

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5mmから6mm、‘長悦’で7mmから8mm、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(PO)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、PO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、PO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、PO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

鳥取県の一本ネギの栽培は、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、一本ネギの端境期は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、市場からは一本ネギの周年供給が求められている。そこで、一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160cm)と小型トンネル(幅50cm)、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と示唆された。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)、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。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‘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 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、ジベレリン生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 (*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

抽苔および分けつの特性が異なる‘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‘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

GA_4 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 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5mmから6mm、‘長悦’で7mmから8mm、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(PO)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、PO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、PO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160cm)と小型トンネル(幅50cm)品種として‘羽緑一本太’と‘春扇’を組み合わせて、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)・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

抽苔および分けつの特性が異なる‘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 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、ジベレリン生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(*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 GA_3 酸化酵素遺伝子(*AFGA3ox1*)の発現

抽苔および分けつ特性が異なる‘長悦’、‘晩中太’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 含量が高かった。 GA_9 および GA_4 の含量は、葉身に比べ葉鞘で高かった。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。

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、鳥取県西部総合事務所農林局米子農業改良普及所)、現分場長福本明彦氏、井上 浩氏(現在、鳥取県西部総合事務所農林局米子農業改良普及所)、野口安男氏(元鳥取西部総合事務所農林局農業振興課)、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、鳥取県立農業大学校)、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.
- 芦苜基行・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 gib-

- berellins. 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 (*Mattiola 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/RHT/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 - . 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-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 - . 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-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.ma.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.
- 榎田正治. 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. Bio-*

- tech. 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 - . 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 Hort. 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: 257-2622.
- 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 - . 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. Matsuo-ka. 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. Matsuo-ka. 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. . 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・柘木博美・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. *柘木農試研報.* 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.
- 穴戸良洋・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.
- Spielmeyer, 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処理の効果. *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

- 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 - . 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 齋. 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 3-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. ネギの抽台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 devernalization 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 devernalization 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けつ発生を抑制する. 園学研. 6(別1): 198.
- 山崎博子・矢野孝善・長管香織・山崎 篤. 2006. ネギの分け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.

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

Nobutaka Shiraiwa

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 runoff 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 were 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 during 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.

鳥取県園芸試験場特別報告第11号

平成20年3月 印刷

平成20年3月 発行

発行 鳥取県園芸試験場
鳥取県東伯郡北栄町由良宿

印刷 優成印刷(有)
鳥取県倉吉市見日町