなるにしたがって高くなるが、変異係数(43.2~51.4%)が大きいことを考慮すれば有意な差とは考え難かった。テクスチュログラムの硬さは客土量を増すにしたがって低下し、付着性は逆に大きくなった。このため多量客土水田は少量客土水田に比較して軟らかく粘る米を生産した。炊飯特性の加熱吸水率、膨張容積、よう素呈色度、溶出固形物の測定値はいずれも客土量を増すにしたがって減少し、120m²客土水田は8.1%で埴土水田の7.7%に近かった。

Fig. 47は客入土量と収量、米質の関係を示した。収量は60m²までの客土量で増収効果が大きかったが、それ以上の客土量で小さかった。これに対しアミログラム最高粘度値は120m²の客土量でもまだ増加する傾向が認められた。したがって泥炭地水田産米の食味を埴土質水田に近づけるためには120

m³以上の客土が必要となることが明らかになった。

北海道の泥炭地水田の客土経過は開田の当初30～60m³の埴土質土壌を客入し、5～10年の間に徐々に下の泥炭を混入して熟田化を進めてきた。しかし、この程度の客入土量では数年間の耕作をまたずに、埴土質土壌が田面に不均一に分布するようになり、客入土壌があまり載っていない部分では下の泥炭が浮上現象を起こし、地耐力が極度に低下する例が頻発した。これに対しては、さらに30m³程度の補正客土が行われるが、この程度の補正客土量であるならば再び数年の耕作の内に前述の現象を繰り返すこととなり、さらに30m³程度の客土を行うという経過をたどっている。したがって北海道の泥炭土水田はその大部分が90～120m³の客土が行われている。現在、北海道の泥炭地水田では90m³以上の多量客土を行っているが、本試験から米質、食味向上に効果を期待されることが多く認められた。

第2節 有機物施用

北海道の水田地力の増進には稲わら堆肥の施用が重要な技術となっている⁸⁶⁾。しかし近年、収穫作業にコンバインが導入され、これが広く普及するにいたって、稲わらの堆肥化はほとんど行われなくなった。北海道ではこの対策として稲わらの鋤込時期に関する試験が行われ、生稲わらは秋鋤込みすることにより堆肥施用と類似の効果のあることから⁶⁴⁾これが奨励されてきた。しかし生稲わらの秋鋤込みと米の食味特性の関係は知られておらず、この技術が産米の食味向上のために有効か否か検討する必要がある。そこで中央農業試

験場の田川統（細粒強グライ土）に昭和36年から設置されている稲わら連用試験の産米を分析し、その結果をTable 40に示した。なお、この分析は昭和54年の19作目のものである。

アミロース含有率には処理の差が認められなかった。蛋白含有率は無処理が最も低く稲わら春散布、春鋤込区が最も高かった。堆肥施用区と稲わら秋鋤込み区には差が認められなかった。アミログラム最高粘度は高い方から無処理区、堆肥施用区、稲わら秋鋤込区、稲わら秋散布・春鋤込区、稲わら春散布・春鋤込区の順であった。テクスチュログラム粘り(-H)もこの傾向と類似しており、堆肥施用区と稲わら秋鋤込区との差は認められなかった。これは稲わらを秋鋤込によって春までに分解が進み、稲の生育に対し堆肥施用区と類似した効果を示す⁸⁷⁾ことに基因するものと考えられた。

以上のことから有機物施用によって地力を増進しながら食味特性の低下を最小限にとどめるには稲わらの春鋤込をさけ、稲わらを堆肥化して施用するか、秋鋤込法による稲わらの施用が良いことが明らかになった。

第3節 施肥技術の改良

養分供給と食味特性の関係は第IV章、第2節で検討した。その結果、りん酸、カリの欠乏で食味が著しく劣り、逆に、窒素の欠乏で向上することがわかった。また、窒素、りん酸、カリの過剰は、食味特性に不利に働くことを明らかにした。北海道における水稻の施肥は高温年で高収量が期待でき、なおかつ冷害年でも確収が望めるものでなければいけない。このため食味向上のための施肥法

Table 40. Effect of rice straw addition on eating quality.

Treatment	Amylose content	Protein content	Amylogram		Texturogram		
			Maximum viscosity	Breakdown	Hardness (H)	Adhesiveness (-H)	H/-H
Control	22.0	7.6	3 8 7	1 9 1	4.5	3.0	7.5
Rice straw							
└ Compost	22.1	8.0	3 7 7	1 8 6	4.5	2.7	8.3
└ Autumn plowing	22.2	7.9	3 7 0	1 8 0	4.6	2.7	8.5
└ Autumn broadcasting	22.1	8.3	3 5 9	1 7 3	4.7	2.5	9.4
└ Spring broadcasting	22.3	8.8	3 5 5	1 6 3	4.7	2.1	11.2

といってもこれらの諸要因を満たすことが必要となる。ここでは第IV章、第2節の結果を受けて窒素、りん酸、カリの施肥について検討した。

ちっ素、りん酸、カリ施肥量と食味特性の関係を明らかにするために昭和57、58年の2ヶ年にわたって中央農業試験場の田川統（細粒強グライ土）で用量試験を行った。使用肥料には硫酸、過石、硫加を用い、施肥は稲株の横3cm、深さ3～5cmの側条にこれを処理した。この結果をTable 41に示した。なお試験圃場の作土の理化学的性質はTable 37の沖積埴土と同一である。

アミロース含有率はちっ素施肥量の増減による変動は認められなかった。これに対し蛋白含有率はちっ素施肥量の増加にしたがって高まることが認められた。蛋白含有率は無肥料区よりもちっ素4.0kg/10a区が低かった。アミログラム最高粘度、ブレイクダウンは無肥料区が最も高く、ちっ素施肥量の増加にしたがって低下する傾向を認めた。テクスチュログラム粘り(-H)はちっ素4.0kg/10a区が最も良く、施肥量の増加にしたがって低下した。H/-Hは粘り(-H)と類似の傾向を示したが、ちっ素12kg/10a区と16kg/10a区の間

Table 41. Effect of NPK elements levels on eating quality.

Rate of fertilizer Application (kg/10a)	Amylose content	Protein content	Amylogram		Texturogram		
			Maximum Viscosity	Breakdown	Hardness (H)	Adhesive-ness(-H)	H/-H
(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)							
0-8-8	23.2	8.0	456	159	4.3	3.2	6.7
4-8-8	23.4	7.8	444	159	4.3	3.4	6.3
8-8-8	23.0	8.3	442	154	4.4	3.0	7.3
12-8-8	23.1	8.8	432	144	4.4	2.5	8.8
16-8-8	23.1	9.4	424	143	4.5	2.0	11.3
8-0-8	23.4	7.8	430	162	4.4	2.8	7.9
8-4-8	22.4	7.9	433	156	4.4	2.9	7.6
8-8-8	23.5	7.8	430	150	4.4	2.8	7.9
8-12-8	23.4	7.8	438	152	4.4	2.9	7.6
8-16-8	23.3	8.0	434	149	4.4	2.7	8.1
8-32-8	23.5	7.9	434	151	4.4	2.7	8.1
8-8-0	23.3	7.7	432	154	4.4	2.8	7.9
8-8-4	23.4	8.0	423	148	4.4	2.8	7.9
8-8-8	23.3	8.0	423	149	4.5	2.7	8.3
8-8-12	23.8	8.0	427	156	4.4	2.8	7.9
8-8-16	23.1	7.5	443	159	4.5	2.7	8.3
8-8-32	23.2	7.6	443	161	4.5	2.7	8.3

Table 42. Yield components and eating qualities for two kinds of soils.

Soil Group	Gross production (kg/a)	Brown rice yield (kg/a)	Percentage of ripened grains	Number of unbulled rice ($\times 10^3/m^2$)	Amylose content	Protein content	Amylogram		Texturogram		
							Maximum Viscosity	Break-down	Hardness(H)	Adhesive-ness(-H)	H/-H
Sand	121.0	55.1	78.5	3.2	21.5	7.6	460	195	4.4	3.3	6.7
Peat soil	131.2	53.5	70.0	3.5	21.0	8.8	385	95	4.6	2.1	11.0

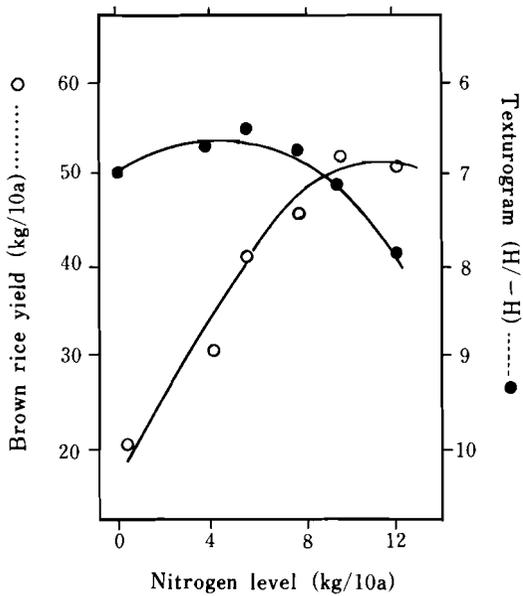


Fig. 48. Effect of application of nitrogen on yield and eating quality.

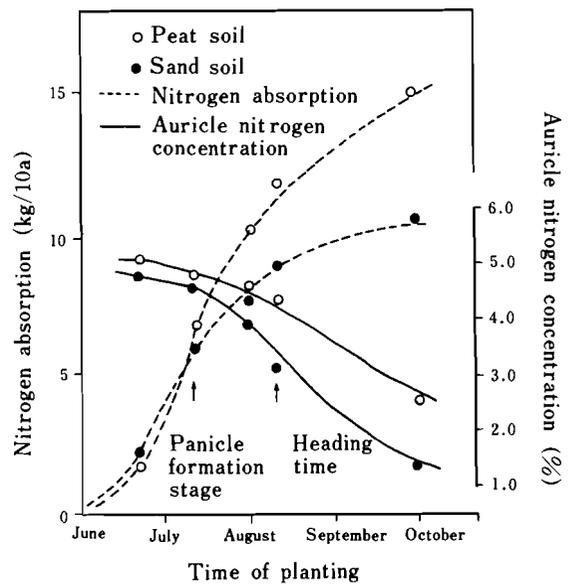


Fig. 49. Change in nitrogen absorption and nitrogen concentration in leaves on two types of soils (sand and peat).

Table 43. Relationship between nitrogen fertilizing method and yield components.

Treatment	Gross Production (kg/a)	Brown rice yield	Percentage of ripened grains	Nitrogen content (%)		Nitrogen absorption (g/m)	
				Panicle formation stage	Maturing Stage	Panicle formation Stage	Maturing stage
Side dressing	1 0 8	38.2	63.6	4.0	5.2	0.85	10.5
Surface application	1 0 7	36.1	65.3	3.8	4.6	0.94	11.2
Total layer application	1 0 0	36.0	61.6	3.7	3.7	0.97	10.3

Table 44. Relationship between nitrogen fertilizing method and eating qualities.

Treatment	Amylose content	Protein content	Amylogram		Texturogram		
			Maximum Viscosity	Breakdown	Hardness (H)	Adhesive-ness(-H)	H/-H
Side dressing.	23.1	8.1	411	120	4.4	2.8	7.9
Surface application	23.0	7.8	409	115	4.4	2.9	7.6
Total layer application	23.1	8.9	375	95	4.5	2.2	10.2

低下が著しく、多肥で急速に食味の低下を示した。ちっ素用量試験における最高収量は12.0kg/10a区であり、良食味を期待するためにはこれより低

レベルのちっ素用量が良いと考えられた。Fig.48には全層施肥でのちっ素施肥量と収量、食味特性の関係を示した。この結果からも良食味を期待す

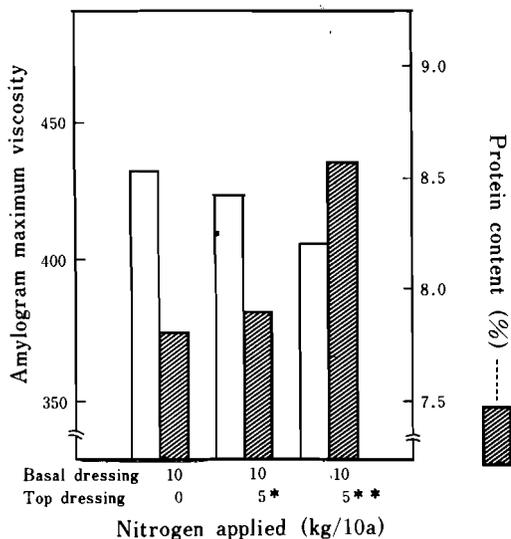


Fig. 50. Effect of nitrogen top dressing on eating quality.
 Top dressing time
 *.....Panicle formatin stage
 * *.....Past week after panicle formation stage

るためのちっ素施肥量はこれまで適施肥量と考えてきた最高収量時の施肥量より低いレベルにあった。

りん酸、カリは施肥量を変えてもアミロース、蛋白、アミログラム、テクスチュログラムのいずれの食味特性値に対しても有意と考えられる差は認められなかった。これはこの施用レベルが第IV章、第2節の水耕試験に示した-P, +P, -K, +Kのレベルとは大きく異なっており、普通の水田土壌のりん酸、カリレベルあるいはこの程度の施肥量では食味特性に影響を与えないことを意味するものであった。したがって、りん酸、カリの施肥量は現行の北海道施肥基準¹⁷⁾で良いと考えられた。

以上のことから、3要素の肥料のなかではちっ素施肥が食味特性に対し強く影響することが明らかになった。そこで良食味のためのちっ素施肥法の検討が必要となった。これを検討するに当たって、まず良食味米を生産する水稻のちっ素吸収がどのようなものか知る必要があった。土壌のちっ素地力の旺盛な泥炭土とこれと対照的な砂土を3㎡の有底の木框につめ、これにN 7.0, P₂O₅ 15.0, K₂O 12.0kg/10 aとなるように施肥し水

稲を栽培した。その結果をFig.49, Table.42に示した。

この両処理区のちっ素吸収量の差は幼穂形成期頃からつきはじめ、出穂期で2.7kg/10 a, 成熟期で4.3kg/10 aとなった。すなわち砂土区は止葉期頃からのちっ素吸収が緩慢となり、これにともなう葉身ちっ素濃度も泥炭土区より明らかに低かった。このようなちっ素吸収経過によって砂土区は泥炭土区より総重、総もみ数で少なかったが、登熟歩合が高くなり収量もわずかに高かった。このようにして生産された砂土区の産米は泥炭土区より蛋白含有率が明らかに低く、アミログラム最高粘度、テクスチュログラム粘り(-H)値も高かった。以上から良食味産米の生産にはちっ素栄養からみれば秋まさりの稲よりも、後期にちっ素が切れるような生育経過の稲が良く、ちっ素施肥法もこのようなことを考慮する必要があった。

Fig.50はちっ素追肥と食味特性の関係を示した追肥区はアミログラム最高粘度が低下し、蛋白含有率が高まることが認められた。幼穂形成期以降の追肥は生育後期の葉身のちっ素濃度を高め、秋まさりの生育経過をたどる⁴⁶⁾。このことが食味特性に対し追肥が不利に働く原因と考えられる。いずれにしても生育期間の短い北海道で良質米の生産を指向する場合は追肥をでき得る限り避けることが望ましいと判断された。

生育の後期にちっ素が切れるようにするためには無窒素あるいは少量ちっ素施肥が良いが、それでは乾物生産が貧弱で低収となる。農業経営的には高収、良食味であることが望ましいから、高収を得られる乾物生産を確保しつつ後期の葉身ちっ素濃度の低くなるようなちっ素施肥法が必要となる。このためには幼穂形成期までのちっ素吸収を旺盛にして高収に必要なちっ素を生育の前半に吸収させ乾物生産を旺盛にし、止葉期頃からちっ素の供給が少なくなり葉身ちっ素濃度も低下することが望ましい。

北海道ではこれに最も近い施肥法に表層施肥法があり、最近さらに側条施肥法¹¹¹⁾も指導に移された。Table 43, 44はちっ素施肥法と食味特性の関係を明らかにする目的で行った試験結果を示した。側条施肥、表層施肥区は全層施肥区よりも幼穂形

成期のちっ素吸収量は明らかに多く、成熟期の茎葉ちっ素濃度は低かった。さらに総重、登熟歩合、玄米収量いずれも全層施肥より高かった。側条施肥、表層施肥区は全層施肥区より、蛋白含有率は低くアミログラム最高粘度値、ブレイクダウン値

が高かった。さらに飯粒の粘りを示すテクスチュログラム-H値は全層施肥区より明らかに大きかった。

このようなことから、北海道産米の良食味のためのちっ素施肥法は側条施肥法、表層施肥法が良

Table 45. Eating quality of rice from rice paddies once used for field crops.

Item	Treatment		Analysis of variance		
	Continuous cropping	Rotation	L.S.D. 5 %	F	P
Amylogram maximum viscosity	4 1 0	4 3 7	1 6	$F'_{04}=20.23$	0.0 5
Texturogram H/-H	1 6	1 2	1. 5	$F'_{04}=43.02$	0.0 1
Blue value	0. 3 4 6	0. 3 5 0	—	$F'_{04}= 1.61$	n. s.
Protein content	7. 1	6. 8	—	$F'_{04}= 6.20$	n. s.
Perfect kernel(%)	7 6	8 0	3. 0	$F'_{04}=10.29$	0.0 5
Inspection grade	5. 6	3. 4	—	$F'_{04}= 3.36$	n. s.

Table 46. Eating quality of rice from paddies previously used for various different upland crops.

Item	Rotation crop*			Soil group*		
	Onion	Small red bean	Forage crop	Fine-textured Gray lowland soils	Peat soils	Fine-textured Gray upland soils
Amylogram Maximum viscosity	4 5	1 0	3 2	1 0	3 2	1 8
Texturogram H/-H	4. 4	4. 1	6. 6	4. 1	2. 5	1. 5
Blue value	0. 0 0 2	0. 0 0 5	0. 0 1 4	0. 0 0 5	0. 0 0 4	0. 0 0 4
Protein content(%)	0	0. 2 6	0. 5 1	0. 2 6	0. 8 0	0. 1 1
Perfect kernel(%)	0. 3	6. 0	5. 6	6. 0	4. 9	3. 6
Inspection grade*	4	0	6	0	0	1

*Difference between continuous cropping and rotation.

Table 47. Relationship between eating qualities of rice and the number of growing seasons after which the rice paddy land had been used for grass cultivation.

Treatment	Amylogram Maximum viscosity	Texturogram H/-H
○→○→○→○→○→○	3 8 8 (B.U.)	5. 8
○→●→○→○→○→○	3 8 6	5. 9
○→●→●→○→○→○	3 6 8	6. 3
○→●→●→●→○→○	3 4 5	6. 8
○→●→●→●→●→○	3 0 9	7. 9

○---Paddy Field ●---Rotational upland field (No irrigation)

Table 48. Effect of soil treatments on eating quality of rice.

Source of variation	d. f.	Amylogram Maximum viscosity		Texturogram H/-H		Protein content	
		M. S	F	M. S	F	M. S	F
Total	31						
Block	1	861	n. s	0.6	n. s	4.3	n. s
Soil (S)	1	36046	35.3* *	160.2	16.0* *	1068.4	99.9* *
Plowing (P)	1	2592	2.5	27.0	2.7	5.0	n. s
Nitrogen fertilizer (N)	1	9180	9.0* *	16.8	1.7	138.2	12.9* *
Calciumsilicate (C)	1	2080	2.0	0.7	n. s	61.9	5.8* *
S × P	1	13	n. s	0.1	n. s	107.0	10.0* *
S × N	1	232	n. s	0.1	n. s	1.8	n. s
S × C	1	211	n. s	3.4	n. s	36.3	3.4
P × N	1	32	n. s	1.9	n. s	24.4	2.5
P × C	1	313	n. s	2.1	n. s	0.2	n. s
N × C	1	495	n. s	39.6	4.0	148.3	13.9* *
Error	16	1022		10.0		10.7	

*-----Significant at 5% level

* *-----Significant at 1% level

く、特に側条施肥法は収量も向上することから高収、良食味の施肥法として期待できた。良食味のためのちっ素施肥法は後期にちっ素の供給が緩慢となることが重要であり、この要件を満たす側条施肥量であることが必要と考えられる。

第4節 復元田の食味向上

北海道では畑地からの開田が盛んだった頃、開田すぐに生産される米は不味であると言われていた。また近年、水田面積の50%近くが生産調整によって畑地化されているが、これを復元すると開田すぐの水田に類似した水稲の生育となる。このようなことから、復元田の食味特性については北海道の稲作農業に取って重要な関心事である。

そこで復元田の食味特性を明らかにするために転作畑に小豆、玉葱、牧草を2ヶ年間作付し、復元した水田とそれに近接し毎年稲を作ってきた対照田から穫れる産米の品質を調査しTable 45, 46に示した。アミログラム最高粘度は復元田410B. Uで対照田437B.Uより27B.U低く、この値は有意なものであった。またテクスチュログラムH/-H値もアミログラム最高粘度値と類似した結果が得られた。粗蛋白含有率は対照田よりも復元田が

明らかに高い。したがって復元初年目は毎年稲を作っている水田より食味特性は劣ると判断された。牧草跡の復元田は玉葱、小豆跡復元田よりも明らかに劣り、土壌別の差では泥炭土が最も大きく、沖積埴土、洪積埴土の順にその差の小さくなることがわかった。これから復元田の食味特性は転換作物や土壌型によって異ってくるのが認められた。

食味特性は復元して何作目で対照田と同じになるかを明らかにするために牧草転換畑を計画的に復元しそこで生産された米の食味特性の調査結果をTable 47に示した。牧草転換1作後すぐ復元し、4作した区の食味特性は対照田と差がない。牧草転換2作後に復元し3作した区の食味特性は対照田よりわずかに劣る。これに対し牧草転換4作後に復元し1作した区は対照田より著しく劣った。牧草は転換作物中で最も圃場残さ量が多い作物とされており、本試験の場合は地上部300kg/10a、地下部140kg/10aであった。したがって他の残さの少ない転換作物では食味特性の回復年次が短縮されると推測される。いずれにしても食味特性は復元1～2年で劣り、3年目で対照田に近づくと考えるのが妥当である。

復元初年目の食味向上技術を導出することを目的に中央農業試験場の長富統（低位泥炭土）と田川統（細粒強グライ土）の両土壤で牧草3作後の復元初年目水田に対して、ちっ素、珪カル、耕起時期の処理を行った。この試験から生産した米の食味特性を分析し、これを分散分析しTable 48に示した。アミログラム最高粘度、粗蛋白含有率いずれも土壤とちっ素処理で異なり、その差異に有意性が認められた。土壤間では低位泥炭土よりも細粒強グライ土が、ちっ素処理間ではちっ素施肥よりも無ちっ素区の食味特性が明らかに良くなった。土壤間での食味特性の差は米粒中の蛋白含有率に関係することは第IV章、第1節から明らかで、これはちっ素供給力の差に由来するものと考えられる。このようなことから復元初年目はちっ素施肥量をできる限り減らすことが食味低下を防ぐ一つの技術と考えられた^{110,112)}。

第5節 苗質の改良

近年、移植機の開発が進みほとんどの水田が機械によって移植される時代となった。機械移植に使用される苗は開発された機器によって異なることが多く、育苗形式はマット苗、紙筒苗、型枠苗、成苗ポット苗などがあり、苗質は稚苗、中苗、成苗に分類されている。苗質はその出穂期にも影響

するほど重要な要因の一つであり、当然食味特性との関係が予測された。そこで北海道苗種類別栽培基準¹⁰⁶⁾にしたがって成苗手植苗、中苗紙筒苗、中苗マット苗、稚苗マット苗を用いてちっ素を数段階の用量とした水田に栽培し食味特性を測定した。その結果をTable 49, 50に示した。

これからアミログラム最高粘度は高い方から成苗、中苗紙筒苗、中苗マット苗、稚苗マット苗の順となり、苗質の違いによる出穂期の差はアミログラムの最高粘度値の序列と一致しており、苗質によって起こる食味特性の差が登熟温度に由来することを示唆した。アミログラム最高粘度値の分散分析結果は苗質間に有意差のあることを示しており、苗質の分散がちっ素用量より大きいことを示していた。いずれにしろ苗質による食味特性の差は明確に認められ、稚苗マット苗よりも葉令の進んだ成苗が良く、育苗形式では植いたみ少ない紙筒苗が良かった。北海道産米の食味向上には成苗化した苗を植いたみなく移植する方式が良いと考えられた。

第6節 収穫時期

これまで北海道産米の登熟と食味特性の関係を検討した事例はほとんどなく、登熟が進むにつれ、それらの諸性質がいかに変化しているのかは全く

Table 49. Relationship between eating quality and character of rice seedling.

Character of seedling	Amylogram Maximum Viscosity	Heading date
Mature seedling	5 1 3	7 / 2 6
3.2 leaved age seedling	5 0 6	7 / 2 7
Young seedling	4 6 6	7 / 3 1

Table 50. Analysis of variance of amylogram maximum viscosity.

Factor	d. f.	M. S	F
Total	2 3		
Character of seeding (C)	3	5 8 6 7. 4 8	4 1. 8 2 * *
Amount of nitrogen Fertilizen apied (N)	5	2 5 7 8. 6 4	1 8. 3 8 * *
C × N	1 5	1 4 0. 2 8	

* * -----Significant at 1% level

知られていない。ここでは食味特性と登熟の関係を検討し、良食味のための収穫時期について検討した。

試験は中央農業試験場の細粒強グライ土と低位泥炭土水田に「ゆうなみ」「ほうりゅう」の2品種を慣行法で栽培し、出穂後20日より10日毎に6回刈り取って試料に供した。これらの結果はFig.51, 52, 53, Table 51, 52に示した。

北海道産米の場合には子実への澱粉蓄積が出穂後40日目まで急速に行われ、その後は緩慢になることが認められた。特に1粒当りの澱粉含有量、固形物は50日目頃に最大値に近づき、その後の変化はほとんど認められなかった。米澱粉は出穂後50日までに350~400kg蓄積し、その後はわずかに増加する程度であった。登熟初期の玄米には水が多量に含まれており、登熟するにしたがって澱粉がこの水と置き換わるような形で蓄積してゆくことが認められた。このようにして蓄積される澱粉の粒径は登熟の初期には小粒のものが多く、粒径で4.5~4.6 μ であるのが登熟の後期では4.7~4.9 μ となった。

アミロース含有率は出穂22日後からの調査では

ほとんど変わらなかった。したがってアミロース含有率は農業の実際場面で収穫期が多少前後しても変動するものではないことが認められた。これに対してアミログラム最高粘度は登熟が進むにつれて高まり、最高粘度、ブレイクダウンのいずれ

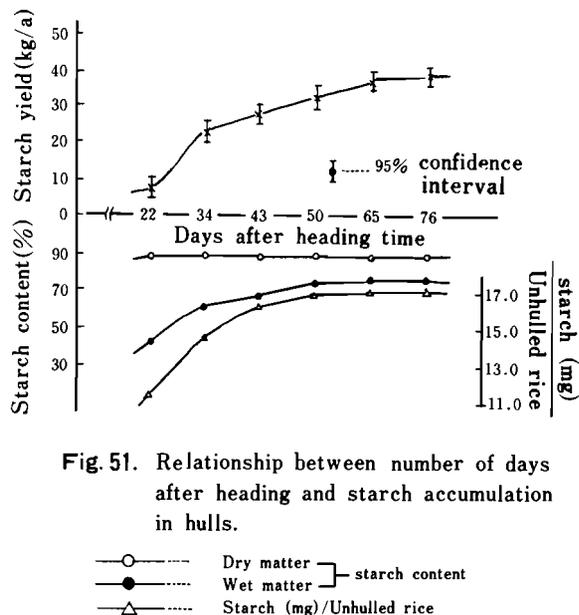


Fig. 51. Relationship between number of days after heading and starch accumulation in hulls.

Table 51. Relationship between number of days after heading and diameter of starch grains.

Maturing stage	Diameter (μ)	Coefficient of variation (%)
Milk-ripe stage	4.58	36.0
Dough-ripe stage	4.57	36.3
Yellow-ripe stage	4.69	34.8
Full-ripe stage	4.68	38.9
Dead-ripe stage	4.76	34.9

Table 52. Relationship between amylose content and number of days after heading.

Maturing stage	Amylose content (%)
Milk-ripe stage	20.0
Dough-ripe stage	20.4
Yellow-ripe stage	20.6
Full-ripe stage	19.9
Dead-ripe stage	19.9

Table 53. Eating quality of rice as related to degree of maturity.

Degree of maturity	Amylose content	Protein content	Cooking qualities			Amylogram		Texturogram		
			Expanded volume (ml)	Iodine blue value	Total solid (mg)	Maximum Viscosity	break-down	Hardness (H)	Adhesive-ness (-H)	H/-H
Imperfect kernel of rice	23.1	7.9	28.0	0.210	216	415	200	4.4	3.2	6.9
Green-kernel rice	23.6	8.1	30.5	0.220	260	395	185	4.4	3.0	7.3
Opaque-kernel rice	23.8	8.9	32.1	0.265	291	362	140	4.3	3.1	6.9

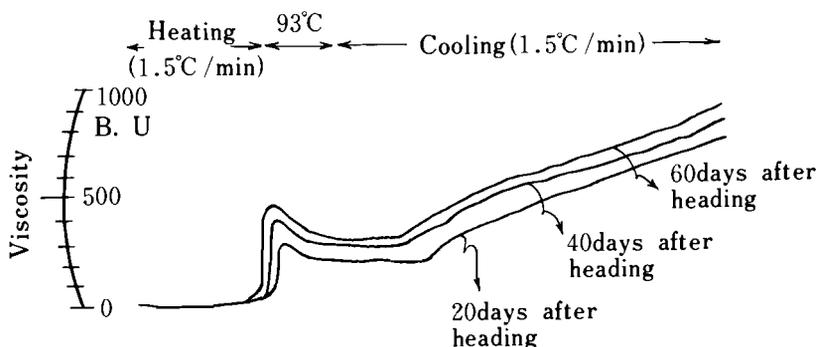


Fig. 52. Relationship between amylogram values number of days after heading.

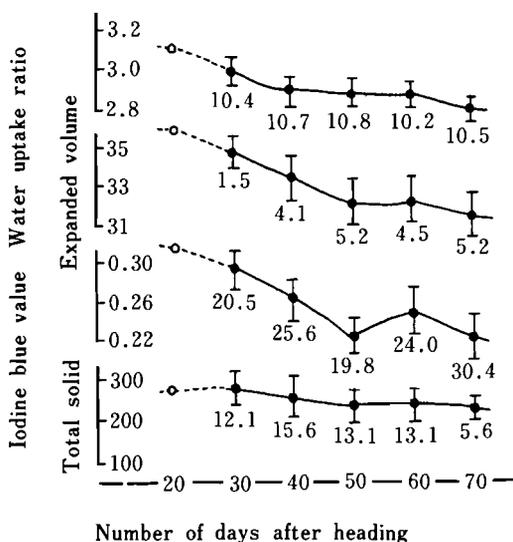


Fig. 53. Relationship between cooking qualities and number of days after heading.

○----- 2 } Repeated plots
 ●----- 6 }
 ---○--- 90% confidence interval
 10.4 --- coefficient of variation

も出穂40日目までは急速に、その後は緩慢に上昇する。この登熟によって起こるアミログラムの変化は米粉、アルカリあるいは界面活性剤で抽出した澱粉のいずれでも認められた²⁵⁾。このことは登熟によって米粒中に蓄積される澱粉の糊化性に関与する性質が変動することを意味しており、収穫適期を判断する場合に考慮することが必要と考えられた。

加熱吸水率、膨張容積いずれの性質も登熟の初期に高く、後期には低下した。ヨード呈色度、溶出固形物もこれに類似の傾向を示した。即ち、未熟な米はアミロースがたくさん溶出し、おねばの濃度を高め、さらに飯は水を多く含み釜ぶえする。この傾向は出穂40日頃までみられ、それ以降での変化はほとんど認められなかった。

Table 53は昭和54年に細粒強グライ水田に「イシカリ」を栽培し得られた産米を完全米、青米、死米に分類しその食味特性を測定したものである。アミロース含有率はやや青米、死米で高かった。蛋白質含有率は完全米よりも青米が明らかに高かつ

た。炊飯特性は完全米よりも青米，死米が明らかに劣っており，完全米と青米の差よりも青米と死米の差が大きかった。テクスチュログラム粘り，(−H)には明確な差が認められなかった。いずれにしても未熟粒は食味特性に対して負に働くと考えられた。

食味特性からみた収穫適期は出穂後40日を過ぎ，未熟粒の少なくなる時期が良く，このような時期は出穂後45～50日目が良いと判断された。

第7節 貯 蔵 法

貯蔵法に関する研究は詳細に行われている^{43,59,74)}。米の貯蔵法は食味を積極的に良くするものではなく，もともとある食味をどれだけ保つかが重要となる。現在北海道産米は生産量の70～80%が本州で消費されるが，北海道産米の鮮度の良いものをいかにして消費者の手元にとどめるかは重要な課題となった。そこでこれらの対策法を得るため，北海道産米の粳，玄米，白米に対する低温貯蔵について検討した。

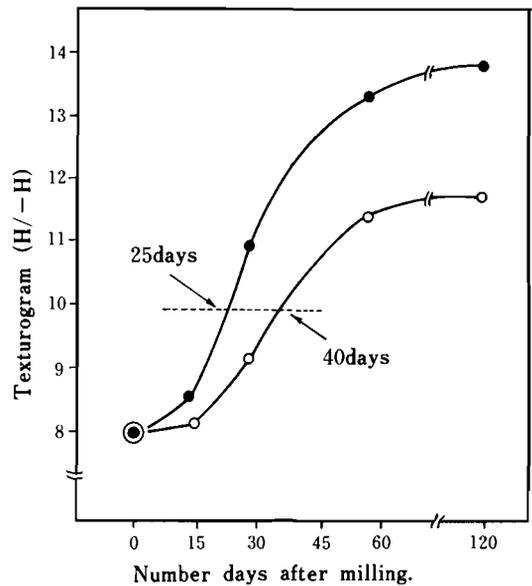


Fig. 54. Changes in eating quality of rice as the days passed after milling.

- Low temperature storage (-5°C)
- Room temperature storage (17~23°C)

Table 54. Relationship between eating qualities and storage conditions of rice.

Treatment	Reduced suger				Textuogram (T. U.)			
	1968 December	1969			1968 December	1969		
		March	June	September		March	June	September
Low temperature storage (5°C)								
Unhulled rice	—	2 0 0	2 3 0	2 2 5	—	5. 0	5. 5	5. 5
Brown rice	1 9 2	2 1 0	2 3 2	2 5 0	5. 3	5. 3	5. 5	5. 8
Room temperature storage (20°C)								
Unhulled rice	—	2 1 8	2 8 5	3 4 0	—	5. 9	6. 8	7. 2
Brown rice	—	2 0 5	2 7 2	3 6 1	—	5. 8	6. 8	8. 0

昭和53年に空知支庁管内秩父別町で生産された「キタヒカリ」を5°Cの低温室と25°Cの室温で放置し，食味特性の経時変化を調査しその結果をTable 54, Fig. 54に示した。

還元糖は低温貯蔵，常温貯蔵ともに3月までは差が認められなかったが，それ以降常温貯蔵で著しく高まった。しかし粳貯蔵と玄米貯蔵には明確な差が認められなかった。テクスチュログラム硬さ(H)/粘り(-H)は玄米の常温貯蔵が6～9月

に急激に変化したのに対し，低温貯蔵では僅かの変化しか認められなかった。この分析値は粳貯蔵が玄米貯蔵よりも僅かであるが小さくなっており，食味に対し有利に働いていた。このようなことから，北海道産米の低温貯蔵は6月～9月にかけて有効であり，その時期あるいはそれ以降に消費される米を対照とすべきと考えられた。

搗精から消費されるまである程度の日数が必要である。この場合の食味特性の変化は不明であっ

た。テクスチュログラム硬さ(H)／粘り(-H)の値は常温貯蔵すると漸次高くなるのに対して低温貯蔵では僅かに高まる程度でその差は顕著であった。したがって精白して消費までに長期間かかる場合は低温庫に保存するのが良い。硬さ(H)／粘り(-H)を10.0で消費するためには常温貯蔵で25日、低温貯蔵で40日であった。

第8節 要 約

本章では北海道産米の食味向上に必要となる具体的な手法の確立あるいは既存の稲作技術に対する食味特性からの評価を目的として土壌改良、施肥技術、収穫時期、貯蔵法について検討した。

1. 泥炭地水田産米の食味を埴土質水田に近づけるためには120㎡以上の客土が必要であることを認めた。
2. 有機物施用によって地力を増進しながら食味特性の低下を最小限にとどめるためには稲わらの春鋤込をさけ、稲わらを堆肥化して施用するか秋

鋤込による施用が良いことを知った。

3. 良食味のためのちっ素施肥法は生育後半のちっ素供給が緩慢となることが重要であり、この要件を満たすのは側条施肥法、表層施肥法であることを知った。さらにちっ素施肥量は収量からみた適施肥量よりも少肥の方が良かった。

4. 復元田における食味特性の低下を防止するためにはちっ素の減肥が有効であった。

5. 苗質による食味特性の差は明らかに認められ、稚苗マット苗よりも葉令の進んだ成苗が良く、育苗形式では植いたみの少ない紙筒苗が良かった。

6. 食味特性からみた収穫適期は出穂後40日を過ぎ、未熟粒の少なくなる時期が良く、このような時期は出穂後50日前後が良いと判断された。

7. 北海道産米の低温貯蔵は常温貯蔵より食味特性の低下が起こり難く、この差は6～9月で顕著となった。籾貯蔵は玄米貯蔵より食味特性がわずかに良いことを認めた。また精白米も低温貯蔵で食味特性の低下が起こり難いことを認めた。

第VI章 良食味品種の育成

北海道の稲作の主要地帯は北緯42~45度に位置しており、生育中の気象的な要因は本州各県よりも食味特性に取って、はるかに不利な条件にある。すなわち、米澱粉の性質は登熟温度が低いと食味特性に対し不利となることが明らかにされている。このような北海道が持つ気象的要因のなかで産米の食味特性を大きく向上させるためには稲の本質、すなわち遺伝的性質を利用して低温であっても良食味の米を生産できる品種を育成することが最も有効な手段であると考えた。

その手法は食味に関する米粒中の成分とその性質を明らかにし、これを簡易、迅速に定量でき得る分析法を確立し、この分析法を育種選抜に活用することであった。ここでは良食味品種を育成するために第I章で確立した食味特性の分析法を育種選抜に導入し、これによって開発した優良品種の食味評価を本州産米と比較、検討した。

第1節 食味分析法の育種への導入

北海道の食味特性に対する環境的ハンディキャップは品種改良によって克服し、寒冷地でも良食味の米を生産できることが合理的と考えられる。このためには食味特性が遺伝的に改善し得る性質であるかどうかを知る必要がある。倉沢^{54,55)}はアミロース含有率などの食味特性に関係する成分が血縁関係と密接なことから、食味特性に対する品種改良が可能と考えた。佐々木^{80,81)}、奥野⁷⁸⁾は食味特性成分が選抜可能であり、遺伝的に良食味品種を作り出すことが可能であることを明らかにした。

Fig. 55, Table 55には北海道で低アミロースを示す農林20号と高アミロースであるイシカリの両品種を交配しF₃, F₄個体におけるBlue Valueを示した。両品種のBlue Valueはほぼ正規分布を示し、分布の幅は大きい。F₄個体のBlue Valueもほぼ正規分布を示しており、アミロースに関する遺伝因子が多いことを示唆している。

Blue Valueの広義の遺伝力は比較的高く(0.518~0.660)、個体選抜に効果が期待できると考えら

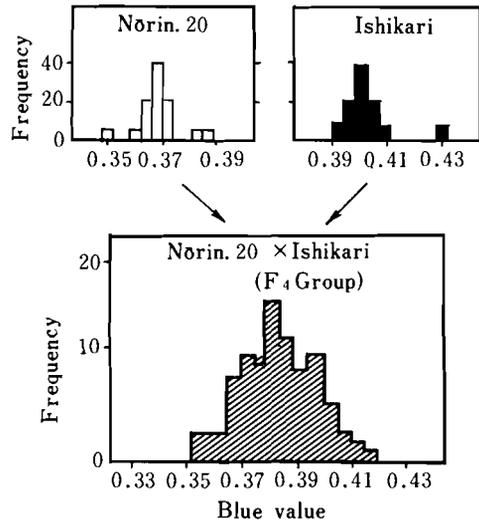


Fig. 55. Frequency distribution of blue value in rice of parents and hybrid populations.

Table 55. Estimated heritability of each characteristic.

	h_B^2
Blue value	0.660
Quality of rice kernel	0.757
Grain shape	0.538
Thousand kernel weight	0.736
White belly rice	0.896

$$h_B^2 = \sigma_G^2 / \sigma_P^2, \sigma_P^2 = (\sigma_G^2 + \sigma_E^2)$$

σ_P^2 : phenotypic variance

σ_G^2 : genetic variance

σ_E^2 : environmental variance

れた。本州品種の低Blue Valueの性質を道内品種に導入できると考えられたが、希望の低Blue Value, 良玄米品質, 長粒, 大粒個体を得るには水稻の生産性に不利な方向への遺伝相関があるので, 集団の規模を大きくすることが良いと考えられた。蛋白含有率, アミログラム最高粘度値, テクスチュログラム特性値の遺伝力はBlue Valueよりも低いが選抜によって効果が期待できた⁸⁰⁾。

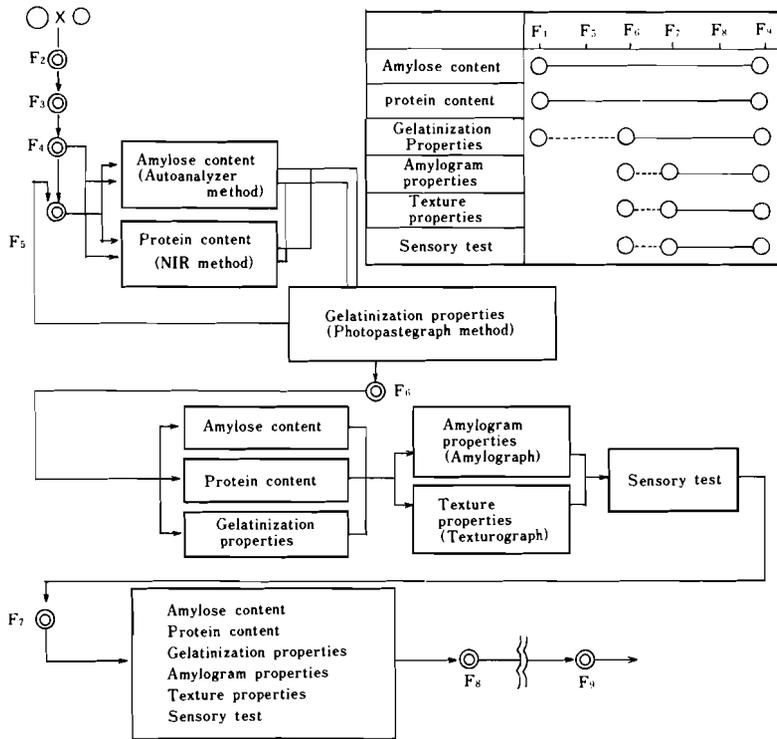


Fig. 56. Selection schemes by eating quality.

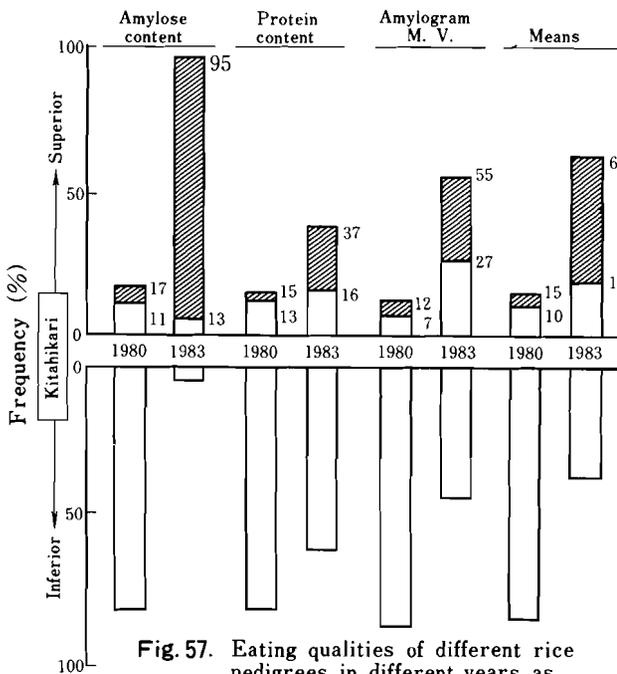


Fig. 57. Eating qualities of different rice pedigrees in different years as compared to the Kitahikari.

Sample : Preliminary performance test

▨ : Frequency of pedigrees which are superior to Yukihiikari in eating quality.

このようなことから、F₄、F₅世代での大規模な食味特性の選抜が必要と考えられた。この世代での選抜項目は親子相関が高く、比較的早い世代で固定されるものがよい。さらに、この世代には個体または系統育成されたものであるから、玄米生産量に限りがあり分析に供すことのできる量は少なく、したがって少量で分析でき、かつ簡易、迅速なことが必要である。これらのことを勘案し、この世代の分析項目はアミロース含有率、蛋白含有率、フォトベーストグラフィーによる熱糊化性とした。

F₆、F₇の世代では食味特性をさらに幅広く知るためにアミログラフィーによる熱糊化性、テクスチュロメーターによる飯の粘り、硬さを分析した。さらに、一部この世代で食味試験も行った。その後F₈～F₁₁まではこれらのすべての項目を分析し、食味特性の環境に対する発現性を検討した。このようにして確立した食味特性による品種選抜の流れをFig.56に示した。また1ヶ月間の分析点数はF₄、F₅で8,000点、F₆、F₇で1,000点、

F₈ ~ F₁₂で100点の規模とした。

Fig. 57はこの品種選抜の効果を検討するために選抜を開始した昭和55年から昭和58年の生産力予備試験の食味特性値を示した。生産力予備試験のアミロース含有率は昭和55年に「キタヒカリ」より優る系統が17%であったが、昭和58年には95%であり、選抜効果が認められた。

蛋白含有率は昭和55年に「キタヒカリ」より優る系統が15%であったが、昭和58年には37%となり、その効果はアミロース含有率より小さかった。アミログラム最高粘度は昭和55年の12%に対して、昭和58年にはこの4.5倍に近い55%であり、熱糊化性も選抜効果が十分に認められた。さらに「キタヒカリ」より良食味である「ゆきひかり」以上の系統は昭和55年に対し昭和58年はアミロース含有率で13.7倍、蛋白含有率で10.5倍、アミログラム最高粘度で5.6倍であり、これは食味特性の選抜スキームが高度な良食味系統の育成に有効なことを示唆するものと考えられた。

これらのことから食味特性による選抜スキームは良食味品種育成のために有効な手段であり、北海道のような寒冷地でも「コシヒカリ」「ササニシキ」に近い高度良食味系統作出の可能性を暗示した。

第2節 1970年代の北海道優良品種の食味特性

1970年代の北海道産米は消費者からきびしい評

価を受けた。しかしながら、この期間に北海道で作付された主要な品種は「イシカリ」「しおかり」「ゆうなみ」「ユウカラ」「ほうりゅう」「そらち」「ひめほなみ」があげられる¹³⁾。これらの品種は短稈、多けつ性で耐冷性、耐病性にすぐれており、北海道における水稲の収量レベルを高める主要因となった¹⁹⁾。ここでは1970年代に北海道で作付された主要な品種の食味特性を「キタヒカリ」と対照して比較、検討した。

Table 56は1970年代品種を昭和58、59年に道立中央農業試験場の細粒強グライ土水田で慣行法で栽培し得られた産米の分析結果を示した。これからアミロース含有率は「キタヒカリ」よりどの品種も高く、平均値でこの差が1.4%高い値を示した。蛋白含有率は「キタヒカリ」に比較して「イシカリ」「ユウカラ」「そらち」で低く、「しおかり」「ゆうなみ」「ほうりゅう」「ひめほなみ」で高かった。これらのアミログラム最高粘度は「キタヒカリ」よりも低く、特にこの時代の主要品種「イシカリ」「ゆうなみ」は「キタヒカリ」より14~18%低かった。テクスチュログラム粘り(-H)は「キタヒカリ」よりどの品種も低く、平均値でこの差が36%あった。

1970年代品種の炊飯特性値をTable 57に示した。加熱吸水率、膨張容積はどの品種も「キタヒカリ」より高かった。これは炊飯時の吸水が多く、釜ぶえが大きいことを示し、食味に対し不利に働いて

Table. 56. Eating qualities of main rice varieties in the 1970's.

	Amylose content	Protein content	Amylogram		Texturogram		
			Maximum viscosity	Break down	Hardness (H)	Adhesive-ness(-H)	H/-H
Old varieties							
Ishikari	22.3	7.7	466	204	4.0	1.2	16.7
Shiokari	21.4	8.6	490	211	3.5	1.7	10.3
Yunami	22.7	8.1	445	179	3.8	1.2	15.8
Horyu	21.2	8.1	532	239	3.7	2.2	8.4
Himehonami	21.6	9.0	474	189	3.8	1.6	11.9
Yukara	22.9	7.6	457	187	3.8	1.5	12.7
Sorachi	20.9	7.3	500	203	3.8	2.1	9.0
New varieties							
Kitahikari	20.2	8.0	541	261	3.6	2.5	7.2

Table 57. Cooking qualities of rice varieties in the 1970's.

	Cooking qualities		
	Water uptake ratio	Expanded volume	Total solid
Old varieties			
Ishikari	3.4	33.9	3775
Shiokari	3.2	32.0	3465
Yunami	3.6	34.7	3800
Horyu	3.2	31.9	3310
Himehonami	3.3	33.1	3510
Yukara	3.2	32.7	3560
Sorachi	3.2	32.3	3305
New varieties			
kitahikari	3.1	31.2	3230

いるものと考えられる。溶出固形物は「キタヒカリ」よりいずれの品種も低く、特にこの時代の主要品種「イシカリ」「ゆうなみ」は「キタヒカリ」より17~18%低かった。溶出アミロースも溶出固形物と類似した傾向にあった。

これらのことから、1970年代における品種の食味特性は「キタヒカリ」に比較して劣っており、「イシカリ」「ゆうなみ」はその差が顕著であった。

第3節 成分育種により育成された品種の食味特性

第VI章第1節に示した食味特性による品種の選抜スキームによって北海道中央部地帯の早生~晩生にいたる良質、良食味の優良品種が育成された。すなわち昭和56年「しまひかり」、昭和57年「みちこがね」、昭和58年「ともひかり」、昭和59年「ゆきひかり」が北海道の優良品種に決定された。

つぎに、これら優良品種の作付地帯とその特性についてふれる。「しまひかり」は道南を作付地帯とする晩生種（晩早）で障害型の冷害に弱い、いもち耐病性に強、玄米品質の良い品種である。「みちこがね」は道央を作付地帯とする中生種（中中）で障害型の冷害に強く、玄米品質が良く、収量性の高い品種である。「ゆきひかり」は道央、道北を作付地帯とする中生種（中早）で倒伏し易い欠点を持つが、障害型の冷害にきわめて強く、玄米品質の良い品種である。「ともひかり」は道北を主

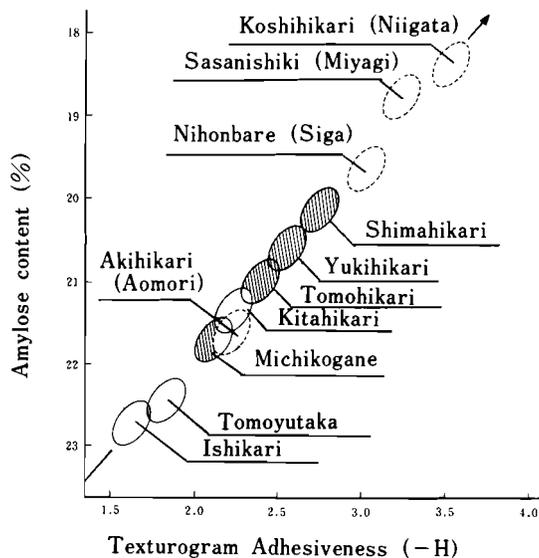


Fig. 58. Eating qualities of varieties selected by physicochemical properties.

○ Honshu varieties
 ○ Old } Hokkaido varieties
 ● New

な作付地帯とする早生種（早晩）で障害型の冷害にやや強く、玄米品質にすぐれた品種である。これら成分育種により育成した品種群は道南から道北にかけてほとんどの水田地帯に作付でき、「しまひかり」以外は障害型の冷害に強く、玄米品質が良く収量性も高い水準にあり、このような性質は、

Table 58. Comparison of eating quality among Hokkaido and Honshu rice varieties.

Treatment	Amylose content	Protein content	Amylogram		Texturogram			
			Maximum viscosity	Break-down	Hardness (H)	Adhesiveness (-H)	H/-H	
Hokkaido	Kitahikari	19.6	8.0	590	288	4.0	2.1	9.5
	Michikogane	19.1	8.3	572	276	4.0	1.9	10.5
	Tomohikari	18.8	8.5	612	305	3.8	2.1	9.0
	Yukihikari	18.3	8.1	590	300	3.7	2.2	8.4
	Ishikari	21.0	8.0	492	230	4.2	2.0	10.5
Aomori	Mutsuhonami	20.6	6.6	528	282	4.0	1.7	11.8
Iwate	Sasanishiki	19.1	6.5	679	379	3.8	2.0	9.5
	Koganehikari	20.1	6.3	659	344	3.9	2.1	9.3
	Toyonishiki	19.3	6.9	618	308	3.6	2.2	8.2
Akita	Sasanishiki	19.5	6.9	676	351	3.9	2.3	8.5
	Kiyonishiki	20.4	7.0	587	290	4.4	1.7	12.9
	Akitakomachi	18.2	6.8	662	377	3.6	1.9	9.5
	Toyonishiki	20.6	7.7	524	239	4.4	1.5	14.4
Yamagata	Sasanishiki	20.1	6.6	642	340	3.7	2.0	9.3
	Hanahikari	19.0	7.9	544	278	3.5	2.1	8.3
	Kiyonishiki	20.5	6.5	603	287	3.9	2.0	8.0
	Sawanohana	18.9	7.2	571	262	3.5	2.2	8.0
Toyama	Koshiziwase	17.9	7.6	753	418	3.5	2.3	7.6
	Koshihikari	17.8	7.1	752	424	3.8	2.3	8.3
	Toyamanishiki	16.5	7.3	770	424	3.3	2.5	6.6
	Nihonbare	20.3	7.3	502	263	4.3	1.9	11.3
Hukui	Koshihikari	17.0	6.6	825	483	3.4	2.3	7.4
	Hukuhikari	18.1	7.3	822	467	3.6	2.5	7.2
	Nihonbare	21.0	6.7	617	351	4.0	1.9	10.5

1970年代の品種群より優れていた。

Fig.58は道内品種の食味序列, 本州品種との位置関係を, 推測するためにアミロース含有率とテクスチュログラム粘り(-H)の相関図を示した。ここに示した分析試料は昭和55, 58年の2ヶ年, それぞれの品種の適地帯で栽培されたものである。従来品種の「ともゆたか」「イシカリ」はアミロース含有率が高く, 粘り(-H)が弱いことから食味評価は最も低いと考えられた。これに対し成分育種で育成された品種はアミロース含有率が20~22%であり, 粘り(-H)も「ともゆたか」「イシカリ」より強かった。道内品種の食味序列は良い方から

「しまひかり」「ゆきひかり」「ともひかり」「キタヒカリ」「みちこがね」「ともゆたか」「イシカリ」となった。

成分育種で育成された道産米品種の食味特性は新潟県産「コシヒカリ」, 宮城県産「ササニシキ」に及ばないが, 滋賀県産「日本晴」と青森県産「アキヒカリ」の間に位置した。昭和59年度の気象条件は水稻生育期間の全般にわたり高温, 多照に推移し, 登熟期間の温度は平年より3~4℃高温となった。このような高温年における北海道産米の食味特性を本州産米と比較しTable 58に示した。高温年に生産した北海道産米はアミロース含有率

18～20%，アミログラム最高粘度550～650 B. U，テクスチュログラム粘り(－H)1.5～3.0 T. Uの範囲に大部分が分布した。高温年における食味特性は成分育種で育成した品種は「イシカリ」よりも著しく良好であった。また成分育種で育成した北海道産米の食味特性は青森，岩手，秋田県産米と類似しており，山形，富山，福井県産米に近かった。

したがって成分育種で育成した品種の食味特性は1970年代の主要品種よりはるかに良く，本州優良米に近づいていることが認められた。

第4節 要 約

本章は良食味品種を育成するために第I章で確立した食味特性の分析法を育種に導入し，これによって開発した優良品種の食味評価を本州産米と比較，検討した。

1. アミロース含有率，蛋白含有率などの食味特性に対する広義の遺伝力は比較的高く，個体選抜

に効果が期待できた。良食味品種育成のための選抜スキームを考案し，これを用いて初期世代からの選抜を実施した。その効果は顕著で4年後の生産力予備試験の「ゆきひかり」以上の食味特性の系統は8.6倍となった。

2. 1970年代における品種の食味特性は「キタヒカリ」より劣っており，特にこの時代の主要品種「イシカリ」「ゆうなみ」はその差が顕著であった。

3. 成分育種によって育成した品種の食味特性は「キタヒカリ」並もしくはそれ以上であり，1970年代の主要品種よりはるかに良く，本州優良米に近づいていることを認めた。

4. 以上のことから，食味特性による選抜スキームは良食味品種育成のために有効な手段であり，これによる良食味品種の育成は北海道産米の食味特性を一段階向上し，さらに北海道のような寒冷地でも「コシヒカリ」「ササニシキ」に近い高度良食味品種の作出を可能とした。

第Ⅶ章 総 合 考 察

北海道は、日本列島の最北端に位置し、亜寒帯気象の特徴を有し、水稻の生育に重要な夏期には冷涼なオホーツク高気圧の影響を強く受ける⁷¹⁾。このため北海道の稲作は過去の100年間に26回も冷害に遭遇し、これを克服するための努力を通して発展してきたといっても過言ではない。すなわち北限に位置する北海道稲作が冷害を克服し、ここまで多収¹⁰⁷⁾になったのは光合成と生産効率の研究の進展³⁴⁾と、安定・多収の稲作技術¹⁵⁾によるところが大きいと考えられる。しかしながら低温という不利な環境で安定・多収を指向した結果、北海道産米の食味特性は、低い評価を受けるようになった。それ故産米の食味向上技術の確立は北海道稲作に取って冷害克服と同じように重要な課題となった。

本研究は北海道産米の食味向上のための具体的な技術の確立をこころみたものである。すなわち北海道産米の食味に関係する理化学的性質の解析とそれに有効な分析手法を確立し、これを用いて良食味品種の育成とその栽培技術の確立をこころみた。本章では主要項目の問題点の整理と若干の考察および論議を加える。

1. 食味特性の分析法

日本人が感ずる米の味は現代までにわたる長い歴史のなかで形成されてきたものである¹⁰²⁾。これまでの「米の味」は安定的かつイメージとしてのものであり定量的なものでなかったため、米の味を各種の分析値から数量化し、これによって米の味に関する各種の研究がおこなわれてきた。

これらの研究には古く著名^{82, 89)}なものもあるが近年の代表的なものは倉沢⁵⁴⁾谷ら⁹⁹⁾によるものである。ここで用いられた食味特性の分析法が本研究を進めるうえで適するかどうかを、その主要なものについて検討した。この研究でアミロース含有率はn-ブタノール沈澱法⁷³⁾またはヨウ素呈色比色法⁸⁸⁾によって分析していた。前者は1点分析するのにおよそ20時間と100gの試料が必要であり、後者は10時間と50gであった。このままでは、

育種のように5~10gの試料、年間1万点のアミロース含有率の選抜を必要とする場合は不向である。また飯の粘、弾性はあらかじめブロック状に炊飯したものを、平行板プラストメーターで測定されていた。この方法は1点分析するのに1~2時間を要し、かつ再現性が良くないため、微小な品種間差を知るこのできない難点がある。澱粉の熱糊化性はアミログラムを用いている。この分析法は澱粉の熱糊化性を良く表現し、再現性もきわめて良いが、1点分析するのに2時間を要する。

以上のように米の食味そのものを研究するために用いられた食味特性の分析法はそれらの研究を進める上できわめて有効であるが、良食味品種の育成、栽培法の確立など実用的な生産技術を確立するために利用するには不十分な点が多かった。すなわち、これに必要な分析法は迅速、正確、省力的であり、なおかつ分析試料が微量なことが必要であった。

飯の食味は幾つかの性質が集合した複合的な性質であり、その大部分は理化学的特性値によって決まるものと考えられる⁹⁹⁾。すなわち、ご飯の味は口腔内に入ってから呑みこむまでに感ずるテクスチャーによって大部分の評価が決まることを意味する。このような性質はおもに米粒中の72%を占める澱粉の糊化と老化の性質、あるいはそれらに関係する他の成分に支配されていると考えられる。したがって、食味特性の分析項目はこれらのことを考慮し米の熱糊化性、老化性とそれに関与する成分とすることが必要と考えられた。

JULIANO³⁹⁾はアミロース含有率の分析の自動化システムを確立したが北海道産米のアミロース測定にもこの原理の応用を試み100mgの試料1点をわずか3分間で分析することが可能となった³¹⁾。本法利用における問題点は連続流れ分析法の中で、個々の相互影響をしゃ断することであった。アミロースは酸性溶液中でヨウ素と複合体を作り、アルカリ性で複合体を解く性質を持つ。この反応を利用してテーリングを防止できた。すなわち分析試料間にアルカリ液を流し前試料分析時に付着した

アミロース、ヨウ素複合体を除去した。これにより連続流れ分析が可能となった。

この分析法によるアミロース含有率とヨウ素呈色法によるアミロース含有率には高い相関が認められたことから、分析精度として十分に実用に耐え得ると判断でき、すでにこの分析法を用いて5年間に5万点のアミロース含有率を分析し実用的分析法であることを確認した。

K. NORRIS, ら^{6,76)}は近赤外分光法により穀類中の水分、蛋白、脂肪の定量が可能であることを明らかにした。米粉中の澱粉含有率、蛋白含有率、脂肪含有率、灰分含有率、老化性の分析法は近赤外分析装置を用いて5gの試料で1分間に非破壊で4成分同時定量できる方法を確立した^{2,33)}。この分析は近赤外線が試料に照射され、その拡散反射光によって計測されるので、測定にはこれに影響を与える要因を除去する必要がある³⁸⁾。この要因は米粒の粒度分布、分析温度、石英セル中の米粉密度、受光部の付着物があげられる。ルーチンの分析にはこれらの要因が均一であることが必要と考えられた。これらの事を注意すれば本法は迅速、省力、分析試料の微量などから良食味品種の育成とその栽培技術の確立に有効な成分分析法であることが認められた。

飯の粘りは粘性率よりは口腔の中で噛む時に感ずる付着性に近く、硬さは弾性率よりはむしろ飯粒がつぶれる時に必要な仕事量に近いと考えられる³²⁾。そこで飯の物理的性質の測定はSZCZENIAK⁵⁾によって開発されたテクスチュロメーターを用いた。テクスチュロメーターで飯の物理的性質を測定するには20g程度の少量試料を用いる均一な炊飯法の確立が必要となった。これには炊飯に必要な水量と加える熱量がどの試料にも均一となるようにすることで解決できた。さらに飯の測定はおにぎり状での分析をやめ、飯粒単位とし、さらに受け皿を100mmの平皿とした。これによりアルミ製シャーレを用いた方法⁷⁷⁾よりも簡易であり再現性も高まった。

ここで検討した食味特性の分析方法は、北海道産米の食味向上のための生産技術の改善に取って必要となる食味評価法として十分、利用できるものと考えられた。

2. 北海道産米の食味に係る理化学的性質

北海道産米の理化学的性質を本州産米と比較、検討し、食味特性の位置的関係やその変異巾などから、北海道産米の食味向上についての方途とその具体的手法を明らかにしようとした。

アミロース含有率は本州197点の平均値19.9%に対し北海道産米97点の平均値22.9%、その差が、3.0%あり、明らかに北海道産米が高かった。また、北海道産米のアミロース含有率はFig. 27に示すように本州8ブロックのどの地域の産米よりも高かった。北海道産米澱粉のアミロペクチンは末端基のブドウ糖重合度、分子量のいずれも本州産米とに差が認められなかった。しかしアミロースの平均重合度は本州産米より北海道産米が明らかに小さかった。北海道産米はアミロースの質・量ともに異なることが認められた。

アミロースは量的にアミロペクチンよりもはるかに少ないにもかかわらず熱糊化性、老化性に対し支配的に働くことが明らかにされている^{9,10)}。倉沢⁵⁵⁾は良食味品種のアミロース含有率が17.5~18.0%であるとしている。したがって、アミロースの質・量の違いが北海道産米の食味に対し不利に働いているものと考えられた。

米の蛋白含有率と食味には負の関係にあるとする報告^{35,63,119)}が多い。北海道産米と本州産米の蛋白含有率の差は実質的に大きくなく、平ら⁹⁰⁾が分析したそれより小さいものであった。無機成分は北海道産米が本州産米よりもリン、マグネシウム、鉄、亜鉛含有率が低く、カリ、ナトリウム、カルシウム含有率が高かった。リン、マグネシウム、亜鉛含有率はアミロース含有率と負、アミログラム最高粘度と正の相関があり、したがって食味特性に対し、これら成分の増加が有利に働くことが示唆された。しかし、これらの成分は久保ら⁴⁹⁾によれば登熟温度と正の相関が認められている。さらにアミロース含有率、アミログラム最高粘度も登熟温度と密接な関係にあり²⁸⁾、これら無機成分とアミロース含有率、アミログラム最高粘度の相関は登熟温度に関係しあう成分間の仮のものである可能性が認められた。

熱糊化性を示すアミログラム最高粘度値、ブレ

ークダウン値は北海道産米が本州産米より明らかに低かった。最終粘度、コンシステンシー値は逆に北海道産米が高かった。したがって北海道産米は糊化時における澱粉のゾル化が十分おこなわれず、これがために常温での糊液のゲル化が進み、この性質が飯を硬くするものと推定された。また北海道産米は、米飯の老化も本州産米より進みやすいことが認められ、米飯は粘りが少なく硬い性質を示した。

可溶性成分は本州産米よりも北海道産米が大半の成分が高かった。特にその差の大きかったのはアミロース、リン、糖であった。これらの可溶性成分は飯の表面に付着し食味に影響を与えているものと考えられた。

このようなことから、北海道産米は本州産米に比較して熱糊化性および老化性、アミロースの質および量の差違が特徴の一つとして指摘された。これらの結果は北海道産米を改善する方向として、熱糊化し易く、老化し難い性質の導入が必要であり、その具体的手法の一つとして、低アミロース米品種の育種が考えられる。

3. 食味特性成分の相互関係

北海道産米の食味向上には食味特性と各種成分の相互関係を検討し、食味に有効となるようにバランスよく向上させることが必要と考えられる。特に低アミロース米生産を指向する場合はアミロース含有率と各種成分との関係を明らかにすることが重要となる。

アミロース含有率はアミログラム最高粘度と $r = -0.789$ ($n = 284$)、膨張容積と $r = +0.551$ ($n = 30$)、テクスチュログラム粘りと $r = +0.744$ ($n = 78$)、食味試験総合評価と $r = -0.946$ ($n = 12$) の相関が認められた。これは新潟産米を用いたアミロース含有率と食味特性値の関係を検討した倉沢ら⁵⁶⁾、食味評価の指標を検討した竹生ら⁵¹⁾の結果と一致する。したがってアミロース含有率を低下させることにより、米の熱糊化性、飯の粘り、硬さなどの物理的性質を同時に向上させることが可能であると考えられた。

蛋白含有率は膨張容積と $r = +0.731$ ($n = 30$)、テクスチュログラム粘りと $r = -0.603$ ($n = 73$)、

硬さと $r = 0.350$ ($n = 73$) の相関が認められた。またこの相関はアミロース含有率と食味特性の関係より、大部分の項目で弱いものであった。すでに蛋白含有率は食味特性と密接な関係にあることが知られている^{63,115,119)}。これらはいずれも1~2品種をかぎられた地域の土壌、異なる施肥窒素条件で栽培されたものであった。本研究の結果は多くの品種あるいは地域で生産した米に対して検討したものであり、北海道産米の食味向上には蛋白含有率を低下させることが必要条件と考えられた。

可溶性成分は米粉中に含まれる成分量に関係しており、その溶出割合はアミロース7.0%、蛋白0.6%、リン7.7%、カリ61.1%で、成分によって大きく異なった。また可溶性成分は食味向上のためには可溶性成分を少なくすることが必要と考えられた。

糊液の老化はアミロースの老化が主導的な役割を果たしており、アミロペクチンより早く起こることが知られている¹¹⁾。北海道産米の老化はアミロース含有率と密接な関係にあり、これが冷飯の物理的性質を低下させる主要因と考えられる。

したがってアミロース含有率、蛋白含有率を低下させることは熱糊化性や老化性を向上させ、食味向上にとって有効であると考えられた。

4. 食味特性の環境変異とその解析

食味向上に必要な生産技術の具体的手法を得る目的で、北海道内における食味特性の品種、栽培環境による変異を要因ごとに検討した。

食味特性が土壌型によって異なることは多くの報告^{62,65,85,101)}によって明らかにされている。土壌型は広い地域に分布するため数種の土壌型を同一環境条件で水稻を栽培し比較、検討するのが困難である。このためこれらの報告はいずれも異なる栽培環境条件下で生産した米の食味特性を比較したものであり、この意味で土壌型と食味の関係を正確に知るためには不十分な点があった。そこで母材、堆積様式の異なる水田の作土を用いて同一栽培環境条件下で生産した米の食味特性を比較、検討した。その結果、土壌間の食味特性は良い方から火山灰土(黒ボク土) > 洪積埴土(細粒灰色台地土)、沖積埴土(細粒強グライ土) ≥ 沖積壤土(細

粒褐色低地土) > 泥炭土(高位泥炭土)の順であった。この土壤型による食味特性の差は米粒中の蛋白含有率に関係することが認められ、これは土壤型による窒素供給力に基因するものと考えられた。

窒素、りん酸、カリの欠乏、過剰はアミロース含有率に対し大きく影響を与えないことが明らかとなったが、アミログラム最高粘度は3要素施肥区より窒素欠乏区が高く、リン、カリ欠乏区で低かった。またテクスチュログラム粘りは窒素欠乏区で最も大きく、リン、カリ欠乏区で小さかった。このようなことから、窒素は欠乏状態になるとその産米の食味特性が良くなり、リン、カリは欠乏状態になると食味特性を著しく低下させるが、生育に十分な量があればそれ以上供給しても食味特性を向上させる効果は認められなかった。

これらは、窒素施肥の影響が澱粉の理化学的性質よりも米飯の粘弾性に現われ、さらに無リン酸区の米飯の食味がリン酸施用区よりやや劣ることを認めた山下ら^{118~121)}の結果と一致した。しかしカリ施用は食味特性に影響を与えないとしており、本研究結果と異なる点も認められた。この差違は本研究での水稲が極度のカリ欠乏状態にあり、このカリ供給の差に由来するものと考えられた。なおカリ欠乏区での食味特性の低下は米粒中の蛋白含有率に影響されたものと考えられた。また食味特性に影響を与える微量要素は認められなかった。

食味特性に対する有機物の影響を検討した。食味特性は稲わら施用区で明らかに劣るが、他の有機物施用区では同じかやや劣る程度であり、有機物施用によって食味特性が向上することは認められなかった。したがって堆肥施用が良食味の米を生産する技術と考えられていた⁸⁴⁾例もあるが、これは化学肥料のない時代にほとんどの水田で無肥料栽培され、土壤中にリン、カリが欠乏していたため、堆肥施用により良食味米が生産されたためと考えられる。

つぎに食味特性と気象条件の関係を人工気象箱を用いて検討した。二國ら¹²³⁾は穂部の登熟温度が澱粉の物理、化学的性質に及ぼす影響を研究し、低温区は高温区よりアミロース含有率が高くなることを認めた。これは北海道の自然環境下で生産

される米粒澱粉の性質を十分に説明しうるように思われた。しかし北海道の自然環境温度の変動は生産地帯、年次、登熟の前後、昼夜などの複雑な差があるため、これら環境温度の変動に対する米粒澱粉の挙動を明らかにする必要があった。

その結果、アミロース含有率は登熟期間の温度が高くなると低下し、40日間の積算温度が111℃、日平均2.8℃で1%変動した。登熟前半の温度は後半の温度より、夜温は昼温よりアミロース含有率をより強く支配することが認められた。これから生産地域、生産年度の相違によって起こる食味特性の主な変動要因が登熟温度であることが認められた。

登熟前半の温度が食味特性に取って重要なのは程に集積した澱粉が登熟早期に転流^{27,51)}するためと考えられる。また夜温が食味特性に関係するのはショ糖の転流速度⁶⁹⁾から考えて胚乳中の澱粉の合成が昼よりも夜間に多いと考えられ、これに基因するものと考えられる。

北海道産米における食味特性の変動は品種が最も大きく、ついで生産年度、土壤、生産地帯、収穫時期の順となった。このようなことから北海道産米の食味向上技術は良食味品種の開発を緊急課題とし、次に良食味性を十分発揮できる土壤管理、施肥技術の確立と登熟温度を高めるために必要な良穂揃、早期出穂、早期登熟の栽培技術の確立が必要と考えられた。

5. 食味向上に有効な技術改良

北海道産米の食味向上はそれに必要な具体的手法の確立あるいは既存の稲作技術に対する食味特性からの評価が重要と考えられる。

北海道の土壤型と食味特性の関係を検討した結果、泥炭土水田から穫れる米の食味特性は他の土壤より明らかに劣る。この原因は土壤からの窒素の放出が後期まで継続し、これが米粒中の蛋白含有率を高めていることが認められている²⁹⁾。この対策として最も有効な手段は埴土質土壤の客土であり、その適量は120m³/10 a以上であることが明らかにされた。

従来、北海道の泥炭土壤地帯の農耕地開発は30~60m³/10 a客土によっておこなわれてきた。しか

しこの程度の客土量では数年間の耕作で埴土質土壌が田面に不均一に分布するようになり、泥炭の浮上現象を引き起す。これに対しては30~60m³/10aの補正客土が行われ、大部分の泥炭土水田では90~120m³/10aの客土が行われている。このような多量客土は産米の食味特性向上に取って有効である¹⁶⁾。

良食味米の生産には窒素栄養からみれば秋まさり的な稲よりも、後期に窒素が切れるような生育経過の稲が良く、窒素施肥法もこのようなことを十分に考慮する必要が認められる。したがって多肥や追肥は良食味米の生産に不利であり、初期生育が促進される側条施肥、表層施肥が有効である。この場合も後期に窒素の供給が緩慢となることが重要であり、この要件を満す窒素施肥量であることが必要と考えられた。

復元田の窒素供給力は連作田よりも明らかに高い⁶⁷⁾。復元田で生産される米の食味特性は連作田よりも劣り、これは米粒中の蛋白含有率の差が主要因であることが認められた。したがって復元田で生産される米の食味特性は土壌の窒素供給力に由来するものと考えた。そこで復元田における食味特性の低下対策としては窒素施肥量を減らすことが必要であり、復元初年目50%減、2年目20%減が有効であることが明らかにされている。

最近、移植機の開発が進み、北海道ではほとんどの水田で機械移植となった。移植機に用いられる苗質はそれぞれ異なり、出穂期、穂揃性も異なることが認められる。苗質による出穂期、穂揃性の違いは登熟期間の温度が異なることを意味するものであり、食味特性に対し影響を与えられられる。苗質と食味特性の関係は稚苗マツ苗よりも、葉令の進んだ成苗が良く、育苗形式では植いたみの少ない紙筒苗が良かった¹¹⁵⁾。北海道産米の食味向上には葉令の進んだ苗を植いたみの少ない土付苗様式が良いと考えられる。

つぎに収穫時期と食味特性の関係を検討した。未熟粒はおねば中に溶出するアミロースが完全粒より多く、含水率も高い、アミロース含有率、蛋白含有率も完全粒よりやや高まることが認められた。このようなことから未熟粒は食味特性に対し、負に働いているものと考えられる。食味特性から

みた収穫適期は出穂から40日を過ぎ、未熟粒の少なくなる出穂から45~50日目が良いと判断された。

このようにして生産された北海道産米の食味特性に対しては低温貯蔵の効果が大きく、この効果は翌年の6~9月で顕著であった。したがってこの時に消費されるものを対象とすることが特に有効と考えられた。また精白米は搗精からの日数の経過により食味特性の低下が認められ、常温であれば搗精後25日、低温貯蔵であれば40日以内で消費することが良いと考えられた。

6. 良食味品種の育成

良食味品種の育成は食味に関与する米粒中の成分とその性質を明らかにし、これを簡易、迅速に分析でき得る分析法を確立し、この分析法を育種選抜に活用することが重要と考えられた。

アミロース含有率の広義の遺伝力は比較的高く、個体選抜に効果が期待でき^{30,81)}、本州産米の低アミロースの性質を道内品種に導入できると考えられた。さらに蛋白含有率、アミログラム最高粘度値、テクスチュログラム特性値の遺伝力はアミロース含有率より低い選抜の効果が期待できた⁸⁰⁾。このようなことは食味特性が品種改良で良くできることを示すものであり、効率的な食味特性の選抜スキームの必要性を暗示するものであった。

良食味品種育成のため必要な食味特性の選抜スキームを考案した。この選抜スキームは初期世代で大規模にアミロース含有率、蛋白含有率を分析し、次期世代では幅広く食味特性を知るために熟糊化性、飯の粘り、硬さを分析し選抜する。さらに後期世代では食味試験も含めた総合的食味特性を判定するものである。

この食味特性の選抜スキームの効果は著しく、選抜開始4年後の生産力予備試験の「ゆきひかり」以上の食味特性の系統は選抜開始前の8.6倍となった。したがって、この選抜スキームは良食味品種の育成に有効であると判断された。

食味特性の選抜により北海道中央部地帯の早生から晩生にいたる良質、良食味の優良品種が育成された。すなわち昭和56年「しまひかり」、昭和57年「みちこがね」、昭和58年「ともひかり」、昭和59年「ゆきひかり」が北海道の優良品種に決定され

た 18,20,22,23)。

このようにして育成された道産米品種の食味特性は新潟県産「コシヒカリ」、宮城県産「ササニシキ」には及ばないが滋賀県産「日本晴」と青森県産「アキヒカリ」の間に位置しており、これは1970年代の北海道の主要品種よりはるかに良く、本州産

優良米に近づいていることが認められた。

以上のことから、食味特性の選抜による良食味品種の育成は北海道産米の食味特性を一段階向上し、さらにこれは寒冷地の北海道においても「コシヒカリ」「ササニシキ」のような高度良食味品種の作出が可能なことを示唆するものであった。

本研究は北海道産米の理化学的性質を明らかにし、これを改善するために必要な迅速、少量、簡易な食味成分分析法を確立し、これを用いて良食味品種の育成と良食味のための土壌管理技術、施肥技術、栽培技術などの北海道産米の食味向上のための生産技術について検討したものである。

1. 食味特性の分析方法

1) 食味特性成分として最も重要となるアミロース含有率の分析法は自動分析装置を利用し、100 mgの米粉試料を用いて1点3分間で分析できる連続流れ分析法を確立した。

2) 澱粉含有率、蛋白含有率、脂肪含有率、灰分含有率、老化性の分析方法は近赤外分析装置を用いる方法を検討し、5 gの米粉試料を用いて非破壊で短時間に定量できる方法を確立した。

3) テクスチュロメーターでの飯の測定はおにぎり状での分析をやめ、飯粒3粒としこれに合致する測定条件を選定した。さらに20 g程度の少量試料を用いる均一なすい飯法を確立した。これによってテクスチュロメーターによる飯の硬さ、粘りの測定が可能となった。

4) 古米化の分析方法は鮮度や成分変化などによって判定されていたが、加熱乾燥の普及によって、発芽力や酵素活性が低下し、従来の方法で古米化の判定が困難となってきた。そこで白米に薄いアルカリ溶液を添加し、消費したアルカリ量をpHの変化から測定し古米化を判断する方法を確立した。

5) 米の熱糊化性の測定法はアミログラムを用いて短時間に分析する方法を検討し、1点60分で分析できるように簡略化した。

2. 北海道産米の食味特性値の特徴

1) 北海道産米のアミロース含有率は平均値で22.9%あり、本州産米より3.0%高かった。アミロースのブドウ糖重合度も本州産米より低く、質・量とも異なることが認められた。アミロペクチンは末端基のブドウ糖重合度、分子量のいずれも本

州産米との差が認められなかった。

2) 北海道産米の蛋白含有率は本州産米よりわずかに高く、その変異係数は近畿、関東、北陸の2倍以上であった。この差は果皮、種皮、胚乳の粒心部分で少なく、糊粉層、胚乳の外側部で大きかった。また蛋白質のアミノ酸組成には差が認められなかった。

3) 北海道産米の無機成分は本州産米に比較してリン、マグネシウム、鉄、亜鉛含有率低く、カリ、ナトリウム、カルシウム含有率が高かった。その差はリン、カリ、マグネシウムで大きかった。

4) アミログラム、フォトペーストグラムの結果から米澱粉の糊化開始は北海道産米が本州産米よりも低温ではじまることが認められた。また北海道産米はアミログラム最高粘度が低く、最終粘度の高いことが認められ、熱糊化し難く、糊液はゲル化が進むことを示した。

5) 北海道産米のテクスチャーは本州産米より硬くて粘りの少ない性質を示し、H/-Hの差はきわめて大きかった。したがって北海道産米の食味向上には軟らかく粘る性質を付与する必要性が認められた。

6) 北海道産米はほとんどの可溶性成分で本州産米より多く、特にその差の大きい成分はアミロース、リン、糖であった。

3. 食味特性成分の相互関係

1) アミロース含有率はテクスチュログラムで示される飯の硬さと正、粘りと負の有意な関係のあることが認められた。アミロース含有率とアミログラム最高粘度には $r = -0.789$ ($n = 284$) の相関が認められた。したがってアミロース含有率は米の熱糊化に密接に関係し、飯の物理的性質に対し支配的に働く成分であることが認められた。

2) 蛋白含有率はテクスチュログラムで示される飯の硬さと正、粘りと負の相関が認められた。この関係は蛋白含有率が8.5%以上でより明瞭になった。また蛋白含有率は膨張容積、溶出固形物と正の相関が認められ、その回帰から蛋白含有率が

高まれば膨張容積が急こう配で大きくなることを認めた。

3) 可溶性成分はアミロース含有率、蛋白含有率、アミログラム最高粘度、ブレイクダウンとの間に有意な相関が存在し、これは米の食味と可溶性成分が密接なことを示すものであり、北海道産米の食味向上に留意すべき成分と考えられた。また、可溶性成分は77.5%が炭水化物であり、このうち36%がアミロースであった。

4) 飯の初期老化にはアミロース分子が強く関係し、グルコアミラーゼ法による老化度とアミロース含有率には $r = +0.818$ ($n = 8$) の相関が認められた。

4. 食味特性の栽培、環境変異

1) 土壌型と食味特性の関係をj知るために同一栽培、環境条件下で比較、検討した。土壌型による食味特性は良い方から火山灰土>洪積埴土、沖積埴土≧沖積壤土>泥炭土であった。また土壌間による食味特性の差は土壌のちっ素供給力が主要因とみられた。

2) ちっ素は欠乏状態になるとその産米の食味特性が良くなり、りん酸、カリは欠乏状態になると食味特性が著しく低下した。また食味特性はちっ素、りん酸、カリを過剰に供給しても低下することが明らかになった。

3) 水稻の生育に必要な14種の微量要素の少、多肥試験から、食味特性に強く影響を与える微量要素は認められなかった。

4) 各種有機物の施用による食味特性の向上効果は認められなかった。有機物施用による産米のテクスチュログラム粘りは大きい方から無処理、骨ぶん>魚かす、皮脱じゅう、いかかす>油かす>稲わらの順であった。しかし、りん酸、カリ欠乏土壌では魚かす施用によって食味特性が向上し、食味特性に対する有機物施用効果は土壌の肥沃度に関係することが認められた。

5) 食味特性は登熟温度によって大きく異なりアミロース含有率は登熟期間の温度が高くなると低下する。40日間の積算温度が111℃、日平均2.8℃で1%変動した。また登熟期間の前半は後半の温度より、夜温は昼温よりアミロース含有率をより

強く支配することが認められた。生産地帯、生産年度の食味特性の差は登熟期間の温度がより大きく影響することが明らかになった。

6) 北海道産米における食味特性の変異は品種の遺伝的性質、養分供給状態、登熟期間の温度条件の差違によって大きく分類できた。

5. 食味特性の向上技術

1) 泥炭土水田で生産される産米の食味向上には埴土質土壌の客土が有効であった。このための客土量は収量のために適量である60m³/10aよりはるかに多い120m³/10a以上であった。

2) 有機物施用によって地力を増進しながら食味特性の低下を最小限にとどめるには稲わらの春鋤込をさけ、稲わらを堆肥化して施用するかもしくは秋鋤込法による稲わらの施用が良いことを認められた。

3) 食味特性はちっ素4.0kg/10aの少肥区で最も良く、ちっ素施肥量の増加にしたがって低下し、特にちっ素12kg/10aから16kg/10aでこの傾向が顕著であった。したがって食味特性を向上するためには多肥をさけ低レベルの施肥量が良かった。

4) りん酸、カリの施肥量を変えても食味特性に与える影響は認められなかった。これはりん酸、カリが欠乏状態になると食味特性を著しく低下させるが、生育するのに十分な量があればそれ以上供給しても食味特性を向上させる効果のないことを示した。したがって、りん酸、カリは生育するのに十分な施肥量で良いと考えられた。

5) 食味特性は生育後期にちっ素が切れることが良く、これには側条施肥法、表層施肥法が効果的であった。

6) 復元田で生産される産米の食味特性は劣り、この低下防止にはちっ素施肥量を最少限にすることが有効であった。

7) 食味特性は苗質によっても異なり、アミログラム最高粘度は高い方から成苗、中苗紙筒苗、中苗マット苗、稚苗マット苗の順となった。北海道産米の食味向上には成苗化した苗を植いたみなく移植する方式が良いと考えられた。

8) 食味特性からみた収穫適期は出穂後40日を過ぎ、未熟粒の少なくなる時期が良く、このよう

な時期は出穂後45～50日目が良いと認められた。

9) 北海道産米の低温貯蔵は常温貯蔵より食味特性低下発現し難く、この差は6～9月で顕著となった。籾貯蔵は玄米貯蔵より食味特性がわずかに良かった。また精白米は5℃の低温貯蔵で食味特性が最も安定した。

6. 良食味品種の育成

1) アミロース含有率の広義の遺伝力は比較的高く、個体選抜に効果が期待された。さらに他の食味特性値における遺伝力も比較的高く、食味特性値による育種が可能であることが明らかになった。

2) 食味特性による品種選抜のスキームは初期世代で大規模にアミロース含有率、蛋白含有率を

分析し、次の世代では熟糊化性、飯の粘り、硬さを分析し選抜する。さらに後期世代では食味試験も含めた総合的な判定をするものである。

3) この選抜スキームは良食味品種の育成にきわめて有効で、北海道ではこのスキームを用いて早生から晩生にいたる良質、良食味の優良品種が育成された。

4) 育成された良質、良食味の品種は1970年代の主要品種の食味特性に比較するとはるかに良くなっており、本州優良米に近づいていることが認められた。さらに、このような選抜手法によって北海道のような寒冷地でも「コシヒカリ」「ササニシキ」に近い高度良食味品種の作出の可能性を見出すに至った。

引用文献

- 1) 赤井隆, 高橋正男, 米村賢一(1971), 北海道産米における清酒醸造試験(第4報) 玄米および白米の無機成分について, 日本醸造協会雑誌, 67(3), P237~241
- 2) 新井利直, 佐々木忠雄, 稲津脩(1983), 近赤外分析法による米粒成分の測定, 育種・作物学会北海道談話会報, 23, P16
- 3) 東正昭, 榊淵欽也, 伊藤隆二(1974), 高蛋白米品種の育種に関する基礎的研究, 玄米蛋白含有率の品種間差異および諸形質, とくに収量との関係について, 育種, 24, P88-96
- 4) F. L. Bates, D. French, R. E. Rundle (1943), Amylose and Amylopectin Content of Starches Determined by their Iodine Complex Formation, J. Am. chem. Soc., 65, P142
- 5) Friedman, H. H., J. E. Whitney and A. S. Szczemiak (1963), The Texturometer - A new instrument for objective Textural measurement, Jowr. Food Sci., 28, P390~396
- 6) Hart, J. R. Norris, K. H. and Golombic C. (1962), Determination of moisture Content of seed by NIR spectrophotometry of their methanol extracts, Cereal Chem, 39(2)P94~99
- 7) 旗手勲(1978)米を語る日本の歴史, 株式会社そしえて, P12~50
- 8) 檜作進, 二國二郎(1957), X線ディフラクトメーターによる澱粉の研究(2)“C”-図型の微結晶構造について, 農化31, P525~527
- 9) 檜作進(1969), 澱粉の糊化と老化(上), 食品工業1下, P83~88
- 10) 檜作進(1969), 澱粉の糊化と老化(下), 食品工業2下, P89~98
- 11) 檜作進, 外山忠男, 二國二郎(1971), 電流滴定によるでんぷんの糊化度の測定と応用, 澱粉工業学会誌18~4, P16~21
- 12) 檜作進, 伊藤恵子, 前田巖, 二國二郎(1972), でんぷん糊の老化の温度依存性, 澱粉科学19, P70
- 13) 北海道農業試験場, 北海道立農業試験場(1952), 北海道農業技術研究50年, P17~18
- 14) 北海道農業試験場農芸化学部泥炭地研究室(1960), 泥炭地水田における客土について, 昭和35年度試験成績会議資料, P8~13
- 15) 北海道農業試験場編(1967), 北海道農業技術史, 財団法人北農会, P78~81
- 16) 北海道農務部(1975), 昭和50年普及奨励ならびに指導参考事項, 泥炭地に対する客土の米質向上効果, P167~176
- 17) 北海道試験会議(1981), 土壌および作物栄養の診断基準, P2
- 18) 北海道農務部(1981), 昭和56年普及奨励ならびに指導参考事項, 奨励品種水稲「しまひかり」(系統番号渡育214号), P3~11
- 19) 北海道立中央農業試験場(1982), 北海道農業の現状と将来一試験研究からの展望一, 北海道立農業試験場資料第14号, P1-21
- 20) 北海道農務部(1982), 昭和57年普及奨励ならびに指導参考事項, 奨励品種水稲「みちこかね」(系統番号空育110号), P3~7
- 21) 北海道農業試験場研究機関創立80周年記念行事協賛会(1983), 北海道農業技術研究史1966~1980, P33~79, 211~218, 349~355, 384~400
- 22) 北海道農務部(1983), 昭和58年普及奨励ならびに指導参考事項, 奨励品種水稲「ともひかり」(系統番号空育111号), P1~6
- 23) 北海道農務部(1984), 昭和59年普及奨励ならびに指導参考事項, 奨励品種水稲「ゆきひかり」(系統番号空育114号), P1~6
- 24) 稲津脩, 渡辺公吉(1969), 空知地方の泥炭質土壌水田における土壌生産力の推移, 北農36-5, P31~38
- 25) 稲津脩, 渡辺公吉, 今野一男(1972), 水稲の登熟過程における米テンブンの性状変化について, 北農39-9, P58~68
- 26) 稲津脩, 渡辺公吉, 前田巖, 伊藤恵子, 長

内俊一(1974), 北海道産米の品種改善に関する研究(第一報)米澱粉アミロース含有率の差異, 澱粉科学21-2, P115~119

27) 稲津脩, 今野一男, 渡辺公吉(1976), 北海道産米の品種解析とその改善技術に関する研究, 日土肥講演要旨集23, 北海道支部会, P17

28) 稲津脩(1977), Varietyに富んだ米飯へのアプローチ, 日本澱粉学会北海道支部記念誌, P35~37

29) 稲津脩, 渡辺公吉, 今野一男, 森毅彦(1978), 泥炭地水田に対する客土の米質向上効果, 道農試集報39, P1~11

30) 稲津脩(1979), 北海道産米の品質改善に関する研究, 澱粉科学26(3), P191~197

31) 稲津脩(1982), 米の食味検定, 米の食味の理科学性, 北海道立農業試験場資料第15号, P49~64

32) 稲津脩, 佐々木忠雄, 新井利直(1982), お米の味—その科学と技術—, 北農研究シリーズVIII, 財団法人北農会, P10~12, 30~31

33) 稲津脩, 新井利直(1983), 育種, 栽培法における近赤外分光法の利用と今後の課題, 食品工業10下, P36~39

34) 石塚喜明, 田中明(1986), 水稻の栄養生理, 養賢堂, P1~364

35) 石間紀男, 平宏和, 平春枝, 御子柴穆, 吉川誠次(1972), 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響, 食糧研究所研究報告29, P9~15

36) 伊藤恵子, 前田巖, 稲津脩, 檜作進, 二國二郎(1973), でんぷんの老化に関する研究(第2報)米でんぷんの老化について, 昭和48年度日本澱粉学会大会研究発表講演要旨集, P14

37) 岩見沢(1963), 岩見沢市史—稲作—, 岩見沢市役所, P883~896

38) 岩元睦夫(1980), 近赤外分光法による食品成分の非破壊測定, 日本食品工業学会誌, 27-9, P46~54

39) Juliano, B.O. (1971), A Simplified Assay for Milled Rice Amylose, Cereal Science Today 16(10), P334~338, 340, 360

40) 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一

(1981), β -アミラーゼ, プルラナーゼ(BAP)系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法, 澱粉科学28(4), P235~240

41) 鎌田賢一(1983), 北海道の農耕地における重金属問題に関する研究, 北海道農業試験場報告第44号, P16~27

42) 片倉健二, 畑中千歳(1959), 酒造好適米の化学的成分について, 精白度と無機成分との関係, 日本醸造協会雑誌67(3), P237~241

43) 川崎健, 成田勝江(1976), 粳の雪中貯蔵法に関する試験, 北農43(10), P1~13

44) 小林恒夫, 吉田恵一(1960), 電流滴定法による澱粉のヨード親和力の測定(第2報)測定条件の検討及び各種測定法の比較, 澱粉工誌8, P48

45) 今野一男, 渡辺公吉, 稲津脩(1984), 空知地方の水田土壌生産力の推移—そのII, 北農51(3), P15~33

46) 今野一男, 渡辺公吉, 稲津脩(1984), 中苗機械移植水稻に対する窒素施肥(第2報)幼穂形成期以降の追肥の役割, 北海道立農試集報51, P33~42

47) 小山八十八, 渡辺公吉, 稲津脩, 今野一男(1971), 北海道産米に対する米質検定方法の適用について, 北農38(5), P10~41

48) 久保彰治(1959), 日本産米の無機成分含量の概観(第1報)硬質と軟質米の無機成分の対比, 食糧研究所研究報告14, P83~85

49) 久保彰治(1959), 硬質と軟質米の無機成分含量の概観(第2報)無機成分含量の地域的偏差と成分間の相関, 食糧研究所研究報告15, P86~90

50) 久保彰治(1959), 兵庫県産米の無機成分による考察, 食糧研究所研究報告14, P91~94

51) 熊沢喜久雄(1972), 植物生理学講座5, 物質の交換と輸送, 朝倉書店, P254~272

52) 熊谷知栄子, 萩原康成, 山本徳雄, 秋山裕一(1978), 酒米原料白米の新古の簡易判定法, 日本醸造協会雑誌73(9), P733~736

53) 倉沢文夫, 伊賀上郁夫, 早川利郎(1962), 新潟産水稻粳米の食味に関する研究(第7報)米飯の食味, 米飯の粘着度, 炊飯後溶出液のデンプン-ヨウ素呈色度との間の相関分析, 栄養と食糧16(3), P30~35

- 54) 倉沢文夫(1969), コメの味(I), 遺伝23(8), P73~78
- 55) 倉沢文夫(1969), コメの味(II), 遺伝23(12), P41~48
- 56) 倉沢文夫, 金内喜昭, 鈴木真次郎, 竹田篤永, 早川利郎, 伊賀上郁夫(1972), 新潟産水稲粳米の食味特性に関する研究, 14. 米飯の食味特性と米デンプンの物理化学的性質, 新潟大学農学部新潟農林研究24, P93~101
- 57) 倉沢文夫, 伊賀上郁夫, 早川利郎(1980), 粳米の食味(特に粘り)に関する研究(第4報), 白米のデンプン・ヨード青色試験による鑑識法, 栄養と食糧15(2), P390~396
- 58) 前田要(1983), 北海道の強粘質水田の理工学特性と排水不良対策に関する研究, 北海道立農業試験場報告42, P1~3
- 59) 満田久輝, 河合文雄, 山本愛二郎, 木村芳子(1971), 貯蔵中の米の品質変化, 穀類の水貯蔵に関する研究(第4報), 栄養と食糧24(4), P216~226
- 60) 松島省三(1959), 稲作の理論と技術, 養賢堂
- 61) McCready, R. M. and Hassid, W. J. (1943), The Separation and Quantitative Estimation of Amylose and Amylopectin in Potato Starch, J. Am. Chem. Soc., 65, P1154
- 62) 南松雄, 土居晃郎(1971), 北海道産米の品質に関する物理化学的研究(第1報), 米の食味特性値と栽培環境要因との関係, 北海道立農試集報24, P43~55
- 63) 南松雄, 土居晃郎(1973), 北海道産米の品質に関する物理化学的研究(第2報), 米の食味特性と蛋白質との関係, 北海道立農試集報26, P49~58
- 64) 南松雄(1976), 水田地力の現状と有機物施用の意義, 北農43(1), P3~17
- 65) 宮松一夫, 寺島利夫(1969), 米の品質におよぼす土壌ならびに施肥の影響(第1報) 土壌条件の影響, 福井県農試報告6, P1~10
- 66) 宮松一夫, 寺島利夫(1970), 米の品質におよぼす土壌ならびに施肥の影響(第2報) 施肥量とぼす土壌ならびに施肥の影響(第2報) 施肥量と施肥改善の影響, 福井県農試報告7, P1~13
- 67) 宮森康雄, 渡辺公吉, 堀潤一, 大垣昭一, (1983), 輪換田の土壌特性実態調査, 土肥学会講演要旨集, P242
- 68) 水野直治, 南松雄(1980)硫酸一過酸化水素による農作物中N, K, Mg, Ca, Fe, Mnの定量のための迅速前処理法, 土肥学会誌51(5), P418~420
- 69) 村山登, 吉野実(1961), 土壌肥料講座1, 朝倉書店, P118~140
- 70) 中村道徳(1974), 澱粉雑記I, II, 澱粉科学21(1), 22(3), P81~106, 230~254
- 71) 日本農業気象学会北海道支部(1982), 北海道の農業気象, ニューカントリー編集部, P22~23
- 72) 二國二郎(1967), 澱粉粒の構造と特性, 澱粉科学14(1), P1~8
- 73) 二國二郎(1977), 澱粉科学ハンドブック, 朝倉書店, P170~173
- 74) 農林省食糧研究所(1969), 米の品質と貯蔵利用, 食糧技術普及シリーズ第7号, P15~44
- 75) 農林統計協会(1979), 農業白書, 農林統計協会, P30~31
- 76) Norris, K. H. and Butler, W. L. (1961), Techniques for Obtaining Absorption Spectra on Intact Biological Samples, IRE Trans. BioMed Electron. 8(3), P153~157
- 77) 岡部元雄(1971), 米飯の食味に関する研究—そのI—, New Food Industry19(4), P333~341
- 78) 奥野員敏, 不破英次, 矢野昌裕(1983), イネ胚乳澱粉のアミロース含有率を減少させる突然変異遺伝子, 日本育種学会誌33(4), P387~394
- 79) 酒匂常明(1887), 北海道米作論(復刻, 明治農書全集第一巻稲作), 農山漁村文化協会, P259~314
- 80) 佐々木忠雄, 長内俊一, 稲津脩, 江部康成(1977), 北海道水稲品種の理化学的食味形質についての育種的一考察, 北海道立農業試験場集報37 P1~9
- 81) 佐々木忠雄, 新井利直, 稲津脩(1980), 水

稲品種系統ならびに雑種集団におけるアミロース含有率の変異と選抜上の知見, 北海道立農業試験場集報44, P72~78

82) 佐藤静一(1944), 米および澱粉に関する研究, 大雅堂

83) 佐藤勝志(1985), 昭和59年産米水陸稲の収穫量, 食糧管理月報37(3), P27~40

84) 沢田徳蔵(1969), うまい米, 社団法人・家の光協会, P99~100, P103

85) 瀬戸良一, 岡部勇(1963), 北海道産米に関する研究(第2報) 土壌条件, 肥料条件が異なる米の理化学性について, 北農30(1), P5~8

86) 志賀一(1969), 北海道農業と土壌肥料・水田土壌改良と地力増強, 北農研究シリーズIII, P258~270

87) 志賀一(1976), 土づくりのすべて・稲ワラの施用, 北海道協同組合通信社刊, P167~175

88) 鈴木繁男, 中村道徳(1979), 澱粉科学実験法, 朝倉書店, P32, 170~173

89) 田所哲太郎(1929, 1931, 1932), 米の研究, 1, 2, 3 輯, 東京成美堂

90) 平宏和, 平春枝(1972), 北海道水稲うるち玄米のタンパク質含量, 日作紀41(1), P44~50

91) 高橋静枝, 木原芳次郎(1958), 馬鈴薯澱粉の流動学的研究(第3報) 馬鈴薯澱粉に及ぼす金属イオンの影響, 農化32, P243~250

92) 高橋正男, 赤井隆, 西川久雄(1972), 北海道産米における清酒醸造試験(第4報) 玄米および白米の無機成分について, 日本醸造協会雑誌67(3), P237~241

93) 竹田千重乃, 檜作進(1974), 各種でんぶんの熱糊化の特徴, 農化48, P663

94) 滝基次(1959), 澱粉のクロマトグラフィーに関する研究(第2報) 澱粉のペーパークロマトグラフィーの定量化, 農化33, P218~220

95) 滝基次(1969), 澱粉のクロマトグラフィーに関する研究, 熟期別米粒澱粉のアミロース含有量について, 農化33(9), P778~781

96) 田中正武(1975), 栽培植物の起原, 日本放送出版協会, P103~119

97) 谷達雄, 竹生新治郎, 岩崎哲也(1964), 低温貯蔵法における米の化学的品質の変化(そのI),

栄養と食糧16, P436~441

98) 谷達雄, 竹生新治郎, 岩崎哲也(1965), 低温貯蔵法における米の化学的品質の変化(そのII), 栄養と食糧18, P204~209

99) 谷達雄, 吉川誠次, 竹生新治郎, 堀内久弥, 遠藤勲, 柳瀬肇(1969), 米の食味評価に関係する理化学的要因(I), 栄養と食糧22(7), P452~461

100) T. J. Schoch (1942), Fractionation of Starch by Selective Precipitation With Butanol, J. Am. Chem. Soc., 64, P2957

101) 茶村修吾, 川瀬金次郎, 横山栄造, 本多康邦(1972), 米の食味と土壌型との関係(第1報) 土壌型とその化学的性質が水稻の生育, 食味に及ぼす影響, 日作紀41, P27~31

102) 竹生新治郎(1971), コメの味, 食の化学1, P79~86

103) 竹生新治郎(1964), 食糧その化学と技術, 米飯の物理的性質, 食糧研究所, 7, P22

104) 竹生新治郎, 柳瀬肇, 遠藤勲, 菊地三千雄, 谷達雄(1966), 1時貯留における生モミの乾燥程度と貯蔵性, 日作紀34, P472

105) 竹生新治郎, 渡辺正造, 杉本貞三, 酒井藤敏, 谷口嘉廣(1983), 米の食味と理化学的性質の関連, 澱粉科学30(4), P333~341

106) 茅野三男(1974), 米づくりのすべて, 最新北海道の稲作, 北海道協同組合通信社, P31~59

107) 茅野三男(1978), 北海道米の品質とその改良, 北農会, P43~44

108) 富岡悦郎, 音羽道三, 渡辺公吉, 稲津脩, 今野一男(1976), 泥炭地における精密土壌調査の一例~道立中央農試稲作部圃場の土壌~, 北農43(9), P17~29

109) 外山忠男, 檜作進, 二國二郎(1966), グルコアミラーゼによる澱粉の α 化度の測定法について, 澱粉工誌13(3), P1~7

110) 中央農試稲作部栽培第1科(1973), 牧草跡の水田復元に関する試験, 昭和58年度北海道農業試験会議資料

111) 中央農試稲作部栽培第1科(1983), 良質米生産のための施肥技術組み立て試験, 土壌肥料に関する試験成績書第17号, P38~71

112) 中央農試稲作部栽培第一科(1984), 復元田

における土壌別稲作の安定と良質確保対策試験、
土壌肥料に関する試験成績書第18号

113) 和田定, 佐々木忠雄(1984), 北海道における最近の水稲品種の推移と問題点, 農業および園芸59(3), P 387~395

114) 渡辺長男, 長谷幸(1958), 食品中の澱粉糊化度簡易測定法について(第1報) 菓子類の澱粉 α 化度測定法の検討, 澱粉工誌5, P 110

115) 渡辺公吉, 今野一男, 稲津脩, 佐々木幸男(1981), ちっ素施肥反応からみた水稲紙筒移植栽培法の特質について, 北農48(2), P 1~15

116) 渡部忠世(1983), アジア稲作の系譜, 法政大学出版局, P 15~60

117) 矢木敏博, 鈴木実, 下村司, 吉岡真一(1973), 品種, 栽培法を異にする馬鈴薯澱粉の灰分について(第1報) 馬鈴薯品種生産力検定試験試料による品種, 産地の比較, 澱粉科学20(2), P 51~58

118) 山下鏡一, 藤本堯夫(1974), 肥料と米の品質に関する研究, 1. 肥料が米のデンプンの理化学的性質に及ぼす影響, 東北農試研究報告48, P 55~63

119) 山下鏡一, 藤本堯夫(1974), 肥料と米の品

質に関する研究, 2. 窒素肥料が米の食味, 炊飯特性, デンプンの理化学的性質等に及ぼす影響, 東北農試研究報告48, P 65~79

120) 山下鏡一, 藤本堯夫(1974), 肥料と米の品質に関する研究, 3. リン酸と加里が米の食味, 炊飯特性, デンプンの理化学的性質等に及ぼす影響, 東北農試研究報告48, P 81~90

121) 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との関係, 東北農試研究報告48, P 91~96

122) 山下太郎(1968), 食品のでんぷん α 化度の測定法, 調理科学1(1), P 31~33

123) Z. NiKuni, S. HizuKuri, K. Kumagai, H. Hasegawa, T. MoriwaKi, T. FuKui, K. Doi, S. Nara and I. Maeda (1969), The Effect of Temperature during the Maturation period on the physicochemical Properties of Potato and Rice Starches, Mem. Inst. Sci. Ind. Res. Osaka Univ., 26, P 13

Studies on Improving the Eating Quality of Hokkaido Rice.

by

Osamu INATSU

Summary

The present study was undertaken to investigate techniques to improve the eating quality of rice produced in Hokkaido. This study utilized the following processes :

- (A) Establishment of a method to analyze the components concerned with eating quality.
- (B) Analysis of the components of Hokkaido rice with regard to eating quality and its characteristics.
- (C) Analysis of the variation in the eating quality of rice grown under various environmental conditions.
- (D) Establishment of a new culture technique and breeding method to improve the taste quality of rice.

1. Analysis Method of Eating Quality

Analysis method of eating quality determining the chemical composition and physical characteristics of rice. The development of near-infrared reflectance and auto analyzer instruments has made it possible to easily measure protein, oil, ash, moisture and amylose in rice. These developments have increased the number of genotypes that can be screened in all generations of breeding period.

- a) Use of an Auto Analyzer enables researchers to determine the amylose concentration in 3 minutes using 100 mg of rice flour.
- b) Starch, protein, oil and ash concentration can be determined in a short time by the NIR (Near-infrared Reflectance) method.
- c) Hardness and adhesiveness of cooked rice can be determined by a Texturometer using 3 cooked rice grains.
- d) Analysis of heat gelatinization property can be simplified to 60 minutes by using a Brabender Amylograph.

2. Analysis of the Eating Quality Characteristics Hokkaido Rice.

- a) Cultivars currently being grown in Hokkaido have approximately 22.9% rice amylose which is higher than Honshu rice by 3%. However, there was a wide range, and about 40% have an amylose percentage higher than 23%.
- b) The protein concentration of Hokkaido rice was slightly higher than Honshu rice.

The coefficient of variation in the protein concentration in Hokkaido rice was greater than in Kinki, Kanto and Hokuriku rice.

c) Hokkaido rice contains less phosphorous acid, magnesium, iron and zinc than Honshu rice, but more potassium, sodium and calcium than Honshu rice.

d) The gelatinization temperature of Hokkaido rice starch was lower than that of Honshu rice starch. Hokkaido rice had lower amylogram maximum viscosity and higher final viscosity when compared with Honshu rice.

e) Cooked Hokkaido rice was firmer and less adhesive than Honshu rice.

Improvement of texture was considered to be an important component in growing good eating quality rice in Hokkaido.

3. Relationship among Physicochemical Properties of Rice.

a) The amylose concentration had considerable influence upon heat gelatinization properties and the texture of cooked rice.

b) There was a positive correlation between the firmness of a cooked rice grain and the protein concentration. The adhesiveness of a cooked rice grain was negatively correlated with protein concentration. This correlation was more evident among rice which contained over 8.5% protein.

c) There was a significant correlation between the amylose concentration and the degree of retrogression of cooked rice.

4. Effect of Cultural and Environmental Conditions on the Eating Quality of Rice.

a) The best eating quality rice was produced in volcanic ash soil; diluvial soil, alluvial soil and peat soil respectively.

b) Nitrogen deficient paddy fields produced good taste quality rice, but rice produced in phosphoric acid or potassium deficient fields was not good. The eating quality of rice grown in nitrogen, phosphoric acid and potassium rich soil was also not good. The 14 essential micro-elements to rice plants had no significant effect on the eating quality.

c) The eating quality of rice grown with organic fertilizer was inferior to that of rice without.

d) The ripening temperature had significant effect on the eating quality. High temperature of night time especially more effective in producing good eating quality rice. Amylose concentration decreases by about 1% as the average daily mean temperature rises by 2.3°C during the ripening period.

5. The Technique to produce Good Eating Quality Rice.

a) Soil dressing with more than 100m³ of soil/10a was effective in improving the eating quality of rice growing on peat soil.

b) To produce good eating quality rice, a low nitrogen level was more desirable than a high level. Nitrogen restriction on the latter period of growth was effective in producing eating quality rice, and a side dressing or top dressing was desirable for this purpose.

c) Character of seedlings also had an effect on the eating quality of rice. Mature seedlings were best, while middle-aged and young seedlings followed. In order to improve the eating quality of Hokkaido rice, transplanting mature seedlings in culture without root damage would be desirable.

d) The best time for harvesting was when the number of immature grains was low. This stage was considered to be 45-50 days after heading.

e) Low temperature storage of Hokkaido grown rice was effective in preserving the quality when stored from June to September. Unhulled rice storage was more effective than brown rice storage.

6. Breeding Method of Good Eating Quality Rice.

a) Amylose level is based on a character of each varieties, so a pedigree method is considered to be the best method for breeding of rice varieties with a low amylose concentration.

b) The breeding program for a selection of good eating quality rice was :

(1) Selection by low amylose and low protein concentration in the stage from the F₃ , F₄ and F₅ generations.

(2) Selection by the heat gelatinization property and the texture of cooked rice in the stage from the F₅, F₆ and F₇ generations.

This program was effective for the breeding of good eating quality rice.

c) The rice varieties raised using this program were superior in eating quality compared to older varieties.