

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658020

研究課題名(和文) 光質の制御による根粒着生促進技術の開発とマメ科作物生産への応用

研究課題名(英文) Regulation of root nodule formation by control of light quality and its application for legume production

研究代表者

鈴木 章弘 (Suzuki, Akihiro)

佐賀大学・農学部・教授

研究者番号：50305108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：ダイズの発芽時に赤色光または遠赤色光を3週間補光し、さらに4週間、太陽光のみで栽培を継続し、個体の成長や根粒数、窒素固定活性等を測定した。その結果、赤色光では予想された通り成長や根粒形成に無処理区と比較して大きな差は見られなかった。一方、遠赤色光を照射した場合は、3週間補光直後では根粒数が有意に減少していたにもかかわらず、その後4週間の太陽光のみでの栽培後には、驚くべきことに無処理区と比較して有意に根粒数が増加していた。播種直後の3週間では、遠赤色光によって根粒形成が抑制されていたものが、補光を止めることによって制限が外れ、その反動で無処理区よりも多くの根粒を形成したものと推察された。

研究成果の概要(英文)： Light is critical for supplying carbon to the energetically expensive, nitrogen-fixing symbiosis between legumes and rhizobia. I have already showed that root nodule formation is photogenetically controlled by sensing the red/far red (R/FR) ratio through JA signaling. In this study, I found that condition of light treatment for increase of the number of root nodule of soybean. As expected, when three day-old soybean plants were treated by FR for 3 weeks, root nodule number was significantly decreased compared with non-treated control plants. However, root nodule number was significantly increased by 3 weeks FR treatment plus 4 weeks natural sunlight treatment compared with non-treated soybean. If this light treatment is applied for soybean production, there is a possibility that soybean yield increase due to the enhancement of root nodule nitrogen fixation by the symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum*.

研究分野：共生窒素固定

科研費の分科・細目：作物学・雑草学

キーワード：ダイズ 根粒 根粒菌 窒素固定 共生 子実生産 収量

1. 研究開始当初の背景

マメ科植物と根粒菌による共生窒素固定では、マメ科植物は炭素源(エネルギー源)として光合成産物を根粒菌へ供給している。したがって今までは、根粒形成は主に光の量(光合成産物量に影響)によって制御されていると考えられてきた。しかしながら最近申請者等は、根粒形成が光の質によっても制御されていることを世界に先駆けて報告した(A. Suzuki et al. PNAS vol.108, 16837-16842, 2011)。すなわち、根粒形成が赤色光受容体であるフィトクロムを介した赤色光(R)/遠赤色光(FR)比受容反応であり、マメ科植物は避陰反応(植物が他の植物の陰に入った時に茎を伸ばして日向へ逃げようとする反応)が起きるような光合成に不利な条件下では、根粒形成を積極的に抑制していることを見いだした。

マメ科作物の子実生産において高い収量を得るためには、窒素を多く施肥することが必ずしも好結果をもたらさないことが知られている。それは、子実中に含まれる窒素の約6割(種類や条件によって値は異なる)が根粒菌による固定窒素であり、土壤中に窒素が豊富に存在すると根粒形成が阻害されてしまうからである。そして高い生産性を確保するためには子実肥大期の窒素固定活性が大事であることが指摘されている(Tewari et al. J. Agronomy and Crop Science vol.190, 46-58, 2004)。つまりこの時期に活性が高い多くの根粒を形成していることが高収量を得るためには重要である。ところでダイズなどのマメ科作物を栽培する時に、通常の栽植密度では個体の成長に伴って植物体の下層に太陽光が直接到達出来なくなることはよく目にする光景である。そしてその状態では主にR/FR値が低い(赤色光の割合が減少した)光が下層へ到達していると考えられ、根粒形成を積極的に抑制する仕組みが部分的に機能している可能性が高い。そこで本研究課題ではこの根粒形成抑制のスイッチをオフにすることにも挑戦する。

2. 研究の目的

マメ科作物の栽培において高い生産性を確保するためには、根粒からの固定窒素の供給を高く保つことが必要であり、そのためには活性の高い多くの根粒を形成させることが肝要である。そこで本研究課題ではマメ科作物を材料に、最近申請者等が発見した「光の質による根粒形成制御の仕組み」を利用して1)光質の制御による根粒形成促進技術の開発、2)補光による生育初期及び子実肥大期の根粒形成促進技術の開発、3)根粒形成促進技術のマメ科作物生産への応用の3つの小課題を遂行する。これによって、マメ科作物栽培時に光質の制御で根粒形成を促す技術を開発し、それが植物の生長や窒素固定活性に与える影響を評価するとともに、その技術を実際

の作物生産に適用することで子実収量に及ぼす影響を評価する。

3. 研究の方法

ガラス室内で、ダイズ(フクユタカ)の発芽時に赤色光または遠赤色光を補光し、播種から3週間後に個体の成長や根粒数、窒素固定活性(アセチレン還元活性)等を測定した。

ガラス室内で、ダイズ(フクユタカ)の発芽時に赤色光または遠赤色光を3週間補光し、さらに4週間、太陽光のみで栽培を継続し、個体の成長や根粒数、窒素固定活性(アセチレン還元活性)等を測定した。

通常のダイズの栽植密度では個体の成長に伴って植物体の下層にR/FR値が低い(赤色光の割合が減少した)光が到達する。そこで、その部分のR/FR値を高くすることで子実肥大期の根粒数を増加させることを想定して、フクユタカを圃場に播種し、赤色のLEDローブライト(LEDチューブライト)を設置して、根粒形成等を調査した。

ガラス室内で、ダイズ(フクユタカ)の発芽時に赤色光または遠赤色光を3週間補光し、さらに4週間、太陽光のみで栽培を継続し、それを圃場に移植して、通常の方法で栽培管理をおこない、最終的には収量調査をおこなった。

4. 研究成果

ガラス室内で、ダイズ(フクユタカ)の発芽時に赤色光または遠赤色光を補光し、播種から3週間後に個体の成長や根粒数、窒素固定活性(アセチレン還元活性)を測定したところ、赤色光を補光した場合は、補光をしない場合と比較して根粒形成に有意な差は観察されなかった。一方、遠赤色光を補光した場合は、予想どおり草丈が大きくなり、根粒形成は抑制されていた。

次にガラス室内で、ダイズ(フクユタカ)の発芽時に赤色光または遠赤色光を3週間補光し、さらに4週間、太陽光のみで栽培を継続し、個体の成長や根粒数、窒素固定活性(アセチレン還元活性)等を測定した。その結果、赤色光では予想された通り成長や根粒形成に無処理区と比較して大きな差は見られなかった。一方、遠赤色光を照射した場合は、3週間補光直後では根粒数が有意に減少していたにもかかわらず、その後4週間の太陽光のみでの栽培後には、驚くべきことに無処理区と比較して有意に根粒数が増加していた(次ページの図参照)。播種直後の3週間では、遠赤色光によって根粒形成が抑制されていたものが、補光を止めることによって制限が外れ、その反動で無処理区よりも多く

の根粒を形成したものと推察された。したがってこの補光条件では、ダイズ開花前の根粒数を対照区よりも増加させることができる技術に繋がる可能性があると思われる。

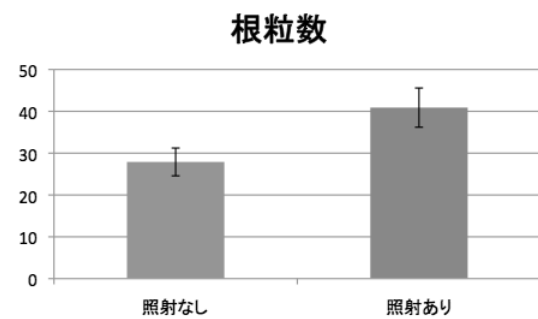


図 フクユタカを播種して3週間の遠赤色光による補光をおこない、さらに太陽光下で4週間の栽培後の根粒数。エラーバーは標準誤差を示す。

通常のダイズの栽植密度では個体の成長に伴って植物体の下層に R/FR 値が低い光が到達し、根粒形成は抑制されていることが考えられる。そこで、その部分の R/FR 値を高くすることで子実肥大期の根粒数を増加させることを想定して、フクユタカを圃場に播種し、赤色の LED ロープライト (LED チューブライト) を設置して、根粒形成等を調査した。

播種して4週間後の根粒数を調査したところ、赤色光ロープライトを設置した区と無処理区の間で植物の生育や根粒数に有意な差は見出せなかった。これは、照射する赤色光の光量子束密度の不足が1つの原因になっている可能性が考えられた。したがって今後は、より密度の高い赤色光を照射して調査する必要があると判断された。

ガラス室内で、ダイズ(フクユタカ)の発芽時に赤色光または遠赤色光を3週間補光し、さらに4週間、太陽光のみで栽培を継続し、それを圃場に移植して、通常の方法で栽培管理をおこない、最終的には収量調査をおこなった。FRで補光した植物は、所謂避陰反応を示しているため、倒伏の心配が考えられたが、圃場へ移植してから1週間ほどで大雨が降った際にFR処理した多くの個体で倒伏が観察された。そして最終的に収量調査をおこなったが、倒伏した個体における子実生産は無処理区と比較して有意に低いという結果になった。これについては、ガラス室内での最初のFR補光を1週間または2週間でおこなうことを考慮しなければならない。

また最初のFRの照射時間の検討をおこなったところ、2週間のFRを処理した区と無処理区を比較すると、予想に反して前者の方が根粒形成が促進していた。今後はこの原因をつきとめるとともに、この条件を適用して圃場における子実生産の評価をおこなっていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

永田真紀, 鈴木章弘, 光質が根粒菌の感染を制御するーフィトクロムシグナリングを介した根粒形成のメカニズムー, 化学と生物, 査読有, 52 巻, 2014, 136-138

〔学会発表〕(計 5 件)

Akihiro Suzuki et al. Both root nodulation and arbuscular mycorrhization are photomorphogenetically controlled by sensing the red/far red (R/FR) ratio through jasmonic acid (JA) signaling. 18th International Congress on Nitrogen Fixation, 2013.10.14 ~ 2013.10.18, Miyazaki

Aya Shimomura, Akihiro Suzuki et al. Effect of light irradiation to the root on *Lotus japonicus* root nodule formation. 18th International Congress on Nitrogen Fixation, 2013.10.14 ~ 2013.10.18, Miyazaki

Katsuya Harada, Akihiro Suzuki et al. Effect of the diversity of *SEN1* gene on nitrogen fixation activity in *Lotus japonicus*. 18th International Congress on Nitrogen Fixation, 2013.10.14~2013.10.18, Miyazaki

Tadashi Yokoyama, Akihiro Suzuki et al. Transcriptional analysis of an *in vitro* nitrogen fixation reaction induced by free living bacterial cells of *B. japonicum* USDA110 with symbiosome solution of soybean root nodules. 18th International Congress on Nitrogen Fixation, 2013.10.14 ~ 2013.10.18, Miyazaki

Akihiro Suzuki et al. Control of mycorrhizal infection by Red/Far-Red (R/FR) ratio through jasmonic acid (JA) signaling. Plant Biology 2013, 2013.7.20 ~ 2013.7.24, Providence (USA)

〔図書〕(計 2 件)

Maki Nagata, Akihiro Suzuki, Chapter 6 of "Advances in Biology and Ecology of Nitrogen Fixation": Effects of Phytohormones on Nodulation and Nitrogen Fixation in Leguminous Plants, INTECH, 2014, 111-128

Maki Nagata, Ann M. Hirsch, Akihiro Suzuki, Chapter 57 of "Biological

Nitrogen Fixation” : *Lotus japonicus*
nodules when it sees red , Wiley/Blackwell ,
2014 , in press

〔産業財産権〕
出願状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://extwww.cc.saga-u.ac.jp/~azuki/top.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 章弘 (SUZUKI, AKIHIRO)
佐賀大学・農学部・教授
研究者番号：50305108

(2) 研究分担者

有馬 進 (ARIMA, SUSUMU)
佐賀大学・農学部・教授
研究者番号：90140954

(3) 連携研究者

()

研究者番号：