

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870327

研究課題名(和文)ダイズ茎葉の成長制御に向けた水チャンネルの作動メカニズムの解明

研究課題名(英文)Characteristics of soybean shoot growth in relation to water channel.

研究代表者

長菅 輝義(NAGASUGA, Kiyoshi)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号：80515677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ダイズ茎葉の成長と水利用との相互関係、およびその制御における水チャンネルの貢献度を解析した。ダイズ茎葉は夏期の湿潤土壌下では旺盛に成長するが、気温の低い秋期では土壌水分条件に関係なく成長が鈍かった。夏期と秋期に高地温・低地温条件で栽培したダイズの成長を比較したところ、時期差のみ認められ、地温処理間差は生じなかった。ただし、水耕栽培したダイズでは、地温処理間差が生じた。地上部の特に葉の水チャンネルが茎葉の成長を制御しているであろうことおよびその制御メカニズムは栽培方法によって変化することが分かった。

研究成果の概要(英文)：Relationship between shoot growth and water utilization and the contribution of it's control by water channel in soybean plants were examined. Soybean shoot grown in wet soil condition was large in summer (high temperature), however vigorous shoot growth was not found in autumn regardless of soil water condition. Soil temperature treatment including high and low soil temperature in summer and autumn showed the difference in shoot growth between the seasons only, not soil temperature treatment. But the difference in shoot growth between not only the seasons but also soil water treatment were found in soybean plants grown in hydroponic culture. These suggested that soybean shoot growth would be controlled by water channel in leaf and this mechanism changed in response to cultivation.

研究分野：作物学

キーワード：ダイズ 茎葉 水チャンネル 気温 地温 根粒菌

## 1. 研究開始当初の背景

日本では梅雨の前後 (6-7月) にダイズを播種するため、土壌水分がしばしば過剰となる。土壌水分が良好であると地上部は旺盛に成長するものの根系の成長が逆に疎かとなり、開花期以降に土壌水分が良好でも乾燥害を招いて減収することがある (Hirasawa 1998)。また、地上部が過繁茂してしまうと倒伏もやすくなり、減収を引き起こす原因となる (Board 2001)。地上部が繁茂しても根が深く伸長すれば巨大な地上部を支えることができるが、ダイズの根の土中への進展は土壌が湿潤でなくても優れないことが指摘されており、Benjamin and Nielsen (2006) は、ダイズでは土壌灌水の有無に関係なく深さ 23 cm の間に全根の約 97% 分布したことを、および根重当たりの根の表面積が極めて低かったことを報告している。そのため、現実的には地上部の過繁茂を抑制することが、開花期以降の乾燥害や倒伏を回避する上で望ましい。

## 2. 研究の目的

地上部の繁茂度は乾物重にて評価できるが、成育期間中の地上部乾物重は品種によって異なっており、例えば、De Bruin and Pedersen (2009) はダイズシストセンチュウに対する抵抗性に乏しい古い品種と抵抗性を付与された品種、さらにダイズシストセンチュウ抵抗性と収量性の双方を改良された新しい品種から 2 品種ずつ選定し、それらの成育期間中の地上部乾物重と葉面積指数 (LAI) の推移を比較したところ、ダイズシストセンチュウ抵抗性を有する品種群の地上部乾物重と LAI が、その感受性 2 品種に比較して開花期以降あるいは成育後期に高くなったことを報告している。著者らは、美里在来という在来品種の安

定栽培を目指し、その成長特性を明確にするための第一歩として成育期間中の全乾物重と LAI を調査し、フクユタカと比較したところ、実験を行った 2008 年と 2009 年ともに美里在来が高く、特に開花期の集中した降雨により生殖成長期間の土壌水分に恵まれた 2008 年には全乾物重で 1.68 倍、LAI で 1.65 倍高かったことを確認した (長菅ら 2011)。本品種は、子実収量の変動が大きい品種であるが、上記のように成育期間中の全乾物重と LAI が大きく、生産圃場では特に成育後期に度々倒伏もみられることから、本研究を遂行する上で美里在来は適切な品種であると考え、本品種および標準品種のフクユタカの地上部乾物重およびそれに関連する諸パラメータとの相互関係を比較・解析している。

ダイズの子実生産および乾物生産は土壌水分の影響を強く受けるが、その反応には品種間差があり、飛田ら (1995) はエンレイとタチナガハを異なる土壌水分条件で栽培し、地上部乾物重および子実重の湿潤区に対する乾燥区の減少率を比較したところ、タチナガハの地上部乾物重および子実重の減少率がエンレイに比べて低いこと、および、乾燥区の日中の水ポテンシャルはタチナガハの方が高かったことを報告した。‘美里在来’の地上部は、上記のように降雨等により土壌水分条件に恵まれるとより顕著に繁茂し、本品種の地上部乾物重の促進に水が関与することが示唆されたが (長菅ら 2011)、その詳細については不明な点が多かった。

本研究では、美里在来の旺盛な栄養成長の発現には水利用が関与すると考え、その基礎実験としてポット栽培した本品種の土壌水分条件を乾燥と湿潤の 2 段階に設定し、全乾物重および葉面積をフクユタカと比較すること

を通じて本品種の乾物生産特性を土壌水分反応の観点から解析した。

### 3. 研究の方法

2010年、2011年および2013年に三重大学大学院生物資源学研究科附属紀伊・黒潮生命地域フィールドサイエンスセンター附帯施設農場のガラス温室において美里在来とフクユタカを実験に供試した。1.4 L ポット（直径113 × 深さ140 mm、1/10000 a ワグネルポット；藤原製作所、東京）に砂壤土を充満し、基肥として炭酸苦土石灰と化成肥料（豆化成、全農；N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=3:10:10）を1ポットあたり2 g ずつ混和した。2010年5月31日、2011年5月13日および2013年6月5日に1ポットあたり3粒播種し、水を薄く張った灌水プールに全ポットを浸して底面部の排水溝より自然給水させた。出芽後、間引きして1ポットあたり1個体とした。主茎節数が8-9前後に達した播種後約1ヶ月より一部のポットへの土壌灌水を制限した。具体的には、灌水プールからポットを引き上げて自然給水を停止し、毎日正午前後（11:00~13:00）に夏季に枯死しない程度の強度の土壌乾燥状態である体積含水率約0.35 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>となるように土壌水分測定機（TDR-341F、FUJIWARA、日本）を用いて土壌水分条件を調整した（乾燥区）。一方、薄く水を張った灌水プールに浸して底面より自然給水させたポットについても、同時刻に土壌水分測定機を用いて土壌水分が飽和（体積含水率約0.57 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>）しているか確認し、適宜灌水した（湿潤区）。土壌灌水を制限した初日および土壌灌水の影響が乾物重に反映され始める処理後2週間後に成育調査を行い、乾物重、葉面積、蒸散速度および小葉身の生重当たりの含水量を測定した。乾物重は植物

体を葉、茎（葉柄含む）および根に分別し、80℃に設定した恒温乾燥器内で3日間乾燥した後に計量した。成育調査の中の葉柄長、小葉身長、葉色値（以下、SPAD）および小葉身の生重当たりの含水量については、展開の完了した最上位葉である上位第4葉を調査対象とした。SPADは、葉緑素計（SPAD-502、コニカミノルタ社、東京）を用いて計測した。

蒸散速度は、各ポットをビニル袋で覆って土壌蒸発を抑制し、2010年と2013年には午前10時から正午までの2時間、2011年には処理終了前日の正午から処理終了日までの1日間ガラス温室内に静置し、その前後のポット重量差を重量計（コンパクト天びんEW-12ki、AND社、東京）を用いて計測し、静置時間と葉面積で徐して算出した。2013年には、リーフポロメータ（SC-1、デカゴン社、米国）で展開の完了した最上位葉である上位第4葉の気孔伝導度（Gs）を午前中（11時）に測定した。

### 4. 研究成果

土壌水分処理直前の両品種の成長に明確な品種間差はみられなかったが、2週間の土壌水分処理を施すと両品種で異なる反応がみられ、草丈は乾燥区においては処理開始前と同様に両品種の間に明確な差はみられなかったものの、土壌水分処理2週間後の湿潤区においては有意な品種間差を示し、美里在来がフクユタカに比較して長かった。草丈は、概ね茎長と葉柄長および小葉身長の和と考えることができ、このうちの茎長に着目すると、美里在来が両処理区でフクユタカに比較して有意に長かった。茎の伸長は、主茎節数、節間長あるいは双方の増加に起因すると考えられ、湿潤区では主茎節数と節間長の双方、乾燥区では節間長のみがフクユタカに比較して有意

に大きかった。湿潤区では葉柄長と小葉身長に有意な品種間差がみられなかったことから、湿潤区において美里在来の草丈が有意に長くなった要因として主莖節数と節間長の増加に起因した莖長の長さが寄与した。一方、乾燥区では葉柄長が両品種同等であったが小葉身長は美里在来で有意に短く、美里在来の草丈は節間長に起因した莖長の長さが小葉身長の短さに相殺されてフクユタカと同等の長さに落ち着いたと判断される。土壌水分処理 2 週間後の葉面積は、乾燥区では両品種とも同等だったが湿潤区においては美里在来が有意に大きかった。葉面積は個葉の面積と葉の総数の積であり、このうちの後者を示唆する主莖節数は美里在来で有意に多かったことから、湿潤区で美里在来の総葉数がフクユタカに比較して多かったと考えられる。一方、個葉の葉面積は、全乾物重と葉の分配率に有意差がみられなかったことから葉重も両品種で同等だったと考えられるが、平均 SLA が湿潤区のみ美里在来でフクユタカに比較して有意に高かったことから、個葉の葉面積はフクユタカに比較して大きかったものと判断された。この両者の相乗効果によって湿潤区のみ美里在来の葉面積が大きくなったものと考えられる。以上のように、美里在来では土壌水分条件如何に関係なく節間長の伸長によってフクユタカよりも莖が長くなりやすく、かつ、湿潤土壌条件下では葉面積も増加するために地上部がフクユタカよりも繁茂すると判断された。

一方、全乾物重には両処理区で有意な品種間差が確認されず、同様な傾向は PGR および RGR においても確認され、土壌水分処理 2 週間では美里在来とフクユタカとの間に重量の面での明確な成長速度および成長効率の差は顕在化しなかった。De Bruin and Pedersen

(2009)は乾物重の推移を調査したが、有意な品種間差が生じたのは播種後 1-2 ヶ月経過してからであり、重量面での明確な品種間差を確認するためにはさらに長い処理期間が必要であったと考えられる。しかし、PGR および RGR は両品種同等でもそれを実現するための仕組みは僅かながらも異なっており、はじめに PGR に着目すると、その構成成分である NAR と平均 LA に有意な品種間差は両処理区とも確認できなかったが、平均 LA に関する土壌水分処理 2 週間後の葉面積は、上述のように湿潤区で美里在来が有意に大きかった。また、RGR に着目すると、その構成成分である NAR、平均分配率および平均 SLA のうち、乾燥区では平均分配率が美里在来で有意に低く、湿潤区では上述のように平均 SLA が美里在来で有意に高く、葉面積に関する成長要素が土壌水分条件によってフクユタカよりも変動した。一方、NAR においても両処理区で有意な品種間差は確認できなかったが、土壌水分処理 2 週間後の SPAD は湿潤区で美里在来が有意に低かった。NAR は個葉光合成速度を反映しており、主に葉肉組織の光合成能力と気孔開度によって制御される。前者は、葉内のクロロフィル含有率やクロロプラスト数および窒素濃度と正の相関関係があると考えられ (国分 2001)、この内の窒素濃度は葉色値の SPAD に反映されることから、葉肉組織の光合成能力はフクユタカに比較して低かったと推察される。一方、気孔開度については、気孔伝導度と相関関係を示す単位葉面積当たりの蒸散量 (蒸散速度)、2013 年の気孔伝導度および気孔開度の制御要因の一つである小葉身の生重当たりの含水量でフクユタカと同等であったことから、美里在来の気孔開度が成長速度や成長効率に及ぼした影響は低いと判断される。

フクユタカの平均 LAI は降水量の多い年に大きく、降水量の少ない年に小さかったが NAR は逆に降水量の多い年よりも少ない年の方が高かったのに対して、美里在来では平均 LAI と NAR が降水量の多い年でともに大きく、結果として CGR の年度間差が美里在来で顕著であった(長菅ら 2011)。本研究では、土壌湿潤に伴う PGR の増加が美里在来で必ずしも顕著とならず、またその増加に対して、両品種ともに基本的には平均 LA と NAR の両者の増加が関与しており、以前の研究結果(長菅ら 2011)と必ずしも一致しなかった。しかし、本研究で設定した試験区は、土壌水分がほぼ飽和した湿潤区とダイズが枯死しない程度の強度の土壌乾燥ストレスを与えた乾燥区の二つであり、特に後者では強度の土壌乾燥ストレスによって葉面積の増加および個葉光合成速度に関わる気孔開度がともに強く抑制されており、これらの影響を受けなかった湿潤区との葉面積および NAR の差は前報に比較して極めて大きかった。また、圃場栽培(長菅ら 2011)と異なり、本研究では個体間の相互遮蔽の影響を受け難いポット栽培を開花前の栄養成長期のみで行っており、これらの理由により前報と本研究の結果に差異が生じたものと考えられるが、本研究においても湿潤区における土壌水分処理 2 週間後の美里在来の葉面積はフクユタカに比較して有意に高く、本品種の乾物生産における葉面積の重要性とその実現に SLA 増大が関与することが再確認された。

以上のように、美里在来における葉面積の旺盛な葉面積展開は、湿潤土壌条件下での SLA 拡大を通じて実現することが確認できたが、これらの現象は気温の低い秋期では確認できず、かつ土壌水分および地温の影響を受けないことも本研究で確認しており、ダイズ葉面

積の展開は地上部の環境要因の影響を極めて強く受けることが分かってきた。温度環境のみに着目した場合、一般的には地上部温度(気温)よりも地下部(地温)の方が葉面積の展開を強く制御されるケースが多く、これが根の研究が盛んにおこなわれる背景の一つでもあった。ダイズにおいても根粒菌との関係より根の研究は盛んにおこなわれていたが、地上部の制御という観点で見た場合、地下部よりも地上部の成長パラメータとそれを取り巻く環境条件に着目すべきことが本研究から強く示唆された。このような観点から実践されたダイズ研究事例は過去に例が少なく、本研究が今後も順調に推進されれば我が国におけるダイズの生産性の低さを打破する上での貴重な基礎的知見が得られるものと期待している。

#### <引用文献>

- ① Benjamin, J.G., Nielsen, D.C., Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea, *Field Crops Res.*, 97, 2006, 248-253
- ② Board, J.E., Reduced lodging for soybean in low plant population is related to light quality, *Crop Sci.*, 41, 2001, 379-384
- ③ De Bruin, J.L., Pedersen, P., Growth, yield, and yield component changes among old and new soybean cultivars, *Agron. J.*, 101, 2009, 24-130
- ④ Hirasawa, T., Nakahara, M., Izumi, T., Iwamoto, Y., Ishihara, K., Effect of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under well irrigated

- conditions during grain filling, Plant  
 ⑤ Prod. Sci., 1, 1998, 8-17  
 ⑥ 国分牧衛、ダイズ多収化の生理学的アプローチ、日作紀、70、2001、341-351  
 ⑦ 長菅輝義、内田俊介、加地秀行、早川勇氣、野瀬寿代、梅崎輝尚、ダイズ品種「美里在来」の子実生産、乾物生産および受光態勢、日作紀、80、2011、326-332  
 ⑧ Nagasuga, K., Uchida, S., Kaji, H., Hayakawa, Y., Kadowaki, M., Fukunaga, A., Nose, S., Umezaki, T., Water condition controls inclination angles of leaflets and petioles of soybean (*Glycine max* L.), Environ. Control Biol., 51, 2013a, 79-84  
 ⑨ Nagasuga, K., Kadowaki, M., Hayakawa, Y., Fukunaga, A., Nose, S., Umezaki, T., Comparison of Light-Intercepting Characteristics Between Soybean (*Glycine max*) Cultivar 'Misato-zairai' and 'Fukuyutaka', Environ. Control Biol., 51, 2013b, 85-88  
 ⑩ 飛田有支、平沢正、石原邦、土壤水分低下に対するダイズの生育反応の品種間差、日作紀、64、1995、565-572

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- ① 長菅輝義、福永敦史、東千菜実、梅崎輝尚、ダイズ品種「美里在来」の栄養成長における土壤水分反応、日作紀、査読有、85、2016、138-143  
 DOI : <http://doi.org/10.1626/jcs.85.138>  
 ② Nagasuga, K., Kadowaki, M., Uchida, S., Kaji, H., Fukunaga, A., Umezaki,

T., Effects of Water Condition on Soybean (*Glycine max* L.) plant growth after flowering, Environ. Cont. Biol., 査読有、2014、52、221-225  
 DOI : <http://doi.org/10.2525/ecb.52.221>

[学会発表] (計9件)

- ① 長菅輝義、東千菜実、異なる気温条件下での地温処理がダイズの栄養成長に及ぼす影響、日本作物学会第241回講演会要旨集、2016年3月27-28日、55、茨城大学水戸キャンパス(茨城県・水戸市)  
 ② 長菅輝義、福永敦史、東千菜実、梅崎輝尚、異なる気温条件下での土壤水分処理に伴うダイズ品種「美里在来」と「フクユタカ」の栄養成長の変化、日本作物学会第240回講演会要旨集、2015年9月5-6日、52、信州大学長野キャンパス(長野県・長野市)  
 ③ 長菅輝義、福永敦史、東千菜実、梅崎輝尚、三重県のダイズ在来品種「美里在来」の乾物生産における土壤水分応答、日本作物学会第239回講演会要旨集、2015年3月27-28日、88、日本大学生物資源科学部湘南キャンパス(神奈川県・藤沢市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.crop-agr.com/thesis.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

長菅 輝義 (NAGASUGA Kiyoshi)

三重大学・生物資源学研究科・准教授

研究者番号 : 80515677