

イネ科作物の脂質組成と耐冷性について

間野 康男

The Relationship between Chilling Tolerance and Lipid Composition among Some *Gramineae* Crops

MANO Yasuo

筆者はこれ迄にイネ科作物 (*Gramineae* crops) 中の脂質成分を、系統的に分子種 (Molecular species) レベルで分析して、各グリセロ脂質クラスの不飽和度 (Unsaturation index) が低温に比較的弱いイネとトウモロコシでは、それに強いライムギやコムギに比べて低い、ことを明らかにしてきた¹⁻⁶⁾。この傾向は子実(穀粒)だけでなく、茎葉においても認められた。

しかし、もうひとつの指標であるポリ不飽和度 (Polyunsaturation index) で見ると、とくにイネにおいて耐冷性の強い品種ほどその構成脂肪酸と分子種組成はインデカのそれに近くなる、という一見矛盾した結果が得られた。これらの知見を以下に報告する。

植物の低温耐性と細胞膜を構成する脂質 (膜脂質) との間には、密接な関係がある。すなわち、Fig. 1に示すように膜脂質の不飽和度が高いほどその植物は耐冷性に優れており、低温傷害を受けにくいことがわかった。この低温傷害

は、低温により生体膜が相分離を起こすことにより生じる⁷⁻⁸⁾、とされている。耐冷性のライムギやコムギは、低温感受性のイネやトウモロコシに比べて、子実と茎葉ともどの脂質クラスでも不飽和度が高いことを示している。

Fig. 2は膜脂質として量的にもっとも多く、したがって耐冷性に深く関わっているPC (ホスファチジルコリン) の脂質酸組成を見たものである。低温感受性のイネとトウモロコシは18 : 1の割合が大きいのに対し、耐冷性のライムギとコムギは18 : 2のそれが大きく、かつ18 : 3も同様であった。

次に、4種のイネ科作物のPCと全脂質の70%前後を占める⁹⁻¹⁰⁾TG (トリアシルグリセロール) の分子種をTable 1に示す。PCについてはLLn (リノレオイルリノレニン) やLL (ジリノレイン) という高度不飽和脂質酸からなる分子種がライムギやコムギに多く、一方、イネやトウモロコシにはOO (ジオレイン) やPO (パル

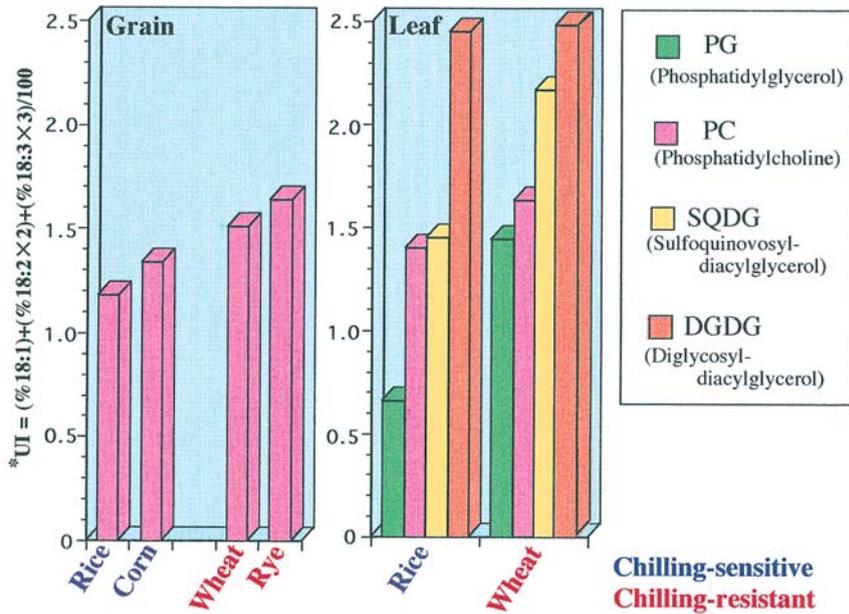


Fig.1. Comparison for the unsaturation index (UI)* of major lipid classes among cereals

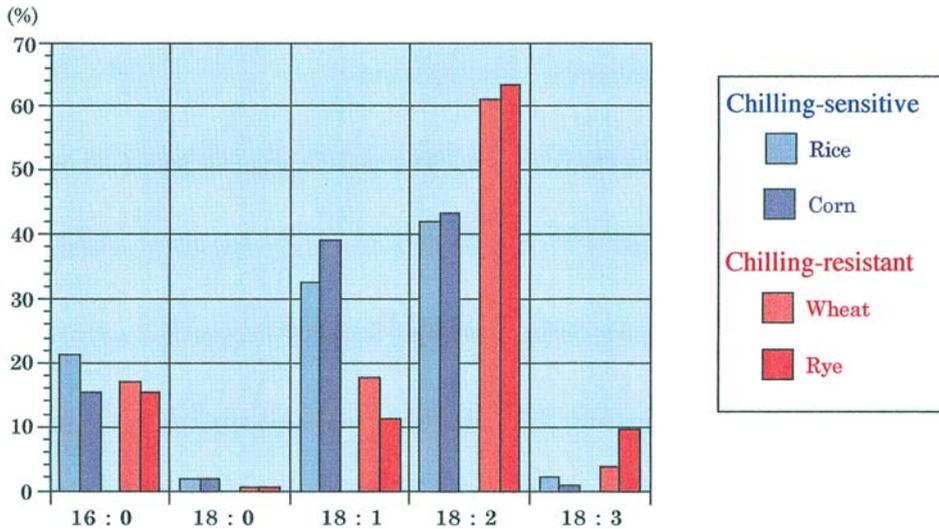


Fig.2. Comparison of PC fatty acids among cereals

ミトイルオレイン) など二重結合の少ない分子種が多いことがわかった。TGにおいてもPCに似た分子種パターンを示した。

次に、イネとトウモロコシおよびライムギの主な脂質クラスの不飽和度をTable 2に比較しながら示した。RD19はタイ産、IR64はフィリ

ピン産、黄金錦は高知産そしてきらら397とゆきひかりは北海道産である。ピリカは北海道産、クストロはドイツから種子を取りよせて道内で播種収穫した。イネ 5 品種では例外 (黄金錦 MGDGの1.96) はあったが、耐冷性に富むゆきひかりがクストロと同様に不飽和度が高かつ

Table 1. Molecular species composition (%) of PC and TG in cereals

species	DB*	Rice	Corn	Wheat	Rye
LLn	5	1	1	5	8
LL	4	18	24	33	38
OL	3	26	32	20	18
PL	2	22	18	26	23
OO	2	13	14	6	2
PO	1	17	11	9	5

TG species					
Highly desat. type	≥5	23	38	47	52
Less desat. type	≤4	77	62	53	48

*Number of double bond

Table 2. Unsaturation index* of component fatty acids in major lipid classes from cereals

Lipid	Rice					Corn	Rye
	RD19	IR64	Koganenishiki	Kirara397	Yukihikari	Pirika	Kustro
PI	0.88	0.91	0.93	1.00	ND	1.20	1.30
PC	1.04	1.08	1.13	1.18	1.21	1.34	1.59
TG	1.11	1.07	1.14	1.18	1.21	1.39	1.66
PE	1.15	1.13	1.21	1.25	1.34	1.42	1.69
DGDG	1.23	1.29	1.48	1.51	1.60	1.54	1.74
MGDG	1.55	1.51	1.96	ND	1.79	1.61	1.79

*UI : Average number of double bonds per acyl chain

た。

耐冷性に富む植物種ほど子実中の不飽和脂質酸含量も多いという傾向 (Fig.2) から, Majumderらは¹¹⁾, イネの耐冷性は膜脂質を含めた玄米の極性脂質の脂肪酸組成から判断できるのではないかと考えた。Table 3のJ.Tはジャポニカの耐冷性品種, I.Tはインデカの耐冷性品種, そしてL.Sはインデカの低温感受性品種を表わす。彼らは玄米の脂肪酸組成から不飽和度とポリ不飽和度を算出して, これらの値から耐冷性の強い品種をスクリーニングしようとした。しかし, 本道産の玄米ではこれらの指標(とくにポリ不飽和度)からは耐冷性の強弱を判断できなかった(不飽和度はほとんど変わらない一方, ポリ不飽和度は逆転していた)。このこと

をPCとDGDG(ジグリコシルジアシルグリセロール)という膜脂質の主な脂質クラスを別の指標(18:2 & 18:3 / 18:1 と 18:3 / 18:2 & 18:1)で調べたが(Fig.3), 2つの脂質クラスとも低温感受性の品種ほど, とくにPCにおいて不飽和化が進んでいることが子実と茎葉両方に見られた。

次に, 構成脂肪酸のパターンから耐冷性を云々できるかどうかジャポニカ(北海道産)3点とインデカ2点のPCで検討した(Fig.4)。ジャポニカでは低温感受性の品種ほど18:2が多く, 耐冷性品種ほど18:1が多かった。インデカとの比較では耐冷性品種ほどそれに近づくことがわかった。このことがジャポニカ(北海道産のみ)一般に見られる現象かどうかを確認

Table 3. Fatty acid composition of polar lipids in rice grain in relation to cold tolerance

Fatty acid	Ching-shi 15* (J.T)	Bir-ze-goo* (L.T)	Nagina 22* (L.S)	Douhoku 50 (High T)	Yukihikari (Moderate T)	Nourin 20 (Less T)
16:0	11	14	16	27	28	29
18:1	18	19	25	30	27	24
18:2	64	61	55	39	42	43
18:3	7	5	1	2	2	3

C16/C18	0.12	0.16	0.19	0.37	0.38	0.41
UI	1.67	1.56	1.38	1.15	1.16	1.17
18:1/18:2+18:3	0.25	0.28	0.44	0.72	0.62	0.54

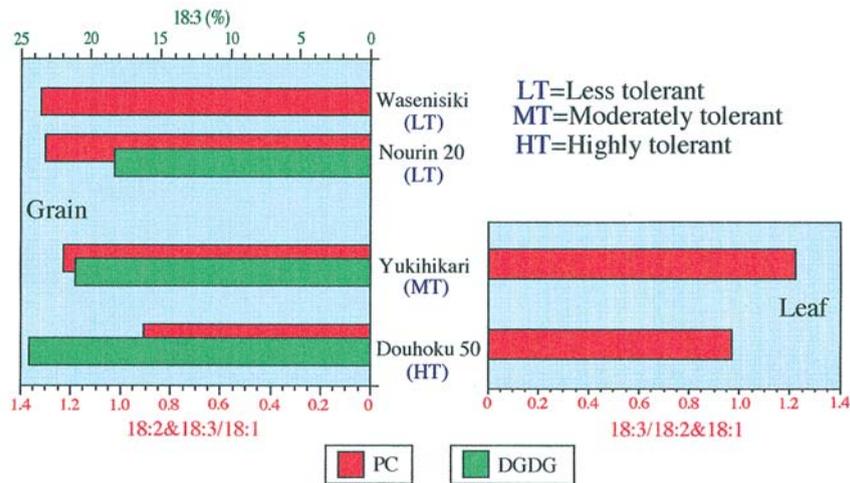
*M. K. Majumder *et al.*(1989)

Fig.3. Comparison of lipid unsaturation and rice cultivars with different chilling susceptibilities

するため、耐冷性の異なるイネ12品種を同一条件で栽培してそれらのPCの脂肪酸組成を調べた (Fig.5)。カッコ内は不稔率を示し、数字が大きくなるほど耐冷性が劣る。その結果、耐冷性品種には比較的18:1が多く、逆に低温感受性品種には同じく18:2が多いというTable 3と同様の結果が得られた。

この現象をイネの不稔率、不飽和度そしてポリ不飽和度の3つの尺度でさらに精査した。その結果がFig.6である。実験対象は全脂質とPC

である。不飽和度については両サンプルに明確な傾向は見られなかったが、ポリ不飽和度については全脂質とPC両方に弱いながらも不稔率と相関している (ポリ不飽和度が高いほど不稔率は低い) ことがわかった。ここ迄の分析データで云えることは、イネについて玄米の脂肪酸レベルで比較する限り、ポリ不飽和脂肪酸を多く生成する品種ほど耐冷性に優る、という他のイネ科作物に共通した現象 (Fig.2)は見られなかった。

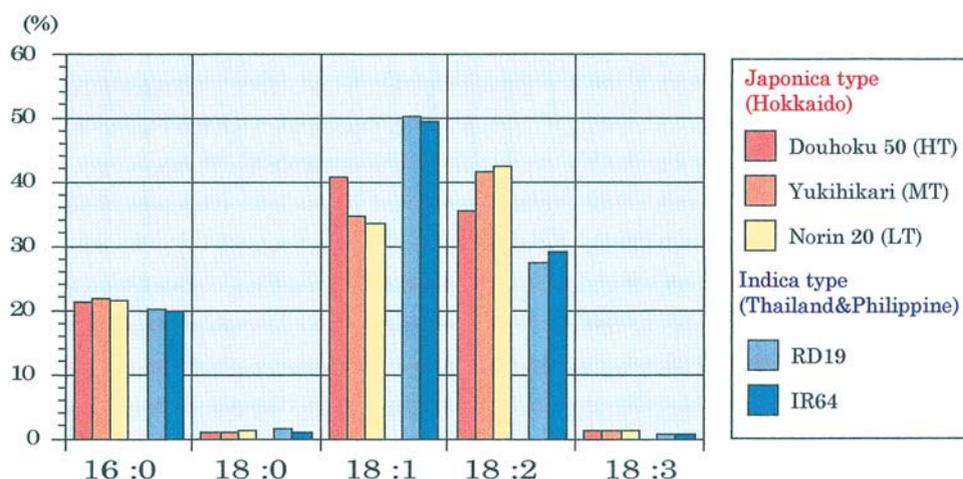


Fig.4. Fatty acid composition of rice grain PC from Japonica and Indica types

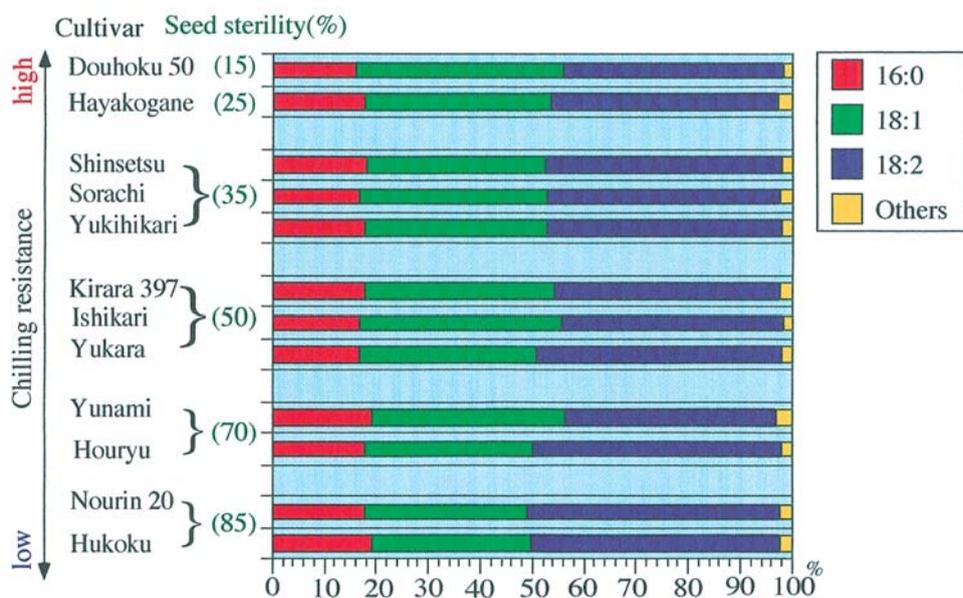


Fig.5. Rice cultivars used and FA composition of grain PC

次に、分子種レベルでイネにおける耐冷性とのかわりを探ってみた。Fig.7は耐冷性の異なる品種のPC分子種が、不飽和化の過程でその組み合わせと割合をどのように変化させて行くのかを図示したものである。低温感受性の農林20号には18:2/18:2が多くなって行くのに対して、耐冷性の道北50号には16:0/18:

1や18:1/18:1などが他より多く見られるという脂肪酸レベルと同様の結果が得られた。このことは不飽和化された脂肪酸や分子種の割合が大きくなるほど耐冷性を獲得する、という他のイネ科作物に見られた現象 (Fig.2とTable 1) は、イネにおいては見られないことが明らかになった。

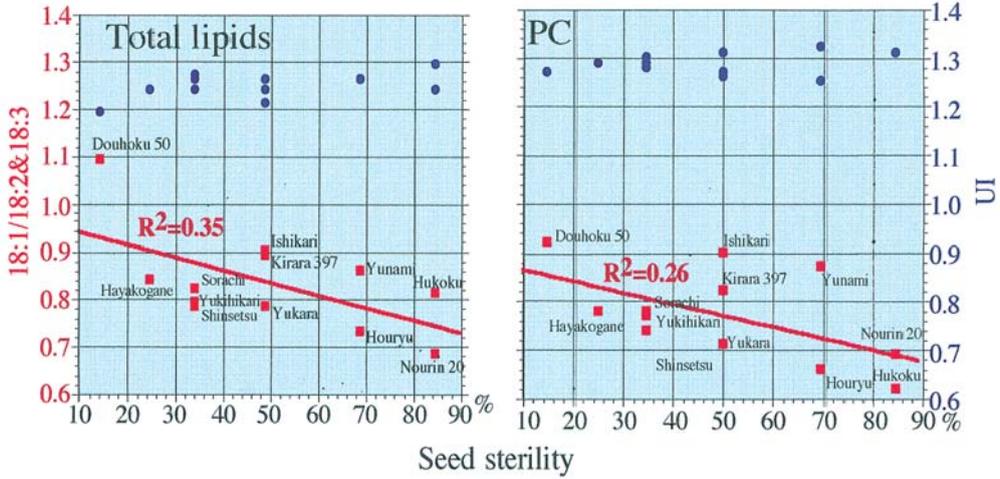


Fig.6. Relationship between chilling susceptibility of rice and grain lipid unsaturation

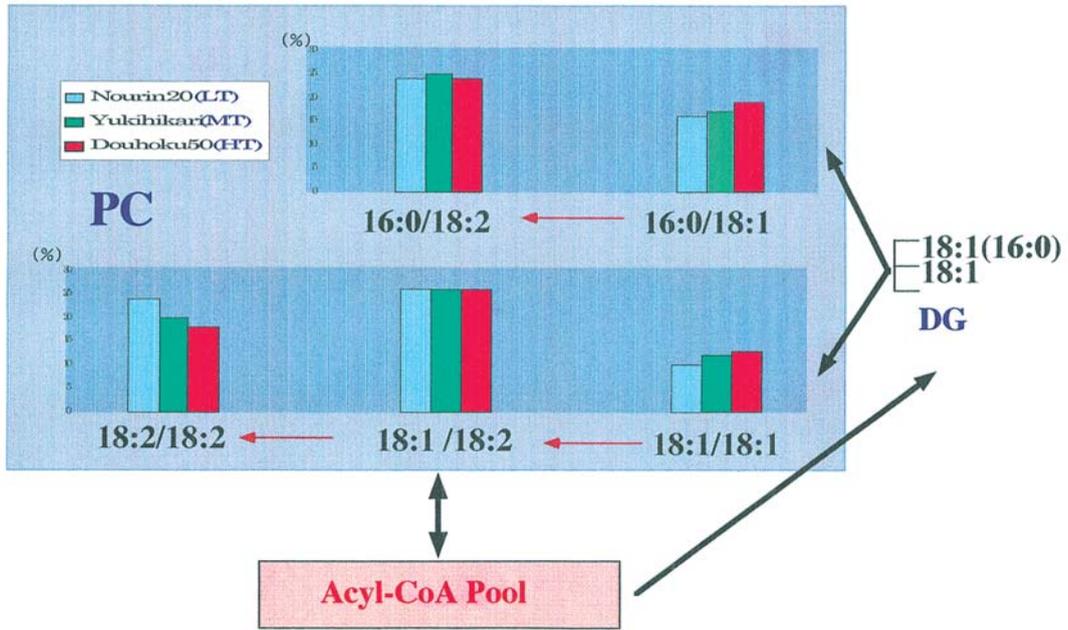


Fig.7. Molecular species composition of grain PC in rice with different chilling susceptibilities and desaturation pathway

同じイネ科作物でありながら、イネと他の作物の間に見られる相反する現象が何に由来するのかを追求する必要がある。そこで耐冷性のライムギとコムギの複数の品種を対象にした (Fig. 8)。ライムギのSV83019とSV82018は種子をスウェーデンから取りよせ道内で播種収穫

したもの、またペトクーザは北海道共和町で収穫した試料である。コムギは春まきのハルユタカとアケボノ、秋まきのチホクとホロシリを用いた。この図ではPCのポリ不飽和度を示した。品種間の差異が大きい、2つの植物種間のそれの方がより大きいことがわかった。

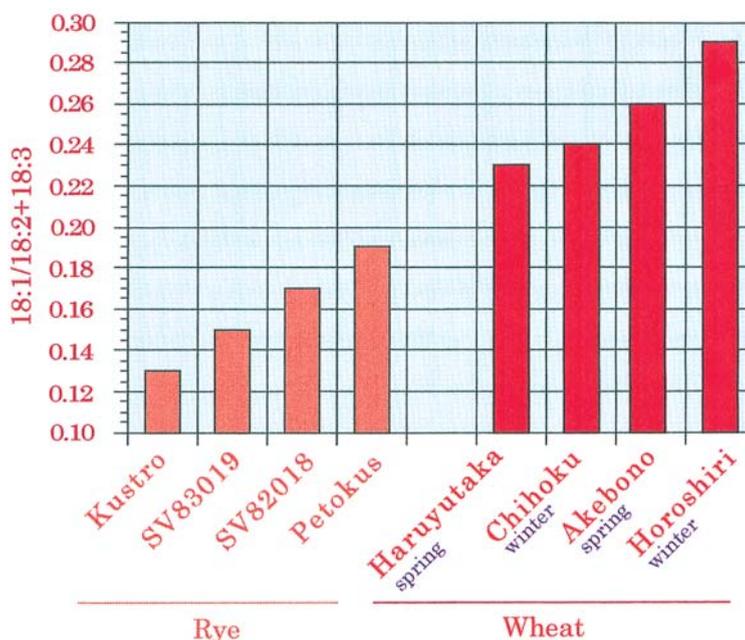


Fig.8. The degree of unsaturation in grain PC from rye and wheat

次に、生育中の温度が変わると子実内の脂肪酸組成がどう変わって行くのかをTable 4に示した。ヒマワリを低温で生育させると18:2が多くなり、逆に高温栽培では18:1が多くなるという¹²⁻¹³⁾。また、玄米については平らが1979年に同様の報告をしている¹⁴⁾。さらに、20.32℃で18:1と18:2が同じ割合(38.7%)になるというユニークな結果も明らかにした。

玄米のPCのポリ不飽和度を複数の品種を用いて、異なる収穫年度で比較して見た。それをFig.9の左の図で示す。これ迄にも述べたように耐冷性の強い品種(道北50号)ほどポリ不飽和度が進んでおり、さらに2つの収穫年度によるポリ不飽和化の変動幅は耐冷性品種の方が大きかった。右はポリ不飽和度と登熟期の積算温度の関係を示したものである。積算温度が高い程ポリ不飽和化が促進された。

圃場だけでは耐冷性について、明確な現象や傾向がつかめない場合、人工的に条件を設定して調べることも必要となる。Fig.10は低温

(21℃)と高温(27℃)に温度設定した場合のイネ子実中の全脂質について、ポリ不飽和度と不稔率とのかかわりを示したものである。図によれば不稔率が低くなるほど、すなわち耐冷性に優る品種ほど(Fig.5)脂肪酸組成を改変する能力が高く18:1を子実内により多く蓄積する傾向が見られた。さらに、この現象は低温より高温設定の方が顕著であった。

さらに人工的な温度設定をPCに当てはめ、耐冷性の異なる2品種のイネでその分子種の変化を調べた(Fig.11)。その結果わかったことは

1. 2品種とも16:0/18:1から16:0/18:2への不飽和化は低温設定(21℃)、高温設定(27℃)にかかわらず促進される
2. しかし、18:1/18:1から18:1/18:2への不飽和化は、2つの温度設定のいずれでもそれほど進まず、さらにその先への不飽和化は低温に設定しないと期待できない

ということであった。

そして不飽和化レベルの高い分子種(LL)は、

Table 4. Effects of environment in fatty acid composition

Sunflower seeds	Daily mean temp.(°C)		D. N. Grindley(1952)[M. Yamazaki(1987)]		
	Min.	Max.	Saturated FAs (%)		
			18:1	18:2	18:3
Winter culture	16.4	32.6	10.9	34.5	54.6
Summer culture	26.9	40.0	10.5	56.3	33.2

Brown rice

$$18:1\% = 0.406X + 30.53$$

H. Taira(1979)

$$18:2\% = -0.308X + 45.04 \quad (X: \text{Daily mean temp. during ripening})$$

20.32°C represents the equal amount(38.7%)of 18:1 and 18:2.

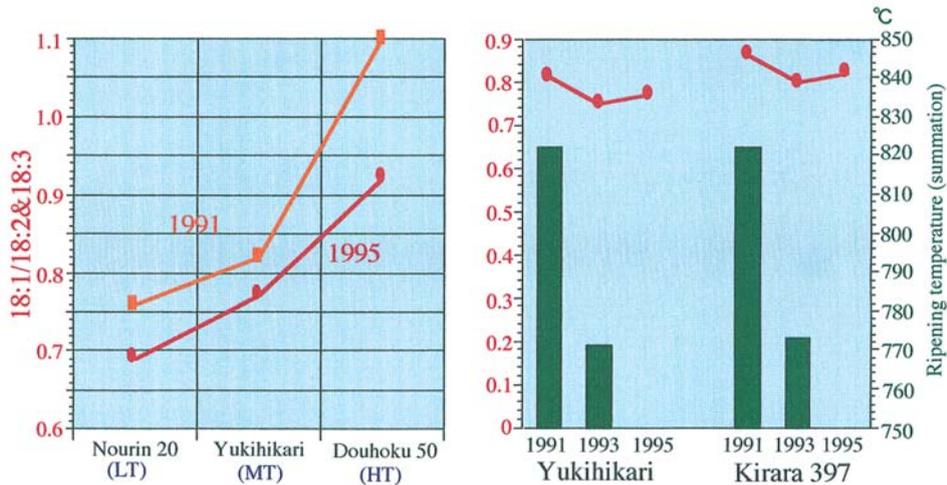


Fig.9. Variations of PC unsaturation with cultivar years

前述したように (Fig.7) 低温感受性の品種により多く見られた。

これ迄は主として子実内での構成脂肪酸や分子種の変動をPCを中心に、自然の状態と人工的な温度設定をした場合について追跡してきた。最後に植物体を構成する茎葉や実生 (みしょう) についても同様な実験を行った。その結果をFig.12とFig.13に示す。Fig.12はきらら397の成熟した茎葉のリン酸質 (PCとPG) と糖脂質 (MGDGとSQDG) について21°Cと27°Cに温度設定した場合の脂肪酸組成を見たものであ

る。ここでは設定温度によるその違いよりむしろ「脂質クラス特異性」の方が顕著であった。次にFig.13では、やはりきらら397の実生を試料として、15日間25°Cで生育させたのち、4°Cと10°Cにそれぞれ3日間さらした場合と、温度を変えずにさらに3日間生育させた3つのケースで全脂質の脂肪酸 (16:0, 18:2および18:3) の変動を調べた。その結果、16:0は低温ストレスにほとんど反応しなかったのに対して、18:2と18:3は低温ストレスを敏感に、かつ対照的に受けとめていた。とくに18:3が

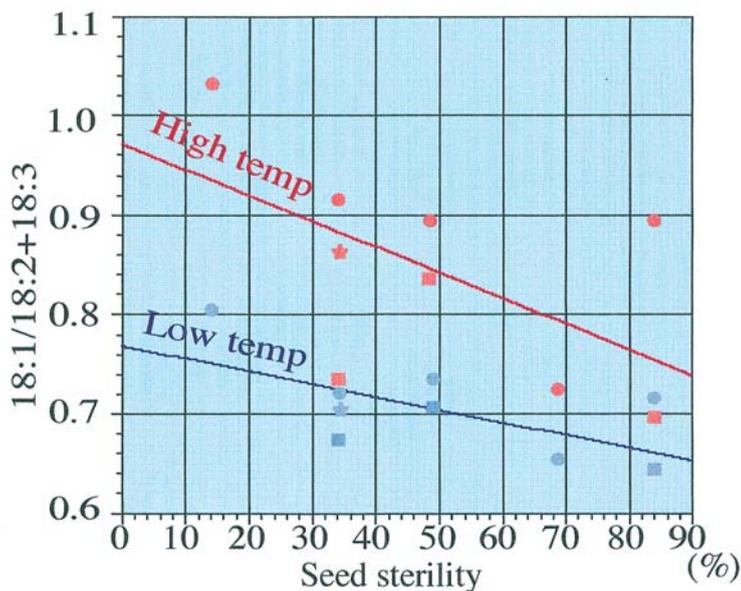


Fig.10. Effects of growth temperature on grain TL unsaturation of rice with different chilling susceptibilities

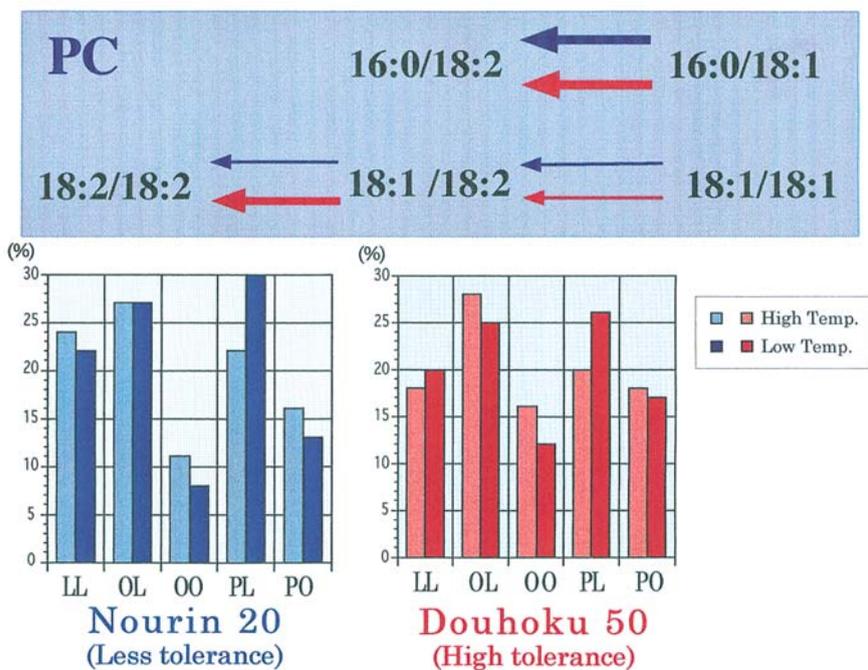


Fig.11. Changes in grain PC molecular species of rice with different susceptibilities by growth temperature

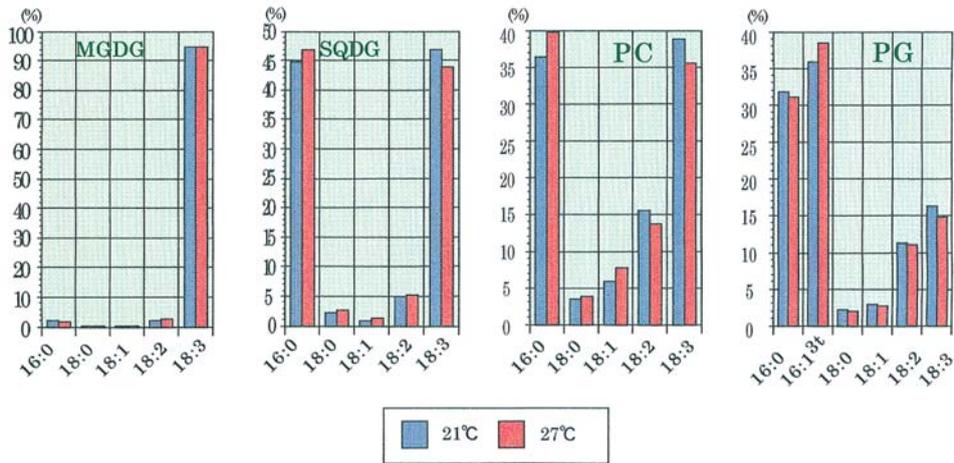


Fig.12. Effects of growth temperature on fatty acid composition of lipid classes in rice mature leaves (Kirara 397)

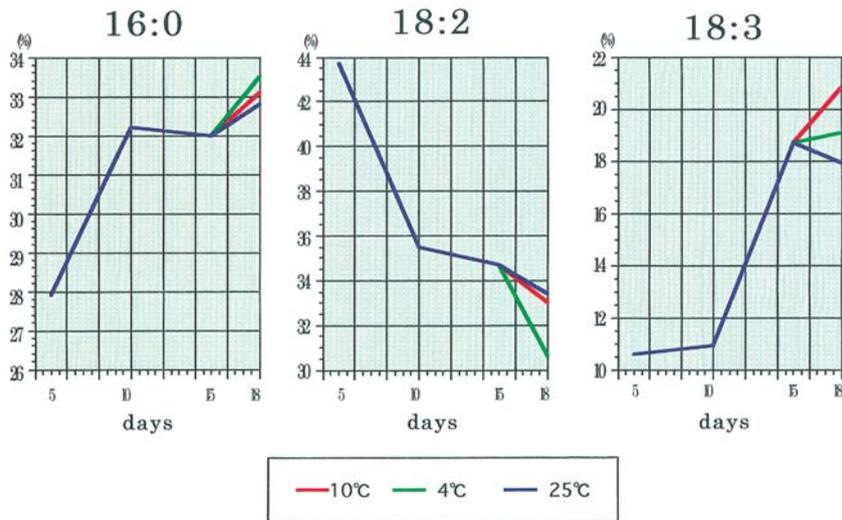


Fig.13. Changes of FA composition in TL from rice etiolated seedlings by low temp. stress

10°Cに温度を落としても、それ迄の25°Cと同じペースでその含有量を増しているのが注目された。

以上記述してきたことをまとめると、要約に述べた4点となる。

文 献

1) 間野康男, 大西正男, 佐々木茂文, 小嶋道

之, 伊藤精亮, 藤野安彦: 日本栄養・食糧学会誌, 42(3), 251-258 (1989).

2) 間野康男, 大西正男, 佐藤晴彦, 中西 創, 前本政道, 伊藤精亮: 日本食品工業学会誌, 37(5), 338-345 (1990).

3) Y.Mano, S.Nishiyama, M.Kojima, M.Ohnishi, and S.Ito: *Cereal Chem.*, 68(3), 280-284 (1991).

4) 間野康男: 北海道大学学位(博士, 農学)

- 論文, pp.151-153(1993).
- 5) T.Nakamura, M.Ohnishi, M.Kojima, Y.Mano, O.Inazu, and S.Ito : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **59**(12), 2309-2311(1995).
- 6) Y.Mano, K.Kawaminami, M.Kojima, M.Ohnishi, and S.Ito : *ibid.*, **63**(4), 619-626(1999).
- 7) 八杉竜一他編：岩波生物学辞典，第4版，岩波書店，1996，pp.1494.
- 8) H.Mohr / P.Schopfer, 網野・駒嶺監訳：植物生理学，シュプリンガー・フェアラク東京，1998，pp.536-538.
- 9) B.O.Juliano : Rice : Chemistry and Technology, second edition, American Association of Cereal Chemists, Inc. 1985, pp.144.
- 10) 間野康男：北海道大学学位（博士，農学）論文，pp.123(1993).
- 11) M.K.Majumder, D.V.Seshu, and V.V.Shenoy : *Crop Sci.*, **29**, Sep-Oct., 1298-1304(1989).
- 12) D.N.Grindley : *J.Sci. Food Agric.*, **3**, 82 (1952).
- 13) 山崎 恵：日本食品工業学会誌，**34**(5), 336-344(1987).
- 14) H.Taira, H.Taira, and M.Maeshige : *J.Crop Sic.*, **48**, 220-228(1979).

要 約

1. 4種のイネ科作物を比較すると，耐冷性の強い植物ほど構成脂肪酸の不飽和度が高く，かつ高度に不飽和化された分子種が多く含まれていた。
2. イネの12品種間では，脂質不飽和度と耐冷性は負の相関を示し，耐冷性品種ではポリ不飽和度が亢進していた。
3. 上記の傾向は子実（穀粒）だけでなく，葉の脂質でも見られた。
4. 玄米脂質のポリ不飽和度は登熟期の温度により変動し，その変動幅は低温に強い品種では低温感受性の品種よりも大きかった。

本論文に示したデータは，帯広畜産大学旧生物資源化学科食品化学教室と，北海道立上川農業試験場土壌肥料科との共同研究で得られたものであることを付記する。

Abstract

Comparing four species of *Gramineae* cereal vegetables, comparatively chilling-tolerant ones had highly unsaturated fatty acid compositions. Moreover, they abundantly contained highly unsaturated molecular species.

This is probably correct, but I don't know what it means.

Among 12 rice species (*Oryza sativa* L.), there is a negative correlation between the unsaturation index (UI) and chilling-tolerance in their lipids. Chilling-tolerant species promoted their polyunsaturation index (18:1/18:2&18:3)

This tendency mentioned above was observed not only in grain lipids but also in those of their leaves.

Lipid polyunsaturation index in brown rices changed according to the temperatures at their ripening period, and its extent of change was more prominent in chilling-tolerant species than in chilling-susceptible ones.

Key words : *gramineae* crops, chilling-tolerant, chilling-susceptible, unsaturation index, polyunsaturation index