

初夏どりネギ栽培における安定多収のための
抽苔制御に関する生理学的研究

Physiological Studies on the Bolting Control for
Stable Production of Early Summer Harvest in
Bunching Onion (*Allium fistulosum* L.)

白 岩 裕 隆

Nobutaka Shiraiwa

2007

目 次

緒 言	1
第 1 章 初夏どり栽培における花芽分化の開始時期および生育の推移	
第 1 節 花芽の分化・発育過程の形態観察および分類	4
第 2 節 初夏どり栽培における花芽分化の開始時期、 並びに花芽分化に関わる植物体の大きさ	11
第 3 節 初夏どり栽培における生育の推移	16
第 2 章 施肥窒素とトンネル被覆による抽苔制御	
第 1 節 花芽分化の開始時期の液肥が植物体の窒素レベル、 抽苔および収量に及ぼす影響	19
第 2 節 トンネル内植え溝施肥が抽苔および収量に及ぼす影響	26
第 3 節 トンネル被覆資材と施肥方法が生育、抽苔および収量に及ぼす影響	32
第 3 章 晩抽性新品種の特性解明	41
第 4 章 電熱線によるネギの側条地中加温が抽苔および生育に及ぼす影響	46
第 5 章 露地栽培における一本ネギの 5 月どり栽培の開発	
第 1 節 新品種、トンネルの種類による初夏どり栽培の前進化の可能性	56
第 2 節 初夏どり栽培の前進化に向けた栽培条件の検討	
第 1 項 栽植密度の検討	62
第 2 項 播種日および移植日の検討	64
第 3 項 トンネル被覆内のマルチおよび灌水の効果	67

第4項 第2節における総合考察	69
第6章 ネギの生育・花成におけるジベレリンの機能解明	
第1節 初夏どり栽培におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が 抽苔に及ぼす影響	85
第2節 ネギの内生ジベレリン	
第1項 内生ジベレリンの検索・同定	89
第2項 抽苔および分けつ特性の異なる品種における内生ジベレリン含量	92
第3項 葉鞘・葉身の伸長を制御する活性型ジベレリン	93
第3節 ネギのジベレリン関連の候補遺伝子のクローニング	100
第4節 ネギ単一異種染色体添加系統を用いたシャロットにおける ジベレリン関連の候補遺伝子の座乗染色体の決定	111
第5節 ジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析	
第1項 抽苔および分けつ特性の異なる品種における発現解析	116
第2項 栄養成長期におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤処理の影響	118
第3項 花芽の発達と花茎伸長との関係, 並びにジベレリン関連の候補遺伝子の発現	119
第6節 総合考察	127
総括	132
和文摘要	138
Summary	143
謝辞	148
引用文献	150
本研究の基礎となる論文目録	167

緒 言

ネギ (*Allium fistulosum* L.) は、ユリ科 (*Liliaceae*) のネギ属 (*Allium*) に属する野菜である。ネギの野生種は特定されていない (北村, 1950) が、南シベリア、モンゴル、東ヒマラヤ周辺のモンゴルとシベリアの国境付近に発祥したと考えられている (Hanelt, 1990)。その後、中国平野部で栽培化されたと考えられ、6世紀の中国古書「齊民要術」に土寄せのことが記載されていることから、当時すでにネギの品種や栽培法が発達していたことが推定されている (熊沢, 1956)。日本へは奈良時代に中国から伝来し、日本人の食生活に定着してきた (青葉, 2000)。その過程において地域特有の利用方法が発達したと考えられる。その利用方法は、葉鞘部を軟白する根深ネギ (白ネギ, 長ネギ)、葉身部を主に食する葉ネギ、両者の中間タイプの大きく3つに分けられ、それに伴った栽培技術が各地で確立された。また、食生活の多様化や外食産業の隆盛に伴い、栽培地域の広域化や周年出荷の体系が確立されてきた。2004年におけるネギの国内生産量は485,500 tであり、野菜総生産量の第4位である (MAFF, 2006)。

鳥取県では、県西部地区の弓浜砂丘地を中心に戦前から根深ネギの秋冬どり栽培の産地が形成されていた (近藤, 1997)。その後、周年供給に対応するために、新たな作型として春どり栽培および夏どり栽培が導入され、西日本最大の根深ネギの産地となっている。しかし近年、生産者の高齢化や後継者不足、輸入ネギの急増による安値などの問題により、産地維持が難しくなっている。輸入ネギについてみると、1993年に全国的な冷害が発生し、ネギも例年にない不作となり、収穫量が激減したことをきっかけに中国からの輸入が始まった (山崎, 1994)。その後、1998年の天候不順による不作で国内市場価格が高騰したことが起因となり輸入ネギが増加した。2000年には輸入量が急増したため価格が暴落し、2001年の暫定セーフガード (緊急輸入制限措置) が発動されるまでに至った。その後も輸入量は伸びており、2004年の輸入量は7万tを超えた (財務省統計, 2006)。このような状況下で、国際競争に打ち勝つネギ栽培技術の開発が全国各地で積極的に実施されてきた (安藤, 2001; 西畑, 2001; 大森; 2001; 白岩ら; 2006; 吉田; 2001)。鳥取県園芸試験場では、2001年度から試験課題「鳥取白ネギの体質を強化する低コスト・

高品質・安定多収技術の開発」を実施し、省力・低コスト、高品質、安定多収を目指して試験研究を行ってきた。中国産ネギに対する競争力をつけるために、より安定した周年供給の要望が高まっており、一本ネギの端境期に抽苔を抑制して安定生産する技術が求められている。そこで、当场では、重点課題として「初夏どり栽培の安定生産技術の開発」に取り組んできた。

ネギは緑植物低温感応型の作物であり（八鍬，1980），ある生育ステージ（齢）に達した株が低温および短日条件に遭遇することで花芽分化する（八鍬・興水，1969）。花芽分化後は，高温と長日条件で花茎の伸長が促進され抽苔に至り，花茎が葉鞘の外部に現れると商品価値が失われる。一本ネギの端境期における出荷は，分げつ性を有する‘晩ネギ’および‘坊主不知’が利用されてきた。その後，晩抽性品種‘長悦’が1983年に長谷清治氏により育成されて以降（吉岡，2001），一本ネギの作期拡大が行われた。また，発表されて以降のネギの花芽分化および抽苔制御に関する研究には，ほとんどの実験において‘長悦’が供試されている。

これまでのネギの花芽分化に影響する温度条件に関する研究において，花芽分化が可能な植物体の大きさについて（安藤ら，2002；本間ら，1999；山崎，2002），花芽分化に適した温度として昼温13℃・夜温7℃の条件が最も適した温度域であること（Yamasakiら，2000b），低温要求量には品種間差があること（阿部・中住，2004；Yamasakiら，2000b），低温の感応部位は茎頂近傍もしくは根であること（山崎・田中，2002）などが報告されている。また，低温感応型の葉・根菜類の春播き栽培において，トンネル被覆などによって日中高温に保つことで，春化作用が打ち消される脱春化により花芽分化が抑制され（榎田，2003），抽苔を回避できることが知られている。脱春化を利用した抽苔防止技術については，キャベツ（Ito・Saito，1961），セルリー（森脇ら，1976），ダイコン（古藤ら，1983，1985，施山・高井，1982），カブ（斎藤・斎藤，2003），ニンジン（森脇・山口，1977）などで報告されている。ネギにおいても‘長悦’では20℃前後の温度で脱春化が誘導されること（Yamasakiら，2000b，c）が明らかにされ，冬期にトンネル被覆する初夏どり栽培が実用化されている（安藤ら，2002；田畑ら，1992；田畑・相星，1993；Yamasakiら，2003；吉原，2004）。また，多くの作物で体内の窒素レベルと花芽分化が関係していることが知られており，タマネギでは，低窒素で抽苔が多くなることが報告されている

(Brewster, 1983 ; Díaz-Pérez ら, 2003). ネギにおいても低窒素は, 低温遭遇量が不十分な時に, 花芽分化の促進に作用することが報告されている (山崎・田中, 2005).

一方, 低温要求性植物の多くが長日性であるのに対し, ネギは短日性を有し(八鍬・興水, 1969), 日長要求性には品種間差があること (Yamasaki ら, 2000a) や長日条件下では脱春化の効果が高まること (Yamasaki ら, 2003) などが明らかにされ, 電照による抽苔抑制も試みられている (Yamasaki ら, 2003 ; 吉原ら, 2004). しかし, ネギの花芽分化において短日は条件的要求であり, 長日による花芽分化の抑制が低温によって打ち消される (山崎・三浦, 1995) ために, 安定性に欠けることから実用化には至っていない.

そこで本研究では, 上述の知見の蓄積を参考にしながら, 鳥取県でのトンネルを利用した初夏どり栽培における抽苔を制御した安定生産技術の開発を目的に以下の実験を行った.

第1章では, 鳥取県における初夏どり栽培の花芽分化の開始時期および生育の推移を明らかにしようとした. 第2章では, 窒素に着目して, 植物体の窒素レベルが抽苔に及ぼす影響を明らかにし, トンネル被覆による保温と窒素施肥が抽苔に及ぼす影響を知ろうとした. 第3章では, ‘長悦’にかわる晩抽性新品種の鳥取県における適応性を明らかにしようとした. 第4章では, 新しい抽苔制御の方法として, 電熱線による地中加温が抽苔に及ぼす影響を明らかにしようとした. 第5章では, 第1章から第4章において得られた知見をもとに, 一本ネギの端境期をなくすために, 初夏どり栽培の前進化について検討を行った. 第6章では, ネギの生育, 花成における植物ホルモンのジベレリンの機能を解明しようとした. これまでに, ネギにおいては, ジベレリンに着目した報告事例はほとんどないことから, その研究の第一歩として, 内生ジベレリンの同定, ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングを試みた. さらに, 抽苔および分けつの特徴が異なる品種におけるジベレリン含量の品種間差, ジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析を行った.

本論文は, ネギの抽苔制御, 並びにネギのジベレリンに関するいくつかの知見をまとめたものである.

第1章 初夏どり栽培における花芽分化の開始時期および生育の推移

本章では、研究を進める上で基本となる花芽分化ステージの分類を行い（第1節）、次いで初夏どり栽培における花芽分化の開始時期と、その時の植物体の大きさについて検討した（第2節）。また、初夏どり栽培におけるネギの生育の推移を調査した（第3節）。

第1節 花芽の分化・発育過程の形態観察および分類

花芽分化および抽苔の制御に関連した実験を行うにあたっては、花芽分化・抽苔の過程を明確に分類しておく必要がある（江口ら, 1958a, b; 本間ら, 1999; Yamasaki ら, 2000b）。ネギの花芽の形態については、走査型電子顕微鏡を用いた観察が報告されている（本間ら, 1999; 曲ら, 1994）。近年、画像化の技術進歩により、簡便な観察が可能となった。そこで本節では、デジタルマイクロスコープを用いて花芽の分化・発育過程の形態観察および分類を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）において行った。品種は‘長悦’（協和種苗）を供試した。2005年6月25日に200穴セルトレイに1穴当たり3粒播種した。本圃における栽培は、9月3日に条間1mで深さ15cmの植え溝を切り、ポット間隔10cmで移植し、翌年5月下旬まで栽培を行った。総施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=18.0:18.0:18.0\text{ kg}\cdot 10a^{-1}$ とした。実験規模は30 m^2 、反復なしとした。11月1日から5月30日まで約15日おきに10個体をサンプリングし、実態顕微鏡およびデジタルマイクロスコープ（KEYENCE, VHX-200/100F）を用いて茎頂部の形態観察を行った。江口ら（1958a, b）、Yamasaki ら（2000b）の報告をもとに花芽の分化・発育過程について分類を行った（表1-1-1）。

結 果

越冬期間中の‘長悦’における花芽の分化・発育ステージを 0：未分化から 11：開花までの 12 段階に分類した（表 1-1-1）。以下、各ステージの観察した形態特徴を示す（図 1-1-1）。

0：未分化（栄養成長）（図 1-1-1 の A, B）

葉原基が成長点を覆うように存在し、成長点はややくぼんだ状態である。

1：成長点肥厚（図 1-1-1 の C, D）

成長点部が一様に肥大肥厚する。この時点で花芽分化が開始する。

2：環状体形成期（図 1-1-1 の E）

ドーム状に肥大した成長点を囲むように環状体（総包の原基）が形成される。

3：総包形成期（図 1-1-1 の F）

環状体から発達した総包が頂部を覆いはじめる。

4：小花形成期（図 1-1-1 の G, H）

総包が頂部を 3 分の 2 程度覆ったところ、総包の内部、花托にあたる部分（頂部）に、頂点部から順次下方に向かって小花原基が形成される。この時期には、側芽の成長点が明瞭に認められる。

5：花被・雄ずい形成初期（図 1-1-1 の I, J）

頂部の小花原基が不整型となり、雄ずい、外花被の突起が認められる。

6：花被・雄ずい形成中期（図 1-1-1 の K, L）

頂部の小花原基において、雄ずい、外花被、内花被が明瞭に確認できる。花被・雄ずいの分化は、頂部から順次下方に向かって進展する。

7：花被・雄ずい形成後期（図 1-1-1 の M, N）

花被が発達し、頂部の小花では雄ずいが包み込まれる。花茎は数 cm まで伸長する。この時期から花茎が急激に伸長する。

8：葯形成、雌ずい形成期（図 1-1-1 の O）

小花内部では、葯および雌ずいが形成される。

9：花粉,胚珠形成期（図 1-1-1 の P）

花粉および胚珠が形成される。

10：花粉粒形成,柱頭初生期（図 1-1-1 の Q）

花粉粒が形成され,柱頭が成熟する。

11：開花（図 1-1-1 の R）

総包が裂開し,頂部から順次下方に向かって開花する。

‘長悦’の越冬栽培においては,12月上中旬に成長点が肥厚(表 1-1-1 の分類 1)する個体が見られはじめ,1月は環状帯形成期(分類 2)から総包形成期(分類 3),2月は総包形成期(分類 3)から小花形成期(分類 4),3月は小花形成期(分類 4)から花被・雄ずい形成後期(分類 7),4月は花被・雄ずい形成後期(分類 7)から花粉粒形成,柱頭初生期(分類 10),5月は花粉粒形成,柱頭初生期(分類 10)から開花(分類 11)に至った。

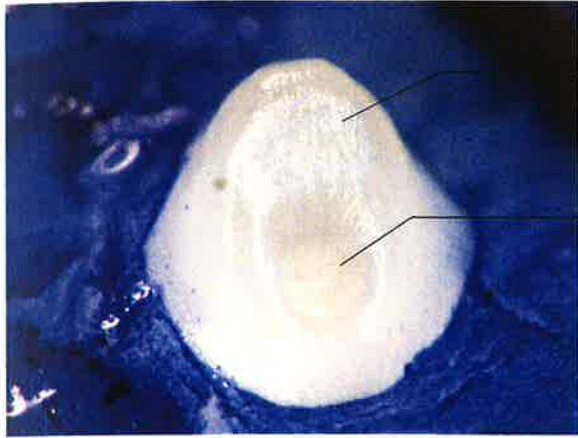
本研究では,山崎(2002)と同じく成長点肥厚した時点で花芽分化を開始したとみなした。

表 1-1-1 ネギの花芽の分化・発育ステージの分類^z

分類	発育ステージ	写真番号 ^y
0	未分化（栄養成長）	A, B
1	成長点肥厚	C, D
2	環状体形成期	E
3	総包形成期	F
4	小花形成期	G, H
5	花被・雄ずい形成初期	I, J
6	花被・雄ずい形成中期	K, L
7	花被・雄ずい形成後期	M, N
8	葯形成, 雌ずい形成期	O
9	花粉, 胚珠形成期	P
10	花粉粒形成, 柱頭初生期	Q
11	開花	R

^z 江口ら(1958a, b), Yamasakiら(2000b)の報告をもとに分類した

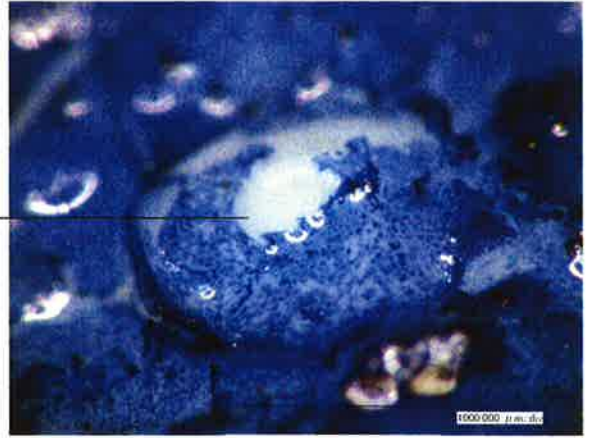
^y 写真番号は図 1-1-1 と対応している



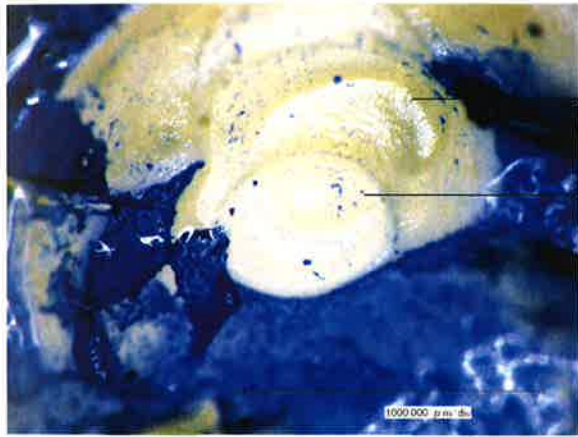
葉原基

成長点

A. 栄養成長



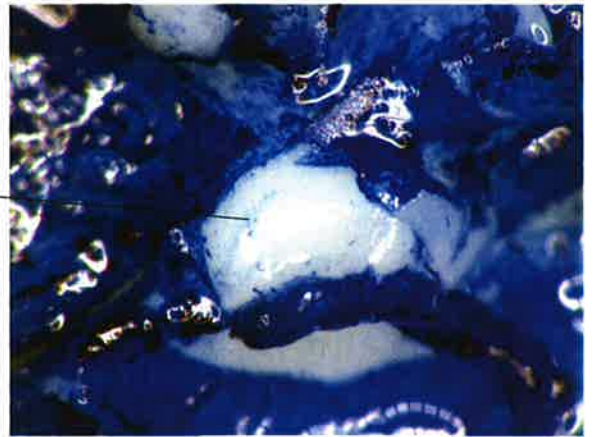
B. 栄養成長



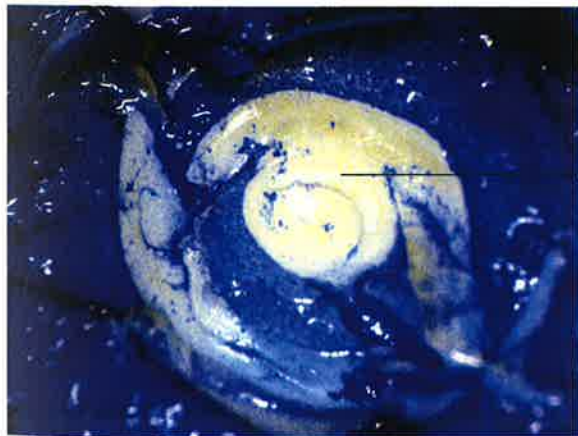
葉原基

成長点

C. 成長点肥厚



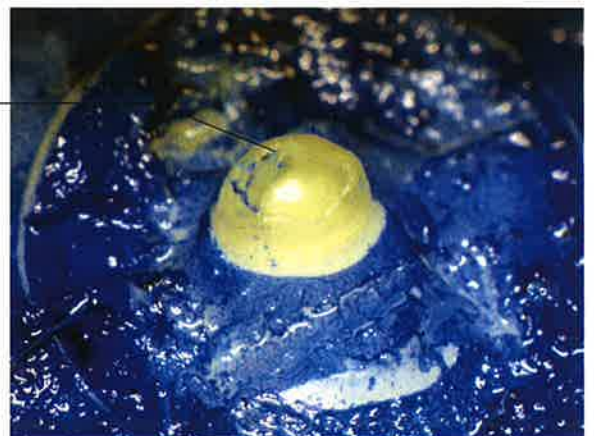
D. 成長点肥厚



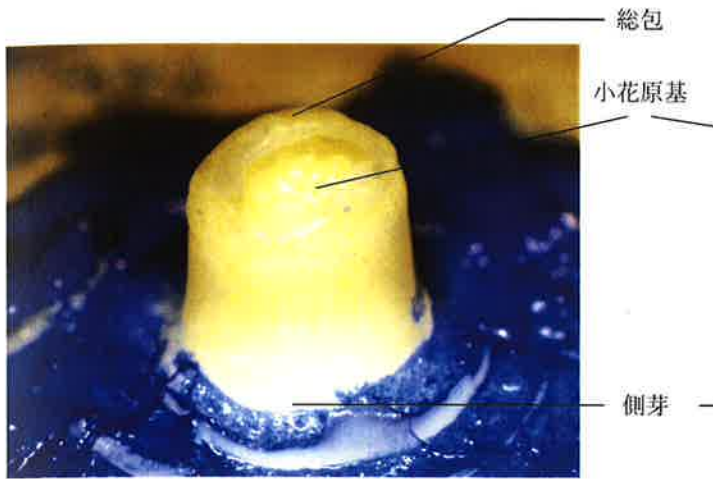
総包

環状体

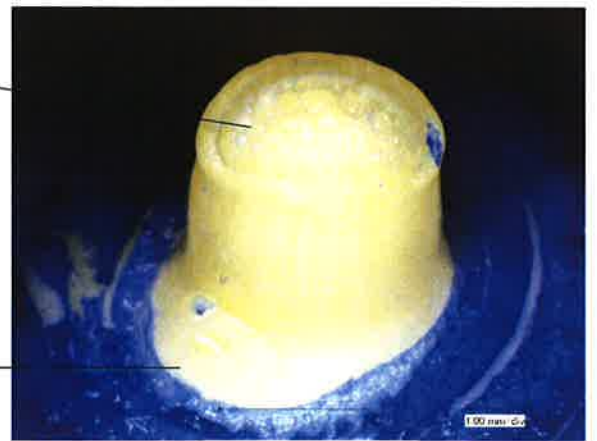
E. 環状体形成期



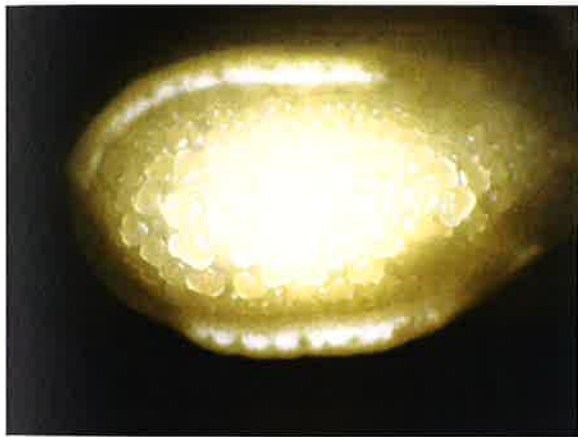
F. 総包形成期



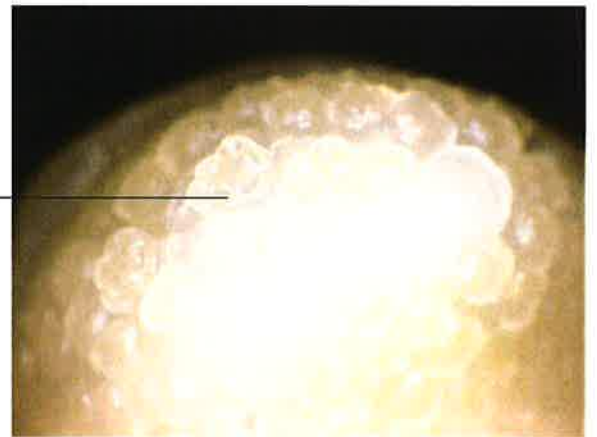
G. 小花形成期



H. 小花形成期



I. 花被・雄ずい形成初期



J. 花被・雄ずい形成初期



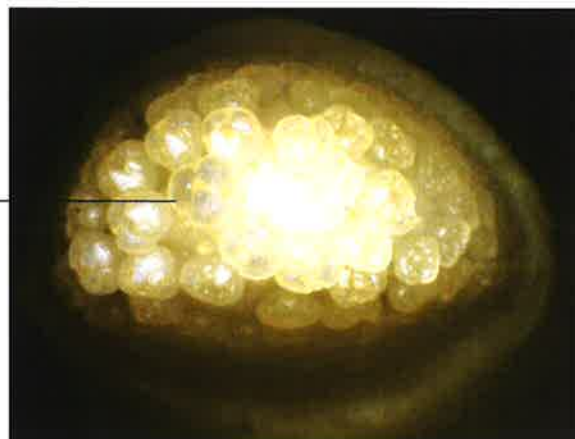
K. 花被・雄ずい形成中期



L. 花被・雄ずい形成中期



M. 花被・雄ずい形成後期



N. 花被・雄ずい形成後期



O. 葯形成，雌ずい形成期



P. 花粉，胚珠形成期



Q. 花粉粒形成，柱頭初生期



R. 開花

図 1-1-1 ネギの花芽の分化・发育のステージ

H から Q は，総包を除去後に撮影した

第2節 初夏どり栽培における花芽分化の開始時期, 並びに花芽分化に関わる植物体の大きさ

ネギは緑植物低温感応型の作物であり (八鍬, 1980), いずれの花成刺激にも反応しない生育ステージ (齢), つまり, 植物体の大きさが存在する (渡辺, 1955; 山崎, 2002). 渡辺 (1955) は, 葉鞘径が約 5 mm に達した個体において低温感応し花芽分化するようになると報告している. その後, 山崎 (2002) は, 晩生品種の '長悦', 中生品種の '金長' を用いて植物体の大きさと花芽分化との関係を調査している. その結果, 花芽分化を開始する植物体の大きさには品種間差があること, その際の分化葉位は一定の値になりやすいことを報告している.

本節では, 初夏どり栽培において経時的にネギをサンプリングし, 生育調査と花芽分化の調査を同時に実施し, 本栽培での花芽分化の開始時期, 並びにその時の植物体の大きさと花芽分化との関係について検討を行った.

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場 (鳥取県境港市中海干拓地) の砂畑圃場 (砂丘未熟土) において行った. 2001 年 10 月 1 日に '長悦' (協和種苗), '吉蔵' (武蔵野種苗) を 264 穴チェーンポット (CP303, 日本甜菜製糖) に 1 穴当たり 2 粒と 3 粒を交互に播種, 11 月 28 日に条間 1m で深さ 15 cm の植え溝を切り, 簡易移植機「ひっぱりくん」(日本甜菜製糖) で移植した. 12 月 18 日から翌年 3 月 28 日まで有滴ポリエチレンフィルム (厚さ 0.03 mm, 積水化学) でトンネル被覆 (トンネル幅 50 cm, 地面から 25 cm の高さに 2 m 間隔で両サイドに直径 8 cm の換気穴をあけた) し, 6 月 3 日まで栽培した. 総施肥量は $N : P_2O_5 : K_2O = 20.5 : 28.5 : 20.3 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$, 実験規模は 10 m^2 , 反復なしとした. 調査は, 2 月 10 日, 20 日, 3 月 2 日, 12 日, 22 日に 30 株採取し生育が良好な 10 株について, 草丈, 葉鞘径および新鮮重を測定した後, 花芽発育ステージを実体顕微鏡で観察し, 0: 未分化, 1: 肥厚期, 2: 環状体形成期, 3: 総包形成期, 4: 小花形成期, 5: 花被・雄ずい形初期の 6 段階に分類した (第 1 章の第 1 節). 花芽分化率は, 肥厚期に達しているものを花芽分化した個体として算出した. 4 月 17 日から 5 月 29 日まで 1 週間おきに,

各区 6 m²について、葉鞘から花茎が 15 cm 以上伸長した個体を抽苔株として計数した。

結 果

本実験では、花芽分化の開始時期を明確にするために、晩生品種の‘長悦’と中生品種の‘吉蔵’を供試した。花芽分化率の推移を図 1-2-1 に示した。花芽分化率は、‘吉蔵’において 2 月 20 日で 70%、3 月 12 日で 100%、‘長悦’において 2 月 20 日で 20%、3 月 12 日で 60%であった。花芽分化ステージは、‘長悦’に比べ‘吉蔵’でやや進んでいる傾向であったが、3 月 22 日調査では両品種とも花芽分化した個体は、小花形成期に達していた (図 1-2-2)。花芽分化率と植物体の大きさとの関係を見ると、葉鞘径では‘吉蔵’で 5 mm から 6 mm、‘長悦’で 7 mm から 8 mm、分化葉位では‘吉蔵’で 7、‘長悦’で 8 前後の大きさに達した個体で花芽分化が認められた (図 1-2-3)。最終の抽苔率は、‘長悦’で 41.4%、‘吉蔵’で 90.9%であった (図 1-2-4)。

以上の結果、‘長悦’および‘吉蔵’ともに 2 月 20 日の調査で肥厚期に達した個体が確認されたことから、初夏どり栽培で発生する抽苔株は、2 月中旬に花芽分化を開始していることが明らかとなった。

考 察

初夏どり栽培で発生する抽苔株は、‘長悦’、‘吉蔵’とも 2 月中旬に花芽分化を開始していることが明らかとなった。‘長悦’と‘吉蔵’では、花芽分化する植物体の大きさに差が認められ、葉鞘径で 2 mm 前後、分化葉位で約 1 の差が認められた。この結果は、花芽分化を開始する植物体の大きさに品種間差があるという山崎 (2002) の報告と一致していた。本実験の‘長悦’では葉鞘径で 7 mm から 8 mm、分化葉位で 8 前後の個体で花芽分化した。葉鞘径および分化葉位は、鳥取県における‘長悦’を用いた初夏どり栽培での花芽分化が可能な植物体の大きさの診断指標として利用できると思われる。

越冬栽培では、肥厚期から小花形成期まで約 2 から 3 か月かかるのに対し (本間ら, 1999 ; 第 1 章の第 1 節)、初夏どり栽培では、約 1 か月であったことから、肥厚期後は、高温条件で花成

が促進されると考えられ、トンネル栽培において花芽分化後の花芽の発育は、越冬栽培の条件下より早く進むことが明らかとなった。

小島ら（1999）が行ったネギ品種の晩抽性の評価「極早：1～，中：5～，極晩：9」によると，‘長悦’9，‘吉蔵’6と分類されている。渡辺（1955）は，花芽分化の難易に品種間差があること，越冬時の葉鞘径が大きくなるほど花芽分化率が高くなることを報告している。また，花芽分化に必要な低温遭遇量には品種間差があること（阿部・中住，2004；Yamasaki ら，2000b），中生品種‘金長’では昼温 35℃で，‘長悦’では昼温 20℃で，低温の効果が打ち消される脱春化が認められることが報告されている（Yamasaki ら，2000b，2000c）。本実験での抽苔率は，‘長悦’で 41.4%，‘吉蔵’で 90.9%となり，晩抽性の品種間差異が顕著に認められた。

以上の結果，初夏どり栽培における花芽分化の開始時期は，2月中旬であることが明らかとなった。初夏どり栽培においては，2月中旬の栽培管理が抽苔抑制のために重要であることが示唆された。また，花芽分化が開始する植物体の大きさに品種間差があることが示唆され，初夏どり栽培における‘長悦’では，葉鞘径で 7 mm から 8 mm，分化葉位で 8 前後の個体で花芽分化が可能になることが明らかとなった。

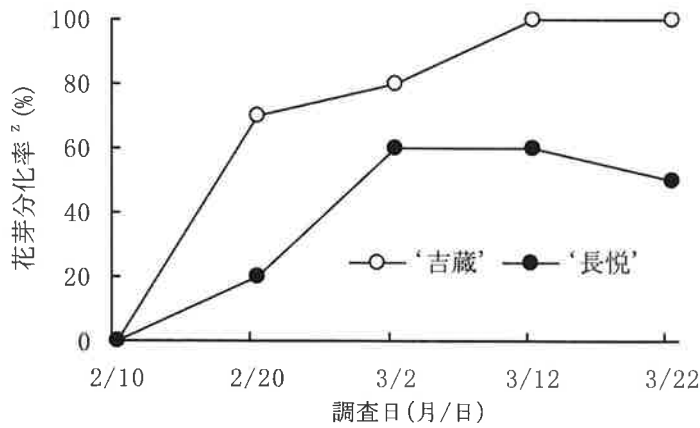


図 1-2-1 初夏どり栽培における花芽分化率の推移 (2002)

※ 肥厚期に達している個体を花芽分化した株とした

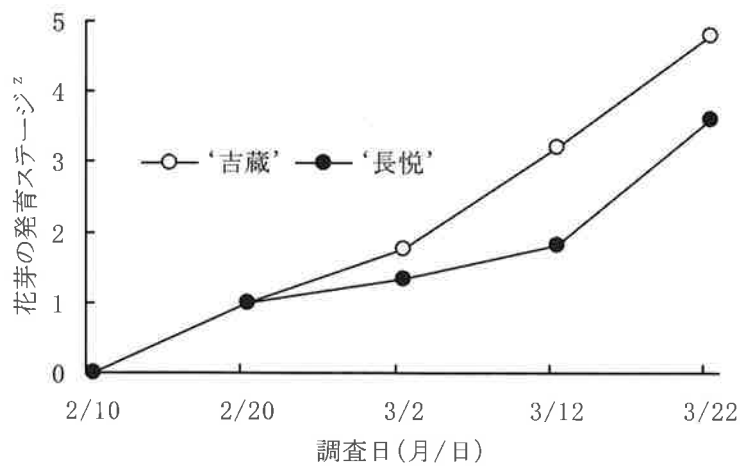


図 1-2-2 初夏どり栽培における花芽の発育ステージの推移 (2002)

※ 花芽分化ステージは、0:未分化, 1:肥厚期, 2:環状体形成期, 3:総包形成期, 4:小花形成期, 5:花被・雄ずい形成初期の6段階に分類し、2月20日以降の調査では、花芽分化した個体の花芽発育ステージを表す

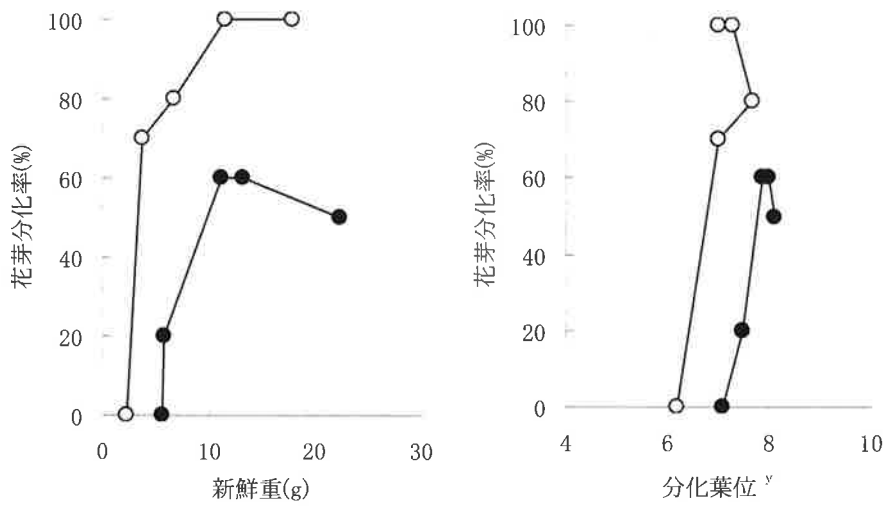
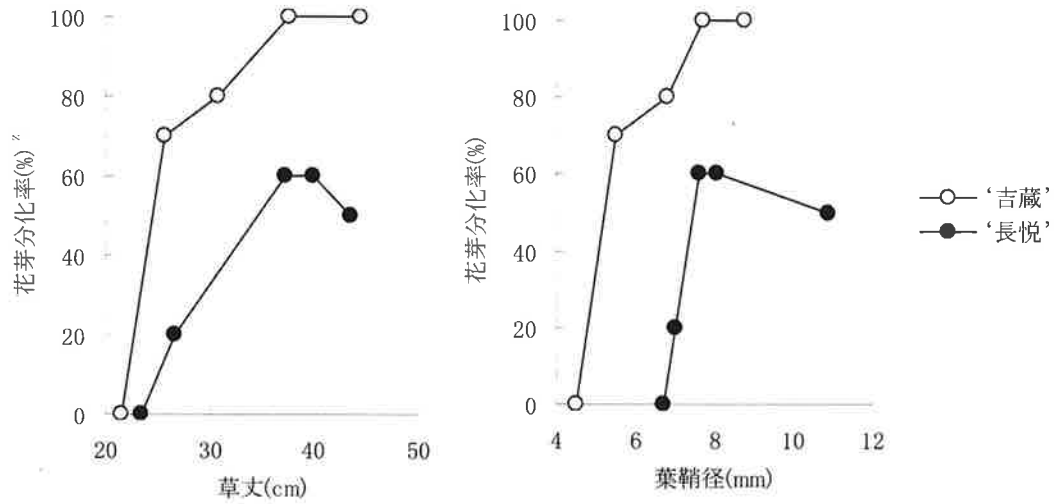


図 1-2-3 初夏どり栽培における花芽分化率と生育との関係 (2002)

^z 花芽分化率は図 1-2-1 と対応している

^y 分化葉位は、調査時の生長点が何枚目にあたるかを表す

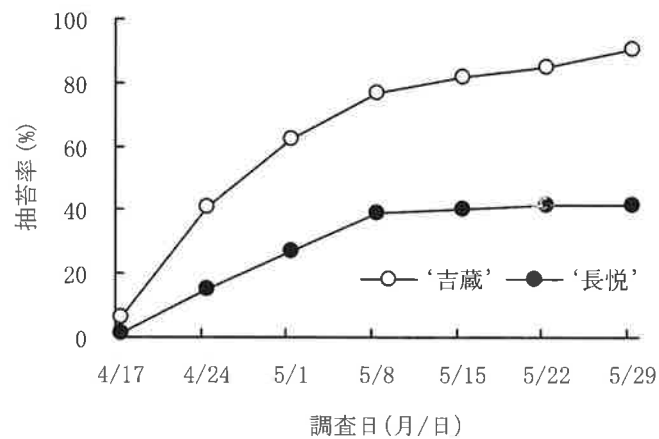


図 1-2-4 初夏どり栽培における抽苔率の推移 (2002)

第3節 初夏どり栽培における生育の推移

ネギは低温性作物で光合成適温は15℃から20℃であり(山崎ら, 1998), 周年栽培の各作型によって生育の推移は大きく異なる。ネギの生育に合わせた栽培管理を行うには, 各作型における生育の推移を把握することが必要である。本節では初夏どり栽培におけるネギの生育の推移を経時的に調査した。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場(鳥取県境港市中海干拓地)の砂畑圃場(砂丘未熟土)において行った。2005年10月3日に‘長悦’を200穴セルトレイに1穴当たり3粒播種し, 11月28日に条間1mで深さ15cmの植え溝を切り, ポット間隔7.5cmで移植した。12月12日から翌年(2006年)4月3日まで有滴ポリエチレンフィルム(厚さ0.03mm, 積水化学)でトンネル被覆(トンネル幅50cm, 地面から25cmの高さに2m間隔で両サイドに直径8cmの換気穴をあけた)した。総施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=23.5:31.5:23.3\text{ kg}\cdot 10a^{-1}$ とした。定期的に約30株を掘り取り中庸な10株について, 草丈, 葉鞘長, 葉身長, 葉鞘径, 葉数および新鮮重の測定を行った。実験規模は15㎡, 反復なしとした。

結果および考察

初夏どり栽培におけるネギの生育の推移を図1-3-1に示した。草丈, 葉鞘長, 葉身長, 葉鞘径および葉数の推移は類似したカーブをとり, 移植後から2月中旬までは緩やかな生育で推移し, 2月中旬から生育カーブが上昇し, 5月下旬の収穫時まで上昇が認められた。これに対して, 新鮮重は3月中旬までは緩やかな生育で推移し, 3月中旬以降に急激な上昇がみられた。葉鞘径および新鮮重において, 5月8日から15日の調査に生育の停滞が認められている。これは, 5月9日に最終の土寄せを行っており, 襟部を土で覆ったことによるストレスで生育が停滞したものと推察される。

以上の結果、初夏どり栽培において、2月中旬から草丈、葉数および葉鞘径などの生育カーブが上昇を開始することから、この時期の肥培管理が重要であることがうかがえ、この結果は、第2章の第1節における2月中旬の植物体の窒素レベルがその後の肥大生育に影響を及ぼす結果と符号していると考えられる。

ネギは低温性作物で光合成適温は15℃から20℃であり（山崎ら，1998），高温期（夏場）に生育が緩慢となる（位田ら，1985；西畑・松本，2000）。鳥取県における秋冬どり栽培などの夏越しの作型では，7月中旬から8月下旬までネギの生育が緩慢となる（井上・鹿島，2006a）ことから，夏越しする前に過剰な窒素肥料を与えると生育不良および欠株を発生する場合がある。従って，窒素肥料を抑えた状態で高温期をのり越える肥培管理が欠株の発生を少なくするために重要であると考えられている（井上・鹿島，2006b）。一方，初夏どり栽培においては，夏越しの栽培で見られるような高温による生育の停滞は見られないことから，積極的に窒素肥料を効かせる肥培管理が重要であると考えられる。

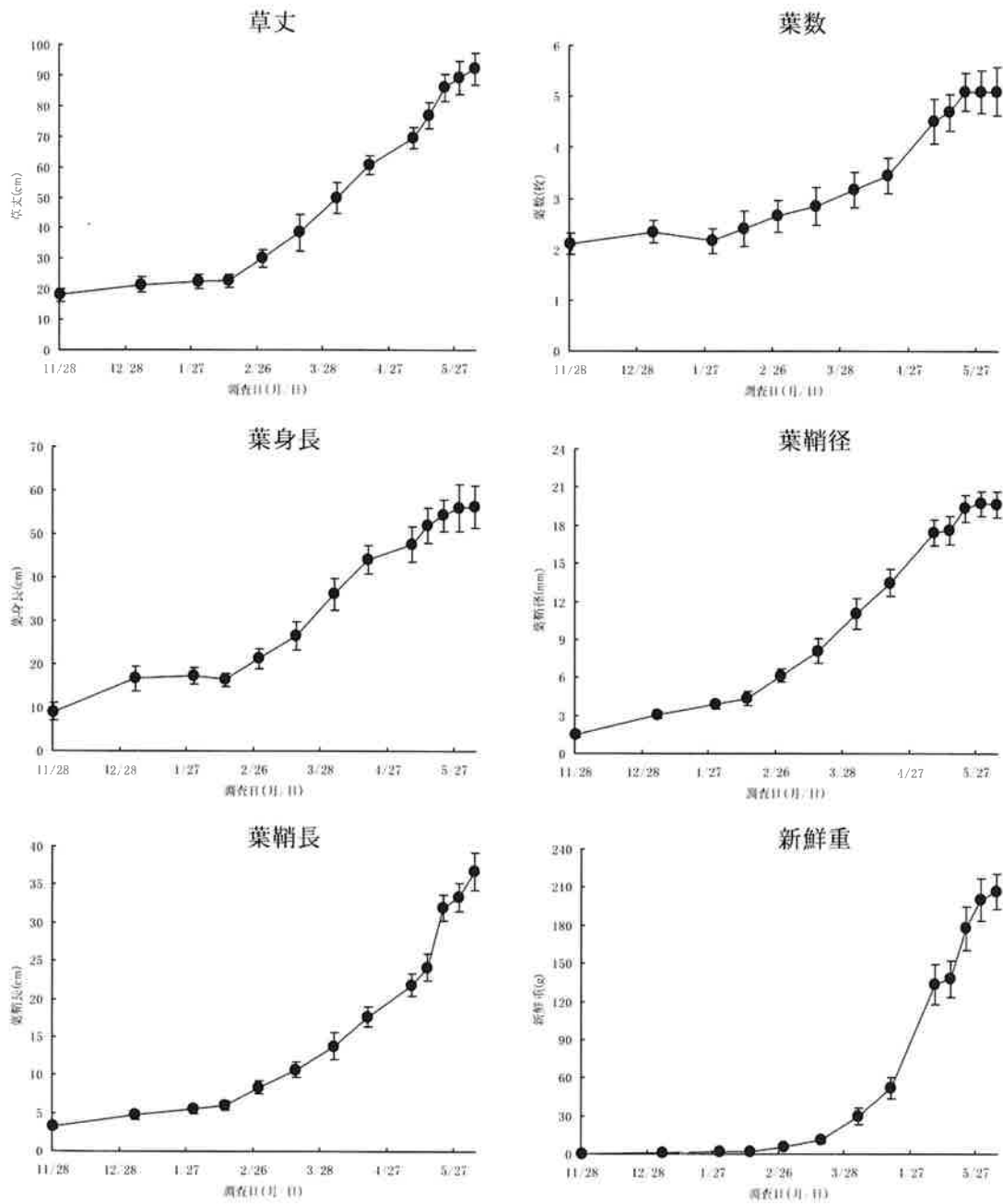


図 1-3-1 初夏どり栽培における生育の推移 (2006)

図中のバーは標準偏差(n=10)を表す
品種は‘長悦’を供試した

第2章 施肥窒素とトンネル被覆による抽苔制御

ネギは緑植物低温感応型の作物であり（八鍬，1980），ある生育ステージ（齢）に達した株が低温および短日条件に遭遇することで花芽分化する（八鍬・興水，1969）．花芽分化後は，高温と長日条件で花茎の伸長が促進され抽苔に至る．これまでのネギの花芽分化に影響する温度条件に関する研究において，低温要求量には品種間差があること（阿部・中住，2004；Yamasaki ら，2000b），昼間の高温により脱春化が誘導されること（Yamasaki ら，2000b, c）が明らかにされている．

一方，低栄養状態によって花芽分化が促進される現象は，高等植物において広く知られた特性である．ネギにおける低窒素は，低温遭遇量が不十分な時に，花芽分化の促進に作用することが報告されている（山崎・田中，2005）．ネギの花芽分化に対して窒素は補足的な要因として働くと考えられるが，脱春化の誘導に窒素も関与する可能性が予想される．

このような観点から，初夏どり栽培においては，トンネル被覆による脱春化の誘導と窒素の肥培管理との組合せによる栽培技術が抽苔抑制のために重要であると考えられる．

本章では，花芽分化の開始時期における植物体の窒素レベルの違いが抽苔に及ぼす影響について調査し（第1節），次いで初夏どり栽培における施肥方法の改善（第2節），保温特性の異なる被覆資材と施肥方法が抽苔に及ぼす影響について検討を行った（第3節）．

第1節 花芽分化の開始時期の液肥が植物体の窒素レベル，抽苔および収量に及ぼす影響

多くの作物において体内の窒素レベルと花芽分化が関係していることが知られている（江口ら，1958b；Wada・Totsuka，1982；Wada・Shinozaki，1985）．イチゴの促成栽培では，ポット育苗中に施肥を中断し植物体の窒素レベルを低下させることで花芽分化の促進が行われており（藤本，1972；松本，1991），花芽分化のための好適体内窒素レベルが明らかにされている（古谷，1988；

井上ら, 1994 ; 六本木, 1992).

タマネギでは, 低窒素で抽苔が多くなることが報告されている (Brewster, 1983 ; Diaz-Pérezら, 2003). ネギにおいても低窒素は, 低温遭遇量が不十分な時に, 花芽分化の促進に作用することが明らかにされており (山崎・田中, 2005), 抽苔抑制には花芽分化の開始時期における肥培管理が重要であると考えられる.

近年, 野菜 (六本木, 1991, 1992, 2000 ; 建部ら, 2001 ; 山田ら, 1995, 1996), 花き (古口ら, 2000 ; 伊藤ら, 2000) および果樹 (瀧, 2000, 2001, 2003) など多くの作物において, 栽培期間中に土壌養分や植物体養分を測定し, その結果をすぐに肥培管理に活かすリアルタイム栄養診断法が確立されてきている. ネギでは, 葉鞘基部および根部の硝酸イオン濃度を簡易に測定することが可能であり (白岩ら, 未発表), 抽苔の危険が伴う作型で花芽分化の開始時期における植物体の窒素レベルが抽苔に及ぼす影響を明らかにすれば, 抽苔を抑制する栄養診断となり得ると考えられる.

本節では, 初夏どり栽培の花芽分化の開始時期に的をしぼり窒素量を変えて液肥処理を行い, 植物体の窒素レベル, 抽苔および収量に及ぼす影響について調査した.

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場 (鳥取県境港市中海干拓地) の砂畑圃場 (砂丘未熟土) において行った. 2001年10月3日に‘長悦’を264穴チェーンポットに1穴当たり2粒と3粒を交互に播種, 11月28日に条間1mで深さ15cmの植え溝を切り, 簡易移植機「ひっぱりくん」 (日本甜菜製糖) で移植した. 12月18日から翌年3月28日まで有滴ポリエチレンフィルム (厚さ0.03mm, 積水化学) でトンネル被覆 (トンネル幅50cm, 地面から25cmの高さに2m間隔で両サイドに直径8cmの換気穴をあけた) した. 2月6日, 18日の計2回, 市販液肥 (窒素含量15.0%, 内硝酸態窒素7.0%, 内アンモニア態窒素3.0%) を窒素量で100ppm, 500ppm, 1000ppmの濃度で $2\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$ 灌注処理した. これらに加え $2\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$ の水処理および無処理を設けた. 実験規模は各区 10m^2 , 反復なしとした. 処理10日後の2月28日に10株について, 葉鞘基部および

根部の新鮮試料 1 g に蒸留水 10 mL を加え乳鉢で磨碎し、RQ flex plus (MERCK 社) で硝酸イオン濃度を測定した。3 月 28 日に 10 株について、草丈、新鮮重の測定を行った。基肥は $N:P_2O_5:K_2O = 13.5:21.5:13.3 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ 、追肥 (3 月 28 日) は $N:P_2O_5:K_2O = 7.0:7.0:7.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ とした。4 月 17 日から 5 月 29 日まで 1 週間おきに、各区 6 m² について、葉鞘から花茎が 15 cm 以上伸長した個体を抽苔株として計数した。6 月 3 日に各区 1 m² の 4 か所を掘り取り、抽苔株および調製収量を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から 60 cm を残して根および葉を切除した後、内葉 4 枚を残して外葉を除去した。調製収量は、規格を重量別に 2L:150g 以上, L:100g 以上から 150g 未満, L4:75g 以上から 100g 未満, MS:30g 以上から 75g 未満に分類して調査した。

結 果

液肥処理 10 日後の植物体中の硝酸イオン濃度は、処理濃度に伴い葉鞘基部および根部ともに高くなったが、500 ppm 区と 1000 ppm 区では硝酸イオン濃度に差がなかった (図 2-1-1)。各区とも根部は、葉鞘基部の約 5 倍の硝酸イオン濃度であった。根部の肉眼観察で、濃度障害と考えられる根の褐変が 1000 ppm 区で認められたが、3 月 28 日の調査時には回復していた。また、水処理区は、無処理区の約 3 倍の硝酸イオン濃度であった。液肥処理が生育、調製収量および抽苔に及ぼす影響を表 2-1-1 および図 2-1-2 に示した。3 月 28 日の生育調査では、無処理区に比べ、各処理区とも生育が良好となる傾向が見られ、処理濃度が高くなるにつれて新鮮重は増加した。調製収量は、無処理区の $282.8 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ に対し、水処理区で $395.7 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ 、100 ppm 区で $420.1 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ 、500 ppm 区で $461.6 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ 、1000 ppm 区で $468.8 \text{ kg} \cdot a^{-1}$ となり、500 ppm 区および 1000 ppm 区で多収であった。抽苔率は、無処理区の 43.7% に対し、水処理区で 22.5%、100 ppm 区で 7.8%、500 ppm 区で 11.4%、1000 ppm 区で 18.1% となり、100 ppm 区および 500 ppm 区で有意に低く抑えられた。抽苔株の発生ピークは、各区とも 5 月 1 日であり、処理区による差は認められなかった (図 2-1-3)。

考 察

山崎・田中（2005）は、ネギの抽苔に及ぼす窒素の影響について、被覆尿素肥料を用いて検討しており、低窒素は、低温遭遇量が十分でないときに、花芽分化に促進的に作用すると報告している。本実験では、花芽分化の開始時期に液肥の灌注処理を行った結果、最終処理の10日後には、植物体の窒素レベルは処理濃度に伴い高くなった。抽苔率は、無処理区に比べて、処理区で低く抑えられる傾向が認められ、山崎・田中（2005）の報告を支持する結果となった。一般に、植物体のC/N率の増加は、花芽分化に関係していると考えられており（Kraus・Kraybill, 1918）、ネギ、タマネギともに窒素追肥によりC/N率が低くなることが報告されている（Díaz-Pérez ら, 2003；山崎・田中, 2005）。本実験では、炭素含有率を測定していないが、これらの報告から推察すると、植物体の窒素レベルが高くなるほど、C/N率は低くなっていると考えられる。

Yamasaki らは、‘長悦’の冬期のトンネル被覆により脱春化が起こること（2003）、脱春化に日長が強く関与していること（2000a）を報告している。さらに、山崎（2002）は脱春化の誘導に窒素も関わっている可能性を考察している。本実験でも植物体の窒素レベルが高いほど抽苔率が低くなる傾向であったことから、窒素レベルは脱春化の誘導に関与している可能性が示唆され、さらに詳細な検討が必要であると考えられる（第3節において検討）。

花茎伸長は、高温および長日条件で促進されることから、栄養状態が良いほど花茎伸長は早くなると考えられるが、各区とも抽苔株の発生ピークは5月1日であり、処理区で明確な差は認められなかった。この要因として、トンネル被覆の除去後（花茎の伸長開始前）に各区とも同量の追肥を行っており、花茎の伸長時には植物体の栄養状態に差がなかったためと推察される。

初夏どり栽培では、トンネル除去後におけるネギの早期肥大が安定多収の鍵となる。処理1か月後の生育は、処理濃度に伴い生育が良好となり、この生育差が収量にも影響し、特に500 ppm区および1000 ppm区において多収であった。この結果から2月の施肥は、抽苔抑制だけでなく、多収にも重要な因子であると考えられる。水処理区は、無処理区の約3倍の硝酸イオン濃度となり、トンネル被覆内での土壌水分の状態が基肥の肥効発現に密接に関与していることが示唆された。また、液肥の灌注処理後、直ちに植物体の窒素レベルが高まったことから、液肥の灌注処理

は、花芽分化が起こり得る時期の施肥方法として有効であると考えられる。

一方、タマネギでは、低窒素で抽苔が多くなる反面、過剰な窒素施肥は、腐敗球を増加させ収量が低下することが報告されている (Diaz-Pérez ら, 2003)。本実験での処理 10 日後の植物体の硝酸イオン濃度は 500 ppm 区と 1000 ppm 区で大差なく、調製収量も 500 ppm 区と 1000 ppm 区で差は認められなかった。さらに、抽苔率は 100 ppm 区と 500 ppm 区で低く抑えられ、1000 ppm 区で若干高くなる傾向であったことから、花芽分化を抑制する植物体の窒素レベルには、一定の閾値があることが示唆された。また、初夏どり栽培において、花芽分化が可能な植物体の大きさ (図 1-2-3) と植物体の硝酸イオン濃度との関係を見ることで、抽苔を抑制する栄養診断の指標ができる可能性が考えられる。

以上の結果、初夏どり栽培における花芽分化の開始時期の植物体窒素レベルは、抽苔率および収量に影響を及ぼしたことから、本栽培において 2 月の肥培管理が抽苔抑制および多収のために重要であることが示唆された。

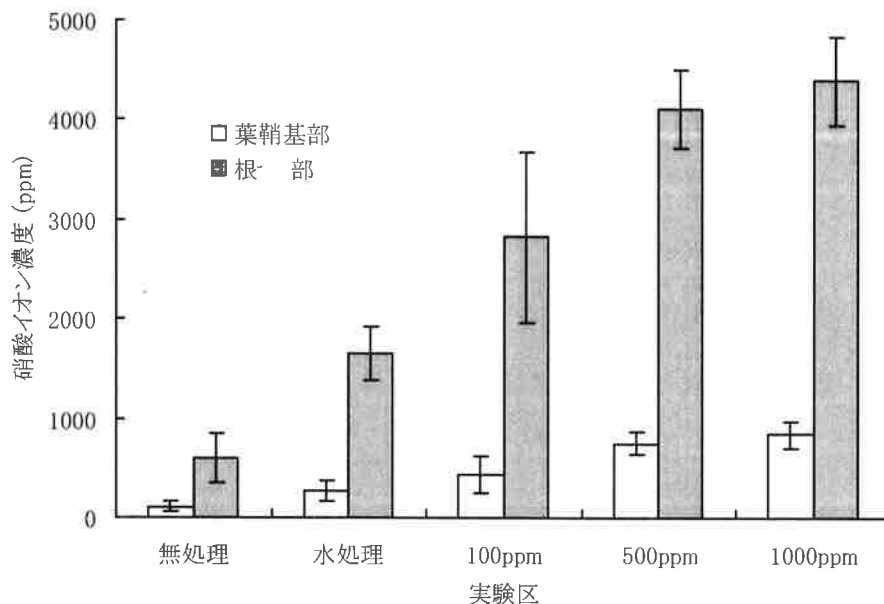


図 2-1-1 初夏どり栽培における液肥処理が植物体の硝酸イオン濃度に及ぼす影響 (2002)

図中のバーは標準偏差を示す (n=10)

処理 10 日後に測定した

表 2-1-1 初夏どり栽培における液肥処理²⁾が生育, 調製収量および抽苔に及ぼす影響 (2002)

実験区	生育 (3月28日)		収穫 (6月3日)	
	草丈 (cm)	新鮮重 (g)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	抽苔率 (%)
無処理	51.0 b ³⁾	33.9 c	282.8 c	43.7 c
水処理	56.2 b	38.5 bc	395.7 b	22.5 b
100ppm	63.9 a	40.2 bc	420.1 b	7.8 a
500ppm	63.0 a	46.3 ab	461.6 a	11.4 a
1000ppm	66.0 a	54.0 a	468.8 a	18.1 ab

²⁾ 液肥処理は 2002 年 2 月 6 日, 18 日の計 2 回行った

³⁾ 同一列内の異なるアルファベットは, 多重比較法 (Tukey 法) において 5% 水準で有意差があることを表す

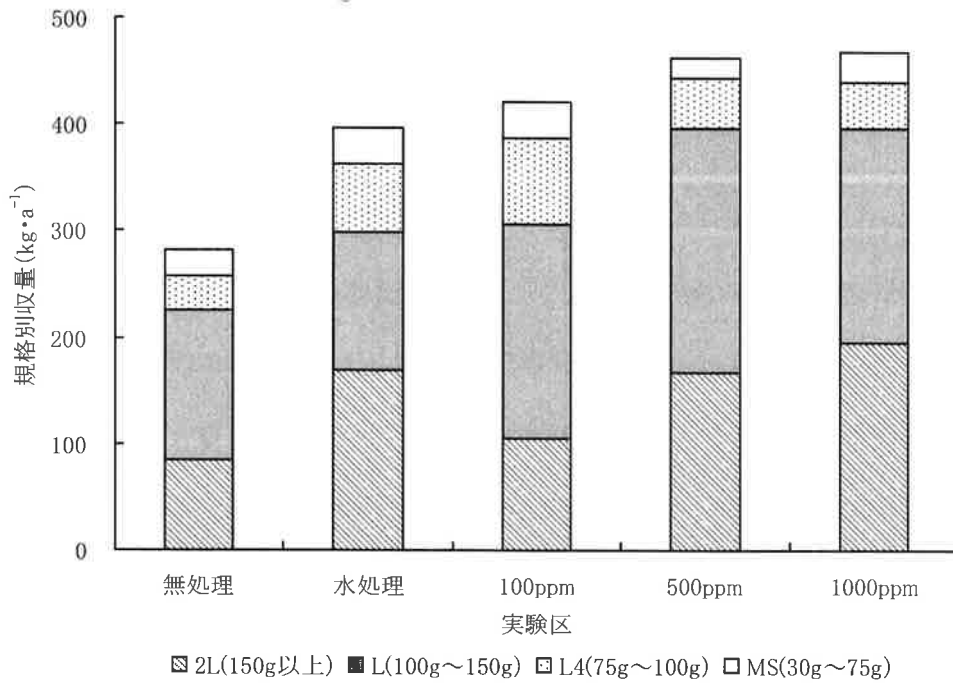


図 2-1-2 初夏どり栽培における液肥処理が規格別収量に及ぼす影響 (2002)

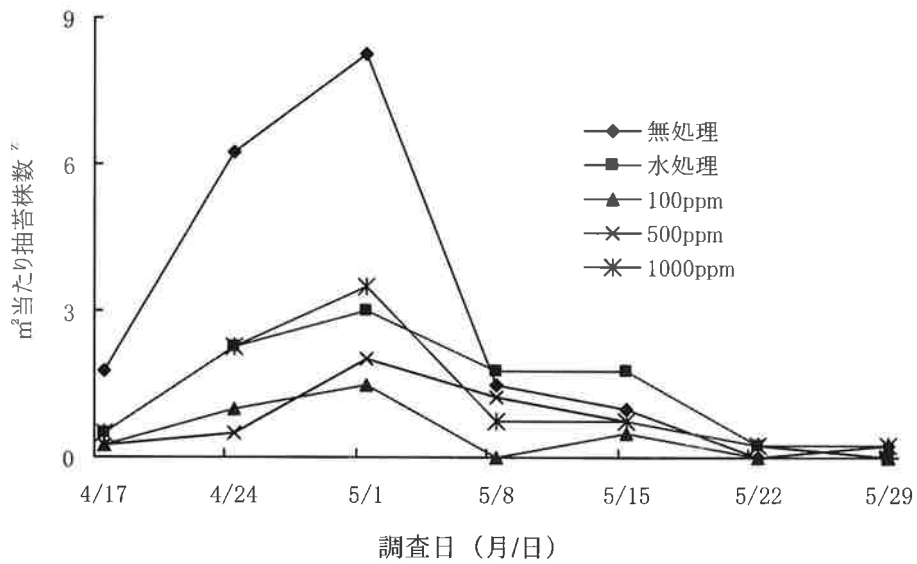


図 2-1-3 初夏どり栽培における液肥処理が抽苔発生の推移に及ぼす影響 (2002)

※ 栽植本数は約 40 株・m⁻²

第2節 トンネル内植え溝施肥が抽苔および収量に及ぼす影響

第2章の第1節において、初夏どり栽培の花芽分化の開始時期（2月中旬）に植物体の窒素レベルが低いと抽苔率が高まることを明らかにした。また、2月中旬の植物体の窒素レベルは、多収にも重要な因子であることが示唆された。

鳥取県の初夏どり栽培では、基肥の窒素肥料が全層施肥されている。しかし、トンネル被覆期間中には土寄せ作業が行えず、全層施肥では春季までに条間の肥料が流亡するために肥料の利用効率が低いと考えられる。また、トンネル被覆期間中の追肥は、トンネル被覆除去の作業が繁雑であることから追肥の省力化が求められている。本節では、トンネル被覆期間中の肥効の持続、肥料の利用効率の向上を目的に、全層施肥に代わる施肥方法としてネギの側条に施肥する植え溝施肥法について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）において行った。実験は1999年と2000年の2か年実施した。品種は‘長悦’を供試し、264穴チェーンポット（CP303、日本甜菜製糖）に1穴当たり2粒と3粒を交互に播種し、条間1m、深さ15cmの植え溝を切り、簡易移植機「ひっぱりくん」（日本甜菜製糖）を用いて移植した。冬期間のトンネル被覆は、トンネル幅50cm、有滴ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm、積水化学）で被覆し、トンネルの両サイドに地表から25cmの高さに直径8cmの換気穴を2m間隔であけた。実験区の概要を表2-2-1に示した。両年とも、トンネル被覆期間中の生育調査は3月3日に行い、4月下旬から5月下旬にかけて抽苔数を計数した。収穫時に各区2㎡を掘り取り調製収量を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から60cmを残して根および葉を切除した後、内葉4枚を残して外葉を除去した。調製収量は、規格を重量別に2L:150g以上、L:100g以上から150g未満、L4:75g以上から100g未満、MS:30g以上から75g未満に分類して調査した。

(1) 1999 年次

播種は 1998 年 10 月 8 日、移植は 12 月 2 日、トンネル被覆は 12 月 16 日から翌年 3 月 23 日、収穫調査は 5 月 31 日に行った。イソブチリデン 2 尿素 (IB) 配合の複合肥料 (以下、IB 肥料) および被覆尿素の複合肥料 (溶出タイプ : D-80, 以下、LP コート肥料) を供試した。慣行区は基肥施用時に IB 肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 6.0 : 6.0 : 6.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ を全層施肥し、トンネル被覆期間中の追肥は 3 月 1 日に化成肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 3.0 : 3.0 : 3.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ を施肥した。植え溝区は、12 月 9 日に IB 肥料または LP コート肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 6.0 : 6.0 : 6.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ を植え溝に施肥した。トンネル被覆期間中に化成肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 3.0 : 3.0 : 3.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ の追肥を行う区 (+) と、追肥を行わない区 (-) を設けた。実験規模は各区 15 m^2 の 2 反復とした。

(2) 2000 年次

2000 年の実験は、1999 年の結果を踏まえて、IB 肥料の植え溝施肥の効果について検討を行った。播種は 1999 年 10 月 1 日、移植は 11 月 22 日、トンネル被覆は 12 月 16 日から翌年 3 月 27 日、収穫調査は 5 月 29 日に行った。慣行区は基肥施用時に IB 肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 6.0 : 6.0 : 6.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ を全層施肥し、トンネル被覆期間中の追肥は 2 月 20 日に化成肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 3.0 : 3.0 : 3.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ を施肥した。植え溝区は、12 月 12 日に IB 肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 6.0 : 6.0 : 6.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ を植え溝に施肥した。トンネル被覆期間中に化成肥料 $N : P_2O_5 : K_2O = 3.0 : 3.0 : 3.0 \text{ kg} \cdot 10a^{-1}$ の追肥を行う区 (+) と、追肥を行わない区 (-) を設けた。実験規模は各区 18 m^2 の 2 反復とした。

結 果

(1) 1999 年次

トンネル内の植え溝施肥の肥料タイプについて IB 肥料と LP コート肥料を比較した。トンネル被覆期間中の生育を表 2-2-2 に示した。葉鞘径は、慣行区の 8.3 mm に対して、IB 区で 8.7 mm 、LP コート区で 8.1 mm であった。新鮮重は、慣行区の 13.7 g に対して、IB 区で 15.2 g 、LP コート区で 12.4 g であり、IB 肥料の植え溝区は、慣行区に比べて生育が優れる傾向であった。抽苔

数および収穫調査の結果を表 2-2-3 および図 2-2-1 に示した。抽苔数は慣行区の $4.0 \text{ 本} \cdot \text{m}^{-2}$ に対して、IB 肥料および LP コート肥料の植え溝区において $5 \text{ 本} \cdot \text{m}^{-2}$ 前後とやや多くなる傾向であったが、その差は大きくなかった。調製収量は、慣行区の $506.9 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ に対して、IB (+) 区で $548.1 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 、IB (-) 区で $565.9 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ と多収であった。

以上の結果、トンネル内植え溝施肥では、LP コート肥料に比べ IB 肥料の方が適していると考えられた。

(2) 2000 年次

IB 肥料の植え溝施肥とトンネル被覆期間中の追肥の有無について検討した。トンネル被覆期間中の生育を表 2-2-2 に示した。葉鞘径は、慣行区の 7.4 mm に対して、IB (+) 区、IB (-) 区ともに 7.7 mm と太かった。新鮮重は、慣行区の 78.1 g に対して、IB (+) 区で 95.2 g 、IB (-) 区で 92.0 g と重かった。また、トンネル被覆期間中において、IB (+) 区と IB (-) 区とは同等の生育であった。抽苔数および収穫調査の結果を表 2-2-3 および図 2-2-1 に示した。抽苔数は、慣行区において $14.4 \text{ 本} \cdot \text{m}^{-2}$ と多発したのに対して、IB (+) 区および IB (-) 区では $4 \text{ 本} \cdot \text{m}^{-2}$ 前後と少発生であった。抽苔が多発した慣行区の調製収量は $322.6 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ と低収であったが、IB (+) 区と IB (-) 区では約 $420 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ と多収であった。

以上の結果、IB 肥料の植え溝施肥は、慣行の全層施肥に比べてトンネル被覆期間中の生育が良好であり、抽苔を低く抑え多収であった。また、本実験の IB 肥料の植え溝施肥では、トンネル被覆期間中の追肥が不要であった。

考 察

トンネル被覆期間中の生育が LP コート肥料に比べて IB 肥料で良好であったことは、肥料の肥効発現の様式が異なるためと考えられる。IB 肥料の土壌中での分解は、主に化学的加水分解によるが、本実験で供試した LP コート肥料はシグモイド型であり、溶出は温度の影響を受けやすく (小林, 2006 ; 越野, 2006), この肥効発現の違いが生育の違いとなったと推察される。このことから、冬季の低温期においては IB 肥料が適していると考えられる。一方、IB 肥料の肥効発

現は加水分解に依存することから、トンネル内の土壌水分管理が重要であると考えられ、このことは、第2章の第1節の実験において、水処理（基肥はIB肥料）によって植物体の硝酸イオン濃度が高まったことから支持される。

IB肥料の施用方法についての2か年の実験において、植え溝施肥は全層施肥に比べ、抽苔数が少なく多収の傾向であった。また、IB肥料の植え溝施肥では、トンネル被覆期間中の追肥の有無による生育、抽苔および収量への影響が認められなかったことから、追肥を省略できる可能性が示唆された。一方、初夏どり栽培においては、数種類のトンネル被覆資材が個々に利用されており、資材によって保温特性が異なることが報告されている（安藤ら、2002）。IB肥料の肥効発現は加水分解に依存するが、温度が高くなるほど早くなり、20℃から30℃に上昇すると約3倍の分解速度となる（小林、2006）。これらのことから、トンネル被覆資材の種類によって、トンネル被覆内の環境が異なり、IB肥料の肥効発現が異なる可能性が考えられる。この点については第3節で検討を行いたい。

表 2-2-1 実験区の施肥方法と主要 3 要素の施肥量 (1999, 2000) ²

実験区	肥料 タイプ	施肥 方法	トンネル被覆中の施肥量 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kg・10a ⁻¹)						栽培期間中 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kg・10a ⁻¹)		
			元 肥			追 肥					
IB (+)	IB	植え溝	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	23.5	31.5	23.3
IB (-)	IB	植え溝	6.0	6.0	6.0	0	0	0	20.5	28.5	20.3
LP (+)	LP	植え溝	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	23.5	31.5	23.3
LP (-)	LP	植え溝	6.0	6.0	6.0	0	0	0	20.5	28.5	20.3
慣 行	IB	全 層	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	23.5	31.5	23.3

²2000 年次の実験は、IB(+), IB(-)および慣行で実施した

表 2-2-2 初夏どり栽培における肥料タイプおよび施肥方法が
トンネル被覆中の生育に及ぼす影響 (1999, 2000)

年 次	実 験 区	草 丈 (cm)	葉鞘径 (mm)	新鮮重 (g)	乾物重 (g)
1999 ²	IB (-)	46.6	8.7	15.2	1.3
	LP (-)	43.0	8.1	12.4	1.1
	慣 行	42.8	8.3	13.7	1.2
2000	IB (+)	39.2	7.7	95.2	1.0
	IB (-)	38.6	7.7	92.0	1.0
	慣 行	35.7	7.4	78.1	9.0

²1999 年次の調査は追肥の施用直後に IB(-)区と LP(-)区について実施した

表 2-2-3 初夏どり栽培における肥料タイプおよび施肥方法が
調製収量, 抽苔に及ぼす影響 (1999, 2000)

年次	実験区	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔数 ^z (株・m ⁻²)
1999	IB (+)	548.1	141.4	6.3
	IB (-)	565.9	142.3	5.2
	LP (+)	498.7	141.4	4.4
	LP (-)	463.0	134.2	4.8
	慣行	506.9	137.9	4.0
2000	IB (+)	432.7	115.4	4.3
	IB (-)	434.0	110.0	2.3
	慣行	322.6	114.2	14.4

^z 抽苔数について、1999 年は 15 m² の 2 反復、2000 年は 18 m² の 2 反復の調査から算出した

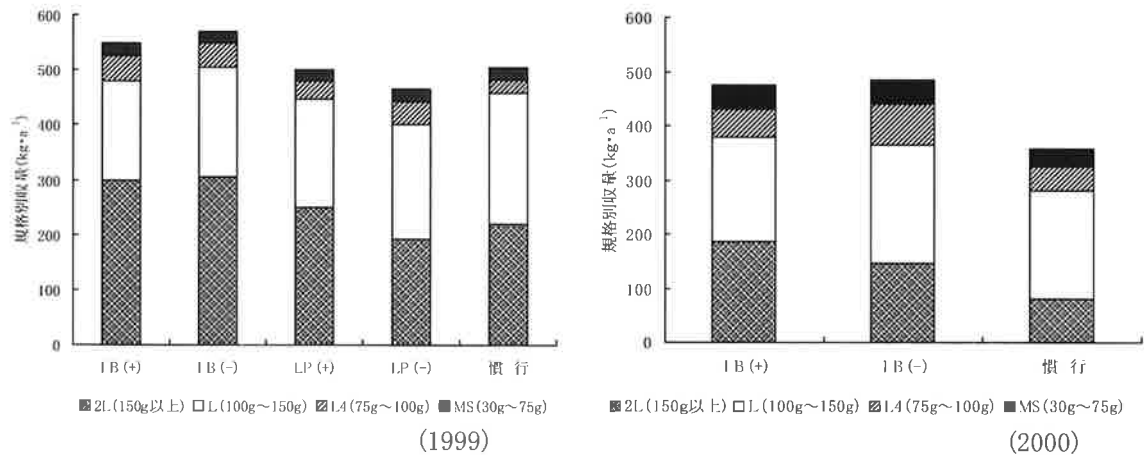


図 2-2-1 初夏どり栽培における肥料タイプおよび施肥方法が
規格別収量に及ぼす影響 (1999, 2000)

第3節 トンネル被覆資材と施肥方法が生育、抽苔および収量に及ぼす影響

山崎らは、ネギの抽苔を制御する目的で、花芽分化に及ぼす温度の影響を検討し (Yamasaki ら, 2000b, 2000c, ; 山崎・田中, 2002), 冬期のトンネル被覆により脱春化が起こることを報告している (Yamasaki ら, 2003). また, 安藤ら (2002) は, 保温性の異なる数種のトンネル被覆の方法で, 抽苔率に 0.6% から 13.2% の差が生じることを報告しており, 初夏どり栽培では, トンネル被覆内の温度条件が花芽分化の誘起に影響を及ぼすことが考えられる.

一方, ネギでは低温遭遇量が不十分な場合に, 低窒素条件が花芽分化に促進的に作用することが報告されており (山崎・田中, 2005), 第2章の第1節において, 初夏どり栽培において花芽分化の開始時期である2月中旬の植物体の窒素レベルが低い場合に, 抽苔率が高まることを明らかにした.

以上のことから, 初夏どり栽培における抽苔発生には, トンネル被覆による温度条件と花芽分化の開始時期の植物体の窒素レベルとが密接に関わっていることが推察される. 実際の栽培では, 数種のトンネル被覆資材が個々に利用されているが, 保温特性は明らかにされておらず, トンネル被覆資材の保温特性に基づいた肥培管理が行われていないことが抽苔発生の要因と考えられる. また, 第2章の第2節においてトンネル内の植え溝施肥法が, 肥料の利用効率が高く抽苔抑制に有効であることを明らかにしたが, トンネル被覆資材の違いがIB肥料の植え溝施肥に及ぼす影響については未調査である. 本節では, トンネル被覆資材と施肥方法が生育, 抽苔および収量に及ぼす影響について検討を行った.

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場 (鳥取県境港市中海干拓地) の砂畑圃場 (砂丘未熟土) において行った. 2001年10月3日に‘長悦’ (協和種苗) を264穴チェーンポット (CP303, 日本甜菜製糖) に1穴当たり2粒と3粒を交互に播種し, 11月28日に条間1m, 深さ15cmの植え溝を切り, 簡易移植機「ひっぱりくん」 (日本甜菜製糖) を用いて移植を行った. 12月18日か

ら翌年（2002年）3月28日までトンネル被覆を行い、5月28日に収穫した。トンネル被覆方法は、トンネル幅を50 cmとし、トンネルの両サイドに地表から25 cmの高さに直径8 cmの換気穴を2 m間隔であけた。実験規模は各区30 m²、反復なしとした。

トンネル被覆資材は、ポリオレフィンフィルム（厚さ0.05 mm、積水化学、以下、P0）、無滴ポリエチレンフィルム（厚さ0.05 mm、積水化学、以下、無滴農ポリ）、有滴ポリエチレンフィルム（厚さ0.05 mm、積水化学、以下、有滴農ポリ）の3種類を供試した。施肥方法の実験区は、全層区と植え溝区とした（表2-3-1）。全層区は緩効性肥料のイソブチリデン2尿素（IB）配合の化成肥料（以下、IB肥料）N:P₂O₅:K₂O=6.0:6.0:6.0 kg・10a⁻¹を全層施肥した後、苗を移植した。トンネル被覆中の追肥は、2月5日に化成肥料N:P₂O₅:K₂O=3.0:3.0:3.0 kg・10a⁻¹を施肥した。植え溝区は、苗を移植した後、IB肥料N:P₂O₅:K₂O=6.0:6.0:6.0 kg・10a⁻¹を植え溝施肥した。IB肥料の植え溝施肥（トンネル被覆資材には有滴農ポリを使用）により、トンネル被覆中の追肥を行わない場合でも抽苔が抑制されることから（第2章の第2節）、本実験の植え溝区では、追肥を行わなかった。各実験区の総施肥量は表2-3-1のとおりとした。灌水は、2月5日と3月5日にトンネル被覆を除去し、スプリンクラーを用いて20分間の散水を行った。

調査は、トンネル被覆資材の光透過特性、土壌含水率、トンネル被覆内の気温、地温および地表面温度、並びにネギの生育、収量について行った。被覆資材の光透過特性は、波長別光エネルギー分析装置（LI-1800, LI-COR）を用い、3月11日の11:30から12:00（晴天）に300–1100 nmの透過スペクトルを測定し、光透過率を（各被覆資材の400–800 nmの光量子束密度）/（自然光の400–800 nmの光量子束密度）×100の計算式に基づいて算出した。土壌含水率は、水分計（YZ/132, 矢崎計器）を用いて、2月5日に各実験区の10か所について地表から10 cmの深さを測定した。トンネル内の温度は、2月26日から3月4日まで温度記録計（TR-71S, T and D）を用いて、気温（地表から10 cmの高さ）、地温（地表から5 cmの深さ）を10分間隔で測定した。地表面温度は、放射温度計（IT-330, 堀場製作所）を用いて、3月25日の12:30から13:00（晴天）に各実験区の10か所を測定した。ネギの生育は、2月5日および3月28日に各実験区の20株について、草丈、新鮮重、最内葉から第2葉のSPAD値（SPAD-205, ミノルタ）を測定し

た。収穫は5月28日に行い、各実験区2 m²の3か所を掘り取り、抽苔株数および調製収量を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から60 cmを残して根および葉を切除した後、内葉4枚を残して外葉を除去した。

結 果

トンネル被覆資材の光透過スペクトルは、各区とも自然光と同様の傾向がみられたが、光透過率は、無滴農ポリで93.3%、P0で87.9%、有滴農ポリで78.2%であった(図2-3-1, 表2-3-2)。晴天時の地表面温度は、P0および無滴農ポリで40℃以上であったが、有滴農ポリでは32.3℃と低かった。有滴農ポリの光透過率が無滴農ポリに比べて約15%低下したことは、有滴農ポリの裏面に水滴が付着していたことによると考えられる。2月5日の調査における土壌含水率は、有滴農ポリで28.4%、無滴農ポリで27.6%、P0で22.8%となり、P0では土壌が乾燥する傾向が認められた。また、地表面温度の高かったP0および無滴農ポリでは、土壌含水率の変動係数が大きく、乾湿の差が大きい傾向が認められた(表2-3-2)。2月26日から3月4日の間におけるトンネル内の気温および地温を表2-3-3に示した。昼間の平均気温および平均地温ともP0で最も高く、次いで無滴農ポリ、有滴農ポリの順であった。P0と有滴農ポリの差は、平均気温で1.6℃、平均地温で0.9℃であった。一方、夜間の平均気温および平均地温については、各被覆資材とも大きな差は認められなかった。

トンネル被覆期間中のネギの草丈および新鮮重を表2-3-4に示した。2月5日の調査における草丈および新鮮重は、P0、無滴農ポリ、有滴農ポリの順で優れる傾向であった。施肥方法の影響は、新鮮重およびSPAD値で認められ、全層区に比べて、植え溝区で生育が優れる傾向があった。一方、3月28日の調査における被覆資材の影響は、草丈、新鮮重およびSPAD値のいずれにも認められなかったが、施肥方法の影響はSPAD値に有意な差が認められ、全層区に比べて植え溝区で低かった。また、有意ではないがP0および無滴農ポリの植え溝区においてSPAD値の低下の程度が大きい傾向が認められた。

トンネル被覆資材と施肥方法がネギの調製収量および抽苔率に及ぼす影響を表2-3-5に示し

た。調製収量では被覆資材による有意差は認められなかったが、施肥方法の違いによる有意差と被覆資材と施肥方法による交互作用が認められ、P0 と無滴農ポリでは全層区で植え溝区よりも高く、有滴農ポリでは植え溝区で全層区よりも高かった。抽苔率には被覆資材と施肥方法の交互作用に有意な差があり、P0 と無滴農ポリでは植え溝区が全層区よりも高く、有滴農ポリでは全層区が植え溝区よりも高かった。

考 察

‘長悦’はネギの極晩抽性の品種に分類され（小島ら，1999），トンネル被覆を行うことにより脱春化が誘導される（Yamasaki ら，2003）。脱春化の温度条件としては，中生品種‘金長’が昼温 35℃で脱春化されるのに対し，‘長悦’では昼温 20℃で脱春化が誘導されることが報告されている（Yamasaki ら，2000b，2000c）。本実験の 2 月 26 日から 3 月 4 日に調査したトンネル内の平均気温は，P0 で 17.4℃と最も高く，次いで無滴農ポリで 16.6℃，有滴農ポリで 15.8℃であった。本実験での全層施肥区における抽苔率は，P0 区で 9.1%，無滴農ポリ区で 18.1%，有滴農ポリ区で 28.1%と（表 2-3-5），保温性の高い被覆資材ほど抽苔が抑制された。このことから，トンネル被覆資材の違いによる抽苔率の差は脱春化の程度の差によるものと推察される。

2 月 5 日の調査では，保温性の高いトンネル被覆資材ほど草丈および新鮮重は大きくなる傾向がみられたが，3 月 28 日の調査では，草丈および新鮮重に被覆資材による有意な差は認められなかった。本実験では，気温が上昇する時期（3 月）においてもトンネルの換気穴の数を増やさなかったため，P0 区および無滴農ポリ区では高温により生育が緩慢となり，トンネル被覆の除去時（3 月 28 日）には，有滴農ポリ区と P0 区および無滴農ポリ区の生育に大きな差がみられなかったことが考えられる。このことから，トンネル被覆内の温度が上昇しやすい P0 および無滴農ポリは，気温が上昇する 3 月に換気穴を増やすなどの管理が必要である。また，トンネル被覆内の土壌水分は，肥料効果の発現に密接に関わること（第 2 章の第 1 節）から，土壌の乾湿の差が大きい P0 および無滴農ポリでは，トンネル被覆期間中に乾燥を防ぐ灌水管理が必要であると考えられる。

ネギ栽培における植え溝施肥は肥料の利用率が高く、全層施肥と比較しても生育が同等以上になる（西畑・松本，2000；田中・小山田，2000）ことから、施肥量の削減や追肥の省力化が可能であり、広く普及してきている。初夏どり栽培では、トンネル被覆中にトンネルを除去して追肥する作業の省力化が求められており、有滴農ポリにおける IB 肥料の植え溝施肥は効果的であると考えられる（第 2 章の第 2 節）。また、植え溝施肥ではトンネル被覆期間中の追肥を行わない場合に抽苔を抑制する結果が得られている（第 2 章の第 2 節）。本実験においても、有滴農ポリの抽苔率は全層区に比べて植え溝区で低かったが、P0 および無滴農ポリでは全層区に比べて植え溝区で抽苔率が高かった。この要因として考えられることは以下のとおりである。初夏どり栽培におけるネギの花芽分化の開始時期は 2 月中旬であり（第 1 章の第 2 節）、この時期の植物体内の窒素レベルが低い場合には、抽苔率が高くなる（第 2 章の第 1 節）。P0 および無滴農ポリの抽苔率は、2 月 5 日に追肥を行わなかった植え溝区で高かったことから、11 月 28 日に施肥した IB 肥料の効果は、花芽分化の開始時期である 2 月中旬には、すでに低下していたことが推察される。このことは、緩効性肥料の溶出は高温になるほど早くなる（藤原ら，1996；小林，2006）ことから、有滴農ポリに比べて P0 および無滴農ポリでは IB 肥料の効果が早く低下したことが抽苔率の高かった要因として推察される。このように、P0 および無滴農ポリ被覆での追肥の省力化のための植え溝施肥においては、IB 肥料と比較して肥効期間の長い肥料の種類を選択する必要がある、この点については今後の検討を要する。一方、前述した乾燥防止のために、トンネル被覆内に灌水チューブを設置する場合があるが、灌水チューブを利用した液肥施用も抽苔抑制に有効な技術であると考えられる。

これまでに、ネギの抽苔制御の方法として、温度（安藤ら，2002；田畑ら，1992；Yamasaki ら，2003）、窒素（山崎・田中，2005）、温度と日長（Yamasaki ら，2003；吉原ら，2004）などが報告されている。山崎（2002）は、ネギとイチゴの花芽分化における環境条件に対する反応や炭素、窒素の栄養の動態について、両者の類似性が高いことを指摘した上で、イチゴの花芽分化に対する窒素の影響は高温域で強いことから、ネギの場合にも、脱春化の誘導に窒素が関わっている可能性を考察している。本実験において P0 や無滴農ポリなど保温性の高い被覆資材でも施

肥方法により抽苔率に差が生じたことは、脱春化の誘導に窒素が関与している可能性を示唆しており、初夏どり栽培のような露地栽培では、温度管理と窒素施肥の調整による抽苔制御が重要であると考えられる。

以上の結果、初夏どり栽培では、P0 などの保温性の高いトンネル被覆資材は花芽分化の抑制に有効であることが明らかとなった。また、保温性の高い被覆資材を用いる場合、窒素肥料をきらさないような肥培管理によって抽苔抑制の効果を高めることが必要であると考えられる。

表 2-3-1 実験区の施肥方法と主要 3 要素の施肥量 (2002)

実験区 ² (施肥方法)	トンネル被覆中の施肥量 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kg・10a ⁻¹)						栽培期間の総施肥量 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kg・10a ⁻¹)		
	IB 肥料の施肥量			2月5日の追肥量					
全層施肥	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	23.5	31.5	23.3
植え溝施肥	6.0	6.0	6.0	0	0	0	20.5	28.5	20.3

² 実験は被覆資材(PO, 無滴農ポリおよび有滴農ポリ)と施肥方法を組み合わせて行った

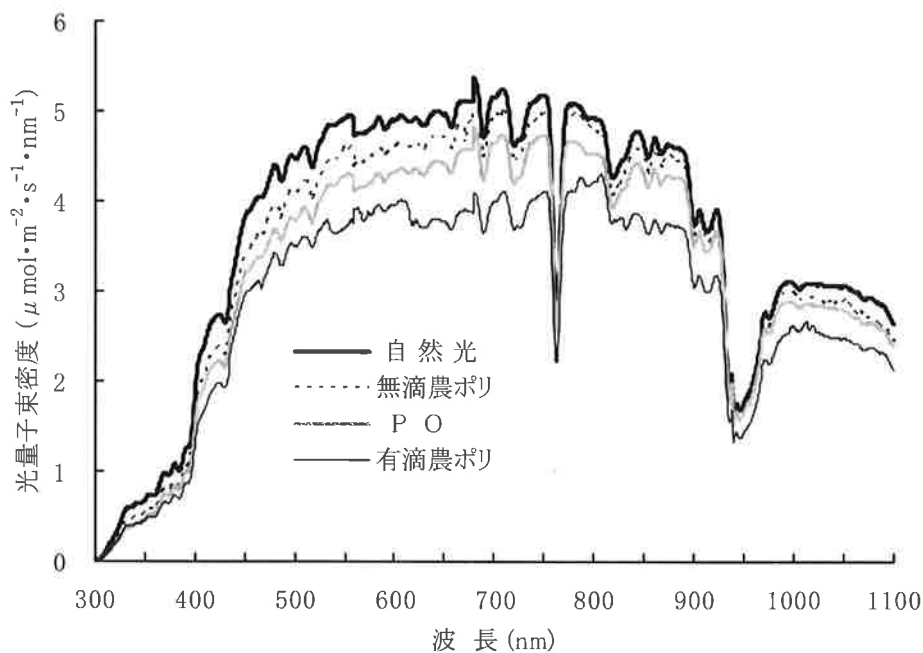


図 2-3-1 被覆資材の種類における光透過スペクトルの比較 (2002)

測定は 2002 年 3 月 11 日の 11:30 から 12:00 (晴天) に行った

表 2-3-2 トンネル被覆資材の光透過率, トンネル被覆内の地表面温度および土壌水分 (2002)

被覆資材	光透過率 ^z (%)	R/FR 比 ^y	地表面温度 ^x (°C)	土壌水分 (2月5日)	
				含水率 (%)	変動係数 (%)
P O	87.9	1.01	41.6±1.6	22.8	35.1
無滴農ポリ	93.3	1.01	40.8±2.0	27.6	21.7
有滴農ポリ	78.2	0.99	32.3±0.7	28.4	12.7

^z 光透過率=各被覆資材(400-800 nm の光量子束密度)/自然光(400-800 nm の光量子束密度)×100

^y R/FR(赤色光/遠赤色光)比=(600-700 nm の光量子束密度)/(700-800 nm の光量子束密度)

^x 2002年3月25日の12:00から13:00に測定した. 平均値±標準偏差 (n=10)

表 2-3-3 トンネル被覆内の気温および地温^z (2002)

被覆資材	温度	昼間平均 ^y	夜間平均 ^y	最高	最低	平均
		(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
P O	気温	17.4	6.2	37.5	-1.6	10.7
	地温	11.7	10.7	19.2	6.9	11.1
無滴農ポリ	気温	16.6	6.4	35.9	-1.5	10.6
	地温	11.1	10.8	17.2	7.6	10.9
有滴農ポリ	気温	15.8	6.3	33.7	-1.7	10.1
	地温	10.8	10.5	16.1	7.5	10.6

^z 測定は2002年2月26日から3月4日に行った

^y 昼間平均は7:00から17:00,夜間平均は17:00から7:00の測定値を表す

表 2-3-4 初夏どり栽培におけるトンネル被覆資材と施肥方法が
ネギの草丈、新鮮重および SPAD 値に及ぼす影響 (2002)

実験区		2月5日			3月28日		
被覆資材	施肥方法	草丈 (cm)	新鮮重 (g)	SPAD 値 ^z	草丈 (cm)	新鮮重 (g)	SPAD 値 ^z
P O	全層	25.8 ab ^x	6.3 ab	44.6 b	62.5 a	38.1 a	58.2 a
	植え溝	29.3 a	6.8 a	47.8 a	59.5 a	40.5 a	47.6 bc
無滴農ポリ	全層	24.5 ab	5.8 bc	45.2 b	56.0 a	36.9 a	56.0 ab
	植え溝	24.8 ab	6.1 bc	46.9 ab	59.3 a	39.6 a	45.6 c
有滴農ポリ	全層	21.7 b	5.1 c	45.6 ab	58.4 a	38.4 a	58.4 a
	植え溝	23.4 ab	5.5 bc	46.3 ab	58.6 a	38.2 a	51.5 abc
分散分析 ^y	A:被覆資材	**	**	NS	NS	NS	NS
	B:施肥方法	NS	*	*	NS	NS	**
	A×B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z SPAD 値は最内葉から第2葉を測定した

^y 分散分析により, *は 5%水準, **は 1%水準, NS は有意差がないことを表す

^x 同一列内の異なるアルファベットは, 多重比較法(Tukey 法)において 5%水準で有意差があることを表す

表 2-3-5 初夏どり栽培におけるトンネル被覆資材と施肥方法が
ネギの調製収量および抽苔率に及ぼす影響^z (2002)

実験区		調製収量	調製重	抽苔率
被覆資材	施肥方法	(kg・a ⁻¹)	(g・本 ⁻¹)	(%)
P O	全層	426.4 a ^x	112.2 a	9.1 a
	植え溝	325.8 c	103.4 b	22.1 cd
無滴農ポリ	全層	412.9 a	113.9 a	18.1 bc
	植え溝	322.7 c	100.8 b	24.1 cd
有滴農ポリ	全層	371.5 b	114.3 a	28.1 d
	植え溝	392.8 ab	113.0 a	12.1 ab
分散分析 ^y	A:被覆資材	NS	NS	*
	B:施肥方法	**	*	NS
	A×B	**	NS	**

^z 調査は 2002 年 5 月 28 日に行った

^y 分散分析により, *は 5%水準, **は 1%水準, NS は有意差がないことを表す

^x 同一列内の異なるアルファベットは, 多重比較法(Tukey 法)において 5%水準で有意差があることを表す

第3章 晩抽性新品種の特性解明

近年のネギ栽培においては、生育の揃い、品質が優れるF₁品種の利用が主流となってきている(吉田, 2001)。しかし、晩抽性のF₁品種は、採種が不安定なことから開発が遅れていた(吉岡, 2001)。最近になってようやく晩抽性のF₁品種が民間種苗会社において育成されてきた。

本章では、晩抽性品種が用いられている初夏どり栽培および春どり栽培における新品種の特性について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場(鳥取県境港市中海干拓地)の砂畑圃場(砂丘未熟土)において行った。実験にはF₁新品種として‘羽緑一本太’(トーホク種苗)および‘春扇’(サカタのタネ)、対照品種として‘長悦’(協和種苗)を供試した。

1) 初夏どり栽培

2001年10月3日に264穴チェーンポット(CP303, 日本甜菜製糖)に1穴当たり2粒と3粒を交互に播種し、11月28日に条間1 mで深さ15 cmの植え溝を切り、簡易移植機「ひっぱりくん」(日本甜菜製糖)を用いて移植した。12月18日から翌年(2002年)3月28日まで小型トンネルで被覆した。小型トンネルは、1条をトンネル幅50 cmの有滴ポリエチレンフィルム(厚さ0.03mm, 積水化学)で被覆し、被覆直後に地表から約25 cmの高さに直径8 cmの換気穴を2 m間隔でトンネルの両側にあけた。収穫は5月29日に行った。総施肥量はN:P₂O₅:K₂O = 23.5:31.5:23.3 kg・10a⁻¹とした。実験規模は各区15 m²、反復なしとした。トンネル被覆期間中の生育は、各実験区の15株について草丈、葉鞘径および新鮮重を測定した。5月29日に各実験区2 m²の2か所を掘り取り、抽苔株数、分けつ発生株数および調製収量を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から60 cmを残して根および葉を切除した後、内葉4枚を残して外葉を除去した。

2) 春どり栽培

2003年6月23日に448穴セルトレイに1穴当たり3粒播種し、8月20日に条間1 mで深さ15 cmの植え溝を切り、ポット間隔6.4 cmで機械移植(全自動2条移植機OP-2, みのる産業)し、2004年3月30日に収穫した。総施肥量はN:P₂O₅:K₂O=18.6:18.6:18.0 kg・10a⁻¹とした。実験規模は各区20 m²の2反復とした。収穫時に各区2 m²の2か所を掘り取り、分けつ発生株数および調製収量を調査した。また、中庸な15株について、草丈、葉鞘長、葉鞘径、最大葉長、葉幅、葉数および葉鞘襟部の締まりを調査した。葉鞘襟部の締まりは、「悪い:1~良い:5」に分けて目視評価した。収穫調査後に圃場に残った各品種の5 m²について、4月5日から5月10日まで1週間おきに葉鞘から花茎が15 cm以上伸長した個体を抽苔株として計数し抽苔率を算出した。

結 果

1) 初夏どり栽培

トンネル被覆期間中の生育を表3-1-1、収穫調査を表3-1-2に示した。3月28日の時点での新鮮重は、「春扇」で39.9 gと最も重く、次いで「長悦」36.6 g、「羽緑一本太」32.9 gの順であった。収穫時(5月29日)の抽苔率は、「長悦」の17.2%に対して、「春扇」で14.9%とやや低く、「羽緑一本太」で7.4%と低かった。調製収量は、「長悦」の379.7 kg・a⁻¹に対して、「春扇」で481.9 kg・a⁻¹、「羽緑一本太」で476.1 kg・a⁻¹であった。

2) 春どり栽培

収穫時(3月30日)の生育調査の結果を表3-1-3に示した。草丈および最大葉長は、「羽緑一本太」と「長悦」では長く、「春扇」では短かった。葉鞘長は、各品種とも同等であったが、葉鞘径は「羽緑一本太」でやや細かった。葉鞘襟部の締まりは、「春扇」が最も良く、次いで「羽緑一本太」、「長悦」の順であった。収穫調査の結果を表3-1-4に示した。分けつ率は、「長悦」で46.5%と高かったのに対し、「羽緑一本太」1.5%、「春扇」1.3%と低かった。「長悦」は分けつの発生が多かったため、収穫本数は多かったものの、一本当たりの調製重が軽かった。調製収量は、「長悦」の516.8 kg・a⁻¹に対して、「羽緑一本太」で568.8 kg・a⁻¹、「春扇」で631.3 kg・

a⁻¹と多収であった。抽苔率の推移を図3-1-1に示した。抽苔率は、4月26日では各品種とも10%未満であったが、5月3日には急増し、‘長悦’で42.0%と最も高く、次いで‘春扇’29.4%、‘羽緑一本太’21.0%の順であった。

以上、初夏どり栽培および春どり栽培における結果から、‘羽緑一本太’は‘長悦’に比べて晩抽性に優れ、肥大がやや劣る品種であった。また、‘春扇’は‘長悦’に比べて晩抽性は同等であり、肥大に優れる品種であった。

考 察

小島ら(1999)が行ったネギの晩抽性を「極早：1～，中：5，極晩：9」に分けた評価において、‘長悦’は9に分類されている。本実験の結果から、‘羽緑一本太’および‘春扇’も‘長悦’と同様に極晩の9に分類されると考えられる。特に、‘羽緑一本太’は晩抽性に優れ、春どり栽培において抽苔率が20%に達する日数は、‘長悦’に比べ5日ほど遅かった。また、‘長悦’では、収穫時の分げつの発生や葉鞘襟部の縮まりの低下などの品質が問題となるが、‘羽緑一本太’および‘春扇’は、分げつの発生がほとんどなく、葉鞘襟部の縮まりも良好であった。

以上の結果、‘羽緑一本太’と‘春扇’は、初夏どり栽培および春どり栽培において安定多収を可能にする有望な品種であると考えられる。実際、両品種を本県の奨励品種として普及をはかっており、現在(2007)では‘長悦’から両品種への移行が進んでいる。

表 3-1-1 初夏どり栽培におけるトンネル被覆期間中の生育² (2002)

品 種	草丈(cm)	葉鞘径(mm)	新鮮重(g)
‘羽緑一本太’	56.9±3.4 ³	10.0±0.7	32.9±6.7
‘春 扇’	61.6±4.0	11.3±1.2	39.9±8.0
‘長 悦’	57.0±4.0	11.0±0.9	36.6±9.0

² 調査は 2002 年 3 月 28 日に行った

³ 平均値±標準偏差 (n=15)

表 3-1-2 初夏どり栽培における収穫調査² (2002)

品 種	調製収量		調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)	分けつ率 (%)
	(本・a ⁻¹)	(本・a ⁻¹)			
‘羽緑一本太’	4275	476.1	111.4	7.4	0
‘春 扇’	4100	481.9	117.5	14.9	0
‘長 悦’	3325	379.7	114.2	17.2	0

² 調査は 2002 年 5 月 29 日に行った

表 3-1-3 春どり栽培における収穫時の生育調査² (2004)

品 種	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	最大葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉数 (枚)	葉鞘襟部 の締まり ³
‘羽緑一本太’	98.3	37.6	21.7	59.6	3.4	4.4	3.6
‘春 扇’	87.1	37.6	23.6	49.6	4.4	4.8	4.2
‘長 悦’	95.2	36.3	23.3	55.4	3.4	4.8	2.6

² 調査は 2004 年 3 月 30 日に行った

³ 葉鞘襟部の締まりは「悪い:1～良い:5」で目視評価した

表 3-1-4 春どり栽培における収穫調査² (2004)

品 種	調製収量		調製重 (g・本 ⁻¹)	分けつ率 (%)
	(本・a ⁻¹)	(kg・a ⁻¹)		
‘羽緑一本太’	3869	568.8	147.0	1.5
‘春 扇’	4100	631.3	154.0	1.3
‘長 悦’	4917	516.8	105.1	46.5

² 調査は 2004 年 3 月 30 日に行った

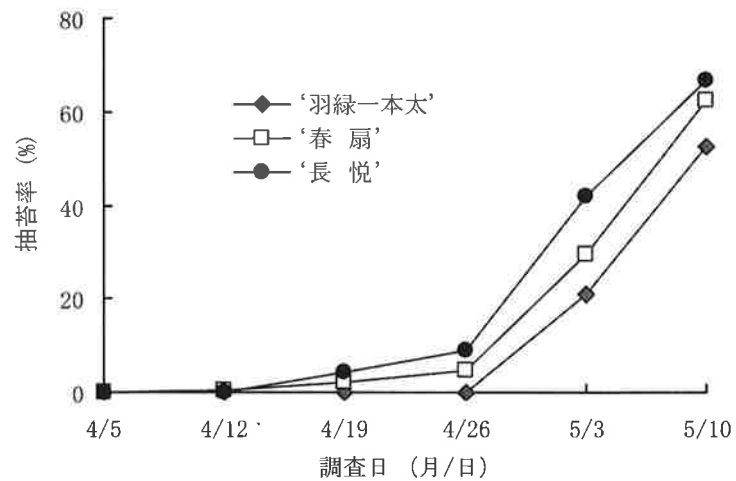


図 3-1-1 春どり栽培における抽苔率の推移 (2004)

第4章 電熱線によるネギの側条地中加温が抽苔および生育に及ぼす影響

山崎・田中（2002）は、気温と地温とを独立して制御する系を用い、晩生品種の‘長悦’，中生品種の‘金長’および‘浅黄九条’の抽苔に及ぼす影響について実験を行っている。その結果、低気温下における高地温は3品種の抽苔を抑制すること、高気温下における低地温は‘金長’および‘浅黄九条’の抽苔を促進することを明らかにしている。また、ネギの主たる低温の感応部位は、茎頂近傍もしくは根であるとされている（山崎・田中，2002）。これらのことは、ネギにおいて地温制御による抽苔抑制ができる可能性を示唆している。

本章では、茎頂近傍と根の両方に有効に温度を作用させる方法として、一定温度に制御した電熱線をネギの植物体に接するように埋設する地中加温法（以下、ネギの側条地中加温法）による抽苔抑制および生育促進の効果について検討を行った。

材料および方法

実験は、鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）にある無加温ハウスにおいて行った。品種は‘長悦’（協和種苗）を供試した。2005年9月10日、20日および30日に播種する3処理区を設けた。200穴セルトレイに1穴当たり3粒播種し、無加温ハウス内で育苗した。各播種日の苗とも11月14日に条間85cm，深さ10cmの植え溝を切り、ポット間隔10cmで移植した。地中加温区では、12月6日にネギの側条に電熱線（農電電子サーモND-820および農電ケーブル，三相200V，1000W，120m，筑波電器）をネギに接するように両側に配置し（図4-1-1），翌年1月5日に地中加温区および無処理区ともに植え溝を埋めた（電熱線の深さ約5cm）。地中加温区ではサーモセンサーを電熱線に直接固定し，電熱線の温度が平均20℃になるように設定温度を22℃とした。処理は1月15日から3月31日まで行った（処理期間75日）。ハウスの開閉は，11月14日から2月15日までは密閉，2月15日からは側面（地表60cmから160cmの高さ）を終日開放し，気温は地中加温区および無処理区

とも成り行きとした。処理期間中は、テンションメーター（竹村電機製作所）を設置し、地中加温区および無処理区とも土壌中の水分含量が $pF=1.7$ から 1.9 の間になるように手灌水した。総施肥量は $N:P_2O_5:K_2O=20.5:28.5:20.3\text{ kg}\cdot 10a^{-1}$ とした。実験区は各区とも畝長を 6 m 、反復なしとした。

処理期間中の温度データについては、温度記録計（TR-71U, T and D）を用い10分間隔で調査した。電熱線の温度、並びにハウス中央の地表から高さ 20 cm の気温を1月29日から30日に測定した。地温については、ネギの植え付け条から直角方向に距離 0 cm 、 5 cm および 10 cm における深さ 5 cm を調査位置とした。一方、気温については、植え付け条の地表から高さ 2 cm および 20 cm を調査位置とした。気温および地温の調査は2月20日から3月3日に行った。

移植時の生育について、11月15日に各播種日の30株の本葉数、並びに100株の地上部と地下部の乾物重を調査した。地中加温の開始時（1月15日）のネギ生育について、各播種日の10株の草丈、葉鞘径および新鮮重を調査した。ネギの出葉数について、地中加温の開始時に任意に選んだ各区15株の最も新しい葉にビニールテープの小片を貼り付け、処理開始後15日おきに新しく展開した葉の数を調査した。地中加温の終了時（3月31日）のネギ生育について、各区8株について、草丈、最大葉長、葉鞘長、葉鞘径、葉数および地上部と地下部の新鮮重、乾物重を調査した。6月22日に抽苔株数を計数した。

結 果

移植時の苗は、播種日が高いほど本葉数が多く、地上部および地下部の乾物重も高かった（表4-1-1）。しかし、地中加温の開始時における草丈、葉鞘径および新鮮重に播種日による生育の差は認められなかった（表4-1-2）。

電熱線の温度は、気温の変化に関係なく、 20°C 前後で推移した（図4-1-2）。植え付け条からの距離 0 cm の地温は、昼間平均および夜間平均とも約 15°C であり、地中加温による地温上昇の効果は、植え付け条からの距離 10 cm においても認められた（表4-1-3）。地中加温が気温に及ぼす影響を調査した結果、夜間について地表から高さ 2 cm では無処理区に比べ平均気温が 1.2°C

高かったが、地表から高さ 20 cm では差がなかった (表 4-1-4)。

地中加温区の出葉速度は無処理区の約 2 倍であった (図 4-1-3)。一方、処理終了後の地中加温区と無処理区の出葉速度は同程度であった。処理終了時のネギの生育を表 4-1-5 および図 4-1-4 に示した。地中加温区における葉鞘径、葉数および乾物重は、無処理区に比べ有意な差が認められ、地中加温区では明らかに生育が促進された。一方、草丈、最大葉長および葉鞘長は、両区間に有意な差が認められなかった。なお、ネギの葉鞘部への地中加温による障害は認められなかった。

地中加温が抽苔率に及ぼす影響を表 4-1-6 に示した。無処理区における抽苔率は、9 月 10 日播種区で 29.5%と最も高く、9 月 20 日播種区と 9 月 30 日播種区ではいずれも約 10%程度認められた。一方、地中加温区は、ほとんどまたは全く抽苔が見られず、抽苔抑制の効果が認められた。

考 察

電熱線によるネギの側条地中加温は、ネギの茎頂部を含む地下部に温度が有効に作用することにより、抽苔を抑制する効果が認められた。この結果は山崎・田中 (2002) の報告と符合しており、地温制御による抽苔抑制が有効であることが示唆された。低温要求性の植物において茎頂が低温を感受する部位であることは、古くから認識されている (Curtis・Chang, 1930 ; Schwabe, 1954)。緑植物低温感応型のハクサイにおいて、地中加温によって茎頂部の温度を上昇させることで春化の効果が低下することが報告されている (Rietze・Wiebe, 1988)。ネギの生育適温は、15℃から 20℃である (山崎, 2002) ことから、本実験の側条地中加温法は、低温を感受させないことによって抽苔抑制が可能であったと推察される。また、山崎・田中 (2002) が行った実験では、‘長悦’において地温 12.5℃でも抽苔抑制が認められている。このことから電熱線の設定温度 22℃より低い場合でも十分に抽苔を抑制し得ると考えられ、今後、抽苔抑制が可能な限界温度を明らかにする必要がある。

ネギには生育の過程において花芽分化できない幼若相が存在する。第 1 章の第 2 節において‘長悦’は葉鞘径 7 mm から 8 mm の大きさに達した個体で花芽分化した (図 1-2-3)。本実験の地中

加温の開始時における葉鞘径は約 5 mm であり、処理開始時の植物体は幼若相にあったと推察される。タマネギでは、生育が進んだ苗ほど少ない低温遭遇によって花芽分化し(宍戸・斎藤, 1976; Brewster, 1985), ネギにおいても生育が進んだ個体ほど花芽分化しやすいことが報告されている(山崎, 2002)。地中加温区では生育の促進が認められたが、抽苔に至る個体はほとんど認められなかった。このことから、本実験の設定温度 22℃においては、生育が促進された個体でも抽苔抑制に有効であることが示唆される。しかし、生育が進んだ個体に対する抽苔抑制の効果については、前述した温度条件等を含め検討が必要であろう。

イチゴ(重野ら, 2001; 鹿野, 2005), アルストロメリア(土井ら, 1999)では、地中加温によって出葉数が増加することが報告されている。本実験でも地中加温区の出葉速度は、無処理区の約 2 倍と著しく増加し、処理終了時には無処理区に比べ約 1 か月の生育促進が認められた(図 4-1-3)。この結果は、山崎・田中(2002)の報告ともよく一致していた。一方、Yamasaki ら(2000a)は、日長条件が‘長悦’の出葉数に影響しなかったと報告している。著者らも本実験と同時期に‘長悦’を用い電照による長日処理(16 時間日長)を行ったが、自然日長に対し長日区の出葉数の増加は見られなかった(白岩ら, 未発表)。これらのことから、日長条件に比べ地温条件は出葉速度に及ぼす影響が大きいことが示唆される。しかし、イチゴ(重野ら, 2001), コマツナ(高尾, 1997)においては、地中加温と電照による生育促進に両者の相乗効果があることが報告されていることから、ネギにおいても両者の相互作用を検証する必要があると考えられる。

地中加温区では、地上部および地下部の生育量の増加も認められた(表 4-1-5)。この生育量の増加は、養水分の吸収がスムーズに行えたことに加え、新根の発生および葉数の増加に伴う光合成能力の向上によると推察される。この結果から、地中加温は厳寒期におけるネギを生育促進させる方法としても有効であると考えられる。

地中加温により地上部の生育量が増加したにも関わらず、草丈、最大葉長および葉鞘長は、両区間に有意な差が認められなかったことは興味深い。本実験の地中加温区では、気温への影響が地表から高さ 2 cm で認められたが、高さ 20 cm では無処理区と差がなかったことから、草丈に差が認められなかった要因として気温が関係している可能性が考えられる。また、根深ネギは生

育に伴い土寄せを行うが、本実験では土寄せを実施しておらず、土寄せが草丈に影響する可能性も考えられる。これらのことから、草丈に差を生じなかった要因については、不明な点が多く、今後の検討が必要である。

地中加温の栽培技術に関する研究について、イチゴ（重野ら，2001；鹿野，2005）、ナス（田中ら，2000）、アルストロメリア（土井ら，1999）など幾つかの報告があり、これらは、いずれも厳寒期の草勢維持、新葉の発生促進を目的としたものである。ネギにおける地中加温は、抽苔抑制、厳寒期の生育促進に効果があることが本実験から示唆された。

表 4-1-1 移植時における苗の生育状況 ^z (2005)

播種日	本葉数 ^y (枚)	乾物重 ^x (g・100 株 ⁻¹)	
		地上部	地下部
9 月 10 日	2.7±0.3 a ^w	25.4	1.7
9 月 20 日	2.3±0.3 b	20.1	1.4
9 月 30 日	2.1±0.2 c	17.6	1.0

^z 2005 年 11 月 14 日に調査した

^y 発芽後に出葉した本葉数の平均値±標準偏差 (n=30)

^x 乾物重は 100 株について調査した

^w 異なるアルファベット間は, 多重比較法 (Tukey 法) において 5%水準で有意差があることを表す

表 4-1-2 地中加温の開始時におけるネギの生育状況 ^z (2006)

播種日	草丈 (cm)	葉鞘径 (mm)	新鮮重 (g)
9 月 10 日	35.9±3.4 ^y	5.3±0.6	5.4±1.0
9 月 20 日	34.7±3.2	5.2±0.4	5.3±0.8
9 月 30 日	32.7±2.8	5.0±0.5	5.0±0.5
分散分析 ^x	NS	NS	NS

^z 2006 年 1 月 15 日に調査を行った

^y 平均値±標準偏差 (n=10)

^x 分散分析により, NS は有意差がないことを表す

表 4-1-3 地中加温が地温に及ぼす影響^z (2006)

処 理	植え付け 条からの 距離 ^y	昼 間 (7:00~17:00)			夜 間 (17:00~7:00)		
		平 均 (°C)	最 高 (°C)	最 低 (°C)	平 均 (°C)	最 高 (°C)	最 低 (°C)
地中加温	0 cm	15.2	17.9	13.0	15.4	17.4	12.9
	5 cm	13.1	17.8	9.2	11.8	15.3	9.2
	10 cm	11.8	17.8	6.1	9.4	14.6	6.1
無処理	0 cm	10.1	16.6	4.0	7.8	14.4	4.0
	5 cm	10.1	16.4	4.0	7.8	14.1	4.0
	10 cm	10.2	16.2	3.6	7.7	13.9	3.8

^z 測定は 2006 年 2 月 20 日から 3 月 3 日に行った

^y 地表から深さ 5 cm を測定した

表 4-1-4 地中加温が気温に及ぼす影響^z (2006)

処 理	植え付け条 の地表から の高さ	昼 間 (7:00~17:00)			夜 間 (17:00~7:00)		
		平 均 (°C)	最 高 (°C)	最 低 (°C)	平 均 (°C)	最 高 (°C)	最 低 (°C)
地中加温	2 cm	10.5	19.2	3.3	7.0	12.4	2.6
	20 cm	9.8	22.0	1.6	5.2	19.1	-0.9
無処理	2 cm	10.3	19.0	1.3	5.8	12.0	0.8
	20 cm	9.7	22.8	1.2	5.1	18.8	-1.2

^z 測定は 2006 年 2 月 20 日から 3 月 3 日に行った

表 4-1-5 地中加温および播種時期がネギの生育に及ぼす影響^z (2006)

実験区 処 理	播種日	草 丈 (cm)	最大 葉長 (cm)	葉鞘 長 (cm)	葉鞘 径 (mm)	葉 数 (枚)	地上部		地下部	
							新鮮重 (g)	乾物重 (g)	新鮮重 (g)	乾物重 (g)
地中加温	9月10日	60.8	42.0	19.0	16.3	6.0	88.1	7.8	6.8	1.00
	9月20日	63.6	44.2	19.5	16.0	5.8	93.5	8.1	6.3	0.98
	9月30日	60.2	43.2	18.8	15.7	5.8	87.5	7.5	6.1	0.95
無処理	9月10日	62.7	43.8	19.3	12.8	3.8	54.4	5.1	2.5	0.47
	9月20日	60.7	42.2	19.3	13.4	3.7	56.9	5.5	2.4	0.46
	9月30日	60.5	42.7	19.6	13.0	3.9	52.7	5.2	2.8	0.52
分散分析 ^y	処 理	NS	NS	NS	**	**	**	**	**	**
	播種日	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z 処理75日後(2006年3月31日)に各区8株について調査した

^y 分散分析により, **は1%水準, NSは有意差がないことを表す

表 4-1-6 地中加温および播種時期がネギの抽苔に及ぼす影響 (2006)

実験区 処 理	播種日	調査 株数	抽苔 株数	抽苔率 (%)
地中加温	9月10日	136	2	1.5
	9月20日	132	0	0
	9月30日	135	0	0
無処理	9月10日	132	39	29.5
	9月20日	133	15	11.3
	9月30日	129	17	13.2
分散分析 ^z			処 理	**
			播種日	NS

^z 分散分析により, **は1%水準, NSは有意差がないことを表す



図 4-1-1 電熱線によるネギの側条地中加温 (2005 年 12 月 6 日)

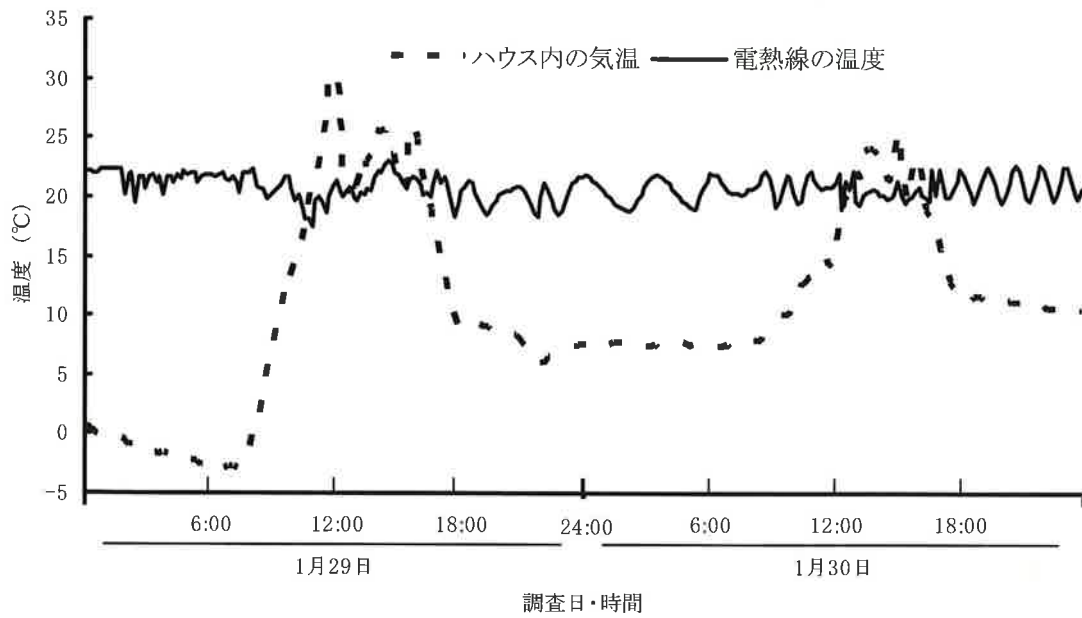


図 4-1-2 ハウス内の気温および電熱線の温度 (2006)

ハウス内の気温はハウスの中央部の地表から高さ 20 cm を測定した
電熱線の温度は電熱線の表面温度を測定した

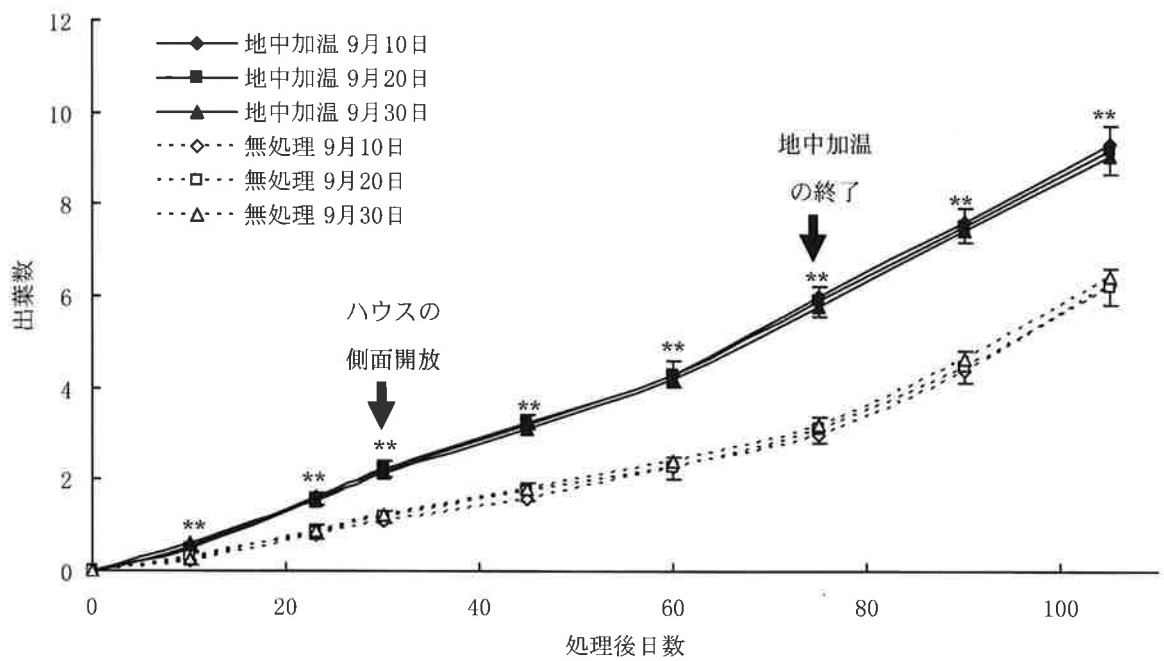


図 4-1-3 地中加温および播種時期が出葉数に及ぼす影響 (2006)

地中加温, 無処理ともに9月20日播種区に標準偏差(n=15)を付した分散分析により, ** は地中加温と無処理の間に1%水準で有意差があることを表す分散分析により, 播種日の間には有意差が認められなかった



図 4-1-4 地中加温がネギの生育に及ぼす影響

(処理75日後, 2006年3月31日)

左:地中加温区, 右:無処理区

第5章 露地栽培における一本ネギの5月どり栽培の開発

鳥取県西部地区では、ネギを周年出荷するために、春どり栽培では晩抽性の‘晩ネギ’や不抽苔性品種の‘坊主不知’を利用し、初夏どり栽培では晩抽性的一本ネギ‘長悦’のトンネル被覆により5月下旬から出荷している(近藤, 1997)。また、最近では春どり栽培に‘長悦’が利用され4月下旬まで出荷されており、一本ネギの端境期は5月上旬から中下旬となった(図5-1-1)。この端境期には上述の‘坊主不知’が出荷されているが、市場からは品質の良い一本ネギの周年供給が求められている(池澤, 1999)。

本章では、一本ネギの周年出荷を目的に、初夏どり栽培の前進化について検討を行った。第1節では、晩抽性の新品種と保温性の高いトンネル被覆方法とを組合せて初夏どり栽培の前進化の可能性について検討し、第2節では、初夏どり栽培の前進化に向けた栽培条件の検討を行った。

第1節 新品種、トンネルの種類による初夏どり栽培の前進化の可能性

第3章において晩抽性新品種として有望であった‘春扇’、‘羽緑一本太’を用い、保温性の異なる中型トンネルおよび小型トンネルでの初夏どり栽培の前進化の可能性について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場(鳥取県境港市中海干拓地)の砂畑圃場(砂丘未熟土)において行った。品種は‘羽緑一本太’(トーホク種苗)と‘春扇’(サカタのタネ)を供試した。ネギは緑植物低温感応型の作物であり、生育ステージ(齢)が進むほど花芽分化しやすくなることから(山崎, 2002)、播種日および移植日は初夏どり栽培とほぼ同時期に行ったが、栽培の中期から収穫期までの肥大を図るために、栽植密度は $2000\text{本}\cdot\text{a}^{-1}$ と低くした(慣行 $4000\text{本}\cdot\text{a}^{-1}$ 前後)。

2004年9月29日に220穴セルトレイに1穴当たり2粒播種し、11月28日に条間1 m、深さ15 cmの植え溝を切り、ポット間隔10 cmで手植え移植した。12月8日にネギの側条に灌水チューブを設置し、その上から濃緑ポリエチレンフィルム(厚さ0.03 mm, 積水化学)でネギを挟むようにマルチした。

トンネル被覆は、中型トンネル区と小型トンネル区を設け、12月8日から翌年(2005年)3月22日まで被覆した。中型トンネル区は、2条をトンネ幅160 cmの無滴ビニルフィルム(厚さ0.075 mm, 積水化学)で被覆した。被覆直後に地表から約50 cmの高さに直径8 cmの換気穴を2 m間隔でトンネルの両側にあけ、3月1日に1 m間隔に換気穴の数を増やした。小型トンネル区は、1条をトンネル幅50 cmのポリオレフィンフィルム(厚さ0.05 mm, 積水化学)で被覆した。被覆直後に地表から約25 cmの高さに直径8 cmの換気穴を4 m間隔でトンネルの両側にあけ、3月1日に2 m間隔に換気穴の数を増やした。トンネル被覆期間中の1月から2月は2週間に1回、3月は1週間に1回、 $1 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ の灌水を行った。また、2月1日および10日に窒素量で200 ppmの $1 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ の液肥処理を行った。総施肥量は $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 25.5 : 32.5 : 25.3 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ とした。両トンネルとも全長34 mとし、各品種区とも 11 m^2 で反復を設けなかった。トンネル内の温度を2月1日から10日まで温度記録計(TR-71S, ティアンドデイ)を用いて、気温(地表から10 cmの高さ)、地温(地表から5 cmの深さ)を30分間隔で測定した。

ネギの生育調査として3月28日に各実験区の15株について、草丈、葉鞘径および新鮮重を測定した。5月10日に各実験区 2 m^2 の3か所を掘り取り、抽苔株数、調製収量および葉鞘内部の花茎の有無を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から60 cmを残して根および葉を切除した後、内葉4枚を残して外葉を除去した。5月10日の抽苔率と葉鞘内部の花茎形成している株率(葉鞘内部の花茎率)を合わせて、全体の抽苔率を算出した。

結 果

2月1日から10日におけるトンネル内の気温および地温を表5-1-1に示した。昼間、夜間の平均気温と地温は、小型トンネル区に比べ中型トンネル区で高かった。中型トンネル区と小型トンネル区の差は、平均気温で 0.6°C 、平均地温で 0.8°C であった。トンネル被覆期間中の生育を表5-1-2

に示した。3月28日の時点での生育は、小型トンネル区に比べ中型トンネル区で優れていた。葉鞘径と新鮮重において品種間に有意差が認められ、‘羽緑一本太’に比べ‘春扇’の生育が優れていた。また、新鮮重において、トンネルの型と品種との交互作用が有意に認められ、中型トンネルの生育促進の効果は、‘羽緑一本太’に比べ‘春扇’で大きかった。5月10日の収穫調査の結果を表5-1-3に示した。一本当たり調製重は、トンネルの型では中型トンネル区、品種では‘春扇’が大きかった。調製収量では、トンネルの型において有意差が認められ、中型トンネル区が多収であった。5月10日の抽苔率および葉鞘内部の花茎株率には、品種で有意な差が認められたが、トンネルの型では認められなかった。5月10日の抽苔率は‘羽緑一本太’で約3%、‘春扇’で約5%、葉鞘内部の花茎株率は‘羽緑一本太’で約7%、‘春扇’で約30%であった。5月10日の抽苔率と葉鞘内部の花茎株率を合わせた全体の抽苔率は、‘春扇’で30%から40%であったのに対し、‘羽緑一本太’では10%前後と低かった。

考 察

一本ネギの端境期は、5月上旬から中下旬となる。この端境期に一本ネギを出荷するには、春どり栽培の延長、あるいは、初夏どり栽培の前進化との二通りが考えられる。春どり栽培では、収穫時にほとんどの株で葉鞘内部に花茎が形成されており、晩抽性に優れる‘羽緑一本太’を用いても5月3日頃までの出荷が限界であり（第3章）、5月中旬まで収穫を延長することは技術的に難しいと考えられる。一方、初夏どり栽培は、花芽分化を誘起させない管理が重要であり（山崎，2002）、花芽分化の抑制については、トンネル被覆方法（安藤ら，2002；田畑ら，1992）、長日処理（Yamasakiら，2003）、肥培管理法（山崎・田中，2005）など幾つかの方法がある。従って、一本ネギの端境期出荷の技術確立は、初夏どり栽培の前進化において可能性が高いと考えられる。そこで、第3章において明らかにした有望品種を用い、初夏どり栽培の2週間の前進化について検討を行った。トンネル除去時の生育および収穫時の肥大は、中型トンネル区で良好であったものの、小型トンネル区においても出荷規格の大きさに達していた（表5-1-3）。また、葉鞘内部の花茎株率は、‘春扇’で約30%とやや高かったが、春どり栽培でも花茎を形成している株を出荷

していることから、葉鞘内部の花茎については、出荷上の問題は小さいと考えられる。

初夏どり栽培では、トンネル被覆を行うことにより脱春化が誘導される（田畑ら，1992；Yamasakiら，2003）．‘長悦’は昼温20℃で脱春化が誘導され（Yamasakiら，2000），植物体の生育ステージ（齢）がほぼ同じであれば，保温性の高い被覆資材ほど抽苔率が低くなる（第2章の第3節）．しかし，本実験では，小型トンネル区に比べ中型トンネル区で平均気温および地温とも高かったものの，全体の抽苔率はトンネルの型で差が認められなかった（表5-1-3）．3月28日の生育調査において，中型トンネル区は，小型トンネル区に比べ生育が進んでいたことから（表5-1-2），トンネルの型で全体の抽苔率に差がなかった要因は，植物体の生育ステージ（齢）が影響したものと推察される．

以上の結果，‘羽緑一本太’および‘春扇’を用いて初夏どり栽培の前進化が可能であると考えられた．また，トンネルの型は，小型トンネルに比べ中型トンネルは保温効果が高く，生育促進に有効であった．今後，労力およびコスト面を含め，5月どり栽培技術の確立のために，播種日，栽植本数およびトンネルの種類など，さらに詳細な検討が必要である．

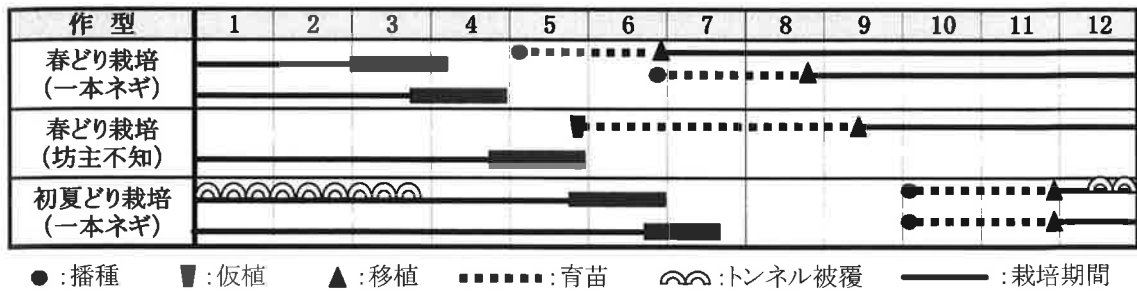


図 5-1-1 鳥取県における春から初夏どりネギ栽培

表 5-1-1 トンネル被覆内の気温および地温² (2005)

トンネルの型	温度	昼間平均 ¹⁾ (°C)	夜間平均 ¹⁾ (°C)	最高 (°C)	最低 (°C)	平均 (°C)
中型トンネル	気温	12.7	3.3	38.0	-0.3	7.4
	地温	9.6	7.9	17.0	5.1	8.6
小型トンネル	気温	12.4	2.4	36.9	-1.5	6.8
	地温	9.0	6.9	16.5	3.9	7.8

¹⁾ 測定は 2005 年 2 月 1 日から 10 日に行った

²⁾ 昼間平均は 7:00~17:00, 夜間平均は 17:00~7:00 の測定値を示す

表 5-1-2 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型が‘羽緑一本太’と‘春扇’の生育に及ぼす影響² (2005)

実験区		草丈	葉鞘長	葉鞘径	葉数	新鮮重
トンネルの型	品種	(cm)	(cm)	(mm)	(枚)	(g)
中型トンネル	‘羽緑一本太’	76.5	23.5	16.3	4.4	94.0
	‘春扇’	77.3	24.6	18.9	4.7	128.0
小型トンネル	‘羽緑一本太’	66.3	20.9	15.4	3.6	77.4
	‘春扇’	68.3	21.6	16.2	3.7	85.8
分散分析 ³	A:トンネルの型	**	**	**	**	**
	B:品種	NS	NS	**	NS	**
	A × B	NS	NS	NS	NS	**

² 調査は 2005 年 3 月 28 日に行った

³ 分散分析により, **は 1%レベルで有意差あり, NS は有意差なしを表す

表 5-1-3 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型が‘羽緑一本太’と‘春扇’の収量に及ぼす影響 (2005)

実験区		調製収量		調製重	5月10日	葉鞘内部の	全体の
トンネルの型	品種	本・a ⁻¹	kg・a ⁻¹	g・本 ⁻¹	抽苔率(%)	花茎株率(%)	抽苔率(%) ²
中型トンネル	‘羽緑一本太’	1875	336.9	179.7	3.8	6.7	10.3
	‘春扇’	1925	364.7	189.5	4.9	28.6	32.1
小型トンネル	‘羽緑一本太’	1925	273.2	141.9	2.5	6.5	8.9
	‘春扇’	1875	272.4	145.3	5.1	32.0	35.4
分散分析 ³	A:トンネル	NS	**	**	NS	NS	NS
	B:品種	NS	NS	**	**	**	**
	A × B	NS	NS	NS	NS	NS	NS

² 全体の抽苔率は, 5月10日の抽苔率と葉鞘内部の花茎株率を合わせて算出した

³ 分散分析により, **は 1%レベルで有意差あり, NS は有意差なしを表す

第2節 初夏どり栽培の前進化に向けた栽培条件の検討

前節において‘羽緑一本太’および‘春扇’を用いて初夏どり栽培の前進化の可能性が示唆されたことから、本節では、初夏どり栽培の前進化に向けた栽培条件を明らかにするため、生育と抽苔発生に及ぼす①栽植密度、②播種日と移植日、③トンネル被覆内のマルチおよび灌水効果について検討を行った。

第1項 栽植密度の検討

ネギの生育は栽培品種と栽培時期によって異なることが知られており（加賀屋・吉川，1994；黒田ら，1992），林・藤代（1989）は根深ネギの品質向上と安定生産において株間の調節が必要であることを指摘している。一般に、ネギは株間が狭くなるほど葉鞘径が細くなること（奥田・藤目，2004；村井ら，1981）が知られており，西畑（1999）は，根深ネギにおいて移植約80日後までは株間の違いによる生育の差は認められないが，100日を超えるころになると差があらわれ，収穫時には総じて株間を広くして栽培した方が一本当たりの重量が重くなるとしている。このような観点から第5章の第1節では、生育後半の肥大をはかるために2000本・a⁻¹と粗植条件で実験を行った。しかし、実際の栽培においては、一本当たりの重量が重くても収穫本数が少なければ総収量が上がらない。このため、作型開発にあたっては、品種ごとの最適な栽植密度を明らかにする必要がある（西畑，1999）。

本項では、初夏どり栽培の前進化における‘春扇’および‘羽緑一本太’の最適な株間について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）において行った。実験区の概要を表5-2-1に示した。品種は‘春扇’と‘羽緑一本太’の2水準、

トンネルの型は中型トンネル（幅160 cm）と小型トンネル（幅50 cm）の2水準，播種粒数は200穴セルトレイに1穴当たり2粒，3粒および4粒の3水準，植付けポット間隔は7.5 cmと10 cmの2水準で実験を行った．2005年9月20日に播種し，11月24日に条間1 m，深さ15 cmの植え溝を切り移植した．12月8日にネギの側条に灌水チューブを設置し，その上から濃緑ポリエチレンフィルム（厚さ0.03 mm，積水化学）でネギを挟むようにマルチした．被覆資材はポリオレフィンフィルム（厚さ0.05 mm）を用い，12月8日から翌年3月27日までトンネル被覆した．中型トンネル区は，被覆直後に地表から約50 cmの高さに直径8 cmの換気穴を2 m間隔でトンネルの両側にあけ，3月1日に1 m間隔に換気穴の数を増やした．小型トンネル区は，被覆直後に地表から約25 cmの高さに直径8 cmの換気穴を4 m間隔でトンネルの両側にあけ，3月1日に2 m間隔に換気穴の数を増やした．トンネル被覆期間中の1月から2月は2週間に1回，3月は1週間に1回，1 L・m²の灌水を行った．また，2月8日および22日に各区に窒素量で200 ppmの液肥1 L・m²を施用した．総施肥量はN : P₂O₅ : K₂O = 25.5 : 32.5 : 25.3 kg・10a⁻¹とした．両トンネルとも全長34 mとし，各実験区とも8 m²，反復なしとした．ネギの生育調査として4月6日に各実験区の10株について，草丈，葉鞘長，葉鞘径および新鮮重を測定した．5月22日に各実験区とも2 m²の3か所を掘り取り，抽苔株数および調製収量を調査した．ネギの調製は，葉鞘基部から60 cmを残して根および葉を切除した後，内葉4枚を残して外葉を除去した．

結果および考察

トンネル被覆期間中の生育を表 5-2-2 に示した．中型トンネル区は，小型トンネル区に比べ‘春扇’，‘羽緑一本太’ともに生育が良好であった．品種では，‘羽緑一本太’に比べ‘春扇’で肥大が良い傾向であった．葉鞘径において両品種ともポット間隔および播種粒数に有意な差が認められ，新鮮重において‘春扇’は播種粒数のみに，‘羽緑一本太’は播種粒数とポット間隔に有意な差が認められた．このことから，‘春扇’と‘羽緑一本太’とでは肥大が異なり，トンネル被覆期間中の生育は，播種粒数とポット間隔，つまり，栽植密度の影響を大きく受けることが示唆される．

本実験における収穫調査（2006年）は、前年の実験（第5章の第1節）の5月10日に比べ、12日遅い5月22日であった。この理由は12月から3月が寡日照、低温であり、生育が遅延したためである。鳥取県の生産現地の2006年における初夏どり栽培の出荷開始は6月4日と平年より約10日遅かった。一方、本実験の収穫は生産現地の初夏どり栽培に比べて約2週間早い5月22日であった。収穫調査の結果を表5-2-3に示した。トンネルの型では中型トンネル区、品種では‘春扇’の葉鞘肥大が優れていた。両品種とも栽植密度が低くなるほど肥大が良好であった。抽苔は‘春扇’でやや認められ、‘羽緑一本太’ではほとんど認められなかった。抽苔が少なかった理由として、上述した12月から3月が寡日照、低温であったことにより生育が遅れ、生育ステージ（齢）が進まなかったために抽苔に至る個体が少なかったことが推察される。

実用的な栽植密度を明らかにするため、中型トンネル区および小型トンネル区における品種別の収量解析を行った（図5-2-1, 図5-2-2）。中型トンネルと小型トンネルのいずれの場合も1穴当たりの播種粒数が少ない2粒において肥大が良好であった。この結果から、隣接する株が少ない2粒播種では、株どうしの競合が小さいと推察される。しかし、2粒播種では上述で指摘した総収量が多くならないという問題を生じる。従って、初夏どり栽培の前進化における実用的な栽植密度は、肥大と総収量とのバランスで考える必要がある。以上のことを考慮して栽植密度を判断すると、中型トンネルおよび小型トンネルともに、‘春扇’では3粒または4粒のポット間隔10cm（それぞれ栽植密度3000本・a⁻¹, 4000本・a⁻¹）, ‘羽緑一本太’では3粒のポット間隔10cm（栽植密度3000本・a⁻¹）が適していると推定される。

第2項 播種日および移植日の検討

ネギは緑植物低温感応型の作物であり（八鍬, 1980）、ある生育ステージ（齢）に達した株が低温および短日条件に遭遇することで花芽分化する（八鍬・興水, 1969）。第1章の第2節では、鳥取県における初夏どり栽培の‘長悦’で2月中旬に葉鞘径7mmから8mmに達した個体で花芽分化が可能になることを明らかにした。ネギは生育ステージ（齢）が進むほど花芽分化しやすく

なること（山崎，2002）から播種時期が重要となる。地床育苗における大苗は，葉鞘径が 5 mm から 8 mm の大きさで，ほぼ成熟相の個体に達しているために（池澤，1999；相楽，1999），播種時期の早晩が抽苔発生に影響する。一方，近年のネギ栽培においては，ペーパーポット苗やセル成型苗など（川城，1999；土屋，1999），葉鞘径が 2 mm 程度の小苗を移植する技術が普及してきている。小苗移植では，移植後に活着，生育して成熟相に達するまでに 2 から 3 か月要することから（第 1 章の第 2 節および第 3 節），抽苔発生には，播種時期だけでなく，移植時期や移植後の生育も影響していると考えられる。

本項では播種日と移植日が抽苔および収量に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）において行った。実験区の概要を表 5-2-4 に示した。品種は‘春扇’と‘羽緑一本太’の 2 水準，トンネルの型は中型トンネル（幅 160 cm）と小型トンネル（幅 50 cm）の 2 水準，播種日は 2005 年 9 月 10 日，20 日および 30 日の 3 水準，移植日は 11 月 14 日，24 日および 12 月 4 日の 3 水準で実験を行った。播種は 200 穴セルトレイに 1 穴当たり 3 粒播種し，条間 1 m，深さ 15 cm の植え溝を切り，ポット間隔 10 cm で移植した。12 月 8 日にネギの側条に灌水チューブを設置し，その上から濃緑ポリエチレンフィルム（厚さ 0.03 mm，積水化学）でネギを挟むようにマルチした。被覆資材はポリオレフィンフィルム（厚さ 0.05 mm）を用い，12 月 8 日から翌年 3 月 27 日までトンネル被覆した。中型トンネル区は，被覆直後に地表から約 50 cm の高さに直径 8 cm の換気穴を 2 m 間隔でトンネルの両側にあけ，3 月 1 日に 1 m 間隔に換気穴の数を増やした。小型トンネル区は，被覆直後に地表から約 25 cm の高さに直径 8 cm の換気穴を 4 m 間隔でトンネルの両側にあけ，3 月 1 日に 2 m 間隔に換気穴の数を増やした。トンネル被覆期間中の 1 月から 2 月は 2 週間に 1 回，3 月は 1 週間に 1 回， $1\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ の灌水を行った。また，2 月 8 日および 22 日に窒素量で 200 ppm の $1\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ の液肥処理を行った。総施肥量は $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 25.5 : 32.5 : 25.3\text{ kg}\cdot 10\text{a}^{-1}$ とした。両トンネルとも全長 34 m とし，各実験区とも 8 m^2 ，反復なしとした。5 月 22

日に各実験区 2 m²の 3 か所を掘り取り、抽苔株数、調製収量および葉鞘内部の花茎株率を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から 60 cm を残して根および葉を切除した後、内葉 4 枚を残して外葉を除去した。

結果および考察

収穫調査の結果を表 5-2-5 および表 5-2-6 に示した。抽苔率には‘春扇’において統計上の有意差が認められたものの、本実験における抽苔発生は極少発生であり、播種日および移植日と抽苔発生との関係は明らかにできなかった。また、第 5 章の第 1 節での実験で認められた葉鞘内部の花茎形成も認められなかった。

調製収量および一本当たりの調製重には、‘春扇’、‘羽緑一本太’ともに、播種日および移植日に有意な差が認められ、播種日と移植日との間に交互作用が認められた。中型トンネル区および小型トンネル区における品種別の収量解析を図 5-2-3 および図 5-2-4 に示した。中型トンネル区、小型トンネル区ともに同様な傾向であった。品種においても‘春扇’と‘羽緑一本太’で同様な傾向であり、移植日が早いほど肥大が良く多収となる傾向であった。また、播種日が早く（9 月 10 日）、移植日が遅い（12 月 4 日）場合では肥大が劣る傾向であった。ハクサイ（Kratky ら、1982）やトマト（Weston・Zandstra, 1986）において、容量の大きなポットで育てたセル成型苗に比較して、容量が小さいポットで育てたセル成型苗では成長速度や収量が劣ることが報告されている。これは、セルトレイという根域制限下で長期間育苗されることによる植物体の活力低下によると推察される（福岡ら、2001）。また、竹川ら（2004）は、キャベツおよびチンゲンサイのセル成型苗において、育苗日数が長くなると根鉢形成されることによって、生育の遅延が起こることを報告している。ネギにおいては、育苗日数と移植後の生育との関係についての報告事例はないが、他の野菜の報告事例から推察すると、移植日が同じでも育苗期間が長いほど肥大が劣った本実験の結果は、根鉢の形成が進んだことによる苗の老化によるものと推察される。セル成型苗の適期移植の観点から言えば、播種日と移植日は密接に関わっているが、移植日の早晚によって成熟相に達するまでの生育が異なる可能性があることから、セル成型育苗において抽苔発生

への影響は、播種日より移植日の方が大きい可能性も考えられ、本実験の結果も踏まえ、再度検討を行う必要がある。

第3項 トンネル被覆内のマルチおよび灌水の効果

山崎・田中（2005）は、ネギの低温感応部位は地下部にあり、トンネル被覆下における昼高温による抽苔抑制には地温の影響もあると考察している。また、安藤ら（2002）は、初夏どり栽培においてトンネル内のマルチの利用は、抽苔率の低下につながることを報告している。

一方、第2章の第1節および第2節において、トンネル内の肥効発現には土壌水分が密接に関わっていることを明らかにした。この点からマルチの効果を発揮するには、灌水が必要であると推察される。本項では、トンネル被覆内のマルチと灌水が抽苔および収量に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）において行った。実験区の概要を表5-2-7に示した。品種は‘春扇’と‘羽緑一本太’の2水準、トンネルの型は中型トンネル（幅160cm）と小型トンネル（幅50cm）の2水準、マルチの有無は緑マルチと無マルチの2水準、灌水の有無は灌水と無灌水の2水準で実験を行った。2005年9月20日に播種し、11月24日に条間1m、深さ15cmの植え溝を切り移植した。灌水区は12月8日にネギの側条に灌水チューブを設置し、緑マルチ区は同日に濃緑ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm、積水化学）でネギを挟むようにマルチした。被覆資材はポリオレフィンフィルム（厚さ0.05mm）を用い、12月8日から翌年3月27日までトンネル被覆した。中型トンネル区は、被覆直後に地表から約50cmの高さに直径8cmの換気穴を2m間隔でトンネルの両側にあげ、3月1日に1m間隔に換気穴の数を増やした。小型トンネル区は、被覆直後に地表から約25cmの高さに直径8cmの換気穴を4m間隔でトンネルの両側にあげ、3月1日に2m間隔に換気穴

の数を増やした。灌水区は、1月17日、2月2日、16日、3月6日、13日、20日、27日に1L・m²の灌水を行った。総施肥量はN : P₂O₅ : K₂O = 23.5 : 31.5 : 23.3 kg・10a⁻¹とした。両トンネルとも全長34mとし、各実験区とも8m²、反復なしとした。ネギの生育調査として4月7日に各実験区の10株について、草丈、葉鞘長、葉鞘径および新鮮重を測定した。テンションメーター（竹村電気製作所）を用いて、中型トンネル区における土壌pF値を測定した。5月23日に各実験区2m²の3か所を掘り取り、抽苔株数および調製収量を調査した。ネギの調製は、葉鞘基部から60cmを残して根および葉を切除した後、内葉4枚を残して外葉を除去した。

結果および考察

中型トンネル区における土壌pF値の推移を図5-2-5に示した。灌水区は、pF1.5以下と土壌水分がやや高い状態で推移したが、目視観察では地表面に水分過剰な状態は認められなかった。また、無マルチ-灌水区に比べ、緑マルチ-灌水区においてpF値はやや低く推移した。一方、無灌水区は1月から2月中旬まではpF1.8から1.9で推移したが、3月上旬からpF値は上昇し、土壌が乾燥した状態であった。無灌水区におけるpF値にマルチの有無の違いは認められなかった。

トンネル被覆期間中の生育を表5-2-8に示した。無灌水区に比べ灌水区で生育が良好であった。トンネルの型および品種によってマルチの効果がやや異なっていたが、緑マルチ-灌水区で生育が良好となる傾向であった。収穫調査の結果を表5-2-9に示した。トンネル被覆期間中の生育の差がそのまま収量に影響し、無灌水区に比べ灌水区で肥大が優れ多収であった。収穫調査の結果においても緑マルチ-灌水区で肥大が良好であることが認められた。安藤ら（2002）は、マルチによる積極的な地温確保は抽苔抑制に有効であり、生育促進の効果も認められると報告している。本実験においても緑マルチ-灌水区では、生育促進の効果が認められた。その一方で、マルチの効果により生育ステージ（齢）が進むことで、低温感応しやすい植物体の大きさになる可能性も考えられる。本実験では、マルチの抽苔抑制の効果を明らかにすることができなかったことから再度検討する必要がある。

以上の結果、トンネル内は3月上旬から土壌が乾燥し、トンネル被覆内の灌水により生育が良好になることが明らかとなった。また、緑マルチは生育促進の効果がある一方で、灌水の有無でその効果が異なることが明らかとなった。

第4項 第2節における総合考察

第5章の第2節では初夏どり栽培の前進化に向けた栽培条件の検討を行ったが、2006年次は12月から3月が寡日照、低温であったことにより生育が遅れ、生育ステージ（齢）が進まなかったために抽苔に至る個体が少なく、実験設定した栽培条件が抽苔に及ぼす影響について明らかにすることができなかった。一方で、抽苔による減収を考慮せずに、各栽培条件がネギの肥大および収量に及ぼす影響を判断できると考えられる。

(1) ‘羽緑一本太’ および ‘春扇’ の最適な栽植密度

第3章において、‘長悦’に比べ‘春扇’は肥大が優れ、‘羽緑一本太’は肥大が劣っていた。この‘羽緑一本太’と‘春扇’の肥大の相違は本章でも明確に認められ、根深ネギの品質向上と安定生産において株間の調節が必要であるという林・藤代(1989)の指摘と符号していた。栽植密度を変えた実験の結果、‘羽緑一本太’は植付けのポット間隔を広くすることで肥大を確保できると考えられる。本実験の結果から判断すると、中型トンネルおよび小型トンネルともに、‘春扇’では3粒または4粒のポット間隔10 cm（それぞれ栽植密度 $3000 \text{ 本} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $4000 \text{ 本} \cdot \text{a}^{-1}$ ）、‘羽緑一本太’では3粒のポット間隔10 cm（栽植密度 $3000 \text{ 本} \cdot \text{a}^{-1}$ ）が適していると推定される。

(2) セル成型育苗における播種日と移植日の関係

ネギは緑植物低温感応型の作物であり（八鍬，1980）、ある生育ステージ（齢）に達した株が低温および短日条件に遭遇することで花芽分化する（八鍬・興水，1969）。ネギは生育ステージ（齢）が進むほど花芽分化しやすくなること（山崎，2002）、地床育苗における苗は、葉鞘径が

5 mm から 8 mm の大きさで、ほぼ成熟相の個体に達しているために (池澤, 1999 ; 相楽, 1999), 播種時期が抽苔に及ぼす影響が大きいと認識されている。一方、近年のネギ栽培においては、ペーパーポット苗やセル成型苗など (川城, 1999 ; 土屋, 1999), 葉鞘径が 2 mm 程度の小苗を移植する技術が普及している。このため、成熟相に達するまでの移植後の活着および初期生育が抽苔発生に影響を及ぼすと考えられる。ネギにおけるセル成型育苗は機械移植を前提とした技術であり、根鉢が形成されていないと移植精度が低下するために、他の野菜に比べてネギでは育苗期間が長くなる傾向がある (白岩ら, 2006)。しかし、本実験からは、播種日より移植日の方が収量に及ぼす影響が大きく、播種日が早くても移植日が遅いと苗の老化により肥大が劣る傾向が認められた。このことから、成熟相に達するまでの生育は播種日に比べ移植日の方がより影響している可能性が示唆される。

(3) トンネル被覆内マルチおよび灌水の効果

安藤ら (2002) は、マルチによる積極的な地温確保は抽苔抑制に有効であり、生育促進の効果も認められると報告している。本実験においても緑マルチ-灌水区は、生育促進の効果が認められた。その一方で、灌水が収量に及ぼす影響が大きいことが示唆され、マルチの効果を最大限に引き出すためには、灌水が必要であると考えられる。

以上の結果、初夏どり栽培における肥大に及ぼす影響について幾つかの知見が得られた。しかし、トンネル被覆期間中に生育促進を図ると、成熟相に早く到達してしまい、結果として抽苔による減収を招きかねない。初夏どり栽培の前進化における最大の減収要因は抽苔発生であることから、抽苔発生する年次において再度検討する必要がある。また、中型トンネルは、小型トンネルに比べ保温性が高く、生育促進および脱春化の誘導に有効であると考えられる。しかし、鳥取県では生産者の高齢化が進んでおり、中型トンネルではトンネル被覆に労力がかかり、生産現場における普及は難しいと考えられることから、小型トンネルを用いた初夏どり栽培の前進化技術の確立が必要である。

表 5-2-1 栽植密度に関する実験区の概要

品 種 ^z	トンネルの型 ^y	栽植本数	
		播種粒数(穴当たり) ^x	ポット間隔 ^w
‘春 扇’	中型トンネル	2 粒	7.5cm
		3 粒	
‘羽緑一本太’	小型トンネル	4 粒	10cm

^z 品種は‘春扇’と‘羽緑一本太’の 2 水準

^y トンネルの型は中型トンネル(幅 160 cm)と小型トンネル(50 cm)の 2 水準

^x 播種粒数は、200 穴セルトレイに1穴当たり 2 粒, 3 粒および 4 粒の 3 水準

^w ポット間隔は 7.5cm と 10cm の 2 水準

表 5-2-2 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型、播種粒数および植付けポット間隔がトンネル被覆期間中の生育に及ぼす影響 (2006)

トンネルの型	実験区	品種				'春 扇'				'羽緑一本太'			
		ポット間隔	播種粒数	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	新鮮重 (g)	草丈 (cm)	葉鞘長 (cm)	葉鞘径 (mm)	新鮮重 (g)		
中型トンネル	7.5 cm	2 粒	75.3 ab ^y	21.9 abc	16.1 ab	91.4 a	70.2 b	19.8 b	13.8 a	71.1 ab			
			76.9 ab	21.9 abc	14.8 def	73.4 cd	73.8 a	21.7 a	13.2 ab	66.4 b			
			77.4 a	21.6 abc	13.2 g	55.4 g	73.0 ab	21.3 a	12.6 bc	49.2 cd			
			73.8 b	21.8 abc	16.8 a	90.0 a	70.4 b	19.9 b	13.9 a	76.3 a			
10 cm	3 粒	76.0 ab	21.5 abc	16.0 bc	78.8 bcd	71.1 ab	20.6 ab	13.4 ab	63.9 b				
		77.1 ab	21.6 abc	15.0 cde	64.1 e	71.4 ab	21.0 ab	12.6 bc	52.9 cd				
		76.2 ab	22.5 a	15.4 bcd	79.2 bc	70.7 ab	20.9 ab	13.1 ab	66.3 b				
		74.0 b	21.6 abc	13.8 fg	70.5 de	73.5 ab	20.9 ab	11.8 c	52.1 cd				
10cm	4 粒	77.6 a	22.3 ab	13.5 g	58.8 fg	73.7 ab	21.7 a	11.7 c	45.6 d				
		69.5 c	21.1 b	15.8 b	85.8 ab	71.3 ab	20.6 ab	13.5 ab	68.0 b				
		68.7 c	20.9 c	14.3 e	64.4 ef	73.2 ab	21.6 a	13.3 a	63.6 b				
		75.6 ab	21.3 abc	13.8 fg	62.4 efg	73.0 ab	21.5 a	12.0 c	54.9 c				
分散分析 ^z			**	NS	**	**	NS	**	**				
	A:トンネルの型		**	**	NS	NS	NS	*	**				
	B:ポット間隔		**	**	NS	NS	*	**	**				
	C:播種粒数		**	**	**	*	NS	NS	NS				
	A × B		**	*	NS	NS	NS	NS	NS				
	A × C		*	NS	*	NS	NS	NS	NS				
	B × C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				
	A × B × C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				

^z 各品種における三元配置の分散分析により, *は 5%水準, **は 1%水準, NSは有意差がないことを表す

^y 同一列の異なるアルファベットは, 多重比較法 (Tukey 法) により 5%水準で有意差があることを表す

表 5-2-3 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型、播種粒数および植付けポット間隔が収量に及ぼす影響 (2006)

トンネルの型	ポット間隔	品 種				‘春 扇’				‘羽緑…本太’			
		実 験 区	播種粒数	収穫本数 (本・a ⁻¹)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)	収穫本数 (本・a ⁻¹)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)		
中型トンネル	7.5 cm	2 粒	2666.7 d ^γ	578.5 bc	216.9 a	2.4 a	2666.7 d	462.4 def	173.5 bc	0 a			
		3 粒	3966.7 b	677.8 a	170.7 de	0 a	4033.3 b	592.5 a	146.9 de	0 a			
		4 粒	5266.7 a	689.3 a	130.9 f	1.2 a	5066.7 a	574.8 a	113.4 g	0 a			
		2 粒	2033.3 e	440.3 de	216.3 a	3.2 a	2066.7 e	405.9 f	196.3 a	0 a			
10 cm	3 粒	3000.0 c	553.2 bc	184.4 cd	1.1 a	3033.3 c	490.8 bcde	161.8 cd	0 a				
	4 粒	3933.3 b	615.0 abc	156.3 e	1.7 a	4000.0 b	533.5 abc	133.3 ef	0 a				
小型トンネル	7.5 cm	2 粒	2633.3 d	523.9 cd	198.9 bc	1.2 a	2700.0 d	425.9 ef	157.6 cd	0 a			
		3 粒	4000.0 b	631.1 ab	157.7 e	0 a	4033.3 b	482.0 cde	119.5 fg	0 a			
		4 粒	5300.0 a	637.9 ab	120.4 f	0.6 a	5233.3 a	556.8 ab	106.4 g	0 a			
		2 粒	1966.7 e	422.4 e	214.5 ab	3.3 a	2033.3 e	380.5 f	187.2 ab	0 a			
10 cm	3 粒	2966.7 c	555.3 bc	187.1 c	2.2 a	3033.3 c	485.6 bcde	160.1 cd	0 a				
	4 粒	4033.3 b	636.5 ab	157.9 e	0 a	4066.7 b	543.9 abc	133.8 ef	0 a				
分散分析 ^z	A:トンネルの型	NS	*	**	NS	**	**	**	NS				
	B:ポット間隔	**	**	**	NS	**	**	**	NS				
	C:播種粒数	**	**	**	NS	**	**	**	NS				
	A × B	NS	*	**	NS	**	**	**	NS				
	A × C	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS				
	B × C	**	*	**	NS	**	NS	NS	NS				
	A × B × C	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS				

^z各品種における三元配置の分散分析により、*は5%水準、**は1%水準、NSは有意差がないことを表す

^γ同一列の異なるアルファベットは、多重比較法(Tukey法)により5%水準で有意差があることを表す

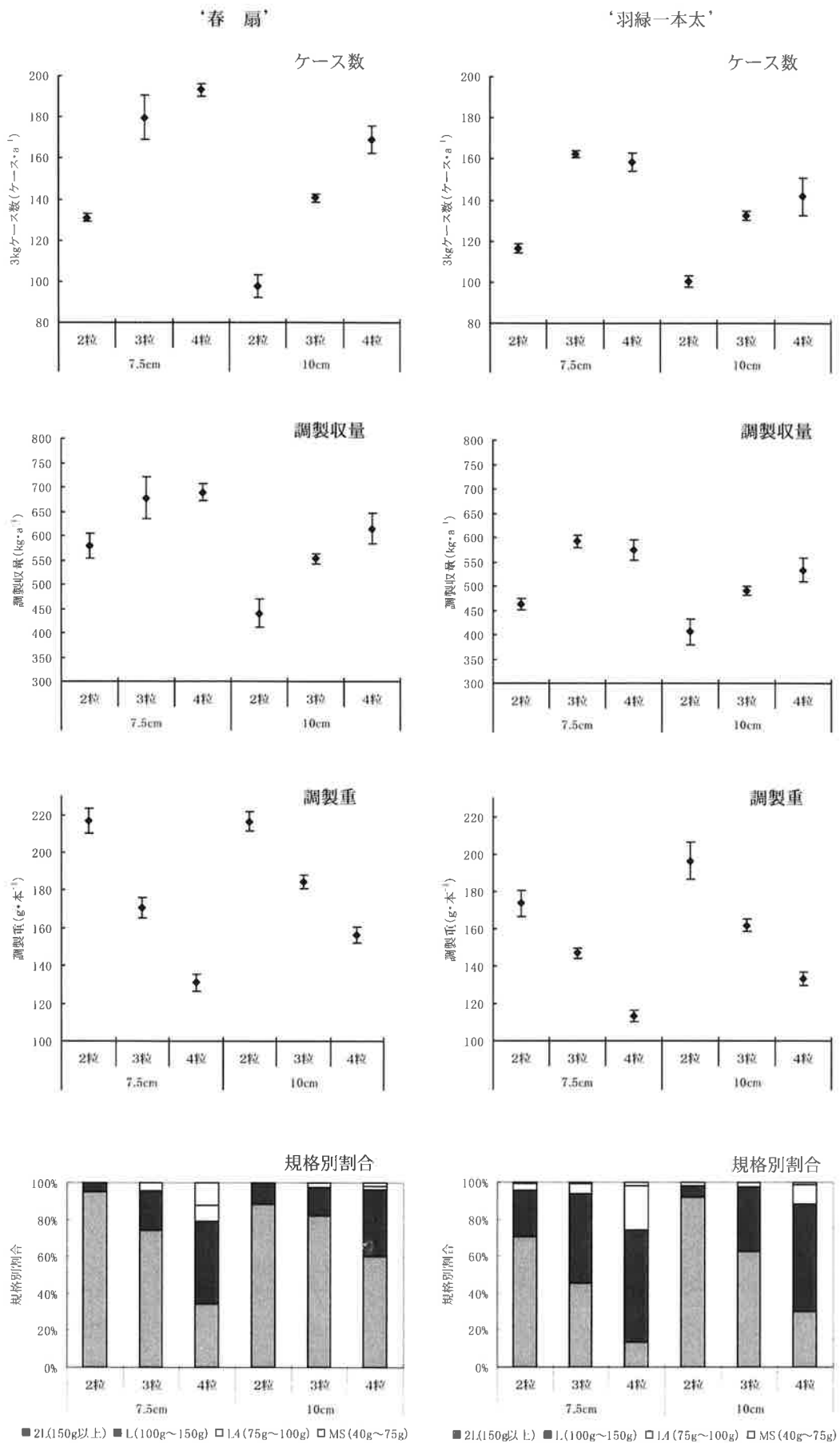


図 5-2-1 栽植密度における中型トンネル区の収量解析

左: '春扇', 右: '羽緑一本太'

上段から a 換算出荷ケース数(3kg 箱), a 換算収量, 一本当たり調整重, 規格別割合
 図中のバーは標準偏差(n=3)を表す

‘春扇’

‘羽緑一本太’

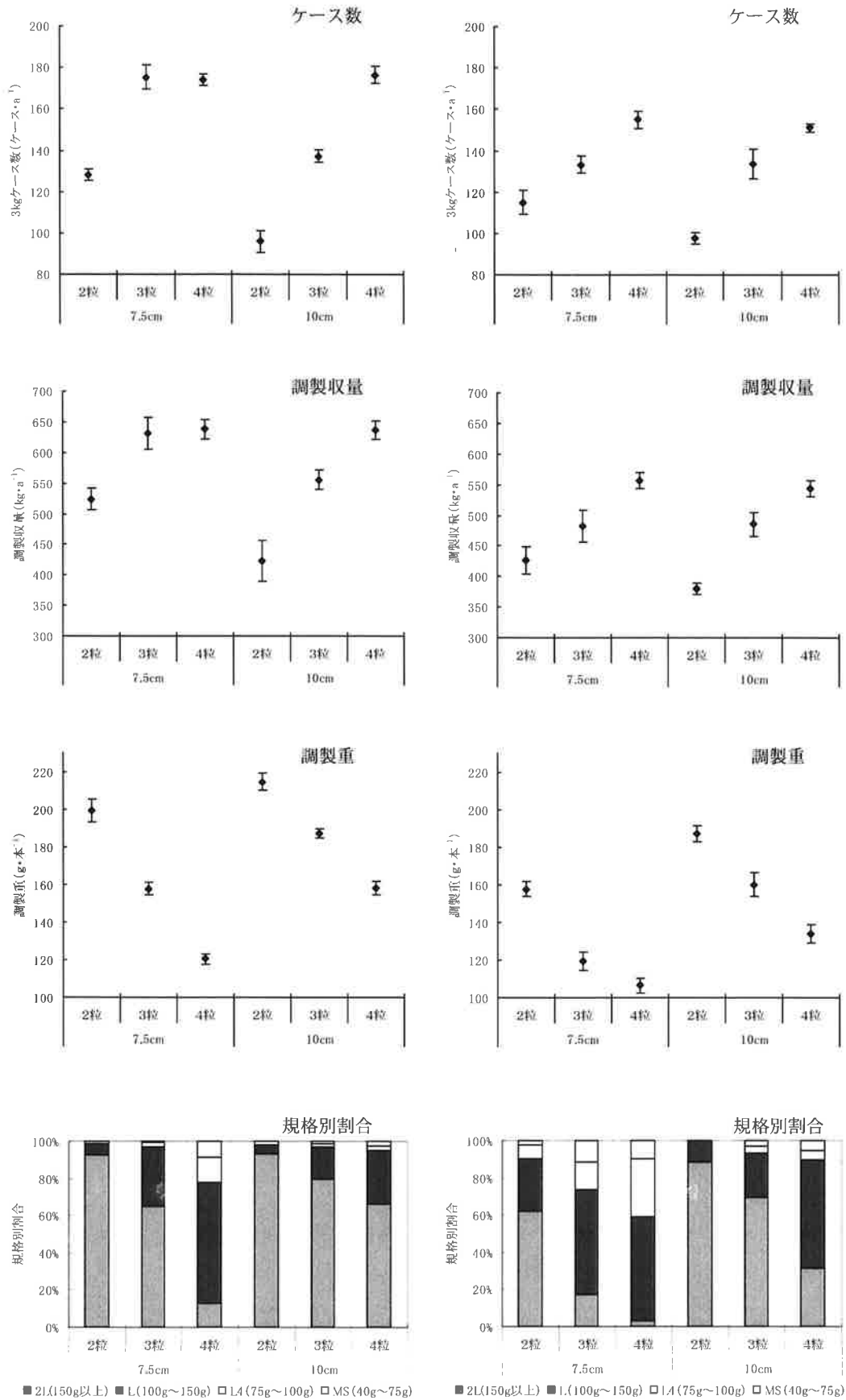


図 5-2-2 栽植密度における小型トンネル区の収量解析

左: ‘春扇’, 右: ‘羽緑一本太’

上段から a 換算出荷ケース数 (3kg 箱), a 換算収量, 一本当たり調製重, 規格別割合
 図中のバーは標準偏差 (n=3) を表す

表 5-2-4 播種日および移植日に関する実験区の概要

品 種 ^z	トンネルの型 ^y	播種日 ^x	移植日 ^w
春 扇	中型トンネル	9 月 10 日	11 月 14 日
		9 月 20 日	11 月 24 日
羽緑一本太	小型トンネル	9 月 30 日	12 月 4 日

^z 品種は‘春扇’と‘羽緑一本太’の 2 水準

^y トンネルの型は中型トンネル(幅 160 cm)と小型トンネル(幅 50 cm)の 2 水準

^x 播種日は 9 月 10 日, 20 日および 30 日の 3 水準

^w 移植日は 11 月 14 日, 24 日および 12 月 4 日の 3 水準

表 5-2-5 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型、播種日および移植日が‘春扇’の収量に及ぼす影響 (2006)

実験区		トンネルの型	播種日	移植日	収穫本数 (本・a ⁻¹)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)	葉鞘内部の花茎株率 (%)
実	験								
中型トンネル	9月10日	11月14日	11月14日	2966.7	625.0	210.7	2.2	0	
				2933.3	501.7	171.0	2.2	0	
				2966.7	459.9	155.1	0	0	
	9月20日	11月14日	11月14日	3066.7	635.5	207.2	2.1	0	
				3000.0	553.0	184.3	1.1	0	
				3066.7	464.9	151.8	0	0	
	9月30日	11月14日	11月14日	3033.3	569.6	187.9	0	0	
				2933.3	526.4	179.5	0	0	
				3000.0	522.3	174.1	0	0	
	小型トンネル	9月10日	11月14日	11月14日	2966.7	597.3	201.3	1.1	0
					2966.7	495.8	167.2	2.2	0
					3033.3	437.1	144.1	0	0
9月20日		11月14日	11月14日	3000.0	589.0	196.4	0	0	
				2966.7	511.9	172.5	1.1	0	
				2966.7	483.8	163.2	0	0	
9月30日		11月14日	11月14日	3000.0	578.7	192.9	0	0	
				3000.0	523.7	174.6	1.1	0	
				3066.7	543.2	177.1	0	0	
分散分析 [*]		A:トンネルの型		NS	*	*	NS	NS	
		B:播種日		NS	**	*	*	NS	
		C:移植日		NS	**	**	*	NS	
		A × B		NS	*	NS	NS	NS	
		A × C		NS	NS	NS	NS	NS	
		B × C		NS	**	**	NS	NS	
		A × B × C		NS	NS	*	NS	NS	

^{*} 三元配置の分散分析により, *は 5%レベル, **は 1%レベルで有意差あり, NSは有意差がないことを表す

表 5-2-6 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型、播種日および移植日が‘羽緑一本太’の収量に及ぼす影響 (2006)

トンネルの型	実験区		收穫本数 (本・a ⁻¹)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)	葉鞘内部の花茎株率 (%)	
	播種日	移植日						
中型トンネル	9月10日	11月14日	3066.7	586.4	191.2	0	0	
		11月24日	3066.7	458.0	149.4	0	0	
		12月4日	3066.7	440.5	143.7	0	0	
	9月20日	11月14日	3066.7	601.0	196.1	1.1	0	
		11月24日	3033.3	490.8	161.8	0	0	
		12月4日	3033.3	456.6	150.5	0	0	
	9月30日	11月14日	2966.7	524.6	177.0	0	0	
		11月24日	3000.0	464.6	154.9	0	0	
		12月4日	2933.3	474.9	161.9	0	0	
	小型トンネル	9月10日	11月14日	3066.7	571.0	186.3	0	0
			11月24日	3000.0	472.7	157.5	0	0
			12月4日	3066.7	400.1	130.3	0	0
9月20日		11月14日	3033.3	552.5	182.2	1.1	0	
		11月24日	3033.3	472.7	156.3	0	0	
		12月4日	2966.7	424.7	143.3	0	0	
9月30日		11月14日	3033.3	513.5	169.3	1.0	0	
		11月24日	3033.3	472.7	155.8	0	0	
		12月4日	3033.3	443.0	146.1	0	0	
分散分析 ²⁾		A:トンネルの型		NS	**	**	NS	NS
		B:播種日		NS	*	*	NS	NS
		C:移植日		NS	**	**	NS	NS
	A × B		NS	NS	NS	NS	NS	
	A × C		NS	*	**	NS	NS	
	B × C		NS	**	**	NS	NS	
	A × B × C		NS	NS	NS	NS	NS	
			NS	NS	NS	NS	NS	
			NS	NS	NS	NS	NS	
			NS	NS	NS	NS	NS	

²⁾ 三元配置の分散分析により, *は5%レベル, **は1%レベルで有意差あり, NSは有意差がないことを表す

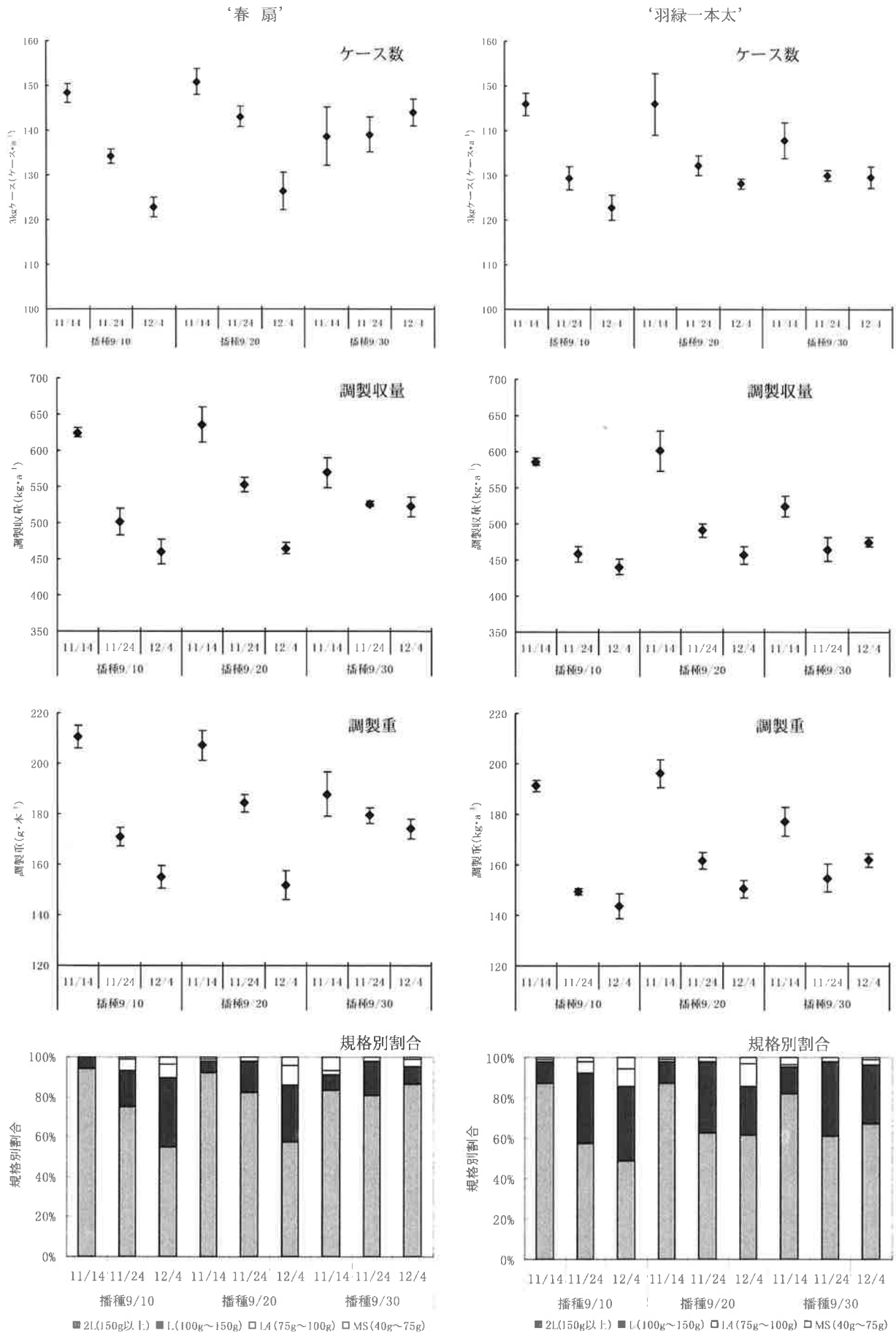


図 5-2-3 播種日および移植日における中型トンネル区の収量解析

左: '春扇', 右: '羽緑一本太'

上段から a 換算出荷ケース数(3kg箱), a 換算収量, 一本当たり調整重, 規格別割合
 図中のバーは標準偏差(n=3)を表す

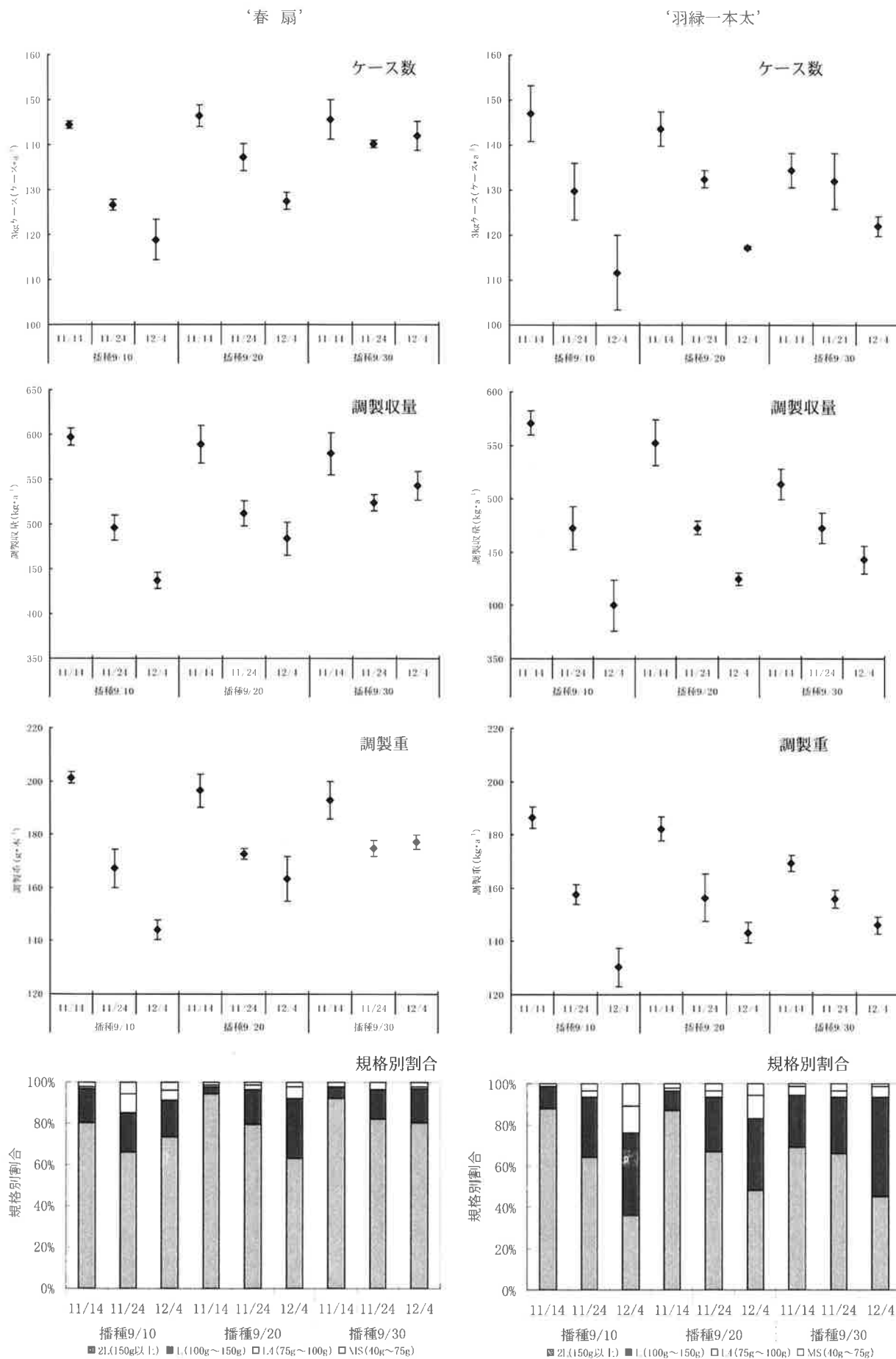


図 5-2-4 播種日および移植日における小型トンネル区の収量解析

左: '春扇', 右: '羽緑一本太'

上段から a 換算出荷ケース数(3kg 箱), a 換算収量, 一本当たり調製重, 規格別割合

図中のバーは標準偏差(n=3)を表す

表 5-2-7 トンネル被覆内のマルチおよび灌水の効果についての検討における実験区

品 種 ^z	トンネルの型 ^y	マルチの有無 ^x	灌水の有無 ^w
‘春 扇’	中型トンネル	緑マルチ	灌 水
‘羽緑一本太’	小型トンネル	無マルチ	無灌水

^z 品種は‘春扇’と‘羽緑一本太’の 2 水準

^y トンネルの型は中型トンネル(幅 160 cm)と小型トンネル(幅 50 cm)の 2 水準

^x マルチの有無は緑マルチと無マルチの 2 水準

^w 灌水の有無は灌水と無灌水の 2 水準

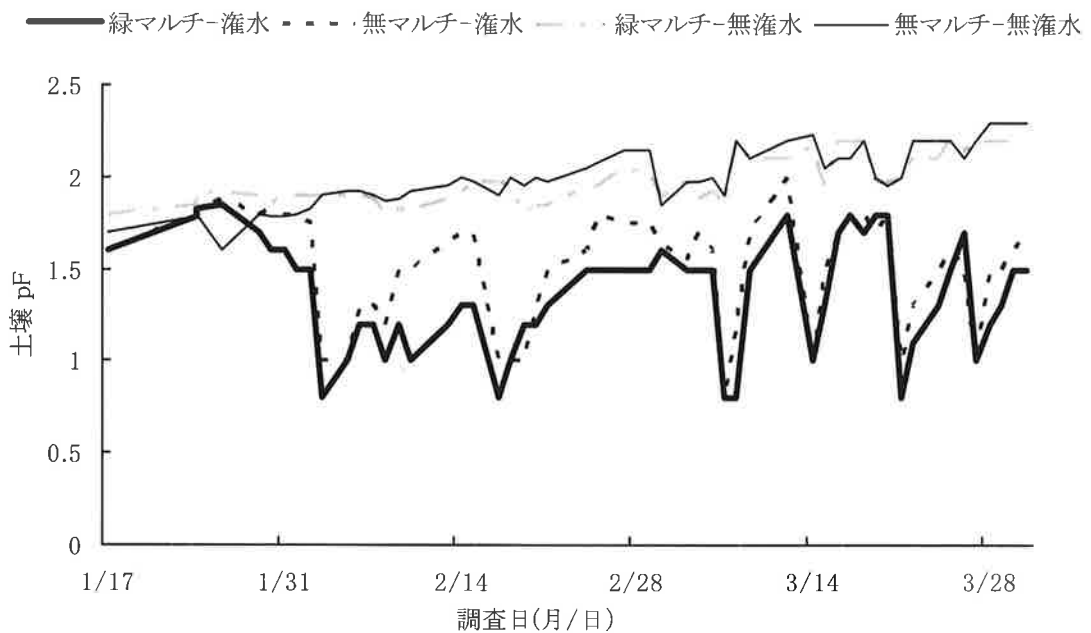


図 5-2-5 中型トンネル区における土壌 pH の推移 (2006)

表 5-2-8 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型、マルチ、灌水が
 ‘春扇’および‘羽緑一本太’のトンネル被覆期間中の生育に及ぼす影響 (2006)

トンネルの型	品 種			‘春 扇’			‘羽緑一本太’		
	実 験 区	草丈 (cm)	葉鞘径 (mm)	新鮮重 (g)	草丈 (cm)	葉鞘径 (mm)	新鮮重 (g)	草丈 (cm)	葉鞘径 (mm)
中型トンネル	マルチ	灌水	78.6	17.1	112.1	77.4	15.3	91.5	
	緑マルチ	灌水	74.7	14.9	79.5	69.8	13.4	82.7	
	無マルチ	無灌水	79.6	16.7	111.5	75.0	14.6	86.9	
小型トンネル	マルチ	灌水	78.9	15.0	81.0	71.8	13.4	64.9	
	緑マルチ	灌水	79.8	16.4	104.7	73.2	14.0	88.9	
	無マルチ	無灌水	77.3	15.5	88.5	66.9	12.4	59.0	
分散分析 ²⁾	マルチ	灌水	79.1	15.8	91.2	74.6	14.0	77.5	
	緑マルチ	灌水	75.0	14.9	80.8	72.4	13.6	67.2	
	無マルチ	無灌水	NS	NS	NS	NS	**	**	
A:トンネルの型			NS	NS	NS	NS	NS	*	
B:マルチの有無			NS	NS	NS	NS	NS	*	
C:灌水の有無			**	**	**	**	**	**	
A × B			**	NS	NS	*	NS	NS	
A × C			NS	NS	**	NS	NS	NS	
B × C			NS	NS	NS	*	NS	NS	
A × B × C			NS	NS	NS	NS	NS	*	

²⁾ 各品種における三元配置の分散分析により、*は5%水準、**は1%水準、NSは有意差がないことを表す

表 5-2-9 初夏どり栽培の前進化におけるトンネルの型, マルチ, 灌水が '春扇' および '羽緑一本太' の収量に及ぼす影響 (2006)

トンネルの型	実験区		品 種				'羽緑一本太'			
	マルチ	灌水	収穫本数 (本・a ⁻¹)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)	収穫本数 (本・a ⁻¹)	調製収量 (kg・a ⁻¹)	調製重 (g・本 ⁻¹)	抽苔率 (%)
中型トンネル	緑マルチ	灌水	2983.3	626.8	210.1	1.1	3000.0	608.7	202.9	0
		無灌水	2966.7	526.6	177.5	1.1	2966.7	481.6	162.3	0
	無マルチ	灌水	2983.3	613.8	205.7	0.6	3016.7	583.5	193.4	0
		無灌水	2933.3	554.7	189.2	0.6	2983.3	513.1	172.0	0
小型トンネル	緑マルチ	灌水	3000.0	582.5	194.2	0.6	2983.3	549.5	184.2	0
		無灌水	2916.7	525.6	180.2	0.5	2966.7	489.8	165.1	0
	無マルチ	灌水	2950.0	560.6	190.0	1.1	2983.3	519.6	174.2	0
		無灌水	2966.7	517.6	174.5	1.1	2933.3	464.2	158.3	0.9
分散分析 [*]	A:トンネルの型		NS	**	**	NS	NS	**	**	NS
	B:マルチの有無		NS	NS	NS	NS	NS	**	**	NS
	C:灌水の有無		NS	**	**	NS	NS	**	**	NS
	A × B		NS	NS	NS	NS	NS	**	**	NS
	A × C		NS	NS	*	NS	NS	**	**	NS
	B × C		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A × B × C			NS	NS	NS	NS	**	**	NS	

^{*} 各品種における三元配置の分散分析により, *は 5%水準, **は 1%水準, NS は有意差がないことを表す

第6章 ネギの生育・花成におけるジベレリンの機能解明

ジベレリンは植物ホルモンの一つであり、高等植物の生活環を通して、茎部の伸長、種子発芽の誘導、花芽形成など重要な生理現象を制御している(神谷, 1994; 豊増, 2004)。ジベレリンは、イネ馬鹿苗病の病原菌(*Gibberella fujikuroi*)が生産する毒素として単離、構造決定された物質であり、現在、136種の同族体が天然型ジベレリンとして登録されている(Plant-hormones, 2007)。高等植物におけるジベレリン生合成経路には、ジベレリン骨格に水酸基が導入される時期の違う2つの主要な経路、早期13位水酸化経路と早期非水酸化経路が存在する(神谷, 1994; 豊増, 2004)。前者では、 GA_{12} の13位に水酸基が導入されて GA_{53} となり、20位、3位が順次酸化されて活性型ジベレリン GA_1 となる。後者では、 GA_{12} の13位に水酸基が導入されない以外は早期13位水酸化経路と同様に生合成が進行し、活性型ジベレリン GA_1 が生成する。また、 GA_1 と同程度の生物活性を示す GA_3 は、高等植物での検出例は少ないが、トウモロコシにおいて GA_{20} から GA_3 を経て生合成されることが報告されている(Fujiokaら, 1990)。

栄養成長から生殖成長への移行は、植物の発育における重要な段階である。一般に、花成に伴う茎伸長には、ジベレリンが関与することが定説となっている(Chouard, 1960; Pharis・King, 1985)。また、モデル植物のシロイヌナズナをはじめとする幾つかの低温要求性の植物では、低温による花成誘起がジベレリンによって代替できることが報告されている(Mouradovら, 2002; Pharis・King, 1985; Wittwer・Bukovac, 1957)。その一方で、ジベレリンを投与しても花成の誘導ができない事例、ジベレリン生合成阻害剤によって抽苔が抑制されても花成が抑制されない事例もある(Zeevaart, 1983)。このように、ジベレリンの花成誘起への関与は、植物種によって異なるものと推察される。

ネギにおいては、分けつ発生にジベレリン投与が及ぼす影響を調査した事例(村井ら, 1981; 山崎ら, 2006, 2007)があるものの、花成および抽苔についての報告はない。また、*Allium*属における内生ジベレリンは、タマネギ(Nojiriら, 1993)、ワケギ(Yamazakiら, 2002)において報告されているが、ネギにおいては未調査である。

本章では、ネギの生育、花成におけるジベレリンの機能解明の第一歩として、ネギの内生ジベレリンの同定および定量、ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングおよび発現解析を行った。

第1節 初夏どり栽培におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が

抽苔に及ぼす影響

ネギの生育、花成におけるジベレリンの役割を明らかにするために、初夏どり栽培におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤の処理が生育、抽苔率、抽苔発生の時期に及ぼす影響について検討を行った。

材料および方法

実験は鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場（鳥取県境港市中海干拓地）の砂畑圃場（砂丘未熟土）において行った。2001年10月10日に‘長悦’を264穴チェーンポットに1穴当たり2粒と3粒を交互に播種、11月28日に条間1mで深さ15cmの植え溝を切り、簡易移植機「ひっぱりくん」（日本甜菜製糖）で移植した後、12月18日から翌年3月28日まで有滴ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm、積水化学）でトンネル被覆（トンネル幅50cm、地面から25cmの高さに2m間隔で両サイドに直径8cmの換気穴をあけた）した。総施肥量はN:P₂O₅:K₂O=20.5:28.5:20.3 kg・10a⁻¹とした。処理は、ジベレリン（協和発酵、商品名：ジベレリン液剤）5ppmおよび25ppm、ウニコナゾールP（アグロス、商品名：スミセブンP）0.5ppmおよび1ppmを2月18日および27日の計2回、1m²当たり1L灌注処理した。無処理区は同量の水のみとした。実験規模は各区4m²、反復なしとした。3月28日に各区10株について、草丈、葉身長、葉鞘長、葉鞘径、葉数および地上部の新鮮重を測定した。4月17日から6月6日まで1週間おきに、各区3m²について葉鞘から花茎が15cm以上伸長した個体を抽苔株として計数した。

結果および考察

ジベレリン (GA 区) およびウニコナゾール P (UZP 区) がネギの生育に及ぼす影響を表 6-1-1 に示した。草丈は、無処理区に対して GA 区および UZP 区で短かった。葉鞘長は、無処理区の 17.5 cm に対して、UZP 区で約 12 cm とかなり短く、GA 区で約 16 cm とやや短くなった。地上部の新鮮重は、無処理区の 41.3 g に対して、GA 区および UZP 区ともに約 30 g と生育が抑制された。処理が抽苔率に及ぼす影響を表 6-1-2 に示した。抽苔率は、無処理区の 5% に対して、GA 区で 30% 以上、UZP 区で 60% 以上であった。抽苔発生を 1 週間おきに調査した結果、抽苔発生は GA 区で早くなり、UZP 区で遅くなる傾向が認められた (図 6-1-1)。

前述したように、花芽誘起、その後の花芽発達および花茎伸長 (抽苔) におけるジベレリンの役割は、植物の種類によって異なる (Evans, 1971; Pharis・King, 1985)。本実験の抽苔率が無処理区に対して、GA 区と UZP 区の両方で高まったことは、これまでの知見では説明が難しい実験結果であるが、花芽誘起に対するジベレリンの関与の可能性を示唆する結果であると考えられる。一方、抽苔 (花茎伸長) に関して、GA 区で発生が早まったのに対し、UZP 区では発生が遅くなった。この結果から、ネギにおける花茎伸長にはジベレリンが機能していると推察される。

本実験では、ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤の処理によってネギの形態への影響も認められた。一般に、植物にジベレリンを処理すると、茎葉の伸長が認められる (神谷, 1994) が、本実験の GA 区では草丈がやや短くなる傾向が認められた。その様子は、葉身が細くなり、全体的に生育が抑制された状態であり、UZP 区とは明らかに異なる形態であった (図 6-5-3 参照)。

以上のように、ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤は、ネギの抽苔率、抽苔発生の時期、草姿に影響を及ぼした。この結果、ネギの生育、花成にジベレリンが何らかの重要な役割を果たしていると考えられることから、以降の実験においてネギのジベレリンの同定、ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングを行った。

表 6-1-1 初夏どり栽培におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が
生育に及ぼす影響² (2002)

実験区		草丈	葉身長	葉鞘長	葉鞘径	葉数	新鮮重
処理剤	濃度	(cm)	(cm)	(cm)	(mm)	(枚)	(g)
無処理	—	64.7 a ^y	47.2 a	17.5 a	13.9 ab	3.7 b	41.3 a
GA ₃	5 ppm	54.6 b	39.0 b	16.0 b	13.5 b	4.1 a	33.9 b
	25 ppm	51.5 b	36.5 b	16.1 b	14.9 a	4.1 a	30.2 b
UZP	0.5 ppm	53.4 b	41.2 b	12.2 c	13.4 b	2.5 c	29.4 b
	1.0 ppm	53.7 b	41.9 b	11.9 c	14.8 a	2.7 c	28.4 b

² 処理は、2月18日、27日に行い、3月28日に調査した

^y 同一列内の異なるアルファベットは、多重比較法 (Tukey 法) において 5%水準で有意差があることを表す

表 6-1-2 初夏どり栽培におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が
抽苔率に及ぼす影響 (2002)

実験区		調査株数	抽苔株数	抽苔率 (%)
処理剤	濃度			
無処理	—	139	7	5.0
GA ₃	5 ppm	142	43	30.3 ** ^z
	25 ppm	165	59	35.8 **
UZP	0.5 ppm	140	97	69.3 **
	1.0 ppm	118	72	61.0 **

^z **は無処理区に対して 1%レベルで有意差があることを表す

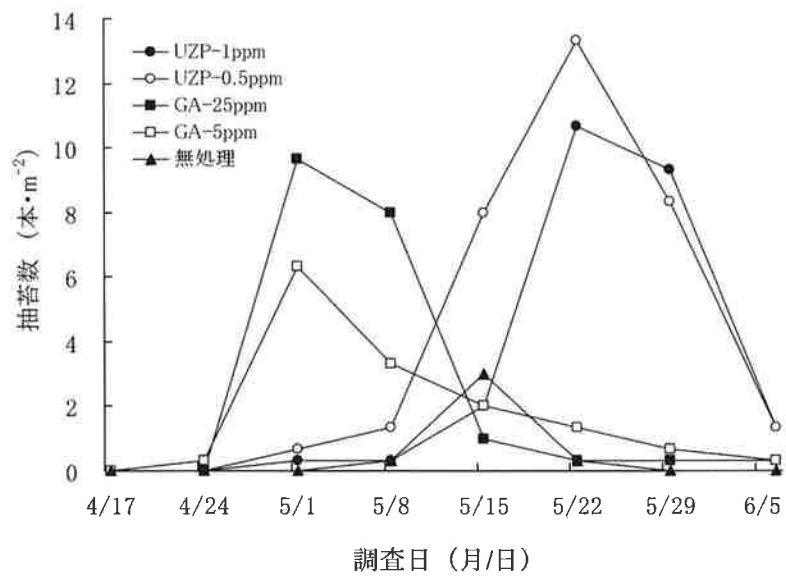


図 6-1-1 初夏どり栽培におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が抽苔発生の推移に及ぼす影響 (2002)

第2節 ネギの内生ジベレリン

前節においてネギの花芽分化、花茎伸長（抽苔）にジベレリンが何らかの関与をしている可能性が示唆された。また、村井ら（1981）、山崎ら（2006、2007）は、ネギにおいて、外生ジベレリンによって分げつ数が増加し、ジベレリン生合成阻害剤によって分げつ数が減少することを報告している。これらのことから、ネギの花成、分げつにはジベレリンが重要な役割を果たしていると考えられるが、これまでにネギの内生ジベレリンについての報告はない。

本節では、ネギの内生ジベレリンについて、第1項で内生ジベレリンの検索・同定、第2項で内生ジベレリン含量の品種間差、第3項で葉鞘・葉身の伸長を制御する活性型ジベレリンについて検討を行った。

第1項 内生ジベレリンの検索・同定

本項では、抽苔および分げつの特性が異なる‘長悦’および‘晩中太’（‘坊主不知’）を供試し（表 6-2-1）、両品種の地上部（葉鞘・葉身）における内生ジベレリンの検索・同定を行った。

材料および方法

(1) 植物材料

‘長悦’および‘晩中太’（鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場維持系統）を供試し、鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場の砂畑圃場で栽培した。‘長悦’は2002年10月3日に264穴チェーンポットに1穴当たり2粒と3粒を交互に播種、11月28日に条間1mで深さ15cmの植え溝を切り、簡易移植機「ひっぱりくん」（日本甜菜製糖）で移植した後、12月18日から翌年3月28日までポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm、積水化学）でトンネル被覆（トンネル幅50cm、地面から25cmの高さに2m間隔で両サイドに直径8cmの換気穴をあけた）した。‘晩中太’は、2002年9月19日に移植した。肥培管理等は現地慣行とした。両品種とも2003年3月28日にサンプル

リングし、 -20°C で凍結保存した。

(2) ジベレリンの抽出および精製

地上部(凍結試料 200g)を約 5 倍量の 80%メタノールを加え破碎し、室温で 30 分静置した後、減圧濾過し、濾液を減圧濃縮した。濃縮液をヘキサンと分配し、水層を回収した。溶媒分配による精製操作は繰り返し 3 回とした。水層の pH 3 以下にした後、酢酸エチルと分配し、酢酸エチル層を回収した。酢酸エチル層をリン酸緩衝液 ($0.5\text{M K}_2\text{HPO}_4:0.25\text{M KH}_2\text{PO}_3=100:3$) と分配し、水層を回収した。これに PVPP (Polyvinylpolypyrrolidone) 10g を混和し、減圧濾過した。濾液を pH 3 以下に調整した後、酢酸エチルと分配し、酢酸エチル層を回収した。これに無水硫酸ナトリウムを加え脱水した後、減圧乾固した。試料を 80%メタノールで溶解して C18 カラム (VARIAN) に通し、80%メタノールでジベレリンを溶出し減圧乾固した。試料をメタノールで溶解して DEA カラム (VARIAN) で粗精製した。

(3) ODS-HPLC

粗精製した試料をさらに HPLC によって精製した。カラムは ODS-4253-D (内径 15mm, 長さ 250 mm, センシュー科学), カラム温度は 40°C とした。移動相は 1%酢酸を含む 30%メタノール溶液, 流速は $2\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ とし, 溶出プログラムは, 当初 2 分間を 1%酢酸含有の 30%メタノール, その後 28 分を 1%酢酸含有の 30%メタノールから 100%メタノールとの直線勾配, その後, 20 分を 100%メタノールとした。注入の 4 分後から 1 分毎に 32 画分を得た。

(4) イネ生物検定

矮性イネ‘短銀坊主’を用いた改良点滴法 (Nishijima・Katsura, 1989) による生物検定を行った。種粉を 1%次亜塩素酸ナトリウムで 30°C , 1 時間殺菌後, ウニコナゾール P (アグロス, 商品名: スミセブン P 液剤,) の 20ppm 水溶液に浸し, 30°C ・暗黒条件下に 1 日静置した。ウニコナゾール P 水溶液から取り出してよく洗浄した後, 蒸留水に浸漬し 30°C ・暗黒条件下に 2 日間置き催芽させた。0.8%寒天を入れた管瓶 (内径 28mm×深さ 58mm) に 6 個体を植え付けた後, 30°C ・連続照明下で 2 日間生育させた。HPLC で得られた各画分を $200\mu\text{l}$ の 50%アセトンに溶解し, $1\mu\text{l}$ ずつ葉鞘と第 1 葉の間に点滴した。 30°C ・連続照明下で 3 日間生育させた後, 第 2 葉鞘長を

測定した。

(5) 試料の誘導体化

ジベレリン様活性が認められた画分を少量のアセトンで溶解し、ジアゾメタンエーテル溶液を加えメチルエステル誘導体に変換した。メチル化した試料を減圧乾固し、MSTFA (*N*-Methyl-*N*-TMS-trifluoroacetamide) を 20 μ l 加え、80°C で 30 分間トリメチルシリル化 (TMS 化) を行った。

(6) ガスクロマトグラフィー／質量分析 (GC/MS)

誘導体化した試料を GC/MS (GC : 6890N, Agilent Technology, MS : JMS-700, JEOL) にて分析した。カラムは DB-1 キャピラリーカラム (内径 0.25 mm, 長さ 15 m, 膜厚 0.25 μ m, Agilent Technology), キャリアガスには高純度ヘリウムガスを流速 1ml \cdot min⁻¹ で用いた。カラムの温度制御は、以下の昇温プログラムとした。注入後の 2 分間は 130°C で保ち、その後、32°C \cdot min⁻¹ で 220°C まで、続いて 8°C \cdot min⁻¹ で 270°C まで昇温させた。標品ジベレリンの保持時間およびマススペクトルとの比較により内生ジベレリンを同定した (Gaskin and MacMillan, 1991)。また、試料と同時に微量の直鎖炭化水素を注入し、Kovat の保持時間指数 (KRI) を求めた (Kovat, 1958)。

結 果

矮性イネ ‘短銀坊主’ を用いた生物検定の結果 (図 6-2-1), ネギの地上部 (葉鞘・葉身) にはジベレリン様活性を示す複数の成分が含まれており, ‘長悦’ と ‘晩中太’ では, 第 2 葉鞘の伸長に若干の差は認められたが, ジベレリン様活性の認められる画分はよく一致していた。標品ジベレリンのマススペクトルおよび KRI との比較によって, ‘長悦’ および ‘晩中太’ とともに 6 種類のジベレリン, GA₁, GA₃, GA₄, GA₉, GA₂₀, GA₃₄ が同定された (表 6-2-2)。一方, 28 および 29 画分にもジベレリン様活性が認められたが, この画分からジベレリンを同定することはできなかった。

以上の結果, ネギの地上部では, 活性型ジベレリンとして 13 位が水酸化された GA₁ および GA₃, 13 位が水酸化されていない GA₄ が同定された。

第2項 抽苔および分けつ特性の異なる品種における内生ジベレリン含量

抽苔および分けつ特性の異なる3品種を用い(表6-2-1),前項において同定されたジベレリン含量を調査した。

材料および方法

(1) 植物材料

‘長悦’, ‘晩中太’ および ‘吉晴’ (晩ネギ, 武蔵野種苗) を供試した。材料は, 何れもプランター (10L) に ‘長悦’ は 2003 年 4 月 3 日 (24 株/プランター), ‘晩中太’ は 8 月 11 日 (4 株/プランター), ‘吉晴’ は 9 月 11 日 (5 株/プランター) に移植し, 10 月上旬まで雨よけハウス内で栽培した (鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場)。施肥は, それぞれの移植時期にあわせ行い, 共通として 9 月 15 日および 10 月 3 日に各プランターに化成肥料 20g (12-12-12) を施用した。その後, 10 月 1 日に野菜・茶業研究所 (三重県津市) のガラス室に移動し, 10 月 15 日に人工気象室に搬入した。人工気象室の設定は 12 時間日長 (PPFD=158.0±13.4 μmol・m⁻²・s⁻¹), 昼 25℃/夜 15℃条件とし, 30 日後に地上部を葉鞘と葉身に分けつサンプリングし, -20℃で凍結保存した。なお, ‘晩中太’ および ‘吉晴’ は, 10 月 3 日時点で 1 株当たり 3 本から 5 本に分けつしていた。

(2) ジベレリンの抽出, 精製および定量

ジベレリンの抽出は第1項に示した方法に従い行った。約 100g の凍結試料からメタノール抽出後, 内部標準として, 各 50ng の [17, 17-²H₂] GA₁, [17, 17-²H₂] GA₃, [17, 17-²H₂] GA₄, [17, 17-²H₂] GA₉, [17, 17-²H₂] GA₂₀ を添加し, ODS-HPLC 画分, 試料のメチル化, TMS 化を行った後, GC/MS でマススペクトルの確認を行った。その後, ガスクロマトグラフィー/選択的イオンモニタリング (Selected Ion Monitoring) (GC/SIM) 分析を行った。目的のフラグメントイオン (m/z) として, GA₁/ [17, 17-²H₂] GA₁ は m/z 506 と 508, GA₃/ [17, 17-²H₂] GA₃ は m/z 504 と 506, GA₄/ [17, 17-²H₂] GA₄ は m/z 418 と 420, 386 と 388, GA₉/ [17, 17-²H₂] GA₉ は m/z 298 と 300, 270 と 272, GA₂₀/ [17, 17-²H₂] GA₂₀ は 418 と 420 をモニターし, GA₁, GA₃, GA₄, GA₉, GA₂₀ それぞれ 506/508,

504/506, 418/420, 298/300, 418/420 のクロマトグラムの面積比で検量線を作成してジベレリン含量を算出した。

結 果

供試した品種の葉鞘と葉身におけるジベレリン含量を図 6-2-2 に示した。葉鞘におけるジベレリン含量についてみると、各品種とも前駆体ジベレリンでは GA_{20} に比べ GA_9 の含量が高く、活性型ジベレリンでは GA_1+GA_3 に比べ GA_4 が高含量であった。 GA_4 は、各品種とも葉身に比べて葉鞘において高含量であった。 GA_9 濃度についてみると、‘長悦’は葉鞘と葉身で同等であったが、‘晚中太’および‘吉晴’では葉身に比べて葉鞘で高かった。葉鞘におけるジベレリン含量には品種間差が認められ、前駆体 GA_9 、活性型 GA_4 ともに‘長悦’に比べて、‘晚中太’および‘吉晴’で高い傾向であった。

第 3 項 葉鞘・葉身の伸長を制御する活性型ジベレリン

ネギ地上部(葉鞘・葉身)では、活性型ジベレリンとして 13 位が水酸化された GA_1 および GA_3 、13 位が水酸化されていない GA_4 が同定された。この結果からネギにおいては、ジベレリン生合成系として、早期 13 位水酸化経路と早期非水酸化経路の両方が存在すると考えられる。本項では、種子繁殖の‘長悦’および‘吉晴’の芽生えを用いて、 GA_3 と GA_4 処理が草丈の伸長に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

‘長悦’および‘吉晴’を供試した。市販の培養土(ナプラ養土タイプ S, ヤンマー)を用い、288 穴セルトレイに 1 穴当たり 3 粒播種した。播種後は、人工気象室内で 12 時間日長(PPFD=158.0 \pm 13.4 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、昼 20°C/夜 15°C で生育させた。播種 10 日後に、 GA_3 および GA_4 を 1 ポット当たり 5 μg (0.5%メタノール溶液) 注入処理した。対照区は 0.5%メタノール溶液のみとし

た。各実験区とも 12 ポットとした。処理 14 日後に草丈を調査した。

結 果

‘長悦’および‘吉晴’の芽生えにおける GA_3 と GA_4 を処理した結果を図 6-2-3 に示した。‘長悦’では、 GA_3 に比べ GA_4 において高い伸長反応がみられた。一方、‘吉晴’では GA_3 および GA_4 ともに伸長反応が認められなかった。

考 察

ネギにおいて 13 位が水酸化されたジベレリンとして GA_1 , GA_3 , GA_{20} が、13 位が水酸化されていないジベレリンとして GA_4 , GA_9 , GA_{34} が同定された。同定された 6 種類のジベレリンの存在により、他のネギ属植物であるタマネギ (Nojiri ら, 1993), ワケギ (Yamazaki ら, 2002) と同様に、ネギの地上部では、ジベレリン生合成経路のうち、早期 13 位水酸化経路と早期非水酸化経路の 2 つ (神谷, 1994; 豊増, 2004) が機能していることが推定された。また、同じユリ科のスカシユリ (Takayama ら, 1994), チューリップ (Rebers ら, 1994b, 1995) においても早期 13 位水酸化経路および早期非水酸化経路の存在が報告されており、ユリ科では両経路が機能していることが推察される。

高等植物において GA_3 の検出例は少ないが、本実験においては GA_3 が同定され、 GA_3 の生合成経路が存在する可能性が考えられた。 GA_3 の生合成について、トウモロコシ (Fujioka ら, 1990) では GA_{20} から GA_5 を経て生合成されることが、酸果オウトウ (Nakayama ら, 1996) では GA_{95} を経て合成されることが報告されている。本実験においても GA_3 の前駆体として報告されている GA_5 および GA_{95} を検索したが、見いだせなかった。

一方、ワケギにおいても GA_3 が同定されている (Yamazaki ら, 2002) が、タマネギでは GA_3 が同定されていない。田代ら (田代, 1984; Tashiro ら, 1995) により、ワケギはネギを母親にシヤロット (*Allium cepa* L. Aggregatum group) を花粉親に持つ 1 代雑種であることが明らかにされている。これらのことから、ワケギにおける GA_3 の生合成経路はネギの遺伝子に由来している

可能性が示唆される。

ジベレリンの茎伸長活性は、イネ (Crozier ら, 1970), エンドウ (Poole ら, 1995) において、13 位水酸化ジベレリンが高いことが報告されている。一方、アブラナ科植物のシロイヌナズナ (Zeevaart・Talon, 1992), キャベツ (Hamano ら, 2002), ストック (Hisamatsu ら, 1998), ウリ科植物のキュウリ (Crozier ら, 1970) では、13 位非水酸化ジベレリンの茎伸長活性が高いことが報告されている。ユリ科植物において、カノコユリ (Ohkawa, 1979), スカシユリ (Takayama ら, 1994), チューリップ (Rebers ら, 1994a) では、13 位非水酸化ジベレリンの茎伸長活性が高いことが報告されている。ネギの葉鞘部において、前駆体ジベレリンは GA_{20} に比べ GA_9 の含量が高く、活性型ジベレリンでは GA_1 および GA_3 に比べて GA_4 の含量が高かった (図 6-2-2)。さらに、‘長悦’の芽生えを用いた実験において、 GA_3 に比べ GA_4 は高い伸長反応が認められた (図 6-2-3)。これらの結果から、ネギ地上部の伸長には、主に早期非水酸化経路の GA_4 が機能している可能性が示唆される。また、タマネギ (Nojiri ら, 1993), ワケギ (Yamazaki ら, 2002), スカシユリ (Takayama ら, 1994) においても同様に地上部の活性型ジベレリンは GA_4 含量が高いことが報告されており、これらはユリ科に共通であることが推察される。

表 6-2-1 本実験で供試した品種の特性

供試品種	種・品種群	抽苔性	分けつ性	繁殖
‘長 悦’	千住黒柄	晩	極少有	種 子
‘晩中太’	坊主不知	難	有	株分け
‘吉 晴’	晩ネギ	晩	有	種 子

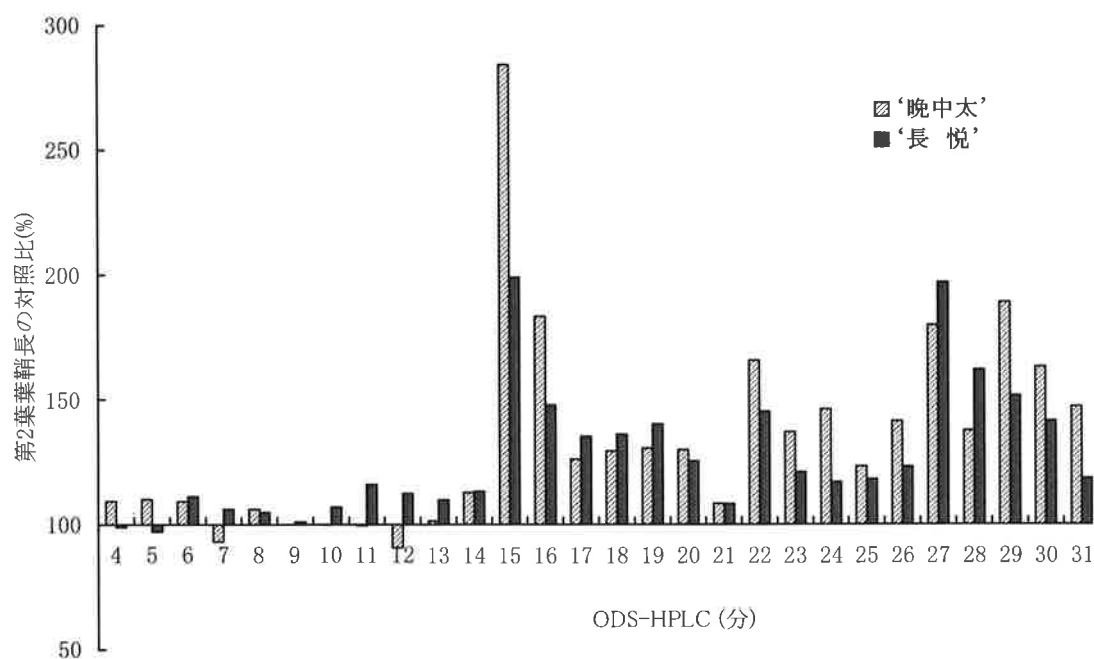


図 6-2-1 ネギ地上部(葉鞘・葉身)から抽出した画分のジベレリン様活性

イネ‘短銀坊主’に 50%アセトンのみを点滴した区を対照とした

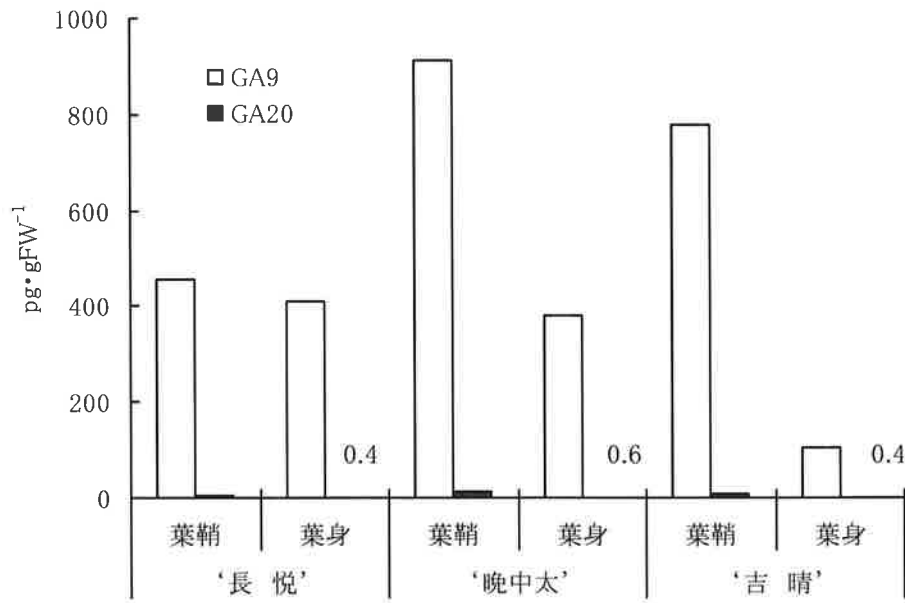
対照区に対し, GA_3 点滴で $50\text{pg}\cdot\text{個体}^{-1}=143\%$, $100\text{pg}\cdot\text{個体}^{-1}=170.6\%$, $300\text{pg}\cdot\text{個体}^{-1}=199.5\%$, $1000\text{pg}\cdot\text{個体}^{-1}=275.9\%$ の活性が認められた

表 6-2-2 GC/MS によるネギ地上部のジベレリンの同定

Cultivars	Identified GAs	t _R on ODS- HPLC (min)	KRI ^z	Principal ions and relative abundance ^b (% base peak)
‘長悦’	GA ₃	15	2692	504(M ⁺ , 100), 475(7.6), 387(6.0), 370(10.7), 208(19.4)
	GA ₁	16	2670	506(M ⁺ , 100), 491(16.6), 448(11.2), 376(14.2), 207(5.2)
	GA ₂₀	22-23	2494	418(M ⁺ , 100), 404(10.5), 375(23.1), 359(12.0), 301(9.3)
	GA ₃₄	25-26	2667	506(M ⁺ , 100), 459(4.6), 431(4.7), 416(3.8), 372(7.3)
	GA ₄	27	2515	418(M ⁺ , 40.6), 386(33.1), 328(26.3), 284(100), 225(58.6)
	GA ₉	30	2327	330(M ⁺ , 6.0), 298(100), 286(18.4), 270(53.7), 243(30.7)
‘晚中太’	GA ₃	15	2692	504(M ⁺ , 100), 475(5.5), 387(8.0), 370(9.0), 208(28.6)
	GA ₁	16	2672	506(M ⁺ , 100), 491(12.2), 448(11.5), 376(7.1), 207(12.2)
	GA ₂₀	22-23	2495	418(M ⁺ , 100), 404(5.8), 375(26.5), 359(10.3), 301(2.7)
	GA ₃₄	25-26	2669	506(M ⁺ , 100), 459(2.8), 431(1.9), 416(2.3), 372(5.8)
	GA ₄	27	2515	418(M ⁺ , 36.6), 386(16.0), 328(27.2), 284(100), 225(59.6)
	GA ₉	30	2327	330(M ⁺ , 11.2), 298(100), 286(26.5), 270(84.4), 243(34.1)

^z 標品 GA の KRI; GA₃=2692, GA₁=2668, GA₂₀=2491, GA₃₄=2665, GA₄=2510, GA₉=2326

前駆体ジベレリン



活性型ジベレリン

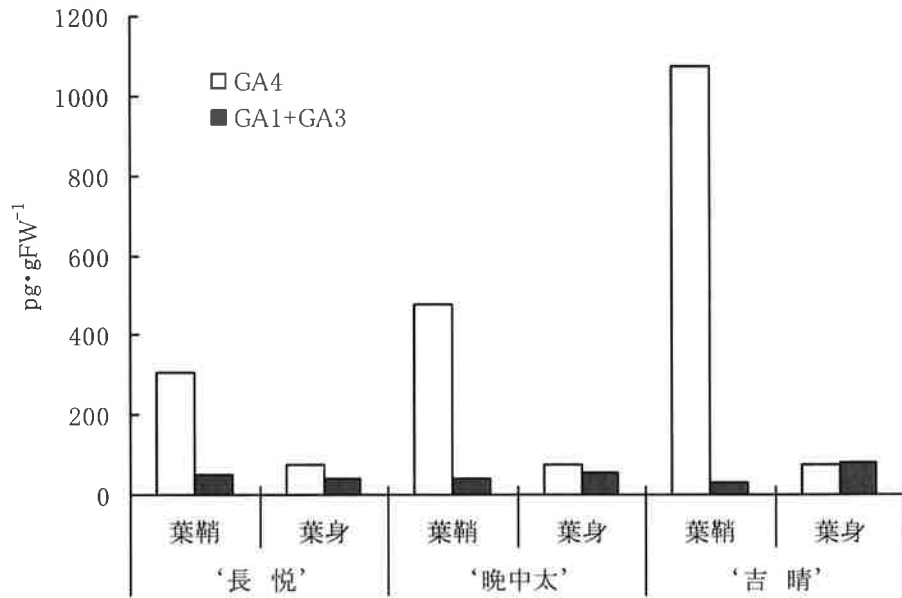


図 6-2-2 ネギの葉鞘および葉身におけるジベレリン含量の品種間差

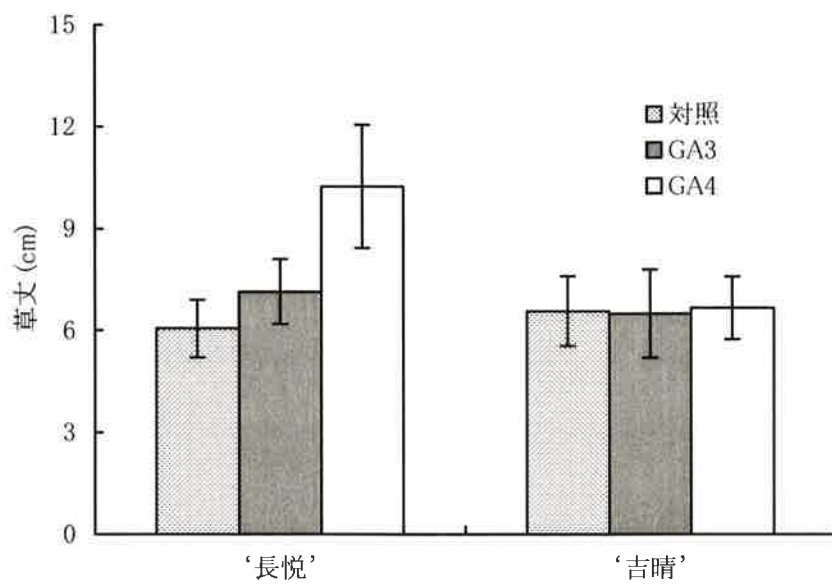
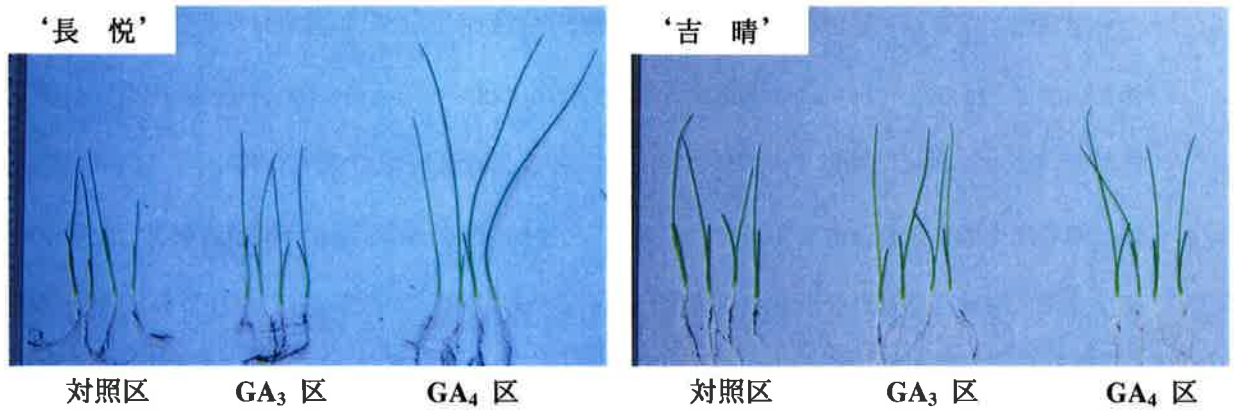


図 6-2-3 活性型ジベレリンが‘長悦’および‘吉晴’の芽生えの草丈に及ぼす影響
 処理 14 日後の草丈に及ぼす影響を調査した
 図中のバーは標準偏差(n=15)を表す

第3節 ネギのジベレリン関連の候補遺伝子のクローニング

植物におけるジベレリン反応を考える場合、ジベレリンの含量とジベレリンに対する反応性が重要であり、その研究は「ジベレリン生合成」と「ジベレリンシグナル伝達」の2つに大別できる(芦苺・松岡, 2004; Olszewski ら, 2002; 豊増, 2004).

ジベレリンの生合成経路は、それぞれ触媒する酵素の諸性質により大きく以下の3段階に分けられる(豊増, 2004). ① geranylgeranyl diphosphate (GGDP) から *ent*-kaurene までの段階(色素体内, 環化酵素), ② *ent*-kaurene から GA₁₂ までの段階(小胞体, シトクロム P450 系1原子酸素添加酵素), ③ GA₁₂ 以降の段階(細胞質, 2-オキシグルタル酸依存性2原子酸素添加酵素). 高等植物において GA₁₂ 以降のジベレリン生合成は、早期13位水酸化経路と早期非水酸化経路の2つが存在し、それぞれの経路における活性型ジベレリンは GA₁ と GA₄ である. どちらの経路が主要であるかは、植物種によって異なり、また同じ植物種においても時期や器官の違いによって主要経路が異なることもある(豊増, 2004). 第6章の第2節において、ネギでは両経路が存在することを明らかにした. GA₁₂ 以降のジベレリン生合成には、3つの重要な酵素が関与し、それぞれの酵素によって植物体における活性型ジベレリンの含量が調節されている. それぞれの酵素は、GA₁₂ / GA₅₃ から GA₉ / GA₂₀ までの3段階を触媒する GA20 位酸化酵素, GA₉ / GA₂₀ から GA₄ / GA₁ を触媒する GA3 酸化酵素, GA₄ / GA₁ から GA₃₄ / GA₈ を触媒する GA2 酸化酵素である(Olszewski ら, 2002; 豊増, 2004). これらの酵素をコードする遺伝子は、モデル植物のシロイヌナズナおよびイネを中心にクローニングされ、現在では多くの植物種においてクローニングが行われている(豊増, 2004).

一方、ジベレリンのシグナル伝達については、Ueguchi-Tanaka ら(2005)によりジベレリン受容体(GID1)がイネからクローニングされたことにより、シグナル伝達機構の全体像が明らかとなった. イネにおけるジベレリンのシグナル伝達機構は以下のように考えられている(松岡, 2005). 細胞外から輸送された、または、細胞内で合成されたジベレリンは、核において GID1 と結合する. ジベレリンを結合した GID1 は、それまで核内でジベレリンシグナルを抑制してい

た DELLA タンパク質 (Hussain・Peng, 2003 ; Ikeda ら, 2001) である SLR1 (Itoh ら, 2002) と相互作用が可能となる。さらに, GID1 と相互作用した SLR1 は, F-box タンパク質である GID2 (Sasaki ら, 2003) に認識されることとなり, 結果として SCF 複合体にリクルートされユビキチン化, 分解に導かれ (Moon ら, 2004), ジベレリンのスイッチが入ると考えられている。

本節では, ネギにおけるジベレリン生合成として GA20 位酸化酵素, GA3 酸化酵素および GA2 酸化酵素をコードする候補遺伝子, ジベレリンシグナル伝達の抑制因子として働く DELLA タンパク質をコードする候補遺伝子のクローニングを行った。

材料および方法

鳥取大学農学部内のガラス室で栽培した‘長悦’の地上部をサンプリングし, -80°C で凍結保存した。

(1) 全 RNA の抽出

全 RNA 抽出は, Wan・Wilkins (1994) の方法を改変して行った。試料 1g を液体窒素中で粉碎し, RNA 抽出溶液 2 ml (100 mM LiCl, 1%SDS, 100 mM Tris-NaOH, 10 mM EDTA と phenol (0.1% hydroxyl-quinoline 含有と 1 : 1 の割合で混合) を加え, 室温で 5 分間振とうした後, クロロホルム 1 ml を加え, 室温で 30 分間振とうした。25 $^{\circ}\text{C}$, 20000 g, 30 分間遠心し上澄みを捨てた。クロロホルム 1 ml を加え室温で 15 分間振とうした後, 25 $^{\circ}\text{C}$, 12000 g, 15 分間遠心, 上澄みを回収した後, 10 M LiCl を 1.6 ml 加え, 4 $^{\circ}\text{C}$ で 16 時間以上静置した。4 $^{\circ}\text{C}$, 12000 g, 30 分間遠心し上澄みを捨て, 2 M LiCl を 1 ml 加え沈殿を溶解しマイクロチューブに回収した。4 $^{\circ}\text{C}$, 15000 rpm, 10 分間遠心し上澄みを捨て, 80%エタノールで沈殿を洗浄した。全 RNA は DEPC 処理水に溶解し -20°C で保存した。

(2) cDNA の PCR クローニング

First Strand cDNA Synthesis Kit (TOYOBO) を用い, 全 RNA 2 μg から 1 本鎖 cDNA を合成した。これを鋳型として既報のジベレリン関連遺伝子の保存領域から構築したプライマーを用いて RT-PCR を行った(表 6-3-1)。PCR 反応は常法とした。得られた PCR 産物は, アガロースゲル(SEAKEM

GTG, FMO) 電気泳動をした後, Sephaglas™ BandPrep Kit (Pharmacia) を用いて精製した。

精製した DNA 断片は, pGEM-T Easy Vector Systems (Promega) を用い TA クローニングした。プラスミドの抽出および精製は, FlexiPrep Kit (Pharmacia) を用いて行った。DNA の塩基配列は, Big Dye terminator cycle sequencing kit (Applied Biosystems), ABI PRISM 3100 Avant Genetic Analyzer (Applied Biosystems) により決定し, DNASIS pro software (Hitachi Software Engineering) および BLAST により解析した。全鎖長 cDNA のクローニングは, GeneRacer kit (Invitrogen) による RLM-RACE 法により行った。

結果および考察

保存領域を基に構築したプライマーを用いた PCR により得られた部分断片の塩基配列を決定し, BLAST 検索を行った。このうち, 既報のジベレリン関連遺伝子と相同性が認められたものについて, RACE 法により全鎖長 cDNA のクローニングを行い, 以下に示すネギにおけるジベレリン関連の候補遺伝子が得られた (表 6-3-2, 図 6-3-1 から図 6-3-4)。

(1) ジベレリン生合成遺伝子

GA20 酸化酵素

クローニングした cDNA は, 他植物種の GA20 酸化酵素遺伝子と高い相同性が認められたことから *AFGA20ox1* と命名した (図 6-3-1)。 *AFGA20ox1* は, 全長 1405 bp, 359 aa をコードすると推定された。他植物種とのアミノ酸の相同性は, シロイヌナズナの *At20ox1* (Phillips ら, 1995) と 55%, エンドウの *PsGA20ox1* (Martin ら, 1996) と 52%, イネの *OsGA20ox1* (Toyomasu ら, 1997) と 50%, オオムギの *Hv20ox1* (Spielmeyer ら, 2004) と 55%であった。

GA3 酸化酵素

クローニングした cDNA は, 他植物種の GA3 酸化酵素遺伝子と高い相同性が認められたことから *AFGA3ox1* と命名した (図 6-3-2)。 *AFGA3ox1* は, 全長 1214 bp, 365 aa をコードすると推定された。他植物種とのアミノ酸の相同性は, シロイヌナズナの GA4 (Chiang ら, 1995, 1997) と

52%, エンドウの LE (Lester ら, 1997; Martin ら, 1997) と 45%, イネの OsGA3ox1 (Itoh ら, 2001) と 43%, オオムギの Hv3ox1 (Spielmeyer ら, 2004) と 43%であった。

GA2 酸化酵素

クローニングした cDNA は, 他植物種の GA2 酸化酵素遺伝子と高い相同性が認められたことから *AFGA2ox1* と命名した (図 6-3-3). *AFGA2ox1* は, 全長 1163 bp, 381 aa をコードすると推定された. 他植物種とのアミノ酸の相同性は, シロイヌナズナの AtGA2ox1 (Thomas ら, 1999) と 49%, エンドウの PsGA2ox1 (Lester ら, 1999) と 52%, イネの OsGA2ox3 (Sakamoto ら, 未発表) と 52%, オオムギの Hv2ox4 (Spielmeyer ら, 2004) と 52%であった。

以上の結果, GA₁₂以降のジベレリン生合成に関わり, 活性型ジベレリン含量に影響を及ぼす酵素の候補遺伝子 *AFGA2ox1*, *AFGA3ox1*, *AFGA2ox1* のクローニングに成功した. 一方, 多くの植物種において, GA20 酸化酵素 (Kaneko ら, 2003; Spielmeyer ら, 2004), GA3 酸化酵素 (Itoh ら, 2001; Spielmeyer ら, 2004; Yamaguchi ら, 1998), GA2 酸化酵素 (Lester ら, 1999; Spielmeyer ら, 2004; Thomas ら, 1999) は多重遺伝子族であることが知られている. 本実験においては各酵素の候補遺伝子とも 1 タイプずつのクローニングであり, 別のタイプも存在する可能性も考えられ, 今後, 組織や時期別のサンプルにおいてクローニングを検討する必要がある.

(2) ジベレリンのシグナル伝達に關与する GAI ホモログ遺伝子 (DELLA タンパク質)

縮重プライマーを用いた PCR の結果, DELLA タンパク質遺伝子と高い相同性を示す 2 つのクローンが得られた. さらに, RACE 法による全鎖長 cDNA のクローニングを行い, *AFGAI1* および *AFGAI2* と命名した (図 6-3-4). *AFGAI1* は, 全長 1899 bp, 568 aa をコードすると推定され, シロイヌナズナの GAI (Peng ら, 1997) と 56%, RGA (Silverstone ら, 1998) と 55%, イネの OsGAI (SLR1) (Ogawa ら, 2000; Ikeda ら, 2001) と 61%, オオムギの SLN1 (Chandler ら, 2002) と 61%の相同性がアミノ酸レベルで認められた. *AFGAI2* は, 全長 1953 bp, 579 aa をコードすると推定され, シロイヌナズナの GAI と 56%, RGA と 56%, イネの OsGAI と 62%, オオムギの SLN1 と 61%の

相同性がアミノ酸レベルで認められた。AFGAI1 と AFGAI2 とは、お互いに 72%の相同性が認められた。

DELLA タンパク質は、GRAS ファミリーと呼ばれる植物特有の転写因子群 (Bolte, 2004 ; Pysh ら, 1999) に属し、N 末端領域に DELLA ドメインと TVHYNP ドメインを有し、この領域が欠失などの変異を起こすと、ジベレリンに対する応答が喪失し植物体が矮化することが明らかとなっている (Boss・Thomas, 2002 ; Ikeda ら, 2001 ; Peng ら, 1999)。AFGAI1 および AFGAI2 は、DELLA ドメインおよび TVHYNP ドメインが高く保存されていた (図 6-3-4)。

以上の結果、ネギにおいてジベレリンのシグナル伝達の抑制因子として働く DELLA タンパク質をコードする候補遺伝子、*AFGAI1* および *AFGAI2* のクローニングに成功した。

表 6-3-1 ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングに用いたプライマーの塩基配列

遺伝子名		プライマー塩基配列 [*]
GA20 酸化酵素	sence	5'-TNCNTGGAARGARACNCTNYC-3'
	antisence	5'-AKHRCCATRAANGTRTCRCC-3'
GA3 酸化酵素	sence	5'-ATGTGGYMNGARGGNTTYAC-3'
	antisence	5'-GTRTGNGCNGCNAGNCCCAT-3'
GA2 酸化酵素	sence	5'-ATGGGTGTTCTTGCTAATCAACC-3'
	antisence	5'-CAACCCAACCAATATCTCCATTAG-3'
GAI ホモログ	sence	5'-ATGGCIGAIGTIGCICAIAARYTIGARCA-3'
	antisence	5'-GCIGTRAARTGIGCRAAYTTNARRTAIGGRCA-3'

* N:A/T/G/C, H:A/C/T, K:G/T, R:A/G, Y:C/T, I:inosine

表 6-3-2 本実験においてクローニングしたネギのジベレリン関連の候補遺伝子

クローン名	コードするタンパク質	cDNA (bp)	アミノ酸 (aa)	vs <i>Arabi</i> (%) [*]
<i>AFGA20ox1</i>	GA20 酸化酵素	1405	359	55
<i>AFGA3ox1</i>	GA3 酸化酵素	1214	365	50
<i>AFGA2ox1</i>	GA2 酸化酵素	1163	381	48
<i>AFGAI1</i>	DELTA タンパク質	1899	568	49
<i>AFGAI2</i>	DELTA タンパク質	1953	579	50

*各クローンは図 6-3-1 から図 6-3-4 における *Arabidopsis* とのアミノ酸の相同性を表す

AFGA20ox1	1	1	-----E	10	20	30	40	50
Arabidopsis	1	1	AVSFVITSP	EE-ED	KPLS	LGNIQTP	LI	F
Pea	1	1	AIECIITSR	KLMT	QSDKN	ENEESK	VF	DASF
Rice	1	1	S	-MVF	DEQE-			
Barley	1	1	VQP					
AFGA20ox1	51	51	CHERP	N	-AP	IV	DIK	S
Arabidopsis	51	51	DDEK	P	S	INWL	E	-L
Pea	51	51	DDEK	P	-CM	NV	PEL	D
Rice	51	51	REES	P	GS	VAV	EEL	E
Barley	51	51	EGES	P	T	PDAT	EE	M
AFGA20ox1	101	101	QV	N	H	G	I	D
Arabidopsis	101	101	L	V	N	H	G	I
Pea	101	101	L	V	N	H	G	I
Rice	101	101	L	V	N	H	G	I
Barley	101	101	Q	V	N	H	G	I
AFGA20ox1	151	151	HT	D	R	F	A	S
Arabidopsis	151	151	F	T	G	R	F	A
Pea	151	151	F	T	G	R	F	A
Rice	151	151	F	T	G	R	F	A
Barley	151	151	F	T	G	R	F	A
AFGA20ox1	201	201	I	V	Y	K	Y	C
Arabidopsis	201	201	K	V	Y	Q	E	Y
Pea	201	201	E	V	Y	Q	E	Y
Rice	201	201	E	V	Y	Q	E	Y
Barley	201	201	E	V	Y	Q	E	Y
AFGA20ox1	251	251	N	V	P	P	C	Q
Arabidopsis	251	251	N	V	P	P	C	Q
Pea	251	251	N	V	P	P	C	Q
Rice	251	251	N	V	P	P	C	Q
Barley	251	251	N	V	P	P	C	Q
AFGA20ox1	301	301	V	-R	G	A	L	V
Arabidopsis	301	301	N	-P	K	A	F	V
Pea	301	301	N	-P	K	A	F	V
Rice	301	301	R	-P	G	A	L	V
Barley	301	301	R	-P	K	A	F	V
AFGA20ox1	351	351	E	D	R	I	W	R
Arabidopsis	351	351	K	D	R	V	V	T
Pea	351	351	G	D	K	W	S	P
Rice	351	351	M	D	T	W	R	P
Barley	351	351	M	D	K	W	S	P
AFGA20ox1	401	401	A	N	L	-----	-S	T
Arabidopsis	401	401	S	D	W	-----	-T	K
Pea	401	401	T	K	I	T	Q	K
Rice	401	401	S	D	W	N	H	R
Barley	401	401	S	D	W	D	D	P

図 6-3-1 GA20 酸化酵素遺伝子と推定される AFGA20ox1 における他植物とのアミノ酸配列の比較
 Arabidopsis AtGA20ox1 (Phillips et al., 1995, accession number X83379), pea PsGA20ox1 (Martin et al., 1996, accession number X91658), rice OsGA20ox1 (Toyomasu et al., 1997, accession number U50333), barley Hv20ox1 (Spielmeier et al., 2004, accession number AY551428)

		10	20	30	40	50
AFGA3ox1	1	MPSISMEPI	HFPPIHFK	HFDSSAREV	POSHTPTIQ	-----PNP
Arabidopsis	1	MPAMLDVFR	GAPILPHSH	IPDFTSREL	POSYKATPKD	DL--FSRAPS
Pea	1	MPSLSEAVR	AAPVYVNHKH	-PDFNLSQEL	PEYVNHATLD	DHTLIDNNI
Rice	1	MPT--PSL--	KNP-----L--	CFDFRARRV	PETHAWPSLD	DHPVDDGGG
Barley	1	MPSTPPSQLN	KDP-----ANR	YFDLSSAREV	POTHAWPSLD	ELPVDGGV
		60	70	80	90	100
AFGA3ox1	51	RNGPNESIPV	IDLSSDVIS	LIGACEBAG	VFQVISHGV	LNLLHNLESQ
Arabidopsis	51	PPATGENIP	IDLDPDPTN	QIGACRTAG	AFQISNAGVP	LGLLDDIEF
Pea	51	MKESTTTVPV	IDLDPDASK	LIGACKTAG	VYDVMNHGIP	LSLLEDIDW
Rice	51	--GSEDVMPV	VDVGAGDARA	RVARAREQWG	AF--VGHGVP	ARLLSRVEER
Barley	51	--AGDDVMPV	VDVADPRAE	AVARAREQWG	AF--LEGHGVP	TELLSRVEAG
		110	120	130	140	150
AFGA3ox1	101	ARRLFSLPTQ	QKLKARSPN	SISGVG	APISS	FSKLMWS
Arabidopsis	101	TGSFLPLMVD	RKLKARSET	SVSGVMARI	ASFFNKQIWS	EGFTIISGSP
Pea	101	GOTFSLPQH	DKKATASPD	SVSGVMARI	SSFFKLMW	EGFTIISGSP
Rice	101	VARYFSLPAS	EKARAVRSG	EPCVSGPPI	SSFFSKLMWS	EGYTFSPBS
Barley	101	IGMFAALPTP	EKARARADG	DLYVSGPPLI	ASVYBKNQWS	EGYTLTPAN
		160	170	180	190	200
AFGA3ox1	151	DHARSLWP	--DDVFNCE	VI EEVN	KEMK	RVAERLMD
Arabidopsis	151	NDFAKLWP	--DHLNVD	IV EEV	EEH1K	KLASKLML
Pea	151	DHFRSLWP	--DDVTRFD	IVVQV	DET1K	KLAGTMD
Rice	151	RSELRSLWP	SGDDVLFCD	VMEEF	KEMR	RLADELRL
Barley	151	HAEFRKSLWP	ASDVAHFSG	VMEEF	KEMR	SLANRLME
		210	220	230	240	250
AFGA3ox1	201	IKKADPMNE	-QDISSVQL	NSYPA	DPNPD	ARGLAARTD
Arabidopsis	201	IKKADLSSD	-NWDARALQL	NAYV	DCPEPD	ARGLAARTD
Pea	201	IKKADGSKAQF	-EKDARALQL	NSYV	SPDPO	ARGLAARTD
Rice	201	VADVEAERRI	GERMTATVHL	NAYV	DCPEPR	RALGLIARTD
Barley	201	VADVEAERIN	TESMTETMHL	NAYV	KSPDPT	RALGLKARTD
		260	270	280	290	300
AFGA3ox1	251	NTSGLQVLRP	NKESSTQNV	TVPP	IPGALV	VNVGDLFHIL
Arabidopsis	251	NTSGLQVFRD	DLG-----IV	TVPP	IPGSLV	VNVGDLFHIL
Pea	251	DTSGLQVRR	GSG-----IV	TVPP	IQGSLV	VNVGDLFHIL
Rice	251	LVPGLQVFR	--SP--DRIW	RVPV	IGRIV	VNVGDLFHIL
Barley	251	QVPGLQLFR	--SPVDRW	EVPR	IPGALV	VNVGDLFHIL
		310	320	330	340	350
AFGA3ox1	301	RAVVNRTEHR	YSRVLGPP	AWKVP	PIVK	PWGP
Arabidopsis	301	RAVVNRTRAR	LSVAVLGP	SDIK	ISVPK	LVSPVESP
Pea	301	RVLVNRTRAR	FSVAVLYGP	SNVE	ICPAK	LISPTKPP
Rice	301	RAVVNRTRDR	VS LGVFLGP	PDRE	VAPLPE	AVPABSPAV
Barley	301	RAVVNRTRER	ISVAVFLTP	ADWK	VAPLKE	VWGGSKPAY
		360	370	380	390	
AFGA3ox1	351	IKARLFDKAL	ASVILSEE	-----DHN	DNSTCLLSCV	
Arabidopsis	351	TKATHFNKAL	STI	-----	NREE	
Pea	351	TKAKHFNKAL	SSVRLCTPIN	G	-----FDVN	DENKNSVQVG
Rice	351	VRKKAFAATGG	BAKLVSTDA	FAA	--ADE	DVARADVHA
Barley	351	VRKERFAFHG	ADLEFGKGR	ALDMLS	ISSD	EDDGRERHARD

図 6-3-2 GA3 酸化酵素遺伝子と推定される AFGA3ox1 における他植物とのアミノ酸配列の比較
 Arabidopsis GA4 (Chiang et al., 1995,1997, accession number Atlg15550), pea LE (Lester et al., 1997;
 Martin et al., 1997, accession number AF001219), rice OsGA3ox2 (Itoh et al., 2001, accession number
 AB056519), barley Hv3ox1 (Spielmeyer et al., 2004, accession number AY551430)

		10	20	30	40	50
AFGA2ox1	1	IGVLANQH-M	EQIETIKPKQK	SLPVVPIIP	IDLSTINRES	HIVKACEFG
Arabidopsis	1	IAVLSKPVAI	-----	PKSGFSLIPV	IDYSDRESKH	ALVKACEDFG
Pea	1	K-----PIS	EQYTYWANNM	PIITFSBIP	VDLSKPDPKT	LIVKACEDFG
Rice	1	IVVLABPPAV	DHITPLLRSD	PGDVFSGWV	VDLSSPGARR	AVVDRCEYF
Barley	1	YVWLAKPAA	EQIALMATE	PNESFSGVPA	VDLSSPGARR	DVVDRCEYFG
		60	70	80	90	100
AFGA2ox1	51	FFKVINHGVS	KVMTKLEKE	ARKFFSLPQF	EKEKSEC---	YGNKRIGS
Arabidopsis	51	FFKVINHGVS	AEVSVLEHE	TVDFFSLPKS	EKTQVA-GVP	FGVGNKIGR
Pea	51	FFKVINHGIP	LDAISQLESE	AFKFFSLPQT	EKEKASPAIP	FGVGNKIGL
Rice	51	FFKVINHGVA	TDTIDKRESE	AVRFFSDITP	DKDRSGPAYP	FGVGNKIGF
Barley	51	FFSVVNHGVP	AVVDRLERE	AVRFFASTLR	EKDRSGPADP	FGVGNKIGR
		110	120	130	140	150
AFGA2ox1	101	NGDIQWVEYL	LFELKNKP--	--FLKPSAR	--LELSALNE	YITANKSLS
Arabidopsis	101	NGDVQWVEYL	LYNANHDSGS	GPFPDLLKES	PGTFRVLEEE	YTTSVAKMTF
Pea	101	NGDIQWTEYL	LLTTNDEHNF	SL---YQ-ED	IDKFRSLKD	YKCRANMAG
Rice	101	NGDMGWLEVL	LLALDDASLA	DA---CTVPS	CAVFRALNE	YISGVKVVAV
Barley	101	NGDMGWVEYL	LLAIDRDT--	--SKASPPP	SSALREITNA	YVBARMBAR
		160	170	180	190	200
AFGA2ox1	151	ELVLMAGSL	NIE-KEALKE	IGMNEEDLM	FRVNHVPPFP	LLQEL--K-D
Arabidopsis	151	DVLEKITDGL	GIKPRRITLAK	LVSQNTDGI	LRLNHVPPCP	LSNKKTNQSK
Pea	151	ELVLMAGSL	KIDPKKVFESK	LVYDQSDGL	FRVNHVPPDP	---ELAINGE
Rice	151	RVTEAMSEGL	GIRQADALS	LVTRESDQV	FRVNHVPPCR	---ALDGLSG
Barley	151	TVLEHWAGSL	GVSRRALAD	MVTRESDQV	FRVNHVPPCP	LLQEL--PPN-D
		210	220	230	240	250
AFGA2ox1	201	SVTGFGEHTD	PQLISILASN	DSNSVDIALK	DGSWLVPPD	EDSFFVNWGD
Arabidopsis	201	NVIGFGEHTD	PQLISVLRSN	NTSGLDIIN	DGSWLVVPPD	HTSFFVNWGD
Pea	201	NLIGFGEHTD	PQLISILASN	NTSGFDISLR	DGSWLVVPPD	HSFFLVNWGD
Rice	201	SVTGFGEHTD	PQLVSVLRSN	GTSGLDIALR	DGSWLVVPPD	ADSFFVNWGD
Barley	201	SVTGFGEHTD	PQLVSVLRSN	GTASLDVRLA	DGSWLVVPPN	ADSFFVNWGD
		260	270	280	290	300
AFGA2ox1	251	MQLVLTNGRL	KSVKRWVIT	-SVKSRVSMI	YFAGPSPNDL	IAPLQLLNT
Arabidopsis	251	SLOVLTNGRF	KSVRHRVLA	NCKSRVSMI	YFAGPSPNDR	IAPLQLIDN
Pea	251	SLOVLTNGRF	KSVRHRVLA	NGIDPRSMI	YFAGPPLSEK	IAPLPSIMK
Rice	251	SLOVLTNGRF	KSVKRWVVA	NGLKSRVSI	YFAGPPLAQR	IAPLQLLGE
Barley	251	SLOVLTNGRL	RSVRHRVVA	NGLKSRVSMI	YFAGPPLAQR	IAPLQLLAG
		310	320	330	340	350
AFGA2ox1	301	EEKEKCMYIE	FTWAEYKRTA	FKSRLADNAL	ALFEI-----	-----KP..
Arabidopsis	301	EDL--RLYE	FTWAEYKNT	VNSRLSDNAL	QDFE-----	---KTIKLLLN..
Pea	301	GKE--SLYKE	FTWAEYKST	VNSRLADNAL	GNYE-----	---IART-----
Rice	301	GED--SLYKE	FTWAEYKKA	VKSRLSDNAL	ADFE-----	---K-----
Barley	301	TQSLP-LYRD	FTWAEYKKA	VNSRLSDNAL	APFETPLVAM	PHAAHRS..

図 6-3-3 GA2 酸化酵素遺伝子と推定される AFGA2ox1 における他植物とのアミノ酸配列の比較
 Arabidopsis AtGA2ox1 (Thomas et al., 1999, accession number AJ132435), pea PsGA2ox1 (Lester et al., 1999, accession number AF100955), rice OsGA2ox3 (Sakamoto et al., unpublished, accession number AB092485), barley Hv2ox4 (Spielmeyer et al., 2004, accession number AY551432)

		10	20	30	40	50
AFGA11	1	MKREHAE	SSSG	PPPLKNSK	KMI EEE	DAG ---VDPELLAR
AFGA12	1	MKREHEESS	R---PPT	-----NKK	KMI EEE	DAG ---VDPELLAR
GAI	1	MKRDH HHHQ	-----	-----DK	KIM MNEE	DAGNG ---VDPELLAR
RGA	1	MKRDH HQFQ	RLSNHGTSS	SSSISKD	KIM YKKEE	DAGSS NMD-VDPELLAR
OsGAI	1	MKREYDEAFG	S---SSSS	SADMG	KDK VYAG	---AGE EEDVDPELLAR
SLN1	1	MKREYDGGG	S---SSSS	---EMGSS	ADK MMVSSSE	AGE GEEVDPELLAR
		60	70	80	90	100
AFGA11	51	LGYKVRANTDM	ADV AOKLE	QLDMVIG	---TTA	ACNDDA IITN
AFGA12	51	LGYKVRASDM	ADV AOKLE	QLDMVIG	---TS	AAQDER IITHLA
GAI	51	LGYKVRASSEY	ADVFAOKLE	QLEVMMSNVQ	EDDL	-----S-QLAT
RGA	51	LGYKVRASSEY	ADVFAOKLE	QLETIMS	---	NVDEG L-SALAT
OsGAI	51	LGYKVRASDM	ADV AOKLE	QLEMAMGMGG	VSAPG	ADG FVSHLAT
SLN1	51	LGYKVRASDM	ADV AOKLE	QLEMAMGMGG	P---	PDG FATHLAT
		110	120	130	140	150
AFGA11	101	HYNPSDLSTN	LESMLSELNA	PPPLPNSNP	N-----	-----NIT
AFGA12	101	HYNPSDLSTN	LESMLSELNA	PPPPDP	---NP	VMNITSSSD LNP
GAI	101	HYNPAELVTN	LDMLTDLNP	SSS	-----	-----NAEY
RGA	101	HYNPSDLSSN	LESMLSELNA	PPPLPSSN	GDPVLP	PE ICSFPA
OsGAI	101	HYNPSDLSSN	LESMLSELNA	PPPLPAPP	AAHAST	SST VTGGGSG
SLN1	101	HYNPTDLSSN	LESMLSELNA	PPPLPAPP	QL-	HASTSST VTGGG
		160	170	180	190	200
AFGA11	151	---SSSNVNP	FDQFRATN	---I	PNTIITET	TPTQ---TS DLASDLTRSS
AFGA12	151	---QYVBNNE	SSMIASSD	---R	SDLTA	VTASSSNQ
GAI	151	DLKAI	IFTPGD AI	---LNQFA	IDSASSNQ	GGGDTVTTN
RGA	151	DLKVI	---PGN AI	YDF	---	PAID SSSSNQ
OsGAI	151	EL	PAADSSS	STVALRP	---	SLPVVA
SLN1	151	DLPPV	VDSSS	STVALRP	---	ISPPVAPAD
		210	220	230	240	250
AFGA11	201	PDRKRPRT	MI ASSSS	SI	---	AE PSSSSSLPVV
AFGA12	201	SSSSSSSS	SV QPTPS	---	APPDPLSE	---
GAI	201	---	---	---	GV	ET T
RGA	201	PD	SVTBTST	STQIGG	VIGT	TVTTTITTT
OsGAI	201	SSSSSSSS	SLG GGASR	SVWE	AAPPAT	DGA
SLN1	201	SSSSSSSS	SLG GGARSS	VWE	AAPPV	---
		260	270	280	290	300
AFGA11	251	IRLVHT	LAC REAVQ	ENFK	AADT	LVKQIN
AFGA12	251	IRLVHT	LAC REAVQ	ENFK	AADT	LVKQIS
GAI	251	VALVHALLAC	REAVQ	ENLT	VAEAL	LVKQIG
RGA	251	VALVHALLAC	REAVQ	ENLT	LAEAL	LVKQIG
OsGAI	251	IRLVHALLAC	REAVQ	ENFA	FAEAL	LVKQIP
SLN1	251	IRLVHALLAC	REAVQ	ENLS	FAEAL	LVKQIP
		310	320	330	340	350
AFGA11	301	LARRIYRL	HH QDD	DBL	---ESA	FSDI
AFGA12	301	LARRIYRL	SP HDD	YP	---ESS	FSDI
GAI	301	LARRIYR	ATL SPS	SPI	---S	LSDTLQMHFV
RGA	301	LARRIYR	ATL SP	---	---	LSDTLQMHFV
OsGAI	301	LARRIYR	ATL SP	---	---	LSDTLQMHFV
SLN1	301	LARRIYR	ATL SP	---	---	LSDTLQMHFV

図 6-3-4 DELLA 遺伝子と推定される AFGA11 および AFGA12 における他植物とのアミノ酸配列の比較 (前) Arabidopsis GAI (Peng et al., 1997, accession number Y15193), RGA (Silverstone et al., 1998, accession number AY054160), rice OsGAI (SLR1) (Ogawa et al., 2000 ; Ikeda et al., 2001, accession number AB030956), barley SLN1 (Chandler et al., 2002, accession number AF460219)

図中の下線は、それぞれ DELLA ドメインおよび TVHYNP ドメインを表す

		360	370	380	390	400
AFGA11	351	FEGCKRVHVI	DFGMKQGM--	QWPALLOQALA	LRPGGPPSFR	LTGIGPPQPD
AFGA12	351	FEGCKRVHVI	DFGMKQGM--	QWPALLOQALA	LRPGGPPSFR	LTGIGPPQPD
GAI	351	FQCKRVHVI	DFG13DGLFT	QWPALLOQALA	LRPGGPPSFR	LTGIGPPQPD
RGA	351	FEGCKRVHVI	DFG1NDG---	QWPALLOQALA	LRPGGPPSFR	LTGIGPPQPD
OsGAI	351	FEGCKRVHVI	DFGMKQGM--	QWPALLOQALA	LRPGGPPSFR	LTGIGPPQPD
SLN1	351	FEGCKRVHVI	DFGMKQGM--	QWPALLOQALA	LRPGGPPSFR	LTGIGPPQPD
		410	420	430	440	450
AFGA11	401	NTDALQQVGL	KLAQFAEKID	VDFEYRGFW-	ANSLADLEP	FLLENIPKTD
AFGA12	401	NTDALQQVGL	KLAQLADSIK	VDFEYRGFW-	ASLSDLER	YFKSDPKVE
GAI	401	NFDLHEVGC	KLAQLAERAI	VDFEYRGFW-	TANTLADLDR	SMLELAPSEI
RGA	401	NFDLHEVGC	KLAQLAERAI	VDFEYRGFW-	ANSLADLDR	SMLELAPSP-
OsGAI	401	ETDALQQVGL	KLAQFAHTIK	VDFEYRGFW-	FATLADLEP	FMLDPEGEAD
SLN1	401	ETDALQQVGL	KLAQFAHTIK	VDFEYRGFW-	FATLADLEP	FMLDPEGEED
		460	470	480	490	500
AFGA11	451	NELVEEWWAV	NSVFELHKLL	AKHGAIKVL	RTIARVKKK	VTWVE--DEA
AFGA12	451	---IEPEAWAV	NSVFELHKLL	SRDGAIEKVL	NMVKATKPK	VTIWE--DEA
GAI	451	ESV-----AV	NSVFELHKLL	GRPGAIEKVL	GVVQIKKPI	FTWVEFTDES
RGA	451	---DTEAWAV	NSVFELHKLL	GRPGAIEKVL	GVVQIKKPI	FTWVE--DES
OsGAI	451	PNEEPEVIAV	NSVFELHALL	ADPGAIEKVL	GTVAVVAPRI	VTWVE--DEA
SLN1	451	PNEEPEVIAV	NSVFETHALL	ADPGAIEKVL	GTVAVVAPRI	VTWVE--DEA
		510	520	530	540	550
AFGA11	501	NHNSVIFTER	FNERLHYVST	MFDSLEGGDG	-----	--PDSGSD
AFGA12	501	DHNLDFBAR	FTEFLHYVST	LFDSLEGGCV	SD-----	SGED
GAI	501	NHNSPIFLDR	FTESLHYVST	LFDSLEGVPS	GDDKVMSEVY	LGKQ----
RGA	501	NHNSDPVFLDR	FTESLHYVST	LFDSLEG---	-----	VPNSDD
OsGAI	501	NHNSGDFLDR	FTESLHYVST	MFDSLEGGSS	GQAELESP--	PARGSDGTD
SLN1	501	NHNSGDFLDR	FTESLHYVST	MFDSLEGGSS	GGPSEVSSGG	APAAAAATD
		560	570	580	590	600
AFGA11	551	QVITEIVLGR	QICNVWACEG	AER--TERHE	PEDNKGAFS	NAGFEPVHLG
AFGA12	551	QVITREIVLGR	QICNVWACEG	LER--VERHE	KLGGWRARLG	NAGFEPVHLG
GAI	551	---IICNVWACEG	---	PDRFTVERHE	TLGQWRARFS	SAGFARRHLS
RGA	551	KVMSEVVLGR	QICNVWACEG	PDR--VERHE	TLGQWRARFS	SSGLARFHLG
OsGAI	551	QVMSEVVLGR	QICNVWACEG	AER--TERHE	TLGQWRARLG	NAGFEPVHLG
SLN1	551	QVMSEVVLGR	QICNVWACEG	TER--TERHE	TLGQWRARLG	NAGFEPVHLG
		610	620	630	640	650
AFGA11	601	SNAFKQASML	LALFAGGGGV	VVDEKDSCLT	LGWH--SPPL	IATSAWVAF
AFGA12	601	SNAFKQASML	LALFAGGGGV	KVEEKEGCLT	LGWH--SPPL	IATSAWKVAV
GAI	601	SNAFKQASML	LALFAGGGGV	RVEEESGCLT	LGWHFTTPPL	IATSAWKLST
RGA	601	SNAFKQASML	LALFAGGGGV	RVEEESGCLT	LGWH--TPPL	IATSAWKLST
OsGAI	601	SNAFKQASTL	LALFAGGGGV	RVEEKEGCLT	LGWH--TPPL	IATSAWVAF
SLN1	601	SNAFKQASTL	LALFAGGGGV	KVEEKEGCLT	LGWH--TPPL	IATSAWALAA
AFGA11	651	VW-				
AFGA12	651	DW-				
GAI	651	N--				
RGA	651	RY-				
OsGAI	651	R--				
SLN1	651	P--				

図 6-3-4 DELLA 遺伝子と推定される AFGA11 および AFGA12 における他植物とのアミノ酸配列の比較 (後)
 Arabidopsis GAI (Peng et al., 1997, accession number Y15193), RGA (Silverstone et al., 1998, accession number AY054160), rice OsGAI (SLR1) (Ogawa et al., 2000 ; Ikeda et al., 2001, accession number AB030956), barley SLN1 (Chandler et al., 2002, accession number AF460219)

第4節 ネギ単一異種染色体添加系統を用いたシャロットにおける

ジベレリン関連の候補遺伝子の座乗染色体の決定

Spielmeier ら (2004) は、コムギの単一異種染色体添加系統を用い、オオムギにおけるジベレリン生合成関連遺伝子の座乗染色体の決定を行っている。Shigyo ら (1996) は、ネギゲノムを2つとシャロットゲノムを1つ持つ異質三倍体にネギを戻し交雑して、ネギ単一異種染色体添加系統を作出している。現在、本系統を用いて遺伝子分析が行われており (執行, 2002)、タマネギでは連鎖地図と染色体の対応関係の解明などが行われている (Martin ら, 2005; Van Heusden, 2000)。本節では、前節でクローニングしたネギのジベレリン関連の候補遺伝子について、分球タマネギであるシャロットにおける座乗染色体の決定を行った。

材料および方法

Shigyo ら (1996) が作出したシャロットの染色体を一本ずつ持つネギ単一異種染色体添加系統 ($2n=17, FF+1A$ から $FF+8A$) を供試した。ネギ, シャロット, 添加系統のゲノム DNA を鋳型として PCR を行い, 得られた増幅断片を制限酵素で消化した後, 2%アガロースゲル電気泳動を行った。ネギのジベレリン関連の候補遺伝子としてクローニングした *AFGA20ox1*, *AFGA3ox1*, *AFGA2ox1*, *AFGA11*, *AFGA12* 遺伝子のシャロットにおける座乗染色体を決定した。各遺伝子におけるプライマー塩基配列および制限酵素は表 6-4-1 に示したとおりである。なお, 実験に用いたゲノム DNA は山口大学農学部の執行正義博士より譲渡を受けた。

結果および考察

前節においてクローニングしたジベレリン関連の候補遺伝子について, シャロットの染色体を一本ずつ持つネギ単一異種染色体添加系統を用い, シャロットの座乗染色体の決定を行った。いずれの遺伝子においてもネギとシャロットの PCR 産物の断片長に違いは認められなかったことから, PCR-RFLP 法によりシャロットの座乗染色体の決定を行った (表 6-4-2, 図 6-4-1)。その

結果、ジベレリン生合成の候補遺伝子として、*AFGA20ox1*は4A、*AFGA3ox1*は7A、*AFGA2ox1*は4Aに、ジベレリンシグナル伝達関連の候補遺伝子として、*AFGA11*は3A、*AFGA12*は4Aに座乗していた。本実験はシャロットにおける座乗染色体の決定であり、ネギの座乗染色体の決定には、松原ら（2005）が作出したような単一染色体欠失システムを用いる必要がある。塚崎ら（2005, 2006）は、タマネギ DNA マーカーのネギでの利用を試み、それぞれの連鎖群上のマーカーの配列と、既報のネギおよびタマネギの染色体番号との間に矛盾がないこと、ネギとタマネギのゲノム構造は高く保存されていることを報告している。このことから、本研究でクローニングしたジベレリン関連の候補遺伝子について、ネギにおいてもシャロットと同じ染色体番号に座乗している可能性が高いと考えられる。タマネギでは連鎖地図および染色体地図の作成が精力的に行われてきており（Martin ら, 2005 ; Van Heusden, 2000）、今後、ジベレリン関連の候補遺伝子の地図への位置対応も重要な仕事となるであろう。

ジベレリン関連の候補遺伝子が座乗した染色体の添加によって、形態への影響がどのように現れるのか興味をもたれる。ジベレリンの機能として、植物の茎部の伸長制御がある（神谷, 1994）。イネおよびコムギにおける「緑の革命」に関与した遺伝子は、イネでは GA20 位酸化酵素遺伝子の変異による機能喪失（Ashikari ら, 2002 ; Sasaki ら, 2002）であり、コムギでは DELLA タンパク質遺伝子の変異による機能喪失（Peng ら, 1999）であることが明らかにされている。Shigyo ら（1997）は、ネギ単一染色体添加システムの形態的な特徴を報告しており、GA2 酸化酵素および DELLA タンパク質が座乗した 3A 添加個体では「草丈が短い」、「花茎が短い」「葉の展開が遅い」、GA20 酸化酵素および DELLA タンパク質が座乗した 4A 添加個体では「草丈が長い」、「花茎が長い」、GA3 酸化酵素が座乗した 7A 添加個体では「葉の展開が早い」、以上のような形態的な特徴が見られる（表 6-4-2）。他の遺伝子の影響があるなかで、このようにジベレリン関連の候補遺伝子の座乗した染色体の添加された系統において、草丈などジベレリン関連形質に差が見られることは興味深い。

表 6-4-1 ジベレリン関連の候補遺伝子の座乗染色体の決定に用いたプライマーおよび制限酵素

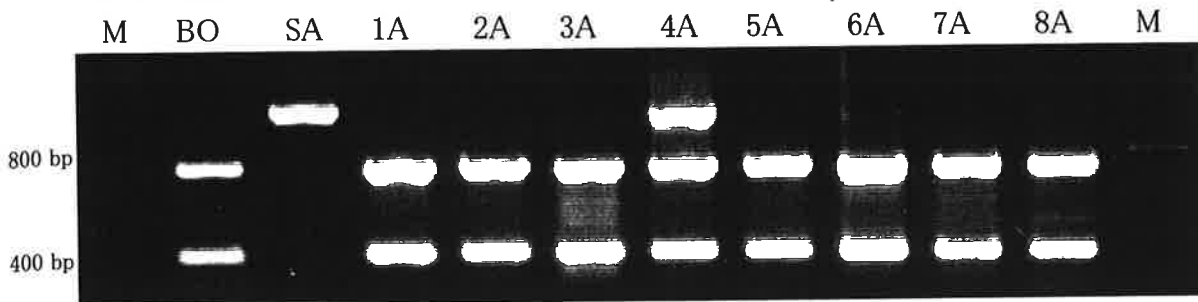
遺伝子名		プライマーの塩基配列	制限酵素
<i>AFGA20ox1</i>	sence	5'-GTGATGCATTGTACTGCATGG-3'	<i>Hinf</i> I
	antisence	5'-GACCACCACCGGTTATCTAC-3'	
<i>AFGA3ox1</i>	sence	5'-ATGCCTTCCATTTCAATGGAACAA-3'	<i>Rsa</i> I
	antisence	5'-CTTCCCATTTCATTGATGC-3'	
<i>AFGA2ox1</i>	sence	5'-CACTTCCTTATGTCCTAACATA-3'	<i>Hae</i> III
	antisence	5'-CCTGAAGGTGCAATGTATAGTC-3'	
<i>AFGA11</i>	sence	5'-AGAGGAACCCGACGCCGCG-3'	<i>Hae</i> III
	antisence	5'-CTTAATCCACATAGAAAAGATAC-3'	
<i>AFGA12</i>	sence	5'-GGAAGAAACAGACGATGGAG-3'	<i>Alu</i> I
	antisence	5'-CACCAAACAACCTCATACTGACAT-3'	

表 6-4-2 ネギ単一染色体添加系統を用いたシャロットにおけるジベレリン関連の候補遺伝子の座乗染色体, 並びにネギ単一染色体添加系統の形態特徴

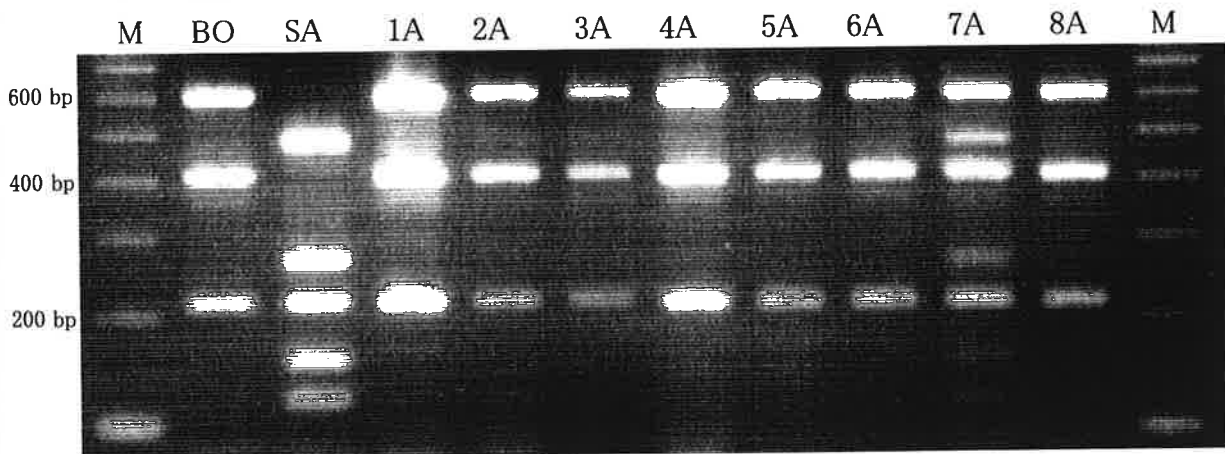
遺 伝 子 名		シャロット	
GA 生合成	GA シグナル伝達	座乗染色体	ネギ単一染色体添加系統の形態特徴 ^z
<i>AFGA2ox1</i>	<i>AFGA11</i>	3A	草丈が短い, 花茎が短い, 葉の展開が遅い, 仏炎包(花球)が小さい
<i>AFGA20ox1</i>	<i>AFGA12</i>	4A	草丈が長い, 花茎が長い, 葉身が濃緑, 分けつが少ない, 葉の展開が遅い, 小花が大きい, 尖った仏炎包(花球)
<i>AFGA3ox1</i>		7A	葉の展開が早い, 秋から冬にかけて腋芽の伸長

^z Shigyo ら(1997)による

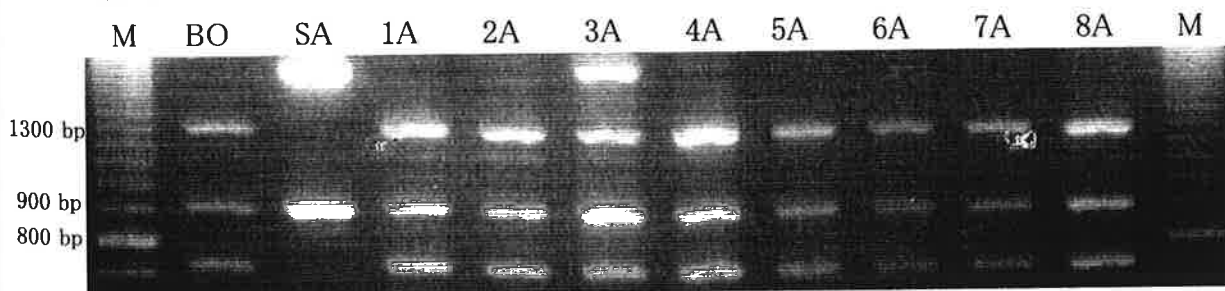
(A) *AFGA20ox1*



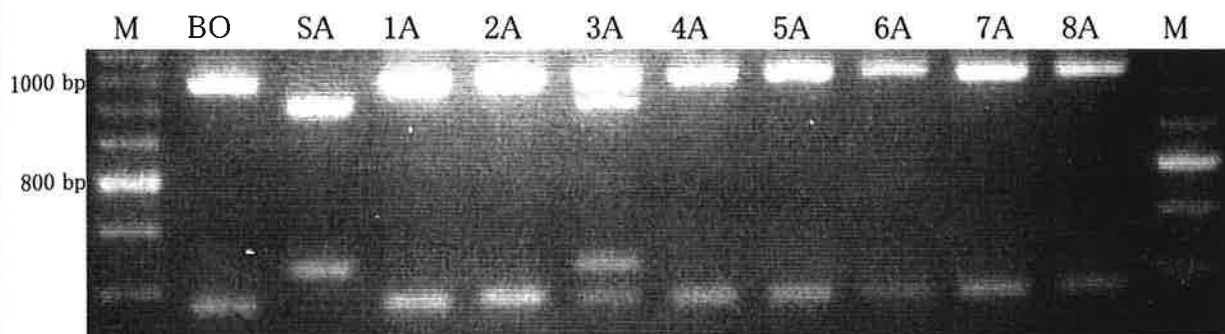
(B) *AFGA3ox1*



(C) *AFGA2ox1*



(D) *AFGAI1*



(E) *AFGAI2*

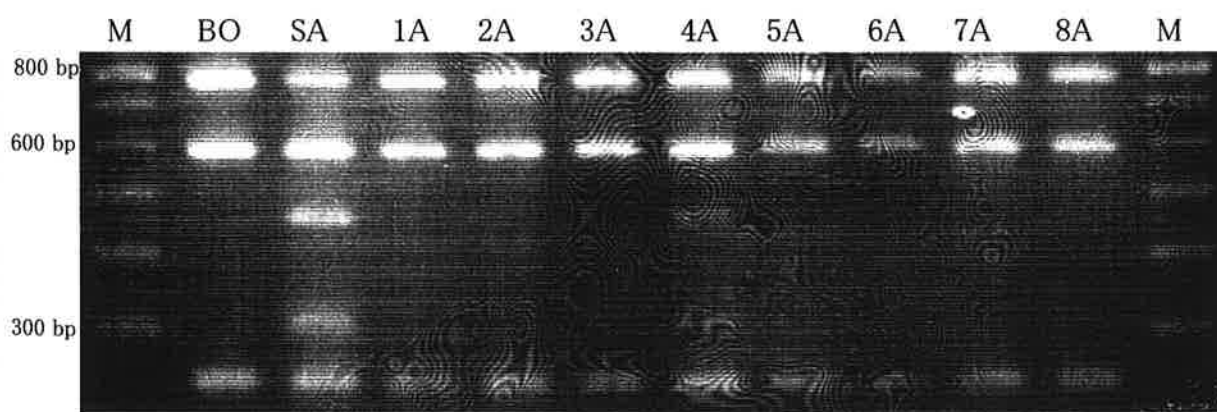


図 6-4-1 ネギ単一染色体添加系統を用いたシャロットにおける
ジベレリン関連の候補遺伝子の座乗染色体の決定
BO はネギ, SA はシャロット, M はマーカーを表す
1A から 8A は添加されたシャロットの染色体番号を表す

第5節 ジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析

本節では、第3節でクローニングしたジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析を行った。

第1項 抽苔および分けつ特性の異なる品種における発現解析

第2節において実験に用いた3品種(表6-2-1)を供試し、花芽分化の非誘導条件下で生育させた後、ジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析を行った。

材料および方法

(1) 植物材料

‘長悦’、‘晩中太’および‘吉晴’を供試し、材料はいずれもプランター(10L)で栽培した。

‘長悦’および‘吉晴’は、2005年5月15日に200穴セルトレイに播種し、7月10日に‘長悦’は15株/プランター、‘吉晴’は5株/プランター、‘晩中太’は9月15日5株/プランターで植え付けをした。これらは10月20日まで鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場の雨よけハウス内で栽培し、その後、鳥取大学農学部のガラス温室(20℃)において栽培した。サンプリングは、各品種とも葉鞘、葉身および根の3つに分け、液体窒素で凍結した後、-80℃で保存した。

(2) ノーザン解析およびRT-PCR解析

全RNAの抽出は第3節に示した方法に従い行った。各サンプルの全RNA10μgを1.2%アガロース(ホルムアミド含有)電気泳動を行った後、ナイロンメンブレン(Amersham)に吸引ブロッキング装置(Amersham)を用いて転写した後、UV照射してRNAをナイロンメンブレンに固定した。

ネギのジベレリン関連の候補遺伝子としてクローニングした *AFGA20ox1*, *AFGA3ox1*, *AFGA2ox1*, *AFGAI1*, *AFGAI2* をそれぞれプローブとした。*AFGAI1* および *AFGAI2* は、両者の3'末端領域の約300bpをPCR(プライマーは、sense: 5' - GCGTTC/TAAGCAGGCCGAGTATG - 3', antisense: ベク

ターの配列 (Reversal primer) で増幅した断片を用いた。プローブは、Megaprime Prime labeling System (Amersham) を用いてランダムプライマー法により ^{32}P ラベルした。65°C で 4 時間のプレハイブリダイゼーションを行った後、標識したプローブを添加し、65°C で一晚ハイブリダイゼーションを行った。ハイブリダイゼーション後、ナイロンメンブレンを 65°C, 2×SSC (0.1% SDS) で 15 分間の洗浄を 2 回繰り返した。次いで 65°C, 0.2×SSC (0.1% SDS) で 15 分間の洗浄を 2 回繰り返した。発現解析はイメージングアナライザー (FLA-5000, FUJIFILM) によって行った。

AFGA20ox1, *AFGA2ox1* は発現量が低く、ノーザン解析では検出できなかったことから、RT-PCR による解析を行った。First Strand cDNA Synthesis Kit (TOYOBO) を用い、各サンプルの全 RNA 1 μg から 1 本鎖 cDNA を合成した。これを鋳型として PCR を行った。反応は、94°C, 5 分間の熱変性、続いて熱変性 94°C, 1 分間、アニーリング 1 分間、伸長 72°C, 2 分間を 30 サイクル、あるいは 40 サイクル行い、最後に 72°C, 10 分間の伸長反応を行った。用いたプライマーは表 6-5-1 に示した。

結果および考察

ノーザン解析および RT-PCR による発現解析の結果を図 6-5-1 に示した。*AFGA3ox1*, *AFGAI1* および *AFGAI2* はノーザン解析で検出できたが、*AFGA20ox1* および *AFGA2ox1* は発現量が低く、RT-PCR による発現解析を行った。

AFGA3ox1 は、いずれの品種も葉身に比べ葉鞘で高い発現が見られた。また、根において‘晩中太’および‘吉晴’は高い発現が見られたが、‘長悦’では低かった。*AFGA20ox1* も葉身に比べ葉鞘で高い発現が見られ、根においても *AFGA3ox1* と同様に‘長悦’に比べ‘晩中太’および‘吉晴’でやや高い発現であった。

AFGAI1 および *AFGAI2* は、いずれの品種の根、葉鞘、葉身においても恒常的に発現しており、いずれの組織においても *AFGAI2* に比べ *AFGAI1* の発現が高かった。*AFGAI1* の発現は葉鞘でやや高い傾向であった。これらのことから、ネギの栄養成長期におけるジベレリンシグナル伝達には、*AFGAI1* が強く影響している可能性が考えられる。

第2項 栄養成長期におけるジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤処理の影響

ジベレリン生合成遺伝子の発現は、活性型ジベレリンによりフィードバック制御されることが数多く報告されている (Itoh ら, 2001; Lester ら, 1999; Phillips ら, 1995; Ross ら, 1999; Thomas ら, 1999; Yamaguchi ら, 1998). 本項では、栄養成長期における‘長悦’において、ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤の処理を行い、生育への影響、並びに *AFGA3ox1*, *AFGAI1*, *AFGAI2* 遺伝子の発現解析を行った。

材料および方法

2005年6月22日に‘長悦’を200穴セルトレイに1穴当たり3粒播種し、8月20日にプランター(10L)に15株ずつ植え付け、鳥取大学農学部のガラス室内で生育させた。施肥は緩効性肥料(12-12-12)を、植え付け時にプランター当たり5g、10月1日に10g施用した。処理は、GA₃(協和発酵、ジベレリン液剤)を20ppm、ウニコナゾールP(アグロス、スミセブンP)を1ppmそれぞれ500ml/プランター、10月1日、8日および15日の計3回行った。生育調査は、1週間おきに草丈、葉身長、葉鞘長および葉数を測定した。実験は各区とも3反復(プランター)とした。処理開始後、0週、1週、2週および4週に葉鞘部をサンプリングし、第1項に示した方法によって、*AFGA3ox1*, *AFGAI1*, *AFGAI2* 遺伝子のノーザン解析を行った。

結果および考察

GA₃(GA区)およびウニコナゾールP(UZP区)処理後のネギの生育推移を図6-5-2に、処理9週後の様子を図6-5-3に示した。UZP区では、処理直後から著しい草丈の抑制が認められ、葉鞘および葉身ともに伸長が抑えられた。一方、GA区は葉身長がやや抑制され、対照区に比べ草丈がやや短くなった。また、GA区およびUZP区ともに花芽分化の誘起は認められなかった(データ省略)。

ノーザン解析の結果を図6-5-4に示した。UZP区における*AFGA3ox1*の発現は、対照区に比べ

て1週後に発現が増加し、2週および4週後も高い発現が認められた。GA区では1週後に発現量が低下したが、その後、2週後および4週後には対照区に比べて発現量が増加した。*AFGAI1*、*AFGAI2*の発現は、GA区およびUZP区ともに明確な傾向は認められなかった。

GA3酸化酵素遺伝子は、活性型ジベレリンの投与によってフィードバック制御を受けることがイネ (Itoh ら, 2001), シロイヌナズナ (Yamaguchi ら, 1998), エンドウ (Ross ら, 1999) において知られている。本実験でも対照区に対して、処理1週後ではGA区で発現量が低下し、UZP区では発現量が増加した。このことから、ネギにおいてもジベレリン投与に対して *AFGA3ox1* はフィードバック制御を受けることが明らかとなった。しかし、GA区では1週後および2週後にもGA₃を処理しているにも関わらず、発現量が増加したことは興味深い。これまでに、ジベレリン処理後にGA3酸化酵素遺伝子の発現量が増加する報告はなく、本実験の結果を説明するのは難しいが、2週後および4週後でGA区の *AFGA3ox1* の発現が高まったことと草丈がやや短くなることとの関連がある可能性も考えられる。

以上、本実験によりのジベレリン投与時に *AFGA3ox1* の発現量に変化することが明らかになったが、不明な点が多く残され、GA₄処理での発現解析も含め再度検討する必要がある。

第3項 花芽の発達と花茎伸長との関係、並びにジベレリン関連遺伝子の発現

これまでに花芽分化後の花茎伸長には、ジベレリンが関係しているという報告は、ホウレンソウ (Dong・Zeevaart, 2002; Zeevaart ら, 1993), ダイコン (Nishijima ら, 1998a), キャベツ (Hamano ら, 2002), シロイヌナズナ (Xu ら, 1997) など幾つかの植物において報告されている。ネギにおいも第1節において、花茎伸長はGA₃処理が早まり、ウニコナゾールP処理で遅くなる結果が得られている。

本項では、‘長悦’を用い、花芽の発達と花茎伸長との関係を明らかにし、花茎を経時的にサンプリングし花球と茎部におけるジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析を行った。

材料および方法

実験材料は、鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場の砂畑（砂丘未熟土）において栽培した。2004年6月20日に‘長悦’を200穴セルトレイに1穴当たり3粒播種し、8月27日に条間1mで深さ15cmの植え溝を切り、ポット間隔15cmで移植し、翌年の5月まで栽培した。総施肥量はN:P₂O₅:K₂O=18.0:18.0:18.0 kg・10a⁻¹とした。実験規模は30 m²、反復なしとした。12月15日から約1か月ごとに、花芽の発達ステージ（表6-5-2）および花茎長の調査を行った。

また、3月から5月にかけて花茎長別に1:0 cmから3 cm, 2:3 cmから5 cm, 3:5 cmから15 cm, 4:15 cmから40 cm, 5:50 cm以上の5段階に分けて、花球と茎部に分けてサンプリングし、第1項に示した方法によって、*AFGA3ox1*, *AFGAI1*, *AFGAI2* 遺伝子のノーザン解析を行った。

結果および考察

ネギの花芽発達のステージを未分化から開花までを8段階に分類して（表6-5-2）, ‘長悦’の花茎伸長の時期に経時的にサンプリングし、花茎長と花芽発達ステージとの関係を調査した（図6-5-5A）。その結果、ネギでは小花形成期から開花に至るまで花茎伸長が続き、花茎伸長に伴い花芽も発達する関係が認められた。また、花被、雄ずい形成期以降に急激な花茎伸長が開始することが明らかとなった。

花茎を長さ別に5段階に分けてサンプリングし（図6-5-5B）, 花球と茎部のノーザン解析を行った（図6-5-5C）。その結果、茎部における*AFGA3ox1*の発現は、2の段階（3-5cm）で高まり、その後、茎部伸長に伴い減少した。一方、花球における*AFGA3ox1*の発現は、4の段階（15-40cm）で高まった。また、*AFGAI1*および*AFGAI2*は、*AFGA3ox1*と同様な発現パターンが認められ、花球および茎部ともに*AFGAI2*に比べ*AFGAI1*の発現が高かった。なお、*AFGA20ox1*および*AFGA2ox1*は発現量が低く、ノーザン解析では検出できなかった（データ省略）。

ハウレンソウでは、花茎伸長時に内生の活性型ジベレリンが高まり（Zeevaart ら, 1993）, この増加には、GA20酸化酵素遺伝子の発現が関わっていることが明らかにされている（Dong・Zeevaart, 2002）。本実験では、*AFGA20ox1*の発現はノーザン解析で検出できなかったが、*AFGA3ox1*

の発現は、茎伸長が急激に高まる花被、雄ずい形成期に高まったことから、花茎伸長にはジベレリンが密接に関わっていると推察される。また、*AFGA3ox1* と *AFGAI1* および *AFGAI2* との発現パターンが類似していたことは興味深い。ダイコン (Nakayama ら, 1995), ゲンバイナズナ (Hazebroek ら, 1993 ; Metzger ら, 1990) においては、低温遭遇中あるいは遭遇後に劇的にジベレリンの代謝が変化することが報告されている。さらに、Oka ら (2001) は、トルコギキョウおよびシロイヌナズナにおいて春化後にジベレリン感受性が高まることを報告している。本実験における茎部における *AFGA3ox1* と *AFGAI1* および *AFGAI2* の発現が高まった結果は、花芽分化後のジベレリンの代謝と感受性の変化により急激な茎伸長が起こることを示唆している。

花球において *AFGA3ox1*, *AFGAI1* および *AFGAI2* の発現の高まった 4 の段階 (15-40cm) は、小花の発達における花粉、胚珠形成期 (スコア : V) にあると推定される。Kobayashi ら (1990) はイネの未熟な葯においてジベレリンが蓄積していること報告しており、花粉形成において GA3 酸化酵素遺伝子が発現していることが Itoh ら (2001) により明らかにされている。これらのことからネギにおいても葯の発達、花粉形成にジベレリンが関与している可能性が示唆される。

表 6-5-1 RT-PCR 発現解析に用いたプライマーの塩基配列

遺伝子名		プライマー塩基配列 ²
AFGA20ox1	sence	5'-GTGATGCATTGTACTGCATGG-3'
	antisence	5'-GACCACCACCGGTTATCTAC-3'
AFGA2ox1	sence	5'-CACTTCCTTATGTCCCTAACATA-3'
	antisence	5'-CCTGAAGGTGCAATGTATAGTC-3'
Actin	sence	5'-GGAATGGTCAAGGCTGGATTTGC-3'
	antisence	5'-ACGGCCTGGATAGCAACATACAT-3'

表 6-5-2 ネギの花芽発達ステージの分類

スコア	花芽の発達ステージ [*]
0	未分化
I	肥厚期から総包形成期
II	小花形成期
III	花被, 雄ずい形成期
IV	葯形成, 雄ずい形成期
V	花粉, 胚珠形成期
VI	花粉粒形成, 柱頭初生期
VII	開花

* 江口ら(1958a,b), Yamasakiら(2000b)の報告をもとに分類した

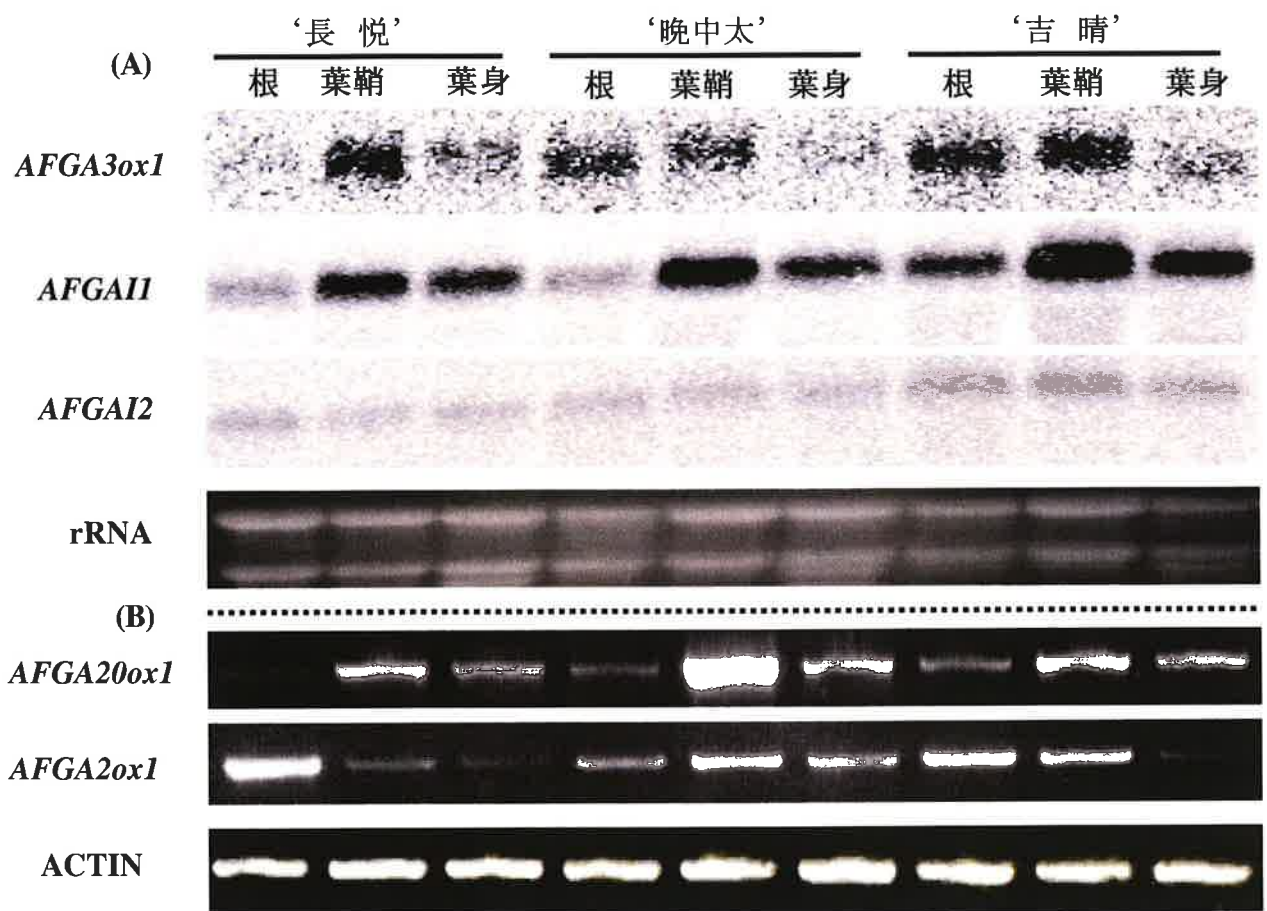


図 6-5-1 品種の組織別におけるジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析

(A) ^{32}P ラベルしたプローブによるノーザン解析

(B) RT-PCR による発現解析

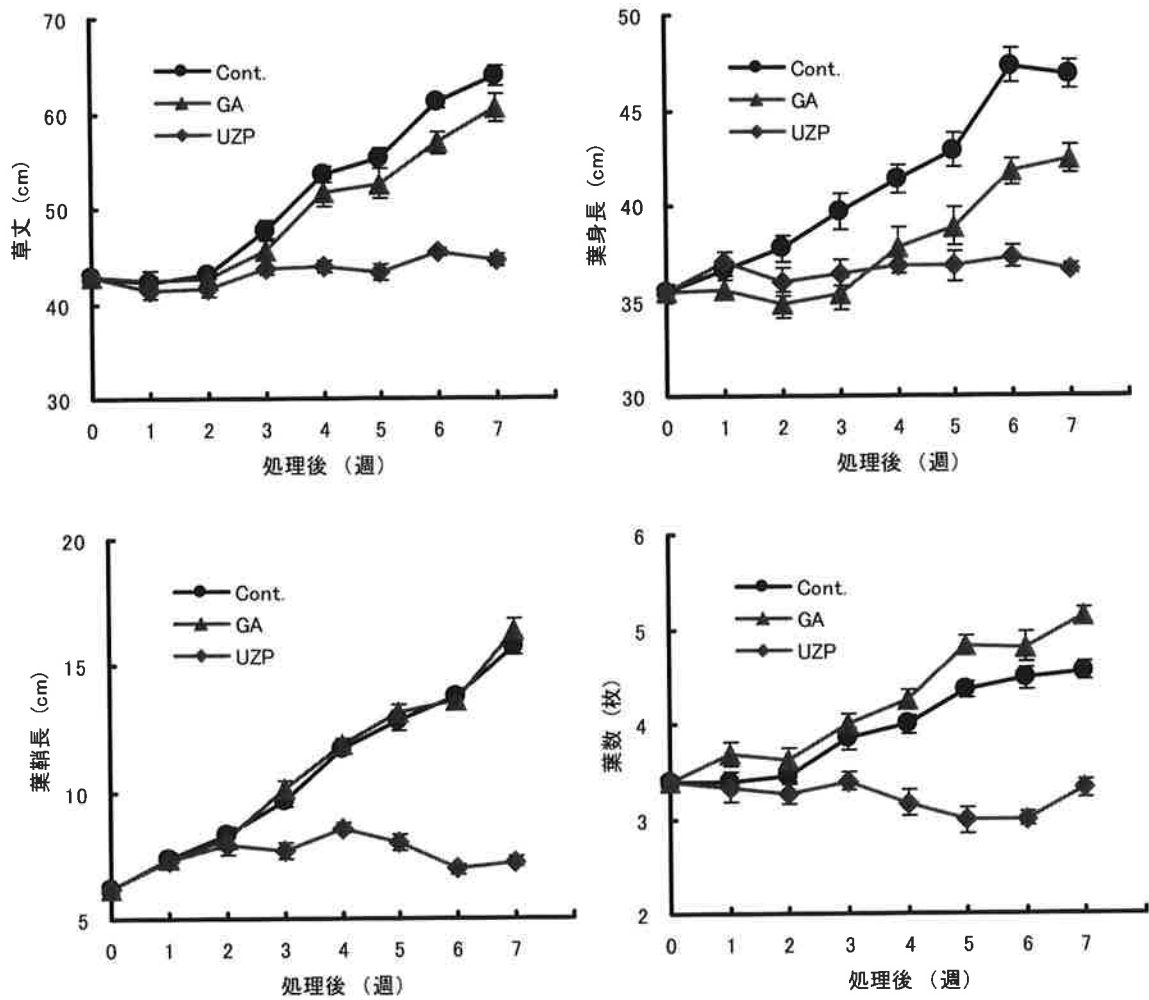


図 6-5-2 ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が生育に及ぼす影響

品種は‘長悦’を供試した

処理はジベレリン:GA₃液剤の 20 ppm, ジベレリン生合成阻害剤:ウニコナ

ゾールP液剤の 1 ppm を, 0, 1, 2 週の計 3 回行った

図中のバーは標準誤差 (n=10) を表す



对照区

GA区

UZP区

図 6-5-3 ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が生育に及ぼす影響
写真は処理 9 週後

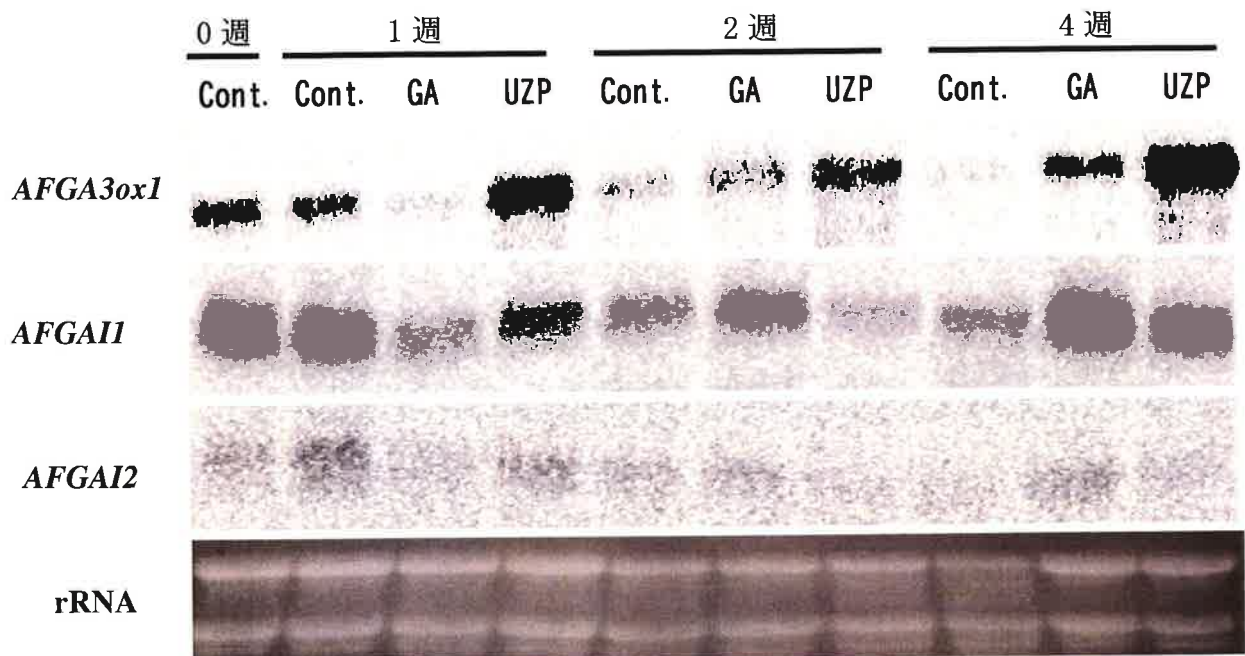


図 6-5-4 ジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤が *AFGA3ox1*, *AFGAI1*, *AFGAI2* 遺伝子の発現に及ぼす影響 (ノーザン解析)

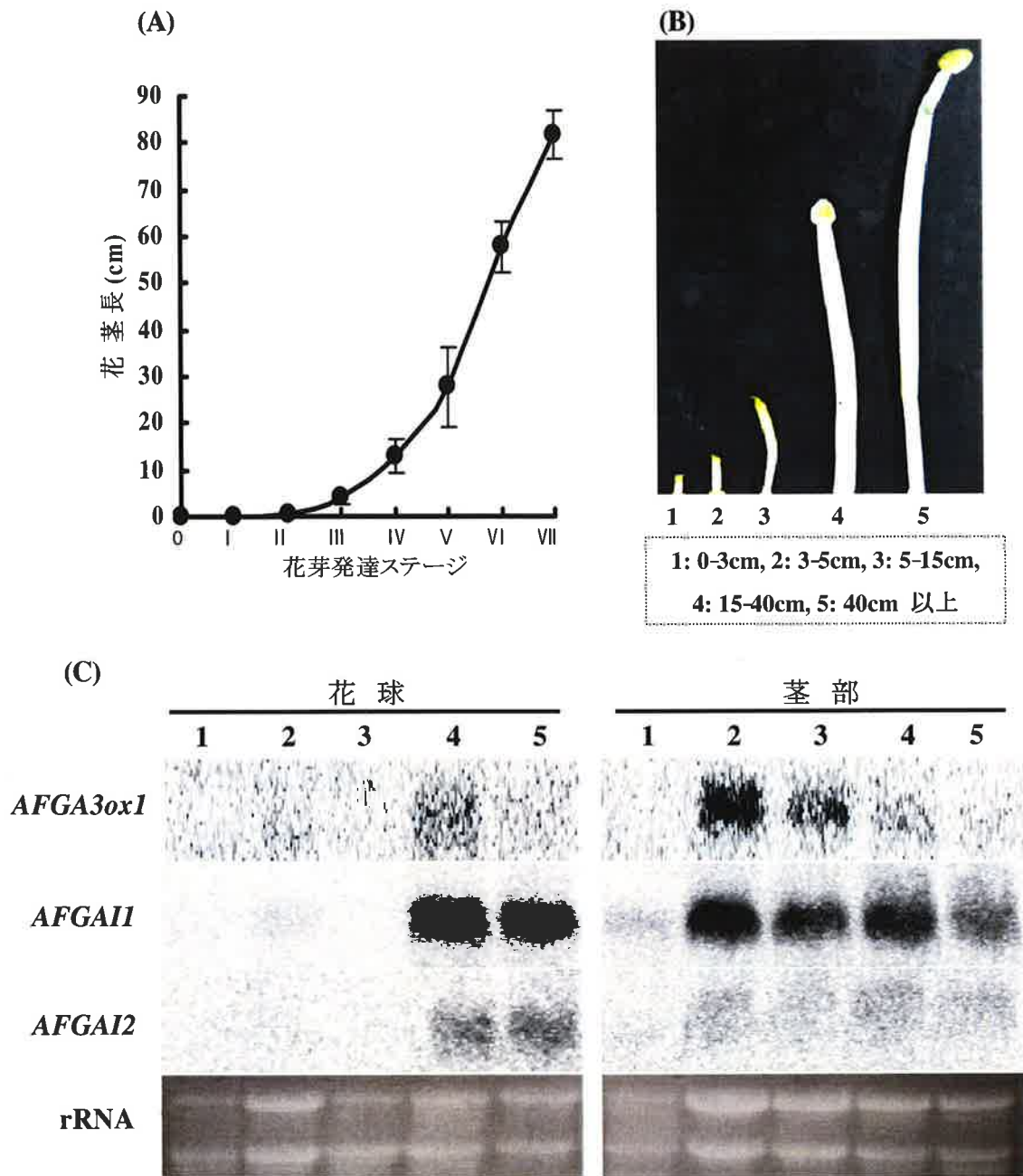


図 6-5-5 花芽発達における *AFGA3ox1*, *AFGAI1*, *AFGAI2* 遺伝子の発現解析

品種は‘長悦’を用いた

(A) 花芽発達ステージと花茎長との関係

(B) 花茎長別にサンプリングした

1: 0-3cm, 2: 3-5cm, 3: 5-15cm, 4: 15-40cm, 5: 40cm 以上

(C) 花球および茎部におけるノーザン解析

第6節 総合考察

(1) ネギの内生ジベレリンについて

本実験では、13位水酸化ジベレリンとして GA_1 , GA_3 , GA_{20} が、13位非水酸化ジベレリンとして GA_4 , GA_9 , GA_{34} が同定され、ネギにおいては早期13位水酸化経路と早期非水酸化経路の2つが機能していることが明らかとなった(図6-6-1)。また、 GA_{12} 以降のジベレリンの生合成に関わる候補遺伝子として、GA20酸化酵素(*AFGA20ox1*)、GA3酸化酵素(*AFGA3ox1*)、GA2酸化酵素(*AFGA2ox1*)をそれぞれクローニングした(図6-6-1)。ネギの葉鞘部において、前駆体ジベレリンでは GA_{20} に比べて GA_9 の含量が高く、活性型ジベレリンでは GA_1+GA_3 に比べ GA_4 の含量が高かったことから、地上部の伸長には早期非水酸化経路の GA_4 が主に機能していると推察される。

ネギの地上部における GA_4 含量は、葉身に比べて葉鞘で高く、*AFGA3ox1* の発現も同様に葉身に比べて葉鞘で高かった。一方、葉鞘の GA_4 含量は品種間差が認められ、‘長悦’に比べ‘晚中太’および‘吉晴’で高かった。*AFGA3ox1* の発現は、葉鞘において品種間で差は見られなかったものの、根において違いが認められ、‘長悦’に比べ‘晚中太’および‘吉晴’では高い発現が認められた。本実験では根におけるジベレリン含量を測定していないが、*AFGA3ox1* の発現解析の結果から根で生成された GA_4 が葉鞘に移動しているために、‘晚中太’および‘吉晴’で GA_4 含量が高まった可能性も考えられる。‘晚中太’と‘吉晴’との共通の特性は、分げつ性を有することである。ネギに外生ジベレリンを処理することで、分げつの発生が増加することが、村井ら(1981)、山崎ら(2006, 2007)によって報告され、ネギの分げつの発生にジベレリンが関与している可能性が示唆されている。本実験の分げつ性を有する‘晚中太’と‘吉晴’で GA_4 含量が高かったことは、分げつの発生機構にジベレリンが関与している可能性を示唆しており、今後、詳細な検討が必要であろう。

‘長悦’および‘吉晴’の芽生えを用いたジベレリンの投与実験において、両品種では伸長反応が異なった。この結果から、ネギにおいてジベレリンの反応性に品種間差があることが示唆される。ジベレリンと植物の生理現象との関連について考える場合、活性型ジベレリン含量のみで

なく、反応性についても考える必要がある。ジベレリンシグナル伝達に関する研究は、分子生物学の分野で近年急速に進み、モデル植物であるイネ、シロイヌナズナにおいてシグナル伝達のしくみが明らかにされつつある（芦刈・松岡，2004；池田ら，2003；Pengら，1998；Ueguchi-Tanakaら，2005）。コムギ *Rht1*，トウモロコシ *D8*，シロイヌナズナ *gai* は、ジベレリンの投与により成長を回復しない半矮性の突然変異体であり、DELLA タンパク質に欠陥を有するため、非感受性を示すと考えられている（Ikedaら，2001；Pengら，1998）。これらの突然変異体は、野生型に比べ20倍から100倍に活性型ジベレリン含量が高まっている（Appleford・Lenton，1991；Fujiokaraら，1988）。これらの報告から、‘吉晴’はジベレリンに対する反応性が低いために、内生 GA₄ 含量が高まっている可能性も推察される。しかし、上述の非感受性の変異体が矮性であるに対して、‘吉晴’の草型は矮性を示さないことから、‘吉晴’が非感受性変異体である可能性は低いと考えられる。ネギのジベレリンに対する感受性の違いについては、今後の検討が必要であろう。

(2) ネギの花成におけるジベレリンの影響

一般に、花成に伴う茎伸長には、ジベレリンが関与することが定説となっている（Chouard，1960；Pharis・King，1985）。また、低温要求性の長日植物の中には、花成非誘導条件下でジベレリンの投与により生殖生長への移行が起こるものが多い（Pharisら，1985；Zeevaart，1983）。低温による花成誘導から花芽分化に至る過程において、ジベレリンを必要とする過程は花成誘起の段階である可能性が、カリフラワー（Wurrら，1981）、ストック（Hisamatsuら，1998）、ダイコン（Nishijimaら，1998a）で示唆されている。その一方で、ジベレリンを投与しても花成の誘起ができない事例、ジベレリン生合成阻害剤によって抽苔が抑制されても花成が抑制されない事例もある（Zeevaart，1983）。ネギは低温要求性を示すが短日植物である（八鍬・興水，1969）ことから、上述の長日植物の場合とは、花成に対するジベレリンの関与が異なることが予想される。以下、ネギの花成、抽苔におけるジベレリンの役割を3つに分けて考察する。

1) 花成非誘導条件下におけるジベレリンの花芽分化への影響

花成非誘導条件下、つまり、栄養生長期に GA₃ およびウニコナゾール P の処理を行っても、花芽分化が誘起されなかった（第 5 節の第 2 項）。このことから、シロイヌナズナの花成モデル（Mouradov ら、2002）で提唱されているようなジベレリン経路（Gibberellin Pathway）は、ネギにおいて存在しない可能性が示唆される。

2) 花成誘導条件下におけるジベレリンの花芽分化への関与

花成誘導条件下の初夏どり栽培（トンネル被覆条件下）における GA₃ およびウニコナゾール P の処理により、両者とも抽苔率が高まったことから（第 1 節）、花成誘導条件下においては花芽分化の誘起への何らかの関与が疑われる。しかし、ジベレリンおよびジベレリン阻害剤、相反するものを処理したにも関わらず、両者で抽苔率が高まったことから、花成誘導条件下におけるジベレリンの花芽分化への関与は不明である。本研究では、両者の処理で抽苔率が高まった理由を説明できる十分な知見を得ることができなかったことから再度検討が必要である。

3) 花芽分化後の花茎伸長におけるジベレリンの関与

第 1 節において、GA₃ 区では抽苔が早まり、ウニコナゾール P 区では抽苔が遅くなったことから、花茎の伸長にはジベレリンが機能していると考えられる。このことは、第 5 節の第 3 項で行ったジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析からも支持される。また、花芽発達の後期にあたる花粉・胚珠形成に GA3 酸化酵素遺伝子および DELLA タンパク質遺伝子の発現が高まっていたことから、花芽発達の後期にもジベレリンが関与している可能性が示唆される。

以上のように、花茎伸長にはジベレリンが関与していることを明らかにしたが、花成誘導条件下におけるジベレリンの花芽分化への関与は明らかにできなかった。初夏どり栽培においてジベレリンおよびジベレリン生合成阻害剤ともに抽苔率が高まったことから、ダイコンで実験されているようなジベレリン阻害剤による抽苔制御（Nishijima ら、1998b）は、ネギにおいて実用化

できないと考えられる。また、花芽分化後の花茎伸長の抑制をジベレリン生合成阻害剤処理によって、花茎が葉鞘の外部に現れることを数日間ほど遅らすことができる可能性もあるが、ジベレリン阻害剤処理によるネギの形態への影響が大きいためから実用的ではないと考えられる。

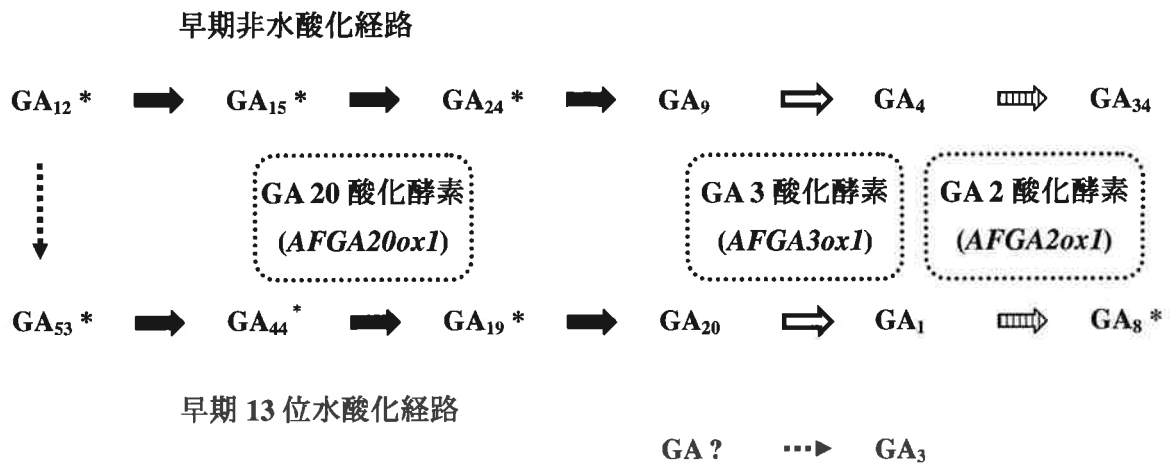


図 6-6-1 ネギにおける推定ジベレリン生合成経路

図中の* は本実験において同定されなかった推定ジベレリンを表す
 図中の黒矢印:GA 20 位酸化酵素, 白矢印:GA 3 酸化酵素,
 縞矢印:GA 2 酸化酵素, それぞれの生成に関与することを表す

総 括

ネギは、我が国において野菜生産量が第4位(MAFF, 2006)の重要な野菜である。鳥取県の弓浜砂丘地区では、戦前から根深ネギの秋冬どり栽培の産地が形成されており、その後、周年供給に対応するために、春どり栽培および夏どり栽培が導入された(近藤, 1997)。一方、1983年に‘長悦’が育成されて以来、各試験研究機関においてネギの花芽分化および抽苔制御に関する研究(阿部・中住, 2004; 安藤ら, 2002; 本間ら, 1999; 山崎(Yamasaki)ら, 1995, 1998, 2000a, 2000b, 2000c, 2002, 2003, 2005; 吉原, 2004)が積極的に行われ、トンネル被覆を利用した初夏どり栽培技術の確立(安藤, 2002; 田畑ら, 1992, 1993, Yamasakiら, 2003)などにより、一本ネギの作期の拡大がはかられた。しかし、鳥取県における初夏どり栽培では、抽苔発生による減収がしばしば問題となっている。本研究では、過去の知見の蓄積を参考にしながら、初夏どり栽培における抽苔を制御した安定生産技術の開発に関する実験を行い、次いで一本ネギの周年出荷を目的に初夏どり栽培の前進化について検討を行った。また、ネギにおいてジベレリンは、花成(抽苔)、茎葉伸長、分けつなどに重要な役割を果たしていると考えられるが、ジベレリンに関する研究事例は少ない。そこで、ネギの生育、花成におけるジベレリンの機能解明の第一歩として、ネギのジベレリンに関する基礎的な知見を得ようとした。

1. 初夏どり栽培における花芽分化の開始時期、並びに花芽分化に関わる植物体の大きさ

花芽分化の過程を明確にするために、晩生品種の‘長悦’と中生品種の‘吉蔵’を供試し、初夏どり栽培における花芽分化の開始時期を明らかにしようとした。その結果、両品種とも2月中旬頃に花芽分化を開始することが明らかとなった。花芽分化率と植物体の大きさとの関係をみると、葉鞘径では‘吉蔵’で5 mmから6 mm, ‘長悦’で7 mmから8 mm, 分化葉位では‘吉蔵’で7, ‘長悦’で8前後の大きさに達した個体で花芽分化が認められた。この結果、花芽分化が始まる植物体の大きさには品種間差があることが明らかとなった。また、山崎(2002)も指摘しているが、花芽分化の開始時の分化葉位は一定の傾向となることが明らかとなった。

2. 施肥窒素とトンネル被覆による抽苔制御

1) 花芽分化の開始時期の液肥が植物体の窒素レベル、抽苔および収量に及ぼす影響

初夏どり栽培の花芽分化の開始時期である2月中旬に窒素量を変えて液肥処理を行った結果、植物体の窒素レベルは、処理濃度に伴って高くなった。植物体の窒素レベルは、抽苔率および収量に影響を及ぼし、花芽分化を抑制する植物体の窒素レベルには閾値があることが示唆された。また、花芽分化が可能な植物体の大きさと植物体の硝酸イオン濃度の関係をみることで、抽苔を抑制する栄養診断の指標ができる可能性が示唆された。以上の結果、初夏どり栽培における花芽分化の開始時期の肥培管理は、抽苔抑制および多収のために重要であると考えられた。また、液肥の灌注処理後、直ちに植物体の窒素レベルが高まったことから、液肥の灌注処理は、花芽分化が起こり得る時期の施肥方法として有効であると考えられる。

2) トンネル内植え溝施肥が抽苔および収量に及ぼす影響

初夏どり栽培では、基肥の窒素肥料が全層施肥されている。しかし、トンネル被覆期間中は土寄せ作業が行えず、全層施肥では春季までに条間の肥料が流亡するために肥料の利用効率が低いと考えられる。そこで、トンネル被覆期間中の肥効の持続、肥料の利用効率の向上を目的に、全層施肥に代わる施肥方法としてネギの側条に施肥する植え溝施肥法について検討を行った。トンネル内の植え溝施肥の肥料タイプについて、イソブチリデン 2 尿素 (IB) 配合の複合肥料 (IB 肥料) と被覆尿素の複合肥料 (LP コート肥料) を比較した結果、IB 肥料が適していた。両者の肥料効果が異なった要因として、トンネル被覆内の土壌水分および地温が影響していると考えられる。IB 肥料の植え溝施肥は、全層施肥に比べて増収効果が認められ、抽苔が多発した年次の実験において抽苔発生を低率に抑制した。また、IB 肥料の植え溝施肥では、トンネル被覆期間中の追肥が不要であったが、被覆資材の種類によってトンネル被覆内の環境が異なり、肥効の発現が異なる可能性も考えられた。

3) トンネル被覆資材と施肥方法が生育、抽苔および収量に及ぼす影響

初夏どり栽培では、数種のトンネル被覆資材が個々に利用されているが、保温特性は明らかにされておらず、トンネル被覆資材の保温特性に基づいた肥培管理が行われていないことが抽苔発

生の要因となっていると考えられる。そこで、トンネル被覆資材と施肥方法が生育、抽苔および収量に及ぼす影響について調査した。昼間の平均気温および平均地温は、ポリオレフィンフィルム (P0) で最も高く、有滴ポリエチレンフィルム (農ポリ) で低かった。また、P0 および無滴農ポリでは、土壌の乾湿の差が大きい傾向が見られた。抽苔率は、有滴農ポリでは全層区に比べ植え溝区で低かったが、P0 および無滴農ポリでは全層区に比べて植え溝区で高く、抽苔率および収量に被覆資材と施肥方法の交互作用が認められた。山崎 (2002) は、ネギとイチゴの花芽分化における環境条件に対する反応や炭素、窒素の栄養の動態について、両者の類似性が高いことを指摘した上で、イチゴの花芽分化に対する窒素の影響は高温域で強いことから、ネギの場合にも、脱春化の誘導に窒素が関わっている可能性を考察している。本実験において被覆資材と施肥方法の交互作用に有意差が認められた結果は、脱春化の誘導に窒素が影響する可能性を示唆するものである。以上の結果、初夏どり栽培では、P0 などの保温性の高いトンネル被覆資材は花芽分化の抑制に有効であることが明らかとなった。また、保温性の高い被覆資材を用いる場合、窒素肥料をきらさないような肥培管理によって抽苔抑制の効果を高めることが必要であると考えられる。

3. 晩抽性新品種の特性解明

近年、ネギはF₁品種が多く育成されているが (吉田, 2001), 晩抽性のF₁品種は、採種が不安定なことから開発が遅れていた (吉岡, 2001)。最近になってようやく晩抽性のF₁品種が育成された。そこで、初夏どり栽培、春どり栽培において晩抽性新品種の‘羽緑一本太’および‘春扇’について‘長悦’と比較した。その結果、‘羽緑一本太’は‘長悦’に比べて晩抽性に優れ、肥大がやや劣る品種であった。‘春扇’は‘長悦’に比べて晩抽性は同等であり、肥大に優れる品種であった。

4. 電熱線によるネギの側条地中加温が抽苔および生育に及ぼす影響

山崎・田中 (2002) は、低気温下における高地温はネギの抽苔を有意に抑制すること、ネギの

主たる低温の感応部位は茎頂近傍もしくは根であることを報告している。そこで、茎頂近傍と根の両方に有効に温度を作用させる方法として、一定温度に制御した電熱線（約 20℃）をネギの植物体に接するように埋設する側条地中加温法による抽苔抑制および生育促進の効果について検討を行った。その結果、地中加温区は、無処理区の 2 倍の出葉速度を示し、ネギの地上部および地下部の乾物重も有意に増加した。一方、草丈および葉身長には地中加温の影響が認められなかった。無処理区の抽苔率は約 10%から 30%であったのに対して、地中加温区ではほとんど認められなかった。以上の結果、電熱線によるネギの側条地中加温は、初夏どり栽培における抽苔抑制および生育促進に有効であることが示され、新しい抽苔制御の方法として期待できる。

5. 晩抽性新品種を利用した初夏どり栽培の前進化の可能性

鳥取県の本ネギの栽培は、春どり栽培として 4 月下旬まで収穫され、初夏どり栽培は 5 月下旬から収穫がはじまり、本ネギの端境期は 5 月上旬から中下旬である。この端境期には‘坊主不知’が出荷されているが、市場からは本ネギの周年供給が求められている。そこで、本ネギの端境期をなくすために、第 1 章から第 4 章において得られた知見を踏まえて、トンネルの種類として中型トンネル（幅 160 cm）と小型トンネル（幅 50 cm）、品種として‘羽緑一本太’と‘春扇’を組み合わせ、初夏どり栽培の約 2 週間の前進化について検討を行った。トンネル内の平均温度は、小型トンネル区に比べ中型トンネル区で高く、トンネル被覆期間中の生育および収穫時の肥大は、中型トンネル区で優れていたが、両トンネル区とも 5 月 10 日には出荷規格の大きさに達していた。5 月 10 日の抽苔率は‘羽緑一本太’で約 3%、‘春扇’で約 5%であった。以上の結果、‘羽緑一本太’および‘春扇’を用いて初夏どり栽培の前進化の可能性があることが示唆された。また、中型トンネルは、小型トンネルに比べ保温性が高く、生育促進および脱春化の誘導に有効であると考えられる。しかし、鳥取県では生産者の高齢化が進んでおり、中型トンネルではトンネル被覆の労力がかかり、生産現場における普及は難しいと考えられることから、小型トンネルを用いた初夏どり栽培の前進化技術の確立が必要と考えられる。

6. ネギの生育・花成におけるジベレリンの機能解明

ネギにおいてジベレリンは、花成（抽苔）、茎葉伸長、分げつなどに重要な役割を果たしていると考えられるが、ジベレリンに関する研究事例は少ない。また、*Allium* 属における内生ジベレリンを調べた事例は、タマネギ (Nojiri ら, 1993), ワケギ (Yamazaki ら, 2002) などであるが、ネギにおいては報告がない。そこで、ネギの生育、花成におけるジベレリンの機能解明の第一歩として、ネギのジベレリンの同定、ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングを行った。また、ジベレリン含量の品種間差、ジベレリン関連の候補遺伝子の発現について検討を行った。

1) 内生ジベレリン

抽苔および分げつの特性が異なる‘長悦’および‘晚中太’の地上部からジベレリンの検索、同定を行った。矮性イネを用いた生物検定でジベレリン様活性が認められる画分は、‘長悦’と‘晚中太’で一致していた。GC/MS 解析によって、両品種の地上部から 13 位-水酸化ジベレリン (GA_1 , GA_3 および GA_{20}), 13 位-非水酸化ジベレリン (GA_4 , GA_9 および GA_{34}) が同定された。‘長悦’の芽生えに GA_3 および GA_4 処理を行った結果、 GA_3 に比べ GA_4 で高い伸長反応が見られた。以上の結果、ネギでは早期 13 位水酸化経路と早期非水酸化経路が機能しており、ネギの茎葉伸長を制御する主な活性型ジベレリンは GA_4 であると推察された。

2) ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニング

‘長悦’からジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングを行った。その結果、ジベレリン合成に関わる遺伝子、 GA_{20} 酸化酵素 (*AFGA20ox1*), GA_3 酸化酵素 (*AFGA3ox1*) および GA_2 酸化酵素 (*AFGA2ox1*) をクローニングした。また、ジベレリンシグナル伝達の抑制因子である GAI ホモログ遺伝子を 2 タイプ (*AFGA11*, 2) クローニングした。ジベレリン関連の候補遺伝子は、他種植物と 50% 前後の相同性がみられた。*AFGA11*, 2 は N 末端領域に GA 応答に関わる DELLA ドメインが存在し、互いに 72% の相同性が認められた。

3) 内生ジベレリン含量の品種間差、並びに GA_3 酸化酵素遺伝子 (*AFGA3ox1*) の発現

抽苔および分げつの特性が異なる‘長悦’, ‘晚中太’および‘吉晴’の葉身および葉鞘における内生ジベレリン含量を調査した。葉鞘におけるジベレリン含量についてみると、各品種とも前

駆体ジベレリンでは GA_{20} に比べ GA_9 の含量が高く、活性型ジベレリンでは $GA_1 + GA_3$ に比べ GA_4 が高含量であった。 GA_4 は、各品種とも葉身に比べて葉鞘において高含量であった。葉鞘における GA_4 含量は、‘長悦’ に比べ ‘晩中太’ で 1.5 倍、‘吉晴’ で 3.5 倍であった。

AFGA3ox1 の発現は、いずれの品種においても葉身に比べ葉鞘で高かった。葉鞘部における *AFGA3ox1* の発現には、品種間で差が認められなかった。一方、根における *AFGA3ox1* の発現には品種間で差が見られ、葉鞘で GA_4 含量が高かった ‘晩中太’ および ‘吉晴’ で高い発現が認められた。以上の結果、葉鞘における GA_4 含量に品種間で差が認められた要因は、根における *AFGA3ox1* の発現、つまり、根からのジベレリンの移動である可能性が考えられた。

4) 花芽の発達、花茎伸長期におけるジベレリン関連の候補遺伝子の発現解析

‘長悦’ の花茎伸長の時期に経時的にサンプリングし、花茎長と花芽発達ステージとの関係を調査した結果、ネギでは小花形成期から開花に至るまで花茎伸長が続き、花茎伸長に伴い花芽が発達する関係が認められた。また、花被、雄ずい形成期以降に急激な花茎伸長が開始することが明らかとなった。次いで、花茎を長さ別に 5 段階に分けてサンプリングし、花球と茎部のノーザン解析を行った結果、*AFGA3ox1* の発現は茎部において抽苔の初期から中期に高まり、一方、花球においては抽苔の後期、すなわち、小花の発達における花粉、胚珠形成期に高まった。また、DELLA タンパク質をコードする *AFGAI1* および *AFGAI2* は、*AFGA3ox1* と同様な発現パターンが認められた。以上の結果、ネギの花芽分化後の花茎伸長および花芽の発達にはジベレリンが機能していることが示唆された。

本研究では、初夏どり栽培における花芽分化が開始する時期および植物体の大きさを把握し、脱春化の誘導と窒素の肥培管理との組合せによる栽培技術が抽苔を抑制した安定生産のために重要であることが明らかとなった。また、これらの栽培管理の知見と晩抽性新品種を組み合わせることで一本ネギの周年出荷の可能性もうかがえ、さらに、側条地中加温法はこれまでにない新しい抽苔抑制の方法として期待できると考えられる。また、本研究で実施したネギのジベレリンの基礎研究は、今後、ジベレリンに関する研究を進める上で重要な知見となると考えられる。

和文摘要

鳥取県において、ネギは周年出荷が行われており生産額が最も高い重要な野菜である。しかし、ネギの端境期にあたる初夏どり栽培では、抽苔の発生による生産不安定が問題となっている。そこで本研究は、ネギにおける花芽分化と抽苔の生理を明らかにし、初夏どり栽培における抽苔を制御した安定生産技術の開発を目的に実施した。

1. 初夏どり栽培における花芽分化の開始時期、並びに花芽分化に関わる植物体の大きさ

花芽分化の過程を明確にするために、晩生品種の‘長悦’と中生品種の‘吉蔵’を供試し、初夏どり栽培における花芽分化の開始時期を明らかにしようとした。その結果、両品種とも2月中旬に花芽分化を開始することが明らかとなった。花芽分化率と植物体の大きさとの関係を見ると、葉鞘径では‘吉蔵’で5 mmから6 mm, ‘長悦’で7 mmから8 mm, 分化葉位では‘吉蔵’で7, ‘長悦’で8前後の大きさに達した個体で花芽分化が認められた。この結果、花芽分化が始まる植物体の大きさには品種間差があることが明らかとなった。

2. 施肥窒素とトンネル被覆による抽苔制御

1) 花芽分化の開始時期の液肥が植物体の窒素レベル、抽苔および収量に及ぼす影響

初夏どり栽培の花芽分化の開始時期である2月中旬に窒素量を変えて液肥処理を行った結果、植物体の窒素レベルは、処理濃度に伴って高くなった。植物体の窒素レベルは、抽苔率および収量に影響を及ぼし、花芽分化を抑制する植物体の窒素レベルには閾値があることが示唆された。以上の結果、初夏どり栽培における花芽分化の開始時期の肥培管理は、抽苔抑制および多収のために重要であると考えられた。

2) トンネル内植え溝施肥が抽苔および収量に及ぼす影響

初夏どり栽培では、基肥の窒素肥料が全層施肥されている。しかし、トンネル被覆期間中は土寄せ作業が行えず、全層施肥では春季までに条間の肥料が流亡するために肥料の利用効率が低い

と考えられる。そこで、トンネル被覆期間中の肥効の持続、肥料の利用効率の向上を目的に、全層施肥に代わる施肥方法としてネギの側条に施肥する植え溝施肥法について検討を行った。トンネル内の植え溝施肥の肥料タイプについて、イソブチリデン 2 尿素 (IB) 配合の複合肥料 (IB 肥料) と被覆尿素の複合肥料 (LP コート肥料) を比較した結果、IB 肥料が適していた。IB 肥料の植え溝施肥は、全層施肥に比べて増収効果が認められ、抽苔が多発した年次の実験において抽苔発生を低率に抑制した。

3) トンネル被覆資材と施肥方法が生育、抽苔および収量に及ぼす影響

トンネル被覆資材と施肥方法が生育、抽苔および収量に及ぼす影響について調査した。昼間の平均気温および平均地温は、ポリオレフィンフィルム (P0) で最も高く、有滴ポリエチレンフィルム (農ポリ) で低かった。また、P0 および無滴農ポリでは、土壌の乾湿の差が大きい傾向が見られた。抽苔率は、有滴農ポリでは全層区に比べ植え溝区で低かったが、P0 および無滴農ポリでは全層区に比べて植え溝区で高く、抽苔率および収量に被覆資材と施肥方法の交互作用が認められた。以上の結果、初夏どり栽培では、保温性の高い被覆資材ほど花芽分化の抑制に有効であることが明らかとなった。また、保温性の高い被覆資材を用いる場合、窒素肥料をきらさないような肥培管理によって抽苔抑制の効果を高めることが必要であると考えられる。

3. 晩抽性新品種の特性解明

初夏どり栽培、春どり栽培において晩抽性新品種の‘羽緑一本太’および‘春扇’について‘長悦’と比較した。その結果、‘羽緑一本太’は‘長悦’に比べて晩抽性に優れ、肥大がやや劣る品種であった。‘春扇’は‘長悦’に比べて晩抽性は同等であり、肥大が優れる品種であった。

4. 電熱線によるネギの側条地中加温が抽苔および生育に及ぼす影響

地温を制御した新しい抽苔制御法として、ネギの側条に電熱線 (約 20℃) を埋設し地中加温する方法 (ネギの側条地中加温法) が抽苔および生育に及ぼす影響について調査した。地中加温区は、無処理区の 2 倍の出葉速度を示し、ネギの地上部および地下部の乾物重も有意に増加した。

一方、草丈および葉身長には地中加温の影響が認められなかった。無処理区の抽苔率は約 10%から 30%であったのに対して、地中加温区ではほとんど認められなかった。以上の結果、電熱線によるネギの側条地中加温は、初夏どり栽培における抽苔抑制および生育促進に有効であることが示された。

5. 晩抽性新品種を利用した初夏どり栽培の前進化の可能性

一本ネギの端境期をなくすために、トンネルの種類として中型トンネル（幅 160 cm）と小型トンネル（幅 50 cm）、品種として‘羽緑一本太’と‘春扇’を組み合わせ、初夏どり栽培の約 2 週間の前進化について検討を行った。トンネル内の平均温度は、小型トンネル区に比べ中型トンネル区で高く、トンネル被覆期間中の生育および収穫時の肥大は、中型トンネル区で優れていたが、両トンネル区とも 5 月 10 日には出荷規格の大きさに達していた。5 月 10 日の抽苔率は‘羽緑一本太’で約 3%、‘春扇’で約 5%であった。以上の結果、‘羽緑一本太’および‘春扇’を用いて初夏どり栽培の前進化の可能性があることが示唆された。

6. ネギの生育・花成におけるジベレリンの機能解明

ネギにおいてジベレリンは、花成（抽苔）、莖葉伸長、分げつなどに重要な役割を果たしていると考えられるが、ジベレリンに関する研究事例は少ない。そこで、ネギの生育、花成におけるジベレリンの機能解明の第一歩として、ネギのジベレリンの同定、ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングを行った。また、ジベレリン含量の品種間差およびジベレリン関連の候補遺伝子の発現について検討を行った。

1) 内生ジベレリン

抽苔および分げつの特性が異なる‘長悦’および‘晩中太’の地上部からジベレリンの検索、同定を行った。矮性イネを用いた生物検定でジベレリン様活性が認められる画分は、‘長悦’と‘晩中太’で一致していた。GC/MS 解析によって、両品種の地上部から 13 位-水酸化ジベレリン (GA_1 , GA_3 および GA_{20})、13 位-非水酸化ジベレリン (GA_4 , GA_9 および GA_{34}) が同定された。‘長悦’

の芽生えに GA₃ および GA₄ 処理を行った結果、GA₃ に比べ GA₄ で高い伸長反応が見られた。以上の結果、ネギでは早期 13 位水酸化経路と早期非水酸化経路が機能しており、ネギの茎葉伸長を制御する主な活性型ジベレリンは GA₄ であると推察された。

2) ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニング

‘長悦’からジベレリン関連の候補遺伝子のクローニングを行った。その結果、ジベレリン合成に関わる遺伝子、GA₂₀ 酸化酵素 (*AFGA20ox1*)、GA₃ 酸化酵素 (*AFGA3ox1*) および GA₂ 酸化酵素 (*AFGA2ox1*) をクローニングした。また、ジベレリンシグナル伝達の抑制因子である GAI ホモログ遺伝子を 2 タイプ (*AFGAI1*, 2) クローニングした。ジベレリン関連の候補遺伝子は、他種植物と 50% 前後の相同性がみられた。*AFGAI1*, 2 は N 末端領域にジベレリン応答に関わる DELLA ドメインが存在し、互いに 72% の相同性が認められた。

3) 内生ジベレリン含量の品種間差、並びに GA₃ 酸化酵素遺伝子 (*AFGA3ox1*) の発現

抽苔および分げつ特性が異なる ‘長悦’、‘晚中太’ および ‘吉晴’ の葉身および葉鞘における内生ジベレリン含量を調査した。葉鞘におけるジベレリン含量についてみると、各品種とも前駆体ジベレリンでは GA₂₀ に比べ GA₉ の含量が高く、活性型ジベレリンでは GA₁ + GA₃ に比べ GA₄ 含量が高かった。GA₉ および GA₄ の含量は、葉身に比べ葉鞘で高かった。葉鞘における GA₄ 含量は、‘長悦’ に比べ ‘晚中太’ で 1.5 倍、‘吉晴’ で 3.5 倍であった。

AFGA3ox1 の発現は、いずれの品種においても葉身に比べ葉鞘で高かった。葉鞘部における *AFGA3ox1* の発現には、品種間で差が認められなかった。一方、根における *AFGA3ox1* の発現には品種間で差が見られ、葉鞘で GA₄ 含量が高かった ‘晚中太’ および ‘吉晴’ で高い発現が認められた。以上の結果、葉鞘における GA₄ 含量に品種間で差が認められた要因は、根における *AFGA3ox1* の発現、つまり、根からのジベレリンの移動である可能性が考えられた。

4) 花芽の発達、花茎伸長期におけるジベレリン関連遺伝子の発現解析

‘長悦’の花茎伸長の時期に経時的にサンプリングし、花茎長と花芽発達ステージとの関係を調査した結果、ネギでは小花形成期から開花に至るまで花茎伸長が続き、花茎伸長に伴い花芽が発達する関係が認められた。また、花被、雄ずい形成期以降に急激な花茎伸長が開始することが

明らかとなった。次いで、花茎を長さ別に5段階に分けてサンプリングし、花球と茎部のノーザン解析を行った結果、*AFGA3ox1* の発現は茎部において抽苔の初期から中期に高まり、一方、花球においては抽苔の後期、すなわち、小花の発達における花粉、胚珠形成期に高まった。また、DELLA タンパク質をコードする *AFGAI1* および *AFGAI2* も *AFGA3ox1* と同様な発現パターンが認められた。以上の結果、ネギの花芽分化後の花茎伸長および花芽の発達にはジベレリンが機能していることが示唆された。

Summary

Bunching onion (*Allium fistulosum* L.) is an important leafy vegetable crop, which is supplied all season of the year in Japan. It has suffered from the unstable production due to bolting of bunching onion harvested in early summer. This study was undertaken to elucidate controlling flower-bud differentiation and bolting for stable production.

1. Flower-bud differentiation of bunching onion harvested in early summer, and relationship between flower-bud differentiation and plant sizes.

We investigated to clarify flower-bud differentiation of bunching onion harvested in early summer, using late-season bolting 'Cho-etsu', and mid-season bolting 'Yoshikura'. Flower-bud differentiation of both cultivars started in the middle of February in this culture. The plant sizes at the time of flower-bud differentiations were below; the leaf sheath diameter of 'Yoshiharu' and 'Cho-etsu' was 5-6 mm and 7-8 mm, respectively, and leaf position of flower-bud differentiations was 7th for 'Yoshiharu' and 8th for 'Cho-etsu'. It indicates that varietal differences exist in plant sizes starting flower-bud differentiation.

2. Bolting control by nitrogen fertilizer and tunnel covering plastic film

1) Effect of liquid fertilizer during flower-bud differentiation on nitrogen concentration, bolting and yield

Nitrogen concentration of plants increased as the raised fertilizer concentration. Higher nitrogen concentration affected the bolting rate and yield, and it indicated that there could be a threshold of nitrogen concentration suppressing flower-bud differentiation. Our data

suggests that fertilizing management during the flower-bud differentiation is important to control bolting and obtain higher yield in bunching onion harvested in early summer.

2) Effect of planting furrow application of fertilizer in plastic tunnel on bolting and yield

In the conventional culture, the pre-planting fertilizer of nitrogen was applied in an overall layer. We cannot ridge the soil during tunnel covering, so that the fertilizer efficiency of utilization may be low due to run-off loss of the fertilizer. To improve the fertilizing management during tunnel covering, we investigated the effect of furrow application of fertilizer in plastic tunnel on bolting and yield. The slow releasing fertilizer IB (isobutylidene diurea) got a better result than the coating urea (LP coat), when applied before tunnel covering. Compared with the overall layer fertilization, this fertilization method with IB suppressed bolting, and increased the yield.

3) Effects of tunnel covering plastic films and fertilization methods on growth, bolting and yield

Effects of types of tunnel covering plastic films and fertilization methods on growth, bolting, and yield were investigated. Polyolefine plastic film (PO) induced the highest mean air and soil temperatures, while dripped polyethylene plastic film (DP) showed the lowest temperatures. Coefficient of variance on soil water content was higher in PO and non-dripped polyethylene plastic film (NDP). Application of an overall layer of fertilizer produced a lower bolting rate than application of fertilizer in a planting furrow only when using DP, but opposite results was demonstrated with PO and NDP. Effects of covering films and fertilization methods on bolting rate and yield showed a significant interaction. Higher thermo-keeping films suppressed flower initiation. When higher thermo-keeping films were used to cover tunnels, management to control nitrogen concentration is required to inhibit bolting in this culture.

3. Characterization of newly introduced late bolting cultivars

We investigated the characterization of newly released cultivars, 'Hanemidori-ipponbuto' and 'Haruougi', harvested in spring and early summer. 'Hanemidori-ipponbuto' showed later bolting and less vigorous than 'Cho-etsu'. On the other hand, 'Haruougi' showed later bolting as well as 'Cho-etsu' and more vigorous.

4. Effect of soil warming by electrically heated wire on bolting and growth in bunching onion

Effect of soil warming by electrically heated wire (about 20°C) on bolting and growth was investigated. Soil warming promoted the rate of leaf emergence as twice as non-heating. Soil warming increased dry weight of above and under-ground parts, but did not influence the plant height or leaf blade length. Reduced bolting rate due to soil warming was observed. It was shown that soil warming using a heated wire was an effective treatment to suppress bolting and promote growth in bunching onions harvested in early summer.

5. Suitability of newly introduced late bolting cultivars to early in May harvesting in advanced culture of bunching onion

We tried to advance two weeks earlier harvesting in culture harvested in early summer, by combination with types of tunnel covering (a middle type tunnel covering: 160cm width and a small type: 50 cm width) and two newly introduced cultivars ('Hanemidori-ipponbuto' and 'Haruougi'). The air and soil temperatures of a middle type were higher than those of a small one. The growth of a middle one was superior to that of a small one, and both types

enabled harvesting on 10th May. The bolting rate of 'Hanemidori-ipponbuto' and 'Haruougi' were 5% and 3% on 10th May, respectively.

6. The roles of gibberellin in the growth and flowering of bunching onion

We identified endogenous gibberellins and did molecular cloning and expression analysis of gibberellin-related genes in bunching onion.

1) Endogenous gibberellins

Endogenous gibberellins were identified using two cultivars, 'Cho-etsu' and 'Banchu-ubuto'. According to the results of a dwarf rice micro-drop assay, extracts from the shoots of 'Cho-etsu' and 'Banchu-ubuto' contained several fractions with similar gibberellin-like activity. Endogenous gibberellins, GA₁, GA₃, GA₄, GA₉, GA₂₀ and GA₃₄, were detected in both cultivars by GC/MS analysis. The seedling of 'Cho-etsu' responded to GA₄ more than GA₃. These results indicate that two gibberellin biosynthetic pathways, an early-13-hydroxylation and a non-13-hydroxylation pathway exist in bunching onion, and non-13-hydroxylation pathway may be predominant in the shoots of bunching onion.

2) Molecular cloning of gibberellin-related genes

We have cloned putative cDNAs encoding gibberellins metabolic pathway from shoots of bunching onion, GA 20-oxidase (*AFGA20ox1*), GA 3-oxidase (*AFGA3ox1*), and GA 2-oxidase (*AFGA2ox1*). We also have isolated two GAI homolog genes (*AFGAI1*, *2*), which regulate gibberellin-signaling pathway negatively. Isolated gibberellin-related genes have about 50% amino acid identity with other plant species. The AFGAI1 and 2 conserve DELLA motif for gibberellin response and have 72% amino acid identity.

3) Varietal differences in the endogenous gibberellins, and the expression of GA3-oxidase (*AFGA3ox1*)

Levels of endogenous gibberellins and the expression of *AFGA3ox1* were investigated using three cultivars 'Cho-etsu', 'Banchu-ubuto' and 'Yoshiharu'. For precursor and active gibberellins in the leaf sheaths, the GA₉ content was higher than that of GA₂₀ in all cultivars, while the GA₄ content was also higher than that of GA₁ + GA₃ in all cultivars. Contents of GA₉ and GA₄ in leaf sheaths were higher than those in leaf blades. The GA₄ content in leaf sheath of 'Yoshiharu' was highest among three cultivars. The expression of *AFGA3ox1* was higher in leaf sheaths, but lower in leaf blades of three cultivars. This was in accordance with the levels of GA₄, which were higher in leaf sheaths than leaf blades. Although the *AFGA3ox1* transcript level in roots was lower in 'Cho-etsu', its expression was highly detected in 'Banchu-ubuto' and 'Yoshiharu'. In 'Banchu-ubuto' and 'Yoshiharu', higher GA₄ contents in leaf sheaths and increased expression of *AFGA3ox1* in the roots were observed, suggesting GA₄ mobilization from the roots to leaf sheaths.

4) Expression analysis of the gibberellin-related genes during reproductive growth

We investigated the relationship between flower developmental stage and flower stalk length in 'Cho-etsu'. Flower stalks grew rapidly after perianth and stamen formation, and floret development was accompanied with extension of the flower stalk. The expression of *AFGA3ox1*, *AFGAI1* and *AFGAI2* in the umbel and stalk at five stages differing stalk length was analyzed. Expression of their genes was higher from early to middle stages in the stalks, while higher at pollen and ovule formation stages in umbel. It indicates that gibberellins play important roles in stalk elongation and flower development after flower-bud differentiation.

謝 辞

本研究を実施、とりまとめるにあたって、鳥取大学農学部の教授田辺賢二博士，准教授板井章浩博士に親切なご指導とご校閲を賜りました。東北農業研究センターの上席研究官山崎 篤博士，鳥取県園芸試験場の農業専門技術員の伊澤宏毅博士に論文をまとめるにあたって，ご助言とご校閲を賜りました。また，島根大学農学部の教授細木高志博士，教授浅尾俊樹博士，鳥取大学農学部の教授田村文男博士には，ご指導と激励を賜りました。山口大学農学部の准教授執行正義博士には，実験を進める上で貴重な材料として，ネギ単一異種染色体添加系統のゲノム DNA を譲渡頂くとともに，ご助言を賜りました。ここに心より感謝を申し上げます。

ジベレリンに関する実験にあたって，依頼研究員として3か月間（2003年10月から12月），野菜・茶業研究所の前機能解析部，生育生理研究室において，本多一郎博士，菊地 郁博士にジベレリンの同定，定量に関するご指導を頂きました。また，同研究室の真川せつ子氏，荒木照代氏に実験のご助力頂きました。東北農業研究センターの主任研究官山崎博子博士，花き研究所の主任研究員久松 完博士には，ジベレリンについてご指導を頂きました。鳥取大学農学部学生の田中大輔氏には，ジベレリン関連の候補遺伝子のクローニング等の実験をご助力頂きました。このような新たな研究の視点を養うことができたことは極めて有益でした。ここに心より感謝を申し上げます。

鳥取県園芸試験場の前場長井上耕介氏，現場長齊藤 哲氏には，研究を進める上でご高配と激励を頂きました。同試験場弓浜砂丘地分場の前分場長鹿島美彦氏（現在，鳥取県米子農業改良普及所），現分場長福本明彦氏，井上 浩氏（現在，鳥取県米子農業改良普及所），野口安男氏（現在，鳥取県米子地方農林振興局），伊垢離孝明氏には，本研究を進めるに当たって有益な議論を頂くとともに，実験の一部を遂行して頂きました。鳥取県園芸試験場，次長の村田謙司氏，農業専門技術員の片山純一氏，農業専門技術員の吉田 亮博士，野菜研究室長の竺原宏人氏，花き研究室前室長の鷹見敏彦氏（現在，鳥取県農業大学校），鳥取県西部総合事務所農林局大山農業改良普及所の佐古 勇博士には，ご助言と激励を頂きました。ここに心より感謝を申し上げます。

実験のための栽培管理および調査補助等について、鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場の長谷川憲二氏，矢富満寿美氏，長井節子氏，前田和志氏，松本幸子氏，木下吉子氏，大太正基氏にご助力頂きました。また，鳥取大学農学部園芸学研究室の林 裕美子氏，張 才喜博士をはじめ，学生諸氏にも大変お世話になりました。ここに心より感謝を申し上げます。

引用文献

- 阿部珠代・中住晴彦. 2004. ネギの花芽分化に要する低温遭遇時間と最適温度の品種間差異. 北海道立農試集報. 86: 11-17.
- 安藤利夫. 2001. 簡易なトンネル被覆栽培による 7 月どり根深ネギの生産技術. 農耕と園藝. 56(8): 95-98.
- 安藤利夫・甲田暢男・大越一雄. 2002. 初夏どりネギ栽培における晩抽性品種の花芽分化, 抽苔特性. 千葉農総研研報. 1: 13-23.
- 青葉 高. 2000. 日本の野菜. p. 120-126. 八坂書房. 東京.
- Appleford, N. E. J and J. R. Lenton. 1991. Gibberellins and leaf expansion in near-isogenic wheat lines containing *Rht1* and *Rht3* dwarfing alleles. *Planta*. 183: 229-236.
- 芦荻基行・松岡 信. 2004. ジベレリンのシグナル伝達. 新版 植物ホルモンのシグナル伝達. p. 85-96. 秀潤社. 東京.
- Ashikari, M., A. Sasaki, M. Ueguchi-Tanaka, H. Itoh, A. Nishimura, S. Datta, K. Ishiyama, T. Saito, M. Kobayashi, G. S. Khush, H. Kitano and M. Matsuoka. 2002. Loss-of-function of a rice gibberellin biosynthetic gene, GA20 oxidase (*GA20ox-2*), led to the rice 'green revolution'. *Breed. Sci.* 52: 143-150.
- Bolle, C. 2004. The role of GRAS proteins in plant signal transduction and development. *Planta*. 218: 683-692.
- Boss, P. K. and M. R. Thomas. 2002. Association of dwarfism and floral induction with a grape 'green revolution' mutation. *Nature*. 416: 847-850.
- Brewster, J. L. 1983. Effects of photoperiod, nitrogen nutrition and temperature on inflorescence initiation and development in onion (*Allium cepa* L.). *Ann. Bot.* 55: 403-414.
- Brewster, J. L. 1985. The influence of seedling size and carbohydrate status and of photon

- flux density during vernalization on inflorescence initiation in onion (*Allium cepa* L.).
Ann. Bot. 55: 403-414.
- Chandler, P. M., A. Marion-Poll, M. Ellis and F. Gubler. 2002. Mutants at the slender1 locus of Barley cv Himalaya. molecular and physiological characterization. Plant Physiol. 129: 181-190.
- Chiang, H-H., I. Hwang and H. M. Goodman. 1995. Isolation of the Arabidopsis *GA4* locus. Plant Cell. 7: 195-201.
- Chiang, H-H., I. Hwang and H. M. Goodman. 1997. Isolation of the Arabidopsis *GA4* locus (correction). Plant Cell. 9: 979-980.
- Chouard, P. 1960. Vernalization and its relations to dormancy. Ann. Rev. Plant Physiol. 11: 191-238.
- Crozier, A., C. C. Kuo, R. C. Durley and R. P. Pharis. 1970. The biological activities of 26 gibberellins in nine bioassays. Can. J. Bot. 48: 867-877.
- Curtis, O. F. and H. T. Chang. 1930. The relative effectiveness of the temperature of the crown as contrasted with that of the rest of the plant upon the flowering of celery plants. Amer. J. Bot. 17: 1047-1048.
- Díaz-Pérez, J. C., A. C. Purvis and J. T. Paulk. 2003. Bolting, yield, and bulb decay of sweet onion as affected by nitrogen fertilization. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128: 144-149.
- 土井元章・陳 忠英・斉藤香里・住友恵美・稲本勝彦・今西英雄. 1999. アルストロメリアの地中冷却栽培における秋季収量および切り花品質の改善. 園学雑. 68: 160-167.
- Dong, J. L. and J. A. D. Zeevaart. 2002. Differential regulation of RNA levels of gibberellin dioxygenases by photoperiod in spinach. Plant Physiol. 130: 2085-2094.
- 江口庸雄・大鹿保治・神山利一. 1958a. 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.
- 江口庸雄・大鹿保治・松村 正・神山利一・山田英一. 1958b. ねぎの採種に関する研究(第1

- 報) 花芽の分化ならびに発育について. 農技研報告. E7: 108-114.
- Evans, L. T. 1971. Flower induction and the florigen concept. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22: 365-394.
- 藤本幸平. 1972. イチゴ宝交早生の生理生態的特性の解明による新作型開発に関する研究. 奈良農試特別研報. 1-151.
- Fujioka, S., H. Yamane, C. R. Spray, B. O. Phinney, P. Gaskin, J. MacMillan and N. Takahashi. 1990. Gibberellin A₃ is biosynthesized from gibberellin A₂₀ via gibberellin A₅ in shoots of *Zea mays* L.. *Plant Physiol.* 94: 127-131.
- Fujioka, S., H. Yamane, C. R. Spray, M. Katsumi, B. O. Phinney, P. Gaskin, J. MacMillan and N. Takahashi. 1988. The dominant non-gibberellin-responding dwarf mutant (*D8*) of maize accumulates native gibberellins. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 85: 9031-9035.
- 藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎. 1996. 土壌診断の方法と活用. p.14-38. 農文協. 東京.
- 福岡信之・吉岡 宏・清水恵美子・藤原隆広. 2001. キャベツセル成型苗の苗齢の進行に伴う根の生理的变化. 石川県農総セ研報. 23: 15-20.
- 古口光夫・船山卓也・鈴木智久. 2001. 花き類の溶液土耕栽培. p. 33-42. 誠文堂新光社. 東京.
- 古谷茂貴・山下正隆・山崎 篤. 1988. 暗黒下での低温によるイチゴの花芽分化誘導に及ぼす体内窒素濃度の影響. 野菜・茶業試験場研究報告. D1: 51-57.
- Gaskin, P. and J. MacMillan. 1991. GC-MS of the gibberellins and related compounds: methodology and library of spectra. Cantock's Enterprises, Bristol, UK.
- Hamano, M., Y. Yamato, H. Yamazaki and H. Miura. 2002. Endogenous gibberellins and their effects on flowering and stem elongation in cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *J. Hort. Sci. Biotech.* 77: 220-225.
- Hanelt, P. 1990. Taxonomy, evolution, and history. p. 1-26. In: H. D. Rabinowitch and J. L. Brewster (eds.). Onions and allied crops. Vol. I. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 林 英明・藤代岳雄. 1989. 7~8 月どり根深ネギの品質向上と生産安定技術. 農及園. 64:

1065-1071.

- Hazebroek, J. P., J. D. Metzger and E. R. Mansager. 1993. Thermoinductive regulation of gibberellin metabolism in *Thlaspi arvense* L.. Plant Physiol. 102: 547-552.
- Hisamatsu, T., M. Koshioka, S. Kubota and R. W. King. 1998. Effect of gibberellin A₄ and GA biosynthesis inhibitors on growth and flowering of stock (*Matthiola incana* (L.) R.Br.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 537-543.
- 本間利光・江村 学・船越昭夫. 1999. 新潟県における秋まきねぎの花芽分化と抽苔について. 新潟農総研研報. 1: 39-48.
- Hussain, A. and J. Peng. 2003. DELLA proteins and GA signaling in *Arabidopsis*. J. Plant Growth Regul. 22: 134-140.
- Ikeda, A., M. Ueguchi-Tanaka, Y. Sanada, H. Kitano, M. Koshioka, Y. Futsuhara, M. Matsuoka and J. Yamaguchi. 2001. *slender* rice, a constitutive gibberellin response mutant, is caused by a null mutation of the *SLR1* gene, an ortholog of the height-regulating gene *GAI/RGA/RHT1/D8*. Plant Cell. 13: 999-1010.
- 池田 亮・山室千鶴子・山口淳二. 2003. ジベレリンシグナル伝達因子 ; DELLA ファミリーを中心として. 植物の生長調節. 38: 36-47.
- 池澤和広. 1999. 根深ネギ=栽培管理 抽苔回避の手法と作型での利用. 農業技術体系野菜編 8 -①. p. 261-265. 農文協. 東京.
- 位田晴久・山崎 篤・浅平 端. 1985. ネギ品種の高温伸長性について. 園学要旨. 昭 60 春: 180-181.
- 井上 浩・鹿島美彦. 2006a. 稚苗と用いた初秋どりネギ栽培における施肥法. 鳥取県園試報. 7: 1-8.
- 井上 浩・鹿島美彦. 2006b. 秋どりネギ栽培における肥効調節型肥料を用いたチェーンポット内施肥. 園学中四国支部要旨 45: 38
- 井上恵子・伏原 肇・山本富三・林 三徳・末信真二. 1994. 夏期低温処理栽培におけるイチゴ

- ‘とよのか’の花芽分化のための苗の好適体内窒素濃度. 福岡農試研報 B13: 1-5.
- Ito, H. and T. Saito. 1961. Time and temperature factors for the flower formation in cabbage. *Tohoku J. Agri. Res.* 12: 297-316.
- 伊藤淳次・奥野かおり・道上信宏. 2000. 小型反射式光度計を用いたシクラメンの植物体および土壌溶液の簡易栄養診断. 島根農試研報. 33: 105-113.
- Itoh, H., M. Ueguchi-Tanaka, Y. Sato, M. Ashikari and M. Matsuoka. 2002. The gibberellin signaling pathway is regulated by the appearance and disappearance of SLENDER RICE1 in nuclei. *Plant Cell.* 14: 57-70.
- Itoh, H., M. Ueguchi-Tanaka, N. Sentoku, H. Kitano, M. Matsuoka and M. Kobayashi. 2001. Cloning and functional analysis of two gibberellin 3 β -hydroxylase genes that are differently expressed during the growth of rice. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98: 8909-8914.
- 加賀屋博・吉川朝美. 1994. ネギのハウス利用による春どり栽培法. 東北農研. 47: 293-294.
- 神谷勇治. 1994. ジベレリン, 生合成と代謝. 植物ホルモンハンドブック上. p. 63-81. 培風館. 東京.
- Kaneko, M., H. Itoh, Y. Inukai, T. Sakamoto, M. Ueguchi-Tanaka, M. Ashikari and M. Matsuoka. 2003. Where do gibberellin biosynthesis and gibberellin signaling occur in rice?. *Plant J.* 35: 104-115.
- 川城英夫. 1999. セル成型苗の育苗. 農業技術体系野菜編 8-①. p. 221-231. 農文協. 東京.
- 北村四郎. 1950. 中国栽培植物の起源. 東方学報京都. 19: 76-101.
- 小林 新. 2006. 緩効性肥料. 肥料の事典. p. 134-140. 朝倉書店. 東京.
- Kobayashi, M., Y. Kamiya, A. Sakurai, H. Saka and N. Takahashi. 1990. Metabolism of gibberellins in cell-free extracts of anthers from normal and dwarf rice. *Plant Cell Physiol.* 31: 289-293.
- 小島昭夫・若生忠幸・小原隆由. 1999. ネギ遺伝資源の特性調査. 野菜茶試育種部研究年報. 12: 40-44.

- 近藤 司(編) 1997. 鳥取白ねぎ沿革史. 鳥取県農業協同組合連合会. 鳥取県白ねぎ改良協会. 鳥取.
- 越野正義. 2006. 被覆肥料. 肥料の事典. p. 134-140. 朝倉書店. 東京.
- 古藤英司・町田治幸・隔山普宣. 1983. 春どり青首ダイコンの被覆下栽培における温度管理が花成, 抽だいに及ぼす影響. 徳島農試研報. 21: 9-15.
- 古藤英司・町田治幸・隔山普宣. 1985. 春まきトンネルダイコンの生育初期に昼温が抽だいに及ぼす影響. 徳島農試研報. 22: 6-12.
- Kovats, E. 1958. Gas chromatographische charakterisierung organischer verbindungen. Teil: 1 Retentions indices aliphatischer Halogenide, Alkohole, Aldehyde and ketone. Helv. Chim. Acta. 41: 1915-1932.
- Kratky, B. A., J. K. Wang and K. Kubojiri. 1982. Effects of container size, transplant age, and plant spacing on Chinese cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 345-347.
- Kraus, E. J. and H. R. Kraybill. 1918. Vegetation and reproduction with special reference to the tomato. Oregon Agr. Coll. Exp. Sta. Bull. 149: 1-90.
- 熊沢三郎. 1956. 蔬菜園芸学各論. p. 325-335. 養賢堂. 東京.
- 黒田吉則・船越利弘・横川庄栄. 1992. ネギのハウス栽培による初夏どり技術. 東北農研. 45: 251-252.
- Lester, D. R., J. J. Ross, P. J. Davies and J. B. Reid. 1997. Mendel's stem length gene (*Le*) encodes a gibberellin 3 β -hydroxylase. Plant Cell. 9: 1435-1443.
- Lester, D. R., J. J. Ross, J. J. Smith, R. C. Elliott and J. B. Reid. 1999. Gibberellin 2-oxidation and the *SLN* gene of *Pisum sativum*. Plant J. 19: 65-73.
- MAFF. 2006. Japan. Marketing and consumption statistics. <http://www.maff.go.jp/tokei.html>.
- Martin, W. J., J. McCallum, M. Shigyo, J. Jakse, J. C. Kuhl, N. Yamane, M. Pither-Joyce, A. F. Gokce, K. C. Sink, C. D. Town and M. J. Havey. 2005. Genetic mapping of expressed

- sequences in onion and in silico comparisons with rice show scant colinearity. *Mol. Gen. Genomics*. 274: 197-204.
- Martin, D. N., W. M. Proebsting and P. Hedden. 1997. Mendel's dwarfing gene: cDNAs from the *Le* alleles and function of the expressed proteins. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94: 8907-8911.
- Martin, D. N., W. M. Proebsting, T. D. Parks, W. G. Dougherty, T. Lange, M. J. Lewis, P. Gaskin and P. Hedden. 1996. Feed-back regulation of gibberellin biosynthesis and gene expression in *Pisum sativum* L.. *Planta*. 200: 159-166.
- 梶田正治. 2003. 野菜新書. p. 97-150. 朝倉書店. 東京.
- 松原典子・トラン ティ ミン ハン・山内直樹・執行正義. 2005. ネギ由来異種染色体を添加したシャロット系統の分子のおよび形態的特徴づけ. 園学雑. 74(別 2): 451.
- 松本 理. 1991. イチゴの花成と休眠の制御に関する栽培学的研究. 山口農試特別研報. 31: 1-102.
- 松岡 信. 2005. イネにおけるジベレリン受容体と信号伝達. 植物化学調節学会研究発表記録集. 40: 18-19.
- Metzger, J. D. 1990. Comparison of biological activities of gibberellins and gibberellin-precursors native to *Thlaspi arvense* L.. *Plant Physiol.* 94: 151-156.
- Moon, J. G. Parry and M. Estelle. 2004. The ubiquitin-proteasome pathway and plant development. *Plant Cell*. 16: 3181-3195.
- 森脇宏爾・山口久夫. 1977. セリ科野菜の抽だい防止に関する研究. 第 4 報. ニンジンのトンネル栽培における抽だい防止. 愛知農総試研報. B9: 1-5.
- 森脇宏爾・山口久夫・勝又広太郎. 1976. セリ科野菜の抽だい防止に関する研究. 第 3 報. 変温条件下におけるセルリーの低温感応および消去機構. 愛知農総試研報. B7: 1-5.
- Mouradov, A., F. Cremer and G. Coupland. 2002. Control of flowering time : Interacting pathways as a basis for diversity. *Plant Cell*. S111-S130.

- 村井正和・吉野 旭・実川三郎・内田 力. 1981. 根深ネギの分けつ要因について. 千葉原農研報. 3: 21-42.
- Nakayama, M., H. Yamane, H. Nojiri, T. Yokota, I. Yamaguchi, N. Murofushi, N. Takahashi, T. Nishijima, M. Koshioka, N. Katsura and M. Nonaka. 1995. Qualitative and quantitative analysis of endogenous gibberellins in *Raphanus sativus* L. during cold treatment and the subsequent growth. Biosci. Biotech. Biochem. 59: 1121-1125.
- Nakayama, M., T. Yokota, R. Sohma, L. H. Mander, B. Twitchin, H. Komatsu, H. Matsui and M. J. Bukovac. 1996. Gibberellins in immature seed of *Prunus cerasus*: Structure determination and synthesis of gibberellin, GA₉₅ (1,2-didehydro-GA₂₀). Phytochemistry. 42: 913-920.
- Nishijima, T. and N. Katsura. 1989. A modified micro-drop bioassay using dwarf rice for detection of femtomol quantities of gibberellins. Plant Cell Physiol. 30: 623-627.
- Nishijima, T., N. Katsura, M. Koshioka, H. Yamazaki, M. Nakayama, H. Yamane, I. Yamaguchi, T. Yokota, N. Murofushi, N. Takahashi, M. Nonaka and L. N. Mander. 1998a. Role of endogenous Gibberellins in cold-induced stem elongation and flowering of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 319-324.
- Nishijima, T., N. Katsura, M. Koshioka, H. Yamazaki, M. Nakayama, H. Yamane, I. Yamaguchi, T. Yokota, N. Murofushi, N. Takahashi and M. Nonaka. 1998b. Effects of gibberellins and gibberellin-biosynthesis inhibitors on stem elongation and flowering of *Raphanus sativus* L.. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 325-330.
- 西畑秀次. 1999. 根深ネギ=定植と活着. 農業技術体系野菜編 8-①. p. 249-255. 農文協. 東京.
- 西畑秀次. 2001. 乗用管理機によるネギの管理作業の省力化. 農耕と園藝. 56(8): 109-111.
- 西畑秀次・松本美枝子. 2000. ネギの生育に合わせた肥効調節型肥料による窒素供給. 園学雑. 69(別2): 398.
- Nojiri, H., T. Tyomasu, H. Yamane and N. Murofushi. 1993. Qualitative and quantitative

- analysis of endogenous gibberellins in onion plants and their effects on bulb development. *Biosci. Biotech. Biochem.* 57: 2031-2035.
- Ogawa, M., T. Kusano, M. Katsumi and H. Sano. 2000. Rice gibberellin-insensitive gene homolog, OsGAI, encodes a nuclear-localized protein capable of gene activation at transcriptional level. *Gene.* 245: 21-29.
- Ohkawa, K. 1979. Effects of gibberellins and benzyladenine on dormancy and flowering *Lilium speciosum*. *Scientia Hortic.* 10: 255-260.
- Oka, M., Y. Tasaki, M. Iwabuchi and M. Mino. 2001. Elevated sensitivity to gibberellin by vernalization in the vegetative rosette plants of *Eustoma grandiflorum* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science.* 160: 12237-1245.
- 奥田延幸・藤目幸擴. 2004. NFT におけるネギの生育に及ぼす栽植密度の影響. 園学研. 3: 205-208.
- Olszewski, N., T. Sun and F. Gubler. 2002. Gibberellin signaling : biosynthesis, catabolism, and response pathways. *Plant Cell.* S61-S80.
- 大森定夫. 2001. ネギの生産性向上を目指した「長ネギ調整機」. 農耕と園藝. 56(8): 106-108.
- Peng, J., D. E. Richards, N. M. Hartley, G. P. Murphy, K. M. Devos, J. E. Flintham, J. Beales, L. J. Fish, A. J. Worland, F. Pelica, D. Sudhakar, P. Christou, J. W. Snape, M. D. Gale and N. P. Harberd. 1999. 'Green revolution' genes encode mutant gibberellin response modulators. *Nature.* 400: 256-261.
- Pharis, R. P. and R. W. King. 1985. Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36: 517-568.
- Phillips, A. L., D. A. Ward, S. Uknes, N. E. J. Appleford, T. Lange, A. K. Huttly, P. Gaskin, J. E. Graebe and P. Hedden. 1995. Isolation and expression of three gibberellin 20-oxidase cDNA clones from *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 108: 1049-1057.
- Plant hormones. 2007. <http://www.plant-hormones.info/>

- Poole, A. T., J. J. Ross, H. L. Lawrence and J. B. Reid. 1995. Identification of gibberellin A4 in *Pisum sativum* L. and the effects of applied gibberellin A9, A4, A5 and A3 on the *le* mutant. *Plant Growth Regul.* 16: 257-262.
- Pysh, L. D., J. W. Wysocka-Diller, C. Camilleri, D. Bouchez and P. N. Benfey. 1999. The GRAS gene family in Arabidopsis: sequence characterization and basic expression analysis of the *SCARECROW-LIKE* genes. *Plant J.* 18: 111-119.
- 曲 英華・高橋英明・小笠原宣好・衛藤威臣. 1994. ニンニク, ネギ, アサツキの花序の分化発達過程と花序型. *園学雑.* 63: 121-130.
- Rebers, E., G. Romeijn, E. Knegt and L. H. W. Van Der Plas. 1994a. Effects of exogenous gibberellins and paclobutrazol on floral stalk growth of tulip sprouts isolated from cooled and non – cooled tulip bulbs. *Physiol. Plant.* 92: 661-667.
- Rebers, E., E. Vermeer, E. Knegt, C. J. Shelton and H. W. Van Der Plas. 1994b. Gibberellins in tulip bulb sprouts during storage. *Phytochemistry.* 36: 269-272.
- Rebers, E., E. Vermeer, E. Knegt, C. J. Shelton and L. H. W. Van Der Plas. 1995. Gibberellin levels and cold-induced floral stalk elongation in tulip. *Physiol. Plant.* 94: 687-691.
- Rietze, E. and H.-J. Wiebe. 1988. The influence of soil temperature on vernalization of Chinese cabbage. *J. Hort. Sci.* 63: 83-86.
- 六本木和夫. 1991. 果菜類の栄養診断に関する研究 (第 1 報) 葉柄汁液の硝酸態に基づくキュウリの窒素栄養診断. *埼玉園試研報.* 18: 1-15.
- 六本木和夫. 1992. 果菜類の栄養診断に関する研究 (第 2 報) 葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づくイチゴの栄養診断. *埼玉園試研報.* 19: 19-29.
- 六本木和夫・加藤俊博. 2000. 野菜・花卉の養液土耕. p. 99-146. 農文協. 東京.
- Ross, J. J., A. Mackenzie-Hose, P. J. Davies, D. R. Lester, B. Twitchin and J. B. Reid. 1999. Further evidence for feedback regulation of gibberellin biosynthesis in pea. *Physiol. Plant.* 105: 532-538.

- 相楽徳康. 1999. 地床育苗. 農業技術体系野菜編 8-①. p. 203-208. 農文協. 東京.
- 斎藤秀幸・斎藤 隆. 2003. カブの花房形成に及ぼす低温処理中の高温処理の影響. 園学雑. 72: 329-334.
- Sasaki, A., M. Ashikari, M. Ueguchi-Tanaka, H. Itoh, A. Nishimura, D. Swapan, K. Ishiyama, T. Saito, M. Kobayashi, G. S. Khush, H. Kitano and M. Matsuoka. 2002. A mutant gibberellin-synthesis gene in rice. *Nature*. 701-702.
- Sasaki, A., H. Itoh, K. Gomi, M. Ueguchi-Tanaka, H. Itoh, A. Nishimura, D. Swapan, K. Ishiyama, T. Saito, M. Kobayashi, G. S. Khush, H. Kitano and M. Matsuoka. 2003. Accumulation of phosphorylated repressor for gibberellin signaling in an F-box mutant. *Science*. 299: 1896-1898.
- Schwabe, W. W. 1954. Factors controlling flowering in the chrysanthemum. IV. The site of vernalization and translocation of the stimulus. *J. Exp. Bot.* 5: 389-400.
- 施山紀男・高井隆次. 1982. ダイコンの抽台に及ぼす昼温の影響. 野菜試報. B4: 47-60.
- 重野 貴・栃木博美・大橋幸雄・稲葉幸雄. 2001. 促成栽培におけるイチゴ「とちおとめ」の生育及び収量に及ぼす電照, 炭酸ガス及び地中加温の効果. 栃木農試研報. 50: 39-49.
- 執行正義. 2002. 染色体工学的手法を用いたネギ属栽培種の改良. 園学研. 1: 75-80.
- Shigyo, M., M. Iino, S. Isshiki and Y. Tashiro. 1997. Morphological characteristics of a series of alien monosomic addition lines of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L) with extra chromosomes from shallot (*A. cepa* L. *Aggregatum* group). *Genes Genet. Syst.* 72: 181-186.
- Shigyo M., Y. Tashiro, S. Isshiki, and S. Miyazaki. 1996. Establishment of a series of alien monosomic addition lines of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L) with extra chromosomes from shallot (*A. cepa* L. *Aggregatum* group). *Genes Genet. Syst.* 71: 363-371.
- 鹿野 弘. 2005. 深層地中加温装置の導入におけるイチゴ促成栽培の増収効果. 農及園. 80:

680-685.

- 白岩裕隆・鹿島美彦・野口安男・井上 浩. 2006. 全自動ネギ移植機に対応したセル成型育苗法の改良並びに周年利用体系の確立. 鳥取県園試報. 7: 19-28.
- 宍戸良洋・斎藤 隆. 1976. タマネギの花芽形成に関する研究 (第 2 報) 花芽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: 160-167.
- Silverstone A. L., C. N. Ciampaglio and T-p. Sun. 1998. The Arabidopsis RGA gene encodes a transcriptional regulator repressing the gibberellin signal transduction pathway. Plant Cell. 10: 155-169.
- Spielmeier. W., M. Ellis, M. Robertson, S. Ali, J. R. Lenton and P. M. Chandler. 2004. Theor. Appl. Genet. 109: 847-855.
- 田畑耕作・相星勝美. 1993. 暖地における根深ネギの春・夏どり栽培に関する研究. 第 2 報. 秋まきトンネル栽培. 九州農業研究. 55: 176.
- 田畑耕作・常法和廣・相星勝美. 1992. 暖地における根深ネギの春・夏どり栽培に関する研究. 第 1 報. 品種と抽台性及び脱春化处理の効果. 九州農業研究. 54: 215.
- 高尾保之. 1997. 被陰環境下のコマツナにおける電照および地中加温の効果. 園学雑. 66(別 1): 350-351.
- Takayama, T., T. Toyomasu, H. Yamane, N. Murofushi and H. Yajima. 1993. Identification of gibberellins and abscisic acid in bulbs of *Lilium elegans* Thunb. and their quantitative changes during cold treatment and the subsequent cultivation. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62: 189-196.
- 竹川昌宏・大和陽一・濱野 恵・山崎博子・三浦周行. 2004. 根鉢形成にともなうキャベツとチンゲンサイセル苗の定植後の生育遅延. 園学雑. 73: 79-81.
- 瀧 勝俊. 2000. 葉柄汁液によるイチジクのリアルタイム栄養診断. 愛知農総試研報. 32: 141-147.
- 瀧 勝俊. 2001. イチジクのリアルタイム栄養診断 (第 1 報) 主に生育前半の樹体窒素栄養と着

- 果との関係から. 愛知農総試研報. 33: 181-186.
- 瀧 勝俊. 2003. イチジクのリアルタイム窒素栄養診断. 土肥誌. 74: 343-347.
- 田中有子・小山田勉. 2000. セル成型苗利用による秋冬穫りネギの肥効調節型肥料を用いた全量基肥溝施肥法. 茨城農総七園研報. 8: 19-26.
- 田中哲司・山下文秋・酒井広蔵・山本勝之. 2000. 深層地中加温システムの利用がナスの促成栽培における厳寒期の草勢維持に及ぼす影響. 園学雑. 69(別 2): 368.
- 田代洋丞. 1994. ワケギの起源に関する細胞遺伝学的研究. 佐賀大農彙. 56: 1-63.
- Tashiro, Y., T. Oyama, Y. Iwamoto, R. Noda and S. Miyazaki. 1995. Identification of maternal and paternal plants of *A. wakegi* Araki by RFLP analysis of chloroplast DNA. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63: 819-824.
- 建部雅子・細田洋一・笠原賢明・唐澤敏彦. 2001. バレイシヨの葉柄汁液を用いた栄養診断. 土肥誌. 72: 33-40.
- Thomas, S. G., A. L. Phillips and P. Hedden. 1999. Molecular cloning and functional expression of gibberellin 2-oxidases, multifunctional enzymes involved in gibberellin deactivation. Proc. Natl. Acad. Sci. 96: 4698-4703.
- 豊増基行. 2004. ジベレリンの生合成. 新版 植物ホルモンのシグナル伝達. p. 78-84. 秀潤社. 東京.
- Toyomasu, T., H. Kawaide, H. Sekimoto, C. V. Numers, A. L. Phillips, P. Hedden and Y. Kamiya. 1997. Cloning and characterization of a cDNA-encoding gibberellin 20-oxidase from rice (*Oryza sativa*) seedling. Physiol. Plant. 99: 111-118.
- 土屋恭一. 1999. 連結ポット(チェーンポット)苗の育苗. 農業技術体系野菜編 8-①. p. 209-219. 農文協. 東京.
- 塚崎 光・松原典子・Hang Tran Thi Minh・若生忠幸・山下謙一郎・小島昭夫・執行正義. 2006. ネギにおける連鎖地図と染色体との対応. 園学雑. 75(別 2): 204.
- 塚崎 光・若生忠幸・山下謙一郎・執行正義・J. McCallum・J. M. Havey・小島昭夫. 2005. ネ

- ギ連鎖地図とタマネギ染色体地図の対応について. 園学雑. 74(別 2): 586.
- Ueguchi-Tanaka, M., M. Ashikari, M. Nakajima, H. Itoh, E. Katoh, M. Kobayashi, T. Chow, Y. Hsing, H. Kitano, I. Yamaguchi and M. Matsuoka. 2005. *GIBBERELLIN INSENSITIVE DWARF1* encodes a soluble receptor for gibberellin. *Nature*. 437: 693-698.
- Van Heusden, A. W., M. Shigyo, Y. Tashiro, R. Vrielink-van and C. Kik. 2000. AFLP linkage group assignment to the chromosomes of *Allium cepa* L. via monosomic addition lines. *Theor. Appl. Genet.* 100: 480-486.
- Wada, K. and Y. Shinozaki. 1985. Flowering response in relation to C and N contents of *Pharbitis nil* (Convolvulaceae) plants cultured in nitrogen-poor media. *Plant Cell Physiol.* 26: 525-535.
- Wada, K. and T. Totsuka. 1982. Long-day flowering of *Perilla* plants cultured in nitrogen-poor media. *Plant Cell Physiol.* 23: 977-985.
- Wan, C. and T. A. Wilkins. 1994. A modified hot borate method significantly enhances the yield of high-quality RNA from cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Anal. Biochem.* 233: 7-12.
- 渡辺 斎. 1955. 葱品種の花芽分化並びに抽苔性に関する研究. 京都大学園芸学研究集録. 7: 101-108.
- Weston, L. A. and B. H. Zandstra. 1986. Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 498-501.
- Wittber, S. H. and M. J. Bukovac. 1957. Gibberellin effects on temperature and photoperiodic requirement for flowering of some plants. *Science.* 126: 30-31.
- Wurr, D. C. E., J. M. Akehurst and T. H. Thomas. 1981. A hypothesis to explain the relationship between low-temperature treatment, gibberellin activity, curd initiation and maturity of cauliflower. *Scientia Hort.* 15: 321-330.

- Xu, X-L., D. A. Gage and J. A. D. Zeevaart. 1997. Gibberellins and stem growth in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.* 114: 1471-1476.
- 八鍬利郎. 1980. 蔬菜園芸 葉茎菜類 ネギ類. p. 212-225. 文永堂. 東京.
- 八鍬利郎・輿水 晋. 1969. ネギ属植物の花成に関する研究(第1報) 温度, 日長と花房分化, 抽苔, 開花期との関係. *農及園.* 44: 1131-1132.
- 山田良三・加藤俊博・井戸 豊・関 稔・早川岩夫. 1995. リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理(第1報)葉柄汁液に基づく診断基準の作成. *愛知農総試研報.* 27: 205-211.
- 山田良三・加藤俊博・井戸 豊・関 稔・早川岩夫. 1996. リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理(第2報)持続的生産のための施肥管理技術. *愛知農総試研報.* 28: 133-140.
- Yamaguchi, S., M. W. Smith, R. G. S. Brown, Y. Kamiya and T. Sun. 1998. Phytochrome regulation and differential expression of gibberellin 3β-hydroxylase genes in germinating *Arabidopsis* seeds. *Plant Cell.* 10: 2115-2126.
- 山崎 篤. 1994. 農作物別の被害解析と技術要因. (12) ネギ. p. 309-310. 平成5年異常気象による農作物災害-被害・技術・今後の課題. 農業研究センター. つくば .
- 山崎 篤. 2002. 花芽分化特性の解明に基づくネギの新作型開発. 京都大学学位論文.
- 山崎 篤・三浦周行. 1995. 低温遭遇中の日長がネギの生育および抽台に及ぼす影響. *園学雑.* 63: 805-810.
- 山崎 篤・田中和夫. 2002. ネギの抽台に及ぼす地温の影響. *園学研.* 1: 209-212.
- 山崎 篤・田中和夫. 2005. ネギの抽だいに及ぼす窒素の影響. *園学研.* 4: 51-54.
- 山崎 篤・田中和夫・中島規子・米山忠克. 1998. ネギの花成における炭素および窒素栄養とその動態(第1報) ネギの光合成特性について. *園学雑.* 67(別 2): 116.
- Yamasaki, A., K. Tanaka and H. Miura. 2000a. Effect of photoperiods before, during and after vernalization on flower initiation and development and its varietal difference in

- Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). J. Hort. Sci. Biotech. 75: 645-650.
- Yamasaki, A., K. Tanaka, M. Yoshida and H. Miura. 2000b. Effect of day and night temperature on flower-bud formation and bolting of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69: 40-46.
- Yamasaki, A., K. Tanaka, M. Yoshida and H. Miura. 2000c. Induction of devernialization in mid-season flowering cultivars of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69: 611-613.
- Yamasaki, A., K. Tanaka, M. Yoshida and N. Nakashima. 2003. Effect of photoperiod on the induction of devernialization by high day temperature in field-grown Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72: 18-23.
- Yamazaki, H., T. Nishijima, M. Koshioka and H. Miura. 2002. Gibberellins do not act against abscisic acid in the regulation of bulb dormancy of *Allium wakegi* Araki. Plant Growth Regul. 36: 223-229.
- 山崎博子・矢野孝善・長管香織・稲本勝彦・山崎 篤. 2007. 内生ジベレリンレベルの低下はネギの分げつ発生を抑制する. 園学研. 6(別 1): 198.
- 山崎博子・矢野孝善・長管香織・山崎 篤. 2006. ネギの分げつを促進する外部要因の検索 2. ジベレリン処理の影響. 園学雑. 75(別 1): 360.
- 吉田昌美. 2001. ネギの育種動向—輸入野菜に対抗した品種開発—. 農耕と園藝. 56(8): 88-91.
- 吉岡欣二郎. 2001. ネギ属野菜の育種に関する諸問題 1. 篤農家の育種に学ぶ: ネギ「金長」などの育種事例の紹介. 平成 13 年日種協育技研シンポジウム: 1-13.
- 吉原 泉. 2004. ハウス軟白ネギの抽だい制御による初夏どり栽培法. 栃木農試研報. 53: 1-7.
- 吉原 泉・古口光男・室越宗男. 2004. ビニルハウスを利用したネギ栽培における夜温および日長が抽だいに及ぼす影響. 園学雑. 73(別 1): 125.
- 財務省貿易統計. 2006. <http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>
- Zeevaart, J. A. D. 1983. Gibberellins and flowering. In: Crozier, A. (Ed.) The biochemistry

- and physiology of gibberellins. Vol. 2. p. 333-374. Praeger Scientific. New York.
- Zeevaart, J. A. D., D. A. Gage and M. Talon. 1993. Gibberellin A₁ is required for stem elongation in spinach, Proc. Natl. Acad. Sci. 90: 7401-7405.
- Zeevaart, J. A. D. and M. Talon. 1992. Gibberellin mutants in *Arabidopsis thaliana*. Progress in plant growth regulation. p. 34-42. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Netherlands.

本研究の基礎となる論文目録

1. 学術論文

- 1) 白岩裕隆・鹿島美彦・井上 浩・板井章浩・田辺賢二. 2005. 初夏どりネギ栽培における花芽分化時期の液肥が植物体の窒素レベル, 抽苔および収量に及ぼす影響. 園芸学研究. 4 : 411-415.
* 第1章の第2節, 第2章の第1節

- 2) 白岩裕隆・鹿島美彦・板井章浩・田辺賢二. 2007. 初夏どりネギ栽培におけるトンネル被覆資材と施肥方法が生育, 抽苔および収量に及ぼす影響. 園芸学研究. 6 : 53-57.
* 第2章の第3節

- 3) 白岩裕隆・田辺賢二・鹿島美彦・板井章浩・井上 浩・福本明彦. 2007. 電熱線によるネギの側条地中加温が抽苔および生育に及ぼす影響. 園芸学研究. 6 : 459-468.
* 第4章

2. 参考論文

- 1) 白岩裕隆・鹿島美彦. 2001. 夏ネギの早期栽培におけるトンネル内の植え溝施肥による安定生産技術. 鳥取県園芸試験場報告 5 : 53-61.
* 第2章の第2節

- 2) 白岩裕隆・鹿島美彦・井上 浩・福本明彦. 2006. 晩抽性新品種を利用した初夏どりネギ作型の前進化の可能性. 近畿中国四国農業研究 9 : 40-44.
* 第3章, 第5章の第1節