

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 20 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660050

研究課題名(和文) 光質の違いによる菌根菌共生への影響および作物生産への応用

研究課題名(英文) Effect of light quality on the establishment of arbuscular mycorrhizal symbiosis

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：マメ科のミヤコグサとナス科のトマトにおいて、植物へ照射する光のR/FR値が異なることで菌根菌の感染率が影響されることを示した。すなわち、R/FR値が高い時は感染率が高く、低い時は低下した。また、R/FR値が低い条件でもジャスモン酸を添加することによって感染率が回復することを見出した。さらに両光条件によって根から分泌されるストリゴラクトンの量を調査したところ、R/FR値が高い場合に多いことが明らかになった。これらの結果は照射される光の質の違いによって植物ホルモンの生産や分泌が影響を受けて菌根菌との共生を調節していることを示している。

研究成果の概要(英文)：We show that sensing the R/FR ratio positively influences arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis development through jasmonic acid (JA) and strigolactone (SL) signaling. By transferring white light-grown *Lotus japonicus* inoculated with *Rhizophagus irregularis* to conditions of differing R/FR ratio, we found that in high R/FR, the infection rate of AM fungi significantly increased compared to plants grown in low R/FR. A similar response occurred in the non-legume *Solanum lycopersicum* cv. Micro-Tom. Moreover, adding JA not only enhanced transcription of the marker genes in both legume and non-legume roots, but also increased fungal hyphal length. We found that root exudates from high R/FR treated plants contained more (+)-5-deoxystrigol than low R/FR-derived exudates.

研究分野：作物生態整理学

キーワード：光質 共生 ミヤコグサ トマト 菌根菌 ジャスモン酸 ストリゴラクトン

1. 研究開始当初の背景

高等植物は微生物と共生することによって個体の成長に必要な栄養を得るなどのメリットを享受している。したがって、効率的な共生関係を確立することは植物の成長ひいては作物生産にとって非常に重要である。そして最近の研究から、マメ科植物と微生物との共生において、その感染過程の共通性が指摘されている。

マメ科植物は炭素源として光合成産物を根粒菌へ供給していることから、今までは根粒形成は主に光の量によって制御されていると考えられてきたが、研究代表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*, 108, 16837-16842, 2011, T. Shigeyama et al. *Plant Signaling & Behavior*, 7, 1-3, 2012). 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 R/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。そしてこのような事実は「菌根菌の感染も光の質 (波長) によって制御されている」可能性を示唆している。そこで R の光量子束密度を一定にして FR (基本的に FR は光合成に利用されない) の有無によって低 R/FR 及び高 R/FR 条件を設定し、菌根菌の感染率をマメ科のミヤコグサ及びナス科のトマトで調査したところ、菌根菌の感染率は低 R/FR 条件で劇的に抑制された (未発表データ)。つまり、高等植物への菌根菌の感染も根粒菌の場合と同様に R/FR 比受容反応である。

2. 研究の目的

研究代表者等はマメ科植物の根における根粒形成がフィトクロムシグナリングを介した赤色光 (R)/遠赤色光 (FR) 比受容反応であることを報告したが、最近の研究から高等植物と菌根菌との共生もまた R/FR 比の違いによって大きな影響を受けることが明らかとなった (未発表データ)。そこで本研究課題ではダイズとトマトを材料にして 1) 光質の制御による菌根菌共生への影響, 2) 光照射した植物の生理状態の評価の小課題を遂行した。これによって、菌根菌共生が促進される光条件を見極め、その時の生理的背景にある遺伝子のネットワーク機構に関する情報を収集する。さらにその共生促進技術を実際の作物生産に適用することで生産性に及ぼす影響を評価する。

3. 研究の方法

アーバスキュラー菌根菌 *Rhizophagus irregularis* を感染させる植物としてマメ科植物と非マメ科植物を用いることとし、前者に

はミヤコグサ Miyakojima MG20 を後者にはトマト Micro-Tom を用いた。

アーバスキュラー菌根菌接種実験の培地にはホーグランド培地を用い、基本的には菌根菌接種後 2 週間の植物の根をトリパンブルーで染色し、顕微鏡下で菌根菌の感染率を調査した。

植物へ照射した光条件は、高 R/FR では R のみで、低 R/FR では 0.1 となるように設定した。

菌根菌感染のマーカー遺伝子としてミヤコグサでは *LjSbtM1* と *LjPT4* 遺伝子をトマトでは *SIPT4* 遺伝子等を用い、リアルタイム PCR 法によって遺伝子発現を調査した。

ミヤコグサの根浸出液中のストリゴラクトンは、光処理したミヤコグサの水耕液を回収して、CE/TOF MS によって相対的に定量を行った。

4. 研究成果

図 1 はミヤコグサ MG20 を高 R/FR または低 R/FR 条件で栽培した際の、菌根菌接種 2 週間後の菌根菌感染率を示している。図から明らかなように低 R/FR 条件と比較して高 R/FR では菌根菌感染率が有意に上昇していた。

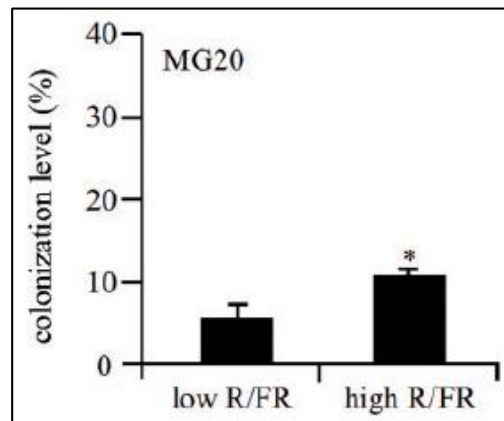


図 1: アーバスキュラー菌根菌接種 2 週間後の高 R/FR または低 R/FR 条件での菌根菌感染率 (ミヤコグサ) * は有意水準 5% で有意であることを示す。

図 2 は Micro-Tom を高 R/FR または低 R/FR 条件で栽培した際の、菌根菌接種後 2 週間後の菌根菌感染率を示している。図から明らかなようにトマトの場合もミヤコグサと同様に低 R/FR 条件と比較して高 R/FR では菌根菌感染率が有意に上昇していた。これらの結果は、マメ科植物及び非マメ科植物のいずれにおいても、光の質が変化するとアーバスキュラー菌根菌の感染率が影響を受けることを示している。

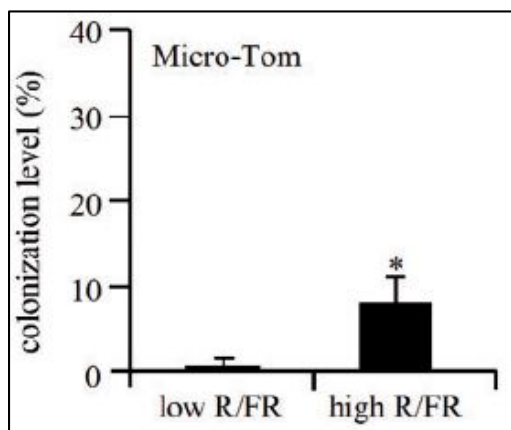


図2：アーバスキュラー菌根菌接種2週間後の高R/FRまたは低R/FR条件での菌根菌感染率(トマト) *は有意水準5%で有意であることを示す。

図1や図2に見られるように高R/FR条件では菌根菌感染率が上昇していたが、この時の菌根菌感染のマーカとなる遺伝子の発現も調査した。その結果、ミヤコグサ MG20 の *LjSbtM1*, *LjPT4* 遺伝子の発現は高R/FRの時に有意に高かった。同様の実験をトマトにおいてもおこなったが、トマトの場合は低R/FR条件に置いて *SIPT4* 遺伝子の発現はほとんど検出できなかったが高R/FRでは有意に高くなっていた。

以前の私たちの研究では、ミヤコグサにおいて高R/FR条件の根において活性型のジャスモン酸(JA)の濃度が上昇していた。そこでトマトにおいてJAのマーカ遺伝子の発現を調査したところミヤコグサの場合と同様に高R/FRで発現が有意に高くなっていた。そしてこの結果は、低R/FRにおいてJA濃度が低くなることによって感染率が低下している可能性を示していた。

そこで感染率が低下する低R/FR条件でJAを添加すると感染率の回復が見られるかどうか調査した。その結果0.5 μM JAを添加したところミヤコグサ、トマトのいずれにおいても感染率は無処理の場合よりも有意に高くなった。この結果は上記の作業仮説を支持している。

ところで、菌根菌が感染する際に植物ホルモンの一つであるストリゴラクトンが根から分泌されて菌根菌はそれを感受して菌糸を分岐させ、それが感染の成立につながるということが知られている。そこで光条件によって根におけるストリゴラクトンの生産や根から

のストリゴラクトンの分泌量が異なっているのではないかと仮説を立てた。まず、根におけるストリゴラクトン合成のマーカ遺伝子の発現を調査した。その結果、*LjCCD7* 及び *LjCCD8* のいずれの遺伝子発現も高R/FR条件で有意に高くなっていることが明らかになった。さらに根の滲出液中の相対的なストリゴラクトン量をCE/TOF MSによって調べたところ、ミヤコグサ MG20 を低R/FRで育てた時と比較して高R/FRの方がストリゴラクトン量が有意に増加していることが明らかになった。

以上の結果は、高R/FR条件で植物を育てた場合、根におけるJAやストリゴラクトン量が低R/FRよりも高くなるばかりでなく、根からの分泌量も高R/FRの方が増加していることを示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- Maki Nagata, Naoya Yamamoto, Tamaki Shigeyama, Yohei Terasawa, Toyooki Anai, Tatsuya Sakai, Sayaka Inada, Susumu Arima, Masatsugu Hashiguchi, Ryo Akashi, Hideyuki Nakayama, Daisuke Ueno, Ann M. Hirsch and Akihiro Suzuki. Red/Far Red Light Controls Arbuscular Mycorrhizal Colonization via Jasmonic Acid and Strigolactone Signaling. *Plant Cell and Physiology*, 56, 2100-2109 (2015)
- Maki Nagata, Naoya Yamamoto, Taro Miyamoto, Aya Shimomura, Susumu Arima, Ann M. Hirsch and Akihiro Suzuki. Enhanced hyphal growth of arbuscular mycorrhizae by root exudates derived from high R/FR treated *Lotus japonicas*. *Plant Signaling and Behavior* (accepted) (2016)

〔学会発表〕(計 3 件)

- 永田真紀, 山本直也, 寺沢洋平, 有馬進, 穴井豊昭, 鈴木章弘, 光質が与える植物ホルモン合成への影響, 植物微生物研究会第24回研究交流会, 2014年9月19日~2014年9月20日, 佐賀
- 山本直也, 永田真紀, 有馬進, 鈴木章弘, ミヤコグサとアーバスキュラー菌根菌の共生へ及ぼす皇室の影響, 植物微生物研究会第24回研究交流会, 2014年9月19

日～2014年9月20日，佐賀
Maki Nagata, Naoya Yamamoto,
Susumu Arima, Toyoaki Anai and
Akihiro Suzuki, Arbuscular
mycorrhizal colonization are controlled
by Red/FarRed ratio through Jasmonic
acid signaling. 2014年7月6日～2014
年7月10日，Greece

〔図書〕(計 件)

〔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：