

ニンニクの球形成と休眠に関する研究

高 樹 英 明

(山形大学農学部蔬菜園芸学研究室)

(昭和53年9月30日受理)

Studies on Bulb Formation and Dormancy of Garlic Plants.

Hideaki TAKAGI

Laboratory of Vegetable Crop Science, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka, Yamagata, Japan.

(Received September 30, 1978)

目 次

緒 言	217
第1章 球形成に関する研究	219
第1節 花序と鱗茎の構造と形成過程	219
(1) 花序の構造	219
(2) 鱗茎の構造	221
(3) 花序および鱗茎の形成過程	222
第2節 貯蔵葉の形成誘導および形成・肥大に及ぼす外的および内的条件の影響	223
第1項 低温の貯蔵葉形成誘導効果に及ぼす植物体の発育段階の影響	224
第2項 貯蔵葉の形成誘導および形成・肥大に及ぼす温度と日長の影響	226
(1) 貯蔵葉の形成・肥大および普通葉の生長に及ぼす低温誘導後の栽培温度の影響	229
(i) 貯蔵葉の形成・肥大	229
(ii) 普通葉の生長	232
(2) 貯蔵葉形成誘導適温	232
(3) 貯蔵葉形成誘導可能な温度の上限と処理期間	233
(4) 貯蔵葉形成誘導可能な種球の植付け前処理温度の上限と植付け後の限界日長の品種間差異	234
(5) 総 括	237
第3項 貯蔵葉形成に及ぼす低温誘導後の高温の影響	238
(1) 植付け後の高温の影響	239
(2) 植付け前の高温の影響	242
(3) 総 括	242
第3節 花序の形成誘導および形成と発達に及ぼす外的および内的条件の影響	243
第1項 種々の球形成型と花序形成との関係	243
(1) 普通に見られる球形成型	243
(2) 特殊条件下でみられる球形成型	244
(i) 花序貯蔵葉化・側球形成型	244
(ii) 頂芽貯蔵葉化・側球形成型	245

(iii) 中心球形成・側球不形成型	246
(3) 総括	246
第2項 花序形成に及ぼす外的および内的条件の影響	247
(1) 花序形成に及ぼす種球の低温貯蔵の影響	248
(2) 花序の形成と発達に及ぼす低温誘導後の日長の影響	252
(i) 花序形成に及ぼす低温誘導後の日長の影響	253
(ii) 花序の形成節位と形成時期に及ぼす低温誘導後の日長の影響	254
(iii) 花序の発達に及ぼす低温誘導後の日長の影響	255
(iv) 側球形成に及ぼす低温誘導後の日長の影響	255
(3) 花序の形成と発達に及ぼす低温誘導後の栽培温度の影響	256
(i) 花序形成可能な栽培温度の上限	257
(ii) 花序形成個体率を高める最適栽培温度	258
(iii) 低温栽培と花序形成	258
(iv) 花序の発達に及ぼす栽培温度の影響	259
(4) 花序形成に及ぼす低温誘導時の植物体の大きさの影響	259
(5) 花序形成に及ぼす低温誘導前の栄養生長期間中の日長の影響	261
(6) 総括	262
(i) 花序の形成	262
(ii) 花序の発達	264
第4節 摘要	264
第2章 休眠に関する研究	265
第1節 材料および方法	265
(1) 供試球の調整と貯蔵方法	265
(2) 発芽試験方法	266
(3) 休眠の深さの評価法	266
第2節 休眠過程の様相	266
第3節 球の発芽適温	270
(1) 休眠覚醒球の発芽適温	271
(2) 休眠球の発芽適温	272
第4節 球の大きさと発芽の早さ	273
第5節 球の休眠打破および休眠維持に及ぼす貯蔵温湿度の影響	273
結果	
(1) 植付け後の発芽に対する影響	274
(i) 貯蔵温度の影響	274
(ii) 貯蔵湿度の影響	278
(2) 貯蔵中の発根に対する影響	278
(3) 貯蔵中の球重の減少	279
(4) 低温貯蔵中における球の芽と根の生長	279
考察	
(1) 貯蔵温度の休眠打破および休眠維持効果	279
(2) 貯蔵中の発根に及ぼす貯蔵温度の影響	281
(3) 休眠の人為的制御を目的とする貯蔵法	281
(i) 休眠打破のための貯蔵法	281

(ii) 休眠維持のための貯蔵法	281
第6節 球の休眠打破に及ぼす収穫期前後の植物体の高温経過の影響	282
第7節 球の発根と発芽との関係	284
結果	
(1) 発芽に及ぼす球への水分供給条件の影響	285
(2) 植付け後の発根と発芽に及ぼす貯蔵温度の影響	285
(3) 植付け後の根発生量と芽の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響	286
考察	
(1) 芽の生長と発根および根系発達との関係	287
(2) 発根および根の生長に及ぼす貯蔵温度の影響	288
第8節 植付け後の発芽に及ぼす異なる休眠段階の球に対する貯蔵温度の影響	288
第9節 植付け後の発芽に及ぼす球の時期別変温貯蔵の影響	290
第10節 摘要	292
第3章 結論	294
(1) 植物体の発育と外的および内的条件との関係	294
(2) 栽培法の改善	297
(i) 種球冷蔵早出し栽培	297
(ii) 普通栽培	299
(3) 球の長期貯蔵法	299
(4) 春植え栽培	300
引用文献	300
Summary	303

緒 言

ニンニク *Allium sativum* L. は中央アジア原産と推定され (JONES・MANN, 1963), 通常地下部に形成される鱗茎を生食あるいは加工して調味料および医薬用に供する作物である。ニンニクは B. C. 30世紀頃の古代エジプトにおいてすでに知られており (TÄCKHOLM・DRAR, 1954), 世界的にみて最も古くから人類に利用されてきた蔬菜の1つとされている。日本においても本草和名 (918年) にその記述のあることから A. D. 10世紀以前にすでに知られていたことがわかる。日本へは中国を経由して中央アジアから入ってきたものと考えられている。

日本におけるニンニクの利用はその強い臭気がきらわれたためか, 近年までは一般的でなかった。ところが近年, 肉類消費の増加や中華料理風インスタント食品の生産増大に伴う調味料としての需要や健康滋養食品としての需要が増大し, 栽培もそれに伴って著しい伸びを示している。

ニンニクの栽培は南は沖縄から北は北海道に至るまで広く行われているが, たいてい秋植え初夏～夏どりの普通栽培で行われている。他の作型としては, 暖地の一部で冷蔵種球を秋植えて早春～春どりする種球冷蔵早出し栽培と, 極早生の品種を秋植えて1月中旬からトンネルをかけて春どりするトンネル早熟栽培とが行われている。種球冷蔵早出し栽培はニンニクの球形形成が冬の低温経過によって誘起されるという性質を利用したもので, 島田・庄崎 (1954) がこの作型の成立可能性を明らかにし, 山田 (1959a, 1959b, 1963), 幸

地・松江(1959)およびその他の研究により実用化されたものである。しかし、この作型には、本来、6,7個以上形成される鱗片(側球)が1個しか形成されない異常球形成(一ツ玉球形成あるいは中心球形成)や肥大・休眠して鱗片になるべき側芽が栄養的に生長する異常発育(2次生長)などが年により、地域により大発生し問題になっている。これらの異常な球形成や発育の現象に関しては、すでに山田(1959a, 1959b, 1963), 青葉(1966, 1971), 青葉・高樹(1971), 川崎(1971), 勝又(1974), 加藤ら(1974), 阿部・木藤(1975), 木藤ら(1975)の報告があり、温度、日長および肥料条件などが発生に関係していると言われている。しかし、この作型の生理生態学的基礎がまだ十分明らかでないため、これらの異常な球形成や発育の発生原因にはまだ不明な点がある。そして、それらの十全な防止対策もまだ確立されていない。

ところで、ニンニクは以上の作型により、初夏から夏にかけては新鮮な球が多く供給されるが、秋から早春までの間は収穫がない。この間は貯蔵球や東南アジアなどからの輸入球が出回っているが、これらは品質が国内産の新鮮球に劣るうえ供給量も少ない。市場価格と入荷量(取扱高)を東京都中央卸売市場の昭和43年~49年の統計でみると(東京都中央卸売市場年報〔農産物編〕), 入荷量は一般的傾向として5~7月が最大で、これより時期が前後にずれるに従って少なくなり、1,2月が最も少なくなっている。市場価格は入荷量に大体反比例していて、2月が最も高く、これより時期が前後にずれるに従って低くなっており、6~8月が最も低い。このため、冬~早春の市場価格の高い時期の収穫を目ざして、最近暖地で種球冷蔵とビニールハウス栽培などを組み合わせて、現行の露地の種球冷蔵早出し栽培より一層早どりする栽培が試みられているが、この栽培では一ツ玉球や2次生長の発生が一層激しくなるようである(阿部・木藤, 1975)。

冬から早春の端境期に新鮮な球を多量に供給するためには、現在はまだ問題がある種球冷蔵早出し栽培法の技術的改善をはかり、栽培面積の拡大をうながすことや、この作型の前進化を進めることがまず考えられるが、その他に収穫球の良品質を長く維持する貯蔵法の開発や新たな作型の開発、例えばタマネギで行われている春植え秋どり栽培のような作型の開発を行うことも考えるべきであろう。しかし、これらの作型開発を進めるにあたっての基礎となるニンニク球の休眠の生理生態や球形成の生理生態はまだ十分明らかにされていない。

本研究は上記の作型開発および球の貯蔵の基礎となる理論を明らかにする目的で行ったもので、ニンニクの発育(球形成・休眠)を進める最適および限界の外的条件を明らかにし、ニンニクの生活環の展開と外的および内的条件との関係を解明しようとした。さらに、温度、日長操作による球形成・休眠の人為的制御法を探索した。そして、これらの実験結果と本研究以外の筆者の研究成果とに基づいて種球冷蔵早出し栽培等の栽培改善の処方方を考察するとともに収穫時の球の良品質性を長期間維持する貯蔵法や春植え秋どり栽培の可能性について検討した。なお、筆者がすでに学会誌などで発表した研究結果については、原則としてその結論的なものを引用するに止めた。

本研究のとりまとめに当たっては京都大学農学部教授浅平端博士より懇切な御指導と御校閲を賜わった。千葉大学園芸学部教授青葉高博士は筆者に本研究のテーマを与えられ、京都大学農学部名誉教授塚本洋太郎博士は研究のとりまとめを筆者に薦められた。両博

士より終始御鞭撻と御指導を賜わった。研究の遂行に当たっては山形大学農学部教授齋藤隆博士より適切な御助言と御便宜を賜わった。また山形大学農学部教授樋浦巖博士、京都大学農学部教授若名孝博士および京都大学助教授武田恭明博士より御鞭撻と御便宜を賜わった。さらに、山形大学農学部蔬菜園芸学研究室岩城実技官、専攻生諸氏特に工藤三郎氏、同大学園芸学科教官の方々より有益な御指摘、御便宜、御協力を賜わった。ここに、これらの方々に対して謹んで深謝の意を表わすものである。

第1章 球形成に関する研究

ニンニクの普通にみられる球形成過程では、まず花序と複数の花茎側芽がほぼ同時に形成され、続いてこれらの側芽に貯蔵葉が形成される。この引き続いて起こる2つの過程、すなわち花序・側芽形成過程と貯蔵葉形成過程の進行に最適な温度・日長条件は異なる(青葉, 1966; 高樹・青葉, 1972, 1973), しかし、ニンニクの球形成に関するこれまでの報告には、これらの両過程を一体としてとらえて諸条件の球形成に及ぼす影響を調査したものが多く、このような研究方法も十分意義のあるものではあるが、球形成過程に及ぼす諸条件の影響を詳細に解明しようとすれば両過程を区別して調査する必要がある。筆者はそのため本研究を通じて両過程を明確に区別して球形成に及ぼす外的および内的条件の影響を明らかにしようとした。本章ではまず、ニンニクの花序と鱗茎の構造とそれらの形成過程について解剖学的に明らかにし、次いで貯蔵葉形成と花序形成に及ぼす温度・日長条件等の影響についての研究結果を述べる。

第1節 花序と鱗茎の構造と形成過程

ニンニクの普通栽培(秋植え夏どり)で通常みられる花序と鱗茎(鱗茎を以後‘球’とも称する)の形成過程と形成された花序と球の構造に関しては、すでに MANN (1952), 島田・庄崎 (1954), 山田 (1963), 八鍬 (1963), および青葉 (1966) 等の肉眼的あるいは解剖顕微鏡的レベルの観察による報告があるが、筆者も山形県地方在来の六片種系統に属する‘山形’および青森県山城開拓地在来種の1つである‘ほうき’を供試して調査検討した。以下に筆者の観察結果を中心に、ニンニクの花序と球の構造とそれらの形成過程についての概要を述べる。なお、供試材料は植付け適期の9月中旬に山形大学農学部圃場の幅0.9mの畝に10×10cm間隔で4条植えし、慣行に従って栽培したものである。

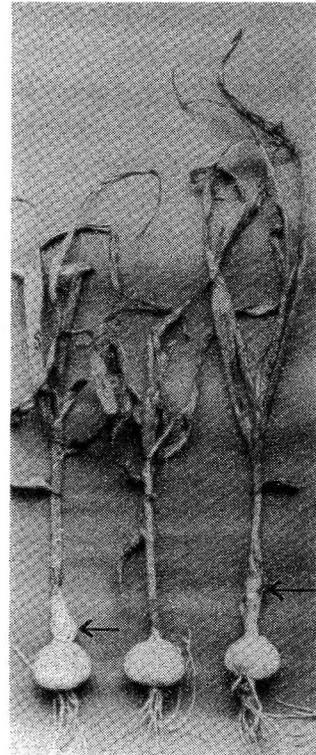
(1) 花序の構造

‘ほうき’の成熟した植物体では、長い花茎を持つ花序が外部に抽出し、第1図のような草姿を呈する(完全抽だい)。「ほうき」の花茎の頂端には約70個にも達する小さな珠芽と多数の不稔花が混生し、それらは1枚の総包に包まれている(第2図B)。「山形」では花茎が「ほうき」に比べると短かく、花序が外部に抽出せず、普通葉の葉鞘内部に留まることが多い(不完全抽だい)(第3図)。そして珠芽は「ほうき」に比べると大きい、数は少なく通常数個しか形成されず、また小花は全く形成されない。「山形」の花序は「ほうき」のものに比べると非常に貧弱である。なお、筆者は「ほうき」と「山形」を含めてこれまでに寒地産12品種、暖地産7品種を栽培してきたが、これらの中で「ほうき」は北海道在来の1品種と並んで花茎の長さ太さ、珠芽数および珠芽総重が他品種より著しく大きかった。

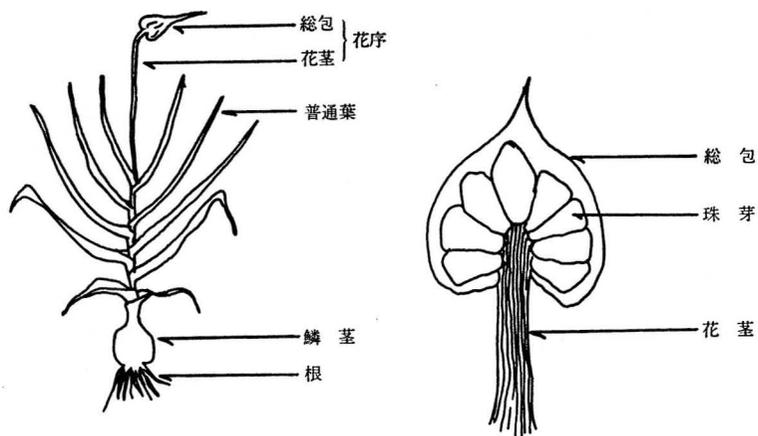
珠芽は花序中に分化した栄養芽の発達・肥大したものであるが、その構造は地下部に形



第1図 ニンニク 'ほうき' の抽だい後の植物体



第3図 ニンニク '山形' の収穫時の植物体
矢印の葉鞘部に珠芽がある



A. 抽だいた植物全体図

B. 花序の縦断面図

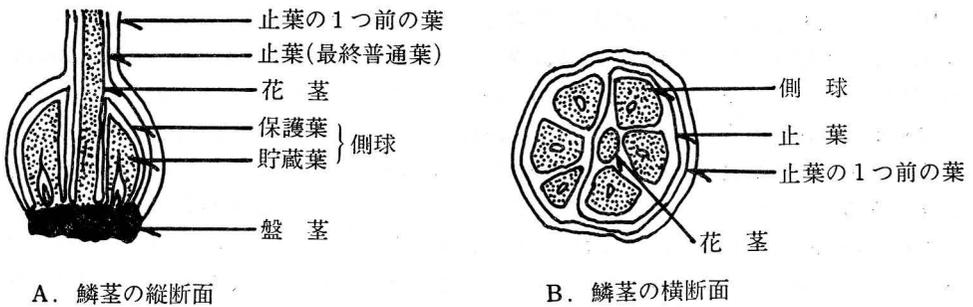
第2図 ニンニク 'ほうき' の花序の構造

成される側芽の発達・肥大したものである側球と同様である。なお、側球の構造については後述する。珠芽、側球とも種球として利用できる。ニンニクでは発芽力のある種子が全く形成されないため、繁殖手段はもっぱらこれらのみによっている。

(2) 鱗茎の構造

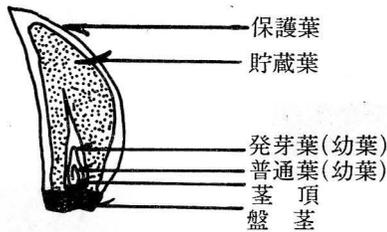
地下部に形成される球の構造には両品種の間で差がみられなかった。通常みられる球は5～8個の側球（小鱗茎）の集団である。側球は花茎の基部，すなわち最終普通葉（止葉）葉腋およびその1葉前の葉腋に通常各々2～5個ずつ形成され（第4図AとB），これらの全体が普通葉の葉鞘部で包まれている。

収穫時における側球の構造は以下の通りである。最も外側には硬化し，生活力を失った，葉身の発達していない葉が1枚あり，内部を包んでいる（第4図C）。これは保護葉と称されている。保護葉の内側には，葉身の発達はみられないが葉身の著しく肥厚した葉が1枚



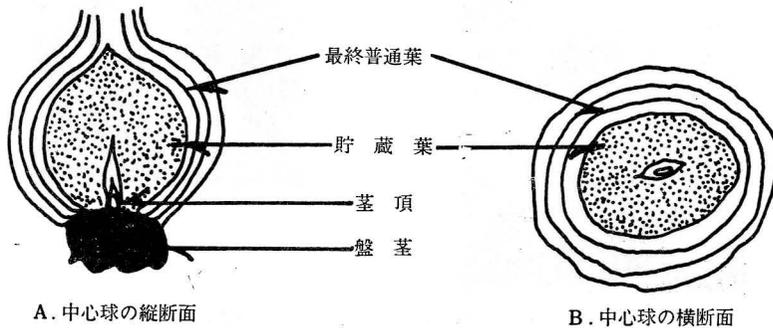
A. 鱗茎の縦断面

B. 鱗茎の横断面



C. 側球の縦断面

第4図 ニンニク鱗茎の構造



A. 中心球の縦断面

B. 中心球の横断面

第5図 一ツ玉球（中心球）の構造

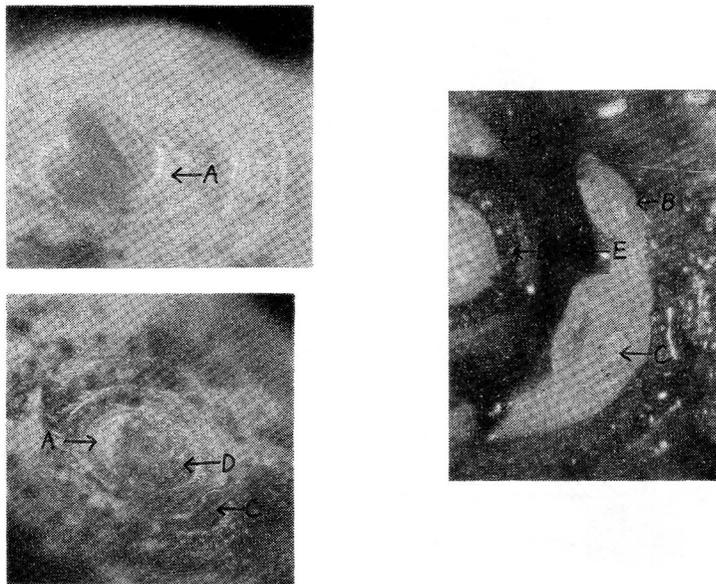
ある。これは貯蔵葉と称されている。貯蔵葉の内側には芽が1つある。この芽は側球の植付け後、生長、発達して次代の植物体のもととなるものである。芽を構成する最も外側のものは、発芽した後も葉身の発達しない葉にとどまる発芽葉と称される葉であり、この葉の内側に普通葉、その原基および茎頂がある。収穫時には、芽の構成葉数は標準的な大きさの側球で通常6枚に達している。

なお、極めて小さい種球を植付けた場合などに、花序も側芽も形成されず全体として1つの小鱗茎しか形成されないことがある。このような小鱗茎は一つ玉球あるいは中心球と称されている(第5図A, B)。その他にも前述の通常みられる球と一つ玉球との中間型ともいえる球の生ずることがあるが、これについては第3節第1項で述べる。

(3) 花序および鱗茎の形成過程

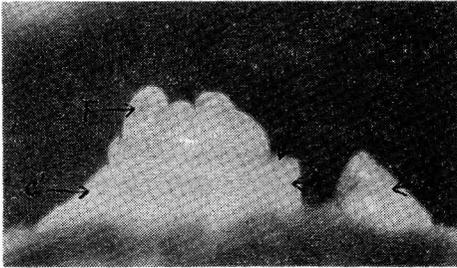
‘山形’を山形県鶴岡市で普通栽培した場合の花序形成時期は年によって若干異なることもあるが、大体4月上旬である。品種は異なるが札幌地方では4月下旬に(八畝, 1963)、佐賀地方では2月下旬～3月中旬(山田, 1963)に花序形成が起こると報告されている。

花序形成は総包形成から始まる。そして、総包形成開始とほぼ同時期に、止葉および止葉の1つ直前の葉の葉腋に三日月形の丘陵状隆起が1個ずつ生ずる。この隆起の中心は葉序面上にある。その後、この三日月形丘陵状隆起の丘陵部に数個の波状隆起が生じる。この波状隆起の山の部分が茎頂になって、これが側芽に発達する(第6図)。側芽はその後新葉形成によって葉数が増加するとともに第1～3葉が特殊な生長をして側球に発達する。すなわち、側芽第2葉は鶴岡では5月中旬以降から収穫期まで旺盛な肥大生長を続け、貯蔵葉に発達する。側芽第1葉は貯蔵葉を包む形で貯蔵葉と共に大きくなるが肥大はせず、6月中・下旬には活性を失い、保護葉になる。第3葉は発芽葉になる。



第6図 側芽の形成(×6.3)

三日月形丘陵状隆起(A)、波状隆起(B)、側芽(C)、総包切除跡(D)、止葉切除跡(E)。



第7図 花茎上の栄養芽の形成 (×6.3)
 止葉の1つ直前の葉の葉腋の側芽(C),
 止葉葉腋の側芽(C'), 総包切除跡(D)
 栄養芽(F), 花茎(G)

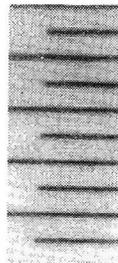
一方、側芽の形成時期頃に、総包原基の内側の茎頂では栄養芽が形成される(第7図)。これはその後側芽と同様な発達をして珠芽になる。花序は総包、花茎の伸長により、5月下旬～6月上旬に止葉の葉鞘間から外部に抽出する。

鶴岡での収穫期(地上部の1/2～2/3が黄変した時期)は、上記の‘山形’の場合は7月上旬である。‘ほうき’の収穫期は7月末近くである。筆者はこれまで暖地および寒地の計19の在来品種を栽培してきたが、‘ほうき’の熟期は北海道在来の

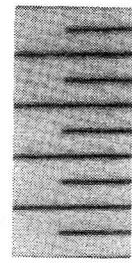
1品種とともにこれらの中では著しく遅かった。

第2節 貯蔵葉の形成誘導および形成・肥大に及ぼす 外的および内的条件の影響

ニンニクの球形成に及ぼす温度と日長の影響についての報告はかなりある(青葉, 1966, 1971; 青葉・高樹, 1971; 平尾・横井, 1965; 比屋根, 1965; 勝又, 1966; 川崎, 1971; 木藤ら, 1975; 幸地・松江, 1959; MANN, 1952; MANN・MINGES, 1958; 小川ら, 1975; 島田・庄崎, 1954; 山田, 1959a, 1959b, 1963)。それらの研究によって温帯地方の在来品種は普通、低温条件の経過によって球形成可能な生理状態になること、および低温経過後は温暖・長日の条件が球の形成・肥大に好都合であることが示された。しかし、第1章の序言でも述べたように球形成過程を花序・側芽形成過程と貯蔵葉形成過程とに分けてそれぞれの過程に対する温度・日長条件の影響を調査したものが少なく、貯蔵葉形成に及ぼす温度・日長条件の作用にはまだ不明な部分がかかなりある。本節の実験は主としてこれらを明らかにするため行ったものであるが、実験はその目的に矛盾しない限り、一ツ玉球を形成する条件



第8図 栄養生長状態の頂芽 (×6.3)
 1枚の葉原基に包まれている。
 右図はスケール(単位は0.5mm)



第9図 1枚の葉原基が貯蔵葉化してまもない頂芽 (×6.3)
 右図はスケール(単位は0.5mm)

下で行った。なお、一ツ玉球を形成する条件下では、貯蔵葉形成の条件が満たされると、植物は栄養生長状態から花序や側芽を形成することなく、茎頂に近いただ1枚の葉原基を貯蔵葉として発達させる(第8, 9図)。この貯蔵葉は茎頂を内蔵するかたちで発達し、植物はその後花序・側芽を形成することなく成熟枯死に至るので、貯蔵葉が結局1株につき1個しか形成されない。これは貯蔵葉形成のみの条件を調べるのに非常に好都合である。

なお、一ツ玉球形成の条件は、種球の小さいこと、あるいは種球の植付け後または苗の低温処理後に貯蔵葉の肥大に好都合な20℃前後あるいはそれ以上の温度で生育させることである(高樹・青葉, 1972, 1973)。本節では貯蔵葉形成誘導後の温度が貯蔵葉の形成・肥大過程に及ぼす影響を調査する実験以外はすべてこの条件下で実験を行った。

第1項 低温の貯蔵葉形成誘導効果に及ぼす

植物体の発育段階の影響

ニンニクは低温条件を経過すると貯蔵葉形成可能な生理状態(=貯蔵葉形成誘導状態)になるが(青葉, 1971; 青葉・高樹, 1971), 低温条件をニンニク的生活環のどの時期に与えても、貯蔵葉形成誘導状態が同程度に生じるのかどうかは明らかではない。本実験は休眠段階にある球と休眠覚醒段階にある球に対する低温の貯蔵葉形成誘導作用を比較したものである。

材料および方法

実験1

7月3日に収穫した‘山形’の珠芽の1.0~2.0g球を用いた。供試球は低温処理開始時まで、室温が20℃以上の期間は室内で、20℃以下に低下後は20℃の恒温器内で貯蔵した。これは特に言及しない限り本研究の他の実験でも同様である。低温処理は球を紙袋に入れ低温恒温器内または恒温室内に置いて行った。他の実験でも球の低温処理は同様に行った。7月19日, 8月2日, 8月16日, 9月27日および10月10日から5℃で各4週間の低温処理を行った。各低温処理後直ちに、12cm 素焼鉢に川砂を培土として1鉢当り5球ずつ植付け、20℃の自然光グロースキャビネット内で栽培した。日長は自然日長を朝夕に60ワットの白熱灯で補光して16時間になるようにした。なお、施肥は大塚ハウス肥料標準液の1/2濃度のものをかん水がわりに適宜与えて行った。

結果および考察

ニンニク球の休眠は第2章で明らかにするように適期収穫後約2週間が最も深く、以後時の経過と共に浅くなり、9月上旬には覚醒段階に達する。したがって実験1の低温処理開始日が7月19日, 8月2日, 16日の区では休眠段階にある球を、9月27日, 10月20日の区では休眠が覚醒した球を低温処理したことになる。

発芽所要日数は植付け時の球の休眠の深さを反映していると考えられるが、発芽所要日数は7月19日区で最も多く、次いで8月2日, 16日の両区で、9月27日, 10月10日の両区では最も少なかった(第1表)。したがって、植付け時の休眠の深さには明白な3段階の差がみられると言える。

球形成指数(“球径/首部径”の比)の増大の速さ、すなわち球肥大速度(貯蔵葉肥大速

度)は10月10日と9月27日の両区が最も速く、次いで8月2日と8月16日の両区で、7月19日区は最も遅かった。(第2表)。また、植付け後に形成された何番目の葉が貯蔵葉化したかを比較すると(この値の少ないものほど貯蔵葉形成誘導が強かったと判定される)、9月27日区、10月10日区ではそれぞれ1.1(=6.1-5.0)、1.3(=6.3-5.0)番目の葉が貯蔵葉化し、8月2日区、8月16日区ではそれぞれ2.1(=5.8-3.7)、2.4(=6.1-3.7)番目の葉が貯蔵葉化し、そして7月19日区では3.7(=7.1-3.4)番目の葉が貯蔵葉化した(第1表)。

以上のことは低温処理によって生ずる貯蔵葉形成誘導状態の強さには処理時期によって3段階の差がみられ、それらは休眠の深さの3段階の差に対応していることを示している。すなわち、低温の貯蔵葉形成誘導作用は休眠段階の球では覚醒段階の球より弱くあら

第1表 種球の低温処理時期が貯蔵葉形成誘導に及ぼす影響(実験1)

低温処理時期	発芽所要日数	植付け時の分化葉数 ²⁾	貯蔵葉形成節位 ⁴⁾
月/日 月/日 7/19~ 8/16	32.3±1.6 (19) ¹⁾	3.4 ³⁾	7.1±0.3 (14) ¹⁾
8/ 2~ 8/30	20.7±1.7 (31)	3.7	5.8±0.1 (33)
8/16~ 9/13	20.4±1.7 (22)	3.7	6.1±0.1 (14)
9/27~10/25	9.2±0.3 (24)	5.0	6.1±0.1 (15)
10/10~11/ 8	6.6±0.3 (25)	5.0	6.3±0.2 (23)

品種 '山形'。種球重は1.0~2.0g

1) データは'平均値'±'平均値の標準誤差'(調査個体数)で示した。他の表もすべて同様。

2) 葉数は発芽葉を除き普通葉とその原基を数えた。他の表もすべて同様。

3) 1区当りの調査個体数は5。

4) 発芽葉節を第0節位、第1普通葉節を第1節位、……第n普通葉節を第n節位として数えた。他の表もすべて同様。

第2表 種球の低温処理時期が貯蔵葉の形成・肥大に及ぼす影響(実験1)

低温処理時期	貯蔵葉形成個体率				
	植付け後日数				
	40日	54日	68日	81日	96日
月/日 月/日 7/19~ 8/16	—	—	—	70%	88%
8/ 2~ 8/30	—	—	100%	100	100
8/16~ 9/13	—	90%	100	—	—
9/27~10/25	0%	75	100	100	—
10/10~11/ 8	0	100	100	100	—

低温処理時期	球形指数*				
	植付け後日数				
	40日	54日	68日	81日	96日
7/19~ 8/16	—	—	—	2.25±0.27(10)	3.14±0.42(8)
8/ 2~ 8/30	—	—	3.59±0.23(12)	4.52±0.25(11)	6.13±0.30(10)
8/16~ 9/13	—	2.46±0.19(10)	2.96±0.34(5)	—	—
9/27~10/25	1.38±0.06(5)	1.98±0.06(4)	4.12±0.34(6)	4.83±0.13(6)	—
10/10~11/ 8	1.48±0.05(5)	2.64±0.22(5)	3.96±0.22(9)	5.07±0.17(9)	—

品種 '山形'。種球重は1.0~2.0g

* 球形指数=球径/首部径

われ、さらに同じ休眠段階の球でも休眠の深いものは浅いものに比べて一層弱くあらわれることを示している。これと同様な現象は球茎植物フリージアの2階球形成誘導の場合や(青葉,1974b)、鱗茎植物のチューリップや球根アイリスの新球形成の場合にも(青葉, 1976c)見られるので、この現象は低温で球根形成が誘導される球根植物に広くみられる可能性がある。

ところで、ニンニクの種球冷蔵早出し栽培の前進化をはかるため、収穫後なるべく早く種球を冷蔵して早く植付ける実験が種々試みられているが、本実験は、冷蔵開始時期の前進には限度があり、収穫後ある程度日数が経過して休眠が浅くなってからでないといふと球形成誘導に関する冷蔵効果が十分あらわれないことを理論的に明らかにした。もっとも、収穫直後の球の休眠を短期間に浅くする手段として、筆者は30~40℃の高温処理が有効であることを見出ししているが(第2章参照)、この高温処理を冷蔵前に行い、休眠を人為的に普通貯蔵の場合より早く浅くすれば、冷蔵開始時期を早めうるのではないかと考えられる。実際、川崎(1971)は冷蔵前に30℃処理を行うと、冷蔵の感受性が強まり発芽や収穫期が早まるとしているが、休眠との関連については考察していない。

第2項 貯蔵葉の形成誘導および形成・肥大に 及ぼす温度と日長の影響

ニンニクに貯蔵葉形成誘導状態を生じさせる低温の作用は、5, 10, 15, 20℃の範囲では低い温度ほど大きい(青葉・高樹, 1971)、貯蔵葉形成誘導状態の生じる精確な下限、最適、上限の各温度はまだ知られていない。またこれらの温度の品種による差異も精確には知られていない。一方、小川ら(1975)の報告から貯蔵葉の形成・肥大には20~25℃の温暖条件が好都合であると推定されるが、貯蔵葉の形成・肥大過程進行の精確な下限、最適、上限の各温度もまだ知られていない。さらに、貯蔵葉形成誘導状態は低温条件を経過していない植物にもある程度以上長い日長(限界日長)条件を与えると生じるが(青葉・高樹, 1971)、この限界日長の品種による差異も明確ではない。以上の点を明確にするため本実験を行った。

材料および方法

実験2 貯蔵葉の形成・肥大および普通葉の生長に及ぼす低温誘導後の 栽培温度の影響

実験2-1~2-5は貯蔵葉形成誘導処理終了直後のまだ貯蔵葉の形成が形態的に認められていない時期から所定の温度で栽培して貯蔵葉の形成・肥大に及ぼす栽培温度の影響を調査したものであり、実験2-6は貯蔵葉の形成が解剖顕微鏡的レベルで認められた後に所定の温度で栽培して貯蔵葉の肥大に及ぼす栽培温度の影響を調査したものである。

(1) 5℃, 9℃および11℃での栽培温度実験

‘山形’の4.0~6.0gの側球を1972年10月5日に1/5000アールのワグナーポット(以下の実験では単にワグナーポットと略す)に1ポット当たり5球ずつ植付け、翌年1月31日まで戸外で栽培し、苗を自然の低温に十分あわせた。この日からポットを5, 9, 11℃の

恒温条件下に移し、24時間日長下で温度処理をしたが、苗は普通葉を既に3～4枚抽出していた。各温度区の光条件は以下のようにした。5℃区は60ワットの白熱灯のみの24時間照明、9、11℃区は、昼間は北窓からの自然散光、夜間は60ワットの白熱灯照明を行った。なお、植物体が受ける白熱灯光の強さは5℃区が約1,000 lx、9℃区が約800 lx、11℃区が約400 lxであった。

(2) 5℃と20℃での栽培温度実験

‘山形’の2.0～3.0g球を10月17日に15cm鉢に1鉢当たり7球ずつ植付け、直ちに鉢を5℃、40ワットの植物育成用蛍光灯（ホモルクス）光の8時間日長条件下に移して低温処理を行った。低温処理開始後3か月目の1月15日に鉢の半数を20℃自然光の8時間日長条件下に移したが、残りの半数はそのまま5℃条件下で栽培を続けた。5℃、20℃の両区とも球形成後に掘り上げて貯蔵葉形成節位を調査した。

(3) 13℃、15℃および17℃での栽培温度実験

‘山形’の0.5～1.0g球を5℃で2か月間貯蔵し、その後12cm素焼鉢に1鉢当たり5球ずつ植付け、13、15、17℃の3温度条件下で栽培した。光条件は、約2万ルクスの陽光ランプでの8時間照明とそれに続く白熱灯での4時間照明で、12時間日長にした。なお、陽光ランプ照明は他の実験でもすべて約2万ルクスの照度で与えた。

(4) 17℃および23℃での栽培温度実験

‘山形’の0.5～1.0g球を9月20日に12cm素焼鉢に1鉢当たり5球ずつ植付け、翌年2月9日まで戸外で栽培した。2月9日から3月10日まで鉢を最低約15℃に保った温室に置いた。そして3月10日から鉢を17℃と23℃の自然光グロースキャビネット内に移し、自然日長下で温度処理した。4月12日に生育調査を行った。

(5) 20℃、23℃および26℃での栽培温度実験

‘山形’の1.5～2.0g球を12月5日から10℃で29日間、引き続いて5℃で2週間貯蔵し、その後12cm素焼鉢に1鉢当たり4球ずつ植付け（1月17日）、16時間日長、20、23、26℃の3温度条件下で栽培した。光条件は主明期8時間を陽光ランプで照明し、主明期に続く補光期8時間を白熱灯で照明した。植付け後65日目に生育調査を行った。

(6) 20℃、23℃および26℃での栽培温度実験

(5)と同じ材料を12月5日から5℃で30日間貯蔵し、その後鉢に植付け（1月4日）、20℃で栽培した。光条件は最初の13日間は陽光ランプの8時間照明のみにし、その後は白熱灯で8時間補光して16時間日長にした。植付け後45日目には明白な貯蔵葉の形成が認められたので、鉢を3区にわけ、その日から20、23、26℃の3温度条件下で栽培した（16時間日長）。3温度条件下での栽培開始後19日目（植付後64日目）に生育調査を行った。

実験3 貯蔵葉形成誘導適温

‘山形’の2.5～3.0g球を11月28日から、-2、0.5、2、5、10℃で4および8週間処理し、

その後 15cm 鉢に 1 鉢当たり 5 球ずつ植付け、ガラス室内のビニール被覆箱内で栽培した。ビニール被覆箱内の気温は温床線と換気扇とにより、日中晴天時は 20~25℃、夜間、雨天、曇天の時などは 20℃に保つようにした。ガラス室内の気温は側窓、天窗の開閉により、25℃以下に保つようにしたが、春暖かくなるにつれガラス室内の気温が上昇し、5月に入ると、日中晴天時はガラス室の換気を十分にしても室温を 25℃以下に保つことができない日が多くなり、ビニール被覆箱内の気温もそれに伴って 25℃以上になった。日長は 60ワットの白熱燈を日出前および日没後に鉢の上 60~80cm の位置から照射して自然日長を補充し、16時間になるようにした。

実験 4 貯蔵葉形成誘導可能な温度の上限と処理期間

‘山形’の 2.0~2.5g 球を 11月14日から、5、10℃区は 1、2および 3週間、15℃区は 4、8および 12週間、17℃区は 8および 12週間、そして 20℃区は 20週間温度処理し、その後 15cm 鉢に 1 鉢当たり 5 球ずつ植付け、鉢を実験 3 と同様なビニール被覆箱内 (20~25℃) に置いて、16時間日長下で栽培した。なお、0.5~1.0g を用いて、5℃、20週間処理区を試けると共に、2.0~2.5g 球の場合と同様の区 (ただし一部の区のみ) を設けて実験を行った。

実験 5 貯蔵葉形成誘導可能な種球の植付け前処理温度の上限と植付け後の限界日長の品種間差異

供試品種として‘山形’、‘ほうき’、‘漢口’、‘沖繩’および‘宍州早生’を用いた。‘山形’と‘ほうき’は第 1 節で述べたように東北地方の在来品種であるが、‘漢口’、‘沖繩’および‘宍州早生’は佐賀県畑地営農指導所から譲り受けたもので、暖地の在来品種である。

5 品種を鶴岡で栽培した場合に見られる性状の差異は以下の通りである。‘山形’では花茎が比較的短く、花序が葉鞘内部に留まることが多いが、他の品種ではほとんどの個体が長い花茎を発達させ、花序を外部に抽出する。‘ほうき’は他の品種に比べて葉の黄変期がかなり遅く他品種の 7月上旬、中旬に対して‘ほうき’では 7月末近くである。‘山形’と‘ほうき’の側球の 1 個重と 1 株当りの球重は他の品種に比べてかなり大きい。‘宍州早生’、‘沖繩’および‘漢口’の側球は小さいが、1 株当りの側球数は‘山形’、‘ほうき’より通常多い。

10月11日から 12月10日までの 60日間種球を 5、10、15、20℃の温度で処理した。各品種の各処理区の種球の平均重と種球の種類は第 3 表に示す通りである。12月10日に 12cm 素

第 3 表 供試種球の平均重(実験 5)

品 種	処 理 温 度				種球の種類
	5℃	10℃	15℃	20℃	
山 形	0.9g	0.7g	0.7g	0.9g	珠 芽
ほ う き	0.9	1.0	0.9	1.0	側 球
漢 口	0.5	0.6	0.5	0.5	珠 芽
沖 繩	0.5	0.6	0.5	0.5	珠 芽
宍 州 早 生	0.4	0.4	0.4	0.4	珠芽と側球

温度処理開始時の重さ

焼鉢に1鉢当たり5球ずつ植付け鉢を実験3と同様なビニール被覆箱内において20~25℃条件下で栽培した。日長は8, 16, 24時間の3種類とし、午後8時30分から午後4時30分までの8時間を自然光照明とし(主明期)、残りの時間はシルバーポルトウで遮光して白熱燈のみで照明した。植付け後40日目に、1区につき5株を掘り上げて調査し、一般的生育調査のほか株を剥皮解剖して貯蔵葉形成の有無を調査した。以後、植付け後138日目(4月27日)まで原則として1週間間隔で調査した。植付け後138日目以降はすべての区の日長を自然日長にして栽培した。そして外気温の上昇に伴いビニール被覆箱をガラス室から戸外に出し、さらに外気温が最低ほぼ20℃以上になった時期以降は、鉢を戸外に出して7月25日まで栽培を続けた。

結果および考察

(1) 貯蔵葉の形成・肥大および普通葉の生長に及ぼす低温誘導後の栽培温度の影響 (実験2-1~2-6)

(i) 貯蔵葉の形成・肥大

4.0~6.0gの種球を植付けて栽培温度を5~11℃とした実験2-1では、ほとんどの個体が花序と側球原基を形成した(第4表)。この温度範囲内では側球形成節位には差が生じなかったが、側芽での貯蔵葉形成時期(=側球形成時期)には差が生じ、栽培温度の高い区ほど貯蔵葉形成時期が早かった。また11℃では顕著な球肥大がみられたが、9℃以下で

第4表 苗に低温処理した後の栽培温度が貯蔵葉形成と球肥大に及ぼす影響(実験2-1)

栽培温度	球形成指数			側球形成節位 ¹⁾	形態形成		
	植付け後日数				植付け後日数		
	54日	74日	174日		54日	74日	174日
5℃	1.31±0.02	1.29±0.01	1.41±0.02	8.0—9.0(9)	V.G.	I.	I.,S.
9℃	1.30±0.02	1.31±0.04	—	7.9—8.9(16)	I.	I.,S.	—
11℃	1.45±0.03	2.21±0.17	—	7.9—8.9(17)	I.,S.	I.,S.	—

品種は‘山形’。種球重は4.0~6.0g

日長は24時間。1区当りの調査個体数は5。ただし側球形成節位の個体数は()内に示した。

1) 54~174日に調査した個体の総平均値。

2) 54日調査区の5℃区の全個体(すべて栄養生長)と11℃区の1個体(一ツ玉球形成)を除く全調査区の全個体に花序の形成が認められ、側芽あるいは側球が2節にわたって形成された。

V.G.=栄養生長。 I.=花序形成。 S.=側芽での貯蔵葉形成。

第5表 苗に低温処理した後の栽培温度が貯蔵葉形成に及ぼす影響(実験2-2)

栽培温度	貯蔵葉形成節位
5℃	6.0±0.0(37)
20℃	6.8±0.1(23)

品種‘山形’。種球重2.0~3.0g

すべての個体が一ツ玉球を形成。

はほとんどみられなかった。

2.0~3.0gの種球を植付け、栽培温度を5℃と20℃とした実験2-2ではすべての個体が一ツ玉球を形成したが、5℃区の貯蔵葉形成節位は20℃区より低くなった(第5表)。

栽培温度を13~17℃とした実験2-3ではすべての個体が一ツ玉球を形成し、貯蔵葉形成節位には明白な差が生じなかった。しかし球肥大は温度が高くなるに従い著しく促進された(第6表)。

第6表 植付け後の温度が種球に低温処理した植物体の普通葉の生長、球肥大ならびに貯蔵葉形成節位に及ぼす影響(実験2-3)

植付け後の 温度/日数	草 丈		抽出普通葉数		球形成指数		貯蔵葉形成 節位 ²⁾
	60日	70日	60日	70日	60日	70日	
	cm	cm					
13℃	28.3±1.6	42.1±1.1	3.4±0.2	4.3±0.2	1.73±0.04 ¹⁾	2.11±0.07	5.9±0.1(13)
15℃	44.2±1.8	47.7±1.3	3.9±0.1	4.4±0.2	1.79±0.06	3.26±0.12	5.6±0.1(20)
17℃	44.7±3.0	43.3±0.9	4.2±0.1	4.2±0.1	2.58±0.13	4.61±0.12	5.7±0.1(20)

品種 '山形'。種球重は0.5~1.0g。

日長は12時間。1区当りの調査個体数は9ないし10。ただし貯蔵葉形成節位のそれは()内に示した。

1) この調査区の球形形成個体率は40%。他の区はすべて100%

2) 植付け時の分化節位は4.0±0.0(5)

栽培温度を17℃、23℃とした実験2-4では球肥大に差が認められなかったが、23℃区では100%の一ツ玉球形形成個体率を示したのに対して、17℃区では1個体がまだ栄養生長をしており、2個体が花序を形成していた(第7表)。これは23℃区のほうが、頂芽の貯蔵葉化により好適な温度であったことを示唆している。

第7表 苗に低温処理した後の栽培温度が普通葉の生長、球肥大および形態形成に及ぼす影響(実験2-4)

栽培温度	調 査 個体数	草 丈	生 葉 数	球形形成指数	形 態 形 成		
					花序形成 個 体 率	一ツ玉球形 成個体率	栄養生長 個 体 率
(温度処理 開始時)	5	cm 25.6±1.3	3.8±0.2	1.45±0.04	0%	0%	100%
17℃	17	42.6±1.3	4.8±0.1	2.53±0.10	12	82	6
23℃	17	45.3±1.2	4.3±0.1	3.22±0.11	0	100	0

品種は '山形'。種球重は0.5~1.0g。

日長は約13~14時間。栽培期間は33日間。

植付け後すぐに20~23℃で栽培した実験2-5では、20℃区は100%の一ツ玉球形形成個体率を示したが、23、26℃の両区では各2個体がまだ栄養生長をしていた(第8表)。球肥大も20℃区が他の区よりすぐれていた。23、26℃両区の間には球肥大に明白な差はみられなかった。

貯蔵葉(一ツ玉球)が形成された後に20~26℃で栽培した実験2-6では、20℃区は26℃

第8表 植付け後の温度が種球に低温処理した植物体の普通葉の生長、
球肥大ならびに貯蔵葉の形成に及ぼす影響 (実験2—5)

植付け後 の温度	調査 個体数	草 丈	抽出普通 葉 数	生葉数	球 径	首部径	球 形 成 指 数	貯 蔵 葉 形 成 節 位	一ツ玉球形 成 個 体 率
		cm			mm	mm			
20°C	17	52.9±1.5	6.8±0.1	4.8±0.1	11.0±0.5	3.4±0.1	3.32±0.17	8.0±0.1	100%
23°C	15	45.8±1.5	6.9±0.2	4.7±0.2	8.7±0.6	3.4±0.1	2.63±0.18	8.3±0.1	87
26°C	20	47.0±1.1	6.7±0.1	4.3±0.1	9.4±0.6	3.4±0.1	2.83±0.11	8.1±0.1	90

品種は '山形'。種球重は1.5~2.0g。
日長は16時間。植付け後65日目に調査。

区より球肥大がやや促進されたが、20°Cと23°C、23°Cと26°Cの各2区の間には明白な差は認められなかった (第9表)。

第9表 貯蔵葉 (一ツ玉球) 形成後の栽培温度が球肥大に及ぼす影響 (実験2—6)

栽培温度	調査個体数	球 径	首 部 径	球形成指数	貯蔵葉形成節位
		mm	mm		
20°C	16	12.3±0.4	3.1±0.1	4.04±0.17	7.3±0.1
23°C	19	11.7±0.3	3.2±0.1	3.72±0.10	7.3±0.1
26°C	19	11.1±0.5	3.2±0.1	3.49±0.16	7.4±0.1

品種は '山形'。種球重は1.5~2.0g
日長は16時間。栽培期間は19日間。

以上の結果から次のことが明らかとなった。貯蔵葉形成節位は栽培温度が13°C~26°Cの範囲では栽培温度による影響はほとんどみられないが、5°Cまで温度が低くなると形成節位が低下する傾向がみられる (第5表)。これは低温栽培のため貯蔵葉形成誘導作用が追加的に働いた結果と思われ、誘導後の貯蔵葉形成適温が5°C近くにあるためとは考えられない。一方、貯蔵葉の肥大速度は栽培温度によって著しく影響され、20°Cが適温で、17°C以下では温度が低下するに従い肥大速度が急激に小さくなり、9°C以下では肥大がほとんど認められなくなる。この結果および東北地方の普通栽培での側芽の葉の貯蔵葉化開始期の平均気温が約10°Cであったという青葉 (1966) の報告などから貯蔵葉形成とその後の肥大過程がスムーズに進行するためには10°C以上の温度が必要であると考えられる。

26°C以上の温度の貯蔵葉の形成・肥大効果についての直接的データはないが、30°C以上の温度では温度が高くなるに従って生長が著しく不良になること、また、30°C以上の温度には低温経過によって生じた貯蔵葉形成誘導状態を消去して、貯蔵葉を形成させない作用があること (本節第3項) などから考えて、26°C以上の温度では温度が高くなるにつれて貯蔵葉形成が急激に不良になることが予想される。したがって、実用的な肥大適温域は17~26°C (ただし、気温であって、地温ではない) と言える。これはタマネギの球肥大適温域 (15~25°C) と類似している (今津, 1959)。

なお、小川ら (1975) は地温をビニール温床線で10, 12.5, 15, 20, 25°Cにした場合のニンニクの球部の肥大程度を調査して、地温が高いほど肥大が速かったと述べている。本

実験の結果と比べると、25℃区が20℃区より肥大が速く進んだという点を除いて同傾向を示している。

ところで、球肥大に関して地温と気温のどちらがより大きな効果を示すということについては、タマネギで若干調査されている(寺分, 1975)。それによると、地上部が適温下におかれれば、地下部が低温下におかれても球肥大は良好であるが、逆に地上部が低温下におかれて、地下部が適温下におかれた場合には球肥大がおこらないか、前者の場合より劣ったということである。この結果は、球肥大は主として気温に左右され、地温の効果は小さいことを示している。小川らの実験は冬期間に行われ、装置内の気温はとくに制御されていないようである。だから外気温が低下する夜間や昼間の非晴天時には装置内の気温が地温より低くなったと推定される。そして地温と気温との差は高い地温の区ほど大きくなったと思われる。それで、地温25℃区の気温が地温20℃区のそれより球肥大適温に近かったということは十分考えられる。

(ii) 普通葉の生長

草丈の増大で示される普通葉の伸長程度は、13℃では15℃に比べかなり劣ったが(第6表)、15~26℃の間では大差なかった(第6, 7, 8)。普通葉の生長適温域と貯蔵葉の肥大適温域とはほぼ同様のようである。

(2) 貯蔵葉形成誘導適温(実験3)

種球の植付け前に行った低温処理の貯蔵葉形成誘導作用の強さは、植付け後の球肥大速度の大小や貯蔵葉形成節位の高低で判定することができるが、本実験では後者の方法をとった。すなわち、貯蔵葉形成誘導作用の強さを植付け後に分化した何枚目の葉が貯蔵葉化したかで判定することにした。具体的に言えば、一ツ玉球の貯蔵葉形成節位から植付け時の分化葉数を差引いた値で判定することにした。この値が小さいほど貯蔵葉形成誘導作用が強いと言える。

8週間処理で上記の値が最も小さかったのは2℃処理(値は0.9)で、以下5℃(1.1)、10℃(1.3)、0.5℃(1.6)処理の順であった(第10表)。4週間処理では植付け時の分化葉数を調査

第10表 種球の植付け前処理温度が発芽と貯蔵葉形成に及ぼす影響(実験3)

処理期間	処理温度	植付け時の分化葉数	貯蔵葉形成節位	発芽所要日数
4週	-2℃	—	13.1±0.5(9)†	9.8±1.7
	0.5	(5.55)*	7.9±0.3(9)	9.2±1.6
	2	(5.7)*	7.0±0.0(11)	7.2±0.5
	5	(5.7)*	7.5±0.2(12)	6.2±0.6
	10	(5.85)*	8.4±0.2(12)	6.2±0.4
8週	0.5℃	5.7±0.3	7.3±0.2(11)	
	2	6.0±0.0	6.9±0.1(11)	
	5	6.0±0.0	7.1±0.1(12)	
	10	6.3±0.0	7.6±0.2(8)	

品種は「山形」。種球重は2.5~3.0g

* この数値は次式で示す計算値である。4週間低温処理後の分化葉数=1/2[(8週間低温処理後の分化葉数)-(処理開始時の分化葉数, 5.4)]+(処理開始時の分化葉数, 5.4)

† この区のみは植付け後186日目でも栄養生長個体があった(18%)。他の区は110日目以前にすべて一ツ玉球を形成した。

していないが、処理期間中の増加葉数を8週間処理の場合の1/2と仮定すれば、差引き値が最も小さくなるのは、2℃処理(値は1.3)で、以下5℃(1.8)、0.5℃(2.4)、10℃(2.6)処理の順になる。-2℃処理では栄養生長にとどまった個体が18%も生じた。

以上の結果は、貯蔵葉形成誘導適温は2℃前後で、温度がこれより高低に隔たるに従って貯蔵葉形成誘導効果が弱くなることを示している。そして高い方の温度域では温度の上昇に伴う効果の低下がゆるやかであるが、低い方では温度の低下に伴う効果の低減が急激で、0.5℃以下では著しく弱くなり、-2℃前後の温度が貯蔵葉形成誘導の可能な下限温度になることを示している。ただし、これは温度処理期間が4週間で、16時間日長栽培の場合の結果であり、これらの条件が異なると下限温度も変化するものと思われる(本項(3)および(4)参照)。MANN・MINGES(1958)も処理温度(0, 5, 10, 15, 20℃)と地下部の肥大との関係を見ていたが、傾向は上記の結果と矛盾しない。

なお、発芽は5, 10℃処理区で最も早く、2℃処理区ではこれより少し遅く、0.5℃、-2℃処理区ではこれよりさらに遅かった。すなわち、植付け後の発芽は、貯蔵葉形成誘導適温よりやや高い温度で種球が処理された場合に最も促進された。

(3) 貯蔵葉形成誘導可能な温度の上限と処理期間(実験4)

5℃処理では1週間処理でも貯蔵葉が100%形成された(第11表)。10℃、1週間処理では0.5~1.0g球区の貯蔵葉形成率は100%であったが、2.0~2.5g球区は1個体が栄養生長状態にとどまった(第11表)。したがって、1週間処理の場合では貯蔵葉形成誘導の可能な上限温度は10℃前後にあると言える(ただし、植付け後の日長が16時間の場合)。また、20℃処理では20週間処理でも貯蔵葉が形成されなかったが、17℃処理では8週間処理で全個体が貯蔵葉を形成した。したがって、8~20週間温度処理後に16時間日長栽培する場合の貯蔵葉形成誘導の可能な上限温度は17℃以上20℃未満の範囲内の温度であると言える。そして、全データから推定して、一般に処理期間が長くなるに従い、上限温度がある程度までは高くなると言える。

ところで、処理温度が上限温度に近い区(例えば1週間区の5℃、10℃区)の貯蔵葉形成節位を見ると、貯蔵葉形成節位が植付け時の分化節位(分化葉数)より著しく高くなっている。これは貯蔵葉化が植付け後かなりの期間経過してから分化した葉で起こったことを示している。このことは十分な貯蔵葉形成誘導状態に達したのが、植付け後かなりの期間経過してからであったことを示唆する。このことと本項(4)で示す、“上限温度は植付け後の日長が短くなれば高くなる”という事実とを考え合わせると、前記の上限温度に近い処理区では、温度処理のみでは植物体が十分な貯蔵葉形成誘導状態になることができず、植付け後の長日条件(16時間日長)による貯蔵葉形成誘導作用が補足的に働いて初めて十分な貯蔵葉形成誘導状態になったものと考えられる。

なお、以上のことから用語“貯蔵葉形成誘導可能な上限温度”には2種類の定義を与えて区別して用いるのがよいように思われる。すなわち、“絶対的な上限温度”と“相対的な上限温度”とに区別する。前者の上限温度は温度処理のみで十分な貯蔵葉形成誘導状態になる温度で、植付け後の日長条件に左右されない温度である。これに対して、“相対的な上限温度”は温度処理のみでは十分な貯蔵葉形成誘導状態に達せず、貯蔵葉が形成されるためには植付け後に貯蔵葉形成誘導作用のある日長条件を必要とする温度である。この上限温度は植付け後の日長が長くなれば高くなり、日長が短くなれば低くなる傾向を示す

第11表 貯蔵葉形成誘導可能な種球の植付け前処理温度の上限と処理期間との関係(実験4)

種球重	処理期間	処理温度	植付け前の分化葉数	貯蔵葉形成節位
2.0g~2.5g	1週	5°C	約 5.8	13.8±0.2(13)
	2	5	約 5.8	10.3±0.3(10)
	3	5	約 5.8	7.7±0.1(12)
	1	10	約 5.8	15.1±0.7(10)*
	2	10	約 5.8	12.2±0.3(11)
	3	10	約 5.8	9.6±0.2(13)
	4	15	6.0±0.0	13.2±0.4(10)
	8	15	6.3±0.3	9.9±0.2(12)
	12	15	—	9.0±0.3(11)
	8	17	—	14.3±0.5(8)
	12	17	—	11.7±0.6(9)
	20	20	—	V.G.
0.5g~1.0g	1	5	4.4±0.2	11.1±0.5(12)
	20	5	5.0±0.4	5.6±0.2(8)
	1	10	約 4.4	11.1±0.2(10)
	2	10	約 4.4	9.8±0.3(10)
	3	10	約 4.4	7.8±0.2(12)
	4	15	5.0±0.0	10.5±0.4(11)
	8	15	5.8±0.3	8.4±0.2(10)
	12	15	—	6.2±0.3(6)

品種は「山形」。

* 1個体のみ植付け後263日目でも栄養生長状態であった。他の個体は植付け後221日目までにすべて一ツ玉球を形成した。

V.G.: この区は植付け後263日目でもすべての個体が栄養生長状態であった。

(本項(4)参照)。本項で述べた上限温度は後者に当たり、日長条件が16時間の場合の温度である。なお、本研究の以下の記述でも特にことわらない限り、上限温度は相対的なものとする。

(4) 貯蔵葉形成誘導可能な種球の植付け前処理温度の上限と植付け後の限界日長の品種間差異(実験5)

筆者らの以前の報告した実験データを(青葉・高樹, 1971)新たな視点から検討すると、「山形」の貯蔵葉形成誘導可能な種球の植付け前処理温度の上限は植付け後の日長により異なってくること、また、貯蔵葉形成誘導可能な植付け後の限界日長は植付け前処理温度により異なってくることを示している。そこで、実験5では「山形」を含む寒地産2品種および暖地産3品種を用いて以上のこと、すなわち貯蔵葉形成誘導可能な上限温度——低温限界(低温要求度)と貯蔵葉の形成誘導可能な限界日長(長日要求度)を比較検討した。

「山形」を8, 16および24時間の日長で栽培した場合には球の貯蔵温度がそれぞれ10°C以下, 15°C以下および20°C以下の場合に貯蔵葉が形成されたので、種球を植付け前に2か月間温度処理した場合の貯蔵葉形成誘導可能な上限温度は、植付け後の日長が8時間の場合

は10℃以上15℃未満の温度、16時間の場合は15℃以上20℃未満の温度、そして24時間の場合は20℃以上の温度であると言える(第12表)。また、以上のことから、日長が長くなるに従って貯蔵葉形成誘導可能な上限温度が上昇する傾向があると言える。なお、本項(3)で明らかにしたように、上限温度は球の温度処理期間によっても異なってくるので、上限温度をうんぬんする場合には処理期間も示さなければならない。しかし、本実験では処理期間は全処理区が2か月間で同一であるので、処理期間はいちいち示さないことにする。

‘山形’の5℃および10℃貯蔵区では8時間日長でも貯蔵葉が形成されたが、15℃貯蔵区では16時間日長にならないと貯蔵葉が形成されなかった。さらに、20℃貯蔵区では24時間日長にならないと貯蔵葉が形成されなかった。これらのことは、球の貯蔵温度が5、10℃の場合には貯蔵葉形成可能な植付け後の限界日長は8時間以下のある日長であるが、貯蔵温度が15℃の場合には8時間より長いが16時間以下のある日長であり、さらに貯蔵温度が20℃の場合には16時間より長いが24時間以下のある日長であることを示している。一般に、限界日長は球の貯蔵温度が高くなると長くなる傾向がみられる。

なお、同じデータは(第12表, 第10, 11図)どの日長区でも貯蔵温度が低くなるに従って、またどの貯蔵温度区でも日長が長くなるに従って貯蔵葉形成時期が早くなり、貯蔵葉形成節位の低くなることを示している。これは貯蔵温度が5~20℃の範囲では、低い温度

第12表 種球の貯蔵温度と植付け後の日長がニシキ品種の貯蔵葉形成に及ぼす影響(実験5)

品 種	日 長	植付け日から貯蔵葉が確認できた日までの日数			
		5℃	貯 10℃ 蔵	温 15℃ 度	20℃
山 形	8時間	75	89	V.G.	V.G.
	16	<40	47	131	V.G.
	24	—	—	61	75
ほ う き	8	(V.G.) ¹⁾	V.G.	V.G.	—
	16	47	54	V.G.	V.G.
	24	—	—	75	96
漢 口	8	—	—	V.G.	—
	16	<40	<40	103-227 ²⁾	V.G.
	24	—	—	47	—
沖 縄	8	—	—	V.G.	—
	16	<40	<40	103	131
	24	—	—	<40	—
壱州早生	8	—	—	68	110-131 ³⁾
	16	<40	<40	<40	47
	24	—	—	<40	—

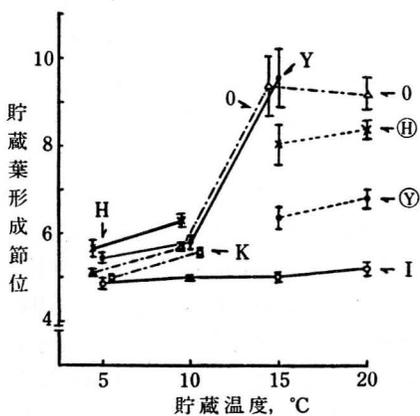
<40: 植付け後40日目以前に貯蔵葉が形成されたことを示す。

V.G.: これらの区は植付け後227日目でもすべての個体が栄養生長状態。

1) 植付け後124日目でもすべての個体が栄養生長状態。この時点で全個体を掘上げたので、その後に球形成するかどうかは確かめられなかった。

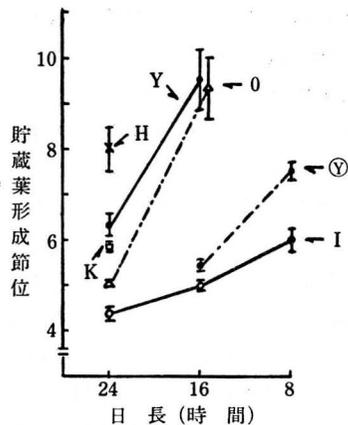
2) 植付け後103日目と227日目の間に貯蔵葉形成。

3) 植付け後110日目以前に一部の個体は貯蔵葉形成、残りの個体は110日目と131日目の間に形成。



第10図 種球の貯蔵温度が5品種のニンニクの貯蔵葉形成に及ぼす影響(実験5)

Y='山形', I='老州早生', O='沖繩', K='漢口',
H='ほうき', 以上は16時間日長栽培.
⓪='山形', ⓧ='ほうき', この2つは24時間日長栽培.



第11図 日長が5品種のニンニクの貯蔵葉形成に及ぼす影響(実験5)

品種を示す記号は第10図と同様.
Y, I, O, K, Hは15°C貯蔵球, ⓪は5°C貯蔵球.

ほど, また植付け後の日長が8~24時間の範囲では, 長い日長ほど貯蔵葉形成誘導作用が強くなることを示しており, 筆者らの以前の報告(青葉・高樹, 1971)を裏付ける結果になっている.

‘ほうき’は8時間日長の10°C貯蔵区でも貯蔵葉を形成しなかった(第12表), 8時間日長の場合の上限温度は10°C未満の温度とみなされる. このことは, ‘ほうき’の貯蔵葉形成のための低温要求度が‘山形’より大きいことを示している. 16時間日長区では, 球の貯蔵温度が10°Cかそれより低い場合にしか貯蔵葉が形成されなかった(第12表), 上限温度は10°C以上15°C未満の温度とみなされる. 24時間日長区では‘山形’と同様, 貯蔵温度が20°Cでも貯蔵葉が形成された. ただし, 貯蔵葉形成時期は‘山形’より遅かった.

一方, ‘ほうき’の貯蔵葉形成誘導可能な限界日長に関しては次のように言える. 球の貯蔵温度が15°C以上の場合は16時間より長い24時間以下のある日長で, 10°Cの場合は8時間より長い16時間以下のある日長であると言える. なお, 同一の低温処理をした場合の‘ほうき’と‘山形’の貯蔵葉形成のための長日要求度を比較すると前者の方が大きいと言える.

‘漢口’の16時間日長区での貯蔵葉形成誘導可能な上限温度は15°C以上20°C未満の温度とみなされる(第12表). この点に関しては, ‘山形’と差はないが, 一般に‘山形’と‘漢口’の同一処理区の貯蔵葉形成時期を比較すると, ‘漢口’のほうが早い傾向にあったので, ‘漢口’は, ‘山形’よりも貯蔵葉形成のための低温要求度および長日要求度がやや小さいと思われる.

‘沖繩’は16時間日長区の20°C貯蔵区でも貯蔵葉の形成がみられた(第12表), 16時間日長の場合の上限温度は20°C以上とみなされる. したがって, 低温要求度は‘漢口’よりも小さい.

一方, ‘沖繩’の15°C貯蔵区の限界日長は8時間より長い16時間以下のある日長とみなされ, ‘山形’や‘漢口’と区別がつきにくい, ‘沖繩’の15°C貯蔵の16時間日長区の貯蔵葉形成時期は‘山形’や‘漢口’の相当する区のものより早かった(第12表), ‘沖繩’の15°C貯蔵

区の限界日長はこれら2品種よりも短い日長であると思われる。なお、以上のことから‘沖繩’の長日要求度は‘山形’、‘漢口’よりも小さいと言える。

‘宍州早生’は貯蔵葉形成期がどの区も供試5品種のなかで最も早く、そして他の品種では貯蔵葉の形成が起これないと予想される20℃貯蔵の8時間日長区でも貯蔵葉を形成した。‘宍州早生’は供試5品種のなかでは一般に上限温度が最も高く、限界日長が最も短い品種であると言える。

なお、すべての品種に、貯蔵葉形成に関しての低温誘導が強くなると日長のいかにかわからず貯蔵葉形成が促進される傾向並びに低温誘導のいかにかわからず日長が長くなると貯蔵葉形成が促進される傾向がみられた。しかしまた、貯蔵葉形成に関しての低温誘導が強くなると日長効果が目立たなくなる傾向および長日の程度が強くなると低温効果が目立たなくなる傾向もみられた。この傾向は‘宍州早生’でとくに著しかった。これはこの品種の貯蔵葉形成のための低温要求度および長日要求度の小さいことが原因していると考えられる。すなわち、以下のように考えられる。低温要求度の小さい品種に強い低温誘導処理を行うと、低温処理終了時(植付け時)には既に十分な貯蔵葉形成誘導状態になっていると考えられる。そこで、植付け後すみやかに貯蔵葉を形成して、日長効果が目立たなくなると考えられる。一方、長日要求度の小さいということは、貯蔵葉形成誘導可能な限界日長が12時間以下の日長または12時間より少し長い日長ということになるので、長日要求度の小さい品種を十分な長日条件下で栽培すると日長による貯蔵葉形成誘導作用が強くなり、低温処理していない植物でも比較的短日日のうちに貯蔵葉形成誘導状態になると考えられる。そこで、十分な長日条件下では長日要求度の小さい品種の低温処理植物と低温無処理植物との貯蔵葉形成時期の差が小さくなり、低温効果が目立たなくなると考えられる。

小川ら(1975)はニンニクを自然の低温にある程度あわせた後に温暖な条件下で栽培した場合には、タイなどの熱帯地方の在来品種は‘宍州早生’より球肥大・成熟がかなり早かったと報告している。筆者も低温処理球を13℃、短日下で栽培した場合にタイの在来品種‘タイ’国は‘宍州早生’より著しく球形成と成熟が早かったことを認めている(未発表)。おそらく、これらの熱帯地方の品種は貯蔵葉形成のための低温要求度および長日要求度が‘宍州早生’一層小さいものと思われる。

(5) 総括

以上の実験結果と筆者らの以前の報告(青葉・高樹, 1971)とから、休眠状態を脱したニンニクの貯蔵葉の形成・肥大に及ぼす温度・日長条件の影響について以下のことが言えるであろう。

ニンニクは一定の低温条件あるいは一定の長日条件のどちらか一方を経過すると、貯蔵葉形成が可能な生理状態(=貯蔵葉形成誘導状態)になるが、低温条件に関しては、温度が2~5℃に近いほど貯蔵葉形成誘導作用が強くなり、早く誘導が完了する。一方長日条件に関しては日長が長くなるほど貯蔵葉形成誘導作用が強くなる。そして、この2つの条件は相補的に働き、両者とも単独では貯蔵葉形成誘導状態を生じさせないような弱い条件であっても両条件を共に与えることによって貯蔵葉形成誘導状態を生じさせることが可能になる。

貯蔵葉形成誘導状態が生じるための低温あるいは長日の要求度は品種によって異なり、暖地の在来品種(=暖地産品種)ではそれらが小さく、寒地の在来品種(=寒地産品種)

ではそれらが大きい。寒地産品種では低温条件を与えないで長日条件のみによって貯蔵葉形成誘導状態を生じさせるためには、日長を寒地の自然の最長の日長より(東北地方では市民薄明を含めると約16時間)より長くしなければならない。そして低温条件を与えると限界日長が短くなり、自然の長日条件でも貯蔵葉形成が可能になる。したがって、寒地産品種は、貯蔵葉形成のためには実際上低温条件の経過が必須であると言えよう。暖地産品種の中には低温条件を与えなくても、8時間日長で貯蔵葉の形成が可能であるものがある。しかし、このような品種も低温および長日の条件を与えると、貯蔵葉形成が促進されるので、量的な低温および長日の要求度はあると言える。

貯蔵葉形成誘導状態に達したニンニクの貯蔵葉の形成は誘導後20℃前後の温度下におかれると最も早く起こり、低温になるほど遅くなる。しかし、形成節位には温度による差がみられないようである。低温下で貯蔵葉の形成時期が遅くなるのは、低温下では生育が一般的に遅くなるためと思われる。なお、誘導適温に近い5℃下での形成節位が20℃のものに比べて低くなる場合があったが、これは5℃栽培前の誘導が十分でなかったため、5℃の誘導作用が補足的に働いた例と思われる。貯蔵葉の形成開始後の肥大は20℃前後の温度で最も促進され、温度が低くなるに従って劣るようになる。

貯蔵葉形成誘導状態に達したニンニクの貯蔵葉の形成に対する日長の影響に関しては次のように言えるだろう。誘導が十分な場合には形成節位に関しては日長の影響は見られない。しかし、貯蔵葉形成開始の認められる時期は日長が長いほど早くなり、形成後の肥大も日長が長いほど促進される。一方、貯蔵葉形成誘導がまだ十分でない場合には、日長が長いほど形成節位が低くなる。これは長日の貯蔵葉形成誘導作用が補足的に働くためと考えられる。

第3項 貯蔵葉形成に及ぼす低温誘導後の高温の影響

ニンニクは第2項で述べたように低温条件を経過すると、貯蔵葉形成誘導状態になる。この状態になった植物の貯蔵葉形成は温暖で長日の条件下で最も速やかに進む。低温と長日の貯蔵葉形成に及ぼす以上の作用は春化現象における花芽形成に対する低温と長日の作用に似ている。

ところで、春化においては、低温誘導後に高温にあうと低温効果の消去される現象が知られ、離春化と称されている。予備実験でニンニクの貯蔵葉形成においても離春化と類似の現象がみられた。それで、本実験ではこの現象を詳しく検討することにした。

材料および方法

実験6 植付け後の高温の影響

(1) 1972年度の実験

‘山形’の0.5~1.5g球を10月4日から5℃で30, 60および90日間貯蔵した後に、川砂を培土として12cm鉢に5球ずつ植付け十分にかん水した。そして直ちに鉢を25, 30および35℃の恒温器内において10, 20, 30および40日間高温で栽培を行った。高温栽培期間中のかん水は制限して砂を終始乾き気味に保つようにした。そのため、培地温と恒温器内の空気温度との差は小さく、大体1℃以内であった。高温栽培期間中の光は室内の北側の窓からの自然散光のみとした。なお、高温栽培期間の11月3日~2月11日の間の日出から日没

までの時間は約9.5~10.5時間であった。高温栽培終了後は鉢を20~25°C, 16時間日長条件下(実験3と同様なビニール被覆箱内)に移して最終調査時まで栽培を続けた。なお、高温栽培終了後、5°C, 植物育成用蛍光灯(ホモルクス)の8時間日長の条件下で30日間栽培後に、20~25°C, 16時間日長の条件下で栽培する区も設けた。

(2) 1973年度の実験

‘山形’の0.5~1.1g球および4.5~5.1g球を11月8日から5°Cおよび10°Cで4週間貯蔵した。低温貯蔵終了後、小球は12cm鉢に、大球は15cm鉢に1鉢当り6~7球ずつ実験6-1と同様に植付けた。そして、鉢を24, 27, 30および35°Cの恒温器内に置いて7, 14, 21および28日間高温栽培を行った。高温栽培期間中、かん水は実験6-1とことなり十分に行い、砂が乾かないようにした。そのため培地温は空気温度より低くなり、24°C→22°C, 27°C→25°C, 30°C→27.5°C, 35°C→32.5°Cのように2~2.5°C低めになった。高温栽培期間中の光条件は24, 27および30°C区では、約2万ルクスの陽光ランプを1日に8時間照明し、35°C区では実験6-1と同じ自然散光照明のみとした。なお、高温栽培期間の12月7日~12月28日の間の日出から日没までの時間は約9.5時間であった。

高温栽培終了後、各区から5株を掘上げて分化葉数を調査したが、この際に最終調査時に1鉢当り5株になるように各鉢から株を適当に抜き取った。高温栽培終了後は実験6-1と同様な条件下で栽培した。

実験7 植付け前の高温の影響

‘山形’の4.0~6.0g球を10月4日から5°Cで30日間貯蔵をし、引き続いて20°Cあるいは30°Cで30日間貯蔵をしてから植付け、実験6-1と同じビニール被覆箱内で栽培した。なお、高温貯蔵終了後、種球を再び5°Cで30日間低温貯蔵をした後に植付ける区も設けた。

結果および考察

(1) 植付け後の高温の影響

(i) 1972年度の実験(実験6-1)

5°C, 30日間の低温貯蔵を行った球を植付け、20~25°C, 16時間日長条件下で栽培すると、100%の個体が一ツ玉球を形成したが、植付け後すぐに気温30°C以上(地温約29°C以上)の短日の条件下で一定期間高温栽培を行った後に20~25°C条件下で栽培すると、球形成個体率が著しく低下し、栄養生長を続ける株が増加した。すなわち、高温栽培の温度が30°Cで栽培期間が20日の場合の球形成個体率は100%であったが、高温栽培期間が30日あるいは40日になると球形成個体率はそれぞれ17%あるいは0%に低下した(第13表)。なお、実験6と7でみられた植物の球形成の型はすべて一ツ玉球形成であった。栽培温度が35°C(地温約34°C)に上昇すると、栽培期間が20日でも球形成個体率は0%に低下した。すなわち、35°Cの球形成個体率を低下させる作用は30°Cに比べてかなり強かった。また、高温栽培期間を長くすると作用が強くなった。

低温による貯蔵葉形成誘導が強くなると、高温による球形成個体率の低下が小さくなった。すなわち、高温栽培が30°C, 30日間の場合には、種球の低温貯蔵が5°Cの30, 60および90日間の区の球形成個体率はそれぞれ17%, 70%および66%になり、また高温栽培が30°C, 40日間の場合には、種球の低温貯蔵が5°Cで60および90日間の区の球形成個体率は

それぞれ0%および52%になった。

5°C, 90日間の低温貯蔵区の高温栽培期間中の生育が比較的良好であった個体(大株)は, 不良であった個体(小株)に比べて球形成個体率が著しく高かった(第13表)。また, 一ツ玉球形成節位(貯蔵葉形成節位)も大株区のほうが明らかに低かった。これは高温栽培期間中の生育が良好であった株では高温の影響があらわれにくかったことを示している。

高温栽培終了後引き続き低温栽培を行うと, すなわち, 5°Cで30日間貯蔵した球を植付けて30°Cの短日条件下で30日間栽培し, 引き続き5°Cの短日条件下で30日間栽培したのち, 20~25°Cの16時間日長条件下で栽培すると球形成個体率は低温栽培を行わない場合は17%であるのに対して, 100%になった(第13表)。

第13表 種球の植付け前低温貯蔵の貯蔵葉形成誘導効果に及ぼす植付け直後の高温栽培の影響(実験6-1)

低温貯蔵 温度, 期間	高温栽培 空気温度(地温), 期間	球形成 個体率 ¹⁾	貯蔵葉 形成節位	栽培期間 ²⁾	高温栽培終了時 の抽出普通葉数
20°C, 30日	なし	0(2) ³⁾	—	287日	—
5°C, 30日	なし	100(11)	6.09±0.09(11)	75	—
	25(24)°C, 30日	93(14)	5.90±0.13(10)	89	2.95±0.05(20)
	30(29)°C, 10日	100(19)	6.26±0.10(19)	103	0.70±0.11(20)
	20	100(7)	6.33±0.21(6)	103	1.95±0.12(19)
	30	17(6)	7.00±0(1)	160	1.22±0.27(18)
	40	0(3)	—	160	1.69±0.33(16)
5°C, 60日	35(34)°C, 10日	100(15)	6.33±0.13(15)	103	0(15)
	20	0(5)	—	160	0(9)
	なし	100(4)	5.50±0.29(4)	59	—
	30(29)°C, 30日	70(10)	7.29±0.64(7)	130	1.47±0.26(17)
5°C, 90日	40	0(10)	—	130	1.79±0.21(19)
	50	0(3)	—	144	2.12±0.22(17)
	なし	100(11)	5.45±0.16(11)	43	—
5°C, 90日	30(29)°C, 30日(大) ⁴⁾	100(19)	6.42±0.26(19)	85	2.80±0.14(20)
	30(小) ⁴⁾	32(32)	7.50±0.34(6)	85	1.29±0.17(17)
	40(大)	89(9)	6.75±0.31(8)	85	3.00±0(13)
	40(小)	25(12)	9.67±0.67(3)	100	0.80±0.22(15)
5°C, 30日	30(29)°C, 30日 ⁵⁾	100(6)	6.83±0.31(6)	131	2.20±0.16(20)

品種「山形」種球重は0.5~1.5g。

1) 株は栄養生長状態にとどまるか一ツ玉球を形成した。

2) 植付け日から球形成調査日までの日数。球形成個体率が同じでもこの期間の長いものは球形成時期がより遅かったことを示す。

3) この縦欄の()内の数字は調査株数。

4) 高温栽培終了時に抽出普通葉数の多少によって株を2つのグループに分けた。葉数の多いものは(大)とし, 少ないものは(小)とした。

5) 高温栽培終了後引き続き低温栽培(5°C, 30日間, 8時間日長)を行った後に他の区と同様の20~25°C条件下で栽培した。

(ii) 1973年度の実験 (実験6-2)

本実験 (第14表) の球形成個体率は実験6-1 (第13表) の同様な処理区と比較して一般にかなり高くなった。例えば本実験 (実験6-2) では0.5~1.1g 球を5°C, 28日間貯蔵した後に植付けて、30°Cで28日間栽培した場合には球形成個体率は100%になったが、実験6-1の5°C, 30日間貯蔵後に30°Cで30日間栽培した区の球形成個体率は17%にすぎなかった。また、実験6-2の0.5~1.1g 球の5°C, 28日間貯蔵後に35°Cで28日間栽培した区の球形成個体率は50%であったが、実験6-1の5°C, 30日間貯蔵後に35°Cで20日間栽培した区の球形成個体率は0%であった。実験6-2の球形成個体率が実験6-

第14表 種球の植付け前低温貯蔵の貯蔵葉形成誘導効果に及ぼす植付け直後の高温栽培の影響 (実験6-2)

低温貯蔵 温度,期間	高温栽培 空気温度(地温),期間	球形成 個体率	貯蔵葉 形成節位	栽培期間	高温栽培終了時の		
					抽出普通葉数	分化葉数	
5°C,28日*	24(22)°C, 28日	100(15)	6.53±0.17(15)	97日	3.00±0.07(21)	6.3(4)	
	27(25)°C, 21日	100(15)	7.13±0.32(15)	143	2.28±0.14(18)	5.3(4)	
		94(18)	7.12±0.26(17)	239	2.76±0.10(21)	6.0(4)	
	30(27.5)°C, 14日	100(13)	6.17±0.17(12)	97	1.83±0.17(18)	5.5(4)	
		100(12)	—	143	2.44±0.18(16)	5.5(4)	
		100(18)	6.94±0.24(18)	143	2.57±0.12(23)	6.0(4)	
	35(32.5)°C, 7日	100(12)	6.50±0.15(12)	97	—	—	
		100(15)	6.73±0.18(15)	148	0	(15) 4.8(4)	
		50(6)	8.33±2.33(3)	239	0.78±0.22(9)	5.0(3)	
	10°C,28日*	24(22)°C, 28日	100(15)	8.13±0.22(15)	149	3.05±0.05(19)	6.0(4)
		27(25)°C, 21日	100(18)	9.23±0.38(13)	149	1.84±0.16(19)	5.8(4)
			100(14)	8.57±0.17(14)	143	3.65±0.12(17)	6.3(3)
30(27.5)°C, 7日		100(13)	7.18±0.23(11)	97	—	—	
		100(11)	9.00±0.47(11)	180	0.46±0.18(13)	5.0(3)	
		75(8)	11.83±1.08(6)	247	0.71±0.25(17)	5.3(4)	
		73(11)	9.63±0.56(8)	205	1.00±0.17(19)	5.3(4)	
35(32.5)°C, 7日		100(12)	6.83±0.17(12)	97	—	4.8(5)	
		100(6)	7.50±0.43(6)	148	0.11±0.11(9)	4.8(4)	
		25(12)	12.33±0.33(3)	239	0	(8) 5.0(4)	
5°C,28日**		30(27.5)°C, 28日	100(7)	9.71±0.29(7)	149	3.43±0.14(14)	8.7(3)
		35(32.5)°C, 7日	100(15)	8.87±0.13(15)	129	—	7.0(5)
	100(14)		9.21±0.15(14)	149	0	(7) 7.0(4)	
	100(5)		14.00±0.84(5)	204	0.36±0.15(11)	7.0(4)	
	8(13)		13.00±0 (1)	239	0.43±0.14(14)	7.0(4)	

品種 '山形'.

* 0.5~1.1g球. 低温貯蔵終了時の分化葉数は4.0 (5°C,10°C貯蔵とも).

** 4.5~5.1g球. 低温貯蔵終了時の分化葉数は6.8.

本表のその他の説明は第13表と共通.

1より高くなったのは、以下に記す2つのことに起因していると思われる。第1は、実験6-2では高温栽培期間中のかん水を十分に行い、砂が常に湿っている状態にしたので、空気温度が同じでも地温が実験6-1に比べて約1.0~1.5°C低かったこと。第2は、実験6-2の株の高温栽培期間中の生育が、かん水を制限した実験6-1と異なって良好であったことである。第2のことが高温の影響を小さくすることは既にみたとおりである(実験6-1)。

低温貯蔵を5°Cで行った区は、10°Cの区より球形形成個体率が高かったが、これは5°C区の方が貯蔵葉形成誘導効果が強かったためと考えられる。

(2) 植付け前の高温の影響(実験7)

5°C, 30日間の低温貯蔵に続いて30日間の高温貯蔵を植付け前に乾燥状態で行った場合には、30°C貯蔵区での球形形成個体率は0%になり、実験6-1と6-2の植付け後高温処理(ただし地温は約29°C)の場合よりも低くなった(第15表)。これは芽の受ける温度が実験7では実験6-1と6-2の場合よりも約1°C高かったことも原因しているかもしれないが、20°C貯蔵でも球形形成個体率が87%になったことから、乾燥状態での処理であったことが原因と考えられる(乾燥状態では植付けた場合に比べ芽の生長は著しく抑制される)。

30°C, 30日間貯蔵に続いて再び5°Cで30日間貯蔵を行った後に植付けると100%の株が球を形成し、貯蔵葉形成節位も高温貯蔵をしていない区とあまり差がなかった(第15表)。

第15表 低温貯蔵に続く高温貯蔵が低温の貯蔵葉形成誘導効果に及ぼす影響(実験7)

低温貯蔵 温度, 期間	高温貯蔵 温度, 期間	球形形成個体率	貯蔵葉形成節位	全栽培期間
20°C, 30日	なし	0(2) %	—	117日
5°C, 30日	なし	100(12)	8.25±0.13(12)	75
	20°C, 30日	87(15)	10.23±0.41(13)	144
	30°C, 30日	0(12)	—	144
5°C, 30日	30°C, 30日*	100(28)	8.62±0.22(26)	85

品種 '山形'。種球重は4.0~6.0g。

* 高温貯蔵終了後再び低温貯蔵(5°C, 30日間)を行った後に植付けたもの。
なお、本表のその他の説明は第13表と共通。

(3) 総括

低温条件の経過によってニンニクに生じた貯蔵葉形成誘導状態は、低温経過後に引き続いて与えられた約30°C以上の高温条件によって消失した。この場合に、低温前処理が強いほど、低温効果を消去するためにはより高い温度あるいは長い期間の高温条件を与えることが必要であった。また、高温条件の経過によって貯蔵葉形成誘導状態が消失したと考えられる植物体に再度低温を与えると、貯蔵葉形成誘導状態が再び生じた。以上の貯蔵葉形成誘導状態の誘起と消去に関する低温と高温の作用様式は、春化における花芽形成誘導の際の低温と高温の作用様式に非常によく類似している。

青葉(1972, 1974a, 1974c, 1976a)はニンニク以外の数種の球根植物でも同様な現象を

見出ししており、彼は(1976c)このことと、休眠中の球根では低温効果が生じにくいことなどから、低温による球根形成誘導現象と春化現象との間には、機構的に何らかの共通点があるのではないかと述べている。今のところこれを否定する証拠は見当たらないようである。

高温効果が実験6-2より実験6-1で、そして実験6-1より実験7で、また実験6-1の大株区より小株区でより強くあらわれたことは、高温効果が高温処理期間中の生育が抑制される条件下でより強くあらわれることを示している。これは、低温による貯蔵葉形成誘導効果の発現、すなわち貯蔵葉の形成は、本実験の程度の強さの低温処理では低温処理後生育がある程度進んだ後に開始することが原因となっているようである。すなわち、生育の良好な条件下では高温刺激が十分になる以前に貯蔵葉の形成が始まるため、高温効果があらわれにくくなり、逆に、生育の抑制される条件下では、貯蔵葉形成開始以前に高温刺激が十分になるため、高温効果が強くあらわれるようになるのではないかとと思われる。

第3節 花序の形成誘導および形成と発達に及ぼす

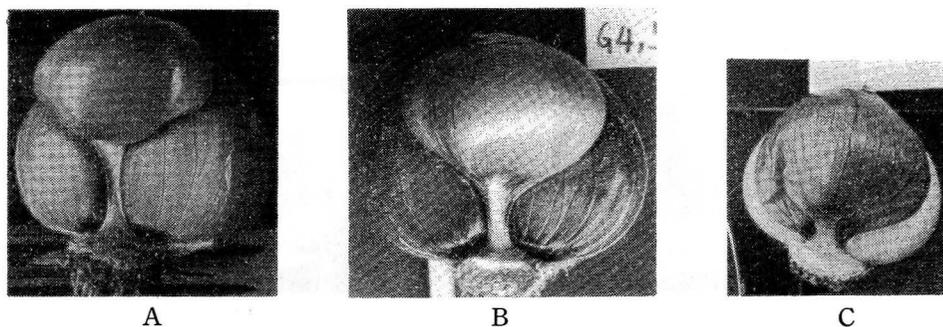
外的および内的条件の影響

ニンニクでは花序が形成されるか否かによって球形成の様式が大きく変わる。通常みられる球形成は花序形成を伴うものである。花序が形成されないと収量が花序形成する場合に比べ低くなることや、球の外観が異常になることが多く、商品価値が通常低くなる。したがって、ニンニクの営利栽培では花序形成を起こさせることは必須条件といつてよい。ところが、従来、ニンニクの花序形成に関する報告は数少なく、花序形成の有無と種々の異常な球形成型との関係や花序形成に及ぼす外的、内的条件の影響はまだあまり明らかではない。そこで、筆者は本節の第1項で球形成型の分類を試みた上で種々の球形成型と花序形成との関係を検討した。そして、第2項では花序の形成誘導および形成と発達に及ぼす外的、内的条件の影響について実験的に検討した。

第1項 種々の球形成型と花序形成との関係

(1) 普通に見られる球形成型

日本在来のニンニクを秋植えて翌年の夏収穫するという普通栽培を行った場合には、通常、花序と側球が形成される。すなわち、頂芽に花序が形成されると共に最終普通葉(止葉)およびその一つの前の葉の計2節の葉腋に側芽が各々2~7個ずつ形成され、それ



第12図 著しく発達した珠芽と發育不全の花茎をもつ花序

らの側芽が貯蔵葉を形成して側球になる (第4図) (島田・庄崎, 1954; 山田, 1963; 八鍬, 1963; 青葉, 1966). この最も普通に見られる球形成型を以後, 普通球形成型ないし正常球形成型あるいは花序・側球形成型と称することにする. この球形成型は, 明白な花序の形成される点で, 通常他の球形成型と区別されるので, 単に花序形成型とも称することにする.

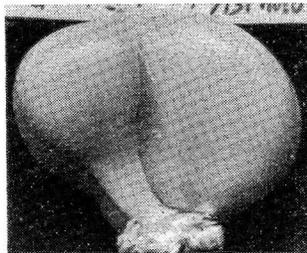
ところで, 花序には第12図A, Bのように珠芽の発達が著しく良好で側球程度の大きさにまでなっている反面, 花茎の発達が著しく不良なものがある. 第12図Cの花序状のものは扁平で短い花茎状のもの頂端に1枚の保護葉に包まれた1枚の貯蔵葉が着生している構造になっている. これは通常みられる花序とは形態が著しく異なる. これはノビルでみられる仔球柄のついた仔球 (小鱗茎) に似ている. しかし, ニンニクではこのような柄を持った小鱗茎は頂芽に相当する位置以外ではみられないから, これは花序の著しく変形発達したもので, すなわち第12図A, Bの花序の変形化が一層進んだものと考えられる.

(2) 特殊条件下でみられる球形成型

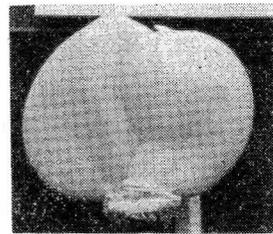
普通栽培では花序形成型以外の球形成型はまれにしかみられないが, 種球冷蔵早出し栽培等の特殊栽培では, 花序形成型以外の種々の球形成型がしばしば出現する. それらの型の共通の特徴は, 明白な花序が形成されず, 花序の形成される位置に, すなわち頂芽の位置に花序の代わりに貯蔵葉 (中心球) が形成されることである. なお, 花序は形成されるが, 側球が形成されない特殊球形成型を筆者はこれまでに普通栽培と特殊栽培において各1例認めた. この型の発生はどの栽培型でも非常に希少で, 病的な型と思われる.

上記の明白な花序の形成されない球形成型は, 側球形成の有無によって, 中心球・側球形成型と中心球形成・側球不形成型の2種類に分類される. そして前者はさらに花序貯蔵葉化・側球形成型と頂芽貯蔵葉化・側球形成型の2種類に分けられる.

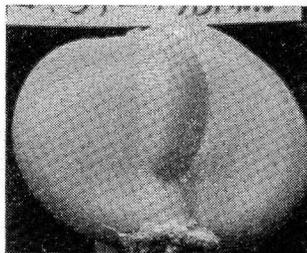
(i) 花序貯蔵葉化・側球形成型



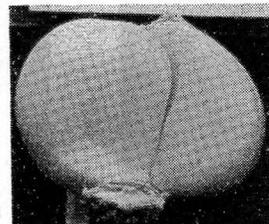
A



B



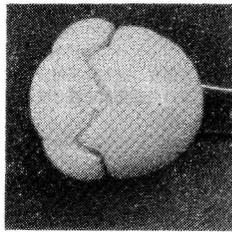
C



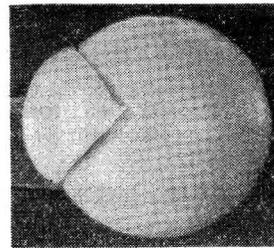
D

第13図 花序の貯蔵葉化

頂芽の位置に形成される貯蔵葉には第13図A~Dのように、貯蔵葉化した花茎と思われる部分が認められるものと、全く認められないものと(第14図A, B)がある。このうちで貯蔵葉化した花茎が部分的に認められる貯蔵葉(第13図A~D)の形成過程は次のようなものであると考えられる。この型では最初、頂芽の位置に花序分化が起こったが、総包原基分化に続いて花茎原基が分化した花序分化の初期の段階に貯蔵葉化作用が極めて強くなり、総包、花茎の両原基が一体化して貯蔵葉化したものと思われる。この球形成型を花序貯蔵葉化・側球形成型と称することにする。なお、第13図のA→B→C→Dの順に後のものほど貯蔵葉化した花茎が小さくなって目立たなくなっているが、これの小さいものほど花茎原基分化の早い段階に貯蔵葉化が始まったものと思われる。



A

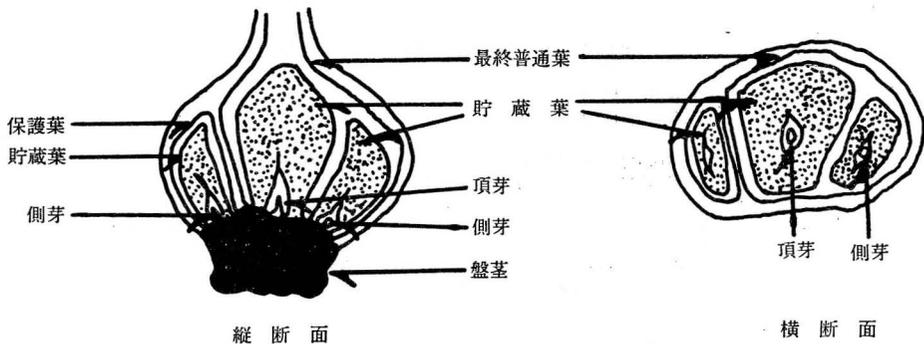


B

第14図 頂芽貯蔵葉化・側球形成型 (上方から写したもの)

(ii) 頂芽貯蔵葉化・側球形成型

頂芽の位置に形成される貯蔵葉に貯蔵葉化した花茎の全く認められない第14図A, B, 第15図のようなものも前述の花序貯蔵葉化・側球形成型同様、花序分化の初期段階に花序が貯蔵葉化したものである可能性は高い。というのは、この型は花序形成に不適な条件下では花序貯蔵葉化・側球形成型と同様全くあられわれず、花序形成にやや不適な条件下でのみ、花序形成型や花序貯蔵葉化・側球形成型と共にあらわれるからである。この型は頂芽の位置に形成される貯蔵葉の形が普通葉原基の貯蔵葉化した結果生じる一ツ玉球に形が似ていることや、側球形形成節数の少ない場合(通常2節に対して1節)が多くみられるこ



縦断面

横断面

第15図 頂芽貯蔵葉化・側球形成型の球の構造

となどから考えて、もし、花序分化がおこっていたとするならば、以下のような発達過程をたどったものと推定される。すなわち、花茎原基のまだ分化していない、そして側芽もまだ次々と分化中である花序分化の極く初期段階に貯蔵葉化作用が強くなり、すでに形成された側芽および普通葉原基と区別がつかないほど形が似ている分化初期段階の総包原基が貯蔵葉化したものと推定される。しかしまた一方、この球形成型は頂芽に花序分化がおこらず、側芽形成のみおこり、頂芽と側芽とが貯蔵葉化したものである可能性もある*。もし第14図A、Bと第15図の鱗茎がこのようなものであるならば、この球形成型は頂芽貯蔵葉化・側球形成型と称されるべきであろう。しかし、第14図A、Bと第15図のものが上記の2つのいずれの型であるにしろ、外観からはその判別ができないので、本研究では便宜上、頂芽の位置に形成される貯蔵葉に貯蔵葉化した花序(花茎)の部分が外観上認められるもののみを花序貯蔵葉化・側球形成型と称し、それが認められないものはすべて頂芽貯蔵葉化・側球形成型と称することにした。

* 日本在来のニンニクの側芽形成は、ほとんど常に花序形成に伴っておこるので、花序形成と側芽形成とは不可分の関係にあるように思える。しかし山田(1963)は花序形成にやや不適な条件下で栽培した場合に、頂芽は栄養生長を続けているのに側芽形成した個体が、ごく少数ではあるがあらわれたことを報告している。

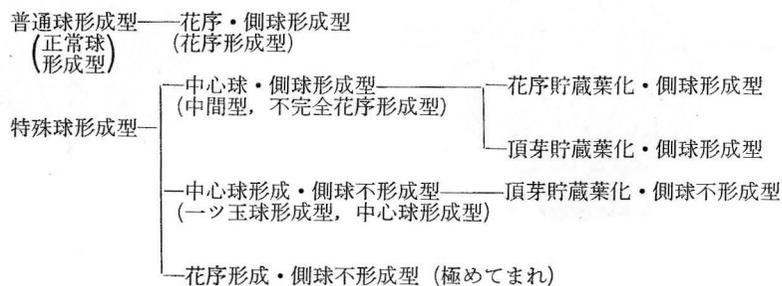
(iii) 中心球形成・側球不形成型

一般に一ツ玉球ないし中心球と称されている球は頂芽を内蔵する1枚の貯蔵葉で構成されていて、花序も側球も形成されていない(第5図)。この型で形成される貯蔵葉は栄養生長している頂芽の普通葉原基が、貯蔵葉化作用が強くなったため、普通葉に発達することを止めて貯蔵葉に発達したものと考えられ(青葉, 1966; 高樹, 未発表)、花序形成と無関係に形成されたものであると考えられる。この球形成型は頂芽貯蔵葉化・側球不形成型とも称せるが、一般には一ツ玉球形成(型)と称されているので、以下ではこの語を用いることにする。なお、筆者らは以前の報告ではこの型を中心球形成型と称した。

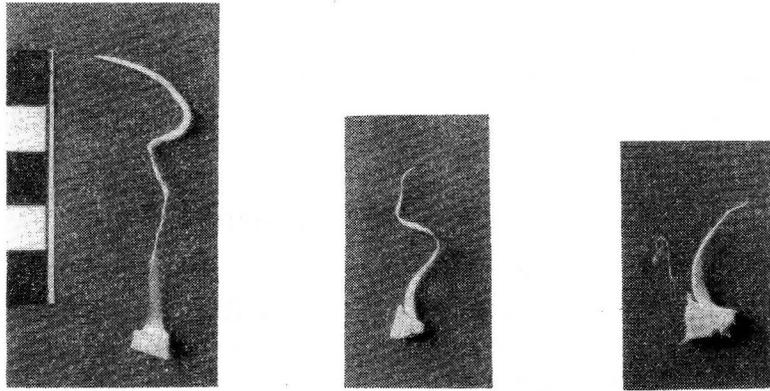
(3) 総括

以上に述べた種々の球形成型の誘起と植物体の内的条件との関係は以下のようにまとめられる。花序分化・側芽分化開始以前に貯蔵葉化作用が強くなり、頂芽の葉原基が貯蔵葉化すれば一ツ玉球形成型になる。花序分化の初期段階に貯蔵葉化作用が強くなり、頂芽あるいは分化初期段階の花序と側芽とが貯蔵葉化すれば、頂芽貯蔵葉化・側球形成型あるいは花序貯蔵葉化・側球形成型の球形成になる。そして、花序分化段階がある程度以上進行

第16表 球形成型の分類



花序・側球形成型と中心球・側球形成型とをまとめて側球形成型と総称する。



第16図 ブラインド化した花序

左端の黒白の縞模様はスケール（単位は1cm）

した後に貯蔵葉化作用が強くなれば、花序形成型の球形成になる。以上のことから、頂芽貯蔵葉化・側球形成型および花序貯蔵葉化・側球形成型の球形成は花序形成型と一ツ玉球形成型との中間の球形成型であるとみなすことができる。また、頂芽貯蔵葉化・側球形成型と花序貯蔵葉化・側球形成型との間の境界は不明瞭で両型は形態形成的にも外形的にもよく似ている。それで、この両型を以下ではまとめて扱うことにし、中間型あるいは不完全花序形成型と称することにする。なお、花序形成型および中間型は側球を形成する点で他の球形成型と区別されるので、両型を総称する場合には側球形成型という用語を使用することにする。以上に述べた各球形成型の関係を示せば、第16表のようになる。

なお、花序が形成されても外的条件が花序の発達に不適なため、それが発達を途中で止めて退化し、側球の肥大により押しつぶされ、収穫時には側球の間に薄く扁平な白色半透明状の花序状のものとして認められる場合がある（第16図）。つまり花序がブラインドになった球形成型がある。しかし、この球形成型では花序の形成が通常明白に認められるから本研究では花序形成型に分類した。

第2項 花序形成に及ぼす外的および内的条件の影響

ニンニクの花成と外的、内的条件との関係を実験的に検討した報告は非常に少なく、わずかに島田・庄崎（1954）、山田（1963）、青葉（1966）等があるのみである。それらの実験によって8、12、16時間の日長では、長日ほど花序形成期が早くなり、形成後の発達もよいこと（島田・庄崎、1954）、20℃以上の温度では花序形成しにくくなり、形成しても発達が不良でブラインド化しやすいこと（山田、1963）、種球がある程度以上小さくなると花序が形成されにくくなること（青葉、1966）等が明らかになり、花序の形成とその後の発達が日長、温度、植物体の大きさなどによって影響されることが示された。しかし、花序の形成と発達に最適な温度と日長および限界の温度と日長はまだ明らかになっておらず、また、花序形成がおこるための条件や花序形成と貯蔵葉形成との関係もまだ明らかになっていない。さらに、温度、日長、植物体の大きさ等の花序形成に及ぼす相互作用も不明である。

それで、これらの点を明らかにすることを目的として実験を行った。

なお、予備実験で低温処理球を植付け 20°C と 13°C で栽培して花序形成個体率を調べたところ、20°C では花序は全く形成されなかったが、13°C では高い花序形成個体率を示したので、花序形成適温を調べる実験以外は原則として 13°C で栽培して花序形成個体率を調べた。

(1) 花序形成に及ぼす種球の低温貯蔵の影響

暖地において行われている種球冷蔵早出し栽培では花序、側球の形成を早めるため種球を 0~5°C に 2 か月間貯蔵した後に植付けているが、この栽培には一ツ玉球形成株の発生が多く、多い場合には 85% にも達すると言われている(勝又, 1974)。

ところで、種球冷蔵処理は第 2 節で明らかにしたとおり、頂芽の貯蔵葉化を促進するので、種球冷蔵処理自体が一ツ玉球形成株多発の原因になっている可能性がある。そこで、冷蔵温度、冷蔵期間が花序形成と一ツ玉球形成に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

実験 8 冷蔵温度と冷蔵期間が花序形成に及ぼす影響

(1) 2~13°C での 1~3 か月間貯蔵実験

‘山形’の 5~10g 球を 9 月 17 日から 2, 5, 9 および 13°C で 1, 2, 3 か月間貯蔵した後に、ワグナーポットに 1 ポット当たり 5 ないし 6 球ずつ植付け、13°C、12 時間日長(陽光ランプの 8 時間照明に続いて 200 ワットの白熱灯の 4 時間照明)の条件下で栽培した。植付け後、30, 45, 60, 75, 90 および 105 日目に各区から 5 株ずつを掘上げて、植物体を解体し、茎頂を露出させ、花序形成を解剖顕微鏡(倍率は×40 以下)で調査した。そして、球形成がほぼ完了した後に残りの全株を掘上げて、最終調査を行った。

(2) 5~13°C での長期貯蔵実験

‘山形’の 3.5~4.0g 球を 11 月 14 日から 5, 10 および 13°C で 8, 12, および 20 週間貯蔵後、ワグナーポットに 1 ポットあたり 5 球ずつ植付け、13°C、12 時間日長条件下で栽培した。地下部が十分に肥大したのから順次掘り上げて、花序形成の調査を行った。

(3) -1.5°C~10°C での 3 か月間貯蔵実験

‘山形’の 4.5~6.5g 球を 10 月 16 日から 3 か月間、-1.5, 0, 5 および 10°C で貯蔵後、ワグナーポットに 1 ポット当たり 6 球ずつ植付け、約 13°C、8 時間日長(自然散光)条件下で栽培した。花序形成調査は球形成完了後に行った。

実験 9 -2~0°C での長期貯蔵ならびに長期低温貯蔵後の短期高温貯蔵が花序形成に及ぼす影響

1973 年 7 月 3 日収穫の‘山形’の 5.0~9.5g 球を 8 月 15 日から翌春の植付け期まで -2 および 0°C で貯蔵した。1974 年 3 月 19 日、4 月 1, 16 日に圃場に植付けたので貯蔵期間はそれぞれ 216, 229, 244 日間になる。以上の区のほか 8 月 15 日からの 0°C 貯蔵球(5.0~9.5g 球)を 3 月 19 日(植付け日)の 2, 3, 4 週間前から 3 月 19 日まで 30°C で高温処理した後植付ける区も設けた。これらの高温処理区の 0°C 貯蔵期間は高温無処理区の 0°C 貯蔵期間(3 月 19 日植付け区)に比べて 2~4 週間少なくなる。花序形成の調査は適期収穫後

に行った。

結果および考察

種球の貯蔵温度が2~13°C、貯蔵期間が1~3か月の範囲内では、一般的傾向として、低い温度で、長い期間貯蔵した場合ほど花序形成節位（総包形成節位）が低下し（第18表）、また花序形成個体率および側球形成個体率が高まった（第17表）。2°Cと5°Cの花序形成個体率には一定の差が認められなかったので、花成誘導適温は2~5°Cの範囲にあると思われる。

花成誘導温度が13°Cでは花序形成個体率がかなり小さく、また、後述するように植付け後に8時間日長条件で栽培するという花序形成を比較的有利にする条件下でも13°Cでは花序形成個体率が50%であったので（第30表）、‘山形’の花成誘導可能な上限温度は13°Cとみなしてよいであろう。

なお低温貯蔵期間を3か月以上にすると、貯蔵期間が長くなるほど花序形成個体率が減少して一ツ玉球形成個体率が増大し（第20表）、花序形成節位も高くなった（第21表）。これ

第17表 種球の低温貯蔵が花序形成に及ぼす影響（実験8—1）

低温貯蔵期間	花 序 形 成 個 体 率			
	貯 蔵 温 度			
	2°C	5°C	9°C	13°C
1か月	19(63)%	28(39)%	—	—
2か月	25(69)	13(69)	0(13)%	—
3か月	53(76)	79(86)	41(65)	25(38)%

品種は‘山形’。種球重は5~10g。

1) 1区当りの調査個体数は14~18（ただし13°C区のみは8）。

2) ()内は側球形成型個体率=(花序形成型個体率+不完全花序形成型個体率)。

3) 正常な花序も不完全な花序も形成しなかった個体はすべて一ツ玉球を形成し、栄養生長状態にとどまった個体はなかった。他の実験でもとくに指摘しない限り同様である。

第18表 種球の低温貯蔵が花序形成節位と一ツ玉球形成節位に及ぼす影響（実験8—1）

貯蔵温度	貯蔵期間	植付け時 分化葉数(A)	花序形成節位(B)	(B)-(A)	一ツ玉球形成節位(C)	(C)-(A)
2°C	1か月	5.6	9.7±0.3	4.1	8.7±0.3	3.1
5	1	5.8	10.0±0.3	4.2	9.0±0.4	3.2
2	2	5.9	9.3±0.3	3.4	8.6±0.2	2.7
5	2	6.2	10.0±0.0	3.8	8.8±0.2	2.6
9	2	7.0	—	—	10.0±0.2	3.0
2	3	6.2	9.1±0.2	2.9	8.7±0.3	2.5
5	3	6.7	9.5±0.2	2.8	8.5±0.5	1.8
9	3	7.8	11.1±0.1	3.3	8.7±0.2	0.9
13	3	7.8	—	—	13.0±0.0	5.2

第17表の個体について調査したもの。低温貯蔵開始時の分化葉数は5.4。

第19表 種球の低温貯蔵が花序形成時期に及ぼす影響 (実験 8—1)

温度,期間	植 付 け 後 日 数					
	30日	45日	60日	75日	90日	105日
2°C 1か月		×××××	×××△○	○○○●●		
5 1		×××××	××△△△	○○○●●		
2 2		×△△△△	○○○●●	○○○●●		
5 2		××△○○	×○○●●	○○○○●		
9 2		×××××	×××△○	○○●●●		
2 3	×××××		○○○●●			
5 3	×××××		○○○○			
9 3			○○○○●			
13 3				×××××	×××○●	×○○●●

品種は '山形'. 種球重は5~10g.
 1区当りの調査個体数は4~5.
 ×: 栄養生長状態の個体.
 △: 止葉あるいはその1つ前の葉の葉腋に明白な三日月形隆起部が1箇所以上に認められた個体. 花序形成の極初期段階.
 ○: 三日月形隆起部の上部に生長点の形成が認められる段階以上に達した個体 (△印より発達段階の進んだもの).
 ●: 一ツ玉球形成が明白に認められた個体.

第20表 種球の長期低温貯蔵が花序形成に及ぼす影響 (実験 8—2)

貯蔵期間	花 序 形 成 個 体 率		
	貯 蔵 温 度		
	5°C	10°C	13°C
8週	95%	—	—
12	89	72%	—
16	21(41)	50	—
20	0	0	0*

品種は '山形'. 種球重は3.5~4.0g.
 1区当りの調査個体数は18~20 (ただし20週間貯蔵の10,13°C両区は8).
 () 内は側球形成型個体率 (=花序形成型個体率+不完全花序形成型個体率).
 () 内数値を示していない区ではすべての個体が花序か一ツ玉球を形成し, 不完全な花序を形成した個体は生じなかった.
 他の実験でも特に指摘しない限り同様である.
 * 植付け後102日目に4個体はまだ栄養生長状態であったが, 残り4個体はすでに一ツ玉球を形成していた.

は, 貯蔵葉形成は低温誘導が十分強くなれば植付け後の生育が不良であっても起こり, さらに球の乾燥貯蔵中でも起こるが, 花序形成は生育不良条件下では起こりにくく, そして球の乾燥貯蔵中にはたとえ適温下でも生理的分化はともかくとして形態的分化は全く起こらないこと (未発表) に起因していると思われる. すなわち, 次のように考えられる. 球の低温貯蔵期間がある程度以上長くなると花成にとっても貯蔵葉形成にとっても低温誘導は十分になる. この段階に達した球を比較적すみやかに 13°C 以下の温度条件下で植付けると, 栽培条件が不適當でない限り, 通常花序形成が先に起こり, 続いて花序と共に形成された側芽に貯蔵葉形成が起こる. つまり一般にみられる球形形成型になる. しかし, 上記

第21表 種球の長期低温貯蔵が花序形成節位と一ツ玉球形成節位に及ぼす影響 (実験 8—2)

貯蔵温度	貯蔵期間	花序形成節位	一ツ玉球形成節位	植付け時分化葉数
5°C	8週	9.9±0.2(19)	—	6.3
	12	10.0±0.2(16)	—	7.0
	16	11.0±0.7(8)	8.9±0.3(10)	7.0
	20	—	7.1±0.2(18)	7.0
10°C	12週	10.3±0.2(13)	—	—
	16	11.9±0.2(9)	9.6±0.3(9)	—
	20	—	9.3±0.3(7)	—

第20表の個体について調査したもの。

第22表 種球の長期低温貯蔵ならびに長期低温貯蔵後の短期高温貯蔵が花序形成に及ぼす影響 (実験 9)

植付け日	花 序 形 成 個 体 率				
	貯 蔵 温 度				
	— 2°C	0°C	0°C→30°C(4週間)	0°C→30°C(3週間)	0°C→30°C(2週間)
3月19日	0(71)%	4(7)%	0(47)%	0(27)%	0%
4月 1日	0(92)	0(12)	—	—	—
4月16日	0(80)	5	—	—	—

品種は '山形'。種球重は5.0~9.5g。
1区当りの調査個体数は22~28。
貯蔵開始日は前年の8月15日。
()内は側球形成型個体率。

第23表 種球の3か月間の低温貯蔵が花序形成に及ぼす影響 (実験 8—3)

	貯 蔵 温 度			
	—1.5°C	0°C	5°C	10°C
花序形成個体率	38(50)%	0%	6%	0%

品種は '山形'。種球重は4.5~6.5g。
1区当りの調査個体数は14~20。
()内は側球形成型個体率。

の段階に達した球をさらに低温貯蔵し続けると花序形成が起こらないためやがて貯蔵中に頂芽において貯蔵葉形成が生理的に開始し、ついには球内で貯蔵葉(一ツ玉球)が形成される。これが、著しく低温でない限り低温貯蔵期間がある程度以上長くなると花序形成個体率が低下してくる原因の1つになっていると考えられる。なお、極端な低温では貯蔵葉形成誘導作用が小さいので、貯蔵期間がある程度までは長くなっても花序形成個体率の低下はみられない(後述)。第2の原因として以下のことが考えられる。種球の乾燥貯蔵期間が長くなるほど球の消耗(貯蔵物質や水分の減少)や発根部位と貯蔵中に発根した根の褐変壊死が進行し、植付け後の生育が不良になるが、植付け後の生育が不良な植物体は既述

のように花序形成しにくくなるので、貯蔵葉が先に形成されやすくなり一ツ玉球形成個体率の増加する結果になると考えられる。なお実験8-2で低温貯蔵期間が12週間から16週間になると花序形成節位が予想に反し上昇したこと(第21表)は上記の花序形成抑制作用によるものと思われる。

-2°Cないし-1.5°C貯蔵では0°C以上の温度貯蔵の場合よりもかなり長く貯蔵しても花序あるいは不完全花序を形成する個体が多く出現した(第22, 23表)。これは-2°Cないし-1.5°Cでは貯蔵葉形成誘導作用が小さいため誘導が十分になるまでの貯蔵期間が長くなるためと、これらの温度では低温すぎて貯蔵中に貯蔵葉の形成が起こりにくいためであると考えられ、さらに、このような低温では貯蔵中に球の消耗や発根部位の壊死がほとんど起こらないことも原因しているであろう。

実験9(第22表)で0°C長期貯蔵後に30°Cの高温貯蔵をしてから植付けると不完全花序形成個体が高温無処理区に比べてかなり増加したが、これは高温処理によってすでに始まっていた頂芽の生理的な段階での貯蔵葉化が部分的に阻害されたため(第2節第3項)、花序形成が不完全に起こったためではないかと思われる。

なお、生育中の植物に、あるいは植付け後に花成誘導のための低温処理をした場合には、低温処理期間が長くなると、処理期間中に花序形成を始めるので、種球低温貯蔵の場合にみられたような、低温処理期間がある程度以上長くなると花序形成個体率が低下するという現象は全くみられない。

(2) 花序の形成と発達に及ぼす低温誘導後の日長の影響

花芽形成のために低温を要求する植物の花芽形成は一般に植物体が低温経過後に長日条件下におかれると促進される。ニンニクは本節の第2項の(1)で示したように花序形成誘導のためには低温経過が必要である。しかしその後の日長の花芽形成に及ぼす影響についてはまだ不明な点がある。また、花序の発達は長日で促進されると報告されているが(島田・庄崎, 1954)、長日条件下では側球の肥大も促進されるもので両者の発達には競争的關係が生じるものと思われる。しかし、この点を検討した報告は見当たらない。

以上の2点を検討するため本実験を行った。

材料および方法

実験10

(1) 普通露地栽培株の越冬後の日長処理

‘山形’の0.5~1.0g球, 1.0~2.0g球および2.0~3.0g球をそれぞれ1971年9月17日に圃場に植付けた。そして、1971年の3月1日(花序形成期の約1カ月前)から4月30日まで日長処理を行った。日長処理は3種類の球重の区ごとに自然日長, 18時間日長(60ワットの白熱灯を朝夕照明して自然日長を延長)および24時間日長(白熱灯を終夜照明)の3種類を設けた。花序形成の調査は適期収穫後に行った。

(2) 低温処理球を植付け後に日長処理

‘山形’の0.5~1.1g球, 1.5~2.1g球, 2.5~3.1g球, 3.5~4.1g球および4.5~5.1g球を1972年9月26日から62日間5°Cで低温処理した。そして処理終了時の11月27日に15cm素焼鉢に2.1g以下の球は1鉢当り6~7球ずつ, 2.5~4.1g球は5球ずつ, 4.5~5.1g球は

4～5球ずつ植付け、鉢を無加温ガラス室内に置いて栽培した。各球重の区ごとに12および16時間日長区を設けた。いずれも朝夕に60ワットの白熱灯を照明して自然日長を延長して所定の日長にした。1973年3月1日からは鉢を戸外に出して日長処理を続けた。ただし3月1日から12時間日長区の日長設定方法を8時間の自然光に続いて4時間の白熱灯を照明する方法に変えた。花序形成調査は適期収穫後に行った。

(3) 戸外栽培植物を越冬後期に13°C条件下に移して日長処理

‘山形’の6～10g球を1972年9月18日にワグナーポットに1ポット当たり5球ずつ植付け、1973年1月30日まで戸外で栽培し、植物体を自然の低温に十分あわせた。1月30日にポットを13°Cの人工光グロースキャビネット内に移して、8,12,16,20および24時間の日長処理を開始した。主明期を8時間の陽光ランプ照明とし、主明期に続く補光期を200ワットの白熱灯で照明した。1月30日における植物体の平均草丈は7.7cm、平均抽出普通葉数は4.4、平均枯葉数(普通葉数)は1.5であった。抽出普通葉数に比べて草丈が短いのは積雪のため葉身のほとんどが朽ち落ちてしまったことによる。日長処理開始後、30,45,60および75日目に各日長区から5個体ずつを掘上げて、球形成指数、花序形成等について調査した。さらに、適期収穫後にも最終的な調査を行った。

結果および考察

(i) 花序形成に及ぼす低温誘導後の日長の影響 (実験10—1～10—3)

低温誘導後の長日条件は一ツ玉球形成個体率を高め花序形成個体率を低下させた(第24,25表)。ただし、長日条件の影響が明白にあらわれたのは、花序形成個体率がもともとあまり高くない小さな種球の区であり、花序形成個体率の高い比較的大きな種球の区では、花序形成個体率の低下はおこらなかった。この現象は以下のように説明できる。もともと花序形成個体率のあまり高くない小さな種球の区、したがって一ツ玉球形成個体率が高い区というのは、低温誘導後の頂芽において花序形成する力が比較的弱い区と言えよう。このような区が長日条件にさらされると、長日条件によって頂芽の貯蔵葉化する力が強められるので、この力が花序形成する力より相対的に強くなる場合が多くなるであろう。そのた

第24表 普通露地栽培植物の花序形成に及ぼす低温誘導後の日長の影響 (実験10—1)

日 長	花 序 形 成 個 体 率		
	種 球 重		
	0.5g—1.0g	1.0g—2.0g	2.0g—3.0g
24時間	8(25)%	52(71)%	—
18	5(10)	67(78)	100%
自然日長	44(83)	90(100)	100

品種は‘山形’。

1区当りの調査個体数は12～23。

()内は側球形成型個体率。

すべての個体が球形成したので一ツ玉球形成個体率は次式で表わされる。

(一ツ玉球形成個体率,%)=100%-(側球形成型個体率,%)

以下の実験でも、特にことわらない限り同様である。

第25表 種球低温処理植物の花序形成に及ぼす日長の影響(実験10—2)

日 長	花 序 形 成 個 体 率				
	種 球 重				
	0.5—1.1g	1.5—2.1g	2.5—3.1g	3.5—4.1g	4.5—5.1g
16時間	0%	0%	0%	82%	92%
12	0	11	78	90	86

品種は‘山形’。
1区当りの調査個体数は10~20。

め頂芽の貯蔵葉化する個体, すなわち一ツ玉球形成個体が増加することになると考えられる。

実験10—1(第24表)の花序形成個体率は実験10—2(第25表)の同重の種球区のものに比較してかなり高かったが, これは実験10—1では栄養生長して大きくなった植物体が低温誘導されたのに対して, 実験10—2では種球が低温誘導されたためと思われる(本項の(4)参照)。

実験10—3(第26表)は長日区でも24時間日長区の90%を別にすると100%の花序形成個体率を示したが, これは種球が大きかったこと(6—10g), 栄養生長して大きくなった植物体が低温誘導されたことが原因していると考えられる。

(ii) 花序の形成節位と形成時期に及ぼす低温誘導後の日長の影響(実験10—3)

12~24時間日長区の花序形成節位には差がみられなかったが(第26表), 形成時期には差がみられ, 12時間日長区の形成時期は16時間以上の日長区のそれより明らかに遅かった(第27表)。8時間日長区は形成節位が12時間日長区に比べて2節も高く, 形成時期も著しく遅かった。以上のことから花序形成は低温誘導後の日長が長いほど促進されるが, 日長が12時間以上の場合には促進程度は小さく, 12時間以下の場合にはそれが大きいと言える。

なお, 貯蔵葉形成も日長が長いほど促進されるが, この場合は8~24時間日長を通じて著しく促進されると言える。(青葉・高樹, 1971)。

第26表 越冬後期に13°C条件下に移した戸外栽培植物の花序形成に及ぼす13°C栽培期間中の日長の影響(実験10—3)

日 長	花序形成個体率	花序薄膜化率	花序形成節位 ²⁾	1次花莖長 ³⁾	2次花序形成個体率
24時間	90% ¹⁾	63%	11.4±0.1	0.7cm	0%
20	100	71	11.6±0.1	0.7	0%
16	100	32	11.7±0.1	0.8	0%
12	100	0	11.8±0.1	8.1	50
8	100	0	13.8±0.2	3.3	79

品種は‘山形’。種球重は6~10g。
1区当りの調査個体数は21~28。

1) 不完全花序形成個体および一ツ玉球形成個体が各1個体生じた。

2) 13°C条件下へ移行直後の分化葉数は‘9.8±0.4’。

3) 珠芽を形成した花莖のみを対象とした。珠芽を形成しなかった花莖は著しく長くなった(20,16時間日長区で若干生じた)。

第27表 越冬後期に13°C条件下に移した戸外栽培植物の花序形成時期に及ぼす13°C栽培期間中の日長の影響 (実験10—3)

日 長	日 長 処 理 開 始 後 の 日 数			
	30日	45日	60日	75日
24時間	○○○○○	●○○○○	●○○○○	
20	○○○○○	○○○○○	○○○○○	
16	○○○○○		○○○○○	
12	×△△△△	○○○○○	○○○○○	○○○○○
8		△××××		○○○○○

品種は '山形'、種球重は6~10g.

1当りの調査個体数は5.

×: 栄養生長.

△: 明白な三日月形隆起部(この上部に後に側芽の生長点が形成される)が1か所以上に認められる(花序形成の極初期段階).

○: 花序と側芽が認められる(△印より花序形成段階の進んだもの).

●: 一ツ玉球形成が認められる.

○: 花序の薄膜化が認められる.

(iii) 花序の発達に及ぼす低温誘導後の日長の影響 (実験10—3)

花序の発達は8および12時間日長区では、すべての個体で正常であったが、16時間以上の日長区では日長が長くなるほど発達の異常な個体が増加した。すなわち、16時間日長区では約1/3、20および24時間日長区では約2/3の個体の花序が退化薄膜化した(第26表)。すなわち、これらの花序は日長処理開始後1.5か月以前に発達が止まり、その後退化して日長処理開始後1.5か月~2か月の間に白色薄膜状のものになった(第27表)。16~24時間日長区の花序は退化薄膜化したもの以外もその発達は著しく不良で、8および12時間日長区の花序の花茎に比べて短かく、細かった(第26表)。また8および12時間日長区の花序には半数以上のものに2次花序*の形成が認められたが、16~24時間日長区のものには全く認められなかった(第26表)。長日条件下では以上のように花序の発達が抑制されたが、これは長日条件の直接的抑制効果というより長日条件の側球の肥大促進作用が強いことによる間接的抑制効果と思われる。すなわち、側球の発達と花序の発達が同時に進行するため、側球の発達が促進される長日条件下では、競合の結果として花序の発達が抑制されたものと思われる。

* 2次花序とは、通常の花序(1次花序)上の芽がさらに1つの花序に発達したものを。

(iv) 側球形成に及ぼす低温誘導後の日長の影響 (実験10—3)

実験10—3(第26表)において、側芽に明白な貯蔵葉が肉眼的レベルで始めて認められた時期を側球肥大開始期とすれば、20および24時間日長区では側球肥大開始期は日長処理開始後1~1.5か月の間にあり、16時間日長区では1.5か月目頃であり、12時間日長区では2.5か月目頃であり、8時間日長区ではそれよりさらに遅い時期であった。すなわち、日長が8~20時間の間では、日長が長くなるほど側球の肥大開始時期が早かった。

側球は通常、側芽の第1葉が保護葉化し、第2葉が貯蔵葉化したものであるが、24時間日長区ではすべての側球に保護葉がなく、側芽第1葉が貯蔵葉化していた。20時間日長区では95%の側芽の第1葉が貯蔵葉化していた。16時間日長区では48%の側芽がそうであっ

た。しかし、12および8時間日長区ではそのような側芽はなく、側芽はすべて正常な側球に発達していた。以上のことは、12~24時間日長区の間では、日長が長くなるほど貯蔵葉化作用が著しく強くなることを示しているが、これは球肥大(球形形成指数の増大)にも反映している(第28表)。

第28表 越冬後期に13°C条件下に移した戸外栽培植物の球肥大に及ぼす13°C栽培期間中の日長の影響(実験10-3)

日長処理 開始後の日数	球 形 成 指 数*				
	日 長				
	8時間	12時間	16時間	20時間	24時間
30	1.30	1.25	1.25	1.37	1.39
45	1.35	1.28	1.75	2.22	2.70
60	1.35	1.41	3.45	3.85	4.35
75	1.47	1.75	5.00	—	—

第27表の個体について調査したもの。

1区当りの調査個体数は5。

* 球径/首部径。

側球の形成節数は、12時間以上の日長区ではほとんどすべての個体が2節であったが、8時間日長区では、2節の個体は41%で、残りの個体は3~4節であった。いずれも最終普通葉着生節を最上位節とする連続した2~4節に側球が形成されていた。8時間日長区には形成節数が長日区より多かったにもかかわらず、1個体当りの平均側球数は長日区のものより少なかった。これは16~24時間日長区ではどの個体でも1節当たり平均2.2ないし2.3個の側球が形成されたが、8時間日長区では1節当たり大抵1個しか形成されなかったことによる。

(3) 花序の形成と発達に及ぼす低温誘導後の 栽培温度の影響

普通栽培のニンニクの花序形成は越冬後平均気温が10°C前後に上昇した時期に起こることが観察されている(青葉, 1966)。また20°C以上の高温では花序形成が抑制されるとされている(山田, 1963)。筆者は予備実験で植付け後の温度が20°Cの場合にはすべての個体が一ツ玉球を形成するが、13°Cの場合には半数以上の個体が花序を形成することを観察した。そこで、花序形成可能な上限温度および適温を明らかにするため本実験を行った。

材料および方法

実験11

(1) 花序形成可能な栽培温度の上限

‘山形’の5.1g~7.1g球と9.1g~12.1g球を11月8日から8および12週間、5°Cで低温処理した。その後ワグナーポットに1ポット当たり6球ずつ植付け、13、15および17°C条件下で栽培した。各温度ごとに8、10および12時間の3日長区を設けた。主明期の8時間を

陽光ランプで照明し、続く補光期を 200 ワット白熱灯で照明した。花序形成調査は適期収穫後に行った。

(2) 花序形成個体率を高める最適栽培温度

‘山形’の 6.5~10g 球を10月16日から、0, 1, 2, 3, 4 および 5 か月間 5°C で貯蔵した。その後ワグナーポットに 1 ポット当り 6 球ずつ植付け、5°C, 9°C および 13°C の 3 温度条件下で栽培した。日長条件は 5°C 区は白熱灯による 16 時間日長区のみとし、9°C と 13°C の両区は陽光ランプによる 8 時間日長区と、陽光ランプの 8 時間照明に引き続いて白熱灯を 8 時間照明する 16 時間日長区とを設けた。

(3) 花序の発達に及ぼす栽培温度の影響

実験 2—1 と同じ実験である。9 および 11°C で栽培した区は恒温栽培開始後 74 日目 (4 月 15 日) には球形成が明白になったので、以後はポットを室内北側の窓際に置いて栽培を続けた。この両区は球形成完了後に掘上げて花序形成調査を行った。5°C 区は 4 月 15 日でも植物はまだ栄養生長状態にあったので、さらに 5°C で 100 日間生育させた。その結果、花序と側球の形成が認められたので掘上げて調査したが花序と側球はまだ発達の途中であった。

結果および考察

(i) 花序形成可能な栽培温度の上限 (実験 11—1)

花序形成個体率は植付け後の温度が 13°C から 15°C, 17°C へと上昇するに従い、種球の低温処理期間、日長および種球重のいかんにかかわらず、急激に低下する傾向があった (第 29 表)。また温度以外の上記 3 条件も花序形成個体率に著しい影響を及ぼし、花序形成個体率は日長が短いほど、そして低温処理期間は 12 週間より 8 週間のほうが、また種球重は大きいほうが高くなる傾向があった。これらのことは花序形成可能な上限温度は日長が

第 29 表 花序形成に及ぼす種球重と種球の低温貯蔵期間、栽培温度、日長の影響 (実験 11—1)

種 球 重	種球の 5°C 貯 蔵 期 間	栽培温度	花 序 形 成 個 体 率		
			日		長
			12時間	10時間	8時間
5.1g~7.1g	8週	13°C	81%	89%	88%
		15	44(50)	61(72)	94
		17	18(24)	25(31)	39(44)
	12	13	13	50	83
		15	6	12	56
		17	0	6	7
9.1g~12.1g	12	13	38	—	—
		15	21	—	—
		17	11(22)	—	—

品種は ‘山形’。

1 区当りの調査個体数は 13~18 (ただし、9.1~12.1g 球区の 17°C 区は 9)。

() 内は側球形成個体率。

短いほど、種球の処理温度と処理期間が花序形成に最適なものに近いほど、種球重が大きいほど高くなることを示唆する。

ところで、植付け後の温度が13°Cから15°C, 17°Cへと上昇すると貯蔵葉の肥大は著しく促進されたが(第6表), 貯蔵葉形成節位には差がみられなかった。したがって、実験11-1において植付け後の温度が高い場合に花序形成個体率が低くなり、一ツ玉球形成個体率が高くなったのは温度の上昇によって頂芽の貯蔵葉化が促進されたためというより、むしろ花序形成自体が抑制されたためと考えられる。

極端な短日条件下では花序形成節位が上昇するとともに(第26表)花序形成個体率が高くなったが(第29表), これは極端な短日条件下では花序形成作用と貯蔵葉形成作用の双方とも弱くなるが、後者のほうの作用力の低下が大きく、頂芽が貯蔵葉形成可能な節位に達する以前に花序形成可能になるためと考えられる。

(ii) 花序形成個体率を高める最適栽培温度(実験11-2)

低温誘導後の生育温度が13°Cより低くなると(13°C→9°C→5°C), 低い温度の場合ほど、種球の低温貯蔵期間の長さや日長のいかんにかかわらず花序形成個体率が高くなり、一ツ玉球形成個体率が低くなる傾向があった(第30表)。これは低い温度ほど花序が貯蔵葉より相対的に形成されやすくなるためと思われる。この実験11-2の結果から花序形成個体率を高める適温は5°C以下であると言える。

なお、頂芽における花序形成は貯蔵葉形成と競争の関係にあると考えられる。そのため、たとえ花序形成に最も適当な条件であっても、それが同時に貯蔵葉形成に一層適当な条件であれば、頂芽に貯蔵葉が先に形成されて一ツ玉球形成になり、花序形成個体率は低くなると考えられる。一方、花序形成に比較的不利な条件であっても、それが同時に貯蔵葉形成に著しく不利な条件であれば花序形成個体率が高くなる可能性がある。したがって、花序形成個体率の高低のみから花序形成の絶対的適温を決定することはできないと思われる。

(iii) 低温栽培と花序形成(実験11-2)

5~13°Cの低温で栽培しても、実験8と同様、種球の低温貯蔵期間がある程度以上長くなると、花序形成個体率が低下した(第30表)。この場合、8時間日長区での低下は16時間日長区に比べてゆるやかであった。

第30表 花序形成に及ぼす種球の低温貯蔵期間と栽培温度、日長の影響(実験11-2)

栽培温度	日 長	花 序 形 成 個 体 率					
		種 球 の 5°C 貯 蔵 期 間					
		0か月	1か月	2か月	3か月	4か月	5か月
13°C	16時間	—	0%	35%	0%	13%	0(7)%
	8	50(56)%	94	100	64	19	0
9	16	—	100	100	58	0	12
	8	100	100	94	85	36	24
5	16	100	100	100	100	41	11

品種は「山形」。種球重は6.5~10g.

1区当りの調査個体数は12~19.

()内は側球形成型個体率.

栽培温度が9°C以下では、種球に低温処理を行わなくても、花序形成個体率が100%になったが、これは9°C以下の低温栽培では植付け後にも強く花成誘導される上に、栽培温度が貯蔵葉形成より花序形成に適しているためと思われる。13°Cでも植付け後に花成誘導されたが(13°C, 8時間日長区の花序形成個体率は50%),その効果は弱く、長日条件下では花序形成はおこらないようである。

(iv) 花序の発達に及ぼす栽培温度の影響 (実験11—3)

栽培温度が低くなると(11°C→5°C),花序の最終的な発達は良好になった(第31表)。一方、側球の肥大は低温になるほど不良になったので(実験2—1,第4表),花序の発達が低温で良好になったのは、同時に進行している側球の発達が不良になったための間接的効果とも考えられる。

第31表 花序の発達に及ぼす温度の影響 (実験11—3)

栽培温度	調査個体数	花序形成 個体率	花序薄膜化 個体率	花序形成位 節	1次花莖長*	2次花序 形成個体率
5°C	9	100%	0%	10.0	10.3cm	25%
9°C	16	100	0	9.9	6.9	0
11°C	17	88(94)	50	10.0	0.4	0

品種は‘山形’。種球重は4.0~6.0g。

()内は側球形成個体率。

* 5°C区は温度処理開始後174日に調査(球形成していたが、まだ未成熟段階)。

9,11°C区は収穫時(成熟時)の調査。

(4) 花序形成に及ぼす低温誘導時の植物体の大きさの影響

実験10—2は種球を低温処理した場合には、種球重がある程度までは大きくなるほど花序形成個体率の高まることを示した(第25表)。また、実験10—1は短日条件下で生長した植物が低温処理を受ける場合にも、種球重が大きくなるほど花序形成個体率の高まることを示した(第24表)。以上のことは青葉(1966)の露地栽培の実験結果を裏づける。

ところで、普通露地栽培を行った実験10—1の結果と低温処理球を栽培した実験10—2の結果を比較すると同重の種球でも前者の方がかなり花序形成個体率が高かった。これは実験10—1では栄養生長して大きくなった植物体が低温誘導されたことに原因があるのではないかと考えられる。このことを検討するため本実験を行は。

材料および方法

実験12

‘山形’の1.1~1.5g球, 2.1~2.5g球, 3.1~3.5g球および4.1~4.5g球をそれぞれ9月23日に15cm素焼鉢に1鉢当り, 2.5g以下の球は5球ずつ, 3.1~3.5g球は4球ずつ, 4.1~4.5g球は2~3球ずつ植付けた。そして、鉢を実験3と同様なビニール被覆箱内(温度20~25°C)に置き, 自然日長(短日)条件下で栽培した。そして, 0, 1, 2, 3および4か月間栄養生長させた後に鉢を5°C条件下に移し, 2か月間の低温処理を行った。低温処理期間中の光条件は松下電気(ナショナル)製の40ワットの植物育成用蛍光灯“ホルムクス”の10

時間日長照明とした。低温処理後、鉢を 13°C の自然光グロースキャビネット内に移し、朝夕に60ワットの白熱灯を補光して12時間日長にして栽培した。花序形成調査は球形完成後に行った。

結果および考察

実験12の結果は実験10—1, 2の結果を裏付けたが(第32表), さらに同じ大きさの種球でも低温誘導前の栄養生長期間(ただし短日条件下での生長)が長く, 低温誘導前に植物体が大きくなっているほど, 花序形成個体率の高まることを示した。

実験10—1, 2および実験12の結果から以下のように結論できるであろう。ニンニクでは花序形成が起こるためには種球がある程度以上大きいことが必要である。そしてある限度までは種球が大きいほど花序形成は起こりやすい。また低温誘導前に短日下で栄養生長をして植物体がある限度までは大きくなっているほど花序形成は起こりやすい。

以上のことはタマネギ苗の花成の場合にみられる事実, すなわち, 苗が低温によって花成誘導されるためには, ある程度以上の大きさになっていることが必要で, それ以上の大きさでは大きいほど誘導されやすいということ(加藤, 1950; 宍戸・斎藤, 1976)と似ている。なお, タマネギでは花成誘導されにくい小苗も低温処理を長期間施せば, 花序形成個体率が高まり, 結局100%の花序形成個体率に達するようである。これは低温処理期間中に植物体が大きくなり, 低温感性が高まっていくからであると考えられている(宍戸・斎藤, 1976)。ニンニクでは貯蔵葉形成誘導に関しての低温感性は小植物でも十分高いので, 小さな種球より発芽生長した小植物を長期間低温処理した場合には, 植物体が花成誘導可能な大きさに達する前に貯蔵葉形成誘導が十分になる。それで, 低温処理期間を長くしても処理期間中に小植物の段階で一ツ玉球を形成し, 花序形成個体率の高まるということはない(未発表)。

第32表 低温誘導時の植物体の大きさが花序形成に及ぼす影響(実験12)

種 球 重	花 序 形 成 個 体 率				
	低温誘導前の栄養生長期間				
	0か月	1か月	2か月	3か月	4か月
1.1g~1.5g	—	0%	12%	18%	19%
2.1 ~2.5	5(15)%	0	61	89	89
3.1 ~3.5	0(19)	36(43)	100	—	—
4.1 ~4.5	14(64)	79	91	86	—

低温誘導開始時の抽出普通葉数					
1.1g~1.5g	—	2.0	4.1	4.3	5.9
2.1 ~2.5	—	2.3	4.5	6.0	7.3
3.1 ~3.5	—	2.7	5.1	—	—
4.1 ~4.5	—	2.7	5.1	6.7	—

品種は '山形'。

1区当りの調査個体数は11~24。

()内は側球形成型個体率。

(5) 花序形成に及ぼす低温誘導前の栄養生長 期間中の日長の影響

既述のように低温誘導後の日長は花序形成に著しい影響を及ぼす。しかし、低温誘導前の日長の花序形成に及ぼす影響は不明である。このことを明らかにするため本実験を行った。

材料および方法

実験13

(1) 1973年度の実験

‘山形’の5.1~7.1g球を11月9日にワグナーポットに1ポット当り6球ずつ植付け、ポットを実験3と同様なビニール被覆箱内(20~25°C)におき、自然日長を朝夕に白熱灯で補光して16時間日長条件にして12月8日(4週間)あるいは1月3日(8週間)まで栽培した。引き続きポットを5°C条件下に移して8週間の低温処理を行った。低温処理期間中の日長条件は40ワット白色蛍光灯と60ワット白熱灯の混合照明による8時間日長とした。低温処理後はポットを13°C、12時間日長条件下に移して栽培した。光条件は陽光ランプの8時間照明に続いて白熱灯を4時間照明するものとした。花序形成調査は適期収穫後に行った。

(2) 1974年度の実験

‘山形’の3.0~4.5g球を10月16日および11月15日にワグナーポットに1ポット当り5球ずつ植付け、ポットを実験3と同様なビニール被覆箱内(20~25°C)において自然日長および自然日長を60ワット白熱灯で補光して16時間日長にした条件下で12月15日まで栽培した。自然日長区の11月9日以降の日長は、ビニール被覆箱を保温のため夕方から朝まで遮光・断熱材であるシルバーポリトウでおおったため、自然日長より短くなった。ただし8時間以上であった。12月5日から2月13日までの2か月間、低温処理のためポットを5°C条件下においた。低温処理期間中の日長条件はホモルクス照明のみの8時間日長とした。低温処理後はポットを13°Cの自然光グロースキャビネット内に置いて栽培した。花序形成低調査は適期収穫後に行った。

結果および考察

低温誘導前の栄養生長期間中の日長が長日の場合には、栄養生長期間が長くなると花序

第33表 低温誘導前の栄養生長期間(長日条件)の長さが花序形成に及ぼす影響(実験13-1)

	栄養生長期間*	
	4週	8週
花序形成個体率	71%	0%
低温処理開始時の抽出普通葉数	4.0±0.0	5.3±0.1

品種は‘山形’。種球重は5.1~7.1g
1区当たりの調査個体数は14(4週区), 7(8週区)。
* 16時間日長。

形成個体率が減少した(第33表)。この結果は、栄養生長期間中の日長が短日であった実験12の結果とは全く逆の傾向を示している。そこで、栄養生長期間中の日長を長日と短日にした場合の花序形成個体率を調べたところ、長日の場合には栄養生長期間の長短にかかわらず花序形成個体率はほとんど0近くであったが、短日の場合には栄養生長期間が長くなると増加する傾向を示した(第34表)。なお、両実験とも低温処理開始時には貯蔵葉の形成はまだ全く認められなかった。

第34表 低温誘導前の栄養生長期間の長さとその期間中の日長が花序形成に及ぼす影響(実験13—2)

日 長 / 栄養生長期間	花 序 形 成 個 体 率	
	1か月	2か月
16時間	3%	0%
自然日長(約10.5~12時間)	13%	21(36)%
低温処理開始時の抽出普通葉数		
16時間	3.9±0.1	5.1±0.1
自然日長	3.5±0.1	5.0±0.1

品種は‘山形’。種球重は3.0~4.5g
1区当りの調査個体数は14ないし15。

ところで、ニンニクの貯蔵葉形成誘導は低温条件を経過しなくても、ある程度以上日長が長くなれば起こるが、花成誘導はある程度以上の強さの低温条件を経過しないと起こらないので、低温を経過しない条件下で限界日長以上になると一ツ玉球を形成する。そして、日長が限界日長よりやや短かくても、もし花成誘導されないような弱い低温条件と組み合わせられると日長条件の不足が補われ貯蔵葉形成が可能になり一ツ玉球を形成するようになる。このことを考えると、実験13—1で示されたこと、すなわち、低温誘導前の栄養生長期間中の日長が長日の場合には栄養生長期間が長くなるほど一ツ玉球形成個体率が高くなるということは、次のように説明される。低温誘導前の長日による貯蔵葉形成刺激が長日処理後も消去されず、引き続いて行われた低温処理による貯蔵葉形成刺激と組み合わせられる。そのため長日処理期間が長くなるほど貯蔵葉形成誘導が花成誘導より早く完了し、頂芽における貯蔵葉形成、すなわち一ツ玉球形成が花序形成より早く起こるようになる。それで一ツ玉球形成個体率が高くなる。

(6) 総 括

以上の実験結果からニンニクの花序の形成と発達に及ぼす外的、内的条件の影響について以下のことが言えるであろう。ただし、供試品種は‘山形’であり他の品種では結果が若干異なるかもしれない。

(i) 花序の形成

ニンニクが花成誘導状態に達するためには次に述べる2つの条件が満たされることが必要である。

その1つは植物体が13°C以下の低温条件に一定期間さらされることである。この際、

温度が2ないし5°Cのとき最も花成誘導効果が高くなるようで、この温度では2ないし3か月処理で花成誘導が完了するようである。なお、この低温条件は貯蔵葉形成誘導の場合のように、長日条件によって代替させることも誘導不足を補うことも不可能である。

もう一つの必要な条件は、低温条件にさらされる種球あるいは苗がある程度以上大きいことである。種球が十分大きければ球の状態の花成誘導され得るが、種球が小さい場合には、短日条件下で栄養生長させて植物体をある程度以上大きくした後に低温処理をする必要がある。なお、種球と苗は大きいほど花成誘導されやすい。

以上の花成誘導が生じるための必要条件は貯蔵葉形成誘導が生じるための十分な条件になっている。したがって、花成誘導後には貯蔵葉形成と花序形成の双方が可能になる。花成誘導後に花序が先に形成されれば花序・側芽形成に続いて側芽に貯蔵葉が形成されることになり、普通にみられる球形成型になる。しかし、貯蔵葉が先に形成されれば、一ツ玉球形成になり、花序は形成されなくなる。花成誘導後に花序が先に形成されるためには少なくとも以下の2つの条件が満たされている必要がある。

その1つは植物体が植付けられていて生育が良好な状態にあることである。球が乾燥貯蔵状態にある限り花成誘導が完了しても花序形成は起らない。また植付けられていても発根不良、乾燥などで生育が不良な場合には花序形成が抑制される。しかし貯蔵葉形成は球の乾燥貯蔵中でも非常にゆっくりではあるが、起こることが可能であるので、球を花成誘導の完了後も長く貯蔵し続けると貯蔵葉形成（一ツ玉球形成）が球内で開始する。また、まだ貯蔵葉形成を球内で開始していないものでも長く貯蔵した球は植付け後の生育が不良になる傾向があるので花序形成が抑制される。そのため種球の貯蔵期間がある程度以上長くなると一ツ玉球形成個体率が増加するようになる。

もう1つの必要条件は極端な短日条件でないかぎり、栽培温度が13°C以下であることである。13°Cより高い温度では、花序形成が抑制されると同時に貯蔵葉形成が促進されるので、日長を10時間以下にして貯蔵葉形成を遅延させないかぎり一ツ玉球形成個体のほうが多く生じる。この傾向は温度が高くなるほど著しくなり、17°Cより高い温度では8時間日長でも通常花序形成はみられなくなり、100%の一ツ玉球形成個体率を示すようになる。逆に、栽培温度が13°Cより低くなると花序が貯蔵葉より相対的に形成されやすくなる。この傾向は温度が低くなるほど著しくなり、5°C栽培では他の条件が花序形成に不利であっても高い花序形成個体率を示すようになる。

なお、上記2条件の他に日長条件も花序形成個体率に著しい影響を及ぼすので重要であるが、他の条件が花序形成のために好都合であるならば、特定の日長下でなくても高い花序形成個体率を得ることが可能であるので、日長条件は上記2条件のような必須条件ではない。花成誘導後の短日条件は花序形成と貯蔵葉形成の双方を遅延させるが、貯蔵葉形成のほうをより遅延させるので、結果として花序形成個体率が高まる。一方、長日条件は逆に双方の形成を早めるが、貯蔵葉形成のほうをより早めるので、結果として一ツ玉球形成個体率が高まる。ただし、長日条件のこの効果は花序形成に好都合な条件下ではあらわれにくい。貯蔵葉形成を花序形成より相対的に早める長日条件の効果は花成誘導前に長日処理した場合にもみられ、後効果として花成誘導後にあらわれる。すなわち、低温誘導前の長日条件は一ツ玉球形成個体率を高める効果を示す。

(ii) 花序の発達

花序分化期前後から長日あるいは温暖な条件下でニンニクを栽培すると側球の肥大は良好であるが花序の発達は抑制されブラインド化するものも生じる。一方、12時間以下の日長あるいは低温の条件下で栽培すると花序の発達速度は前記条件下より遅くなるが、花序の最終的な発達程度は良好になる。しかし、側球の肥大程度は不良である。普通栽培では花序分化期頃の平均気温は10°C前後で、日長もやや長日であるにすぎないが、花序の発達が進むと共に温暖、長日の条件になる。この場合には、花序と側球の最終的な発達程度は良好である。以上の事実から、花序の分化後の発達適条件は、発達段階の初期には低温で非長日ないしやや長日の狭い範囲であるが、発達がある程度進むと条件の範囲が広がり、温暖、長日の条件下でも発達が良好になるものと思われる。なお、花序の発達は側球の発達と競争的關係にあり、側球の発達適条件下ではその条件が同時に花序の発達適条件でない限り、花序の発達は抑制される。

第4節 摘 要

日本在来のニンニクの球形形成過程は花序形成と貯蔵葉形成の2つの過程に分けられる。普通栽培で通常みられる球形成型では、茎頂で花序分化が起こるとほぼ同時期に止葉および止葉の1葉前の葉の葉腋に三日月形の隆起部がそれぞれ1個ずつ生じた。この隆起部にはやがて各々2~5個の生長点が分化し、これらが側芽に発達した。これらの側芽と花茎頂端に形成された栄養芽の通常第2葉が貯蔵葉として発達し、それぞれ側球と珠芽になった。

特殊な条件下での栽培では花序形成がみられず貯蔵葉形成のみが起こることがしばしばあった。この場合には頂芽の1枚の葉が貯蔵葉化して、茎頂を包む形で発達し、貯蔵葉が1株につき1個しか形成されなかった。この型の鱗茎は一般に一ツ玉球または中心球と称されている。特殊栽培ではまた一ツ玉球形成型と花序・側球形成型との中間的な球形成型もみられた。すなわち側球は形成されたが、正常な花序は形成されず、花序が形成される位置に、貯蔵葉化したと思われる花序あるいは一ツ玉球の貯蔵葉に似た1個の貯蔵葉が認められる球形成型があった。筆者はこの球形成型を中間型あるいは不完全花序成型と称した。

花序形成と貯蔵葉形成の両過程を、それぞれ形成可能な生理状態が誘起される過程(すなわち誘導過程)と形態的变化が起こるその後の過程(すなわち形成過程)とにわけ、それぞれの過程進行に最適な条件および限界の条件を調査した。

植物体が貯蔵葉形成誘導状態になるためには植物体が一定の低温条件あるいは一定の長日条件を経過することが必要であった。低温条件は植付け前の種球に与えても有効であったが、休眠期間中の球では効果が劣り、休眠が深い球ほど効果が劣った。

低温条件は温度が2~5°Cの場合に最も貯蔵葉形成誘導作用が強く、これより温度が高低に離れるにしたがって作用は弱くなった。有効温度範囲は品種、日長条件によっても異なってくるが、'山形'の場合は通常-2°Cをこえる、17°C以下の温度であった。一方、長日条件は日長が長くなるほど誘導作用が強くなった。そして、低温と長日の両条件は貯蔵葉形成誘導に関して相補的に働いた。

貯蔵葉形成誘導状態が生じるための低温あるいは長日の要求度は品種によって異なり、暖地の在来品種ではそれらが小さく、寒地のものではそれらが大きかった。暖地の在来品

種の中には20°C以上、8時間日長条件下でも貯蔵葉形成が可能なものがあった。しかし、このような品種も低温、長日条件によって貯蔵葉形成が促進された。

貯蔵葉形成誘導状態に達したニンニクの貯蔵葉の形成・肥大は温暖(17~26°C)、長日(長いほどよい)の条件下でもっとも促進されたが、低温、短日の条件下でも遅延はするが形成・肥大は可能であった。

低温条件の経過によって生じたニンニクの貯蔵葉形成誘導状態は低温条件に引き続いて30°C以上の高温条件が一定期間以上与えられると消失し、栄養生長状態にもどった。しかし、貯蔵葉形成開始後は栄養生長への逆転は起こりにくくなった。なお、栄養生長状態にもどった植物体を低温処理すると再び貯蔵葉形成誘導することができた。

花序形成誘導状態に達するためには、ある程度以上大きな種球あるいは苗が13°C以下の低温条件に一定期間さらされる必要があった。この場合、植物体はある程度までは大きいほど花成誘導されやすく、また低温条件は2~5°Cで最も効果が高く、この温度では2~3か月で誘導が完了した。

花成誘導された植物体に花序形成が起こるためには13°C以下の温度で栽培される必要があった。栽培温度は低いほど花序形成に有利であった。また日長も短いほど花序形成に相対的に有利であった。

花序分化後に花序が正常に発達するためには、発達の初期に貯蔵葉の形成・肥大の進みにくい条件、つまり低温ないし涼温で非長日の条件下に植物体のおかれることが必要であった。

第2章 休眠に関する研究

ニンニクの休眠現象を調べた研究は少なくわずかにMANN・LEWIS(1956)と小口ら(1974)の報告があるにすぎない。彼らは休眠現象の生態的把握を試みているが、いずれも実験の範囲が限られているので、不十分であり、彼らの休眠期についての考え方も一致していない。

本研究は休眠現象と環境要因(主として温度)との関係を明らかにして、休眠現象の生態的解明を試み、さらにこの結果を利用して、休眠打破処理法や休眠維持処理法の開発を試みたものである。

第1節 材料および方法

詳細については各節で述べるが、ここでは各節に共通する実験材料と方法とについて記す。

(1) 供試球の調整と貯蔵方法

供試球の収穫は地上部が2/3以上黄変した時期に行った。これは一般の営利栽培の慣行の収穫期より遅い。特にことわらない限り、収穫後直射日光を避けて植物体を数日間風乾後、解体して側球を1個ずつにわけた。それから球を有機水銀剤(ルベロン)の1,000倍液あるいは市販ホルマリンの50倍液で約1時間浸漬消毒後、室内で十分に風乾した。球は実験開始まで室温で貯蔵した。

球の貯蔵に用いた恒温室(器)の温度の調節精度は大体 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ であった。ただし -2°C の恒温器の精度のみは $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ であった。

(2) 発芽試験方法

球は川砂を詰めた素焼鉢あるいはほうろろ引きバットに植付け、覆土は球頂がわずかに見える程度までとした。植付け後、鉢またはバットを所定温度の前面ガラス張り恒温器あるいは人工光(または自然光)グロースキャビネット内に置いた。恒温器の温度の調節精度は大体 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ で、グロースキャビネットのそれは $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ であった。地温は空気温度(調節温度)と同じか若干低くなった。地温と空気温度との差は庫内の空気がファンで強制循環されている場合には、そうでない場合より大きくなった。地温は必要に応じて各実験の個所で記すことにするが、空気温度 20°C の場合の地温は最も低い場合でも 19°C であったので、 20°C 近くで発芽させる場合には、発芽温度は原則として空気温度のみを示すことにする。

植付け後、毎日発芽調査を行い、球頂から芽が突き出た日を発芽日とした。罹病球や芽、発根部に障害のある球は植付け時と最終調査日に調べて、発芽調査個体から除外したが、それでも1区の中で1~2個体が他より著しく遅れて発芽する場合がよくあった。また1個体のみが他より著しく早く発芽する場合がまれにあった。これらもなんらかの異常球である可能性があるので、平均発芽日数は最初に発芽した1個体と最後に発芽した2個体とを除外して算出することにした。

(3) 休眠の深さの評価法

ニンニク球の休眠の深さは2通りの方法で評価されている。MANN・LEWIS (1956)は植付け後の発芽日数の多少で休眠の深さを比較している。小口ら(1974)は貯蔵球の芽の長さおよび分化葉数の増加開始時期を調べ、この時期以降を休眠覚醒期としている。ニンニク球の休眠はMANNとLEWISが主張しているように、ある時期に急に覚醒するものではなく、徐々に浅くなっていくものであると思われる。したがって、休眠の深さの判定には、一般に発芽日数調査法がより適当であると考えられる。しかし、VEGIS (1964)のいうところの真休眠(true dormancy)の存在の有無を調べようとする場合などには芽生長再開時期を調べるほうが有利であろう。

本実験では、休眠の深さを主として発芽日数調査法で比較したが、必要に応じて球を解剖して芽の長さや芽の葉数を調べ、真休眠期にあるかどうかの判定や発芽日数調査法のデータとあわせて休眠の深さのより精密な判定を試みた。

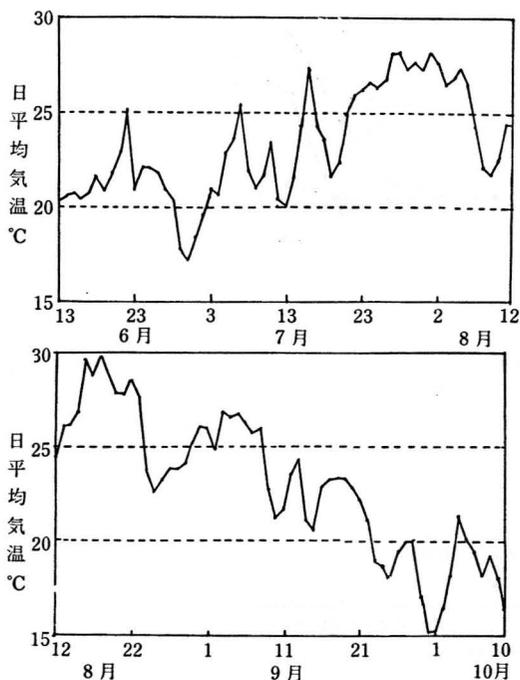
第2節 休眠過程の様相

ニンニク球の休眠成立時期は自然状態ではいつ頃か、またその覚醒時期はいつ頃か、そしてこの間を通じ休眠の深さはどのように変化するかを知るため、本節の実験を行った。

材料および方法

実験14

品種は1974年9月下旬露地植えの‘山形’を用いた。1975年5月30日から2週間間隔で圃場に植えられている多数の個体の中から、生育が中程度の個体を毎回20個体選び掘上げた。これらの個体の全側球から比較的大きなものと小さなものを除いた残りの側球の1個平均重を求め、この平均重に極めて近く、また形も典型的な側球を6個選び、解剖して



第17図 外気温の日平均値の推移 (1975)

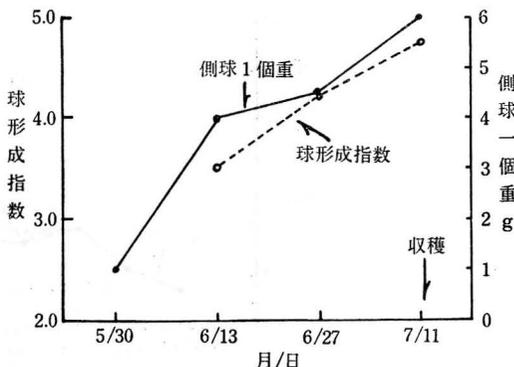
5回目の掘上げ調査日の7月25日からは、上記3区から3~4個体を供試して球重が5.0~7.0gの側球を選んで解剖調査した。5.0~7.0gという球重を選んだのは、7月11日における中程度の大きさで典型的な形の側球の平均重が6.0gだったからである。調査は9月19日まで続けた。さらに、7月13日と7月25日から2週間間隔で9月19日まで、外気温貯蔵個体から約20個の側球を選んで植付け、20°Cで発芽させて、発芽日数を調べた。

結果

側球重と球形成指数は5月末から7月11日の収穫適期までほぼ直線的に増大した(第18図)。

側球の芽の新葉増加は収穫適期に近づくにつれ急激に少なくなり、収穫適期頃には停止した(第19図)。しかし芽の長さは収穫適期まで直線的な増大を続けた(第20図)。

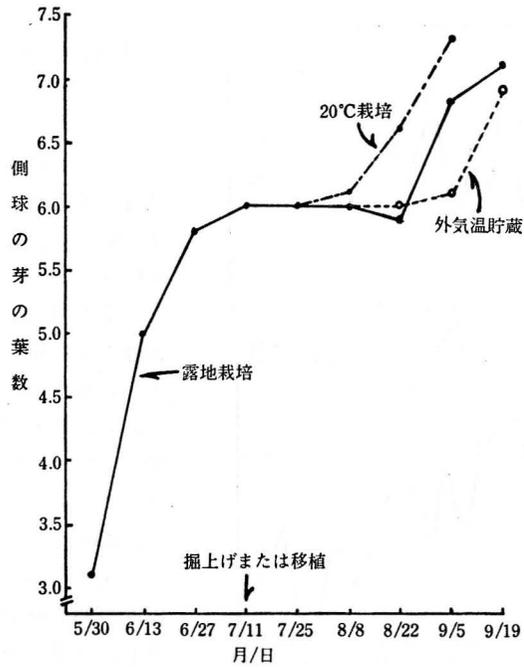
収穫適期から2週間は(7月11日~25日)、すべての区で新葉の形成および芽の伸長がほとんど認められなかった。球外部にわずかに突出して



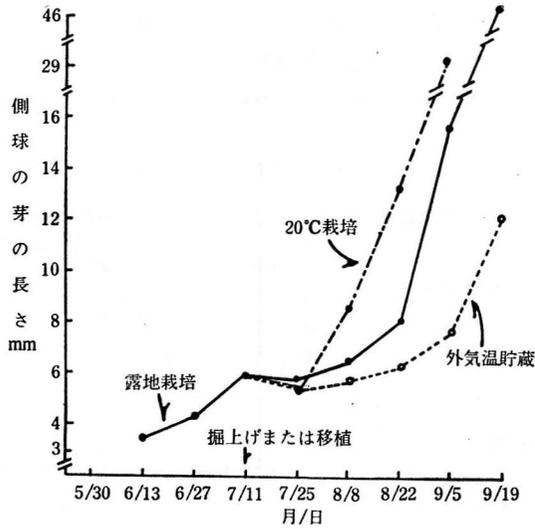
第18図 球肥大初期から収穫適期までの球形成指数と側球1個重の増加の様相(実験14) 品種は「山形」。

芽の長さおよび分化葉数を調べた。

4回目の掘上げ調査日の7月11日には植物体の地上部の約2/3が黄変していたのでこの日を収穫適期とした。なお、圃場に植えられてある植物体の6月13日における1株当りの平均緑葉数は7.1, 6月27日のそれは6.4, 7月11日のそれは約2であった。7月11日に生育が中程度の約40個体を選び根がなるべく損傷しないように掘上げ、根部の土を洗い流してから、その半数を露地の砂地に移植し(露地栽培区)、他の半数を砂を詰めた発泡スチロール製容器に移植し、20°C、自然散光照明条件下に置いた(20°C栽培区)。さらに生育が中程度の約300個体を普通の方法で収穫し、茎葉と根を付けたまま浅い木箱に並べ、終日直射日光の当たらない軒下で乾燥状態で貯蔵した(外気温貯蔵区)。なお、日平均外気温を第17図に示した。



第19図 球肥大初期から収穫適期後10週間目までの側球の芽の葉数の増加の様相 (実験14) 品種は‘山形’.



第20図 球肥大初期から収穫適期後10週間目までの側球の芽の伸長の様相 (実験14) 品種は‘山形’.

第35表 収穫適期に移植し露地あるいは20°C下で栽培を続けた株と収穫して外気温で貯蔵した株の側球の発芽と根の生長 (実験14)

調査時期	発 芽 率			根 長		
	露地栽培	20°C栽培	外気温貯蔵	露地栽培	20°C栽培	外気温貯蔵
月/日						
7/25	0%	0%	0%	<0.5mm	<0.5mm	<0.5mm
8/ 8	0	0	0	<1.0	12.6±3.4	<0.5
8/22	0	0	0	19.4±6.6	54.2±8.7	≦0.5
9/ 5	0	35	0	62.8±6.3	136.8±8.5	≦0.5
9/19	47	—	0	—	—	≦1.0

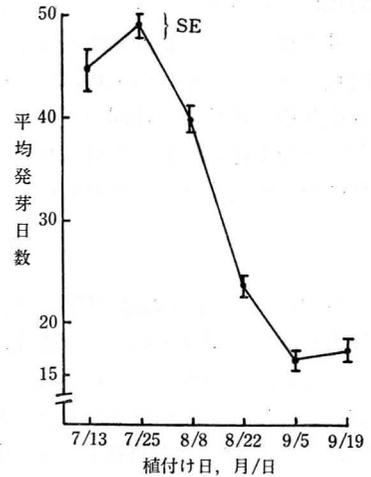
品種は '山形'。調査球重は5.0~7.0g。

いた根原基 (外部の長さは 0.5mm 以内) の伸長も認められなかった (第35表)。20°C 栽培区では次の2週間 (7月25日~8月8日) に芽の伸長生長が再開するとともに根原基の伸長生長も開始し、さらに次の2週間 (8月8日~8月22日) には新葉の形成も顕著になり、芽と根の伸長生長は一層著しくなった。露地栽培区の芽と根原基の伸長生長開始は 20°C 栽培区より遅れ、8月8日頃と思われた。そして新葉の形成は8月22日頃に再開した。外気温貯蔵区の芽の伸長生長開始は露地栽培によりさらに遅れ、8月22日頃に再開した。新葉の形成は他の2区と同様、さらに2週間遅れて9月5日頃に再開した。なお、外気温貯蔵区では根原基の伸長生長が他の2区と異なり著しく不良で、芽の伸長生長再開の時期より2~4週間遅れた時期 (9月5日~9月19日) に極くわずかに認められたにすぎなかった。

外気温貯蔵球の植付けから発芽までの日数 (20°C で発芽) についてみると、収穫2日後 (7月13日) 植付けのものより、収穫2週間後 (7月25日) 植付けのものの方が、発芽日数がいくらか増加したが、以後は9月5日植付けのものまで植付け期が遅くなるに従って著しく減少した (第21図)。9月19日植付け区の発芽日数は9月5日のものとほぼ同じであった。

考 察

ニンニク側球の肥大生長および球内の芽の伸長生長は5月末から地上部の約2/3が黄変する収穫適期までほとんど直線的な増大傾向を示したが、芽の葉数増加は収穫適期に近づくとつれ急速に小さくなり、収穫適期から2週間は球が発芽適条件下におかれても全く増加がみられなかった。この間は芽の伸長も根原基の伸長も全くみられなかった。その後、発芽適条件下におかれたものでは芽の伸長と根原基の伸長がみられた。以上のことは、ニンニク球は収穫適期に近づいたがい休眠が深まり、収穫適期からその後2週間の間に最も深い休眠状態になり、しかもそれは VEGIS (1964) のいうところの真休眠期に相当す



第21図 収穫適期掘上げ後外気温で貯蔵した球の発芽日数に及ぼす植付け時期の影響 (実験14) 品種は '山形'。発芽温度は20°C。

ることを示している。

この真休眠期以降の休眠状態の変化は外気温貯蔵球の20°C下での発芽日数の多少で示されるように、9月上旬まで時の経過とともに休眠が浅くなり、9月上旬以降に休眠覚醒状態になるといえる。つまり9月上旬までが VEGIS のいうところの後休眠期に当たる。

ところで、露地栽培区の芽と根原基の伸長開始は、発芽適条件の20°C栽培区より遅れたが、これはこの期間中(7月25日~8月8日)の温度が高かったためと思われる(この期間中の日最高地温の平均は約36°C、最低地温のそれは約26°Cであった)。この期間には露地栽培区の球も20°C栽培区や外気温貯蔵区と同様、後休眠期に入ったが、まだ休眠が深く生長力が十分でないため、露地栽培区のような高温下では生長がほとんど進まなかったものと思われる。露地栽培区の球も8月8日~8月22日の間には高温条件であるにもかかわらず芽と根が生長をしたが(日最高地温の平均は約35°C、最低は約24°C)、これはこの時期には休眠がより浅くなり、生長力がより高まってきたためと思われる。

芽と根原基の生長開始時期は水分が与えられている場合は適温下でも高温下でもほぼ同時期であった。小口ら(1974)も室温下でほぼ同時期であったことをみている。芽と根の休眠状態の推移は大体同一といえるようである。ただし、後休眠期に入れば根の生長は外部の水分条件に著しく影響されるが、芽の生長はその影響が小さいので、芽と根の生長開始時期、生長量は球の休眠状態が同一でも異なる場合がある。

第3節 球の発芽適温

ニンニクの発芽適温に関する研究はほとんどなく、わずかに MANN・LEVIS (1956) の報告があるに過ぎない。その研究によってニンニク球の発芽特性はかなり明らかになったが、まだ未知の点がいくらか残っている。例えば、発芽床の温度が5~17°Cの範囲では高い温度ほど発芽が早くなるとされているが、それ以上の温度ではどうなのか明らかでない。また、彼らは収穫後約2.5か月以上経過した球を供試しているが、これより早い時期に発芽させた場合も同様な結果を生ずるのかどうか明らかではない。さらにまた、発芽適温はそれまでの貯蔵温度によって変わることも予想されるが、この点についても十分明らかにされていない。

本節の実験は主として以上の点を解明するために行われた。

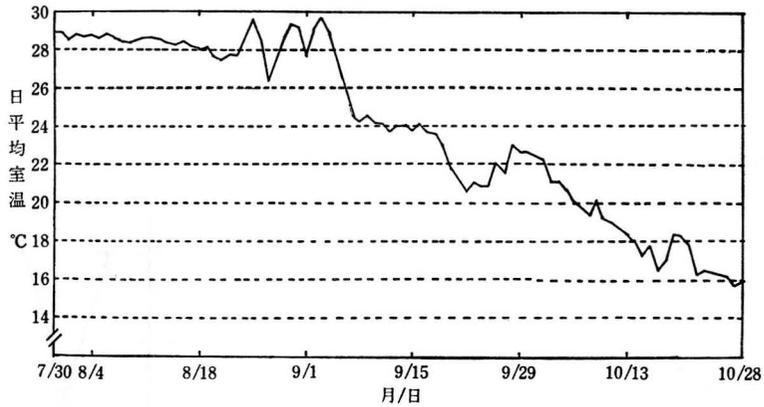
材料および方法

実験15

(1) '山形'と同じ寒地六片種群に属する'岩手'の室温貯蔵球(7月上旬収穫)を10月9日に植付け、地温9, 14.5, 18.5, 24.5および29°C(空気温度はそれぞれ10, 15, 20, 25, 30°C)で発芽させた。なお、10月9日には'岩手'の室温貯蔵球のほとんどに発根が認められた。実験には発根球のみを選んで供試した。

(2) '山形'の室温貯蔵球(7月上旬収穫)を球重別に11月9日に植付け、地温22, 25および27.5°C(空気温度はそれぞれ24, 27, 30°C)で発芽させた。

(3) 7月11日収穫の'山形'の室温貯蔵球(球重3~5g)を8月13日に植付け、地温14, 18.5および23°C(空気温度はそれぞれ15, 20, 25°C)で発芽させた。また5~12g球を8月5日から12週間、0, 20, 30°Cおよび室温で貯蔵した(平均室温を第22図に示す)。10月



第22図 日平均室温の推移 (1974)

28日に植付け、地温 8, 14, 18.5, 23および29.5°C (空気温度はそれぞれ 9, 15, 20, 25, 30°C) で発芽させた。

結果および考察

(1) 休眠覚醒球の発芽適温 (実験15—1, 15—2)

実験15—1の結果から、休眠覚醒球の発芽適温域はほぼ 15~25°C であることが認めら

第36表 休眠覚醒球の発芽適温 (実験15—1)

発芽床の温度	平均発芽日数
9 °C	41.8±1.7*
14.5	8.5±0.3
18.5	8.1±0.3
24.5	7.1±0.5
29	17.4±1.0

品種は '岩手'.
1区当りの調査個体数は16ないし17.
* 平均値の標準誤差.

第37表 休眠覚醒球の発芽適温 (実験15—2)

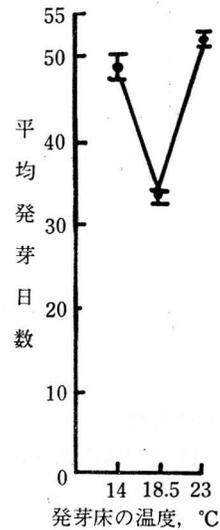
発芽床の温度	平均発芽日数		
	4.1—4.5g	3.1—3.5g	2.1—2.5g
22°C	6.4±0.6(16)	7.5±0.4(64)	5.9±0.5(11)
25	10.0±0.7(48)	11.4±0.7(94)	9.6±0.8(35)
27.5	—	20.3±1.3(25)	18.4±1.5(19)

品種は '山形'. () 内の数値は調査個体数.

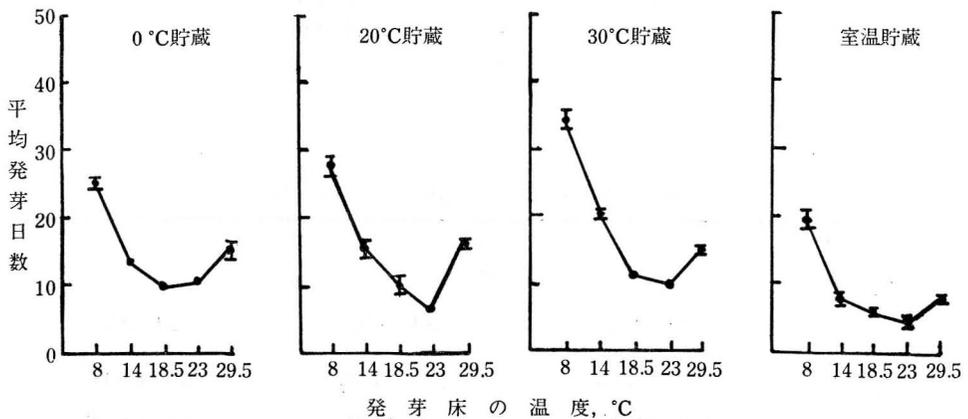
れた(第36表)。この実験では、 18.5°C より 24.5°C のほうが発芽はやや早かったが、実験15-2では、発芽温度が 25°C より 22°C のほうが発芽は早くなった(第37表)。両実験および後述する実験15-3の結果から休眠覚醒球の発芽適温は 22°C 前後にあるものと推定される。

(2) 休眠球の発芽適温(実験15-3)

球の休眠が比較的深いと考えられる8月13日植付け区では、 18.5°C での発芽が14および 23°C での発芽にくらべ著しく早かったが(第23図)、休眠が十分覚醒していると考えられる10月28日植付け区では 18.5°C と 23°C での発芽日数の差はほとんどなかった(第24図)。そして 14°C と 18.5°C での発芽日数の差も 30°C 貯蔵球を別にすると8月13日植付け区より著しく小さくなった。以上のことと既述の実験15-1, 15-2の結果とを考え合わせると休眠が比較的深い球では発芽適温域は 19°C 前後で比較的狭いが、休眠覚醒球では発芽適温域は高低に広がり $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ になることがわかる。これは VEGIS (1964) が提唱している説、すなわち芽の休眠が深い場合は発芽可能温度域が狭く、芽の休眠が浅くなるにしたがって可能温度域が広がることに類似している。なお、ニンニクでは発芽適温は休眠が浅くなると深いときに比べやや高めの温度に移行するようである。



第23図 休眠が深い球の発芽日数に及ぼす発芽温度の影響(実験15-3)
品種は「山形」。



第24図 貯蔵温度と発芽温度が発芽日数に及ぼす影響(実験15-3)
品種は「山形」。

第4節 球の大きさと発芽の早さ

前節の実験15—2では中ぐらいの大きさの側球とやや小さい側球のあいだには発芽の早さに大きな相異がないという結果がえられた。本節の実験は球重差がもっと大きい場合にも発芽の早さに差がないのかどうかについて調べたものである。

材料および方法

実験16

7月3日収穫の‘山形’の1～2g球(珠芽), 4～6g球(側球)および9.5～21g球(側球)を7月19日, 8月16日および9月13日に植付け, 20°Cで発芽させた。

結果

植付け適期(9月13日植付け)において1～2g球の発芽が比較的遅かったことを別にすると, 球重が非常に異なっても発芽日数に大差は認められなかった(第38表)。

第38表 球の大きさと発芽の早さ(実験16)

植付け日	平均発芽日数		
	球重		
	1—2g	4—6g	9.5—21g
7月19日	59.0±2.0(14)	64.9±1.8(9)	63.5±1.4(17)
8月16日	45.4±1.9(17)	47.8±1.8(8)	41.9±1.9(17)
9月13日	24.4±2.2(13)	17.8±1.1(9)	18.0±1.2(17)

品種は‘山形’。

第5節 球の休眠打破および休眠維持に及ぼす

貯蔵温湿度の影響

この節の表題の事柄を取り扱った研究はほとんどなく, わずかに MANN・LEWIS (1956) の報告があるにすぎない。その研究によって, ニシキ球の貯蔵温度と貯蔵期間が植付け後の発芽の早さに及ぼす影響はかなり明らかになったが, まだ未知の点もいくつか残っている。例えば, 彼らが実験した貯蔵温度は0～30°Cの範囲に限られており, この範囲外の貯蔵温度の影響については不明である。また, 彼らが実験した貯蔵期間は3週間以上であり, これより短期間貯蔵の効果についても不明である。そして彼らの研究成果中には, 掘上げ後早期に栽培を行うために必要となる短期間休眠打破法, あるいは春植え栽培を行うために必要となる長期間球を新鮮な状態で保存できる貯蔵法(休眠維持法)は見い出し得ない。

本節の研究は, これらの方法を見い出すべく, 主として球の貯蔵温度の点から検討したものである。すなわち-2.3°Cから40°Cに至る貯蔵温度(主として恒温貯蔵)や貯蔵湿度が貯蔵中の発根や植付け後の発芽にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

材料および方法

実験17

(1) 1969年7月上旬収穫の砂丘畑産の‘山形’の球を供試した。7月24日から室温のほか20, 30, 35°Cの恒温および毎日9時間35°C, 15時間5°Cの変温で5, 15および30日間貯蔵後植付けた。さらに15および30日間貯蔵区には前述の貯蔵温度区に加えて, 5および10°C貯蔵区も設けた。貯蔵後はいずれも20°Cで発芽させた。発芽温度は以下の実験でも同様であった。

(2) 1972年7月上旬収穫の普通畑産の‘山形’の球を供試した。7月29日から5, 9, 15, 20, 30, 35°Cおよび室温で5, 15および25日間貯蔵後植付けた。さらに40°Cで5日間, そして9, 20, 35°Cおよび室温で40日間貯蔵後植付ける区も設けた。

(3) 1973年7月3日収穫の普通畑産の‘山形’の球を供試した。7月16日から, 0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40°Cおよび室温で7および14日間貯蔵後植付けた。さらに7月17日から40°Cを除く前記と同じ温度のシリーズで, 30, 42, 56および70日間貯蔵後植付ける区も設けた。

実験18

1973年7月18日収穫の極晩生種, ‘ほうぎ’の球を供試した。この年はさび病, 黒斑病の害が激しく, 葉がそのため比較的早くから黄変したので, 収穫期を通常より早くした。8月13日から第39表に示す温湿度の組み合わせで所定の期間貯蔵後植付け, 20°Cで発芽させた。高湿度貯蔵は大型シャーレの中に球と水を入れた皿を置き, このシャーレを恒温下においた。普通貯蔵は球を紙袋に入れ, これを恒温下においた。0.5°Cおよび5°C貯蔵中の相対湿度はつねに92%以上であった。他の温度区の湿度は測定しなかったが, 20°C貯蔵区を除いて貯蔵温度が高い区ほど湿度は低かったものと推定される。20°C貯蔵区は小さな密閉に近い恒温器を使用したので温度の割りには湿度が高く保たれたようである。-2.3°C貯蔵区では温度が最低-4°C近くまで低下することがあったが, 凍結害はみられず, すべて正常に発芽, 発根した。

実験19

1973年7月3日収穫の‘山形’の球を8月15日から0.5および-2.3°Cで貯蔵し, 翌年3月19日, 4月1日, 同16日に露地に植付けた。また同じ材料の6.0~9.0g球を供試して8月15日と翌年3月19日に発根状態を調べるとともに, 解剖して芽長および分化葉数を調べた。

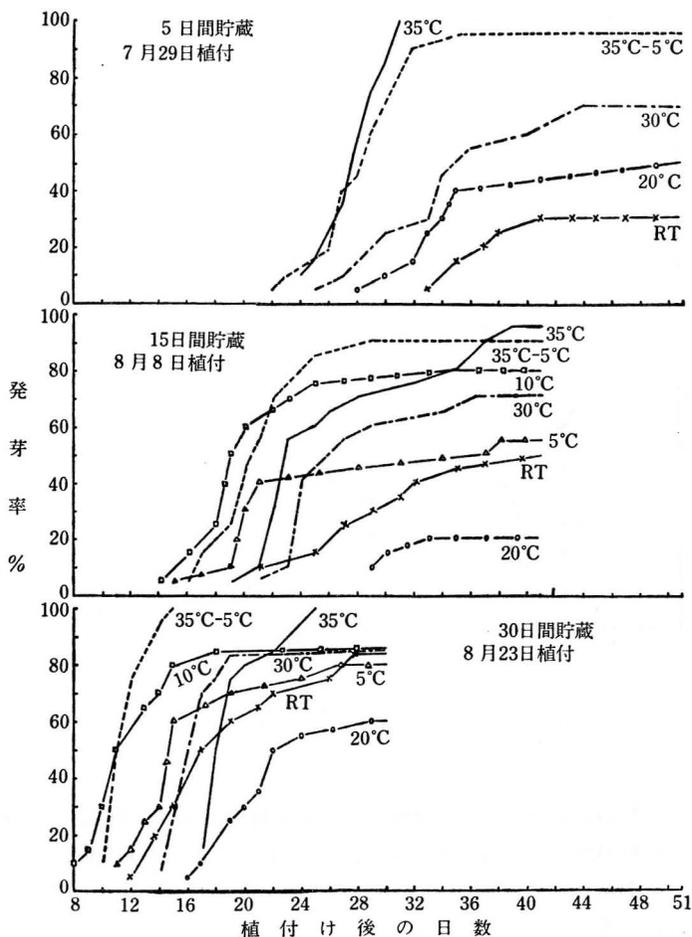
結果

(1) 植付け後の発芽に対する影響

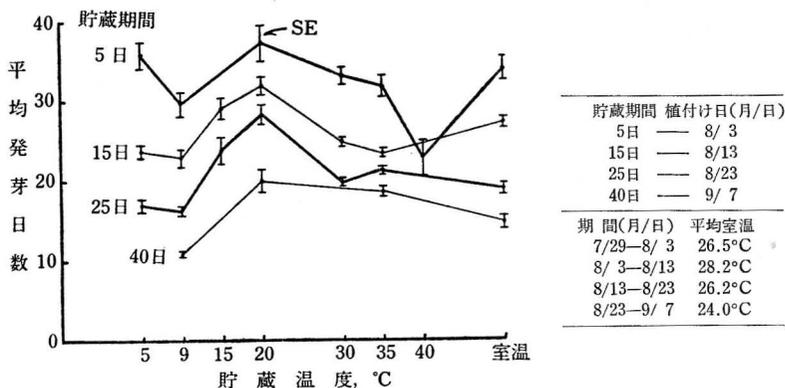
(i) 貯蔵温度の影響 (実験17—1~17—3 ; 18 ; 19)

実験17—1~17—3の結果は以下のようにまとめられる。

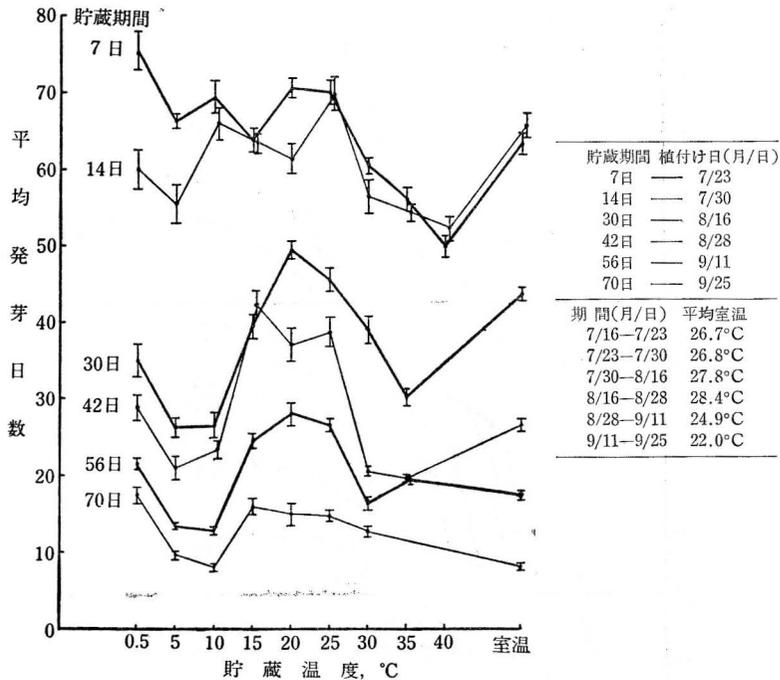
5~7日間貯蔵では40°C貯蔵球の発芽が他の温度貯蔵球よりも著しく早かった(第26, 27図)。貯蔵温度が40°Cから35°C, 30°Cへと低下するに従い発芽が遅くなったが(第25, 26, 27図), それでもこれらの高温貯蔵球の発芽は実験17—2の9°C貯蔵球(第26図)を例外として他の温度貯蔵球より早かった。貯蔵温度が25°C, 20°Cまで低下すると発芽は一層遅れた。



第25図 球の貯蔵温度と貯蔵期間が植付け後の発芽に及ぼす影響 (実験17-1)
RT=室温. 品種は'山形'.



第26図 球の貯蔵温度と貯蔵期間が植付け後の発芽に及ぼす影響 (実験17-2)
品種は'山形'.



第27図 球の貯蔵温度と貯蔵期間が植付け後の発芽に及ぼす影響(実験17-3)
品種は「山形」.

貯蔵期間が14~15日になると高温(30°C以上)貯蔵球とともに、低温(5~10°C)貯蔵球の発芽が他の温度貯蔵球よりも早くなる傾向がみられた。この貯蔵期間でも高温貯蔵区の間いでは、貯蔵温度が高い区ほど発芽が早い傾向がみられたが、その程度は5~7日間貯蔵区の場合に比べると小さくなった。

貯蔵期間が25~30日になると低温貯蔵球の発芽が高温貯蔵球の発芽より早くなる傾向がみられ、発芽がもっとも早くなった。そして貯蔵期間がこれよりも長い場合も、低温貯蔵球はつねにもっとも早い温度貯蔵球のグループに属した。これに対して高温貯蔵球は、貯蔵期間が40~42日の場合、実験17-2では低温貯蔵球に比べ発芽がかなり遅くなり、もっとも発芽の遅いグループに属するようになったが、実験17-3では、高温貯蔵球の発芽は低温貯蔵球とともに、もっとも早かった。しかし、実験17-3でも、56,70日間貯蔵区では、高温貯蔵球は低温貯蔵球より遅く発芽し、とくに70日間貯蔵区では発芽日数は中温(15~25°C)貯蔵球(発芽のもっとも遅いグループ)とあまり差はなかった。なお、高温貯蔵球の間いでは、貯蔵期間が短いときは、より高温で貯蔵した球ほど発芽が早かったが、貯蔵期間が長くなるにつれ、この効果は小さくなり、貯蔵期間がある程度以上長くなると、逆により高温で貯蔵した球ほど発芽が遅くなる傾向がみられた(例えば実験17-1の30日間貯蔵区、実験17-2の25日間貯蔵区、実験17-3の56日間貯蔵区)。これは貯蔵期間が長くなると、高温貯蔵の害作用が大きくなり、(例えば発根部の部分的乾燥壊死症状などが生じてきて、発根が悪くなり)、結果として発芽生長がスムーズにいかなくなるためと思われる。

第39表 貯蔵温度と貯蔵湿度が球の貯蔵中の発根, 球重の歩留り, 植付け後の発芽に及ぼす影響 (実験18)

貯蔵温度 と湿度	発根率 ⁴⁾			平均発芽日数 ⁵⁾				球重の歩留り ⁶⁾			
				貯蔵期間							
	105日	175日	245日	42日	105日	175日	245日	42日	105日	175日	245日
35°C(U) ¹⁾				33.1±1.2(16)				96			
35°C(H) ²⁾				27.8±1.2(17)				99			
RT ³⁾ (U)	90(4.5)	100(5)	100(5)	34.4±2.3(16)	6.6±0.7(17)	3.4±0.1(16)	4.5±0.2(13)	98	93	87	77
RT(H)	100(5)				6.0±0.4(17)				95		
20°C(U)	0	50(2)			23.6±2.0(17)	9.1±1.3(12)			96	92	
5°C(U)	100(7)				7.4±0.2(16)				94		
5°C(H)	100(10)				7.2±0.2(17)				97		
0.5°C(U)	0	100(1)	100(5)		17.5±1.9(12)	6.0±0.2(13)	4.5±0.2(13)		100	99	95
-2.3°C(U)	0	0			31.9±1.4(15)	54.9±3.2(14)			99	99	97

品種は 'ほうき'.

1) U=普通貯蔵

2) H=多湿貯蔵

3) RT=室温

4) () 内の数値は貯蔵終了時における最大根長の平均値 (mm)

5) () 内の数値は調査個体数.

6) 貯蔵開始時を100とした.

毎日の変温貯蔵球(35°C—5°C)の発芽は、5日間貯蔵区では35°C貯蔵区と同程度の早さでもっとも早く、15, 30日間貯蔵区でも低温貯蔵球とほぼ同程度の早さで、つねにもっとも発芽が早いグループに属した(第25図)。

15~25°Cの中温貯蔵球は5~70日間貯蔵区を通じ、発芽がもっとも遅い傾向があった。

0.5°C貯蔵球は発芽の早さがもっとも遅いグループに属するか(7, 70日間貯蔵区), 中間のグループに属した。

室温貯蔵球は短期貯蔵区ではもっとも発芽が遅いグループに属していたが、貯蔵期間が長くなると共に、より早いグループに属するようになり、70日間貯蔵区ではもっとも早いグループに属するようになった。

実験18の普通貯蔵区の0.5, 5, 20, 35°Cおよび室温貯蔵球の発芽傾向は実験17—1~17—3とほぼ同様であった(第39表)。-2.3°C貯蔵球は0.5および20°C貯蔵球よりもかなり発芽が遅れた。そして-2.3°C貯蔵球は貯蔵期間が長くなると発芽が非常に遅くなった。これは0.5°C以上の温度で貯蔵した球の発芽傾向とは逆である。

第40表 長期低温貯蔵が球の発芽に及ぼす影響(実験19)

植付け日	平均発芽日数		平均発芽暦日	
	0.5°C	-2.3°C	0.5°C	-2.3°C
3月19日	—	55.0±1.1(26)	4月16日以前 ¹⁾ (26)	5月 13.0±1.1日(26)
4月 1日	—	40.4±0.5(27)	4月16日以前 ²⁾ (27)	5月 11.4±0.5日(27)
4月16日	9.9±0.5(27)	31.9±0.8(23)	4月25.9±0.5日(27)	5月 17.9±0.8日(23)

品種は「山形」。貯蔵開始日は8月15日。

1) 全球4月16日以前に発芽。4月16日にはすでに普通葉を2~3葉展開。

2) 4月16日の発芽率はすでに54%。4月18日には1球を残して全球発芽。

植付け日以降の旬別日平均気温は以下のとおり。1.3°C(3月中旬), 4.1°C(3月下旬), 4.5°C(4月上旬), 9.8°C(4月中旬), 13.6°C(4月下旬), 12.9°C(5月上旬), 17.9°C(5月中旬)。

実験19の0.5°C貯蔵球では早く植付けた区ほど発芽暦日が早かったが、-2.3°C貯蔵球では、中間の4月1日植付け区の発芽暦日をもっとも早かった(第40表)。3月19日植付け区の貯蔵期間は216日で、4月1日植付け区のそれは229日で、その差はわずか13日であったので、-2.3°C貯蔵球の4月1日植付け区の発芽が3月19日植付け区の発芽より早くなったのは、貯蔵期間が長かったためとは考えられない。むしろ、-2.3°C貯蔵の発芽に及ぼす効果が不安定であるため、発芽の早さに差が生じたのではないかと考えられる。

(ii) 貯蔵湿度の影響(実験18)

実験18の結果から高湿度貯蔵球と普通貯蔵球の発芽の早さを比較すると、35°C貯蔵区では高湿度貯蔵球が普通貯蔵球よりやや早く発芽したが、室温および5°C貯蔵球では明白な差はみられなかった(第39表)。

(2) 貯蔵中の発根に対する影響(実験17—3; 18)

実験17—3では5および10°Cで42日間貯蔵すると、貯蔵終了時に若干の球に発根が認められた。そして56日間貯蔵するとほとんどの球に発根が認められた。15°C貯蔵球でも70

日間貯蔵すると約1/3の球に発根が認められた。

実験18では普通貯蔵の場合、175日間貯蔵後には -2.3°C を除く温度貯蔵球に発根が認められた(第39表)。もっとも発根が早かったのは 5°C 貯蔵球であり、ついでやや遅れて室温貯蔵球(11月の室温は約 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$)、さらに遅れて 0.5°C 貯蔵球、そしてもっとも遅れて 20°C 貯蔵球であった。なお、175日間貯蔵区で 20°C 貯蔵球の最大根長の平均値が 0.5°C 貯蔵球のものより約1mm長かったが、これは発根後の根の伸長が 0.5°C より 20°C のほうがすぐれていたためと考えられる。

高湿度貯蔵は発根を早めるようである(105日間貯蔵区の 5°C および室温貯蔵球)。なお、これらの実験と平行してシリカゲルと球を同一の容器に入れて 0.5 、 5°C および室温で貯蔵する実験も行ったが、いずれも発根は全く認められなかった。極めて低湿度条件の貯蔵は貯蔵中の発根を強く抑制するといえる。しかし、球の乾燥萎縮の程度が極めて大きかったため、この方法を実用に供することは考えられない。

(3) 貯蔵中の球重の減少(実験18)

球重の減少は高湿度貯蔵区で比較的少なかったが、もっとも少なかったのは -2.3°C 貯蔵球であり、球重はほとんど減少しなかった(第39表)。これは恒温器内の相対湿度が高かったこともあるが、呼吸等の生理活動が非常に低下したことも原因しているであろう。

(4) 低温貯蔵中における球の芽と根の生長(実験19)

8月15日から216日間 0.5°C で球を貯蔵した場合、貯蔵終了時に 0.5°C 貯蔵球では100%の発根が認められ、発根した根は伸長して4mmにも達していたが、 -2.3°C 貯蔵球では発根は全く認められなかった(第41表)。両温度貯蔵球とも貯蔵中に発芽した球はなかったが、貯蔵中の球内の芽の伸長には差異が認められ、 -2.3°C 貯蔵球のものは、 0.5°C 貯蔵球に比べて伸長がかなり小さかった。なお、 0.5°C 貯蔵球には外観的に萎縮とカビの発生が認められたが、 -2.3°C 貯蔵球にはどちらもほとんど認められなかった。

第41表 長期低温貯蔵が球の貯蔵中の芽の生長と発根に及ぼす影響(実験19)

調査日	貯蔵温度	芽の長さ ¹⁾	芽の葉数	各球の最大根長の平均
8月15日(1973)	(貯蔵開始日)	—	6.0 ± 0.0	発根球なし
3月19日(1974)	0.5°C	$21.6\pm 0.6\text{mm}$	6.6 ± 0.2	$3.8\pm 0.4\text{mm}$
3月19日(1974)	-2.3°C	9.2 ± 1.7	6.3 ± 0.1	発根球なし

品種は‘山形’。調査球重は $6.0\sim 9.0\text{g}$
調査個体数は各区4。均一な大きさの球を調査。

1) 発芽葉の基部から先端までの長さ。

考 察

(1) 貯蔵温度の休眠打破および休眠維持効果

収穫約半月後からの2週間以内の貯蔵では、 30°C 以上の高温貯蔵が植付け後の発芽をもっとも促進した。MANN・LEWIS(1956)は、収穫後4か月以上経過した球を8週間以上

貯蔵する実験を行ない、貯蔵温度が高いほど(15~30°C)植付け後の発芽が遅れることを観察した。本実験では8週間貯蔵でも、30°C貯蔵球は15、20および25°C貯蔵球より発芽がかなり早かった。MANN・LEWISの実験と本実験の結果が正反対になったのは、球の高温貯蔵開始時期が異なったこと、すなわち貯蔵球の休眠段階が異なったことが原因になっているようである。これに関しては第8節でさらに検討することにするが、この高温効果に類似した現象はタマネギでもみられる。すなわち青葉(1964)は高温貯蔵を休眠覚醒前に行くと休眠期間を短縮する効果を示すが、休眠覚醒後に行くと、貯蔵中の芽の伸長を抑制すると述べている。

貯蔵期間が2週間以上になると低温貯蔵の休眠打破効果があらわれてきて、さらに4週間以上になると、低温貯蔵した球の発芽がもっとも早くなった。

一般に多くの植物の芽の休眠は低温によって打破される。ところが球根アイリス(TSUKAMOTO・ANDO 1973)、フリージア(阿部ら,1974)、テッポウユリ(小西,1972)などの少数の植物の芽の休眠は高温によって打破される。ニンニクも高温によって休眠が打破される。しかし、ニンニクはある程度以上長く貯蔵すると低温によっても休眠が打破される点で前記の球根類とは異なるようである。そこで、ニンニクの高温と低温の休眠打破効果について第6, 8, 9節でさらに詳細に検討することにした。

一般に貯蔵期間が長くなるに従い、-2.3°Cを除くどの貯蔵温度の球も発芽日数が次第に減少した。MANN・LEWIS(1956)も0~20°Cの貯蔵温度で同様なことを観察している。これは休眠球が0°C以上のどの温度で貯蔵されても、休眠が時の経過と共に次第に浅くなること、すなわち芽の生長活性が次第に高くなることを示している。

室温貯蔵球は、貯蔵期間が短いときは発芽が最も遅い貯蔵温度のグループに属したが、貯蔵期間が長くなると、発芽順位が次第に上がり、10週間貯蔵区では、発芽が最も早いグループに属するようになった。室温の温度範囲は実験17-3では22.0°C~28.4°Cであった。この範囲の温度は28°Cに近い温度を除いて、恒温貯蔵では休眠打破効果はあまりない温度である。それにもかかわらず、長期室温貯蔵が発芽を大いに早めたのは、室温貯蔵が変温貯蔵であったためではないかと考えられる。ところで、室温貯蔵の変温の型には2種類がある。その1つは、毎日の変温であり、他は時期別変温である。毎日の変温は日較差でその程度を示すことができるが、実験17-3における日較差は平均2.3°C(範囲は0.5~4.5°C)にすぎなかったため、これが休眠打破効果をもたらしたとは考えられない。これに対して時期別変温は第27図説明欄の温度データが示すように10週間室温貯蔵は貯蔵前期が中温、中期が高温、後期が中温の変温になっている。これが休眠打破に効果があったのではないかと考えられる。それで、時期別変温貯蔵効果について、第9節でさらに詳細に検討することにした。

-2.3°C貯蔵球の発芽は、他の温度貯蔵球に比べて著しく遅く、また貯蔵期間の長い球の発芽が、他の温度の場合とは逆に貯蔵期間の短いものより遅くなるということもあった。しかし、発芽、発根状態とその後の発育は全く正常であったので、-2.3°C貯蔵に害作用があったとは考えられない。むしろ、前記のように発芽が著しく遅かったのは、-2.3°C貯蔵では球の代謝過程がほとんど停止し、休眠打破過程の進行もほとんど停止するためと思われる。

(2) 貯蔵中の発根に及ぼす貯蔵温度の影響

MANN・LEWIS (1956) は休眠がほぼ覚醒したと考えられる時期から、水分を与えて発根の早さを調べる実験を行い、5°C より 15°C のほうがはるかに早く発根したと報告している。ところが、休眠がまだ深い時期から貯蔵を開始した本実験では、中温貯蔵より低温(5~10°C)貯蔵のほうが貯蔵中の発根を早めた。本実験と MANN・LEWIS の実験結果が異なったのは、その実験方法の相違に起因するとみなされる。本実験では休眠球を使用し、MANN・LEWIS は休眠覚醒球を使用している。本実験の方法では、発根のためにはまず休眠覚醒が必要であったが、MANN・LEWIS の実験ではその必要はなかった。したがって、MANN・LEWIS の結果は、休眠覚醒球の根原基の伸長は低温より中温のほうが適していることを示しているといえよう。一方、本実験の結果は、中温貯蔵より低温貯蔵のほうが休眠を早く覚醒させ、根原基の伸長を早める効果があるということを示している。なお、中温貯蔵より低温貯蔵のほうが、通常貯蔵中の相対湿度が高くなるが、これは休眠覚醒した後の発根を有利にすると考えられる。

(3) 休眠の人為的制御を目的とする貯蔵法

(i) 休眠打破のための貯蔵法

実験17-3において平均発芽暦日をもっとも早かったのは 40°C の 7日間貯蔵区と 5°C の30日間貯蔵区で 9月11日(第42表)であった。40°C の7~14日間貯蔵区、35°C の7~42日間貯蔵区、5~10°C の30~42日間貯蔵区の平均発芽暦日は大体 9月20日以前で他の貯蔵温度、他の貯蔵期間の区より早かった。40°C 貯蔵は貯蔵期間が2週間以上になると害作用が生じてくると思われ、また 5~10°C 貯蔵はかなり長期間貯蔵しなければ効果があらわれてこないで、ニンニクの休眠打破貯蔵法としては、広い範囲の貯蔵期間で発芽が最も早いグループに属した 35°C 貯蔵が推奨される。

第42表 貯蔵温度と貯蔵期間が球の平均発芽暦日に及ぼす影響(実験17-3)

貯蔵 期間	貯蔵 温度	平均 発 芽 暦 日 (月/日)									
		40°C	35°C	30°C	25°C	20°C	15°C	10°C	5°C	0.5°C	室温
7日		9/11	9/17	9/22	10/ 1	10/ 2	9/25	9/30	9/27	10/ 7	9/25
14		9/20	9/23	9/25	10/ 8	9/29	10/ 2	10/ 4	9/24	9/28	10/ 4
30		—	9/15	9/24	10/ 1	10/ 4	9/25	9/12	9/11	9/20	9/29
42		—	9/17	9/18	10/ 6	10/ 4	10/ 9	9/20	9/18	9/26	9/24
56		—	10/ 1	9/27	10/ 8	10/ 9	10/ 6	9/24	9/24	10/ 3	9/29
70		—	—	10/ 8	10/10	10/10	10/11	10/ 3	10/ 5	10/13	10/ 3

品種は「山形」。貯蔵開始日は7日と14日貯蔵区は7月16日、その他の貯蔵区は7月17日。

(ii) 休眠維持のための貯蔵法

ニンニク球の市場価格は収穫期の初夏から秋にかけては安く、冬から、早出し栽培の収穫球が出回る春先にかけては高くなる。それで、初夏収穫時の良品質を春先まで保つことのできる貯蔵法が種々検討されている(小口ら, 1974; 田村, 1975)。CA貯蔵がこの目的にかなうようであるが(田村, 1975)、なにぶん設備費が高くつくのもっと安価な貯蔵法が

望まれている。ところで、ニンニク球を長期間貯蔵した場合に球の品質を劣化させる最も大きな要因は、貯蔵中の球の発芽、発根および乾燥萎縮であるので、球の良品質を長く維持するためには休眠維持効果が高く、しかも、乾燥萎縮しにくい方法で貯蔵すればよいと考えられる。

本実験は -2°C 前後での球の貯蔵が、 0°C 以上の温度貯蔵に比べて休眠維持効果が高く、同時により高い温度貯蔵に比べて極めて乾燥萎縮しにくく、そのうえ好都合なことにカビの発生もほとんどないことを明らかにした。なお、小口ら(1974)は球をポリエチレン袋に入れて密封し、 $-3\sim 0^{\circ}\text{C}$ で貯蔵した場合に凍結球が生じたと報告している。筆者の実験でも収穫後すぐに -2.3°C 貯蔵した場合には凍結球が生じたが(未発表)、本実験のように収穫後1か月以上室温に放置した後貯蔵した場合には、8か月間貯蔵しても凍結球は生じず、さらに $-6.0\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ で3日間貯蔵しても、凍結球は生じず、すべて植付け後に正常に発育した。国際冷凍協会推薦のニンニクの最適冷蔵温度は $-1.5\sim 0^{\circ}\text{C}$ となっているが、球の休眠維持および乾燥萎縮防止のためには、貯蔵温度は凍結しない程度で低いほどよいようであるので、筆者は -2°C 前後の温度での貯蔵を実用的な球の長期貯蔵法として推奨したい。ただし、冷蔵開始は収穫後1か月程度経過してから行うことが条件である。

第6節 球の休眠打破に及ぼす収穫期前後の 植物体の高温経過の影響

収穫(7月上旬)後約半月室温下(やや高温)に置いた球の休眠打破には、高温貯蔵と低温貯蔵の双方が効果的であった(第5節)。ところが、木藤ら(1975a)は‘香川六片’と‘嘉定白’の5月下旬収穫球を6月7日から、あるいは7月6日から9月5日まで低温($1\sim 5^{\circ}\text{C}$)貯蔵して、9月5日に戸外の木箱に植付けた場合、6月7日から低温貯蔵した球は低温貯蔵期間が7月6日から低温貯蔵した球より長くなるにもかかわらず発芽が非常に遅れることを見出した。彼らの実験結果と第5節の実験結果とを比較すると、温度による休眠打破効果の発現は恒温貯蔵開始時期や供試球の高温経過の差異によって異なってくる事が示唆される。

そこで本節では、供試球の高温経過の有無が貯蔵温度の休眠打破効果にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

材料および方法

実験20

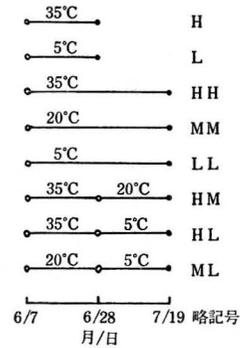
収穫前約1か月間の栽培温度の影響を調べるため、無加温ガラス室で栽培していたワグネルポット(1/5,000アール)植え‘山形’を、5月3日に戸外栽培する区と加温して 22°C 以上で栽培する区とにわけた。そして6月3日に掘上げた。収穫時の平均生葉数は戸外区2.0、 20°C 以上区1.7であった。 22°C 以上区の温度は夜間が 22°C でほぼ一定であったが、昼間は温度が上昇し、とくに晴天日には 30°C 以上になった。戸外区の5月上、中および下旬の日最高気温の平均は、それぞれ19.6、19.3および 21.8°C で、日最低気温のそれは10.2、11.0および 11.4°C であった。なお、以後 22°C 以上区を高温栽培区、戸外区を涼温栽培区と称することにする。

側球のみを供試し、6月7日から第28図に示す温度処理を開始した。そして6月28日(3週間貯蔵区)あるいは7月19日(6週間貯蔵区)に植付け、20°Cで発芽させた。平均供試球重は涼温栽培区の3週間貯蔵区のは1.6gで、6週間貯蔵区のは3.2gで、高温栽培区のはそれぞれ1.2g、2.5gであった。

結果および考察

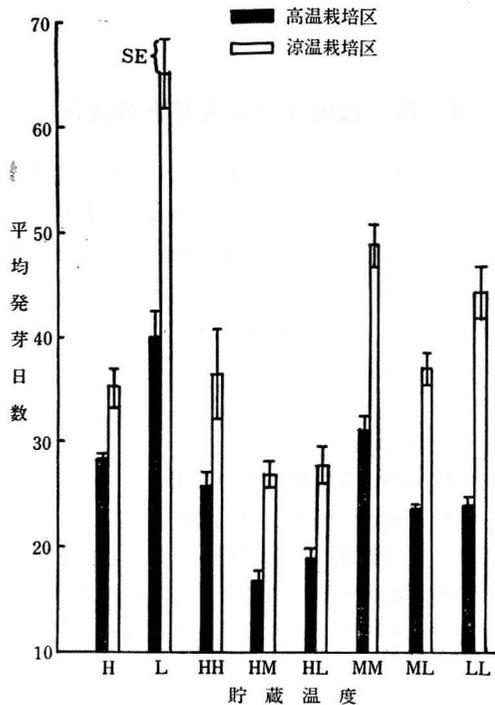
収穫前の1か月間に高温条件を経過した株からの球は、高温無経過の株からの球に比べて、どの温度で貯蔵されても発芽がかなり早かった(第29図)。しかし、休眠覚醒促進(芽の生長活性の回復あるいは増大)に関する掘

上げ後の貯蔵温度の効果は栽培時の高温経過の有無にかかわらず大体同様なパターンを示し、高温、低温、中温の順に先のものほど促進効果が高かった(第29図)。ただし、高温栽培区のLL区(5°C—5°C)はHH区(35°C—35°C)と同程度に早く発芽した。これは、高温栽培区では低温効果が相対的に高くなったことを示している。第5節の実験でも低温効果が比較的高かったが、第5節の実験では供試球の収穫期が7月上旬で栽培終期にかなり



第28図 実験20の球の温度処理の方法

H=35°C貯蔵. M=20°C貯蔵. L=5°C貯蔵.
 黒丸・は植付け日を示す。



第29図 掘上げ前1か月間の栽培温度と掘上げ後の球の貯蔵温度が植付け後の発芽に及ぼす影響(実験20)

品種は'山形'. 貯蔵温度は第28図をみよ。

高温を経験している上(地温は5月下旬になると晴天日には30°C以上になった),収穫時から貯蔵処理開始までの約半月間もやや高温(室温)で貯蔵されており,本節の実験の高温栽培区と同様な条件になっている.

高温貯蔵は貯蔵期間を3週間から6週間にしても発芽はより早くはならなかったが,低温貯蔵では,貯蔵期間の延長により発芽に著しい促進がみられた.第5節の同様な実験と異なり,高温貯蔵で貯蔵期間の延長による発芽促進がみられなかったのは,供試球がかなり小さかったため高温の害作用が早くあらわれてきたためと思われる.高温に続いて中温あるいは低温で貯蔵すると一定温度で貯蔵した場合より発芽が著しく促進された(HM,HL区).また中温に続いて低温で貯蔵しても(ML区),発芽は中温のみ,あるいは低温のみで貯蔵した場合よりも早くなったが,上記のHM,HL区よりはかなり遅かった.これらのことは,変温自体が休眠覚醒促進効果を持っていること,あるいは貯蔵温度の休眠覚醒促進効果は休眠の段階によって異なり,その各々の段階に最適な温度で貯蔵した場合に休眠覚醒がもっとも促進されるのではないかということを示唆する.これについては第8,9節で詳細に検討するが,本実験の結果から少なくとも,収穫適期前後に植物体が高温条件を経過するとそうでない場合に比べて,その後球がどの温度条件下におかれても一般に休眠覚醒が早くなることおよび低温貯蔵の休眠打破効果が高まることがわかる.

なお,木藤ら(1975a)の実験の7月6日以降に低温貯蔵を開始した区の発芽が収穫後まもなく(6月7日)から低温貯蔵を開始した区に比べて著しく早かったのは,前者の球が収穫時から植付け時まで大体“高温→低温”の変温貯蔵になっていたことが原因であったと思われる.

第7節 球の発根と発芽との関係

球を植付けた場合,発根して根群がかなりの量に達した後に発芽が認められるのが普通である.長期貯蔵中に発芽する場合もあるが,その場合も発芽前に発根が認められる.ただし,この場合は発根が非常に不良であり,発芽も植付けた場合に比べて極めて遅い.これらの事実から芽の旺盛な生長(発芽)のためには,発根とその後の根の生長とそれに伴う吸水力の増大が必要なのではないかと推測される.しかし,発根の程度と発芽との関係を調べた報告はまだない.そこで,本節ではこの関係について検討した.

材料および方法

実験21 発芽に及ぼす球への水分供給条件の影響

7月9日収穫の寒地六片種系統の一種‘富良野’(‘山形’に似た不完全抽だい系統)の3.0~4.5g球を用い,9月15日から球底部のみを水浸して20°C条件下に置いた.そして,発根日以降,ほとんど毎日断根処理をする区(球底部の水浸は続ける),発根後湿ったパーミキュライトに植付ける区(対照区),および発根後高湿度条件で貯蔵する区とを設け,発芽日数を調査した.

実験22 植付け後の発根と発芽に及ぼす貯蔵温度の影響

(1) 実験21と同材料の6.5~9.0g球を8月5日から(貯蔵中の湿度を高く保つため)水

を満たした皿とともに大型シャーレ内に置き、5, 10, 15, 20, 30 および 35°C で 8 月 26 日まで貯蔵した。8 月 26 日から球底部のみを水浸して、20°C 条件下におき、各球の最大根長が 1.5mm に達するまでに要する日数（発根日数）を調査した。最大根長が 1.5mm に達した球は、その後、湿ったパーミキュライトに植付け（20°C 条件下）、水浸開始から発芽までの日数を調査した（発芽日数）。なお、8 月 26 日にすでに最大根長が 1.5mm 以上に達していた球は、発根日数を‘0’とみなし、ただちに湿パーミキュライトに植付けた。

(2) 実験21と同材料の 5.0~6.5g 球を用い、実験22-1と同方法、同時期の貯蔵を行った。貯蔵処理終了後発根するまで（最大根長が 1.5mm に達するまで）、球底部のみを水浸して、20°C 条件下に置き、発根後は湿パーミキュライトに植付けて、1 球ごとに発根 20 日後の根の新鮮重および芽の長さを調査した。

結 果

(1) 発芽に及ぼす球への水分供給条件の影響（実験21）

発根後、空中湿度を高く保っても球底部への給水を断つと、発芽はパーミキュライトに植付けたものに比べ非常に遅れた（第43表）。

第43表 球底部を水浸して発根させた球のその後の水分供給条件が発芽日数に及ぼす影響（実験21）

球の発根後の水分供給条件	発芽日数	発根日数
多湿貯蔵	>45.0 (13)	2.7±0.2
湿パーミキュライトに植付け	22.8±2.1(12)	2.6±0.2
球底部の水浸は続けるが毎日断根処理	23.2±1.2(12)	2.8±0.2

品種は‘富良野’。調査球重は3.0~4.5g。
発根・発芽温度は20°C

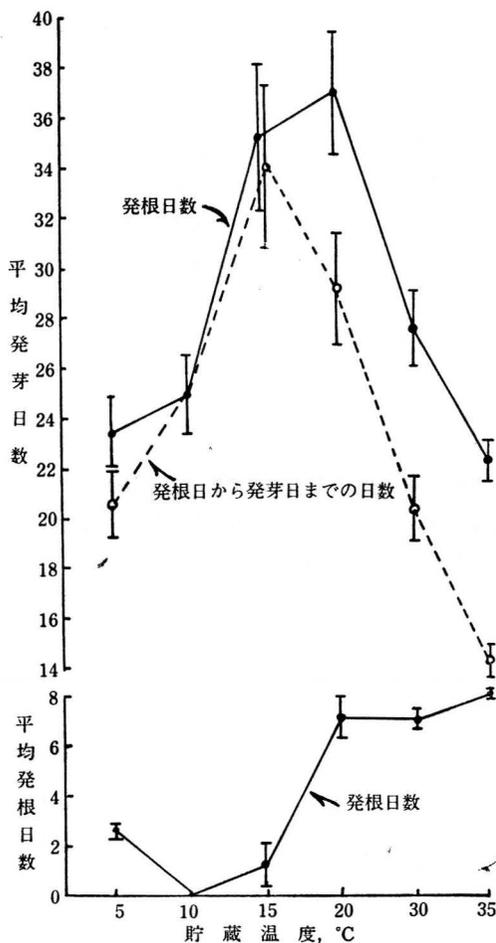
発根後、ほとんど毎日根を除去する処理を行っても、球底部を水につけ、球が容易に吸水できるようにすると、発芽の早さは、根を切らずに湿パーミキュライトに植付けたものとはほとんどかわらなかった。

(2) 植付け後の発根と発芽に及ぼす貯蔵温度の影響（実験22-1）

実験22-1で発根がもっとも早かったのは 10°C 貯蔵球で、貯蔵終了時に全球がすでに発根していた。次いで早かったのは 15°C 貯蔵球で、平均発根日数は約 1 日であった（第30図）。5°C 貯蔵球がこれに続き、平均発根日数は 2.5 日であった。20°C 以上の貯蔵球の発根はこれらに比べるとずっと遅くなり、20 および 30°C 貯蔵球の平均発根日数は約 7 日、35°C 貯蔵球のそれは約 8 日であった。

一方、発芽が最も早かったのは 35°C 貯蔵球で、以下 5, 10, 30, 15, 20°C 貯蔵球の順に発芽した。なお、35と5°C、5と10°C、15と20°C の各 2 温度区間の発芽日数の差は極めて小さかった。

発根してから発芽するまでの日数は、35°C 貯蔵球がもっとも少なく、以下 30と5°C 貯蔵球（この 2 区はほとんど同じ）、10, 20, 15°C 貯蔵球の順であった（第30図）。



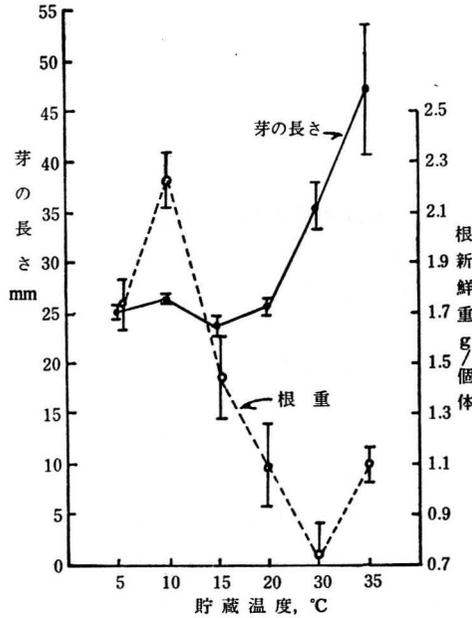
第30図 球底部水浸後の発根日数と発芽日数に及ぼす水浸前貯蔵温度の影響(実験22-1).
品種は「富良野」、種球重は6.5~9.0g. 発根・発芽温度は20°C.

(3) 植付け後の根発生量と芽の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響(実験22-2)

実験22-2で発根始めから、その20日後までの間に発生し伸長した根の量(新鮮重)は、10°C貯蔵球が最も大きく、以下、5°C、15°C、35と20°C(この2区はほとんど同量)、そして30°Cの貯蔵球の順であった(第31図)。なお、10°C貯蔵球は貯蔵中すでに発根していたが、その量は水浸20日間の生長量に比べれば極めて少なかった。

発根20日後の芽の長さは、35°C貯蔵球がもっとも大きく、次いで30°C貯蔵球が大きく、20°C以下の温度の貯蔵球の間の芽の長さの差は小さかった。

高温貯蔵球の芽の長さが他と比べて大きくなかったのは、高温貯蔵球の発根が遅く、水浸開始日から調査日(発根20日後)までの日数が多くなったこと、すなわち芽の生長日数が多くなったことがかなり影響していると考えられる。というのは、35、30、20、15、10およ



第31図 植付けた球の根発生量と芽の伸長に及ぼす植付け前貯蔵温度の影響 (実験22—2)
 品種は‘富良野’。種球重は5.0~6.5g。発根・発芽温度は20°C。

び5°C貯蔵球の水浸開始日から調査日までの日数はそれぞれ 30, 29, 27, 20, 20 および23日であったが、芽の長さとの相関係数を計算すると+0.80であったからである。

なお、根重と芽の長さとの間の相関係数は-0.50であった。これは芽の長さが長いものほど根重が少ない傾向があることを示している。また、これは芽の伸長と根系の発達には一種の競争関係があることを示唆する。

考 察

(1) 芽の生長と発根および根系発達との関係

植付けた球の発芽時には、通常、根系がかなり発達していることから、芽の旺盛な生長のためには根がなんらかの役割を果していることが予想される。この根の役割として第1に考えられることは、芽の旺盛な生長に必要な水分の供給器官としての役割である。芽の旺盛な生長のためにはかなりの水分が必要と考えられるが、その水分を土壌中から吸水して植物体に供給するためには、根系がある程度以上発達していることが必要と思われる。以上のほか以下に述べることも最初想定して実験21を行った。すなわち、根で芽の生長に必要な物質が生産されていて、その物質量（したがって根量）と芽の生長量とがある程度比例的関係にあることを想定した。しかし、実験の結果、断根状態でも芽の急速な生長が起こり（発芽が早く）、また根があっても水分がほとんどなければ芽の急速な生長はみられ

なかったことから(多湿貯蔵中での発芽は極めて遅れたことから), 上述の考えは否定された。以上のことから, 芽の急速な生長のためには, 球が容易に吸水できる状態であればよく, 発根や根系の発達は必ずしも必要ではないと結論できる。そればかりか, 根系の発達と芽の生長との間には競争的關係が存在するようであった。

なお, 実験22—2では根の量が少なくても発芽の早い区があったが, これは実験22—2の培地の水分量が高く, 吸水が容易であったためと思われる。

(2) 発根および根の生長に及ぼす貯蔵温度の影響

発根とは根原基が伸長して球底部から外部に現れたときの状態をいう。したがって, 発根が早かったということは, 根原基の伸長開始が早かったか, あるいは開始時期は同じだが, 伸長速度が早かったか, あるいはその両方によると考えることができる。第2節の実験結果は, 8月上旬にはすでに根原基が形成されていて根原基の伸長生長が開始しつつあることを示している。したがって, 本節の実験に関する限り, 根原基の伸長開始期は, どの貯蔵区も同じであったとみなすことができ, 発根が早かったということは, 根原基の伸長速度が速かったということの意味するであろう。

5, 10, 15°C 貯蔵球は発根が20°C 貯蔵球に比べて早く, また発根後20日間の根生産量も高かったので, 5, 10, 15°C という温度には根の生長を促進する後作用があると言えるが, 10°C がこの中でもっとも効果が高かった。これに対して, 30, 35°C 貯蔵球は発根が20°C 貯蔵球と同程度に遅く, また根生産量も同程度に低かったので, 高温には上記のような後作用はないと言える。

なお, 植付け後の発芽は10°C 以下の低温貯蔵でも高温貯蔵でも促進された。したがって, 本実験で用いたような後休眠期の球の植付け後の発育を最も促進するためには, 植付け後の芽と根の双方の生長促進作用を持つ低温貯蔵が高温貯蔵より好都合と思われる。

第8節 植付け後の発芽に及ぼす異なる休眠段階の

球に対する貯蔵温度の影響

第6節で貯蔵温度の休眠打破効果は, 貯蔵球の休眠の段階によって異なる可能性のあることを示唆した。本節の実験は収穫4週間前から休眠覚醒後までの種々の休眠段階の球を供試して, 貯蔵温度の発芽に及ぼす影響が貯蔵時期によってどのように変わるのかを検討したものである。

材料および方法

実験23

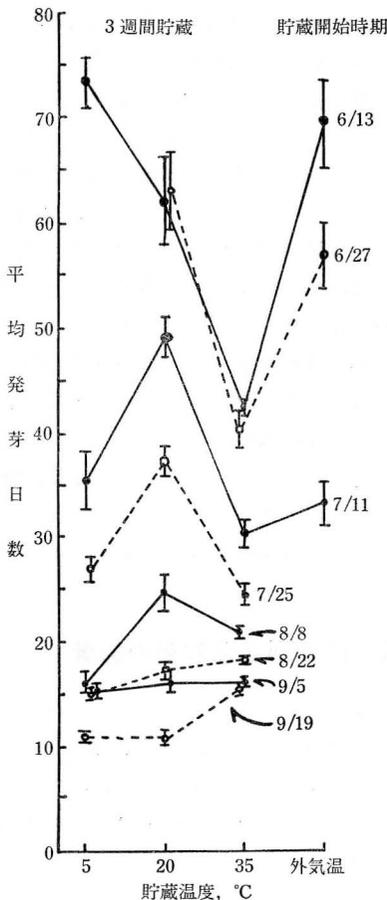
第2節の実験と同じ材料を供試した(収穫適期は7月11日)。6月13, 27日, 7月11日には場から株を掘上げ, 解体して側球を取り出し, それらを掘上げ時から3週間, 5, 20, 35°C および外気温で貯蔵後植付け, 20°C で発芽させた。さらに, 7月11日に収穫後解体せずに外気温で貯蔵していた株を7月25日, 8月8, 22日, 9月5, 19日に解体して側球を取り出し, それらを株の解体日から3週間, 上記と同様な温度で貯蔵後植付け, 20°C で発芽させた。なお, 6月27日~8月22日の掘上げ日あるいは解体日には6週間貯蔵区も設けた。実験期間中の日平均外気温を第17図に示した。平均球重は6月13日区が約3g, 同27日区

が約4gであったが、7月11日以降の区では大体4~5g球を用いた。

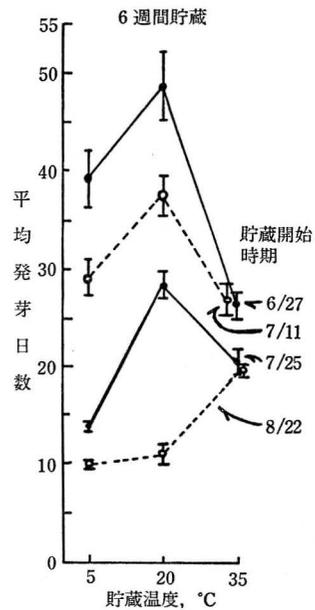
結果および考察

35°C 貯蔵が収穫適期前4週間(6月13日)から適期収穫後2週間(7月25日)までの発育(ないし休眠)段階の球に対して3ないし6週間行われた場合には、植付け後の発芽を著しく促進した(第32, 33図)。しかし、貯蔵開始時期がこれより遅くなるにしたがい、すなわち、球の休眠が浅くなるにしたがい35°C貯蔵の発芽促進効果は急激に小さくなり、収穫後6週間以降(8月22日以後)の球では、促進効果が全くなくなり、発芽の早さは20°C貯蔵の場合と同等かより遅くなった。特に、収穫後10週間(9月19日)の球を35°Cで3週間貯蔵した場合や、収穫後6週間(8月22日)の球を6週間貯蔵した場合には、発芽は20°Cで貯蔵した場合よりかなり遅くなった。なお、この時期の球の休眠はすでにほとんど覚醒していたと考えられる(第20, 21図)。

5°C貯蔵が収穫適期前4週間(6月13日)の球に対して3週間行われた場合には、発芽は20°C貯蔵に比



第32図 貯蔵時期と貯蔵温度が植付け後の発芽日数に及ぼす影響(実験23) 品種は「山形」。発芽温度は20°C。貯蔵期間中の外気温の平均値。6/13-7/4 (20.8°C.), 6/27-7/18 (21.6°C.), 7/11-8/1 (25.1°C.)



第33図 貯蔵時期と貯蔵温度が植付け後の発芽日数に及ぼす影響(実験23) 品種は「山形」。発芽温度は20°C。

べて著しく遅れた。ところが、収穫適期前2週間(6月27日)の球を6週間貯蔵した場合には20°C貯蔵よりも早くなった。そして、収穫後2週間(7月25日)から6週間および収穫後4週間(8月8日)から3週間、5°C貯蔵した球は、同貯蔵期間の35°C貯蔵球よりも発芽が早くなった。しかし、これ以後からの貯蔵ではまた5°Cの発芽促進効果が小さくなり、収穫後6週間(8月22日)から6週間および収穫後8週間(9月5日)から3週間、5°C貯蔵した球の発芽の早さは、同貯蔵期間の20°C貯蔵球の場合とあまり変わらなくなった。

以上の結果と第2節の結果とを考え合わせると、球の種々の発育・休眠段階における貯蔵温度の発芽に及ぼす効果は以下のようにまとめられるだろう。収穫適期前4週間のまだ肥大生長が進行中の球では、貯蔵温度が高いほど植付け後の発芽が早くなった。だから、この時期の球に対して、高温貯蔵は発芽促進効果を示すが、低温貯蔵は発芽抑制効果を示すと言える。球の発育・休眠の段階が進むにつれ、植付け後の発芽は一般に早くなってきたが、貯蔵温度によってこの早くなる傾向が異なった。収穫前4週間から収穫後4週間にかけては、低温貯蔵の場合、上記の発芽の早くなる傾向が他の貯蔵温度よりも大きく、特に中温貯蔵に比べると大きかった。そのため、収穫適期に達した球を低温貯蔵すると中温貯蔵の場合より発芽が著しく早くなった。この段階の球ではまだ高温貯蔵のほうが低温貯蔵より発芽促進効果がやや大きかったが、休眠段階が進み収穫後4週間(まだ後休眠期の段階)の球になると、高温貯蔵より低温貯蔵のほうが発芽を早めるようになった。高温貯蔵の、球の休眠段階の進行に伴う発芽を早める傾向は、収穫後4週間頃から他の温度貯蔵に比べて小さくなった。そのため収穫後6週間の球では、高温貯蔵と中温貯蔵の発芽に及ぼす効果はほとんど同等になり、低温貯蔵のみに弱い発芽促進効果がみられるようになった。この低温貯蔵の効果もその後しだいに弱くなり、休眠覚醒段階(収穫後8週間)に達した球では、どの温度で貯蔵しても発芽の早さに大差はみられなくなった。そして、それ以降の段階では高温貯蔵に発芽抑制効果がみられるようになった。

球の休眠段階によって貯蔵温度の発芽促進効果が異なることは、タマネギ(青葉, 1964), グラジオラス(DENNY, 1936)などでもみられるので、この現象は広くみられるものようであり、ニンニク以外の作物においてもこの点について詳細な研究が行われることが望まれる。

第9節 植付け後の発芽に及ぼす球の時期別変温貯蔵の影響

第8節において、発芽促進に及ぼす植付け前貯蔵温度の影響は、貯蔵時の球の休眠の段階の違いによって異なってくることを明らかにした。この結果から、長期貯蔵で発芽をもっとも促進するためには、球の休眠の段階に応じて最も休眠打破効果の高い温度で貯蔵する時期別変温貯蔵がよいのではないかと推定される。この推定は第6節で部分的に裏付けられた。本節ではニンニクの最も発芽を促進する時期別変温形式を求めることを目的として実験を行った。

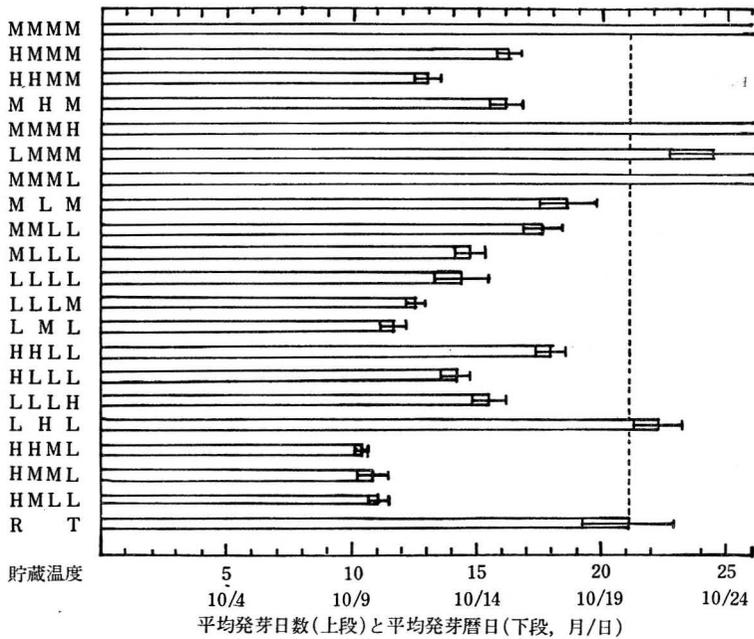
材料および方法

実験24

極晩生種‘ほうぎ’を用いた。1974年7月30日に収穫した1.5~5.0g球を用いた。この

室温貯蔵球を8月4日から9月29日までの8週間を4等分して、または3週間→2週間→3週間に3分割して、35°C(H)、20°C(M)、5°C(L)の3段階の温度による時期別変温貯蔵を行った。種々の考えられる変温の組み合わせのうち、実施したのは第34図に示すものだけである。この図でHMML区とは、8月4日から8月18日までは35°Cで、8月18日から9月1日までと9月1日から9月15日までは20°Cで、9月15日から9月29日までは5°Cで貯蔵した区であることを示している。

温度処理終了日に露地に植付け、直ちに十分かん水した。発芽調査は毎日行い、地表面上に芽があらわれた日を発芽日とした。調査は日平均気温が約6°Cに低下した11月16日まで続けた。同日に未発芽個体を覆土を取り除いて調査したところ、未発芽個体の多くは地表面下では発芽していた。すなわち、球頂から芽が出ていた。地表面下でも未発芽だった個体が発芽可能個体であるのかどうかは、翌年3月29日に発芽しているか否かによって判定した。発芽率の算出は発芽不能個体を除外して行った。



第34図 時期別変温貯蔵が発芽日数(露地植え)に及ぼす影響(実験24)
品種は'ほうき'。貯蔵温度の記号の説明は本文に記した。

結果

MMMM区は発芽が極めて遅く、11月16日の地表面上における発芽率は37% (地表面下では73%) に過ぎなかった。しかし翌春3月29日以前に発芽率は100%になった。MMML およびMMM H区も11月16日までに発芽率が100%に達せず、それぞれ79% (地表面下では86%) および83% (同100%) であった。これらの区も翌春3月29日以前に発芽率は100

%になった。上記以外の貯蔵区を発芽の早いものから順に列記すると、以下のようなになる(第34図)。

HHML (平均発芽日数は10日), HMML・HMLL (11日), LML (12日), LLLM・HHMM (13日), HLLL・LLLL (14日), MLLL・LLLH (15日), MHM・HMMM (16日), MMLL・HHLL (18日), MLM (19日), RT (室温貯蔵, 21日), LHL (22日), LMMM (24日)。

考 察

第8節で明らかにされた時期別の貯蔵温度の発芽促進に及ぼす効果から次のことが予想される。収穫直後から植付け適期までを時期別に変温貯蔵する場合は、貯蔵前期に高温で貯蔵し、貯蔵後期には低温で貯蔵すると、他の変温形式より植付け後の発芽が早くなる。本実験の結果は大体それを裏付けたが、最も発芽を早めた変温形式は高温貯蔵と低温貯蔵との間に中温貯蔵をそう入するものであった。青葉(1976b)は“秋植え球根類のなかには、正常な生長をするために夏の高温条件とそれに続く秋～冬の低温条件の経過を必要とするものが少なくない”と述べているが、これらの球根植物の時期別変温貯蔵の発芽、生長に及ぼす効果の解析はチューリップなど一部を除くとあまりなされていないようである。ニンニクについては本研究によって貯蔵温度効果の解析はある程度なし得たと考えているが、他の球根類についてもこのような解析的研究が今後望まれる。

第10節 摘 要

東北地方在来の六片種、主として‘山形’の側球を用いてニンニク球の休眠現象の様相並びに休眠現象に及ぼす環境要因(主として温度)の影響を調査した。そして、その結果に基づいて球の休眠打破および休眠維持処理法並びに球の実用的な長期貯蔵法を提案した。

1) 露地栽培の球肥大生長期にあるニンニクの側球の芽(球内の発芽葉と普通葉)の生長は収穫適期(7月11日前後)に近づくとつれ衰え、収穫適期からその後2週間は、植物体全体ないし側球のみがたとえ発芽適条件下におかれていても芽の生長はほとんど停止し、発根も全く認められなかった。側球の芽の生長は発芽適条件下におかれた場合、収穫適期2週間後に再開し、そしてほぼ同時期に発根も認められた。その後日数の経過とともに発芽適条件下の植物の芽と根の生長は次第に著しくなった。そして、発芽適条件下の植物の芽と根の生長がある程度旺盛になった時期には、かなりの高温条件下におかれていた植物でも芽と根の生長が認められるようになった。そして、さらに時が経過し、9月上旬に達すると自然温度の乾燥条件下で貯蔵中の側球にも顕著な芽の生長が認められるようになった。これらのことは、ニンニク‘山形’の側球は収穫適期から2週間後までは VEGIS (1964) のいうところの真休眠期にあり、それ以降、後休眠期に入って徐々に芽と根の生長活性が高まり、通常の方法で掘上げ貯蔵した場合でも9月上旬には休眠覚醒状態に達することを示している。

2) 球に外部から水分が十分に与えられれば、後休眠期の球の発根時期は芽の伸長再開時期とほぼ同時であった。しかし、球を風乾状態で貯蔵した場合は発根時期が芽の伸長再開時期より著しく遅れた。

3) 球の発芽適温域は、休眠が比較的深いときは19°C前後で狭かったが、覚醒期に入

ると15~25°Cに広がった。

4) 球重が非常に異なっても、発芽の早さには通常、大差がみられなかった。

5) 側球を収穫約半月後から0.5~40°Cの温度で約1~10週間貯蔵したのち植付け、20°Cで発芽させたところ、約1週間貯蔵の場合は、30~40°Cの高温貯蔵球が比較的早く発芽し、そしてこれらの中でも貯蔵温度の高い場合ほど早く発芽した。約2週間貯蔵の場合は高温貯蔵球とともに、5~10°Cの低温貯蔵球も比較的早く発芽した。ところが、貯蔵期間が約4週間以上になると、通常、低温貯蔵球が高温貯蔵球より早く発芽した、0.5°C貯蔵球は1~10週間貯蔵区を通じ、通常、5~10°Cの低温および30~40°Cの高温の貯蔵球より発芽が遅れた。そして、15~25°Cの中温貯蔵球は、通常、発芽がもっとも遅れた。毎日9時間35°C、15時間5°Cで変温貯蔵した球は、調査した1~4週間貯蔵区を通じ発芽が最も早いグループに属した。室温貯蔵球は、貯蔵期間が短いときは発芽が最も遅いグループに属したが、貯蔵期間が長くなるにつれ、貯蔵期間が同一な区の間での発芽順位が早くなり、秋まで貯蔵されると発芽が最も早い温度貯蔵区の一つになった。

6) 高温・高湿度貯蔵球は、高温・湿度無制御の貯蔵球に比べて植付け後の発芽がやや早かったが、低温貯蔵では高湿度条件にして貯蔵しても湿度無制御の場合より早くなるということとはなかった。

7) 高湿度貯蔵は貯蔵中の発根を比較的促進したが、乾燥剤とともに貯蔵した場合には発根は全く抑制された。5~10°Cの低温貯蔵も発根を促進したが、貯蔵温度が-2°Cに低下すると発根は全く抑制された。

8) 貯蔵中の球重減少は貯蔵湿度を高めると少なくなったが、貯蔵温度を0.5°C以下にすると著しく少なくなった。

9) 収穫後約1か月経過した球を0.5°Cで8か月間貯蔵すると、貯蔵中の発芽は認められなかったが、発根、球の萎縮、カビの発生などは認められた。ところが、-2°C貯蔵では、以上のことはほとんど認められなかった。なお、両温度貯蔵球とも、植付け後の発芽、発根とその後の生長は正常であった。

10) 植物体が収穫前あるいは収穫後の数週間高温条件(約30°C以上)を経過すると、その植物体から取り出した球はそうでない場合(約20°C以下)の球に比べて、植付け後の発芽が早くなった。また、上述の高温条件はその後の低温貯蔵の発芽促進効果を高めた。

11) 球が容易に吸水できる状態(例えば球底部の水浸)にあれば、毎日断根処理を行って、根がない状態に保っても発芽は遅延しなかった。これに対して、発根後、球への水の供給を断つと、発芽は著しく遅延した。

12) 後休眠期にある球が5~15°Cで貯蔵されると、植付け後の発根と根系の発達が早まった。その適温は10°C近くであった。20~35°Cの温度には上記の効果はなかった。一方、後休眠期にある球の発芽は、5~10°Cおよび30~35°Cで貯蔵されると早まった。したがって、5~10°Cの温度は、後休眠期にある球に対して芽と根の双方の生長を促進する後作用があると言える。

13) 露地栽培株から取り出した球の場合、球の種々の発育・休眠段階における貯蔵温度の発芽に及ぼす効果は以下のとうりであった。

収穫適期前4週間の球では、高温(35°C)が中温(20°C)に比べて発芽促進効果を示したが、低温(5°C)は発芽抑制効果を示した。収穫適期頃(真休眠期頃)の球では、高温と低

温の双方が発芽促進効果を示したが、高温のほうの効果がやや高かった。後休眠期の前半期の球でも高温と低温の双方が発芽促進効果を示したが、この時期では低温のほうの効果がやや高くなった。後休眠期の後半期の球では低温のみに弱い発芽促進効果がみられた。休眠覚醒段階に達した直後の球では発芽に対する貯蔵温度の影響に大差はみられなくなった。休眠覚醒後2週間経過した球では高温に発芽抑制効果がみられるようになった。

14) 極晩生種‘ほうき’の球を用い、収穫直後の8月初から植付け期の9月末までの時期を3ないし4等分して、高温(35°C)、中温(20°C)、低温(5°C)の3種類の温度で時期別変温貯蔵して露地に植付けた。発芽が最も早くなったのは‘高温→中温→低温’の変温貯蔵であった。次いで早かったのは‘低温→中温→低温’、‘高温→高温→中温’、‘高温→低温→低温’、‘高温→低温→中温’の変温貯蔵であった。これに対して、貯蔵期間の前期および中期に高温あるいは低温の貯蔵がなされなかった‘中温→中温→中温’、‘中温→中温→低温’、‘中温→中温→高温’の変温貯蔵区は発芽が著しく遅く、とくに‘中温→中温→中温’の貯蔵区は発芽が最も遅く、越冬前に37%の個体しか発芽しなかった。

15) 以上の結果から、収穫後なるべく短期間で休眠を打破する方法として35°C貯蔵が、休眠状態をなるべく維持する、ないし球を長期間なるべく新鮮な状態に保つ方法としては-2°C前後の温度貯蔵が一般に推奨される。ただし、-2°C貯蔵は少なくとも収穫後1か月程度経過してから行わないと凍結球の生ずる恐れがある。また、適期植付けで、植付け後の発芽をなるべく早めたい場合には、収穫直後から植付け期までの期間を3等分して前期を高温(35°C)、中期を中温(20°C)、後期を低温(5°C)で時期別に変温貯蔵するのがよいと思われる。

第3章 結 論

ニンニク *Allium sativum* L. の自生地は知られていないが、VVEDENSKY (1944) によれば *Allium longicuspis* Rg1. がニンニクの野生品種(wild race)とのことである。かれによれば *A. longicuspis* は中央アジアに固有の種で、南は南部トルクメンの山地から北へはパミール・アライ、天山地方にかけて分布しているとのことである。この地方の気候は典型的な大陸性気候で冬寒く、夏暑く、湿度は全般的に極めて低く、乾燥する夏には植物の通常の生育状態での生存は不可能になる。本研究で明らかにしたように、ニンニクの発育が外的条件の制御を強くうけ季節的温度周期および日長周期に依存した周期性を示すのは、ニンニクがこのような厳しい環境条件下に適応してきた植物であるからと考えられる。

ニンニクの栽培法の根本的改善や新作型の開発を行うためには、まずニンニク植物体の発育と外的および内的条件との関係が十分明らかにされる必要があるが、本研究によってそれがかなり明らかになったので、以下にそれを要約的に述べる。なお、特にことわらないかぎり‘山形’についての結果を述べる。他の品種では結果が若干異なる場合がある。

(1) 植物体の発育と外的および内的条件との関係

ニンニクの一生には形態と生長活性で区別される次の4つの発育段階がみられ、ニンニク的生活環の展開はこれらの発育段階の継起として捉えられる。

(i) 栄養生長段階。球の休眠覚醒後、茎頂では新葉の形成が活発になると共に葉原

基の普通葉への発達速度も大きくなり、新しい普通葉を周期的に外部に展開させる。すなわち、活発な栄養生長をする。本研究では栄養生長段階を球の休眠覚醒期から茎頂に総包が分化するまで、あるいは幼葉の貯蔵葉化開始期までの発育段階とした。

(ii) 花序形成段階. これは総包分化から側芽における貯蔵葉形成開始期までの発育段階である。

(iii) 貯蔵葉形成段階. これは、側芽または頂芽の葉の貯蔵葉化開始期から貯蔵葉の肥大生長の終了時、すなわち母植物の枯死期までの発育段階である。なお、貯蔵葉の発達に従って側芽の休眠が深くなってゆくので、この発育段階を休眠導入段階とも称することができる。

(iv) 休眠段階. これは母植物の枯死期から球の休眠が覚醒するまでの発育段階である。普通にみられる型の球形成（花序形成型）を行うニンニクでは、上記の4つの発育段階を(i)→(ii)→(iii)→(iv)→(i)→…の順にたどる。一ツ玉球形成の場合には花序形成段階がなく、栄養生長段階からただちに貯蔵葉形成段階に移行する。なお、この場合には側芽は形成されず、頂芽の葉が貯蔵葉化する。また、不完全花序形成型は花序形成段階の途中から貯蔵葉形成段階に移行したものと考えることができる。

以下に各発育段階別に温度・日長条件の発育に及ぼす影響について述べる。

栄養生長段階

休眠覚醒球の発芽適温域は15~25°Cである。普通葉の生長適温域も同様である。なお、普通葉の生長は長日条件によって促進されるが(高樹・青葉, 1976a), 長日条件(正確には限界日長より長い日長条件)は貯蔵葉形成段階への移行をも促進するので、栄養生長段階を維持するためには限界日長よりも短い日長条件下で栽培する必要がある。

花序形成段階

栄養生長段階から花序形成段階へ移行するためには、まず花成誘導条件が満たされ、そして花成誘導完了後にすみやかに花序の形成を可能にする条件が満たされる必要がある。花成誘導されるためには次の2つの条件が満たされる必要がある。1つは植物体が13°C以下の低温条件下に一定期間おかれることである。低温は2~5°Cが最も花成誘導効果高く、この温度では2~3か月で花成誘導が完了するようである。もう1つの条件は低温条件下におかれる植物体がある程度以上大きいことである。種球でも苗でも花成誘導可能であるが、種球より苗のほうが、また通常、植物体が大きいほど花成誘導されやすい。

花成誘導完了後に花序が形成されるためには、花成誘導後に次の2つの条件が満たされる必要がある。これが満たされないと通常、頂芽の葉が貯蔵葉化し一ツ玉球を形成してしまふ。第1の条件は植物体が植付けられて良好な生育状態にあることである。生育が抑制される条件下では花序形成は起こらない。しかし、貯蔵葉形成は起こるので、このような条件下に長くおかれると一ツ玉球を形成してしまふ。第2の条件は栽培温度が13°C以下であることである。栽培温度が低いほど頂芽で貯蔵葉よりも花序が形成されやすくなる。13°Cより高い温度では通常、花序より貯蔵葉のほうが形成されやすく、その結果一ツ玉球形成個体のほうが花序形成個体より多く生じる。17°C以上では通常、花序は形成されず、すべての個体が一ツ玉球を形成する。

なお、短日条件下では花序形成も貯蔵葉形成も抑制されるが、貯蔵葉形成の抑制のほうが強いので相対的に花序形成が起こりやすくなり、花序形成個体率が上昇する傾向がある。長日条件下ではその逆になり、一ツ玉球形成個体率が上昇する傾向がある。また、栄養生長段階の長日条件は花序形成個体率を低くする後作用を示す。以上のように日長条件も花序形成に大きな影響を及ぼす。しかし、他の条件が花序形成に好都合であればどのような日長下でも花序を形成するので、日長条件は上記の2条件のように花序形成のための必須条件ではない。

貯蔵葉形成段階

栄養生長段階から貯蔵葉形成段階に移行するためには、貯蔵葉形成誘導条件が満たされ、そして誘導直後に約30°C以上の高温条件に一定期間以上あわないことが必要である。貯蔵葉形成誘導状態になるためには、植物体が一定の低温条件あるいは一定の長日条件の少なくともどちらか一方を経過する必要がある。低温条件は2~5°Cが最も効果高く、長日条件は長い日長ほど効果が高い。両条件の作用は相補的であり、低温条件の不足は長日条件を経過させることによって補うことができる。また、長日条件の不足は低温条件を経過させることによって補うことができる。例えば、8時間日長栽培の場合には15°C未満の低温を経過しないと貯蔵葉形成誘導されないが、16時間日長栽培の場合には17°Cでも誘導される。

なお、花成誘導条件は貯蔵葉形成誘導条件を十分に満たしているため、花成誘導された植物体は同時に貯蔵葉形成誘導もされている。

貯蔵葉形成誘導された直後に約30°C以上の高温条件に一定期間さらされると、誘導状態が消失し栄養生長段階に戻る。この効果は高温であるほど大きい。しかし、貯蔵葉形成開始後は高温条件下におかれても栄養生長への逆転は起こりにくくなる。

貯蔵葉の形成・肥大適温域は17~26°Cである。日長は長いほど形成・肥大が促進される。

休眠段階

貯蔵葉形成段階では植物体のすべての芽に貯蔵葉が形成される。そして、貯蔵葉の発達と共にそれらの芽の葉の生長は貯蔵葉の肥大生長を除いて鈍化し、貯蔵葉の肥大生長終了、すなわち球の肥大生長終了と共に芽は生長を全く止める。この時期の球はどのような条件下におかれても芽の生長も発根も起こらない。すなわち、この時期の球はVEGIS(1964)のいうところの真休眠期(true dormancy)に相当する休眠状態になる。本研究ではこの真休眠期から休眠が全く覚醒するまでを休眠段階とした。なお、貯蔵葉形成段階に達した植物体は栄養生長への逆転が起こらなかり引き続き休眠段階へ移行することができる。移行のための特別な条件を必要としない。

貯蔵葉の肥大終了後約2週間が真休眠期にあたる。この期間が過ぎると、発芽適条件である、20°Cで水分がある状態におかれた球は芽の生長を開始すると共に発根する。しかし、その生長力はまだ弱い。この時期はVEGISのいう後休眠期にあたる。

母植物の枯死時の7月上・中旬から乾燥条件下で貯蔵した球は、どの温度条件下でも7月下旬以降になると時の経過と共に休眠が次第に浅くなり、戸外の日陰で貯蔵した球では9月上旬には休眠覚醒状態になる。しかし、休眠の浅くなる速さは貯蔵温度によって異

なり、7月上旬から8月中旬頃までは35~40°Cの高温貯蔵下で最も速く浅くなる。5~10°Cの低温貯蔵でもそれに近い効果がある。しかし、8月中旬頃から覚醒期までは低温貯蔵下で最も速く浅くなり、高温貯蔵は15~25°Cの中温貯蔵と差がなくなる。したがって、休眠を最も速く浅くするには最初に高温貯蔵をし、次いで低温貯蔵をするのがよいと考えられるが、実際には両貯蔵の間に中温貯蔵をそう入すると同程度かそれ以上に休眠が速く浅くなる。なお、0°C以上の温度では15~25°Cの中温下で休眠状態が比較的長く維持されるが、-2°C貯蔵では中温貯蔵より休眠状態が著しく長く維持される。

球の発芽適温域は休眠が深い時期は19°C前後であるが、休眠が浅くなるにしたがって適温域が広がり、休眠覚醒段階の球では15~25°Cになる。なお、水分が球に与えられないと、たとえ温度条件が適切であっても発芽、発根が著しく遅れる。

(2) 栽培法の改善

(i) 種球冷蔵早出し栽培

この作型は花成誘導した種球を秋植えし、年内に花序分化させて、冬の低温、短日の条件下で球の肥大生長を行わせ、早春に収穫する作型である。好適な立地条件は年平均気温が16°C以上の暖地で、長崎、佐賀、高知、徳島、和歌山などに栽培が多い。品種は球形形成のための長日要求度が低い‘宍州早生’が広く用いられている。代表的産地である佐賀県東松浦郡は年平均気温が17°Cで、ここでは種球を7月中旬から9月中旬まで2か月間2~4°Cで低温貯蔵した後に直ちに植付け、2~3月に収穫している。なおこの栽培での花序・側芽分化時は10月下旬である(川崎, 1973)。

この作型で大きな問題となっているのは一ツ玉球形成株と2次生長株が多く発生することである。一ツ玉球は商品価値が著しく低く、2次生長株は裂球しやすく、裂球は商品価値が著しく低い。

一ツ玉球形成株の発生は上記東松浦郡の産地では年により、また土壌条件によって異なるが、多い場合には85%にもおよび、一般に30~40%発生している(勝又, 1974)。一方、2次生長株の発生も多く、阿部と木藤(1975)はこれが早出し栽培の最大の問題であると述べている。

以下に一ツ玉球形成と2次生長の発生原因とその対策について考察する。

一ツ玉球形成

早出し栽培で一ツ玉球形成株の発生が多くなる原因はいろいろ言われているが(八鍬, 1973b; 勝又, 1974; 阿部と木藤, 1975)、これらは以下の3つにまとめられる。(a)小球の植付け。(d)種球の低温処理が強すぎる。(c)種々の原因で初期生育が不良になる場合。(a)はすでに青葉(1966)が秋植え栽培でもみられることを実験的に確かめており、本研究でも種々の角度から実験して追証し、低温誘導時の植物体の大きさが種球でも苗でもある程度以下の場合には花成誘導されないことを明らかにした。(b)は低温貯蔵が長すぎることに相当すると思われるが、花成誘導完了後も種球貯蔵を続けると花序形成個体率が次第に低下し、一ツ玉球形成個体率が増加することは第1章、第3節、第2項で述べたとおりである。また、(c)の条件が花序形成を抑制し、一ツ玉球形成個体率を高める結果になることも同じ箇所でも述べた。

以上の(a)~(c)の要因は取り除くことが可能である。しかし、本研究は変更することのほとんどできない以下の2つの栽培手順が花序形成個体率を低下させる要因になっていることを明らかにした。その1つは花成誘導処理を種球の冷蔵処理でやっているということである。この方法では苗を低温処理した場合に比べて一ツ玉球が形成されやすく、低温処理後の条件が花序形成にきわめて好都合でないかぎり花序形成個体率は100%にはならない。

もう1つの要因は植付け期の9月中旬の気温・地温がまだ高いため花序形成にとってあまり好適でないということである。遅く植付ければ花序形成個体率という点では良いと考えられるが、そうすると後述するように2次生長発生率が高くなり、また、収穫が遅れ、早出し栽培の利点が減じるので、実際には遅く植付けることは避けられている。

2次生長

早出し栽培で2次生長が発生する原因には、(a)側球形成初期の短日条件(青葉, 1966; 高樹・青葉, 1972b)や(b)側芽分化期における窒素質肥料の効きすぎ(阿部・木藤, 1975)などがあげられている。また2次生長の発生は、(c)品種による差の大きいことが明らかにされている(高樹・青葉, 1972b; 木藤ら, 1975)。

(a)の条件下で2次生長する過程は次のように考えられる。側球形成初期の日長条件がある程度以上短かくなると、貯蔵葉形成が遅延する結果、通常保護葉になる側芽第1葉が普通葉として発達し、そして通常貯蔵葉になる側芽第2葉も普通葉ないし保護葉として発達し側芽第3葉以下の葉が貯蔵葉になる。すなわち2次生長を示す。日長がより短く、そしてその短日条件がより長く続けば貯蔵葉形成遅延の程度が大きくなって側芽の貯蔵葉形成節位が上昇し、側芽における展開普通葉数が増加する。

また(b)の条件下で2次生長する過程は次のように考えられる。側芽分化期に窒素質肥料が効きすぎると栄養生長が助長されるため、日長条件が貯蔵葉形成にあまり好適でない場合には側芽の最初の数葉の普通葉化が助長される(未発表)。すなわち2次生長を示す。上記の短日条件と多窒素条件が重なると2次生長が一層激しくなる。

以上のことから2次生長の発生を防止するためには次の3点に留意する必要があると考えられる。(a)最も重要なことは品種の選択で、貯蔵葉形成のための長日要求度がある程度以下のものを選ぶ必要がある。(b)一たん貯蔵葉形成が開始すればその後かなりの短日、低温の条件になっても貯蔵葉の肥大は進むが、側球形成初期の短日、低温の条件は貯蔵葉形成開始を遅延させ、2次生長の発生を促進する。だから、できれば側球形成初期が一年中で最も短日、低温となる12月~1月にならないようにする。このためには側芽分化期が10月中旬~11月中旬になるように冷蔵処理方法、その時期、植付け時期を決める必要がある。

(c)貯蔵葉形成が生理的に開始するまで窒素質肥料が効きすぎないようにする必要がある。特に側芽分化期に窒素質肥料が効きすぎないようにする必要がある。早出し栽培の栽培期間は普通栽培に比べるとかなり短いので追肥は必要でない。元肥の量も2次生長発生防止の観点から普通栽培より少なめにする必要がある。

以上の他にGA処理と長日処理が2次生長発生抑制に有効であることを筆者らは認めている(高樹・青葉, 1972b, 1976b)。今後、両処理の実施が経済的に引き合うかどうかを検討してみる必要がある。

(ii) 普通栽培

普通栽培では異常発育のみられることはほとんどないが、時として2次生長の発生がみられる。2次生長の発生がみられるのは寒地産品種を暖地で栽培した場合や(山田, 1963), 山形県のようなやや寒地で‘ほうき’のような極晩生品種を栽培した場合(高樹・青葉, 1972b)などである。後者の場合には少肥栽培すると2次生長の発生がほとんどみられなくなることを筆者は観察している(未発表)。また、種球が大きいと2次生長が発生しやすいようである。このことは伊藤(1963)も報告している。

普通栽培での2次生長の発生機構は早出し栽培における場合と同様であると考えられる。例えば山形県で‘ほうき’を栽培した場合の2次生長の発生は以下のように説明される。‘ほうき’の花序・側芽分化期は‘山形’とほぼ同時期の4月上旬である。その時期の日長は‘ほうき’の貯蔵葉形成にとっては不十分であるので、少肥栽培のように栄養生長が不良になる条件でない限り、側芽の最初の数葉が普通葉として発達し、2次生長を起こしやすい。しかし、山形県よりある程度以上北方の地方で‘ほうき’を栽培した場合には、春の気温の上昇が遅いので側芽分化期が遅くなり、日長が貯蔵葉形成にとって十分になってから側芽分化するので、2次生長が起りにくくなる。なお、山形県での栽培でも、春植え栽培をするなどして側芽分化期を遅らせれば、多肥条件下でも2次生長しなくなる(未発表)。

側芽分化期に大株になっているものはまだ小株であるものに比べて2次生長を起こしやすい(未発表)。種球が大きい場合に2次生長が起りやすいのは大株になりやすいからと思われる。

以上述べたことから明らかなように、2次生長の発生を防ぐためには適切な品種の選択が重要で、栽培地に適した貯蔵葉形成のための長日要求度をもつものを選ぶ必要がある。筆者はこれまで9年間山形県で‘山形’、‘岩手’、‘岩木’など多くの寒地六片種を栽培してきたが、これらの品種は多肥条件下でも2次生長が全く起こらなかった。なお、もし2次生長を起こしやすい品種を栽培する必要がある場合には、やや遅く植付けるか、種球をやや小さめのものにして側芽分化期までにあまり株を大きくしないようにし、また追肥は控えるのがよいと思われる。

(3) 球の長期貯蔵法

球を収穫時の良品質を保ちながら長く貯蔵するためには貯蔵中の発根、発芽、球の乾燥萎縮、カビの発生などを避ける工夫をする必要がある。ニンニク球は収穫後約2か月は休眠期間であるので、この間は発芽、発根は起こらないが、その後はよほど乾燥した状態でないかぎり0℃前後の温度貯蔵でも徐々に発根してくる。この発根、発芽の抑制のためにはCA貯蔵や(田村, 1975)収穫前にMH(マレイン酸ヒドロラジド)の葉面散布処理を行なうことが(勝又, 1966; LEE, 1968; EL-OKSH ら, 1971)低温貯蔵のみより有効とされ、実際行なわれている。両方法を比較すると設備費が高くつくという点を除けば、CA貯蔵のほうが多くの点でMH処理法よりすぐれている。

ところで、本研究でニンニク球を休眠覚醒前から-2℃前後の温度で貯蔵すると休眠覚醒が著しく遅れることを見出した。そして休眠覚醒球を-2℃で貯蔵すると貯蔵中の発根や芽の生長が0℃以上の温度貯蔵の場合に比べて著しく少なく、貯蔵中の球重の減少も

ほとんどみられなかった。その上、貯蔵中のカビの発生も 0°C 以上の温度貯蔵に比べ著しく少なく、ほとんど問題にならないくらいであった。ニンニク球を休眠覚醒前から -2°C で貯蔵すると休眠状態が長く維持され、そして、たとえ貯蔵中に休眠が覚醒しても低温のため芽の生長や発根が強く抑制され、そのため8か月以上も収穫時の良品質を保ちながら貯蔵することが可能であった。ただ、収穫直後の球は耐凍結性が低く、収穫後直ちに -2°C 前後の温度で貯蔵すると一部の球が凍結した(未発表)。しかし、収穫後1か月程度以上室内貯蔵した球を -2°C で貯蔵した場合には凍結球は全く生じなかった。 -2°C 貯蔵は普通の冷蔵庫ならば大抵可能であり、特別な装置を必要とするCA貯蔵よりかなり安上りになるので、筆者は -2°C 前後の温度での貯蔵はCA貯蔵よりある意味ではすぐれた貯蔵法だと考えている。なお、 -2°C で8か月貯蔵した球は植付け後正常に発育したので、 -2°C 貯蔵は種球の貯蔵法としても適当であることがわかった。

(4) 春植え栽培

既述したように種球冷蔵早出し栽培の現在以上の前進化はニンニクの生態的性質からみて難しい。そこで早出しとは逆の遅出し栽培が可能かどうか以下に理論的に検討してみた。寒地の普通栽培では9月下旬が植付け適期で7月上旬が収穫期であるが、植付け期が年内ならばいくら遅く植付けても収穫期は早く植付けた場合と差がない。だから遅出しのためには植付け期を少なくとも翌春に持ってくる必要があると考えられる。タマネギでは秋植え初夏どりの秋植え栽培とともに春植え秋どりの春植え栽培が成立している。このタマネギの春植え栽培では栄養生長期をなるべく長くとるため球形成のための長日要求度の高い品種を用いている。そして、タマネギは夏の高温に弱いため、この栽培は冷涼地で行われている。ニンニクでも貯蔵葉形成のための長日要求度の高い品種を用いて、種球を花成誘導処理した後に春に植付ければ、その後の温度・日長条件が次第に貯蔵葉の発達に有利になってくるので、春植えは栽培は可能であると思われる。種球の確保は前年夏の収穫球を -2°C 前後の温度で貯蔵すれば、植付け時までに適度な花成誘導も同時になされるので好都合であると思われる。また、植付け期は生育期間をなるべく長くするためと、花序形成時の気温をなるべく低い状態にもってくる必要があるため早いほどよいと思われる。そして種球はなるべく大きいものを用いるのが花序形成個体率を高めるためと、短期間に大きな株に生長させるために必要と考えられる。なお、ニンニクもタマネギほどではないが夏の高温下では生育が不良になり、病虫害の発生が多くなるので、栽培適地はなるべく冷涼な地帯がよいと思われる。

附記：その後の研究により春植え栽培は秋植え栽培に比べて収量が2割ほど劣るものの可能であることがわかった。ただし、山形県における栽培実験では収穫期は秋植え栽培に比べて数日遅れるのみで、秋どりはまだ成功していない(青葉・高樹, 1977; 高樹・青葉, 1978)。

引用文献

- 1) ABDALLA, A. A. & L. K. MANN: 1963. Bulb development in the onion (*Allium cepa* L.) and the effect of storage temperature on bulb rest. *Hilgardia*, 35 (5): 85~112.
- 2) 阿部定夫・川田穰一・歌田明子: 1964. フリージアの開花促進に関する研究 I. 球根冷蔵, 植付け当座の温度ならびに休眠の影響について. 園試報告. A3: 251~317.

- 3) 阿部泰典・木藤繁樹：1975. ビニールハウス利用によるニンニクの早出し栽培. 農及園. 50 (7) : 898~902.
- 4) 青葉 高：1964. タマネギの球形成および休眠に関する研究. 山形大学紀要 (農学). 4 (3) : 265~363.
- 5) —：1966. ニンニクの球形成に関する研究 (第1報) タネ球の大きさ, 日長, 品種が球形成および花序の分化, 発育に及ぼす影響. 園学雑. 35 (3) : 284~290.
- 6) —：1971. 同上 (第2報) 低温処理の影響. 山形農林学報. 28 : 35~40.
- 7) —・高樹英明：1971. 同上 (第3報) タネ球の低温処理ならびに植付け後の日長条件の影響. 園学雑. 40 (3) : 240~245.
- 8) 青葉 高：1972. 球根植物の球形成に及ぼす温度の影響 (第2報) オキザリスの鱗茎形成に及ぼす影響. 園学雑. 41 (4) : 393~397.
- 9) —：1974a. 同上 (第3報) フリージアの二階球形成に及ぼす高温処理の影響. 園学雑. 42 (4) : 341~346.
- 10) —：1974b. 同上 (第4報) 休眠期間中の低温処理がフリージアの二階球形成に及ぼす影響. 園学雑. 43 (1) : 69~76.
- 11) —：1974c. 同上 (第6報) 球根アイリスのりん茎形成について. 園学雑. 43 (3) : 273~280.
- 12) —：1976a. 同上 (第9報) チューリップの鱗茎形成について. 山形大紀要 (農学). 7 (3) : 387~399.
- 13) —：1976b. 球根作物の休眠現象. 農及園. 51 (4) : 491~496.
- 14) —：1976c. 球根形成の季節性と温度条件. 生物環境調節. 14 (3) : 81~90.
- 15) 青葉 高・高樹英明：1977. ニンニクの春植え栽培に関する研究 (第1報). 園芸学会秋季大会発表要旨 : 208~209.
- 16) DENNY, F. E : 1936. Storage temperatures for shortening the rest period of gladiolus corms. Contr. Boyce Thomson Inst. 8 : 137~140.
- 17) EL—OKSH, I. I., A. S. ABDEL—KADER, Y. A. WALLY and A. F. EL—KHOLLY : 1971. Comparative effects of gamma irradiation and maleic hydrazide on storage of garlic. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96 (5) : 637~640.
- 18) 平尾陸郎・横井正治：1965. 寒地におけるニンニクの品種と栽培. 農及園. 40 (2) : 362~368.
- 19) 比屋根義一：1965. にんにく種球の低温処理が生育収量に及ぼす影響. 琉球農試研究報告. 2 : 57~63.
- 20) 今津 正：1959. 蔬菜生産技術Ⅰ. タマネギ. 誠文堂新光社.
- 21) 伊藤正輔：1963. にんにくの栽培. 農家の友. 15 : 25~30. (八敏：1973bから引用).
- 22) JONES, H. A. & L. K. MANN : 1963. Onions and their allies. Leonard Hill [Books] Limited, London.
- 23) 加藤照孝：1950. 玉葱の花芽分化に関する研究. 昭和23・24年園芸試験場試験成績. (宍戸・斎藤：1976から引用).
- 24) 加藤 徹・福元康文・古藤英司：1974. ニンニクの割れ球発生に関する研究. 園芸学会秋季大会発表要旨 : 150~151.
- 25) 勝又広太郎：1966. 暖地におけるニンニクの品種と栽培. 農及園. 41 (11) : 1628~1634.
- 26) —：1974. ニンニクの早出し栽培. 農及園. 49 (9) : 1147~1150.
- 27) 川崎重治：1973. 精農家のネギ類栽培技術. ニンニク暖地¹⁾~3月どり栽培 (宍岐早生). 農業技術大系野菜編 8, 応用編 : 121~127. 農山漁村文化協会.
- 28) 木藤繁樹・阿部泰典・福岡省二：1975a. ニンニクの発芽に関する研究 (第2報). 発芽に及ぼす

- 低温処理の影響. 園芸学会春季大会発表要旨: 138~139.
- 29) —・福岡省二・阿部泰典: 1975b. ニンニクの早採り栽培に関する研究. 徳島農試研報. **14**: 25~30.
- 30) 国際冷凍協会推薦データ. 2nd. (1967). 日本生物環境調節学会編 (1973): 生物環境調節ハンドブック. 東京大学出版会の P.651 から引用.
- 31) 小西国義: 1972. 花卉栽培における低温処理問題. ミチューリン生物学研究. **8**(1): 42~49.
- 32) LEE, W. W.: 1968. On the retardation of garlic sprouting in storage by MH-30 application. Agr. Coll. Kyungpook Nat. Uni. **1**: 4~8.
- 33) MANN, L. K.: 1952. Anatomy of the garlic bulb and factors affecting bulb development. Hilgardia. **21** (8): 195~251.
- 34) MANN, L. K. and D. A. LEWIS: 1956. Rest and dormancy in garlic. Hilgardia. **26** (3): 161~189.
- 35) MANN, L. K. and P. A. MINGES: 1958. Growth and bulbing of garlic (*Allium sativum* L.) in response to storage temperature of planting stocks, day length, and planting date. Hilgardia. **27** (15): 385~419.
- 36) 小川 勉・森 憲昭: 1973. ニンニクの結球に関する研究 (第2報). 低緯度産品種の結球に及ぼす温度と日長の関係および低温経過の必要性について. 園芸学会秋季大会発表要旨: 248~249.
- 37) 小川 勉・森 憲昭・松原徳行: 1975. ニンニクの分布と結球生態に関する研究. 長崎県総合農試研報(農業). **3**: 3~21.
- 38) 小口伴二・大谷英夫・牛流清志: 1974. ニンニクの休眠および貯蔵に関する研究. 長野農試報. **38**: 239~247.
- 39) 島田恒治・庄崎豊一: 1954. 葫の品種改良に関する研究. I. 花, 珠芽, 地下鱗茎の分化生長に就いて. 佐賀大農学彙報. **2**: 1~33.
- 40) 宍戸良洋・斎藤 隆: 1976. タマネギの花序形成における低温感応に対する苗の性状の影響. 園学雑. **45** (2): 160~167.
- 41) TACKHOLM, V. and M. DRAR: 1954. Flora of Egypt. Bull. Fac. Sci. Egypt. Univ., Vol. III, xii+644pp. (JONES and MANN: 1963. Onions and their allies から引用)
- 42) 高樹英明・青葉 高: 1972a. ニンニクの球形成に関する研究 (第4報). 花序分化に及ぼす温度と日長の影響. 園芸学会春季大会発表要旨: 170~171.
- 43) —・—: 1972b. 同上 (第5報). ニンニク側芽の二次生長現象について. 園芸学会秋季大会発表要旨: 132~133.
- 44) —・—: 1973. 同上 (第6報). 花序形成と中心球形成の条件. 園芸学会秋季大会発表要旨: 250~251.
- 45) —・—: 1975. 同上 (第9報). 頂芽の試験官内培養. 園芸学会秋季大会発表要旨: 154~155.
- 46) —・—: 1976a. ニンニク球の形成に関する研究 (第5報). 補光期の光源の種類が生育と球および花序の形成に及ぼす影響. 山形大学紀要(農学) **7** (3): 401~418.
- 47) —・—: 1976b. 同上 (第6報). 生長調節物質処理が生長と球形成に及ぼす影響. 山形農林学会報. **33**: 39~49.
- 48) —・—: 1978. ニンニクの春植え栽培に関する研究 (第2報). 園芸学会秋季大会発表要旨: 178~179.
- 49) 田村 勉: 1975. 北海道特産野菜の生産と貯蔵. 園芸新知識. **30** (27): 40~42.
- 50) 寺分元一: 1975. タマネギのりん茎形成に及ぼす低温の影響. 園芸学会春季大会発表要旨: 188~189.

- 51) 塚本洋太郎：1953. グラジオラスの休眠打破. 園芸学研究集録. 6 : 131~136.
- 52) TSUKAMOTO, Y. & T. ANDO : 1973. Effect of storage temperature on dormancy and sprouting in Dutch Iris bulbs. Environ. Control in Biol. 11 : 69~78.
- 53) VEGIS, A : 1964. Dormancy in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 15 : 185~224.
- 54) 八鍬利郎：1963. 葱属植物の分蘖・分球に関する研究. 北海道大学農学部邦文紀要. 4 (2) : 130~214.
- 55) ———：1973a. ニンニク・その他のネギ類=植物としての特性. I. ニンニク. 農業技術大系野菜編 8, 基礎編 : 28~36. 農山漁村文化協会.
- 56) ———：1973b. ニンニク・その他のネギ類=生育のステージと生理, 生態. I. ニンニク. 農業技術大系野菜編 8, 基礎編 : 111~140. 農山漁村文化協会.
- 57) 山田嘉夫：1959a. にんにくの栽培温度条件と冷蔵効果について I. 佐賀大学農学彙報. 8 : 23~34.
- 58) ———：1959b. にんにくの栽培温度条件と冷蔵効果について II. 佐賀大学農学彙報. 9 : 79~91.
- 59) ———：1963. 葫の栽培に関する実験的研究. 佐賀大学農学彙報. 17 : 1~38.

Summary

The present work was conducted to investigate effects of external and internal factors on the bulb formation and dormancy in the Japanese garlic plants. Utilizing the obtained results, I discussed the improvement of the cultivating methods and the development of a new cropping type and of a longrange storing method of bulbs. The results are summarized as follows.

Bulb formation

1) The bulbing process of the Japanese garlic plants was a unity consisting of two formative processes of an inflorescence and storage leaves. In case of the normal season culture, a plant initiated an inflorescence primordium and clove primordia (=axillary buds) at almost the same time, and later on storage leaves were formed. For the Japanese garlic plants, clove primordia were formed at the axils of only two neighboring foliage leaves which were adjacent to the flower stalk. Two to five clove primordia were usually formed at each axil. The first leaf of a clove primordium developed into a protective leaf, and the second one a storage leaf.

2) In case of the season-off culture, it often happened that a plant did not form an inflorescence but formed only one storage leaf. A bulb formed thus is usually named a single-clove bulb. In case of the season-off culture, an intermediate type between the type forming a single-clove bulb and the type forming a normal bulb were observed. For the intermediate type, several cloves were formed but an inflorescence was not formed, and at the terminal bud of the mother plant, a storage leaf was formed, and the terminal bud developed into a clove.

3) Both the process of inflorescence formation and the process of storage leaf formation, each was found to be consisted of the two processes of induction and formation.

4) For the purpose of the induction of storage leaf formation, a plant had to be exposed to the low temperatures or to the long days for a certain period. Both seed-bulbs and growing plants were induced when exposed to the low temperatures. But, the low temperature effect on dormant seed-bulbs was less, and the deeper rest of seed-bulbs was, the less the inductive effect was.

5) The optimum temperature range to induce storage leaf formation was found to be 2 to 5°C. Below 2°C, lowering temperature reduced greatly the inductive effect, and above 2°C, rising temperature lowered slightly the inductive effect. The temperature range being possible to make the cultivar 'Yamagata' the induced state was found to be over -2 to 17°C usually. The above temperature range differed in cultivar and daylength after chilling.

6) The longer the daylength was, the greater the inductive effect of storage leaf formation was. The low temperature effect and the long-day effect were complementary to each other concerning the induction of storage leaf formation.

7) Cold and long-day requirements for storage leaf formation varied with the cultivar. Those requirements of the plants cultivated at the warm regions of Japan were smaller than those of the plants cultivated at the cool regions of Japan. For some of the varieties cultivated at the warm regions of Japan, storage leaf formation was induced even at 20°C and under 8-hour daylength. If such varieties were exposed to low temperatures or long days, storage leaves of those plants were formed earlier.

8) After the induction of storage leaf formation was accomplished, the formation and swelling of a storage leaf were most promoted at the warm temperatures (17 to 26°C) and under long days. But, after induced, even at low temperatures and under short days, a storage leaf was possible to be formed and to swell slowly.

9) The thermoinduced state of storage leaf formation disappeared and the plant reverted to vegetative growth when the plant immediately after chilling was exposed to high temperatures above 30°C for more than a certain period. But, after storage leaf formation began, the reversion to vegetative growth failed to take place. If the plant reversed to vegetative growth was chilled, the plant was possible to be induced again.

10) For the purpose of the induction of inflorescence formation, a seed-bulb or a growing plant of more than a certain size had to be exposed to low temperatures not more than 13°C for a certain period. In this case, the larger the plant was, the more easily inflorescence formation was induced. The optimum temperature range of induction of inflorescence formation was found to be 2 to 5°C. If a plant was exposed to the optimum temperature, the induction of inflorescence formation was accomplished after 2 to 3 months.

11) For the purpose of the initiation of inflorescence, the flower-induced plant had to be grown at temperatures of not more than 13°C. The lower the growing

temperature was and the shorter the daylength was, the higher was the percentage of plants initiated inflorescences.

12) For the purpose of normal development of an inflorescence primordium, the plant had to be grown at low temperatures and under daylength not being long day during the early stage of inflorescence development.

Dormancy

13) A sprout in a clove during the late stage of swelling in the field lost vigor of growth gradually as it was near the optimum time of harvesting (about July 11). From the optimum time of harvesting to 2 weeks after, the sprout hardly grew and rooting of the clove was not noticed at all even if the mother plant or the clove was grown under the optimum condition of sprouting. When the clove was planted under the optimum condition of sprouting, the sprout of the clove renewed growth at the second week after the optimum time of harvesting. At the same time, rooting of the clove was noticed. As time goes by, growths of the sprout and roots of the clove under such a condition became more and more vigorously. Then, growth of the sprout of the clove planted at a fairly high temperature renewed and the clove rooted. After that, at the beginning of September, the sprout of the clove stored in a common room renewed growth. The foregoing indicates that a clove of garlic 'Yamagata' did not grow at all from the time of harvesting to the second week after, irrespective of the external conditions (VEGIS (1964) termed this dormant state true dormancy). After that, the clove showed the state of post-dormancy. And at the beginning of september, the state of post-dormancy terminated, even if the clove was stored in a common room after harvesting.

14) If a clove in the state of post-dormancy was planted and a good watering was given, rooting of the clove commenced at same time as elongation of the sprout of the clove. But, rooting of the clove stored in a common room delayed markedly.

15) When rest of a clove was deep, its optimum sprouting temperature range was about 19°C. But, when its rest awakened, its optimum sprouting temperature range became the temperatures between 15 and 25°C.

16) Difference of weight of a seed-bulb had little effect on number of days to sprout emergence.

17) Cloves were planted in moist sand at about 19°C after preplanting storage at 0.5, 5, 9(10), 15, 20, 25, 30, 35 and 40°C for about one to ten weeks from a half month after harvest. For cloves stored for about a week, sprout emergence was most rapid after preplanting storage at 40°C; emergence was next after storage at 35°C, and 30°C thirdly. After preplanting storage for about two weeks, cloves stored at 5 to 10°C sprouted almost as rapid as cloves stored at 30 to 40°C. After preplanting storage for four weeks or more, cloves stored at 5 to 10°C sprouted more rapidly than cloves stored at 30 to 35°C, as a rule. Cloves stored at 15 to 25°C usually

sprouted most slowly. Cloves stored at 35°C for nine hours and at 5°C for fifteen hours every day sprouted most rapidly after preplanting storage for one to four weeks. At any storage temperature, as the storage period was longer, numbers of days from planting to sprout emergence usually decreased. Cloves stored at room temperature sprouted most slowly when the storage period was short. But, as the storage period became longer, ranking in rapidity of sprout emergence became higher relatively. And cloves stored at room temperature till autumn sprouted as rapidly as cloves stored at 5°C.

18) For high storage temperatures, cloves kept at high humidity during the storage, sprouted earlier than cloves kept at uncontrolled humidity, after planting. For low storage temperatures, the above trend was not observed.

19) The storage at high humidity promoted rooting of cloves during the storage, and rooting of cloves stored with the desiccant agent (silica gel) was utterly inhibited. The storage at 5 and 10°C promoted rooting of cloves during the storage, but, for the storage at -2°C, rooting was not observed at all.

20) Weight loss of cloves kept at high humidity during the storage was less than weight loss of cloves stored by the common method. Weight loss of cloves stored at temperatures below 0.5°C was very little.

21) When cloves were stored at 0.5°C for eight months from a month after harvest, sprouting during the storage was not observed, but withering and gathering mold of the cloves were observed. When cloves were stored at -2°C for eight months, those aforementioned were observed little. Sprouting, rooting and subsequent growth after planting of the cloves stored at 0.5°C and -2°C were normal.

22) If mother plants or cloves were exposed to high temperatures (about 30°C and over) for several weeks before or after harvest, those cloves sprouted earlier than the cloves of the plants exposed to intermediate or cool temperature (about 20°C and less), after planting. The above trend was observed at whichever temperature the cloves were stored before planting. If plants or cloves were exposed to high temperatures before chilling storage, the effect of chilling storage on promoting sprout emergence increased.

23) If cloves were possible to absorb water easily (for example, the bottoms of cloves were immersed in water), sprout emergence did not delayed though roots of cloves were cut daily. But, sprout emergence delayed markedly when water was not supplied for cloves after rooting.

24) When cloves in the after-rest phase were stored at 5 to 15°C before planting, rooting and development of root system of the cloves after planting were promoted. The optimum temperature was about 10°C. The temperatures between 20 and 35°C did not have the above effect. Sprouting of cloves in the after-rest phase after planting was promoted when the cloves were stored at 5 to 10°C and 30 to 35°C. Therefore, it is admitted that the temperatures between 5 and 10°C have the

after-effect on promoting both sprout emergence and root growth of cloves in the after-rest phase.

25) The sprouting responses of cloves in various developmental and dormant stages on various storage temperatures are summarized as follows. For the cloves dug up at the fourth week before the optimal time of harvesting, the high temperature (35°C) hastened sprout emergence, but the low temperature (5°C) delayed it as compared with the intermediate temperature (20°C). For the cloves dug up at the optimal time of harvesting, both the high and low temperatures hastened sprout emergence, and the high temperature slightly more hastened than the low temperature. For the cloves at the first half phase of post-dormancy, both the high and low temperatures hastened sprout emergence, but, in this case, the low temperature slightly more hastened it than the high temperature. For the cloves at the latter half phase of post-dormancy, only the low temperature hastened sprout emergence slightly. For the cloves immediately after rest awakened, the effect of storage temperature on sprouting made no great difference (in the case of storage for three weeks). For the cloves at the second week after rest awakened, the high temperature delayed sprout emergence.

26) Cloves of the extremely late cultivar 'Hoki' were stored at seasonal alternating temperatures from the beginning of August (just after harvested) to the end of September (the time of planting). The storage period was divided into three equal parts or quarters and the cloves were stored at 35°C, 20°C or 5°C during each part. When the cloves were stored at the alternating temperature of '35°C→20°C→5°C', sprout emergence was most rapid. The cloves stored at the alternating temperatures of '5°C→20°C→5°C', '35°C→35°C→20°C', '35°C→5°C→5°C', and '35°C→5°C→20°C', sprouted more rapidly. But, the alternating temperatures of '20°C→20°C→20°C', '20°C→20°C→5°C', and '20°C→20°C→35°C' delayed sprouting extremely. In those cases, the cloves were not stored at the high or low temperatures during the first part or the middle part of the storage period. When the cloves were stored at the intermediate temperature during all the period (20°C→20°C→20°C), sprout emergence was slowest. In this case, only thirty-seven percent of the cloves sprouted until the end of autumn.