HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ギョウジャニンニクの形態・発育特性及び栽培化に関する基礎的研究
Author(s)	金澤, 俊成
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 18(2), 109-163
Issue Date	1993-03-10
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12149
Type	bulletin (article)
File Information	18(2)_p109-163.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大農邦文紀要　18(2)：109～163, 1993

ギョウジャニンニクの形態・発育特性及び栽培化に関する基礎的研究*

金　澤　俊　成
（北海道大学農学部果樹蔬菜園芸学講座）

（平成4年9月8日受理）

Basic Studies on Morphological Characteristics, Growth Habits and Cultivation Methods of *Allium victorialis* L. ssp. *platyphyllum* Hult.

Toshinari KANAZAWA
(Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

目　次

緒　　論 …… 109
第1章　形態的特性 …… 110
　Ⅰ.栄養器官 …… 110
　Ⅱ.生殖器官 …… 112
　Ⅲ.種　子 …… 118
第2章　種子の発芽 …… 119
　Ⅰ.種子の発芽過程 …… 119
　Ⅱ.種子の発芽と環境要因 …… 119
第3章　発育と分げつ …… 122
　Ⅰ.発育特性 …… 122
　Ⅱ.分げつ特性 …… 126
　Ⅲ.根の不定芽形成による株の増殖 …… 132
第4章　生育と栄養物質の消長 …… 132
　Ⅰ.成株の1生育期における生体重及び乾物重の変化 …… 132
　Ⅱ.無機成分含有量の変化 …… 134
　Ⅲ.炭水化物含有量の変化 …… 139
第5章　休眠現象 …… 140
第6章　開花及び花粉の特性 …… 142
　Ⅰ.開花過程 …… 142
　Ⅱ.花粉の発芽 …… 144
　Ⅲ.花粉の貯蔵 …… 145
第7章　組織培養における形態形成 …… 147
　Ⅰ.茎盤部からの多芽体形成 …… 147
　Ⅱ.根からの不定芽形成 …… 150
第8章　栽培化に関する基礎技術 …… 152
　Ⅰ.圃場に取り播きした種子の発芽 …… 152
　Ⅱ.自生地における種子の発芽と実生の生長 …… 153
第9章　総合考察 …… 155
摘　　要 …… 156
謝　　辞 …… 158
引用文献 …… 158
Summary …… 162

緒　　論

ギョウジャニンニク（*Allium victorialis* L. ssp. *platyphyllum* Hult.）は，日本国内では本州の奈良県以北，北海道に分布し，千島列島，朝鮮半島，シベリアにも広く分布するユリ科ネギ属植物である。[42),53)] ギョウジャニンニクの名称は，修行中の行者達が深山に自生しているものを利用したことに由来し，北海道では一般にアイヌネギと呼ばれている。[3)] 植物体の香りは強いニンニク臭をもつが古くから山菜として利用され，若い葉はやわらかく，ゆでてひたし物やあえ物として食されている。

ネギ属作物の中には，ネギのように葉身部と葉鞘部を食用にする種とタマネギやニンニクのように球状に肥大した葉鞘部，いわゆるりん茎を利用する種があり，いずれも古くから野菜として食生活に定着してきた。また，各種とも特有の臭気と辛みをもつことから，生食用のみならず香辛料や薬としても広く用いられている。[64)]

*本報は北海道大学審査学位論文の一部である。

ギョウジャニンニクにも特有の香気成分があるが，その同定及び生成機構については西村[69]が詳細に研究を行っており，ギョウジャニンニクの臭気には含硫化合物を主成分とするニラ臭，ニンニク臭及び漬物臭などが大きく関与していることを明らかにした。また，ギョウジャニンニクの香気成分の中には，抗血栓作用や肝脂肪抑制効果をもつ化合物が存在することが報告されている。[70]

このように，ギョウジャニンニクの成分中に他のネギ属作物とは異なる特有の薬理効果が認められることから，近年，いわゆる機能性植物としての利用についての関心も高まっている。したがって，野菜としての需要は著しく伸びており大量に採取する傾向にあるが，生産技術は確立されておらず自生地より採取しているのが現状である。

ギョウジャニンニクは他のネギ属作物に比べてとりわけ生活環が長く，特に自生地においては種子から成株に至るまでには少なくとも7～8年間を要するといわれる。[40] また，成株の地上部を採取した場合には，元の大きさに再生するまでにはさらに数年間を要するといわれることから，今後も現在のように大量の採取を続けていくと枯渇するおそれがある。そこで，野菜として安定した供給を行うために新たに栽培技術を確立する必要性が求められている。[68,83～87]

本研究は，以上のような背景をもとにギョウジャニンニクの栽培化を目的として，その基礎となる植物としての特性及び栽培条件を明らかにしようとしたものである。

第1章　形態的特性

植物の形態的特性は生活環と密接に関係しており，各器官の形態が種に特有であることは，種間及び属間の近縁関係を推定する上で重要な指標となる。

本章では，ギョウジャニンニクの栄養器官，生殖器官及び種子の形態的特性について観察を行い，他のネギ属作物と比較した。

I. 栄養器官

材料及び方法

材料は北海道大学農学部附属農場そ菜園に栽植してあるギョウジャニンニクの実生及び成株を用い，外部形態ならびに内部形態を経時的に観察した。組織学的観察は酢酸アルコールで固定した材料についてパラフィン切片を作製し，デラフィールドのヘマトキシリンにより染色して行った。[88]

結　　果

1. 植物体の外部形態

Fig. 1は発芽した実生が第1葉期に達したもので，他のネギ属作物の実生と比べると子葉が短く，本葉は第1葉から偏平である点が大きな特徴である。さらに，ネギやタマネギなどほとんどのネギ属作物では第1葉出葉後，数日または10数日間隔で順次規則的に出葉するのに対して，ギョウジャニンニクではFig. 1の状態で1シーズンを経過し，第2葉は翌シーズンに認められる。

Fig. 2は発芽後2～5年目の植物体の状態で，葉数は2年目では1葉，3年目では1～2葉，4～5年目では1～3葉（まれに4葉）となる。2～3年目以降の越冬した休眠株では萌芽葉が本葉の前に出葉するが，この点はニンニクと同様である。

発芽後4年目以降の成株では，地下部にやや肥大したりん茎が存在し，外側は旧葉の葉鞘基部が繊維状に残ったもので包まれている。また，4年目以降には抽台する株もみられるが，抽台株では普通葉の葉鞘掌合部から花茎が抽出し，頂部に白い小花からなる花球が認められる（Fig. 3）。

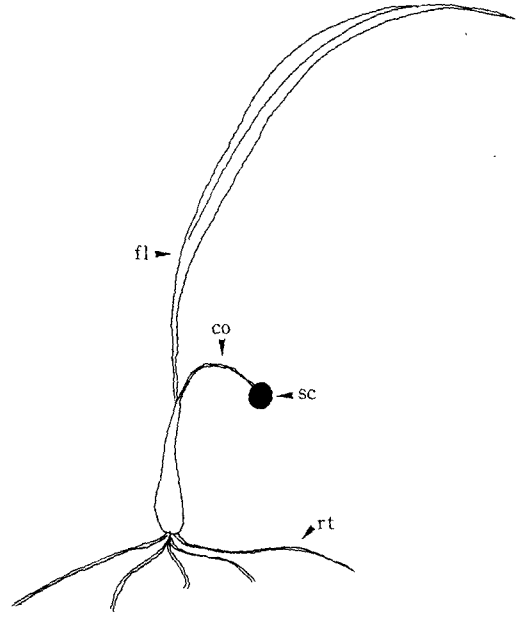

Fig. 1. Morphological structures of a seedling. (co) cotyledon. (fl) first leaf. (rt) root. (sc) seed coat.

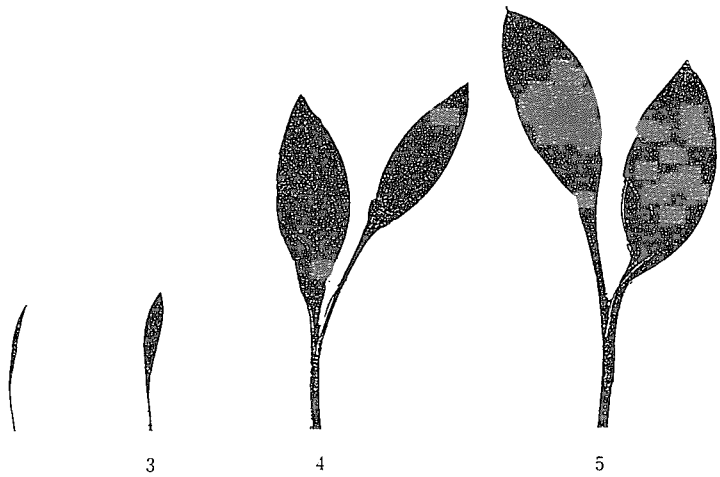

Fig. 2. Development of a foliage leaf after seed germination. Numbers indicate years after seed germination.

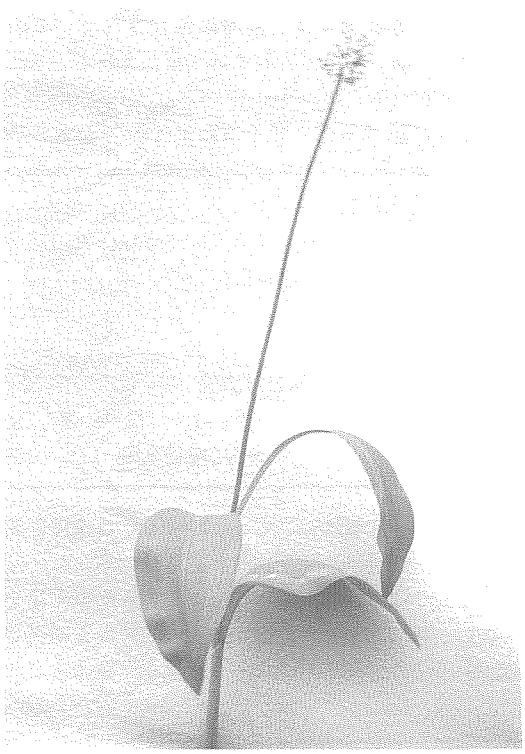

Fig. 3. Morphological features of an adult plant.

2. 子　　葉

子葉は直径約1 mmの円筒状で，緑色を呈している。長さは1 cm程度と極めて短いために，圃場に播種した場合は地上に現れない場合も多い。また，子葉の中間部に生ずる折り目（膝部）が明瞭でない点が特徴の一つである。

3. 普 通 葉

普通葉は葉身部と葉鞘部からなり，葉の形状は同一年次の葉では節位が高まるに従い葉身幅が狭くなる。成株では萌芽葉の出葉後，その先端部を割って1/2葉序で出葉し展葉する。定植後4年を経過した株の葉の形状では，葉身長と葉身幅の比に1.8～8.2の幅がみられ，概して節位が高いほど比が大きく，個体間にはかなりの差が認められた（Table 1)。また，発芽後の年数が進むに従い葉身長と葉身幅も大きくなるが，特に葉身長に対する葉身幅の比が大きくなる。

4. 萌 芽 葉

萌芽葉は越冬株が最初に地上に萌出する鞘葉で，葉身をもたず長さは8～10 cm（地上では4～5 cm）で伸長が停止する。

5. り ん 茎

葉鞘基部の肥厚した部分をりん茎と称し，通常，赤紫色である。外側には展開葉の葉鞘部が1～3葉重なっており，その内側には萌芽葉及び普通葉の原基がみられ，茎盤部上に生長点が存在する。古い株では前年の葉鞘基部の維管束群が網状に残り，りん

Table 1. *Growth and foliage leaf shape of plants cultivated for four years after planting.*

Line	No. of tillers	No. of leaves[z]	1st leaf			2nd leaf			3rd leaf		
			Length (A) (cm)	Width (B) (cm)	Ratio (A/B)	Length (A) (cm)	Width (B) (cm)	Ratio (A/B)	Length (A) (cm)	Width (B) (cm)	Ratio (A/B)
Y 1	4	2.5	26.6	4.1	6.5	29.0	3.9	7.4	31.8	3.9	8.2
Y 2	19	2.9	18.0	6.9	2.6	19.9	6.0	3.3	15.2	2.3	6.6
Y 3	18	2.7	12.1	10.3	1.2	22.9	7.5	3.1	21.3	5.1	4.2
Y 4	9	3.1	24.8	7.2	3.4	26.1	7.0	3.7	26.6	5.8	4.6
Y 5	4	3.3	28.8	6.8	4.2	29.8	6.8	4.4	29.0	6.3	4.6
Y 6	10	2.9	26.2	7.4	3.5	27.4	6.7	4.1	29.5	5.1	5.8
Y 7	9	3.0	28.5	10.2	2.8	30.4	9.7	3.1	30.8	8.0	3.9
Y 8	5	2.6	29.4	8.9	3.3	30.5	7.8	3.9	29.2	6.2	4.7
Y 9	2	3.0	24.3	9.3	2.6	28.8	8.1	3.6	27.0	3.5	7.7
Y10	4	2.5	30.3	7.9	3.8	32.6	7.4	4.4	33.0	6.6	5.0
Y11	8	2.8	27.8	8.1	3.4	29.3	7.7	3.8	28.2	6.5	4.3
Y12	2	3.0	27.5	8.3	3.3	28.8	7.6	3.8	30.0	6.6	4.5
Y13	3	3.0	22.3	7.3	3.1	24.3	7.6	3.6	25.2	5.5	4.6
Mean	7.5	2.9	25.1	7.9	3.2	27.7	7.1	3.9	27.4	5.5	5.0

[z] Numbers of foliage leaves per plant.

茎の外側を覆っている。

6. 根

根はりん茎の基部から発生するが，太さは直径1～2 mm で根毛や分岐根は少ない。横断面をみると最も外側は表皮で覆われ，内側に比較的大きな細胞で構成された皮層が存在する（Fig. 4)。さらに中心部には，内皮で囲まれた維管束部が認められる。

考　　察

ギョウジャニンニクの各器官の形態は，次の諸点で他のネギ属作物と類似し，または異なり特徴的であった。

子葉の形態は他のネギ属作物と類似していたが，長さは短くやや太めで，ネギやタマネギにみられる子葉の折り目（膝部）が明瞭でない点が大きな特徴としてあげられる。ネギ属作物の葉序は1/2であるが[30,98]ギョウジャニンニクにおいても同様であった。萌芽葉は越冬株において普通葉の伸長前に萌芽する葉であるが，形態的にはニンニクの場合と大きな差は認められなかった。ネギ属作物の普通葉の葉身部は円筒状（ネギ，タマネギ，アサツキ，ワケギなど)，多角状（ラッキョウなど）の単面葉及び細長い偏平状葉（ニンニク，リーキ，ニラなど）に分けられるが[98]ギョウジャニンニクでは幅の広い披針形を呈している点が重要な特徴である。同一年次に展開した普通葉では概して節位が高いほど葉身幅が狭く，葉身部全体が細長い形になる傾向が認められた。これは普通葉がりん茎内に包合されている時に，節位が高い葉ほど内側に折りたたまれているためと考えられる。

りん茎は葉鞘基部の膨らみによる影響が大きいが，タマネギやニンニクのように球状にはならないことが特徴である。

根はネギやタマネギに比べてやや太いが，内部形態は他のネギ属作物と類似していた。

II. 生殖器官

材料及び方法

材料はギョウジャニンニク，ネギ‘松本一本’，タマネギ‘札幌黄’，アサツキ‘札幌在来’，ニラ‘大葉ニラ’，リーキ，ギガンチューム及びオレオフィルムを用いた。花球については小花数及び花球径を測定し，花茎については長さ及び太さを測定した。

花器については完全に開花したと思われる小花を採取し，解剖した後に各器官の形態的特性を調査した。子房部の観察はパラフィン切片を作製することにより行った。

花粉の形態は岩波[36]の方法に従い，花粉の長径及び短径をミクロメータを用いて測定した。また，走査型電子顕微鏡（日立 S-800）による観察もあわせて行った[82]。

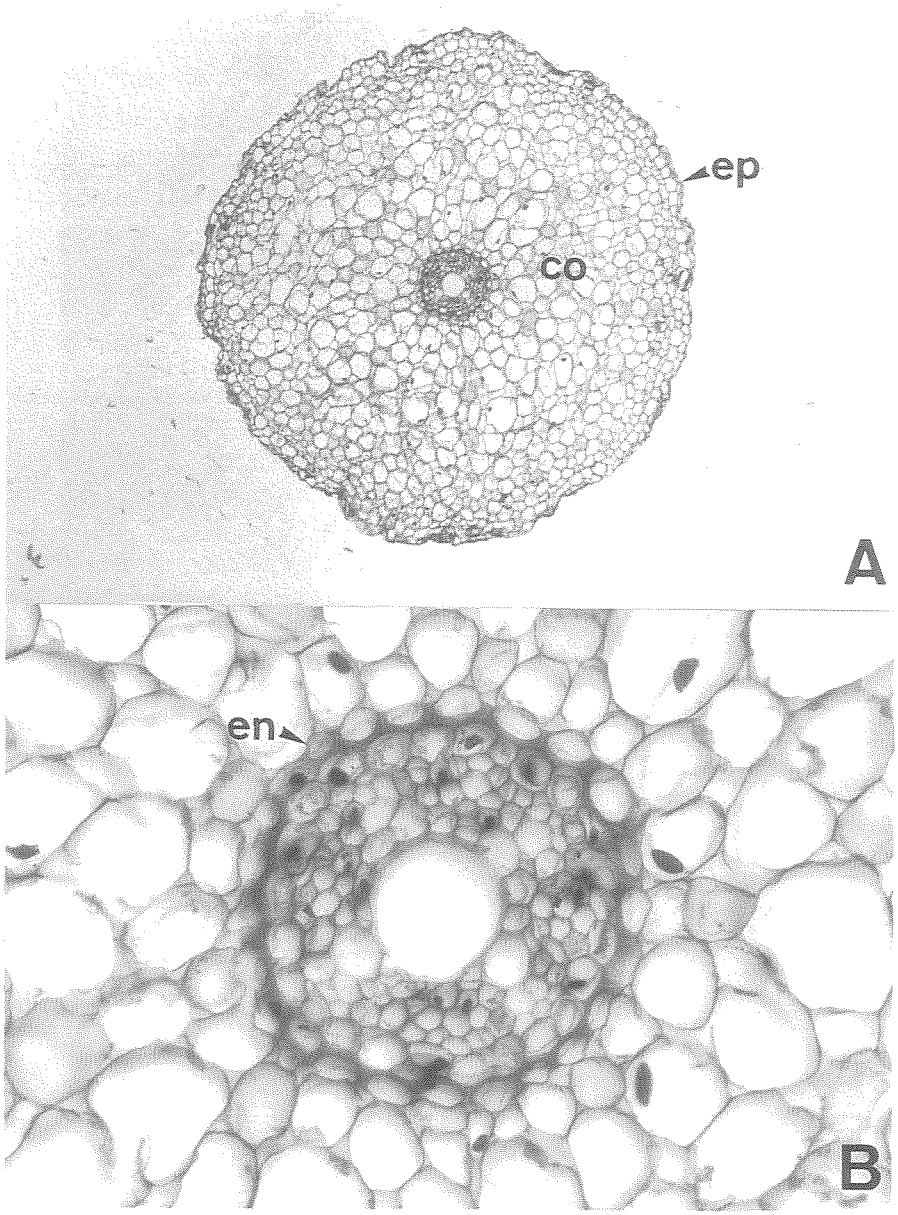

Fig. 4. Structure of root.
(A) Horizontal section of root.
(B) Vascular bundle.
(co) cotyledon. (en) endodermis. (ep) epidermis.

果実については，開花30日以後に外部形態の観察を行った。

結　　果

1. 花球と花茎

1花球当りの小花数は68.1で，他のネギ属作物と比較すると少なかった（Fig. 5，Table 2）。花茎の長さは短く，横断面はニラと同様に楕円形を呈し，長径の頂部に稜が認められた。

2. 小　　花

内花被は外花被に比べて長く，幅の広い披針形または楕円形で偏平であった。一方，外花被は細長く，中央部にくぼみがみられた（Fig. 6）。花糸の

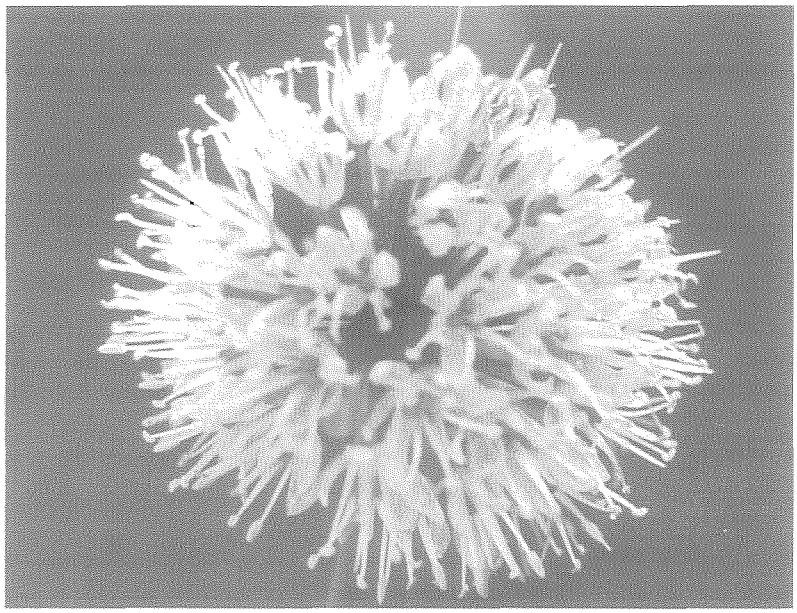

Fig. 5. Appearance of an umbel.

Table 2. Comparison of umbels and flower stalks of *Allium* species[z].

Species	Cultivar	No. of florets per umbel	Diameter of umbel (mm)	Length of flower stalk (cm)	Diameter of flower stalk (mm)[y]		
					Upper	Middle	Lower
A. victorialis		68.1± 4.1	48.7±0.8	40.7±1.3	3.2±0.2	4.4±0.2	4.9±0.3
A. fistulosum	Matsumoto-ippon	204.1±19.6	79.9±2.9	53.2±1.6	11.1±0.7	23.9±1.0	20.7±0.9
A. cepa	Sapporo-ki	525.7±51.5	83.4±1.6	100.0±1.6	10.9±0.4	32.0±0.9	16.1±0.7
A. schoenoprasum	Sapporo-zairai	63.8± 3.1	29.0±0.6	40.4±0.8	1.7±0.1	2.6±0.1	2.9±0.1
A. tuberosum	Ooba-nira	106.1± 4.5	65.9±1.3	65.7±1.6	2.9±0.8	4.4±1.0	6.3±0.2
A. ampeloprasum		266.4±34.1	121.9±2.8	95.1±2.2	8.0±0.2	9.5±0.3	12.4±0.5

[z] Data in the table represent mean ± S. E.

[y] Numbers stand for diameters of a central part of three equally divided portions of a flower stalk.

幅は先端部から基部にかけて広がっていたが，広がりの程度は外花糸に比べて内花糸が顕著であった。また，花糸の基部には鋸歯は認められなかった。

子房室の内径は他のネギ属作物に比べて大きく，3室が明瞭に突出していることが観察された（Fig. 7, Table 3)。胚珠は他のネギ属作物では1室に2個存在したが，ギョウジャニンニクでは1室に1個であった（Fig. 8)。

3. 花　　粉

ネギ属作物の花粉はいずれも楕円形で，中央部に膨らみがみられた（Fig. 9)。ギョウジャニンニクの花粉の長径と短径は各々46.8 μm，31.3 μm で，ギガンチュームやアサツキの花粉に比べて約1.5倍大きかった（Table 4)。花粉の表面には特に大きな凹凸はみられず，表面全体に小さな線が多数広がり，線の交差する箇所に孔隙がみられた（Fig. 10)。

4. 果　　実

果実は子房の場合と同様に，3室が明瞭に突出しており表面は滑らかであった。色は開花が終わると濃い緑色となり，成熟する頃には黄色となって果皮が裂開した。

果実の1室内に有する種子数は他のネギ属作物が2個であるのに対して，ギョウジャニンニクでは1個である。したがって，1果実の中の種子数は他のネギ属作物では6個が標準であるが，ギョウジャニンニクは3個となる。

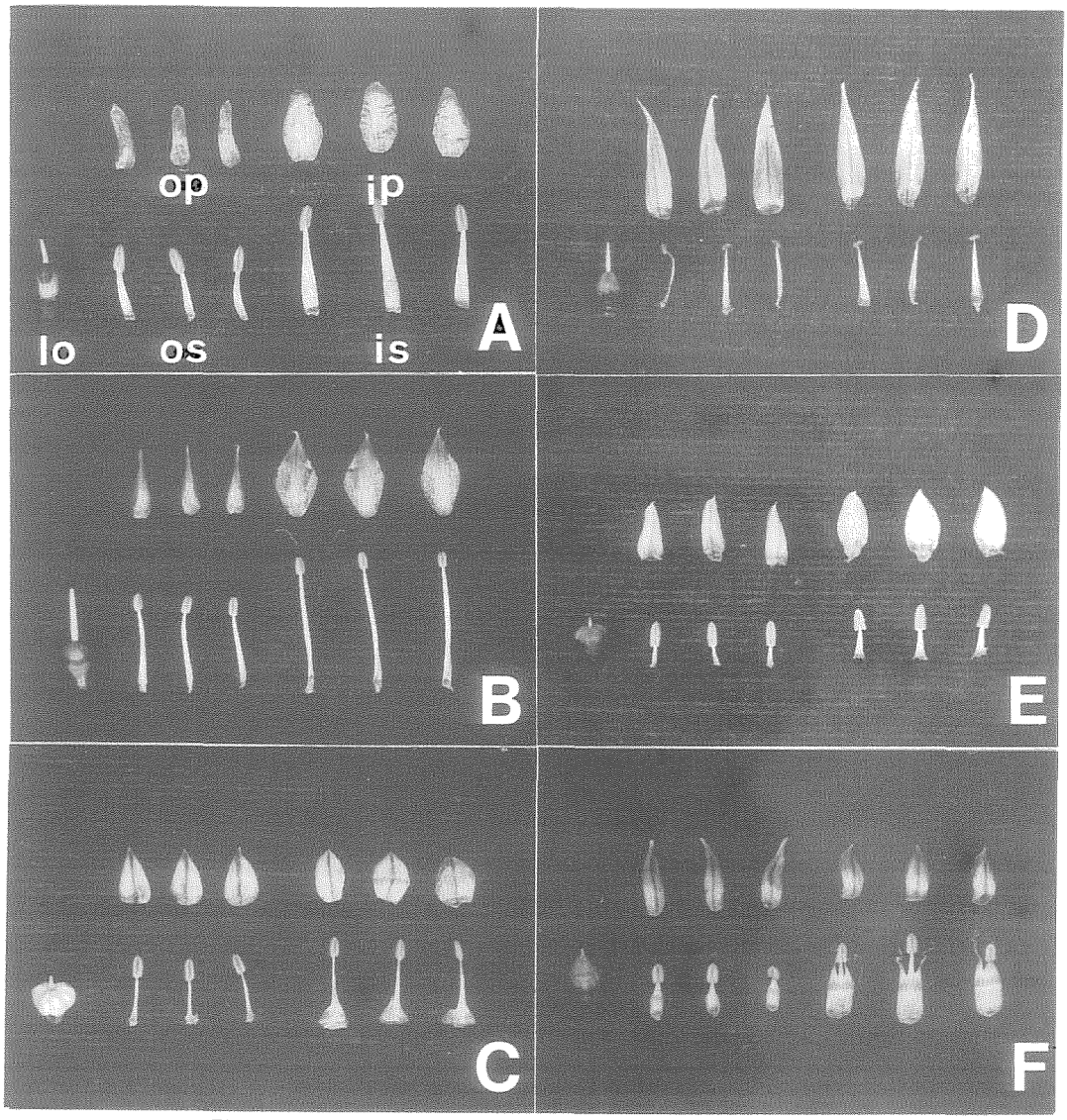

Fig. 6. Anatomical observation of florets of *Allium* species.
(A) *A. victorialis.*
(B) *A. fistulosum* (cv. Matsumoto-ippon).
(C) *A. cepa* (cv. Sapporo-ki).
(D) *A. schoenoprasum* (cv. Sapporo-zairai).
(E) *A. tuberosum* (cv. Ooba-nira).
(F) *A. ampeloprasum.*
(op) outer perianth. (ip) inner perianth. (lo) loculus.
(os) outer stamen. (is) inner stamen.

考　　察

ネギにおいては，採種能率を高めるために適切な肥培管理により花芽数及び小花数を増加させる必要性が指摘されている。[16~20] ギョウジャニンニクにおいても，種子繁殖を行うためには肥培管理された採種圃を設けて小花数を増加させるなど，安定した採種条件を確立することが重要であると考えられる。

花器では内花被が外花被に比べて長いことや内花被と外花被の形が異なることが，特徴の一つと考えられた。花糸の基部にみられる鋸歯は，ネギ属作物

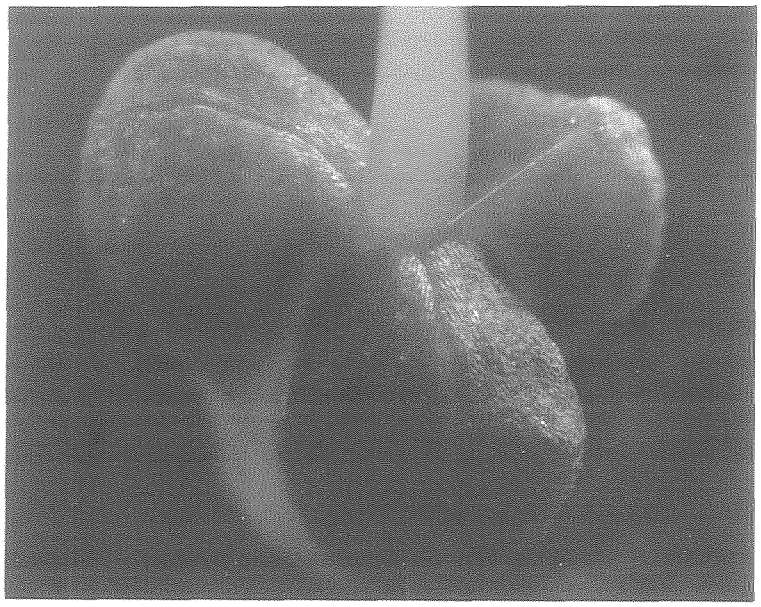

Fig. 7. Appearance of an ovary.

Table 3. Comparison of ovules and loculi of *Allium* species.

Species	Cultivar	No. of ovules	Size of locule[z]		Size of ovule[z]	
			Long diameter (μm)	Short diameter (μm)	Long diameter (μm)	Short diameter (μm)
A. victorialis		3	135.0 (100)	97.5 (100)	111.0 (100)	76.8 (100)
A. fistulosum	Matsumoto-ippon	6	75.0 (56)	54.0 (55)	58.5 (53)	38.4 (50)
A. cepa	Sapporo-ki	6	88.5 (66)	64.5 (66)	73.5 (66)	28.5 (37)
A. schoenoprasum	Sapporo-zairai	6	69.9 (52)	43.8 (45)	42.9 (39)	32.2 (42)
A. tuberosum	Ooba-nira	6	99.0 (73)	78.9 (81)	66.0 (59)	29.3 (38)
A. ampeloprasum		6	73.5 (54)	55.5 (57)	50.4 (45)	32.0 (42)

[z] Numbers in parentheses indicate percentages to the value (100) of seeds of *A. victorialis*.

を分類する際の重要な特性の一つであるが[2,38,73]，ギョウジャニンニクでは認められなかった。

ネギ属作物の子房は3室または不完全3室に分かれ，各室に2個から数個の胚珠があるが[13,30,37~39]，ギョウジャニンニクの場合は子房室が大きく，3室が明瞭に突出していることに加えて，胚珠が通常1室に1個しか存在しないことが認められた。このことは，これまでに記載されていなかった大きな特徴の一つといえる。

花粉の形や大きさは植物の特性を表す上で重要な指標となるが[36,96]，ネギ属作物の花粉はいずれも中央部に膨らみのある楕円形であることが共通した特性であった。また，ギョウジャニンニクの花粉は他のネギ属作物に比べて大きいことも特徴的であった。花粉の形態を走査型電子顕微鏡を用いて観察し，種間及び品種分類の指標にした例が報告されているが[31,52,55,66,90,95]，ネギ属作物においても種を分類する上で十分に応用できるものと考えられる。

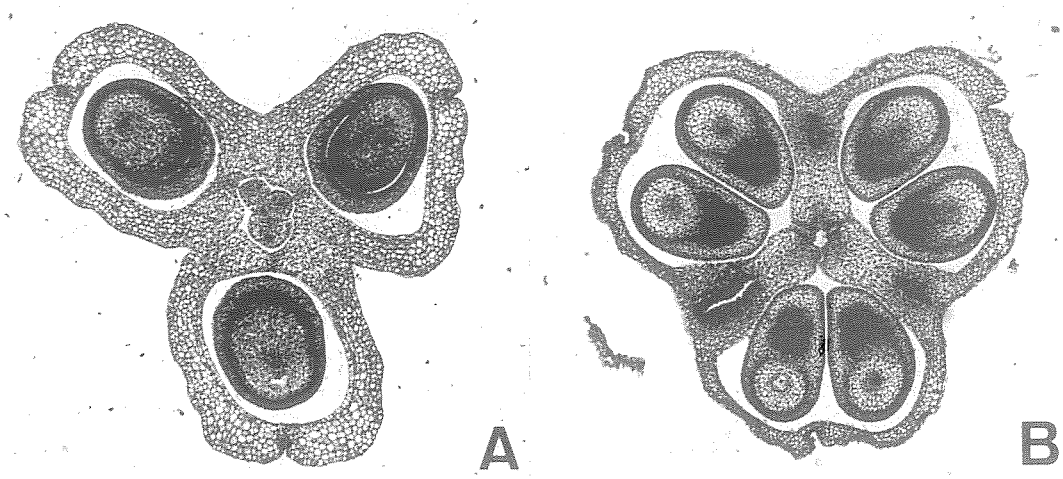

Fig. 8. Horizontal sections of ovaries.
(A) *A. victorialis.*
(B) *A. fistulosum* (cv. Matsumoto-ippon).

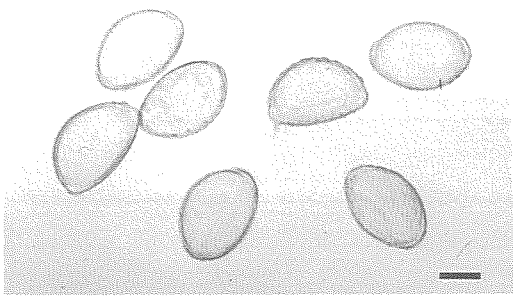

Fig. 9. Pollen grains. Scale bar indicates 20 μm.

Table 4. Morphological characteristics of pollens of *Allium* species[z].

Species	Cultivar	Pollen size		
		Length (A) (μm)	Width (B) (μm)	Ratio (B/A)
A. victorialis		46.8 a	31.3 a	0.67 b
A. tuberosum	Ooba-nira	38.3 b	22.6 c	0.59 d
A. fistulosum	Matsumoto-ippon	33.2 c	20.7 d	0.64 bc
A. ampeloprasum		33.1 c	26.6 b	0.80 a
A. oreophilum		32.2 cd	19.6 d	0.61 cd
A. giganteum		31.8 de	19.6 d	0.62 cd
A. schoenoprasum	Sapporo-zairai	30.9 e	20.0 d	0.64 dc

[z] Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

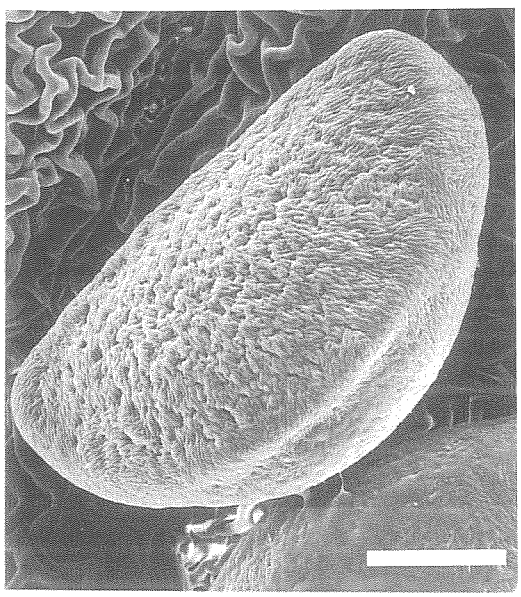

Fig. 10. Scanning electron micrograph of a pollen grain (×3,000). Scale bar indicates 10 μm.

III. 種　　子

材料及び方法

材料はギョウジャニンニク，ネギ‘松本一本’，‘石倉太葱’，タマネギ‘札幌黄’，ニラ‘大葉ニラ’及びリーキの種子を用いた。種子の外部形態を観察するとともに，100粒重を測定した。種皮の形態観察はII.と同様に走査型電子顕微鏡（日立S-800）により行った。

結　　果

1. 種子の外部形態と大きさ

種子は球形で，種皮は外観上滑らかで光沢がみられた（Fig. 11 A）。一方，他のネギ属作物の種子は一つの面が平面をなす盾形であり，稜が認められた（Fig. 11 B）。種子の100粒重は1.08gで，他のネギ属作物に比べて特に大きかった（Table 5）。

2. 種　　皮

(1) 細胞の形と大きさ

種皮の細胞の形は4～8角形まで観察されたが，6角形の細胞と5角形の細胞が多かった。1細胞の大きさはギョウジャニンニクは801.07×10^{-3}mm^{2}と最も小さく，ニラでは3,576.07×10^{-3}mm^{2}と最も大きかった（Table 6）。

Table 5. Comparison of weights of 100 seeds of *Allium* species.

Species	Cultivar	Weight of 100 seeds (g)	Index of weight[z]
A. victorialis		1.08	100
A. fistulosum	Matsumoto-ippon	0.33	31
A. cepa	Sapporo-ki	0.40	37
A. schoenoprasum	Sapporo-zairai	—	—
A. tuberosum	Ooba-nira	0.45	42
A. ampeloprasum		0.38	35

[z] Indices represent percentages to the value (100) of a weight of 100 seeds of *A. victorialis*.

Table 6. Comparison of cell dimension and intercellular layer in seed coat of *Allium* species.

Species	Cultivar	Cell dimension (×10^{-3}mm^2)	Width of intercellular layer (μm)
A. victorialis		801.07	5.68
A. fistulosum	Ishikura-futonegi	1,390.51	6.96
A. cepa	Sapporo-ki	1,553.38	6.75
A. tuberosum	Ooba-nira	3,576.07	—
A. ampeloprasum		2,527.59	—

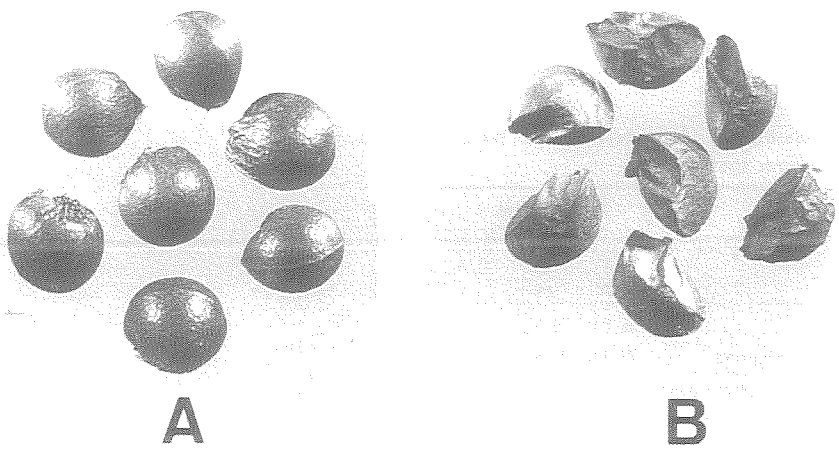

Fig. 11. Morphological structures of seeds.
(A) *A. victorialis*.
(B) *A. fistulosum* (cv. Matsumoto-ippon).

(2) 細胞中層の形態

種皮の細胞は密着しておらず，細胞中層が明確に認められた。細胞中層の幅はギョウジャニンニクでは5.68 μm とネギやタマネギに比べて小さく，細胞と中層の起伏も小さかった（Fig. 12)。

3. 胚と胚乳

発芽直前の種子を縦断した結果，白色の胚と半透明の胚乳が観察された。胚の長さは3 mm 程度で他のネギ属作物に比べて短く，胚乳内での胚の巻き込みが小さかった。

考　察

ギョウジャニンニクの種子は球形であることが特徴の一つであるが，他のネギ属作物の種子は1子房室に2個の種子ができるために，種子の接している部分は平面となり盾形となる。[98] すなわち，種子の形は子房室内の胚珠数や形状に起因するものと思われる。また，種子の100粒重が大きかったことも，子房室の内径，胚珠の数及び大きさが関連していると考えられる。

種皮における細胞の形及び細胞の配列はネギ属作物に共通した特性であり，6角形及び5角形が基本形であった。ギョウジャニンニクの種皮が滑らかで光沢がみられたことは，表面に凹凸がみられず，小さな細胞が密集して構成されていることによるものと考えられる。特に，細胞と細胞中層の起伏は種皮の形状に大きく影響するものと思われる。

ネギ及びタマネギの胚は「の」の字に似た形で胚乳中に存在するが，[30,43,98] ギョウジャニンニクでは種子内の胚の長さが3 mm 程度で，胚乳内での巻き込みも小さかった。これは，ギョウジャニンニクの種子の形態的特徴の一つであると思われる。

第2章　種子の発芽

種子の発芽特性を明らかにすることは，増殖方法を確立するための基礎となり栽培化に役立つばかりでなく，植物の繁殖様式を知る上でも重要な意義を有する。

本章では，ギョウジャニンニクの種子の発芽特性について述べる。

I. 種子の発芽過程

材料及び方法

材料は採種圃場から採種したギョウジャニンニクの種子を用いた。直径9 cm のシャーレ内のろ紙上に播種し，20℃暗所の条件下で発芽させ，播種後，第1葉の出葉が認められるまで経時的に観察を行った。

結　果

種子はシャーレに置床後1～2日で膨らんだが，発芽開始までには約1か月を要した。まず，種子のへそ部が膨らみ，白い幼根の先端が現れた。発芽3～4日後には幼根が伸長し，幼根の上部1～2 mm の部分がやや肥大した。発芽1週間後には，子葉が白色から淡緑色に変化した。また，幼根の上部がさらに肥大し，子葉，りん茎及び根が外観的に明確になった（Fig. 13 A)。発芽2～3週間後には子葉が濃緑色となった。子葉，りん茎及び幼根はさらに伸長したが，特に根の伸長が著しかった（Fig. 13 B, C)。発芽4週間後には子葉の長さはほとんど変化せず，個体によってはりん茎の基部から新しく発根がみられた（Fig. 13 D)。発芽6～8週間後にはりん茎の伸長が著しく，子葉とりん茎の境界から第1葉の出葉が観察された（Fig. 13 E)。

考　察

種子の発芽過程は他のネギ属作物と同様であった。[39,98] しかし，発芽までに要する日数が他のネギ属作物では播種後数日であるのに対し，ギョウジャニンニクでは発芽に適した条件においても約1か月を要し，極めて遅いことが特徴であった。また，第1葉が出葉するまでには発芽後6～8週間を要し，この点についても他のネギ属作物に比べて極めて生長が遅かった。

II. 種子の発芽と環境要因

材料及び方法

1. 光及び温度の影響

材料は1988年8月上旬に採種した完熟種子（以下1988年の種子と略）を用いた。光条件は明所（16時間日長，2,500 lx）及び暗所とし，温度条件は10°，15°，20°，25°，30℃（ただし30℃は暗所のみ）の合計9区を設けた。発芽試験の方法はⅠ.と同様とし，発芽率の調査は播種後60日に行った。

2. 低温，高温及び変温による前処理の影響

材料は1987年8月上旬に採種し，5℃恒温室内で約1年間貯蔵した完熟種子（以下1987年の種子と略）及び1988年の種子を用いた。温度条件は0°，10°，30℃の恒温及び15℃と25℃を12時間ずつ交互に与えた変温とし，各々10，20，30日間前処理

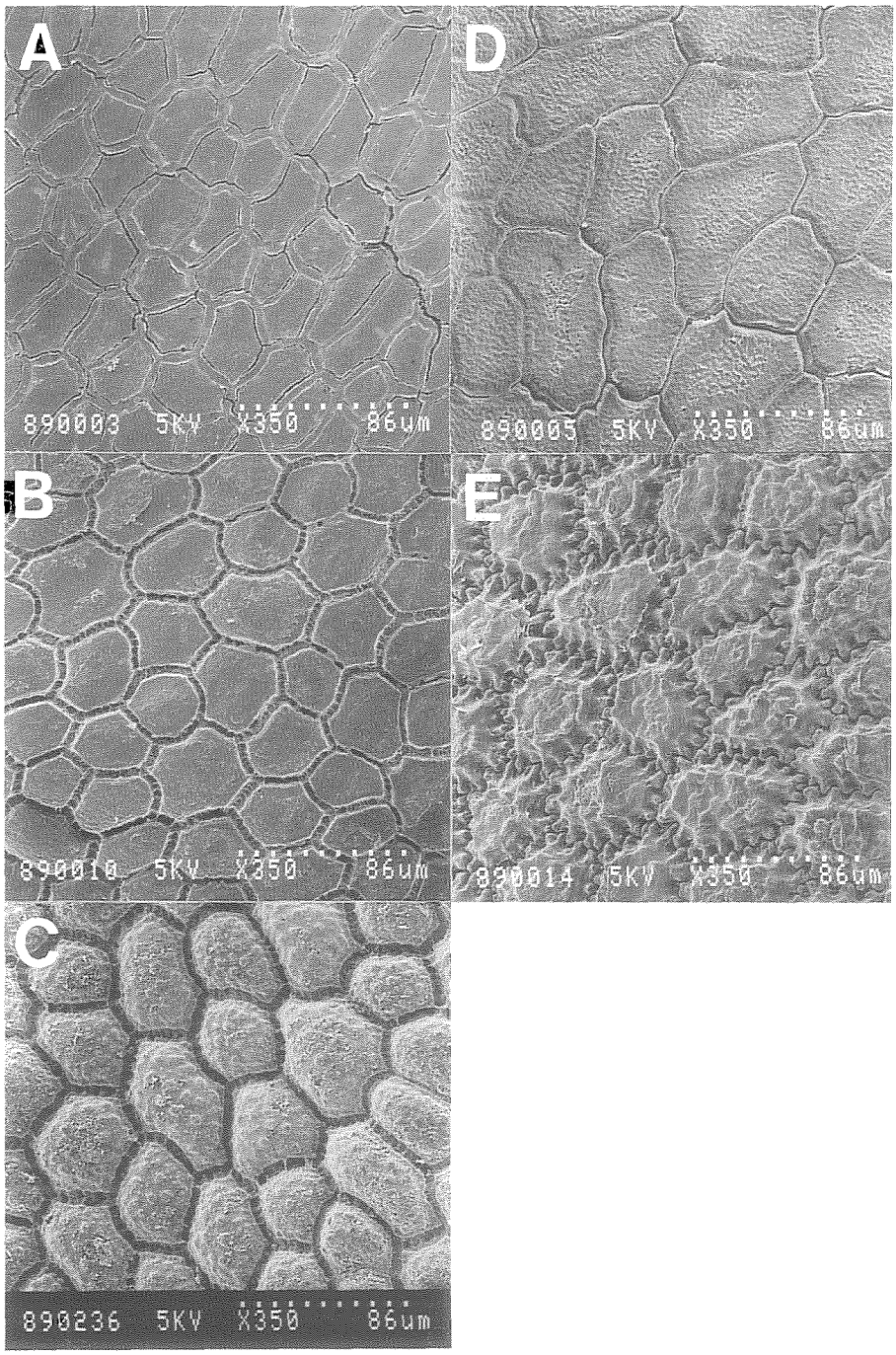

Fig. 12. Scanning electron micrograph of seed coat of *Allium* species (×350).
(A) *A. victorialis.*
(B) *A. fistulosum* (cv. Ishikura-futonegi).
(C) *A. cepa* (cv. Sapporo-ki).
(D) *A. tuberosum* (cv. Ooba-nira).
(E) *A. ampeloprasum.*

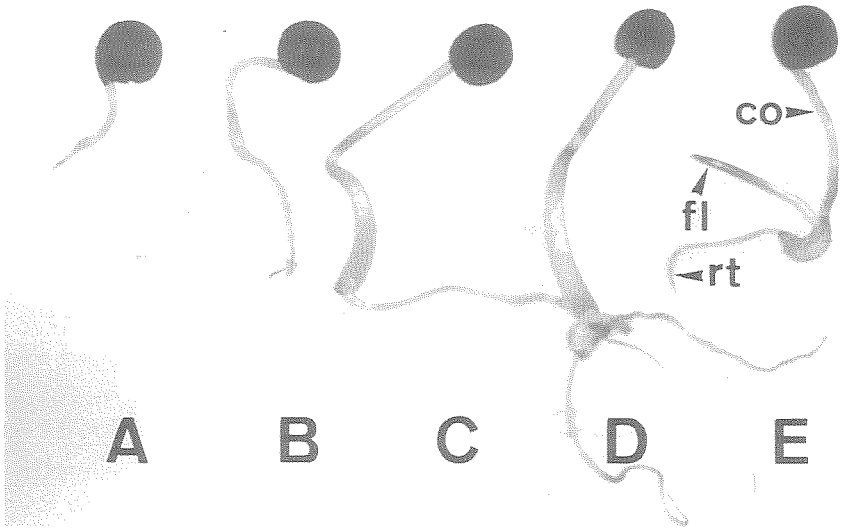

Fig. 13. Process of seed germination.
(A) 1 week after seed germination.
(B) 2 weeks after seed germination.
(C) 3 weeks after seed germination.
(D) 4 weeks after seed germination.
(E) 6-8 weeks after seed germination.
(co) cotyledon. (fl) first leaf. (rt) root.

した後に20℃暗所に移した。また，各前処理に用いた温度を60日間続けた区及び20℃継続の区も設けて前処理区と比較した。発芽試験の方法及び発芽率の調査は1.と同様とした。

3. 薬剤処理の影響

材料は1987年の種子を用いた。薬剤はKNO_3(2,000 ppm)，ジベレリン(25, 50, 100, 200 ppm)及びBA(10, 100 ppm)を用い，種子を室温で24時間浸漬した後に20℃暗所で発芽試験を行った。発芽試験の方法及び発芽率の調査は1.と同様とした。

結　果

1. 光及び温度の影響

光条件については，発芽率は暗所が明所に比べて高かった（Table 7)。温度条件については，20℃及び25℃での発芽率が暗所で各々56%，50%であった。本実験では20℃と25℃では大きな差は認められなかったが，播種後60日以降の観察では25℃における発芽率は変化せず，20℃ではやや高くなる傾向が認められた。10℃及び30℃では播種後60日までに発芽は認められず，以後も発芽しなかった。

2. 低温，高温及び変温による前処理の影響

発芽率は30℃の高温前処理を20日間以上行った後に20℃に移した区が20℃継続の区に比べて高く，その効果は1988年（採種当年）の種子を用いた場合において顕著であった（Table 8)。また，15℃と25℃の12時間ごとの変温による前処理ではさらに効果が大きく，30日間の前処理では両年の種子とも20℃継続の区に比べて2倍以上の高い発芽率を示した。一方，0℃及び10℃の低温前処理では発芽率が著しく低下した。各前処理の温度を60日間継続した場合には，20℃継続の区に比べて発芽率が極めて低かった。

3. 薬剤処理の影響

発芽率はジベレリンによりわずかに高くなる傾向がみられた（Table 9)。また，KNO_3やBAでは顕著な効果はみられなかった。

Table 7. Effects of light and temperature on seed germination.

Temperature (℃)	Rate of seed germination (%)[z]	
	Light	Dark
10	0	0
15	3	5
20	28	56
25	0	50
30	—[y]	0

[z] After 60 days of incubation.
[y] No test.

Table 8. Effect of pretreatment at low or high temperature on seed germination.

Years of seed production	Rate of seed germination (%)				
	Temperature of pretreatment (℃)	Period of pretreatment (days)			
		0	10	20	30
1987	20 (Cont.)[z]	23	—	—	—
	0	—	5	0	0
	10	—	0	0	0
	30	—	32	35	42
	15↔25	—	32	44	54
1988	20 (Cont.)[z]	43	—	—	—
	0	—	8	1	0
	10	—	2	0	0
	30	—	43	62	61
	15↔25	—	48	74	90

[z] The incubation was constantly carried out at 20℃.

Table 9. Effect of chemicals on seed germination.

Chemicals	Concentration (mg/l)	Rate of seed germination (%)[z]
Water (Cont.)	—	23
KNO_3	2,000	12
GA	25	41
	50	42
	100	28
	200	43
BA	10	23
	100	18

[z] After 60 days of incubation.

考　　察

発芽率は20℃で最も高かったが，15℃と25℃においても発芽がみられたことから，ギョウジャニンニクの種子の発芽温度は15°～25℃の範囲と推定された。一般にネギ属作物の種子の発芽適温は，15°～20℃と他の作物に比べて低いことが知られている。[3~5] また，ギョウジャニンニクの種子の発芽率は21℃が良好であり，光条件についても暗発芽性があることが報告されており，[83] 以上の報告は筆者の結果ともほぼ一致している。

発芽率を高める方法として高温処理が有効であることは報告されているが，[67] ギョウジャニンニクにおいても発芽適温に置く前の高温及び変温による前処理は，種子の発芽率を高める方法として効果的であった。逆に前処理として低温処理を行った種子では，発芽率が低下する傾向が認められた。一方，種子の休眠打破に用いられる KNO_3 やジベレリン，BA などの薬剤処理の効果は，温度処理に比べて顕著な効果は認められなかった。

以上の結果から，ギョウジャニンニクの種子では前処理として高温処理または変温処理を20日間以上行うことにより発芽率を高めることが可能であった。また，この方法では採種後1年を経過した種子においても効果が認められ，実際に利用できる極めて有効な前処理方法と思われる。

第3章　発育と分げつ

ギョウジャニンニクでは種子繁殖のほかに分げつによる栄養繁殖も行うため，繁殖方法や栽培方法を確立するためには分げつ機構を解明することが重要である。

本章では，実生及び成株における発育特性と分げつ機構について観察した。なお，成株を調査中に，根に不定芽を形成して株が増殖する現象を見出した。これは他のネギ属作物にはみられない極めて珍しい現象であるため，特に項を設けて記述することとした。

I. 発育特性

材料及び方法

材料は北海道立林業試験場において1985年より毎年8月に種子を取り播きし，栽培している発芽後2～6年の実生を用いた。1989～1990年6月上旬に草丈，葉鞘径，葉数及び抽台数について調査を行っ

た。また，株を掘り上げ，葉，りん茎及び根に分け，りん茎径及び葉面積を測定した後，乾物重を測定した。

成株については，外部形態ならびに内部形態の観察を経時的に行った。

結　　果

1. 実生の生育特性

草丈，葉鞘径及びりん茎径は発芽後の年数（以下年数のみ記す）とともに増加した（Table 10）。特に，草丈は3年目の株では13.7 cmであったが，4年目の株では29.4 cmとなった。また，葉面積についても同様の傾向が認められた。

葉数は2年目の株では1葉であったが，3年目の株で2葉の株がみられた。4～6年目の株には2～3葉の株が多くなり，まれに4葉の株も認められた。

1株当りの乾物重は発育年数とともに増加し，特に葉の乾物重が3～4年に著しく増加した（Fig. 14, Fig. 15）。

抽台は発芽後4年以降に認められた（Fig. 16）。抽台率は4年目の株で26%，5年目の株で38%，6年目の株では68%と生育年数とともに高くなる傾向を示した。

2. 成株の生育特性

1シーズンにおける地上部の発育過程を春の状態から順次説明すると，次のとおりであった。

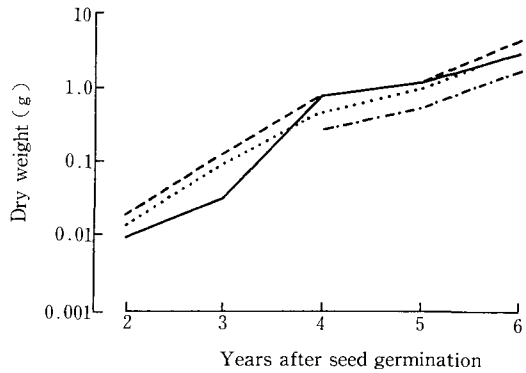

Fig. 15. Time course change of dry weights of leaf (——), bulb (----), root (····), and flower stalk (-•-•-) in 2-6 years after seed germination.

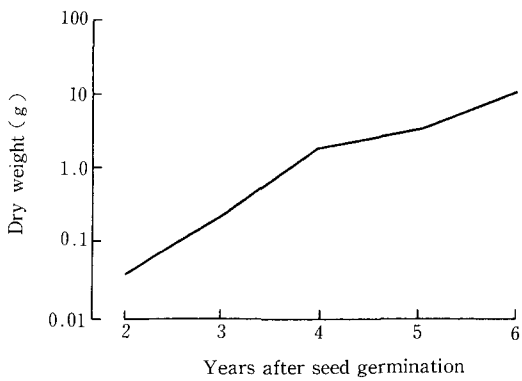

Fig. 14. Time course change of dry weights of plants in 2-6 years after seed germination.

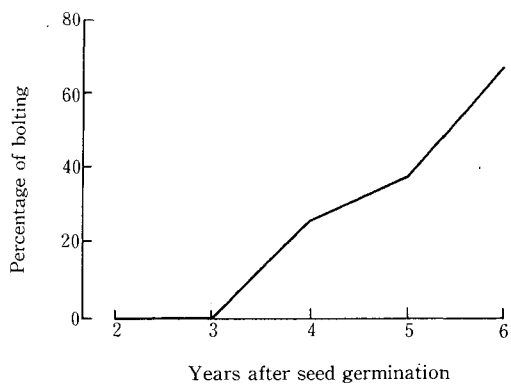

Fig. 16. Time course change of bolting rate in 2-6 years after seed germination.

Table 10. Growth of plant height, sheath diameter, bulb diameter and leaf area[z].

Years after seed germination	Plant height (cm)	Diameter of sheath (mm)	Diameter of bulb (mm)	Leaf area (cm^2)
2	7.8±0.15	0.9±0.02	2.8±0.05	1.7± 0.06
3	13.7±0.22	1.4±0.03	5.7±0.14	6.9± 0.40
4	29.4±0.67	4.9±0.43	10.1±0.53	90.1±13.65
5	34.7±0.67	7.5±0.37	12.0±0.54	142.0± 9.47
6	38.1±1.81	7.8±0.30	14.3±0.44	158.6±14.90

[z] Data in the table represent mean ± S. E.

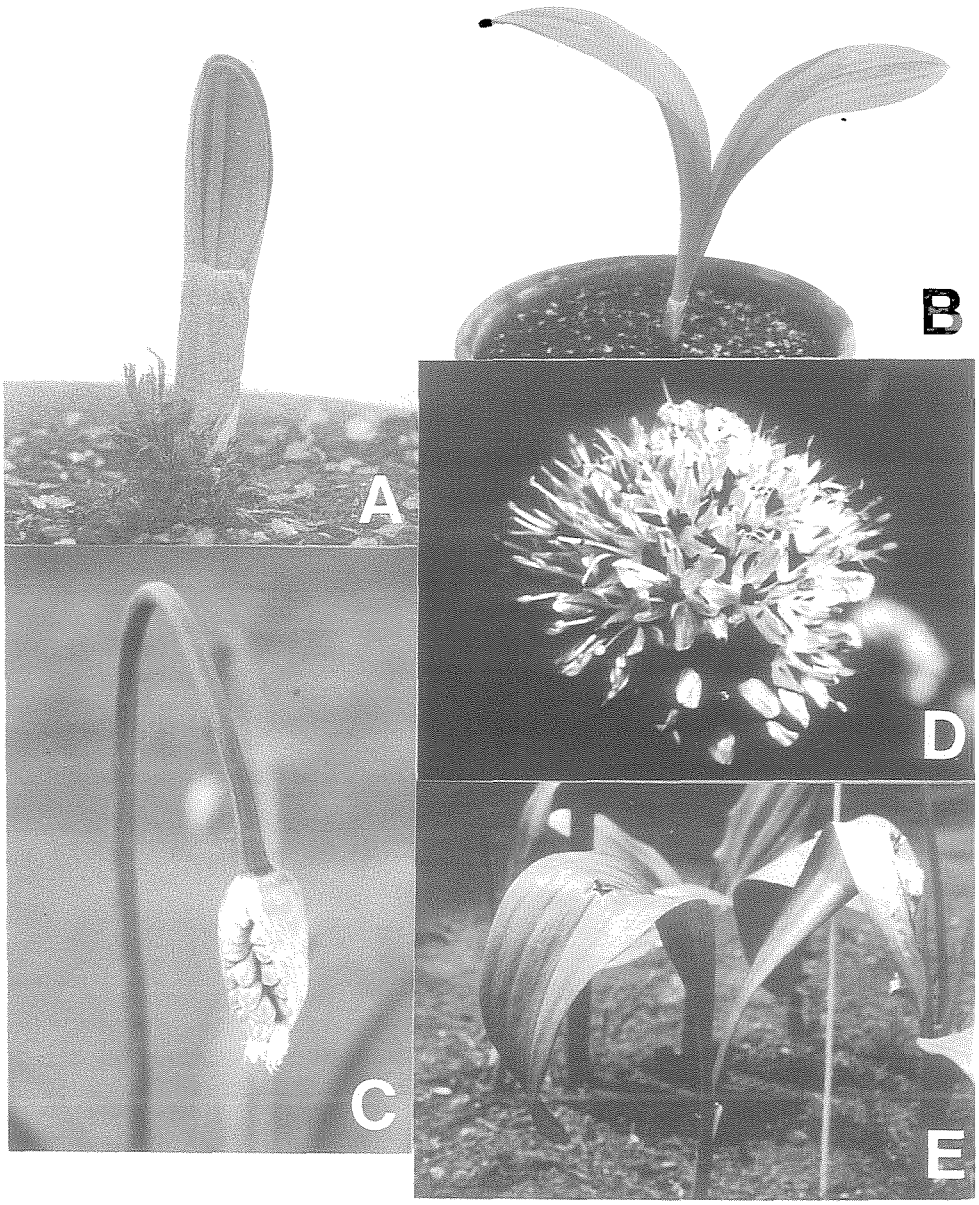

Fig. 17. Growing process.
(A) Sprouting stage.
(B) Leafing stage.
(C) Flower stalk developing stage.
(D) Flowering stage.
(E) Difoliating stage.

(1)　萌芽・展葉期（3月下旬～5月中旬）

3月下旬の融雪時には，萌芽葉の頭部がすでに1 cm程度，地上に現れていた。萌芽葉は4月上旬から伸長を開始し，中旬までに1～2葉（まれに3葉）が出葉した（Fig. 17 A）。

萌芽葉の伸長に続いて普通葉が4月中旬から下旬に出葉したが，葉数は2～3葉が多く4葉の株もまれに観察された（Fig. 17 B）。普通葉の伸長は5月中旬には停止し，以後葉数の増加はみられなかった。

(2)　抽台・開花期（4月下旬～6月中旬）

4月下旬から5月上旬になると，花茎が普通葉の間から抽出した。花茎は抽出直後は垂直に伸びたが，伸長が停止する頃には頂端部がたわんだように下を向き，開花が近づくと再び垂直になった（Fig. 17 C）。花茎の頂端部には総包に包まれた花球があり，花茎の伸長が停止する時期に総包が裂開し，花球の上部から順に小花が開花した。開花期は5月上旬から6月中旬に及んだ（Fig. 17 D）。

(3)　枯葉期（7月中旬～9月上旬）

開花後，種子が形成されて脱粒する7月中旬から8月頃，多くの株の葉身は褐変して徐々に枯れたが，9月まで緑色を呈している株もあった（Fig. 17 E）。

3.　成株における花房分化と休眠期の葉の構成

2.で述べたように，抽台は4月下旬から5月上旬にみられたが，花房分化は前年の8月下旬から9月上旬に観察された。

まず生長点部が隆起し総包が形成され，総包と花茎が明確に区別されるようになった（Fig. 18）。また，花茎の基部には花茎側芽が形成されたが，形成位置は葉序面上からはずれている点で普通葉の腋芽とは異なった（Fig. 19）。花房及び花茎側芽は葉鞘内部で普通葉に包まれて越冬し，翌春，花房は生長して抽台・開花したが，花茎側芽は地上に伸長することはなく，展葉するのは翌々年の春となった。

考　　察

植物体の大きさは発芽後の年数が進むとともに大きくなったが，特に発芽後3～4年目の株における生長が著しかった。

自生地においては種子の発芽後，成株に達するまでに年数を要することが報告されているが，[40] 圃場における栽培では種子の発芽から4～5年で収穫可能な大きさに生長することが示唆された。また，発

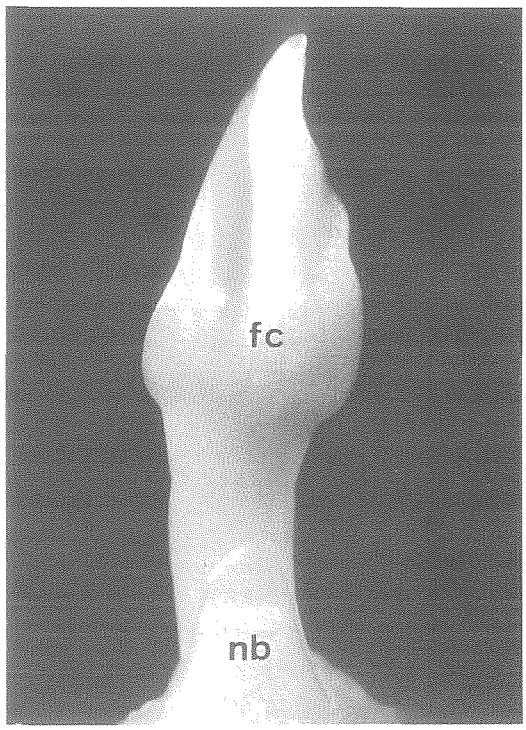

Fig. 18. A flower cluster and a new vegetative axillary bud.
(fc) flower cluster.
(nb) new vegetative axillary bud.

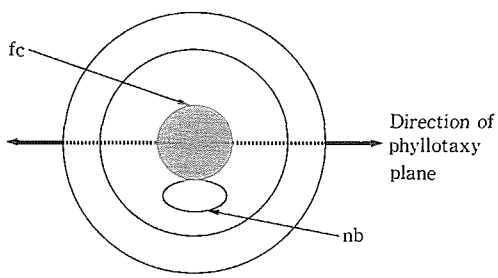

Fig. 19. Positional relation between flower cluster and new vegetative axillary bud in the dormant plant.
(fc) flower cluster.
(nb) new vegetative axillary bud.

芽後3～4年目に株の形態が大きく変化することから，成株の育成には播種後3年目までの株の栽培管理が重要であると考えられる。

1発育期間に主株から出葉する葉数は，例えばネギでは平均17～18葉であるが[97]，ギョウジャニンニクでは成株においても1～3葉（まれに4葉）と少なく，春に一斉に出葉した後には葉数の増加がみられない。

これは他のネギ属作物では生育期を通して葉原基を連続して分化するのに対し，ギョウジャニンニクでは出葉する2年前に普通葉の分化が起こり，分化する時点ですでに1年間に出葉する葉数が定まっているためである。このように，1年間に出葉する葉数が少なく葉原基の分化過程が他のネギ属作物と異なることは，ギョウジャニンニクの大きな特徴であり生長の遅い要因の一つである。

II. 分げつ特性

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの成株を用いた。1年間を通して適宜，株を掘り上げ，解剖により生長点部位を観察するとともに，葉鞘基部の横断面の観察により分げつ芽及び花茎側芽の位置関係を調査した。

結　　果

1. 分げつ機構

一般にネギ属作物の分げつは普通葉の葉腋部に腋芽が形成され発育した場合に起こるが，ギョウジャニンニクではこのほかに花茎側芽が2個形成された場合にも起こることが明らかとなった（Fig. 20）。後者の場合は極めてまれであるので，本項では通常の分げつである前者の場合について説明する。

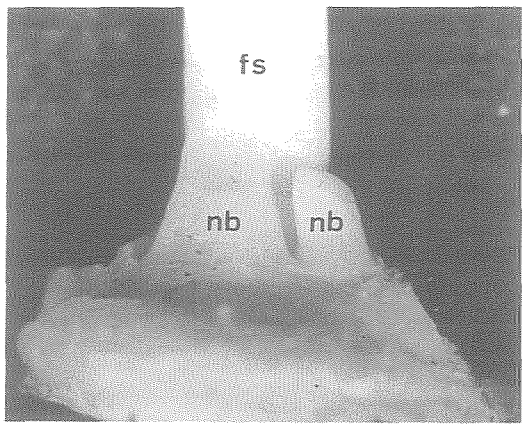

Fig. 20. An example of simultaneous formation of two vegetative axillary buds.
(fs) flower stalk.
(nb) new vegetative axillary bud.

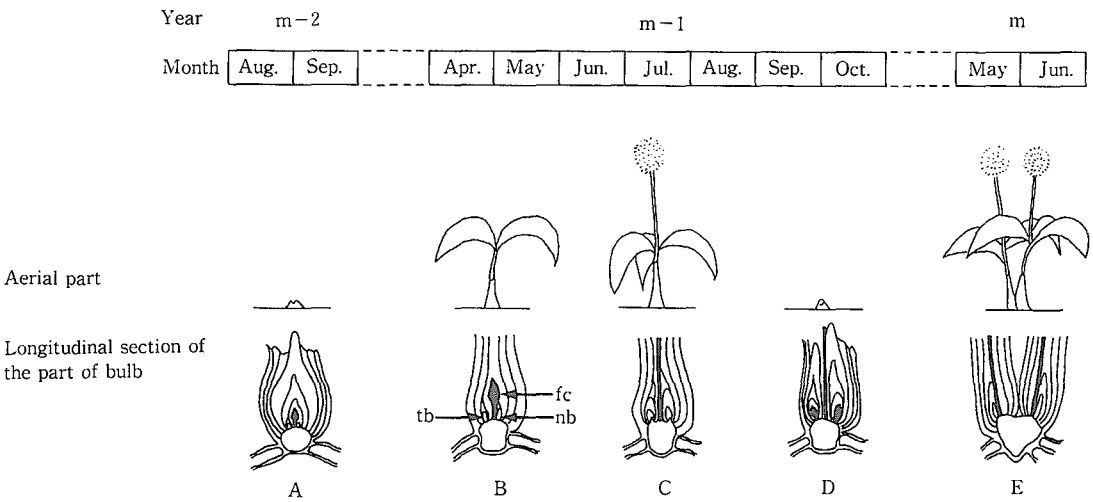

Fig. 21. Schematic diagram of tillering.
(A) Stage of a new vegetative axillary bud and a tillering bud formation.
(B-D) Stage of growing a new vegetative axillary bud and a tillering bud in the sheath of a mother plant.
(E) Stage of tillering completion.
(fc) flower cluster. (nb) new vegetative axillary bud. (tb) tillering bud.

(1)　分げつ芽の形成

分げつが外観的に明らかに完了する年をm年とすると，分げつ芽（萌芽葉）はm−2年の8〜9月に普通葉芽の葉腋部に形成されることが認められた（Fig. 21 A）。その数は1節に2個以上の例はみられず，形成される位置は親株の葉序面上にあった。

(2)　分げつ芽の発育過程

m−2年に形成された分げつ芽は越冬後（m−1年），普通葉の伸長とともに徐々に発育し9月には4〜5 cmに達した（Fig. 21 B〜D）。

普通葉の分化は，出葉前年（m−1年）の春に萌芽葉の分化が完了した後に始まった（Fig. 22 A）。発育初期には葉身部が円盤状に開いているが，その後は葉身部が縦に折りたたまれた形となった（Fig. 22 B，C）。葉芽は春には2〜3 mmであったが，秋までには30〜40 mmとなり，翌春（m年）に伸長して展葉した（Fig. 22 D）。

萌芽葉の分化は出葉する前々年（m−2年）の8月

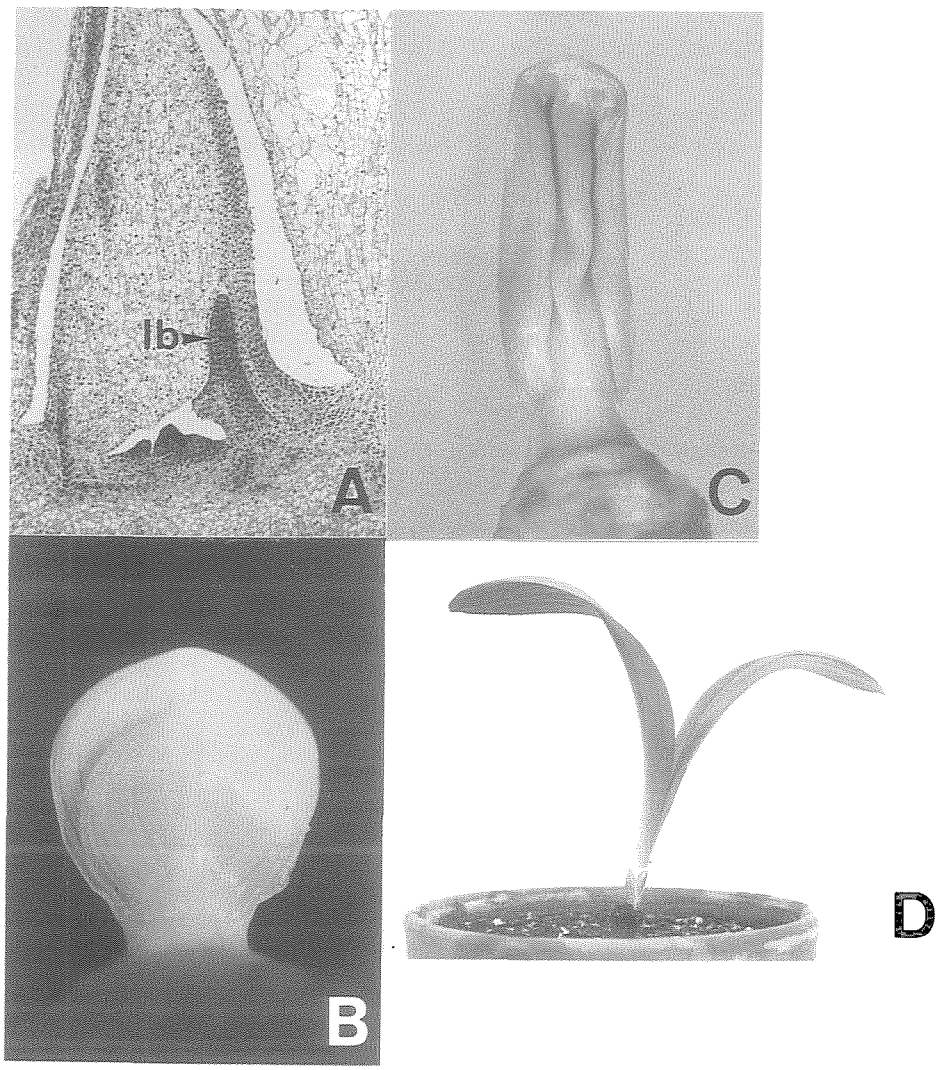

Fig. 22. Development of foliage leaf.
(A) A vertical section of the part of growing point in leaf sheath.
(B, C) Leaf bud developmented.
(D) Foliage leaf expanded.
(lb) leaf bud.

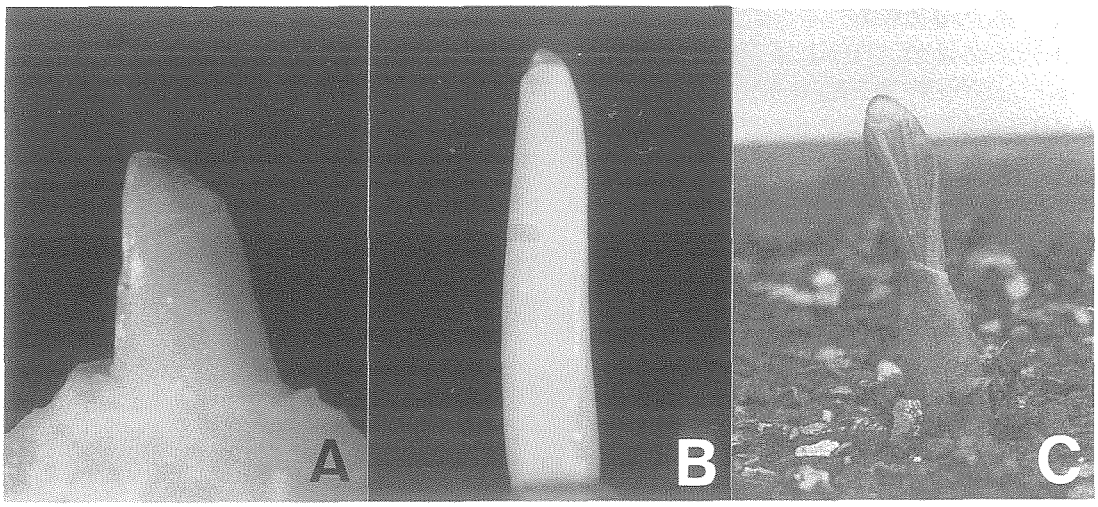

Fig. 23. Development of sprout leaf.
(A) Leaf bud differentiated.
(B) Leaf bud elongated.
(C) Sprout leaf expanded.

下旬から9月上旬頃に始まり，翌年(m−1年)の春までに1〜3枚の葉数が決定している。分化した年(m−2年)は1〜2 mm程度で越冬し，翌年(m−1年)の4〜9月に地下の葉鞘内部で徐々に発育して4〜5 cmに達した(Fig. 23 A, B)。地上部が葉鞘基部から枯れはじめ，完全に枯れる10〜11月頃には頭部が地上に現れる株もみられたが，翌春(分化後3年目＝m年)に地上に萌芽した(Fig. 23 C)。

(3) 分げつの完成

翌春(m年)，萌芽葉の伸長に続いて普通葉が展葉し，分げつが外観的に完了した(Fig. 21 E, Fig. 24)。

2. 分げつ芽及び花茎の位置関係

Fig. 25に葉鞘基部の横断面の観察による分げつ芽(tb)及び花茎(fs)の配列状態を示した。Aは分げつの生じていない株であり，Bは1個の分げつ芽が形成されて生長したものである。Cは分げつが起こらずに生長点が花房分化し花茎側芽(nb)が形成されたもので，Dは同じ茎盤部上に花茎，花茎側芽及び分げつ芽が形成されたものである。E及びFのように分げつ芽が2節以上に形成された場合には，株数が3株以上に増えることになる。

考　　察

ギョウジャニンニクの生長点は萌芽葉と普通葉を分化するが，花房を形成した場合には従来の生長点

Fig. 24. Stage of tillering completion.

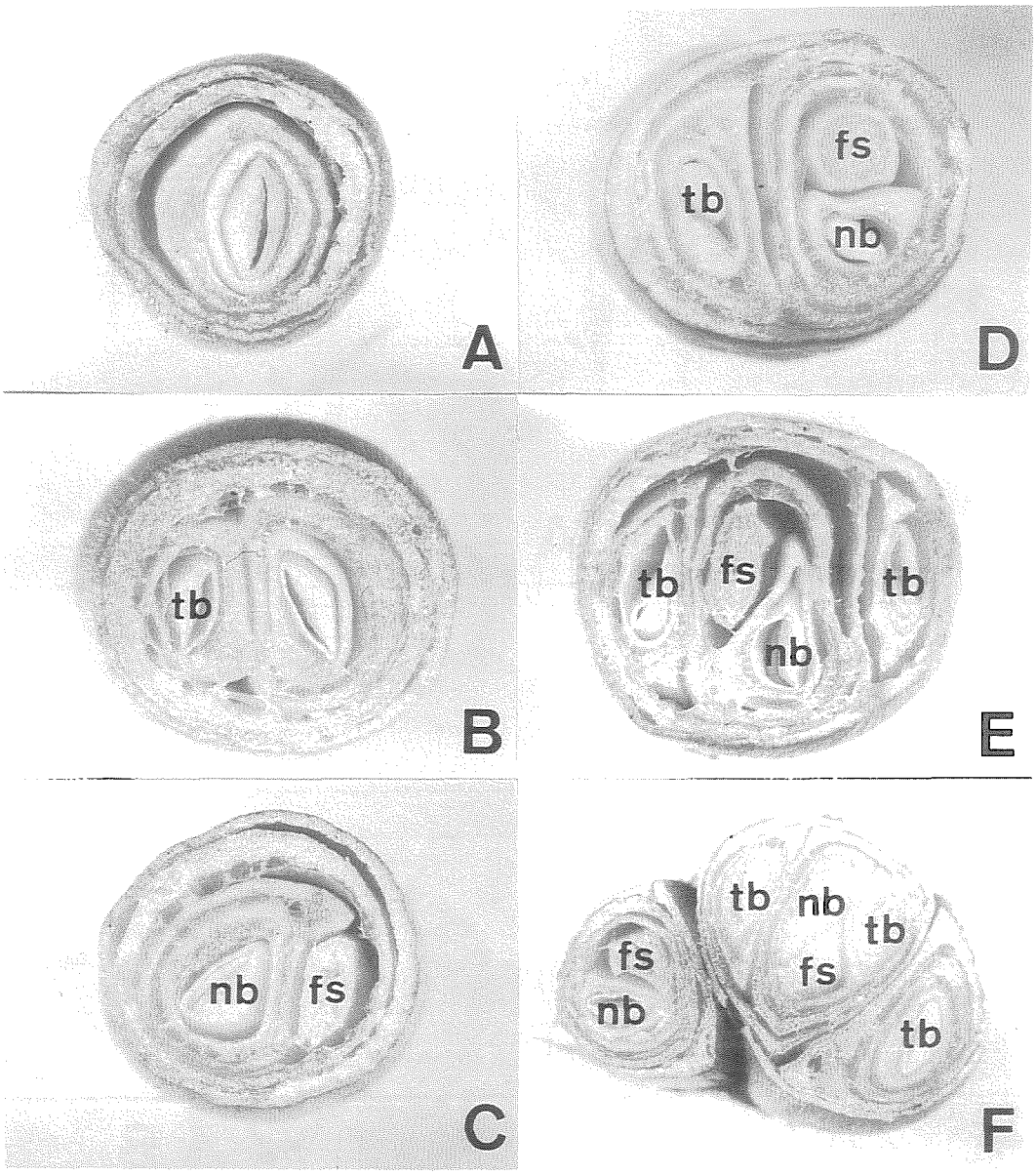

Fig. 25. Cross sections of the bulb of some tillering plants.
(A) A plant with no flower stalk and no tillering bud.
(B) A plant with a tillering bud.
(C) A plant with a flower stalk and a new vegetative axillary bud.
(D) A plant with a flower stalk, a new vegetative axillary bud and a tillering bud.
(E, F) Case of plants with some tillering buds.
(fs) flower stalk. (nb) new vegetative axillary bud. (tb) tillering bud.

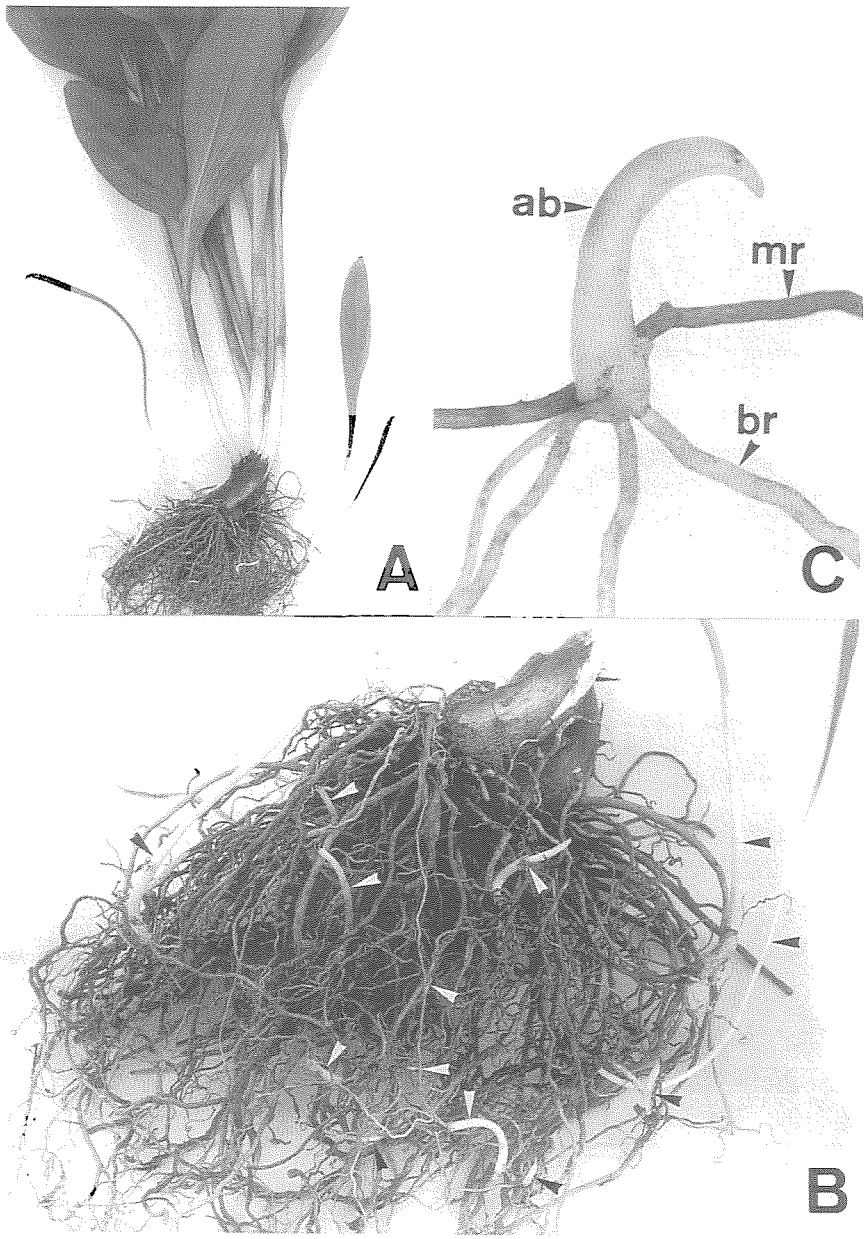

Fig. 26. Morphological features of the development of adventitious buds from root.
(A) Adventitious buds.
(B) Bud formation on the root (arrows indicate adventitious buds).
(C) A close view of regenerating bud.
(ab) adventitious bud. (br) root of adventitious bud.
(mr) root of mother plant.

は消失することになる。ただし，花房形成時には花茎の基部に通常1個の花茎側芽が形成されるため，この生長点により株が生存し続けることになる。しかし，これを繰り返しているかぎり分げつは起こらず，いつまでも1株の状態で生存を続ける。したがって，株数が増加するいわゆる分げつは，分げつ芽（普通葉の腋芽）が形成された場合と花茎側芽が2個形成された場合にのみ起こる現象である。筆者は後者の例を1例観察しているが，極めてまれにしか起こらず，ギョウジャニンニクにおいて株数が増加するいわゆる分げつは前者による場合が普通である。分げつ芽の数は1節に2個以上の例はみられ

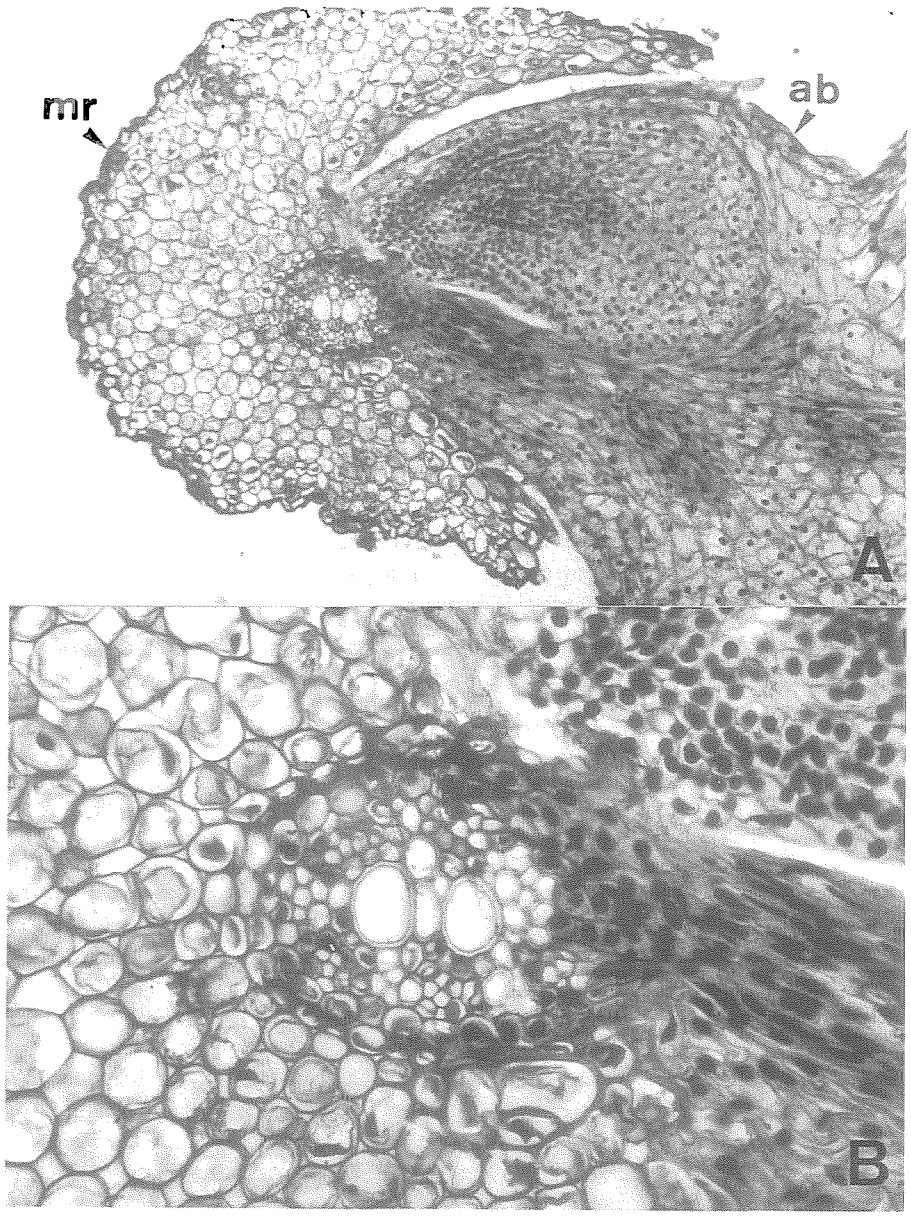

Fig. 27. Horizontal sections of a root with adventitious bud.
(A) Mother root.
(B) A close view of vascular bundle, showing that dividing cells originated from vascular bundle.
(ab) adventitious bud. (mr) root of mother plant.

ず，形成される位置は親株の葉序面上にある点が花茎側芽と異なる。[97,98]

ネギ属作物の分げつ数は，多いものではアサツキのように1年間に90株以上になるものもあるが，[97] ギョウジャニンニクでは多くても3〜4株である。これは1年間に分化する葉原基の数が少ないことと，分げつ芽が各節に1個以上形成されないことによる。

以上の結果から，ギョウジャニンニクは分げつによる栄養繁殖を行うことが明らかとなり，栽培するためには分げつ力の旺盛な株を選抜する必要があることが示唆された。

III. 根の不定芽形成による株の増殖

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの成株を用いた。1990年10月及び1991年5月に株を掘り上げ，根に形成された不定芽について調査を行った。また，不定芽の形成部分の組織学的観察はパラフィン切片を作製することにより行った。

結　　果

株を掘り上げると不定芽は親株の根から容易に離脱した。1本の親株の根には1〜数個の不定芽が形成され，形成位置は根の先端部から離れた部分に多く観察された。また，不定芽や不定芽から生長して地上に出葉した植物体は根も数本伸長しており，独立して生長できる状態となっていた（Fig. 26）。

不定芽は根の原生木部付近の細胞が旺盛に分裂し，内鞘を突き破り形成されていることが観察された（Fig. 27）。

考　　察

根に不定芽を形成した株は十分に生育した成株であり，前節の発芽後2〜6年目の株では不定芽が認められなかったことから，不定芽の形成には株の齢が大きく関連するものと思われる。根に形成された不定芽を用いる繁殖方法は，根系の広がりを利用して広い範囲に繁殖することや地上における外的環境の影響を受けにくいことから，有効な方法であると考えられる。また，形成された不定芽が親株の根から容易に離脱したことや発根が観察されたことは，不定芽に独立して十分に生長できる体制ができていることを示している。

秋（1990年10月）に観察された不定芽はすべて萌芽葉の状態で存在し，翌春（1991年5月）に展葉した植物体が観察されたことは，形成された不定芽が地下で生長した後に地上に現れたものと推察できる。ギョウジャニンニクでは葉原基の分化から萌芽葉の出葉までに通常約2年を要するが，根の不定芽の生長がさらに早いとすれば生育期間の短縮に十分に利用できると考えられる。

組織学的観察から不定芽の発生部位は中心柱であったが，これは不定根にみられる内生的な発生の様式であった。[46]

前章で述べたように，ギョウジャニンニクは種子繁殖と分げつによる栄養繁殖の両方を行うが，成株においては分げつのほかに根に不定芽を形成することにより繁殖することが明らかとなった。根に不定芽を形成して繁殖する現象は，他のネギ属作物においては報告がなく，ギョウジャニンニクの特性の一つといえる。

第4章　生育と栄養物質の消長

適切な肥培管理や貯蔵養分の動向を知ることは，実際に栽培する上で特に重要であると考えられる。

本章では，ギョウジャニンニクを栽培するための基礎となる生育特性，生育に伴う養分吸収特性及び炭水化物の含有量の変化について実験を行った。

I. 成株の1生育期における生体重及び乾物重の変化

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの成株（葉数2〜3枚）を用いた。圃場の土性は沖積土で，前作にナガイモを栽培しており，施肥については定植前に堆肥1,000 kg/10 a を施用したほかは，特に化学肥料の施用は行わなかった。1989年3月29日及び4月14日から11月17日まで約1か月ごとに株を掘り上げ，草丈，葉数，りん茎径，萌芽葉芽（葉鞘内部にあり翌春萌芽する葉芽）の長さ及び径について調査した。測定を終えた材料は，葉，りん茎，根及び萌芽葉芽の各部位に分けて生体重を測定した後に凍結乾燥し，各部位ごとに乾物重の測定を行った。

結　　果

1. 各器官の生長

草丈は4月から5月にかけて急激に大きくなり，5月以降8月までは大きな変化がみられず，9月にはほとんどの株が枯葉した（Fig. 28）。りん茎径は8月まで徐々に大きくなり，枯葉後の9月以降はあ

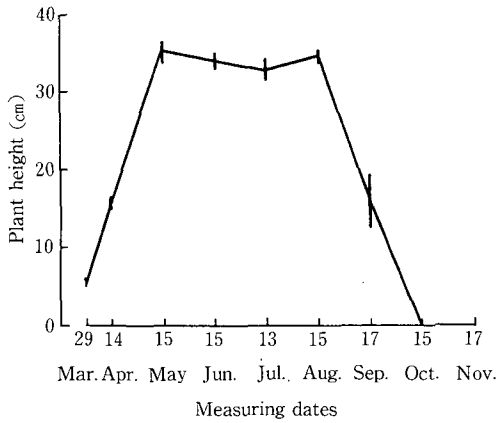

Fig. 28. Time course change of plant height. Vertical bars indicate S. E.

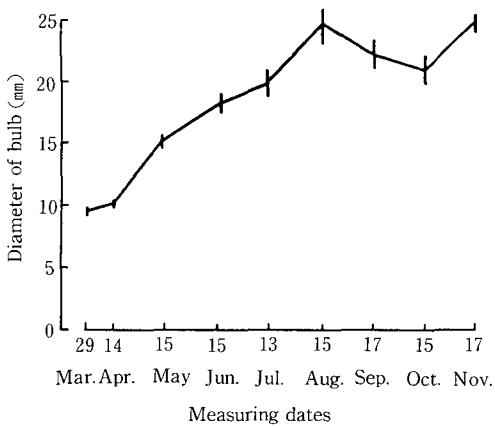

Fig. 29. Time course change of bulb growth. Vertical bars indicate S. E.

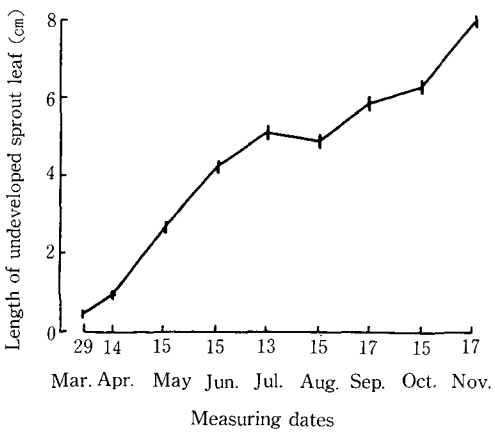

Fig. 30. Time course change of length of an undeveloped sprout leaf. Vertical bars indicate S. E.

まり変化が認められず，かえって縮小した時期もみられた（Fig. 29）。りん茎に包含されている萌芽葉芽は生育期間を通して伸長した（Fig. 30）。9月以降に萌芽葉芽を解剖した結果，2枚の萌芽葉の内部には翌春出葉する普通葉が観察された。

2. 生体重及び乾物重

生体重は展葉初期から急激に増加して6月にピークを示し，7月以降枯葉期にかけて減少したが，10月以降再度増加した。乾物重についても同様の傾向が認められた（Fig. 31）。

各部位の生体重についてみると，葉では生体重が萌芽期から5月にかけて急激に増加し，6月にピークを迎えたが，その後減少した。りん茎では3月から8月まで増加し，休眠期には大きな変化が認められなかった。また，根では萌芽期（3月から4月）に生体重が一時減少し，葉とりん茎より遅れて増加しはじめたが，8月以降は3者の中で生体重が最も大きかった。発根は展葉期から抽台・開花期に主として観察された。萌芽葉芽では11月まで増加が認められたが，これは前述した萌芽葉芽の伸長と一致した（Fig. 32 左）。

乾物重については葉及び萌芽葉芽では生体重と同様に推移したが，りん茎では萌芽期に一時減少した後，4月から6月にかけて急激に増加し，7月から8月は同程度で推移し休眠期には減少した。また，根の乾物重は葉及びりん茎にやや遅れて増加するが，休眠期においても減少はみられず生体重と同様に8月以降は各部位の中で最も大きかった（Fig. 32 右）

考　　察

前章で述べたように，ギョウジャニンニクの生育相は萌芽期（3月下旬～4月中旬），展葉期（4月中旬～5月中旬），抽台・開花期（4月下旬～6月中旬），枯葉期（7月中旬～9月上旬）及び休眠期（枯葉期以降）に区分できる。

ギョウジャニンニクは他のネギ属作物と異なり，春に萌芽する萌芽葉は2年前の秋にりん茎内に形成され，翌年は地上部には出葉せずにりん茎内で徐々に生長する。したがって，萌芽前年の葉芽の生長は，すべてその株の栄養に依存していることになる。草丈は萌芽期から展葉期まで急激に大きくなり，それ以後枯葉期までは伸長がみられない。これは展葉する葉数が一つの株（芽）で2～3葉に限られており，春にこれらの葉が展葉した後は地上部の発

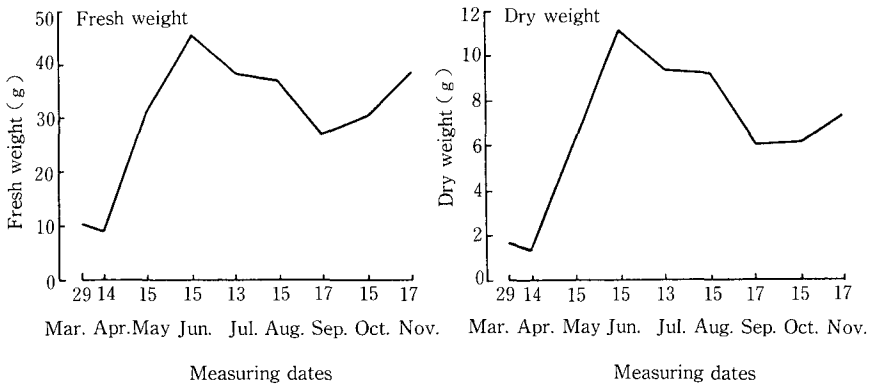

Fig. 31. Time course change fresh (left) and dry (right) weights of a plant.

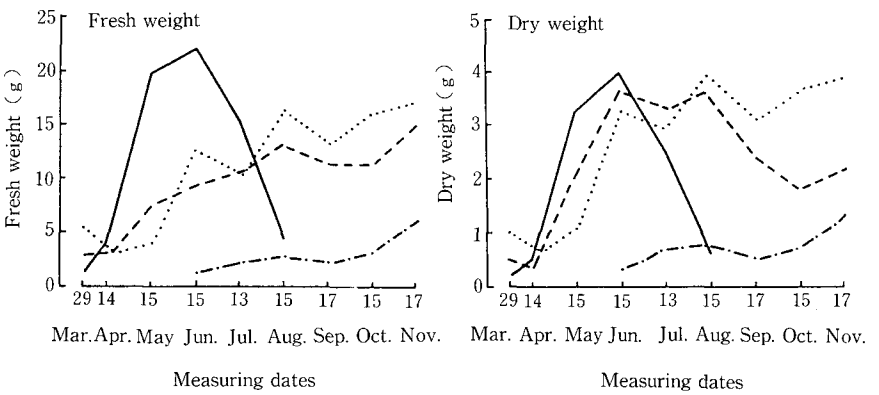

Fig. 32. Seasonal changes of fresh (left) and dry (right) weights in the leaf (——), bulb (----), root (……), and undeveloped sprout leaf (–•–•–).

育は停止するからである。しかし，りん茎内部にある萌芽葉芽は地上部の発育停止後も引き続き発育，肥大を続け，11月には長さが8cm程度に達して地上に頭部を現すこともある。

生育に伴う生体重と乾物重の変化は類似し，3月下旬から4月の萌芽に当りまず減少し，4月以降は急激に増加して6月にピークに達した。この時期の増加は，葉の伸長とりん茎及び根の生長によるものと考えられる。

II. 無機成分含有量の変化

材料及び方法

材料はI.の凍結乾燥後の試料をボールミルで粉砕した後に用いた。無機成分の分析は串崎ら[47]の方法により行い，全窒素はセミミクロケルダール法を用いNとして定量した。リン，カリウム，カル

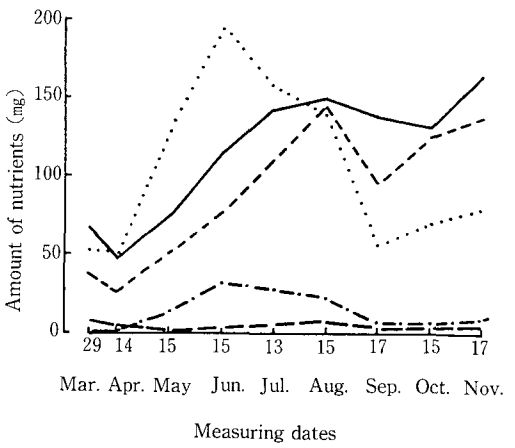

Fig. 33. Seasonal changes of N(——), P (----), K (……), Ca (–•–•–), and Mg (– – –) contents per plant.

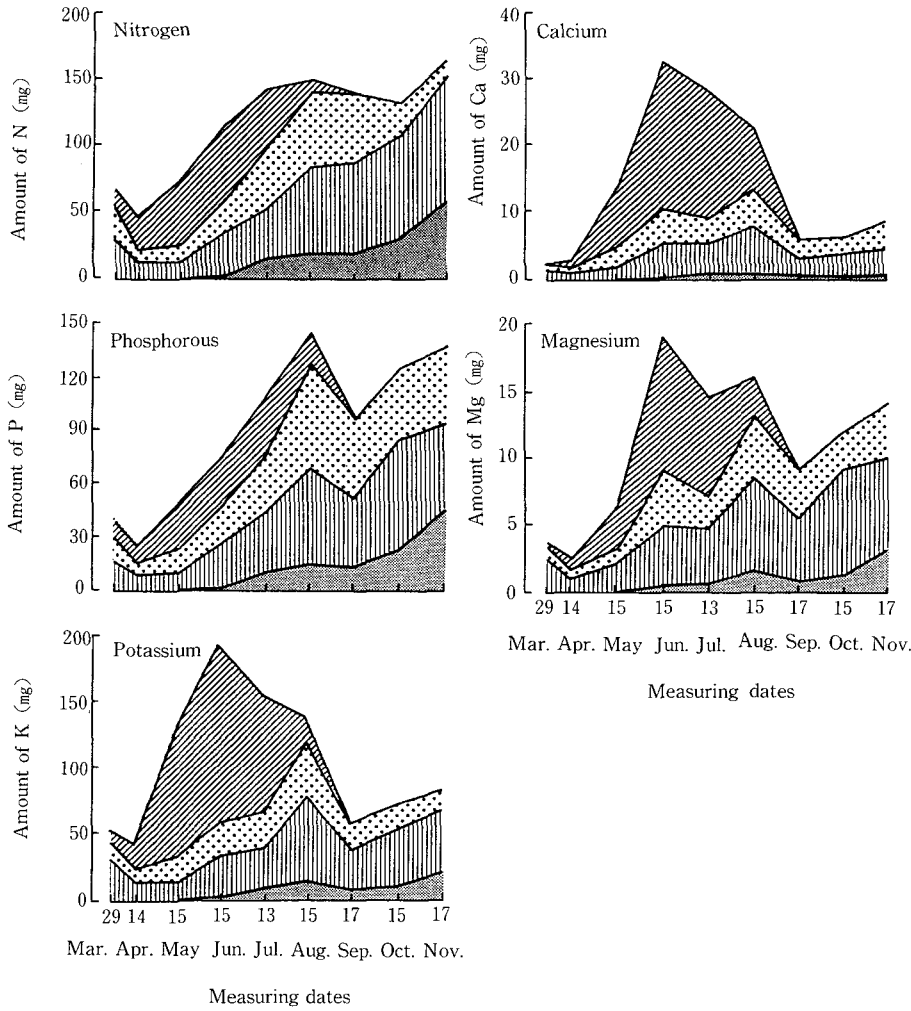

Fig. 34. Seasonal changes of nutrient contents in the leaf (▨), bulb (⁞⁞), root (▥), and undeveloped sprout leaf (▒).

シウム及びマグネシウムは湿式灰化法により試料を分解した後，リンはバナドモリブデン酸法，カリウムは炎光光度法，カルシウム及びマグネシウムは原子吸光光度法を用いて，各々P，K，Ca，Mgとして定量した。

結　　果

1. 株当りの無機成分含有量の変化

窒素及びリンの含有量は3月から萌芽期の4月にかけて一時減少し，地上部の生長とともに4月から8月まで増加したが，その後大きな変化はみられなかった（Fig. 33)。カリウムは4月から6月に急増し，7月以降9月まで減少した。成分の含有量比は時期によって異なり，萌芽期前は窒素，カリウム，リンの順に大きかったが，展葉期ではカリウムが最も大きく，以下窒素，リンの順となり，休眠期では窒素，リンが大きく，カリウムは前記2成分より小さかった。カルシウムの含有量は前記3成分よりかなり少なく，6月にピークを示した。マグネシウムは生育期間を通して大きな変化は認められず，含有量も少なかった。

2. 部位別無機成分含有量の変化

(1) 窒　　素

葉の窒素含有量は葉の伸長とともに増加し，植物体の乾物重が最大となる6月にピークに達し，7月

以降には減少した。りん茎の窒素含有量は3月から4月にかけて減少したが，それ以降は8月まで増加し，9月以降は再び減少した。根ではりん茎と同様に3月から4月にかけて一度減少した後，5月から11月まで増加し続けた。萌芽葉芽では7月以降徐々に増加し，10月以降の増加は著しかった(Fig. 34上左)。

(2)　リ　　ン

葉のリン含有量は5月まで増加し以後7月まで変化がなく，8月以降減少した。りん茎では3月から4月にかけて減少した後8月まで徐々に増加したが，9月以降は窒素でみられたような大きな減少はみられなかった。リンは根では窒素と同様に4月以降8月まで増加する傾向がみられたが，9月以降顕著な増加はみられなかった。萌芽葉芽のリン含有量は窒素と同様の変化を示し，11月ではりん茎及び根の含有量とほぼ同じであった(Fig. 34中左)。

(3)　カリウム

葉のカリウム含有量は葉の伸長とともに急激に増加し，6月にピークを示したが，含有量は無機成分中最も多かった。その後，葉の乾物重の減少とともに減少した。葉を除く他の部位ではりん茎と根のカリウム含有量は8月にピークを示したが，葉のピーク時の含有量の1/2以下であった。また，萌芽葉芽の含有量の増加は窒素，リンに比べて顕著ではなかった(Fig. 34下左)。

(4)　カルシウム

カルシウムの含有量は各器官とも前記3成分よりかなり少なかったが，そのことを除けば含有量の変化は各部位においてカリウムとほぼ同様であった(Fig. 34上右)。

(5)　マグネシウム

各器官のマグネシウム含有量はカルシウムよりさらに少なかったが，葉の含有量はカルシウムと同様の変化を示した。りん茎及び根では生育期間を通して緩やかに増加した。萌芽葉芽のマグネシウム含有量は，10月から11月にかけて顕著に増加した(Fig. 34中右)。

3.　部位別無機成分含有率の変化

(1)　窒　　素

葉の窒素含有率は3月下旬には5.8%と極めて高く，展葉期である5月にかけてほぼ直線的に低下したが，5月以降は枯葉期まで含有率には変化がみられなかった(Fig. 35上左)。りん茎及び根の含有率は展葉期まで葉とほぼ同様の変化を示したが，6月以降9月にかけて徐々に含有率が高まった。りん茎ではその後再び低下したが，根では休眠期においても上昇し続けた。萌芽葉芽では6月以降の生育期間を通して上昇する傾向が認められ，休眠期における含有率は各部位の中で最も高かった。したがって，萌芽前期の窒素含有率は葉，りん茎，根の順に高かったが，展葉期は葉，根，りん茎の順となり，休眠期の後半には萌芽葉芽，根，りん茎の順となった。

(2)　リ　　ン

葉及びりん茎のリン含有率は3月下旬が3%程度で最も高く，6月まで低下し7月以降再び高まった(Fig. 35中左)。根においても同様の傾向がみられたが，変化の幅は前記2成分より狭く1.5～2.0%で推移した。萌芽葉芽は6月以降生育期間を通して含有率が上昇し，休眠期には萌芽葉芽が3%以上で最も高く，次いでりん茎，根の順であった。

(3)　カリウム

葉のカリウム含有率は生育期間を通して3.0～3.5%とほぼ一定で，窒素やリンにみられたように展葉期間における極端な低下はみられなかった(Fig. 35下左)。根及びりん茎では萌芽期には3%程度であったが，5月には1%程度に低下し，6月以降は特に変化はみられなかった。萌芽葉芽のカリウム含有率も6月以降の根及びりん茎よりやや高い程度で推移し，季節的変化はみられなかった。

(4)　カルシウム

各器官のカルシウム含有率は前記3成分よりかなり低かった。葉の含有率は生育期間を通して上昇したが，りん茎，根及び萌芽葉芽の含有率はいずれも0.2%前後で推移した(Fig. 35上右)。

(5)　マグネシウム

マグネシウム含有率は各器官ともカルシウムよりさらに低かった。含有率の変化は各部位においてカルシウムと同様であった(Fig. 35中右)。

4.　植物体内における無機成分の分布

各無機成分の中で窒素，リン，カリウムについてみると，萌芽期前では全体の約80～90%がりん茎及び根に分布した(Fig. 36)。展葉期になると葉に含有される割合が著しく増加し，5月には55～75%になった。5月以降，窒素及びリンは葉に分布する割合が急激に減少し，りん茎及び根に含有される割合が増加した。一方，カリウムは前記2成分とは異

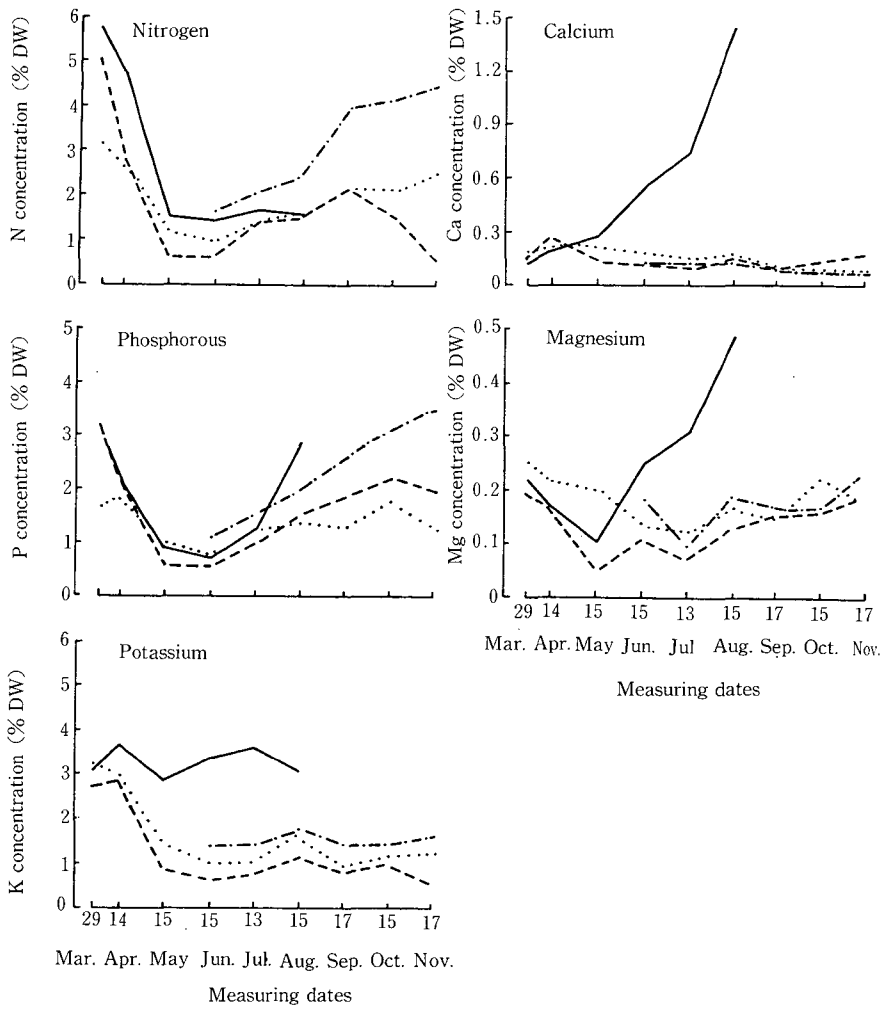

Fig. 35. Seasonal changes of nutrient concentration in the leaf (——), bulb (----), root (……), and undeveloped sprout leaf (-•-•-).

なる変化を示し，葉に存在する割合は5月から7月までにわずか10%程度減少しただけで，他の部位においても大きな変化はみられなかった。8月には葉に占める割合が急激に減少したが，これは，Fig. 33に示した葉の乾物重の減少と一致した。枯葉期から休眠期にかけては各成分ともりん茎及び根に含まれる割合が増加するとともに，10月以降は萌芽葉芽に含まれる割合が顕著に増加した。

考　察

株当りの無機成分の含有量は，萌芽期以降の乾物重の急激な増加に伴い増加していることから，この時期に養分の吸収が活発に行われていることがわかる。植物体内の各成分の含有量をみると，休眠期まではカリウム，窒素，リンの順に多く，休眠期以降には窒素，リン，カリウムの順であった。各部位ごとにみると，窒素は萌芽期から抽台・開花期には葉に多く含まれ，休眠期以降は根に多く含まれた。リンは生育初期には葉に多かったが，休眠期以降はりん茎及び根に多く含まれた。カリウムも同様の傾向を示したが，前半は葉での含有量が特に多く，後半は根が最も多かった。

各成分の吸収特性では，窒素及びリンは萌芽，伸長とともに徐々に吸収が行われ，抽台・開花期以降，葉から他の部位への移行がみられる。一方，カリウ

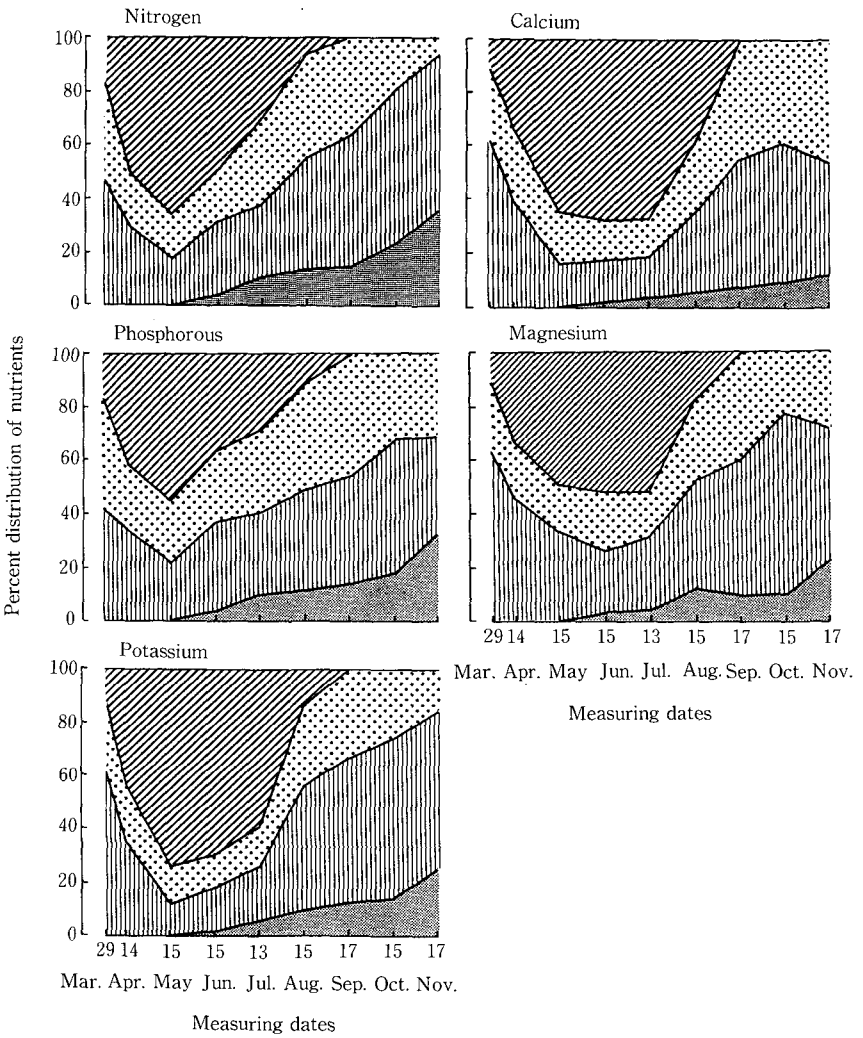

Fig. 36. Seasonal changes of percent distribution of nutrients in the leaf (▨), bulb (⊡), root (▥), and undeveloped sprout leaf (▩).

ム及びカルシウムは葉の乾物重が最大となる6月にかけて急激に吸収され以後減少することから，窒素及びリンにみられる他の部位への移行は少ないと考えられる。このような傾向はニンニクでも報告され[94]，カリウムは降雨等による溶出及び落葉により減少し，他の部位へ移行する割合が小さいことが知られている。タマネギの養分吸収特性は窒素とカリウムの吸収経過が類似しており，リンは異なった吸収経過をたどることが報告されているが[58]，ギョウジャニンニクでは窒素及びリンの吸収経過が類似していることがわかる。生育に伴う養分の移行において，チューリップでは生育相により養分の貯蔵器官が順次変わることが報告されているが[9,10,27,45]，ギョウジャニンニクにおいても例えば窒素にみられるように，葉からりん茎に移行した窒素は翌春までりん茎に貯蔵されるのではなく，萌芽葉芽の生長とともに根及び萌芽葉芽に再び移行する現象がみられ，ギョウジャニンニクのりん茎は養分の一時的な貯蔵器官であることを示唆している。

また，リンの含有率はネギ，タマネギ，ニンニクなど他のネギ属作物では1%前後であることが報告されているが[35,94,98,103]，ギョウジャニンニクでは葉，りん茎及び萌芽葉芽で3%以上となる時期がみられた。このように，他のネギ属作物に比べてリンの含

有率が特に高いことは，ギョウジャニンニクの特徴の一つであるということができよう。

以上の結果をまとめると，ギョウジャニンニクの養分吸収は主として萌芽期から展葉期にかけて行われ，伸長が完了した後は窒素，リンの植物体内における移行が起こることが明らかとなった。また，リン含有率が高いことは施肥上の重要な要素であり，栽培化のためには以上の結果をふまえた上で肥培管理を行うことが重要と考えられる。

III. 炭水化物含有量の変化

材料及び方法

材料及び分析試料の作製方法についてはII.と同様とし，含水量は生体重と乾物重の差から求めた。

炭水化物の分析は凍結乾燥後の試料を80%エタノールで抽出し，還元糖はソモギ・ネルソン法，非還元糖はアンスロン硫酸法を用いて行い，各々グルコースとして表した。また，デンプンは糖の抽出残さをアミログルコシターゼによる酵素法により加水分解した後，アンスロン硫酸法を用いて定量しグルコースとして表した。[33]

結　　果

1. 含水量の変化

葉の含水量は85%程度と他の部位に比べて最も多く，3～8月までほぼ一定であった。りん茎では3～4月には80%前後であったが，葉の伸長とともに急激に低下し，6月には61.4%となった。7月以降は11月まで緩やかに上昇した。根では3～5月にりん茎と同様に低下がみられたが，以後大きな変化はみられず75%前後で推移した。萌芽葉芽では8～9月にやや上昇がみられたが，10月以降は大きな変化は認められず80%程度で推移した（Fig. 37）。

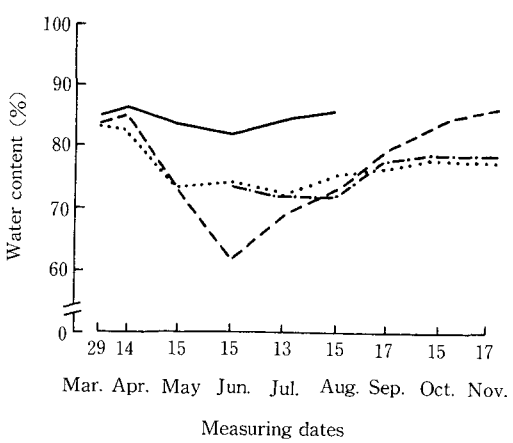

Fig. 37. Seasonal changes of water content in the leaf (——), bulb (----), root (……), and undeveloped sprout leaf (–•–•–).

含水量の時期別の変化では，3～4月にはいずれの部位においても含水量は80%以上であった。5～7月には葉で最も多く，次いで根，りん茎の順であったが，9月以降はりん茎が根及び萌芽葉芽に比べて多かった。

2. 部位別還元糖，非還元糖及びデンプン含有量の変化

還元糖は部位別にみると葉に最も多く存在し，葉の乾物重と同様の変化を示した。他の部位は生育期間を通して大きな変化はみられなかったが，10月にはりん茎と萌芽葉芽でやや増加した（Fig. 38上）。

非還元糖は6月までは各部位とも増加し，6月にはほぼ同じ割合で存在した。7月以降は葉の含有量が減少したほかは，他の部位とも大きな変化はみられなかった（Fig. 38中）。

デンプンは4～6月に急激に増加したが，特にりん茎での増加の割合が大きかった。葉の含有量は他の部位に比べて最も少なく，根はりん茎に次いで多かった。9月以降りん茎のデンプン含有量は減少したが，他の部位では大きな変化はみられなかった（Fig. 38下）。

考　　察

ギョウジャニンニクは林床地内の植物が生長を始める前に展葉することが報告されている。[40] 含水量の変化は光合成において重要であるが，3～6月に葉の含水量はほとんど変化しないのに対し，りん茎の含水量は著しく減少した。

還元糖は植物体の生長が旺盛な時期に増加することが知られているが，[59] 葉が著しく伸長する萌芽期から伸長期と萌芽葉芽の生長がみられる休眠期に増加した。また，休眠期に入ると根においては，萌芽期に非還元糖及びデンプン含有量が一時減少し，地上部の伸長期に増加したことから，根とりん茎は貯蔵部位としての役割が大きいと思われる。このことは，前節で述べた無機成分の含有量が多いことからも推察される。

ネギ属作物の炭水化物については遊離糖類が各部位に存在し，特にタマネギのりん茎にはフルクトオ

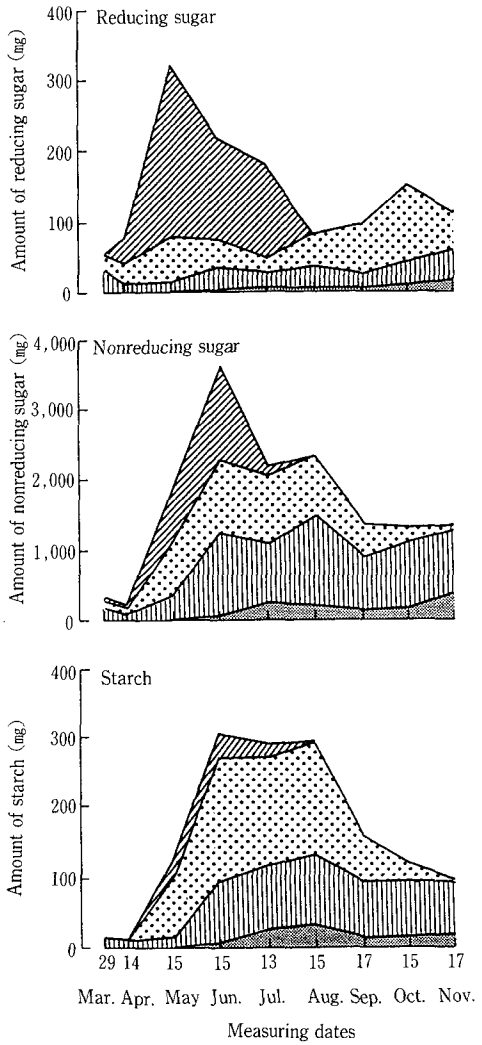

Fig. 38. Seasonal changes of reducing sugar, nonreducing sugar and starch contents in the leaf (▨), bulb (⠿), root (▥), and undeveloped sprout leaf (▒).

リゴ糖やフルクタン類が多く存在することが報告されている。[60~62] また，ワケギにおいてもフルクタン類がりん茎に多く存在することが報告されている。[63,99] ギョウジャニンニクにおいても遊離糖類が各部位に認められ，特にりん茎や根では多い時期には約40%が存在した。

以上の結果から，ギョウジャニンニクは他の球根作物にみられるように同化物質の大部分を萌芽期から展葉期に蓄積し，当年に蓄えた養分を翌春萌芽する株の生長に消費することが明らかとなった。したがって，萌芽期から展葉期の栽培環境は翌年の株の生長に大きな影響を及ぼすことが推察され，栽培するためには生育期の環境条件が重要であると思われる。

第5章　休眠現象

一般にネギ属作物には，夏に休眠する型（アサツキ，ニンニクなど）と冬に休眠する型（ネギ，ニラなど）がある。第3章で述べたように，ギョウジャニンニクは8～9月に地上部が枯れた後，翌春まで萌芽がみられず休眠に入る。そこで，休眠の特性を知り早期に覚醒させる方法を確立することにより，生育期間を短縮することが可能と思われる。

本章では，自然条件下における休眠の推移及び休眠打破に及ぼす低温の影響について検討した。

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの成株を用いた。1988年10月1日から1989年1月5日まで約15日ごとに株を掘り上げた後，温室（25℃）において生育させた。また，1988年10月1日及び11月1日に掘り上げた株を0℃及び5℃に各々15，30，45，60日間貯蔵した後，温室において生育させた。調査は萌芽率，普通葉の展葉開始所要日数及び草丈について行った。

結　　果

1.　自然条件下における休眠の推移

加温60日後の萌芽率は，11月1日に株を掘り上

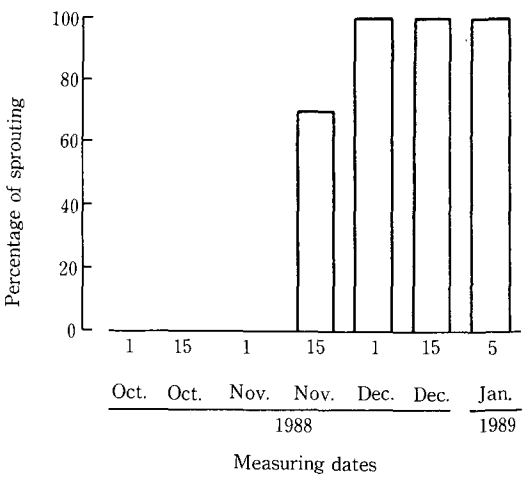

Fig. 39. Time course change of percentage of sprouting.

げた区（以下掘り上げ区と略）までは0%であったが，11月15日掘り上げ区では70%と急激に高くなり，12月1日掘り上げ区では100%となった（Fig. 39)。普通葉の展葉開始所要日数は，10月1日掘り上げ区では161.8日を要したが，12月1日以降に掘り上げた区では約30～40日で展葉した。草丈も萌芽率と同様の傾向を示し，11月15日掘り上げ区の株では出葉後に普通葉の伸長が途中で停止し，矮化する傾向がみられた（Fig. 40 A)。12月1日以降に掘り上げた区では，矮化する現象はみられなかった（Fig. 40 B)。

2. 休眠打破に及ぼす低温処理の影響

(1) 萌芽率

10月1日に掘り上げた株では，0℃で30日間貯蔵を行った区（以下貯蔵区と略）で10%程度の萌芽がみられたが，45日間貯蔵区では萌芽率が急激に高くなり100%に達した。一方，5℃貯蔵区では0℃貯蔵区に比べて萌芽の開始時期が遅れる傾向がみられた（Fig. 41 上)。

11月1日に掘り上げた株では，0℃の15日間貯蔵区で萌芽がみられ，30日間貯蔵区では100%となった。5℃では15日間貯蔵区から萌芽がみられ，45日間貯蔵区で100%に達した。萌芽率は両区とも

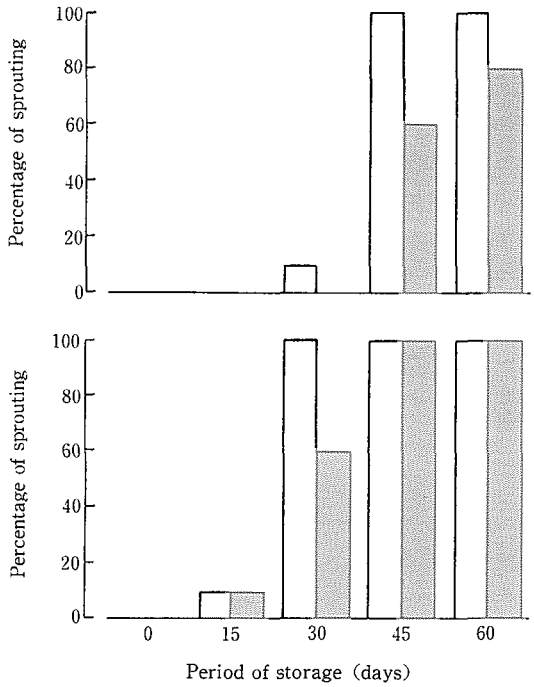

Fig. 41. Effects of the temperature and period of storage on sprouting. Plants used for storage are dug up on 1 Oct. (upper) and on 1 Nov. (lower). Storage temperatures are represented: □, 0℃; ▒, 5℃.

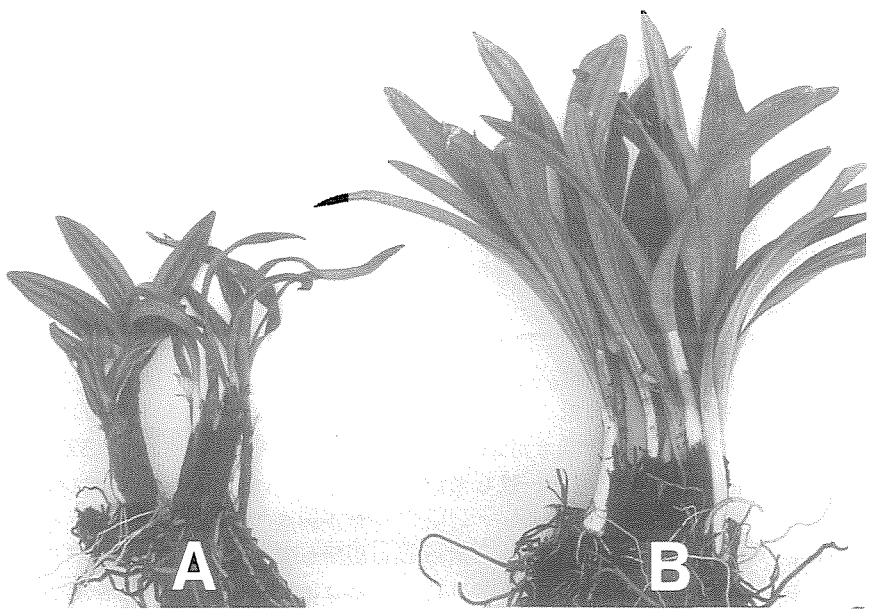

Fig. 40. Degree of breaking of dormancy.
(A) Incomplete breaking of dormancy (dwarf).
(B) Complete breaking of dormancy.

10月1日に比べて11月1日に掘り上げた場合が高かった（Fig. 41下）。

(2)　普通葉の展葉開始所要日数

10月1日に掘り上げた株では，貯蔵期間が長くなるほど展葉開始所要日数は短くなり，0℃貯蔵区が5℃貯蔵区に比べて約30日ほど早かった。

11月1日に掘り上げた株を15日間貯蔵した場合についてみると，0℃貯蔵区では5℃貯蔵区に比べると展葉開始所要日数はやや長かったが，貯蔵30日間以降は両区とも大きな差は認められなかった。

(3)　草　　丈

10月1日に掘り上げた株では，貯蔵期間が長くなるほど草丈は大きくなる傾向がみられた。しかし，5℃貯蔵区では貯蔵60日間においても草丈が10 cm程度で，Fig. 40 Aに示したように矮化する傾向が認められた。

11月1日に掘り上げた株の0℃貯蔵区では，貯蔵期間が30日間以上になると草丈が大きくなったが，5℃貯蔵区では0℃に比べてやや小さかった。

考　　察

自然条件下では，気温の低下とともに加温後の萌芽率が高くなり12月には100%となった。また，草丈の変化，普通葉の展葉開始所要日数及び萌芽後の地上部の形態から，12月1日には休眠が完全に打破されたものと推定された。この時期には最低気温が0℃付近で推移していることから，株の休眠打破には遭遇する温度が関連するものと思われる。すなわち，10月1日では最低気温が10℃付近であるが，11月1日では0℃付近の温度に遭遇する期間が徐々に長くなる。また，貯蔵温度において0℃が5℃に比べて良好であったことは，休眠打破のためには温度を低くし，貯蔵期間を長くする必要があることを示している。

ギョウジャニンニクの休眠打破には5℃以下の低温が必要であり，株を掘り上げる時期が遅くなるほど萌芽のために必要な低温の期間は短くなることが報告されているが，[86] このことは貯蔵温度が5℃に比べて0℃が良好であった筆者の結果と一致している。

11月1日に掘り上げた株では，貯蔵条件に関わらず，10月1日に掘り上げた株に比べて休眠打破に要する期間が短かった。特に，萌芽率，普通葉の展葉開始所要日数及び草丈はいずれも推移の傾向が類似しており，10月の株の生育状態から推定すると11月に比べて休眠の程度が深いことが考えられた。また，休眠打破が不十分な場合には，矮化する現象が認められた。

促成栽培では株を早期に萌芽させることが必要であるが，上記の結果から判断すると株の掘り上げ時期が早いほど低温による貯蔵期間を長くすることが重要であると考えられる。

以上のように，ギョウジャニンニクの休眠打破には低温に遭遇させる必要があることが明らかとなった。また，低温の程度は0℃が5℃に比べて良好であり，休眠打破の温度条件は休眠打破の程度及びその後の株の発育に大きく影響を及ぼすものと考えられる。したがって，加温による株の早出しのためには，株を掘り上げる時期と低温の遭遇期間を十分に考慮することが重要である。

第6章　開花及び花粉の特性

ギョウジャニンニクは花器の雌雄両器官が完全であるため交雑育種が可能であり，現在栽培されている他のネギ属作物との種間雑種の育成も検討されるべき課題といえよう。

本章では，交配の基礎となる小花の開花過程，花粉の発芽及び花粉の貯蔵条件について実験を行った。

I.　開花過程

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの抽台した成株を用いた。1990年6月19日に花球より未開花の小花を採取し，開花の状態を調査するとともに，経時的に花柱の長さを調査した。

結　　果

小花の開花過程をFig. 42及びTable 11に示した。開花は花被頂部に隙間が生ずることに始まり，その隙間からまず内花糸が伸び，続いて外花糸が伸長した。実験開始12時間後には，小花の約40%で花糸の伸長が観察された（ST. 2～ST. 3）。花糸の伸長に伴い24時間後までにはほとんどの小花の花被が開ききった状態となり，約70%の小花で葯の裂開が認められた（ST. 4～ST. 5）。葯の裂開は内葯に始まり，続いて外葯が裂開するが，すべての小花で外葯の裂開を認めたのは72時間後であった。葯の裂開は夜間に比べて日中に多くみられた。花柱の長さは未開花の状態（ST. 1）では1.9 mmで，花

糸が伸長する過程（ST．2～ST．3）ではほとんど変化がみられなかった。内葯が裂開する時期（ST．4）には長さが3.2 mmとなり，外葯が裂開する時期（ST．5）に著しく伸長して6.1 mmとなった（Fig. 43）。また，花柱の伸長が観察された時期には，花柱の基部に蜜が分泌された。

考　　察

ネギの葯の裂開は大部分の小花で開花後24時間

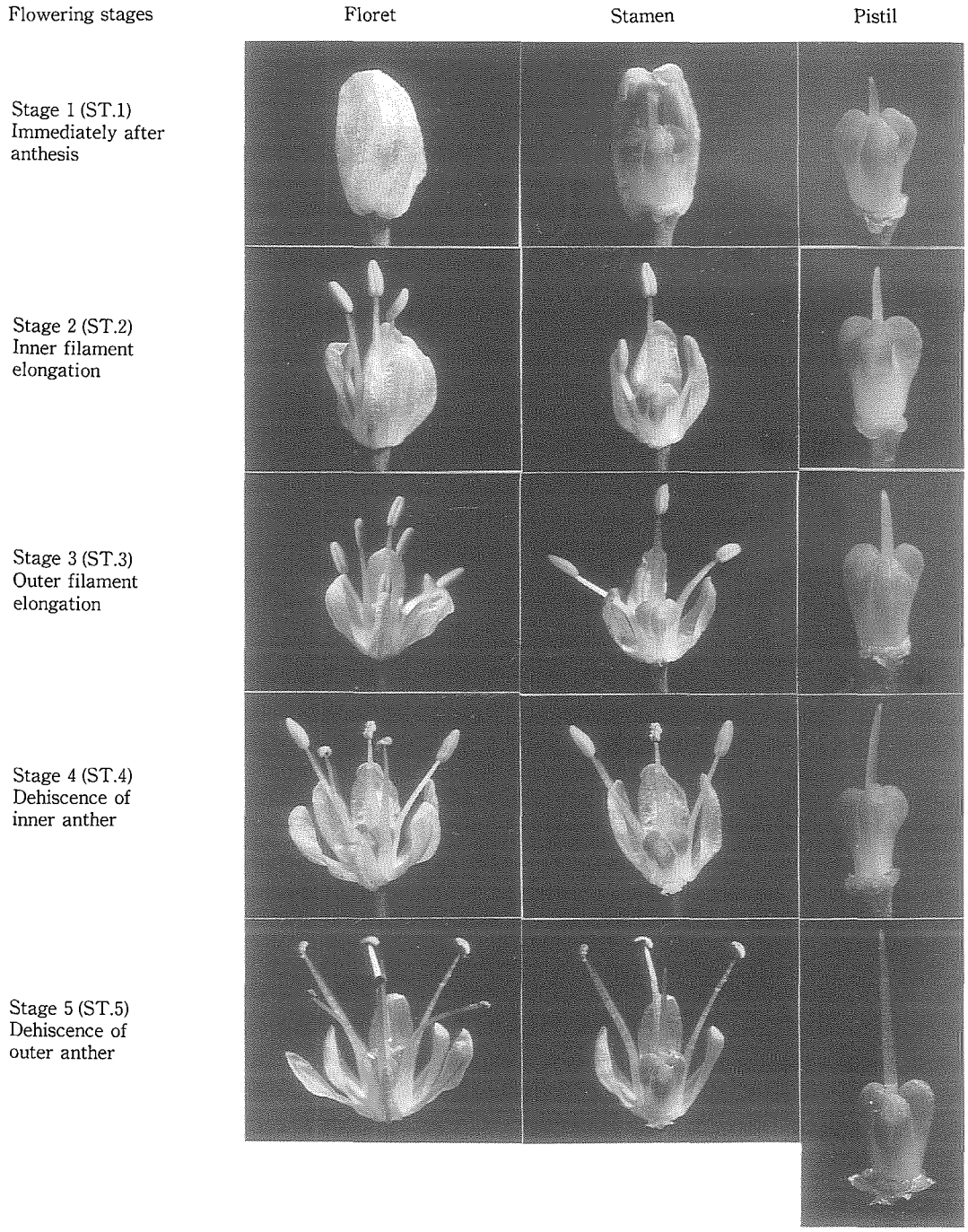

Fig. 42. Morphological details at different stages of flowering.

Table 11. Time course changes of flowering stages.

Date	Time in a day (hr)	Cumulative time (hr)	Frequency (%)[z]				
			ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 4	ST. 5
19 June	20	0	100				
20 June	8	12	72.0	18.7	9.3		
	12	16	59.5	23.5		17.0	
	16	20	36.0	13.1	4.4	44.5	2.0
	20	24	11.0	11.5	5.4	60.7	11.4
21 June	8	36		4.7	7.7	56.5	31.1
	12	40		2.3		38.8	58.9
	16	44				32.7	67.3
	20	48				32.7	67.3
22 June	8	60				30.6	69.4
	12	64				9.3	90.7
	16	68				7.0	93.0
	20	72					100

[z] Flowering stages are described in Fig. 42.

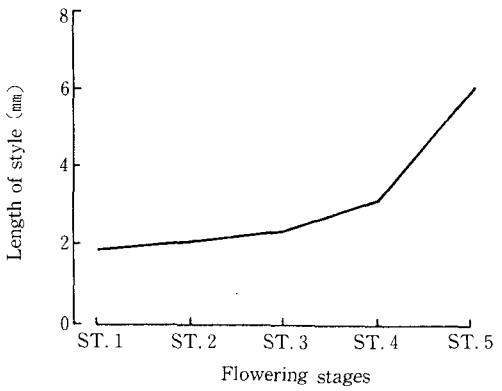

Fig. 43. Changes of style length according to flowering stage. Flowering stages are described in Fig. 42: immediately after anthesis (ST. 1), inner filament elongation (ST. 2), outer filament elongation (ST. 3), dehiscence of inner anther (ST. 4) and dehiscence of outer anther (ST. 5).

以内に完了することが報告されているが,[18] ギョウジャニンニクにおいても開花開始後24時間以内にほとんどの小花で葯の裂開が認められた。結果でも述べたように，外葯の裂開に要する時間が個体によりかなりの開きがあり，すべての個体が裂開し終わるまでに比較的時間を要することが特徴的であった。

江口ら[18] はネギにおいて，葯の裂開と温度には正の相関があることを認めており，小川[72] はタマネギにおいて，湿度が高い場合には葯の裂開時間が遅くなることを報告している。本実験では，葯の裂開は夜間に比べて日中に多くみられたが，これは日中の高温と低湿度が影響しているものと考えられる。葯の裂開と花柱の伸長は受粉の重要な要因であるが，ギョウジャニンニクでは内葯の裂開の過程では花柱が短く，外葯の裂開後に花柱の伸長が観察された。同様の現象は，ネギ及びタマネギにおいても報告されている。[13,37,98] また，筆者はギョウジャニンニクの開花期にはアブやアリが小花を訪れ，花柱の伸長に伴い蜜が花柱の基部から分泌されることを観察していることから，ギョウジャニンニクは他の多くのネギ属作物と同様に虫媒花であると考えられた。[40] したがって，交配の時期は花柱が伸長し蜜が分泌される開葯後が適していると思われる。

II. 花粉の発芽

材料及び方法

材料はI.と同様の成株から開葯した花粉を用いた。花粉をシャーレ（直径45 mm）に入れた寒天培地（寒天1%）上に均一に置床し，花粉の発芽に及ぼすショ糖（0, 5, 10, 15, 20, 25, 30%），温度（0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30℃）及びホウ酸（0, 10, 30, 100, 300 ppm）の影響について検討を行った。調査は培養開始4時間後に発芽率及び花粉管の伸長について行った。

結　　果

1. ショ糖の影響

ショ糖無添加では発芽率は14.1%と極めて不良であったが，濃度が高くなるほど発芽率も上昇し，ショ糖15%では70.1%と最高であった（Fig. 44）。ショ糖濃度が20%以上になると発芽率は低下する傾向がみられ，30%では発芽が認められなかった。花粉管の伸長も同様の傾向を示し，ショ糖15%で最も良好であったが，さらに濃度が高くなると伸長が抑制される傾向が認められた。

2. 温度の影響

5℃では発芽率は10.1%であったが，温度が高くなるほど上昇し，20℃で73.1%，25℃では75.4%でピークを示し，30℃ではやや低下して68.4%であった（Fig. 45）。また，0℃では発芽は認められなかった。花粉管の伸長は5℃では127.7 μmであったが，温度が高くなると伸長が促進され，20℃

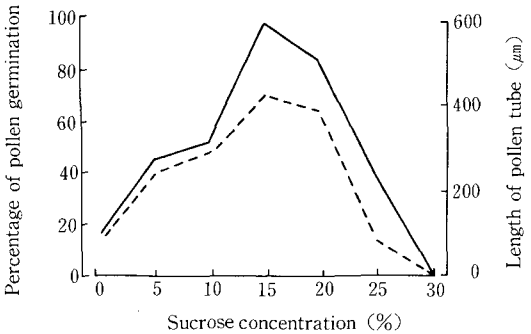

Fig. 44. Effect of sucrose concentration on pollen germination. The solid and broken lines show the percentage of pollen germination and the length of pollen tube, respectively. Pollen grains were incubated on 1%-agar medium and kept at 20℃ for 4 hr.

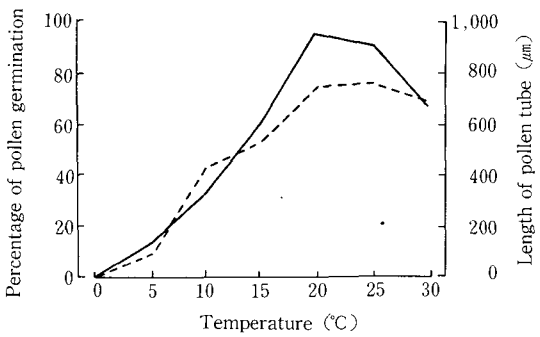

Fig. 45. Effect of temperature on pollen germination. The solid and broken lines show the percentage of pollen germination and the length of pollen tube, respectively. Pollen grains were incubated on 1%-agar medium with 15% sucrose and kept at each temperature for 4 hr.

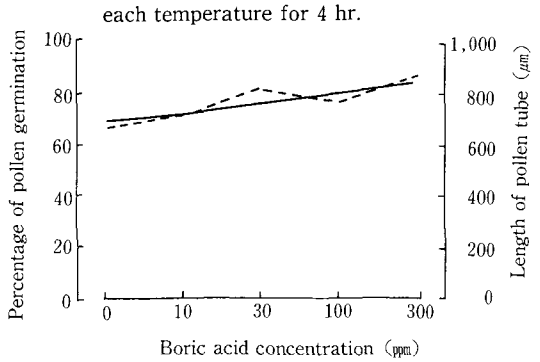

Fig. 46. Effect of boric acid concentration on pollen germination. The solid and broken lines show the percentage of pollen germination and the length of pollen tube, respectively. Pollen grains were incubated on 1%-agar medium with 15% sucrose and kept at 20℃ for 4 hr.

(942.3 μm) でピークを示し，それ以上になると伸長は抑制され 30℃では 661.9 μm であった。

3. ホウ酸の影響

ホウ酸添加の影響は Fig. 46 に示すとおり，添加した場合には発芽率がやや高まった区もみられたが，無添加とは有意な差は認められなかった。花粉管の伸長についても同様の傾向であった。

考　　察

人工発芽床において培地に添加された糖は花粉の吸水と養分補給の役割を果たし，[36] 植物により発芽に適した糖濃度が異なることから，花粉の培養における培地の糖濃度は重要である。ギョウジャニンニクにおいてもショ糖濃度が発芽率に大きな影響を及ぼし，15～20%が発芽に良好であった。また，温度についてはギョウジャニンニクの花粉の発芽には 20°～30℃が適していると思われた。一方，花粉管の伸長には 20°～25℃が良好であった。ショ糖と同様に，花粉の発芽及び花粉管の伸長を促進する方法として培地に化学物質を添加する例が知られており，ネギ属作物についてはタマネギの花粉の発芽にカルシウム，[48,54] ホウ酸及びジベレリン[49] の添加が効果的であると報告されている。一般に花粉の発芽率を高めるために培地にホウ酸を添加することが知られているが，[36] ギョウジャニンニクにおいてはホウ酸無添加でも 70～75%の発芽率が得られるため，外与のホウ酸の効果はほとんどないと考えられる。

III. 花粉の貯蔵

材料及び方法

材料はII.と同様とした。花粉の貯蔵温度は 20°，5°，−30°，−196℃の 4 区を設け，−196℃についてはクライオバイアル（WHEATON 社製）に入れて液体窒素中で貯蔵した。花粉の発芽及び花粉管の伸長の調査は貯蔵開始後 30 日までは 5 日ごとに，それ以後は 1 か月ごとに行った。ただし，20℃で貯蔵した花粉については貯蔵後 1 日及び 3 日にも調査を行った。調査方法はII.と同様とし，培養条件はショ糖 15%，ホウ酸 30 ppm を添加した寒天培地（寒天 1%）を用い，20℃で 4 時間培養を行った後に観察した。

結　　果

貯蔵開始時の花粉の発芽率は 73.6%であったが，20℃で貯蔵した花粉では 1 日後で 19.3%，3 日後で 6.9%と急激に低下し，5 日後には 0%となった。

5℃で貯蔵した花粉は5日後には73.5%であったが，10日後には発芽率が24.8%に低下した。その後，徐々に低下の傾向がみられ30日後には13.4%となり，2か月後には発芽は認められなかった。花粉管の伸長は貯蔵5日後にはやや低下したが，その後大きな変化はみられなかった。−30℃で貯蔵した花粉は貯蔵4か月後までは発芽率60%以上を保ち，5〜6か月後には50%台にやや低下したが，以後大きな変化はみられなかった。花粉管の伸長は，1年後においても貯蔵前と同程度であった。−196℃では1年後においても発芽率が70%以上で，貯蔵開始時と比べてほとんど変化がみられず，花粉管も貯蔵前と同じように伸長した（Fig. 47〜49）。

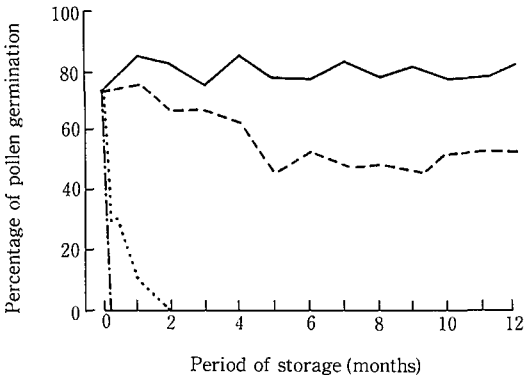

Fig. 47. Effect of storage temperature on pollen germination. Pollen grains were incubated on 1%-agar medium with 15% sucrose and 30 ppm boric acid after different lengths of the storages at 20℃ (−•−•−), 5℃ (……), −30℃ (----), and −196℃ (——).

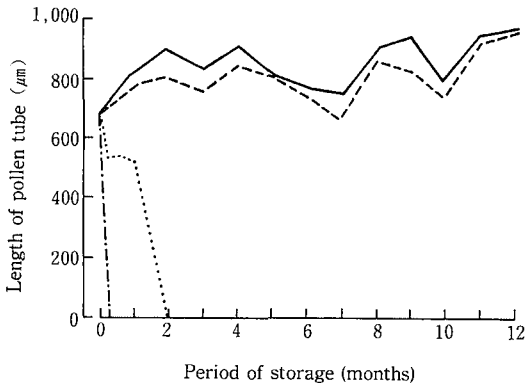

Fig. 48. Effect of storage temperature on pollen tube growth. Pollen grains were incubated on 1%-agar medium with 15% sucrose and 30 ppm boric acid after different lengths of the storages at 20℃ (−•−•−), 5℃ (……), −30℃ (----), and −196℃ (——).

Fig. 49. Pollen germination preserved in liquid nitrogen (−196℃) for one year.

考　　察

花粉の貯蔵は，優良系統の花粉の維持や開花期の異なる植物と交配する場合に重要である。MANN・WOODBURY[54]は，タマネギでは雄性不稔系統等を利用する場合に交配親の開花期や花粉の齢が種子の生産力に大きく影響を及ぼすことから，花粉の発芽率の維持が重要であることを述べている。また，室温（20℃）乾燥貯蔵の場合に貯蔵6日後には発芽率が0%になったことを報告しているが，ギョウジャニンニクにおいても20℃では貯蔵5日後には0%となった。このことは，ギョウジャニンニクの花粉の寿命がタマネギと同様に短いことを示しており，長期間にわたり花粉を貯蔵するためには，乾燥以外の条件を検討する必要がある。

一般に花粉の貯蔵条件としては，低温，低湿が良好であることが知られており[1,26,44,50,76,78,81]ネギ属作物の中ではタマネギの花粉は室温では早期に発芽率の低下を招くことが指摘されている[12,54]。また，湿度と同様に花粉の含水量が貯蔵後の発芽率に大きく影響を及ぼすことが報告されている[44,51,92]。本実験では，いずれの温度についても乾燥条件で貯蔵を行ったが，低温の程度は5℃付近では不十分で，−30℃あるいは−196℃の液体窒素中に貯蔵することにより1年間，花粉の発芽率及び花粉管の伸長を保つことが可能となった。とりわけ長期貯蔵には，−196℃（液体窒素）の超低温が有効であることが明らかとなった。超低温による花粉の長期間の貯蔵は，チャ[1]，クルミ[51]，ウルシ[76]，アボカド[81]，ジャガイモ[92]などにおいて成功しており，ギョウジャニンニクでも花粉を長期間利用することが可能となった。

以上の結果から，ギョウジャニンニクの開花特性と花粉の貯蔵条件が明らかになったが，これらの知見を利用することでギョウジャニンニクと開花期の異なる他種との交配も容易となり，交雑育種を進める上で役立つことが期待される。

第7章　組織培養における形態形成

ギョウジャニンニクの繁殖法には種子繁殖と栄養繁殖があるが，前者は成株に至るまでに長期間を要し，後者は繁殖効率が小さい。そこで，組織培養法を応用することにより，効率のよい繁殖方法が確立できると思われる。

また，第3章において根から不定芽が分化することを述べたが，*in vitro* 条件下で根の器官分化能の要因を解析することは重要であると考えられる。

本章では，茎盤部からの多芽体の形成と *in vitro* 培養根からの不定芽の形成について述べる。

I.　茎盤部からの多芽体形成

材料及び方法

1.　多芽体の形成に及ぼすBA及びNAAの影響

材料はギョウジャニンニクの成株を用いた。茎頂を含む茎盤部組織（厚さ1 mm）を取り出し，MS培地[65]にショ糖20 g/*l* と寒天7 g/*l* を添加し，BA（0，10^{-5}，10^{-4}M）とNAA（0，10^{-5}，10^{-4}M）を組み合わせた培地に置床した。なお，培養は25℃，4,000 lx，16時間日長の条件下で行い，調査は培養16週間後に多芽体形成率，1外植体当りの幼芽数，発根率及びカルス形成率について行った。

2.　多芽体の形成に及ぼすBA及び2,4-Dの影響

材料の調製方法及び培養条件は1.と同様とし，生長調節物質としてBA(0，10^{-5}，10^{-4}M)と2,4-D（0，10^{-7}，10^{-6}，10^{-5}M）を用いた。

3.　分割移植した幼芽の形態形成に及ぼす移植培地組成の影響

材料は2.のBA 10^{-4}Mと2,4-D 10^{-6}M添加区から得られた多芽体を用いた。培養16週間後に幼芽を分割し，BAと2,4-Dを組み合わせたMS培地に移植した。なお，他の培養条件は1.と同様とした。

結　　果

1.　多芽体の形成に及ぼすBA及びNAAの影響

培養4週間後に茎盤部に白い突起状のものが観察され，やがて先端部が緑色になり不定芽の集合体（以下多芽体と略）となった（Fig. 50)。

多芽体の形成率は，BAが10^{-5}M以上添加された区では一つの例外を除き50%以上となった(Table 12)。1外植体当りの幼芽数はBA 10^{-5}M添加区に比べてBA 10^{-4}M添加区で多く，特にBA 10^{-4}MとNAA 10^{-5}M添加区では24個と最も多かった。発根はBA 10^{-4}M添加区では認められなかった。カルスは生長調節物質を添加した場合に形成されたが，BA 10^{-4}MとNAA 10^{-4}M添加区では培養中に枯死するものもみられた。

2.　多芽体の形成に及ぼすBA及び2,4-Dの影響

多芽体の形成率は，BA 10^{-5}M添加区に比べてBA 10^{-4}M添加区が良好であった（Table 13)。ま

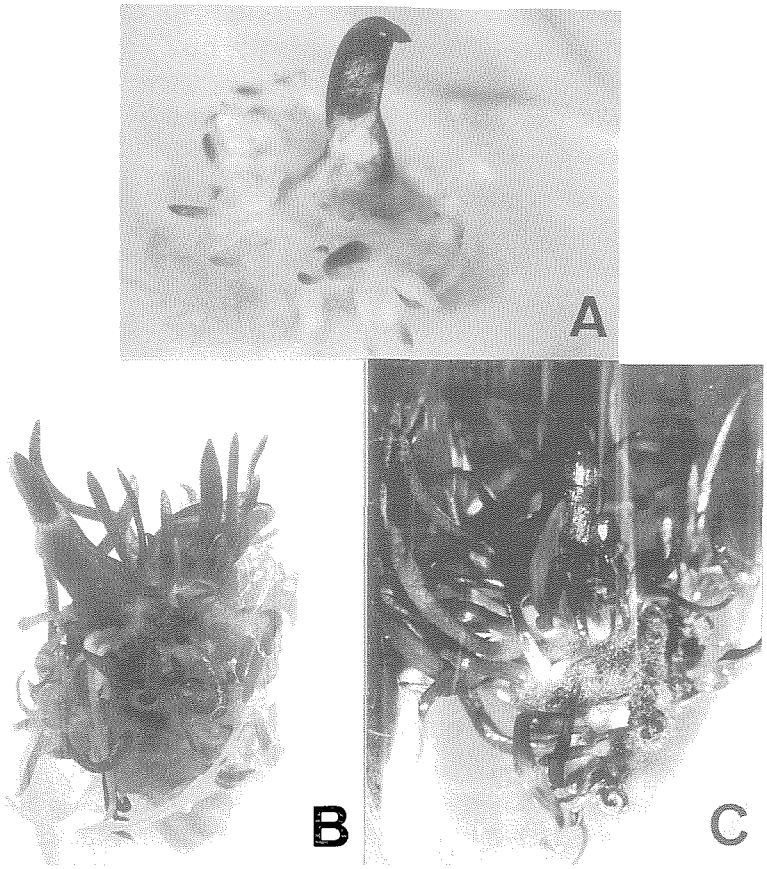

Fig. 50. Bud-multiplying body formation from a central, internal tissue of a bulb in tissue culture.
(A) Primary formation.
(B, C) Further development of a multiple shoot.

Table 12. Effects of BA and NAA on bud-multiplying body formation of apical-meristems tissues cultured *in vitro*[z].

BA (M)	NAA (M)	Rate of bud-multiplying body formation (%)	No. of plumules	Rate of root formation (%)	Rate of callus formation (%)
0	0	0	—	62.5	0
0	10^{-5}	7.7	2.0	53.8	63.6
0	10^{-4}	11.1	5.0	0	90.9
10^{-5}	0	52.6	7.7	10.0	20.0
10^{-5}	10^{-5}	50.0	8.8	27.3	44.4
10^{-5}	10^{-4}	57.1	1.8	7.7	76.9
10^{-4}	0	50.0	13.4	0	50.0
10^{-4}	10^{-5}	33.3	24.0	0	70.0
10^{-4}	10^{-4}	66.7	8.5	0	57.1

[z] After 16 weeks of culture. The media contain MS medium, 20 g/*l* sucrose, 7 g/*l* agar and growth regulators shown in the table. Culture was carried out under conditions of 25℃, 4,000 lx and 16-hour day length.

Table 13. Effects of BA and 2,4-D on bud-multiplying formation of apical-meristems tissues cultured *in vitro*[z].

BA (M)	2,4-D (M)	Rate of bud-multiplying body formation (%)	No. of plumules	Rate of root formation (%)	Rate of callus formation (%)
0	0	0	—	58.3	0
10^{-5}	0	33.3	8.0	33.3	0
10^{-5}	10^{-7}	57.1	7.5	50.0	0
10^{-5}	10^{-6}	42.9	22.7	28.6	0
10^{-5}	10^{-5}	30.8	20.0	7.7	23.1
10^{-4}	0	73.3	23.2	0	0
10^{-4}	10^{-7}	91.7	28.3	8.3	0
10^{-4}	10^{-6}	50.0	44.3	0	35.7
10^{-4}	10^{-5}	7.7	10.0	0	38.5

[z] After 16 weeks of culture. The media contain MS medium, 20 g/*l* sucrose, 7 g/*l* agar and growth regulators shown in the table. Culture was carried out under conditions of 25℃, 4,000 lx and 16-hour day length.

Table 14. Effects of BA and 2,4-D on morphogenesis of plumules which were induced from apical-meristems cultured on a medium without growth regulators[z].

BA (M)	2,4-D (M)	Rate of bud-multiplying body formation (%)	No. of plumules	Rate of root formation (%)	Rate of callus formation (%)
0	0	0	—	42.9	0
10^{-5}	10^{-7}	46.7	8.2	13.3	0
10^{-5}	10^{-6}	13.3	7.1	6.7	6.7
10^{-5}	10^{-5}	0	—	0	71.4
10^{-4}	10^{-7}	20.0	8.3	0	20.0
10^{-4}	10^{-6}	46.7	12.4	0	6.7
10^{-4}	10^{-5}	50.0	14.5	0	21.4

[z] After 16 weeks of culture. The media contain MS medium, 20 g/*l* sucrose, 7 g/*l* agar and growth regulators shown in the table. Culture was carried out under conditions of 25℃, 4,000 lx and 16-hour day length.

た，2,4-D 濃度が高くなるほど形成率は低くなる傾向を示した。1 外植体当りの幼芽数は，BA 10^{-4}M と 2,4-D 10^{-6}M 添加区で 44.3 個と最も多かった。カルスは BA 10^{-5}M と 2,4-D 10^{-5}M 及び BA 10^{-4}M と 2,4-D 10^{-6}～10^{-5}M の添加区で形成が認められたが，いずれも 40%以下であった。発根率は生長調節物質無添加区が最も高かった。

3. 分割移植した幼芽の形態形成に及ぼす移植培地組成の影響

2.において得られた多芽体を分割移植したところ，BA 10^{-5}M と 2,4-D 10^{-7}M 及び BA 10^{-4}M と 2,4-D 10^{-6}～10^{-5}M 添加区では，さらに幼芽が形成された（Table 14）。1 外植体当りの幼芽数は，BA 10^{-4}M と 2,4-D 10^{-6}～10^{-5}M 添加区では 10 個以上みられた。カルスの形成率は BA 10^{-5}M と 2,4-D 10^{-5}M 添加区で 71.4%と高かったほかは，いずれも 20%程度であった。発根率は生長調節物質無添加区で良好であり，発根した幼芽は植物体として馴化することが可能であった。

考　察

他のネギ属作物では培養組織からの再分化が報告されているが，[11,14,23,34,57,74] ギョウジャニンニクにおいては茎盤部からシュートを形成することが観察された。

多芽体はオーキシンとサイトカイニンの添加により形成されたが，特に BA 濃度が高い場合に多く

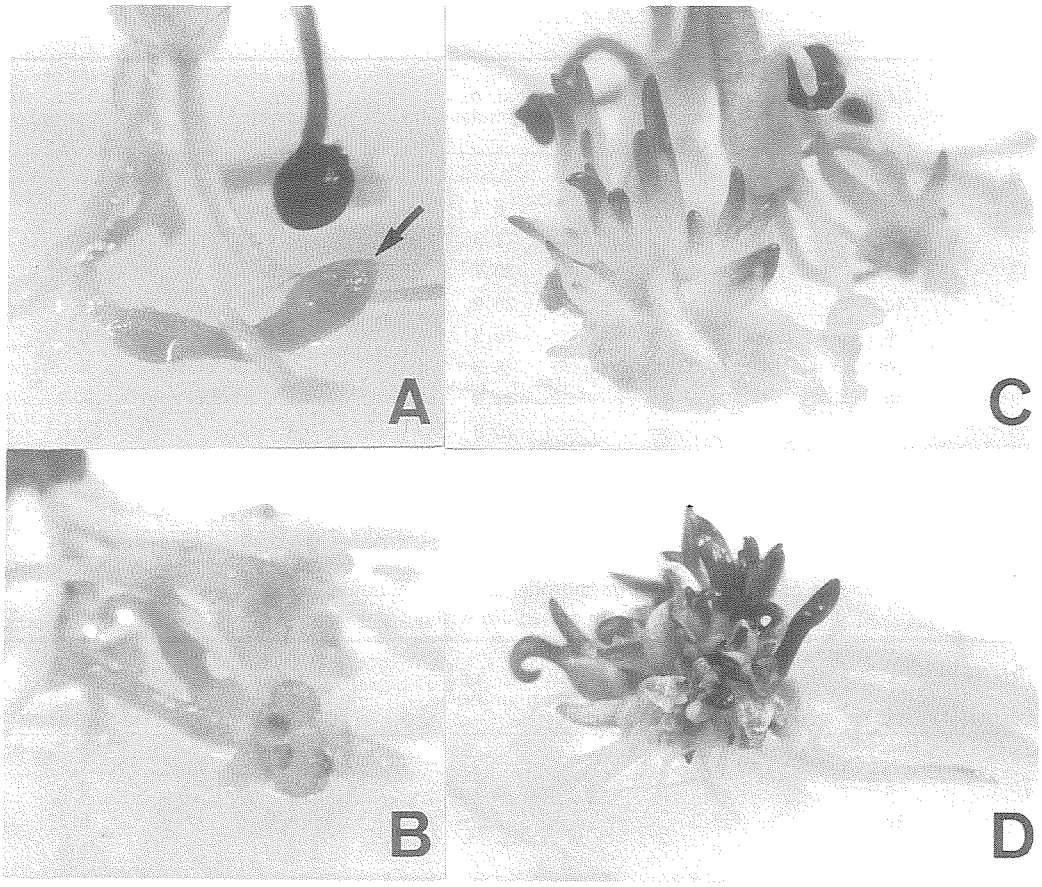

Fig. 51. Plant regenerating process from in-vitro-cultured tissues of root.
(A) Enlargement of in-vitro-cultured root tip (arrow).
(B) Callus induction from root tip enlarged.
(C) Adventitious buds differentiation on callus.
(D) Plant regeneration on the medium without growth regulators.

観察された。1外植体当りの幼芽数もBA濃度が高くなるに従って多くなり，多芽体の形成にはサイトカイニンが極めて重要であることが明らかとなった。また，オーキシンとして2,4-Dを用いた場合には，NAAを用いた場合に比べてカルス化が少なく，低濃度で多芽体が形成された。

シュートの再分化が認められた後に，生長調節物質無添加の培地に移植して発根させる方法は報告されているが，[22,41,89,102] ギョウジャニンニクにおいても初代培養により得られた幼芽は，生長調節物質無添加の培地に移植することにより発根し，幼植物体に再生させることが可能であった。また，得られた幼芽をさらに適当な培地に移植することにより，新たに多芽体を誘導できることも明らかとなった。ギョウジャニンニクは成株に至るまでの期間が長いことが知られているが，組織培養法を用いることにより大量増殖の可能性が示唆され，生育期間の短縮にも応用できるものと考えられる。

II. 根からの不定芽形成

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの種子を用い，MS培地にショ糖20 g/l 及び寒天7 g/l を添加し，BA (0, 10^{-6}, 10^{-5}M) と NAA (0, 10^{-7}, 10^{-6}, 10^{-5}M) を組み合わせた培地に置床した。なお，培養は4,000 lx，16時間日長の条件下で行った。第2章で述べたように，種子の発芽率は20℃付近が良好であったことから播種後3か月までは培養温度を20℃と

し，以後は25℃とした。調査は種子発芽6～8か月後に，主として根における不定芽の形成について行った。また，根の組織学的観察はパラフィン切片を作製することにより行った。

結　果

種子発芽6か月後にBAを10^{-6}M及び10^{-5}M添加した区では，根の先端部分が肥大する現象が観察された（Fig. 51 A）。種子発芽8か月後にはBA 10^{-5}M及びNAA 0～10^{-6}M添加区において，肥大した根の表層に粒状のカルスが形成された（Table 15）。カルスの表面は滑らかで光沢があり，淡黄色であった（Fig. 51 B）。さらに培養を続けたところ，形成されたカルスから不定芽が分化した（Fig. 51 C）。

また，肥大した根の表層が隆起し，カルスを経由せずに不定芽が分化する個体もみられた。NAA 10^{-7}～10^{-6}M添加区で形成された不定芽を根の切片から切り離し，生長調節物質無添加のMS培地に移植することにより発根が認められた（Fig. 51 D）。

根の組織の最も外側には表皮が認められたが，かなり不明瞭であった。表皮の内側には皮層がみられ，染色された核をもつ細胞が密着していた。根の中心部には木部及び篩部などの維管束がみられたが，配列には規則性が認められなかった。肥大部分では維管束から分裂した細胞が表皮及び皮層に広がっており，特に表層付近には分裂した細胞の集合体が多数みられた。

Table 15. Effects of BA and NAA on growth of in-vitro-cultured tissues of roots[z].

BA (M)	NAA (M)	No. of explants	No. of roots thickened[y]	No. of calli induced	No. of shoots differentiated
0	0	12	0	0	0
0	10^{-7}	9	0	0	0
0	10^{-6}	8	0	0	0
0	10^{-5}	10	0	0	0
10^{-6}	0	7	1	0	0
10^{-6}	10^{-7}	15	3	1	0
10^{-6}	10^{-6}	7	1	1	0
10^{-6}	10^{-5}	7	1	1	0
10^{-5}	0	7	4	2	1
10^{-5}	10^{-7}	9	6	5	4
10^{-5}	10^{-6}	11	7	5	4
10^{-5}	10^{-5}	5	1	0	0

[z] After 8 months of culture. The media contain MS medium, 20 g/*l* sucrose, 7 g/*l* agar and growth regulators shown in the table. Culture was carried out under conditions of 25℃, 4,000 lx and 16-hour day length.

[y] The thickened root stands for a root more than 5 mm in diameter.

考　察

不定芽の分化にはオーキシンとサイトカイニンの濃度比が影響を及ぼすことが報告されているが[71,75,89] BAを10^{-6}M及び10^{-5}M添加した区では種子発芽6～8か月後に根の先端部分が肥大し，さらにNAAを10^{-7}～10^{-6}M添加した区では肥大した根の表層から不定芽が分化した。一方，NAA無添加の培地では不定芽の分化がみられなかったことから，根からの不定芽の分化はNAAとBAの相互作用により起こるものと思われる。この過程で形成された粒状のカルスは高い形態形成能を有し，近年，多くの植物種で観察されているembryogenicカルスに類似した性状といえる。また，不定芽の中にはカルスを経由せずに，直接分化する個体も認められた。形成された不定芽は生長調節物質無添加のMS培地に移植することにより発根したが，これは前節における結果と同様であった。

in vitro 培養根の組織の構造は，成株の場合とはやや異なった。一般に皮層の細胞は柔細胞からなり，主として養分や水分の通路としての機能があるが[28,29,32] *in vitro* 培養根の皮層の細胞は核が染色されており，分裂活性の高い細胞であることが認められた。また，中心部には木部及び篩部などの維管束を構成する組織がみられたが，配列には規則性が認められなかった。

肥大部分の表皮及び皮層には維管束から分裂した細胞が広がり，特に表層付近には分裂した細胞の集合体が多数みられた。ブロッコリーでは，カルスからの不定芽の分化過程において篩細胞の集塊の出現を認めており[93] ギョウジャニンニクにおいても根の肥大部にみられた細胞の集合体は不定芽の分化に関連するものと考えられる。

以上の結果から，*in vitro* においても成株と同様にギョウジャニンニクの根から不定芽が形成されることが明らかとなった。特に *in vitro* 培養根からの不定芽は，内生的に発生した細胞から分化すると推察され，BA 10^{-5}M とNAA 10^{-7}～10^{-6}M の添加が不定芽の形成に関連していると考えられた。

培養中の根に不定芽が形成されることは他の植物では報告されているが[15,24,25,56,77,91] ネギ属作物にお

いては報告がみられず，根の組織からの器官分化能が高いことはギョウジャニンニクの特性と思われる。

第8章　栽培化に関する基礎技術

前章までは主としてギョウジャニンニクの植物としての性状について述べたが，得られた知見を実用面に応用することは，栽培条件を確立するために重要である。

本章では，圃場に播種した場合の種子の発芽と栽培管理を省力化するための自生地（林床地）を利用した栽培方法の可能性について検討した。

I.　圃場に取り播きした種子の発芽

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの種子を用い，1988年8月10日に北海道大学農学部附属農場そ菜園に播種した。播種量は50 cm×50 cmの区画に400粒，1,200粒及び4,000粒として散播した3区と畦幅10 cmの条播（播種量400粒の区のみ）の合計4区を設けた。地上に子葉の現れた個体を発芽とし，主として発芽率と第1葉の出葉について経時的に観察を行った。

結　　果

Fig. 52に種子を圃場に取り播きした場合の発芽経過の1例を示したが，播種密度や播種方法（散播と条播）による明確な差は認められなかった。各区とも播種後40日頃から発芽が認められ，播種3か月後には発芽率が約60%となった。また，越冬後に発芽個体の増加が認められ，この傾向は播種量が多い区においてより明確で，区により80～90%以上の発芽率が認められた。圃場に播種した場合の第1葉の出葉は，播種した翌春に観察された（Fig.

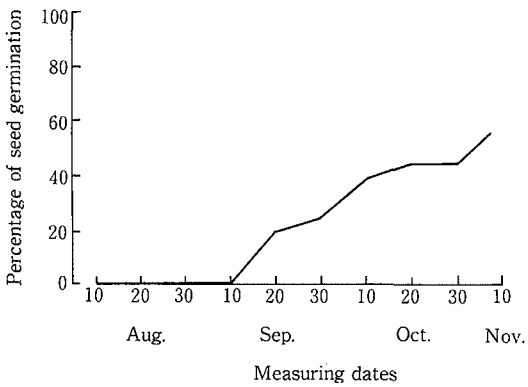

Fig. 52.　Seed germination sown in field.

Fig. 53.　Seedlings grown in the plot at high seeding density.　All leaves are the first leaves elongated in spring.

53)。

考　　察

種子を圃場に取り播きした場合には，シャーレにおける発芽と同様に播種後40日頃から子葉が地上に現れる個体が認められた。播種3か月後には約60%の個体が地上に現れたが，発芽後に地上に現れない個体も含めると実際の発芽率はさらに高いものと思われる。第2章で述べたように，ギョウジャニンニク種子の発芽には高温前処理や変温前処理が有効であるが，北海道で取り播きする時期は種子の発芽に適した温度条件に近い。すなわち，高い発芽率が認められた理由としては，8月の高温を経過した後に発芽適温に近い温度域に達したことと，昼夜の変温による影響が大きいものと考えられる。

また，越冬後に発芽個体の増加が認められたが，これは越冬前にはみられなかった第1葉（本葉）が気温の上昇に伴って伸長し，地上に現れたためと思われる。

一般にギョウジャニンニク種子の発芽は困難であるといわれているが，実際に発芽試験を行ってみると適切な条件下では80～90%以上の発芽率が認められた。このことは，実用上，種子繁殖で十分に栽培できることを立証するものと思われる。

II. 自生地における種子の発芽と実生の生長

材料及び方法

材料はギョウジャニンニクの種子を用い，1988年9月24日に北海道大学農学部附属中川地方演習林内の2試験区（南方向と北西方向に面した斜面）に播種した（なお，以下の文章では各々南斜面，北西斜面と記す）。播種量は両区とも50 cm×50 cmの区画に約1,000粒とした。1989～1991年の6月に発芽率，草丈，葉鞘径及びりん茎径について調査を行った。また，1991年6月に株を掘り上げ，葉面積及び葉色を調査した後に，葉，りん茎，根について乾物重を測定した。葉色は葭田[101]の方法に従い，葉中のクロロフィル含有量を測定することにより行った。

結　　果

1. 種子の発芽及び生育

両区とも播種翌年（1989年）には発芽率が40～60%であったが，播種3年後に認められた実生は約30%であった。播種翌年には南斜面の実生の草丈が大きかったほかは，特に大きな差は認められなかった。播種2年以降では両区とも年数の経過とともに生長したが，南斜面における実生の生長が北西斜面に比べて大きかった（Fig. 54，Table 16）。

2. 葉面積，乾物重及び葉色

葉面積は南斜面における実生が北西斜面に比べて約2倍以上大きかった。乾物重は葉面積と同様に南斜面において生長した実生が北西斜面に比べて大きく，特にりん茎が乾物重全体の約50%を占めた。葉色は南斜面における実生の葉が北西斜面に比べて濃く，葉中のクロロフィル含有量も南斜面の実生の葉が多かった（Table 17）。

考　　察

林床地内に播種した翌年に両区とも40～60%の発芽率が認められたことは，いずれも種子の発芽に適した環境条件であったことを示すものと考えられる。

実生の生育は両区とも播種後の年数の経過とともに草丈，葉鞘径及びりん茎径が大きくなったが，葉面積や乾物重の比較からも明らかなように，南斜面での植物体の生長量が大きく，生育する環境条件の

Table 16. Comparison of plant height, sheath diameter and bulb diameter at two different kinds of sowing plots in landform[z].

Sowing plot	Plant height (cm)			Diameter of sheath (mm)			Diameter of bulb (mm)		
	Years of growing			Years of growing			Years of growing		
	1989	1990	1991	1989	1990	1991	1989	1990	1991
South slope	10.5	11.2	13.6	1.0	1.5	1.7	2.8	4.6	4.8
	(0.37)	(0.07)	(0.27)	(0.07)	(0.09)	(0.10)	(0.14)	(0.21)	(0.15)
Northwest slope	7.0	7.7	9.6	1.0	1.0	1.3	2.6	3.3	3.9
	(0.20)	(0.25)	(0.30)	(0.05)	(0.04)	(0.08)	(0.17)	(0.12)	(0.09)

[z] Numbers in parentheses indicate S. E.

Fig. 54. Seedlings grown for three years after sowing in forestland.
(A) South slope.
(B) Northwest slope.

ちがいにより株の大きさが異なることが確認された。前章で述べた圃場における実生の生長と比較すると，北西斜面での生育は約1～2年遅く，成株に至るまでにはさらに年数を要するものと思われる。りん茎の乾物重において植物体に占める割合が大きかったことは，第4章で述べた地下部の器官が貯蔵的役割を果たしていることに関連しているものと思われる。すなわち，りん茎内では地上部の枯死後も萌芽葉芽及び普通葉芽が生長を続けるため，養分の貯蔵と供給が行われるものと推察される。

以上の結果から，林床地内で人工的に播種した場合には，40～60%の種子の発芽率が認められた。生

Table 17. Comparison of leaf area, dry weight and concentration of chlorophyll at two different kinds of sowing plots in landform[z].

Sowing plot	Leaf area (cm^2)	Dry weight (mg)[y]			Concentration of chlorophyll (OD_{660})
		Leaf	Bulb	Root	
South slope	14.6	51.9	150.0	63.4	1.02
		(19.6)	(56.5)	(23.9)	
Northwest slope	5.9	14.4	46.9	35.5	0.36
		(14.9)	(48.6)	(36.5)	

[z] Three years after sowing.
[y] Numbers in parentheses indicate percentages to the value (100) of total dry weights at each sowing plot.

育は圃場に比べて劣るが，播種場所によってはかなり良好であった。播種後の年数の経過とともに株数の減少がみられたが，栽培する際には播種量を多くすることにより株数を確保できるものと思われる。したがって，実生の生育に適した場所を選ぶことにより，林床地を利用したギョウジャニンニクの省力的栽培の可能性が示唆された。

第9章 総合考察

ギョウジャニンニクはユリ科ネギ属に属する植物であるが，現在栽培されている他のネギ属作物と比較すると，種子や植物体の形態においていくつかの特徴がみられる。

一般にネギ属作物の子房は3室に分かれ，1室に2個あるいは2個以上の種子が形成されるために種子の形は盾形か半球状になる。しかし，ギョウジャニンニクでは1室に種子が1個しか形成されず球形となり，100粒重も大きい。また，子葉の長さが約1cmと短いことや普通葉が披針形を呈すること，花粉粒が大きいなどの点で他のネギ属作物の形態とは大きく異なっている。

1．近年，ギョウジャニンニクの需要が増加し，株を自生地から採取するばかりでなく栽培化の必要性が望まれている。実際に栽培する上で生育速度が遅いことが問題点として指摘されるが，その原因として以下のような点が考えられる。

（1） まず種子の発芽速度が遅く，発芽後も出葉数が少ないことである。種子の発芽率は完熟したものを脱粒後に直ちに播く，いわゆる取り播きした場合が最も高いが，発芽に適した条件においても発芽が揃うまでには30～40日を要する。さらに，種子の発芽当年は子葉が出葉しただけで越冬し，本葉は翌年に1葉しか出葉しない。そして，本葉の展葉時期に翌春の養分を地下部に蓄積した後に枯葉し，越冬後に再び出葉する。このような生育過程を毎年繰り返すために，種子の発芽から成株に至るまでには少なくとも3年以上を要し，生育環境が不良の場合にはさらに多くの年数を要することになる。

（2） 次に成株になった後も出葉数が少ないことである。他のネギ属作物では，1生育期間に出葉する葉数は10数枚から20数枚と多く，生長点が花房に分化するまでは一定の期間ごとに順次出葉するが[9,7]ギョウジャニンニクでは1～3枚（まれに4枚）と少なく，分化した葉が春先に一斉に出葉する。これはおもに葉原基の分化様式に起因し，ギョウジャニンニクでは出葉する2年前の秋に葉原基の分化が始まり，1年前の秋にはすでに出葉する葉数が定まっていることによる。すなわち，他のネギ属作物では生育期間中，生長点部で葉原基を連続して分化するのに対し，ギョウジャニンニクでは出葉した後は生育期間中でも葉原基が分化することがないためである。

（3） さらには休眠期間が長いことがあげられる。8～9月に枯葉すると休眠に入り，翌春まで普通葉の展葉はみられない。枯葉期から冬にかけて休眠の深さは徐々に浅くなるが，自然条件下で休眠が完全に打破されるのは12月以降となり，萌芽が始まる時期は雪解け後となる。

以上のような植物学的特性をもつギョウジャニンニクの栽培化を図るためには，まず発育特性を明らかにし，人為的に制御する方法を確立する必要がある。

2．植物の繁殖方法は生育する環境要因や種を維持する方法と密接に関係しているが[6,7]ギョウジャニンニクは種子繁殖と栄養繁殖の両方を行うことが明らかとなった。

（1） ギョウジャニンニクの1株から採種できる種子数は，1花球当りの小花数が少ないことと1子房室に種子が1個しか形成されないことから，ネギやタマネギに比べて極めて少ない。このため，着生した小花から良質な種子を確実に大量に採種することが必要である。

1花球内の小花の開花期には幅があるために種子の熟度が異なるが，種子の発芽率は完熟期が最も高

いことから完熟種子を採種する方法が必要となる。しかし，このような点を考慮すると，安定した採種量を確保するためには成株を圃場に定植して採種圃を設け，肥培管理のもとに良好な栄養状態で開花結実させることが極めて重要である。また，安定した高い発芽率で増殖させるためにも育苗圃を準備して取り播きすることが有効な方法であると思われる。

（2）　栄養繁殖についてみると，三つの方法により繁殖することが明らかとなった。第一には他のネギ属作物にもみられるように分げつにより繁殖する方法である。分げつ芽の形成には植物体の大きさや生長過程が大きく関連し，分げつ数が少ないことから，繁殖方法として利用するには繁殖効率が低いものと考えられる。しかし，分げつ数の多い株を選抜することは栽培上の利点の一つとなるであろう。

第二は十分に発育した株の根に不定芽を形成する繁殖方法である。形成された不定芽が発根し，小植物体に発育した後は親株の根から容易に離脱して生長することが可能である。この現象は他のネギ属作物にはみられない重要な繁殖様式であり，根系の広がりを利用して広い範囲に繁殖することや地上における外的環境の影響を受けにくい利点がある。不定芽の形成機構については，根を人工培地で培養した知見から内生の生長調節物質の作用が示唆されるが，形成要因を明らかにすることにより有効な増殖方法として利用することが可能と考えられる。

第三には組織培養法を利用して茎盤部組織から多芽体を誘導する方法である。多芽体の形成には高濃度のBAを必要とするが，移植する培地に添加する生長調節物質により植物体を再生させたり，新たに多くの多芽体を形成させるなど培養体を人為的に制御することで繁殖効率の向上及び生育期間の短縮が可能になると考えられる。

3．次に生育期間中の発育に対する人為的な制御の可能性の検討が必要となる。肥培管理においては，ギョウジャニンニクの無機成分の吸収は主として萌芽期から展葉期にかけて行われ，伸長が完了した後は窒素，リンの体内における移行が起こることが明らかとなった。また，リン含有率が高いことは施肥上の重要な要素であり，吸収特性を考慮した肥培管理を行うことが重要と考えられる。林床地に自生する多くの植物は，他の植物が生長を開始する前に萌芽，展葉して光合成を行うことが報告されている。[40] ギョウジャニンニクにおいても無機成分の吸収と同様に同化物質の大部分を萌芽期から展葉期に蓄積し，当年に蓄えた養分を翌春，萌芽する株の生長に利用することが明らかとなった。したがって，萌芽期から展葉期の栽培環境は翌年の株の生長に大きな影響を及ぼすことが推測され，発育に適した環境条件を整えることが必要である。

4．休眠は自然条件下では12月以降に打破されるが，休眠期間の制御については低温処理による休眠打破が可能となったことから，早期に萌芽，収穫する方法として有効である。しかし，休眠の深さと休眠打破に必要な温度や処理期間の関係から，萌芽後の生育環境を調整しなければならず，休眠打破後の栽培管理を新たに考えなければならない。

5．発育を早める一つの方法として，他のネギ属作物との交雑により遺伝的な改良が考えられる。ネギ属作物ではタマネギとネギ間のほか，数種類の組み合わせで種間雑種の育成に成功している。[21,79,80,100] ネギ属作物の開花期は種により異なるため，交雑するためには開花期を調整するか長期間にわたり花粉を貯蔵しなければならない。花粉を乾燥状態の極低温の条件下で長期間貯蔵することが可能となったことから，開花期の異なる他種との交配も容易となり交雑育種を進める上で役立つことが期待される。

6．最後に林床地内を利用した栽培方法は，圃場における栽培に比べて栽培管理が容易であることが利点としてあげられる。実際に林床地に播種した種子では40～60％の発芽率が認められ，圃場と同様に実生の生育に適した場所を選ぶことにより，林床地を利用したギョウジャニンニクの栽培は十分に可能であることが示唆された。

以上で述べたように，本研究によりこれまで不明な点の多かったギョウジャニンニクの植物学的性状についてかなりの部分が明らかとなった。また，栽培化を行うための基礎的知見が得られ，林床地を利用した栽培の可能性も確認された。今後の研究により，ギョウジャニンニクが野菜の一つとしてさらに広く栽培，利用されることを切望する。

摘　　要

ギョウジャニンニク（*Allium victorialis* L. ssp. *platyphyllum* Hult.）の形態的特性及び発育特性を明らかにし，栽培の基礎となる諸要因について検討を行った。

I. 形態的特性

1．種子は球形で種皮の表面が滑らかであり，他のネギ属作物に比べて100粒重が大きい。これは，1室に胚珠が1個であることと子房の内部や胚珠が大きいためと考えられる。また，種皮は4～8角形の細胞の配列により構成される。胚の長さは3mm程度で他のネギ属作物に比べて胚が小さく，胚乳内での胚の巻き込みが小さいことが特徴としてあげられる。子葉の形は他のネギ属作物と類似しているが，長さは約1cmと短い。

2．成株の地上部は萌芽葉及び普通葉からなり，萌芽葉は葉身をもたない鞘葉で普通葉の葉形は披針形である。また，抽台する株では楕円形の横断面をもつ花茎が伸長し，頂部に花球をつける。地下部はりん茎と根からなり，りん茎内にある茎盤の中央部に生長点があって葉や花房を分化する。

3．1花球当りの小花数はネギ属作物の中では少なく，花茎の長さはアサツキと同様に短い。小花の構造上の特徴は内花被が外花被に比べて長く，内花被は披針形または楕円形で偏平であり，外花被は細長く中央部にくぼみがみられる点である。雌ずいの子房部は他のネギ属作物に比べて大きく3室が明瞭に突出しており，胚珠は通常1室に1個しか存在しない。

4．ネギ属作物の花粉はいずれも中央部に膨らみのある楕円形である。また，花粉の長径及び短径は他のネギ属作物に比べて大きいことが特徴であった。

II. 種子の発芽

1．種子の発芽温度は15°～25℃の範囲と推定され発芽率は20℃で最も高かったが，発芽には約1か月を要し他のネギ属作物に比べて極めて遅く，発芽後の生長も遅かった。また，発芽には暗発芽性が認められた。

2．種子の発芽率を高めるには，20℃に保つ前に30℃の高温処理または15℃と25℃の12時間ごとの変温処理を20～30日間行うことが極めて有効であった。

3．種子発芽に及ぼす薬剤処理の影響については，ジベレリンにより発芽率がわずかに上昇したほかは顕著な効果は認められなかった。

III. 発育と分げつ

1．種子の発芽後，年数の経過とともに植物体は大きくなるが，特に発芽後3～4年目の株では乾物重の増加が著しく，葉面積の増加，抽台などの形態的変化がみられた。

2．成株では4月上旬に1～2枚の萌芽葉が地上に出葉し，続いて2～3枚の普通葉が展葉した後8～9月にかけて枯葉する。萌芽葉は出葉する前々年の秋，普通葉は前年の春に分化する。りん茎は萌芽期から枯葉期まで肥大を続けるが，りん茎内部にある萌芽葉芽は生育期間を通して伸長する。

3．花房分化は8月上旬から9月下旬に始まり，花房形成が認められてまもなく花茎側芽が花茎の基部に形成される。

4．分げつは普通葉の葉腋部に分げつ芽（腋芽）が形成された場合と，花茎の基部に花茎側芽が2個形成された場合にみられる。分げつ芽及び花茎側芽は秋に分化し，分化した翌春に成株の葉鞘内で緩やかに生長を続け，秋までに4～5cmに生長する。翌年の春にこれらの芽は萌出し，普通葉が展葉する。

5．根に不定芽が形成され，発育して植物体になる現象が見出された。これはネギ属作物の中では，ギョウジャニンニクにのみ認められる独特の栄養繁殖法ということができる。

IV. 生育と栄養物質の消長

1．成株における生体重及び乾物重は，葉の生長とともに著しく増加し6月にピークを示したが，それ以後9月まで減少し10月以降再び増加した。

2．窒素，リンの株当りの含有量は4月から8月にかけて増加を続け，カリウム及びカルシウムは4月から6月にかけて増加していることから，この時期に養分の吸収が活発に行われていることが推察された。

3．各成分は萌芽期から抽台・開花期まで葉に多かったが，その後りん茎と根に移行し，休眠期以降は根に多く含まれた。萌芽葉芽の各成分含有量は秋まで増加し続けた。

4．リンの含有率は他のネギ属作物に比べて高く，ギョウジャニンニクの特徴の一つと考えられた。

5．萌芽期から展葉期に葉では還元糖が多くなり，りん茎では非還元糖及びデンプンの蓄積がみられた。また，休眠期には根において非還元糖及びデ

ンプンの含有量が多かった。

V. 休眠現象

1．8～9月に地上部が枯れた後は翌春まで萌芽がみられず休眠に入るが，休眠の深さは秋から冬にかけて徐々に浅くなる。

2．休眠打破の方法としては低温に遭遇させることが有効であり，0°～5℃の温度で処理期間が長いほど休眠打破の効果が大きかった。

VI. 開花及び花粉の特性

1．開花の過程はネギやタマネギと同様であることが明らかとなった。すなわち，内花糸の伸長に続いて外花糸が伸長し，葯も同様に内葯の裂開後に外葯が裂開した。また，花柱は葯の裂開後に急激に伸長した。

2．花粉の発芽にはショ糖15%を添加した寒天培地（寒天1%）を用い，20°～25℃で培養を行うことが適切であると考えられた。

3．花粉は乾燥条件で－30℃及び－196℃で貯蔵することにより，長期間の貯蔵が可能である。特に，液体窒素中（－196℃）で貯蔵した花粉は1年後においても発芽率は70%以上を維持し，低下しなかった。

VII. 組織培養における形態形成

1．茎頂を含む茎盤部をBA高濃度の培地で培養することにより多芽体が誘導され，多芽体の形成にはオーキシンとしてNAAに比べて2,4-Dが適していると考えられた。また，発根率は生長調節物質無添加区が最も高かった。

2．誘導された多芽体を適当な培地に分割移植することにより再び多芽体を誘導でき，分割して生長調節物質無添加の培地に移植することにより，連続的に幼植物体を再生させることが可能であることが示唆された。

3．*in vitro* において根を培養することにより，不定芽を誘導することができた。

VIII. 栽培化に関する基礎技術

1．種子を圃場に取り播きした場合には80～90%以上の発芽率が認められ，種子繁殖による栽培が実用上，十分に可能であることが示唆された。

2．林床地に播種した場合には40～60%の発芽率が認められ，播種量を多くすることで林床地においても十分に栽培できる可能性が示唆された。

謝　　辞

本研究を遂行するにあたり，終始懇篤なる御指導と御校閲の労を賜った北海道大学名誉教授八鍬利郎博士に対し深甚なる感謝の意を表する。また，本論文の作成にあたり，御助言と御校閲の労を賜った北海道大学農学部教授筒井　澄博士，同教授喜久田嘉郎博士ならびに同教授原田　隆博士に対し深く感謝の意を表する。北海道東海大学教授西村弘行博士，山形大学農学部教授高樹英明博士，北海道大学農学部附属農場教授今河　茂博士ならびに新潟大学農学部附属農場助教授荒木　肇博士には本研究を遂行するにあたり，多くの御指導と有益な御教示をいただいた。

北海道立林業試験場佐藤孝夫氏，北海道東胆振地区農業改良普及所黒崎利明氏，竹岡新次氏，北海道厚真町農業経営センター本田松雄氏，佐々木弘氏，北海道門別町若林一雄氏，北海道中川町ならびに北海道大学農学部附属中川地方演習林の方々には実験圃場の提供について快くお引き受けいただいた。

本研究の多くは北海道大学農学部附属農場において行われたが，北海道大学農学部附属農場園芸第一部の方々をはじめ北海道大学農学部果樹蔬菜園芸学講座の大学院生ならびに学生諸氏には本研究の完成に至るまで多くの御指導と御協力をいただいた。

各位に対し，謹んで衷心より感謝の意を表する。

なお，本研究は北海道大学農学部札幌同窓会の援助を得ることにより推進できたことをここに記すとともに御厚志に対して心より感謝の意を表する。

引用文献

1. AMMA, S. and WATANABE, A.: Long-term storage of germ plasm of tea (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze). JARQ., **19**(3): 196-201. 1985
2. 青葉　高：セイタカヤグラネギ（top-onion）の特性．山形農林学会報 **23**: 7-12. 1966
3. 青葉　高：ネギ類種子の発芽と温度条件．農及園 **41**(5): 791-792. 1966
4. 青葉　高：*Allium* 属花きの種子発芽に及ぼす温度条件の影響．園学雑 **36**(3): 333-338. 1967
5. 青葉　高：*Allium rosenbachianum* REGEL の繁殖に関する研究（第1報）種子の発芽条件について．山形農林学会報 **24**: 13-18. 1967

6. 青葉 高：*Allium rosenbachianum* REGEL の繁殖に関する研究（第2報）実生苗の球形成過程について．園学雑 **37**(2)：72-77. 1968
7. 青葉 高：ネギ属作物の起源とその育種．育種学最近の進歩 第23集．p. 58-67. 日本育種学会編．啓学出版．東京．1982
8. 青葉 高：園芸植物大事典 2．p. 71-72. 小学館．東京．1988
9. 馬場 昂：チューリップの栄養生理(1)．農及園 **46**(1)：283-286. 1971
10. 馬場 昂：チューリップの栄養生理(2)．農及園 **46**(2)：345-348. 1971
11. BAUMUNK-WENDE, E.: Application of tissue culture in leek breeding (*Allium porrum* L.). Gartenbauwissenshaft **54**(1): 20-24. 1989
12. CHANG, W. N. and STRUCKMEYER, B. E.: The influence of temperature and relative humidity on onion pollen germination. HortScience **10**(2): 162-163. 1975
13. COMIN, D.: Onion production.. 17-19, Orange Judd Publ. Co., New York, 1946
14. DEBERGH, P. and METSENAERE, R. S.: Neoformation of bulbils in *Allium porrum* L. cultured *in vitro*. Scientia Hortic., **5**: 11-12. 1976
15. EAPEN, S. and GILL, R.: Regeneration of plants from cultured root explants of mothbean (*Vigna aconitifolia* L. Jacq. Marechal). Teor. Appl. Genet., **72**: 384-387. 1986
16. 江口庸雄：花芽分化の研究(16)．農及園 **26**(8)：915. 1951
17. 江口庸雄，大鹿保治，松村 正：ねぎの採種に関する研究（第1報）花芽の分化および発育について．農技研報告 **E7**：108-114. 1958
18. 江口庸雄，大鹿保治，神山利一：ねぎの採種に関する研究（第2報）開花に関する調査．農技研報告 **E7**：115-132. 1958
19. 江口庸雄，大鹿保治，山田英一：ねぎの採種に関する研究（第3報）窒素肥料の分施時期に関する試験．農技研報告 **E7**：133-144. 1958
20. 江口庸雄，大鹿保治，山田英一：そ菜種子の熟度と寿命に関する研究．農技研報告 **E7**：145-165. 1958
21. 衛藤威臣，小倉弘司：*Allium longicuspis* REGAL とニンニク稔性系統の比較，および，それらの交雑種子について．園学要旨昭59春：170-171. 1984
22. FRIDBORG, G.: Growth and organogenesis in tissue cultures of *Allium cepa* var. *proliferum*. Physiol. Plant., **25**: 436-440. 1971
23. FUJIEDA, K., ANDO, Y. and FUJITA, Y.: Propagation of Welsh onion through shoot tip culture. J. Fac. Agr. Kyushu Univ., **22**: 89-98. 1977
24. 深井誠一，五井正憲，田中道男，古川 一：ユーストマの根組織培養系におけるシュートの再生．香川大農報 **43**(1)：31-34. 1991
25. GOFORTH, P. L. and TORREY, J. G.: The development of isolated roots of *Comptonia peregrina* (MYRICACEAE) in culture. Amer. J. Bot., **64**(4): 476-482. 1977
26. GRIGGS, W. H., VANSELL, G. H. and IWAKIRI, B. T.: The storage of hand-collected and bee-collected pollen in a home freezer. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **62**: 304-305. 1953
27. 萩屋 薫，雨木若橘：チューリップの施肥に関する研究（第3報）肥料3要素および水分の吸収量の季節的消長．園学雑 **35**(2)：170-176. 1966
28. 原 襄：植物の形態．p. 142-155. 裳華房．東京．1984
29. 原 襄：福田泰二，西野栄正：植物観察入門．p. 137-146. 培風館．東京．1986
30. HOFFMAN, C. A.: Developmental morphology of *Allium cepa*. Bot. Gaz., **95**: 279-299. 1933
31. HOSSAIN, M. M., INDEN, H. and ASAHIRA, T.: Pollen morphology of interspecific hybrids of *Brassica oleracea* and *B. campestris*. HortScience **25**(1): 109-111. 1990
32. 北條良夫，星川清親：作物－その形態と機能－上巻．p. 166-184. 農業技術協会．東京．1976
33. 北條良夫，石塚潤爾：最新作物生理実験法．p. 333-334. 農業技術協会．東京．1985
34. HUSSEY, G.: *In vitro* propagation of the onion *Allium cepe* by axillary and adventitious shoot proliferation. Scientia Hortic., **9**: 227-236. 1978
35. 石居企救男，細谷 毅，柴 英雄，斎藤哲夫：ネギ栽培における土じょう肥料に関する研究（第1報）生育及び養分吸収経過．埼玉農試研報 **27**：71-79. 1967
36. 岩波洋造：花粉学．p. 19-162. 講談社．東京．1980
37. JONES, H. A. and MANN, L. K.: Onions and their allies. 55-57, Leonard Hill, London, 1963
38. JONES, H. A. and EMSWELLER, S. L.: Development of the flower and macrogametophyte of *Allium cepa*. Hilgardia **10**(11): 417-423. 1936
39. 加藤 徹：タマネギ．p. 61-68. 農業技術大系野菜編8．農文協．東京．1973
40. KAWANO, S. and NAGAI, Y.: The productive and

reproductive biology of flowering plants I. Life history strategies of three *Allium* species in Japan. Bot. Mag. Tokyo **88**: 281-318. 1975

41. KEHR, A. E. and SCHAEFFER, G. W.: Tissue culture and differentiation of garlic. HortScience **11** (4): 422-423. 1976
42. KOMAROV, V. L.: Flora of the U. S. S. R. vol. IV. 87-88, 108-109, USSR, 1968
43. 近藤萬太郎: 日本農林種子学. p. 93-107. 養賢堂. 東京. 1942
44. KOOPOWITZ, H., VOSS, R. and O'NEIL, C.: Long-term storage of gladiolus pollen. HortScience **19**(4): 513-514. 1984
45. 高馬 進, 原田隆定: チューリップの養分吸収に関する研究, 植物体内三要素含量の季節的消長について. 島根農大研報 **6A**: 25-30. 1958
46. 熊沢正夫: 植物器官学. p. 181-184. 裳華房. 東京. 1979
47. 串崎光男, 木内和美, 岡部達雄, 伊藤秀文: 無機成分分析法. p. 52-86. 作物分析法委員会編. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂. 東京. 1975
48. KWACK, B. H.: The effect of calcium on pollen germination. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **86**: 818-823. 1965
49. KWAN, S. C., HAMSON, A. R. and CAMPBELL, W. F.: The effects of different chemicals on pollen germination and tube growth in *Allium cepa* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **94** (6): 561-562. 1969
50. KWAN, S. C., HAMSON, A. R. and CAMPBELL, W. F.: Storage condition for *Allium cepa*, L., pollen. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **94**(6): 569-570. 1969
51. LUZA, J. G. and POLITO, V. S.: Cryopreservation of English walnut (*Juglans regia* L.) pollen. Euphytica **37**: 141-148. 1988
52. MAAS. J. L.: Pollen ultrastructure of strawberry and other small-fruit crops. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **102**(5): 560-571. 1977
53. 牧野富太郎: 原色牧野植物大図鑑. p. 737. 北隆館. 東京. 1982
54. MANN, L. P. and WOODBURY, G. W.: The effect of flower age, time of day and variety on pollen germination of onion, *Allium cepa* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **94**(2): 102-104. 1969
55. MARTENS, J. and FRETZ, A.: Identification of eight crabapples by pollen surface sculpture. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **105**(2): 257-263. 1980.
56. 増田哲男, 別所英男, 小森貞男, 土屋七郎: リンゴの細胞培養と個体再分化に関する研究. 果樹試報 **C15**: 13-19. 1988
57. MATSUBARA, S. and HIHARA, H.: Onion bulblets regeneration on receptacles *in vivo* and *in vitro*. J. Japan. Soc. Hort. Sci., **46** (4): 479-486. 1978
58. 南 松雄, 古山芳広: 北海道における玉ねぎの施肥技術改善に関する研究（第1報）養分吸収の特性と施肥法. 北海道立農試集報 **17**: 73-86. 1958
59. 宮崎義光: ネギ及びアサツキ（糸葱）における含糖量の季節的変化. 農及園 **31**(8): 89-90. 1956
60. 水野 卓, 金兵忠雄: ネギ類の炭水化物に関する研究（第1報）ネギの炭水化物の種類. 農化 **29**(9): 665-671. 1955
61. 水野 卓, 金兵忠雄, 原田健次: ネギ類の炭水化物に関する研究（第3報）ニンニクの炭水化物組成. 農化 **31**(8): 572-574. 1957
62. 水野 卓, 北西晃久, 金兵忠雄: ネギ類の炭水化物に関する研究（第4報）タマネギの遊離糖類及び多糖類. 農化 **33**(12): 1018-1025. 1959
63. 水野 卓, 門奈仁之, 金兵忠雄: ネギ類の炭水化物に関する研究（第5報）ワケギの炭水化物について. 静大農報 **10**: 109-111. 1960
64. 水谷純也, 田原哲士, 西村弘行: ネギ属植物のフレーバー. 化学と生物 **17**(12): 814-820. 1979
65. MURASHIGE, T. and SKOOG, F.: A revised medium for rapid growth and bioassays with tissue cultures. Physiol. Plant., **15**: 473-497. 1962
66. NAGAO, M., OMURA, M. and AKIHAMA, T.: Difference in micromorphological pattern on pollen surface of Japanese pear cultivars. Japan J. Breed., **32**(2): 123-128. 1982
67. 中村俊一郎: 農林種子学総論. p. 15-103. 養賢堂. 東京. 1985
68. 生井恒雄, 富樫二郎, 高樹英明: ギョウジャニンニクの白絹病について. 山形農林学会報 **47**: 27-29. 1990
69. 西村弘行: 植物フレーバー成分の化学ならびに生物活性に関する研究. 農化 **60**(1): 19-29. 1986
70. NISHIMURA, H., WIJAYA, C. H. and MIZUTANI, J.: Volatile flavor components and antithrombotic agents: vinyldithiins from *Allium victorialis* L. J. Agric. Food Chem., **36**(3): 563-566. 1988
71. 野村港二: 不定胚形成と器官分化. p. 40-43. 遺伝. 裳華房. 東京. 1984
72. 小川 勉: タマネギの採種に関する研究（第1報）結実に及ぼす降雨と湿度の影響. 園学雑 **30**(3):

222-232. 1961
73. 大井次三郎：日本植物誌. p. 354-355. 至文堂. 東京. 1965
74. 大澤勝次，栗山尚志，菅原祐幸：組織培養による栄養繁殖性野菜の大量増殖と利用に関する研究. I. 植物体の大量誘導に及ぼす培養部位及び培地組成の影響. 野菜試報 **A9**：8-22. 1981
75. PETERSON, R. L.: Bud formation on root segments of *Ophiglossum petiolatum*: effect of application site of cytokinins and auxin. Can. J. Bot., **47**(8): 1285-1287. 1969
76. POLITE, V. S. and LUZA, J. G.: Low temperature storage of pistachio pollen. Euphytica **39**: 265-269. 1988
77. RAO, S. and MOHAN Ram, H. Y.: Regeneration of whole plants from cultured root tips of *Limnophila indica*. Can. J. Bot., **59**(6): 969-973. 1981
78. SAHAR, N. and Spiegel-Roy, P.: Citrus pollen storage. HortScience **15**(1): 81-82. 1980
79. SAINI, S. S. and DAVIS, G. N.: Karyotypic analysis of some *Allium* species. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **95**(1): 102-105. 1967
80. SAINI, S. S. and DAVIS, G. N.: Compatibility in some *Allium* species. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **91**: 401-409. 1967
81. SEDGLEY, M.: Storage of avocad pollen. Euphytica **30**: 595-599. 1981
82. 白石雅也：SEM用への植物器官の試料作製法. 細胞 **11**(4): 147-156. 1979
83. 高樹英明：ギョウジャニンニクの生理生態に関する研究（第1報）種子発芽. 園学要旨昭63春：334-335. 1988
84. 高樹英明：ギョウジャニンニクの生理生態に関する研究（第2報）実生の生育. 園学要旨昭63秋：751. 1988
85. 高樹英明：ギョウジャニンニクの生理生態に関する研究（第3報）成体株の生育経過と生長力の季節的変動. 園学要旨昭63秋：354-355. 1988
86. 高樹英明：ギョウジャニンニクの生理生態に関する研究（第4報）低温経過と休眠打破. 園学雑 **58**(別1)：360-361. 1989
87. 高樹英明：ギョウジャニンニクの生理生態に関する研究（第5報）季節的温度周期性. 園学雑 **59**(別1)：394-395. 1990
88. 田中克己，浜　清：顕微鏡標本の作り方. p. 9-179. 裳華房. 東京.
89. 谷本静史：1986. 高等植物の器官分化. 化学と生物 **24**(5)：334-338. 1986
90. TISSERAT, B. and DEMASON, D. A.: A scanning electron microscope study of pollen of *Phoenix* (Arecaceae). J. Amer. Soc. Hort. Sci., **107**(5): 883-887. 1982
91. TORREY, J. G.: Endogeneous bud and root formation by isolated roots of *Convoluvulus* grown *in vitro*. Plant. Physiol., **33**(4): 258-263. 1958
92. TOWILL, L. E.: Liquid nitrogen preservation of pollen from tuber-bearing *Solanum* species. HortScience **16**(2): 177-179. 1981
93. 露木美英，井出浩司，中島哲夫：プロトプラスト由来カルスにおける器官形成に係わる組織分化. 育雑 **40**(別1)：64-65. 1990
94. 内田幸正，高橋徳治，檀原宏文，長瀬武二：ニンニクの養分吸収経過の特徴. 土肥誌 **47**(1)：1-5. 1976
95. UEDA, Y. and TOMITA, H.: Morphometric analysis of pollen exine patterns in roses. J. Japan. Soc. Hort. Sci., **58**(1): 211-220. 1989
96. 上野実朗，幾瀬マサ，中沢　潤：花粉の科学. p. 4-21. 遺伝. 裳華房. 東京. 1976
97. 八鍬利郎：葱属植物の分蘖，分球に関する研究. 北大農邦文紀要 **4**(2)：130-214. 1963
98. 八鍬利郎：ネギ，ニンニクその他ネギ類. p. 111-196. 農業技術大系野菜編8. 農文協. 東京. 1986
99. 山路博子，腰岡政二，西島隆明，桂　直樹：ワケギの休眠に関する研究（第2報）鱗茎形成と糖の蓄積について. 園学雑 **60**(別1)：360-361. 1991
100. 山浦　篤：*Allium* 属における種間交雑より得られた植物およびその後代の染色体数. 染色体 **25-26**：894-898. 1955
101. 葭田隆治：最新作物生理実験法. 生体色素の分析法. p. 337-338. 農業技術協会. 東京. 1985
102. ZEE. S. Y., FUNG, A. and YUE, S. B.: Tissue culture and differentiation of chinese chive. HortScience **12**(3): 264. 1977
103. ZINK, F. W.: Rate of growth and nutrient absorption of late garlic. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **83**: 579-584. 1963

Summary

The present study was carried out to clarify morphological characteristics and growth habits of *Allium victorialis* L. ssp. *platyphyllum* Hult., and to obtain basic information for practical cultivation.

The experimental results are summarized as follows.

I. Morphological characteristics

1. The seed is globate in shape and its surface appears to be smooth. The weight of 100 seeds is larger than that of other *Allium* species. This is due to the fact that *A. victorialis* has one large ovule per locule and a thick tissue layer inside the ovlule. The cells on the surface of seed coat vary from tetragon to octagon in shape. The embryo is approximately 3 mm in length, and shorter than that of other *Allium* species. The cotyledon is similar to that of other *Allium* species in shape, and exceptionally to the genus, relatively short in size (approximately 1 mm in length).
2. The adult plant has sprout leaves with sheath, and lanceolate foliage leaves. The plant at bolting stage elongates flower stalks, and then bears an umbel of flowers at the top. The apical meristem is on the basal plate tissue, and differentiates leaf primordium and flower cluster buds.
3. The number of florets per umbel is least in the genus, and the flower stalk is rather short when compared with other *Allium* species. The inner perianth is larger than the outer. It is lanceolate or oval, and flat in shape, while the outer perianth is slender and curved. The ovary is bigger than in other *Allium* species, and its shape is clear-cut. Generally, only one ovule in a locule develops into seed.
4. The pollens are oval as usual in the genus and the largest among *Allium* species.

II. Seed germination

1. The optimum temperature range for seed germination was from 15° to 25℃. The percentage of seed germination was highest at 20℃ in the dark. In contrast other *Allium* species, the initial germination was noticeably slow, and started after approximately one month of incubation.
2. Seed germination was at a high rate when the seeds were pretreated at high temperature (30℃) or alternating temperatures for 20-30 days prior to incubation at 20℃.
3. No chemicals available for enhancing the germination were found, but an application of gibberellin was slightly effective.

III. Growth and tillering

1. After seed germination, the seedlings gradually developed into adult plants in years; especially, the rapid increase of dry weight, leaf area and bolting rates were observed through the process.
2. In early April, two or three sprout leaves appear from the bed, followed by two or three foliage leaves which rapidly expand and then shrivel from August through September. The undeveloped sprout leaf bud in bulb differentiates autumn, and the foliage leaf bud is formed in the following spring. The bulb gradually grows until the defoliating stage, and the undeveloped sprout leaf bud continues to elongate throughout the whole growing stage.
3. Flower clusters are initiated from early August to the end of September. Soon after the beginning of flower cluster formation, new vegetative axillary buds are formed at the base of flower stalk.
4. Tillering of *A. victorialis* has two systems; formation of two tillering buds at the base of axillary and formation of two vegetative axillary buds at the base of flower stalk resulting in tillering bud formation. Those two kinds of buds differentiate in autumn, and then continuously develop in sheaths during the following spring and autumn. In the next spring, they grow to expand foliage leaves.
5. Adventitious buds formed from root tissue develop into adult plants. This vegetative propagation is a unique system of *A. victorialis*.

IV. Seasonal changes of nutrients

1. Fresh and dry weights of a plant increased in proportion to leaf elongation. After the elongation ceased, both fresh and dry weights diminished slightly until September, and then increased again until November.

2. The amounts of N and P per plant increased from April to August and thereafter remaind at this level. K and Ca contents increased from April through June, and gradually decreased with the withering of leaves. These results indicate that the plants actively absorb nutrients during the period of rapid growth.
3. Each of the elements above was most abundant in leaves at the stages of sprouting, flower stalk development and flowering. According to bulb maturation, the elements were translocated from leaves to the bulbs and roots. The amounts in the undevelopmental sprout leaf increased from June through November.
4. *A. victorialis* contains the largest amount of P among *Allium* species.
5. Reducing sugar was distributed in leaf. Nonreducing sugar and starch were transferred to bulb at sprouting and leafing stage. The amount of nonreducing sugar and starch was largest at the dormant stage.

V. Dormancy

1. Dormancy was induced at defoliating stage, and remained until next spring. However, it gradually disappeared from autumn to winter.
2. Storage of plants at low temperature could break dormancy: a comparatively long storage at 0° to 5℃ was more effective for arising from dormancy.

VI. Characteristics of flowering and pollen

1. Flowering process is similar to that in *A. fistulosum* and *A. cepa*. When the perianths begin to open, the filaments of the inner stamens elongate and their anthers dehisce; subsequently, the anthers of the outer stamens dehisce. After the dehiscence of anther, the styles begin to elongate.
2. Agar medium with 15% sucrose and the temperature range of 20° to 25℃ are the optimum conditions for pollen germination.
3. A comparatively high percentage of pollen germination (70-85%) was obtained after one-year storage in liquid nitrogen (−196℃). This suggests the possibility that mutually successful cross among *Allium* species is due to the longevity of pollens.

VII. Morphogenesis in tissue culture

1. The explants cultured developed into a bud-multiplying body (cultures with multiple adventitious buds) at high concentrations of BA. Using of 2,4-D as auxin was more effective in enhancing the bud-multiplying body formation than NAA. The frequency of root formation was high in treatments without growth regulators.
2. It was clarified that the transfer and subsequent culture of plumules formed on the bodies made the bud-multiplying body emerge more frequently, and that acclimation of the bodies could regenerate a large number of plantlets.
3. Adventitious buds from roots could be induced through in-vitro culture.

VIII. Application of fundamental technique to cultivation

1. A high percentage (more than 80%) of seed germination was obtained by sowing seeds in the field immediately after harvesting. Thus, propagation of *A. victorialis* by sowing seeds seems to be a useful method for the cultivation of this plant.
2. The seed germination rate of 40-60% was obtained by seeding in forestland. The fact suggests that, though sowing a comparatively large number of seeds, *A. victorialis* can be successfully cultivated in the forest.