

米の食味関与要因の変動に関する研究

第3報 玄米タンパク質含量におよぼす登熟気温の影響*

前重道雅

要 約

前重道雅(1981)：米の食味関与要因の変動に関する研究。第3報 玄米タンパク質含量におよぼす登熟気温の影響。広島農試報告44：39～44。

玄米のタンパク質含量は登熟温度に強く影響されるが、その条件と作用機作を明確にするため、人工気象室等を用いて登熟温度およびその処理時期を変えて検討を加えた。その結果、登熟期の高温は登熟日数を短縮し、玄米タンパク質含量、収量および粒質に大きく影響した。温度の高低と玄米タンパク質含量との関係は高温ほど含量が増加した。そしてその影響の大きい時期は、出穂後40日間の、収量に対する登熟適温とされている21～22°Cをこえる温度条件では登熟前半期であり、これをこえない温度条件では後半期であった。この原因は、籾 sink の同化産物受入能力の機能維持と関連しているとみられた。すなわち、米粒構成成分の集積過程からみて、開花後20～25日を安定値として減少していく窒素化合物と当該時期になお集積をつづける炭水化物との相互関係から、高温ほど sink の機能低下により受入能力維持期間は短縮し、炭水化物集積量に対し、タンパク質含量は相対的に高い水準で登熟が完了する。既往の報告が示すとおり、玄米タンパク質含量と玄米の粒大および収量との負の相関関係は本実験でも認められたが、これは結果であってその原因は sink 機能低下による炭水化物集積量の不足が小粒化と低収化を招き、かつ相対的にタンパク質含量の比率を高めることによるものと考えられる。

結 言

米粒のタンパク質含量は、米の食味に関与する要因の一つと考えられている^{3,9,11,16,28,31,33}。

そこで第1、2報ではそれぞれ、玄米タンパク質含量の変動要因としての品種間差異ならびに生産地間差異について論じた。このなかで述べたとおり、玄米タンパク質含量は梁取³⁸、本庄³らが報告しているとおりの自然環境条件のなかでは、登熟期の気温に最も強く影響されると云える。しかし、気温がタンパク質含量におよぼす影響の機作について明確に論じたものは見当らない。そこで本報では、異なる温度レベルによる反応の機作をより明確にするため、ファイトトロン等を用いて検討を加えた。

実 験 方 法

本実験は1973年および1974年に、広島県立農業試験場

* 本報の概要は日本作物学会第172回講演会(1981年10月)において発表した。

において人工気象室ならびにガラス室内で1/5,000 a ワグネルポットに中生新千本を栽植して実施した。移植は1973年は6月10日に、播種後35日6葉苗を、1974年は6月14日に、播種後40日6.5葉苗を、それぞれ1ポット当り1本植えとした。施肥量は N, P₂O₅, K₂O を1ポット当り各1gを基肥に施用した。栽植ポット数は十分に用意しておき、生育のよく揃った個体を1処理当り10個体(ポット)を供試した。

処理区の構成は第1図に示したとおりである。処理温度は、1973年は人工気象室において昼温(6:00～18:00)を30°C、夜温(18:00～6:00)を20°Cの一定温度に制御した区(30—20°C定温と称する。区記号 H₁, H₂, H₃)および25°Cと15°Cの一定温に制御した区(25—15°C定温, L₁, L₂, L₃)、ならびにガラス室内に設置して室外自然温度より高温に経過させた区(26—16°C変温, NH₁, NH₂, NH₃)を設置し、無処理区(23—15°C自然温, NL)と対比させた。1974年は同じ要領で34—24°C定温区および24—17°C定温区ならびに30—16°C変温区、無処理区(26—16°C自然温)を設定した。

処理期間の設定は、兩年とも登熟日数を予め40日と仮定し、前半期と後半期各々20日間に分けて処理した。当該処理期間の前後は自然状態で経過させた。出穂期および穂揃期は1973年は9月1日および4日、1974年は8月26日および28日であり、処理はそれぞれ穂揃期から開始した。

調査は、所定の生育、収量および玄米品質調査を実施した。米粒タンパク質の定量は1.85mm目で篩別した精玄米をマクロケルダール法により定量した全窒素にタンパク質換算係数5.95を乗じタンパク質量とした。乾物換算のための水分定量は135℃1時間乾燥法によった。

Plot sign	Treatment temp. (day-night)		Treatment period			Treatment place
	Year		Days after full heading time			
	1973	1974	0	20	40	
H 1	30-20(25) °C	34-24(29) °C	[Treatment period diagram]			Temperature controlled room (fixed temp.)
2						
3						
L 1	25-15(20)	24-17(21)	[Treatment period diagram]			Green house (turn temp.)
2						
3						
NH1	26-16(21)	30-16(23)	[Treatment period diagram]			Green house (turn temp.)
2						
3						
NL	23-15(19)	26-16(21)	[Treatment period diagram]			Outdoors (natural temp.)

Fig. 1. Design of experiment.

Notes; in treatment period, in natural period, Treatment time in temperature controlled room; day 6.00~18.00, night 18.00~6.00,

実験結果

第1表に示すように、高温処理によって登熟速度が促進され、現象的には登熟日数が短縮した。このため実験操作上には登熟期間を前半期と後半期に分割して処理し

Table 1. Fluctuation of ripening period

Plot sign	year	
	1973	1974
H ₁	31	26
	34	33
	35	33
L ₁	48	40
	43	43
	45	38
NH ₁	41	38
	40	38
	43	43
NL	41	38

ようとした目的がかなえられない場合があった。

温度処理の高低と玄米タンパク質含量の関係について第2表に示した。1973年実験では昼温および夜温の設定温度30-20℃定温区 (H₁, H₂, H₃) > 26-16℃変温区 (NH₁, NH₂, NH₃) > 25-15℃定温区 (L₁, L₂, L₃) の順に高温ほど高タンパク質含量を示した。すなわち、各処理時期別毎の比較でみると、全期間処理区 H₁ > NH₁ > L₁, 前半期処理区 H₂ > NH₂ > L₂, 後半期処理区 H₃ > NH₃ > L₃ であった。1974年実験では34-24℃定温区 (H₁, H₂, H₃) > 30-16℃変温区 (NH₁, NH₂) > 24-17℃定温区 (L₁, L₂, L₃) の順に高温区ほど高タンパク質含量を示した。すなわち、処理時間別毎の比較でみると、全期間処理区 H₁ > NH₁ > L₁ > NL, 前半期処理区 H₂ > NH₂ > L₂, 後半期処理区 H₃ > L₃ > NH₃ であった。兩年の結果から、高温処理区ほど玄米タンパク質含量は高い値を示した。

温度処理時期のちがいと玄米タンパク質含量との関係についてみると、全処理期間すなわち、穂揃期から成熟期までの40日間のうち、1973年実験では前半期処理に比較して、後半期処理が高タンパク質含量を示した。すなわち、30-20℃定温区で H₃ > H₂, 26-16℃変温区で NH₃ > NH₂, 25-15℃定温区で L₃ > L₂ の関係を示し

Table 2. Protein content of brown rice. yield and 1000-kernel-weight

plot sign	protein content		yield		1000-kernel-weight	
	1973	1974	1973	1974	1973	1974
	— % on dry basis —		— g per hill —		— g —	
H ₁	7.50	7.48	22.4	20.0	21.8	22.6
2	7.22	8.09	20.1	18.7	21.9	21.6
3	7.25	7.24	26.1	20.1	22.6	23.5
L ₁	6.88	6.96	26.2	21.0	22.7	24.7
2	7.02	6.77	24.9	19.5	21.9	23.5
3	7.13	7.27	24.4	19.8	21.8	22.6
NH ₁	7.10	6.89	25.7	19.8	22.3	24.3
2	7.18	7.21	23.7	20.5	21.9	23.7
3	7.30	7.08	23.8	21.8	21.5	23.1
NL	6.90	6.75	25.4	20.2	21.9	22.5

Table 3. Rate of perfect and imperfect grains.

plot sign	Perfect grain		White belly grain		Milky white grain		Opaque-kernel grain		Green-kerneled grain		Rusty-kernel grain	
	1973	1974	1973	1974	1973	1974	1973	1974	1973	1974	1973	1974
	%											
H ₁	50.0	3.4	35.2	77.9	1.0	2.9	10.5	15.3	0.4	0	2.8	0.5
2	41.2	4.4	47.1	74.2	0.8	4.8	7.7	15.3	0.7	1.3	2.4	0
3	54.8	63.5	36.7	18.8	0.9	4.5	3.3	7.2	0.1	5.0	4.2	1.2
L ₁	48.8	54.7	39.4	36.2	1.0	1.0	2.9	3.1	4.9	3.3	3.3	1.7
2	49.1	59.2	29.3	27.5	0.1	1.8	4.0	7.1	14.0	3.6	3.5	0.9
3	52.2	66.2	38.2	17.7	0.1	4.2	3.5	6.5	4.0	3.5	2.0	1.8
NH ₁	68.3	78.8	19.4	13.0	1.1	2.4	4.4	2.9	4.6	1.4	2.5	1.4
2	53.6	73.6	28.5	15.6	1.1	2.2	6.1	3.6	8.0	3.6	2.7	1.5
3	64.0	67.1	25.5	13.8	1.5	1.4	3.1	7.8	1.6	7.9	4.4	2.0
NL	54.3	67.7	27.4	18.1	1.5	2.9	4.8	7.0	10.1	2.5	2.1	1.8

た。1974年実験では34—24℃定温区および30—16℃変温区は前半期処理区 (H₂>H₃ および NH₂>NH₃) が高タンパク質含量を示し、24—17℃定温区では後半期処理区 (L₃>L₂) が高タンパク質含量を示した。兩年の結果を総合してみると、かなりの高温条件では前半期処理は登熟日数が短縮し、玄米タンパク質含量は増加したが、通常の自然温度条件では、穂揃後20日までの高温処理に比較して、穂揃後21日以後の高温処理の影響が大であった。

第3表から、温度処理が収量におよぼす影響についてみると、登熟温度と玄米タンパク質含量との相互関係とは逆の関係にあり、1973年実験では高温処理に相当する30—20℃定温区に比較して低温処理区に相当する25—15℃定温区および26—16℃変温区が多収を示し、とくに30

—20℃定温区の前半期処理区 H₂ が低収を示した。1974年実験でも同様に34—24℃定温区の前半期処理区 H₂ が低収であった。

第2、第3表から温度処理が粒質におよぼす影響についてみると、兩年を通じてかなりの高温処理であった1974年の34—24℃定温区のうち H₁ および H₂ 区は腹白米の激増と玄米千粒重の低下にみられる粒質の劣化がみられた。兩年を通じて、概して高温処理区ほど腹白米の増加がみられ、温度処理が玄米千粒重におよぼす影響はかなりの高温条件では前半期処理の小粒化が顕著であった。しかし、通常の自然温度条件では2—4℃程度のやや高温処理はむしろ前半期処理が玄米千粒重の増大をもたらした。

考 察

1. 登熟温度と玄米タンパク質含量との関係

登熟期の高温は早熟れ現象を招き、登熟日数が短縮し、玄米粒質、収量、玄米タンパク質含量に大きく影響した。

既往の成績によると、高温は登熟前期の玄米の充実を良好にするが、成熟速度が早まり同化産物受入側 (sink) の集積能力機能を早期に低下させる^{15,20,23,29,30}。これに関与する物質としてフオスフォリラーゼの活性機作¹⁾あるいはステロール物質の集積^{26,27}があげられる。その結果、登熟後期に至り米粒は充実不良となり、乳白米、腹白米、半死米などの障害米の発現を促し、完全米そのものも不十分な充実となり、玄米千粒重は低下する。このことは、ひいては炭水化物とタンパク質含量との比率に変動が生じ、高タンパク質含量を示す^{8,12,21,22,38}ものと考えられる。

本実験の2年間の結果を総合してみると、かなりの高温域条件区では登熟日数が短縮し、前半期処理の影響が強く、玄米タンパク質含量が増加したし、通常自然温度域条件区では、後半期処理の影響が強く表われた。このちがいの分れる温度は、各処理温度からみると、出穂後40日間の、収量に対する登熟適温とされている21~22℃^{5,6,17,18,34,37}と一致していることがわかる。このことは、収量に対する登熟適温をこえる高温はsinkの受入能力の機能低下が早い時期からおこり登熟前半期に既に、減退するが、登熟適温をこえない温度条件では、その機能は後期まで維持されることによるものと考えられる。

2. 登熟温度と粒質および収量との関係

登熟温度と粒質との関係は腹白米発現程度に顕著に表われた。高温区ほど腹白米の発現は多く、処理時期別には登熟後半期より前半期の影響が大きかった。

登熟期の高温は腹白米の発現を促す^{10,24,36}とされているが、発現に影響する時期は玄米の透明化がすすみ、多少不透明部を残すころ¹⁹で開花後20~30日頃の比較のおそい時期であり、同化産物の充填が最終段階に近づきつつある頃²⁵の養分集積の阻害が原因であるとしている。

一般に腹白米は大粒玄米に発現する^{4,35}が、本実験では小粒となった処理区で発現した。このことは、腹白米のタンパク質含量は完全米に比較して低いとする報告²⁵と逆に高いとする報告^{19,39}があることと関連して興味深い。前者は粒大の大きい、比較的的正常に十分に發育した玄米試料であろうと思われる。例えばば場で標準栽培した玄米試料から腹白米と完全米を選別してタンパク質含量を分析した場合ではそのような結果を得た(未発表)。後者については、本実験のような粒大が小さくなるよう

な異常な發育をして腹白米が発現した場合である。これら腹白米発現の機作と粒大への影響がタンパク質含量のちがいを生じるものと考えられる。

登熟温度と収量との関係は、登熟温度と玄米タンパク質含量との関係とは逆で、高温条件ほど低収を示し、処理時期別には後半期より前半期の影響が大であった。これは玄米タンパク質含量と収量との関係が負の相関関係にあるとする既往の報告^{7,14}と一致した。

3. 登熟温度が玄米タンパク質含量と収量および粒大との相互関係におよぼす影響

既報¹⁴で述べたとおり、登熟期の温度が高タンパク質含量を招く原因について、小粒化が原因とする説に異論はないが、このことのみでは十分条件ではない。既往の報告が示すように本実験でも粒大または収量と玄米タンパク質含量との間の逆相関関係は明瞭に認められた。しかし、これらもまた結果であってその原因としての窒素化合物と炭水化物との相互の集積過程からみるのが妥当であろう。すなわち、米粒構成成分の集積過程^{2,25,32}からみて、開花後20~25日を安定値として減少していく窒素化合物と逆に当該時期になお集積をつづける炭水化物との相互関係から、高温ほどsinkの機能低下により受入能力維持期間は短縮し、炭水化物集積量に対し、タンパク質含量は相対的に高い水準で集積が完了(完熟期)する。登熟日数の短縮によって炭水化物の集積は不十分となり、玄米の小粒化と収量の低下および相対的な玄米タンパク質含量の高含量化などが同時におこる。

このように玄米タンパク質含量は炭水化物集積量との相対比率としてとらえられるから、タンパク質含量を規制する温度もまた、炭水化物の集積すなわち収量を規制する温度条件に支配されるのは納得される。収量に対する登熟適温21~22℃はまた、玄米タンパク質含量についても“適温”であると云える。

摘 要

登熟温度が玄米タンパク質含量におよぼす影響について、温度レベルおよびその処理時期を変えて検討した。

1 温度の高低と玄米タンパク質含量との関係は、高温ほど含量が増加した。

2 その影響の大きい時期は、出穂後40日間の収量に対する登熟適温とされている21~22℃をこえる温度条件では登熟前半期であり、これをこえない条件では後半期であった。

3 この原因は、窒素化合物含量は登熟初期から高含量であるのに対し、炭水化物は登熟末期まで集積される。登熟期の高温はsink機能の低下をもたらし、炭水化物

集積量を減少させるため相対的にタンパク質含量比率が高くなったものと推定した。

4 登熟温度が収量および粒質におよぼす影響については、収量はかなりの高温条件では前半期の減収が大であった。粒質については、かなりの高温条件では前半期の、また相対的に低い通常の温度条件では後半期の影響が、それぞれ大であった。

謝 辞

本報告をとりまとめるに当り、農林水産省食品総合研究所栄養化学研究室長平 宏和博士および農産第3研究室長平 春枝博士の示唆とご指導を受けた。また岡山大学農学部教授小合龍夫博士に多くのご教示をいただいた。共に深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 相見豊三・村上 高・藤巻和子：1956. 水稻の登熟機構に関する生理的研究. 日作紀 25: 124—127.
- 2) 荒井邦夫・河野恭広：1979. 水稻の穂の発育に関する研究. 第2報 穂上位置別穎果の窒素集積パターンに及ぼす出穂期窒素追肥の影響. 日作紀 48: 335—342.
- 3) 茶村修吾・本田康邦・飯田耕平・坪川藤夫：1972. 米の食味と土壌型との関係. 第2報 米粒の物理化学的性質と食味との関係. 日作紀 41: 244—249.
- 4) 江幡守衛・田代 亨：1973. 腹白米に関する研究. 第1報 腹白米の発現の品種間差異. 日作紀 42: 370—376.
- 5) HANYU, J. T, UCHIJIMA and S, SUGAWARA; 1966. Studies on the agro-climatological method for expressing the paddy rice products. 1. An agro-climatic index for expressing the quantity of ripening of the paddy rice, 東北農試報 34: 27—36.
- 6) 水高信雄・鷲尾 養：1973. 中国地方における水稻稚苗移植栽培の作季に関する研究. 中国農試報告A22: 1—19.
- 7) 東 正昭・楠淵欽也・伊藤隆二：1974. 高蛋白米品種の育種に関する基礎的研究. I 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. 育雑 24: 88—96.
- 8) 本庄一雄：1971. 米のタンパク含量に関する研究. 第1報 タンパク質含有率の品種間差異ならびにタンパク質含有率に及ぼす気象環境の影響. 日作紀 40: 183—189.
- 9) 石間紀男・平 宏和・平 春枝・御子柴 穆・吉川誠次：1974. 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. 食総研報 29: 9—15.
- 10) 伊藤夫仁：1979. 水稻の登熟気温が収量並びに米質に及ぼす影響. 広島農試報告 41: 1—8.
- 11) JULIANO, B. O., L. U. ONATE and A. M. del MUNDO 1965. Relation of starch composition, Protein content and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technology 19: 116—121.
- 12) 片岡勝美：1975. 米粒の化学的品質に関する研究 (VI) 米粒の蛋白質含有率に及ぼす生育気温の影響. 玉川大農研報 15: 96—100.
- 13) 木戸三夫・梁取昭三：1965. 米粒蛋白質集積過程の組織化学的研究. 日作紀 34: 204—209.
- 14) 前重道雅：1980. 米の食味関与要因の変動に関する研究. 第1報 玄米タンパク質含量の品種間差異. 広島農試報告 42: 1—10.
- 15) 松島省三・和田源七：1959. 水稻収量成立原理とその応用に関する作物学的研究. LII 水稻の登熟機構の研究 (10) 籾への炭水化物の転流適温. 登熟適温並びに籾の炭水化物入能力の低下について. 日作紀 28: 44—45.
- 16) 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄：1973. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第113報 穂揃期窒素追肥が品質に及ぼす影響. 日作紀 42: 54—62.
- 17) 村田吉男：1964. わが国の水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について. 日作紀 33: 59—63.
- 18) 棟方 研・川崎 勇・仮谷 桂：1967. 気象および稲作要因からみた水稻生産力の定量的研究. 中国農試報告 A14: 59—96.
- 19) 長戸一雄：1953. 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究. 日作紀 21: 26—27.
- 20) ———・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.
- 21) ———・———・反田嘉博. 早期栽培稲の米質に関する研究. 日作紀 28: 359—362.
- 22) ———・———・河野恭広：1961. 米の品質からみた早期栽培に対する適応性の品質間差異. 日作紀 29: 337—340.
- 23) ———・———：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.
- 24) NAGATO, K. and F. M. CHAUDRY: 1969. Ripening of japonica and indica type rice as influenced by temperature during ripening period. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 38: 627—667.
- 25) 長戸一雄・江幡守衛・石川雅士：1972. 米粒の蛋白質含量に関する研究. 日作紀 41: 472—479.
- 26) 中山治彦：1969. 水稻における穂の老化現象. 第1報 籾の老化と脱水素酵素作用の減退. 日作紀 38: 338—341.
- 27) ———：1969. 水稻における穂の老化現象. 2 小枝梗におけるステロール様物質の蓄積. 日作紀 38 (別号) 109—110.
- 28) 農林水産技術会議事務局：1974. 米の食味改善に関する特別研究. 1—118.
- 29) 佐藤 庚・稲葉健五・戸沢正隆：1973. 高温による水稻の稔実障害に関する研究. 第1報 幼穂形成期以降の生育時期別高温処理が稔実に及ぼす影響. 日作紀 42: 207—213.
- 30) ———・———：1973. 高温による水稻の稔実障害に関する研究. 第2報 穂と茎葉を別々の温度環境下においた場合の稔実. 日作紀 42: 214—219.

- 31) 平 宏和・平 春枝：1977. 宮城県産ササニシキ玄米のタンパク質含量. 食総研報 32: 1—5.
- 32) ———・—————・前重道雅：1978. 米粒の糊熟より過熟に至る化学成分組成の変化. 日作紀 47: 475—482.
- 33) ———・—————・佐野稔夫：1979. 宮城県産水稲玄米とその精白米の化学成分組成. 日作紀 48: 25—33.
- 34) 田中 稔；1950. 水稲冷害の実際的研究 2 登熟適温並に完全登熟の限界出穂期. 日作紀 19: 57—61.
- 35) 田代 亨・江幡守衛：1974. 腹白米に関する研究. 第2報 穂上位置と腹白米の発現. 日作紀 43: 105—110.
- 36) ———・—————：1975. 腹白米に関する研究. 第3報 登熟期の環境条件が腹白米発現におよぼす影響. 日作紀 44: 86—92.
- 37) 内島立郎・羽生寿郎：1967. 本邦における水稲の気象登熟量示数の地域性について. 農業気象 22: 137—142.
- 38) 梁取昭三：1974. 登熟期間の気温が水稲品種の米質におよぼす影響. 新潟農林研究 26: 9—14.
- 39) ———：1975. 米粒構成物質の集積過程よりみた米質に関する研究. 新潟大農学部紀要 13: 68—134.

Studies on Factors Affecting Eating Quality of Paddy Rice

3. Effect of ripening temperature on protein content of brown rice

Michimasa MAESHIGE

Summary

In order to make clear the relation between ripening temperature and protein content of brown rice, the effect of level of temperature and period of treatment in air conditioning room was examined in 1973 and 1974. The results are as follows:

1. Relation between ripening temperature and protein content of brown rice.

The protein content increased with increasing the temperature. The influenced periods were the second half of ripening period under natural temperature and the first half of ripening period under rather high temperature.

2. Effect of ripening temperature on yield.

High temperature treatment showed lodging and pretty high temperature treatment during the first half of ripening period showed low yield.

3. Effect of ripening temperature on quality of brown rice.

Under pretty high temperature, white belly rice increased and thousand-kernel-weight decreased.