

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21380514

研究課題名（和文） 環境調節による高次機能性野菜の効率的生産に関する研究

研究課題名（英文） Research on efficient production of value-added functional vegetables by environmental control

研究代表者

後藤 英司 (GOTO EIJI)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授

研究者番号：00186884

研究成果の概要（和文）：光と温度の感受性の異なる数種の野菜（ホウレンソウ、ラファノブラシカ、チンゲンサイ、コマツナ、ルッコラ、ハッカ等）を対象作物として、光（強度、光質、明期）、温度（気温、培養液温）等を環境要因に選び、葉の成長、光合成産物の分配、目的物質の生合成と蓄積、他の成分との競合・分配について考察し、有用成分の発現・蓄積を最大にするための生育環境条件を見出し、環境調節法を提案した。

研究成果の概要（英文）：Several vegetables which have different responses to light and temperature environments were used in this study. The vegetables selected in this study were spinach (*Spinacia oleracea* L.), *B. rapa* var. *perviridis* (komatsuna), *Eruca vesicaria* (rucola), *Raphanobrassica*, *Corchorus olitorius* and Japanese Mint (*Mentha arvensis* L. var. *piperascens*). The plants were cultivated under various light (intensity, quality and period) and temperature (air temperature and nutrient solution temperature) conditions. Photosynthetic rate, growth rate, morphogenesis were measured and functional components were analyzed. As a result the suitable conditions to increase growth rate and concentration of functional components at the same time were determined.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：機能性成分、緑黄色野菜、薬草、光質、培養液、紫外線

1. 研究開始当初の背景

(1) 緑黄色野菜のファイトケミカル

最近、植物が持つ、人間の健康に有効な機能性成分が注目されている。たとえば食用作物では、栄養素成分のほかに身体の調節機能に関して抗菌作用、解毒作用、抗酸化作用、抗腫瘍活性、代謝改善などの効果、および生

活習慣病の予防効果を持つ成分が注目されている。その大部分はファイトケミカル (phytochemical) と呼ばれる植物由来の化学物質である。

本研究の対象である野菜は、エネルギー源としてでなくビタミン、ミネラルおよび繊維質の摂取を目的として食用にされてきた。近

年は、栄養素に加えてファイトケミカル成分が注目され始め、関連研究が進められている。緑黄色野菜が有するファイトケミカルには、たとえば以下のような物質があり、機能と効果が証明されている。

- ・ポリフェノール（フラボノイド類：アントシアニン、ロズマリン酸など）
- ・有機硫黄化合物（メチオニン類：グルコシノレート、イソチオシアネート類：スルフォラファンなど）
- ・テルペノイド（カロテノイド類： β -カロチン、ルテインなど）
- ・精油：ペリラルデヒド、リモネン、シネオールなど）

(2) 緑黄色野菜の含有成分研究の現状

緑黄色野菜に定義される野菜のうち、ニンジンなどの根菜類、トマトやピーマンなどの果菜類を除くと、その多くが葉菜類である。これらは成分を葉・茎・花芽に蓄積し、光・温度・ガスなどの環境変化に敏感な植物である。薬効成分を有する緑黄色野菜は、食用野菜として周年需要は多いが、一部の葉菜類を除いて植物工場的な生産形態は確立されていない。現状では、ホウレンソウとブロッコリーは冷涼な気候を好むために春季と秋季にハウスで栽培している。シソとスイートバジルは高温・高光強度を好むために夏季にハウスや畑で栽培している。このように、適作期には既存施設で生産しているが、それでも栽培条件によってビタミン、ミネラルおよび機能性成分の含有量が大きく変動することが問題になっている。

緑黄色野菜に属するシソとスイートバジルは、薬効成分および香氣性成分を含むために薬用ハーブとも呼ばれ、民間薬の成分になる物質を多く含有している。シソ葉は漢方薬成分である精油のペリラルデヒドやリモネンも含んでいる。薬用ハーブの多くは薬効成分を葉に蓄積し、葉菜類と同様に環境変化に敏感である。申請者らは、今までに、セントジョーンズワートなどの薬草の薬効成分の合成と蓄積は環境条件の影響を大きく受けること、また生育環境制御は薬効成分の安定的生産に有効であることを示した。

重要性を増す緑黄色野菜であるが、ファイトケミカルに関しては、収量や濃度制御に関する研究がなされておらず、栄養素とファイトケミカルの分配や競合についての知見も乏しくて効率的な生産法が確立できていないため、早期の研究進展が求められている。

2. 研究の目的

近年、緑黄色野菜およびハーブ野菜は、ビタミンやミネラルだけでなくファイトケミカルと呼ばれる機能性成分や薬効成分（以下、有用成分）の高蓄積が求められている。しか

しながら、生育環境とファイトケミカルの関係解明を試みる研究例は少なく、栽培技術を確認するための知見が不足しているのが現状である。そこで、本研究では、各種の有用成分を有する緑黄色野菜等を野菜工場や温室等で効率的に生産するための基盤技術として、有用成分の発現・蓄積を最大にするための高度な生育環境調節法を開発することを目的とする。

具体的には、光と温度の感受性の異なる数種の野菜（ホウレンソウ、ラファノブラシカ、ハッカ等）を対象作物として、光（強度、光質、明期）、温度（気温、培養液温）等を環境要因に選び、葉の成長、光合成産物の分配、目的物質の生合成と蓄積、他の成分との競合・分配について考察し、有用成分の発現・蓄積を最大にするための生育環境条件を見出し、環境調節法を提案する。

3. 研究の方法

グロースチャンバーを用いて制御環境下で下記の植物について栽培試験を行い、機能性成分および薬効成分を高める生育環境条件を探索する。

植物実験は、光合成有効光量子束（PPF）で 200~1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の人工光を有する大小の人工気象室（現有）を用いて行う。利用する人工気象室は、気温、湿度、光強度を調節でき、また CO_2 施用を行える。光源は、実用化時の応用可能性をふまえて、光強度に応じて、蛍光灯、メタルハライドランプ、LED を選ぶ。蛍光灯と LED は、青色（400~500nm）、緑色（500~600nm）、赤色（600~700nm）、遠赤色（700~800nm）の波長域の出力を変えて光質と光強度を制御する。メタルハライドランプは、青色と赤色の割合および紫外線（UV-A）の強度の異なる光源を用いる。いずれのランプでも短波長側の紫外線（UV-B）の発光は難しいため、紫外線ランプを追加する。

(1) ハッカ

紫外線を含む光環境と成長および有用成分の関係を調べ、有用分量を大とする光環境条件を見出す。有用成分はガスクロマトグラフで分析する。また光環境と葉位別成分蓄積量の関係データから、葉の成熟度を考慮して、個体あたりの有用分量を最大化する条件を生育モデルを用いて求める。対象品種は生薬としても使用される日本ハッカとした。

(2) ラファノブラシカ

アブラナ科野菜の中でも機能性成分の豊富なケールとダイコンとかけ合わせた品種であるラファノブラシカは発癌抑制グルコシノレート高含有植物である。このラファノブラシカの施設栽培等の人工環境下における養液栽培法を開発するために、光、温度、

培養液等の栽培環境要因と生育の関係を調査する。さらに、葉位別の機能性成分の生成・蓄積・分解、および生育ステージ別の機能性成分含有量の変動を解明する。グルコシノレート類は液体クロマトグラフ質量分析計で分析する。

(3) ホウレンソウ

光質の異なる光環境条件下において栽培試験を行い、成長、光合成色素、二次代謝物質、フェノール類、抗酸化能などの評価を行い、どのような光質がファイトケミカルの合成・生産に有効であるか考察する。二次代謝産物とフェノール類は液体クロマトグラフで分析する。

(4) その他葉菜類

各種の環境条件下において栽培試験を行い、成長、光合成色素、二次代謝物質、フェノール類、抗酸化能などの評価を行い、どのような環境条件がファイトケミカルの合成・生産に有効であるか考察する。二次代謝産物とフェノール類は液体クロマトグラフで、無機成分は原子吸光度計で分析する。チンゲンサイ、コマツナ、ルッコラ、モロヘイヤなどの緑黄色葉菜類やハーブ野菜から数種類選んで実施する。

4. 研究成果

(1) ハッカ

① 紫外線照射

白色蛍光灯に UV-A および UV-B を付加してニホンハッカに 7 日間照射した。UV 照射を直接受ける上位葉では、UV-B 処理および UV-A と UV-B の同時処理において 1-メントールなどの精油成分含有量が増加した。成長に差はなかった。また精油成分含有量と抗酸化能に関係があることが示唆された。以上より、適度な UV 付加を長期間行えば精油成分含有量の高いハッカを生産できると考えられる。

② 光強度と成長・有用成分

次に、光環境と成長および有用成分の関係を調べ、有用成分量を大とする光環境条件を見出した。この結果をふまえて、葉菜類の生育モデルを改良し、ハッカの主枝と側枝、葉と茎に分けて成長と薬効成分含有量を求め、個体の薬効成分生産量を推定する生育モデルを構築した。このモデルの生育シミュレーションプログラムを開発し、各種の光条件下での薬効成分量の推定を行った。

(2) ラファノブラシカ

① 培養液

ケールとダイコンの属間雑種であるラファノブラシカの水耕栽培において、培養液の S 濃度と生育およびグルコシノレート含有量の関係を調べた。S 濃度を基準濃度の 3 倍に

すると成長は低下せずに葉のグルコシノレート類（グルコラファニンおよびグルコラフェニン）含有量が増加した。しかし 5 倍にするとグルコシノレート類含有量は増加するが成長は抑制された。以上のことから、S 濃度の制御により成長を抑制しないで機能性成分を増加させる可能性が示された。

② 光強度

次に、光強度がグルコラファニンとグルコラフェニンの含有量に及ぼす影響を調査した。葉の成長速度は $250 \mu \text{umol/m}^2/\text{s}$ の強度でほぼ飽和するが、両物質の含有量は光強度が $400 \mu \text{umol/m}^2/\text{s}$ までは増加した。また個葉の含有量は出葉 15 日以降に高くなることを明らかにした。

(3) ホウレンソウ

光質、光強度および気温がホウレンソウの生育およびルテイン、 β -カロテン濃度に及ぼす影響および両成分濃度の品種間差を調査した。

① 光質

光質処理によりホウレンソウの内部成分などの品質改善ができるか検討を行った。長期間（約 2 ヶ月間）、白色光、赤色光および青色光でホウレンソウを栽培した。青色光は白色光よりも葉のビタミン C 濃度をわずかに高め、葉の硝酸濃度も高める傾向にあった。赤色光下の内部成分量は白色光のそれとほぼ同等であった。また 4 品種を用いた試験では、形態形成および成長に関する光質反応に品種間差のあることが明らかになった。

② 光強度

播種後 30 日間育成したホウレンソウ 4 品種を供試材料とした。光強度 (PPF) を 150, 250, $350 \mu \text{umol/m}^2/\text{s}$ の 3 水準設定し 7 日間の試験を行った。試験終了時に葉身の生体重および乾物重を測定した。また、葉身のルテインおよび β -カロテン濃度を HPLC で定量した。全ての品種で生体重および乾物重は光強度が高いほど大となった。全ての品種でルテインおよび β -カロテン濃度は光強度が高いほど大となる傾向がみられた。その理由として、光強度が高くなるにつれて光合成の補助色素であるカロテノイドの合成が促進されたことが考えられる。ルテイン濃度は'おかめ'で最大となり、 β -カロテン濃度は'アクティブ'で最小となった。'アクティブ'では光強度が高いほど両成分の濃度比が有意に小となったが、他の品種では試験区間に有意差がなかった。

③ 気温

播種後 30 日間育成したホウレンソウ（品種アクティブ）を供試材料とした。明期気温を 10, 15, 20, 25°C の 4 水準設定し 10 日間の試験を行った。試験終了時に葉身の生体重および乾物重を測定した。また、葉身のルテ

インおよびβ-カロテン濃度をHPLCで定量した。生体重は25°Cおよび20°Cで他の区より大となり、乾物重は20°Cで最大となった。乾物率と生体重あたりのルテインおよびβ-カロテン濃度は気温が高いほど小となる傾向がみられた。乾物重あたりのルテイン濃度は気温が高いほど大となり、β-カロテン濃度は試験区間に有意差がなかった。したがって、気温が低くなるほど乾物率が増加し、生体重あたりの両成分濃度が高くなったと考えられる。両成分の濃度比は25°Cで最大となった。

(4) その他葉菜類

光強度と収穫時刻に注目し、チンゲンサイ、コマツナ、ルッコラのアスコルビン酸とβ-カロチンの濃度変動および変動の植物種間差を調査した。人工環境下では、生じうる光強度のばらつきの範囲では栄養成分濃度のばらつきは小さく、収穫時刻によるばらつきも小さいことから、温室栽培や露地栽培に比べて機能性成分を高含有する葉菜を生産できることが明らかになった。

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3件)

- ①Malayeri, S.H., Hikosaka, S., Ishigami, Y and Goto, E., Growth and Photosynthetic Rate of Japanese Mint (*Mentha arvensis*) Grown under Controlled Environment.、Acta Hort.、査読有、907、2011、73-79
http://www.actahort.org/books/907/907_6.htm
- ②Li, J., Hikosaka, S. and Goto, E., Effects of Light Quality and Photosynthetic Photon Flux on Growth and Carotenoid Pigments in Spinach (*Spinacia oleracea* L.).、Acta Hort.、査読有、907、2011、105-110
http://www.actahort.org/books/907/907_12.htm
- ③Sara Hassani Malayeri, Shoko Hikosaka, Eiji Goto. Effects of light period and light intensity on essential oil composition of Japanese mint grown in a closed production system.、Environ. Control in Biol.、査読有、48、2010、141-149
<http://dx.doi.org/10.2525/ecb.48.141>

[学会発表] (計4件)

- ①古山真一・彦坂晶子・後藤英司・芹澤啓明. (2011) 光強度がラファノブラシカ‘長・野48号’のグルコシノレート含有量および生育に及ぼす影響. 日本生物環境工学会2011年北海道大会、2011年9月8日、北海道大学(北海道)。
- ②田中麻美, 後藤英司, 彦坂晶子, 植物工場における光強度の変動が葉菜類の成長と栄養成分に及ぼす影響、日本農業気象学会2011年度全国大会、2011年3月18日、鹿児島大学(鹿児島県)
- ③Juan Li, Eiji Goto, Shoko Hikosaka and Yasuhiro Ishigami, Effects of light quality and photosynthetic photon flux density on growth and carotenoid pigments in spinach (*Spinacia oleracea* L.)、6th International Symposium on Light in Horticulture、2009年11月16日、つくば国際会議場(茨城県)
- ④Shoko Hikosaka, Kasumi Ito and Eiji Goto. Effects of UV Light on Growth, Essential Oil Concentration and Total Antioxidant Capacity of Japanese Mint (*Mentha arvensis* L.)、6th International Symposium on Light in Horticulture、2009年11月16日、つくば国際会議場(茨城県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 英司 (GOTO EIJI)
千葉大学・大学院園芸学研究所・教授
研究者番号：00186884

(2) 研究分担者

彦坂 晶子 (HIKOSAKA SHOKO)
千葉大学・大学院園芸学研究所・准教授
研究者番号：50345188
石神 靖弘 (ISHIGAMI YASUHIRO)
千葉大学・大学院園芸学研究所・助教
研究者番号：50361415
兼子 敬子 (大橋敬子) (KANEKO KEIKO)
(OHASHI KEIKO)
玉川大学・学術研究所・准教授
研究者番号：50332599
渡邊 博之 (WATANABE HIROYUKI)
玉川大学・農学部・教授
研究者番号：60365872

(3) 連携研究者

芹澤 啓明 (SERIZAWA HIROAKI)
長野県 野菜花き試験場・主任研究員
研究者番号：