15~20°C 付近にひそむなぞ

—その生理学的, 生物物理学の意味は?—

西山 岩 男

Iwao NISHIYAMA

北海道農業試験場

植物生理学を研究していて, 数年前から 15~20°C という温度が妙に気にかかるようになった. 考えれば考えるほど, そのうらになにか重大なものがひそんでいるようにおもえてくる. そこで, そのもやもやを整理して大方のご批判をおおぐことにした.

秋に増加する耐凍性

越冬する植物は, 多かれ少なかれ耐凍性をもっている. しかし, これは年中同じ程度にあるのではなく, 夏のあいだはほとんど凍結に耐えられない. それが, 温帯地方では一般に秋のなかばごろから, しだいに耐凍性が高まっていくのである. Nishiyama⁽¹⁾ はヤツデの葉において細胞の浸透圧の季節的变化を測定した (図1). 細胞

の浸透圧は耐凍性の1つの指標とされている. その値は夏のあいだはあまり変わらないで, 10月にはいったころから上昇し始める. それは, ちょうど日平均気温が 15~20°C になったときにあたる. 図2は Sakai⁽²⁾ がヤナギの枝で測定したものである. 15°C 以上についてはデータがないが, 少なくとも平均気温が 15°C 以下の範囲では耐凍性が直線的に増大している. 細胞の浸透圧の増加は主として糖濃度の増加によっている. 図3は同じヤツデの葉における糖濃度の季節的变化であり⁽¹⁾, 図4はその糖の代謝に関係しているアミロフォスフォリラーゼ活性の季節的变化である⁽¹⁾. これらの図においても, 図1の浸透圧の場合とまったく同じことがいえる. つまり, 日平均気温が 15~20°C になったときに変化が始まるの

図1 ヤツデの葉の浸透圧の季節的变化と日平均気温⁽¹⁾

図2 ヤナギの枝の耐凍性獲得過程⁽²⁾
-15°C L.N. は, 枝を -15°C で前凍結したのち液体窒素にいたれたことを示す.

図3 ヤツデの葉の糖濃度の季節的变化⁽¹⁾

図4 ヤツデの葉のアミロフォスフォリラーゼ活性の季節的变化⁽¹⁾

である。このことから、アミロフォスフォリラーゼ活性の変化が、糖濃度、ひいては浸透圧の変化の原因となっている可能性が示唆される。

植物が耐凍性を獲得していく過程は、これで説明がすむほど単純ではない。耐凍性がましていくときに、水溶性蛋白が増加すること⁽³⁻⁵⁾、およびその性質が変化すること⁽⁶⁾は、かなり前から知られていた。Simminovitch⁽⁷⁾は、マメ科植物の樹皮で水溶性蛋白が増加するときにアミノ酸のとりこみがあること、その直前に RNA が増加することを明らかにし、耐凍性増大の過程に DNA 依存の多量の蛋白合成がともなっていることを示した。これらの蛋白はいろいろな酵素活性をもっていることが期待されるが、実際、上記のアミロフォスフォリラーゼのほかに、酸性フォスファターゼ⁽¹⁾、呼吸⁽¹⁾、パーオキシダーゼ⁽⁵⁾、カタラーゼ⁽⁵⁾などの活性がますという報告がある。たんに活性がますだけでなく、質的な変化もある。Gerloff ら⁽⁸⁾は、アルファルファの根が耐凍性を獲得するときに、そのパーオキシダーゼに新しいアイソザイムがくわわることを示した。また、Roberts⁽⁹⁾は、コムギにおいて、耐凍性を高めた葉と感受性の葉とでは、そのインペルターゼの温度係数にちがいのあることを見いだした。

Li ら⁽⁹⁾は、ヤマボウシ属のあるかん木の樹皮において、人為的に耐凍性を高めたときの物質の変化をしらべた。その結果によると、無機りんは減少して有機りん、ことに酸可溶性の結合りんが増加し、でんぷんがへって各種の糖がふえ、アミノ酸は一般に減少して蛋白がふえ、有機酸のうちではシキミ酸のみがまし、他は変化がなかった。Levitt ら⁽¹⁰⁾は蛋白 SH についてひろく研究し、その増加が耐凍性に重要な役割を果たしていると主張している。Jung ら⁽¹¹⁾はアルファルファで可溶性蛋白と pH とがますと報告している。

こうしてみると、耐凍性がますということは、たんに 1 つの性質が変わるのではなく、ほとんど全面的な代謝様式の変換がともなっているのだといえる。これらの変化のうちで、何がさきにおこり、何があとにおこるのかは、はっきりしていない。というよりも、まだわかっていないことが多いのである。アミロフォスフォリラーゼの活性がましたとき、その前に DNA によるこの酵素の合成があっただろうと予想することはできる。しかし、その蛋白合成と Simminovitch⁽⁷⁾ が示した蛋白合成が同時的なものかどうかは、別の問題である。アミロフォスフォリラーゼ活性の増加が糖濃度増加の原因であるというのは 1 つの推論だが、その逆の糖濃度の増加がこの

酵素の活性増加のひきがねになったという推論も不可能ではない。いずれにしても、この因果関係の追究は今後にのこされた問題である。

酒井⁽¹²⁾はクワの枝を短くきり、暗所で低温処理して人為的に耐凍性を増大させた。低温処理の温度は低いほど耐凍性増大に有効であり、15°C 以上ではほとんど効果がなかった。このように、耐凍性は温度条件だけで誘導できるのであるから、耐凍性を獲得しうる植物細胞は、15~20°C を境とした温度変化を識別しうるのである。それが細胞内のどの部分、どの小器官でなされるかはわからないが、低温という物理的刺激によってなんらかの状態が生じ、それが代謝という化学反応に変換されるにちがいない。その最初の反応は単数だとはかぎらないし、上にあげた既知の現象に含まれているという保証もないが、ともかくそれが耐凍性の増大を含めた細胞の全面的な変化をもたらすのである。

作物の冷害

北海道や東北地方の山間部では、作物の冷害が大きな問題である。水稻では障害型と遅延型の冷害が知られている。前者は穂ばらみ期、つまり減数分裂期の低温によって主に葯が被害をうけて不稔になる場合であり、後者はそれ以外の時期の低温によって生育がおくれて登熟が不良になる場合である。図 5 は、西山⁽¹³⁾による障害

図 5 水稻の減数分裂期深水かんがいにおける水温と稔実の関係⁽¹³⁾

	品種	播種	培養温度 (昼—夜)
H ₁	はやゆき	1967. 3.	25—19°C
H ₂	はやゆき	1968. 8.	26—19
N ₁	農林 20 号	1968. 3.	24—19
N ₂	農林 20 号	1968. 8.	26—19

水深は 21 cm.

表 1 水稻の冷害限界温度⁽¹⁷⁾

地 域	限界温度* (°C)	
	150 kg	300 kg
空 知	15.1	19.4
上 川	15.9	19.7
後 志	16.1	19.4
渡 島	16.5	20.1
胆 振	15.4	19.3
日 高	14.1	18.5
十 勝	17.9	20.1
網 走	16.0	19.0

* 10 a 当りの収量が 150 あるいは 300 kg 以下となる 7, 8 月の平均気温。平年収量は約 400 kg。

表 2 ダイズとアズキの冷害限界温度⁽¹⁸⁾

地 域	限界温度* (°C)	
	ダイズ	アズキ
上 川		20.1
網 走	17.3	17.7
十 勝	18.5	18.9

* 10 a 当りの収量が 115 kg 以下となる 7, 8 月の平均気温 (40 年間の平均)。平年収量は約 155 kg。

算したものであるが、約 25% 減収の限界温度はおおよそ 17~20°C であった⁽¹⁸⁾。

長日性と短日性の分岐点

型冷害の実験結果である。ファイトロンの自然光室において減数分裂期に 12°C、4 日間の低温処理をして、その期間中 21 cm の深水にして穂を水中にたもち、水温の効果をしらべたものである。品種および栽培条件によって差があるが、水温が 15~19°C 以下になると不稔があらわれてくる。Ito ら⁽¹⁴⁾は、開花期における花の観察から、この不稔は花粉の充実不良を主因とする葯の不裂開から生じたものであることを明らかにした。

農林 20 号を 28,000 ルックスの人工照明室で培養した場合、減数分裂期の 12°C、3 日間の低温処理によって、おおよそ 60% の不稔がおこる。この低温処理がまだ終わらないうちから、葯のタペート組織に異常が観察される⁽¹⁵⁾。タペート組織は葯腔に面していて、花粉母細胞、のちには小孢子あるいは花粉に養分を供給するのが役割である。したがって、この組織の異常は養分供給を阻害して、花粉の発育、充実の不良をまねくものと考えられる。しかしながら、花粉母細胞とタペート細胞のいずれが低温感受性であるのかは、なお判定しがたい。花粉母細胞側の原因によって転流がとまり、タペート細胞に養分が過剰にたまって代謝異常をおこすとも考えられるからである。ここでも、耐凍性の場合と同様に、低温が細胞のどの部分にどのように作用するのかはまだ見当がつかない。

遅延型冷害の場合も限界温度はほぼ同じである。寺尾ら⁽¹⁶⁾の実験によれば、17°C では明らかに害があらわれるが、20°C ではほぼ正常にちかく、23°C になればまったく対照と変わらなかった。藤原⁽¹⁷⁾は、北海道における水稻の減収と 7, 8 月の平均気温との関係から、冷害の限界温度を計算した (表 1)。これは結果としての収量だけからみているので、障害型も、遅延型も、また病虫害などの要因も含まれている。何%の減収になったら冷害とよぶかについては主観的判断はいるが、この表

は、冷害の基準にかなりの幅をみとめたとしても、その限界温度が 15~20°C の範囲にはいることを示している。これは、この温度を境にして収量が急激におちるからである。

ほかの作物についても同様のことがいえる。ここでは、ダイズとアズキの例をあげるにとどめよう (表 2)。これは 40 年にわたるデータから計

山下ら⁽¹⁹⁾は花成に関する研究から、環境要因と植物の生育についての興味ぶかい仮説を提出した。すなわち、植物の生育中におこる発芽、発根、花芽分化などの形態形成過程は、それぞれ独立におこるのではなく、環境要因との関連のもとに 1 つの法則性にしたがっておこるといふ。図 6 はその概念図である。山下ら⁽¹⁹⁾は、いろいろな作物の種子に光低温処理をほどこすことによって、その植物の日長反応を変化させたが、この現象を図によって説明しよう。ある種子に 5°C、8 時間日長の処理をおこなったとする。その種子から生ずる植物は 5°C、8 時間の点と 17.5°C、12 時間の点 (原点) とをむすぶ直線上の条件において形態形成をおこなう。すなわち、30°C では 16 時間日長、20°C では 12.8 時間日長、10°C では

図 6 温度、日長と植物生育の関係⁽¹⁹⁾

図中の曲線は東京における温度、日長の年間推移を示す。数字は月をあらわし、毎月の 15 日の位置にプロットした。

表 3 高温、短日条件下におけるエンドウの花成にたいする
光低温処理の影響⁽¹⁹⁾

播 種 後 日 数	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
花芽果積数 (各区 6 個体)	2	5	7	8	10	11	12	15	18	20	22	23	26
暗 黒 連続照射 無 処 理								1	1	1	2	2	3

は 9.6 時間日長のときに発育がすみ、17.5°C 以上では長日性、以下では短日性となる。17.5°C、12 時間日長がいつも中心となり、この点をとる直線によって発育が規定されるのである。吸水したが発芽していない種子の段階においては、この性質はまだ柔軟性をもって、適当な処理によって変化させることができる。実際の生活環においては、種子が成熟する過程がこの性質を規定する大きな要因となっていると考えられる。

図 6 に示したグラフは東京の例であるが、自然条件ではいつもある一定傾向の性質を示すことになる。しかし、実験的にはいろいろな性質をみちびくことができる。たとえば、高温、短日という条件は自然にはない。エンドウの種子に連続照射および暗黒のもとで低温処理をおこなったのち、短日である秋に無処理のものとともに 23°C のファイトロンで培養した⁽¹⁹⁾。表 3 はその結果であるが、連続照射区においては明らかに花成がはやめられている。これは、図 6 に示された仮説を支持するものである。山下⁽¹⁹⁾は、このほかダイコン、コムギ、水稻、トマトなど系統にかなりへだたっている作物について、この関係が成立したと報告している。図 6 では日長転換温度をかりに 17.5°C として表現してあるが、その値を実験的に求めた結果は、水稻で 17.6°C、コムギで 17.7°C、ハツカダイコンで 17.5°C であったという⁽¹⁹⁾。

この仮説については、追試がかならずしもうまくいっておらず、なお問題がのこされているが、17°C 近辺に生理学的転換点があるという示唆は注目にあたいする。

サツマイモのミトコンドリア

ジャガイモの塊茎とサツマイモの塊根は、ともに地下部に生ずる貯蔵組織であって、たがいによく似てい

るが、その低温にたいする反応は異なっている。ジャガイモの塊茎は 0 ~ 10°C の低温で貯蔵することができるが、サツマイモの塊根はこの温度ではくさってしまうので、20°C 程度的高温で貯蔵しなければならない。

Shichi ら⁽²⁰⁾は、これらのイモを 0°C と 20°C で貯蔵した場合に、その呼吸におこる変化をしらべた (図 7)。どちらのイモも、20°C では長期間呼吸の変化がなかった。0°C では、ジャガイモの塊茎の場合にはむしろやや呼吸の促進がみられ、それが 10 日ごろを頂点として減少していくが、25 日目においてもなお貯蔵開始前の活性をたもっていた。これにたいしてサツマイモの塊根では、10 日目ごろから急激に呼吸が減少していった。Minamikawa ら⁽²¹⁾は、貯蔵中のサツマイモの塊根からミトコンドリアをとりだして、その酸素吸収とそれともなうりん酸化とを測定した (図 8)。この場合にも、0°C においては 10 日目ごろから酸素吸収の急激な低下がみられた。しかし、りん酸化もそれに比例して低下しているので、P/O 比には変化がなかった。

Lieberman ら⁽²³⁾も同様に貯蔵中のサツマイモからミ

図 7 サツマイモおよびジャガイモの、0°C と 20°C に貯蔵した場合の呼吸の変化⁽²⁰⁾

— DNP 無添加, - - - DNP 添加

図 8 0°C と 20°C に貯蔵されたサツマイモからのミトコンドリアの酸素吸収量および酸化のりん酸化活性⁽²¹⁾

図 9 植物ミトコンドリアの低張液と高張液中における膨潤⁽²²⁾

表 4 植物ミトコンドリアの脂肪酸組成⁽²²⁾

	植 物	器 官	不飽和脂肪酸 (C ₁₆ , C ₁₈ の %)	飽和脂肪酸 (C ₁₂ , C ₁₆ , C ₁₈ の %)	不/飽
低温耐性種	カリフラワー	芽	73.3	23.2	3.2
	カブ	根	79.0	20.1	3.9
	エンドウ	芽ばえ	78.6	20.7	3.8
低温感受性種	ソラマメ	芽ばえ	72.1	26.2	2.8
	サツマイモ	根	62.3	35.9	1.7
	トウモロコシ	芽ばえ	66.8	31.4	2.1
	トマト	果実	69.2	25.0	2.8

トコンドリアを分離して、その酸化能とりん酸化能を測定している。彼らの場合は 15°C と 7.5°C であるが、15°C の場合はほとんど変化せず、7.5°C では酸化能もりん酸化能も 5 週目からへりだして、10 週目にはまったく不活性となった。P/O 比も減少している点は、Minamikawa らの結果と相違している。

Lyons ら⁽²²⁾ はさらに一步すすめて、低温に耐性および感受性の植物から分離したミトコンドリアの脂肪酸の組成を調査し、低温耐性の植物においては不飽和脂肪酸の割合が高いことを示した (表 4)。彼らは、この脂肪酸の不飽和度がミトコンドリアの物理的な柔軟性に関係しているのではないかと考え、低張液と高張液にたいする形態変化の反応をしらべた⁽²²⁾。図 9 はその結果であるが、不飽和脂肪酸の多い、耐冷性の植物から分離したミトコンドリアは、形態変化において、低温感受性の植物からえたミトコンドリアよりも柔軟である。また Richardson ら^(24,25) も、定温動物と変温動物とではそのミトコンドリアの柔軟性に差があること、そしてその差が脂肪酸の不飽和度に関係していることを報告している。

このミトコンドリアの問題については、何度が限界温度であるのか判定すべきデータがないが、やはり 15~

20°C のあたりであろうとおもわれる。

その他の例

前項で述べたサツマイモの場合を含めて、収穫後の野菜や果物の低温感受性は、その貯蔵や輸送の面で大きな問題となっている。バナナを冷蔵庫にいれるとくさりやすいことは、よく知られているが⁽³³⁾、オレンジ⁽³⁴⁾、レモン⁽³⁴⁾、リンゴ⁽³⁵⁾、野菜ではカリフラワー⁽²²⁾、カブ⁽²²⁾、トマト⁽²²⁾、キュウリ^(36,37)、ピーマン⁽³⁷⁾なども低温に感受性である。これらは 15°C 以上ではほぼ安全であるが、10°C になると明らかな傷害をうける。

江口⁽²⁶⁾によると、イチゴおよびハナヤサイの花芽分化は、苗令にかかわらず東京付近では 10 月 10 日前後におこる。これは、東京の平均気温が約 17°C になる時期である。Gregory⁽²⁷⁾ は、ジャガイモの塊茎分化が夜間 17°C、短日という条件で茎頂部の刺激によってひきおこされたという。

このような例はしらべればまだまだたくさんあるにちがいないが、ただあげつらうだけでは問題の本質にちかづくことができないであろう。つぎに、その背後にかくされた生物物理学的な意味について考えてみよう。

その生物物理学的な意味は？

これまでに述べてきた諸事実は、いずれも、細胞が 15~20°C 以上と以下とでは生理的にちがった状態になることを示している。いいかえれば、15~20°C のあたりに生理学的な転換点があるということである。さらに、この転換温度の普遍性も注目にあたいる。それはいくらかの幅はあるが、生理的なもの、病理的なものを含めてたいへん異なった種類の現象に共通している。このことから判断すると、温度が直接に特定の酵素や酵素系に

作用するものとは考えにくい。むしろ、酵素あるいは酵素系の変化は2次的であって、それらに一般的に影響をおよぼすならかなの状態がまず生ずるのではないだろうか。

そういう一般的な影響をもちうるものとして、原形質の物理的状態が考えられる。原形質といえば、水のなかに直接、蛋白を中心とする高分子物質が、糖、アミノ酸や無機塩類のような低分子物質とともに溶解している部分と、蛋白と脂質を骨格として水と低分子物質を含んでいる膜部分とが考えられる。こういう複雑な系における物質の存在状態については、まだ研究がいとぐちにいたばかりであって、知識がたいへんとぼしい。しかし、水がこれらの系においてかなめの役割をもっているとするのは、1つの可能な予想であろう。水は、純水の場合でも、 0°C 以上でなおその結晶構造を部分的に保持している⁽²⁸⁾。この結晶構造は、低分子物質によっても容易にみだされる。たとえば、 Na^+ 、 K^+ のようなイオンは水分子をそのまわりに集め、別の結晶構造あるいは／および準結晶構造を生ぜしめる⁽²⁸⁾。まして蛋白のような高分子電解質が存在すれば、その内部および近辺の水は大きな影響をこうむることになり、しかもそれは、生細胞におけるごとく、蛋白が代謝に関与している場合には、時間的にも変化することになる⁽²⁸⁾。蛋白-脂質複合体を骨格としている生体膜の場合には、さらに複雑になるであろう。

Luzzati ら⁽²⁹⁾は、脂質-水系のミセル構造についてX線回折をもちいて相解析をおこなった。その結果によると、一定組成の系が適当な物理的、化学的条件の範囲で、その条件のわずかな変化により数種類の異なった液晶構造をとりうるという。この物理的条件はたとえば温度であり、化学的条件はたとえば塩濃度である。しかも、その相の転移点は、その脂質を分離した生物の生理的環境の範囲にある。たとえば、ヒトの脳から抽出されたりん脂質の場合だと、 37°C 付近に多くの転移点をもつ。Stoeckenius⁽³⁰⁾ はその数種類の構造を電子顕微鏡的に確認しているが、瞬時的に生滅するものはさらにたくさんあるのではないかと述べている。これは脂質と水と塩だけの系である。蛋白がくわわれれば、いくらかちがった構造になるであろう。しかし、生体膜の電顕像によく似たものが観察されている。

このような水の結晶構造が、 0°C から 100°C まで連続的に変化すると考える根拠はなにもない。ことに高分子を含んだ系においては、高分子の側の温度による変化にも左右されるのであるから、ある温度において質的な転

換がおこるとするものも、あながち無理な考えではないとおもう。もちろん、その証拠は現在、何もえられていないが、 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ のあたりにこの結晶構造の相転移点があると考えると、この論文の前半であげた諸現象を説明するのに好都合である。

この説明によれば、生理学的、病理学的な転換点は、多くの場合 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲にくることが予想されるが、いづれかならずこの範囲にこなければならぬわけではない。なぜなら、さきにも述べたように、結晶構造の転移は水の側ばかりでなく、生体膜側の性質にも関係しているからである。より疎水性の膜とより親水性の膜とでは、そのまわりの水の結晶の転移温度も異なるであろう。さきにあげた Lyons ら⁽²²⁾ の不飽和脂肪酸の場合についても、彼らは物理的な柔軟性とのみいっているが、親水性の差によって説明することもできよう。相転移の温度はまた介在する低分子物質によっても影響をうける。したがって、特殊に分化した細胞では、この相転移が 5°C とか 10°C とか、あるいはまた 25°C とかでおこってもよい。耐冷性の種間あるいは品種間の差異や、生育条件による変化は、これによって説明することができる。

凍結や高温の場合にも

Heber ら^(31,32)は、ホウレンソウから分離した葉緑体の懸濁液を凍結、融解すると、その光りん酸化系に不可逆的な脱共役がおこることを示した。この場合、その構成要素である ATP アーゼや共役因子は凍結にたえるので、凍結によりこわされるのは膜の高エネルギー状態、つまり膜構成要素の相対的位置であると推定している。この葉緑体の懸濁液にあらかじめ糖をくわえておくと脱共役を抑えることができ、塩をくわえておくと逆に脱共役が助長される。糖が保護作用を示すことは、はじめにふれた耐凍性獲得にともなう糖濃度の高まりの意味を説明するものである。彼らは、この事実から凍結による障害の機構を推論している。すなわち、蛋白-脂質膜系は水分子との水素結合によって形態をたもっているのであって、この系から氷のほうに水分子がうつる、つまり水分子がはぎとられることによって、膜構成要素間の関係にみだれが生じ、凍害がおこる。糖の保護作用は、膜から水分子がはぎとられたときに、それにかかわって糖の水酸基が蛋白と水素結合をし形態を維持させるのであろう。塩のような水素結合を破壊する物質が凍害をつよめることも理解される。

多くの蛋白は数十度で変性する。細胞の膜系になると、高温感受性はさらに高い。生物の至適活動温度が一般に

40°C 以下であるのは、この故であらう。この事実も、低温の場合と同様の仮説、つまりその付近に蛋白や膜を含んだ系の水の結晶構造転移点があるという仮説によって説明しうのではないだろうか。100°C 付近で生活する細菌もあるが、こういう高温耐性種はその蛋白の疎水性が高く、水の結晶構造に影響されにくいのであらう。

こうして、凍結の場合も、15~20°C の低温の場合も、また 40°C 以上の高温の場合も、水の結晶構造の変化を考えることにより統一的に理解しうようにおもわれる。いずれの場合も、蛋白、あるいは蛋白と脂質を中心とする系において、そのまわりの水の結晶構造の変化が系の形態を変え、その結果として機能が影響をうけるのである。

お わ り に

この論文の前半で説明した、15~20°C のあたりに生理学的あるいは病理学的な転換点があるというのは、1つの仮説である。しかし、筆者にはそれが確からしくおもえる。もし、ほんとうにそのような転換点があるならば、これまでの植物学の知見は、この観点からみなおされなければならぬ。後半で述べたところは前半の仮説にたいする説明であるが、これもまた1つの仮説である。こちらのほうはかなり漠然としているし、筆者自身あまり確信がもてない。もし、15~20°C の範囲に転換点があったとしても、それは NAD や NADP のような補酵素の濃度変化により生化学的に起こるのかもしれない。しかし、もしここで述べたような原形質内の相転移が代謝転換をみちびいているのだとしたら、生物学に新しい一面をくわえることになるだろう。筆者は生物物理学にはまったくのしろうとである。この仮説に無理があるかどうか、検討するにはどうしたらよいかなどについて、専門家のご意見をうけたまわりたい。

かなり大胆な考えであるだけに、説明が不十分なところも多かったとおもう。どのようなことであれ、ご批判、ご意見を歓迎する。

文 献

- 1) I. Nishiyama : *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, Sec. III, 9, 219 (1966).
- 2) A. Sakai : *Plant Physiol.*, 41, 353 (1966).
- 3) D. Simminovitch and D. R. Briggs : *Arch. Biochem.*, 23, 8 (1949).
- 4) J. Parker : *Plant Physiol.*, 37, 809 (1962).
- 5) E. D. Gerloff, M. A. Stahmann and D. Smith : *Plant Physiol.*, 42, 895 (1967).
- 6) D. R. Briggs and D. Simminovitch : *Arch. Biochem.*, 23, 18 (1949).
- 7) D. Simminovitch : *Canad. J. Bot.*, 41, 1301 (1963).
- 8) D. W. A. Roberts : *Canad. J. Bot.*, 45, 1347 (1967).
- 9) P. H. Li, C. J. Weiser and R. Van Huystee : *Plant Cell Physiol.*, 7, 475 (1966).
- 10) J. Levitt, C. Y. Sullivan, N. Johansson and R. M. Pettit : *Plant Physiol.*, 36, 611 (1961); をはじめとする一連の研究.
- 11) G. A. Jung, S. C. Shih and D. C. Shelton : *Plant Physiol.*, 42, 1653 (1967).
- 12) 酒井昭 : 低温科学, 生物編, 14, 7 (1956).
- 13) 西山岩男, 伊藤延男, 早瀬広司, 佐竹徹夫 : 日作紀, 38, 554 (1969).
- 14) N. Ito, H. Hayase, T. Satake and I. Nishiyama : *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, 39, in press.
- 15) 西山岩男 : 日作紀, 38 (別号 2), 99 (1969).
- 16) 寺尾博, 大谷義雄, 土井弥太郎, 泉清一 : 日作紀, 13, 317 (1941).
- 17) 藤原忠 : 農業気象, 22, 29 (1966).
- 18) 藤原忠, 阿部博史 : 北農, 33, 42 (1966).
- 19) 山下昭治, 小島俊爾, 大橋望東生, 五島善秋 : 植物花成の制御 (五島善秋編), 養賢堂, 東京, 1968, p. 1.
- 20) H. Shichi and I. Uritani : *Bull. Agr. Biol. Chem.*, 20, 284 (1956).
- 21) T. Minamikawa, T. Akazawa and I. Uritani : *Plant Cell Physiol.*, 2, 301 (1961).
- 22) J. M. Lyons, T. A. Wheaton and H. K. Pratt : *Plant Physiol.*, 39, 262 (1964).
- 23) M. Lieberman, C. C. Craft, W. V. Audia and M. S. Wilcox : *Plant Physiol.*, 33, 307 (1958).
- 24) T. Richardson and A. L. Tappel : *J. Cell Biol.*, 13, 43 (1962).
- 25) T. Richardson, A. L. Tappel, L. M. Smith and C. R. Houle : *J. Lipid Res.*, 3, 344 (1962).
- 26) 江口庸雄 : 園芸技術新説 (浅見博士還暦記念出版会編), 養賢堂, 1950, p. 590.
- 27) L. E. Gregory : *Amer. J. Bot.*, 43, 281 (1956).
- 28) I. M. Klotz : Horizons in Biochemistry (M. Kasha and B. Pullman, Ed.), p. 523 (1962).
- 29) V. Luzzati and F. Husson : *J. Cell Biol.*, 12, 207 (1962).
- 30) W. Stoeckenius : *J. Cell Biol.*, 12, 221 (1962).
- 31) U. W. Heber and K. A. Santarius : *Plant Physiol.*, 39, 712 (1964).
- 32) U. Heber : *Plant Physiol.*, 42, 1343 (1967).
- 33) T. Murata : *Physiol. Plant.*, 22, 401 (1969).
- 34) I. L. Eaks : *Plant Physiol.*, 35, 632 (1960).
- 35) A. C. Hulme, W. H. Smith and L. S. C. Woollorton : *J. Sci. Food Agric.*, 15, 303 (1964).
- 36) I. L. Eaks and L. L. Morris : *Plant Physiol.*, 31, 308 (1956).
- 37) L. L. Morris and H. Platenius : *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 36, 609 (1938).