

ニラの高品質・周年栽培のための生理生態解明と 栽培技術の開発

大島一則¹⁾

目次

第1章 序論	1
第2章 黒ボク土のニラ栽培における低葉中硝酸イオン濃度および高収量のための 窒素施肥管理	3
第1節 堆肥施用量および化学肥料の窒素施肥量が土壤中硝酸態窒素含量および 葉中硝酸イオン濃度、ならびに収量に及ぼす影響	3
第2節 基肥減肥および窒素追肥施用法が土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度 ならびに収量に及ぼす影響	7
第3章 温度、炭酸ガスおよび光環境がニラの光合成と生育に及ぼす影響	12
第1節 ニラ品種の低温遭遇時間の違いが生育量に及ぼす影響	12
第2節 光合成有効光量子束密度と炭酸ガス濃度が光合成速度に及ぼす影響	14
第3節 ハウス栽培における光合成速度の日変化	16
第4節 休眠期における長日処理開始時期が生育や品質に及ぼす影響	17
第5節 休眠期の長日処理が生育や品質に及ぼす影響	18
第6節 夜温管理と炭酸ガス施用がニラの生育や品質に及ぼす影響	19
第4章 冬季および夏季に発生するニラ葉先枯れ症の発生要因と対策	22
第1節 湿度の急激な低下が葉先枯れ症の発生に及ぼす影響	22
第2節 温度の急激な変化が葉先枯れ症の発生に及ぼす影響	24
第3節 遮光資材およびマルチ資材が夏季の葉先枯れ症発生に及ぼす影響	25
第4節 遮光資材の種類が夏季の葉先枯れ症の発生に及ぼす影響	28
第5節 品種とポット容量が葉先枯れ症発生に及ぼす影響	30
第5章 花粉親特異的DNA マーカーによる選抜を介したニラ新品種‘ゆめみどり’の育成	33
第1節 ニラ新品種‘ゆめみどり’の育成経過	34
第2節 ‘ゆめみどり’の生殖性調査	35
第3節 ‘ゆめみどり’の特性調査	38
第6章 総合考察	41
要旨	46
謝辞	47
引用文献	48
Summary	52

1) 現全国農業協同組合連合会栃木県本部 (2024. 2. 9 受理)

第1章 序論

第1章 序論

ニラ (*Allium ramous* L.; syn. *Tuberosus*) は中国原産のネギ属の多年生植物で、平安時代に日本に伝来し、第二次世界大戦後の食生活の変化とともに広がり、1960年代後半から全国に普及した。ニラの輸入量は生鮮および冷凍とも2,500t程度で推移しており、輸入先は主に中国である((独)農畜産業振興機構, 2021)。わが国内のニラ供給量は国内生産と輸入を併せて年間6万~7万tの間で推移している((独)農畜産業振興機構, 2021)。また、令和3年産ニラの作付面積は1,930ha、生産量は約56,300tで、いずれも前年産に比べて微減である。また、5年前の平成29年産と比較すると、作付面積は130ha減少し、生産量は3,300t減少している。これは生産者の高齢化等による作付け中止や規模縮小が要因である(農林水産省 a, 2021)。道県別の作付面積は栃木県324ha、高知県248ha、山形県205ha、茨城県201ha、群馬県155haが上位5県、生産量は高知県14,300t、栃木県8,970t、茨城県7,680t、宮崎県3,740t、大分3,100tが上位5県である。10a当たり収量は高知県5,770kg、大分県5,260kg、福岡県4,720kg、北海道4,560kg、宮崎3,940kgが上位5県、栃木県は10位2,770kgで全国平均2,920kgより若干少ない(農林水産省 b, 2021)。栃木県のニラ産出額約56億円で全国第2位、東京都中央卸売市場におけるニラの月別入荷実績はほぼ栃木県が首位を占めている((独)農畜産業振興機構, 2021)。栃木県のニラ作付面積は2007年が作付面積439haで、2020年には352haとなり19.8%減少している。また、出荷量は11,300tから9,070tで19.7%減少している((独)農畜産業振興機構, 2020)。さらに、10a当たり収量は全国平均よりも低い状況にあるので、今後ニラ生産者の生産性向上とニラ産地振興を推進していくためには、新技術の開発、新品種の育成などが必要不可欠である。

川里(2022)によると、栃木県でのニラ栽培は1954年に宇都宮市で行われ、1960年代には組織的な取り組みとして広まったと述べている。また、県外の地域では1923年に柏市で始まり、1950年頃に福島市で組織的な栽培が始まったとも述べている。その後、ニラは全国各地で栽培されるようになり、その地域にあった様々な作型に分化していった。関東地方では冬季の換金作物として導入され、パイプハウスの外張フィルムに内張フィルムや小トンネルを用いて、単価の高い12月から3月にかけて出荷する作型が現在も主力となっている。近年は、収益性を高めるために連続刈りや露地栽培、夏ニラ栽培を導入して周年的に栽培する産地が増加した(藤澤, 2019 a)。栃木県などでは、2月から3月に播種して5月から6月に定植、一定の株養成期間を経て、12月に地上部を刈り

取りしてから保温を行い、1月~3月まで3,4回収穫後再び株養成を行い、夏にまた地上部を刈り取って秋に3回程度収穫する(藤澤, 2019a; 長・村川, 2018)。この作型を基本として、株養成期間を設けず連続的に栽培する、あるいは7月から9月にかけての抽苔時期を避け夏季でも十分な品質を維持できる夏どり専用のニラ品種も栽培されている。

ニラ栽培では施肥基準量(栃木県, 2017)に対し、基肥の窒素施肥量や堆肥施肥量が過剰である圃場も見受けられる。圃場への窒素施肥量が多いと硝酸態窒素の地下浸透による水質汚染など環境への影響が懸念される(熊澤, 1999; 西尾, 1997; 小川, 2000)。また、ニラの葉中硝酸イオン濃度も施肥管理や作型などによって高まる可能性がある。葉菜類に含まれる硝酸塩は、人体内でメトヘモグロビン血症や、発がん性物質の生成に関与する恐れがある(王子ら, 1984; 孫・米山, 1996; 山下, 2003; 安田, 2004; 米山, 1982)とされ、EUでは一定の基準(EU, 2011)を設けて注意喚起を行っているほどである。そこで、第2章ではニラ葉中の硝酸イオン濃度を減らしつつ、収量を確保するための肥培管理方法として、堆肥、基肥量ならびに追肥の種類や施用方法を検討した。

栃木県のイチゴ栽培は、単棟パイプハウスで井水を利用した簡易暖房(ウォーターカーテン)による栽培が盛んに行われている(伊吹・岩崎, 2010; 小倉ら, 1982; 小倉・向井, 1988)。栃木県内ではイチゴの他、アスパラガス、シュンギクなどの品目で導入事例があるものの、ニラでは導入事例が少なかった。しかし、若手生産者を中心に導入が進み、2019年時点での導入状況は農家56戸、栽培面積1,648aである(栃木県, 未発表)。ウォーターカーテンを利用すると、夜温を確保して地温低下を抑え生育促進を図るとともに、ハウス内温度が均一となるので生育を揃えることができる。また、休眠に入るような低温に遭遇させることなく栽培できるので冬季でも連続的な収穫が期待できる。さらに、厳寒期の三重被覆による慣行栽培では、朝晩の小トンネルの開閉作業に大変な労力をかけていたが、これを省くことができるなど大きな特長がある。ニラは休眠を有する品目であるため、低温に遭遇すると休眠に入り地上部は枯れてなくなる、あるいは倒伏して伸長を停止する。このため夜温は5℃以上を確保する必要がある(八畝, 1973)。休眠の深さは品種によって異なり(小沼・沢畑, 1984; 豆塚ら, 1991; 沼田, 1994; 高橋ら, 1974; 手嶋・衛本, 2012; 長, 1972)、特に、周年的に栽培される品種は比較的休眠の浅い品種を利用し、夏どり専用品種は休眠の比較的深い品種を用いる。現地ではこれらの品種を栽培経験に基づいて使用している場合が多く、この休眠の浅深について最近調査した知見は見当たらない。そのためには、休眠が浅く10月頃からの収穫に適する収量性のある品種を選択していく必要がある。最近ではニラの栽培管理でも複合的な環境制御の考え方、す

なわち従来の昼夜間の温度のみの管理から、炭酸ガス施用や日長延長などによるニラの光合成を促進する方法を導入する事例が増えている。しかし、ニラの光合成を促進させる基礎的な知見が少ないのが現状である。一方、栃木県では周年的な生産を一層推進するために夏から秋にかけての生産量の拡大に力を入れていることから、その一端を狙うため 10 月～12 月頃の生産量を拡大するため新たな作型開発が求められている。そこで、第 3 章では、ニラの休眠を回避し 10 月から 4 月ころまでの期間に連続して収穫ができる新たな作型を開発するため、ニラの温度、炭酸ガスや光環境に対する生理生態反応について調査を行った。

第 4 章では、冬季や夏季に発生する葉先が枯れる生理障害の原因と対策について検討した。冬季のニラ栽培では、日中ハウス換気を行ったときに乾いた冷気が単棟ハウスに流入し、葉先枯れ症が発生する場合がある。また、夏季は雨よけハウスで栽培しているが、高温や乾燥によって葉先枯れ症の発生が認められることがある。葉先枯れ症が発生すると品質低下から減収となること多く、生産者は収穫を中断する、あるいは収穫できても調製作業に膨大な時間がかかる。葉先枯れ症としての知見は少なく、葉焼け症状として加藤・福元(1973)、加藤・岩森(1975)、加藤ら(1977)が、土壌 pH の影響、肥料ガスの影響や著しい高温の影響で発生すると報告している程度である。また、12 月から 2 月の厳寒期にアントシアニンとみられる赤い色素が沈着して葉先枯れ症が発生すると報告もある(佐藤ら, 2013; 安岡ら, 2020)。これはニラの光合成を促進させる目的で最近導入が進んでいる炭酸ガス施用の影響とみられている。本章では、冬季や夏季のニラを取り巻く環境を鑑みて、人工気象器などにより葉先枯れ症の発生が想定される環境条件を再現して検討した。また、夏季には遮光資材やマルチ資材を用いて、葉先枯れ症の発生状況を調査し対策を検討した。

農産物の生産性や品質の向上を図るためには、新たな技術開発はとて重要である。一方で、新たに育成された品種を用いることによって大きな成果が得られる場合がある。しかし、現地におけるニラ栽培用品種は各種苗メーカーが育成したものがほとんどで、栃木県等の気候風土に適したものとは言い難い。栃木県農業試験場では、ニラの生産振興の一環として 1985 年から品種育成に取り組み、これまでに‘きぬみどり’(木村, 1995)やネギとニラの種間雑種‘なかみどり’(天谷ら, 1995)を育成した。栃木県農業試験場では、ニラの育種目標を定め交雑育種法によって交配と選抜を毎年実施してきた。しかし、ニラはアポミクシス率が高い植物(Kojima ら, 1991)で、自然界におけるニラの推定交雑率は 1 割程度である(中澤ら, 2005)。このため、選抜の初期段階で効率的な選抜法を開発を喫急の課題としてとらえ、エステラーゼアイソザイム多型を

利用した交雑個体の識別法(天谷, 1996)や、花粉親特異的 DNA マーカーによる選抜法(中澤ら, 2005)を開発し、初期世代の選抜効率が著しく向上した。ニラ品種‘ゆめみどり’は、この RAPD マーカーによる選抜法を用いて初めて開発された。2006 年 8 月に、栃木県農業試験場が保有する遺伝資源の‘杭州ニラ’を種子親、‘サンダーグリーンベルト’を花粉親として交配を行い、前述の RAPD マーカーにより選抜した交雑個体を定植し、草姿、収量、葉身幅、葉身色、葉鞘長などの形態的特性や、休眠性、抽苔性などの生理生態的特性を調査した。その結果、多収性で葉身幅が広いなどの農業形質を備えた系統を選抜し、2014 年 7 月 28 日に‘ゆめみどり’として品種登録出願(出願番号第 29399 号)し、2017 年 2 月 22 日に品種登録(登録番号第 25640 号)された。そこで、第 5 章では‘ゆめみどり’詳細な育成経過ならびに生理生態的な特性を報告する。

第2章 黒ボク土のニラ栽培における葉中硝酸イオン濃度および高収量のための窒素施肥管理

緒言

葉菜類に含まれる硝酸塩は、人の体内で亜硝酸塩に変化し、メトヘモグロビン血症や、発がん性物質である N-ニトロ化合物の生成に関与する恐れがあるとされ(米山, 1982; 王子ら, 1984; 孫・米山, 1996; 山下, 2003; 安田, 2004), 多量に摂取しないようにいわれてきた。また, EU では, 野菜の可食部硝酸塩に一定の基準(EU, 2011)を設けて注意喚起を行っている。さらに, ホウレンソウやコマツナでは, 硝酸塩含量が低下すると, ビタミン C や糖含量が増加する(中川ら, 2000; 建部ら, 1995)ことから, 硝酸塩含量を低減することで高品質な野菜を作ることができると述べている。

一方, 硝酸塩を廻る最近の動きとして, 還元された亜硝酸イオンは殺菌効果があり感染症を予防でき, むしろ有益である(リロンデル・リロンデル, 2006)と報告されている。また, 渡辺(2014, 2017)は, 硝酸塩は人体に有益と提唱し, 農林水産省(2017)は「農業技術の基本指針」から硝酸塩対策の項目を削除し, さらに研究が必要との見解を示している。今後, 農業分野でも環境負荷の軽減に注目が集まっていることから, その指標となる硝酸塩の動態に着目した研究は今後とも重要である。

日本国内の野菜の硝酸塩に関する報告はあるが, ニラに関する報告は少なく, 主なものとしては, 東京都の 1983 から 1992 年まで実施した野菜の硝酸塩に関する調査結果(藤沼ら, 2007), 葉中硝酸イオン濃度と硫酸根の動態変化に関する報告(岡部, 1977; 辻ら, 1993)および七訂食品成分表(香川, 2017)などである。

栃木県のニラ栽培における窒素施肥基準(栃木県, 2017)は基肥 $2.0 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ に追肥の $1.0 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を合わせて $3.0 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ である。また, 堆肥 $300 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を施肥基準としている。2002 年に実施した栃木県内におけるニラ生産者を対象としたアンケート調査では, 化学肥料由来の窒素施肥量は 1.5 から $4.9 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ であり, 堆肥由来が 3.2 から $19.6 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ であった(小玉ら, 2002)。このように, 現地では施肥基準量に対し基肥の窒素施肥量が多く, さらに堆肥施用量も同様に多く, 圃場に多量の窒素が投入されている。過剰な窒素施用は, ニラ葉中硝酸イオン濃度を高める可能性があるほか, 降雨や多灌水により土壌では硝酸イオンとして溶脱し, 地下水や河川水の水質汚染の原因となることも懸念される(熊澤, 1999; 西尾, 1997; 小川, 2000)。過剰な窒素施肥による環境への負荷を軽減するために, 適切な堆肥施用量, 化学肥料の種類と施用量の検

討が必要である(熊澤, 1999; 西尾, 1997; 小川, 2000)。

ニラ栽培の特徴として, ホウレンソウ, レタスやチンゲンサイなどと異なり, 植付けしてから株養成期間を経て収穫を 6 回程度実施するため, 在圃期間は 1 年半から 2 年と長期間に及ぶことにある。さらに, この間温度低下とともに休眠を経て鱗茎や根に蓄積した養分を基に冬期もハウス内で成長する。ニラの窒素施肥量の減肥などの栽培に関する研究は, 現地で行われている堆肥や化学肥料の多投入に対し, 施肥効率や環境負荷軽減を目的としたものであり(石井・河野, 2007a,b; 沼田ら, 1992; 井澤・田内, 1996), ニラの複雑な栽培体型を考慮した窒素施肥管理に着目した研究事例は見当たらない。また, 栃木県に分布が多い黒ボク土における土壌中硝酸態窒素含量と葉中硝酸イオン濃度との関係についての知見も少ない。

そこで, 本研究は黒ボク土におけるニラ栽培において, 土壌中硝酸態窒素の動態に着目し, ニラの葉中硝酸イオン濃度を低く抑え, 高収量を得るための窒素施肥管理技術を確立することを目的とした。そのために堆肥施用量および窒素施肥量, 追肥方法が土壌中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度, ならびに収量に及ぼす影響について調査した。

第1節 堆肥施用量および化学肥料の窒素施肥量が土壌中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度, ならびに収量に及ぼす影響

ニラ栽培では, 堆肥施用量や基肥や追肥の窒素施肥量が多く(小玉ら, 2002), 土壌中硝酸態窒素含量やニラの葉中硝酸イオン濃度が高まる可能性がある。加えて, 硝酸態窒素が地下浸透し周辺の河川等へ影響を及ぼす(熊澤, 1999; 西尾, 1997; 小川, 2000)ことも想定される。そこで, 堆肥施用量と化学肥料による基肥および追肥の施用量が土壌中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度に与える影響ならびに窒素施肥量の増減がニラ収量に及ぼす影響について解析した。

材料および方法

1) 冬どり栽培

試験は栃木県農業試験場の圃場(北緯 $36^{\circ}36'58.0''$, 東経 $139^{\circ}51'50.0''$)で行った。材料にはニラ(*Allium ramosum* L.) 'スーパーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)'を供試し, 2002 年 4 月 9 日にセルトレイに播種し, 7 月 17 日に間口 5.4 m , 長さ 17 m のパイプハウスに畝間 40 cm , 株間 20 cm の 4 本植えて定植した。併せてビニールを被覆して 12 月 9 日まで雨よけとして株養成を実施した。12 月 9 日に地上部を刈り取

って保温を開始した。保温は外張りが農業用ビニルフィルム、内張りは農業用ポリエチレンフィルムによる二重被覆とした。温度管理は昼温 25°C、夜温 3°C を目標に管理した。

処理区構成は第 1 表 A に示した。牛ふん堆肥を 0, 300, 600 または 1,200 kg・a⁻¹ 施用する 4 処理を設定した。試験開始前の土壌分析値を第 1 表 B に、使用した堆肥の化学成分値を第 1 表 C に示した。それぞれの堆肥施用区に対し、化学肥料を基肥として、窒素成分で 0 または 4 kg・a⁻¹ 施用する区を設けた。さらに、基肥 4 kg・a⁻¹ 施用区に追肥として、窒素成分で 0 または 2 kg・a⁻¹ 施用する区を設け合計 12 区を設定した。

基肥の窒素は肥効調節型肥料(くみあい被覆燐硝安 2601 (N: P₂O₅: K₂O = 26%: 1%: 0%))180 日タイプ、チッソ旭(現ジェイカムアグリ(株))と硫酸をそれぞれ 60%, 40%の割合で施用した。リン酸は苦土重焼リンを全処理区に 4 kg・a⁻¹、カリは全処理区に硫酸カリウムとケイ酸カリウムを 50%ずつの割合で計 4 kg・a⁻¹ を基肥として施用した。堆肥および基肥は 2002 年 7 月 15 日に施用した。追肥として窒素肥料を、硝安で 9 月 6 日、9 月 19 日、10 月 4 日、10 月 18 日の 4 回、それぞれ 0.5 kg・a⁻¹ 施用した。

収穫は平均葉身長が約 38 cm になったときを目安に 2003 年 1 月 20 日、2 月 14 日および 3 月 18 日に行い、葉身重および硝酸イオン濃度を測定した。また、土壌中の硝酸態窒素含量を測定した。葉身重は 10 株の平均値から面積あたりの収量を算出した。葉中硝酸イオン濃度は、各処理区内から 5

株を刈り取った試料に対して実施した。葉中硝酸イオン濃度は、乾燥粉砕後、その粉末 0.2 g に対してイオン交換水 20 mL を添加し密栓後オートクレーブで 120°C 10 分間加熱し、抽出液をイオンクロマトグラフィー (LC25 Chromatography, Thermo Fisher Scientific(株))により測定した。また、土壌中の硝酸態窒素含量はベッド内の表層からおおよそ 15 cm までの作土を採取後風乾し 2 mm で篩別後、土壌:水=1:5 で 1 時間振とう後 0.45 μm のメンブランフィルター (ADVANTEC) でろ過し、希釈後同イオンクロマトグラフィーで測定した。

2) 夏どり栽培

冬どり栽培終了後、栽培株はそのままにハウスのサイドのビニールを外して雨よけ栽培とした。追肥区では硝安を用いて 2003 年 4 月 9 日、5 月 8 日および 6 月 9 日に 0.4 kg・a⁻¹ ずつ計 1.2 kg・a⁻¹ の追肥をして株養成を行った。そして、7 月 15 日に捨て刈りを行い、葉身長 38 cm を目安に 7 月 31 日、8 月 19 日および 9 月 11 日に収穫し葉身重を測定した。土壌中硝酸態窒素含量およびニラ葉中硝酸イオン濃度の分析は冬どり栽培と同様に実施した。

なお、試験結果は分散分析ならびに Tukey-Kramer の多重比較によって堆肥施用量、窒素施肥量および栽培期間における土壌中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度の差を統計的に検定した。また、収量は堆肥施用量および窒素施肥量において分散分析ならびに Tukey-Kramer の多重比較によって検定した。

第1表 試験1の処理区構成、土壌および供試堆肥の化学性

A 処理区構成

堆肥施用量 (kg・a ⁻¹)	窒素基肥量 (kg・a ⁻¹)	窒素追肥量 (kg・a ⁻¹)	
		冬どり株養成	夏どり株養成
0, 300, 600, 1200	0	0	0
	4	0	0
	4	2	1.2

B 土壌の化学性

項目	pH	EC (dS・m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg・100 g ⁻¹ 乾土)	可給態N (mg・100 g ⁻¹ 乾土)	交換性塩基 (mg・100 g ⁻¹ 乾土)		
					CaO	MgO	K ₂ O
	6.7	0.18	7.7	5.5	1049	219	51

pH: 土壌に対する水の比を1:5として、ガラス電極式pH計で測定

EC: 土壌に対する水の比を1:5として、電気伝導度計で測定

NO₃-N: 10%塩化カリウム溶液で抽出し、デバルタ合金を加えた蒸留法で測定

可給態N: 30°C4週間の保温静置培養法で測定

交換性塩基: 酢酸アンモニウムで浸出後、原子吸光法で測定

C 供試堆肥の化学性

項目	水分 (%)	粗灰分 (%)	Total N (%)	Total C (%)	C/N比	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)
	23.6	42.9	1.5	31.0	21.2	3.0	7.1	1.1	3.4

粗灰分: 電気炉中550°C、4時間加熱後測定

Total N, C: NCアナライザーによる乾式燃焼法で測定

P₂O₅: 湿式灰化後、バナドモリブデン酸比色法で測定

CaO, MgO, K₂O: 湿式灰化後、原子吸光法で測定

粗灰分: 電気炉中550°C、5時間加熱後測定

結 果

土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度に及ぼす堆肥施用量、窒素施用量および栽培期間の影響について第2表に示した。堆肥施用量は土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度に対して有意な影響を及ぼさなかった。また、窒素施用量が多いほど土壤中硝酸態窒素含量が有意に高かった。栽培期間も土壤中硝酸態窒素含量に有意な影響を与えており、夏どり養成期と冬どり収穫期が同等で、冬どり養成期および夏どり収穫期より有意に高かった。土壤中硝酸態窒素含量に対して、窒素施用量および栽培期間の交互作用は有意であり、それ以外の組合せは有意でなかった。冬どり株養成期、冬どり収穫期および夏どり株養成期の各期間中において、窒素施用量が多いほど土壤中硝酸態窒素含量は高く、基肥+追肥区では有意に高かった(第1図A)。しかし、夏どり収穫期においては窒素施用量の違いによる土壤中硝酸態窒素含量には有意な差は認められなかった。また、窒素無施肥でも夏どり株養成期では土壤中硝酸態窒素含量が高く、基肥のみでは冬どり収穫期および夏どり株養成期で有

意に高かった。基肥+追肥も夏どり株養成期で高かった。なお、夏どり収穫期は窒素無施肥、基肥のみおよび基肥+追肥のいずれも最も低かった(第1図B)。窒素施用量と栽培期間は葉中硝酸イオン濃度に対しても有意な影響をもたらした。しかし、交互作用はなく窒素施用量が多いほど葉中硝酸イオン濃度は有意に高く、冬どり養成期の葉中硝酸イオン濃度は他の栽培期間と比べて有意に高かった(第2表)。

堆肥施用量および窒素施用量は冬どりおよび夏どり収量に有意な影響を及ぼしたが、それらの間には有意な交互作用は認められなかった(第3表)。冬どりおよび夏どりととも堆肥施用量 600 および 1,200 kg・a⁻¹ の処理区で収量は高い傾向であり、600 kg・a⁻¹ の処理区で両時期において有意に高かった。また、冬どり収量は窒素施用量が多いほど有意に多く、夏どり収量も同様の傾向であり、4+2+1.2区で有意に最も高かった。

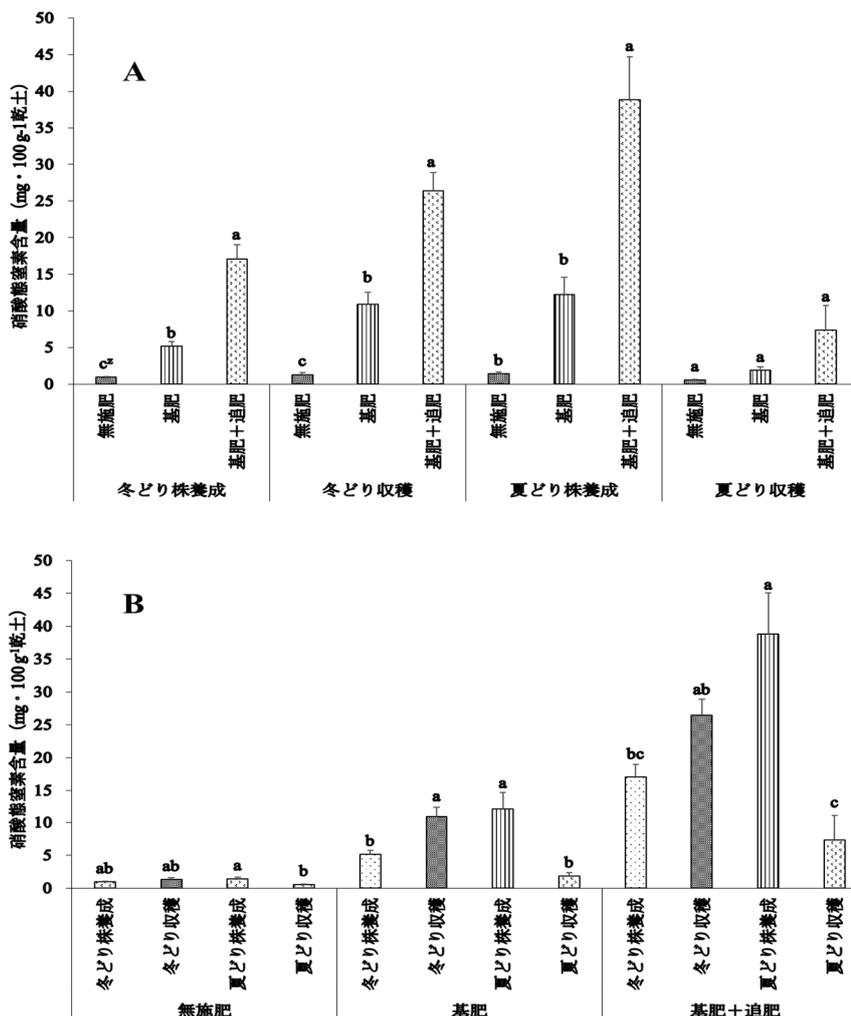
なお、土壤中硝酸態窒素含量と葉中硝酸イオン濃度の関係は示していないが、冬どりと夏どりの間で若干の違いはあるがいずれも相関は低かった(データ省略)。

第2表 堆肥施用量、窒素施用量および栽培期間が土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度に及ぼす影響

要因	処理	n	土壤中硝酸態窒素含量 (mg・100 g ⁻¹ 乾土)	葉中硝酸イオン濃度 (mg・kg ⁻¹ FW)
堆肥施用量 (kg・a ⁻¹)	0	45	11.4 a ^z	1733 a
	300	45	8.8 a	1886 a
	600	45	11.5 a	1859 a
	1200	45	10.2 a	1656 a
窒素施用量 (kg・a ⁻¹)	0	60	1.1 c	921 c
	4	60	7.5 b	1926 b
	4+2+1.2	60	22.8 a	2504 a
期間	冬どり株養成期	60	7.7 b	2947 a
	冬どり収穫期	36	12.9 a	1375 b
	夏どり株養成期	48	17.5 a	1180 b
	夏どり収穫期	36	3.3 b	1059 b
分散分析 ^y	堆肥施用量		n.s.	n.s.
	窒素施用量		***	***
	期間		***	***
	堆肥施用量×窒素施用量		n.s.	n.s.
	堆肥施用量×期間		n.s.	n.s.
	窒素施用量×期間		***	n.s.
	堆肥施用量×窒素施用量×期間		n.s.	n.s.

^z同一要因内における異なる文字間には、Tukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差あり

^y三元配置分散分析により***が0.1%で有意性あり、n.s.は有意性なし



第1図 試験1の窒素施肥量と期間が土壤中硝酸態窒素含量に及ぼす影響
A：期間別 B：窒素施肥量別

同一要因内における異なる文字間にはTukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差あり (冬どり株養成期 n=20, 夏どり養成期 n=16, 収穫期 n=12)

第3表 堆肥施用量および窒素施肥量が収量に及ぼす影響

要因	処理	冬どり収量 (kg・a ⁻¹)	夏どり収量 (kg・a ⁻¹)
堆肥施用量 (kg・a ⁻¹)	0	111 b ²	101 b
	300	111 b	95 b
	600	125 a	130 a
	1200	123 a	111 ab
窒素施肥量 (kg・a ⁻¹)	0	108 c	96 b
	4	118 b	112 ab
	4+2+1.2	127 a	120 a
分散分析 ³⁾	堆肥施用量	***	**
	窒素施肥量	***	*
	堆肥施用量×窒素施肥量	n.s.	n.s.

²⁾同一要因内における異なる文字間にはTukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差あり (堆肥施用量：n=9；窒素施肥量：n=12)

³⁾二元配置分散分析により***が0.1%、**が1%、*が5%で有意性あり、n.s.は有意性なし

考 察

土壤中硝酸態窒素含量や葉中硝酸イオン濃度は、堆肥施用量の処理間による有意差は認められなかったが、収量は冬どりおよび夏どりとも堆肥施用量が $600 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ の処理区で有意に高かった。本試験で使用した堆肥は牛ふん堆肥で C/N 比が比較的高く、肥効が緩やかなため、堆肥施用量は土壤中硝酸態窒素含量には影響を及ぼさなかったことが示唆された。葉中硝酸イオン濃度にも有意差は認められず、全処理区で $2,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{FW}$ 以下であった。高間ら(2008)は、本試験と同様に牛ふん堆肥の施用がニラの葉中硝酸イオン濃度の上昇を抑えられると述べている。また、中本ら(1998)は、ハウレンソウを用いて、バーク堆肥の施用による葉中硝酸イオン濃度の減少効果に関して報告している。以上のことから、C/N 比が比較的高く肥効が緩やかな堆肥は、施用直後のニラの葉中硝酸イオン濃度を低く抑える効果が示唆された。

ニラ栽培における堆肥施用量について、山岡ら(1992)はバーク堆肥を施用する場合、慣行耕および深耕ともに施用量は $500 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 程度が適当としている。また、長・村川(2018)や村上・橋本(2018)は堆肥の種類までは言及していないが、ニラは定植から収穫終了までの期間が長いことや、野菜の中でも土壤養分吸収量の多い品目の一つであることから、堆肥施用量は $500 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ と述べている。堆肥施用量の違いによる収量へ及ぼす影響では、 $600 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ で有意に多かった。栃木県の農作物施肥基準ではニラの堆肥施用量は $300 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ であるが(栃木県, 2017)、土壤中硝酸態窒素含量や葉中硝酸イオン濃度に及ぼす影響が少ないことから、 $600 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ の施用量でも可能であることが示めされた(第 2 表)。ただし、圃場への窒素施肥量が多いと硝酸イオンの地下浸透による水質汚染など環境への影響が懸念され(熊澤, 1999; 西尾, 1997; 小川, 2000)、堆肥施用量が多い場合(北条ら, 2005)も施用直後では問題なくても、同様なことが危惧される。そのため、施用する堆肥の C/N 比や施肥前の土壤中硝酸態窒素含量および可給態窒素含量を考慮し、適切な堆肥施用量とする。

基肥あるいは追肥による窒素施肥量は多くなるに従い、収量が増加する結果となった。栃木県農作物施肥基準(栃木県, 2017)では基肥の窒素施肥量が $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 、追肥は $1 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ であるが、本試験の結果、適切な窒素施肥量が倍以上となった。さらに、土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度も窒素施肥量が多くなるに従い上昇したことから、土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度を低減するため、基肥や追肥の窒素施肥量や施用方法について検討が必要である。

第 2 節 基肥減肥および窒素追肥施用法が土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度、ならびに収量に及ぼす影響

定植時のニラはセル成型苗など小さい苗で植えることから、株養成期は窒素吸収量が少なく(井澤・田内, 1996)、沼田ら(1992)は窒素基肥量を $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ と $4 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ で施用しても収量は変わらず、追肥による影響の方が大きいと報告している。このことから、基肥の窒素施肥量を抑えて追肥に重点を置いた施肥法とし、ニラが追肥により効率的に吸収できる方法を検討する。また、現地では株養成期間中、露地状態で育成していることを考慮して、本試験では定植から露地状態として株養成を実施することとした。

材料および方法

1) 冬どり栽培

供試品種としてニラ‘スーパーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を用い、2003 年 3 月 25 日に播種し、5 月 28 日に間口 5.4 m、長さ 17 m のビニールを張っていないパイプハウスに畝間 40 cm、株間 20 cm とし、1 株 4 本で定植した。このように第 2 節では、第 1 節と異なり株養成前半は露地栽培とした。追肥開始となる 9 月 10 日以降は雨よけとし、12 月 19 日に地上部を刈り取って保温を開始した。

堆肥は第 1 節と同じものを用いて 5 月 26 日に施用した。第 4 表 A に示すように、窒素基肥量は減肥する区と減肥しない標準施肥区に対して、ドリップ給液、肥効調節型肥料および速効性肥料による 3 通りの方法を設けて処理区とした。減肥量は、まず農作物施肥基準(栃木県, 2002)に示されている施設土壤中の硝酸態窒素含量から黒ボク土に応じた窒素減肥量を算出した。併せて、土壤中の可給態窒素量(日本土壤協会, 2001)を保温静置培養法により求めた。これら窒素減肥量と可給態窒素量について、農作物施肥基準(栃木県, 2002)に示されている基肥窒素量 $2.0 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ から差し引いて基肥窒素施肥量を算出した。すなわち、第 4 表 B に示した作付け開始前土壤分析の結果から、硝酸態窒素含量 $12.8 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ に対して求める窒素減肥量は、圃場が黒ボク土から作土深 15 cm、仮比重 0.65 と仮定し、栃木県農作物施肥基準(栃木県, 2002)に示されている次式、窒素減肥量=(硝酸態窒素量($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) \times 作土深(cm) \times 土壤仮比重 $\div 10$)-5 から求めると $0.75 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ となる。これと可給態窒素量 $0.42 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ を基肥窒素量 $2.0 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ より減じると基肥窒素施肥量は $0.83 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ となる。

基肥の窒素肥料は肥効調節型肥料(くみあい被覆燐硝安 2601 (N: P₂O₅: K₂O=26%: 1%: 0%) 180 日タイプ、チッソ旭(現

第4表 試験2の処理区構成および土壌の化学性

A 処理区構成

窒素基肥量 (kg・a ⁻¹)	追肥方法	窒素追肥量 (kg・a ⁻¹)
		冬どり株養成
標準 (2 kg・a ⁻¹)	ドリップ給液	1.0
	肥効調節型肥料	1.0
減肥 (0.83 kg・a ⁻¹)	速効性肥料	1.0

B 土壌の化学性

項目	pH	EC (dS・m ⁻¹)	Total N (%)	NO ₃ -N (mg・100g ⁻¹ 乾土)	可給態N (mg・100g ⁻¹ 乾土)	Trueg-P ₂ O ₅ (mg・100g ⁻¹ 乾土)	CEC (cmol (+)・kg ⁻¹ 乾土)	交換性塩基 (mg・100g ⁻¹ 乾土)			塩基飽和度 (%)
								CaO	MgO	K ₂ O	
	6.6	0.47	0.43	12.8	4.3	49.5	46.4	893	152	50	87

pH: 土壌に対する水の比を1:5として、ガラス電極式pH計で測定

EC: 土壌に対する水の比を1:5として、電気伝導度計で測定

Total N: NC7アナライザーによる乾式燃焼法で測定

NO₃-N: 10%塩化カリウム溶液で抽出し、デバルタ合金を加えた蒸留法で測定

可給態N: 30°C4週間の保温静置培養法で測定

Trueg-P₂O₅: Trueg法で抽出し、分光光度計で定量

CEC: Shollenberger法で浸出し、水蒸気蒸留法で測定

交換性塩基: 酢酸アンモニウムで浸出後、原子吸光法で測定

ジェイカムアグリ(株))と硫酸をそれぞれ 60%, 40%の割合で施用した。リン酸は苦土重焼リン 3.0 kg・a⁻¹, カリは硫酸カリウムとケイ酸カリウムを50%ずつの割合で2.0 kg・a⁻¹施用した。ドリップ給液による追肥は硝安を使用し、株養成中の9月10日から11月8日まで窒素で1.0 kg・a⁻¹を0.2%から0.3%程度の濃度で分施した。肥効調節型肥料はくみあい被覆燐硝安(N: P₂O₅: K₂O = 26%: 1%: 0%)70日タイプ(チッソ旭(現ジェイカムアグリ(株)))を使用し、9月10日に窒素で1.0 kg・a⁻¹を施肥した。速効性肥料による追肥は硝安を使用し、9月10日および10月10日に窒素で0.5 kg・a⁻¹ずつ施肥した。カリの追肥は各区ともケイ酸カリウムを使用し、9月10日にカリで1.0 kg・a⁻¹を施肥した。

収穫は2004年1月27日, 3月2日および3月24日に、平均葉身長38cmを目安に実施し、葉身重および硝酸イオン濃度を測定した。株養成期間中の葉中硝酸イオン濃度および土壌中硝酸態窒素含量を第1節と同様の方法で測定した。

なお、試験結果は分散分析ならびにTukey-Kramerの多重比較によって窒素基肥量、追肥法および栽培期間における土壌中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度の差を統計的に検定した。また、収量は窒素基肥量および追肥法に

おいて分散分析ならびにTukey-Kramerの多重比較によって検定した。

結果

窒素基肥量と追肥法および栽培期間が土壌中硝酸態窒素含量と葉中硝酸イオン濃度に及ぼす影響について第5表に示した。土壌中硝酸態窒素含量は窒素基肥量および期間に対して影響は示さなかった。しかし、追肥法と栽培期間との間に有意な交互作用が認められ、追肥法は速効性区が有意に多く、栽培期間では有意差は認められなかった。これについて下位検定を行った結果、冬どり株養成期で有意に速効性区が高く、冬どり収穫期では追肥法間で有意差は示さなかった(第2図A)。また、追肥法間における冬どり株養成期と冬どり収穫期の間には有意差は認められなかった(第2図B)。一方、追肥法は葉中硝酸イオン濃度に有意な影響を及ぼし、ドリップ区が最も高く肥効調節区は低かった。また、窒素基肥量と追肥法間では有意な交互作用が認められた。しかし、下位検定により窒素基肥量と追肥法間では有意差は認められなかった(データ省略)。第6表に収量を示した、窒素基肥量と追肥法は有意な影響を及ぼさなかった。

考 察

第1節の冬どり株養成期では、定植から追肥開始までの期間中は雨よけで株養成をしたが、第2節では5月28日の定植から9月10日の追肥開始までは露地で株養成を行った。この点が大きく異なり、露地では降雨などにより土壤中の硝酸イオンが溶脱することで土壤中硝酸態窒素含量が低下し、それに伴い植物へ供給される硝酸態窒素が減少し、葉中硝酸イオン濃度が低下したと考えられる。このため、追肥をしても土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度は高くならなかった(第5表)。また、窒素基肥量や追肥法の要因別にみても第1節の収量と同等以上であった(第3表, 第6表)。さらに、定植時のニラはセル成型苗など小さい苗で植えることから株養成期は窒素吸収量が少ない(石井・河野, 2007a,b; 井澤・田内, 1996)。石井・河野(2007a)は定植1年目には標準施肥のおよび $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ では多いため基肥窒素量を減らし、収穫が始まったときに追肥を増やすなどの改善が必要であると報告している。また、沼田ら(1992)は窒素基肥量を $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$

と $4 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ とで施用した場合に収量は変わらず、追肥による影響の方が大きいことを報告している。第1節では、基肥のみよりも追肥を行うことで有意に収量が増加した。第2節では、窒素基肥量を標準施肥の $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ および減肥した $0.83 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ とし追肥量を同量にして栽培したが、収量に有意差は認められなかった(第6表)。これらのことから、ニラ定植時の生育量は小さく養分吸収量が少なく、第2節で示した基肥窒素施肥量 = 基肥窒素量 - (窒素減肥量 + 可給態窒素量) で十分であることが示唆された。なお、窒素減肥量 = (硝酸態窒素量 ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) \times 作土深 (cm) \times 土壌仮比重 $\div 10$) - 5 である(栃木県, 2002)。

次に追肥法は、液肥のドリップ給液、肥効調節型肥料および速効性肥料を用いたが、葉中硝酸イオン濃度は肥効調節型肥料で低かった(第5表)。また、冬どりの収量は追肥法間では有意差は認められなかった(第6表)ことから、追肥は肥効調節型肥料の70日タイプを用いて、冬どり株養成期に $1.0 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 程度施用する施肥管理が有効であると考えられる。

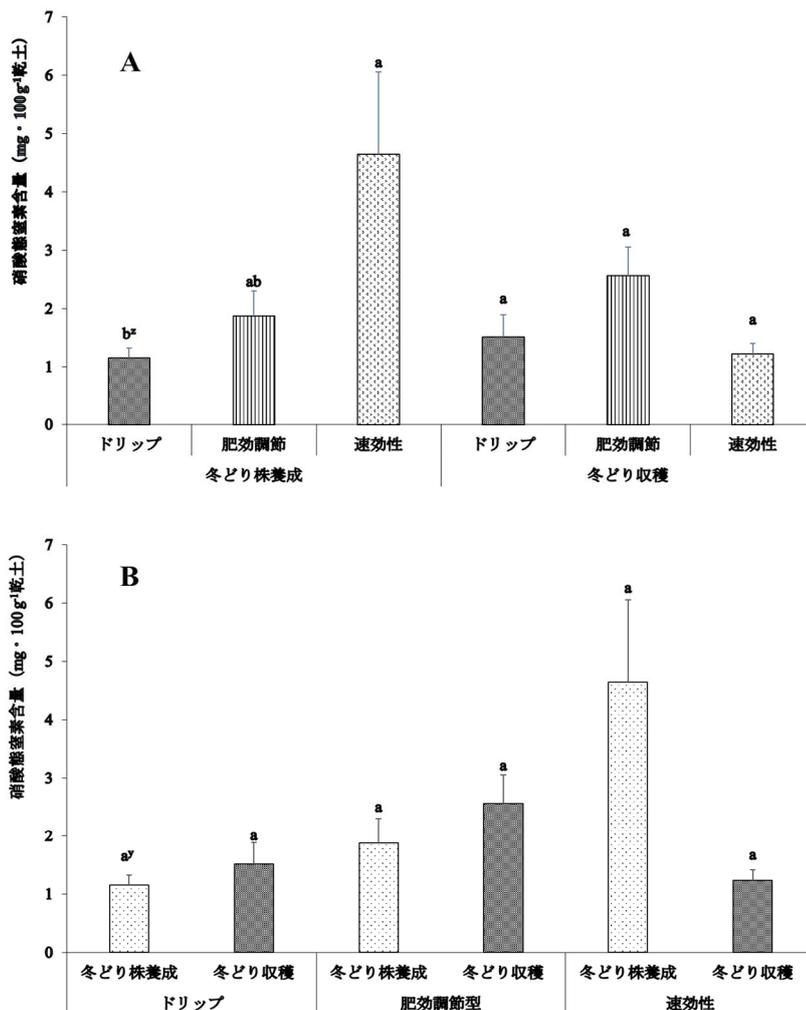
第5表 窒素基肥量、追肥法および栽培期間が土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度に及ぼす影響

要因	処理	n	土壤中硝酸態窒素含量 ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ 乾土)	葉中硝酸イオン濃度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ FW)
窒素基肥量 ($\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$)	0.83	24	2.4 ^z	383
	2	24	2.2	430
追肥法	ドリップ	16	1.29 b ^y	614 a
	肥効調節	16	2.14 ab	340 b
	速効性	16	3.37 a	509 ab
期間	冬どり株養成期	30	2.14 ^z	397
	冬どり収穫期	18	1.61	638
分散分析 ^x	基肥量		n.s.	n.s.
	追肥法		*	**
	期間		n.s.	n.s.
	基肥量 \times 追肥法		n.s.	***
	基肥量 \times 期間		n.s.	n.s.
	追肥法 \times 期間		*	n.s.
	基肥量 \times 追肥法 \times 期間		n.s.	n.s.

^z検定 ($P < 0.05$) により有意差なし

^y同一要因内における異なる文字間には、Tukey-Kramer検定 ($P < 0.05$) により有意差あり

^x三元配置分散分析により***が0.1%、**が1%、*が5%で有意性あり、n.s.は有意性なし



第2図 試験2の追肥法と期間が土壌中硝酸態窒素含量に及ぼす影響
A: 期間別 B: 追肥法別

^zA: 同一要因内における異なる文字間にはTukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差あり (冬どり株養成期 n=10, 冬どり収穫期 n=6),
^yB: t検定 (P<0.05) により同一文字間には有意差なし (冬どり株養成期 n=10, 冬どり収穫期 n=6)

第6表 窒素基肥量および追肥法が収量に及ぼす影響

要因	処理	冬どり収量 (kg · a ⁻¹)
窒素基肥量 (kg · a ⁻¹)	0.83	129 ^z
	2.0	140
追肥法	ドリップ	114 a ^y
	肥効調節	146 a
	速効性	143 a
分散分析 ^x	基肥量	n.s.
	追肥法	n.s.
	基肥量×追肥法	n.s.

^zt検定 (P<0.05) により有意差なし

^y同一要因内における同一文字間には, Tukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差なし

^x二元配置分散分析により, n.s.は有意性なし (窒素基肥量: n=9, 追肥法: n=6)

まとめ

土壤中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度は窒素施肥量が多くなるに従い高まり、基肥窒素量 $4 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ + 冬どり追肥窒素量 $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ + 夏どり追肥窒素量 $1.2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 区で最も高い値を示した。収量は冬どりおよび夏どりととも堆肥施用量 $600 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ で有意に高く、窒素施肥量が多いほど有意に多収で、基肥窒素量 $4 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ + 冬どり追肥窒素量 $2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ + 夏どり窒素量 $1.2 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 区で最も収量が多かった。基肥窒素量の標準区と減肥区、追肥のドリップ給液区、肥効調節型肥料区および速効性肥料区の 3 とおりの追肥法を組合わせて試験を行った。土壤中硝酸態窒素含量は追肥法間で速効性肥料区が有意に多く、特に冬どり株養成期で速効性肥料区が多かった。葉中硝酸イオン濃度は追肥法で有意な影響を及ぼし、ドリップ給液区が最も高く肥効調節型肥料区は低かった。なお、窒素基肥量および追肥法は収量に有意な影響を及ぼさなかった。以上から、堆肥を $600 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ とし、作付け前土壤の可給態窒素含量および硝酸態窒素含量の測定値に基づいて窒素基肥量の減肥を行い、追肥に肥効調節型肥料を使用する施肥体系とすることで、ニラの葉中硝酸イオン濃度の低減と同時に収量の増加も可能であることが示唆された。さらに、冬どり株養成期に追肥を開始する前は露地栽培とすることで、葉中硝酸イオン濃度は低く抑えられ、平均的な $600 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 程度の収量(藤澤, 2019b)を得られることが示された。ただし、ニラ栽培が長期間に及ぶことや、本研究の試験圃場の土壤は黒ボク土で比較的肥沃な土壤条件であること、さらに平均気温 13.8°C 、年間降水量 $1,493 \text{ mm}$ という気象条件の中で実施しているため、土壤条件、栽培環境の地域差や地球温暖化による影響などを十分考慮する必要がある。

第 3 章 温度、炭酸ガスおよび光環境がニラの光合成と生育に及ぼす影響

緒 言

東日本のニラ主産地では、冬季がパイプハウスを利用した無加温栽培が多く、夏季は外張フィルム被覆による雨よけ栽培を行い、地域によっては露地栽培を行っている。冬季に出荷する地域では、無加温で外張フィルムと内張フィルムによる被覆および小トンネルを併用して栽培している。栃木県などでは、2 月から 3 月に播種して 5 月から 6 月に定植、一定の株養成期間を経て 12 月に地上部を刈り取ってから保温を行う。そして、1 月から 3 月まで 3~4 回収穫後再び株養成を行い、夏にまた地上部を刈り取って秋に 3 回程度収穫する(長・村川, 2018; 藤澤, 2019b)。この作型を基本として、労働力分散のため時期を少しずつずらして栽培している。この栽培方法の特徴は、ニラに十分な低温に遭遇させ、休眠を打破してから保温を開始するところにある(長, 1972; 小沼・沢畑, 1984; 豆塚ら, 1991; 沼田, 1994; 高橋・湯谷, 1979; 手嶋・衛本, 2012; 島貫・雨宮, 2014; 八萩・為我井, 1972)。休眠の浅深は品種によって異なる(長, 1972; 小沼・沢畑, 1984; 豆塚ら, 1991; 沼田, 1994; 高橋ら, 1974; 手嶋・衛本, 2012; 島貫・雨宮, 2014)うえに、生産量にも品種間差があると現地で指摘されている。近年、市販品種も多数で回っており、生産者は地域や作型に応じた品種を導入し栽培しているが、これらの品種について、低温遭遇後の生育量を調査した報告例は少ない。

北関東や東北ではイチゴ栽培を中心に井水利用による簡易暖房いわゆるウォーターカーテン(伊吹・岩崎, 2010; 小倉ら, 1982; 小倉・向井, 1988)による栽培が盛んに行われている。この方法であればイチゴの目標とする 8~10℃の夜温を確保することができる。ニラの場合、夜温は 5℃以上(八萩, 1973)を目標とするので、ウォーターカーテンを利用することは十分可能である。今後、ニラ栽培でも積極的に導入が進むことが想定されるがウォーターカーテンを利用したニラ栽培について知見が少ない状況である。

オランダにおけるトマト生産では 10 a 当たり収量が 50 t 以上で、日本のトマト収量を超過しており、その要因として気象条件や栽培施設の規模・設備等の栽培環境に起因していると考えられている(鈴木, 2005・2006)。日本国内においては、気温を管理目標として加温と換気を行う単純な環境制御のみが実施されている(安場ら, 2011)のが現状であったが、近年は収量を増加させるためには炭酸ガス施用や補光などの環境制御が有効である(鈴木, 2006)ことから、環境制御技術が積極的に導入されている。ニラの環境制御に関する研究は、

電照による日長延長(高橋・湯谷, 1979)、暗期中断(橋本・和田, 2020; 高橋・湯谷, 1979)や、炭酸ガス施用(こうち農業ネット, 2014; 佐藤ら, 2013)などがある。炭酸ガス施用は現地に少しずつ導入されているが、光環境制御技術については今後さらなる研究が必要である。

そこで、本研究では現地の主要ニラ品種を用いて低温遭遇時間と生育の関係性を調査し、休眠が浅く低温伸長性があり、冬季でも生産性の高い品種の選定を行った。また、ニラの光合成を向上させる光合成有効光量子密度、温度や炭酸ガス濃度およびその関係性について明らかにするとともに、ウォーターカーテンを利用したハウス内最低気温と炭酸ガス施用の有無がニラの収量や生育に及ぼす影響について試験を行った。

第 1 節 ニラ品種の低温遭遇時間の違いが生育量に及ぼす影響

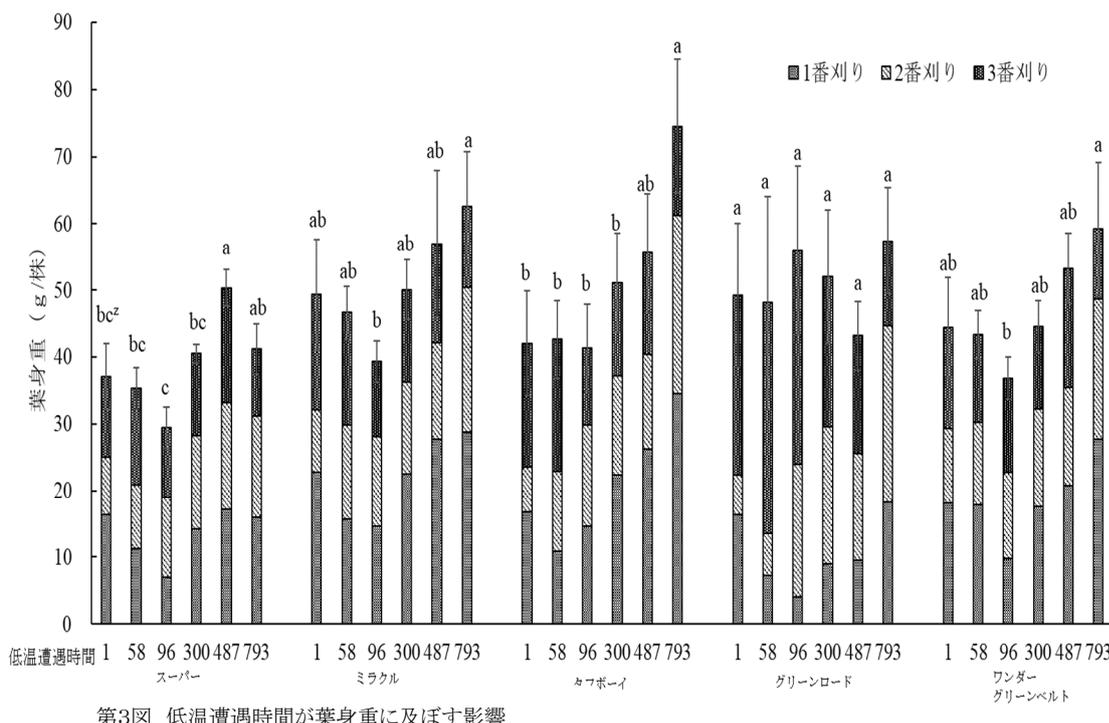
ニラは品種により休眠程度が若干異なり、5℃以下の低温遭遇時間の長短が収量や品質に大きな影響を及ぼすことが知られている。ニラ生産者は生産組織等で推奨している 3~4 品種を使い、休眠性、低温伸長性などを踏まえて出荷する時期を定めて栽培をしている。そこで、本試験では栃木県内のニラ産地の主力品種について、低温遭遇時間の違いが生育量に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

供試品種は、‘スーパーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’、‘ミラクルグリーンベルト(同)’、‘ワンダーグリーンベルト(同)’、‘タフボーイ(八江農芸(株))’および‘グリーンロード((株)サカタのタネ)’の 5 品種を供試し、2012 年 2 月 2 日に用土を充填した 200 穴セルトレイに 2 粒ずつ播種した。施肥は、1/2000 ワグネルポット(以下ポット)に緩効性肥料(BB ニラグリーン 886(N: P₂O₅: K₂O = 8%: 8%: 6%))を 5.4 g 施用し、4 月 4 日にポット当たり 2 株ずつ計 4 本を植え穴に深さ 10 cm で定植した。株養成は露地で土壤にポットを半分程度埋め込んで行った。低温遭遇処理は 5℃以下遭遇積算時間を 1 時間(処理開始日 2012 年 10 月 19 日)、58 時間(同 11 月 5 日)、96 時間(同 11 月 15 日)、300 時間(同 12 月 2 日)、487 時間(同 12 月 14 日)および 793 時間(2013 年 1 月 2 日)

第 7 表 低温遭遇時間ごとの収穫日

	収穫1回目	収穫2回目	収穫3回目	
低温遭遇時間	1時間	11月22日	1月22日	3月26日
	58時間	12月21日	2月8日	4月5日
	96時間	1月11日	3月11日	4月11日
	300時間	1月25日	3月4日	4月11日
	487時間	1月22日	2月20日	4月5日
	793時間	2月5日	3月11日	4月11日



第3図 低温遭遇時間が葉身重に及ぼす影響

とし、低温遭遇時間経過後はガラス温室(200m²)に移動して圃場にポットを設置し、昼温は 25℃を目標に、夜温は 5℃以下にならないように管理を行った。5℃以下の遭遇積算時間は、圃場の地際から 10 cm 位置の気温をおんどり((株)ティアンドデイ)で測定して積算した。調査は葉身長が約 25 cm 程度になった時点で刈り取り、各株の地上部を収穫してその重さを測定した。また、収穫は第 7 表に示したように処理区ごとに計 3 回実施した。

なお、試験結果は Tukey-Kramer の多重比較によって品種毎に低温遭遇時間における葉身重の差を統計的に検定した。

結果

ニラ品種と低温遭遇時間が葉身重に及ぼす影響について、第 3 図に示した。‘スーパーグリーンベルト’、‘ミラクルグリーンベルト’、‘タフボーイ’および‘ワンダーグリーンベルト’は低温遭遇時間 1 時間から 96 時間区において葉身重は同等かあるいは有意に少なかった。それらの品種は低温遭遇 300 時間以上になると、葉身重が重くなった。品種間で比較すると、‘ミラクルグリーンベルト’、‘タフボーイ’および‘グリーンロード’は有意に葉身重が重かった(データ省略)。なお、‘グリーンロード’においては、低温遭遇時間の違いによる葉身重への影響は認められなかった。

考察

第 1 節では現地に導入されているニラ品種を用いて 5℃以

下の低温遭遇後の生育量を測定したところ、‘グリーンロード’を除いた他の品種は、低温遭遇時間 1 時間区から 300 時間区までは生育量が少なく休眠の影響があったと考えられる。近年のニラ品種の休眠に関する知見をみると、手嶋、衛本(2012)は‘タフボーイ’について、休眠が覚めるのに 5℃以下の 200 時間以上の低温遭遇が必要としているが、5℃以下の低温に遭遇させなくても 11 月から 3 月まで安定的に収量が確保できると述べている。また、島貫・雨宮(2014)は‘ミラクルグリーンベルト’は低温遭遇 200 時間で最も休眠が深く、同時に供試した他のニラ品種‘グリーンロード’、‘サンダーグリーンベルト’、‘タフボーイ’や‘ワンダーグリーンベルト’は十分な株養成があれば 5℃以下低温遭遇時間に関係なくニラの伸長に大きな影響がないと報告している。さらに、沼田(1994)はニラを低温に遭遇させないで休眠を回避できるニラ品種として‘グリーンベルト’、‘スーパーグリーンベルト’、‘ワンダーグリーンベルト’と‘キングベルト’と述べている。これらの知見から判断すると、本試験で供試したニラ品種は、300 時間以下の低温による生育速度の低下は認められるものの、5℃以下の低温遭遇をさせないことで休眠を回避できるニラ品種であると推察される。また、葉身重は‘ミラクルグリーンベルト’、‘タフボーイ’および‘グリーンロード’が有意に重かったが、‘グリーンロード’については低温以外の要因も関係する可能性がある。導入に当たっては試験栽培などを実施して、その特性を確認する必要がある。以上から、本研究で供試したニラ品種のうち‘ミラクルグリーンベルト’や‘タフボーイ’は休眠を回避して年内から収穫する作型に対応できる品種であることが示唆された。

第 2 節 光合成有効光量子束密度と炭酸ガス濃度が光合成速度に及ぼす影響

近年、オランダではトマトの 10 a 当たり収量が 60 t を超えているが、これは日本の一般的収量 20 t/10 a の実に 3 倍もの量になる。この生産性の違いは、気象条件や栽培施設の規模・設備等の栽培環境に起因していると考えられる(安場ら, 2011)。作型や気象条件などは異なるものの対象植物に好適な環境を提供することで、光合成の能力を高めて生産性を向上させることが肝要である。そこで、冬季のハウス栽培において、光合成を高めるためニラの生育に合致した光合成有効光量子束密度(以下 PPF_D)ならびに炭酸ガス濃度を検討し、現地における適切な管理方法の確立に資することを目的とした。

材料および方法

ニラのハウス栽培における適切な温度管理や炭酸ガス濃度を探るため、PPFD、炭酸ガス濃度および葉温が光合成速度に及ぼす影響を調査した。

試験は栃木県農業試験場内ガラス温室(200 m²)で試験を行った。ニラ品種は‘スーパーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を用いて、2012 年 3 月 8 日に 200 穴セルトレイに 1 穴 2 粒まきで播種した。定植は、5 月 2 日に畝間 40 cm、株間 20 cm とし、4 条×2 ベッドの 8 条植えとした。定植前には圃場に白マルチを展帳し、a 当たり 740 株とし、株当たり 4 本を深さ 10 cm で定植した。施肥は肥効調節型肥料(BB ニラグリーン 886(N: P₂O₅: K₂O = 8%: 8%: 6%))を用い、窒素成分で a 当たり 3.5 kg を全面全層に施用した。定植後株養成を行い、10 月 3 日に地上部を刈取り試験に供した。温度は昼温 25°C、夜温 5°C 以上を目標に管理した。

PPFD の変化がニラの光合成速度に及ぼす影響は、2012 年 11 月 13 日に、PPFD 0, 200, 400, 800, 1000, 1200, 1500 および 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に設定し、炭酸ガス濃度 400 ppm、温度 20°C の環境下で 20~33 回計測した。また、炭酸ガス濃度および葉温がニラの光合成速度に及ぼす影響についての測定は、2012 年 11 月 15 日および 11 月 16 日に行った。炭酸ガス濃度 200, 400, 800 および 1000 ppm、温度 15, 20, 25, 30 および 35°C、PPFD 1200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の環境下で 3 回ずつ測定した。光合成速度の測定は、植物光合成総合解析システム(LI-6400XT, LI-COR)を用い、測定は中心から 2~3 枚目の完全展開葉で、葉先から 5 cm の位置で測定した。

なお、試験結果は Tukey-Kramer の多重比較によって PPF_D における光合成速度の差を統計的に検定した。また、炭酸ガス濃度および葉温における光合成速度の差も Tukey-

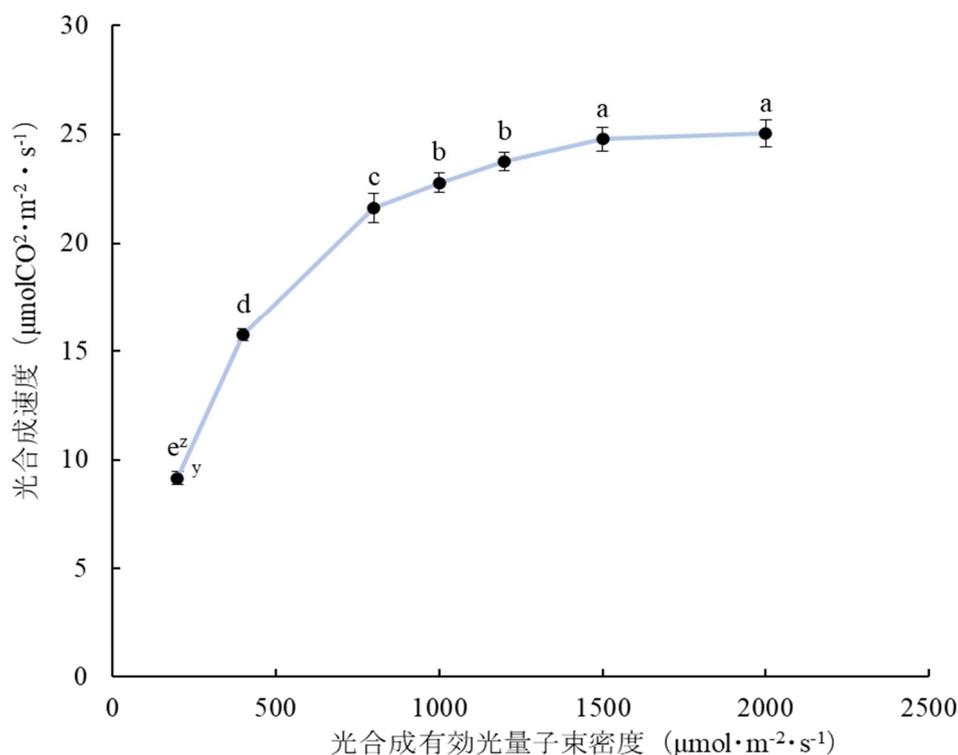
Kramer の多重比較によって検定した。

結 果

PPFD が光合成速度に及ぼす影響を第 4 図に示した。炭酸ガス濃度 400 ppm、葉温 20°C の条件下における光合成速度は PPF_D が上昇するに従い、1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ まではほぼ直線的に速まり、光飽和点は 1,500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 付近であった。第 8 表に葉温および炭酸ガス濃度が光合成速度に及ぼす影響について示した。光合成速度は葉温が 25°C、30°C および 35°C の場合、晴天時あるいは曇天時のいずれも炭酸ガス濃度が上昇するに従い速くなった。また、葉温 20°C では炭酸ガス濃度が晴天時で 800 ppm 以上、曇天時で 400 ppm 以上になると光合成速度の上昇速度が鈍くなった。葉温 15°C では晴天時、曇天時とも炭酸ガス濃度が 400 ppm 以上になると著しく上昇速度が鈍くなり、晴天時では炭酸ガス濃度 1,000 ppm において光合成速度が鈍化した。このことから、光合成速度を維持するための葉温は晴天時が 25°C で、曇天時では炭酸ガス濃度によって異なり、200 ppm では葉温 15~20°C、400 ppm が 20~25°C、800~1,000 ppm は 30°C であった。

考 察

Chung (1996) や八鍬(1973) はニラの生育適温は 20°C から 25°C である、青葉・岩崎(1968) は同じく 20°C 前後として、八鍬(1973) は夜温について生育が停止しないよう 5°C 以上は確保する必要があると述べている。また、長・村川(2018) は、冬季の無加温ハウス栽培では夜温によって昼温を変える必要があると述べているが、夜温は八鍬(1973) が指摘するように 5°C 以上を確保するようにして、昼温は 30°C 以下に抑える温度管理が目標であるとしている。関東型のハウス栽培では、無加温の単棟ハウスで夜温を確保するためには二、三重にハウスを被覆して管理する必要があるが、厳寒期に外気温が零下になる地域では 5°C 以上に維持することは困難であるが、本試験で実施した井水利用による簡易暖房(ウォーターカーテン)では夜温を 5°C から 8°C まで保持できることから、有効な方法であると考えられる。長・村川(2018) は夜温を 5°C から 8°C に保つことで日中の高温管理は必要なく、20°C から 25°C 程度の温度で管理が可能で、高温管理による品質低下を回避できると述べている。実際、第 8 表 A, B から外気の炭酸ガス濃度に近い 400 ppm では 20°C から 25°C の葉温で有意に光合成速度が速く、晴天時 25~26 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、曇天時 22~23 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であったことから、冬季の日中はこの温度域での管理が適すると考えられる。



第4図 光合成有効光量子束密度がニラの光合成速度に及ぼす影響

2012年11月13日 (刈取りから20日後) 測定, 曇り, 炭酸ガス濃度400 ppm, 葉温20°C

^z同一要因内 (低温遭遇同一時間内) における異なる文字間には, Tukey-Kramer法 (P<0.05) により有意差あり (n=20~33)

^yプロットの標準誤差 (n数, 200 μmol・m⁻²・s⁻¹; 29, 400; 33, 800; 27, 1,000; 20, 1,200; 21, 1,500; 21, 2,000; 26)

第8表 葉温と炭酸ガス濃度が光合成速度に及ぼす影響

CO ₂ 濃度		200 ppm	400 ppm	800 ppm	1000 ppm
A 晴天時					
葉温	15°C	14.6 ^z a ^y	24.3 b	28.9 d	23.5 e
	20°C	12.5 b	25.5 a	34.8 b	34.9 d
	25°C	11.9 b	25.7 a	36.0 a	39.6 a
	30°C	9.6 c	23.3 c	36.2 a	38.2 b
	35°C	8.4 d	21.0 d	33.5 c	36.8 c
B 曇天時					
葉温	15°C	12.9 a	21.3 ab	23.4 e	22.8 d
	20°C	12.9 a	23.1 a	26.7 d	28.2 c
	25°C	12.0 b	22.3 a	32.3 b	33.1 b
	30°C	10.2 c	22.0 ab	34.3 a	35.6 a
	35°C	8.4 d	19.9 b	31.3 c	33.1 b

^z光合成速度の単位: μmol CO₂・m⁻²・s⁻¹

^y同一要因内 (炭酸ガス濃度ごとに葉温間で多重検定実施) における異なる文字間には, Tukey-Kramer法 (P<0.05) により有意差あり (n=3)

-A: 測定日: 2012年11月16日 (刈取りから23日後), 晴れ

-B: 測定日: 2012年11月15日 (刈取りから22日後), 曇り

第3節 ハウス栽培におけるニラ光合成速度の日変化

冬季のハウスでトマトやキュウリなど果菜類を栽培すると、換気が少なくその時間も短いことから炭酸ガス濃度が外気より低下する、いわゆる炭酸ガス飢餓になると指摘されており(伊藤, 1970), 炭酸ガス施用により収量は増加することが報告されている(Calvert, 1972; 吉村ら, 1996; 長岡ら, 1979). これらの知見から、炭酸ガス濃度は植物が光合成を行う上で、顕著な影響を及ぼすことが考えられる。しかし、冬季におけるハウスニラ栽培では、光合成速度と炭酸ガス濃度との関係について示した知見はほとんど見当たらない。そこで、現地に近い栽培環境下で、ハウス内の一日のデータを取得し解析することで冬期における栽培管理に資することを目的とした。

材料および方法

ニラ品種は‘スーパーグリーンベルト(株)武蔵野種苗園’を用いて、2012年2月29日に第2節と同様な方法で播種し、定植は4月24日に栃木県農業試験場内パイプハウス(100 m²)で行った。定植後株養成を経て、11月7日に地上部を刈取って試験に供した。また同時に、パイプハウスに外張フィルムを展張し、その後内張フィルムを設置した。ハウス

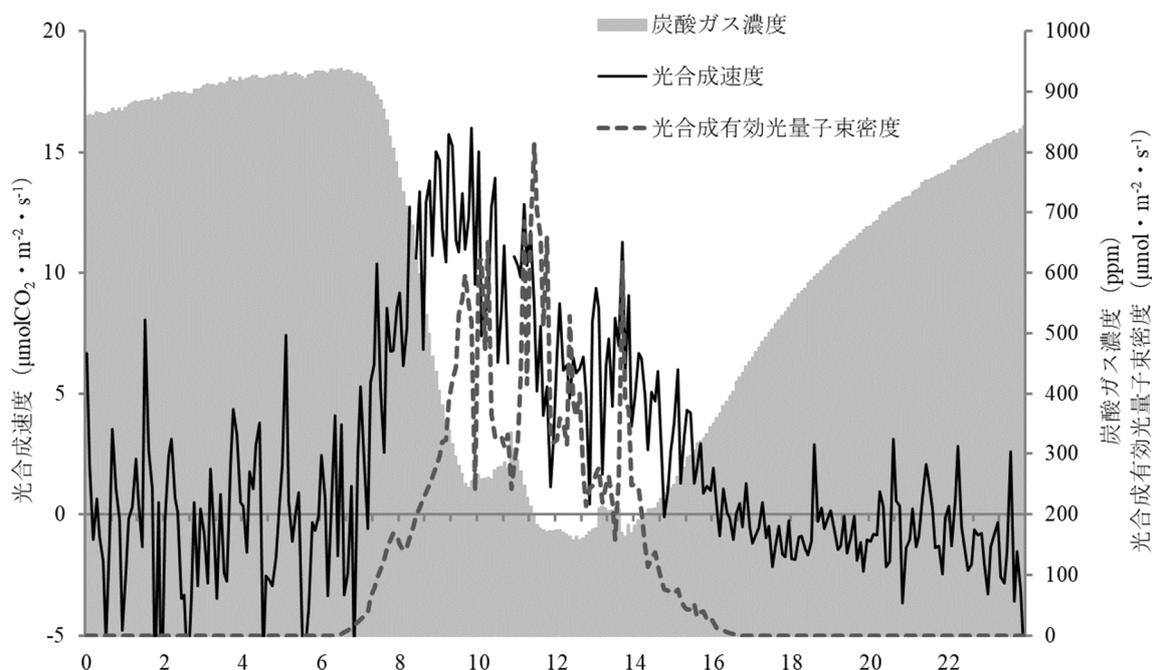
の温度管理は、昼温25℃、夜温は5℃以上を目標に行った。なお、育苗および圃場準備は第2節と同様とした。ニラ光合成速度の日変化測定は、2012年11月29日にPPFD、温度および炭酸ガス濃度を光合成速度とともに連続測定した。なお、測定は第2節と同様に行った。

結果

第5図にニラの光合成速度の日変化を示した。日の出とともにPPFDおよび光合成速度が高まった。午前11時から12時頃にかけてPPFDは600~700 μmol・m⁻²・s⁻¹程度と最も高くなり、光合成速度は9時から10時頃にかけて14~15 μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹程度と最大となった。炭酸ガス濃度は、午前9時頃から400 ppm以下に下がり、12時30分頃に150 ppm程度と最も低くなった。その後、炭酸ガス濃度は徐々に上昇し16時頃には外気と同じ400 ppmまで回復し、同じ頃PPFDはほぼ0 μmol・m⁻²・s⁻¹となり、並行して光合成速度も低下した。

考察

冬季の換気の少ないハウス内では朝9時頃に400 ppmあった炭酸ガス濃度が3時間余りで160 ppmまで低下し、伊藤(1970)が指摘しているように炭酸ガス飢餓状態となった。第2



第5図 ニラの光合成の日変化

2012年11月29日(刈取り22日後)、晴れ後曇り、パイプハウス内で測定。2重被覆(外張りおよび内張フィルム)、小トンネル無し、10:00頃に外張フィルムを開け、曇ってきたため11:00頃に外張フィルムを閉めた。平均気温: 11.5℃、最高気温: 34.0℃、最低気温: 0.6℃

節で示したように炭酸ガス濃度が400 ppmで光合成速度が最も速くなったことを考慮すると、少なくとも外気に近い炭酸ガス濃度まで積極的に供給する必要があると考えられる。なお、16時から17時頃になると温度は低下するが、炭酸ガス濃度は400 ppm程度まで回復するので積極的な炭酸ガス供給をする必要はないと考えられる。

第4節 休眠期における長日処理開始時期が生育や品質に及ぼす影響

本試験は、休眠に入る10月頃から翌年の4月まで連続して収穫する作型を想定している。この場合、課題になるのが休眠である。青葉・岩崎(1968)は10月上中旬から、長(1972)は11月上旬から休眠に入るとしている。一方、現地では5℃以下の低温遭遇時間で休眠期を推定し、休眠によって生育が遅延しないようにしている。そこで、休眠を回避し、生育促進を図ることを目的として、日長延長16時間の電照開始期が生育に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

実施場所は栃木県農業試験場内 200 m²のガラスハウス、ニラ品種‘スーパーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を供試し、電照開始時期10月上旬(すて刈り時)、10月下旬(1回目収穫後)、11月下旬(2回目収穫後)および自然日長の4処理区を設けた。電照方法は、白色電球60Wを高さ1.5mの高さに配置し、光量は12 kw・10a⁻¹とした。電照は明期が4:00~20:00まで16時間日長となるように調整し、2月26日まで実施した。播種は2012年3月8日に200穴セルトレイに2粒ずつ播種した。圃場の施肥は肥効調節型肥料(BB ニラグリーン 886(N:P₂O₅:K₂O=8%:8%:6%))を用いて、a当たり窒素3.5 kgを全面全層施用し白マルチを展張した。5月2日に畝間40 cm、株間20 cm、株当たり4本の植付深10 cmで定植し、株養成後の10月3日にすて刈りと同時に保温開始した。収穫日は収穫1回目2012年10月24日、2回目11月21日、3回目12月21日、4回目2013年1月23日、5回目2月26日であった。ハウスの夜温は5℃を目標に管理した。調査は葉身重、分けつ数、葉身長、葉身幅、葉身厚、葉身色、1分けつ重および抽苔について実施した。

なお、試験結果は分散分析ならびにTukey-Kramerの多重比較によって電照開始時期における調査項目の差を統計的に検定した。

ハウス内温度および地温は各区ともほぼ同程度で推移し、PPFDは1.0 μmol・m⁻²・s⁻¹前後(照度50 lx程度)で、電照区の光環境はほぼ同等であった(データ省略)。収穫時の生育および品質調査結果を第9表に示した。葉身重は5回の収穫のうち2~4回目で有意差が認められ、日長処理区のうち10月上旬区が最も重かった。葉身長は1~5回目のいずれの収穫時でも有意差が認められ、処理時期が早まるほど葉身長が長かった。葉身幅は2~5回目で有意差が認められ、2~3回目は10月上旬区が、4~5回目は自然日長区が有意に広がった。葉身厚は1~3回目および5回目で有意差が認められ、いずれも10月上旬区で有意に葉身厚が厚かった。1分けつ重は2回目以降に有意差が認められ、日長処理時期が早まるほど1分けつ重が重くなる傾向にあった。葉身色は2回目~5回目で有意差が認められ、いずれの収穫時も自然日長区で有意に葉身色が濃かった。10月上旬区では、収穫4、5回目で花茎の発生が認められ、それぞれ1.6%、6.7%であった。

考 察

本試験は、休眠期の10月頃から翌年の4月まで連続して収穫する作型を想定して、休眠を回避し生育を維持するため、電照による日長処理を行った。試験は日長延長16時間として処理開始時期の違いが生育に及ぼす影響を検討した。この試験で日長処理時期が早いほど生育が優れる傾向にあった。葉身重を始め、葉身長、葉身幅、葉身厚や1分けつ重について、10月上旬区は他区に比べて生育量が多く有意な差が認められた。一方、葉身色は自然日長区が日長処理区に比べると濃く、市場性を考慮すると葉身色は濃い方が好まれる傾向が強いので有利となる。

ニラの抽苔に関して、八鍬・為我井(1972)が行った試験では、10月上旬から16時間の日長延長処理をしたところ抽苔が認められ、その発生まで要した期間は約120日だった。これは八鍬・為我井(1972)の試験とほぼ同様の結果となった。日長延長16時間は10月上旬区で最も生育量が確保できたものの、葉身色が薄いあるいは抽苔が発生したこと、また八鍬・為我井(1972)がニラの花成誘導の限界日長は14時間と述べていることから、日長延長14時間以下での調査が必要と考えられた。

結 果

第9表 休眠期における電照開始時期が生育および品質に及ぼす影響

葉身重 (g)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	葉身厚 (mm)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
10月上旬	150	111 a ^y	68 a	57 a	75	10月上旬	0.74 a	0.82 a	0.59 a	0.69	0.71 a
10月下旬	141	98 b	59 a	58 a	75	10月下旬	0.63 b	0.77 b	0.59 a	0.68	0.67 ab
11月下旬	141	87 b	64 a	54 a	70	11月下旬	0.63 b	0.75 b	0.58 a	0.67	0.62 b
自然日長	141	87 b	44 b	40 b	65	自然日長	0.63 b	0.75 b	0.52 b	0.67	0.65 ab
有意差 ^z	n.s.	**	**	**	n.s.	有意差	**	**	**	n.s.	**

分けつ数 (本)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	葉身色 (SPAD)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
10月上旬	25.7	26.2	28.4	28.0	30.3	10月上旬	46.1	42.6 b	46.0 bc	47.2 b	49.7 b
10月下旬	25.8	27.0	28.0	28.2	27.7	10月下旬	48.4	41.8 b	45.1 c	46.9 b	49.1 bc
11月下旬	25.8	27.0	29.3	30.0	30.5	11月下旬	48.4	46.0 a	46.7 ab	46.7 b	46.8 c
自然日長	25.8	27.0	28.1	28.2	28.0	自然日長	48.4	46.0 a	50.5 a	54.5 a	54.9 a
有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	有意差	n.s.	**	**	**	**

葉身長 (cm)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1 分けつ重 (g)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
10月上旬	48.6 a	43.7 a	41.2 a	37.8 a	39.1 b	10月上旬	5.9	4.2 a	2.4 a	2.1 a	2.5 ab
10月下旬	45.6 b	40.3 a	38.5 b	38.0 a	40.6 a	10月下旬	5.6	3.7 b	2.1 a	2.1 a	2.7 a
11月下旬	45.6 b	36.5 b	34.3 c	36.0 b	39.2 ab	11月下旬	5.6	3.3 b	2.2 a	1.8 b	2.3 b
自然日長	45.6 b	36.5 b	30.2 d	27.5 c	32.5 c	自然日長	5.6	3.3 b	1.6 b	1.4 c	2.3 b
有意差	**	**	**	**	**	有意差	n.s.	**	**	**	**

葉身幅 (mm)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	抽 苔 ^x (%)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
10月上旬	8.9	8.0 a	7.7 a	7.2 a	7.0 b	10月上旬	0.0	0.0	0.0	1.6	6.7
10月下旬	8.7	7.1 b	7.0 b	6.6 ab	7.2 ab	10月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11月下旬	8.7	7.6 ab	7.5 ab	6.1 b	6.4 c	11月下旬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
自然日長	8.7	7.6 ab	7.2 b	6.7 a	7.6 a	自然日長	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
有意差	n.s.	*	**	**	**	有意差	-	-	-	-	-

^z—元配置分散分析により**が1%, *が5%で有意性あり, n. s. は有意性なし (n=6)

^y同一要因内における異なる文字間にはTukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差あり (n=6)

^x抽苔率 (%) = 花茎数/分けつ数×100

第 5 節 休眠期の長日処理が生育や品質に及ぼす影響

第 4 節では日長延長 16 時間を基本として, 日長処理時期を変えて試験を行った結果, 10 月上旬区で収穫後半に若干抽苔が認められたが, 生育促進され葉身重など生育量が多かった。そこで, 10 月上旬を基本として日長延長時間を 16 時間, 14 時間および 12 時間とし自然日長を対照区として, 生育量を確保しつつ葉身幅など品質を維持できる日長時間の検討をした。

材料および方法

ニラ品種は「ミラクルグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)」を供試した。2013 年 3 月 1 日に 200 穴セルトレイに 2 粒ずつ播種した。圃場の施肥は肥効調節型肥料(BB ニラグリーン 886 (N: P₂O₅: K₂O = 8%: 8%: 6%))を用いて, a 当たり窒素 3.5 kg, リン酸 3.5 kg, 加里 2.6 kg を全面全層施用し, 白マルチを展開した。5 月 8 日に畝間 40 cm, 株間 20 cm, 株当たり 4 本を植付け深さ 10 cm で定植した。10 月 8 日にすて刈りし電照

を開始した。日長時間を 16 時間, 14 時間, 12 時間および自然日長とし, 電照は 10 月 8 日から 2 月 28 日まで日長延長方式で行った。白熱電球直下の地表面の PPFD を 0.4 μmol・m⁻²・s⁻¹(照度 20 lx)になるように調節した。温度は昼温 25℃, 夜温 5℃を目安に管理し, 収穫は葉身長 40 cm になった頃に実施した。また, 処理区ごとの収穫日は第 10 表に示した。調査は葉身重, 分けつ数, 葉身長, 葉身幅, 葉身色, 葉身厚および 1 分けつ重について実施した。

なお, 試験結果は分散分析ならびに Tukey-Kramer の多重比較によって日長時間における調査項目の差を統計的に検定した。

第10表 日長時間ごとの収穫日

	収穫1回目	収穫2回目	収穫3回目	収穫4回目	収穫5回目	収穫6回目
日 16時間	10月31日	12月3日	1月9日	2月24日	3月24日	4月30日
長 14時間	10月31日	12月6日	1月30日	3月6日	4月15日	
時 12時間	10月31日	12月24日	2月12日	3月19日	4月23日	
間 自然日長	10月31日	1月1日	2月24日	3月19日	4月23日	

結 果

収穫時の生育および品質調査結果を第 11 表に示した。な

お、16時間区は6回まで収穫したが、データは他区と同様に5回目までとし、統計処理を行った。葉身長や葉身厚は有意差が顕著に認められたが、処理間に一定の傾向が認められなかった。葉身重、葉身幅や葉身色にも有意差が認められ、葉身重は収穫2,3回目が自然日長区、4回目は12時間区、5回目は14,12時間区および自然日長区で有意に重かった。葉身幅は収穫3,4回目で自然日長区が日長処理区より有意に広がった。葉身厚は収穫2~4回目で自然日長区が日長処理区より有意に厚みがあった。分けつ数は収穫3回目で有意差が認められたが、データから一定の傾向は認められなかった。1分けつ重は収穫2,4,5回目の12時間区および自然日長区で有意に重かった。

考 察

本試験は、休眠期の10月頃から翌年の4月まで連続して収穫する作型を想定した場合10月以降の休眠期に生育が抑制されるため、電照を利用した日長延長による生育促進が生育に及ぼす影響を検討した。葉身重は収穫1回目から5回目までを合計すると16時間区398g,14時間区477g,12時間区538g,自然日長区577gで、16時間区のみ収穫を6回行ったのでそれを加えると608gであった。橋本・和田(2020)は、11月上旬から3月上旬に暗期中断3時間、朝方日長延長16,15,14時間の長日処理、無電照の日長処理試験において、特に厳寒期収穫で暗期中断3時間と日長延長

16,15時間は14時間および無電照より草丈伸長が早く収穫日が8~12日早まり、葉はやや長く厚くなったと報告している。しかし、可取量は日長延長14時間および無電照より少なかったとも述べている。

本試験では、16時間区が6回収穫できたことから合計葉身重は最も多かった。しかし、収穫1~5回目では必ずしも16時間区が多くはなく、自然日長区や12時間区で特に増収となった。また、葉身幅や葉身厚といったニラの品質にかかる部分も自然日長区が日長処理区よりも有意に優れていた。これは橋本・和田(2020)の報告した厳寒期にニラの伸長は早まったが、収量が上がらないこととほぼ同様の結果となった。これについては今後も日長延長時間や期間の検討ならびに補完的に光強度、温度や炭酸ガス濃度といった環境要因との関連についても併せて検討する必要がある。

第6節 夜温管理と炭酸ガス施用がニラの生育や品質に及ぼす影響

オランダのトマト生産について東出(2018)は、1980年代10a当たり約30tで、2000年代には同じく60t以上になったが、日本は1980年代から大きく変わらず冬春作は10a当たり9.6t,夏秋作4.1tであると述べている。安場(2011)が指摘するように、気温を管理目標として単純な環境制御のみが実施されてきたことが一因と考えられる。収量を増加させるためには、炭酸ガス施用や補光などの環境制御が有効である(鈴木、

第11表 日長時間が生育および品質に及ぼす影響

葉身重 (g)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	81	74 ab ^y	72 b	89 bc	82 b
14時間	80	74 b	69 b	77 c	179 a
12時間	80	83 ab	67 b	110 a	198 a
自然日長	71	90 a	93 a	109 ab	214 a
有意差 ^z	n.s.	*	**	**	**

葉身色 (SPAD)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	46.6	53.7 b	54.5	56.7 b	60.5
14時間	47.6	53.5 b	60.6	60.3 a	60.4
12時間	50.0	56.6 ab	59.1	62.1 a	64.1
自然日長	49.6	59.6 a	59.6	62.1 a	63.5
有意差	n.s.	**	n.s.	**	n.s.

分けつ数 (本)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	20.9	24.6	27.1 ab	31.1	27.7
14時間	18.5	24.5	24.1 b	26.1	27.3
12時間	18.8	22.3	23.1 b	26.2	28.3
自然日長	19.1	24.1	30.1 a	29.2	30.1
有意差	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

葉身厚 (mm)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	0.84	0.73 a	0.85 a	0.83 b	0.93
14時間	0.82	0.66 b	0.73 b	0.73 c	0.86
12時間	0.82	0.73 a	0.82 a	0.93 a	0.88
自然日長	0.81	0.74 a	0.80 a	0.84 b	0.91
有意差	n.s.	**	**	**	n.s.

葉身長 (cm)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	44.5	40.8 a	38.9 a	38.9 ab	36.4 b
14時間	44.8	38.3 b	33.8 b	35.6 c	46.6 a
12時間	44.9	37.8 b	34.6 b	39.7 a	47.3 a
自然日長	41.9	37.4 b	38.3 a	37.6 b	47.3 a
有意差	n.s.	**	**	**	**

1分けつ重 (g)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	3.8	3.0 b	2.7	2.9 b	3.0 b
14時間	4.3	3.1 b	2.9	3.0 b	6.7 a
12時間	4.5	3.8 a	2.9	4.3 a	7.2 a
自然日長	3.7	3.8 a	3.2	3.8 a	7.2 a
有意差	n.s.	**	n.s.	**	**

葉身幅 (mm)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
16時間	8.0	7.3	7.6 b	6.9 d	7.7
14時間	8.3	6.4	7.6 b	8.7 c	7.6
12時間	8.3	6.8	8.0 ab	9.6 b	7.3
自然日長	8.6	6.9	8.4 a	10.5 a	7.6
有意差	n.s.	n.s.	**	**	n.s.

^z一元配置分散分析により**が1%, *が5%で有意性あり, n.s.は有意性なし (n=6)

^y同一要因内における異なる文字間にはTukey-Kramer検定 (P<0.05) により有意差あり (n=6)

2006). 栃木県内では、イチゴは炭酸ガス施用や日長制御など、トマトでも炭酸ガス施用による環境制御技術導入により成果をあげている。しかし、ニラでは環境制御の導入事例が少ないことから、技術精度を向上させるための検討が必要である。そこで、本試験では特に夜温と炭酸ガス施用がニラの生育や収量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

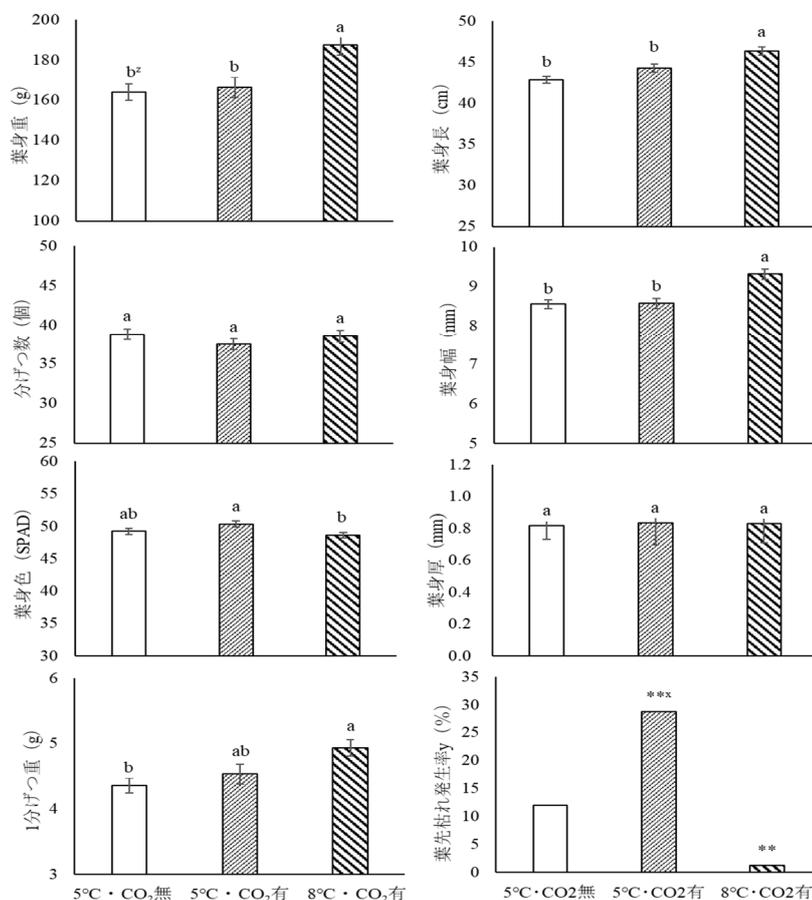
パイプハウス(100m²)3棟を用いて夜温管理と炭酸ガス施用を組み合わせた3処理区を設けた。すなわち、処理1:最低夜温5℃-炭酸ガス施用、処理2:最低夜温8℃-炭酸ガス施用、処理3:最低夜温5℃-炭酸ガス無施用とした。品種は‘ワンダーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を用いた。炭酸ガスは光合成促進機ちびセラ((株)バリテック新潟)を用いて濃度を400ppmに設定し、施用時間は9時から15時とした。昼温は25℃とし、最低夜温はウォーターカーテン利用により5℃および8℃を確保した。なお、夜温は設定温度を2℃上回った時点で停止する設定とした。

2012年3月29日に128穴セルトレイに2粒ずつ播種した。6月5日に畝間40cm、株間20cmに株当たり4本で、

植え穴に深さ10cmで定植した。9月30日に捨て刈りして保温を開始し、2012年10月22日、11月29日、12月27日、2013年2月4日、3月12日、4月7日および4月30日まで連続で計7回収穫した。11月22日より内張フィルムを展張し、ウォーターカーテンによる保温は11月24日から開始した。炭酸ガスの施用は12月13日より開始し、4月7日に終了した。追肥は捨て刈り後にa当たり窒素1.0kg、その後収穫終了ごとにa当たり窒素0.2kgを施用した。

収穫は葉身長が現地慣行の約40cm長さになった時点で行い、各区とも10株を供試し、葉身重、分けつ数、葉身長、葉身幅、葉身色、葉身厚を測定し、1分けつ重は葉身重を分けつ数で除して求めた。葉身長は各株の最大長を、葉身幅は各株の最長葉の中央部を、葉身色と葉身厚は最大葉の先端から1/3の位置で測定した。葉先枯れ症の発生率は、葉先枯れ症分けつ数/収穫総分けつ数×100(%)により求めた。

なお、試験結果はTukey-Kramerの多重比較によって最低温度と炭酸ガス施用との組み合わせにおける調査項目の差の検定を行った。また、葉先枯れ症の発生率はカイ二乗検定と残差検定によって実施した。



第6図 最低温度と炭酸ガス施用が生育、収量、品質および葉先枯れに及ぼす影響。平均±SE (n=7)
^z同一要因内における異なる文字間には、Tukey-Kramer法 (P<0.05) により有意差あり
^y収穫は全体で7回行い、その内4回目に葉先枯れが発生した。葉先枯れ分けつ数/収穫総分けつ数×100(%)
^xカイ二乗検定と残差検定を行い、**5°C・CO₂無との間に有意差あり

結果

葉身重および生育について第6図に示した。葉身重、葉身長、葉身幅は8°C-CO₂有区が5°C-CO₂有区、5°C-CO₂無区に対して、1分げつ重は8°C-CO₂有区が5°C-CO₂無区に対して有意に高かった。5°C-CO₂有区と5°C-CO₂無区間では有意差は認められなかった。分げつ数および葉身厚には有意差は認められなかった。葉身色は5°C-CO₂有区で8°C-CO₂有区よりもやや高かった。4回目の収穫時のみに炭酸ガス施用により葉先枯れ症が発生し、5°C-CO₂有区で発生数が最も多く、8°C-CO₂有区および5°C-CO₂無区では低かった(第6図)。葉先枯れ症の発生状況について第7図(佐藤ら, 2013)に示すように、ニラの葉先に白化や赤色化症状を呈した。



第7図 炭酸ガス施用によるニラの葉先枯れ症状

出典：ニラの1年株利用による年内どり作型

佐藤隆二・齋藤容徳・奥野祐子・根岸直人・半田有宏。
栃木県農業試験場研究報告。71: 33-43. 2013年

考察

第6節の炭酸ガス施用区は日中最低400 ppmを維持し、高いときには500 ppmまで上昇した。本試験では、5°C-CO₂有区、5°C-CO₂無区間では葉身重や分げつ数など生育に関する調査項目について差異はほとんど認められなかった。しかし、8°C-CO₂有区と5°C-CO₂有区を比較すると葉身重、1分げつ重、葉身長および葉身幅で有意差が認められたことから、夜温による影響が大であることが示唆された。一方、試験4では炭酸ガス施用による弊害と考えられる葉先枯れ症が発生した。これについて佐藤ら(2013)は、ニラの炭酸ガス施用により生育促進と増収効果が認められるが、同時に赤い色素が沈着した葉先が枯れる現象、いわゆる葉先枯れ症の発生リスクが高まると述べている。この報告によると、4回行った

収穫の内1月17日の3回目の収穫時に最も発生が多く、炭酸ガス施用は400 ppmより高濃度の800 ppmで発生が多く、この原因として糖度調査の結果から光合成が活発に行われたことによる葉への同化産物の蓄積が関与していると報告している。また、安岡ら(2020)は葉先枯れ症について葉中の可溶性糖が多く、窒素濃度が低いと発生が多くなるので、夜間ハウス内加温温度を10°Cに上げることや午前6時から10°Cで早朝加温することで抑制されるとしている。これらのことから、厳寒期の炭酸ガス施用では、光合成産物の転流を促すためハウス内温度を確保する必要があると考えられる。

まとめ

ニラの休眠を回避し10月から4月までの期間に連続して収穫ができる新たな作型を開発するため、ニラの温度、炭酸ガスや光環境に対する生理生態反応について調査した。現地の主要品種を用いて低温遭遇時間と生育量の関係を調査し、休眠が浅く低温伸長性があると考えられる品種は‘ミラクルグリーンベルト’および‘タフボーイ’であった。‘グリーンロード’は他の供試品種と異なり、5°C以下の低温に遭遇しても明確な休眠を示すことはなかった。ニラの光合成速度は光合成有効光量子密度1,500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 付近で最も光合成速度が速まったことから、25 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ が光飽和点であると考えられる。ニラの光合成速度は葉温および炭酸ガス濃度によって変化し、天候によっても異なった。生育適温20~25°Cで炭酸ガス濃度400 ppmを保持することによって、晴天時および曇天時でも光合成速度は上昇し光飽和点に達した。休眠期の生育促進を図るため日長延長処理は日長時間が長くなるほど生育量を増やす効果はあったが、葉身幅や葉身色などの品質は自然日長が優れた。ウォーターカーテンを利用して最低夜温を8°Cとし、日中400 ppmの炭酸ガスを施用することで葉身重や葉身幅や葉身厚など生育量の増加が認められ、最低夜温5°Cとし炭酸ガス施用で多発した葉先枯れ症の発生が著しく少なくなった。

第 4 章 冬季および夏季に発生するニラ葉先枯れ症の発生要因と対策

緒 言

第 3 章における「温度、炭酸ガスおよび光環境がニラの光合成と生育に及ぼす影響」では、休眠を回避し 10 月から 4 月までの期間に連続して収穫ができる新たな作型を開発するための基礎的研究について述べた。この栽培ではウォーターカーテンを利用することが前提条件である。ウォーターカーテンを利用した栽培では、夜温を確保できるため日中の温度を高め管理する必要がなく、ニラの生育適温で栽培可能である。しかし、無加温ハウス栽培では三重被覆にしても夜温を確保できず地温も低下するため、日中の温度管理を高め設定する必要がある。この無加温ハウス栽培ではニラは徒長しやすく、日中の換気操作によっては乾燥した冷気がハウスに流入し、ニラの葉先の葉縁部が枯れる葉先枯れ症の発生を助長する。ニラの葉先枯れ症に関する知見は少なく加藤・福元(1973)、加藤・岩森(1975)、加藤ら(1977)が「ニラの葉焼け症状」について、土壌、pH、肥料ガスや著しい高温の影響で発生すると報告している程度である。一方、佐藤ら(2013)は、ニラの 1 年株利用による年内どり作型開発において、炭酸ガス施用によって増収するが、12~2 月の厳寒期にアントシアニンとみられる赤い色素が沈着した葉先枯れが多く発生したと報告している。また、品目は異なるが葉ネギ栽培では、葉先枯れ症の発生は梅雨明け頃から多くなり、曇雨天が続いた後の晴天時に発生が顕著であるとし、空気湿度の急変が葉先枯れ症の発生に関係していると報告している(壇・大和, 2005)。さらに、山本ら(1996)は葉ネギの葉先枯れ症は管理温度によって発生程度が異なり、高温で発生が助長され生育も抑制され、生育後期のかん水制限により発生が助長されると報告している。このように、葉ネギ栽培で発生する夏季の葉先枯れ症は高温や乾燥が原因で発生すると考えられる。

そこで、本研究では現場で発生している条件を考慮して、温湿度条件の急激な変化が葉先枯れ症の発生に与える影響、夏季の高温条件下における遮光資材やマルチ利用による葉先枯れ症の軽減方法について検討した。また、葉先枯れ症が発生する要因について気孔密度や蒸散量などから考察したので報告する。

第 1 節 湿度の急激な低下が葉先枯れ症の発生に及ぼす影響

ニラの冬どり栽培では、冬季の日中でも晴天時には高温になる場合があるので温度調節のため側窓換気を行う。この時

乾燥した冷気がハウス内に流入し直接ニラにあたると葉先が白化する現象、いわゆる葉先枯れ症が発生する(藤澤, 2018c)。この葉先枯れ症は、葉先の縁の部分白化する現象で、急激な温湿度の変化が関与していると考えられる(壇・大和, 2005; 加藤ら, 1977)。そこで、本試験では特に湿度の変化に着目し、急激に湿度を下げた環境下においた場合の葉先枯れ症の発生について調査した。また、そのときのニラの蒸散量、気孔密度、葉先の変化について調査を行った。

材料および方法

試験は、栃木県農業試験場ガラス温室および人工気象器(NC-220, (株)日本医化器械製作所)で実施した。品種は「ミラクルグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)」を供試し、2010 年 2 月 25 日に 200 穴セルトレイに 2 粒ずつ播種し、5 月 10 日に肥効調節型肥料(BB ニラグリーン 886(N: P₂O₅: K₂O=8%: 8%: 6%))をポット当たり 4.5 g 施用した 1/2000 aワグネルポットに 2 本定植し、ガラス温室内で株養成を行った。11 月 10 日にすて刈りし、人工気象器内で照度 800 lx 温度 25°C、相対湿度 90%の設定で 27 日間株養成後に低湿度(温度 25°C、湿度 50%設定)で 1 時間、3 時間および 5 時間遭遇の処理区を設けた。低湿度処理後は温度 25°C、湿度 90%条件に戻した。蒸散量の測定は重量法を用いて行い、ポット株の重量を測定し、減少した重量を蒸散量とした。蒸散の測定に当たっては、培地面からの蒸散を防ぐため、ポット全面を塩化ビニルフィルムで被覆した。湿度処理後、葉先枯れ症の発生率を調査した。葉面積は葉面積計(LI-3000, LI-COR 社)で、気孔密度は葉位別、部位別にパワーハイスコープ(KH-2700, HIROX 社)で測定した。

結 果

人工気象器における株養成期間の温度は、いずれの処理区も 24.3~24.4°C、湿度は 81.5~87.7%であった。また、湿度処理が 3 時間区および 5 時間区では、処理期間中の温度が 24.2°C、湿度は 48.0~49.5%であった。第 12 表に示したとおり、株当たりの蒸散量や単位面積当たりの蒸散量は、低湿度処理時間が長くなるほど増加した。また、低湿度遭遇時間が長くなるほど蒸散速度も速まり、5 時間区では無処理区の 2 倍になった。葉先枯れ症発生の割合は処理時間が長いほど高かった。第 8 図に示した葉先枯れ症の症状は、処理 3 日後に現れた。葉先枯れ症は中心からの葉位が 1 葉より葉齢の進んだ 3 葉で、しかも先端から 5 cm 位までの間に多く見られ、葉身厚の薄い葉縁に発生した。葉位および葉身部位別気孔分布調査(第 13 表, 第 9 図)から、葉の中央付近や葉先から 10

cm の部位より、葉先から 3 cm 位の先端部で密度が高かった。

考 察

本試験で湿度条件を急激に低下させた場合、処理時間が長いほど葉先枯れ症の発生割合が高まった(第 12 表)。葉先枯れ症の発生は、葉齢の進んだ成葉の先端から 3 cm 程度ま

での葉縁部で多く確認された。葉の気孔を観察したところ、成葉では先端に近いほど気孔密度が高く、しかも葉縁部は葉身厚が薄いことから、湿度変化に伴う過度な蒸散によって、根の吸水量が追いつかず、その結果葉先枯れ症が発生したものと推察される。壇・大和(2005)は、葉ネギの葉先枯れ症について、栽培期間中に高湿度から低湿度へと急変すると時期によっては発生が助長されるとしており、品目は異なるが低湿度条件下では発生が助長されたと考えられる。

第12表 湿度処理が蒸散量および葉先枯れ症発生率に及ぼす影響

	株当たりの蒸散量 (g) ^z	湿度処理中の蒸散速度 (g・h ⁻¹) ^y	単位葉面積当たりの蒸散量 (mg・cm ⁻²) ^w	葉先枯れ発生割合 (%) ^v
5h	44.8 ± 5.4	7.4	89.3	14.6
3h	37.0 ± 4.5	6.5	74.7	5.7
0h	29.0 ± 3.5	3.6 ^x	57.2	0

^z株当たりの蒸散量は湿度処理日の9:00~17:00までの蒸散量を重量法により測定した、平均値±SE (n=4)

^y湿度処理中の蒸散速度は湿度処理の前後でポット重を測定し、各湿度処理時間で割った値とした

^w湿度処理をしていない0時間は、参考として9:00~17:00の蒸散量を8時間で割った値とした

^v葉面積は葉先枯れ発生の調査後に葉面積計により株ごとに測定した

^x葉先枯れの発生割合は葉先枯れの発生した茎数の割合とした

第13表 気孔密度

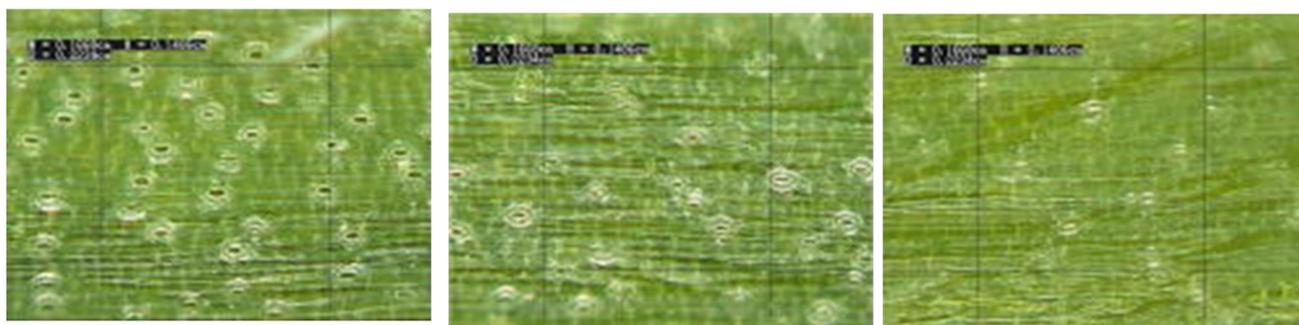
葉 位	部位 (葉の先端からの長さ)			
	3cm	10cm	中央付近	平均
1葉	32.9 ± 5.0 ^z	20.5 ± 2.7	11.2 ± 4.1	23.3 ± 3.3
2葉	37.3 ± 2.0	20.2 ± 5.7	8.4 ± 3.1	23.6 ± 1.8
3葉	41.6 ± 3.8	28.9 ± 2.7	19.3 ± 5.5	29.8 ± 3.5

^z各葉位につき3ヶ所、気孔数を調査、平均値±SE (n=4)、単位:個/mm²



第 8 図 低湿度処理による葉先枯れ症発生状況

注. 葉位は中心から 1 葉, 2 葉, 3 葉とした



先端から 3cm の部位

先端から 10cm の部位

葉の中央付近

第 9 図 葉身の部位による気孔の分布状況の差異 (×300)

第 2 節 温度の急激な変化が葉先枯れ症の発生に及ぼす影響

第 1 節では急激な湿度の低下により葉先枯れ症の発生が認められた。次に急激な温度変化による葉先枯れ症に発生について検証を行った。ニラ栽培の現地では、冬季および夏季に発生することから、高温条件と低温条件で葉先枯れ症の発生状況について検討した。

材料および方法

試験は、栃木県農業試験場の人工気象室、ガラス温室および冷蔵庫で行った。ニラ品種‘ミラクルグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を供試し、2010年2月25日に200穴セルトレイに2粒ずつ播種した。5月10日には、肥効調節型肥料(BBニラグリーン886(N:P₂O₅:K₂O=8%:8%:6%))をポット当たり4.5g施用した1/2000aワグネルポットに2本定植し、育苗温室で株養成を行った。高温処理では、翌年の2011年5月11日にすて刈りし、窒素でa当たり0.2kg追肥した。6月16日から湿度70%、照度8000lxの人工気象器に移して高温処理を行った。30℃、35℃、40℃設定で1時間、2時間および4時間処理し、処理後はガラス温室に戻して25℃で管理し、翌日葉先枯れ症の調査をした。また、低温処理は2011年3月2日にすて刈りし、窒素で1ポット当たり0.1g追肥した。5月9日に冷蔵庫に移して0℃、-2℃、-4℃設定で1時間、2時間および4時間処理し、処理後はガラス温室に戻して25℃で管理し、翌日葉先枯れ症の発生率を調査した。

結 果

ワグネルポットで株養成したニラを人工気象室で30、35、40℃の高温処理を行った結果を第14表に示した。葉先枯れ症の発生は、いずれの処理温度でも認められなかった。このときの培地温は処理時間が長いほど若干上昇したものの、葉温はいずれの部位でもほぼ処理温度に近い温度であった。また、第15表に低温処理の結果を示した。-2℃および-4℃で葉先枯れ症が見られ、1、2、4時間処理し処理時間が長いほど発生割合が高かった。この間、培地温の変化は小さく、葉温はほぼ処理温度に近い温度であった。

考 察

現地における葉先枯れ症は低温期および高温期に特に発生が多く、低温期の葉先枯れ症は、葉の縁が枯れる症状、高温期の葉先枯れ症は、葉の先端が枯れる症状として知られている。主には葉先が白化して枯れ込む症状を呈する。本試験では、高温または低温に急激に変化させた場合の葉先枯れ症の発生状況について調査した。その結果、40℃の一時的な高温処理でも葉先枯れ症の発生は認められなかった。これは第1節の結果から明らかになったように、葉先に多数存在する気孔の蒸散量と根の吸水量とのバランスが崩れたため発生したことから判断すると、この試験では根の吸水量が十分であったと推察される。一方、-2～-4℃の一時的な低温条件では葉先枯れ症の発生が認められた。この葉先枯れ症は、先の急激な湿度変化によって発生した葉先枯れ症と類似しており、葉齢の進んだ成葉の葉先葉縁部に発生が認められた。しかし、短時間ではあったが氷点下の環境に置かれたため、凍害による症状とも類似していることから、今後は処理温度を変更し、湿度条件を加味した検討が必要である。

第14表 高温処理が葉先枯れ症の発生率と処理中の気温、培地温、葉温に及ぼす影響

		葉先枯れ症 発生率 ^z (%)	気温 ^y (°C)	培地温 ^y (°C)	葉温 ^y (°C)			
					5 mm ^x	5 cm	10 cm	15 cm
30°C	1時間	0	30.0	25.0	30.4	29.6	29.6	29.4
	2時間	0	29.9	25.3	30.5	29.6	29.6	29.4
	4時間	0	30.0	25.8	30.5	29.6	29.6	29.4
35°C	1時間	0	35.2	24.5	35.5	34.8	34.5	34.4
	2時間	0	35.3	24.7	35.6	34.9	34.6	34.4
	4時間	0	35.3	25.4	35.7	35.0	34.7	34.4
40°C	1時間	0	39.4	24.7	39.7	39.0	38.6	39.1
	2時間	0	39.4	24.9	39.9	39.0	38.7	39.1
	4時間	0	39.5	25.8	40.1	39.2	38.7	39.2

^z葉先枯れ症の発生率は、発生した茎数の割合とした

^y気温、培地温、葉温は処理時間中の平均

^x葉温は葉先から5 mm, 5 cm, 10 cm, 15 cmの部位で測定した

第15表 低温処理が葉先枯れ症の発生率と処理中の気温、培地温、葉温に及ぼす影響

		葉先枯れ症 発生率 ^z (%)	気温 ^y (°C)	培地温 ^y (°C)	葉温 ^y (°C)			
					5 mm ^x	5 cm	10 cm	15 cm
0°C	1時間	0.0	0.1	24.0	0.0	0.0	0.1	0.1
	2時間	0.0	-0.1	22.9	-0.1	0.0	0.0	0.0
	4時間	0.0	-0.2	20.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
-2°C	1時間	0.0	-2.3	26.6	-1.9	-1.7	-1.6	-1.3
	2時間	5.0	-2.5	24.7	-2.2	-2.0	-1.9	-1.8
	4時間	6.0	-2.5	21.1	-2.2	-2.1	-2.0	-1.9
-4°C	1時間	0.8	-4.0	25.2	-3.7	-3.6	-3.5	-3.2
	2時間	7.7	-4.2	24.3	-4.0	-3.9	-3.8	-3.6
	4時間	15.0	-4.3	21.5	-4.2	-4.1	-4.0	-3.9

^z葉先枯れ症の発生率は、発生した茎数の割合とした

^y気温、培地温、葉温は処理時間中の平均

^x葉温は葉先から5 mm, 5 cm, 10 cm, 15 cmの部位で測定した

第3節 遮光資材およびマルチ資材が夏季の葉先枯れ症の発生に及ぼす影響

加藤ら(1977)によれば夏季の葉先枯れ症は、発生する株の外側で発生が認められる黄化型葉焼けや、株の中心部に発生する白化型葉焼けがあると述べている。前者が 45°C以上の高温と乾燥、後者は 50°C以上の高温が原因であると報告している。また、ネギで発生が認められる葉先枯れ症は、高

温期の水ストレスで発生が助長されるとされており(山本ら, 1996), 夏季においては高温と乾燥が葉先枯れ症の発生に大きく関与していると推察する。そこで本研究は、夏季の高温条件を緩和するため雨よけし、さらに遮光率の異なる資材を活用して、生育や葉先枯れ症の発生に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

試験は栃木県農業試験場のパイプハウス(100 m²/棟)で実施した。品種は‘ワンダーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を供試し、2010年2月25日に200穴セルトレイに2粒ずつ播種した。圃場の施肥は肥効調節型肥料(BB ニラグリーン 886(N:P₂O₅:K₂O=8%:8%:6%))をa当たり窒素で3.5 kgを全面全層施用し、4月21日に畝間40 cm, 株間20 cm, 植付け深さ10 cmで株当たり4本定植した。10月29日にすて刈りと同時に保温を開始し4回収穫した。再度株養成した後2011年5月25日にすて刈りを行い、塩化ビニルフィルムを展張して雨よけとし、マルチは地温上昇抑制効果の高い白マルチと慣行の黒マルチを敷設した。生育中はpF値2.0を目安にかん水チューブでかん水し、収穫日の10日前を目安に遮光率40%, 同60%の遮光資材(ダイオ化成(株))を高さ1.2 mに展張した。収穫は葉身長が概ね40 cmになった時を目安に3回収穫した。収穫1回目6月16日, 2回目7月7日, 3回目9月13日に葉先枯れ症の発生を調査した。

結 果

遮光資材およびマルチ資材の違いが気温、地温、葉温および葉先枯れ症発生率に及ぼす影響について第16表に示した。収穫1回目では、気温が25°C前後で地温は21~22°Cで推移し、葉先枯れ症の発生は認められなかった。収穫2, 3回目は気温が30°Cを超え、地温は25°C以上となり、葉の先端部が白化して枯れる葉先枯れ症が発生した。葉先枯れは葉齢の進んだ葉で発生した。白マルチと黒マルチでは気温と地温に差はなく、葉先枯れ症は黒マルチで発生率がやや高い傾向を示した。また、遮光をすると葉先枯れ症の発生率が低下し、40%遮光と60%遮光では遮光率が高いほど葉先枯れ症の発生率が低い傾向が認められた。

第10図に葉先枯れ症の発生率が高かった収穫2回目直前の気温、地温および葉温を示した。いずれの区も日中の気温は30°Cを超え、葉温は気温よりやや低く経過した。気温、葉温および地温とも遮光することで無処理区より低くなり、40%遮光と60%遮光では遮光率が高いほど低かった。なお、データを示していないが遮光によって収量が低下する傾向が認められた。

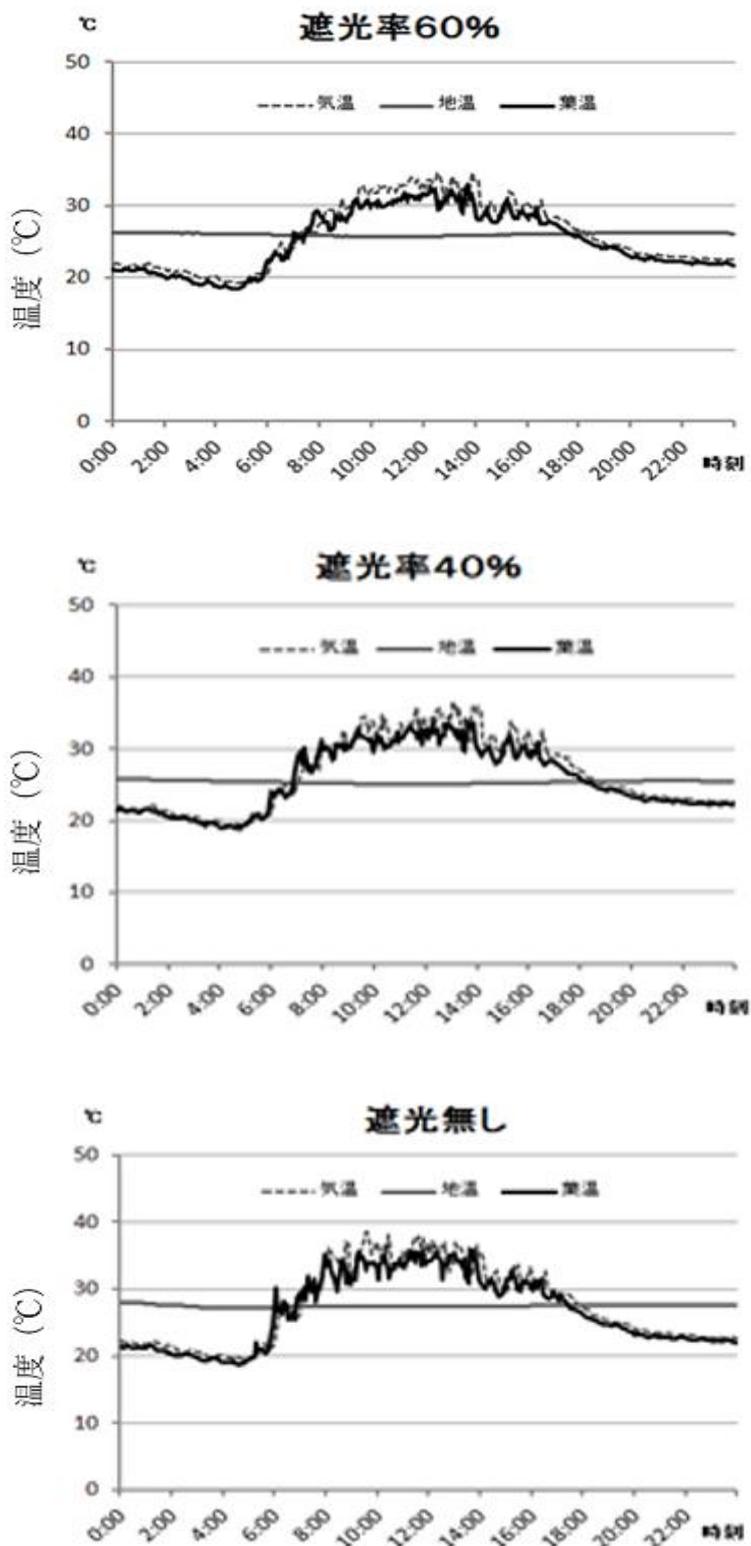
第16表 遮光資材およびマルチ資材の違いが気温、地温、葉温および葉先枯れ症発生率に及ぼす影響

処理	1回目 ²					2回目				3回目			
	遮光率 (%)	気温 ^y (°C)	地温 ^y (°C)	葉温 ^y (°C)	葉先枯れ症発生率 ^x (%)	気温 (°C)	地温 (°C)	葉温 (°C)	葉先枯れ症発生率 (%)	気温 (°C)	地温 (°C)	葉温 (°C)	葉先枯れ症発生率 (%)
白	60	25.0	21.1	24.3	0.0	30.6	24.7	29.8	5.8	29.9	26.4	28.9	1.7
	40	25.8	21.1	24.9	0.0	32.0	24.8	30.4	4.1	31.0	26.5	28.8	3.5
	無し	26.3	21.7	25.6	0.0	32.5	25.8	31.1	6.6	32.7	27.0	30.1	5.9
黒	60	24.1	21.5	24.2	0.0	30.5	25.8	29.3	2.1	30.7	27.3	28.0	1.4
	40	25.2	21.5	24.8	0.0	31.5	24.9	30.1	7.3	30.9	26.8	29.1	2.5
	無し	26.7	22.8	26.2	0.0	32.5	26.8	31.4	16.2	-	-	31.1	13.5
白マルチ平均		25.7	21.3	24.9	0.0	31.7	25.1	30.4	5.5	31.2	26.6	29.3	3.7
黒マルチ平均		25.4	21.9	25.1	0.0	31.5	25.8	30.3	8.5	30.8	27.0	29.4	5.8
60%遮光平均		24.6	21.3	24.3	0.0	30.5	25.2	29.6	4.0	30.3	26.8	28.5	1.6
40%遮光平均		25.5	21.3	24.9	0.0	31.8	24.9	30.3	5.7	31.0	26.6	29.0	3.0
遮光無し平均		26.5	22.3	25.9	0.0	32.5	26.3	31.3	11.4	-	-	30.6	9.7

¹収穫1回目: 2011年6月16日, 収穫2回目: 7月7日, 収穫3回目: 9月13日

²気温および地温、葉温は遮光期間中の9:00~18:00の平均温度。地温は地下20 cmの位置、葉温は葉先から5 mmの位置で測定した

³葉先枯れ症発生率は、葉先枯れ症の発生した茎数の割合とした



第10図 遮光資材およびマルチ資材の違いが気温、葉温、地温に及ぼす影響

考 察

夏季の雨よけ栽培で行った本試験では、収穫 2 回目に 9 時～18 時の平均気温が 27℃を超え、地温も 22℃以上になり、葉の先端部が白化して枯れる葉先枯れ症が発生した。この時期の遮光なしの雨よけハウス内気温は 40℃の高温になり、葉温も同様に高くなった。この症状は加藤ら(1977)が報告した 55℃以上で 3 時間以上の高温で発生する白化型葉焼けや、45～50℃で発生する黄化型葉焼けと異なると考えられる。遮光により葉先枯れ症の発生が軽減し、遮光率を高めることで葉先枯れ症の発生がより軽減した。遮光なしと比較して蒸散速度が抑えられ、気孔の蒸散と根の吸水量との均衡が図られ葉内の水分が失われにくく、葉先枯れ症の発生が軽減されたものと考えられる。このことは加藤ら(1977)が先の高温障害について乾燥の影響により助長されることを指摘しており、気温と乾燥など複数要因によって障害が発生することを示している。

第 4 節 遮光資材の種類が夏季の葉先枯れ症の発生に及ぼす影響

第 3 節では夏季のニラ葉先枯れ症について、マルチの種類や遮光率の異なる資材で検討し、遮光資材によって葉先枯れ症の発生が低減できることを検証した。特に、遮光資材の遮光率が高い場合、データとして示していないが減収が認められたことから、本研究では、遮光率を 40～50%程度として、特徴の異なる遮光資材を用いて、葉先枯れ症の発生率ならびに収量性について検証した。

材料および方法

試験は農業試験場のパイプハウス(100 m²/棟)で実施した。品種は‘ワンダーグリーンベルト((株)武蔵野種苗園)’を供試し、2011 年 1 月 26 日に、200 穴セルトレイに 2 粒ずつ播種した。圃場の施肥は、肥効調節型肥料(BB ニラグリーン 886(N: P₂O₅: K₂O = 8%: 8%: 6%))を a 当たり窒素 3.5kg 全面全層施用し、3 月 24 日に畝間 40 cm、株間 20 cm、植付け深さ 10 cm で株当たり 4 本定植した。10 月 29 日にすて刈りと同時に保温し、4 回収穫した。再度、株養成した後に 2012 年 5 月 24 日にすて刈りし、白マルチを展開し雨よけで栽培した。生育中は pF 値 2.0 を目安にかん水チューブでかん水した。遮光資材 3 種類および遮光資材無しの 4 処理区を設け、収穫日の 10 日前を目安に遮光資材を高さ 1.2 m で展開した。遮光資材はダイオネット(ダイオ化成(株); 黒色, 遮光率 40～45%), ふあふあシルバー(ダイヤテックス(株); 灰色, 遮光率

50%), ニラクール((株)武蔵野種苗; 白色, 遮光率 45～50%) の 3 種類を使用した。収穫 1 回目は 6 月 15 日, 2 回目が 7 月 7 日, 3 回目が 9 月 7 日に行い、収量と葉先枯れ症の発生率について調査した。また、収穫 2 回目の 2 日前にニラ葉先の熱画像を携帯用小型熱画像カメラ(CPA-0170, CHINO 社)で測定し、同じく 5 日前に各遮光資材における PPFD, 光合成速度および蒸散速度を LI-6400XT(Li-COR 社)で測定した。

結 果

遮光資材の種類が気温、地温、葉温および葉先枯れ症発生率に及ぼす影響の結果を第 17 表に示した。葉先枯れ症は、収穫 2 回目以降で発生し、気温、地温、および葉温が最も高かった収穫 3 回目では葉先枯れ症の発生率が最も高かった。葉先枯れ症の発生率は、収穫 2 回目では無処理区に比べふあふあシルバー区およびダイオネット区, 3 回目は無処理区に比べいずれの遮光資材区でも低い傾向にあった。なお、葉温と葉先枯れ症発生率には高い相関 $r=0.919$ が認められた(第 11 図)。

第 12 図に熱画像を示した。無処理区と比較して遮光資材区の葉温が低かった。遮光資材間では、ニラクールに比べて、ふあふあシルバーおよびダイオネットで葉先温度が低い傾向にあった。遮光資材の種類が葉温、PPFD, 光合成速度および蒸散速度に及ぼす影響の結果を第 18 表に示した。PPFD はダイオネット, ふあふあシルバー, ニラクールの遮光資材区で無処理区に対しそれぞれ 17%, 21%, 28%の割合であった。また、光合成速度および蒸散速度は無処理区に対し概ね 1/2 程度の速度で、PPFD が低いと光合成速度, 蒸散速度も同様に低くなった。なお、遮光資材区は無処理区と比較して収量が低下する傾向が認められた(データ省略)。

考 察

第 3 節では遮光率 40%と 60%の資材を用いた場合、遮光率が高いと収量や品質が低下したことから、本研究では遮光率 40～50%程度のものを使用した。夏季のハウレンソウ栽培では遮光資材を利用した栽培事例が多く、併せて遮光資材に関する知見もある。中西(2019)や黒住ら(1988)は夏播きハウレンソウは遮光率 40%程度が適当であると報告している。ハウレンソウのように軟弱野菜であるニラについても概ね 40%程度の遮光が必要であると考えられる。今回の試験では、6 月から 9 月までに 3 回収穫を行っているが、時期により温度や日射量が異なることから、小林・大森(1987)や井上ら(2000)が指摘するように、時期や気象条件の微妙な変化によって遮光を変える必要がある。なお、PPFD について、ダイオネ

ット(黒色), ふあふあシルバー(灰色), ニラクール(白色)の遮光資材を比較した結果ニラクールがやや高い数値を示した。3資材はほぼ遮光率が同じであったので、白色のニラクー

ルは散乱光によりハウスの中がやや明るくなったものと推察される。

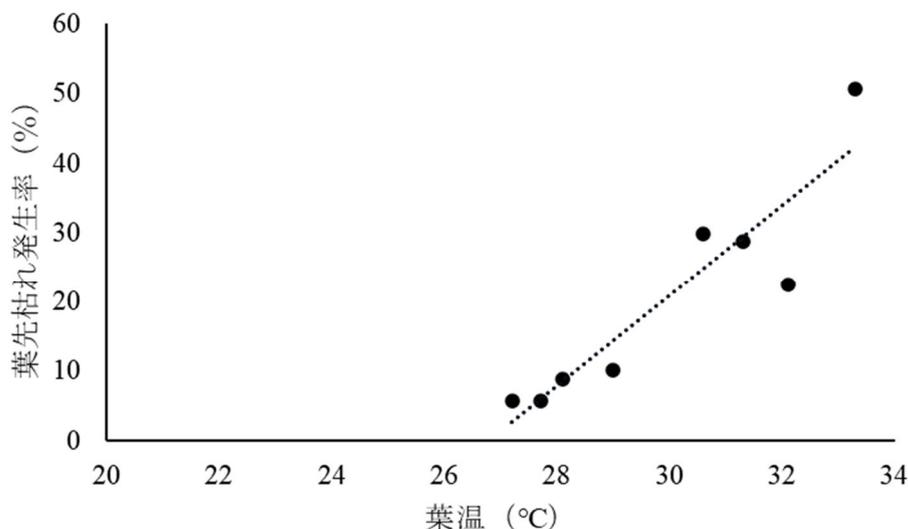
第17表 遮光資材の種類が気温・地温・葉温および葉先枯れ症発生率に及ぼす影響

処理	1回目 ²				2回目				3回目			
	気温 ^y (°C)	地温 ^y (°C)	葉温 ^y (°C)	葉先枯れ症 発生率 ^x (%)	気温 (°C)	地温 (°C)	葉温 (°C)	葉先枯れ症 発生率 (%)	気温 (°C)	地温 (°C)	葉温 (°C)	葉先枯れ症 発生率 (%)
ニラクール	22.3	20.6	22.6	0	28	22.8	28.1	8.8	30.2	27.5	32.1	22.4
ふあふあシルバー	22	20.4	22.2	0	28.1	22.6	27.7	5.8	30.7	27.1	31.3	28.7
ダイオネット	21.9	20.2	21.5	0	27.5	22.1	27.2	5.7	29.7	26.8	30.6	29.9
無処理	23.4	21.1	23.3	0	29.6	23.2	29	10.1	32.9	28.2	33.3	50.7

²収穫1回目:2012年6月15日, 収穫2回目:7月7日, 収穫3回目:9月7日

^y気温および地温、葉温は遮光期間中の9:00~18:00の平均温度 地温は地下20 cmの位置、葉温は葉先から5 mmの位置で測定した

^x葉先枯れの発生割合は葉先枯れの発生した茎数の割合とした



第 11 図 葉温と葉先枯れ症発生率との関係

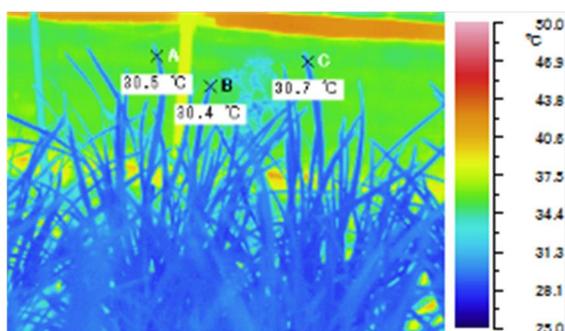
収穫 2 回目と収穫 3 回目に測定した葉温と葉先枯れ症発生率をグラフ化した

第18表 遮光資材の種類が葉温, 光合成有効光量子束密度, 光合成速度および蒸散速度に及ぼす影響²

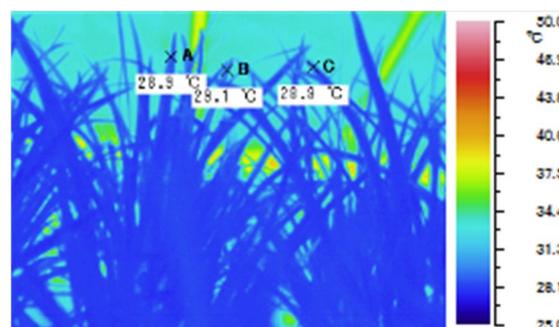
遮光資材	葉温 ^y (°C)	光合成有効光量子束密度 ^y ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)	光合成速度 ^y ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)	蒸散速度 ^y ($\text{mmol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)
ニラクール	30.7	458	13.8	5.8
ふあふあシルバー	29.6	341	14.3	4.8
ダイオネット	28.6	278	10.2	4.0
無処理	31.7	1649	22.8	9.0

²測定日は2012年7月2日11:45~13:00

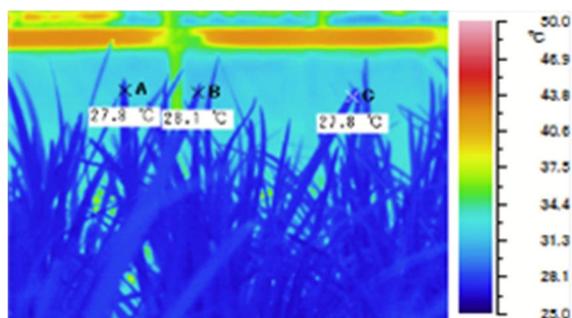
^y測定は中心葉から3葉目の葉先から5 cm付近の葉で行った



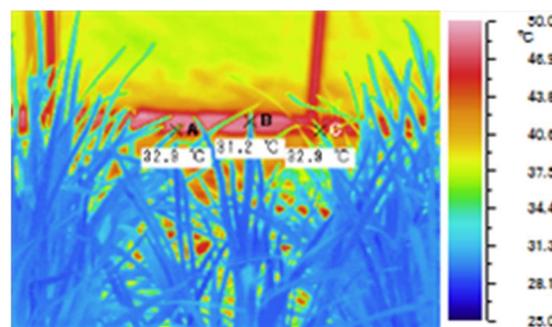
ニラクール



ふあふあシルバー



ダイオネット



無処理

第 12 図 遮光資材の違いがニラ葉先温度に及ぼす影響

2012 年 7 月 5 日, ニラ葉先 A, B, C の数値は葉温を示す

第 5 節 品種とポット容量が葉先枯れ症発生に及ぼす影響

地上部の環境条件では温湿度によって葉先枯れ症の発生程度が異なった。低温条件では乾燥した寒気の影響を受け、高温条件では蒸散に対して根からの水分供給が間

に合わない場合に萎凋し葉先が影響を受けることが示唆された。そこで、本研究では根圏の環境に着目し、根量を制限したポットを用い、数品種を供試して葉先枯れ症の発生について検証した。

材料および方法

試験は農業試験場内露地ほ場で行った。品種は‘グリーンロード((株)サカタのタネ)’, ‘ミラクルグリーンベルト(武蔵野種苗園(株))’, ‘タフボーイ(八江農芸(株))’の3品種を供試した。2011年3月25日に、200穴セルトレイに2粒ずつ播種した。圃場の施肥は、肥効調節型肥料(BB ニラグリーン886(N: P₂O₅: K₂O = 8%: 8%: 6%))をa当たり窒素3.5 kgで全面全層施用した。定植は2011年5月23日に畝間40 cm,

株間20 cmに容量3.5 L(口径18 cm, 深さ20 cm)と容量10 L(口径18 cm, 深さ38 cm)の防根透水性のポットを埋め込み、株当たり2本、植付け深さ10 cmで行った。2012年5月29日にすて刈りし、連続3回収穫した。収穫1回目が6月21日、2回目が7月31日、3回目が8月31日であった。収穫時に葉身重等の農業形質、根域調査として根重、葉重、バルブ重、乾燥根重および葉先枯れ症発生率を調査した。

第19表 ポット容量、品種および収穫回数かニラの生育および品質に及ぼす影響

項目	処理	葉身重 (g)	分けつ数 (個)	葉身長 (cm)	葉身幅 (mm)	葉身色 (SPAD)	葉身厚 (mm)	1分けつ重 (g)	抽だい発生率 (%)	葉先枯れ症発生率 (%)
ポット容量 (L)	3.5	193 a ^z	22.9 b	46.5 a	8.5 a	54.5 a	0.84 a	8.4 a	5.0 a	29.8 a
	10	216 a	26.3 a	48.2 a	8.5 a	55.0 a	0.83 a	8.3 a	5.2 a	35.3 a
品種	グリーンロード	214 a	26.2 a	49.0 a	8.4 a	54.3 b	0.82 ab	8.2 a	4.9 a	27.8 a
	タフボーイ	189 a	24.4 a	47.6 a	8.5 a	52.7 b	0.79 b	7.7 a	4.1 a	30.8 a
	ミラクルグリーンベルト	209 a	23.2 a	45.4 a	8.6 a	57.1 a	0.90 a	9.1 a	6.2 a	39.1 a
収穫回数 (回)	1回目	223 a	23.5 b	50.1 a	9.8 a	53.1 b	0.95 a	9.4 a	-	15.2 b
	2回目	177 a	23.7 ab	45.1 b	8.9 b	55.5 ab	0.71 c	7.6 a	6.7 a	39.9 a
	3回目	213 a	26.6 a	46.8 ab	6.8 c	55.6 a	0.85 b	8.0 a	8.5 a	42.5 a
A: ポット容量		0.3385 ^s	0.0010 ***	0.2781	0.9197	0.4867	0.6780	0.9869	0.6709	0.3391
B: 品種		0.657	0.0515 +	0.1716	0.7506	0.0000 ****	0.0005 ****	0.4440	0.0094 **	0.6822
C: 回数		0.2617	0.0196 *	0.0317 *	0.0000 ****	0.0112 *	0.0000 ****	0.2028	0.0228 *	0.6335
分散分析 ¹⁾	AB	0.9804	0.7648	0.9560	0.3391	0.2473	0.7783	0.9690	0.5182	0.0523 +
	AC	0.9795	0.8907	0.9451	0.4953	0.8871	0.8388	0.9517	0.2682	0.8056
	BC	0.9907	0.6755	0.9996	0.4236	0.2604	0.9279	0.9824	0.0000 ****	0.9819
	ABC	0.9984	0.9301	0.9982	0.8519	0.6768	0.9003	0.9955	0.3935	0.9781

¹⁾同一要因内における異なる文字間には、Tukey-Kramer法 (P<0.05) により有意差あり (n=4)

²⁾二元配置分散分析により***が0.1%, **が0.5%, *が1%, +が5%, +が10%で有意性あり, NSは有意差なし

³⁾分散分析の結果, p値

第20表 ポット容量と品種がニラの根域生育量に及ぼす影響

項目	処理	根重 (g)	葉重 (g)	バルブ重 (g)	乾燥根重 (g)
ポット容量 (L)	3.5	193 b ^z	81.8 a	83.2 a	29.6 a
	10	233 a	92.9 a	87.4 a	35.1 a
品 種	グリーンロード	214 a	93.4 a	95.5 a	33.8 ab
	タフボーイ	214 a	104.1 a	86.3 ab	36.1 a
	ミラクルグリーンベルト	173 a	64.6 b	74.1 b	27.1 b
分散分析 ^y	A: ポット容量	0.0002 ^x ****	0.1641	0.4224	0.0653 +
	B: 品種	0.0612 +	0.0004 ****	0.0053 **	0.0392 *
	AB	0.3162	0.1429	0.1019	0.6833

^z同一要因内における異なる文字間には、Tukey-Kramer法 (P<0.05) により有意差あり (n=5)

^y二元配置分散分析により****が0.1%, ***が0.5%, **が1%, *が5%, +が10%で有意性あり, NSは有意差なし

^x分散分析の結果, p値

なお、試験結果は分散分析ならびに Tukey-Kramer の多重比較によってポット容量、品種および収穫回数における地上部生育調査項目の差を統計的に検定した。また、根域生育量調査項目はポット容量および品種間において、分散分析ならびに Tukey-Kramer の多重比較によって検定した。

葉先枯れ症の発生は収穫回数で有意差が認められた。これは収穫時期が関係していると考えられ、収穫 1 回目は 6 月下旬、2 回目が 7 月末、3 回目が 8 月末で、特に 2、3 回目が夏季の高温の時期であったことが葉先枯れ症発生の要因の一つになったものと考えられる。

結 果

品種とポット容量が葉先枯れ症の発生と生育および品質に及ぼす影響について結果を第 19 表に示した。葉先枯れ症の発生率は、ポット容量間 10 L と 3.5 L、品種間‘グリーンロード’、‘タフボーイ’および‘ミラクルグリーンベルト’では有意差は認められなかった。また、収穫回数が進むと葉先枯れ症の発生率が高くなった。ポット容量とニラ品種が根量、葉重、バルブ重および乾燥根重に及ぼす影響について第 20 表に示した。ポット容量間では根重に有意に影響を及ぼし、容量が大きい 10 L で根重が重かった。品種間では、葉重、バルブ重および乾燥根重で有意差が認められ、‘グリーンロード’は‘ミラクルグリーンベルト’に比較して重かった。

考 察

葉先枯れ症の発生はポット容量や品種間では有意な差が認められず、収穫回数が進むにつれて葉先枯れ症の発生率が高まった。一方、第 20 表に示したように根重はポット容量 10 L 区で重く、地上部重、バルブ重および乾燥根重は品種間差が認められた。位田ら(1987a,b)は夏季の葉ネギ栽培において、葉先枯れ症の発生は品種間差があり、根が深く分布し、根重が重い品種では発生が少ないと報告している。本試験では根重はポット容量が多い 10 L で、根量も多かったが、葉先枯れ症の発生率では違いは認められなかった。しかし、

ま と め

第 4 章では、冬季と夏季に発生する葉先枯れ症の発生要因解明と対策を検討した。葉先枯れ症を発生させる要因として湿度や温度に着目した。施設内気温を 25℃に設定して湿度を 90%から 50%にする急激な湿度変化を与えたところ、処理時間が長いほど葉先枯れ症の発生率が高かった。30℃～40℃の一時的な高温条件下では発生が認められず、-2～-4℃の一時的な低温条件下では発生が認められた。なお、高温条件下では葉先枯れ症の発生が認められなかったのは、ポットの水分条件が関与していると考えられた。

夏季に発生する葉先枯れ症の軽減対策として遮光処理を行い、遮光率が高いほど葉先枯れ症の発生が低い傾向にあった。また、40～50%程度の遮光率で色の異なる資材を用いた試験では、遮光資材区は無処理区より葉先枯れ症発生率は低く、遮光資材間での差はわずかだった。葉温と葉先枯れ症の発生率との相関は高く、葉温が高いと葉先枯れ症の発生率は高まった。ポット容量 3.5 L と 10 L の容量間と、‘グリーンロード’、‘タフボーイ’および‘ミラクルグリーンベルト’のニラ品種間に葉先枯れ症発生率の有意差は認められなかった。

第5章 花粉親特異的 DNA マーカーによる選抜を介したニラ新品種‘ゆめみどり’の育成

緒言

ニラ (*Allium ramosum* L. $2n = 4x = 32$) はアポミクシス性を有することを前提としているため、遺伝的な固定のステップを省略した品種育成を行っている。従って、育成された品種もアポミクシス性を前提とした種子繁殖が行われるため、種子生産において、特に単為発生が高頻度で起きることが極めて重要である。ニラが有する条件的なアポミクシス性は、減数分裂前の核内倍加によって体細胞染色体数と同数の倍加染色体 ($32II$) が形成される複相大孢子形成と、受粉の有無に関わらず初期の胚発生が進行する単為発生 の 2 つの要因から構成され、両生命現象とも概ね同程度の頻度で発生し、その頻度には系統間差のあることが明らかにされている (Kojima・Nagato, 1992a, b)。しかし、一般的なニラ栽培品種で概ね高いアポミクシス率がみられることから (Kojima ら, 1991)、交雑率が低くなり、育種における遺伝的変異拡大の障害となっている。そこで、実生選抜を効率的に行うため、エステラーゼアインザイム多型を利用した交雑個体の識別が実施された (天谷, 1996)。しかし、エステラーゼアインザイムはザイモグラムのパターンが限定されており、利用できる交配組合せが限られることから、さらに汎用性の高い識別方法が必要であった。その後、花粉親に特異的な RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) マーカーを利用した交雑個体選抜技術が開発され (天谷, 1997)、22 交配組合せから得られた 2,673 個体から 304 交雑個体が選抜された (中澤ら, 2005)。その結果、交雑個体のみを圃場で評価できるようになり、育種効率が飛躍的に向上するとともに (中澤ら, 2005)、両性生殖性個体の作出と単為発生連鎖マーカーの開発を可能にした (天谷ら, 2010; 中澤ら, 2006)。

栃木県は全国有数のニラ生産地であり (農林水産省 b, 2021)、同県ではニラの生産振興を図るため 1985 年から品種育成に取り組み、これまでに‘きぬみどり’ (木村, 1995) やネギとニラの種間雑種‘なかみどり’ (天谷ら, 1995) を育成した。‘きぬみどり’は、葉身幅が広く収量が多いなどの農業形質を有するが、休眠が深く、栃木県の 12 月保温開始、1 月収穫開始の主要作型には適さなかった。また、‘なかみどり’はニラとは異なる栄養成分を有し、独特の形態から実需者からの引き合いは多いが、種子が形成されず株分けによる増殖となり、栽培面積を拡大することができなかった。

栃木県で栽培される主要品種は、以前は‘スーパーグリーンベルト’ ((株) 武蔵野種苗園) や‘サンダーグリーンベルト

((株) 武蔵野種苗園)’であった。最近では多様な特徴を有する品種が導入され、‘ミラクルグリーンベルト’ ((株) 武蔵野種苗園) や‘タフボーイ’ (八江農芸 (株)) などは栽培面積が大きい。これらの品種は、立性で葉鞘部が長く、葉身色が濃いなどの形質を備えているが、現地からはより栃木県の気候風土や作型に合致し、品質や収量性の高い品種が望まれていた。2006 年 8 月に、栃木県農業試験場が保有する遺伝資源の‘杭州ニラ’を種子親、‘サンダーグリーンベルト’を花粉親として交配を行い、中澤ら (2005) が開発した花粉親特異的 RAPD マーカーにより選抜した交雑個体を定植し、草姿、収量、葉身幅、葉身色、葉鞘長などの形態的特性や、休眠性、抽苔性などの生理生態的特性を調査した。その結果、多収性で葉身幅が広いなどの農業形質を備えた系統を選抜し、2014 年 7 月 28 日に‘ゆめみどり’ (第 13 図) として品種登録出願 (出願番号第 29399 号) し、2017 年 2 月 22 日に品種登録 (登録番号第 25640 号) された。そこで、本章では‘ゆめみどり’の品種開発について詳細な過程を紹介する。また、その栽培特性について調査した結果を報告する。



第13図 ‘ゆめみどり’の草姿

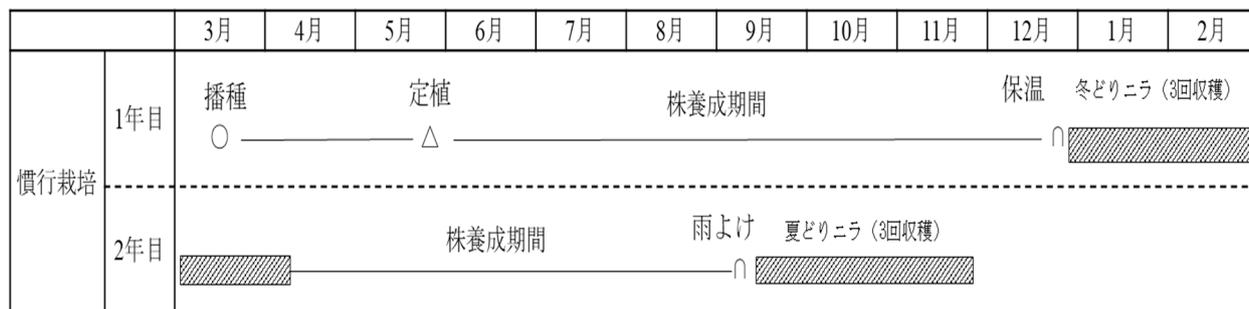
第 1 節 ‘ゆめみどり’ の育成経過

育成経過を第 21 表に示した。交配組合せは‘杭州ニラ’を種子親，‘サンダーグリーンベルト’を花粉親とした。栃木県農業試験場(宇都宮市瓦谷町) (以下、栃木農試) が保有する遺伝資源の中国由来である‘杭州ニラ’は、草姿が立性で葉鞘長が長く、葉身色はやや淡い色を呈し、特に葉身幅が広く、分けつが少ない特性を有している。‘サンダーグリーンベルト’は株式会社武蔵野種苗園が育成した品種で、草姿は立性で葉鞘長が長く、葉身色が濃い。また、同品種は、分けつが少なく、やや収量性が低い傾向にあり、休眠は比較的浅い特性を有している。そこで新品種の育種目標を、立草姿、多収、広葉身幅、濃葉身色、少分けつ、浅休眠、早抽性または晩抽性と定めた。2006 年 9 月に交配して得られた種子 677 粒のうち 200 粒を 2007 年 3 月に 200 穴のセルトレイに 1 粒ずつ播種し、ガラス温室の中で約 2 か月育苗した。その後、中澤ら(2005)の方法に従って、花粉親特異的 RAPD マーカーを用いた交雑個体選抜試験を行い、16 個体を選抜した(推定交雑率 8.0%)。なお、花粉親特異的マーカーを増幅するランダムプライマーとして、あらかじめ両親間多型を比較し、OPA19、OPB13 および OPC12(オペロン社:現ユーロフィンジェノミクス(株))の 3 種類を選定した。具体的な手法は以下のとおりであった。播種 2 か月後の葉身約 10 mg を用いて改変 SDS 法により抽出した DNA を 50 ng 程度供試し、25 μL の反応系(反応液組成: 1×PCR Buffer, 1 U TaKaRa Taq, 0.2 mM dNTP

Mixture, 0.5 μM Random Primer, タカラバイオ(株))で PCR (反応条件:95°C・3 分の後、(93°C・1 分, 40°C・1 分, 72°C・2 分)×40 回, 最後に 72°C・5 分)を行い、電気泳動により想定されたバンドが検出されたものを交雑個体とした。また、ニラはアポミキシス性を有することで遺伝的な固定が進まず、核ゲノムのヘテロ接合性が高いと推察されるため、誤判定を防ぐ目的で複数のプライマーを供試した。選抜した 16 個体は、系統選抜試験に供試するために 9 月に露地圃場に定植して株養成を行った後、2008 年に外観形質から 8 系統を、さらに 2009 年に休眠性および抽苔性から 5 系統をそれぞれ選抜した。後者の 5 系統について、2008 年 11 月に採種した種子を 2009 年 3 月に播種し、2009～2010 年の特性検定試験に供試して第 14 図の作型で栽培した。この調査では、外観形質、収量性、休眠性および抽苔性に着目し、‘06-2-19’と‘06-2-25’の 2 系統を選抜した。さらに 2011～2012 年に同様の作型で生産力検定試験を実施し、2 年目の 3 月の収穫を終了した時点で供試した 2 系統の現地適応性検定試験の実施を決定した。それに伴い、‘06-2-19’に‘ニラ栃木 4 号’、‘06-2-25’に‘ニラ栃木 5 号’の系統名をそれぞれ付与した。2012～2013 年は、同様の作型で場内適応性検定試験と現地適応性検定試験を実施した結果、‘ニラ栃木 5 号’の特性は育種目標がほぼ達成されたため、2014 年に‘ゆめみどり’として品種登録出願を行った。なお、生産力検定試験および適応性検定試験は、特性検定試験と同様の観点で選抜を行った。

第21表 ‘ゆめみどり’ の育成経過

年度	農業試験場内試験・現地試験	選抜内容	選抜状況
2006	交配	‘杭州ニラ’ (子房親) ×‘サンダーグリーンベルト’ (花粉親)	採種粒数 677
	播種	200穴セルトレイに播種	播種粒数 200
2007	交雑個体選抜	DNAマーカーによる交雑個体選抜 休眠性調査	選抜個体数 16
2008	系統選抜試験	外観形質、抽だい性調査・採種 採 種	選抜系統数 8
2009	特性検定試験	外観形質・収量性・休眠性・抽だい性調査	選抜系統数 5
2010		採 種	選抜系統数 2
2011		生産力検定：外観形質・収量性・休眠性 ・抽だい性調査	選抜系統数 2
2012	現地適応性検定試験 (‘ニラ栃木4号’, ‘ニラ栃木5号’)	生産力検定：採種 現地適応性：外観形質・収量性・休眠性 ・抽だい性調査	選抜系統数 2
2013		現地適応性：採種	選抜系統数 1
2014	‘ニラ栃木5号’ (‘ゆめみどり’)		



第14図 栃木県における慣行栽培

ニラの基本的な作型は、2年を1サイクルとして6回程度収穫する

考 察

‘ゆめみどり’は 2006 年に交配し、得られた 200 個体を DNA マーカーによる判別を行って 16 交雑個体から唯一品種となった優良個体由来のニラ品種である。DNA マーカーによる判別が実施される前は、4 月に播種した実生個体を 6 月に定植して表現形質を観察し、晩秋から冬の耐寒性や 2 年目春の萌芽性の評価、さらに 2 年目の表現形質を観察して交雑個体の選抜を行っていた。この様に 1 年半を費やし、推定交雑率 1 割程度(中澤ら, 2005)の条件で交雑個体を選抜するために、多くの場所と時間をかけてきたことになる。本報で示したマーカー選抜法を利用することで、幼苗時に交雑個体を選抜して圃場に展開することが可能となり、育種圃場の効率的利用ができ、さらに圃場管理に費やす時間と労力を削減することが可能となり、ニラ育種の効率が著しく向上した。

第 2 節 ‘ゆめみどり’ の生殖性調査

単為生殖性ニラ品種・系統間の交配においても両性生殖性の後代個体が出現する可能性があるため(中澤ら, 2006)、新品種を育成するには、種子生産において極めて重要な知見となる生殖性とその遺伝様式を明らかにすることが必須となる。そのため、‘ゆめみどり’の生殖性について調査を行った。

材料および方法

1) 単為発生性連鎖マーカーによる単為発生性の判定

単為発生性の判定には、天谷ら(2010)が開発した単為発生因子の連鎖マーカー(PLM1 と PLM3)を増幅するプライマーの増幅安定性を改良した新規プライマーを用いた。改変した PLM1 の Forward プライマー(PLM1-F)は 5'-GTTGGTTGGAGGGTTTTGG-3'の配列で、改変した PLM3 の Reverse プライマー(PLM3-R)の配列は 5'-

GGACTTATTACCTTCAATGACC-3'とし、PLM1 の Reverse (PLM1-R)および PLM3 の Forward(PLM3-F)のプライマー配列は天谷ら(2010)と同一のものを用いた。DNA は DNeasy Plant Mini Kit(QIAGEN)を用いて葉身から抽出した。両マーカーを増幅する PCR 用反応液は、容量を 10 μ L とし、その中に My Taq DNA Polymerase (BIOLINE)を 0.25 U、鋳型 DNA を 20 ng、10×My Taq Reaction Buffer1 を 1 μ L、10 μ M の Forward および Reverse プライマー溶液を 0.25 μ L それぞれ加えた。PLM1 の反応条件は、(95°C・3 分、95°C・15 秒、60°C・15 秒、72°C・30 秒)×35 回、72°C・7 分)とした。PLM3 に関しては、アニーリング温度を 58°C、サイクル数を 40 回に変更した。なお、対照植物として単為発生性品種‘テンダーポール’と非単為発生性系統‘97-12-102’(中澤ら, 2006)を加えた。PCR 産物の可視化に関しては、1.5%アガロースゲルを用いて電気泳動して分画されたフラグメントを GelRed (Biotium Inc.)で染色して UV 照射下で検出した。

2) 検定交配による交雑率の推定

2015 年、‘ゆめみどり’に‘テンダーポール’の花粉を交配して交雑検定用の種子を獲得し、翌年 3 月に 128 穴セルトレイに播種した。発芽した F₁ 77 個体の葉身から TPS 法(癸生川ら, 2013)を用いて DNA を抽出し、交雑検定に供試した。交雑検定は、8 種類の SSR(Simple Sequence Repeat)マーカー(プライマー 5 ペア(nira3910, nr0127, nr5141, nr5028, nr5027):若樹ら, 2016)を用い、若樹らの方法(2016)に従って PCR を行い、‘テンダーポール’特異的な増幅産物の有無により確認した。その結果から、供試した SSR プライマー 5 ペアすべてで‘ゆめみどり’と全く同じ増幅パターンを示した F₁ 個体は、非交雑個体(アポミクト)と判断し、花粉親特異的マーカーが 1 種類でも検出された F₁ 個体は、交雑個体と判定した。次に、花粉親特異的マーカーは検出されないが、‘ゆめみどり’と異なる増幅パターンを示した F₁ 個体については、さらに 3 種類の‘テンダーポール’特異的マーカー SCAR-1~3 (Yamashita ら, 2012)を用いて PCR を行い、それらの増幅の

有無を確認した。それでも‘テンダーポール’との交雑が確認できない個体は、同品種特異的 RAPD マーカー OPA08550, OPA10700, OPB10870, OPB151160, A421250, A43890 (Yamashita ら, 2012) および OPA05980, OPD031350, 1630, OPD15390, OPE20540, OPQ201080, A69430, A70780, B32450, D23710 (中澤ら, 2006) (16 マーカー:プライマー名後の下付き文字は特異的マーカーの分子量を示す。)を増幅する計 15 種類のランダムプライマーを用いた PCR 産物の電気泳動プロフィールを確認し、マーカーの有無から交雑率を推定した。

結 果

1) 単為発生性連鎖マーカーによる単為発生性の判定

‘ゆめみどり’の DNA を供試し、単為発生性連鎖マーカー PLM1 および PLM3 を PCR 増幅した結果、両マーカーとも検出された(第 15 図)。そのため、‘ゆめみどり’は単為発生性を有すると判定した。

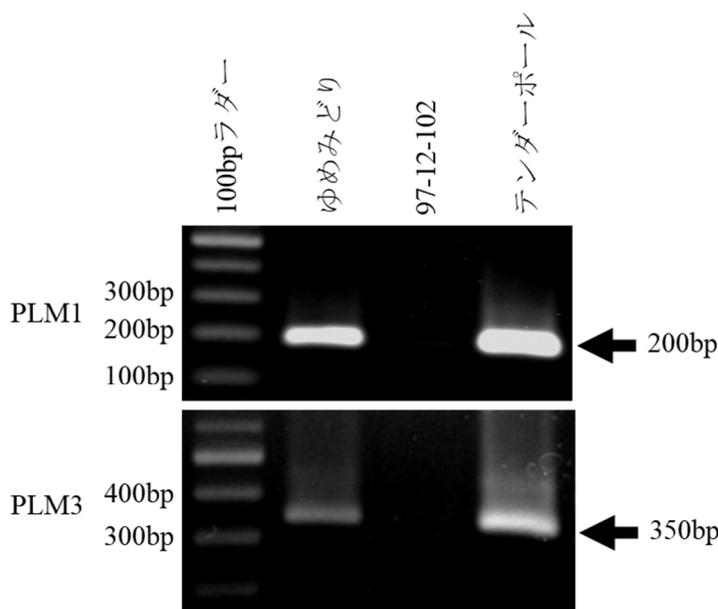
2) 検定交配による交雑率の推定

供試した‘ゆめみどり’×‘テンダーポール’F₁ 77 個体のうち 70 個体は、SSR プライマー 5 ペアを用いた PCR で‘ゆめみどり’と全く同じ増幅パターンを示したため、非交雑個体と判定した。‘ゆめみどり’と異なる増幅パターンを示した 7 個体のうち、No.17 および No.27 の 2 個体は花粉親特異的 SSR マーカーが認められたため交雑個体と判定した(第 22 表)。残りの 5 個

体について‘テンダーポール’との交雑を確認するため、SCAR-1~3 を用いた PCR を行った結果、SCAR-2 によって No.34 以外の 4 個体の交雑が確認された(第 23 表, 第 16 図)。さらに、F₁ 個体 No.34 について、ランダムプライマー 15 種類による PCR 増幅を確認したが、‘テンダーポール’特異的 RAPD マーカーは検出されなかったため、交雑を確認することはできなかった(データ省略)。これらの結果から、交雑の有無を確認した 76 個体中 6 個体で交雑が確認され、交雑率は約 7.9%と推定された。

考 察

ニラはアポミキシス性を有し、採種は開放系で行うことが前提であるため、交雑率はできる限り低いことが望ましい。中澤ら(2005)は、市販品種‘タフマン’の推定交雑率は 12.0%、変動は認められるものの‘スーパーグリーンベルト’でも 10%以上の交雑率であると推定している。これまで 8 年間の‘ゆめみどり’の栽培試験では、形態的または生態的なバラつきが認められなかった。また、既存品種の‘スーパーグリーンベルト’や‘サンダーグリーンベルト’の栽培試験でも、品種としての均一性に問題が生じた経験はこれまでなかった。これらのことから、‘ゆめみどり’の推定交雑率約 7.9%はニラ品種として許容できる範囲と考えられる。しかし、年次間差や異なる花粉親を用いた時の変化など、さらに交雑率に関する情報を収集する必要がある。



第15図 単為発生性連鎖マーカーによる‘ゆめみどり’の単為発生性検定結果

注：97-12-102は非単為発生性系統，テンダーポールは単為発生性品種としての対照

第22表 花粉親特異的 SSR マーカーによる‘ゆめみどり’の交雑検定結果

品種名・個体No.	SSRプライマーごとの増幅産物 (nt)				
	nira3910	nr0127	nr5141	nr5028	nr5027
♀ ゆめみどり	182/188/208	195/201/207	220/222	269/273/276/280/290	249/253
♂ テンダーポール	182/188/ 198/216	195/207/ 210	220/222/ 224	278/292	239/243/247
No.17	182/ 198 /208	195/207	220/222/ 224	278 /280/290	249/253
No.27	182/188/208/ 216	201/207/ 210	220/222	278 /280	243 /249/253
F ₁ No.2	182/188/208	195/201/207	220/222	269/273/276/280	249/253
個 No.10	182/188/208	195/201/207	220/222	269/273/276/290	249/253
体 No.34	182/188/208	195/201	220/222	269/273/276/280/290	249/253
No.59	182/188/208	195/201/207	220/222	269/273/276/290	249/253
No.76	182/188	195/201/207	220/222	269/273/276/280/290	249/253

太字の数字は、花粉親特異的 (テンダーポール) マーカーのサイズを示す

■: 花粉親特異的マーカーが検出されたことを示す

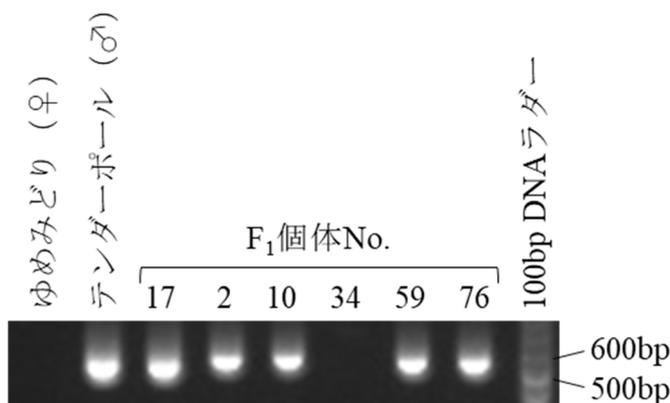
■: 花粉親特異的マーカーは検出されないが、‘ゆめみどり’と異なる増幅パターンであることを示す

第23表 テンダーポール特異的 SCAR マーカーによる‘ゆめみどり’の交雑検定結果

品種名・個体No.	SCAR1	SCAR2	SCAR3
♀ ゆめみどり	-	-	-
♂ テンダーポール	+	+	+
No.2	-	+	-
F ₁ No.10	-	+	-
個 No.34	-	-	-
体 No.59	-	+	-
No.76	-	+	-

+はマーカーが増幅されたことを示す

-はマーカーが増幅されなかったことを示す



第16図 テンダーポール特異的マーカーSCAR-2のPCRプロフィール

第 3 節 ‘ゆめみどり’ の特性調査

ニラ栽培の現地では多数のニラ品種が栽培されており、それぞれの品種特性を活かして栽培されている。‘ゆめみどり’についても既存品種と比較検討しつつ生理生態的な特性ならびに収量や品質などの農業形質について調査を行った。

材料および方法

1) 草姿、収量および品質

‘ゆめみどり’の特性は、第 21 表に示した育成過程の 2009 年から 2013 年にかけて実施した各種試験で明らかにした。各試験の栽培概要は第 24 表のとおりとし、作型は第 14 図に示した慣行栽培とした。調査は草姿、収量、分けつ数、1 分けつ重、葉身長、葉身幅、葉身厚、葉身色および葉鞘長について行った。収量は圃場から収穫した株の重量とし、1 分けつ重は収量を分けつ数で除した数値で示した。また、調査株の最長分けつ茎を抽出し、その分けつ茎の最大葉について長さを測定し、その株の葉身長とした。さらに、葉身幅は最大葉葉身部の真ん中の位置で、葉身厚と葉身色は最大葉の葉先から 1/3 の位置でそれぞれ測定した。葉身色については、葉緑素計 (SPAD-502 plus, コニカミノルタジャパン (株)) を用いて調査をした。特性検定、生産力検定および場内適応性検定からなる 3 試験の結果は、それぞれの試験の平均値を用いて 3 反復のデータとし、それらの平均値±標準誤差で表示し、分散分析ならびに Tukey の多重比較によって各調査項目における各品種の平均値の差を統計的に検定した。また、特性検定試験、生産力検定試験および場内適応性検定試験では、‘スーパーグリーンベルト’と‘サンダーグリーンベルト’を対照品種とした。なお、場内適応性検定試験の冬どりの作型で表皮剥離が発生したため、発生株数の調査も併せて行った。この調査では、1 分けつ茎でも表皮剥離が確認された場合、そ

の株を発生株とした。なお、現地適応性検定試験の調査結果は、場内における各種検定試験の調査結果と同様の傾向であったことから割愛した。

2) 抽苔性

特性検定試験、生産力検定試験、場内適応性検定試験および現地適応性検定試験の夏どりにおいて、抽苔時期に花茎数と発生期間を調査した。花茎数は、収量および品質調査時にそれぞれ調査し、その合計値として算出した。また、抽苔の有無に関する調査期間は自然条件下において花茎の発生が認められた期間に行った。

3) 休眠性

‘ゆめみどり’は 2012 年 3 月 8 日に、‘スーパーグリーンベルト’は同年 2 月 2 日に、それぞれ 400 粒を 200 穴セルトレイに 2 粒ずつ播種した。施肥に関して、1/2000 ワグネルポット当たり肥効調節型肥料 (BB ニラグリーン 886 (N: P₂O₅: K₂O = 8%: 8%: 6%)) を 5.4 g 施用した。‘ゆめみどり’は 5 月 1 日に、‘スーパーグリーンベルト’は 4 月 4 日に、各ポットの植え穴に 2 株ずつ (分けつ数計 4 本) を深さ 10 cm で定植した。株養成は露地で、土壌にポットを埋め込んで行った。保温は 5°C 以下の低温遭遇時間が 1 時間となった 2012 年 10 月 19 日、58 時間となった 11 月 5 日、96 時間となった 11 月 15 日、300 時間となった 12 月 2 日、487 時間となった 12 月 14 日、793 時間となった 2013 年 1 月 2 日にそれぞれ開始し、各ポットを昼温 25°C、夜温 5°C 設定のガラス温室に移動して管理した。収穫調査は低温遭遇時間 1 時間で保温した区 (1 時間区) で 11 月 22 日、1 月 22 日および 3 月 26 日の計 3 回行った。同様に、58 時間区で 12 月 21 日、2 月 8 日および 4 月 5 日、96 時間区で 1 月 11 日、3 月 11 日および 4 月 11 日、300 時間区で 1 月 25 日、3 月 4 日および 4 月 11 日、487 時間区で 1 月 22 日、2 月 20 日および 4 月 5 日、793 時間区で 2 月 5

第 24 表 選抜試験の栽培概要

選抜年次	選抜試験名	試験区		播種 時期	定植 時期	a 当たり			栽植密度 (cm)	保温 時期	冬どり時期				捨て刈り				夏どり時期			
		株数/区	反復			N	P	K			1回目	2回目	3回目	時期	1回目	2回目	3回目	4回目	1回目	2回目	3回目	4回目
2009~2010	特性検定	20	2	3/19	5/20	3.5	3.5	2.6	40×20	12/14		2/9	3/9	7/7	7/29	8/25	9/22	-				
2011~2012	生産力検定	20	2	4/8	5/31	3.5	3.5	2.6	40×20	12/20	1/13	2/9	3/6	7/5	7/25	8/25	9/19	-				
2012~2013	場内適応性検定	80	2	2/29	4/24	3.5	3.5	2.6	40×20	11/7	11/30	1/4	2/6	7/10	8/2	9/2	10/3	-				
2012~2013	現地適応性検定	100	2	2/21	5/30	2.1	-	-	40×25	11/23	12/8	1/18	-	6/14	7/3	7/23	8/12	9/19				

日、3月11日および4月11日にそれぞれ3回ずつ実施した。

が少ない傾向であった。なお、‘ゆめみどり’の抽苔時期は、8月中旬から9月上旬となり、いずれの品種もほぼ同時期であった(データ省略)。

結 果

1) 草姿, 収量および品質

2009~2010年に実施した特性検定試験, 2011~2012年の生産力検定試験および2012~2013年の場内適応性検定試験の結果を第25表に示した。草姿は, ‘ゆめみどり’が立性, ‘スーパーグリーンベルト’が開性, ‘サンダーグリーンベルト’が立性をそれぞれ示した。冬どり栽培の‘ゆめみどり’において, 他の2品種もしくはどちらか一方より取得した数値データが統計的に優れたものを挙げると, 1分けつ重, 葉身長および葉鞘長となり, 特に1分けつ重は最大となった。また, 収量は‘ゆめみどり’が多くなり, 表皮剥離株率は‘サンダーグリーンベルト’と同等であった。

夏どり栽培をみると, 葉鞘長や抽苔茎の多さを除くすべての特性において, ‘ゆめみどり’は優れており, 特に収量については‘サンダーグリーンベルト’より有意に多かった($P=0.032<0.05$)。また, 夏季の抽苔発生状況をみると, ‘スーパーグリーンベルト’より少なく, ‘サンダーグリーンベルト’より多い傾向であった(第25表)。

2) 抽苔性

抽苔性調査結果を第25表に示した。夏どり栽培の3回収穫で‘ゆめみどり’は花茎数が株当たり12.9本で, ‘サンダーグリーンベルト’の9.1本より若干多かったが有意差は認められなかった。‘スーパーグリーンベルト’は25.8本で, ‘ゆめみどり’

3) 休眠性

5°C以下の低温遭遇時間と収量との関係について, 第17図に示した。‘ゆめみどり’の収量は低温遭遇時間が58時間と96時間が少なく, ‘スーパーグリーンベルト’は96時間で最も収量が少なかった。その後, いずれの品種も300時間で収量が増加に転じて, 低温遭遇時間が長くなるほど収量が多くなった。

考 察

栃木県内で栽培されているニラ品種の数は多く, 生産者ごとに3~4品種を組合せて, ほぼ周年的に出荷している。生産者がニラに求める形質は, 品質として葉身色が濃く葉身幅が広い, 作業性として草姿立性で葉鞘長が長く, 葉の傷みが少ない, さらに休眠が浅く周年生産が可能なことなど多岐にわたるが, 収量性も重要な形質の一つである。‘ゆめみどり’は従来の本県主力品種である‘スーパーグリーンベルト’や‘サンダーグリーンベルト’と比較し, 冬どり栽培および夏どり栽培のいずれの作型でも収量が多い傾向が認められたことから, 今後現地において積極的な導入が期待できる。

ニラは夏どり栽培を行う場合, 抽苔が問題となる。抽苔すると株の消耗が大きく, 収量の低下や葉身幅が細くなるなど品質低下を招くとともに, 出荷調製に多くの労力を費やすこととなる。齋藤・大島(2011)は抽苔を回避する方法として, 品種と

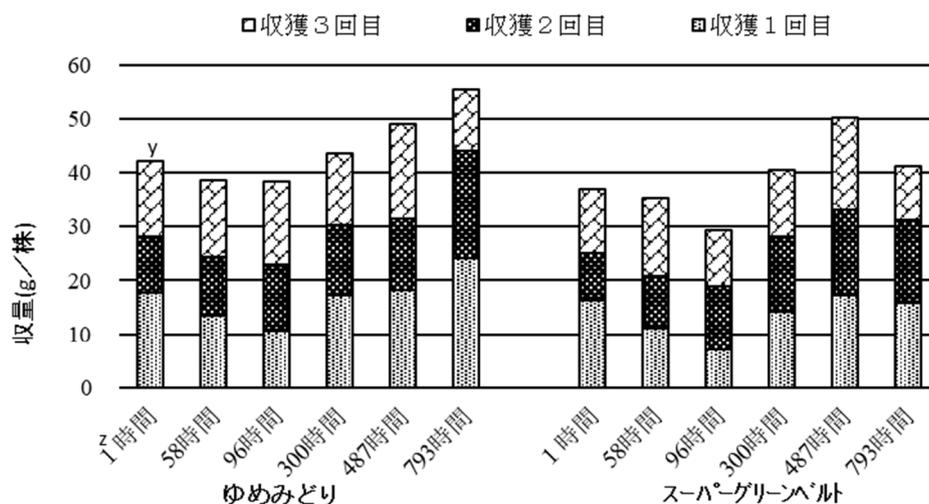
第25表 冬どり栽培・夏どり栽培ニラの特性調査結果 (2009~2013年)

品 種	冬どり栽培									
	分けつ数 (本/株)	1分けつ重 (g/茎)	葉身長 (cm)	葉身幅 (mm)	葉身厚 (mm)	葉身色 (SPAD)	葉鞘長 (cm)	表皮剥離株率 (%)	収量 (g/株)	
ゆめみどり	35.7±2.8 ^a	5.17±0.07	a ^d 43.7±0.3	b 10.23±0.28	0.90±0.06	52.7±0.3	5.33±0.74	ab 21.9	182±18	
スーパーグリーンベルト	41.3±1.0	4.23±0.09	c 39.7±0.3	c 10.17±0.35	0.80±0.04	53.7±1.2	3.57±0.42	b 0.0	173±6	
サンダーグリーンベルト	38.5±3.9	4.53±0.03	b 45.0±0.0	a 9.67±0.18	0.75±0.03	52.7±0.3	6.37±0.71	a 22.9	172±19	
有意性 ^x	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	—	n.s.	
品 種	夏どり栽培									
	分けつ数 (本/株)	1分けつ重 (g/茎)	葉身長 (cm)	葉身幅 (mm)	葉身厚 (mm)	葉身色 (SPAD)	葉鞘長 (cm)	花茎数 (茎/株)	収量 (g/株)	
ゆめみどり	33.9±3.0	6.63±0.35	49.0±0.6	7.37±0.26	0.75±0.05	51.3±0.9	4.47±0.15	b 12.9±2.5	ab 220±8	
スーパーグリーンベルト	43.4±2.5	4.60±0.30	46.5±1.5	6.90±0.30	0.67±0.02	49.0±1.0	3.40±0.00	c 25.8±1.8	a 195±2	
サンダーグリーンベルト	30.6±4.5	6.23±0.88	48.0±1.0	7.40±0.46	0.74±0.03	54.3±1.9	5.00±0.06	a 9.1±3.7	b 180±9	
有意性	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*	

^a特性検定試験, 生産力検定試験および場内適応性検定試験の平均値で, 平均値±標準誤差を示す

^b表中における同一のアルファベットは, Tukeyの多重検定により有意差 ($P<0.05$) がないことを示す

^xは5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし。—は統計処理なし



第17図 ‘ゆめみどり’ と対照品種における低温遭遇時間の増加による収量の推移

25°C以下の低温遭遇時間の総計

※収穫は‘スーパーグリーンベルト’が25 cmのときに行った

作型の組み合わせを示しているが、品種の具備すべき条件としては、抽苔本数が少ないことや、抽苔時期が早いあるいは遅いことが求められる。‘ゆめみどり’は、抽苔本数が少ない品種であるが、抽苔時期が‘スーパーグリーンベルト’や‘サンダーグリーンベルト’とほぼ同じであった。従って、周年栽培で品質を維持しながら出荷していく場合、抽苔時期が異なる品種との組合せや栽培体系の工夫が必要となる(室井ら, 1984; 齋藤・大島, 2011)。

ニラは、ある一定の低温に遭遇すると生育が緩慢となり地上部が枯死し、あるいは葉の伸長が停止する休眠が現れる。休眠の浅深は、ニラの品種によって異なり、大きく2グループに分けられ(豆塚ら, 1991; 沼田, 1994)、『スーパーグリーンベルト』は休眠が浅いグループに属している(沼田, 1994)。今回の休眠に関する試験の結果から‘ゆめみどり’は、低温遭遇時間が約50~100時間で最も休眠が深くなり、約300時間以上になると休眠が打破されることから、『スーパーグリーンベルト』と同様に休眠が浅いグループに属すると考えられる。また、『ゆめみどり’は‘スーパーグリーンベルト’や‘サンダーグリーンベルト’に比べると収量は同等以上で、冬どり栽培および夏どり栽培に適した品種であると考えられる。

まとめ

‘ゆめみどり’は花粉親特異的 DNA マーカーによる選抜により育成された品種である。両親はいずれも条件的アポミクシス性を有する個体で、『ゆめみどり’も条件的なアポミクシス性を有する個体で交雑率は7.9%と推定した(大島ら, 2017)。こ

の品種は2017年に品種登録され、特徴は休眠が浅く低温伸長性を有し、多収性で葉身幅が広く品質も良好である。草姿は立性で葉鞘長が長いことから収穫等の作業性も優れている(大島ら, 2017)。令和3年の栃木県内における作付面積約40 ha、構成比率約16.7%でほぼ周年生産用で栽培されている(栃木県, 未発表)。

第6章 総合考察

本研究は、栃木県を始めとする関東地方のニラ産地の生産性向上と産地振興を図ることを目的に研究を行った。ニラ生産農家の減少や高齢化の進行にともなって作付面積や生産量が減少傾向にあり、最近では肥料や農薬など農業生産資材が高騰しニラ農家の経営が厳しくなっている。また、栃木県など関東地方はわが国の主要なニラ産地であるにもかかわらず10a当たりの収量は九州・四国地方のニラ産地に比べると半分程度で生産性が低い。このため、現状の品質を維持して、生産性をあげて収益を確保し農家経営を維持・向上させることが必須である。そこで、硝酸の植物体内における動態把握や環境負荷軽減のため、ニラ葉中硝酸イオン濃度に着目した新たな肥培管理技術の構築、ニラの生理生態反応に基づいた新たな作型開発に向けた基礎研究、現地で課題となっている葉先枯れ症の原因究明と対策および、高品質多収生産を実現するためニラ品種‘ゆめみどり’の育成を行った。

1 硝酸イオン濃度に着目した窒素施肥管理技術

第2章は、ニラの葉中硝酸イオン濃度を低減しつつ、収量性や品質を維持する窒素施肥管理法について試験を行った。ニラは葉中硝酸イオン濃度が高い場合3,000ppmまで達することがある(藤沼ら, 2007)。日本ではこの点について基準値は設けられていないが、本研究では極力低減でき、かつ収量や品質を維持することを目的とした。硝酸イオン濃度を低下させる方法としては、①硝酸イオンの還元速度を速める、②硝酸イオンの過剰吸収を抑える、③品種の選択などが考えられる((独)農研機構, 2006)。この中でニラについては、②の硝酸イオンの過剰吸収を抑えるという観点から試験を行った。

葉中硝酸イオン濃度および土壌中硝酸態窒素含量は、化学肥料の基肥および追肥の窒素量が多いほど高く、前者は窒素無施用の2.7倍、後者は同じく20.7倍にも達した。C/N比が高く窒素無機化が遅い牛ふん堆肥600kg・a⁻¹の施用により、土壌中硝酸態窒素含量は12mg・100g⁻¹乾土以下、葉中硝酸イオン濃度は2,000mg・kg⁻¹FW以下で推移し、増収となった。さらに、作付け前土壌の硝酸態窒素含量および可給態窒素を分析することで窒素減肥量を推定し、これを標準施肥量(窒素2kg・a⁻¹)から差し引き、肥効調節型肥料による追肥を行った。この結果、土壌中硝酸態窒素含量2.4mg・100g⁻¹乾土以下、葉中硝酸イオン濃度383mg・kg⁻¹FW以下に抑えられ、収量は基肥窒素施肥量や追肥法間で有意差は認められず基肥窒素施肥量を削減しても、あるいは追肥施肥法をかえても収量は変わらないことが明らかとなった。第2節で土壌中硝酸態窒素含量および葉中硝酸イオン濃度を低減できた要因として、冬どり株養成期の定植から追肥開始までの雨

よけ栽培の有無が大きく関与していると考えられる。すなわち、第1節では冬どり株養成期の土壌中硝酸態窒素含量7.7mg・100g⁻¹乾土であったが、第2節では2.14mg・100g⁻¹乾土まで低減できたことが大きいと考えられる。また、最近ではSDGsへの関心が高まってきている中で、持続的な生産をしていくために硝酸塩の地下浸透抑制など環境保全を踏まえつつ、限りある資源を有効に使うことが求められているので、有効な栽培手段になり得ると考えられる。

2 1年1作連続収穫栽培技術の確立に向けた取組み

関東地方などは十分な株養成期間と低温遭遇により休眠を打破し無加温ハウスで約2年間栽培する作型(長・村川, 2018)で、九州・四国地方は連棟ハウスによる加温栽培で株養成期間を短くして連続的に収穫する(村上・橋本, 2018)、1サイクルが1年間の作型である。このことが10a当たりの収量の違いに起因していると考えられる。そこで第3章では、第18図に示した休眠を回避して連続収穫する新たな作型(以下、1年1作連続収穫栽培)を開発するための基礎的な研究を行った。5°C以下の低温遭遇時間の違いがニラ品種の生育量に及ぼす影響について検討したところ、‘ミラクルグリーンベルト’と‘タフボーイ’が休眠中でも生育が良好で低温伸長性があり、10月から収穫する1年1作連続収穫栽培に好適な品種であると考えられる。また、第5章で述べたニラ品種‘ゆめみどり’も既存品種‘スーパーグリーンベルト’などに比べると収量、品質が優れる傾向にあったことから、低温伸長性を有し1年1作連続収穫栽培に適応することが示唆された。

ニラのPPFDと光合成速度の関係では、炭酸ガス濃度400ppm、葉温20°Cの条件下でPPFDが1,500μmol・m⁻²・s⁻¹以上になると光合成速度は光飽和点の25μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹程度に達した。一方、ニラの生育適温20~25°Cにおける光合成速度は晴天時が25~26μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹、曇天時は22~23μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹で、これを維持するためには炭酸ガスを400ppm程度に保持する必要がある。11月下旬に行った単棟ハウス内における光合成速度に及ぼすPPFDと炭酸ガス濃度との関係について測定した結果は、日中の光合成速度は15μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹が最も高く、このときの炭酸ガス濃度は300ppmで、PPFDは600μmol・m⁻²・s⁻¹であった。PPFDを高めることで光合成が促進され、生産性向上に繋がる可能性がある。一方で日中の補光について検討する必要があると考えられる。一方、第3章で行った10月以降の日長延長処理による試験では葉身重など生育量は増加したが、葉身幅や葉身色などの品質面では劣った。また、橋本・和田(2020)は16,15時間日長や暗期中断により生育量は増加したが、可販果収量は14時間日長や電照無しより少なかったと報告していることから、光環境制御については今後も継続した研究が必要と考えら

れる。

夜温と炭酸ガス施用を組合せた試験では、最低夜温 8℃を確保し、日中 400 ppm 程度の炭酸ガスを施用することで、最低夜温 5℃、炭酸ガス無施用区に比べて葉身重は約 14%、葉長や葉幅の品質は 8~9%向上することが示された。しかし、収穫 2 回目以降に出荷基準で上位等級割合(以下 AL 率; 現行葉身長 43~48cm, 葉身幅 8 mm 以上)が低下することが明らかとなった。葉身幅が細くなった要因について、安・池田(2006)は ¹³C を用いた吸収および転流に関する知見の中で、刈り取り前後の各器官での養分消耗や蓄積を量的な観点からの解析が必要と指摘しているように、当該研究の進展によつて的確な収穫時期が判断できるようになることを期待したい。

本試験で使用したウォーターカーテンは、加温暖房機のように燃油を使用せず井水を利用することから省エネ暖房として位置づけられている(小倉ら, 1982; 小倉・向井, 1988)。昨今の燃油高騰が続く中では有効な簡易暖房法であり、栃木県内のニラ栽培への導入は 2019 年で 51 戸, 16 ha 余りになる(栃木県, 未発表)。また、ウォーターカーテンを導入することによる副次的な効果として、ニラの生育に合わせた適切な温度管理が可能で、病害の発生が抑えられ、三重被覆時に行った小トンネルの朝夕開閉作業から解放されるなど大きな効果が期待できる(藤澤, 2019d)ことから、現地での普及拡大が期待される。

3 冬季と夏季に発生する葉先枯れ症の軽減対策

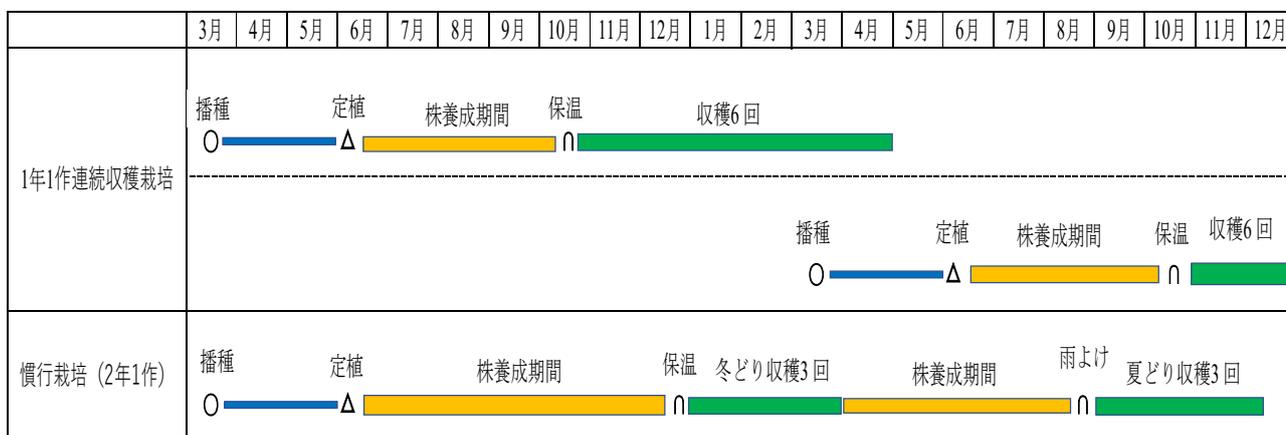
第 4 章ではニラの葉先枯れ症について原因解明とその対策について試験を行った。冬季に発生する葉先枯れ症は、主にハウス内に流入する乾いた冷気にニラの葉先が直接当ることで発生する(藤澤, 2018c)。現地では、無加温のハウスでは夜間低温となるため日中はなるべく高めに管理し、ニラの生育に必要な温度を確保している。このため、ニラは軟弱気味に生育してしまうため葉先枯れ症の発生を助長している

ものと考えられる。この対策として、第 3 章で示したようにウォーターカーテン利用することで夜温を 5℃~8℃は確保できることから、日中はハウスを閉め切り状態で高温管理をする必要がなく、ニラの生育適温の 20~25℃で管理する(青葉・岩崎, 1968; Chung, 1996; 八畝, 1973)ことができる。鳥生ら(1982)によると、光合成速度は高温の影響により低下し、高温の持続時間が長いほど光合成速度の回復は遅れるとし、高温下では蒸散作用が高まり、葉内水分は低下すると報告している。このようなことから、夏季の高温時には葉先枯れ症の発生が多くなると考えられ、この軽減のため遮光資材を利用することで葉先枯れ症の発生を抑えることができた。しかし、遮光率が高い場合や継続的に被覆した場合ニラの収量や品質が低下するので、遮熱フィルムの種類、遮光期間や時間帯など引き続き検討を要する。

位田ら(1987a,b)は夏季の葉ネギについて、葉先枯れ症の発生は品種間差があり根が深く分布し、根量が多い品種では発生が少ないとの報告をしている。本研究では品種間で根量について有意差が認められなかったことから、葉先枯れ症と根量との関係については、地上部の状態も含めた検討が必要である。なお、葉先枯れ症に関する知見で、湿度の急変によってネギの葉先枯れ症が発生するとし、発生程度には葉面ワックス量が関与している(壇・大和, 2005)や、ニラの葉先枯れ症に無機成分が関与している(森永・岡林, 2013a,b)との報告があり、今後の葉先枯れ症対策において、この観点からの研究も必要と考えられる。

4 ‘ゆめみどり’の育成の経緯と今後の取組み

第 5 章では、アポミクシス性ニラ新品種‘ゆめみどり’の花粉親特異的 DNA マーカーを利用して育成したことを述べた。栃木県におけるニラ品種の育成は、‘きぬみどり’(木村, 1995)やネギとニラの種間雑種‘なかみどり’(天谷ら, 1995)が育成され、‘ゆめみどり’(大島ら, 2017)が育成されるまで 22 年を



第18図 1年1作連続収穫栽培と慣行栽培 (2年1作)

要した。ニラの育種では、数千の実生個体の形質調査には膨大な労力と時間が必要となる。今までに、ニラは育種年限を短縮するために各種マーカー(天谷, 1996; 中澤ら, 2005; 天谷ら, 2010; 若柵ら, 2016)の開発を行ってきた。しかし、今までにイチゴのように病害抵抗性に連鎖するマーカーや農業形質にかかるマーカーの開発は行われてこなかった。ニラに関しては、山崎(2014)のニラ乾腐病における品種間比較の報告のみで、病害抵抗性品種・系統の報告はないのが現状である。今後、病害抵抗性にかかるマーカー開発のため、栃木県で保有しているニラ遺伝資源の病害抵抗性評価を行うことが必要であると考えられる。

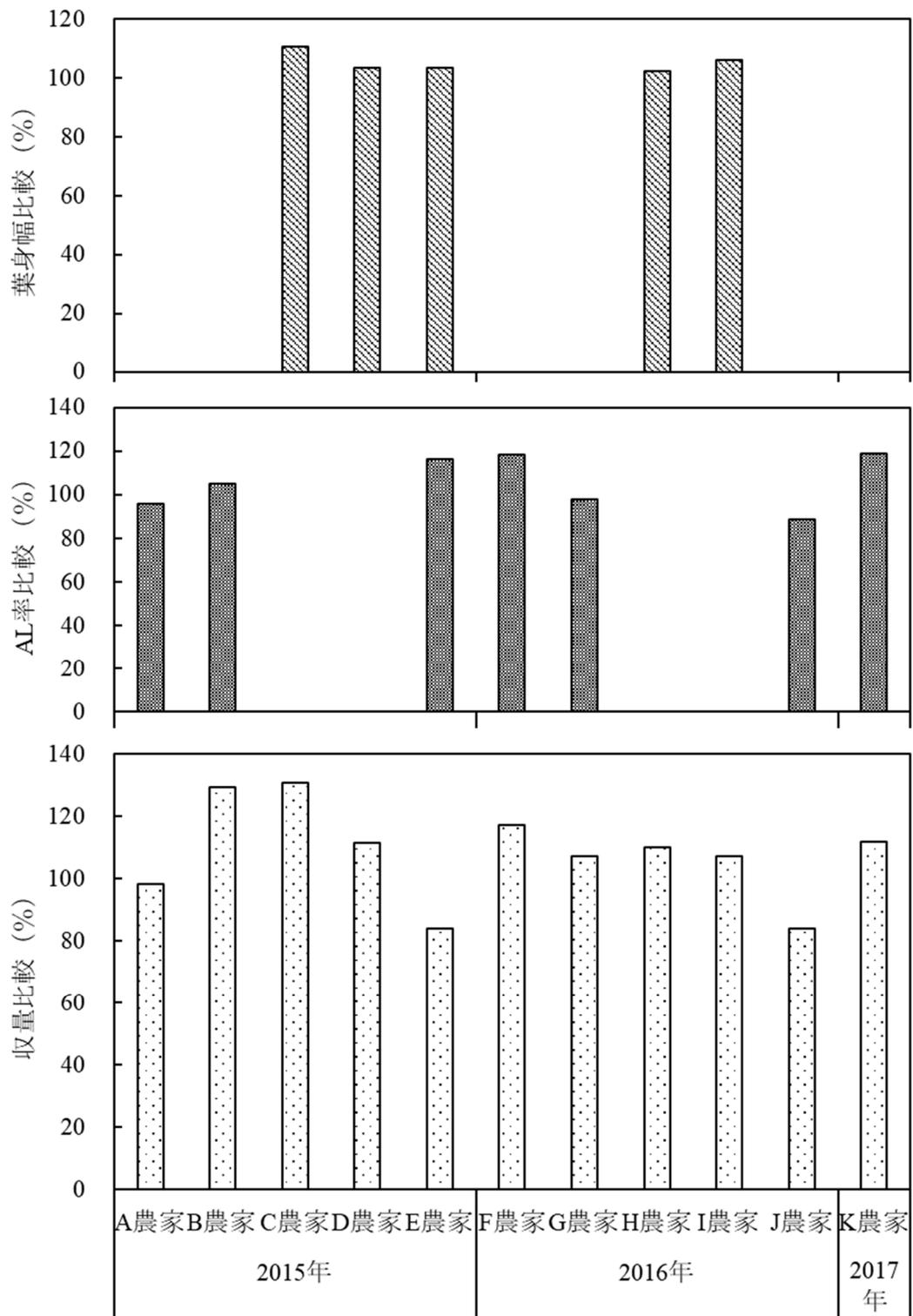
現在、栃木県農業試験場では非単為発生個体(中澤ら, 2006)と単為発生連鎖マーカー(天谷ら, 2010)を用いた育種システムをニラの通常育種に利用している。この新たなシステムで育種を行うと、得られた後代は100%交雑個体になるうえ、形質の変異幅が大きくなりバリエーションに富んだニラが出現する(齋藤ら, 2012)。さらに、単為発生連鎖マーカーを用いることで、アポミクス性の新品種候補が選抜できるだけでなく、両性生殖性で優れた特性を有する中間母本の育成も可能となる。

5 ニラ栽培の有利性とこの研究をとおして得られた知見を活かした栽培改善

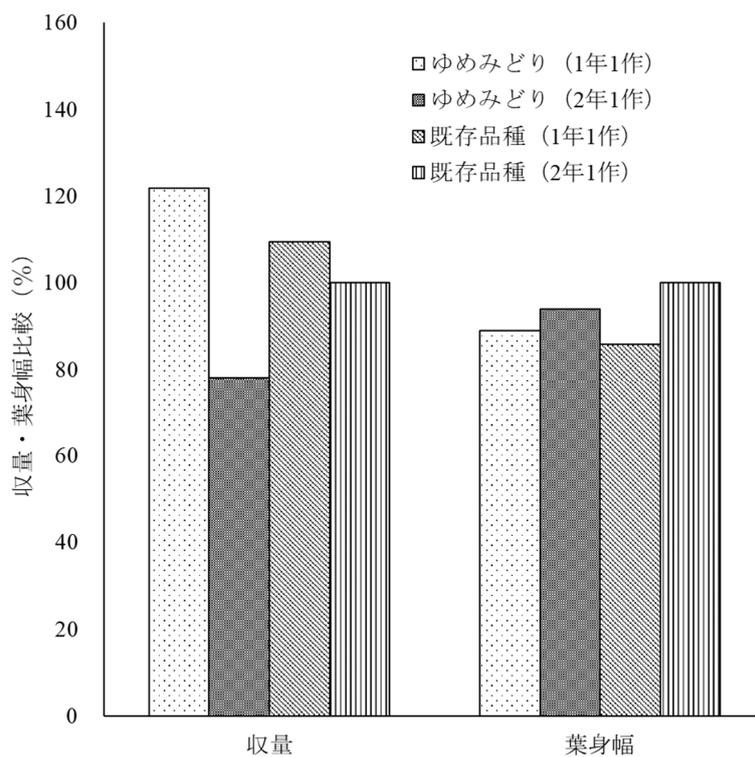
ニラ栽培を新規で15a始めるとした場合、設備投資費用と消耗品等を併せて約700万円が必要となる(藤澤, 2019e)。しかも、1年目は株養成期間となり農業所得はマイナスである。さらに、2022年8月の農業生産資材価格指数(令和2年基準)は119.5で、飼料や肥料等の高騰で前年同月比9.8%、前月比では0.3%上昇しており、ニラを取り巻く環境は一段と厳しさを増している。しかし、ニラを取り巻く環境を俯瞰してみると、以下のようなニラ生産者にとって有利な情報もある。栃木県農業経営診断指標(栃木県, 2012)によるとニラ経営耕地面積80a(冬にら, 夏にら)、農業従事者3名のニラ周年経営の場合、その経営収支は農業粗収益14,940千円、農業経営費7,499千円、農業所得7,440千円で所得率約50%となる。栃木県の主力品目のイチゴの所得率41.2%、トマト38.8%と比較しても比較的所得率が高い品目である(栃木県, 2012)。また、日農平均価格(各地区大手7卸のデータ集計)では、ニラの価格は2011年の1キロ当たり489円から、2021年には608円まで上昇している(日本農業新聞, 2022)。今後もこの傾向は継続しニラの市場相場は安定していくと推察される。この背景として主に中国から輸入されるニラのほとんどが冷凍ニラで、生鮮品は数%しかなく国内の生鮮ニラ市場には影響しないからである((独)農畜産業振興機構, 2021)。このように、農業を取り巻く環境は厳しさを増しているが、ニラの

市場単価は安定して高値で推移していること、ニラ経営では所得率が比較的高いことなどから有利な品目であると考えられる。

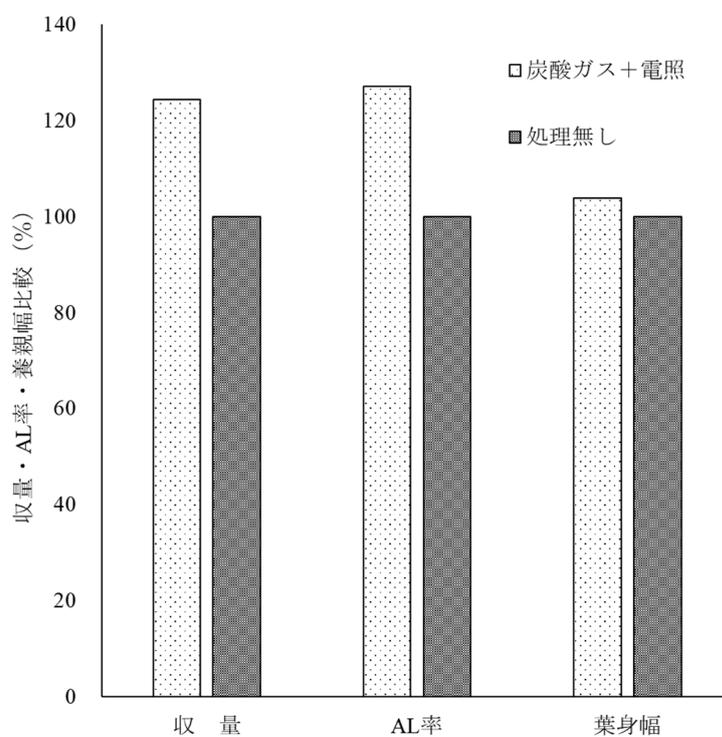
本研究で得られた研究成果を基本に栃木県内の現地で実証栽培が行われたのでその概要を報告する(栃木県, 2015-2019)。なお、実証栽培では、‘ゆめみどり’と既存品種との比較栽培、1年1作連続収穫栽培と慣行栽培の2年1作栽培との比較検討を行った。また、1年1作連続収穫栽培に炭酸ガス施用と夜温管理を組合わせた場合の増収効果について検証した。第19図のA農家からK農家まで11圃場において‘ゆめみどり’を栽培した結果、収量は8農家で既存品種と同等以上であった。AL率は7農家中6農家が同等以上、葉身幅は5農家全てで同等以上であった。第20図には1年1作連続収穫栽培と慣行の2年1作栽培を‘ゆめみどり’と既存品種を供試して栽培した結果を示した。2年1作・既存品種区を基準として、収量は1年1作・‘ゆめみどり’区が最も高く、次が1年1作・既存品種区で2年1作・‘ゆめみどり’区は最も低かった。葉身幅は2年1作・既存品種区が最も高かった。第21図はウォーターカーテンを利用して炭酸ガス施用と電照を組合わせた処理区と無処理区との比較結果について示した。収量およびAL率とも炭酸ガス施用・電照区で無処理区に比べて明らかに高かった。以上、現地における試験栽培を総括すると、‘ゆめみどり’は既存品種と同等以上の収量、品質を確保でき、1年1作連続収穫栽培と組合わせた、炭酸ガス施用と電照による環境制御技術を導入することで、高収量が得られ品質も高まると考えられる。



第19図 ‘ゆめみどり’の既存品種に対する収量, AL率および葉身幅比較
 既存品種を100として算出した
 AL率および葉身幅比較はデータが取得できた農家のみ記載した



第 20 図 1 年1作連続収穫栽培と2年1作栽培 (慣行栽培) における
収量および葉身幅の比較
既存品種(2年1作)を100として算出した(%)



第 21 図 炭酸ガス施用と電照処理が収量, AL 率および葉身幅に及ぼす影響
無処理を100として算出した(%)

要 旨

近年、ニラの主産地を中心にニラ生産農家の減少や高齢化が進行し、作付面積は微減、生産量は横ばい傾向で推移している。また、関東地方はわが国の主要なニラ産地であるが 10 a 当たりの平均収量は暖地のニラ産地に比べて低い現状にある。さらに、最近の農業生産資材価格指数は上昇し、肥料、農薬等の高騰が続いている。このように、ニラ栽培を取巻く環境は厳しい状況にある。そこで、本研究はニラ生産者の経営安定とニラ産地振興に資するため以下のような研究を実施した。

圃場の土壌中硝酸態窒素含量や葉中硝酸イオン濃度に着目した今までになかった新たな施肥管理法を確立した。また、井水による簡易暖房(ウォーターカーテン)を利用した連続栽培を構築するための基礎研究として、温度、炭酸ガス濃度および光環境を中心にニラに好適な条件を明らかにした。ニラ栽培で冬季や夏季に発生する葉先枯れ症の原因究明と対策を検討した。さらに、高品質多収生産を可能にするアポミクシス性新品種‘ゆめみどり’を開発した。

1 黒ボク土のニラ栽培における低葉中硝酸イオン濃度および高収量のための窒素施肥管理

葉中硝酸イオン濃度の低減と収量増を同時に可能にするための黒ボク土におけるニラの新たな肥培管理法として、ニラの作付け前に堆肥を 600 kg・a⁻¹ 施用し、作付け前土壌の可給態窒素含量および硝酸態窒素含量の測定値に基づいて窒素基肥量の減肥を行い、肥効調節型肥料による追肥を行う施肥体系が有効であることを明らかにした。

2 温度、炭酸ガスおよび光環境がニラの光合成と生育に及ぼす影響

ニラの休眠を回避し 10 月から 4 月ころまでの期間に連続して収穫ができる新たな作型を開発するため、ニラの温度、炭酸ガスや光環境に対する生理生態反応について調査した。休眠性は 5℃以下 1 時間から 96 時間の低温に遭遇すると、ニラの伸長が遅くなる休眠が起り、低温遭遇時間によって葉の生育量に与える影響が異なった。ニラの生育適温 20～25℃で、炭酸ガス濃度を 400 ppm 程度に保持することによって、晴天時 25～26 μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹、曇天時は 22～23 μmolCO₂・m⁻²・s⁻¹ の光合成速度を維持できた。長日処理は生育量を増やす効果はあったが、葉身幅や葉身色などの品質は自然日長が優れた。ハウス栽培で最低夜温 8℃とし、日中の炭酸ガス施用により生育量の増加が認められるとともに、葉先枯れ症の発生が著しく少なくなった。

3 冬季および夏季に発生するニラ葉先枯れ症の発生要因と対策

現地地で発生している冬季および夏季に発生する葉先枯れ症について、環境条件を考慮して、温湿度条件の急激な変化、夏季の高温条件下における遮光資材やマルチ利用による葉先枯れ症の軽減方法について検討するとともに、それらの条件下における光合成性反応について調査した。また、ポット容量とニラ品種の違いが葉先枯れ症発生率に与える影響について検討した。その結果、湿度を急激に低下させた場合、処理時間が長くなるにつれて蒸散速度が増し、蒸散量も多くなり葉先枯れ症の発生率が高くなった。また、葉先枯れ症の発生は、葉齢の進んだ外葉で先端の葉縁部に発生が集中した。葉の先端部は、気孔密度が高く過剰な蒸散により、葉先枯れ症が発生しやすいと考えられた。夏季の葉先枯れ症は、葉先の激しい白化で、気孔からの蒸散が著しいための脱水症状により発生したものと推察した。夏季のニラ栽培では遮光をすると明らかに葉先枯れ症の発生が減少したが、遮光によって光合成が低下した。なお、ポット容量や品種間で葉先枯れ症の発生率に有意差は認められなかった。

4 花粉親特異的 DNA マーカーによる選抜を介したニラ新品種‘ゆめみどり’の育成

‘杭州ニラ’×‘サンダーグリーンベルト’の交配組合せ後代と、花粉親特異的 DNA マーカーを利用した交雑個体の実生選抜によって、アポミクシス性新品種‘ゆめみどり’を育成した。本品種は、多収性で葉身幅が広く品質に優れ、草姿が立性で葉鞘が長い特徴を有する。また、休眠が浅く低温伸長性も有することから冬どりに適し、夏どり栽培でも他品種と比較して同等の収量・品質を得られることから周年生産に向く品種である。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、終始懇切丁寧なご指導とご教示を賜りました宇都宮大学農学部長 山根健治博士に、敬意を表しここに厚く御礼申し上げます。

宇都宮大学農学部教授 房相佑博士, 茨城大学農学部附属国際フィールド農学センター教授 佐藤達雄博士, 東京農工大学農学研究院 生物生産科学部門准教授 鈴木栄博士, 宇都宮大学農学部助教 池田裕樹博士には、ご多忙の中本論文の校閲を賜りました。厚くお礼申し上げます。

第2章の研究では、栃木県農業試験場土壌環境研究室部長補佐兼室長 森聖二氏, 農業環境センター元所長 亀和田國彦博士, 農業試験場研究開発部元研究統括監 鈴木聡博士に懇切丁寧なご指導ならびに有益なご意見を賜りました。第3章では、下都賀農業振興事務所経営普及部主査 佐藤隆二氏と芳賀農業振興事務所経営普及部主任 村川雄紀氏, 第4章では、芳賀農業振興事務所経営普及部主査 仁平祐子氏に貴重なご助言をいただくとともにご支援ご協力を賜りました。第5章では、芳賀農業振興事務所企画振興部部長補佐(総括)兼企画振興課長 生井潔博士, 塩谷南那須農業振興事務所参事兼所長 天谷正行博士に貴重なご助言とご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。‘ゆめみどり’の育成には芳賀農業振興事務所経営普及部 齋藤容徳氏のご尽力を賜りました。また、現地試験では鹿沼市の栃木県農業士 石川順一氏のご支援ご協力を賜りました。さらに、栃木県農業試験場いちご研究所元所長 石原良行博士にはご助言やご指導をいただきながら温まる激励を賜りました。

本研究の遂行にあたり、栃木県農業試験場いちご研究所元所長の稲葉幸雄氏, 安足農業振興事務所経営普及部部長補佐兼園芸課長 吉田剛氏は、農業試験場野菜研究室在籍中にニラ新品種育成や栽培試験の運営や支援に多大なるご尽力をいただきました。また、野菜研究室で多大な労力のかかるニラ栽培管理にご尽力をいただいた研究員の皆様, 試験圃場の運営に労を惜みずご協力いただいた齋藤芳彦氏をはじめとする技術員の皆様, パート職員の皆様に深く感謝いたします。

引用文献

- 安 東赫・池田英男. 2006. ニラにおける収穫前後の¹³Cの吸収と転流. 園学雑. 75: 350-354.
- 青葉 高・岩崎輝雄. 1968. ニラの生態的特性に関する研究. 農業および園芸. 43: 1159-1160.
- 天谷正行. 1996. エステラーゼ酵素多型を利用したニラ交雑個体の選抜. 栃木農試研報. 44: 49-54.
- 天谷正行. 1997. RAPD マーカーによるニラ品種の識別. 栃木農試研報. 46: 29-41.
- 天谷正行・中澤佳子・松本紀子・飯村一成. 2010. バルクセグレガント法によるニラ四倍体 (*Allium ramosum*, syn. *A. tuberosum* 2n=4x=32) の単為発生性連鎖マーカーの開発. 育種学研究. 12: 73-80.
- 天谷正行・大橋一夫・木村 栄・小栗尚子・小島昭夫. 1995. ネギとニラの種間雑種植物の育成. 栃木農試研報. 43: 87-94.
- Calvert, A. 1972: Effect of day and night temperatures and carbon dioxide enrichment on yield of glasshouse tomatoes. J. Hort. Sci. 47: 231-247.
- Chung, H.D. 1996. The effect of temperature and day length on growth and bolting of the Korean native Chinese chive. J. Korean. Soc. Hort. Sci. 37: 505-510 (In Korean).
- 長 修・村川雄紀. 2018. ニラ=各作型での基本技術と生理ハウス栽培(関東型). 農業技術体系野菜編 8-1. ネギ・ニンニク・ラッキョウ・ニラ・ワケギ・他ネギ類. 農文協. 東京. 基 351-362.
- 長 修. ニラの生態的特性に関する研究(第 1 報). 1972. 保温時期が品種の生育におよぼす影響. 栃木農試研報. 16: 117-124.
- 壇 和弘・大和陽一. 2005. 湿度の急変による葉ネギの葉先枯れ症の発生と葉面ワックス量. 平成 17 年度九州沖縄農業研究成果情報.
 〈<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/karc/2005/konarc05-45.html#:~:text=%E3%81%9D%E3%81%AE%E4%BB%96/>〉
- (独) 農研機構 野菜茶業研究所. 2006. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. p. 1-3.
- (独) 農畜産業振興機構. 2021. 今月の野菜 にらの需給動向. 野菜情報. 4: 28-33.
- (独) 農畜産業振興機構. 2020. 野菜情報総合把握システム. ペジ探.
 〈<https://vegetan.alic.go.jp/vegetan/sch6.do/>〉
- EU. 2011. Commission Regulation (EU) No 1258/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in foodstuffs. Official Journal of the European Union L320:15-17.
- 藤沼賢司・井部明広・田端節子・橋本秀樹・斎藤和夫・中里光男・石川ふさ子・守安貴子・嶋村保洋・菊地洋子・小川仁志・牛山博文・横山敬子・安田和男. 2007. 野菜類等の硝酸根, 亜硝酸根含有量調査. 東京健康安全研究センター研究年報. 58: 195-203.
- 藤澤秀明. 2019a. ニラの安定多収栽培. P. 48-51. 農文協. 東京.
- 藤澤秀明. 2019b. ニラの安定多収栽培. p. 23-24. 農文協. 東京.
- 藤澤秀明. 2018c. ニラ=各作型での基本技術と生理 ウォーターカーテン保温. 農業技術体系野菜編 8-1. ネギ・ニンニク・ラッキョウ・ニラ・ワケギ・他ネギ類. 追録 43 号. 農文協. 東京. 基 376 12-19.
- 藤澤秀明. 2019d. ニラの安定多収栽培. p. 188-192. 農文協. 東京.
- 藤澤秀明. 2019e. ニラの安定多収栽培. p. 20-22. 農文協. 東京.
- 橋本和泉・和田絵里子. 2020. ニラの促成栽培における長日処理が生育, 収量および品質に及ぼす影響. 高知農技セ研報. 29: 25-34.
- 東出忠桐. 2018. 施設トマトの収量増加を目的とした受光と物質生産との関係の利用. 園学研. 17: 133-146.
- 北條 亨・阿部正夫・杉本俊昭・斎藤忠史・神辺佳弘・脇坂浩. 2005. 家畜ふん尿施用による飼料畑下層への窒素動態調査. 栃木県畜産試験場研究報告. 21: 1-4.
- 伊吹竜太・岩崎泰永. 2010. ウォーターカーテンハウスにおける遮熱効果の実証試験. 日本伝熱シンポジウム講演論文集. p. 198.
- 位田晴久・浅平 端・奥田宏幸. 1987a. 夏季における葉ネギ栽培について(第 1 報) 葉先枯れ症対策としての品種の選択および灌水. 園学要旨. 昭 62 春: 270-271.
- 位田晴久・浅平 端・奥田宏幸. 1987b. 夏季における葉ネギ栽培について(第 2 報) ネギ葉先枯れの要因解析. 園学要旨. 昭 62 春: 272-273.
- 井上昭司・村上健二・熊倉裕史・荒木陽一. 2000. 環境改善によるハウレンソウ生産の安定化. 中国農試研報. 21: 13-40.
- 井澤久美・田内俊一. 1996. ハウスニラの株養成期間における効率の窒素施肥法. 高知農技セ研報. 5: 19-25.
- 石井 貴・河野 隆. 2007a. 露地ニラ栽培における肥効調節型肥料を利用した窒素減肥が収量, 施肥窒素利用率,

- 環境負荷軽減に及ぼす影響. 茨城農総七園研報. 15: 29-36.
- 石井 貴・河野 隆. 2007b. ハウスニラ栽培における減肥試験とその養分収支. 茨城農総七園研報. 15: 7-44.
- 伊藤 正. 1970. そ菜栽培における作物群落内の炭酸ガス濃度低下. 園学雑. 39: 87-94.
- 加藤 徹・福元康文. 1973. ハウスニラの葉の先枯れ現象(第1報)土壌 pH の影響. 農及園. 48: 1623-1624.
- 加藤 徹・岩森康彦. 1975. ハウスニラの葉の先枯れ現象(第2報)肥料ガスの影響. 農及園. 50: 1287-1288.
- 加藤 徹・広田耕三・井上清門・岩室満造. 1977. ハウスニラの葉の先枯れ現象(第3報)高温の影響. 農及園. 52: 1289-1290.
- 香川明夫. 2017. 七訂食品成分表. p. 67. 女子栄養大学出版部. 東京.
- 川里 宏. 2022. とちぎの野菜栽培史. p. 209-210. 随想舎. 栃木.
- 癸生川真也・中澤佳子・天谷正行・生井 潔. 2013. ポストラベル法を用いた栃木県水稻奨励品種を識別する SSR マーカーセットの開発. 栃木農試研報. 71: 55-61.
- 木村 栄. 1995. きぬみどり. 野菜園芸技術. 22: 39.
- 小林 保・大森 豊. 1987. ホウレンソウの夏期生産に関する研究(第1報)雨よけ被覆資材の効果について. 兵庫農研報. 35: 65-70.
- こうち農業ネット 高知県農業情報サイト. 2014. 炭酸ガス施用条件下におけるニラの増収技術. < <https://www.nogyo.tosa.pref.kochi.lg.jp/download/?t=L&id=7445&fid=54301/> >
- 小玉弘恵・廣澤美幸・大島正稔・本島俊明・鈴木 聡・石原良行. 2002. 土壌及び植物体中の硝酸イオン濃度の実態調査と評価. 栃木県農業試験場野菜試験成績書. p 11-14.
- Kojima, A., Y. Nagato and K. Hinata. 1991. Degree of apomixes in Chinese chive (*Allium tuberosum*) estimated by esterase isozyme analysis. Japan. J. Breed. 41: 73-83.
- Kojima, A. and Y. Nagato. 1992a. Diplosporous embryo-sac formation and the degree of diplospory in *Allium tuberosum*. Sex. Plant Reprod. 5: 72-78.
- Kojima, A. and Y. Nagato. 1992b. Pseudogamous embryogenesis and the degree of parthenogenesis in *Allium tuberosum*. Sex. Plant Reprod. 5: 79-85.
- 熊澤喜久雄. 1999. 地下水の硝酸態窒素汚染の現況. 土肥誌. 70: 207-213.
- 黒住 徹・大原正行・土井正彦・川島信彦. 1988. 遮光による昇温抑制効果を活用した夏まきホウレンソウ栽培. 奈良農試研報. 19: 31-37.
- 豆塚茂実・山本辛彦・柴戸靖志・小野剛士. 1991. ニラの保温栽培における休眠程度の品種間差異と保温開始時期. 福岡農総試研報. B-11. 21-24.
- 森永茂生・岡林美恵. 2013a. ニラの葉先枯れ症状に及ぼす無機成分の影響 第1報 水耕栽培による要素過剰症状と無機成分含量. 高知農試研報. 22: 21-32
- 森永茂生・岡林美恵. 2013b. ニラの葉先枯れ症状に及ぼす無機成分の影響 第2報 水耕栽培による要素欠乏症状と無機成分含量. 高知農試研報. 22: 33-47
- 室井栄一・長 修・平出耕一. 1984. ニラの1年株利用夏ど栽培確立に関する研究. 栃木農試研報. 30: 11-18.
- 村上次男・橋本和泉. 2018. ニラ=各作型での基本技術と生理 ハウス栽培(西日本タイプ). 農業技術大系野菜編 8-1. ネギ・ニンニク・ラッキョウ・ニラ・ワケギ・他ネギ類. 農文協. 東京. 基 363-375.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫・花田俊雄・吉岡 宏. 1979. 光の強さ・液温・CO₂濃度が施設トマトの生育・収量に及ぼす影響. 農林省野菜試. A. 6: 105-122.
- 中西文信. 2019. 夏ホウレンソウ栽培における外張り遮光資材の自動開閉システムの開発. 岐阜中山間農研研報. 14: 8-16.
- 中澤佳子・生井 潔・小島昭夫・小林俊一・田崎公久・天谷正行. 2006. 4 倍体ニラにおける単為発生性の遺伝様式. 育学研. 8: 89-98.
- 中澤佳子・生井 潔・酒井美幸・田崎公久・小林俊一・小玉弘恵・土屋久子・木村 栄・室井栄一・石原良行・大島一則・天谷正行. 2005. RAPD マーカーを用いたニラ交雑個体の選抜技術の確立. 栃木農試研報. 55: 27-32.
- 中川祥治・山本秀治・五十嵐勇紀・田村夕利子・吉田企世子. 2000. 堆肥および有機質肥料の施用がコマツナ (*Brassica campestris L.rapifera group*) の硝酸, 糖, アスコルビン酸およびβカロチン含量に及ぼす影響. 土肥誌. 71: 625-634.
- 中本 洋・黒島 学・塩澤耕二. 1998. ホウレンソウのシュウ酸, 硝酸, ビタミン C に及ぼす遮光, 気温, かん水, 堆肥施用の影響. 北海道農試集報. 75: 25-30.
- 日本土壌協会. 2001. 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法. p. 66-69. 日本土壌協会. 東京.
- 日本農業新聞. 2022.10.13. ヒットのネタ‘ニラ’. 日本農業新聞. p. 8.
- 西尾道徳. 1997. 有機栽培の基礎知識. p. 20-24. 農文協. 東京.
- 農林水産省. 2017. 野菜等の硝酸塩に関する情報.

- <http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/syosanen/index.html>
- 農林水産省 a. 2021. 令和 3 年産指定野菜(秋冬野菜等)及び指定野菜に準ずる野菜の作付面積, 収穫量及び出荷量. 併載: 令和 3 年産野菜(41 品目)の作付面積, 収穫量及び出荷量(年間計). 令和 4 年 8 月 31 日公表. 調査結果の概要.
- <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sakumotu/sakkyou_yasai/r3/shitei_yasai_akifuyu/index.html>
- 農林水産省 b. 2021. 令和 3 年産指定野菜(秋冬野菜等)及び指定野菜に準ずる野菜の作付面積, 収穫量及び出荷量. 併載: 令和 3 年産野菜(41 品目)の作付面積, 収穫量及び出荷量(年間計). 令和 4 年 12 月 20 日確報. 調査結果データ.
- <<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=20210&month=0&tclass1=000001032286&tclass2=000001032933&tclass3=000001172686>>
- 沼田光夫・中村孝志・榎本 優. 1992. ニラのハウス栽培における施肥法及び栽培法の改善に関する研究. 福島農試研報. 31: 9-20.
- 沼田光夫. 1994. ニラの休眠特性と品種間差. 東北農業研究 47. 269-270.
- 小川吉雄. 2000. 地下水の硝酸汚染と農法転換: 流出機構の解析と窒素循環の再生. p. 24-27, 172-176. 農文協, 東京.
- 小倉祐幸・川又虎好・竹永 博・中島教博. 1982. 二重屋根ハウスの井水による加温性. 農業施設. 12: 24-27.
- 小倉祐幸・向井隆司. 1988. 単棟ウォーターカーテンハウスの保温性. 農業施設 18: 58-62.
- 王子善清・高 祖明・脇内成昭・岡本三郎・河本正彦. 1984. 野菜中での硝酸塩及び亜硝酸塩の集積と亜硝酸塩の毒性. 神戸大農研報. 16: 291-296.
- 岡部昭二. 1977. 野菜および食品中の硝酸塩をめぐって. 化学と生物. 15(6): 352-359.
- 小沼 寛・沢畑健次. 1984. ニラの休眠とその品種間差異について. 茨城園試研報. 12: 1-13. 1984.
- 大島一則・青木雅子・佐藤隆二・齋藤容徳・仁平祐子・稲葉幸雄・天谷正行・松本紀子・中澤佳子・若榊睦子・生井潔. 2017. 花粉親特異的 DNA マーカーによる選抜を介したニラ新品種‘ゆめみどり’の育成. 園芸学研究. 16: 401-408.
- リロンデル, J・J-L. リロンデル. 2006. 硝酸塩は本当に危険か: 崩れた有害仮説と真実(越野正義訳). p. 65-125. 農文協, 東京.
- 齋藤容徳・大島一則. 2011. ニラ収穫時抽だいを軽減する栽培体系の確立. 栃木農試研報. 66: 11-17
- 齋藤容徳・大島一則・松本紀子・癸生川真也・中澤佳子・天谷正行. 2012. 両性生殖性系統と単為発生性連鎖マーカーを利用したニラ四倍体 F₁ 集団における休眠性および抽だい期の変動. 栃木農試研報. 68: 15-22.
- 佐藤隆二・齋藤容徳・奥野祐子・根岸直人・半田有宏. 2013. ニラの 1 年株利用による年内どり作型. 栃木農試研報. 71: 33-43.
- 島貫春香・雨宮潤子. 2014. 秋冬ニラの低温遭遇時間が生育に及ぼす影響と品種間差. 東北農業研究. 67: 113-114.
- 孫 尚穆・米山忠克. 1996. 野菜の硝酸: 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. 農業および園芸. 71: 1179-1182.
- 鈴木克己. 2005. 海外情報オランダの最先端施設園芸を見て. 施設と園芸. 128: 51-55.
- 鈴木克己. 2006. 高軒高施設を利用したトマト生産. 野菜茶業研究集報. 3: 73-77.
- 高橋 武・湯谷 譲. 1979. ニラの電照栽培早期保温による低収防止対策を中心に. 農業および園芸. 54: 663-668.
- 高橋 武・湯谷 譲・大鹿保治. 1974. ニラの栽培技術に関する研究. 保温時期について. 群馬園試研報. 3: 1-7.
- 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995. 窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66: 238-246.
- 高間由美・小林靖夫・鈴木 聡. 2008. にらの牛ふん堆肥を利用した硝酸態窒素溶脱軽減栽培. 栃木農試研究成果集. 26: 56-57.
- 手嶋康人・衛本静枝. 2012. 大分県内で栽培が広がるニラ品種「タフボーイ」の生育特性と休眠性に関する研究. 大分農林水研セ研報. 2: 15-22.
- 栃木県. 2002. 農作物施肥基準. p. 96.
- 栃木県. 2015-2019. 新技術導入経営改善実証展示ほ. <<https://www.pref.tochigi.lg.jp/g04/gizyutu/shingijutudounyutennjiho.html>>
- 栃木県. 2012. 栃木県農業経営診断指標. p. 113-120.
- 栃木県. 2017. 農作物施肥基準. p. 98-99.
- <<http://www.pref.tochigi.lg.jp/g04/work/nougyou/keiei-gijyutsu/sehikijun.html>>
- 鳥生誠二・高橋和彦・金 文秀. 1982. 果菜の光合成に及ぼす高温の影響. 愛媛農試研報. 22: 17-22.
- 辻 澄子・高坂雅子・森田幸博・柴田 正・兼田 登・若林和子・内堀(長谷)幸子・井出重明・藤原一也・鈴木 宏・

- 伊藤誉志男. 1993. 生鮮食品及び加工食品中の天然由来の硝酸根及び亜硝酸根の含有量. 食衛誌. 34: 294-304.
- 若樹睦子・田崎公久・生井 潔. 2016. ニラにおけるSSRマーカーを利用した遺伝的類縁関係の解析. 栃木農試研報. 74: 19-27.
- 渡辺和彦. 2014. 硝酸塩は人体に毒ではなく有益. 農業と科学. 661: 6-12.
- 渡辺和彦. 2017. 農業技術の基本指針, 平成 29 年改訂される・硝酸イオンが低く, 抗酸化力の高いデータ表示は優良誤認・. 農業と科学. 695: 5-10.
- 八鍬利郎・為我井貞秋. 1972. ネギ属植物の花成に関する研究(第2報)日長条件がニラの花成および休眠に及ぼす影響. 農業および園芸. 47: 369-370.
- 八鍬利郎. ニンニク・その他のネギ類=生育のステージと生理, 生態. 1973. 農業技術体系野菜編. 8-1. ネギ・ニンニクその他ネギ類. 農文協. 東京. 基 157-171.
- 山岡美恵・岡林俊宏・山崎幸重・吉永憲正. 1992. ハウスニラの収量と生育に及ぼす土壌物理性と窒素施用量について. 高知農技セ研報. 1: 41-48.
- Yamashita, K., Y. Nakazawa K. Namai, M. Amagai, H. Tsukazaki, T. Wako and A. Kojima. 2012. Modes of inheritance of two apomixis components, diplospory and parthenogenesis, in Chinese chive (*Allium ramosum*) revealed by analysis of the segregating population generated by back-crossing between amphimictic and apomictic diploids. Breed. Sci. 62: 160-169.
- 山下市二. 2003. 野菜の硝酸塩低減化技術. 園学研. 72(別2): 82-83.
- 山崎睦子. 2014. 高知県におけるニラとショウガの土壌伝染性病害の発生生態と防除に関する研究. 東京農工大大学院連合農学研究科博士(農学)学位論文.
- 安場健一郎・鈴木克己・佐々木英和. 2011. トマト長期多段栽培における多収のための統合環境制御下での温室環境と収量の推移. 野菜茶研研報. 10: 85-93.
- 安岡由紀・糸川修司・速水 悠・和田絵理子・橋本和泉. 2020. 施設ニラ栽培において冬季に発生する葉先枯れの発生要因. 高知農技セ研報. 29: 15-24.
- 安田 環. 2004. 野菜の硝酸濃度とその低減対策. 農業および園芸. 79: 647-651.
- 山本幸彦・月時和隆・満田幸恵. 1996. 葉ネギの葉先枯れ症の発生に及ぼす温度・かん水管理の影響. 福岡県農林業総合試験場園芸研究所野菜花き部 野菜試験成績概要書
(<https://farc.pref.fukuoka.jp/farc/seika/seika05/8seino09.h>)
- 米山忠克. 1982. 空気, 土, 水, 植物における硝酸, 亜硝酸, N-ニトロソ化合物. 保健の科学. 24: 725-729.
- 吉村昭信・角山正吉・山本英雄. 1996. 促成ミニトマト栽培におけるCO₂施用の効果. 奈良農試研報. 28: 7-14.

Summary

In recent years, the number of producers for Chinese chives has been declining and aging, mainly in the main production areas. In addition, although the Kanto region is a major Chinese chive-production area in Japan, the average yield per 10 a is currently lower than that of production areas in warm regions of western Japan. Furthermore, the price index of agricultural production materials has been rising recently, and the prices of fertilizers and pesticides have continued to soar. Under these circumstances, the environment surrounding Chinese chive-cultivation is becoming more severe. In this study, therefore, the following research was carried out in order to contribute to the stabilization of the management of Chinese chive-producers and the promotion of production areas. In this study, we established a novel fertilization management method focusing on the nitrate nitrogen content in the soil and the nitrate ion concentration in the leaves in the field. In addition, as a basic research to avoid dormancy and for constructing continuous cultivation using simple heating (water curtain) with well water, we focused on temperature, carbon dioxide (CO₂) concentration, and light environment, and clarified conditions suitable for Chinese chives. The causes of leaf tip blight, which occurs in winter and summer in Chinese chive-cultivation, and several countermeasures were investigated. In addition, we developed a new apomictic cultivar 'Yume Midori' that enables high-quality, high-yield production.

1. Management of nitrogen fertilizer to reduce the nitrate concentration in leaves and to increase yield in Chinese chive cultivation on Andosol

As a new fertilization control method to simultaneously reduce the nitrate ion concentration in leaves and increase the yield for Chinese chives in Andosol, 600 kg · a⁻¹ of compost was applied before planting. It was clarified that a fertilization system in which the amount of nitrogen base fertilizer is reduced based on the measured values of available nitrogen and nitrate nitrogen content, and application of top-up fertilizer with controlled-release fertilizer is effective.

2. Effects of temperature and CO₂ environment on photosynthesis and growth of Chinese chive

In order to develop a new cropping style that avoids the dormancy of Chinese chives and enables continuous harvesting from October to April, we investigated the physiological and

ecological responses of Chinese chives to temperature, CO₂ and light environment. The dormancy of Chinese chives slowed down when exposed to low temperatures below 5°C for 1 to 96 hours. By keeping the concentration of CO₂ at about 400 ppm, i.e. the optimal temperature under 20 to 25°C, photosynthesis rate was maintained at 25 to 26 μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹ in fine weather and 22 to 23 μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹ in cloudy weather. Long-day treatment was effective in increasing the amount of growth, but the quality of leaf blade with width and color was superior under the natural day length. Cultivation in greenhouses at a minimum night temperature of 8°C and application of CO₂ during the day increased the growth rate and significantly reduced the occurrence of leaf tip blight.

3. Occurrence factors and countermeasures for Chinese chive leaf tip blight that occurs in winter and summer

Leaf tip blight occurs in winter and summer, therefore, we hypothesized the leaf tip blight can be caused by sudden changes in temperature and humidity or extreme high temperature in summer. We investigated the method of mitigation and measured the photosynthetic reaction under these conditions. In addition, we investigated the effect of pot capacity and Chinese chive-cultivars on the incidence of leaf tip blight. As a result, when the humidity was rapidly lowered, the rate of transpiration increased with the treatment period, and the incidence of leaf tip blight accordingly increased. In addition, leaf tip blight was frequently observed on the edge of the tip of the outer leaf with old leaves. Leaf tip blight was thus thought to occur due to excessive transpiration from high-density stomata around the tip of the leaf. Leaf tip blight in summer was thought to be caused by dehydration and whitening with extreme transpiration from stomata on leaf tips. In the summer cultivation, the occurrence of leaf tip blight was notably reduced by shading, but shading also reduced the photosynthetic capacity. There was no significant difference in the incidence of leaf blight between pot capacity and cultivars.

4. Development of a novel cultivar, 'Yume Midori', through the usage of pollen parent-specific DNA markers in Chinese chive

A new apomictic cultivar, 'Yume Midori', was bred by hybrid combination progeny of 'Hangzhou chive' and 'Thunder Greenbelt', and seedling selection of hybrids using pollen parent-specific DNA markers. This cultivar has high yielding property, wide leaf blades, excellent quality, an upright plant shape and long leaf sheaths. It has shallow dormancy and

superior low-temperature elongation property, and it is hereby suitable for winter harvesting. Even in summer harvesting, the same yield and quality can be obtained compared to other cultivars, suggesting that the cultivar is suitable for year-round production.