

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07621

研究課題名(和文) 温度応答および根粒菌との相互関係から見たダイズ茎葉成長制御メカニズムの解明

研究課題名(英文) Investigation of growth mechanisms of soybean plants in relation to temperature response and rhizobium.

研究代表者

長菅 輝義 (Nagasuga, Kiyoshi)

三重大学・生物資源学研究所・教授

研究者番号：80515677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：大豆栽培の問題の一つである地上部過繁茂メカニズムを明らかにするため、気温・地温反応からダイズの栄養成長特性を解析した。はじめに、気温条件と地温条件を別々に制御する実験系を自作し、土耕栽培したダイズと礫耕栽培したダイズに対して同時に気温・地温処理した。その結果、気温・地温反応は栽培方法によっても若干異なったが、伸長成長の指標である草丈では気温処理によって大きく変化すること、重量成長の指標である全乾物重では逆に気温処理に伴う変化が小さいことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国産大豆の需要は近年高まっており、収量の向上と安定生産の実現が強く望まれる。ダイズの成長メカニズムは極めて複雑であり、明確にされていない点が国産大豆栽培のボトルネックであった。本研究は、子実生産に悪影響を及ぼす要因の中でも地上部の過繁茂に着目し、そのメカニズムを温度反応の側面から解析した。温度応答を地上部温度と地下部温度への応答に分離して評価した研究事例は極めて少なく、世界的に見ても貴重な基礎的知見を得ることができた。また、本研究で確認した栽培方法に伴う温度応答の変化は、ダイズの成長特性評価のボトルネックの一つとして注目された。

研究成果の概要(英文)：Vegetative growth of soybean plants was evaluated from the viewpoint of temperature response separated into those of shoot and root temperatures. First, we made the experimental system for controlling the air (shoot) and root temperature conditions separately. Next, the soybean plants cultivated in soil and gravel were subjected to shoot and root temperature treatments simultaneously. The sensitive response to shoot temperature condition was in found in plant length, not in total dry weight. In addition, there were some differences in the responses of vegetative growth to these temperature conditions between the cultivations.

研究分野：作物学

キーワード：ダイズ 草丈 茎長 乾物重 気温 地温

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国産ダイズの収量は、茎葉がしばしば過繁茂して子実肥大の抑制や倒伏によって減収し、結果として年変動する。そのため、近年の需要の高まりに対応できていない。生産性を改善させるためにはダイズの成長特性を明確にする必要があるが、ダイズは極めて複雑な成長反応を示すため、不明な点が多い。過去の研究で、温度がダイズの成長特性を明確にするための重要な環境要因として注目された(長菅 2017、長菅と梅崎 2019)。植物の晒される温度条件は、詳細に言うと2つに分けることができ、一つは地上部の晒される気温条件、もう一つは根域環境の温度である地温条件がある。両者が植物の成長に及ぼす影響もそれぞれ異なり、前者は葉の蒸散や地上部の様々な生理活性を制御し、後者は根の栄養・水分吸収を制御する。育種学的手法等を用いてダイズ生産性を改善するためには、温度に応答する機能とその存在器官を明確にする必要があり、温度処理も部分的に行うことがより望まれた。

2. 研究の目的

ダイズの成長特性を温度応答から明確にすること、そのキー要素とそれを有する器官を特定するため、地上部温度(気温)と地下部温度(地温)を別々に制御する実験系を自作し、栄養成長期のダイズに対して応用した。また、研究の進展によってダイズの温度応答が栽培条件によっても異なる可能性が示されたため、通常の土耕栽培と根への根粒菌の着生が不十分となる礫耕栽培したダイズに対して同時に温度処理し、その変化を解析した。

3. 研究の方法

三重大学生物資源学部附属紀伊・黒潮生命地域フィールドサイエンスセンター附属施設農場内のガラス温室においてフクユタカを土耕栽培および礫耕栽培した。土耕栽培では、1/10000 ワグネルポットに基肥として炭酸苦土石灰と豆化成(N:P₂O₅:K₂O=3:10:10)を1ポットあたり2gずつ培養土に混和し、2016年9月28日に播種した。礫耕栽培では育苗セルにパーミキュライトを入れ土耕栽培と同じく2016年9月28日に播種した。主茎節数が3に達した頃に砂利を敷き詰めた1/10000 ワグネルポットに苗を移植し、1/2 ホーランド溶液を満たした120Lの2つの水槽に浸して栽培した。出芽から3週間後(10月19日)に気温・地温処理を行った。2.8m×0.8m×1.2mの簡易ビニルハウスを2つ準備し、一方は電気ストーブで常時加温した(高気温区)。もう一方は、天井の扇風機で常時換気させた(低気温区)。各ビニルハウスの両端に水槽を配置し、片方の水槽にはヒーター(マイクロパワーヒーター、KOTOBUKI, D、大阪)を、もう片方にはヒーター(マイクロパワーヒーター、KOTOBUKI, D、大阪)と冷却装置(AZ-251X1、IWAKI CO., LTD、東京)をそれぞれ設置し、これらをサーモスタット(HC-101、IWAKI CO., LTD、東京)に連結させて前者は水温を約30(高地温区)、後者は水温を約20(低地温区)にそれぞれ制御した。これらの水槽へ、土耕栽培したダイズは厚み0.1mmのビニルで覆ったポット部のみを浸し、水耕栽培したダイズではポット部を直接浸して地温処理した。地温処理を開始直後およびその約2週間後に乾物重と葉面積の測定および生育調査をそれぞれ行った。

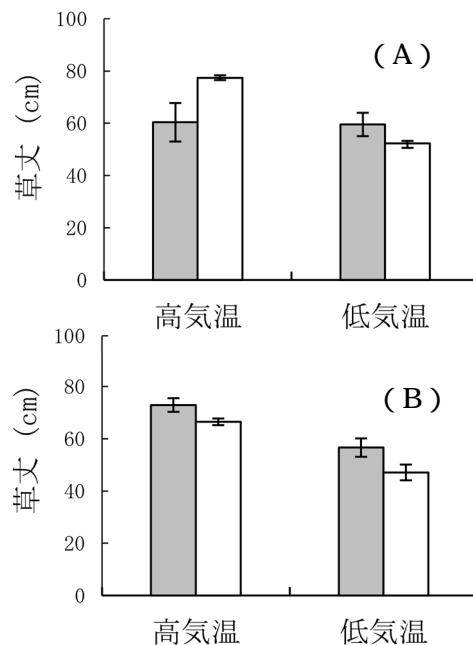
4. 研究成果

(1) 草丈

第1図には気温・地温処理2週間後の草丈を示した。土耕栽培したダイズでは気温処理の有意な効果が現れ、高気温区が低気温区よりも長かった。地温処理間で比較すると、高気温区では低地温条件の方が草丈は長かったが、低気温区では高地温条件の方が長かった。礫耕栽培したダイズでは、土耕栽培と同様に高気温区で長く、かつ、高水温条件の効果も気温処理のそれほど顕著ではなかったものの確認された。このように、高気温条件によって長くなる点は両栽培とも共通し、地温処理の効果は栽培方法によって異なった。

(2) 草丈関連要素

第1表には気温・地温処理2週間後の外部形態を示した。草丈は主に茎長と上位葉の葉柄長およびその小葉身長の和と考えることが出来る。土耕栽培したダイズでは、まず構成要素の中で最も長い茎長の反応が草丈と類似し、草丈の気温・地温処理反応は茎長に起因した。礫耕栽培したダイズにおいても草丈と茎長が類似した気温反応を示したが、地温反応は葉柄長で顕著だった。すなわち、礫耕栽培



第1図. 気温・地温処理2週間後の土耕栽培(A)および礫耕栽培(B)したダイズの草丈の比較。図中の縦棒は、標準誤差を示す。
高地温 低地温

培における草丈の気温・地温処理反応の内、気温は茎長、地温は葉柄長にそれぞれ起因し、処理の効果を担う要素が異なった。茎長は、更に主茎節数と節間長の積と考えることができる。土耕栽培では主茎節数と節間長が高気温条件で増加した。高気温条件下では節間長が高気温条件によって短くなり、茎長でみられた気温処理効果と気温・地温処理の相互作用の内、前者は主茎節数と節間長、後者は節間長に起因した。礫耕栽培においても、主茎節数および節間長が高気温条件によって増加し、茎長の気温反応が主茎節数と節間長の双方に依存する点では土耕栽培と一致した。

第1表．土耕栽培および礫耕栽培したダイズの気温・地温処理2週間後の外部形態。

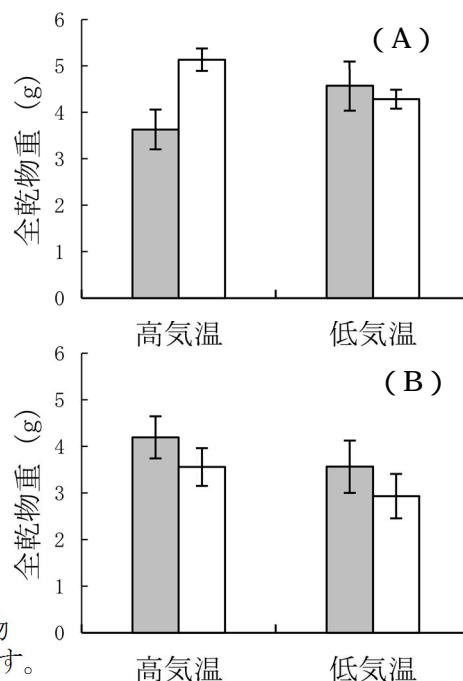
栽培方法	気温	地温	主茎節数	茎長 (cm)	節間長 (cm)	葉柄長 (cm)	小葉身長 (cm)	SPAD
土耕栽培	高気温	高地温	8.8	38.9	4.36	12.6	8.9	37.4
		低地温	9.0	55.2	6.14	16.8	10.9	33.0
	低気温	高地温	8.0	34.3	4.29	15.7	11.0	36.2
		低地温	7.2	31.4	4.36	12.1	9.5	35.5
礫耕栽培	高気温	高地温	8.6	52.0	6.06	15.6	10.4	31.0
		低地温	8.8	50.0	5.69	11.7	9.9	31.2
	低気温	高地温	8.2	35.8	4.37	13.6	11.4	31.2
		低地温	7.2	28.4	3.94	10.4	10.1	32.4

草丈関連要素の内、気温条件と地温条件に反応する要素は必ずしも一致せず、かつ、栽培方法によって異なる気温・地温反応を示す要素も存在することが分かった。

(3) 全乾物重と成長解析

第2図には気温・地温処理2週間後の全乾物重を示した。全乾物重の変化は草丈と同様だったが、気温条件間の差が小さかった点で草丈と反応を異にした。個体成長速度(PGR)および相対成長率(RGR)の気温・地温処理反応は両栽培共に全乾物重のそれと同様だった。個体成長速度の構成要素の内、平均葉面積は両栽培ともに個体成長速度の反応と類似した。純同化率は、土耕栽培において気温処理の効果が小さく、低地温条件の方が高かった。礫耕栽培では、気温条件も地温条件も同等な効果を持ち、それぞれが高まるほど純同化率も高まった。相対成長率の構成要素の内、平均比葉面積は両栽培ともに高気温条件、平均葉重比は低気温条件でそれぞれ高かった。

第2図．気温・地温処理2週間後の土耕栽培(A)および礫耕栽培(B)したダイズの全乾物重の比較。図中の縦棒は、標準誤差を示す。
高地温 低地温



第2表．土耕栽培および礫耕栽培したダイズの気温・地温温度処理2週間の個体成長速度(PGR), 相対成長速度(RGR), 純同化率(NAR), 平均葉面積(平均LA), 平均比葉面積(平均SLA)および平均葉重比(平均LWR)。

栽培方法	気温	地温	PGR ($\times 10^{-2} \text{ g d}^{-1}$)	RGR ($\times 10^{-2} \text{ g d}^{-1}$)	NAR ($\times 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	平均 LA (cm^2)	平均 SLA ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	平均 LWR (%)
土耕栽培	高気温	高地温	16.9	7.5	4.36	392	379	46.1
		低地温	27.7	10.0	5.48	504	397	45.7
	低気温	高地温	23.6	9.2	5.15	459	368	48.1
		低地温	21.6	8.7	5.41	398	343	47.6
礫耕栽培	高気温	高地温	23.8	11.3	5.76	414	425	46.3
		低地温	19.3	10.1	4.98	387	410	48.6
	低気温	高地温	19.3	10.1	5.07	380	399	50.0
		低地温	14.8	8.6	4.49	330	387	49.8

(4) まとめ

栽培方法によって気温・地温反応が異なる点も生じたが、見た目の成長を示す草丈は茎長に依存し、気温条件が主茎節数と節間長を介して強く制御することが明らかとなった。一方、重量面の成長を示す全乾物重への温度処理の効果は明確でなく、草丈で顕著にみられた気温の効果は平均 SLA と平均 LWR の相反する反応によって相殺された。ダイズを含む多くの植物の温度応答に関する研究は植物体全体を同一温度に晒す実験が大半であり、成長反応を気温条件と地温条件に分離して評価した研究は極めて少なく、ダイズにおいては本研究がほぼ唯一の事例である。これまでの研究では乾物重にも明確な温度応答があることが指摘されており (Tacarindua et al., 2013)、著者らも過去の研究で類似した結果を確認した (長菅と梅崎, 2019)。しかし、本研究のように気温と地温を別々に制御した実験で改めて温度応答を評価した結果、草丈と全乾物重の温度応答は必ずしも同様でないことが分かった。また、一般には大きさと重さの成長は連動するものと考えることが多く、温度条件によっては両者の連動性が崩れるという知見は極めて重要である。それらの構成要素の応答が栽培方法によっても変化しており、これらがダイズの成長特性の把握を更に困難にさせていたと考えられ、注目された。

このように、本研究を通じてダイズの成長特性の複雑さを招く要因の一部を明らかにすることに成功した。ダイズの成長能力を正確に評価するためには、本研究のように細かい条件設定をすることが極めて重要であることが分かった。

<引用文献>

- 長菅輝義、温度応答からみたダイズの茎葉成長と水チャンネルとの相互関係、アグリバイオ、1巻、2017、47-51
- 長菅輝義、梅崎輝尚、夏期と秋期におけるダイズ品種‘フクユタカ’と‘美里在来’の栄養成長の土壤水分応答、植物環境工学会、31巻、2019、1-9
- Tacarindua, C.R.P, Shiraiwa, T, Homma, K, Kumagai, E, Sameshima, R, The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber, Field Crops Research, 154, 2013, 74-811

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 長管輝義	4. 巻 10
2. 論文標題 温度応答からみたダイズの茎葉成長と水チャンネルとの相互関係。	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 47-51
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 長管輝義	4. 巻 16
2. 論文標題 微生物を活用した無肥料・無農薬栽培とダイズでの実践例。	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 63-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 NAGASUGA Kiyoshi、UMEZAKI Teruhisa	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of Shade Treatment after the Beginning of Bloom Stage on Seed Production of Soybean Cultivar 'Fukuyutaka' and 'Misato-zairai' without Branching Vegetation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environment Control in Biology	6. 最初と最後の頁 113 ~ 117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2525/ecb.57.113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 長管輝義、梅崎輝尚	4. 巻 31
2. 論文標題 夏期と秋期におけるダイズ品種「フクユタカ」と「美里在来」の栄養成長の土壌水分応答。	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 植物環境工学会	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2525/shita.31.152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 長菅輝義, 加藤孝亮, 梅崎輝尚	4. 巻 26
2. 論文標題 ダイズ品種「フクユタカ」と「美里在来」における子実肥大初期の個体群内相対照度と成熟期の層別粒重との関係.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業生産技術管理学会	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大橋宗真, 栗田春奈, 高橋行継, 長菅輝義, 長屋祐一, 梅崎輝尚	4. 巻 88
2. 論文標題 ダイズ葉柄の伸長規則性に関する研究.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本作物学会紀事	6. 最初と最後の頁 268-272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1626/jcs.88.268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 服部沙蘭, 小林亜衣, 梅崎輝尚, 長菅輝義
2. 発表標題 土壌水分条件に対するダイズ品種「美里在来」の個葉光合成速度と水分パラメータの応答.
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長菅輝義, 小林亜衣, 服部沙蘭, 梅崎輝尚
2. 発表標題 異なる土壌水分条件に晒したダイズ品種「美里在来」の光合成速度と葉の水分パラメータとの関係.
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川航大、中森俊雄、長菅輝義
2. 発表標題 土耕および水耕栽培したダイズの草丈および構成要素の気温・地温反応.
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長菅輝義, 多田夕希子, 中森 俊雄, 梅崎輝尚
2. 発表標題 ダイズ品種 '美里在来' の栄養成長に及ぼす気温・地温の影響
3. 学会等名 日本農業気象学会75周年記念大会2018年全国大会講演要旨集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長菅輝義・中森俊雄
2. 発表標題 土耕および水耕栽培したダイズの栄養成長の気温・地温反応.
3. 学会等名 日本作物学会第245回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部沙蘭・長菅輝義
2. 発表標題 土耕および砂耕栽培した栄養成長期のダイズの外部形態に及ぼす地温の影響.
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川航大・中森俊雄・長菅輝義
2. 発表標題 土耕および礫耕栽培したダイズの乾物生産の気温・地温反応.
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角田唯奈・笹山哲央・山口菜里・梅崎輝尚・長菅輝義
2. 発表標題 時期別灌水処理がダイズ品種「美里在来」と「フクユタカ」の子実生産に及ぼす影響.
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田賀代・市川航大・梅崎輝尚・長菅輝義
2. 発表標題 ダイズ品種「フクユタカ」と「美里在来」の栄養成長期の外部形態に及ぼす気温および地温の効果.
3. 学会等名 日本作物学会第249回講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

三重大学生物資源学部FSC附帯施設農場作物学研究室
<http://www.crop-agr.com/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----