

# 北海道立農業試験場報告

第 127 号

---

北海道米の澱粉分子構造に及ぼす登熟温度の影響と  
新食味評価法に関する研究

---

平成22年3月

北海道立上川農業試験場

# 北海道米の澱粉分子構造に及ぼす登熟温度の影響と 新食味評価法に関する研究\*

北海道職員 博士(農学) 五十嵐 俊成\*\*

## 目次

第1章 緒論	1
第1節 米の消費形態の多様化と実需者が求める品質	1
第2節 良食味育種における選抜評価の現状	1
1. 粳米品種	1
2. 糯米品種	2
第3節 北海道米の品質向上における澱粉科学の意義	3
第4節 本研究の目的と概要	4
第2章 登熟温度および枝梗着生位置とアミロース含量の関係	5
第1節 緒言	5
第2節 実験材料および方法	5
第1項 供試品種の栽培条件および登熟温度処理条件	5
第2項 アミロース含量の分析方法	5
第3項 枝梗の着生位置の分別および品質調査法	6
第4項 統計処理方法	6
第3節 実験結果	6
第1項 年次, 移植時期, 苗の種類がアミロース含量に及ぼす影響	6
第2項 移植苗の葉齢, 出穂日, 登熟期間とアミロース含量の関係	7
第3項 枝梗着生位置がアミロース含量に及ぼす影響	8
第4節 考察	10
第1項 年次, 移植時期, 苗の種類がアミロース含量に及ぼす影響	10
第2項 移植苗の葉齢, 出穂期, 登熟期間とアミロース含量の関係	10
第3項 枝梗着生位置がアミロース含量に及ぼす影響	11
第3章 北海道米澱粉の分子構造と性質	12
第1節 緒言	12
第2節 実験材料および方法	12
第1項 供試品種	12

第2項	試料の調製方法	12
第3項	物理化学的特性の測定	13
第4項	澱粉の化学的特性分析	13
第5項	アミロースおよびアミロペクチン単位鎖長分布の測定	13
第3節	実験結果	13
第1項	澱粉の熱糊化特性の解析	13
第2項	ヨウ素親和力とアミロース含量	14
第3項	アミロースの性質と分子構造	15
第4項	アミロペクチンの性質と分子構造	16
第5項	X線回折による澱粉の結晶構造の解析	17
第4節	考察	18
第4章	登熟温度が米のアミロペクチン単位鎖長分布とLC含量に及ぼす影響	20
第1節	緒言	20
第2節	実験材料および方法	20
第1項	実験材料	20
第2項	アミロペクチン単位鎖長分布の分析	20
第3節	実験結果	21
第1項	登熟温度が澱粉の単位鎖長分布に及ぼす影響	21
第2項	登熟期間温度がアミロペクチンの単位鎖長分布とLC含量に及ぼす影響	21
第3項	アミロペクチンLC含量の登熟期間温度に対する品種反応	22
第4項	アミロース含量およびアミロペクチンLC含量に対する登熟期間温度と品種の寄与度	23
第4節	考察	25
第5章	米澱粉のヨウ素吸収曲線による新食味評価法	27
第1節	緒言	27
第2節	実験材料および方法	27
第1項	アミロース含量およびヨウ素吸収曲線の測定法	27
第2項	アミロースの分子量が最大吸収波長に及ぼす影響	28
第3項	アミロース濃度がヨウ素吸収曲線に及ぼす影響	28
第4項	多波長測定によるアミロース含量の推定精度	28
第5項	登熟期間温度がヨウ素吸収曲線および熱糊化性に及ぼす影響	28
第6項	熱糊化性の測定と簡易な老化性指標の推定	28
第3節	実験結果	29
第1項	最大吸収波長に及ぼすアミロース分子量およびアミロペクチン濃度の影響	29
第2項	多波長測定によるアミロース含量の測定精度の向上	29
第3項	登熟期間温度がアミロース含量, ヨウ素吸収曲線特性値およびRVA熱糊化特性に及ぼす影響	31
第4項	老化性指標 (RI) の簡便推定法の検討	31

第4節 考察.....	32
第6章 アミロペクチン単位鎖長分布による餅硬化性の評価 .....	35
第1節 緒言.....	35
第2節 実験材料および方法.....	35
第1項 供試品種 .....	35
第2項 餅生地のだれ具合の測定法 .....	36
第3項 アミロペクチン単位鎖長分布の分析法 .....	36
第4項 餅生地の調製 .....	36
第5項 硬化性の測定法 .....	36
第6項 RVAによる熱糊化性の測定法 .....	36
第7項 糯玄米1粒によるアミロペクチン単位鎖長分布の分析 .....	36
第3節 実験結果.....	36
第1項 餅生地の硬化性とアミロペクチン単位鎖長分布 .....	36
第2項 硬化性が異なる品種のアミロペクチン単位鎖長分布 .....	37
第3項 アミロペクチン単位鎖長分布と硬化速度およびRVAの糊化開始温度との関係 .....	38
第4項 糯玄米1粒によるアミロペクチン単位鎖長分布の分析の解析 .....	39
第5項 アミロペクチン単位鎖長分布による餅硬化性の評価 .....	39
第4節 考察.....	40
第7章 登熟期間温度と窒素施肥量が糯米のアミロペクチン .....	43
単位鎖長分布に及ぼす影響 .....	43
第1節 緒言.....	43
第2節 実験材料および方法.....	43
第1項 実験材料 .....	43
第2項 アミロペクチン単位鎖長分布の分析 .....	43
第3項 RVA による熱糊化性の測定 .....	43
第4項 近赤外分光法によるタンパク質含量の測定 .....	43
第3節 実験結果.....	43
第1項 アミロペクチン単位鎖長分布に及ぼす登熟期間温度と窒素施肥量の影響 .....	43
第2項 澱粉のRVA熱糊化特性 .....	45
第4節 考察.....	47
第8章 総合考察 .....	49
第1節 登熟温度および枝梗着生位置とアミロース含量の関係 .....	49
第2節 北海道米の澱粉の分子構造と性質.....	50
第3節 登熟温度が米のアミロペクチン単位鎖長分布とLC含量に及ぼす影響.....	51
第4節 米澱粉のヨウ素吸収曲線による新食味評価法.....	51

第5節 アミロペクチン単位鎖長分布による餅硬化性の評価.....	52
第9章 要約 .....	54
1. 登熟温度および枝梗着生位置とアミロース含量の関係 .....	54
2. 北海道米澱粉の分子構造と性質 .....	54
3. 登熟期間温度が米のアミロペクチン単位鎖長分布とLC 含量に及ぼす影響 .....	54
4. 米澱粉のヨウ素吸収曲線による新食味評価法 .....	55
5. アミロペクチン単位鎖長分布による餅硬化性の評価 .....	55
6. 登熟期間温度と窒素施肥量が糯米のアミロペクチン単位鎖長分布に及ぼす影響 .....	55
7. 結論 .....	56
Summary .....	57

謝辞

引用文献

\* 北海道大学審査学位論文

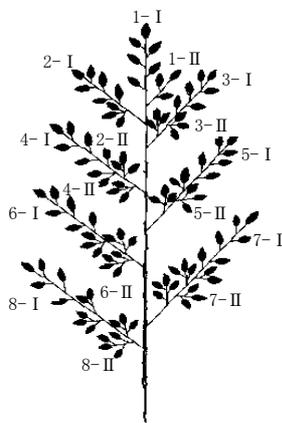
\*\* 北海道立上川農業試験場 (078-0397 上川郡比布町南1線5号)

「用語の説明」と「略語」

1. 水稻栽培

**成苗**：移植時の苗の葉数が3.6枚以上の苗  
**中苗**：移植時の苗の葉数が3.1~3.5枚以内の苗  
**出穂日**：水稻の止葉葉鞘から穂が出現した日  
**出穂期**：群落全体の50%の穂が出穂した日  
**登熟温度**：北海道における水稻の登熟日数(出穂から成熟に至までの日数)は概ね45日から50日であり、出穂後40日間の日平均気温の積算温度を登熟温度とし品質研究の指標として用いられている。  
**登熟期間温度**：人工気象室において出穂後から収穫までの設定温度

枝梗着生位置を下に示した。

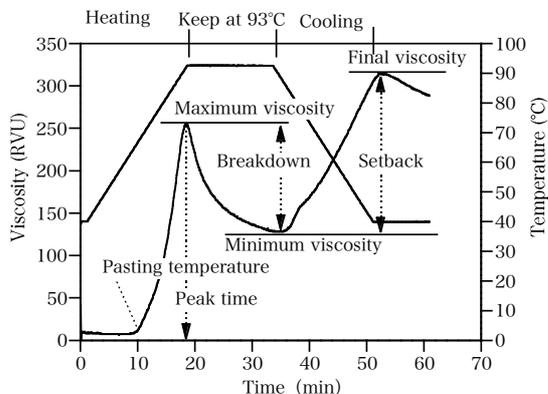


**一次枝梗**：水稻の穂は数本の分岐した枝梗から構成されており、主稈から直接分岐している枝梗を一次枝梗という。  
**二次枝梗**：一次枝梗に結合している枝梗を二次枝梗という。

The location of grains.  
 I: Primary branches. II: Secondary branches.  
 Minor alterations to the original figure of Matsushima and Manaka (1956).

2. ラピッド・ビスコ・アナライザー (RVA)

ラピッド・ビスコ・アナライザー (RVA) による粘度曲線と特性値を次に示した。



Viscosity profile of rice starch slurry on Rapid Visco Analyzer (RVA).

**糊化開始温度 (Pasting temperature)**：澱粉粒が膨潤し粘性を示す温度

**最高粘度 (Maximum viscosity)**：澱粉粒が最大限吸水し粘度が最高に達した時の粘度

**最低粘度 (Minimum viscosity)**：澱粉粒が崩壊し粘度が最低に達した時の粘度

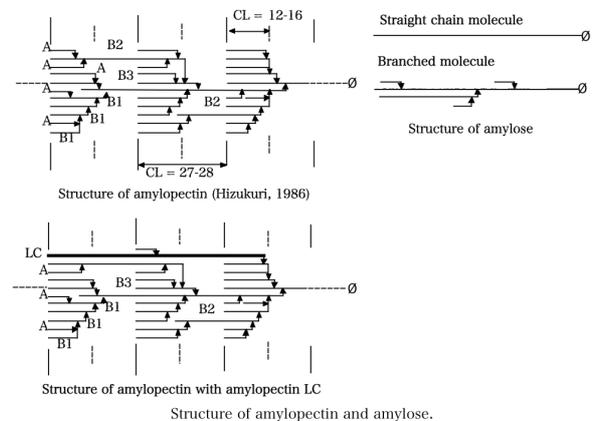
**最終粘度 (Final viscosity)**：冷却後、粘度が最高に達した時の粘度

**ブレイクダウン (Breakdown)**：最高粘度-最低粘度

**セットバック (Setback)**：最終粘度-最低粘度

3. 澱粉の構造

アミロースおよびアミロペクチンクラスターモデルを次に示した。



**単位鎖**：α-1,4-結合のみで連結したグルコース残基からなる糖鎖

**主鎖と側鎖**：還元性末端基 (φ) をもつ単位鎖を主鎖、主鎖または他の単位鎖に結合している単位鎖を側鎖という。

**A, B, C鎖**：構成グルコース残基の6位に他の単位鎖を結合しない単位鎖をA鎖、結合する単位鎖をB鎖、C鎖は還元末端基を有する単位鎖

**鎖長**：単位鎖を構成するグルコース残基の数 (重合度)

**β-アミラーゼ分解限度**：β-アミラーゼで極限まで分解したときの分解率 (%). この値が大きいほど非還元末端から分岐結合までの直鎖部分が長い。

**ヨウ素結合量**：α-1,4-グルカンがグルコース6残基で1巻きするらせん状になり、その中心にヨウ素分子を包接する。ヨウ素結合量は100 gの澱粉が包接するヨウ素のg数で表す。

**ヨウ素吸収曲線**：澱粉溶液をヨウ素染色したときの吸光度曲線。最大吸収波長をλmaxで示す。直鎖部分が長いほど、長波長側にシフトする。

**重合度 (degree of polymerization)**：DP; 1分子のアミロースあるいはアミロペクチンに結合しているグルコース数

数平均重合度 (number average degree of polymerization) :

DPn

平均鎖長 (chain length) : CL

アミロペクチンLC : アミロペクチンの側鎖でアミロース様に長い鎖

アミロペクチン長鎖画分 : アミロペクチンB2鎖とB3鎖. なお, B2, B3はB鎖の跨がるクラスター数が2ないし3のこと.

アミロペクチン短鎖画分 : アミロペクチンA鎖とB1鎖

アミロース含量 : アミロースの含量のこと. 含量はアミロースがヨウ素と結合し青色に呈色することからその呈色度を測定し定量される. 最近, アミロース様の長い側鎖がアミロペクチンに存在することが明らかになり, この側鎖もヨウ素と結合するためにアミロースとして定量される. 従って澱粉をヨウ素呈色法で測定して求めたアミロース含量は, アミロースとアミロペクチンの長い側鎖を合わせた含量であり, 「見かけのアミロース含量」である.

真のアミロース含量 : アミロースとアミロペクチンに分別し, それぞれのヨウ素結合量に基づいて次式により真のアミロース含量が求められる.

真のアミロース含量 (%) = (澱粉のヨウ素結合量 - 精製アミロペクチンのヨウ素結合量) / (精製アミロースのヨウ素結合量 - 精製アミロペクチンのヨウ素結合量) × 100

なお, 第4章においてイソアミラーゼで枝切りした澱粉とアミロペクチンのゲルろ過クロマトグラフィーを行い, アミロースに相当する画分の全糖に占める割合を求め, 澱粉とアミロペクチンの溶出画分の差を便宜的に真のアミロース含量とした.

#### 4. 澱粉の生合成

澱粉の生合成に関与する酵素は, 少なくとも4種である. 澱粉生合成の前駆体であるADP-グルコースを供給するADP-glucose pyrophosphorylase (AGPase; EC 2.7.7.27), ADP-グルコースのグルコースをグルカン鎖の非還元末端基に転移してグルコースポリマーを生成するstarch synthase (EC 2.4.1.12), ならびにアミロース様分子の $\alpha$ -1,4結合を切断し $\alpha$ -1,6結合で転移して, アミロペクチンを生成するstarch branching enzyme (EC 2.4.1.18). さらに, debranching enzyme (isoamylaseとpullulanase)が知られており, phosphorylase, D-enzyme, amylaseなどの関与も示唆されている.

アミロースは, 澱粉粒結合型澱粉合成酵素(GBSS)によって合成される. 糯米(waxy rice)は, アミロースを欠き, アミロペクチンのみから構成される. これは,

waxy変異がGBSSの構造遺伝子に関する変異であることに起因する. 低アミロース突然変異形質dullは, 粳米と糯米の中間の米粒となり白濁している場合が多く, 低アミロース性を示す. これは, du遺伝子がGBSSの発現を制御することに起因する.