

Meijo University No.58,2022
Scientific Reports of the
Faculty of Agriculture



名城大学農学部 学術報告

第58号
2022年3月

目 次

原 著

- ジュート (*Corchorus capsularis* L.) , イチビ (*Abutilon theophrasti* Medik.) およびケナフ (*Hibiscus cannabinus* L.) の生長と発育に及ぼす播種期の影響
道山弘康 1
- 量的培養液管理法を用いて養液栽培で栽培したオカノリ (*Malva verticillata* var. *crispa*) の肥料要求量
鈴木茂敏・小林愛美・杉山美帆・加藤佑弥・久野沙紀・小林真由香 23
- ジュート (*Corchorus capsularis* L.) における植物単位を基準とした繊維組織の発達経過の特徴および播種期の影響
道山弘康 31
- 裏作レンゲ栽培およびチェーン除草を実施した水稲の有機栽培
磯井俊行・石樽栞里・村野宏達・片山好春 45

資 料

- 農学部附属農場本館屋上の植物相
橋本啓史・西部めぐみ・伊藤 玄・小菅崇之 51
- 名城大学農学部 業績紹介 (2020~2021) i
- 名城大学農学部学術報告第57号 (2020) 査読者一覧 viii
- 名城大学農学部学術投稿規程 ix
- 名城大学農学部学術報告執筆要項 xi
- 名城大学農学部学術報告投稿原稿の送り状 xiii

CONTENTS

Original Articles

Effect of seeding date on the growth and development in jute (*Corchorus capsularis* L.), chinese jute (*Abutilon theophrasti* Medik.) and kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.).

Hiroyasu MICHİYAMA 1

Amount of fertilizer required for hydroponic culture of curly mallow plants (*Malva verticillata* var. *crispa*) with the quantitative management method of nutrient solution

Shigetoshi Suzuki, Manami Kobayashi, Miho Sugiyama, Yuya Kato, Saki Kuno, and Mayuka Kobayashi 23

The developmental process of fibrous tissue in jute (*Corchorus capsularis* L.) and effect of seeding date on them

Hiroyasu MICHİYAMA 31

Organic paddy cultivation with Chinese milk vetch in winter and chain-weeder

Toshiyuki Isoi, Shiori Ishigure, Hirotatsu Murano, Yoshiharu Katayama 45

Note

Flora on the roof of the main building of the University farm

Hiroshi Hashimoto, Megumi Nishibu, Gen Ito and Takayuki Kosuge 51

List of Contributions (2020~2021) viii

List of Editors in No.57,2020 x

Submission of the Manuscripts ix

Preparation of the Manuscripts xi

Invoice Form of the Manuscripts xiii

原 著

ジュート (*Corchorus capsularis* L.) , イチビ (*Abutilon theophrasti* Medik.)
およびケナフ (*Hibiscus cannabinus* L.) の生長と発育に及ぼす播種期の影響

道 山 弘 康 *

要約 ジュート, イチビおよびケナフは靱皮繊維が麻袋やロープなどに利用され, 茎の横断切片をみた時に靱皮部において繊維組織が複数の層状に発達するという特徴を持つ. 本研究では繊維の用途や繊維組織の形態形成が類似したこれらの作物について, 開花および茎葉の生長に及ぼす播種期の影響および作物間の違いを調査した. これら3作物はいずれも短日植物であり, イチビおよびケナフはジュートより花芽分化の適日長がさらに短く, 短日による開花促進効果が大きい作物であることが明らかになった. また, イチビは発芽だけでなく生長に関してもジュートより低温抵抗性が高いと示唆された. これら3作物の7月下旬播種は5月下旬播種に比べ生育初期の主茎の長さ, 直径および葉齢が大きい場合が多かったが, これは生育初期の気温が高いために, 本葉発生開始および主茎の伸長および肥大の急増加開始が早くなったことによると考えられた. しかし, いずれの作物も7月下旬播種は短日環境になるため5月下旬播種より開花が早く起こり, 主軸(主茎)の伸長および肥大の終了が開花(花芽分化)に影響し, 繊維収量に重大な影響を及ぼす最終の主軸長(主茎長)が短くなり, 茎の直径が細くなることが明らかになった. どの作物も主軸上部で節間長および葉長が上位ほど短くなるが, その転換はジュートでは主茎先端に花芽が分化した後に発達する側枝から始まるため, それらの転換の始まりが花芽分化と関係することが明らかであった. しかし, イチビおよびケナフにおけるそれらの転換点, およびケナフにおける葉の烈刻数の変化の転換点は花芽分化と明確な関係がみられないことが明らかになった. ジュートおよびケナフは同程度の生育段階で比較すれば気温が高いと葉齢増加速度が速くなるという性質を持っていたが, 生育の進行に伴って葉齢増加速度が速くなるという特性も強いために, 葉齢増加速度が気温との間に明確な正の相関を示さなかった. 日本という温帯の環境で行った本研究においてはジュートの最終茎長が最も長くなった条件下でも栽培現地に比べて著しく短かった. このことから, ジュートに関してはその原因を探索し, 生長が最も良好になる栽培条件の検討が必要と考えられた. ケナフは他の作物よりも生長が良く温帯でも繊維採種に十分な生長をすることが再確認された. また, ケナフは主茎全節数あたり花芽の着生する節数の割合が大きい作物であるという特徴も見出された. イチビは他の作物に比べて低温抵抗性があった他に, 長さのわりに本葉数が少なく, 茎の肥大がやや劣り, 節間長ならびに葉長の節間位および葉位による変異が大きいという特徴を持つことが明らかになった.

キーワード: イチビ (*Abutilon theophrasti* Medik.), 開花, ケナフ (*Hibiscus cannabinus* L.), ジュート (*Corchorus capsularis* L.), 生長, 播種期, ボウマ.

Effect of seeding date on the growth and development in jute (*Corchorus capsularis* L.), chinese jute (*Abutilon theophrasti* Medik.) and kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.).

(Hiroyasu MICHİYAMA)

Abstract Jute, Chinese jute (velvet leaf) and kenaf have similar use and similar fibrous tissue which develops in multiple layers in the phloem, when the cross section of the stem is viewed. The effect of the sowing date on flowering, growth and development in these crops and the differences of them were clarified. It was clarified that all three crops are short-day plants, and Chinese jute and kenaf are the crops that have a shorter suitable day length for flower bud differentiation than jute and have a larger promoting effect of short days on flower bud differentiation. In addition, Chinese jute was considered to have higher low-temperature-resistance than jute not only in germination but also in growth. Since the air temperature in the early stage of growth is high in late July sowing than in late May sowing, the emergence of the first leaf and the start of rapid elongation and rapid increase of the main stem diameter occurred earlier in late July sowing. As a result, in the early growth stage, the length, diameter and leaf age of the main stem were larger in late July sowing than late May sowing. However, since the flower bud differentiation occurs earlier in late July sowing than late May sowing because of short day length, the end of the elongation and thickening of the main stem occurs earlier in late July sowing. As a result, the final main axis length (main stem length) and the final stem diameter, which has a significant effect on fiber yield and quality, became shorter and smaller in late July sowing. The internodes and leaves on the upper part of the main axis became shorter as their positions became higher in all three crops. In jute, as the turning point where it began to become shorter was the

start of growth of lateral branches which developed after flower bud differentiation. But in Chinese jute and kenaf, it was not clearly related to the flower bud differentiation. In the change of the number of leaf split in kenaf, the turning point was not clearly related to the flower bud differentiation, too. Jute and kenaf have the property that the P.I. increase rate increases when the temperature is high when compared at the same growth stage. As the rate of P.I. increase, however, increases as the growth progresses, the rate of P.I. increase did not show a clear positive correlation with air temperature. The growth of jute in this study, conducted in the temperate environment of Japan, was significantly shorter than that at the cultivation site. So it was considered necessary to study suitable cultivating conditions. Kenaf was reconfirmed to grow better than the other crops and to achieve sufficient growth for fiber production even in temperate zones. Kenaf was also characterized as a crop in which the ratio of the number of nodes with flower buds to the total node number on the main stem was large. Chinese jute had the characteristics of having a small number of leaves for its length, slightly poor stem-diameter, and large variations in internode length and leaf length depending on the positions on a stem, in addition to cold tolerance, compared with the other two crops.

Key words: Chinese jute (*Abutilon theophrasti* Medik.), flowering, growth and development, jute (*Corchorus capsularis* L.), kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), seeding date, velvet leaf.

緒言

ジュート（丸実種 *Corchorus capsularis* L. および長実種 *C. olitorius* L.）はシナノキ科（*Tilliaceae*）に属する1年生植物である。主としてインド西ベンガル州とバングラデシュにまたがるベンガル地方で栽培され、茎の韌皮部から繊維が採取されて、麻袋、麻ひも、ロープ、カーベットの裏地、植木の根の包装、崖などの崩壊防止用土壌安定剤、法面緑化用ネットなど、さまざまな用途に利用されている（西川 1960, 道山 2020）。イチビ（ボウマ, *Abutilon theophrasti* Medik. = *A. avicennae* Gaertn.）に関してはアオイ科（*Malvaceae*）に属する1年生植物であり、現在作物としての生産は無いが、過去にジュートの代替作物として中国の満州地方で栽培されていた（西川 1960）。ケナフ（*Hibiscus cannabinus* L.）についてもアオイ科に属する1年生植物であり、ジュート代替作物としてインド、中国、タイを中心として世界各地で栽培されており、近年では森林保護のための木材代替製紙原料としても利用されている。ジュートはワタに次いで世界生産が多く、繊維作物の中で重要な作物である（FAO 2020）。そのため、ジュートの生産の効率化、特に収量を上げることは重要である。また、ジュートの栽培に不適な地域での繊維生産も考慮すると、その類似作物であるイチビやケナフについても収量を上げるのが重要である。

これまでに著しい収量増加を達成したイネにおいて収量増加の研究の歴史を振り返ると、片山氏による葉齢の

測定法の考案（永井 1940）、分蘖発生の規則性の発見（片山 1951）、穂の分化発育過程の調査（松島 1977）など、生長経過の基本的パターンを明らかにした研究が収量増加の基礎として大きく貢献している。一方、ジュートにおける研究をみると、栽培条件が収量に及ぼす影響の研究がほとんどであり、生長に関する研究は少ない。いくつかの研究は 1960～80 年代に見られ、気温および日長の影響（Bose 1974; 1976, Johansen *et al.* 1985, Rahman 1988）、遮光の影響（Chi and Hsu 1970）、乾燥および湛水の影響（Basak and Chaudhuri 1967, Chaudhuri and Basak 1969）、栽植密度および施肥と繊維細胞長の関係（Khan *et al.* 1968）、根の発達（Goswami and Saha 1969）、草丈や茎の太さと収量の相関（Gupta and Das 1977）などの研究があった。しかし、扱っている生長形質は開花または茎長および茎の太さなどの特定の時期の調査だけに基づいたものであり、生長の経過をとまなう調査した研究は無かった。イチビおよびケナフにおいても同様であった。すなわち、これらの作物においては、ある地域で栽培する必要性が将来発生した時に、速やかに栽培試験に入るために最も基礎となる生長および生活環の知識が不十分な状態である。そこで、著者は研究の第一歩としてジュート、イチビおよびケナフの繊維収量に影響を及ぼすと考えられる開花と茎葉の生長経過について明らかにしようと考え、本研究においては特に播種期の違いの影響に着目した。

韌皮繊維作物の韌皮における繊維組織の発達のしかたには大きく分けて2種類あり、茎の横断切片を見るとアマ、ラミー、サンヘンブ（クロタラリア）などのように繊維細胞の集合した1層だけの繊維束が表皮の内側に形成層および篩部を取り囲むように発達する作物と、ジュート、イチビ、ケナフのような複数の層に発達する作物がある（西川 1960, 道山 2020）。すなわち、ここでとりあげた3作物は単に同様の用途を持つというだけでなく、繊維組織の形態が類似しているということから、茎葉の生長の特性の作物

* 元農学部 作物学研究室

(〒948-0134 新潟県十日町市上新井 11-1)

Former Professor, Laboratory of Crop Science, Faculty of Agriculture, Meijo University

E-mail: michy753@me.com

2021年11月09日受付 2022年01月14日受理

間比較は繊維生産上意味のあるものと考えた。また、本研究はこれら3作物それぞれの特定の一系統だけを扱い、現在栽培の無い日本の環境下で行ったが、その詳細な調査の結果は栽培現地におけるこれらの作物の栽培や研究にとって品種や系統が異なっても一つの目安になり、重要なものであると考えた。

材料および方法

ジュートおよびイチビについては1989年に、ケナフについては1996年に、愛知県名古屋市内の名城大学農学部構内の網室でポット試験を、愛知県春日井市の名城大学農学部附属農場の実験圃場で圃場試験を行った。ジュートには丸実種と長実種があるが、本研究では名城大学農学部作物学研究室で毎年栽培採種してきた丸実種のジュート系統で、花芽分化まで側芽が分化しないタイプの系統(Zhou 1984)を用いた。イチビおよびケナフについても作物学研究室で毎年栽培採種してきた系統を用いたが、ケナフは北方系の系統である。

なお、本研究のすべての実験において、主茎葉位、節位および節間位は、それぞれ子葉、子葉節および胚軸を第0葉、第0節および第0節間とし、主茎の上位に向かって番号を付した。また、主茎の本葉数、本葉節数および節間数には子葉、子葉節および胚軸を含めなかった。

1. ジュートおよびイチビのポット試験

1/5000 aワグナーポットに2.2 kgの園芸用培土を充填して、1ポットあたり3.3 gの硫酸、4.6 gの粒状過リン酸石灰および1.2 gの塩化カリを元肥として土壤に混合した。ジュートおよびイチビともに5月26日および7月31日に各播種期10ポットに種子を5~6粒ずつ4カ所に播種した。出芽後間引きして1ポット1個体とし、適宜灌水を行って栽培した。5月26日播種区は6月26日に、7月31日播種区では8月25日に硫酸を1ポットあたり3.3 g追肥した。

ジュートの5月26日播種区は6月3日から10月12日まで、7月31日播種区は8月10日から10月12日まで、3~4日に一度、主茎長、1次側枝長、主茎および側枝のすべての葉長、節間長および節間直径を測定した。また、出蕾期以降は毎日開花を調査し、個体中で最初に開花する主茎花房の開花始期および主茎節数を記録した。なお、栽培期間中に台風などの強風によって植物体が損傷したため、測定個体数は5月26日播種区が5個体、7月31日播種区が7個体になった。イチビについては5月26日播種区が6月3日から8月22日まで、7月31日播種区が8月10日から9月22日まで、3~4日に一度、主茎長、すべての葉長、節間長および節間直径を測定した。また、出蕾期以降毎日観察を行い、主茎各葉腋の花の開花期を記録した。本研究ではジュートおよびイチビの主茎葉齢の表示法としてPlastochron Index (P.I.) (Erickson and Michelini 1957)を採用した。P.I.は基準長を10 mmとして計算した。

2. ジュートおよびイチビの圃場試験

ジュートおよびイチビともに、6月6日、6月20日、7月4日、7月18日、8月1日および8月15日の6回の播種期を設定し、実験圃場に畦幅50 cm、長さ1 mの畦を各播種期に2本ずつ作った。高度化成肥料(N, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ14%, 16%, 14%含有)を1畦あたり60 g施して、種子を条播した。出芽後株間が5 cm~10 cmになるように間引きした。

ジュートの開花に関しては達観調査で、2条に植えた実験個体の約8割の個体が開花したと判定した日を開花始期とした。そして、生育終了時に主茎長、主茎節数、一次側枝の本数、主茎最上位節側枝の節数を測定した。ただし、8月15日播種では、多くの個体が秋の低温によって開花に至らずに生長終了してしまったため測定を行わなかった。

イチビにおいてもジュートと同様に開花始期については達観で調査した。ほぼ生育が終了した後、主茎長、初花節位(開花最低節位)および主茎節数を測定した。イチビの場合は8月15日播種でも開花始期までは生長したため、開花始期、初花節位および主茎長については測定したが、植物体の観察から生育途中で低温により生育終了したと思われるため、主茎節数は測定しなかった。

3. ケナフのポット試験

1/2000 aワグナーポットに園芸用培土を10.4 kg充填して、1ポットあたり30 gの高度化成肥料(N, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ14%含有)を土壤に混合して元肥とした。5月28日および7月25日に各播種期10ポットに数粒ずつ播種した。出芽後間引きを行って1ポット1個体とし、適宜灌水を行って栽培した。

5月28日播種区は1996年6月8日から8月22日まで、7月25日播種区は8月2日から9月22日まで約5日に一度、主茎長、すべての葉長および節間長を測定し、節間直径については第0節間(胚軸)、第1節間、それより上位の節間は5節間おきに測定した。また、主茎各葉腋の花の開花期を調査した。ケナフにおいても葉齢の表示法としてP.I.を採用した。しかし、ケナフにおいては茎頂付近で幼葉の判別が難しく、判別できた最上位葉が10 mmを超えている時があったため、基準長を20 mmとした。

4. ケナフの圃場試験

1996年5月28日、6月11日、6月25日、7月9日および7月25日の5回の播種期を設定し、畦幅60 cm、長さ3 mの畦を各播種期に1本ずつ作った。1畦あたり116 gの高度化成肥料(N, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ14%含有)を施して(10 aあたり各要素それぞれ9 kg)、株間10 cmの間隔で播種し、出芽後に間引きして1株1本植とした。各播種期15個体を調査個体として、開花始期および初花節位を測定した。また、ほぼ生育の終了した9月下旬に各播種

期 10 個体について主茎長および主茎節数を測定した。

結果

1. 実験期間中の日長時間および日平均気温（最高最低平均気温）

本実験における最も早期の播種はポット試験の1989年5月26日および1996年5月28日であり、これらの播種期の日長時間は約14時間20分であった。その後6月21日の夏至付近に14時間32分まで長くなり、夏至以降は短縮して再び約14時間20分になったのは7月10日頃であった（図1上）。ここまでの約40日間は日長時間の変化が小さく、その差が約12分しかなかった。その後は日長時間の短縮が急になり、7月31日頃には7月10日より約20分短縮したが、まだ約14時間の長日条件であった。この7月下旬はイチビの1989年8月15日播種を除いて生育を完結できた最も遅い播種期であった（1989年7月31日および8月1日播種、1996年7月25日播種）。さらにはその後は、日長時間が急速に短縮し、9月23日の秋分の日には12時間、すべての実験を終了した10月20日頃には日長時間が11時間になった。

すなわち、本実験における最も早期の5月下旬播種では播種から約2ヶ月間14時間以上の長日条件にさらされ、その後は日長時間が比較的短縮するという日長条件で生育が進行した。一方、3作物が生育を完結できた最も遅い7月下旬播種では日長時間が約14時間から生育の進行とともに短縮して、12時間以下になっていくという日長条件で生育が進行した。圃場試験ではこれら2つの播種期間に3または4種の播種期を設定したが、播種期が遅い調査区ほど生育初期の14時間以上の長日条件にさらされる期間が短くなり、日長時間が短縮する環境で生育する期間が長くなった。イチビの1989年8月15日播種では日長13時間30分くらいから日長時間が短縮し、開花始期の10月15日には11時間10分くらいになった。

一方気温についてみると、本実験で最も早期播種の1989年5月26日および1996年5月28日播種の播種期においては日平均気温が約20℃であり、1989年は7月21日にかけて、1996年は7月13日にかけての40～50日間は気温が徐々に上昇した（図1下）。その後、1989年は7月21日から9月1日にかけて、1996年は7月13日から8月24日にかけての43日間日平均気温27℃以上の高温の日が続いた。しかし、その後は気温が徐々に低下し、9月23日の秋分の日のころには20℃～23℃に、10月に入ると20℃以下に低下し、10月20日頃には約15℃になった。

すなわち、本実験における最も早期の5月下旬播種では、日平均気温が約20℃という比較的低温条件から40～50日間くらいかけて約27℃まで上昇する温度条件であった。その後の約40日間は27℃～30℃の1年間のうちで最も高温の条件になり、さらにその後の生育終了期には気温

がやや低くなるという温度条件であった。一方、3作物が生育を完結できた最も遅い7月下旬播種では、播種期から約30日間は気温の高い日が続き、その後生育の進行とともに気温が低下するという温度条件であった。上記2つの播種期間に設定された3または4種の播種期では、播種期が遅い調査区ほど生育初期の比較的低温の期間が短くなり、そして約40日間の高温条件を経過した後の気温低下期に遭遇する期間が長くなった。イチビの1989年8月15日播種では播種後約10日は高温条件であったが、生育期間のほとんどが気温の低下期にあたり、開花前には20℃以下になってしまった。

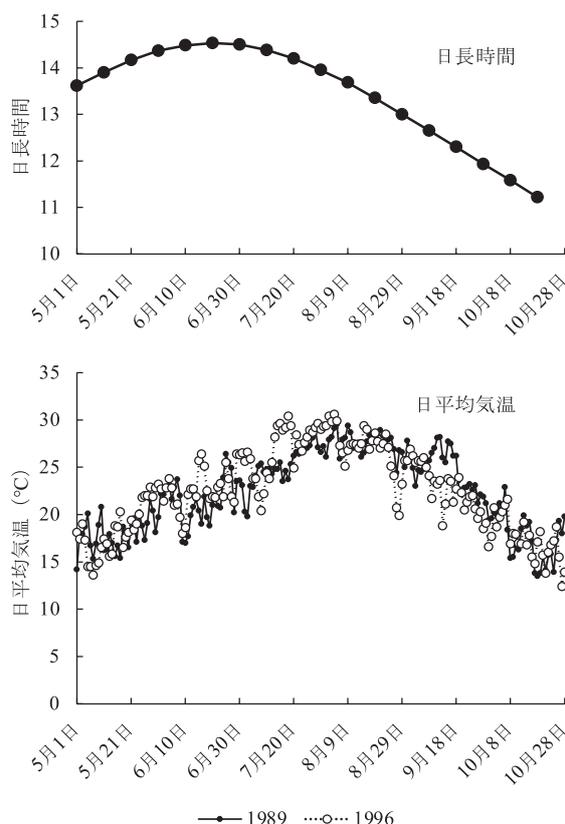


図1. 実験期間中の日長時間と気温。

2. 開花

1) ジュート

ポット試験におけるジュートの開花始期は、5月26日播種で播種後66.6日の7月31日であった（表1）。晩播の7月31日播種では播種後49.3日の9月18日であり、播種後日数で見ると5月26日播種より開花始期が早まり、播種～開花日数が74%に短縮した。ジュートは主茎先端に花房が発生して主茎の生長が終わることが観察され（図2）、主茎本葉節数は5月26日播種で27.2節であったが、7月31日播種では5月26日播種の83%の22.6節に減少した。

表1. ジュートの開花およびその関連形質に及ぼす播種期の影響.

播種日	開花始期 (播種後 日数)	主茎長 (cm)	主茎 本葉節数	一次 側枝数	最上位節 側枝の 節数	
ポット栽培						
5月26日	7月31日	66.6	130.3	27.2	2.4	14.4
7月31日	9月18日	49.3	91.3	22.6	3.1	8.3
	***	***	***	***	n.s.	***
圃場栽培						
6月6日	8月8日	63	137.2 a	27.7 a	3.0 ab	13.1 ab
6月20日	8月16日	57	145.3 a	25.7 a	3.1 a	12.0 b
7月4日	8月19日	46	115.3 b	21.8 b	3.0 ab	11.4 bc
7月18日	8月30日	43	101.5 c	21.4 b	3.0 ab	14.6 a
8月1日	9月17日	47	119.8 b	22.5 b	2.6 b	9.3 c
8月15日	—	—	—	—	—	—

ポット栽培の数値の下に示した *** は両播種期の間に t 検定による 0.1% レベルでの有意差があることを示し, n.s. は有意差が無いことを示す. 圃場栽培では, 同じアルファベットのついた数値間には Tukey 法による 5% レベルでの有意差が無いことを示す. なお, 圃場栽培での開花始期は遠観調査のため統計処理できなかった. 8月15日も播種したが, 実験期間中に開花しなかった. なお, 主茎本葉節数に子葉節は含まない.



図2. ジュートの主茎先端の花房の出現, 側枝の発生および発達の状況.

図中の矢印は主茎先端の花房直下の3つの節から発生した側枝をさし, 番号は主茎最上位節から数えた側枝発生節位を示す.

圃場栽培においては, 最も早期播種の6月6日播種はそれより早期播種であったポット栽培の5月26日播種より播種~開花日数は短かったが, 主茎本葉節数はほぼ同程度であった. 6月6日播種から7月4日播種までは播種期の遅延とともに播種~開花日数が短縮し, 主茎本葉節数は減少した(表1). 6月6日播種に対して7月4日播種の播種~開花日数は67%であり, 主茎本葉節数は77%であった(図3). 7月4日播種から8月1日播種にかけては播種~開花日数および主茎本葉節数ともに変化が小さく有意差が無かったが, 7月18日播種にかけて播種~開花日数が短縮し, 主茎本葉節数が減少し, その後の8月1日播種にかけては播種~開花日数および主茎本葉節数ともに7月4日播種とほぼ同程度に増加する傾向であった.

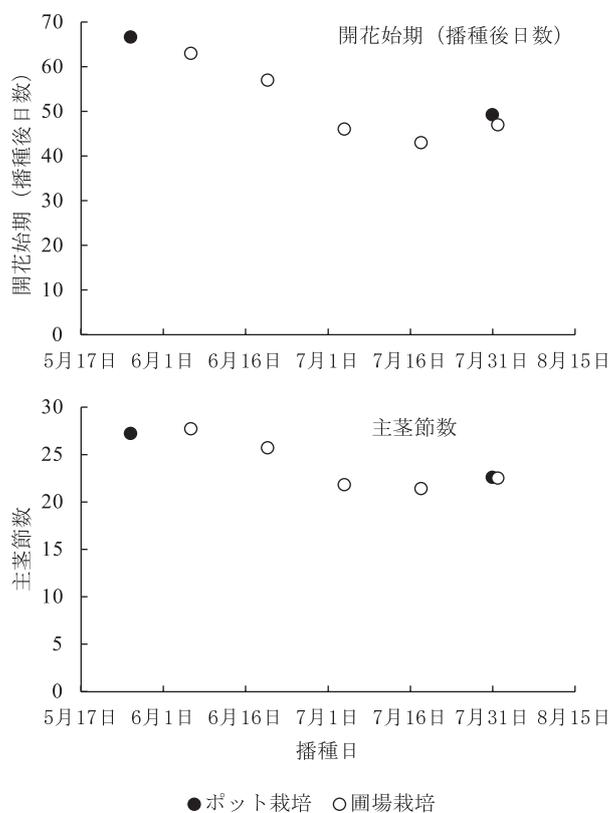


図3. ジュートの開花始期および主茎節数に及ぼす播種期の影響.

主茎節数には子葉節は含まない.

2) イチビ

ポット栽培の5月26日播種におけるイチビの開花始期はジュートよりわずかに遅く, 播種後70.5日の8月4日であった(表2). 開花は主茎下位の葉腋の花から上位節葉腋の花に向けて順に起こり, その最初に開花する初花節(開花最低節位)は第15.9節であった. 一方, 晩播の7月31日播種では開花始期が播種後42.0日の9月11日であり, 播種~開花日数が5月26日播種の60%に短縮した. ジュー

トの7月31日播種と比べても早くなった。また、初花節は5月26日播種の47%の第7.5節に著しく低下した。

圃場栽培においては、最も早期の6月6日播種の開花始期が播種後63日の8月8日であり、初花節は17.4節であった(表2)。この圃場栽培6月6日播種はポット栽培の5月26日播種より播種期が約10日遅く播種～開花日数は短縮する傾向であったが、初花節位はわずかに上昇する傾向であった。6月6日播種から8月1日播種までジュートとは異なり播種期が遅れるほど播種～開花日数が短縮し、初花節位は低下する傾向であった(図4)。8月1日播種の開花始期は播種後38日の9月8日であり、初花節位は第9.3節であった。これは6月6日播種のそれぞれ60%および53%であり、短縮および低下の割合はジュートより大きかった。イチビは、ジュートでは開花が起こらなかったような8月15日播種でも栽培期間中に開花が起こった。このとき、初花節は8月1日播種よりもさらに低下して第8.5節になったが、播種～開花日数は播種の最も早かった6月6日播種と同じくらいにまで延長して、播種後61日の10月15日になった。

表2. イチビの開花およびその関連形質に及ぼす播種期の影響。

播種日	開花始期	開花始期 (播種後 日数)	初花節	主茎長 (cm)	主茎 本葉節数
ポット栽培					
5月26日	8月4日	70.5	15.9	224.7	24.5
7月31日	9月11日	42.0	7.5	45.9	12.2
	***	***	***	***	***
圃場栽培					
6月6日	8月8日	63	17.4 a	227.7 a	27.3 a
6月20日	8月16日	57	15.0 b	184.7 b	24.5 b
7月4日	8月21日	48	12.2 c	172.8 bc	21.6 c
7月18日	8月28日	41	10.5 d	155.5 cd	19.7 c
8月1日	9月8日	38	9.3 de	147.1 d	21.1 c
8月15日	10月15日	61	8.5 e	86.4 e	—

表中の記号に関しては表1を参照。なお、初花節は子葉節を第0節として主茎の上位に向かって番号を付した時、花芽が発生した最低節位とした。また、主茎本葉節数に子葉節は含まない。

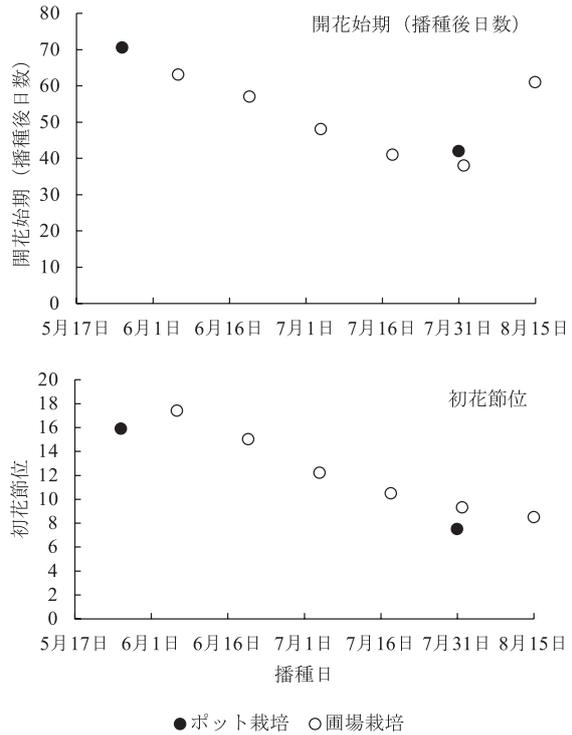


図4. イチビの開花始期および初花節位に及ぼす播種期の影響。

初花節位は主茎上で最初に着花した節位であり、主茎に着花した節のうちの最低節位になる。子葉節を第0節として茎の上位に向かって番号を付した時の節位で示した。

3) ケナフ

ケナフのポット栽培の5月28日播種における開花始期は上記の2作物の5月下旬播種よりさらに遅く、播種後74.5日の8月10日であった(表3)。ケナフの開花はイチビと同様に主茎初花節の葉腋の花から上位に向けて順に起こったが、初花節は第33.3節でイチビの5月下旬播種より著しく高かった。一方、晩播の7月25日播種では開花始

表3. ケナフの開花およびその関連形質に及ぼす播種期の影響。

播種日	開花始期	開花始期 (播種後 日数)	初花節	主茎長 (cm)	主茎 本葉節数
ポット栽培					
5月28日	8月10日	74.5	33.3	306.0	75.7
7月25日	9月13日	50.7	14.2	230.2	56.6
	***	***	***	***	***
圃場栽培					
5月28日	8月11日 a	75.9 a	26.9 a	257.2 a	77.4 a
6月11日	8月14日 ab	64.2 b	23.4 b	238.6 ab	70.0 ab
6月25日	8月17日 b	53.1 c	18.3 c	224.9 bc	63.2 bc
7月9日	8月27日 c	49.3 cd	15.3 d	217.9 c	48.5 d
7月25日	9月10日 d	47.8 d	13.1 d	215.4 c	51.3 cd

表中の記号および測定項目の説明に関しては表2を参照。

期が播種後 50.7 日の 9 月 13 日であった。7 月 25 日播種の播種～開花日数は 5 月 28 日播種の 68% に短縮し、短縮の割合はイチビより小さくジュートと同程度であった。しかし、初花節は第 14.2 節で 5 月 26 日播種の 43% に著しく低下した。ケナフの 7 月 25 日播種の初花節はイチビの 7 月下旬播種より高かったが、5 月 26 日播種に対する低下の割合はイチビより著しかった。

圃場栽培においては、5 月 28 日播種の開花始期が播種後 75.9 日の 8 月 11 日であり、初花節は 26.9 節であった(表 3)。ポット栽培の 5 月 28 日播種と比べると、播種～開花日数はほぼ同程度であったが、初花節位は低い傾向であった。5 月 28 日播種から 7 月 25 日播種まで播種期が遅れるほど播種～開花日数が短縮し、初花節位は低下する傾向であり、イチビと同様でジュートとは異なる傾向であった(図 5)。7 月 25 日播種の開花始期は播種後 47.8 日の 9 月 10 日であり、初花節位は第 13.1 節であった。これらは 5 月 28 日播種のそれぞれ 63% および 49% であり、ジュートより短縮および低下の割合が大きく、イチビと比較すると播種～開花日数の短縮割合はやや小さく、初花節の低下割合はやや大きい傾向であった。

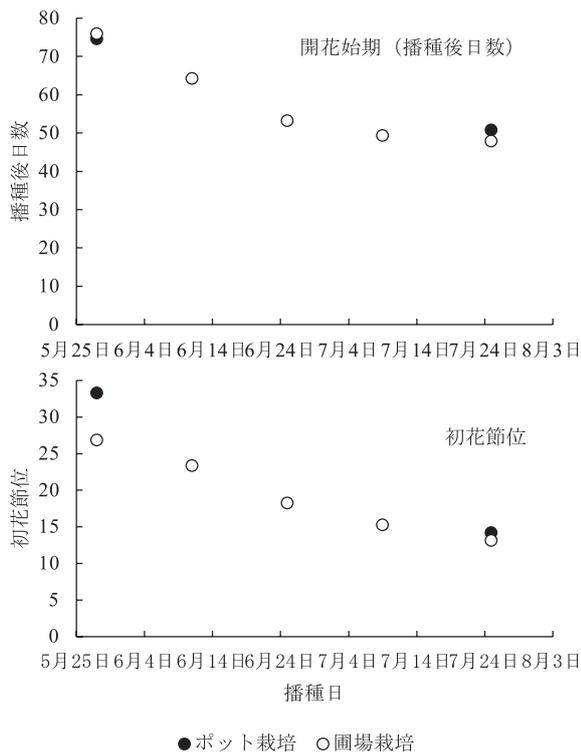


図 5. ケナフの開花始期および初花節位に及ぼす播種期の影響。初花節位については図 4 を参照。

3. 主茎および側枝の伸長

1) ジュート

ポット試験においてジュート主茎長の伸長経過を見ると、5 月 26 日播種および 7 月 31 日播種のどちらにおいても S 字状の生長曲線を描き、開花後まもなく主茎の伸長が

終了した(図 6)。詳細に見ると、5 月 26 日播種では播種後 19 日(6 月 14 日)以降わずかに伸長が速くなり、播種後 40 日(7 月 5 日)以降伸長が急に速くなった。開花始期の約 2 日後にあたる播種後 68 日(8 月 2 日)に主茎の伸長がほぼ停止した。一方、7 月 31 日播種では播種後 14 日(8 月 14 日)以降わずかに伸長が速くなり、播種後 30 日(8 月 30 日)以降伸長が急に速くなった。そして、開花始期の約 4 日後にあたる播種後 53 日(9 月 22 日)に主茎の伸長が停止した。両播種期の間で伸長が最も速い時の伸長曲線の傾き(伸長速度)を比較しても明確な違いはみられなかった。しかし、同じ播種後日数で比較した場合、7 月 31 日播種のほうが 5 月 26 日播種より S 字曲線の立ち上がりの方が早かった。そして、7 月 31 日播種は 5 月 26 日播種より開花が早く起こり、どちらの播種期でも伸長終了が開花 2～4 日後に起こったために主茎の伸長停止が早く起こった。それらの結果として、7 月 31 日播種のほうが 5 月 26 日播種より生育初期は主茎長が長かったが、最終長は短くなった。

ポット試験の主茎最終長は 5 月 26 日播種で 130.3 cm、主茎本葉節数は 27.2 節であった(表 1)。7 月 31 日播種ではそれより短い 91.3 cm であり、5 月 26 日播種の 70% であった。主茎本葉節数は 22.6 節に減少し、5 月 26 日播種の 83% であった。圃場試験では、ポット試験の 5 月 26 日播種より播種期の遅かった 6 月 6 日播種の主茎最終長が 137.2 cm、主茎本葉節数は 27.7 節であり、ポット試験の 5 月 26 日播種より主茎長はわずかに長い傾向であったが、主茎本葉節数はほぼ同程度であった。さらに 6 月 20 日播種の主茎最終長は 145.3 cm であり 6 月 6 日播種より長い傾向であったが、主茎本葉節数はやや少ない傾向になった。その後は、7 月 18 日播種まで播種期が遅れるほど主茎最終長が短く、主茎本葉節数は減少する傾向であった。さらに晩播の 8 月 1 日播種になると、7 月 18 日播種より主茎最終長はやや長く、有意差は無いが主茎本葉節数も多い傾向になり、両者とも 7 月 4 日播種とほぼ同程度になった。

ジュートは主茎先端に花房が発生すると主茎上位数枚の葉腋の側芽がほぼ同時に生長を開始し、側枝になることが観察された(図 2)。本実験で調査した個体は多くの場合主茎最上位の 3 節から側枝がほぼ同時に発達して伸長した(図 6)。5 月 26 日播種では開花後 11 日の播種後 77 日(8 月 11 日)以降伸長が緩やかになり、開花 22 日後の播種後 88 日(8 月 22 日)に伸長が停止した。7 月 31 日播種では開花後 8 日の播種後 57 日(9 月 26 日)に伸長が緩やかになり、開花 16 日後の播種後 65 日(10 月 4 日)に伸長が停止し、どちらも 5 月 26 日播種より早く起こった。最終側枝長は 5 月 26 日播種では最上位節側枝が最も長く、下位節側枝ほど短い傾向であり、最上位の第 1 節側枝は 55.1 cm であった。一方、7 月 31 日播種ではどの節位の側枝も 5 月 26 日播種より短く、かつ側枝発生節位による差異が小さかったが、第 2 節側枝が最も長い傾向であった。側枝最終長は最上位の第 1 節側枝は 22.4 cm であり、最も長かつ

た第2節側枝は25.8 cmであり、側枝最終長も主茎長と同様7月31日播種が5月26日播種より短かった。

一次側枝の本数はポット試験の5月26日播種で2.4本、7月31日播種では3.1本であったが、両者の間に有意差は見られなかった(表1)。圃場試験でも8月1日播種が2.6本でわずかに少ない傾向であったが、他はいずれの播種期でも約3本であった。最上位節側枝の節数はポット試験の5月26日播種で14.4節、7月31日播種ではそれより少なく8.3節であった。圃場試験では7月18日播種が14.6節で例外的に多かったが、8月6日播種では13.1節、8月1日播種で9.3節であり、播種期が遅れるほど少なくなる傾向が見られた。

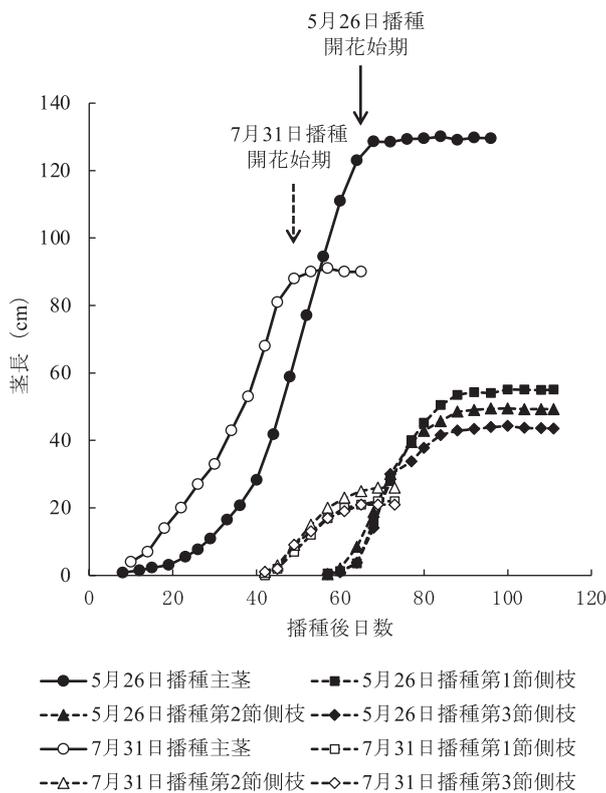


図6. ジュートの主茎および側枝の伸長経過に及ぼす播種期の影響。

側枝発生節位は主茎最上位節から数えた側枝発生節位を示す。

2) イチビ

イチビのポット試験における主茎の伸長経過を見ると、5月26日播種ではジュートと同様に播種後19日(6月14日)以降わずかに伸長が速くなり、播種後40日(7月5日)以降に著しく伸長が速くなった(図7)。開花始期の約6日後にあたる播種後76日(8月10日)以降は伸長が緩やかになり、開花後約14日の播種後84日(8月18日)に主茎の伸長がほぼ停止した。播種後日数で見るとイチビ主茎の伸長鈍化はジュートの側枝とほぼ同じであり、伸長停止はわずかに早かったが、開花後日数で見るとどちらも

ジュートの側枝より早かった。一方、7月31日播種では、播種後38~45日(播種後45日は開花後3日)(9月7日~14日)の伸長がその前後よりわずかに速い傾向があったが、5月26日播種と比べて生育期間を通して伸長が緩やかであった。そのため、開花の始まった播種後42日までは5月26日播種とほぼ同程度の主茎長で推移したが、開花が始まった後の播種後45日以降は5月26日播種はまだ開花せずに主茎の伸長が著しくなつたために7月31日播種の主茎長は5月26日播種より短くなった。そして、開花後11日にあたる播種後53日(9月22日)に伸長が停止した。すなわち、播種後日数でみた場合ジュートのように7月31日播種の主茎長が5月26日播種より長い時期はみられなかった。また、イチビはジュートのように主茎先端に着花して主茎の生長が終了するのではなく、主茎初花節の葉腋に花芽分化して開花が起こるが、その後も主茎が主軸として伸長を続け、新しい葉とその葉腋の花芽が分化して上位節に向かって順に開花した。

主茎最終長はポット試験の5月26日播種で224.7 cmであり、同じ播種期のジュートの主茎長に比べて著しく長かった(表2)。主茎本葉節数は5月26日播種においては初花節から上方にさらに8.7節が発達して24.5節であったが、同じ播種期のジュートの主茎本葉節数よりわずかに少なかった。7月31日播種の主茎最終長は45.9 cmで5月26日播種の20%しかなく、主茎本葉節数は12.2節で5月26日播種の50%しかなかった。同じ7月31日播種のジュートと比べて主茎長は著しく短く、主茎本葉節数は著しく少なかった。また、主茎本葉節数は初花節から上方に4.7節であり、これも5月26日播種より少なかった。

圃場栽培においては、6月6日播種の主茎最終長が227.7 cmで、主茎本葉節数は初花節より約10節多い27.3節であった(表2)。ポット試験の5月26日播種と比べると、播種期はやや遅いにもかかわらず主茎最終長は同程度であり、主茎本葉節数は多かった。イチビの場合は播種期が遅れるほど主茎最終長は短くなり、主茎本葉節数は8月1日播種を除いて少なくなった。6月6日~7月18日播種の主茎本葉節数は初花節より9~10節多く、この初花節の上方の節数はこの期間中は変化が無く、ポット試験の5月26日播種と同様であった。主茎本葉節数は、7月4日から8月1日までの播種期の間では有意差が見られず、ジュートの主茎本葉節数における播種期の影響と類似した傾向であった。8月1日播種の主茎最終長は、6月6日播種の65%の147.1 cmであり、主茎本葉節数は初花節より約12節上方の21.1節で6月6日播種の77%であった。ポット試験で晩播の7月31日播種は著しく生育が悪かったが、ほぼ同時期に播種した圃場試験の8月1日播種はポット試験より主茎最終長が著しく長く、主茎本葉節数は著しく多かった。また、イチビでは8月15日播種も開花期まで生長をすることができ、主茎最終長は8月1日播種よりさらに短くなり6月6日播種の38%で86.4 cmしかなかった。

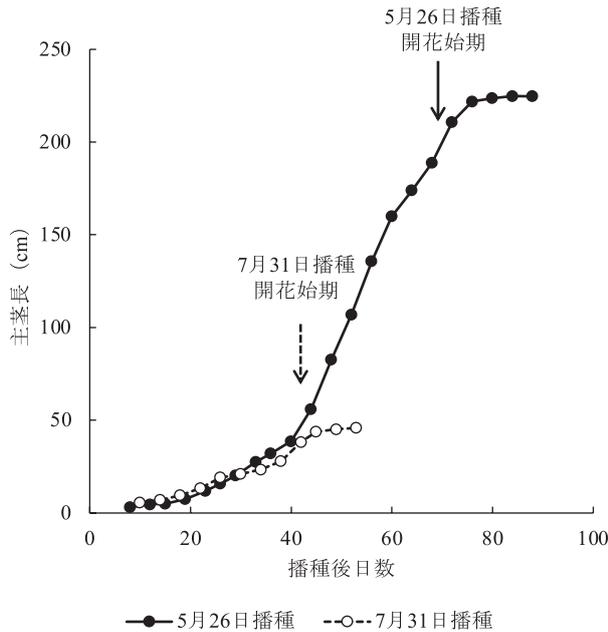


図7. イチビの主茎の伸長経過に及ぼす播種期の影響.

3) ケナフ

ケナフのポット試験の5月28日播種においては、播種後31日(6月28日)以降主茎の伸長が著しく速くなった(図8)。開花始期の約3日後にあたる播種後77日(8月13日)以降伸長が緩やかになり、開花始期の約33日後にあたる播種後107日(9月12日)に主茎の伸長がほぼ終了した。一方、7月25日播種では播種後24日(8月18日)以降主茎の伸長が速くなった。開花始期の9日後にあたる播種後59日(9月22日)以降主茎の伸長が緩やかになり、開

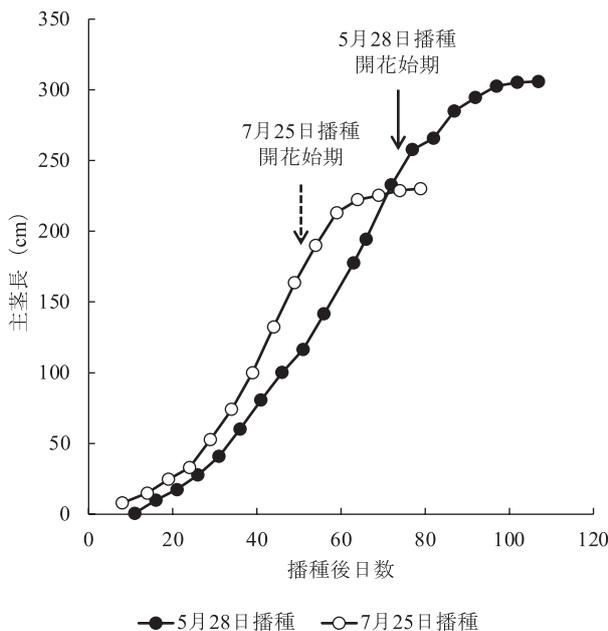


図8. ケナフの主茎の伸長経過に及ぼす播種期の影響.

花始期の約29日後にあたる播種後79日(10月12日)に主茎の伸長がほぼ終了した。播種後日数で両播種期の伸長経過を比較すると、ジュートと同様に7月25日播種のほうが5月28日播種よりS字曲線の立ち上がりが早く、主茎長が長かった。7月25日播種ではS字曲線の立ち上がり後の播種後24~59日の伸長速度が5月28日播種よりやや速い傾向がみられた。しかし、ジュートおよびイチビと同様に開花始期および主茎の伸長終了は7月25日播種のほうが5月28日播種より早く起こり、主茎最終長は短かくなった。また、作物間の比較では、ケナフはジュートおよびイチビと比べて急伸長開始時期がやや早い傾向であり、開花後日数でみた場合の伸長停止がやや遅い傾向であった。

ケナフの主茎最終長はポット試験の5月28日播種で306.0 cmであり、主茎本葉節数は初花節の42.4節上位にあたる75.7節であった(表3)。主茎長はほぼ同時期の5月下旬播種のジュートの2.3倍、イチビの1.4倍であり、主茎本葉節数はジュートの2.8倍、イチビの2.3倍もあった。一方、7月25日播種の主茎最終長は5月28日播種の75%の230.2 cm、主茎本葉節数も5月28日播種の75%の56.6節であり、5月28日播種と同様に初花節との差が42.4節であった。作物間で比較すると、7月25日播種は主茎長および主茎本葉数ともにほぼ同時期の7月下旬播種のジュートの約2.5倍、イチビの約5倍もあった。

圃場栽培においてはポット栽培と同じ5月28日播種を設定したが、主茎最終長は257.2 cmでポット試験より短く、主茎本葉節数は77.4節でポット試験よりわずかに多い傾向であった。主茎最終長は播種期が遅れるほど短くなる傾向であり、最も遅い7月25日播種では5月28日播種の84%である215.4 cmであった。主茎本葉節数についてみると、7月9日播種までは播種期が遅れるほど少なくなり、7月9日播種では48.5節であった。さらに播種の遅い7月25日播種になると有意差は無いがわずかに多い傾向になって5月28日播種の66%の51.3節であった。初花節と主茎本葉節数の差は、5月28日播種で50.5節であり、7月9日播種では33.2節で5月28日播種より小さくなり、7月25日播種になると38.2節でやや差が大きくなり、一定の傾向はみられなかった。これら初花節の上方に発達する主茎本葉節数はイチビより著しく多く、ジュートの主茎花房の上方に着生する側枝の節数と比べても著しく多かった。

4. 最終節間長

1) ジュート

節間位別にジュートの主茎と側枝の各節間の最終長をみると、5月26日播種では胚軸が3.3 cmであり、第1~10節間は節間位による変動が大きく、1.9 cmしかない節間もあったが他は2.5 cm~4.9 cmであった(図9)。それらより上位の第11~21節間は5.2 cm~6.8 cmでやや長くなり、節間位による変動が小さくなった。さらにその上位の第22~27節間は3.8 cm~4.3 cmでわずかに短い傾向で

第1～10節間に近かった。主茎の全節間をみると節間位による節間長の変異は2.5 cm～6.8 cmの範囲であった。側枝の節間は第1節間が9.9 cmと主茎の節間に比べて著しく長くなるが、第2～4節間は主茎の第11～21節間と同程度の5.6 cm～6.8 cmになり、それより上位節間は上位ほど短くなった。

7月31日播種では、胚軸（第0節間）が5月26日播種よりわずかに長く、4.4 cmであった（図9）。第1～11節間の長さは5月26日播種と同様に節間位による変動が大きい上に2.0 cmという短い節間もあったが、他は2.6 cm～4.5 cmであった。それらより上位節間の第12～22節間は3.8 cm～5.3 cmで第1～11節間よりやや長い傾向であり、節間位による変動が小さくなったことは5月26日播種と同様であったが、長さは5月26日播種より短い傾向であった。また、5月26日播種のように主茎先端付近の数節がやや短くなるようなことはなかった。側枝の節間は第1節間が6.4 cmと主茎の節間に比べて著しく長くなるが、第2～3節間は主茎第12～22節間と同程度の3.9 cmになり、それより上位節間は上位ほど短くなり、節間位による変化の傾向は5月26日播種と同様であった。しかし、側枝の各節間長も主茎第12～22節間と同様に、同一節間位で比べると5月26日播種より短かった。

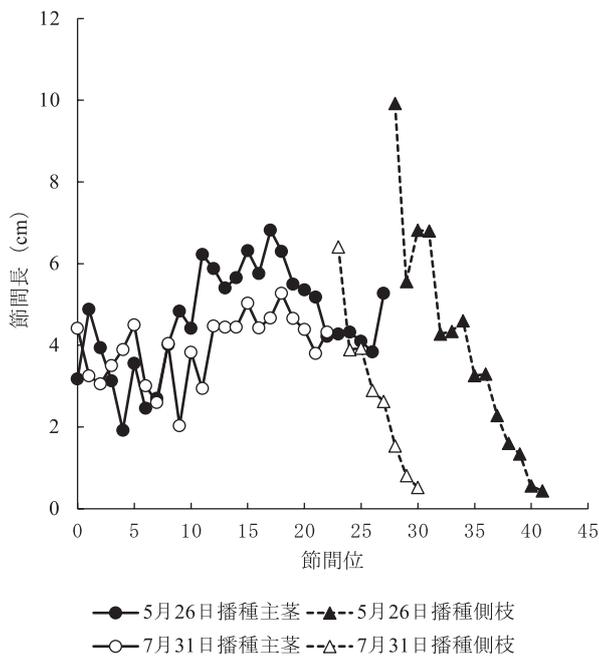


図9. ジュート主茎および側枝の各節間の最終長に及ぼす播種期の影響。

節間位については胚軸を第0節間として主茎の上位に向かって番号を付した。側枝の節間は主茎最上位節間の上位に続けた。

2) イチビ

イチビにおいては、5月26日播種の胚軸長が5.2 cmであり、ジュートより長い傾向であった（図10）。第1およ

び第2節間は4.1 cm～4.5 cmで、胚軸より短い傾向であったが、第3～6節間は7.5 cm～10.6 cmで、著しく長くなった。第7～11節間はさらに長くなり、15.9 cm以上になった。なかでも初花節の第15.9節より5～6節下の第10および11節間は約25 cmもあった。それ以上の節間は上位節間ほど短くなり、第12節間は16.6 cmに、第13節間は10.3 cmで第14節間は10 cm以下に短くなった。これら上位ほど節間長が短くなる範囲に初花節の第15.9節があった。

7月31日播種では胚軸が4.9 cmで、5月26日播種よりわずかに短い傾向であった（図10）。第1および第2節間は5月26日播種と同様に胚軸より短くなって1.9 cmおよび2.6 cmであり、第3および第4節間はわずかに長くなり、5.6 cmおよび5.0 cmであった。最長節間の第3節間は初花節の第7.5節より約5節下位であった。しかし、第5～第9節間は再度短くなり3.1 cm～4.3 cmであった。初花節の約3節上位の第10節間は5.5 cmに再び長くなったが、それ以上の節間は上位ほど短くなった。すなわち、7月31日播種は胚軸を除き、すべての節間が5月26日播種より著しく短く、5月26日播種の第11および第12節間のように飛び抜けて長くなる節間がみられなかった。

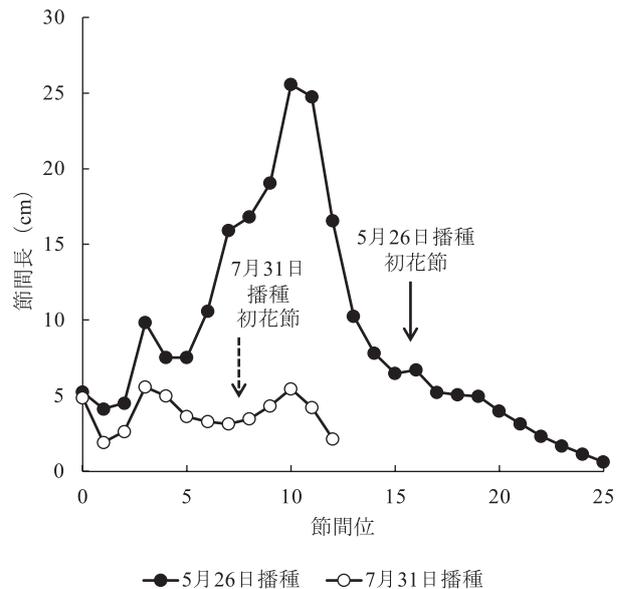


図10. イチビ主茎の各節間の最終長に及ぼす播種期の影響。節間位については図9を参照。

3) ケナフ

5月28日播種のケナフの胚軸長は11.8 cmであり、ジュートおよびイチビより著しく長い傾向であった（図11）。本葉の節間は胚軸より短かく、第1から第38節間までは4.6 cm～8.0 cmで変動した。第38節間は初花節の33.3節より5節上位にあたった。第39節間以上は多少の例外があるものの上位節間ほど短くなった。7月25日播種では胚軸が10.6 cmで、5月28日播種よりわずかに短い傾向で

あった。本葉の節間は5月28日播種と同様に胚軸より短かく、第1節間から第32節間までは、第3～第5節間が4.3 cm以下で他より短いものの、4.5 cm～8.5 cmで変動した。第32節間は初花節の14.2節より18節も上位にあたった。第33節間以上は多少の例外があるものの上位節間ほど短くなった。ケナフの場合イチビのような飛び抜けて長くなる節間はみられなかった。

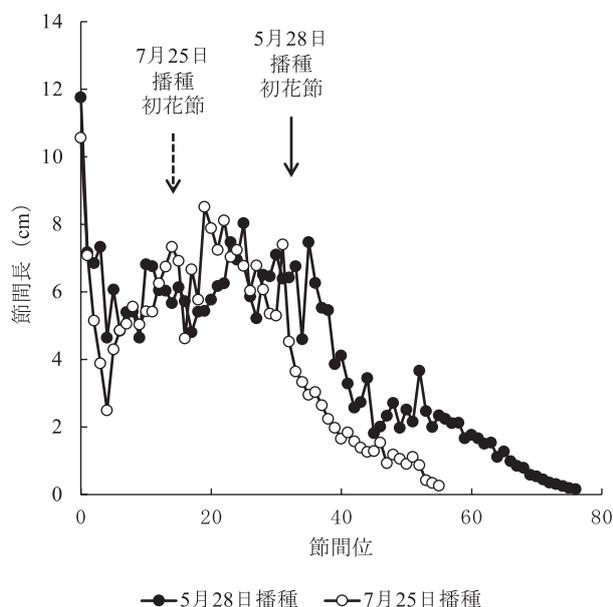


図 11. ケナフ主茎の各節間の最終長に及ぼす播種期の影響。節間位については図 9 を参照。

5. 節間の太さの増加と最終節間直径

1) ジュート

ジュート第1節間の直径の増加経過を図 12 に示した。5月26日播種では、主茎の急伸長開始(播種後40日)よりわずかに早い播種後36日(7月1日)以降肥大が速くなり、側枝の伸長が緩やかになり始めたのとほぼ同時に開花後11日にあたる播種後76日(8月10日)以降肥大が著しく緩やかになった。一方、7月31日播種では主茎の急伸長が開始した播種後30日(8月30日)以降肥大も速くなり、開花後10日にあたる播種後49日(9月18日)以降肥大が緩やかになった。この7月31日播種の肥大速度低下期は側枝の伸長速度が低下し始めた播種後57日より8日早かった。どちらの播種期でも肥大が著しく緩やかになった後も最終測定日まで肥大がわずかに続く傾向であった。同じ播種後日数で比較すると生育初期は7月31日播種のほうが5月26日播種より太いが、7月31日播種のほうが肥大が早く緩やかになるため生育後期は節間の直径が細くなった。最終の直径は5月26日播種で13.3 mm、7月31日播種ではその72%にあたる9.6 mmであった。

節間の最終直径を節間位別にみると、どちらの播種期でも主茎より側枝のほうが細く、主茎においても側枝におい

ても上位節間ほど細くなった(図 13)。また、下位節間から数えた同じ節間位で比較すると、いずれの節間においても7月31日播種が5月26日播種より細かった。

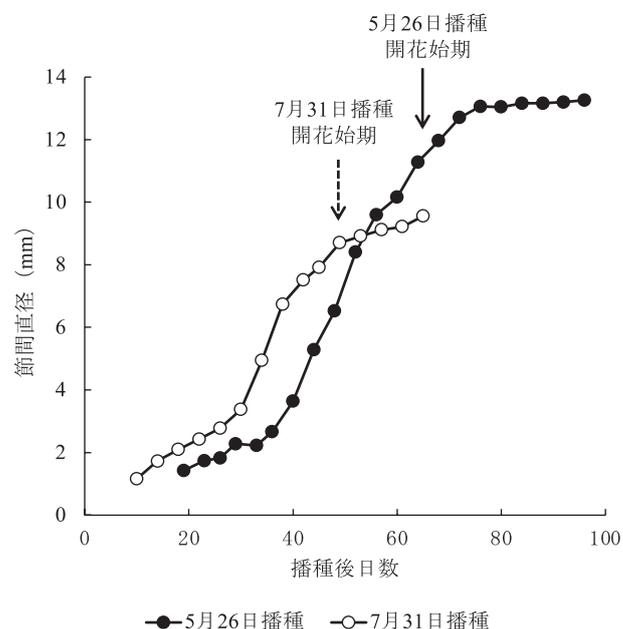


図 12. ジュートの主茎第1節間直径の増加経過に及ぼす播種期の影響。

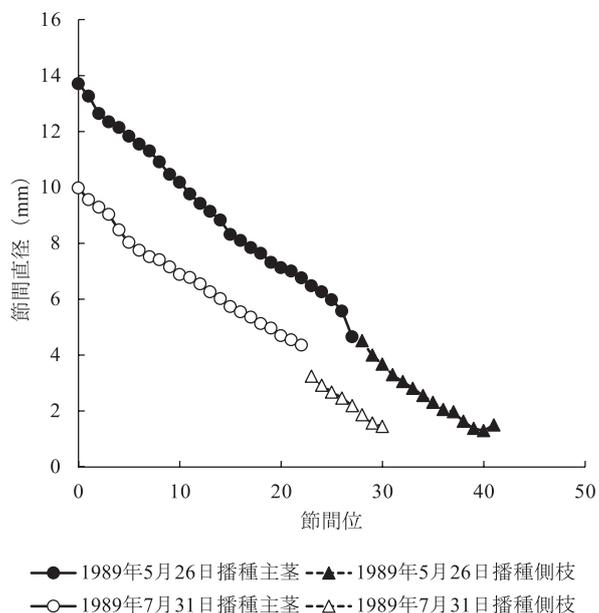


図 13. ジュートの主茎および側枝の節間位別節間直径に及ぼす播種期の影響。

節間位については図 9 を参照。

2) イチビ

イチビの5月26日播種における第1節間の直径は、主茎の急伸長開始（播種後40日）よりわずかに早い播種後36日（7月1日）以降肥大が速くなり、開花始期の2週間も前にあたる播種後56日目（7月21日）以降肥大が著しく緩やかになった（図14）。一方、7月31日播種では播種後30～38日（8月30日～9月7日）にわずかに肥大速度が速い時期がみられたが、節間の肥大が生育全般にわたって緩慢であった。その結果、5月26日播種における節間の急肥大前は7月31日播種のほうが5月26日播種よりわずかに細く、その後は著しく細くなった。茎の肥大が緩やかになるのは7月31日播種においては播種後42日の開花始期であった。第1節間の最終直径は5月26日播種で11.1 mm、7月31日播種ではその33%にあたる3.7 mmで、7月31日播種が5月26日播種より著しく細かった。また、5月26日播種における第1節間の最終直径はジュートよりわずかに細かった。

主茎節間位別の最終直径をみると（図15）、どちらの播種期でも上位節間ほど細くなったが、5月26日播種では第7節間まで、7月31日播種では第6節間までの節間位上昇にともなう直径の減少はわずかであり、それ以上の節間では節間位の上昇にともなう減少の割合が大きくなった。いずれの節間においても7月31日播種が5月26日播種より著しく細かった。

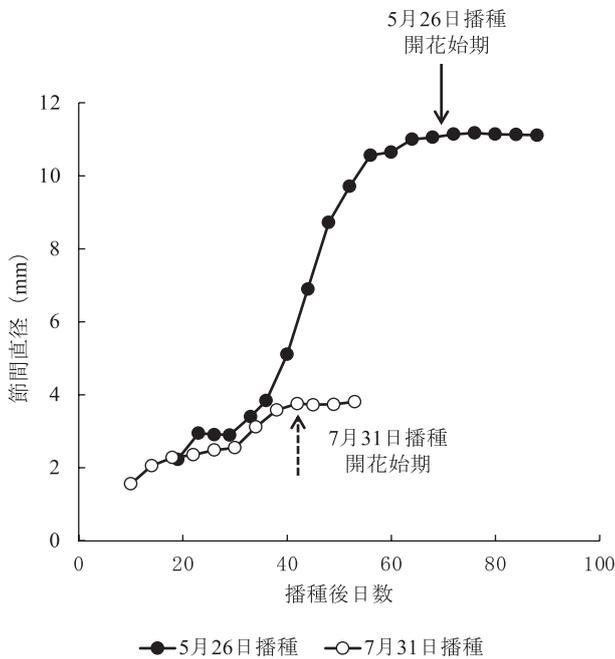


図14. イチビの主茎第1節間直径の肥大経過に及ぼす播種期の影響。

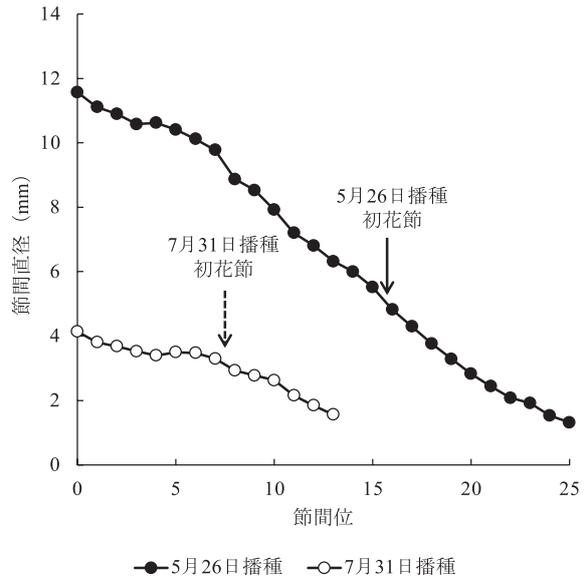


図15. イチビの主茎節間位別節間直径に及ぼす播種期の影響。節間位については図9を参照。

3) ケナフ

ケナフの5月28日播種における第1節間の直径は、測定を開始した播種後21日にはすでにジュートおよびイチビより肥大速度が大きい傾向であった（図16）。播種後31日（6月28日）以降肥大速度がさらに大きくなり、播種後56日（7月23日）以降肥大速度がやや低下するものの肥大が停止する気配はなく、開花後8日にあたる播種後

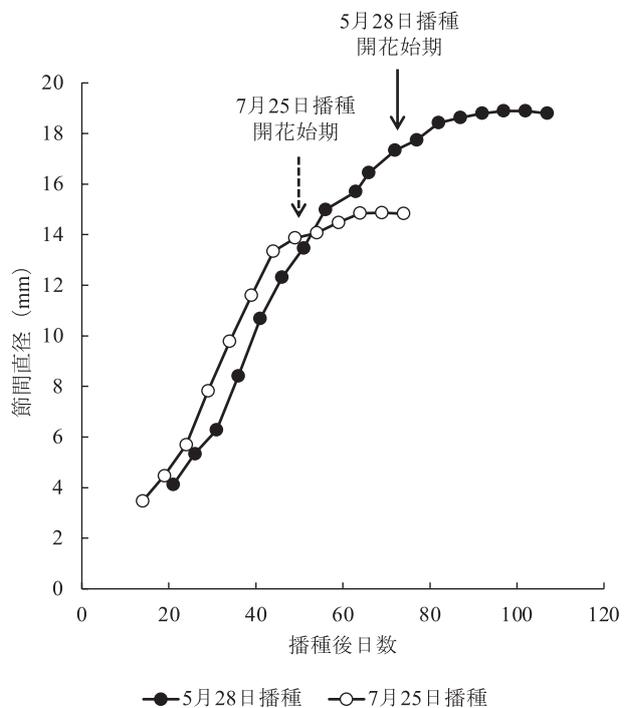


図16. ケナフの主茎第1節間直径の肥大経過に及ぼす播種期の影響。

82日(8月18日)以降になって肥大がわずかになり, 開花後23日の播種後97日に肥大が停止した. 7月25日播種においても測定開始した播種後14日にはジュートおよびイチビより肥大速度が大きい傾向であり, 播種後24日以降に肥大速度がさらに大きくなった. この急肥大開始は5月28日播種より早く起こったことから, 同じ播種後日数でみると播種後49日までの生育初期は7月25日播種の第1節間直径が5月28日播種より太かった. 7月25日播種では, 開花前6日にあたる播種後44日(9月7日)以降肥大が緩やかになって, 開花後14日にあたる播種後64日に肥大が停止したために, 開花後4日の播種後54日以降は5月28日播種より第1節間が細くなった. 第1節間の最終直径は5月26日播種で18.8 mm, 7月31日播種ではその81%にあたる15.2 mmであり, 3作物の中では最も太かった.

ケナフの主茎節間位別の最終直径においても, どちらの播種期でも上位節間ほど細くなり, いずれの節間においても7月28日播種が5月31日播種より細かった(図17). しかし, 節間位上昇にともなう直径の減少の傾向は, 下位節間より上位節間で緩やかになり, 下位節間のほうが緩やかであったイチビとは異なっていた.

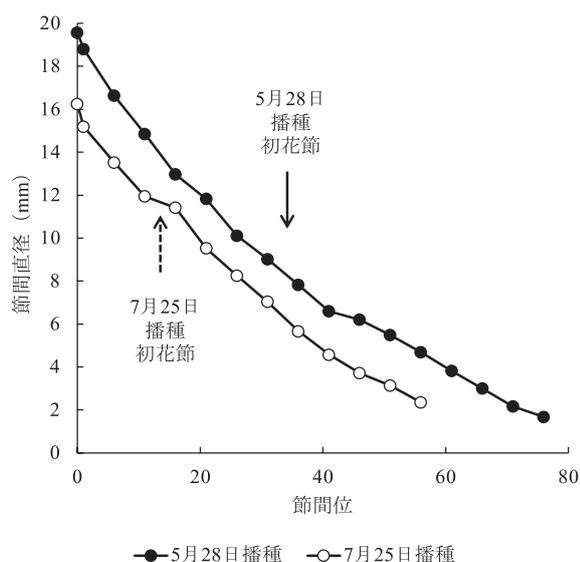


図17. ケナフの主茎節間位別節間直径に及ぼす播種期の影響. 節間位については図9を参照.

6. 出葉速度

1) ジュート

ジュートの主茎葉齢をPlastochron Index (P.I.) で表示して, その進行状況を図18に示した. 5月26日播種では生育の進行に伴ってP.I.が増加したが, 生育に伴って増加速度がやや大きくなる傾向が観察された. しかし, 7月31日播種では播種後26日(8月26日)頃にP.I.増加のわずかな停滞がみられ, 5月26日播種のような生育にともな

う増加速度の上昇傾向はみられなかった. 7月31日播種のP.I.は同じ播種後日数で比較すると5月26日播種より大きかった.

実際に主茎のP.I.増加速度を計算してみると, ジュートの1日あたりP.I.増加速度は0.21から1.20までの間で変異していた(図19). 5月26日播種ではP.I.増加速度は平均気温との間に正の相関($r = 0.828, p < 0.001$)を示したが, 7月31日播種では逆に負の相関($r = -0.807, p < 0.001$)を示し, 播種期によって相反する相関が見られた. そのた

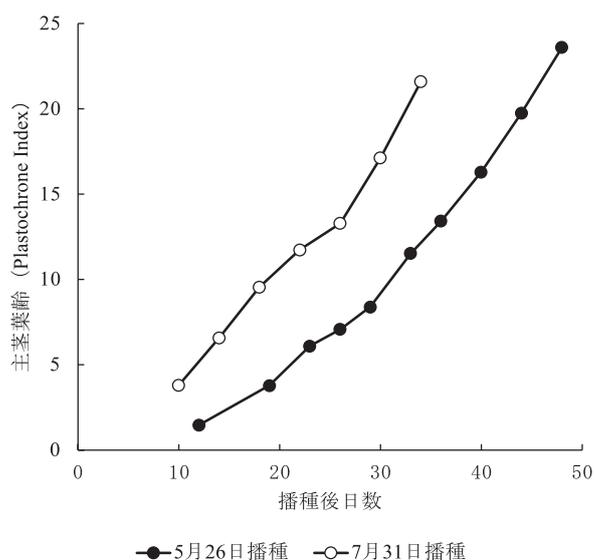


図18. ジュートの主茎葉齢(Plastochron Index)の進行に及ぼす播種期の影響.

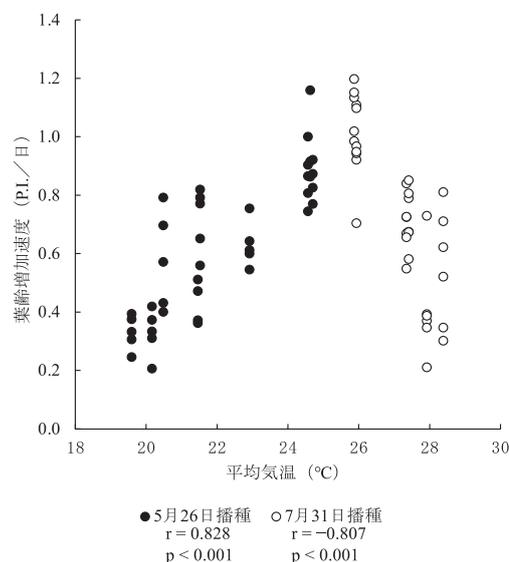


図19. 日平均気温とジュートの主茎葉齢増加速度(Plastochrone Index / 日)の関係およびそれらの播種期による差異.

5月26日播種では7月13日(播種後48日目)まで, 7月31日播種では9月7日(播種後38日目)までの主茎葉展開中のP.I.増加速度を用いた.

め、P.I. 増加速度の播種後日数との相関をみると、5月26日播種では相関係数 $r = 0.778$ ($p < 0.001$) であり、7月31日播種では相関係数 $r = 0.450$, ($p < 0.01$) であり、どちらの播種期においても P.I. 増加速度は播種後日数との間に正の相関を示し、播種後日数が経過するほど P.I. 増加速度は速くなった (図 20)。また、同じくらいの播種後日数で比較すると、7月25日播種の P.I. 増加速度のほうが5月28日播種より速い傾向であった。

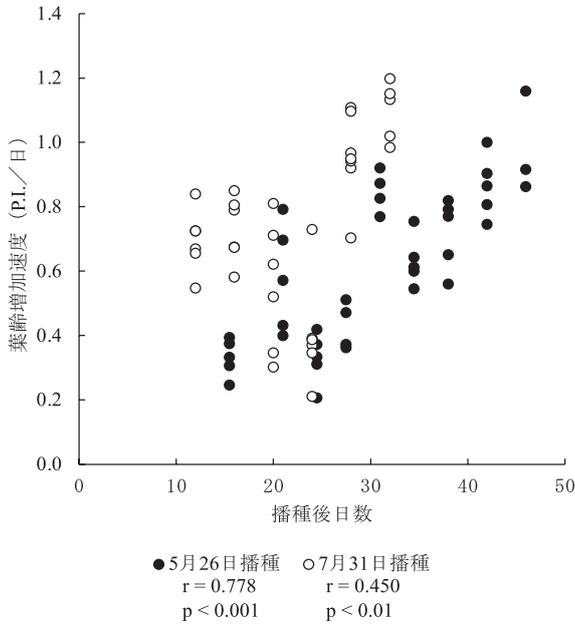


図 20. ジュートの主茎葉齢増加速度 (Plastochrone Index / 日) の生育にともなう変化およびそれらの播種期による差異。使用したデータは図 19 と同じ期間のものを用いた。

2) イチビ

イチビの P.I. も生育の進行に伴って増加したが、5月26日播種では開花2日前の播種後68日(8月2日)、7月31日播種では開花8日前の播種後34日(9月3日)頃から P.I. の増加が緩やかになった (図 21)。P.I. の増加が緩やかになる前の期間において同じ播種後日数で比較すると、7月31日播種の P.I. は5月26日播種より大きかった。

P.I. の増加が緩やかになる5月26日播種の播種後68日以降、7月31日播種の播種後34日以降のデータを除いて、気温と1日あたり P.I. 増加速度との相関を図 22 に示した。P.I. 増加速度は0.13から0.75までの間で変異し、ジュートより低い傾向であった。両者の相関係数は5月26日播種で $r = -0.058$ (n.s.) であり平均気温との間の相関係数は有意でなかったが、7月31日播種では $r = -0.657$ ($0.001 < p < 0.01$) であり、平均気温との間に負の相関がみられた。イチビの場合も平均気温と P.I. 増加速度の間の相関が播種期によって異なったために、ジュートと同様に P.I. 増加速度の播種後日数との間の相関を調べた (図 23)。その結果、

5月26日播種では相関係数 $r = -0.073$, 7月31日播種では相関係数 $r = 0.121$ であり、どちらの播種期も播種後日数との間に相関は見られなかった。5月26日播種においては開花前34日~22日頃(播種後36日の7月1日から

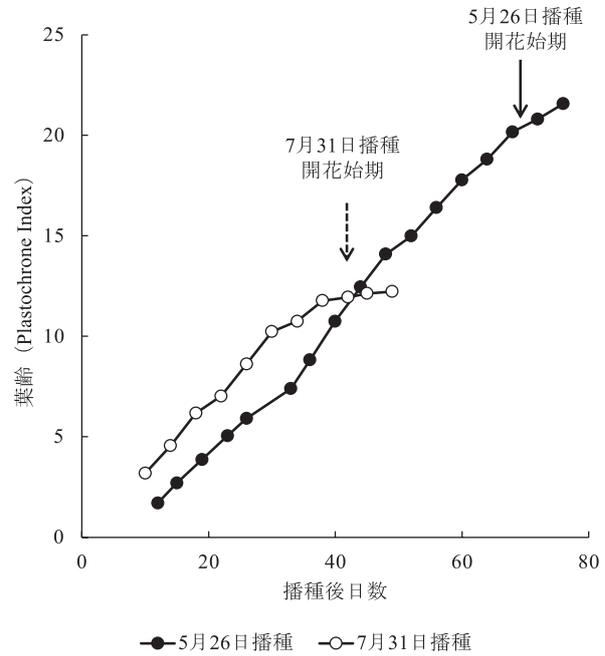


図 21. イチビの主茎葉齢 (Plastochrone Index) の進行に及ぼす播種期の影響。

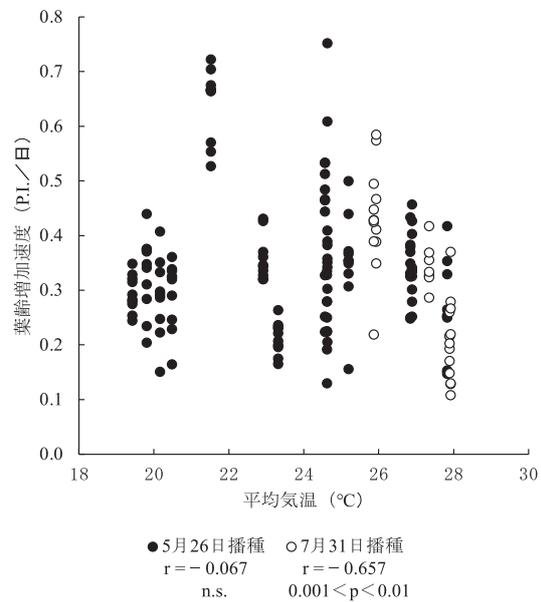


図 22. 日平均気温とイチビの主茎葉齢増加速度 (Plastochrone Index / 日) の関係およびそれらの播種期による差異。P.I. 増加速度は生育後期に停滞がみられたので、5月26日播種では8月2日(播種後68日、開花後13日)まで、7月31日播種では9月3日(播種後34日、開花前6日)までのデータを用いた。

播種後48日の7月13日)に, 7月31日播種では開花前16日~8日頃(播種後26日の8月30日から播種後34日の9月7日)にP.I.増加速度が他より速い時期があることがその原因であった. また, 同じくらいの播種後日数と比較すると, ジュートとは異なり5月28日播種と7月25日播種のP.I.増加速度の間には明確な違いが認められなかった.

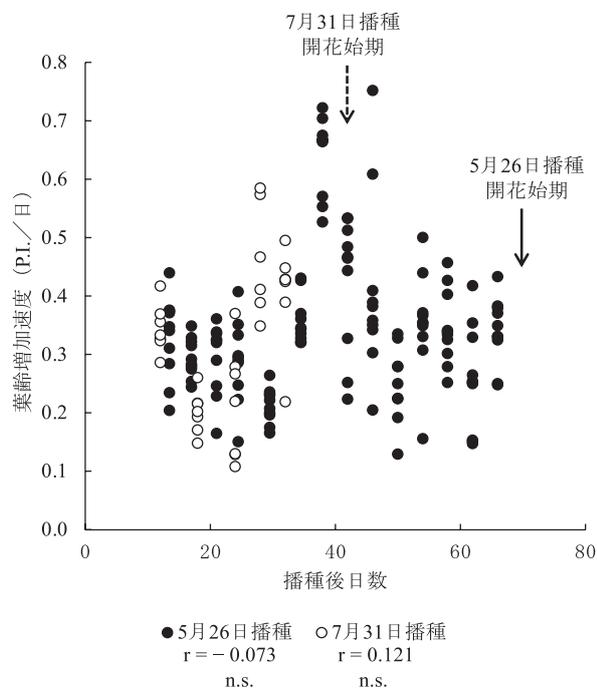


図23. イチビの主茎葉齢増加速度(Plastochrone Index/日)の生育にともなう変化およびそれらの播種期による差異. 使用したデータは図22と同じ期間のものを用いた.

3) ケナフ

ケナフにおいてもP.I.は生育の進行に伴って増加し, イチビと同様に生育後期にあたる5月28日播種における開花13日後の播種後87日(8月23日), 7月25日播種では開花6日前の播種後44日(9月7日)からP.I.の増加が緩やかになった(図24). ケナフの場合も同じ播種後日数において比較すると, ジュートと同様7月25日播種のP.I.が5月28日播種より大きかった.

ケナフにおいてもイチビと同様に生育後期の1日あたりP.I.増加速度が低下したことから(図24), 5月28日播種ではP.I.増加速度が低下する開花13日後の播種後87日(8月23日)以降, 7月25日播種では開花1日前の播種後44日(9月7日)以降のデータを除いて気温との関係を図25に示した. P.I.増加速度はケナフの場合0.27から1.90までの範囲で変異し, 本研究で扱った3作物のうちで最も速い傾向であった. P.I.増加速度の平均気温との間の相関は, 5月28日播種では相関係数 $r = 0.556$ ($p < 0.001$)で正の相関を示し, 7月25日播種は相関係数 $r = -0.542$ ($p < 0.001$)で負の相関を示した. すなわち, ジュートと

同様に気温との相関が播種期によって正と負の逆になることが示された. そこで, ケナフにおいてもP.I.増加速度の播種後日数との間の相関を調べた結果, 5月28日播種では相関係数 $r = 0.710$ ($p < 0.001$), 7月25日播種は相関係数 $r = 0.810$ ($p < 0.001$)であり, ジュートと同様に両播種期ともP.I.増加速度は播種後日数との間に正の相関を示し, 播種後日数が経過するほどP.I.増加速度は速くなった(図

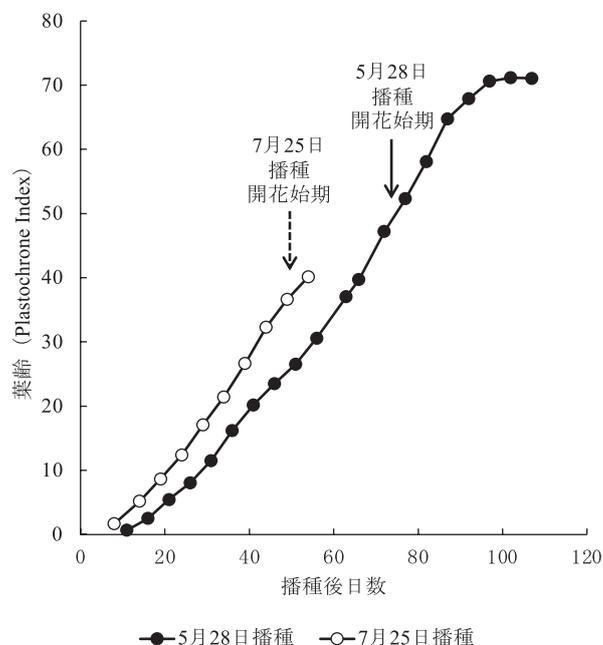


図24. ケナフの主茎葉齢(Plastochrone Index)の進行に及ぼす播種期の影響.

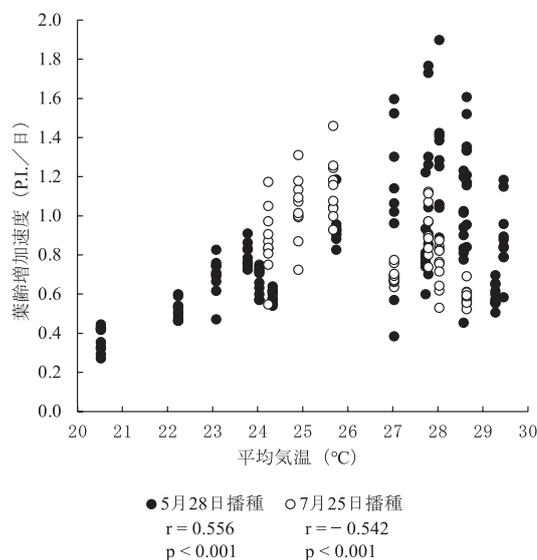


図25. 日平均気温とケナフの主茎葉齢増加速度(Plastochrone Index/日)の関係およびそれらの播種期による差異. P.I.増加速度は生育後期に停滞がみられたので, 5月28日播種では8月23日(播種後87日目, 開花後13日)まで, 7月25日播種では9月7日(播種後44日目, 開花前6日)までのデータを用いた.

26). 同じくらいの播種後日数で比較すると、ジュートと同様に7月25日播種のP.I.増加速度が5月28日播種より速い傾向であった。

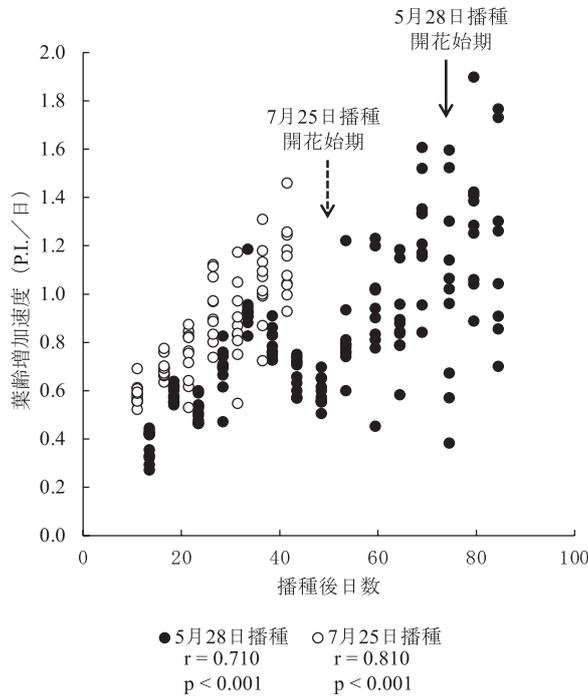


図 26. ケナフの主茎葉齢増加速度 (Plastochrone Index / 日) の生育にともなう変化およびそれらの播種期による差異. 使用したデータは図 25 と同じ期間のものを用いた.

7. 最終葉長および葉形

1) ジュート

ジュートの5月26日播種における最終葉長は第1葉が約3 cmで、第16葉までは上位葉ほど長くなり、第16葉は15.5 cmで最も長くなったが、第11葉から最上位の第27葉までは12.2 cm ~ 15.5 cmの範囲で変動した(図27). 側枝では、第1葉~第9葉(主茎から通し番号で第28葉~第36葉)が10.6 cm ~ 11.9 cmで主茎上位葉よりわずかに短く、側枝第9葉より上位葉は上位ほど短くなった. 7月31日播種においては、5月26日播種と同様に第16葉までは上位葉ほど長くなり、第16葉は12.2 cmで最も長くなったが、5月26日播種より短かった. 第14葉から最上位の第22葉までは11.1 cm ~ 12.2 cmの範囲で変動した. 主茎第1葉から第7葉までは5月26日播種とほぼ同程度の長さであったが、それより上位葉は5月26日播種より短かった. 側枝では、第1葉~第5葉(主茎から通し番号で第23葉~第27葉)が9.1 cm ~ 10.7 cmで5月26日播種と同様に主茎上位葉よりわずかに短く、側枝第5葉より上位葉は上位ほど短くなった.

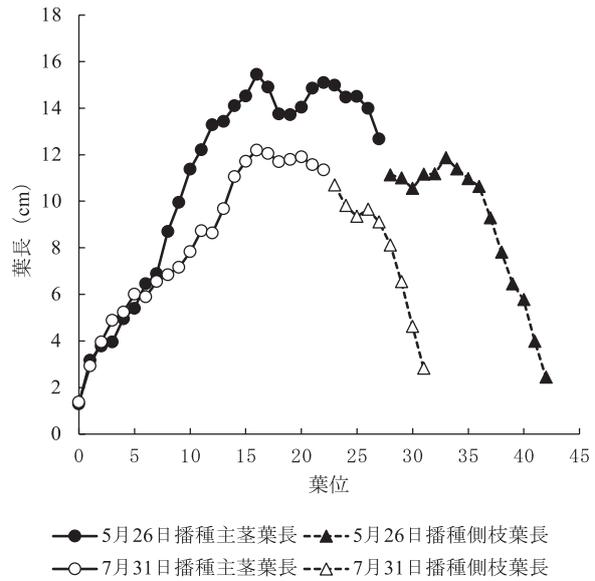


図 27. ジュートの主茎および側枝の最終葉長に及ぼす播種期の影響.

葉位については子葉を第0葉として上位葉に向かって番号を付した. 側枝葉は主茎葉に続けて番号を付した.

2) イチビ

イチビの5月26日播種における最終葉長は第1葉が4.1 cmで、第7葉までは上位葉ほど長くなり、第7葉~第9葉が20.7 cm ~ 21.1 cmで最も長かった(図28). これらの最も長い葉はジュートの最長葉よりも長かった. それ以上の葉は上位葉ほど短くなったが、初花節(第15.9節)とほぼ同じ第16葉以上の葉は急に短くなった. 7月31日播種においては、第1葉が2.8 cmで、第5葉までは上位葉

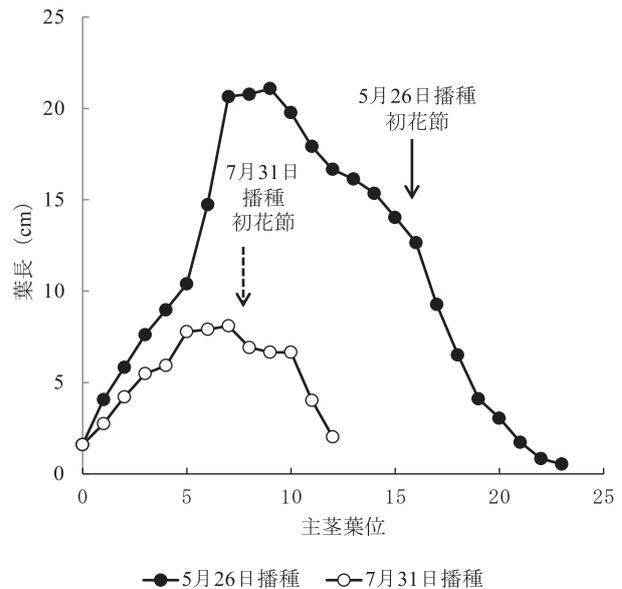


図 28. イチビの主茎の最終葉長に及ぼす播種期の影響. 葉位については図 27 を参照.

ほど長くなり, 第5葉~第7葉は7.8 cm~8.1 cmで最も長かった. 7月31日播種で最長だった第5葉~第7葉は5月26日播種の同じ葉位よりも短かった. 7月31日播種では初花節(第7.5節)に近い第7葉以上は上位葉ほど短くなったが, 特に初花節より3節上位の第10葉以上が急に短くなった.

3) ケナフ

ケナフの5月28日播種における最終葉長は第1葉が5.8 cmで, 第8葉までは上位葉ほど長くなり, 第8葉~第12葉が14.6 cm~15.1 cmで最も長かった(図29). それ以上の葉は上位葉ほど短くなった. 7月25日播種においては, 第1葉が5月28日播種とほぼ同じ5.6 cmであり, 第14葉までは上位葉ほど長くなり, 第14葉から第19葉までが14.1 cm~15.1 cmで最も長かった. それ以上の葉は上位葉ほど短くなった. ケナフの場合7月25日播種は5月28日播種より最長葉の葉位が高くなったが, 長さは両播種期でほぼ同じ程度であった. また, 5月28日播種における初花節(第33.3節)は最長葉のグループから約21節も上位であり, 7月25日播種の初花節(第14.2節)は最長葉グループの最下位であり, その約5節上位の葉から葉長が短くなり始めた.

ケナフの場合葉位によって葉形が変化し, 裂刻の無い葉, 3裂, 5裂および7裂までの掌状葉が観察された(図30). 葉位によるその変化を図31に示した. 5月28日播種では第5.9葉までが裂刻が無く, 第6.9葉~第11.3葉までの約4枚が3裂であり, 個体中で最も長い葉であった第8葉~第12葉の多くは, 裂刻が5裂以上になる前の3裂であった. さらに上位の第12.3葉~第21.8葉の約9枚は5裂になり, 第22.8葉~第38.1葉の約15枚が7裂であった. 初花節の第33.3節の葉は7裂であった. それより上位葉は裂刻が減少し, 第39.1葉~第47.4葉の約8枚が5裂, 第48.4葉~

第57.5葉の約9枚が3裂, それ以上の葉は裂刻が無くなった.

7月25日播種では第7.1葉までが裂刻が無く, 5月28日播種よりわずかに多かった. しかし, 3裂の葉は第8.1葉~第9.7葉の約2枚であり, 5裂の葉は第10.7葉~第16.9葉の約6枚で5月28日播種より少なくなった. 7裂の葉は第17.9葉~第21.6葉の約4枚しかなかった. 個体内で最も長かった第14葉~第19葉はこれらの5裂または7裂の葉であり, 最長葉が3裂であった5月28日播種とは異なった. 7月25日播種でも第21.6葉より上位葉は裂刻が減少し, 第22.6葉~第27.4葉の約5枚が5裂, 第28.4葉~第38.2葉の約10枚が3裂, それ以上の葉は裂刻が無くなった. 7月25日播種の初花節の葉は裂刻数が7裂になる前の5裂であり, 初花節の葉の裂刻数が7裂であった5月28日播種とは異なった.



図30. ケナフの主茎葉の形の変化.

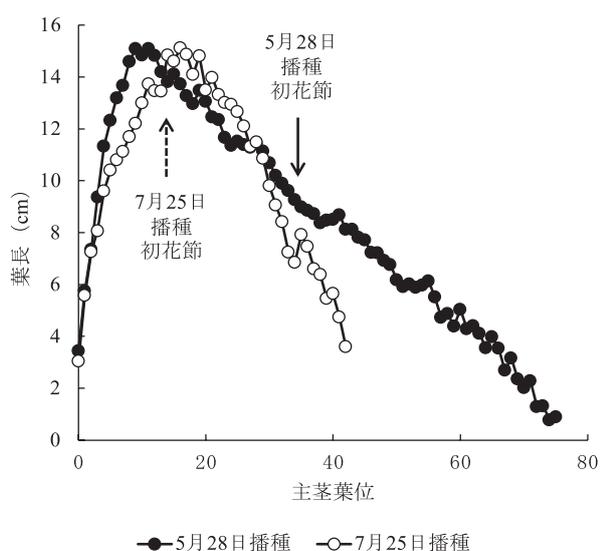


図29. ケナフの主茎の最終葉長に及ぼす播種期の影響. 葉位については図27を参照.

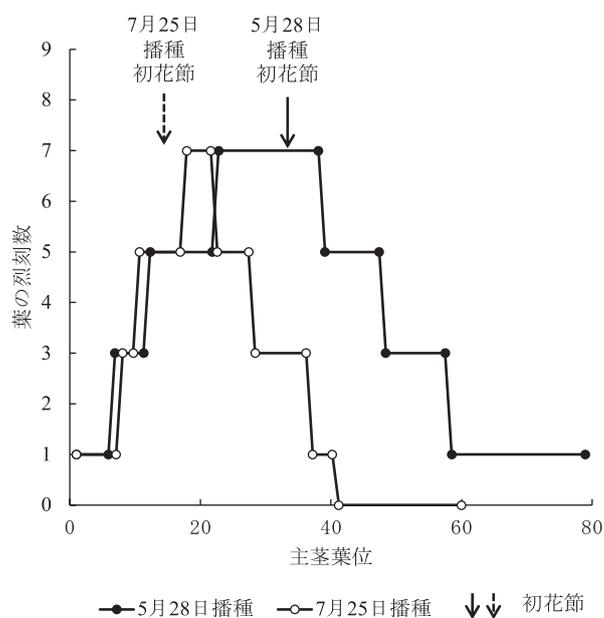


図31. ケナフの主茎葉位による葉の裂刻数の変化. 葉位について図27を参照.

考察

本研究においては、ジュート圃場試験の7月4日～8月1日播種を除いてポット実験および圃場試験のいずれでも、ジュート、イチビおよびケナフの3作物はいずれも播種期が遅れると播種～開花日数が少なくなった(表1, 2, 3, 図3, 4, 5)。ジュートでは播種期が遅れると主茎本葉節数は減少したが、これは花芽が主茎の頂芽に形成されるため花芽分化が早くなったことによると考えられた。また、イチビおよびケナフの場合、主茎の特定の葉位の葉腋(初花節)から上方の各葉腋に花芽を分化し、初花節から上方に向かって順番に開花が起こるタイプであるが、播種期が遅れると開花開始が早まるとともに初花節が低下した。腋芽の分化・発育において花芽が発達するか否かの臨界期の発育段階に到達する腋芽は下位節から上位に向かって順に到達するため、花芽分化期が早まるとその発育段階に達した腋芽の節位が低下するためと考えられた。

ジュートの開花と生長には日長が主に影響を及ぼし(Johansen *et al.* 1985), 15時間の長日では開花しない短日植物であることが報告されている(Bose 1976)。本実験において最も早期の5月下旬播種では播種から開花前まで約14時間以上の日長が続き、最も晩期播種の7月下旬播種では播種から開花前まで生長の進行に伴って日長時間が約14時間から短縮する条件であった(図1)。すなわち、播種期が遅れるほど播種から開花(花芽分化)までに14時間以上の長日条件にさらされる期間が減少し、日長時間が短縮する条件にさらされる期間が増加して、平均でみると花芽分化前の日長時間が短いことは明らかであった。したがって、本実験の結果からジュートだけでなくイチビおよびケナフも同様に短日植物と考えられた。

ジュートにおいては7月4日播種までは播種期の遅れに伴って播種～開花日数および主茎本葉節数が減少したが、それ以降の播種では7月4日播種と同程度であった(表1, 図3)。しかし、イチビとケナフは5月下旬播種から7月下旬播種まで播種期の遅れに伴って播種～開花日数および初花節が順次減少することが示された(表2, 3, 図4, 5)。すなわち、ジュートは7月4日播種以降の日長時間の短縮には花芽分化がほとんど影響を受けないが、イチビとケナフは影響を受けて開花が早まることが示された。本実験は自然の日長条件のため日長時間が日によって刻々と変化することから、これらの作物の開花(花芽分化)に対する適日長を特定することはできないが、イチビおよびケナフはジュートより開花(花芽分化)の適日長が短い作物であると考えられた。

本実験において5月下旬播種の場合、ポット試験のジュートの開花始期は播種後66.6日、イチビは播種後70.5日、ケナフは播種後74.5日であった(表1, 2, 3)。一方、晩播の7月下旬播種ではジュートの開花始期は播種後49.3日で播種～開花期間が5月下旬播種の74%になり、イチビにおいては播種後42.0日で60%、ケナフは播種後50.7

日で68%であった。すなわち、晩播による播種～開花期間の短縮効果はイチビが最も大きく、次いでケナフであり、ジュートが最も短縮効果が小さかった。主茎本葉節数および初花節についてみると、5月下旬播種ではジュートが27.2節、イチビでは15.9節、ケナフは33.3節であった。晩播の7月下旬播種ではジュートが5月下旬播種の83%の22.6節に減少し、イチビでは47%の7.5節に、ケナフにおいては43%の14.2節に減少した。晩播による主茎本葉節数または初花節の減少効果はケナフが最も大きく、わずかの差であるが次いでイチビであり、ジュートはこの場合も最も効果が小さかった。これらから、短日による開花促進効果はケナフおよびイチビがジュートより大きいことが明らかになった。

イチビの圃場試験においては、ジュートでは開花が起こらなかったような8月15日播種でも開花が起こった(表2, 図4)。このとき、初花節は8月1日播種よりもさらに低下したが、播種～開花日数は8月1日播種より23日も長くなり最も早期播種の6月6日播種と同じくらいに延長した。イチビの8月15日播種は開花始期が10月15日であり、開花前2週間以上も平均気温が低く20℃以下であった(図1)。これらの結果から、イチビの8月15日播種では短日によって植物体の齢からみると花芽が早期に分化したが、秋の低温によって生長が遅れたために播種～開花日数が長期化したことが考えられた。加えて、イチビが8月15日播種のような極晩播でも開花まで生長を継続できたことは、イチビが緯度的に北海道に近く気温の低い中国の満州が生産地になっていたこと(西川 1960)や低温発芽性に優れること(道山・山本 1990)からも想像できるが、イチビは発芽だけでなく生長に関してもジュートより低温抵抗性が高いことが考えられた。

本実験において主茎の伸長経過と第1節間の肥大経過を調査した結果、生育初期においては、イチビを除き(図7, 14)7月下旬播種におけるジュートおよびケナフの主茎長および節間直径が5月下旬播種より大きかった(図6, 8, 12, 16)。その原因として、ケナフの7月下旬播種においてはS字曲線における伸長が盛んな時の伸長速度が5月下旬播種より大きかったことも一つの原因と考えられた(図8)。ジュートおよびケナフともに7月下旬播種における主茎の伸長および肥大のS字曲線の立ち上がりが5月下旬播種より早く起こることが大きな原因と考えられた。葉齢(P.I.)の増加経過では、同じ播種後日数で比較した時に3作物いずれも生育初期に7月下旬播種の葉齢が5月下旬播種より大きかった(図18, 21, 24)。ジュートおよびケナフでは7月下旬播種における生育初期の葉齢増加速度が大きかったこと(第20, 図26)もその一つの原因と考えられた。しかし、3作物とも本葉が展開してP.I.の測定が可能になった第一回目の葉齢測定時にすでに7月下旬播種の葉齢が大きく(図18, 21, 24)、出芽後の本葉の出現開始が早いことが示されており、それが生育初期に7月下旬播種の葉齢が5月下旬播種より大きかったことの大き

な原因と考えられた。本実験の7月下旬播種の生育初期は27℃～30℃の高温であり、5月下旬播種は20℃の比較的低温から徐々に気温が上がる比較的低温の条件であったことがこれらの現象を引き起こしたものと考えられた(図1)。以上から、7月下旬播種は5月下旬播種より生育初期の気温が高いために、これら3作物の本葉発生開始および主茎の伸長および肥大の急増加開始が早くなり、その結果として生育初期の主茎の長さ、直径および葉齢が大きくなったと考えられた。

ジュートにおいて主茎の伸長終了は両播種期ともほぼ開花直後であったが、主茎先端の側枝が主軸になって伸長し、その主軸として発達する側枝は開花16～22日後に伸長終了することがわかった(図6)。また、イチビの主茎の伸長終了は開花後11～14日(図7)、ケナフは開花後29～33日であった(図8)。茎の肥大に関しては、ジュートでは開花後10日以降(図12)、イチビでは5月下旬播種が開花前14日以降、7月下旬播種が開花期以降(図14)、ケナフでは開花後6～8日以降に肥大が緩やかになった。ケナフでは肥大の終了が観察できたが、5月下旬播種で開花後23日、7月下旬播種で開花後14日であった(図16)。これらから、いずれの作物も主軸(主茎)の伸長および肥大の終了が開花(花芽分化)に影響を受けることが本研究から明らかになった。そして、開花後の伸長期間には作物間差があり、開花後日数でみた主軸(主茎)の伸長および肥大の終了はイチビが最も早く、次いでジュートであり、ケナフが最も遅いことが示された。

7月下旬播種は5月下旬播種より短日条件となりこれらの3作物の開花が早まるために、播種後日数でみた場合の主軸(主茎)の伸長および肥大の終了が早くなることが本実験で示された。そのために、生育前半では7月下旬播種は5月下旬播種より主軸(主茎)の長さ(図6, 7, 8)および太さ(図12, 14, 16)が大きかったが、伸長および肥大が早く停止するために最終的には主軸長(主茎長)が短くなり(表1, 2, 3, 図6, 7, 8)、茎の直径が細くなることが明らかになった(図12, 14, 16)。これら3作物は茎を収穫して茎中の繊維を利用する作物のため、収穫期の茎が長くて太いことが繊維の収量を増加させ、品質を向上させるために最も重要となる。すなわち、これらの作物を栽培するにあたって、繊維収量の増加および品質向上のためには栽培する地域の日長時間および温度を考慮して播種期を選ぶことが重要であることが本研究から明らかになった。

ジュートでは花芽分化後に発生する側枝において節間長が上位節間ほど短くなり(図9)、葉長についても側枝の葉が上位葉ほど短くなり(図27)、節間長および葉長が上位節間ほど短くなる転換点の花芽分化と関係することが明らかであった。しかし、イチビの場合、主茎の上位節間が短くなり始めたのは5月下旬播種では初花節の5節くらい下位からであったが、7月下旬播種では逆に初花節の約3節上位からであり、播種期により異なった(図10)。また、

葉長においても5月下旬播種では初花節よりも約7節も下位の葉から上位葉ほど短くなっており、7月下旬播種では初花節の約3節上位から短くなり、播種期によって異なった(図28)。ケナフにおいても、5月下旬播種で初花節の約5節上位から節間が短くなり始めたが、7月下旬播種では初花節の約18節も上位から節間が短くなり始め、播種期によって異なる傾向であった(図11)。葉長においても5月下旬播種では初花節よりも約21節も下位の葉から、7月下旬播種では初花節の約5節上位の葉から上位葉ほど短くなり、播種期によって異なった。すなわち、本実験の範囲でイチビおよびケナフにおいては、ジュートとは異なり、節間長および葉長が主茎上位で上位ほど短くなる転換点の節間位および葉位は初花節あるいは花芽分化とは明確な関係がみられないことが明らかになった。また、ケナフにおいては葉位によって葉の裂刻数が変化したが、初花節の葉は5月下旬播種では7裂であった一方で、7月下旬播種においては初花節の葉は裂刻数が7裂になる前の5裂であり、播種期によって異なった。したがって、ケナフにおける葉の裂刻数の変化も初花節あるいは花芽分化とは明確な関係がみられないことが明らかになった。

葉齢(P.L)の増加速度は、5月下旬播種のイチビでは気温との相関がみられなかったが(図22)、ジュートおよびケナフでは気温の上昇に伴って速くなった(図19, 25)。しかし、7月下旬播種では3作物とも気温の上昇に伴って葉齢増加速度が遅くなってしまった。そこで、播種後日数と葉齢増加速度の関係をみると、イチビでは5月26日播種の開花前34～22日頃、7月31日播種の開花前16～8日頃にその前後の時期より葉齢増加速度が速い時期があり(図23)、それらが両播種期とも播種後日数と葉齢増加速度の間に相関がみられなかった原因と考えられた。一方、ジュートおよびケナフでは気温とは関係なくどちらの播種期でも生育の進行に伴って葉齢増加速度が速くなることが示された(図20, 26)。以上から、イチビではさらに研究を重ねる必要があるが、ジュートおよびケナフでは生育の進行に伴って葉齢増加速度が速くなるという特性が強いために、生育の進行に伴って気温が高くなる5月下旬播種では葉齢増加速度が気温との間に正の相関を示し、逆に気温が低くなる7月下旬播種では葉齢増加速度が気温との間に負の相関を示すことになったものと考えられた。ただし、同じくらいの播種後日数で比較すれば、生育初期に高温であった7月31日播種の葉齢増加速度は5月26日播種より速いことが示され(図19, 25)、両作物は同程度の生育段階で比較すれば気温が高いと葉齢増加速度が速くなるという性質も持っていることが明らかであった。

ジュートで最終主茎長が最も長かったのはポット栽培の5月26日播種ではなく圃場栽培の6月20日播種であったが、そのときの主茎長は147 cmであった。圃場栽培では側枝長を測定しなかったが、ポット試験の5月26日播種の側枝長が55.1 cmであったことから、これを参考にすると主茎と最上位節側枝を合計した主軸長は約2 mに

しかならなかった。同じ5月下旬播種ではケナフの主茎長が306 cm、イチビが225 cmであったことと比べると非常に短かった。栽培現地のベンガル地方では3 m以上になることが知られているが(西川1960, Chaudhuri and Basak1969, Mian and Gani 1971, Mishra and Nayak 1997), それらに比べて本研究で栽培したジュートは茎長が著しく短いことが示された。すなわち、ジュートは日本の環境では茎の伸長能力を十分に発揮できていないのではないかと考えられた。ジュートは主産地ベンガル地方の雨季のような生長に特殊な環境を要求するということが言われているが(西川1960), 今後ジュートが要求する環境条件について研究することは、ジュート栽培の新規導入を考える地域が栽培適地であるか否かを判断するために重要と考えられた。

著しく生長の悪かったポット試験の7月31日播種のイチビを除いて考えても、収穫部位である茎の長さおよび太さ並びに光合成器官の量に関係する主茎本葉節数は3作物の中でケナフが最も大きかった(表1, 2, 3)。日本という温帯の環境においてはケナフの生長が最も良いことが明らかになった。森林資源保護のための木材代替製紙原料としてケナフが注目を集めたのはこのような特性を持つことによるものと考えられた。本葉数および茎の太さではケナフに次いでジュートが大きく、イチビが最も小さかったが、主茎長についてはケナフに次いで長かったのはイチビであり、ジュートは最も短かった。これらから、ジュートの茎の伸長に関しては前述したが、本研究で扱った3作物のうちでイチビは長さのわりに本葉数が少なく、茎の肥大が悪い作物であることが明らかになった。

本研究で扱った3作物の収穫部位である茎の外形には作物によって特徴があることが明らかになった。いずれも茎に節が発達しないために葉跡の間の長さを便宜的に節間長としたが、ジュートでは主茎の節間が2.5 cm～6.8 cmの範囲で変異し、ケナフでは下位の30ないし40の節間が4.5 cm～8.5 cmで変異し、それ以上の節間が上位節間ほど短くなる特徴を持っていた(図9, 11)。これに対して5月下旬播種のイチビでは第10節間までは上位節間になるほど著しく長くなり、最長の第10および11節間はジュートやケナフの3倍以上の約25 cmにもなり、それ以上の節間は急速に短くなるという特徴を持っていた(図10)。一方、節間の直径に関しては、いずれの作物も上位節間ほど細くなるという特徴を持っていたが、イチビにおいては下位の6～7節間では直径の減少が上位節間より緩やかであるという特徴がみられた(図13, 15, 17)。収穫部位ではないが繊維生産の元になる光合成器官である葉の最終長をみると、どの作物も一定の葉位までは上位葉ほど長くなり、それ以上は短くなったが、最長葉長はジュートおよびケナフでは約15 cmであったのに対して(図27, 29)、イチビでは約21 cmにもなり(図28)、イチビは節間長の節間位による違いと同様に葉位による葉長の違いが大きいう特徴を持つことが明らかになった。イネにおいては、生長点

における葉の分化とその下位で起こる側芽の分化の間には一定の規則性がみられ(花田1977), それらが生長した後起こる主茎の葉の抽出と側芽の葉の抽出の間にも規則性がみられることが知られている(片山1951)。これら3作物の韌皮部における繊維組織の発達においても生長点における葉の分化および葉の展開との間になんらかの規則性が有るのか否かは興味あるところである。しかし、本実験の結果からジュートおよびケナフと比べてイチビのように節間位および葉位によって生長量が大きく異なるような作物においては繊維組織の発達と生長点における葉の分化の関係がどうなるのかについて興味ある問題である。

他にも茎の外形の作物による違いがみられた。ポット試験の5月下旬播種を例にとると、ジュートは主茎本葉節数が第27.2節で最上位節側枝節数が14.4個なので主軸の全節数が41.6節であり、その37%にあたる15.4節に花芽が分化した。イチビにおいては主茎節数が24.7節で初花節が第15.5節のため、初花節の上位のすべての節に花芽が分化したと仮定すると主茎節数の41%にあたる10.2節に花芽が分化した。ケナフでは主茎節数が75.7節で初花節が第33.3節のため、主茎節数の57%にあたる43.4節に花芽が分化した。このように、本研究で扱った3作物のうちでケナフは主茎の各節のうち花芽の着生する節数の割合が大きい作物であるという特徴もみられた。このような違いが繊維組織の発達にいかなる影響を及ぼすのかについても興味があるところである。また、ケナフは茎のかなり多くの部分に多くのトゲを持つ蕾が発生することは、これまでに知られている通り収穫時に扱いづらい作物であることが再認識された。

謝辞

本研究は名古屋大学および名城大学の元教授である故・山本良三先生および故・江幡守衛先生の懇切丁寧なご指導とご援助のもとで行われた。また、本研究の遂行にあたって名城大学農学部作物学研究室の1988年(予備試験)、1989年および1996年の4年生たちが、本研究を卒業論文のテーマとした学生もそうでなかった学生もあわせて全員体勢で昼夜を問わず常識を超えて熱心に協力してくださった。これがなければこの膨大な研究の作業は完結できなかったものである。ここに深く感謝いたします。

引用文献

- Basak, S.L. and Chaudhuri, B.B. (1967) Genetic variation and phenotypic plasticity of roots in two cultivated species of jute (*Corchorus olitorius* L. and *C. capsularis* L.). *Biologia Plantarum*, **9**: 19 - 24.
- Bose, T.K. (1974) Effect of temperature and photoperiod on growth, flowering and seed formation in tossa jute. *Indian Journal of Agricultural Science*, **44**: 32-35.

- Bose, T.K. (1976) Influence of temperature and photoperiod on growth, flowering and seed formation in jute. *Indian Journal of Agronomy*, **21**: 263 - 265.
- Chaudhuri, B.B. and Basak, S.L. (1969) Moisture stress and excess on cultivated jute. *Indian Journal of Agricultural Science*, **39**: 666 - 671.
- Chi, C.Y. and Hsu, S.T. (1970) Physiological studies on jute, kenaf and rossel. 2. Study on light intensity. *Journal of the Agricultural Association of China*, **71**: 14-28.
- Erickson, R.O. and Michelini, F.J. (1957) The Plastochron Index. *American Journal of Botany*, **44**: 297-305.
- FAO (2020) FAOSTAT - Crop. FAO.
- Goswami, N.N. and Saha, J.R. (1969) Radiophosphorus tracing of the rooting pattern of jute. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, **17**: 507-514.
- Gupta, S.K. and Das, A.D. (1977) Correlation and regression between fibre yield and its component in white jute. *Indian Journal of Agricultural Science*, **47**: 327-329.
- 花田毅一 (1977) 水稻における分けつ芽の分化ならびに発育に関する研究. *東京教育大学農学部紀要*, **23**: 43-137.
- Johansen, C., Waseque, M. and Begum, S. (1985) Effect and interaction of photoperiod, temperature, water stress and nitrogen on flowering and growth in jute. *Field Crop Research*, **12**: 397-406.
- 片山佃 (1951) 稲麦の分蘖研究. 養賢堂, 東京.
- Khan, A.H., Khan, K.A. and Hashmi, P.M. (1968) Studies in length of individual fibre cells of jute, flax, cotton and some other vegetable fibres under different treatments. *Pakistan Journal of Science*, **20**: 149-155.
- 松島省三 (1977) 稲作診断と増収技術. 農文協, 東京.
- Mian, A.L. and Gani, M.O. (1971) Effect of time of planting on yield of jute seeds. *Indian Journal of Agricultural Science*, **41**: 938-943.
- 道山弘康・山本良三 (1990) コウマ及びボウマの発芽に関する二, 三の実験. *日本作物学会東海支部会報*, **110**: 9 - 14.
- 道山弘康 (2020) ジュート (*Corchorus capsularis* L.) における韌皮繊維組織の発達過程. —立体解析から見えてくる繊維組織の形態形成—. *名城大学農学部学術報告*, **56**: 1 - 6.
- Mishra, G.C. and Nayak, S.C. (1997) Effect of sowing date and row spacing on seed production of jute (*Corchorus* species) genotypes with and without clipping. *Indian Journal of Agronomy*, **42**: 531 - 534.
- 永井威三郎 (1940) 作物栽培各論上巻. 各論 第1章 いね (稲). 第7節 水稻移植栽培—苗代. p.105. 養賢堂, 東京.
- 西川五郎 (1960) 工芸作物学. 第2章 繊維料類. B. 韌皮繊維類. p.126-167. 農業図書, 東京.
- Rahman, M.M. (1988) Effect of day length and temperature on growth and development of jute plant. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, **23(1-4)**: 80-85.
- Zhou, A.J. (1984) Effects of high temperature on the development of axillary buds in *Corchorus capsularis* L. *China's Fibre Crops*, **2**: 1-5.

原 著

量的培養液管理法を用いて養液栽培で栽培したオカノリ (*Malva verticillata* var. *crispa*) の肥料要求量

鈴木茂敏*・小林愛美・杉山美帆・加藤佑弥・久野沙紀・小林真由香

要約 量的培養液管理法を用いたオカノリ (*Malva verticillata* var. *crispa*) の養液栽培法を確立するために、草高が20 cm に達するまでに必要な施肥量を求めた。EC 管理法で栽培した時、1 個体あたりの全窒素含量は1887 mg であり、オカノリの栽培にはこの量の窒素を含む肥料の施用が必要であることが推定された。しかし、量的培養液管理法を用いた夏における栽培結果よりこの施肥量は過剰であり、約500 mg 硝酸イオンを含む肥料の施用が必要であることが明らかになった。また、異なる季節における栽培試験の結果、必要な肥料要求量は栽培季節によって異なり、夏栽培で約500 mg、秋・冬栽培で約650 mg の硝酸イオンを含む肥料の施用が必要であると推定された。さらに、夏・秋栽培でのシャ光処理、冬栽培での補光処理を行い、肥料要求量の栽培季節による違いと栽培季節の光の強さの違いの関連性について考察した。

キーワード：養液栽培，量的培養液管理法，オカノリ

Amount of fertilizer required for hydroponic culture of curly mallow plants (*Malva verticillata* var. *crispa*) with the quantitative management method of nutrient solution

(Shigetoshi Suzuki, Manami Kobayashi, Miho Sugiyama, Yuya Kato, Saki Kuno, and Mayuka Kobayashi)

Abstract The amount of fertilizer required for growing curly mallow plants to the size of 20 cm in plant height hydroponically with the quantitative nutrient management (QNM) method of nutrient solution was determined. From the measurement of the total nitrogen content of the harvested plants grown with the EC-based control management (ECM) method of nutrient solution, it was suggested that amount of fertilizer containing 1887 mg per a plant of NO_3^- was required. The cultivation test with the QNM method in summer, however, indicated that this value appeared to be overestimated, being re-estimated to be ca. 500 mg/plant. Furthermore, fertilizer requirement was suggested to be influenced by the cultivation season: amounts of fertilizer containing ca. 500 mg and 650 mg NO_3^- were proposed to be required in summer and autumn-winter season, respectively. Additionally, we conducted the cultivation test with shading in summer-autumn cultivation or supplemental lighting in winter cultivation, and discussed the relationship between fertilizer requirement of curly mallow plants and light intensity during the growing season.

Key words: hydroponics, quantitative nutrient management (QNM) method, curly mallow.

*元名城大学農学部園芸学研究室
(〒487-0032 愛知県春日井市高森台1-15-32)

E-mail : shiget@c alumni.meijo-u.ac.jp

2021年12月01日受付 2022年03月03日受理

緒言

オカノリはアオイ科ゼニアオイ属フユアオイ (*Malva verticillata* var. *crispa*) の栽培変種であり、旧世界の温帯と亜熱帯に広く分布し、野菜として利用されている。日本では古くから栽培され、奈良時代以前に大陸から渡来したとされる(青葉, 2004)。オカノリは一年生草本で、暖地性の植物であるが耐寒性もあり、日本では寒冷地を除いて年間を通じて作りやすく、また、カルシウムなどのミネラル分を多く含有する野菜として(未発表)、今後栽培が拡大するものと思われる。この植物は成長すると高さは約 1.5 ~ 2.0 m にもなるが、15 ~ 20 cm になった頃、茎の先端の柔らかい部分や若い葉が野菜として利用することができる。オカノリの野菜としての安定した周年栽培を行うためには、レタス、ハウレンソウやコマツナ等の軟弱野菜と同様に、養液栽培による栽培技術の確立が必要と考えられる。

養液栽培において、培養液管理は重要な栽培管理技術の一つである。葉菜類の養液栽培において、従来から行われてきた EC 培養液管理法 (EC 管理法) に代わって量的培養液管理法 (量的管理法) が注目されてきた。EC 管理法では、栽培期間中での培養液更新および栽培終了時に残存する多量の無機成分は環境中に排出されるため、環境に与える負荷が大きいものと考えられる。また、この管理法では培養液の無機成分濃度を比較的高濃度に設定することが多く、作物による無機成分の過剰吸収が起りやすいため、作物に対する施肥効率は低いものと考えられる。むしろ、作物に過剰蓄積した無機成分による、ヒトへの健康被害の懸念が問題となっている (Wright and Davison, 2006)。一方、量的管理法では、植物の生育に必要な量の無機成分が施用され、(1)肥料の節減、(2)環境負荷の低減、(3)施用する無機成分の量による生育、品質の制御を目的として、様々な野菜の栽培において量的管理法を用いた養液栽培が試みられている (細井・細野, 2005; 景山, 1991; Kidono and Suzuki, 2006; Maruo *et al.*, 2001; 中野ら, 2006; Pardossi *et al.*, 2002; Takei and Suzuki, 2013; Terabayashi *et al.*, 2004)。

量的管理法によって養液栽培を行うためには、収穫適期までの生育に必要な肥料成分量を決定しなければならない。キクにおいてはイオウを除くすべての多量要素の必要量の検討がおこなわれたが (景山ら, 1987, 1993, 1995; 景山・小西, 1992; 島ら, 1995)、我々はハウレンソウ、ハツカダイコンの養液栽培において生育に必要な窒素量に基づいた量的管理法を提案した (Takei and Suzuki, 2013; Li *et al.*, 2014)。また、窒素要求量は栽培季節によって異なることも報告されており (Li *et al.*, 2014; 石黒・鈴木, 2018)、季節による違いについても検討する必要がある。

オカノリを軟弱野菜として養液栽培で栽培して利用するためには、茎葉が柔らかい若い植物の生育段階で収穫する必要がある。そこで、本研究においては、収穫可能生育段階の目標を草高 20 cm に設定し、それまでの生育に必要な窒素量を推定し、また、季節を変えて栽培を行い、生育に必要な窒素を含む肥料要求量に及ぼす季節の影響について検討した。

材料および方法

実験 1. 培養液の EC 管理法による NO₃⁻ 要求量の推定

オカノリ (*Malva verticillata* L. var. *crispa*) (タキイ種苗) の種子を、2016 年 6 月 28 日にシャーレ内の湿ろ紙上には種し、20℃、暗条件で発芽させた。発芽種子を培養土 (バーミキュライト: ピートモス: もみがらくん炭 = 5:4:1) 中に移し 7 日間育てた。その後、均一な幼植物を選び、水耕用培地 (ロックウール細粒綿: もみがらくん炭 = 4:1) をつめた網ポットに移植し、湛液型水耕装置 (Takei and Suzuki, 2013) の湛液槽に移して EC 培養液管理法を用いて水耕を行った。用いた培養液組成は第 1 表に示す通りである。培養液量は 35 L とし、培養液量、EC 値および pH (6.0) は 3 ~ 4 日ごとに補正した。また、10 日毎に培養液の全量更新を行った。草高が約 20 cm になった時に収穫を行い、植物体を葉身、葉柄、茎、根の 4 部位に分けて新鮮重を測定し、80℃で通風乾燥した後に乾物重を測定した。乳鉢と乳棒を用いて乾燥試料を粉末にした後、全窒素含量の測定に用いた。

第 1 表 EC 管理法による水耕で用いた培養液組成 (実験 1)

		濃度 (mg/L)
多量要素	MgSO ₄ · 7H ₂ O	276.8
	NH ₄ H ₂ PO ₄	172.5
	KNO ₃	757.5
	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	94.5
	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	354.0
微量要素	Fe(III)-EDTA	20.00
	H ₃ BO ₃	2.85
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.81
	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.22
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.05
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.02

実験 2. 培養液の量的管理法による肥料要求量の推定

培養液管理法を量的管理法に変更して、他は実験 1 と同様な方法によってオカノリの水耕栽培を行った。種日は 2018 年 6 月 12 日、水耕用培地への移植日は 6 月 30 日、水耕装置への定植日は 7 月 6 日であった。実験 1 より、草高約 20 cm のオカノリ 1 個体を収穫するために必要な窒素量は NO_3^- 量に換算しておよそ 1887 mg と推定されたので、1 個体あたり 1887 mg の NO_3^- を含む肥料を施用する区を N 1 倍区とし、その 1/2, 1/4 の NO_3^- を与える区を、それぞれ、N 1/2, N 1/4 区として、水耕開始時に全量施肥を行った。N 1 倍区の施肥量は、第 2 表に示す通りである。ここで、我々の量的管理法においては、多量要素のバランスを考慮し、窒素成分に対する他の多量要素の割合は一定とし、窒素成分と同様に 1/2, 1/4 とした。また、この栽培実験結果に基づいて、草高約 20 cm のオカノリ 1 個体を収穫するために必要な施肥量を改めて推定したところ、含まれる NO_3^- 施用量は 500 mg 程度であったので、次の栽培実験では第 2 表に基づき NO_3^- を 1 個体あたり 350, 500, 650 mg となるよう施肥した 3 区を設け、秋と冬に栽培を行い季節による肥料要求量の違いについて検討した。ここで、本報告では、定植後の主な生育期がどの季節に当たるかによって春、夏、秋栽培の呼称を使用した。秋栽培では、種日は 9 月 3 日、水耕用培地への移植日は 9 月 27 日、水耕装置への定植日は 10 月 2 日であった。また、冬栽培では、種日は 10 月 24 日、水耕用培地への移植日は 11 月 16 日、水耕装置への定植日は 11 月 26 日であった。これらの実験では、肥料中の窒素源はすべて NO_3^- とした。また、微量元素は、実験 1 と同様なものを使用した。また、ホウレンソウで培養液中の窒素成分が検出されな

くなった後でも植物は成長を続けるが、相対的葉緑素濃度を示す SPAD 値が低下することが知られているので (Suzuki *et al.*, 2018), オカノリの収穫物としての品質を考慮して、培養液中の NO_3^- が検出されなくなった日に植物を採取した。採取した植物は、葉身、葉柄、茎の 3 部位に分けて新鮮重を測定し、80°C で通風乾燥した後、乾物重を測定し、乾燥試料は NO_3^- 以外の無機塩の分析に用いた。

実験 3. 量的培養液管理法を用いた水耕栽培におけるオカノリの成長、培養液および葉中の NO_3^- 濃度の変化におよぼす栽培季節および光強度の影響

草高約 20 cm のオカノリ 1 個体を収穫するために NO_3^- を 500 mg 含む施肥量が必要であると考え、実験 2 と同様な方法で、オカノリの夏・秋栽培を 2 回、冬栽培を 2 回の合計 4 回の栽培実験を行った。夏・秋栽培では、栽培槽の上を寒冷紗 1 枚で被覆した 1 枚しゃ光区 (30% しゃ光), 2 枚で被覆した 2 枚しゃ光区 (64% しゃ光), 対照区の 3 区を設け、冬栽培では、対照区, 寒冷紗 1 枚しゃ光区 (50% しゃ光), 補光区 (陽光ランプ (高演色形メタルハライドランプ, DR 400/TL), 東芝) の 3 区を設けた。夏・秋栽培では、種日はそれぞれ 2019 年 6 月 19 日と 8 月 26 日、水耕用培地への移植日は 6 月 30 日と 9 月 3 日、水耕装置への定植日は 7 月 5 日と 9 月 10 日であった。冬栽培では、種日はそれぞれ 11 月 20 日と 12 月 16 日、水耕用培地への移植日は 11 月 29 日と 2020 年 1 月 6 日、水耕装置への定植日は 12 月 10 日と 2020 年 1 月 9 日であった。培養液中の NO_3^- が検出されなくなった日に植物を採取した。採取した植物は、葉身、葉柄、茎の 3 部位に分けて新鮮重を測定し、80°C で通風乾燥した後乾物重を測定した。また、一部の葉身は NO_3^- 濃度の測定のために凍結保存した。乾燥したサンプルはデシケータ中に保存し、 NO_3^- 以外の無機塩の分析に用いた。

実験 1 ~ 3 では、培養液および葉中の NO_3^- 濃度の測定には、反射式光度計 (RQ flex plus 10, Merck) を用いた。培養液の場合は溶液をそのまま分析に用いた。葉中 NO_3^- 濃度の測定では、凍結した葉身 0.5 g を氷上で蒸留水を加えて乳鉢を使って磨砕した。これを 3 回繰り返して、25 mL に定容した後、3000 rpm で 5 分間遠心分離を行い、上澄み液の NO_3^- 濃度を反射式光度計で測定した。乾燥試料は、乳鉢を用いて粉末にした後、硝酸と過塩素酸で湿式灰化し NO_3^- 以外の無機塩の分析に用いた。カリウムは炎光光度計、マグネシウムとカルシウムは原子吸光光度計を用い、リンはバナドモリブデン酸法により測定した。全窒素含量の測定にはガニング変法を用いた。

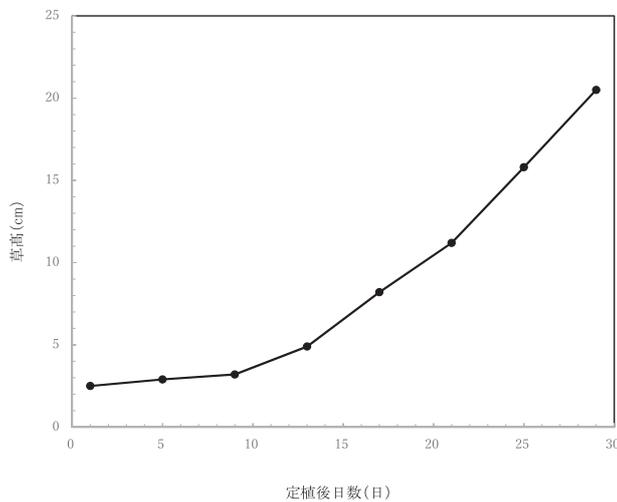
第 2 表 実験 2 の夏栽培 N1 倍区における 1 個体あたりの施肥量

	施肥量 (mg)
	N 1 倍区
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	802.6
KH_2PO_4	591.6
KNO_3	2196.8
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	274.1
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1026.6

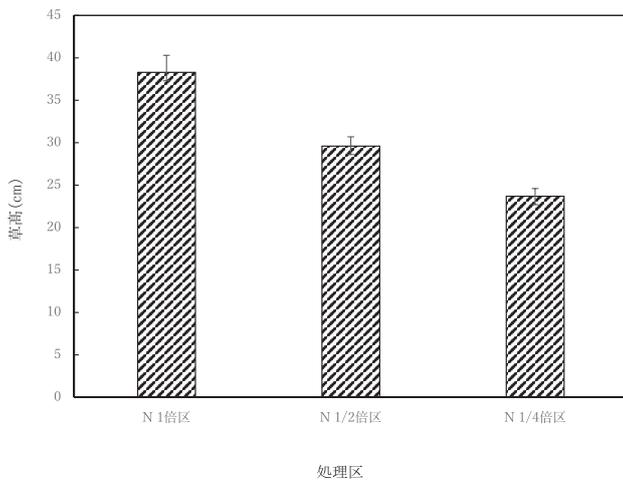
結果および考察

オカノリの NO₃⁻ 要求量の推定

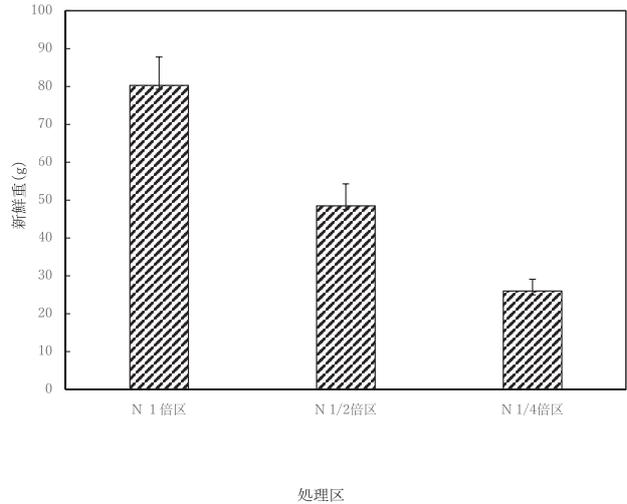
オカノリは、一年生草本のフユアオイ (*M. verticillata*) の変種で、成長すると高さは約 1.5 ~ 2.0 m にもなる。この植物を養液栽培で栽培して軟弱野菜として利用するためには、茎葉が柔らかい若い生育段階で収穫する必要がある。そこで、収穫可能生育段階の目標を草高 20 cm に設定し、それまでの生育に必要な施肥量を推定するために、EC 培養液管理法で養液栽培を行った。実験 1 で草高の変化を調べた結果は、第 1 図に示す通りである。定植後 9 日頃より草高の増加速度が大きくなり、29 日目に草高が 20 cm に達した時に収穫して全窒素含量を測定したところ、1 個体当たり 426.1 mg となった (データ略)。この窒素量を NO₃⁻ 量に換算すると約 1887 mg であった。そこ



第 1 図 EC 培養液管理法によって水耕栽培したオカノリの草高の変化



第 2 図 量的培養液管理法によるオカノリの水耕栽培における窒素施用量の草高に及ぼす影響。図中の誤差線は、標準誤差を示す (n = 9)



第 3 図 量的培養液管理法によるオカノリの水耕栽培における窒素施用量の地上部新鮮重に及ぼす影響。図中の誤差線は、標準誤差を示す (n = 9)

で、この量の NO₃⁻ を含む施肥量の処理区を N1 倍区として、他に N1/2 倍区、N1/4 倍区を設け、与える窒素はすべて NO₃⁻ として、量的培養液管理法を用いて栽培を行い、肥料要求量の確認を行った (実験 2)。収穫時における草高は、第 2 図に示す通りである。N1/4 倍区で草高は 20 cm に達し、N1 倍区と N1/2 倍区では 20 cm を大きく超えた。収穫時の地上部新鮮重に及ぼす影響は、第 3 図に示す通りである。すべての部位において、施肥量が増加するに従って新鮮重は増加する傾向にあり、草高が 20 cm の N1/4 倍区で地上部重は約 26 g であった。乾物重においても同様な傾向が見られ、始めに推定した施肥量は、過剰であったと考えられる。なお、収穫可能生育段階の目標を草高 20 cm に設定したが、草高が 20 cm の N1/4 倍区の新鮮重が約 26 g であったことから、収穫可能生育段階の目標の一つに新鮮重約 26 g を付け加えることとした。ところで、今回の実験では、N1/4 倍区での NO₃⁻ 施肥量は 1 個体あたり 471.8 mg であり、実験 1 で得られた結果と大きく異なるものとなった。このような大きな違いは、用いた培養液管理法の違いによるものと考えられる。すなわち、実験 1 では EC 培養液管理法によって養液栽培をおこない、収穫サイズに達した植物体の窒素含有量から NO₃⁻ 要求量を求めたものである。窒素は過剰吸収されやすいが、それに伴って成長が必ずしも促進されるわけではないので、NO₃⁻ 要求量が多めに推定されたものと考えられる。可販サイズの野菜の生育に必要な 1 個体当たりの NO₃⁻ 施肥量については、収穫目標のオカノリと同程度の大きさの地上部重 25 g のハウレンソウ (Takei and Suzuki, 2013) と肥大部重 30 g のハツカダイコン (石黒・鈴木, 2018) で 400 mg 程度であることが明らかにされていること

から、1 個体あたり 471.8 mg の NO₃⁻ を含む施肥量は妥当なものと考えられる。

そこで、オカノリ 1 個体当たりの肥量要求量を NO₃⁻ を 500 mg を含む肥料量とし、次の栽培実験では NO₃⁻ を 350, 500, 650 mg/plant の NO₃⁻ を含む肥料を処理する 3 区を設け、秋と冬に栽培を行い、肥料要求量の確認と栽培季節の影響について検討した (実験 2)。結果は第 3 表に示す通りである。秋栽培では、草高と地上部新鮮重において、650 mg/plant 区と 500 mg/plant 区間で有意な差は認められなかったが、650 mg/plant 区で草丈は 20.8 cm であり、500 mg/plant 区では 20 cm に達しなかった。同様に、地上部新鮮重では、650 mg/plant 区で 29.1 g であったが、500 mg/plant 区では 21.6 g で、650 mg/plant 区で大きくなる傾向が考えられた。いっぽう冬栽培では、草高と地上部新鮮重は、650 mg/plant 区が 500 mg/plant 区より有意に大きく、草高において 650 mg/plant 区においても 20 cm に達しなかったが、新鮮重においては 31.4 g に達した。以上のことから、秋および冬栽培においては、収穫目標値である草高約 20 cm、地上部新鮮重約 26 g のどちらかの目標を達成するためには、650 mg/plant の NO₃⁻ を含む肥料施用量が必要であると考えられる。すなわち、オカノリの肥料要求量は、栽培季節によって異なり、夏期で 500 mg/plant、秋・冬栽培では 650 mg/plant NO₃⁻ を含む施肥量であることが明らかになった。

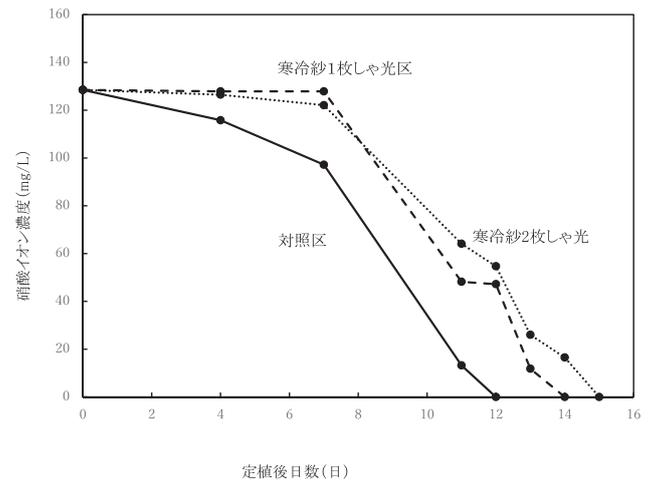
第 3 表 秋栽培および冬栽培における草高、葉数、および地上部新鮮重 (実験 2)

栽培時期	処理区	草高 (cm)	葉数	地上部新鮮重 (g)
秋栽培	350 mg/plant 区	15.1 b ^z	8.1 a	16.8 b
	500 mg/plant 区	18.5 ab	8.4 a	21.6 ab
	650 mg/plant 区	20.8 a	8.9 a	29.1 a
冬栽培	350 mg/plant 区	8.8 b	7.6 b	17.5 b
	500 mg/plant 区	9.5 b	7.6 b	21.8 b
	650 mg/plant 区	12.1 a	8.1 a	31.4 a

^z 異なるアルファベットは処理間で 5% の有意水準で有意差があることを示す (Tukey の多重検定)。

オカノリの肥料要求量におよぼす栽培季節および補光の影響

石黒・鈴木 (2018) は、ハツカダイコンの NO₃⁻ 要求量に及ぼす環境要因の影響を重回帰分析によって解析し、光合成光量子束密度 (PPFD) の日平均値が NO₃⁻ 要求量の季節的違いを説明する最も重要な要因であると報告した。そこで、オカノリの肥料要求量におよぼす栽培季節の影響を明らかにするために、夏・秋 (6 - 7 月, 8 - 9 月) および冬 (11-1 月, 12 - 2 月) に栽培を行い、培養液中の NO₃⁻ 濃度の変化、地上部の成長、葉中 NO₃⁻ 濃度に及ぼす光環境の影響を調べ



第 4 図 量的培養液管理法によるオカノリの水耕栽培における培養液中の硝酸イオン濃度の変化に及ぼす寒冷紗被覆によるしゃ光の影響 (夏・秋栽培)。寒冷紗 1 枚遮光区, 30%しゃ光;寒冷紗 2 枚しゃ光区, 64%しゃ光。

た (実験 3)。

夏・秋栽培 (6 - 7 月) における培養液中 NO₃⁻ 濃度の変化は第 4 図に示す通りである。培養液中 NO₃⁻ 濃度は、いずれの処理区においても定植時より低下し始め、対照区では定植後 12 日目に検出できなくなった。一方、しゃ光区においては、培養液中 NO₃⁻ 濃度は定植時から緩やかに減少し、寒冷紗 1 枚しゃ光区と 2 枚しゃ光区で、それぞれ、定植後 14 日と 15 日目で NO₃⁻ は検出できなくなった。8 - 9 月栽培においても同様の傾向を示した (データ省略)。すなわち、しゃ光処理によって、培養液中の NO₃⁻ が検出されなくなる日が、対照区に比べて、2 - 3 日遅れることが明らかになった。無機塩類の根による吸収機構には能動吸収と受動吸収があるが (Wignarajah, 1995)、受動吸収は蒸散作用とも関係が深く、蒸散速度が大きい条件で促進されられると考えられる (高野, 1991; Jones, 2005)。本実験で用いたような養液栽培においては、このような NO₃⁻ 吸収が行われているのかもしれない。すなわち、しゃ光条件では蒸散速度は低下し、給水量の減少に伴って NO₃⁻ の吸収も抑制されたものと考えられる。草高、地上部の成長、および葉中 NO₃⁻ 濃度に及ぼすしゃ光処理の影響は、第 4 表に示す通りである。草高は対照区で 20 cm 近くまで達し、しゃ光区でさらに大きくなった。また、しゃ光の程度が増大するとさらに草高は大きくなり、この現象は光量不足による徒長現象によるものと考えられる。さらに、草高の測定は培養液中の NO₃⁻ が検出されなくなった日に行われたため、しゃ光区の生育期間は対照区より 2 - 3 日長くなっており、この期間内の草高の伸長も影響しているものと考えられる。しかし、対照区で草高は 20 cm 近く

第4表 夏・秋栽培における草高、地上部新鮮重、地上部乾物重および葉中硝酸イオン濃度におよぼすしゃ光の影響 (実験3)

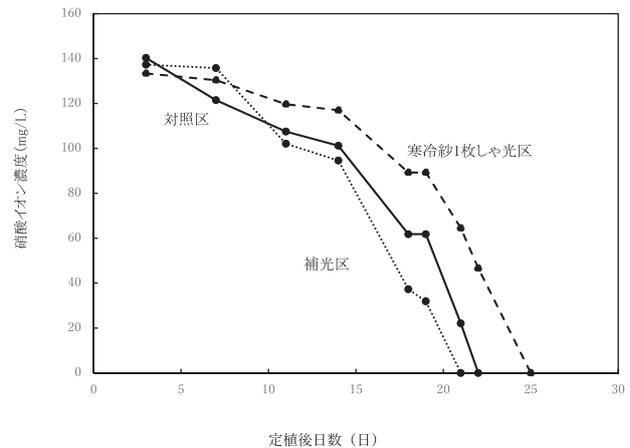
	草高 (cm)		地上部新鮮重 (g)		地上部乾物重 (g)		葉中硝酸イオン濃度 (mg/KgFW)	
	6-7月 ^y	8-9月	6-7月	8-9月	6-7月	8-9月	6-7月	8-9月
対照区	18.0 a ^z	18.2 a	21.9 a	20.8 a	2.2 a	2.3 a	1187.4 a	531.5 a
寒冷紗1枚しゃ光区	26.0 b	21.6 b	26.2 ab	22.0 a	2.2 a	2.2 a	1521.0 a	1051.7 b
寒冷紗2枚しゃ光区	29.4 b	24.2 b	28.8 b	22.4 a	2.3 a	1.9 a	1860.3 a	2578.9 b

^z 異なるアルファベットは処理間で5%の有意水準で有意差があることを示す (Tukeyの多重検定).

^y 栽培時期

まで達したにも関わらず、地上部新鮮重は栽培目標である26 gに達しなかった。この理由については、実験を行った年による温室内環境の違いによるものかどうかわからない。また、地上部新鮮重はしゃ光区でわずかに増大する傾向がみられ、地上部乾物重においても同様であったが、この現象についても、草高の場合と同様に、しゃ光処理による生育期間の延長の影響が考えられる。すなわち、しゃ光によって生育期間が2~3日延長されたにもかかわらず、地上部新鮮重や乾物重に大きな違いが認められなかったことは、サンプリング時におけるしゃ光による生育の遅れを示しているものと考えられる。葉中NO₃⁻濃度は8-9月栽培ではしゃ光区で高くなり、寒冷紗1枚しゃ光区より2枚しゃ光区でより高くなる傾向が見られた。6-7月栽培でも同様であったが有意差は認められなかった。本実験では、オカノリ1個体当たり500 mgのNO₃⁻を吸収した後に収穫しているため、その時点で、しゃ光区の葉中にNO₃⁻の蓄積が高まる傾向があることを示している。植物体内のNO₃⁻の蓄積は、その吸収と同化作用のバランスによって決定されると考えられ、さらに、NO₃⁻のアンモニアへの還元反応は光条件によって大きな影響を受けることが知られており (Champigny, 1995; Lei *et al.*, 2018)、しゃ光処理によってNO₃⁻の吸収速度は抑制されるとともにNO₃⁻代謝が抑制され蓄積することが考えられる。我々のこれまでのハウレンソウやハツカダイコンの研究において、冬の栽培では日平均光合成光量子密度 (PPFD) が小さくなることと葉中NO₃⁻濃度が高くなることの間には密接な関係があることを報告しているが、本実験の結果も、葉中NO₃⁻濃度は光強度によって大きな影響を受けることを示すものと考えられる。

冬 (12 - 2月) におけるNO₃⁻濃度の変化は第5図に示す通りである。培養液中NO₃⁻濃度は、いずれの処理区においても定植時より緩やかに低下し始め、対照区では定植後22日目にNO₃⁻は検出できなくなった。これは、夏・秋栽培の場合では12日目であった



第5図 量的培養液管理法によるオカノリの水耕栽培における培養液中の硝酸イオン濃度の変化に及ぼす寒冷紗被覆によるしゃ光と補光の影響 (冬栽培). 寒冷紗1枚しゃ光区, 50%しゃ光; 補光区, $+54 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

ので、それより10日遅い結果であった。気温の低下や光環境などの環境要因の季節的变化によるものと思われる。また、寒冷紗1枚しゃ光区 (50%しゃ光区) では対照区より3日遅く25日目に、一方、補光区においては、対照区より1日早く21日目にNO₃⁻は検出できなくなった。しゃ光区では、夏・秋栽培におけるしゃ光処理の場合と同様に、蒸散量の低下に伴ってNO₃⁻吸収が低下したためと思われる。一方、補光区では、光強度の増加によって蒸散量が増加したためそれに伴ってNO₃⁻吸収も増加したものと思われる。11-1月栽培でも同様な傾向を示した (データ省略)。草高、地上部の成長、および葉中NO₃⁻濃度に及ぼすしゃ光および補光処理の影響は、第5表に示す通りである。対照区では、11-1月栽培で12.6 cm、12-2月栽培では11.7 cmで、収穫目標の20 cmには達しなかった。しゃ光区では夏・秋栽培の場合と同様に草高が増大する傾向が見られたが、補光区と対照区との間

第5表 冬栽培における草高、地上部新鮮重、地上部乾物重および葉中硝酸イオン濃度に及ぼすしゃ光と補光の影響 (実験3)

	草高 (cm)		地上部新鮮重 (g)		地上部乾物重 (g)		葉中硝酸イオン濃度 (mg/KgFW)	
	11-1月 ^y	12-2月	11-1月	12-2月	11-1月	12-2月	11-1月	12-2月
対照区	12.6 a ^z	11.7 a	17.6 a	16.8 a	1.7 a	1.9 a	1959.1 b	1863.6 a
しゃ光区	15.5 a	12.1 a	21.0 a	18.2 a	1.9 a	1.9 a	2454.5 b	2059.1 a
補光区	13.0 a	13.4 a	18.6 a	18.0 a	1.9 a	1.7 a	1272.7 a	2036.4 a

^z異なるアルファベットは処理間で5%の有意水準で有意差があることを示す (Tukey の多重定).

^y栽培時期

で有意差は得られなかった。地上部新鮮重および乾物重においても夏・秋栽培に比べてやや小さくなり、3処理区間で統計的に有意な違いは認められなかった。このように、補光区における生育改善の効果が期待されたが、目標の草高と地上部新鮮重は達成できなかった。ただし、補光区では生育期間が短縮されたにもかかわらず、草高、地上部新鮮重および乾物重は対照区とほぼ同じかむしろやや大きくなる傾向がみられたことは補光区における生育促進効果を示すものと考えられるが、目標の草高 20 cm、地上部新鮮重 26 g を達成することはできなかった。さらに補光処理時の光強度を高める実験を行うなどの検討が必要と思われる。また、収穫期前後の生育についての検討も必要と考えられる。NO₃⁻濃度はしゃ光区で高く、補光区で低くなる傾向が見られたが、11-1月栽培の補光区で明らかに低下することが認められたことを除いて明確な結果は得られなかった。ここで、夏・秋栽培での対照区の葉中 NO₃⁻濃度は、6-7月栽培で 1187.4、8-9月栽培で 531.5 mg/kgFW であったが (第4表)、冬栽培では、11-1月栽培で 1959.1、12-2月栽培で 1863.6 mg/kgFW であり、明らかにこれまでの報告と同様に冬で高かった。しゃ光区の NO₃⁻濃度が対照区と比較して有意に高くなかったのは、もともとこの季節では硝酸還元作用が弱いために、しゃ光の影響が出にくかったことが考えられる。また、12-2月栽培で補光の影響が認められなかったことは、光の強度が不足していたためと考えられるが、これらの問題点についてはさらに検討する必要がある。

オカノリと他の野菜の葉の無機成分含有量を比較したものは、第6表に示す通りである。オカノリの含有量は、実験2の秋栽培における NO₃⁻ 施用量 650 mg 区の葉の分析値より求めたものである。カルシウムでは、高い含有量をもつとされるダイコンとほぼ同程度、コマツナ、シュンギク、チンゲンサイの、それぞれ、1.4、1.9、2.3倍高くなった。また、フダンソウとハウレンソウのそれぞれ、3.1倍、4.7倍高い値を示し、高カル

シウム含有野菜として注目される。

以上の結果より、軟弱野菜としてのオカノリの養液栽培においては、オカノリの肥料要求量は、栽培季節によって異なり夏期で NO₃⁻ 500 mg/plant、秋・冬栽培では NO₃⁻ 650 mg/plant 程度を含むものであることが明らかになった。ここで、本実験で用いた処理区では、硝酸イオン量の変化に伴って他の多量要素の量も変化しているためその影響を考慮した検討も必要と思われる。さらに、栽培季節によるオカノリの肥料要求量の違いは光の強さの季節による違いと関係していることを明らかにするために、夏・秋栽培のしゃ光処理、冬栽培の補光処理実験を行なったが、明確な結果は得られなかった。今後、補光やしゃ光処理実験の条件についてさらに検討を加える必要がある。

第6表 オカノリおよびその他の野菜の無機塩類含有量

	含有量 (mg/100 g FW)			
	K	Mg	Ca	P
オカノリ (葉)	581	64	230	26
ダイコン (葉)	400	22	260	52
コマツナ (葉)	500	12	170	45
シュンギク (葉)	460	26	120	44
チンゲンサイ (葉)	260	16	100	27
フダンソウ (葉)	1200	74	75	33
ハウレンソウ (葉)	690	69	49	47

オカノリ以外の野菜の分析値は、五訂増補 日本食品標準成分表 (2005) より引用。

引用文献

青葉 高 (2004) オカノリ・フユアオイ. p.34-41. 農文協編. 野菜園芸大百科 第2版 第20巻. 特産野菜70種. 農文協. 東京.
 Champigny, M. L. (1995) Integration of photosynthetic carbon and nitrogen metabolism in

- higher plants. *Photosynth. Res.* **46**: 117-127.
- 細井徳夫・細野達夫 (2005) 個体群葉面積を指標とした肥料施用量の日調節による培養液にN・P・Kの残留が無いトマト養液栽培. 野菜茶業研究所研究報告. **4**: 87-119.
- 石黒 駿・鈴木茂敏 (2018) 量的培養液管理法を用いて養液栽培で育てたハツカダイコンの硝酸イオン要求量と生育に及ぼす栽培時期の影響. 名城大農学報. **54**: 23 - 28.
- Jones, J. B. (2005) The plant root: its roles and functions. p. 19-28. *Hydroponics: a practical guide for the soilless grower*. Second edition. CRC Press.
- 景山詳弘 (1991) 培養液の窒素濃度が水耕トマトの窒素吸収量と生育ならびに収量に及ぼす影響. 園学雑. **60**: 583 - 592.
- 景山詳弘・林 孝洋・小西国義 (1987) 窒素濃度がキクの初期生育に及ぼす影響. 園学雑. **56**: 79-85.
- 景山詳弘・小西国義 (1992) 水耕におけるリン施用量がキクの生育とリン吸収量に及ぼす影響. 園学雑. **61**: 635 - 642.
- 景山詳弘・中川雄一・小西国義 (1993) 養液栽培におけるカリウムの施用量とキクの生育. 園学雑. **61**: 895 - 900.
- 景山詳弘・島 浩二・小西国義 (1995) 養液栽培におけるカルシウムの施用レベルがキクの生育と切り花品質に及ぼす影響. 園学雑. **64**: 169 - 176.
- Kidono, K. and S. Suzuki (2006) Effects of the amount of potassium and its supply strategy on fruit production of tomato plants grown in hydroponics. *Sci. Rept., Fac. Agr., Meijo Univ.* **42**: 9-15.
- Lei, B., Z. H. Bian, Q. C. Yang, J. Wang, R. F. Cheng, K. Li, W. K. Liu, Y. Zhang, H. Fang, and Y. X. Tong (2018) The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa L.*). *J. Integr. Agric.* **17**: 837-846.
- Li, H., T. Inokuchi, T. Nagaoka, M. Tamura, S. Hamada, and S. Suzuki (2014) NO₃⁻ requirement and the quantitative management method of nutrient solution based on NO₃⁻ supply in hydroponic culture of radish plants. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **83**: 44-51.
- Maruo, T., H. Hoshi, M. Hohjo, Y. Shinohara, and T. Ito (2001) Quantitative nutrient management at low concentration condition in NFT spinach culture. *Acta Hort.* **548**: 133-140.
- 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行 (2006) トマト水耕栽培の無機成分の日施用法における施用量が収量、品質及び無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑. **75**: 421 - 429.
- Pardossi, A., F. Malorgio, L. Incrocci, C. A. Campiotti, and F. Tognoni (2002) A comparison between two methods to control nutrient delivery to greenhouse melons grown in recirculating nutrient solution culture. *Sci. Hort.* **92**: 89-95.
- 島 浩二・景山詳弘・小西国義 (1995) 養液栽培におけるマグネシウムの施用レベルがキクの生育と切り花品質に及ぼす影響. 園学雑. **64**: 177 - 184.
- Suzuki, S., Y. Momose, and T. Yamanashi (2018) The optimum harvesting time of spinach grown hydroponically with the quantitative nutrient management method of nutrient solution is on the day when nitrate ions are depleted. *Sci. Rept., Fac. Agr., Meijo Univ.* **55**: 1-6.
- 高野泰吉 (1991) 園芸通論. p. 76. 朝倉書店. 東京.
- Takei, H. and S. Suzuki (2013) Nitrate requirement and quantitative management method of nutrient solution based on the nitrate supply in hydroponic culture of spinach plants. *Sci. Rept., Fac. Agr., Meijo Univ.* **49**: 25-32.
- Terabayashi, S., I. Muramatsu, S. Tokutani, M. Ando, E. Kitagawa, T. Shigemori, S. Date, and Y. Fujime (2004) Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown hydroponically. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **73**: 324-329.
- Wignarajah, K. (1995) Mineral nutrition of plants. p. 193-222. M. Pessaraki (ed.). *Handbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, New York.
- Wright, M. J. and K. L. Davison (2006) Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* **16**: 197-247.

資 料

ジュート (*Corchorus capsularis* L.) における
植物単位を基準とした繊維組織の発達経過の特徴および播種期の影響

道 山 弘 康 *

要約 本研究は層状に発達するジュート繊維組織の発達経過の特徴を植物単位を基準にして明らかにし、茎葉の発育との関係およびそれらに及ぼす播種期の影響を明らかにした。開花前における茎葉および繊維組織の発達経過は有効積算気温を横軸にとると播種期による違いが縮小し、気温の影響が強いことが明らかになった。しかし、両播種期とも開花2~3週間後に繊維組織の発達が終了したため、播種~開花期間の短かった7月播種のほうが5月播種より最終的な節間数が少なく、繊維束先端のある節間位も低かった。両播種期とも繊維組織の発達開始節間と茎葉の伸長開始節間の間の差は栄養生長期に発育の進行にともなって拡大し、茎葉の発育に対して繊維組織の発達が追いつかない状況であった。ある時期からそれらの差は縮小に転換し、その時期は7月播種が5月播種よりわずかに遅れたが、その原因は不明であった。繊維組織の層位間の比較をすると、第1層から第5層までの間では隣接する層の繊維束先端の節間の差が3から5節間の間で一時的に保持されたが、発達の後期に差が増加した。一つの繊維層をみると繊維細胞壁の肥厚が茎一周で始まった後は繊維束数が一定になり、新たな繊維束が発達することはなかった。同じ繊維層では茎の上方ほど繊維束数が多く、同じ節間では内層ほど多いが、第2層から第4層の間の差は小さかった。繊維細胞直径は細胞壁の肥厚が開始した後は変化しなかった。また、細胞壁の肥厚は開始約1~3週間後に終了した。多くの繊維細胞は直径が平均18.3 μm 、細胞壁の厚みは平均5.9 μm で、繊維細胞の位置による変異は小さかった。繊維束数および繊維細胞には播種期の影響が小さかった。

キーワード：ジュート (*Corchorus capsularis* L.)、繊維細胞、繊維組織の発達、植物単位、播種期。

The developmental process of fibrous tissue in jute (*Corchorus capsularis* L.) and effect of seeding date on them

(Hiroyasu MICHİYAMA)

Abstract We studied the development of jute fibrous tissues based on phytomer, their relationship to development of plant stem and leaves, and the effect of seeding date on them. When the effective cumulative temperature was taken on the horizontal axis, the difference depending on the seeding date in the development of fibrous tissues became smaller. However, since the development of the fibrous tissue was completed 2 to 3 weeks after flowering in both seeding dates, the final number of internodes and the internode number with fiber bundle tip were smaller in the July seeding, which had a shorter seeding-flowering period, than in the May seeding. In both seeding dates, the difference between the internode number starting elongation and the internode number with the tips of the first layer fiber bundles widened during vegetative growth stage, and then decreased. Between the 1st to 5th layers of the fibrous tissue, the differences between the nodes at the tips of the fiber bundles of the adjacent layers were temporarily maintained, but the difference increased in the later stages of development. The number of fiber bundles in the same layer was larger toward the upper part of the stem. And that in the same node was larger toward the inner layer, although the differences between the adjacent layers from the second to the fourth layers were small. Cell wall thickening started after the end of cell diameter growth and ended about 1 to 3 weeks after the start of thickening. Most fibrous cells had an average diameter of 18.3 μm and an average cell wall thickness of 5.9 μm , and the variation due to the position of fibrous cells and the seeding date was small.

Key words: development of fibrous tissue, fiber cell, jute (*Corchorus capsularis* L.), phytomer, seeding date.

*元農学部 作物学研究室

(〒948-0134 新潟県十日町市上新井11-1)

Former Meijo University, Faculty of Agriculture, Crop Research Laboratory

E-mail: michy753@me.com

2022年01月31日受付 2022年03月03日受理

緒言

繊維作物の中でもジュートは、ワタに次いで生産量の多い重要な作物である(FAO 2020)。しかし、前報(道山 2022)の緒言にまとめたが、これまでのジュートの研究は収量に視点が置かれたものが多く、その生育環とそれに及ぼす栽培環境の影響を着実におさえていこうとする研究が非常に少なかった。イネでは生長経過の基本的パターンを明らかにした研究が基礎として収量増加に大きく貢献していることから考えると、それとは対照的にジュートでは合理的な栽培や育種が行われているとは言い難い状況であり、ジュートにおいても生長と発育の基本的パターンを明らかにする研究が必要であると思われた。そこで、著者は、ジュートの生長および繊維組織の発達特性を明らかにして、栽培および育種の改善のために有益な知見を得ることを目的として研究を開始した。

韌皮繊維作物には、茎の横断切片を見るとアマ、ラミー、サンヘンブ(クロタラリア)などのように繊維細胞の集合した1層だけの繊維束が表皮の内側に形成層および篩部を取り囲むように発達する作物のグループがある(西川 1960)。これに対して繊維組織が複数の層に発達する作物のグループがあり、ジュート、イチビ(ボウマ)およびケナフなどがそのグループに含まれる。著者は、ジュートやケナフで繊維組織が層状に発達することは知られていても繊維組織の立体構造は明らかになっていないことを知り、前報(道山 2020)でこれを明らかにした。次に、ジュートは茎の韌皮部に発達する繊維組織を収穫するため、茎葉の生長に及ぼす播種期の影響(道山 2022)について明らかにした。特に、同じような繊維組織を発達させる作物であるイチビおよびケナフについても同時に研究し、作物間の比較も行った。そこで、本研究ではジュートの繊維組織の発達に及ぼす播種期の影響を明らかにすることおよびジュートの繊維組織の発達にはいかなる特性があるのかを明らかにしようとした。

韌皮部に層状に繊維組織を発達させる作物において、繊維組織の発達についての研究はこれまでにジュート(西川 1949)およびケナフ(松林・平尾 1953)でみられる。しかし、これらはいずれも観察部位を茎の下部、中部および先端部などとしていた。しかし、植物体は生長するため、例えば茎先端部という各測定時期の茎先端部が茎上方へ移動してしまい、同じ部位での継続調査にはなっていないという欠点があった。そこで、本研究では各調査時期にすべての節間の観察を行い、植物単位の観点から結果を整理できるようにした。そして、イネが植物単位(phytomer)の観点から見た規則性をもって生長することはよく知られているが(片山 1951, 川田ら 1963, 花田 1977)、

ジュートにおいても植物単位の観点から見てなんらかの発育の規則性を持っているのか否かを検討した。

具体的には、本研究の範囲では繊維組織の層別による繊維束の発達経過およびそれらの外観の生長との関係、茎一周の繊維束数の増加経過と節間によるおよび層位による繊維束数の変化、および繊維細胞の肥大経過と繊維細胞壁の肥厚経過について明らかにしようとした。横断切片の繊維組織で観察される1本の繊維束内の繊維細胞数については、第1層の繊維束の繊維細胞数が茎基部より茎中部で多くなること、茎基部では第1層の繊維細胞数が第2層以内の層より少ないが、茎中部では第1層が第2層以内の層より多くなることが明らかにされている(西川 1949)。しかし、茎にそって同じ層の繊維束をみていくと網目状に集合離散を繰り返していること(道山 2020)から、1繊維束の繊維細胞数は複数の繊維束が集合して1本になるところは多くなり、離散するところでは少なくなって茎の部分によって大きく変化ことが著者の観察からわかっている。よって、データをとったとしてもその意味は不明と考えた。したがって、1本の繊維束内の繊維細胞数については繊維の重要な形質ではあるが、本研究では扱わないことにした。

材料および方法

1989年に愛知県名古屋市内の名城大学農学部構内の網室でジュート丸実種(*Corchorus capsularis* L.)を用いて実験を行った。種子は名城大学農学部作物学研究室で毎年栽培採種してきたものを用いた。長さ39cm、幅69cm、深さ10cmのプラスチック製プランターを各播種期3個ずつ用意して、肥料が施されていない市販の園芸用培土を18.2 kg 詰め、硫酸アンモニウムを43.2 g、粒状過リン酸石灰を60.5 g、塩化カリを15.9 g 施した。プランターの両端から4.5 cm ずつのスペースを空け、条間を20 cm として長さ39 cm の条を4条設定した。各条に株間2.5 cm として深さ約1 cm の点播用の植え穴を作った。5月26日および7月31日に各植え穴に5~6粒の種子を播き、覆土して手で鎮圧した。出芽後、適宜間引きを行い、1株1本植とした。栽培期間中は土壌の乾燥程度および植物の生育状況を観察しながら1日1回以上灌水を行って栽培した。

繊維組織の発達状況を観察するために、5月26日播種では6月21日から8月10日までに約7日おきに11回、7月31日播種では8月10日から10月11日までに約7日おきに10回、平均的な生育の個体を各回3個体ずつ採取した。主茎および側枝のすべての葉長、節間長および節間直径を測定し、この時、茎頂付近に発達開始した葉のうち10 mm を超えた葉を最上位展開葉位とし、肉眼で観察して明らかに節間が存在する

と判断できた約1mmを超えた節間を伸長開始節間として記録した。その後、主茎および最上位節側枝のすべての節間について各節間下部より約1cm上の部分の横断切片をカミソリの刃を使って徒手で作成した。長さが1cmに満たない節間は節間中央部の横断切片を作成した。横断切片は速やかにサフランインで染色して繊維組織の観察用とした。繊維細胞および繊維組織を顕微鏡の2種類の倍率（対物4倍および対物40倍）で写真撮影し、撮影した繊維細胞および繊維組織と同じ倍率で対物マイクロメーターの写真も撮影した。

ジュートの茎の横断切片から見た繊維組織は、図1に示したように複数の繊維細胞が集合・接着した繊維束が表皮側から形成層側に向かって層状に並ぶように発達している。前報（道山2020）では、その繊維組織の立体構造について明らかにし、同じ層の間では隣り合う繊維束が結合したり、離れたりして網目状に発達するが、異なる層の繊維束はほとんど結合することなく独立して発達することを報告した。その結果をふまえて本実験においては、それぞれの发育段階の主茎および側枝における各節間の横断切片の顕微鏡写真から、各節間における繊維層数、各繊維層における茎一周の繊維束数、各層の繊維細胞の直径、繊維細胞壁の厚さを測定した。繊維層数については、繊維細胞壁がサフランインで赤く染まり繊維細胞であることが確認できた細胞が茎一周にわたって発達した層位までの層数とした。図1に示したように各層位には最も表皮側の層を第1層として、形成層側に向かって番号を付けた。

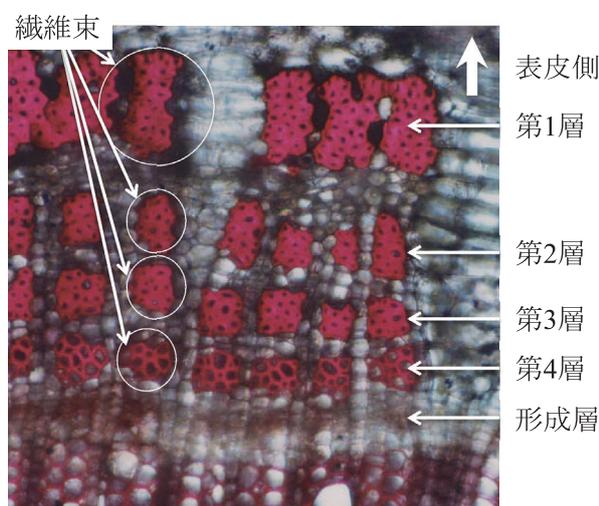


図1. ジュート茎の横断切片における繊維組織の形態。

ジュートの繊維組織は、複数の繊維細胞が接着して塊となって繊維束を形成し、それらの繊維束が表皮側から形成層側に向かって層状に並んでいる。層状に並んだ繊維束は、最も表皮側のものが先に発達し、形成層側に向かって順に発達するため、最も表皮側の層を第1層とし、形成層側に向かって順に層位の番号を付けた。

繊維細胞の直径の測定に関して、横断切片に見える繊維細胞はさまざまな大きさのものがあるが、繊維細胞を立体的にみると紡錘形をしていることから（Esau 1977）、1枚の横断切片に見える最も大きなものが繊維細胞の中央部を切ったものと考えられたことから、横断切片の写真における各層の繊維細胞の中で最も大きな繊維細胞について直径を測定した。また、横断切片に見られる繊維細胞は正確な円ではないため、繊維細胞の長径と短径を測定してそれらの平均値を繊維細胞の直径とした。前報（道山2020）の結果から、同じ層位の繊維束が集合と離散を繰り返して繊維束1束の繊維細胞数は常に大きく変化するため、繊維束1束あたりの繊維細胞数に関しては測定しなかった。

本研究のすべての実験において、主茎葉位、節位および節間位は、それぞれ子葉、子葉節および胚軸を第0葉、第0節および第0節間とし、主茎の上位に向かって番号を付した。すなわち、ある節間に対してその先端側の節およびそこに着生する葉が同じ番号になる植物単位と考えた。また、ジュートは主茎先端に花房を分化すると主茎の上位数枚の葉の葉腋から側枝を発生させて、それらのうち最上位節側枝が主茎の代替のように主軸として生長することがわかっている（道山2022）。そのため、繊維層数に関する実験結果については、最上位節側枝が主茎の上位に接合した形としてデータを処理した。すなわち、最上位節側枝の第1葉、第1節および第1節間を主茎最終葉位+1、主茎最終節位+1および主茎最終節間位+1として、最上位節側枝の葉位および節間位に番号を付けた。また、解析にあたって気温のデータを使用した。名古屋地方気象台の気象表を利用し、有効積算気温の最低下限温度は一般に夏作物で使われる10℃とした。

結果

1. 繊維組織の層位別にみた繊維束の発達経過

最上位展開葉位、伸長開始節間および各層の繊維束の先端のある節間位の播種後日数の経過にともなう上昇経過を図2に示した。図表には示さなかったが、本実験の5月26日播種で試料として採取した個体においては主茎本葉数（節数、節間数）が約25、最上位節側枝は約9であり、7月31日播種では約22、最上位節側枝は約7であり、主茎および最上位節側枝のどちらでも7月31日播種が5月26日播種より少なかった。また、本実験と同時に栽培した前報（道山2022）のジュートの生育結果から、開花始期は5月26日播種では播種66.6日後（7月31日）、7月31日播種では播種49.3日後（9月18日）であり、両播種期とも第7回目の試料採取日である播種後68日（積算気温1597℃）および52日後（積算気温1395℃）の約2日前であった。

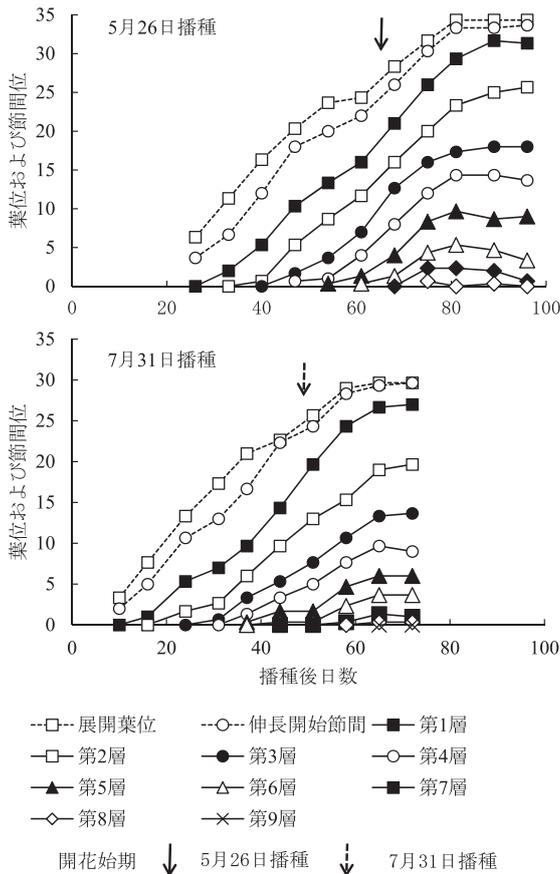


図2. ジュート主茎および最上位節側枝における最上位展開葉位、伸長開始節間位および繊維組織の層別にみた繊維束先端の節間位の播種後日数にともなう上昇経過およびそれらの播種期による違い。主茎の最上位の葉位および節間位に主茎最上位節側枝の葉位および節間位をつなげて表記した ($n=3$)。

植物体外観の発育指標としてとりあげた最上位展開葉位の上昇は7月31日播種(図2下)が5月26日播種(図2上)より早く開始して進行した。両播種期とも最上位展開葉位は1日あたり0.48~0.72葉ずつ上昇し、開花約2~1週間前付近で一時的に上昇が停滞し、すぐに回復するが開花約2週間後に上昇が終了した。この上昇停滞の開始期は5月26日播種および7月31日播種で最上位展開葉位がそれぞれ第24葉および第21葉になった頃であり、主茎葉から側枝葉の展開に切り替わる時期であった。新葉の展開終了はどちらの播種期でも開花約2週間後であり、それぞれ播種81日後(8月15日)および播種65日後(10月4日)であった。新葉の展開は7月31日播種が5月26日播種より早く終了し、最終の展開葉位が低かった。主茎と最上位節側枝の合計であるが、最終の展開葉位は5月26日播種で34.3葉、7月31日播種で29.7葉であった。

伸長開始節間は、両播種期とも最上位展開葉位の数節間下位で推移したが、最上位展開葉位で観察された

ような開花約2~1週間前付近の上昇の停滞が明確ではなく、開花期付近以降に展開葉位との差が縮小した(図2)。伸長開始節間位の上昇は最上位展開葉位の上昇と同様に開花約2週間後に終了し、調査最終日の伸長開始節間位は最上位展開葉位と同程度になった。最終の最上位伸長節間位は5月26日播種で第33.7節間であり、7月31日播種で第29.7節間であった。展開葉位と同様に開花の早かった7月31日播種が5月26日播種より低かった。

繊維組織の最外層である第1層の繊維束先端の存在する節間位は、どちらの播種期でも伸長開始節間位の上昇より数節遅れて開始して上昇し、開花前に最上位展開葉位および伸長開始節間位との差が明らかに拡大した(図2)。第1層繊維束先端の節間位においても最上位展開葉位の上昇でみられたような開花約2~1週間前付近の上昇停滞が明確ではなく、拡大していた最上位展開葉位および伸長開始節間位との差が、開花期付近から開花後にかけて縮小した。第1層繊維束先端の上昇終了は開花約3週間後であり、外観の発育終了よりやや遅れる傾向であった。そのため、最上位展開葉位および伸長開始節間位との差の縮小が生育終了期まで続き、それらとの最終的な差は2~3節に縮小した。最終的な第1層繊維束先端の節間位は5月26日播種で31.3節間であり、7月31日播種は27.0節間であった。本実験の5月26日播種および7月31日播種で繊維調査に使った個体は主茎の節数がそれぞれ平均で約25節および22節であり、両播種期とも開花始期の約1週間後には第1層繊維束の先端がそれらの節間位を超えて最上位節側枝内に発達していた。

各層の繊維束先端の節間位は第1層から内層に向かって順に上昇が起り、上昇の初期には内側に隣接する層位の繊維束先端の節間との差が小さかったが、上昇開始2~3週間後から差が数節間になった(図2)。繊維束の発達初期に隣接する層位間の繊維束先端のある節間位の差が小さかったのは、図2からわずかにみてとれるが第1節間まで伸びていない繊維層が胚軸(第0節間)に2~3層蓄積しているためであった。本実験の5月26日播種および7月31日播種で繊維調査に使った個体は主茎の節数がそれぞれ平均で25節および22節であったことから、第1層の繊維束はそれぞれ開花始期の約1週間後の播種75日後および58日後に最上位節側枝内にまで発達し、第2層は開花始期の約3週間後にあたるそれぞれ播種89日後および72日後に最上位節側枝内にまで発達した。図2の範囲では不明確ではあるが、第1層および第2層の繊維束先端の節間位の上昇はそれらより内層の繊維束より速い傾向であり、開花期以降になると第1層と第2層の差および第2層と第3層の差が拡大する傾向であった。第3層より内層の繊維層は最上位節側枝内まで発達せず、図2からは隣接する内層の繊維束先端の節間位との差

が開花期以降に拡大するようにはみえなかった。繊維束各層の先端の上昇は第1～3層では開花約3週間後に終了したが、第4層より内層ではそれより早く開花約2週間後に上昇が終了した。繊維組織の最終の各層繊維束先端の節間位は内層ほど低く、最終の展開葉位および伸長節間位と同様に開花の早かった7月31日播種は5月26日播種より低かった。

前項に示した最上位展開葉位、伸長開始節間位および各層の繊維束先端のある節間位の上昇経過を、横軸に有効積算気温をとって示すと、最上位展開葉位、伸長開始節間位および各層の繊維束先端の節間位のいずれにおいても、その上昇の開始と経過が5月26日播種と7月31日播種とでほぼ近似するようになった(図3)。しかし、横軸が播種後日数から有効積算気温になっても7月31日播種の開花始期は5月26日播種より早かった。そのため、横軸が有効積算気温になっても7月31日播種の最上位展開葉位、伸長開始節間位、

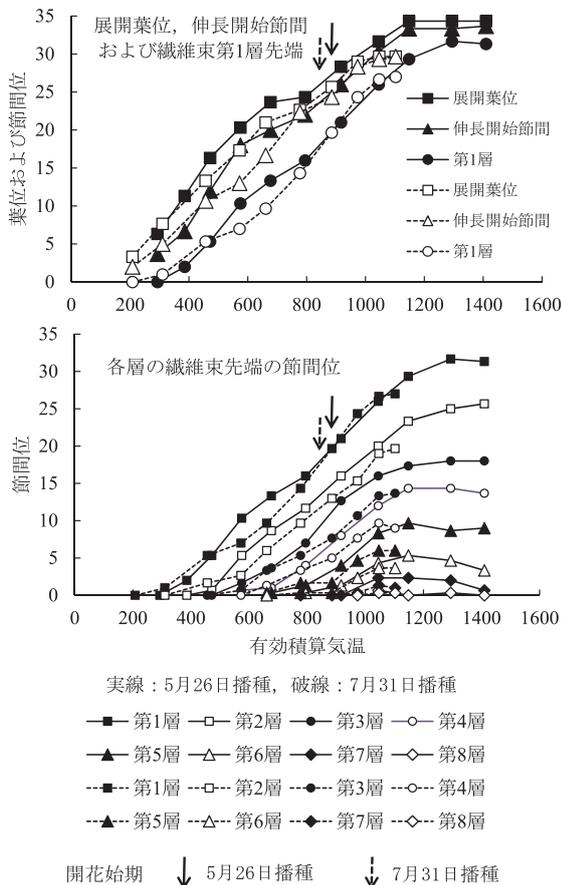


図3. ジュート主茎および最上位節側枝における最上位展開葉位、伸長開始節間位および繊維組織の層別に見た繊維束先端の節間位の有効積算気温にともなう上昇経過、およびそれらの播種期による違い。主茎の最上位の葉位および節間位に主茎最上位節側枝の葉位および節間位をつなげて表記した(n=3)。有効積算気温の有効下限温度は10℃とした。

および各層の繊維束先端の節間位の上昇終了が5月26日播種より早いことに変化はなかった。

2. 展開葉位、伸長開始節間位および各層の繊維束先端の関係

前項で示した外観および繊維組織の発育における相互関連性について詳細に検討するために、最上位展開葉位と伸長開始節間位の差(図4上)、最上位展開葉位と第1層の繊維束先端の節間位の差(図4中)および伸長開始節間位と第1層の繊維束先端の節間位の差(図4下)の推移について、有効積算気温を横軸として示した。これらはいずれも一定の値で推移することはなく、生長に伴って変化することが明らかであった。それらの差の変化について詳細に検討した結果を以下に示す。

二つの外観の発育指標同士の関係として、最上位展

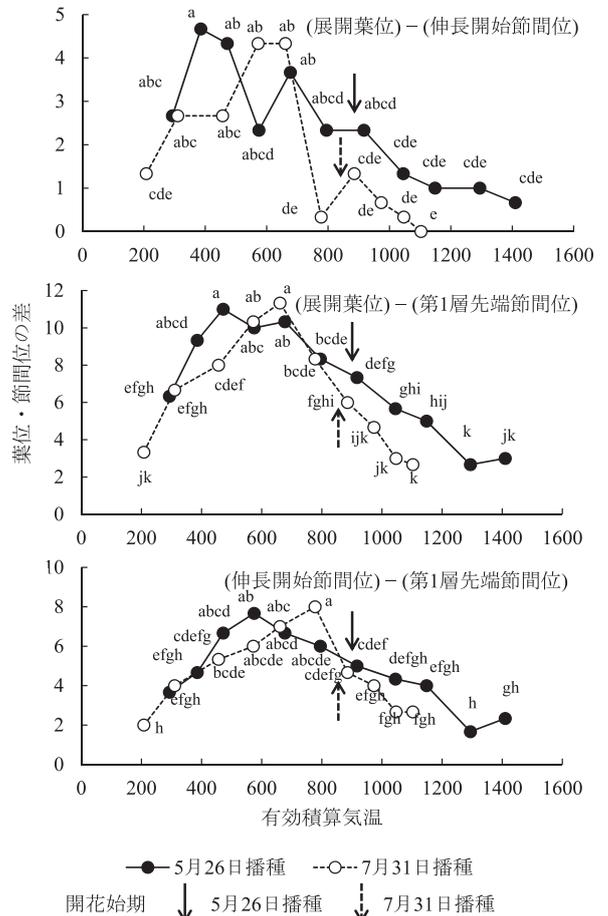


図4. ジュート主茎および最上位節側枝における最上位展開葉位、伸長開始節間および繊維第1層の繊維束先端の節間位の三者相互間の関係の有効積算気温にともなう変化、およびそれらの播種期による違い。有効積算気温の有効下限温度は10℃とした。各図中で同じ文字のついた数値間には Tukey 法による5%レベルでの有意差が無い(n=3)。

開葉位と伸長開始節間位との差は5月26日播種では比較的生育初期にあたる386℃～472℃のとき(播種33～40日後)に、7月31日播種では572℃～661℃のとき(播種31～37日後)に4.3～4.7節間で極大を示し、その後は大きく変動しながら縮小した(図4上)。それらの極大期は有効積算気温でみると200℃も異なったが、播種後日数でみると両播種期の極大期はほぼ一致していた。また、これらの極大期は開花期との間に関係がみられなかったが、生長終了期には0～0.7節間になった。

外観の発育指標と繊維組織の発達の関係として、最上位展開葉位と第1層の繊維束先端の節間位の差をみると、5月26日播種では472℃のとき(播種40日後)および7月31日播種では661℃のとき(播種37日後)にそれぞれに11.0節間および11.3節間で極大を示した(図4中)。これらの差の極大期は最上位展開葉位と伸長開始節間の差における極大期の後期とほぼ一致した。また、これらの差の極大期は有効積算気温でみると200℃近い差で7月31日播種が遅かったが、播種後日数でみるとほぼ一致していた。5月26日播種では677℃(播種54日後)まで極大期とほぼ同じ程度の差が続き、7月31日播種では差が極大を示した後すぐに縮小する傾向であったため、両播種期ともほぼ同じ時期(5月26日播種は677℃、7月31日播種は661℃)から差の縮小が始まった。この縮小開始期は両播種期とも開花の約2週間前にあつた。両播種期ともほぼ開花約3週間後まで差の縮小は続き、生長終了期には差が3.7節間および2.7節間になった。

もう一つの外観の発育指標と繊維組織の発達の関係として、伸長開始節間位と第1層の繊維束先端の節間位の差をみると、5月26日播種では575℃のとき(播種47日後)に7.7節間で、7月31日播種では777℃のとき(播種44日後)に8.0節間で極大を示した(図4下)。最上位展開葉位と第1層の繊維束先端の節間位の差と同様に、極大期は有効積算気温でみると約200℃もの差で7月31日播種が遅かったが、播種後日数でみるとほぼ一致した。また、これらの極大期は最上位展開葉位と第1層繊維束先端の節間位の差における極大期より約1週間遅く、5月26日播種では開花約3週間前、7月31日播種では開花約1週間前であった。伸長開始節間位と第1層の繊維束先端の節間位の差の場合、極大期以降は両播種期とも差が一定に保たれる期間はなく縮小した。生長終了期には5月26日播種が1.7～2.3節間まで、7月31日播種が2.7節間まで縮小した。

繊維組織の層位による発達経過の違いを明らかにするために、繊維組織の隣接する層位間における繊維束先端のある節間位の差について、有効積算気温による変動を図5に示した。いずれの場合も繊維束が観察されてから有効積算気温の上昇にともなう繊維束の先端の節間位の差が拡大した。第1層～第2層および第

2層～第3層の差は開花前に約4節間を中心として3から5節間の範囲まで拡大し、開花始期頃まではほぼ一定であった。しかし、5月26日播種の第1層～第2層の差は開花約1週間後以降、第2層～第3層の差は開花約2週間後以降、7月31日播種の1層～第2層および第2層～第3層は開花約2日後以降に6.0節間を超えて拡大した。5月26日播種の第3層～第4層から第5層～第6層まで、および7月31日播種の第3層～第4層および第4層～第5層においては、差の拡大が開花始期後まで続き、多くの場合約4節間を中心として3から5節間の範囲になった。ただし、5月26日播種の第4層～第5層および第5層～第6層は生育終了前に差が5.7節間まで大きくなった。これらより内側の層位間においては、繊維束が観察されてから数週間は有効積算気温の上昇にともなう繊維束の先端の節間位の差が拡大したが、最大でも3節間までしか拡大しなかった。

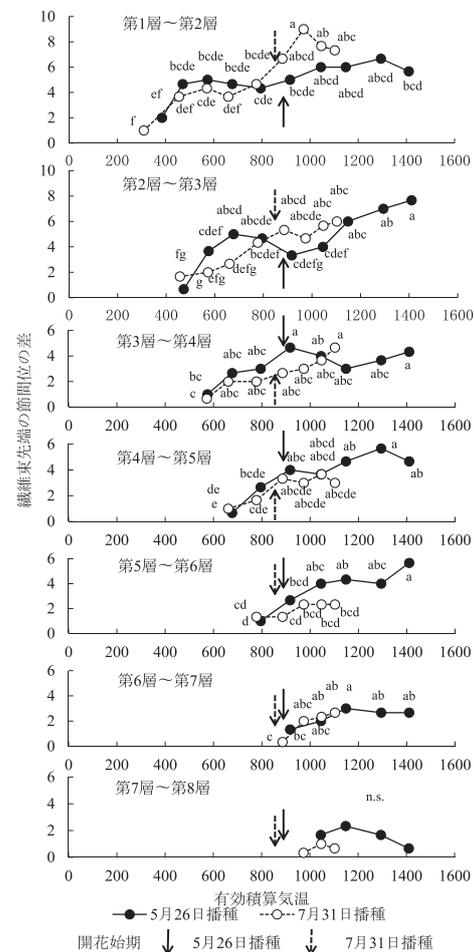


図5. ジュート主茎および最上位節側枝の繊維組織における隣接する繊維層間の繊維束先端節間位の差の有効積算気温にともなう変化およびそれらの播種期による違い。有効積算気温の有効下限温度は10℃とした。各図中で同じ文字のついた数値間には Tukey 法による5%レベルでの有意差が無い (n=3)。

3. 茎一周の繊維束数

5月26日播種および7月31日播種の第1節間における繊維組織の各層の茎一周の繊維束数の増加経過を図6に示した。どちらの播種期でも繊維組織のいずれの層においても繊維束が見え始めてから1~2週間で繊維束数が最大になったが、この時は繊維束が茎一周に発達した状態であったことが観察された。また、繊維束が茎一周に発達した後は繊維束数の変動がほとんど無かった。層別に最大になった後の繊維束数をみると、第1層から第8層まで内側の層ほど多くなる傾向であった。第9層以内の層の繊維束は観察期間中に茎一周に発達しなかった。データに示さなかったが、以上の結果は他の主茎節間においても同様であった。

繊維組織の発達がほぼ終了した5月26日播種の播種96日後および7月31日播種の播種72日後のデータを用いて、主茎第1節間から第21節間まで5節間毎の各節間における茎一周の繊維束数の繊維組織の層位による違いを図7に示し、図8にはそれらを節間別

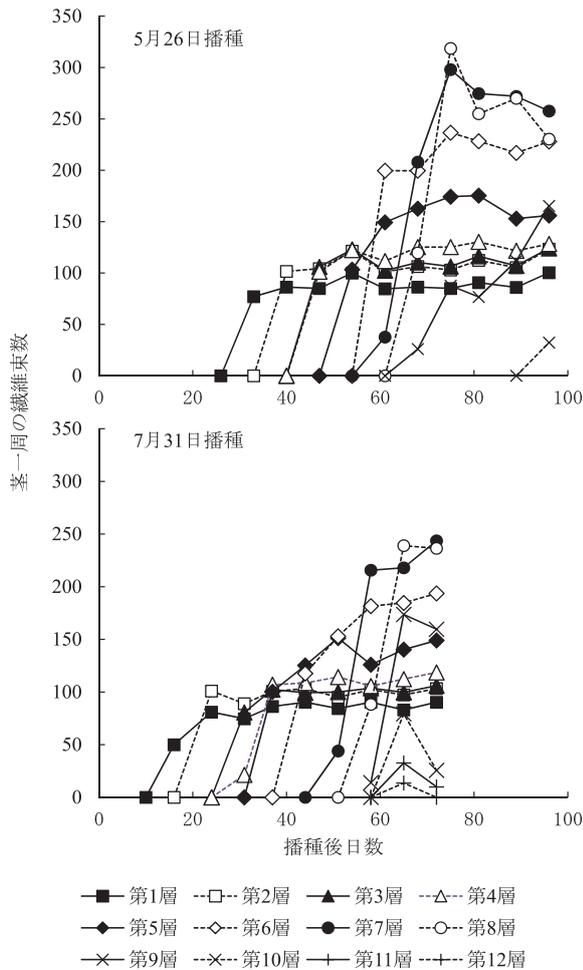


図6. ジュート第1節間横断切片の繊維組織における繊維層位別にみた茎一周の繊維束数の播種後日数にともなう変化、およびそれらの播種期による違い (n=3).

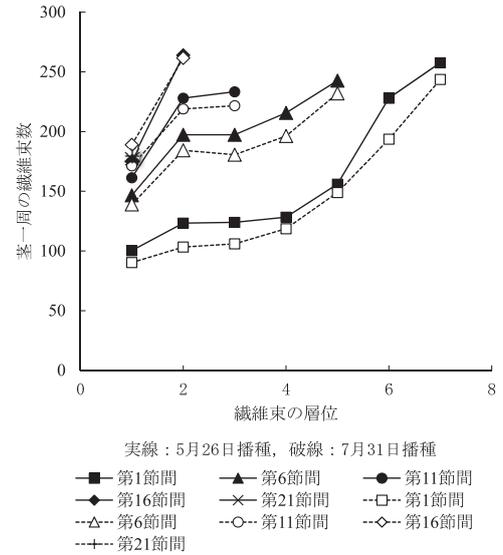


図7. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における節間別にみた茎一周の繊維束数の繊維層位による変化、およびそれらの播種期による違い。

5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日、7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた (n=3)。

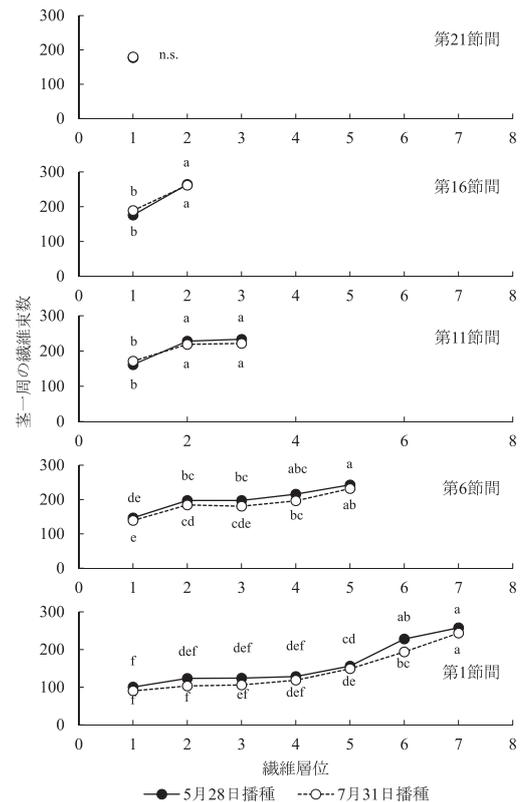


図8. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における節間別にみた茎一周の繊維束数の繊維層位による変化、およびそれらの播種期による違い。-節間別のグラフ- 5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日、7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた (n=3)。各図中で同じ文字のついた数値間にはTukey法による5%レベルでの有意差が無い、n.s.は有意差が無いことを示す。

のグラフにして統計処理の結果を示した。主茎の下部にあたる第1～11節間では、7月31日播種の繊維束数が5月26日播種よりわずかに少ない傾向であったが(図7), いずれの節間および繊維層においても播種期による違いは有意ではなかった(図8)。すべての節間のすべての繊維層位で比較すると、第1節間の第1層の繊維束数が5月26日播種および7月31日播種それぞれ100個および90個で最も少なかった(図7)。そして、各節間の繊維束数を表した各折れ線の間の比較をみると、第21節間を除いてすべての層の繊維束数が上位節間ほど多くなる傾向であった。また、同じ節間で層位による繊維束数の違いを表した1本の折れ線を見ると、同じ節間では繊維束数が内層ほど多くなる傾向であった。各節間の層位による違いを詳細にみると(図8), いずれの節間においても第1層より第2層および第3層が多く、第2層と第3層は同程度であった。第1層と第2層の差は第1節間では有意ではなかったが、第6節間以上の節間においては有意であった。第1節間において第4層は第3層と同程度であったが、第6節間では有意ではないが第3層より多い傾向であった。第4層より内層では内層ほど繊維束数が多くなり、一つ外層の繊維束数との差が有意になる場合があった。

次に繊維組織の各層における繊維束数の節間位による違いを図9に示し、図10にはそれらを層位別のゲ

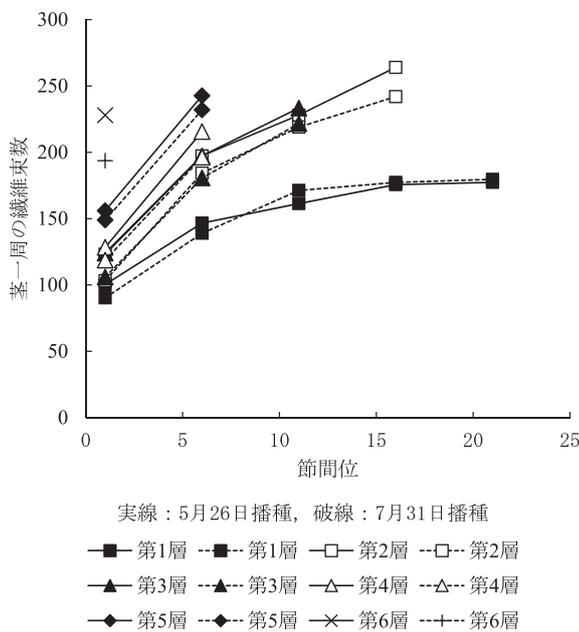


図9. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における繊維層別にみた茎一周の繊維束数の節間位による変化, およびそれらの播種期による違い. 5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日, 7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた (n=3).

ラフにして統計処理の結果を示した。第11節間～第21節間の第1層を除き7月31日播種の繊維束数が5月26日播種より少ない傾向であったが(図9), 有意差ではなかった(図10)。各層の繊維束数を表した各折れ線間の比較をみると、第1層より第2層～第4層が多い傾向であり、第2層～第4層の繊維束数は同程度であった(図9)。さらに第5層, 第6層へと繊維層が内層になるほど繊維束数は多くなる傾向であった。同じ層位で節間による繊維束数の違いを表した1本の折れ線を見ると、いずれの層位においても節間が上位になるほど繊維束数が多くなる傾向であった。詳細にみると、第1層では第1節間から第11節間まで上位節間ほど有意に多くなったが、第11節間以上では差が小さかった(図10)。それより内層の第2層～第5層では、節間が上位になるほど繊維束数が有意に多くなった。

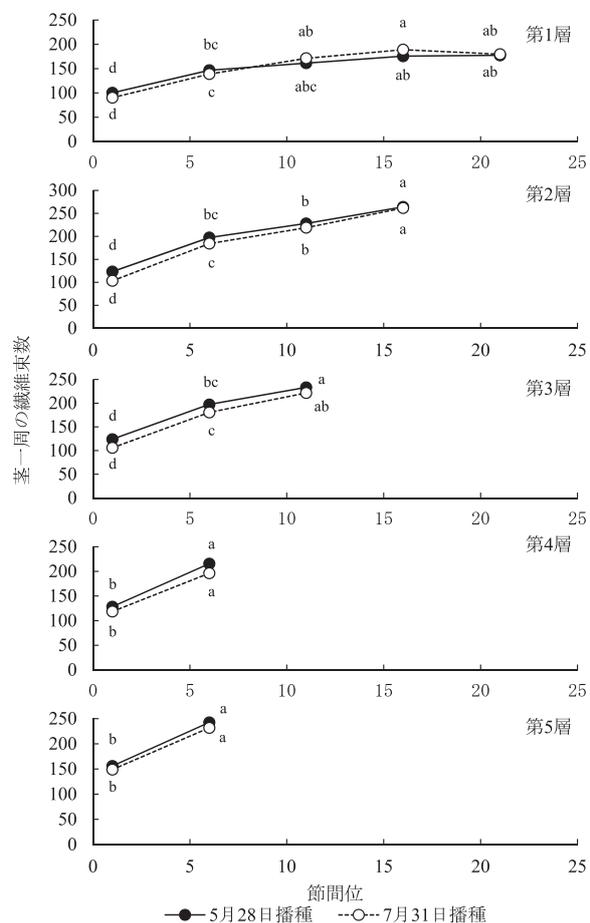


図10. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における繊維層別にみた茎一周の繊維束数の節間位による変化, およびそれらの播種期による違い. 層位別のグラフ-5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日, 7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた (n=3). 各図中で同じ文字のついた数値間にはTukey法による5%レベルでの有意差が無い。

4. 繊維細胞の大きさおよび細胞壁の厚み

5月26日播種の第1節間における繊維細胞の直径と細胞壁の厚さの増加経過について図11に示した。繊維細胞の直径に関しては、細胞壁がサフラニンで赤く染まり、繊維細胞と認識された時から細胞の直径はほとんど変化しないことが示された。一方、繊維細胞の細胞壁の厚みに関しては、繊維細胞がサフラニンで赤く染まり繊維細胞と認識された時から約1~3週間で細胞壁の厚みが最大に達して、その後変化しないことが示された。以下に生育が終わった5月26日播種の8月30日および7月31日播種の10月11日の繊維細胞直径および繊維細胞壁の厚みのデータを用いて、同一節間における繊維層位による違い(図12, 図14)および同一繊維層位における節間による違い(図13, 図15)について結果を示す。

同一節間における繊維細胞直径の層位による違いをみると、直径が小さい傾向の細胞がみられたが、それら以外の多くの繊維細胞は最小が16.4 μm, 最大が21.9 μm, 平均は18.3 μmであり、ほぼ同程度の直径で層位による違いが小さかった(図12)。有意差が無い場合が多いが、一つの節間の繊維細胞層で最も新しい最内層の繊維細胞において直径が外層の繊維細胞と比べて小さい傾向のものがみられ、それらは14.5 μmから16.4 μmであった。それらは、第21節間では5

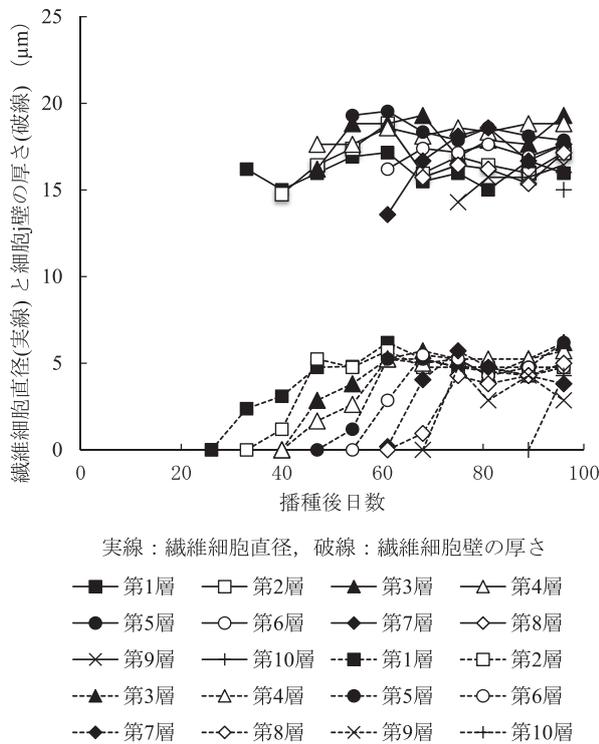


図11. 5月26日播種のジュート第1節間横断切片の繊維組織における繊維層位別に見た繊維細胞直径および繊維細胞壁の厚さの播種後日数にともなう変化, およびそれらの播種期による違い (n=3).

月26日播種の第2層, 第16節間では7月31日播種の第3層, 第11節間では7月31日播種の第4層, および第6節間では5月26日播種の第6層であった。また, 5月26日播種の茎下部の第1節間および第6節間において最も早く発達開始する第1層は, 繊維細胞の直径も16.0 μm および16.2 μmであり, わずかに小さい傾向であった。一方, 繊維組織の同一層位における繊維細胞直径の節間による違いをみると(図13), 層位による違いにおいて繊維細胞の直径が小さい傾向であった最内層の繊維細胞は(図12), 一つの層位の繊維束の部位としてみるといずれも繊維束先端に近い部分の繊維細胞であり, 下位節間と比べて繊維細胞の直径が小さい傾向であった。また, 5月26日播種で第1層の繊維束の第1節間および第6節間の繊維細胞は上位の節間に比べてわずかに小さい傾向であった。他

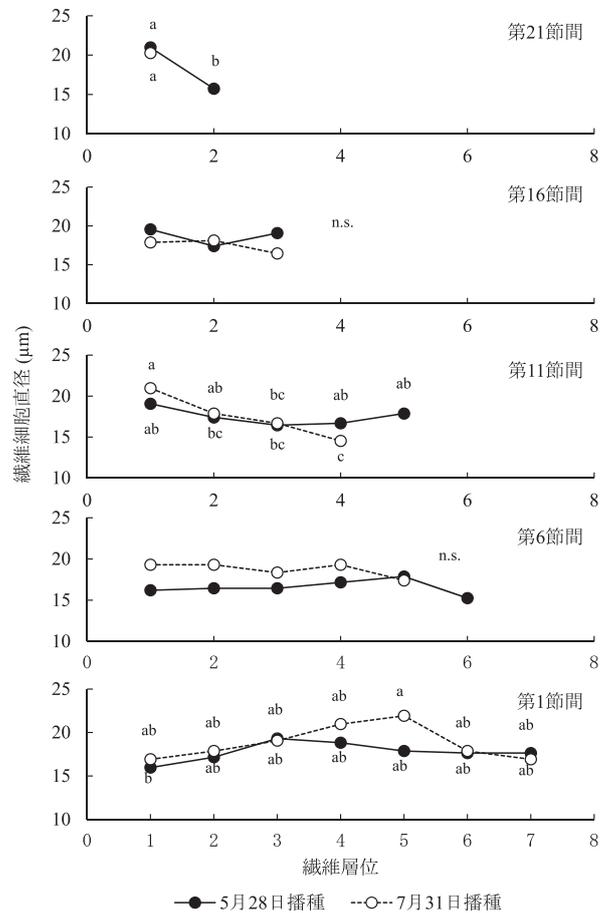


図12. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における節間別にみた繊維細胞直径の繊維層位による変化, およびそれらの播種期による違い。

5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日, 7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた(n=3)。図中で同じ文字のついた数値間にはTukey法による5%レベルでの有意差が無い。n.s.は有意差が無いことを示す。

の位置の繊維細胞はいずれも同程度の大きさで、節間位による違いが小さかった。

次に繊維細胞壁の厚さについて同一節間における層位による違いをみると、一部に薄い細胞がみられたが他は最小が4.7 μm、最大が7.6 μm、平均は5.9 μmであり、層位による違いがほとんど無かった(図14)。いずれの節間においても繊維組織の最内層の繊維細胞は細胞壁の厚みが薄い傾向であり、特に直径が小さい傾向であった繊維細胞の細胞壁の厚みは1.0 μmから3.8 μmで薄く、繊維細胞の直径はあまり小さくなくても繊維組織の最内層にあたる細胞は3.8 μmから4.3 μmで細胞壁の厚みは薄い傾向であった。また、早期に発達開始する繊維細胞で直径の小さかった5月26

日播種の第1節間および第6節間の第1層の繊維細胞は細胞壁の厚みが4.8 μm以上あり、特に薄いとはいえなかった。一方、繊維組織の同一層位における繊維細胞壁の厚さの節間による違いをみると(図15)、層位による違いにおいて繊維細胞壁の厚みが薄かった最内層の繊維細胞は(図14)、繊維細胞直径と同様にいずれも一つの層位の繊維束においては先端に近い部分の繊維細胞であり、下位節間と比べても繊維細胞壁の厚みが薄い傾向であった。

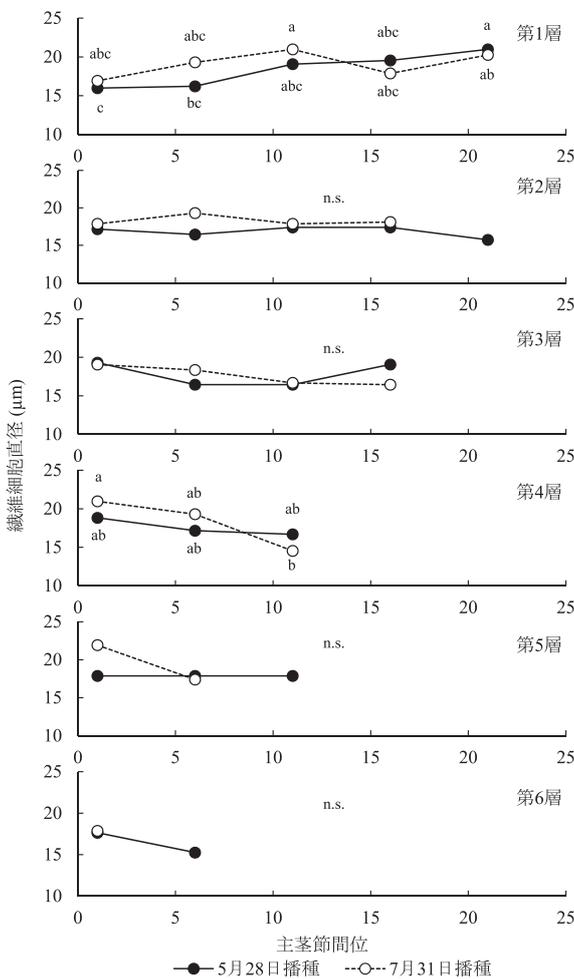


図13. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における繊維層位別にみた繊維細胞直径の節間位による変化、およびそれらの播種期による違い。

5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日、7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた(n=3)。図中で同じ文字のついた数値間にはTukey法による5%レベルでの有意差が無い。n.s.は有意差が無いことを示す。

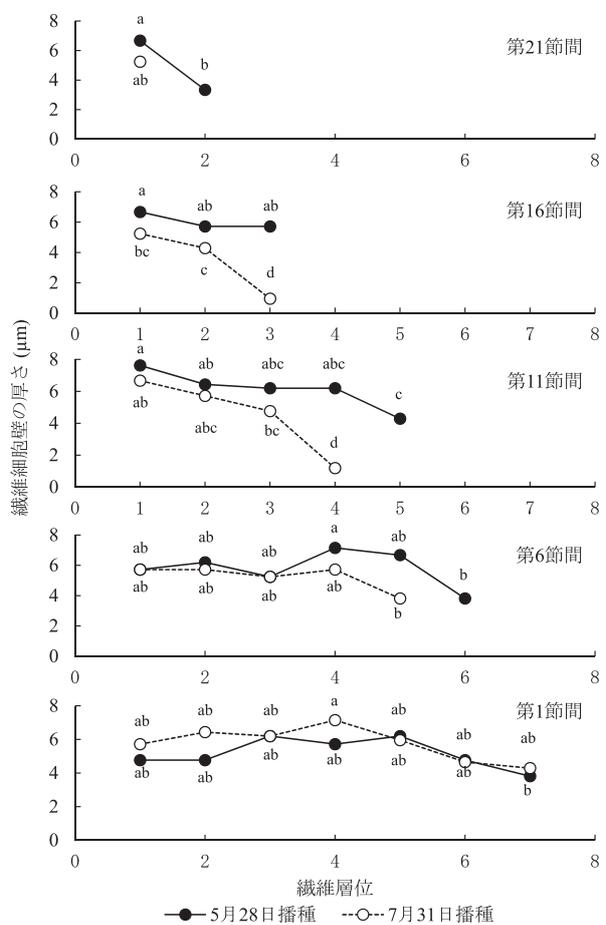


図14. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における節間別にみた繊維細胞壁の厚さの繊維層位による変化、およびそれらの播種期による違い。

5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日、7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた(n=3)。図中で同じ文字のついた数値間にはTukey法による5%レベルでの有意差が無いことを示す。

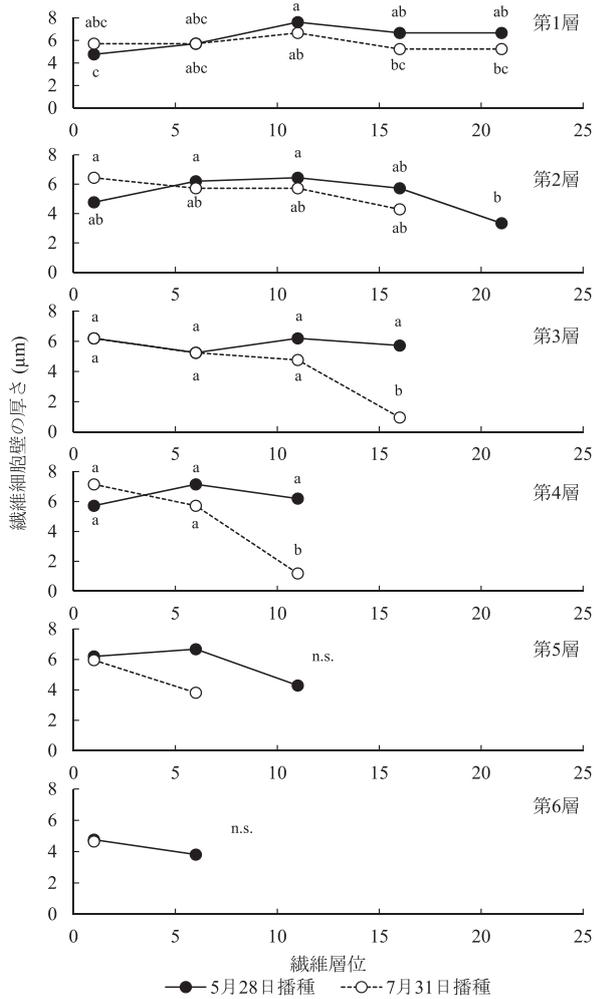


図15. ジュート主茎各節間の横断切片の繊維組織における繊維層位別にみた繊維細胞壁の厚さの節間位による変化, およびそれらの播種期による違い.

5月26日播種は最終調査日である播種後96日の8月30日, 7月31日播種は播種後72日の10月11日のデータを用いた (n=3). 図中で同じ文字のついた数値間にはTukey法による5%レベルでの有意差が無い, n.s.は有意差が無いことを示す.

考察

本研究においては, 外観の生長過程の指標として10 mm以上の長さの葉の葉位(最上位展開葉位)および1 mm以上に発達を開始した節間位(伸長開始節間)を取り上げ, 繊維組織の発達過程の指標として繊維組織の層別に繊維束の先端の存在する節間位に着目して, まず, それらの上昇経過を明らかにした. 横軸に播種後日数をとってグラフを作成すると, いずれの生長形質も生育前期に気温の高かった7月31日播種が気温の低かった5月26日播種より早く上昇が始まり,

発達が進んだ状態で推移した(図2). しかし, 横軸に有効積算気温をとると, 7月31日播種と5月26日播種の発育状況は極めて類似するようになった(図3). これらの結果から, 開花前におけるジュート茎葉の発育の進行および繊維組織の発達経過は, 同じ土壌条件および播種密度で栽培した場合には気温との関係が密接であることが明らかになった. 開花始期は, 播種後日数でみると7月31日播種が5月26日播種より早く(図2), 有効積算気温を横軸にとってもわずかであるが早かった(図3). 開花約2週間後に葉および節間の増加が終了し, やや遅れて開花2~3週間後に層別の繊維束の発達が終了し, これらの発達の終了は開花期との間に一定の関係があった. そのために, 播種後日数でも有効積算気温でも7月31日播種のそれらの発達終了期は5月26日播種より早く終了した. そのために, 最終的な最上位展開葉位および伸長開始節間だけでなく, 各層の繊維束先端の節間位も7月31日播種が5月26日播種より低くなることが明らかになった.

イネが植物単位(phytomer)の観点から見た規則性をもって生長することはよく知られているが(片山1951, 川田ら1963, 花田1977), 本研究においてはジュートにおいても植物単位の観点から見てなんらかの生長の規則性を持っているのか否かを検討した. 特に, 外観の発育過程と茎韌皮部に発達する繊維組織との間, および層状に発達する繊維組織における各層の間に関係に注目した. 外観の生長過程の指標として最上位展開葉位および伸長開始節間, 繊維組織の発達の指標として繊維組織の第1層の繊維束先端の節間位をとりあげてそれらのうちの二形質間の差をみると, 栄養生長期には最上位展開葉位の上昇より伸長開始節間の上昇が遅く, さらに第1層の繊維束先端の節間位の上昇は遅く, それらの間の差は栄養生長期に拡大し, 時期はやや異なるがいずれも開花始期前から縮小することが示された(図4). すなわち, イネでは例えば第n葉が抽出中に第(n-3)節の分蘖第1葉が抽出するといった規則が存在することが知られているが, ジュートにおいては繊維組織の発達と新葉の展開および新節間の伸長開始との間には一定の節間数の差をもって進行するような規則性が無いことが本研究から明らかになった. また, 繊維組織の各層の繊維束の発達の関係については, 第1層から第6層(5月26日播種)または第5層(7月31日播種)までのそれぞれの層位の間における繊維束先端のある節間位の差は繊維束の発達が始まってから拡大して約4節間で一時的に安定するが, 再び増加に転じて5節間を超えて拡大する場合があることが示され, これらの層位よりさらに内層の繊維束では繊維束先端のある節間位の差は3節間くらいまでしか拡大しないことが示された. すなわち, 繊維組織の各層の繊維束の発達においても各層の繊維束先

端のある節間位が一定の差で推移するような規則性が無いことが明らかになった。ただし、外観の発育過程と茎韌皮部に発達する繊維組織との間の差および繊維組織の各層の繊維束の発達経過の差が栄養生長期に拡大し、ある時期から縮小するという傾向が、これらの間の関係として存在することは明らかであった。

最上位展開葉位、伸長開始節間位および繊維組織第1層の繊維束先端の節間位、それぞれの間の差の変化について詳細に検討すると、最上位展開葉位と伸長開始節間位の差は5月26日播種および7月31日播種でそれぞれ出芽から播種33～40日後および播種31～37日後にかけて約4.5節間まで拡大し、最上位展開葉位と繊維組織第1層の繊維束先端の節間位の差は出芽から播種40日後および播種37日後にかけて約11節間まで拡大し、伸長開始節間位と第1層の繊維束先端の節間位の差は播種47日後および播種44日後にかけて約8節間まで拡大し、その後は縮小に転じた(図4)。これらの結果から、ジュートでは出芽から播種30ないし50日後までの栄養生長期に、伸長開始節間の上昇が最上位展開葉位の上昇より遅く、さらに第1層繊維束先端の節間位の上昇は伸長開始節間の上昇より遅いことが明らかになった。そして、葉の茎頂付近の節間伸長が始まっていない部分に10 mm以上になった葉が、また伸長開始節間の下方に節間伸長は起こっているが繊維組織が未発達の節間が蓄積していくことが明らかになった。蓄積する10 mm以上の葉数および繊維組織未発達の節間数はそれぞれ最大で4.5枚程度および8節間程度であり、ジュートは栄養生長が盛んな時期に茎葉の発達に対して繊維組織の発達がかなり追いつかない状況であると考えられた。

以上のように外観の発育間および外観と繊維組織の発育の間の差は拡大から縮小に転じて極大期を示したが、その時の有効積算気温は5月26日播種と7月31日播種で大きく異なった。しかし、播種後日数で見るとほとんど同じ時期であることが示された。これに関しては原因が不明であり、一層の研究が必要と考えられた。ただし、最上位展開葉位と伸長開始節間位の差および最上位展開葉位と繊維組織第1層の繊維束先端の節間位の差に関しては、5月26日播種で極大期から2週間ほど縮小が小さい傾向であり、両播種期とも本格的な拡大から縮小への転換期が開花始期の約2週間前になった。しかし、伸長開始節間位と第1層の繊維束先端の節間位の差は転換期が5月26日播種で開花始期の約3週間前、7月31日播種で約1週間前であり(図4)、差の拡大から縮小への転換期は生長形質によって異なっていた。差の拡大から縮小への転換期が開花始期の約2週間前で一致していた前二者の場合はどちらも最上位展開葉位との差であり、その最上位展開葉位は開花1週間前付近で一時的な上昇の停滞がみられた(図2、図3)。ジュートの場合、主茎先端に花

房が分化すると最上位数節の腋芽が発達を開始して最上位節側枝が主茎の代わりに主軸となって発育するが(道山2022)、この上昇の停滞の時期は主茎の出葉の終了が近くになって側枝の出葉に切り替わる時期であった。この最上位展開葉位の上昇の一時停滞が伸長開始節間位との差および第1層の繊維束先端の節間位との差を縮小する方向に転換させたことが考えられ、その転換点が開花あるいは花芽分化と関係していると考えられた。一方、伸長開始節間位および第1層の繊維束先端の節間位の上昇では最上位展開葉位でみられたような上昇の一時停滞は明確ではなかったが(図2、図3)、拡大から縮小への転換期は開花前にあった(図4)。しかし、両者の差は5月26日播種で開花始期の約3週間前から、7月31日播種で約1週間前から縮小し、拡大から縮小への転換期は播種期によって異なり、開花あるいは花芽分化と関係があると言うには不十分であった。すなわち、以上に考察した最上位展開葉位、伸長開始節間位および繊維組織第1層の繊維束先端の節間位との差が拡大から縮小に転換する時期が何に影響を受けるかを明らかにするためには一層の研究が必要と考えられた。

層状に発達する繊維組織の発達経過について考察するために、各層位の繊維束先端の存在する節間位について明らかにした結果を見ると(図5)、隣接する層の繊維束先端の差は繊維束の発達が始まってから増加するが、第1層～第2層および第2層～第3層の差は開花前に、それより内層で第5層ないし第6層まで層では開花後に、4節間を中心として3～5節間の範囲で一時的に一定になった。また、それらより内層の繊維束間の差は最大で3節間くらいになった。しかし、それらの差は安定せず、第1層～第2層および第2層～第3層の差は開花約2週間後以降に再び増加して6節間を超えて大きくなった。また、5月26日播種では第4層～第5層および第5層～第6層の差も開花約2週間後以降に6節間近くに大きくなった。第1層～第2層および第2層～第3層の差が大きくなったのは、第1層および第2層の繊維束が最上位節側枝内へ発達し、繊維束先端の節間位上昇がわずかであるが速い傾向であったことが関係しているかもしれない。しかし、5月26日播種の第4層～第5層および第5層～第6層の差が開花後に6節間近くに大きくなったのは原因不明であった。すなわち、第1層から第5層または第6層までは隣接する層間の繊維束先端の節間の差は4節間、それらより内層の繊維束の間においては差が3節間という規則が一部には有りそうにみえたが、全体をみると本実験からは繊維組織の各層繊維束の発達の関係が一定の間隔で推移するという規則性は認められないことが明らかになった。また、最上位展開葉位の上昇(図2)および本段落の繊維層間の差の変化(図5)をみると、ジュートの繊維組織の発達を考える場合最

上位節側枝が単純に主茎の延長と考えることはできないと思われた。

繊維組織の層別にみた茎一周の繊維束数については、いずれの層も繊維束が茎一周に発達した後は繊維束数の変動がほとんど無く（図6）、茎一周に発達した層に新しい繊維束が分化して繊維束数が増加することは無いことが明らかになった。繊維束数の層位による変化は1枚の横断切片にみられる各繊維層の繊維束数であり（図7、図8）、いずれの節間においても繊維束数が決定した後は繊維組織の内層ほど繊維束数が多い傾向があること（西川1949）が再確認された。これに加えて、第1層より第2層の繊維束数が多い傾向であるが、第1節間では第1層と第2層の差が小さく、第6節間以上では差が大きくなること、いずれの節間でも第2層から第4層は極めて繊維束数の差が小さいこと、第4層より内層では内層ほど繊維束数が多く、層による差が大きくなるという特徴を持つことが本研究から明らかになった。また、繊維組織の層別に節間による繊維束数の変化をみると（図8）、第1層の第16節間以上の繊維束数が同程度であったことを除き、いずれの層においても茎の上方の節間ほど繊維束数が多くなることが明らかになった。このように、層位による繊維束数の変化および節間による繊維束数の変化には特徴があることが本研究によって明らかになった。

繊維細胞の発達経過については、分化した細胞がまず伸長し、伸長終了後に細胞壁の肥厚が始まることが知られており（Esau 1977）、特にワタにおいて詳細に研究されている（Balls 1915, 西川1960）。ジュート茎の横断切片においては繊維細胞がサフラニンで赤く染まって細胞壁の肥厚が始まった後は繊維細胞の直径が変化しないこと、そして、細胞壁の肥厚が始まってから1～3週間後まで細胞壁が肥厚し、その後は変化しないことが本実験で示された（図11）。これらの結果から、ジュートにおいても繊維細胞の伸長や肥大が終わった後に繊維細胞壁の肥厚が始まることが明らかであった。

生育終了期の繊維細胞の直径については、一つの節間の繊維細胞層で最も新しい最内層の繊維細胞は、いずれも一つの層位の繊維束の先端に近い部分の新しい繊維細胞であり、直径がわずかに小さい傾向のものが多く（図12、図13）、細胞壁の厚みも薄い傾向であることが明らかになった（図14、図15）。これらには繊維細胞が伸長および肥大の途中で生長終了期に入ってしまったために繊維細胞の直径が小さく細胞壁の厚みが薄い傾向になったと思われるものがあり、繊維細胞の直径は小さくはないものの細胞壁の肥厚の途中で生長終了期に入ったために細胞壁の厚みが薄いものもあると考えられた。これらの他に、5月26日播種の第1節間および第6節間の第1層は最も早く発達開始する層位であるが、繊維細胞の直径が他よりわずかに小さ

い傾向であった。7月31日播種ではこの位置の繊維細胞が他より小さくならなかったことから、5月26日播種の生育初期の低温がなんらかの影響しているのかもしれないと考えられた。ただし、これらの繊維細胞の細胞壁はあまり薄くないことが示された。多くの他の位置の繊維細胞は十分に生長して細胞壁が十分肥厚したものと思われ、それらの直径は平均18.3 μm で、最小16.4 μm 、最大が21.9 μm の範囲、細胞壁の厚みは平均が5.9 μm で、最低が4.7 μm 、最大が7.6 μm の範囲に分布していることが明らかになった。そして、播種期および繊維細胞の位置によってはそれらにあまり変化が起こらないことが本研究から明らかになった。すなわち、本研究のようにある程度十分な水と肥料の条件でジュートが栽培された場合、5月26日播種の生育前期のような低温の影響以外では、繊維細胞の直径および細胞壁の厚みはほぼ一定に近く、繊維細胞の位置によってあまり変化しないと考えられた。本研究の範囲では一つの繊維細胞の長さについては扱わなかったが、長さ、直径、細胞壁の厚みのような繊維細胞の大きさに関しては繊維の品質に関係する特性のため今後さらに研究が必要と考えられた。

なお、ケナフおよびイチビもジュートと同様の繊維組織の構造を持っているが、茎葉の形態や花芽の着生位置などはジュートと異なることを前報で明らかにした（道山2022）。特に、繊維組織の発達する茎において、ジュートの主茎各節間は位置による長さの差が比較的小さかったのに対して、イチビは茎中央部の節間が著しく長くなることを明らかにした。しかし、各節間長の差が比較的小さいジュートにおいてさえも繊維組織の発達と新葉の展開および新節間の伸長開始との間には一定の節間数の差をもって進行するような規則性が無いことが本研究から明らかになった。ジュートより節間長の節間位による差が大きかったイチビおよびケナフにおいても同様の実験は行ったが、このような規則性が無いことは同様であった。また、繊維細胞の大きさや繊維細胞壁の厚さなどについてもイチビおよびケナフはジュートと同様であった。そのために、本研究はジュートのみを対象として繊維組織の発達経過を詳細に明らかにしたが、これは茎の韌皮部に繊維組織が層状に発達する作物の代表にできると考えた。

謝辞

本研究は名古屋大学および名城大学の元教授である故・山本良三先生の懇切丁寧なご指導とご援助のもとで行われた。また、本研究の遂行にあたって名城大学農学部作物学研究室の1988年（予備試験）および1989年の4年生たちが、本研究を卒業論文のテーマとした学生もそうでなかった学生もあわせて全員体勢で、昼夜を問わず常識を超えて熱心に協力してくだ

さった。彼らの協力がなければこの膨大な研究の作業は完結できなかったものである。ここに深く感謝いたします。

引用文献

- Balls, W.L. (1915) The Development and Properties of Raw Cotton. CHAPTER III The Development of the Boll. p. 51-85. A. &C. Black, LTD., London.
- Esau, K. (1977) The stem: Secondary State of Growth and Structural Types, in Anatomy of Seed Plants. p. 295-319. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- FAO (2020) FAOSTAT - Crop. FAO.
- 花田 毅一 (1977) 水稻における分けつ芽の分化ならびに発育に関する研究. 東京教育大学農学部紀要, **23**: 43-137.
- 片山佃 (1951) 稲麦の分蘖研究. 養賢堂, 東京.
- 川田信一郎・山崎耕宇・石原邦・芝山秀次郎・頼 光隆 (1963) 水稻における根群の形態形成について, とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日本作物学会紀事, **32**: 163-180.
- 松林実・平尾ちょう蔵 (1953) ケナフの生育特に繊維組織の発育について. 日本作物学会紀事, **21**: 331 - 333.
- 道山弘康 (2020) ジュート (*Corchorus capsularis* L.) における韌皮繊維組織の発達過程. —立体解析から見えてくる繊維組織の形態形成—. 名城大学農学部学術報告, **56**: 1 - 6.
- 道山弘康 (2022) ジュート (*Corchorus capsularis* L.), イチビ (*Abutilon theophrasti* Medik.) およびケナフ (*Hibiscus cannabinus* L.) の生長と発育に及ぼす播種期の影響. 名城大学農学部学術報告, **58**: 1 - 21.
- 西川五郎 (1949) 黄麻莖韌皮繊維組織の発育について (第一報) (要旨). 日本作物学会紀事, **18** (2~4): 1-5.
- 西川五郎 (1960) 工芸作物学. 第2章 繊維料類. 各説 第1節 紡織用繊維. p.65-192. 農業図書, 東京.

原 著

裏作レンゲ栽培およびチェーン除草を実施した水稲の有機栽培

磯井俊行^{a*}・石樽葉里^b・村野宏達^a・片山好春^c

要約 化学肥料および農薬の削減を目的に、裏作としてのレンゲ栽培とチェーン除草を組み合わせた水稲の有機栽培を4か年に渡り実施した結果、レンゲを水田全面に十分繁茂させ、田植え前にすき込むことにより、化学肥料を用いた場合と同等の収量を得た。これは、レンゲが根粒菌との共生窒素固定による窒素供給を受け化学肥料の窒素代替がなされることに起因すると考えられるが、リンをはじめとするその他の養分元素については漸減していくことも懸念され、さらに調査が必要と考えられた。チェーン除草を実施した結果、田植え後6日付近とさらに2週間までに2回目のチェーン除草を1日当たり2回行うことによりかなりの抑草効果が期待できることが推察された。また、このような有機栽培を行い生産した米の食味試験を行ったところ、慣行栽培をしたものと比べ良好になる傾向を認めた。さらに、レンゲすき込みによる水田土壌中の炭素蓄積もみられ、本有機栽培を行うことにより、化学肥料および農薬の施用削減、ひいては地球温暖化対策の一助となる可能性が示された。

キーワード：化学肥料削減，窒素固定，農薬削減，水稲食味，土壌炭素蓄積

Organic paddy cultivation with Chinese milk vetch in winter and chain-weeder

(Toshiyuki Isoi^a, Shiori Ishigure^b, Hirotatsu Murano^a, Yoshiharu Katayama^c)

Abstract For the purpose of reducing chemical fertilizer and pesticide use, organic paddy cultivation with a combination of Chinese milk vetch as a green manure and chain-weeding has been carried out for 4 years. The organic rice yield was almost the same as that of conventional farming, when Chinese milk vetch was growing well before the rice transplanting. It is considered due to the nitrogen supply from symbiotic fixation between Chinese milk vetch and rhizobia, but there is concern that other nutrient such as phosphorus may gradually decrease in the soil. Further investigations are required to evaluate the dynamics of elements. In addition, carbon accumulation was also observed in the soil of organic paddy field. Organic rice taste tended to be better than conventional rice. As a result of chain weeding, it can be alternative to herbicides. Our results suggest that organic paddy cultivation can reduce the application of chemical fertilizer and pesticide, and also may contribute to mitigate global warming.

Key words: chemical fertilizer reduction, nitrogen fixation, pesticide reduction, rice taste, soil carbon sequestration

^{a*} 名城大学農学部生物環境科学科環境土壌学研究室

isoi@meijo-u.ac.jp

〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学農学部

^{a*} Laboratory of Environmental Soil Science, Department of Environmental Bioscience, Faculty of Agriculture, Meijo University

isoi@meijo-u.ac.jp

Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya, 468-8502, Japan

^b 名城大学農学部生物環境科学科環境土壌学研究室、
現在(株)メニコンネク

^b Laboratory of Environmental Soil Science, Department of Environmental Bioscience, Faculty of Agriculture, Meijo University

Present affiliation: Menicon Nect Co., Ltd.

^c 名城大学農学部附属農場

^c Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Meijo University

2022年02月08日受付 2022年03月04日受理

緒言

近代農業において、化学資材の多投により食料が効率的に増産されてきたのと引き換えに周辺環境、ひいては地球環境への負荷が高まっているとされ、環境に調和した農業が求められるようになってきている。農林水産省は、2021年5月12日、食料・農林水産業の生産力向上と環境負荷の軽減の双方を図り、中長期的な政策方針として「みどりの食料システム戦略」を策定し、2050年までに目指す目標として、化学肥料使用量を30%低減、化学農薬の使用量(リスク換算)を50%低減、有機農業取組面積の割合を25% (100万ha)に拡大することを謳っている(農林水産省, 2021a)。日本における有機農業取組面積の割合は、2018年度で約0.5% (23.7千ha)であるので(農林水産省, 2021b)、有機農業取組面積の飛躍的な増加が必要である。

レンゲ (*Astragalus sinicus* L.) は、根粒菌との共生窒素固定による空気中からの窒素の供給を得るため、主に水田裏作としてかつての日本において多く栽培されており、1933年には30万haに達したとされている(土屋, 1991)。当時の水稲作付面積は約300万haであるので(松本, 1991)、約1割の水田裏作としてレンゲが導入されていたことになる。しかし、近年レンゲの利用はあまり見られなくなっており、これは化学肥料の普及や田植えの早期化に伴うものと考えられる。

このような背景の下、化学肥料使用量の低減、有機農業取組面積の拡大の視点より、附属農場水田において、化学肥料を用いず裏作としてレンゲを栽培し、さらに除草剤施用をチェーン除草(粕渕ら, 2019)で代替する試みを行い、収穫した米については食味試験を行った結果について報告する。

材料および方法

試験区、水稲およびレンゲ栽培

名城大学農学部附属農場内で慣行栽培を継続している水田内に有機栽培区(約8×40m)を設置した(2017年6月)。有機栽培区は化学肥料を用いず、隣接する慣行栽培水田(約25×40m)から波板を用いて隔離した。2017年11月11日にレンゲ種子1kgを全面に播種し、以後、レンゲの開花、結実後の田植え前に生育したレンゲをすき込んだ。また、有機栽培区ではイネの種子消毒をベンレート水和剤(1000倍液, 24時間浸漬)を用いた以外に農薬を施用せず、田植え後にチェーン除草を行った。これらの圃場管理について表1に示した。なお、チェーン除草に用いたチェーン除草機は、長さ150cmの塩ビ管に2.5cm間隔で長さ50cmのチェーンを50本つけたものであり、田植え後の水稲が活着した後に図1に示すように水田上面を牽



図1 チェーン除草

引した。このように実施するチェーン除草は、発芽前後の雑草を浮かせることにより抑草することができる。比較対照とした隣接する慣行栽培水田(慣行栽培区)では、化成肥料(側条エース(スーパーL)複合34-3-3, JA あいち経済連)を10a当たり36kg施用し、除草剤として2017および2018年は忍1キロ粒剤(住友化学)およびクリンチャー1キロ粒剤(コルテバ・アグリサイエンス)を10a当たり各1kg散布、2019および2020年は天空1キロ粒剤(日産化学)およびクリンチャー1キロ粒剤を10a当たり各1kg散布した。イネ品種はあいちのかおりを用い、苗床に播種する前にベンレート水和剤1,000倍液に24時間浸し種子消毒を行った。田植えは、条間と株間を30cm×18cmとり、10a当たり18,519株の密度で行った。なお、2018年まで殺虫剤としてフィプロニル粒剤(プリンス粒剤)を苗箱1箱当たり50cc(10a当たり1250cc)散布していたが、2019年以降は使用しなかった。

土壌試料の採取および調製

土壌試料は対角線採土法に基づいて、2019年10月26日および2020年10月2日に各試験区の計5か所から表層約0~5cmの土壌を移植ごてを用いて採取し、室温で1週間以上風乾させた後、2mmの篩に通しこれを風乾細土とし、各測定に用いた。

統計分析

統計解析ソフト「R」(var.3.6.1)を用い、土壤化学性については一元配置分散分析後、有意差 ($P < 0.05$) があつた場合は Tukey ($P = 0.05$) によって多重比較を行った。また、収量については t 検定を行った。

結果

レンゲの生育

2017年11月11日にレンゲを播種し、2018年4月2日に根粒着生を確認した。2019年の有機栽培区で開花しているレンゲと隣接する慣行栽培区の様子を図2に示した。2020年のレンゲの生育は悪く、パッチ状となり水田前面に広がっていなかった(2020年4月10日



図2 試験区 (2019年5月17日撮影)
左: 慣行栽培区
右: 有機栽培区(レンゲが開花中)

確認)。

土壤化学性

土壤化学性の測定結果を表3に示した。pHおよび全窒素含量には試験区間および年次間に有意な差は認

められなかったが、有機栽培区において全炭素含量は年次進行とともに有意に増加、有効態リン酸含量は有意に減少した。

雑草の生育

2017年は7月より、2018年は9月より主にタイヌビエ (*Echinochloa oryzicola* (Vasing.) Vasing) の繁茂が認められたが、2019年および2020年はこれら雑草の生育はわずかしら認められず、除草を必要としなかった。

水稻の生育と収量

2017年から2020年に渡る4か年の両試験区の収量(精玄米重)の推移を図3に示した。精玄米重は、慣行栽培区で366~577g/m²、有機栽培区で259~557g/m²の年次間差を示した。また、精玄米重は、2017年および2020年は有機栽培区において有意に低かったが、2018年および2019年はほぼ同等の収量を

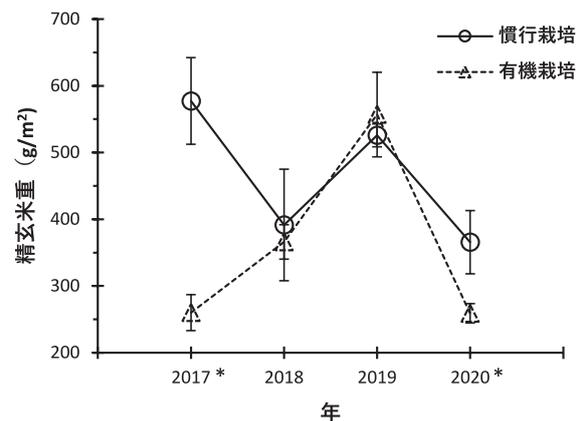


図3 慣行栽培区および有機栽培区の精玄米収量(平均値±標準偏差)

*を付した年は両区間に有意差あり(t検定, 5%水準)

示した。

表3 試験圃場の土壤化学性(平均値±標準偏差)

	2019年10月26日		2020年10月2日	
	慣行栽培	有機栽培	慣行栽培	有機栽培
pH(H ₂ O)	6.06a ± 0.22	5.90a ± 0.15	6.15a ± 0.06	5.91a ± 0.17
全炭素含量 (mg/g乾土)	30.9ab ± 2.6	28.6a ± 0.7	30.9ab ± 1.3	36.0b ± 5.9
全窒素含量 (mg/g乾土)	2.93a ± 0.68	2.44a ± 0.08	2.56a ± 0.16	3.00a ± 0.47
有効態リン酸 (P ₂ O ₅ mg/100g乾土)	31.3ab ± 1.9	35.7c ± 1.9	33.9bc ± 2.8	29.7a ± 2.3

一元配置分散分析後、有意差 ($P < 0.05$) があつた場合は、Tukey ($P = 0.05$) によって多重比較を行い、各測定項目で差があつたものを異なる英小文字で示した。

食味試験

食味試験は慣行栽培区由来の炊飯米を基準とし、有機栽培区由来のものと比較した。各項目について22名のパネラーの合計点の平均を図4に示した。なお、表2に示した調査用紙を集計したところ、判定は-3~+3の範囲にあり、それを図4に示した0~6に置き換えて示した。光沢や煮崩れ・碎粒には大きな差はなかったものの、白度、香り、味、粘りにおいては有機栽培区の炊飯米の方が優れているという評価になった。一方、硬さでは慣行栽培区の炊飯米の方が優れているという傾向がみられた。総合評価では多くのパネラーが有機栽培区由来の炊飯米が慣行栽培区のものと同様以上と評価し、全体的な食味評価では有機栽培区由来の炊飯米の方が優れているという傾向が認められた。

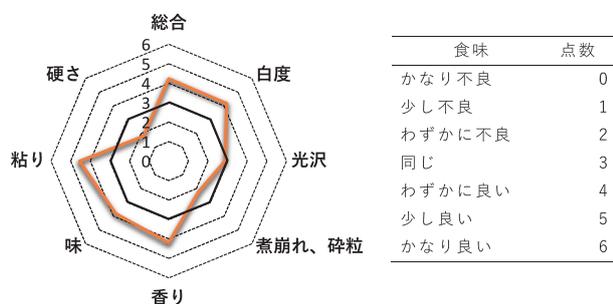


図4 食味試験の評価図

考察

水田裏作にレンゲを栽培し、田植え前にすき込むことによる化学肥料代替効果について検討した。試験初年の2017年は、化学肥料無施用である有機栽培区における水稲収量が化学肥料を施用している慣行栽培区に比べて有意に低かったが、レンゲ栽培後それらをすき込んだ2018年および2019年の有機栽培区の水稲収量は慣行区と同等であった(図3)。2020年度は有機栽培区の収量が有意に低かったが、これは当年のレンゲ生育量が比較的少なかったためにそのすき込み量が少なく、肥料効果が低減したためと考えられた。表3に示すように、2019年10月と2020年10月の土壤化学性の1年間の変化からレンゲすき込みによる土壤炭素含量の有意な増加が認められ、炭素が蓄積していることが推察された。このような土壌中への炭素の蓄積は、温室効果ガスとされる二酸化炭素の大気中の濃度を減少させることが期待され、農林水産省による「農地土壌炭素貯留等基礎調査事業」が継続して実施されている(農林水産省, 2022)。化学肥料無施用によるリン酸含量の有意な減少も認められたが、その値は水田土壌の基本的な目標値(農林水産省, 1984)に示さ

れた値(10mgP₂O₅/乾土100g以上)は満たしていた。また、窒素についてはレンゲ根粒による窒素固定により、化学肥料無施用においても窒素供給がなされていたことが推察された。このように有機栽培区においては、リン酸などの養分元素量の低下が懸念されるが、これまでのところレンゲすき込みによる化学肥料代替効果が現れていると考えられた。養分元素の変化についてはさらに調査が必要である。

有機栽培区では、チェーン除草を行うことによる除草剤代替効果についても検討した。「結果」の項に示した年次ごとの雑草繁茂の状況と表1に示したチェーン除草実施方法の結果より、田植え後6日付近とさらに2週間までに2回目のチェーン除草を1日当たり2回行うことによりかなりの抑草効果が期待できることが推察された。

基準を慣行栽培区由来の炊飯米とし、有機栽培区由来の炊飯米の食味について食味試験を実施し、比較検討した。白度、香り、味、粘りにおいては有機栽培区の炊飯米の方が優れているという評価が得られ、全体的な食味評価においても有機栽培区由来の炊飯米の方が優れているという傾向を示した(図4)。これらの傾向は石ら(1996)も報告している。

以上に述べたように、裏作としてレンゲを栽培し、水稲栽培の初期にチェーン除草を行うことにより化学肥料、除草剤を削減できることが明らかとなった。さらに、レンゲのすき込みを通して大気中の二酸化炭素を削減させる可能性についても示された。このような気候変動に対する土壌への炭素蓄積の重要性については数々の論文で指摘されている(Lal *et al.* 2021, Rumpel *et al.* 2019)。このように緑肥として植物体を土壌にすき込んだことにより土壌中の炭素含量が増加した場合、それがメタン生成菌の働きで同じく温室効果ガスであるメタンに変換され、大気中に放出されることには注意が必要である。そのため、レンゲ植物体が土壌に還元された後の炭素の動態について詳細な調査が望まれる。

謝辞

本研究における水田管理は附属農場の新美茂技術職員にお願いしました。また、食味試験においては、愛知県農業総合試験場作物研究部より炊飯器をお借りし、さらに、食味試験調査用紙の提供を受けました。また、食味試験のパネラーとしては、田中愛梨氏をはじめとする2020年度生物環境科学科環境土壌学研究室の皆様に参加いただきました。農業生産法人みどりの里の野中慎吾氏にはチェーン除草機の作成と実施について教示いただきました。また、チェーン除草機の作成に際しては、葭川峻氏(2017年度環境土壌学研究室4年生)の協力を得ました。これらのご協力をいた

いただきました皆様に記して感謝いたします。

引用文献

- 粕淵辰昭・荒生秀紀・安田弘法 (2019) 肥料や農薬に依存した現代農業への警鐘—江戸時代に開発された水田の多数回中耕除草法が意味するもの—。土壤の物理性, **141**: 65-69.
- 川村周三 (2014) 農作物・食品の安全と品質の確保技術 (第7回) —官能評価: 人間の五感をセンサとした計測技術—。農業食料工学会誌, **76**: 374-378.
- Lal,R., J.Bouma, E.Brevik, L.Dawson, D.J.Field, B.Glaser, R.Hatano, A.E.Hartemink, T.Kosaki, B.Lascelles, C.Monger, C.Muggler, G.M.Ndzana, S.Norra, X.Pan, R.Paradelo, L.B.Reyes-Sanchez, T.Sanden, B.R.Singh, H.Spiegel, J.Yanai and J.Zhang (2021) Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. *Geoderma Regional* **25**: e00398
- 松本顕 (1991) 水稻栽培管理技術の変遷. 33 水稻の栽培, 野口弥吉・川田信一郎監修 第2次増訂改版 農学大事典, p.1265-1271. 養賢堂, 東京.
- 農林水産省 (1984) 水田土壤の基本的な改善目標値
- 農林水産省 (2021a) みどりの食料システム戦略.
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html#sakutei> (2021年10月5日閲覧)
- 農林水産省 (2021b) (3) 有機農業の更なる推進. 第9節 気候変動への対応等の環境政策の推進, 第2章 農業の持続的な発展, 令和2年度食料・農業・農村白書, p.220-222. 農林統計協会, 東京.
- 農林水産省 (2022) 農地土壤炭素貯留等基礎調査事業 (令和4年度). (https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/attach/pdf/tuti_chyosa-32.pdf (2022年2月5日閲覧))
- Rumpel,C., F.Amiraslani, C.Chenu, M.G.Cardenas, M.Kaonga, L.Koutika, J.Ladha, B.Madari, Y.Shirato, P.Smith, B.Soudi, J.Soussana, D.Whitehead and E.Wollenberg (2000) The 4p1000 initiative : Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio*, **49**: 350-360
- Truog, E (1930) The determination of the readily available phosphorus of soils. *J. Am. Soc. Agron.*, **22** : 874-882
- 土屋茂 (1991) 緑肥作物. 16 飼肥料作物, 野口弥吉・川田信一郎監修 第2次増訂改版 農学大事典, p.768-769. 養賢堂, 東京.
- 力石サダ・志賀康造・金子精一 (1996) 自然, 慣行両農法で生産した魚沼産コシヒカリの米の食味比較について. *栄養学雑誌*, **54**: 377 ~ 382.

資 料

農学部附属農場本館屋上の植物相

橋本 啓史^{1)*}・西部 めぐみ²⁾・伊藤 玄³⁾・小菅 崇之⁴⁾

要約 国の準絶滅危惧種イシモチソウが生育していた本学農学部附属農場本館屋上の草地在り、2021年に工事のため失われることになり、一部のイシモチソウの株を保全のために移植した。その移植作業時に採取した植物の標本リストと、過去の卒業研究で記録に残る本館屋上の植物リストから、これまでに本館屋上にあった維管束植物の植物相をまとめた。2021年度は、木本植物と開花していた草本種を中心に、19科26種（種同定に至らなかった種も含む）の標本を採取した。2003年度は12種が、1996年度は17種が、卒業研究によって報告されていた。標本採取はしていないが2021年に目視確認した種を含めて合計すると21科44種となった。近年に新たに記録された種は、風散布や動物被食散布によって種子が散布される種が多かったが、どのようにして屋上に種子が辿り着いたのか不思議な種も含まれていた。

キーワード：維管束植物、イシモチソウ、屋上緑化、春日井市、附属農場

Flora on the roof of the main building of the Meijo University Experimental Farm

(Hiroshi Hashimoto^{1)*}, Megumi Nishibu²⁾, Gen Ito³⁾ and Takayuki Kosuge⁴⁾)

Key words: vascular plant, *Drosera peltata*, rooftop greenery, Kasugai City, University farm

^{1)*} 名城大学農学部生物環境科学科景観解析学研究室、〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学農学部 電話：052-838-2521 FAX：052-838-2521 E-mail：hihashi@meijo-u.ac.jp

¹⁾ Laboratory of Landscape Analysis, Department of Environmental Bioscience, Faculty of Agriculture, Meijo University,

²⁾ なごや生物多様性センター,

²⁾ Nagoya Biodiversity Center,

³⁾ 龍谷大学生物多様性科学研究センター,

³⁾ Research Center for Biodiversity Science, Ryukoku University,

⁴⁾ なごや生物多様性保全活動協議会

⁴⁾ Nagoya Biodiversity Conservation Activity Council

2022年01月31日受付 2022年02月21日受理

緒言

愛知県春日井市東部に位置する本学農学部附属農場（以下農場という）の本館は、戦争中は鷹来陸軍工廠の建物で、建築された昭和16年（1941年）当時、構内の湿地周辺から土を持ち上げて草地を作り、空襲時のカムフラージュを図った（磯井 2018）。その際の土に入っていた株由来と考えられる食虫植物のイシモチソウ *Drosera peltata* Thunb. var. *nipponica* (Masam.) Ohwi（国の準絶滅危惧種、愛知県の絶滅危惧 I B 類）が長年屋上に群生し（横内ら 1999）、度々、地元の中日新聞等で取り上げられてきた。

そのような貴重な植物も生育していた本館屋上の草地であるが、2021年度に本館のリファイニング工事に伴い、撤去して防水工事が行われることとなった。愛知県の絶滅危惧種であり、農場内では既に地上部での生育地が失われたイシモチソウ（磯井 2018）が、屋上からも失われてしまうことに著者らは危機感を持った。農学部長、農場長などとも相談の上、一部のイシモチソウの株を約180L（内寸法（mm）上部：990×650、底部：940×610、高さ：295）のコンテナ（ブル・コンテナ ジャンボ角（伸和製））12個に移植し（図1）、9個のコンテナはリファイニング工事後の屋上に戻すほか、農場圃場内の池付近に3個のコンテナを置いて保全することとした（花卉圃場でも別途、数株を保全）。また、なごや生物多様性センター（名古屋市天白区）でも数十株を域外保全することとした。移植作業は、卒業生・学部生有志の協力の下、2021年3月27日、4月24日、5月8日、5月22日、5月29日、7月4日に実施した。工事後に本館屋上に戻す予定のコンテナ9個は、一時的な設置場所として、7月9日に南側の教育研究館屋上に本館工事を行う土屋組（TSUCHIYA 株式会社）の協力でクレーン車を用いて移動し、圃場内の池付近に置くコンテナ3個は、同日に土屋組と農



図2. 圃場内池北側に設置したコンテナ

場技術職員の協力で移動し、池北側の水際に設置した（図2）。

イシモチソウについてはこれで保全が図られることとなったが、屋上草地のほとんどが失われることから、これまで屋上に生育していた植物相を記録に留めておこうと考え、2021年3月27日、4月24日、5月8日、5月22日、5月29日、7月4日に移植作業に併せて木本植物と主に開花している草本種の標本採取を行った。種同定に際しては、愛知教育大学名誉教授の芹沢俊介氏、愛知植物の会の村松正雄氏、名古屋産業大学講師の長谷川泰洋氏の協力を得た。

本報告では、2021年の移植作業時に採取した標本リストと、過去に本学農学部・植物学研究室および植物資源学研究室（現在の植物保全学研究室）の卒業研究で記録に残る本館屋上の植物リストから、これまでに本館屋上にあった維管束植物の植物相をまとめた。なお、植物の分類は、基本的に『愛知県の生物多様性グリーンデータブックあいち2017－維管束植物編－』（愛知県環境部自然環境課 2017）に従った。

本館屋上の概況

附属農場本館は東西約70m、南北約14mの2階建ての建物で、屋上緑化地は、屋上中央の塔屋からの通路を挟んで東西2か所に分かれている（図3,4；かつては塔屋の屋上や1階玄関の大庇の上も草地となっていたようである）。草地は約30cmの高さのコンクリート壁で囲われた内側に土が盛られたところに成立している。コンクリート壁には水抜き穴がないようで、雨水が溜まり、常に土壤水分が高いようである（図5）。東西共に中央部はかつて高射砲台となっており、少し土が多く盛られて高くなっている。なお、屋上の草地内ではカルガモ *Anas zonorhyncha* が営巣し、2021年は少なくとも二度の産卵が行われ、ヒナを連れた親鳥の姿も目撃した。過去にはメリケンカルカヤ



図1. コンテナに移植したイシモチソウ



図 3. 本館屋上東側



図 5. イシモチソウの株を掘り取った跡の様子



図 4. 本館屋上西側

Andropogon virginicus L. などの帰化植物の侵入や夏場の乾燥などの影響によってイシモチソウの個体数が減少していくことが危惧され（横内ら 1999），年 2 回程度の草刈りが行われたようであるが，最近では草刈りはされずに放置されているようである。

屋上の植物相

2021 年度は，木本植物と開花していた草本種を中心に，19 科 26 種（種同定に至らなかった種も含む）の標本を採取した（表 1）。2002 年度は 12 種が（藤城・宮田 2003），1996 年度は 17 種（家田・北原 1997，亀岡 1997）が，卒業研究によるイシモチソウ研究や附属農場の植物相調査によって報告されていた（表 1）。合計すると 21 科 43 種となった。このほかに，採取はしていないが，おそらく植栽されたシラン *Bletilla striata* (Thunb.) Rchb.f. の生育も 2004 年（2004 年 5 月 19 日に西部撮影の写真あり）や 2021 年に確認している。2010 年代にススキ *Miscanthus sinensis* Andersson も生えていたと記憶している卒業生もいる。なお，1996 年度の卒業研究（家田・北原 1997，亀岡 1997）で採集された標本の一部は農場本館屋上の塔屋に残されて

いたので，状態の良いものは，2021 年採取の標本と共に，後日，農場本館史料室の標本庫に収めたい。農学部標本庫にあったそれ以前の本館屋上で採取された植物標本は，1952 年のイシモチソウだけである（橋本 2019）。

記録種数は 1996 年度から 2002 年度にかけて減少し，2021 年は 7 月初めまでの調査にも関わらず，最大値を記録している。2021 年に新たに記録された種は 19 種であった。1996 年度と 2002 年度の調査努力量をはっきりしないので，本当に当時なかったのか不明であるが，新たに加わった種には，風散布種（ユリ科，カヤツリグサ科，イネ科），動物被食散布種（バラ科，グミ科，アサ科，トウダイグサ科アカメガシワ）が多い。しかし，特に散布器官をもたない種もいくつか記録されていて，どのようにして屋上まで辿り着いたのか，不思議である。当初屋上に上げられた土に含まれていた種子が埋土種子となり，生育条件が整った年だけ発芽し，生育した可能性もあるが，上記のようにカルガモが屋上に営巣しているので，湿地等で足や腹に付着した泥と共に種子が運ばれることもあったのかもしれない。逆に 2002 年度には記録されたものの 2021 年には記録できなかった種は 6 種であった。2021 年は草本種は開花していたものを中心に採取したので，7 月以降に開花する植物は，生育していたとしても記録から漏れているが，メリケンカルカヤについては，前年度のものと考えられる枯れた姿は目視確認している。木本種のアイグロマツ *Pinus × densithunbergii* Uyeki や春に花の咲くチチコグサ *Euchiton japonicum* (Thunb.) Anderb. と ホソバニガナ *Ixeridium beauverdianum* (H.Lév.) Springate. は絶えた可能性が高い。ただし，ホソバニガナは愛知県には本来自生しないとされるので（愛知県環境部自然環境課 2017），種同定には疑問が残る。しかし，標本が残されていないので検証できない。なお，本種は国の絶滅危惧 I B 類に指定されている。

表1. 本館屋上で1996年度, 2002年度, 2021年度に記録のあった維管束植物のリスト.

No.	科名	和名	学名	1996	2002	2021
1	マツ科	アイグロマツ	<i>Pinus × densithunbergii</i> Uyeki		○	
2	ユリ科	コオニユリ	<i>Lilium leichtlinii</i> Hook.f. f. <i>pseudotigrinum</i> (Carrière) H.Hara et Kitam.			20210704
3	ラン科	シラン	<i>Bletilla striata</i> (Thunb.) Rchb.f.			※
4	ラン科	ネジバナ	<i>Spiranthes sinensis</i> (Pers.) Ames var. <i>amoena</i> (M.Bieb.) H.Hara		○	20210704
5	アヤメ科	オオニワゼキショウ	<i>Sisyrinchium iridifolium</i> Humb. et Kuntz. var. <i>laxum</i> (Otto) F.Maekawa			20210508
6	アヤメ科	ニワゼキショウ	<i>Sisyrinchium rosulatum</i> E.P.Bicknell	○		
7	カヤツリグサ科	イトハナビテンツキ	<i>Bulbostylis densa</i> (Wall.) Hand.-Mazz.	○		
8	カヤツリグサ科	アオスゲ	<i>Carex leucochlora</i> Bunge			20210508
9	カヤツリグサ科	テンツキ属の一種	<i>Fimbristylis</i> sp.			20210529
10	イネ科	ヌカボ	<i>Agrostis clavata</i> Trin. subsp. <i>matsumurae</i> (Hack. ex Honda) Tateoka		○	
11	イネ科	メリケンカルカヤ	<i>Andropogon virginicus</i> L.	○	○	※
12	イネ科	トダシバ	<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka	○		
13	イネ科	ヒメコバンソウ	<i>Briza minor</i> L.			20210522
14	イネ科	オガルカヤ	<i>Cymbopogon tortilis</i> (J.Presl) Hitchc. var. <i>goeringii</i> (Steud.) Hand.-Mazz.	○		
15	イネ科	オオウシノゲサ	<i>Festuca rubra</i> L. var. <i>rubra</i>	○		
16	イネ科	フシゲチガヤ	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeusch. var. <i>koenigii</i> (Retz.) Pilg.		○	20210508
17	イネ科	ネザサ	<i>Pleiblastus argenteostriatus</i> (Regel) Nakai f. <i>glaber</i> (Makino) Murata	○	○	20210522
18	イネ科	シバ	<i>Zoysia japonica</i> Steud.	○	○	
19	マメ科	シバハギ	<i>Desmodium heterocarpon</i> (L.) DC.	○		
20	マメ科	コマツナギ	<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsum.		○	20210508
21	マメ科	メドハギ	<i>Lespedeza cuneata</i> (Dum.Cours.) G.Don	○	○	20210522
22	マメ科	ネコハギ	<i>Lespedeza pilosa</i> (Thunb.) Siebold et Zucc.			20210529
23	バラ科	サクラ属の一種	<i>Prunus</i> sp.			20210508
24	バラ科	ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.			20210508
25	バラ科	ミヤコイバラ	<i>Rosa paniculigera</i> (Koidz.) Makino ex Momiy.			20210529
26	グミ科	アキグミ	<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb. var. <i>umbellata</i>			20210508
27	ニレ科	アキニレ	<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.			20210529
28	アサ科	ムクノキ	<i>Aphananthe aspera</i> (Thunb.) Planch.			20210508
45	アサ科	エノキ	<i>Celtis sinensis</i> Pers.			20200508
29	トウダイグサ科	アカメガシワ	<i>Mallotus japonicus</i> (L.f.) Müll.Arg.			20210508
30	ビャクダン科	カナビキソウ	<i>Thesium chinense</i> Turcz.			20210704
31	タデ科	スイバ	<i>Rumex acetosa</i> L.			20210508
32	モウセンゴケ科	イシモチソウ	<i>Drosera peltata</i> Thunb. var. <i>nipponica</i> (Masam.) Ohwi		○	20210704
33	ナデシコ科	ノミノツヅリ	<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.			20210508
34	サクラソウ科	コナスビ	<i>Lysimachia japonica</i> Thunb.			20210508
35	ムラサキ科	キュウリグサ	<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl.			20210508
36	オオバコ科	マツバウンラン	<i>Nuttallanthus canadensis</i> (L.) D.A.Sutton	○		
37	シソ科	イヌコウジュ	<i>Mosla scabra</i> (Thunb.) C.Y.Wu et H.W.Li	○		
38	キク科	ノコンギク	<i>Aster microcephalus</i> (Miq.) Franch. et Sav. var. <i>ovatus</i> (Franch. et Sav.) Soejima et Mot.Ito	○		
39	キク科	ハルジオン	<i>Erigeron philadelphicus</i> L.	○		
40	キク科	チチコグサ	<i>Euchiton japonicum</i> (Thunb.) Anderb.		○	
41	キク科	ホンバニガナ	<i>Ixeridium beauverdianum</i> (H.Lév.) Springate		○	
42	キク科	ニガナ	<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev	○		20210508
43	キク科	ハイニガナ	<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev var. <i>stoloniferum</i> (Kitam.)	○		
44	キク科	ハハコグサ	<i>Pseudognaphalium affine</i> (D.Don) Anderb.	○		

2021年度は標本採取日を記載. *は目視でのみ確認.

注目される植物

(1) イシモチソウ *Drosera peltata* Thunb. var. *nipponica* (Masam.) Ohwi (図6)

国の準絶滅危惧種で愛知県の絶滅危惧 I B 類の食虫植物である。1952 年採取の標本が残っており (橋本 2019), 農場本館の建物が戦後に名城大学のものになる前から, 土と一緒に株が屋上に生えていた。2021 年は屋上の東と西の両方で生育が見られ, 東端と西端に個体数が多く, 特に東端の南端と北端で密度が高かった。横内ら (1999) が報告していた八重咲のものは見つからなかった。



図6 イシモチソウ



図7. カナビキソウ

(2) カナビキソウ *Thesium chinense* Turcz. (図7)
本種は半寄生植物 (Suetsugu *et al.* 2008) で, アリ散布植物 (Suetsugu 2015) とされる。附属農場の森田裕将准教授によれば, 屋上では 2020 年に初確認された。アリによる種子散布距離は一般的には短いため, 屋上までアリが種子を運び上げたとは考えにくく, カルガモなどの野鳥の体に泥と一緒に付着して来た可能性が考えられる。宿主となる植物は幅広いがイネ科やマメ科のメドハギ *Lespedeza cuneata* (Dum.Cours.) G.Don を特に好むとのことであるので (Suetsugu *et al.* 2008), 屋上にも宿主となり得る植物は生育していた。2021 年は屋上東側のやや中央寄りの北端に少数個体が生育しており, 小さい個体が多く, 開花は見られなかった。本種の株もイシモチソウと一緒に移植して保全している。

(3) テンツキ属の一種 *Fimbristylis* sp. (図8)

2021 年採取のもので, 協力者に見てもらったものの, 種同定に至らなかったものである。外来種の可能性もあるとのこと。農場周辺の工場には海外や名古屋港からの貨物が搬入されてきており, 外来種が侵入するリスクは高い。



図8. テンツキ属の一種

謝辞

移植作業に協力いただいた本学農学部卒業生・学部生有志・土屋組・農場職員の皆さん、種同定に協力いただいた愛知教育大学名誉教授の芹沢俊介氏、愛知植物の会の村松正雄氏、名古屋産業大学講師の長谷川泰洋氏、過去の卒業論文の閲覧を許可いただいた植物保全学研究室の汪光熙教授、屋上のカナビキソウの情報をいただいたフィールド生産科学研究室の森田裕将准教授に対し、記して謝意を表します。

引用文献

- 愛知県環境部自然環境課 (2017) 愛知県の生物多様性グリーンデータブックあいち 2017 - 維管束植物編 - . 愛知県
- 藤城宏昭・宮田英治 (2003) 名城大学農学部附属農場本館屋上に生育するイシモチソウ群落の植生学的解析. 名城大学農学部生物資源学科植物資源学研究室平成 14 年度卒業論文
- 橋本啓史 (2019) 農学部標本室から附属農場に移管した植物さく葉標本目録. 名城大学農学部学術報告 **55**: i-ix.
- 家田祐子・北原加奈 (1997) イシモチソウの保護に関わる基礎的研究. 名城大学農学部農学科植物学研究室 1996 年度卒業論文
- 磯井俊行 (2018) 池周辺のビオトープ化構想について. 名城大学農場運営報告 **13**: 59-60
- 亀岡まみ子 (1997) 名城大学附属農場における植相調査. 名城大学農学部農学科植物学研究室 1996 年度卒業論文
- Suetsugu, K. (2015) Seed dispersal of the hemiparasitic plant *Thesium chinense* by *Tetramorium tsushimae* and *Pristomyrmex punctatus*. *Entomological Science* **18** (4): 523-526.
- Suetsugu, K., A. Kasakita, and M. Kato, (2008). Host range and selectivity of the hemiparasitic plant *Thesium chinense*. *Annals of Botany* **102** : 49-55.
- 横内 茂・下山博子・橋本 実 (1999) 名城大学農学部附属農場に自生する絶滅危惧植物の現状. 名城大学農場運営報告 **7**: 47-56

業績紹介 (2020)

生物資源学科

原著論文

- Chen, S., Murano, H., Hirano, T., Hayashi, Y. and Tamura, H. (2020) Establishment of a novel technology permitting self-sufficient, renewable energy from rice straw in paddy fields. *Journal of Cleaner Production* 272: 122721.
- Shuto Yamada, Yusuke Kurokawa, Keisuke Nagai, Rosalyn B Angeles-Shim, Hideshi Yasui, Naruto Furuya, Atsushi Yoshimura, Kazuyuki Doi, Motoyuki Ashikari and Hidehiko Sunohara (2020) Evaluation of Backcrossed Pyramiding Lines of the Yield-related Gene and the Bacterial Leaf Blight Resistant Genes. *J Intl Cooper Agric Dev.* 18:18-28
- Suzuki, Y., E. Yamada, K. Ishihara, M. Kajita, S. Fujishiro, A. Okada, Y. Hobo, R. Katayama, A. Kitamura (2020) Effects of postharvest ethanol treatment on the gene expression of ethylene biosynthetic enzymes and ripening related transcription factors in banana fruit. *Food Preservation Science* 46 ; 91-98.
- 松井祐介, 岡崎雄平, 古家加菜, 島谷善平, 寺田理枝 (2020) CAPS 解析によるターゲティングゲノム編集イネの同定—ターゲティングゲノム編集技術の確立を目指して—. 名城大学総合研究所 紀要 第 25 号 69-72.
- Higo A, Saihara N, Miura F, Higashi Y, Yamada M, Tamaki S, Ito T, Tarutani Y, Sakamoto T, Fujiwara M, Kurata T, Fukao Y, Moritoh S, Terada R, Kinoshita T, Ito T, Kakutani T, Shimamoto K and Tsuji H. (2020) DNA methylation is reconfigured at the onset of reproduction in rice shoot apical meristem. *Nature communications.* (2020) 11:4079
- Otsuka, M., Kato, H., Yamada, S., Nakayama, T., Sakaoka, S., Morikami, A. and Tsukagoshi, H. (2020). Root system architecture analysis in *Mesembryanthemum crystallinum* (ice plant) seedlings reveals characteristic root halotropic response. *Biology Open*, 10, bio052142.
- 稲垣公治・荒川征夫 (2021) 弱病原性 2 核 *Rhizoctonia* 属菌を接種したイネ籾を用いた紋枯病の発病抑制効果の検証. 日本植物病理学会報, 87: 65-71.
- Shiojiri K, Ozawa R, Yamashita K, Uefune M, Matsui K, Tsukamoto C, Takabayashi J (2020) Exposure to artificially damaged goldenrod volatiles increases saponins in seeds of field-grown soybean plants. *Phytochemistry Letters*, 36: 7-10.
- Teshima T, Yamada N, Yokota Y, Sayama T, Inagaki K, Koeduka T, Uefune M, Ishimoto M, Matsui K (2020) Suppressed Methionine γ -*Lyase* Expression Causes Hyperaccumulation of S-Methylmethionine in Soybean Seeds. *Plant Physiology*, 183: 943-956.
- Uefune M, Abe J, Shiojiri K, Urano S, Nagasaka K, Takabayashi J (2020) Targeting diamondback moths in greenhouses by attracting specific native parasitoids with herbivory-induced plant volatiles. *Royal Society Open Science*, 7: 201592.
- Yoto Komeda, Toshiharu Mita, Yoshimi Hirose and Kenzo Yamagishi (2020) Taxonomic revision of *charon*-, *floridanum*- and *muscaeforme*-groups of *Gryon* Haliday, 1833 (Hymenoptera, Scelionidae) from Japan, with descriptions of three new species and host information. *Journal of Hymenoptera Research*, 80: 99-135.

学会発表

(国内学会一般講演)

- 田岡健一郎・河原郁美・新家粧子・島谷善平・寺田理枝・辻寛之・児嶋長次郎 (2020) フロリゲン活性化複合体を阻害する化合物による花成調. 第 55 回植物化学調節学会, 11 月 16 日, オンライン
- 桶本侑加, 浦野知, 山岸健三, 上船雅義 (2021) タバコカスミカメの代替餌としてベトフードの評価. 第 65 回日本応用動物昆虫学会大会, 3 月 24 日, 島根大学 (オンライン開催)
- 山腰美帆, 山岸健三, 上船雅義 (2021) タイリクヒメハナカメムシにおける 5 齢幼虫の採餌戦略と 1 齢幼虫の採餌場所選択. 第 65 回日本応用動物昆虫学会大会, 3 月 24 日, 島根大学 (オンライン開催)
- 松原芳乃, 小澤理香, 松井健二, 高林純示, 山岸健三, 上船雅義 (2021) ゼニコケにとって食害は損ばかりなのか? —植食者による分布拡大—. 第 65 回日本応用動物昆虫学会大会, 3 月 24 日, 島根大学 (オンライン開催)
- 平児慎太郎 (2020) 共起ネットワーク分析を用いた棚田の評価と環境教育コンテンツとしての再検証. 第 1 回日本環境教育学会中部支部大会, 12 月 13 日, オンライン

著書

- Terada R and Shimatani Z (2021) Rice Gene Targeting by Homologous Recombination with a Positive-Negative Selection. In: Bandyopadhyay A. and Thilmony R (ed) *Methods in Molecular Biology*, Springer Protocols, New York, pp241-257
- Isomae, H. (2020) The General Perspective of Japanese Agricultural Policy That Appears from Rice Riots and Artificial Intelligence. "Environmental Economics and Computable General Equilibrium Analysis (J. R. Madden, H. Shibusawa and H. Igano [eds.])", 273-282, Springer

総説

平野達也 (2020) イネ茎部における出穂後のデンプン分解制御. *アグリバイオ* Vol. 4: 574-575

黒川裕介 (2020) *Leaf Gas Film1* (LGF1) 遺伝子は葉の水中におけるガス交換を促進してイネに耐水性を付与する. *NBRP RICE Newsletter* 3: 5-6.

講演会

上船雅義 (2020) 植物の香りを用いた害虫管理. 東亜合成株式会社製品研究所における社内講演会, 12月16日

上船雅義 (2021) 植物の香りを用いた新しい害虫管理法. 令和2年度 全国農業システム化研究会 重要病害虫対策に係わる生物農薬等の利活用に関する実証調査 (IPM 実証調査) 最終成績検討会, 3月12日

応用生物化学科

原著論文

Yamashita M., M. Tsujikami, S. Murata, T. Kobayashi, M. Shimizu, M. Kato (2021) Artificial AmyR::XlnR transcription factor induces α -amylase production in response to non-edible xylan-containing hemicellulosic biomass. *Enzyme Microb. Technol.* 145, 109762

Sakai K., A. Yamaguchi, S. Tsutsumi, Y. Kawai, S. Tsuzuki, H. Suzuki, S. Jindou, Y. Suzuki, H. Kajimura, M. Kato, M. Shimizu (2020) Characterization of FsXEG12A from the cellulose-degrading ectosymbiotic fungus *Fusarium* spp. strain EI cultured by the ambrosia beetle. *AMB Express* 10, 96.

Tanaka Y., J.S. Oh, H. Hashizume, T. Ohta, M. Kato, M. Hori, M. Ito (2020) Atomic oxygen radical induced intracellular oxidization of mould spore cells. *Plasma Processes and Polymers* 17, e2000001.

鈴木健吾・堤星太郎・酒井杏匠・鈴木裕満・加藤雅士・志水元亨 (2020) 糸状菌が生産する GH134 に属する b-マンナーゼ, 日本応用糖質学会誌, 10, 83-88.

Yonekura Y., Ueno H., Minato K., Mizuno M., Polysaccharides from *Pyropia yezoensis* f. *narawaensis* Ameliorate Type I Hypersensitivity through the Secretion of Interleukin 10, *Food Science and Technology Research* 26 (6), 2020

近澤未歩 G タンパク質共役受容体を介した食品成分によるサルコペニア予防, *アグリバイオ* 4: 52-54, 2020

Chikazawa M, Moriwaki Y, Uramoto M, Yamauchi Y, Shimizu M, Shimizu K, Sato R. Functional effect of nobletin as a food-derived allosteric modulator of mouse CRFR2 β in skeletal muscle., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 529: 328-334, 2020

近澤未歩 内因性抗原を認識する自然抗体による生体防御, *実験医学【食と健康を結ぶメディカルサイエンス】* 38: 1690-1696, 2020

Chikazawa M, Shimizu M, Yamauchi Y, Sato R. Bridging molecules are secreted from the skeletal muscle and potentially regulate muscle differentiation., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 522: 113-120, 2020

Chikazawa M, Yoshitake J, Lim SY, Iwata S, Negishi L, Shibata T, Uchida K. Glycolaldehyde is an endogenous source of lysine N-pyrrolation. *J. Biol. Chem.*, 295: 7697-7709, 2020

Murahashi, T., M. Nagasawa, S. Haga and T. Hayashi (2020) Palatability and physicochemical properties of sausages prepared via lactic acid fermentation and drying at low temperature. *Animal Science Journal.* 91 (1) : e13446.

Amano, K., R. Sawazumi, H. Imamura, T. Sumi, K. Hashimoto, K. Fukami, H. Kitaoka, N. Nishi and T. Sakka (2020) An Improved Model-potential-free Analysis of the Structure Factor Obtained from a Small-Angle Scattering: Acquisitions of the Pair Distribution Function and the Pair Potential. *Chem. Lett.* 49: 1017-1021.

Hashimoto, K. K., Amano, N. Nishi and Tetsuo Sakka (2020) Calculation method of the number density distribution of liquid molecules or colloidal particles near a substrate from surface force apparatus measurement. *Chem. Phys. Lett.* 754: 137666.

Katakura, S., K. Amano, T. Sakka, W. Bu, B. Lin, M. L. Schlossman and N. Nishi (2020) Evolution and Reversible Polarity of Multilayering at the Ionic Liquid/Water Interface. *J. Phys. Chem. B* 124: 6512-6419.

Inoguchi, S., K. Fukami, K. Amano, A. Kitada and K. Murase (2020) Reactivity of Zinc Cations under Spontaneous Accumulation of Hydrophobic Coexisting Cations in Hydrophobic Nanoporous Silicon. *ACS Omega* 5: 26894-26901.

天野健一・古川暁之・石井里奈・橋本康汰・西直哉・作花哲夫 (2021) 非加算性を取り入れた朝倉-大沢理論による基板近傍における粒子のコンタクト密度の考察. *名城大農学報*, 57: 9-16.

Kitaoka, H., K. Amano, N. Nishi and T. Sakka (2021) Improvement of the Nelder-Mead method using direct inversion in iterative subspace. *Optimization and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s11081-021-09620-4>: published online.

Ishihara, K., T. Shioiri, and M. Matsugi (2020) An Expeditious Approach to Tetrazoles from Amides Utilizing Phosphorazidates. *Organic Letters* 22: 6244-6247. (DOI:10.1021/acs.orglett.0c01890)

Ishihara, K., R. Obayashi, M. Ohira, Y. Kobayashi, K. Ishihara, Y. Kato, N. Takeuchi, R. Mizuno, T. Shioiri, and M. Matsugi (2021) A Fluorous Proline Catalyst Immobilized on Teflon[®] for Highly Stereoselective Asymmetric Aldol Reactions. *Heterocycles* 103: 839-861. (DOI: 10.3987/COM-20-S(K)52)

学会発表

(国内学会)

- 堤星太郎・家田明音・三井俊・伊藤彰敏・志水元亨, 加藤雅士 (2020) 野生酵母 MC87-46 の糖資化能が清酒の味に及ぼす影響 日本農芸化学会 3月18日 仙台
- 伊東昂希・鈴木裕満・鈴木健吾・酒井杏匠・高須賀太一・堀千明・加藤雅士・志水元亨 (2020) *Aspergillus nidulans* 由来新規ラムノガラクトロンリアーゼの機能解析 日本農芸化学会 3月18日 仙台
- 森玲香・ワイズ里沙・酒井杏匠・志水元亨・加藤雅士 (2020) 白色腐朽担子菌 *Phanerochaete chrysosporium* 由来の Class 3 に属するシトクロム P450 CYP505D6 の機能解析 日本農芸化学会 3月18日 仙台
- 森島俊輝・伊東昂希・酒井杏匠・志水元亨・加藤雅士 (2020) 糸状菌 *Aspergillus nidulans* が生産するペクチン酸リアーゼ AnPL9 の機能解析 日本農芸化学会 3月18日 仙台
- 野村亮・都築翔・寺西弘志・山本正次・上前健太郎・志水元亨・加藤雅士 (2020) ゴマ由来アンジオテンシン I 変換酵素 (ACE I) 阻害ペプチドの探索および機能解析 日本農芸化学会 3月18日 仙台
- 鈴木裕満・鈴木健吾・伊東昂希・酒井杏匠・高須賀太一・堀千明・加藤雅士・志水元亨 (2020) *Aspergillus nidulans* 由来新規ラムノガラクトロンリアーゼの機能と生理学的役割 糸状菌分子生物学研究会若手の会 第八回ワークショップ 11月13日 オンライン
- 高橋泰志・加藤大志・酒井杏匠・加藤雅士・志水元亨 (2020) 白色腐朽菌 *Phanerochaete chrysosporium* 由来新規ジオキシゲナーゼの機能解析 糸状菌分子生物学研究会若手の会 第八回ワークショップ 11月13日 オンライン
- 白倉智裕・氏田稔・奥村裕紀 (2020) 哺乳類 UMOD の鳥類ホモログ ZPD の機能解析. 第84回日本生化学会中部支部例会, 5月23日, 名古屋
- 佐藤知樹・伊藤誌小里・奥村裕紀・氏田稔 (2020) 酵母ツーハイブリッド法を用いたフィラグリンとケラチン1の tail ドメインの相互作用解析. 第84回日本生化学会中部支部例会, 5月23日, 名古屋
- 近澤未歩, 湊健一郎 腸管 M 細胞透過性を有する食品由来多糖の探索, 日本農芸化学会 2021 年度大会, 2021 年 3 月, オンライン開催
- 加藤慧, 吉森明, 木下正弘, 天野 健一 (2020) マスター方程式を用いた平均力ポテンシャル上の溶質の運動, 日本物理学会第75回年次大会, 3月19日, 名古屋 (名古屋大学 東山キャンパス)
- 石原一輝, 大林里帆, 小林佑基, 石原稿太郎, 塩入孝之, 松儀真人 (2020) Teflon[®] 担持型フルオラスプロリン触媒の特性を利用した高立体選択的不斉アルドール反応. 日本薬学会第141年会, 3月27日, 広島 (オンライン開催)
- 伊藤康平・濱本博三 (2020) 超原子価ヨウ素試薬を用いるフェノール酸類からハロゲン化キノン類への変換反応の開発, 日本薬学会第141年会回, 3月28日, オンライン開催

(国際学会)

- Hiroyuki Kato, Shou Ito, Kiyota Sakai, Masafumi Ito, Vladislav Gamaleev, Motoyuki Shimizu and Masashi Kato (2021) Oxygen radical based on non-thermal atmospheric pressure plasma converts lignin-derived phenolics vanillin, an inhibitor of bioethanol fermentation by yeast ISPlasma2021 / IC-PLANTS2021 3月7-11日 Nagoya

(国内学会シンポジウム)

- 林利哉 (2020) 筋肉・食肉タンパク質の機能・加工特性に関する研究－食肉製品の高付加価値化を目指して－. 日本食肉研究会 秋期特別セミナー 2020, 9月19日, オンライン開催
- 長澤麻央 (2020) 一酸化窒素合成を介した *Lactobacillus helveticus* 発酵乳ホエーの降圧作用. 第21回日本畜産学会若手企画シンポジウム, 11月13日, オンライン開催

特許

- 大場正春・前林正弘 (名城大学), ガスタンク及びこのガスタンクを複数備えたガスの貯蔵供給設備, 特許第 6688624 号, 登録日: 令和 2 年 4 月 9 日
- 特許第 6767035 号 発明の名称: 鉄サレン錯体とそれを用いた光学活性エポキシドの製造方法 特許権者: 学校法人 名城大学 発明者: 松儀 真人, 杉山 祐也, 小林 佑基, 宮崎 裕紀 登録日: 令和 2 年 9 月 23 日

総説

加藤雅士 (2021) 愛知の発酵食の魅力を国内外に伝えたい!! (寄稿文) 「名古屋港 3月号」5-11, 名古屋港利用促進協議会

林利哉 (2020) 筋肉・食肉タンパク質の機能・加工特性に関する研究－食肉製品の高付加価値化を目指して－. 食肉の科学, 61 (1): 27-37.

コラム

天野健一 (2020) 研究室紹介: 名城大学 農学部 生物物理化学研究室. 日本化学会 コロイドおよび界面化学部会会誌 “コロイドおよび界面化学部会ニュースレター” (C & I Commun) 45: 58-60

講演会

(招待・特別講演・シンポジウム)

加藤雅士 (2020) 愛知県の発酵食品の魅力 (特別講演) 第 61 回 日本食生活学会大会 11 月 28 日 オンライン開催

林利哉 (2020) 熟成・加工における 食肉タンパクの変化とおいしさ, テックデザイン ZOOM セミナー, 12 月 8 日, オンライン開催

研究展示

田村廣人・平野達也・前林正弘・村野宏達・林義明 (持続可能イノベーション社会創成センター), バイオガス生産田とセルロース系廃棄物による高効率バイオメタン生産システム (GET システム) の開発, 名城大学バーチャルリサーチフェア, 9 月 7 日~, 名古屋

受賞

天野健一, コロイド粒子の密度分布や二体ポテンシャルに関する逆計算, 日本化学会コロイドおよび界面化学部会, 令和 3 年度 科学奨励賞, 令和 3 年 3 月 10 日名古屋

その他

林利哉・長澤麻央・小川幸彦・芳賀聖一 (2020) 低温乳酸発酵ならびに超高温加熱処理を施した筋原線維タンパク質モデル系におけるタンパク質分解と機能性発現に関する研究 (Ⅲ). 食肉に関する助成研究調査成果報告書 (伊藤記念財団), 38 : 82-87.

生物環境科学

原著論文

Osada, N. (2020) Intraspecific variation in spring leaf phenology and duration of leaf expansion in relation to leaf habit and leaf size of temperate tree species. *Plant Ecology* **221**: 939-950.

Kattge, J, Bönsch, G, Diaz, S, *et al.* (including Osada, N.) (2020) TRY plant trait database –enhanced coverage and open access. *Global Change Biology* **26**: 119-188.

Saeki, I, Niwa, S, Osada, N, Azuma, W, and Hiura, T. (2020) Contrasting effects of urbanization on arboreal and ground-dwelling land snails: Role of trophic interactions and habitat fragmentation. *Urban Ecosystems* **23**: 603-614.

Konno, K, Akasaka, M, Koshida, C, Katayama, N, Osada, N, Spake, R, and Amano, T. (2020) Ignoring non-English-language studies may bias ecological meta-analyses. *Ecology and Evolution* **10**: 6373-6384.

Sun, L, Li, X, Wang, X, Xiang, L, Yang, J, Min, Q, Chen, G, Chen, F, Huang, C, Wang, G-X. (2020) Growth and respiratory metabolic adaptation strategies of riparian plant *Distylium chinense* to submergence by the field study and controlled experiments. **157**: 1-12.

Iwakami, S, Tanigaki, S, Uchino, A, Ozawa, Y, Tominaga, T, Wang, G-X. (2020) Characterization of the acetolactate synthase gene family in sensitive and resistant biotypes of two tetraploid weeds. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **165**: Article 104506.

神代一樹・日野輝明 (2021) ヒガシニホントカゲの日光浴場所と逃走距離の成長段階間の違い. 環境動物昆虫学会誌 32:93-98

立石涼帆・竹島由夏・瀧本愛華・日野輝明 (2021) ニホンジカの個体数減少にともなう森林環境と土壌動物相の変化. 名城大学総合研究所紀要 **26**:87-90

Mori T, Sugiura R, Katoa M, Miura K, Ogawa H, Umamo S, Kato H, Izumiyama S, Niizuma Y (2020) Bark stripping behavior in relation to Fagaceae mast production and diet in the Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*). *Journal of Forest Research*. **25**, 450-455. DOI: 10.1080/13416979.2020.1821440.

Will A, Takahashia A, Thiebota J-B, Martinez A, Kitaiskaia E, Britt L, Nichol D, Murphy J, Dimond A, Tsukamoto S, Nishizawa B, Niizuma Y, Kitaysky A (2020) The breeding seabird community reveals that recent sea ice loss in the Pacific Arctic does not benefit piscivores and is detrimental to planktivores. *Deep-Sea Research Part II. Topical Studies in Oceanography*, **181**, 104902.

Q.T. Vuong, P.Q. Thang, T. Ohura, S.-D. Choi (2020) Chlorinated and brominated polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air: seasonal variation, profiles, potential sources, and size distribution. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, **19**, 259–273.

Q. T. Vuong, P. Q. Thang, T. N. T. Nguyen, T. Ohura, S.-D. Choi (2020) Seasonal variation and gas/particle partitioning of atmospheric halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons and the effects of meteorological conditions in Ulsan, South Korea. *Environ. Pollut.*, **263**, 114592.

Q. T. Vuong, P. Q. Thang, T. Ohura, S.-D. Choi (2020) Determining sub-cooled liquid vapor pressures and octanol-air partition coefficients for chlorinated and brominated polycyclic aromatic hydrocarbons based on gas chromatographic retention times: application for gas/particle partitioning in air. *Atmos. Environ.*, **229**, 117461.

- Q. T. Vuong, S.-J. Kim, T. N. T. Nguyen, P. Q. Thang, S.-J. Lee, T. Ohura, S.-D. Choi (2020) Passive air sampling of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in the largest industrial city in Korea: spatial distributions and source identification. *J. Hazard. Mater.*, **382**, 121238.
- A. U. K. Wickrama-Arachchige, T. Hirabayashi, Y. Imai, K. S. Guruge, T. S. Dharmarante, T. Ohura (2020) Accumulation of halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons by different tuna species, determined by high-resolution gas chromatography Orbitrap mass spectrometry. *Environ. Pollut.*, **256**, 113487.
- Hayakawa, A., Y. Funaki, T. Sudo, R. Asano, H. Murano, S. Watanabe, T. Ishida, Y. Ishikawa and S. Hidaka (2020) Catchment topography and the distribution of electron donors for denitrification control the nitrate concentration in headwater streams of the Lake Hachiro watershed. *Soil Science and Plant Nutrition*, **66**(6): 906-918.
- Michael Bunsick, Shigeo Toh, Cynthia Wong, Zhenhua Xu, George Ly, Christopher S. P. McErlean, Gianni Pescetto, Kawther Elfituri Nemrishi, Priscilla Sung, Jack Daiyang Li, Julie D. Scholes & Shelley Lumb (2020) SMAX1-dependent seed germination bypasses GA signalling in *Arabidopsis* and *Striga*. *Nature Plant*, **6**: 646-652.
- S. Chen, H. Murano, T. Hirano, Y. Hayashi and H. Tamura, Establishment of a novel technology permitting self-sufficient, renewable energy from rice straw in paddy fields. *J. Cleaner Produc.*, **272**, 122721, 2020
- N. Takahashi, S. Nagai, A. Fujita, Y. Ido, K. Kato, A. Saito, Y. Moriya, Y. Tomimatsu, N. Kaneta, Y. Tsujimoto and H. Tamura, Discrimination of psychrotolerant *Bacillus cereus* group based on MALDI-TOF MS analysis of ribosomal subunit proteins. *Food Microbiol.*, **91**, 103542, 2020
- 橋本啓史・多和加織・松浦文香・長谷川泰洋 (2021) 近代以前の熱田神社叢の林相の変遷. なごやの生物多様性 **8**: 23-36.

学会発表 (国内学会)

- 長田典之. 2021. 常緑広葉樹と落葉広葉樹の展葉フェノロジーおよび展葉にともなう葉形質の変化パターン. 第68回日本生態学会 岡山 (Web開催) 2021年3月19日
- 久保貴寛・長田典之. 2021. 暖温帯二次林床における樹木18種のシュート形態に基づく受光戦略. 第68回日本生態学会 岡山 (Web開催) 2021年3月17日
- 高井紀史・長田典之. 2021. 暖温帯二次林床における25樹種での葉柄の構造と力学的性質の関係. 第68回日本生態学会 岡山 (Web開催) 2021年3月17日
- 長田典之. 2021. ブナの展葉フェノロジーの遺伝的分化パターン. シンポジウム「森林遺伝研究で明らかにするブナの生態・生理—樹木の生態遺伝学最前線—」第132回日本森林学会 (Web開催) 2021年3月20日
- ポスター発表
- Sakura Lauhoff, Yasuaki Niizuma, Mitsuyoshi Kato, Yoshiatsu Ota, Nobuyuki Shoji, Akiko Shoji COMPARISON OF MERCURY LEVELS IN FEATHERS OF OSPREY IN THE NORTHEAST REGION OF JAPAN. 2021 Pacific Seabird Group 48th Annual Meeting February 22-26, 2021, Virtual
- Chinatsu Nakajima, Kyle H. Elliott, Shannon Whelan, Annette L. Fayet, Yasuaki Niizuma, Jumpei Okado, Scott Hatch, Akiko Shoji LINKING MERCURY CONCENTRATIONS WITH AT-SEA AREAS IN THREE SPECIES OF AUKS, BREEDING ACROSS THE PACIFIC AND ATLANTIC OCEANS. 2021 Pacific Seabird Group 48th Annual Meeting February 22-26, 2021, Virtual
- 青木かがり, Andreas Fahlman, 鈴木一平, 坂本健太郎, 稲森大樹, 渡辺友梨絵, 船坂徳子, 新妻靖章, 佐藤克文 ゆっくり泳ぐか? 速く泳ぐか? 深海へ潜水する鯨類の潜水戦略: バイオメカニクスとスケーリングの視点から 日本生態学会大会 (web) 68th 2021年
- 磯井俊行・早川遥菜・村野宏達 (2020) 自然栽培および慣行栽培圃場の土壌物理化学性. 日本土壌肥料学会2020年大会. (岡山) 2020年9月8日~10日 (Web開催)
- 村野宏達 (2020) アメリカの小学校の土壌教育: Connecticut州 East Haven, Ferrara 小学校の事例紹介. 日本土壌肥料学会2020年大会. (岡山) 2020年9月8日~10日 (Web開催)
- 磯井俊行・大藏翼・松田佳大・廣和仁・村野宏達 (2020) 自然栽培圃場に生育する雑草による肥沃度判定. 日本土壌肥料学会中部支部第100回例会. (金沢) 2020年11月16日~17日
- 浅野航輝・Willy Vincent Anak Kagong・Siraj Munir Bin Mohammad・坂崎来実・Margaret Chan Kit Yok・磯井俊行・仲田麻奈・江原宏 (2021) サゴヤシ根に内生するエンドファイト. 日本熱帯農業学会第129回講演会. (つくば) 2021年3月16日~17日 (Web開催)
- N. Takahashi, S. Nagai, A. Fujita, Y. Ido, K. Kato, A. Saito, Y. Moriya, Y. Tomimatsu, N. Kaneta, Y. Tsujimoto and H. Tamura, MALDI-TOF MS Analysis for Simultaneous Discrimination of Cereulide Producing *Bacillus cereus* and Psychrotolerant *Bacillus cereus* Group from Other *B. cereus* Group, IAFP 2020, IAFP 2020, A Virtual Annual Meeting, October 26-28, 2020
- (国内学会一般講演)

橋本啓史・長谷川泰洋 (2021) 名古屋市都市孤立林におけるゼニバサイシンの訪花昆虫相. 第68回日本生態学会大会, 3月19日, 岡山市 (オンライン)

著書その他

岸本満, 須崎尚, 武山英磨, 榎原毅, 細田晃文, 角田香澄, 伊藤勇貴, 玉田葉月 (担当: 共著, 範囲: 第2章 環境と健康): イラスト 社会・環境と健康 - 公衆衛生学 -, 東京教学社, 2020年4月1日, ISBN 978-4808260699

Hashimoto H., H. Sugawa, and K. Kameda (2020) 2.9: Characteristics of the Avifauna of Lake Biwa and Its Long-term Trends. "Lake Biwa: Interactions between Nature and People second Edition (H. Kawanabe, M. Nishino and M. Maehata [eds.])", p237-242 (pp932), Springer

Sugawa H. and H. Hashimoto (2020) Topic 17: Ramsar Convention and Wintering Waterbirds in Lake Biwa. "Lake Biwa: Interactions between Nature and People second Edition (H. Kawanabe, M. Nishino and M. Maehata [eds.])", p609-611 (pp932), Springer

特許

田村廣人、特許 6741278

田村廣人、特許 6692016

講演会

日野輝明 名城大学とNPOとの環境調査・保全での協働活動の構築. 東谷山シンポジウム, 2月20日, 名古屋

橋本啓史 (2020) ため池の水鳥から環境の変化を考えよう. 2020年度 あいち自然再生カレッジ 第5回, 12月6日, 名古屋市農業センター, 名古屋

農場

原著論文

林義明・上野真椰・益子知実 (2020) 乳用ヤギの放牧飼養に利用する耕作放棄地の野草成分. 日本山羊研究会誌, 2019年度第1号: 5-6.

Honda, M., Y. Kawashima, K. Hirasawa, T. Uemura, S. Jinkun and Y. Hayashi (2020) Possibility of using astaxanthin-rich dried cell powder from *Paracoccus carotinifaciens* to improve egg yolk pigmentation of laying hens. *Symmetry* 12: 923.

Shaohua C., H. Murano, T. Hirano, Y. Hayashi and H. Tamura (2020) Establishment of a novel technology permitting self-sufficient, renewable energy from rice straw in paddy fields. *Journal of Cleaner Production* 272: 122721.

Suzuki N., F. Y. Purba, Y. Hayashi, T. Nii, Y. Yoshimura and N. Isobe (2020) Seasonal variations in the concentration of antimicrobial components in milk of dairy cows. *Animal Science Journal* 91: e13427.

Honda M., Y. Kawashima, K. Hirasawa, T. Uemura, J. Sun and Y. Hayashi (2021) Astaxanthin *Z*-isomer-rich diets enhance egg yolk pigmentation in laying hens compared to that in all-*E*-isomer-rich diets. *Animal Science Journal* 92: e13512.

Saenphoom P., Y. Hayashi and S. Chintong (2021) Effect of pectic-oligosaccharides from Japanese orange peels as prebiotic in animal feed. *Khon Kaen Agriculture Journal Suppl. 1*: 394-399.

林義明・上野真椰・益子知実 (2021) 荒廃農地での放牧飼養による泌乳ヤギの血漿成分と体重. 日本山羊研究会誌, 2020年度第1号: 1-3.

Hayashi Y., E. Takeya, Y. Ikeno, H. Kumagai, E. M. Cruz, N. P. Garcia, D. L. Aquino and T. Fujihara (2021) Periodic changes in chemical composition and in vitro digestibility of locally available Gramineae feed resources in the Philippines. *Tropical Animal Health and Production* 53: 123.

森田隆史・磯部健太郎・小西佑・鹿野剛輝・高橋悠介・増田修治・三輪憲一 (2021) ソーラーシェアリング施設下における野菜の生育について. 名城大学農場報告 14号: 41-47.

資料

塩崎修志・鈴木俊二・中尾義則・望岡亮介 (2020) American Journal of Enology and Viticulture 論文の概要 (Vol. 70, No. 2 & No. 3) Viticulture 関係. 日本ブドウ・ワイン学会誌 Vol. 31 (1): 67-76.

塩崎修志・鈴木俊二・中尾義則・望岡亮介 (2020) American Journal of Enology and Viticulture 論文の概要 (Vol. 70, No. 4 & Vol. 71, No. 1) Viticulture 関係. 日本ブドウ・ワイン学会誌 Vol. 31 (3): 143-152.

林義明・本田真己 (2020) リコピン含量の異なる飼料給与が卵黄中リコピンと卵質に及ぼす影響. 養鶏の友, 2020年4月号: 21-24.

本田真己・市橋浩平・高田渉・林義明・後藤元信 (2020) リコピンのシス異性化技術の開発とシス型リコピンの用途開発 (Development of *Z*-isomerization Technology of (all-*E*)-Lycopene and Application of the *Z*-Isomer-Rich Materials). ファインケミカル, 49 (7): 5-15.

学会発表

- 林義明・上野真椰・益子知実 (2021) 荒廃農地での放牧飼養による泌乳ヤギの血漿成分と体重. 第 22 回日本山羊研究会, 3 月 21 日, オンライン
- 林義明・孫錦昆・川嶋祐貴・本田真己 (2021) アスタキサンチン含有乾燥菌体粉末の飼料給与が採卵鶏の血液性状に及ぼす影響. 日本家禽学会 2021 年度春季大会, 3 月 27 日, オンライン
- 林義明・益子知実・上野真椰 (2021) 荒廃農地を用いた放牧飼養における乳用ヤギの乳の性状と成分の推移. 日本畜産学会第 128 回大会, 3 月 28 日, オンライン
- 孫錦昆・山本知里・木本清嗣・林義明 (2021) 微生物発酵生成物ビタコーゲンの給与が採卵鶏の卵黄中脂質に及ぼす影響. 日本畜産学会第 128 回大会, 3 月 28 日, オンライン