球根類の耐凍性**

酒 井 昭

(北海道大学低温科学研究所生物学部門)

A. SAKAI: The frost-hardiness of bulbs and tubers

Summary

1. The frost-hardiness of bulbs and tubers varies according to their stages of development and internal conditions. The bulbs and tubers of tulip, lily, crocus, hyacinth, etc., become frost-hardy to some degree without being subjected to low temperature, when they mature sufficiently, and then they can be hardened further when they are subjected to low temperature. On the other hand, the bulbs and tubers of gladiolus, freesia and anemone are neither frost-hardy nor able to increase their frost-hardiness even if they would be subjected to 0°C. The ability to undergo effective hardening by artificial chilling is closely associated with the degree of their frost-hardiness (Table 2).

2. The minimum temperatures at which the bulbs and tubers are able to survive after 24 hours of freezing in winter are as follows:

Lilium dauricum (Ezosukashi) (−15°~−18°C) > Muscari
Ornithogalum (−12°~−13°C) > *Narcissus poeticus*
 (−10°~−12°C) > Tulip (var. Mozart)
 Crocus (var. Large Yellow)
 (−10°C) > *Lilium speciosum* (var. *rubrum*), *Narcissus*, *Iris hollandica*, Hyacinth,

(var. King Alfred), (−7°~−8°C) > *Montbretia*
Ixia > *Antholyza*
 (−5°C) > *Anemone*, *Gladiolus colvillei*, (−3°~
Freesia
 −4°C)

3. Dried tubers (water content below 25%) of anemone and ranunculus were immersed in liquid nitrogen (−196°C) for 24 hours. After having been warmed, they were planted in moist sand in greenhouse to test whether they were able to grow. The buds were put forth from the bulbs so treated and grew normally (Fig. 1). From this fact, it seemed that the easily freezable water in cells of these bulbs have been lost by desiccation, and that the bulbs in this state were not injured even when exposed to the extremely low temperature. On the other hand, when the bulbs had adsorbed water sufficiently, they were damaged by freezing even at −5°C. Accordingly, without intracellular freezing, the degree of cold does not seem to exert any important effect upon the bulb, and also it seems that the low temperature itself cannot be a primary factor of damage by freezing.

I. 緒 言

北海道の内陸部、たとえば、帯広地方のように、冬の最低気温が −30°C 近くまで下がり、しかも積雪が比較的少ないために、地下 30 cm 近くまで凍結する所でも、ユリ(紅スカシ、黄スカシ、白、赤鹿の子、鉄砲、日本姫など)、チューリップ、リヤトリス、ヒヤシンス、クロッカス、スイセン、ダッチアイリス、アリウムなどが越冬している。また本州各地で越冬している球根類の地上部の葉や茎は冬期間、氷点下数度の凍結に耐えて越冬している。このようなことから、越冬球根類の地上部も地下部もある程度の凍結に耐えられることは明らかである。一般に地下部は地上部より耐凍性が小さいが、コリヤナギの根は冬季少なくとも −15°C での1日間の凍結に耐えるし、宿根草の根も冬は氷点下数度の凍結に耐えるものが多い。植物が凍結に耐える能力は植物の発育の stage

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 549 号

1960 年 6 月 20 日受理

**耐凍性とは凍結状態に耐える性質のことである。

によつて非常に異なっているし、また外周温度によつても大きな影響を受ける。球根類だけがその例外とは考えられない。しかし、現在まで、球根類の耐凍性については全く調べられていない。本論文では各種の球根類を用いて、耐凍性の色々な問題を調べてみた。

材料について種々御配慮を頂いた沼田基吉氏に、また帯広地方での球根類の越冬状況や凍結地温について色々御教示を頂いたり、測定値を利用して頂いた猪谷 実、阪本 孝の両氏に謝意を表します。

II. 実験材料および方法

実験材料として、ラッパスイセン (*Narcissus pseudo-narcissus* L.: King Alfred), 口紅スイセン (*N. Poeticus* L.), ダッチアイリス (*Iris hollandica* HORT.: Wedgewood), イキシヤ (*Ixia speciosa* ANDR.), 早咲グラジオラス (*Gladiolus colvillei* SW.: Alba), アンソリザア (*Antholyza aethiopica* L.), アネモネ (*Anemone coronaria* L.), フリージャ (*Freesia refracta* KLATT: Golden Butter Cup), ヒヤシンス (*Hyacinth orientalis*

L.), クロッカス (*Crocus chrysanthus* L.: Large Yellow), チューリップ (*Tulip gesneriana* L.: Mozart, Mrs. Fancome Sanders) エゾスカシ (*Lilium dauricum* KER-GAWL.), 赤鹿の子ユリ (*Lilium speciosum* THUMB. var. *rubrum* HORT.), オーニソガラム (*Ornithogalum umbellatum* L.), ムスカリ (*Muscari bortryoides* MILL.), モントブレッチャー (*Montbretia crocosmaeflora* HORT.) を用いた。

これらの球根類は掘出して乾燥したものを実験使用前に 10°C 以下の低温にあわせないように 15~20°C の室温においた。これを 0°C で 40 日間低温処理して、低温処理前後における耐凍性の大きさの変動を調べた。また一部の球根は 9 月下旬に土に植込み、12 月下旬掘出して耐凍性の大きさを調べた。球根類は非常に過冷却しやすいので、凍結させる前に、球根を水に濡らしてから、径 20 cm のシャールに入れて、-5°C の恒温箱に入れて 2 時間後にまだ凍結していない球根は植水して凍結させた。その後、所定の温度の恒温箱中に一定時間凍結状態においた。その後 0°C の部屋に取出して融解後、川砂に植込んで温室中において、その後の発芽、生長状態を調べた。1 系統の実験に球根 10 個ずつを使用した。耐凍性の大きさは凍結融解後、正常に発芽生長する最低温度でそれをあらわした。凍結融解後、害をうけた球根は柔らかいし、臭気があり、変色しているので、容易に見分けられる場合が多い。また外観や固さには異常が認められない場合でも、球根内に凍害を受けている場合には、その後の発芽伸長が対照のものより悪い。温室に 40 日間おいてから正常であるかどうかを判定した。

III. 実験結果

1. 球根の状態と耐凍性の関係

オーニソガラムの球根を掘出してから 2 日後と、室温に 1 か月間おいて乾燥させた場合と、それをさらに 0°C で 40 日間低温処理した場合のそれぞれの耐凍性の大きさを第 1 表に示した。第 1 表の耐凍性の大きさは各温度

第 1 表 球根の状態と耐凍性の関係
(オーニソガラム)

耐凍性の大きさ (1 日間凍結)	球 根 の 状 態		
	掘 出 後 (9月10日)	乾 燥 後 (10月10日)	低温処理 (11月20日)
	—	-5°C	-12°C

で 1 日間凍結させた時の害なしに耐えうる最低温度であらわした。掘出した直後は、-5°C で 5 時間の凍結にも耐えられないが、乾燥した場合には -5°C で 1 日間の凍結に耐えられるようになる。それを低温処理すると耐凍性はさらに著しく高まった。

2. 球根類の低温処理による耐凍性の変化

比較的乾燥状態にある 13 種類の球根の耐凍性と、それを 0°C で 40 日間低温処理した場合の耐凍性の変動の結果を第 2 表に示す。耐凍性の大きさは前と同様に、1 日間凍結させた場合の値である。フリージャ、グラジオラスは耐凍性が小さいので、低温処理効果が明らかでないが、ほかの球根類はいずれも耐凍性が増大している。その場合、耐凍性の大きい球根ほど、低温処理によつて耐凍性が高まる度合いが大きい。表中の値は球根全体が全く害を受けない最低温度であるので、球根の中で最も耐凍性の大きい組織部位の限界温度はもつと低い。たとえばユリでは鱗片は非常に凍結に強く、赤鹿の子では -15

第 2 表 球根類の低温処理前後の耐凍性* の差

球 根 の 種 類	低温処理前	低温処理後 (0°C, 40日間)
フリージャ Freesia	—	3~-4°C
早咲グラジオラス (アルパ) <i>Gladiolus colvillei</i>	—	-3~-4°C
モントブレッチャー <i>Montbretia</i>	—	-5~-6°C
ダッチアイリス (ホワイトシベリアン) <i>Iris hollandica</i>	-4~-5°C	-7°C
ヒヤシンス <i>Hyacinth</i>	-5°C	-7~-8°C
ラッパスイセン (キング・アルフレッド) <i>Narcissus</i> (King Alfred)	-5°C	-7~-9°C
口紅スイセン <i>N. Poeticus</i>	-7°C	-10~-12°C
クロッカス <i>Crocus</i> (Large Yellow)	-5°C	-10°C
オーニソガラム <i>Ornithogalum</i>	-5°C	-12°C
チューリップ (モザート) <i>Tulip</i> (Mozat)	-7°C	-10~-12°C
" (ミセス・ファンコンベ・サンダース) <i>Tulip</i> (Mrs. Fancome Sanders)	-5°C	-10°C
ユリ (赤鹿の子) <i>Lilium speciosum</i> (Akakano-ko)	-5°C	-8~-10°C
" (エゾスカシ) <i>Lilium dauricum</i> (Ezosukashi)	-7~-8°C	-15~-17°C

* 耐凍性の大きさは 1 日間凍結した場合の害なしに耐えうる最低温度であらわした。

°C にエゾスカシでは -20°C 近くの凍結に耐える。

3. 植込まれた球根の冬の耐凍性

9 月下旬に植込んでおいた球根類を 12 月 15 日に掘出して耐凍性の大きさを調べた。12 月 15 日には 20 cm の積雪があり、地下 5 cm ほど凍結していた。土壌は凍結していたが、地表面下 3~5 cm の部分の最低地温 (12 月中) は -0.5°C であった。掘出した球根を水で洗い、根をつけたまま、凍結させた。第 3 表にその結果を示し

第3表 冬季土壤中の球根の耐凍性の大きさ

球 根 の 種 類	耐凍性の大きさ*
早咲グラジオラス (アルバ) <i>Gladiolus colvillei</i>	-3~-4°C
アネモネ <i>Anemone</i>	"
モントブレッチャ <i>Montbretia</i>	-5°C
アンソリザー <i>Antholyza</i>	"
ダッチアイリス (ホワイト・シベリアン) <i>Iris hollandica</i>	-6~-7°C
イキシヤ <i>Ixia speciosa</i>	-7°C
ヒヤシンス <i>Hyacinth</i>	"
ラッパスイセン (キング・アルフレッド) <i>Narcissus (King Alfred)</i>	-7~-8°C
口紅スイセン <i>N. Poeticus</i>	-10~-12°C
クロッカス (ラージ イエロー) <i>Crocus (Large Yellow)</i>	-10°C
チューリップ (ミセス・ファンコンベ・サンダース) <i>Tulip (Mrs. Fancombe Sanders)</i>	-8°C
" (モザート) <i>Tulip (Mozart)</i>	-10~-12°C
オーニソガラム <i>Ornithogalum</i>	-12~-13°C
ムスカリ <i>Muscari bortryoides</i>	-15~-18°C
ユリ (赤鹿ノ子) <i>Lilium speciosum (Akakanoko)</i>	-8°C
" (エゾスカシ) <i>Lilium dauricum (Ezokashi)</i>	-15~-18°C

* 耐凍性の大きさは球根が1日間の凍結に害なしに耐える最低温度で示す。

た。その値は乾燥した球根を0°Cで40日間低温処理した値と大体同様な結果を示している。

どの球根も1~5cm位の根が伸長していたが、これらの根も凍結に耐えるものが多かった。殊に、オーニソガラムの球根の根は-10°Cでの1日間の凍結に耐えた。アイリス、ヒヤシンス、クロッカスの根も-5°Cでの1日間の凍結に耐えた。ユリの場合を除いて、球根の耐凍性と根の耐凍性との間に平行関係が認められる。フリージャ、早咲グラジオラス、アネモネは-5°Cでの1日間の凍結には耐えられないが、凍結すれば必ず死ぬのではなく、-3°C~-4°Cでの数時間の凍結には充分耐えられる。以上の結果、球根類の耐凍性の大きさの順位は大体次のようになる。

エゾスカシユリ、ムスカリ (-15°C~-18°C) > オーニソガラム (-12~-13°C) > 口紅スイセン (-10~-12°C) > チューリップ (モザート)、クロッカス (-10°C) > 赤鹿の子ユリ、スイセン (キングアルフレッド)、ヒヤシンス、ダッチアイリス、イキシヤ (-7~-8°C)、チューリップ (ミセス ファンコンベ・サンダース) (-7~-8°C) > モントブレッチャ、アンソリザー、シラカンパヌウラ (-5°C) > アネモネ、早咲グラジオラ

ス、フリージャ (-3~-4°C)

4. アネモネ、ランンキュラスの液体窒素 (-196°C) 中での生存実験

市販されている乾燥したアネモネ、ランンキュラスの球根の含水量 (110°C で乾燥して測定) は約 18~20% (新鮮重当り) である。この程度乾燥しているアネモネの球根を室温から液体窒素中に入れて、1日後に取出して温室で砂植したところ、第1図のように正常に発芽伸長した。ランンキュラスも液体窒素処理後正常に発芽伸長

第1図 乾燥したアネモネ球根 (含水量18%) を液体窒素に1日間入れておいてから取出して鉢植したところ、正常に発芽し伸長中である。

した。このことは、アネモネやランンキュラスの球根中に20%近い水が含まれているが、この水は凍らない状態にあるものと考えられる。次にアネモネの球根をシリカゲルを入れたデシケーター中で徐々に乾燥させて、どの程度の脱水にまで耐えられるかを調べてみたが、含水量が10~12%存在している時は発芽は対照のものよりおくれるが、正常に発芽伸長する。含水量が5%以下では全く発芽しない。また水で飽和されたデシケーター中にアネモネの球根を入れて、徐々に吸水させて含水量を色々に変えてから、液体窒素中に入れて生死を調べてみたが、含水量が30%以上の場合は全く発芽しない。発芽する限界は25~28%と思われる。なお10°Cの水中で16時間吸水させるとアネモネの含水量は55~60%になる。この球根を-5°Cで16時間凍結させたが、発芽しなかつた。したがって、アネモネの球根は乾燥には非常に強いが、充分吸水した球根は全く耐凍性がないことがわかる。

IV. 考 察

乾燥状態にある球根はそのまま -10°C の低温にさらしても、過冷却して凍結しない場合が多い。グラジオラスのような -5°C での短時間の凍結にも耐えられないものでも、 -7°C で1日間過冷却状態にいた時は全く害を認めなかった。本実験のように凍結に耐える能力を調べる時には、できるだけ同時に凍結させてから一定時間低温におくことが必要である。もしも球根を一定温度に一定時間さらしてから取出して、生死を調べるだけでは、球根が過冷却していたのか、凍っていたのか、凍っていたとしても、いつから何時間凍っていたか判らない。球根の耐寒性が問題でなく、球根が凍結状態にどれだけ耐えるかどうかの問題である。

1. 球根の耐凍性

凍結状態に殆んど耐えないものから、 -20°C 近くの凍結に耐えるものまで、球根の種類によつて耐凍性は非常に異なっている。また同一種でも、品種、系統によつて耐凍性が異なっている。オーニソガルの球根では、掘出した直後では -5°C での数時間の凍結にも耐えないが、室温で1か月乾燥させると、低温にあわせなくても、 -5°C での1日間の凍結に耐えるようになる。さらに 0°C でその球根を低温処理すると耐凍性が著しく増す。冬には -30°C 以下の凍結に耐えられる木でも、夏の生長中の時は、 -5°C での凍結に耐えられないし、低温処理しても耐凍性は殆んど増さない。しかし生長がとまるとまもなく、細胞内に澱粉が蓄積されてくるし、生長停止後、10日以内に含水量が $10\sim 15\%$ 急減する。このような成熟状態に入ってくると、気温が 25°C 以上でも枝は -5°C での1日間の凍結に耐えるようになるし、低温処理効果も著しくなる^(1,2)。上にのべたオーニソガルの場合と、木の現象とが類似しているように思われる。植物の耐凍性や低温処理効果の大きさは発育 stage や細胞の状態と密接に関連していて、植物の内部的条件が充たされなければ、たとえ低温にあわせても耐凍性がまさない場合が多い。

一般に地上部と比較して地下部は耐凍性も小さいし、

同一条件で低温処理しても、耐凍性の増加の程度が地上部よりも小さい。しかし、宿根草の根部でも、冬季にはかなりの凍結に耐えるものが多い。札幌地方では3月初旬には、植物の耐凍性は冬よりかなり減少しているが、それでも、アルメリア、セタナリヤ、ノコギリ草、オダマキなどは地上部も地下部も $-5\sim -7^{\circ}\text{C}$ で少なくとも1日間の凍結には害を受けない。これらのものは冬期間は -10°C 近くの凍結に耐えられるとおもわれる。またドイツスズランの根部も冬は $-10\sim -13^{\circ}\text{C}$ での凍結に耐えた。さらに冬にムスカリ、オーニソガルの球根から5cmほど伸長した細根が -7°C で少なくとも1日間の凍結に耐えたことは興味あることである。かように木は勿論、球根類や宿根草などの越冬性の植物の根部は冬にはかなりの凍結に耐えられる状態になっている。

2. 休眠と耐凍性

木の冬芽の場合においても、休眠と耐凍性の間には関係は認められない。札幌では、多くの木の自発的休眠は8月下旬～9月初旬に始まり、11月下旬に破れる。休眠が破れてから、耐凍性はむしろ増大する。少なくとも、休眠が破れたからといって、耐凍性が減少することはない。また、バラのように冬芽の休眠のないものでも、休眠に無関係に、耐凍性は秋から冬に増大する。これらのことは球根についてもいえる。したがって、耐凍性増大

第4表 外気温と凍結土壌中の温度の関係

最低温度 (外気温)	地 中 温 度			積雪量
	10cm	20cm	30cm	
-32.1°C	-6.9°C	-5.3°C	-0.8°C	62
-33.0°C	-8.1°C	-7.0°C	-1.8°C	60
-28.4°C	-7.7°C	-7.7°C	-2.8°C	51
-28.7°C	-7.4°C	-7.1°C	-3.6°C	68
-8.4°C	-1.1°C	-1.2°C	-0.1°C	68
-7.0°C	-3.4°C	-4.6°C	-3.8°C	60

測定は午前9時。温度計の覆い箱の蓋の上だけの雪は除雪。(阪本 孝氏測定)

第5表 凍結土壌中の各深度における温度

年	1 月 の 平 均 地 温				平 均 積雪量	2 月 の 平 均 地 温				平 均 積雪量	3 月 の 平 均 地 温			
	地下					地下					地下			
	5cm	10cm	20cm	30cm		5cm	10cm	20cm	30cm		5cm	10cm	20cm	30cm
	℃	℃	℃	℃	cm	℃	℃	℃	℃	cm	℃	℃	℃	℃
1955	-4.4	-3.8	-3.6	-2.4	27	-4.2	-4.0	-4.3	-3.5	64	-1.8	-1.4	-1.9	-1.5
56	-3.6	-3.3	-2.9	-1.9	56	-4.9	-4.4	-4.5	-3.8	60	-2.0	-1.5	-1.8	-1.6
57	-5.7	-5.7	-4.9	-4.1	32	-6.2	-5.9	-5.4	-4.9	57	-2.8	-2.8	-2.7	-2.2
58		-2.7	-3.5	-2.2	57		-2.0	-2.5	-2.1	122				
59		-4.8	-4.9	-2.8	71					75				

測定は午前9時、1959年1月の平均気温は -12.3°C (阪本 孝氏測定)

にとつて休眠が不可欠な条件とは思われない。

3. 凍結土壤中での球根の越冬問題

北海道で土壌凍結の甚だしい地域の1つである帯広地方では、例年冬は地下20~40cm凍結しているのに、その凍結土壤中、ユリ、チューリップ、スイセン、クロッカス、ヒヤシンスなどが越冬している。凍結地温の測定は面倒であるので、気象台でも測定していないが、帯広市の阪本孝氏が数年来、凍結地温を測定されている。そのデータに基づいて、気温が最も低い時と高い時における、いろいろの深さの凍結土壌中の温度を第4表に示す。

帯広では球根類の植込んである地下5~10cmの部位の1月の地温は数年間の平均が約-4℃前後である(第5表)。この部分の温度は外気温、日射、積雪量などによつて変わり、また1日の間に温度の変動も甚だしいが、最低-8℃前後である。しかもその温度に2日も3日も持続しておかれることは少なく、むしろこれより高い温度におかれる場合が多い。したがつて、約-7~-10℃での凍結に1日間耐えられる球根ならば、帯広地方のような所でも充分越冬できるはずである。

この結論を下すまに問題となるのは、凍結期間の問題である。実験的には1日間凍らせてただけであるが、自然状態では冬中凍結状態におかれている。この関係を明らかにするために、-12℃での凍結に少

第6表 害を受けないで耐える凍結持続期間(オーニソガラム)

	凍 結 温 度		
	-10℃	-7℃	-5℃
害を受けない凍結持続期間	3~5日	15日	少なくとも60日間

なくとも1日間耐えられるオーニソガラムの球根(-15℃での1日間の凍結には耐えられない)を-10℃、-7℃、-5℃の温度でいろいろの期間凍結させて、害なく耐える凍結持続期間を調べてみた。第6表にこの結果を示す。-10℃では3~5日間しか耐えられないのに、-7℃では15日間、-5℃では少なくとも60日間凍結状態においても害を受けない。したがつて、-10℃で少なくとも1日間耐えられる程度の球根ならば、帯広地方では充分越冬できることが判る。著者の木の実験から、その植物がある地方で越冬できる温度条件として、その土地の最低温度での1日間の凍結に耐えられるならば、その植物は充分その土地に越冬できるものと判断しているし、事実そうである。球根についてもこのことがいえる。実際、帯広地方で越冬できる球根類は約-7℃以下の1日間の凍結に耐えられるものに限られている。とにかく、かような凍結土壌中において、球根は長期間細胞外凍結状態

で越冬している。そのような球根は凍結して、硬くなっているし、切つてみると、球根中に氷が多量につまっているのが認められる。

4. ブラインドの問題

本実験では、実験をできるだけ簡単にするために、温室に40日間おいてから害の状態を調べたので、開花状態を詳しく調べなかつたが、どの球根でも-5℃で1日間凍結させた時には、ブラインドの現象がみられなかつたが、-10℃以下で凍結させた時にはブラインドの傾向が多くなつた。

5. 液体室素中での生存の意義

乾燥状態にあるアネモネの球根は-30℃や-76℃に1日間おいた場合も全く害を認めなかつた。液体室素中に1日間入れて取出して栽培しても、全く害を受けていなかった。この場合、あたためる速度は全く影響がなかつた。もしも細胞中に凍り易い水があるならば、室温から-196℃の液体室素中に入れて急速に冷却するので致命的な細胞内凍結をおこすはずである。しかし、このように急速に冷却しても、全く害を受けなかつたことは細胞内に凍りやすい状態の水が存在していないことを示すものと解釈される^(8,5)。しかし、アネモネの球根が水を充分吸水した時には、-5℃での16時間の凍結にも耐えない。この実験から、-196℃のような超低温に冷却しても細胞内が凍らなければ、低温それ自身は凍害の一次的要因にならないことが判る。ランタンキュラスについても同様な結果をえた。

6. 耐乾性と耐凍性との関係

球根中、アネモネとランタンキュラスは特に乾燥状態に強い。含水量が数%になるまで脱水されてもお生存している。しかも、アネモネの球根は殆んどが柔組織からできている。このような強度の脱水に耐えられるのは、どのような物質的要因に基づいているのか興味深い。

このような脱水状態に強い球根がもしも細胞外凍結状態におかれるならば、細胞外凍結による強度の脱水にも充分耐えられるはずである。しかし実際には、氷点下数度の凍結にも耐えられない。したがつて、吸水したアネモネの球根は容易に致命的な細胞内凍結を起しやすいと考えられる。その原因が、原形質膜の防透性(細胞内に水が進入するのを防ぐ能力)が小さいことによるのか、原形質膜に対する水の透過性の小さいためか、あるいはその両方によるのかはともかくとして、細胞内凍結を起しやすいと考えざるをえない。生物が凍結状態に耐えられるためには、細胞内凍結を起しにくいことが不可欠な先決条件である。さらに細胞外凍結状態での脱水状態にも耐えられることが必要である。一般に植物での耐凍性

増大過程をしらべてみると⁽⁴⁾、まず細胞内凍結が起りにくくなると同時に、それにつれて、細胞外凍結に対する抵抗性も漸次たかまつてゆく。したがって、耐凍性の大きい植物は細胞内凍結も非常に起こりにくいし、細胞外凍結に強度の脱水にも充分耐えられる。これらのことから、耐凍性の大きい生物は脱水に対する抵抗性も強いが、逆に脱水に対する抵抗性が強いもの必ずしも耐凍性が大きいとは考えられない。このようなことから、球根が凍結に耐えられるかどうかは、その球根が細胞外凍結を起しやすい状態になりうるかどうかによつてきまるものと解釈してもよい。

摘 要

1. 球根の耐凍性はその発育 stage や状態によつて異なる。充分成熟した球根では、0°C で的人工的低温処理によつて耐凍性が増大する。その際、耐凍性の大きいものほど、低温処理効果が大きい。耐凍性の小さいフリージャ、グラジオラス、アネモネでは耐凍性が殆んど増さない。

2. 凍結土壌中では耐凍性のある球根は細胞外凍結状態で越冬している。

3. 球根の冬の耐凍性の大きさ(1日間凍結)およびその順位は大体次のようである。

エゾスカシユリ、ムスカリ (-15~-18°C) > オーニソガルム (-12~-13°C) > ロシイセシエン (-10~-12°C) > チューリップ (モザート)、クロッカス (-10°C)

> 赤鹿の子ユリ、スイセン (キング アルフレッド)、ヒヤシンス、イキシヤ、ダッチアイリス、チューリップ (ミセス・フアンコンペ・サンダース) (-7~-8°C) > モントブレッチャー、アンソリザー。シラカンパヌウラ (-5°C) > アネモネ、早咲グラジオラス、フリージャ (-3~-4°C)

4. 乾燥したアネモネ、ランタナキュラス (含水量 25%以下) は室温から直接液体窒素 (-196°C) 中に1日間入れておいても全く害を受けなかつた。このことは細胞内に含まれている水が、凍らない状態にあることを示している。しかし、吸水したアネモネの球根は -5°C で凍結にも耐えられない。したがって、細胞内凍結さえ起らなければ、たとえ -196°C に冷却しても、低温それ自身は凍害の一次的要因にならないことが判る。

文 献

1. 酒井 昭. 1955. 桑枝条の発育過程と耐凍性獲得の関係. 低温科学 生物篇. 13: 21-31.
2. ———. 1956. 植物における耐凍性増大と外囲温度. 低温科学 生物篇. 14: 7-15.
3. ———. 1956. 超低温における植物組織の生存. 低温科学 生物篇. 14: 16-23.
4. ———. 1958. 木本類の耐凍性増大過程, II. 耐凍性増大と糖類及び水溶性蛋白質の関係 (2). 低温科学 生物篇. 16: 23-34.
5. SAKAI, A. 1960. Survival of the twig of woody plants at -196°C. Nature 185: 393-394.

抄 録

モモ果実成熟中のペクチン物質の変化

モモ果実の成熟中のペクチン物質ならびにその methoxyl 含量を調べ、果実軟化との関連を考察した。成熟中、果肉が軟化しやすいエルバータ種 (5年生) を用い、7月28日 (果実の大きさが最大になり淡緑色で、かたい)、8月2日 (少し黄味をおびる)、6日 (赤味をおび幾分軟くなる)、11日 (軟くなる)、15日 (非常に軟化) に果実を収穫し、ペクチン物質の定量をした。

その結果、成熟に伴ない酸可溶性ペクチン (Protopectin)、水溶性ペクチン含量ともに新鮮重当りでも乾物重当りでも減少する。特に7月28日から8月2日にかけての酸可溶性ペクチン含量の減少は著しい。また全ペクチン物質含量 (anhydrogalacturonic acid として) も減少する。なお全ペクチン物質中の酸可溶性ペクチンの

割合は成熟とともに減少するが、水溶性ペクチンの割合は増加する。ペクチン物質中の methoxyl 含量の割合も水溶性・酸可溶性ともに成熟につれ段々と減少し、ナシアボカドの場合と同様である。一般にペクチン物質の溶解は depolymerization または水素イオン濃度の減少によるとされている。多くの果実は成熟が進むと遊離の酸含量が減少するので、モモでもよりアルカリ条件になることがペクチン分子の結合を低下させるのではないかと推定している。(岩田 正利)

STERLING, C. and A. J. KALB. 1959. Pectic changes in peach during ripening. Bot. Gaz. 121(2): 111-113.