

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580092

研究課題名(和文)施設園芸における養分動態の解明と養分管理概念の新提案

研究課題名(英文)Explication of nourishment movement in greenhouse gardening

研究代表者

三枝 正彦(Saigusa, Masahiko)

豊橋技術科学大学・先端農業・バイオリサーチセンター・特任教授

研究者番号：10005655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：施設園芸の養分実態と養分管理法を検討し、次の成果を得た。  
ハウス土壌は、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、P、K、Mgの過剰集積とMn、Fe、Cu、Zn欠乏状態であった。Pの過剰集積はポリシリカ鉄で、野菜の硝酸集積は肥料、種子同位置シードテープで改善された。人工光型植物工場野菜のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>はEUの規制値を超えていたが、低窒素、高NH<sub>4</sub><sup>+</sup>割合養液で改善された。野菜はNH<sub>4</sub><sup>+</sup>をNO<sub>3</sub><sup>-</sup>と同等、或いはそれ以上利用する事を重窒素追跡法で解明した。施設園芸の三大要素はN-P-Kではなく、N-K-Caと提唱した。CO<sub>2</sub>施肥、12月移植、統合環境制御などで、大玉トマト50.6t/10aを我が国で初めて達成した。

研究成果の概要(英文)：The nutritional status and nutritional management of horticulture were studied, and the results obtained are as follows.

Excessive accumulation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, K, Mg and deficiency of Mn, Fe, Cu, Zn were revealed in the greenhouse soil. The excessive P problem of soil and the excessive NO<sub>3</sub><sup>-</sup> accumulation of vegetable were amended by using the polysilicon iron and by using new seed tape respectively. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content of vegetables grown in artificial light plant factory were beyond the EU regulation value. By reducing both total N content and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratio of marketing hydroponics liquid, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content of vegetables were well controlled. By N-15 tracer method, vegetables was revealed to utilize NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, equal or more than NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. The three major elements in the horticulture is clarified to be N-K-Ca, but not N-P-K. By an integrated environmental control cultivation with CO<sub>2</sub> fertilization and December transplanting, the yield of big ball tomatoes reached to 50.6t per 10a for the first time in Japan.

研究分野：農学

 キーワード：重窒素トレーサー法 硝酸態窒素 養液組成 リン酸集積 植物工場 炭酸ガス施肥 光合成環境 L  
E D

### 1. 研究開始当初の背景

従来の土地利用型農業の養分動態は雨量などの気象要因やコロイド組成などの土壌、地形要因に大きく左右されている。しかしながら、施設園芸においては、被覆によって、降雨が遮られ、土壌交換が困難、培地が多様である、極めて集約的で超多収である、経済性が高いなどの特殊性によって、土地利用型農業とは異なる養分管理が不可欠である。それにも拘わらず、土壌肥料研究者が少なく、従来の土地利用型農業の養分管理を踏襲している事例が多い。その結果生産現場では 1) リン酸の過剰障害と Ca 欠乏や微量元素欠乏の発生、2) Ca、K、硝酸などの土壌塩類の集積と土壌のアルカリ化が進行、3) 炭酸ガス施用の必要性、4) 植物体に硝酸態窒素や蔭酸が集積、5) 養水分の精密管理とハウス内循環システムの確立、6) 光合成環境の整備による収量の飛躍的向上、7) 施設園芸に特化した養分管理の必要性等の問題が生じている。

### 2. 研究の目的

- (1) 東三河地域の施設園芸土壌における養分実態の解明と改善
- (2) 植物工場における水耕養液組成の検討と三大要素としての N-K-Ca の新提案
- (3) 植物工場野菜の硝酸集積の実態と硝酸低減のための水耕養液の開発
- (4) 植物工場野菜の収量向上のため CO<sub>2</sub> 施肥法の開発
- (5) マルチモーダルマイクロセンサー (pH、EC、温度、養分) を養液管理に導入
- (6) 最適光合成環境下のトマト 50t 採り、超多収栽培の実証
- (7) 植物工場における膨大なデータの解析と栽培マニュアル化

### 3. 研究の方法

我国有数の施設園芸地帯である渥美半島のトマトや菊、大葉などの栽培農家のハウス土壌を採取し、養分動態を明らかにし、直面する課題について、学内の最先端園芸施設で

検討する。特にリン酸過剰集積の改善法として、浄水ケーキであるポリシリカ鉄の有効性を検討する。また低照度下の人工光型植物工場の水耕液組成の検討と野菜の硝酸集積の実態調査と改善法の検討を、所有する人工光型コンテナ植物工場で行う。また既存の水耕養液は高窒素含量、高硝酸割合であるが、低窒素含量、高アンモニア態窒素割合にした場合の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の利用状況を重窒素トレーサー法で検討する。さらに植物工場でのトマトやレタスの光合成環境の整備による超多収栽培の検討は学内の太陽光型植物工場と人工光型植物工場、申請者が研究統括を行っている豊橋市の IGH(Intelligent Green House) で検討する。植物工場で得られる膨大なデータ解析は学内の専門家に依頼し、それに基づく栽培マニュアルを作成する。

### 4. 研究成果

#### (1) 東三河地域の施設園芸土壌における養分実態の解明と改善

日本有数の施設園芸地帯である愛知県東三河地域の食用小菊、シソ大葉、スプレー菊、等のハウス土壌を調査、分析し、いずれの作物にも共通して、高い EC、塩基飽和度と硝酸、リン酸、カリ、苦土の過剰集積、及びマンガン、鉄、銅、亜鉛欠乏状態が明らかになった(表 1)。リン酸、硝酸、カリ、苦土の過剰集積はトマトやピーマンハウス土壌でも見られた。既存の研究を含めるとリン酸の過剰集積は深刻な状態であり、菊栽培では下葉の枯れ上がりが見られる圃場もあった。そこで、水道局から今後大量に発生が見込まれる浄水ケーキ、ポリシリカ鉄を用いて、ハウス土壌のリン酸過剰集積の改善を試みたところ、有効態リン酸を低減させるとともに、可給態鉄含量を大幅に向上させ、また可給態銅、亜鉛含量も改善した(データ、省略)。一方、ハウス土壌におけるハウレンソウ、コマツナ、ハツカダイコン、レタスの硝酸含量の低減の

ために、肥効調節型硫酸コート肥料、種子同位置設置シードテープを開発し栽培したところ、全ての植物で慣行栽培に較べて、顕著な硝酸低減効果が得られた。またアスコルビン酸の含量は作物間で大きな差があるが、シードテープ栽培で増加する傾向が見られた。

第1表 施設園芸土壌における養分状態\*

分析項目	pH (H2O)	EC (1-5) mS/cm	アンモニア態窒素 mg/100g	硝酸態窒素 mg/100g	有効態リン酸 mg/100g	交換性カリ mg/100g	交換性石灰 mg/100g	交換性苦土 mg/100g	交換性マグネシウム ppm
小林(スプレー菊)8点	4.80	0.661	3.86	18.85	159.3	96.0	325.8	57.3	21.79
酒野(食用小菊)10点	6.23	0.725	0.87	18.42	98.4	74.7	380.0	80.8	1.81
山田(スプレー菊)8点	7.09	0.434	1.39	8.56	252.9	96.6	536.9	71.4	0.97
山本(オオハク)8点	5.24	1.493	1.42	45.00	357.7	119.2	618.4	83.4	6.60
市川(スプレー菊)7点	6.00	0.240	1.25	6.28	222.7	121.1	432.1	74.8	3.13
近藤(ピーマン)11点	6.02	0.596	4.15	19.46	214.1	70.5	395.2	62.2	4.42

\*太字の赤は過剰、細字の赤は不足を意味する。

可給態窒素 ppm	可給態リン ppm	可給態亜鉛 ppm	ホウ素 ppm	石灰/苦土	石灰/石膏	石灰/加石	塩基置換容量 e/100g	塩基飽和度 %	腐植 %	リン酸吸収係数
117.81	0.56	8.22	1.07	4.1	1.4	17.42	95.1	3.61	70	
16.87	0.35	7.41	0.56	3.6	3.0	14.55	132.3	2.13	151	
3.71	0.24	7.15	1.48	5.5	1.9	20.16	124.9	4.23	43	
46.05	1.03	13.76	0.86	5.4	1.7	21.07	138.6	4.29	6	
7.44	0.29	11.21	0.68	4.2	1.5	22.72	95.7	6.76	206	
43.59	0.51	17.92	0.71	4.5	2.1	17.04	109.9	2.00	50	

## (2) 植物工場における水耕養液組成の検討と三大要素としての N-K-Ca の新提案

これまでの土地利用型農業では土壌のリン酸固定のため、植物の要求量以上に多量のリン酸が施用され、三大要素は N-P-K とされてきた。しかしながら施設栽培で用いられる水耕栽培ではリン酸の吸着母体がないため、植物が必要とする量を供給すれば十分である。したがって、水耕栽培の三大要素は植物の要求量から見て、N-K-Ca であり、リン酸は Ca の半量、マグネシウムと同程度で充分である。これまで開発された Hoagland and Arnon(1950)の水耕液組成も我が国の園芸処方や大塚処方でもこのことは明らかである。また、土耕栽培でも年多数回施肥する場合はリン酸過剰となるのでこの考え方を踏襲する。

## (3) 植物工場野菜の硝酸集積の実態と硝酸低減のための水耕養液の開発

Hoagland and Arnon(1950)の基本培地は硝酸態窒素 15me/L、アンモニア態窒素 1me/L、リン 3me/L、カリウム 5me/L、カ

ルシウム 10me/L、マグネシウム 4me/L である。この水耕液の特徴としては、極めて窒素とカルシウム濃度が高いこと、リンが少ないこと、窒素の約 94%が硝酸態窒素であることなどが上げられる。この培養液組成を参考に、我が国の野菜の養液栽培の培養液も作られているので低照度下の人工光型植物工場野菜では硝酸集積が予想される。そこで愛知県内の人工光型植物工場栽培されたレタス(3社、1大学合計9点)を入手し、硝酸含量を測定したところ、最低 5050ppm、最大 8000ppm、平均 6828ppmであった(表2)。この値は、EUにおけるレタスの硝酸含量規制値、5000ppm(冬季)を超えるものであり、早急に改善を要する問題である。

表2 愛知県内の植物工場栽培されたレタスの硝酸含量

作物(製造者)	生産環境	栽培日	草丈(cm)	新鮮重(g)	硝酸含量(ppm)
フリルレタス赤(A社)	人工光型		13.2	7.0	8,000
フリルレタス(B社)	人工光型		21.8	154.6	6,950
ロメインレタス(B社)	人工光型		27.6	170.2	5,050
フリルレタス(C社)	太陽光型		21.0	157.2	6,680
フリルレタス豊橋技術A	人工光型	13. 4. 9	21.5	93.4	6,875
フリルレタス豊橋技術B	人工光型	13. 5. 15	20.8	101.8	6,450
フリルレタス豊橋技術C	人工光型	13. 6. 28	20.1	157.1	6,625
フリルレタス豊橋技術D	人工光型	13. 8. 16	17.2	44.8	7,375
フリルレタス豊橋技術E	人工光型	13. 10. 15	19.9	162.5	7,450

注(参考) グリーンリーフ(産地直売センター)、露地栽培:草丈29.3cm、新鮮重384g、硝酸含量2,280ppm  
そこで園試処方(T-N17.4 me/L, N03-N92%)を対照区とし、T-NをNH4NO3で1/5とした1/5 NH4NO3区、T-NをNHClで1/10とした1/10 NH4Cl区を設けて、フリルレタスの硝酸低減のための栽培試験を行った(図1)。

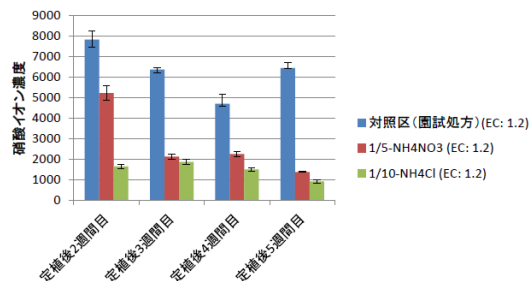


図1 水耕液組成とフリルレタスの硝酸イオン濃度

その結果、収穫時のレタスの硝酸含量は園試処方の対照区が 6450ppmと高いのに対し、1/5 NH4NO3 区では 1375ppm、1/10 NH4Cl 区では 923ppm と著しく低減された。対照区のレタスの生体重に対して、1/5 NH4NO3 区ではほぼ同等、1/10 NH4Cl 区では 13%低下したがいずれも健全な生育を示した。同様な傾向はホウレンソウでも見られたが、レッドビートでは低減率が低かった。重窒素トレーサー法で 1/5 NH4NO3 区で栽培した野菜の形態別窒素利用状況を検討したところ、フリルレタスとロメインレタスの吸収した窒素の 6

ー7割がアンモニア態窒素、20日ダイコンでは、約5割がアンモニア態窒素であり、アンモニアが硝酸と同等あるいはそれ以上積極的に利用されていることが明らかとなった。

#### (4) 植物工場野菜の収量向上のためCO<sub>2</sub>施肥法の開発

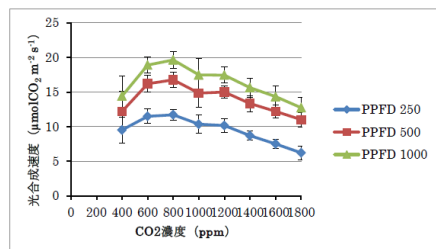


図2 異なる光合成有効量子束密度におけるCO<sub>2</sub>-光合成曲線(2013年12月3日測定)

図2からハウス内炭酸ガス濃度とトマトの光合成量を見ると、いずれの光合成有効量子束密度においても、光合成量は炭酸ガス濃度が800ppmまでは上昇し、それ以上ではむしろ減少した。そこでIGHではパッド&ファンが稼働しない期間は無天窗の利点を生かして、炭酸ガス濃度600ppmを維持した。また稼働時は外部から空気を導入するので、大気出口の炭酸ガス濃度が屋外と同じ400ppmとなるように管理することとした。

#### (5) マルチモーダルマイクロセンサー (pH、EC、温度) を養液管理に導入

本大学で開発したマルチモーダルセンサーを培地内に挿入し、モニタリングしたが、まだpHセンサーに不安定さが残り、既存のシングルセンサーと併用して栽培管理した。

#### (6) 最適光合成環境下のトマト50t採り、超多収栽培の実証

最先端太陽光型植物工場であるIGHにおいて、最適炭酸ガス施用を始めとして、光合成環境の改善を行い、我が国で初めて日本施設園芸協会のスーパーホルト計画目標値「国産大玉トマト50t/10aを超える50.6t/10a」という画期的成果を得た。50t/10a採り達成要因としては以下の点が上げられる。

- ①夏季の日照を活かした12月定植
- ②夏の温度コントロールとしてのパッド&ファン導入

- ③日照量に応じた側枝利用密植栽培技術
  - ④蒸散を重視した飽差管理システム
  - ⑤物理的無収穫期間を短縮するハイワイヤー栽培
  - ⑥土壌病害を軽減するココバック栽培
  - ⑦環境を考慮した炭酸ガス施用技術
  - ⑧最適光合成のためのハウス内外の環境統合制御技術
  - ⑨トマトの生育バランスを維持する計測データ中心の栽培技術
- などである。

#### (7) 植物工場における膨大なデータの解析と栽培マニュアル化

植物工場の統合環境制御を行うにはハウス外の雨量、気温、風力、風向、湿度、日射量に加え、ハウス内の気温、湿度、照度、風速、炭酸ガス濃度、培地の水分、pH、EC、養分濃度などの多くの要因のモニタリングデータが膨大に発生する。この膨大なデータ解析(データマイニング)を本大学の専門家、情報・知能工学系、青野雅樹教授に依頼し、分析中である。栽培マニュアル作成には再現性が必要であるので、平成27、28年度も50t採りを継続し、総合的観点から作成する予定である。

#### 5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計7件)

- ① 熊崎忠・東海林孝幸・池内裕弥・大月裕介・三浦慎一・三枝正彦：ハイワイヤー栽培のトマトにおける群落内CO<sub>2</sub>施用のための群落内環境と群落構造の計測：「生物と気象」に投稿中
- ② 三枝正彦・熊崎忠：施設園芸における土壌肥料学的課題：三大要素はNPKか？：しんきん食農技術科学講座年報 Vol.8: 68-77, 2015
- ③ 三枝正彦・熊崎忠, 人工光型植物工場野菜の硝酸蓄積と水耕液組成の改善, しんきん食農技術科学講座年報 Vol.8:78-82, 2015

- ④ 三枝正彦・森川クラウジオ健二：省力、高機能性肥料入り水溶性シートテープの開発：しんきん食農技術科学講座年報 Vol.8:98-99, 2015
- ⑤ H. Murata, M. Futagawa, T. Kumazaki, M. Saigusa, M. Ishida, and K. Sawada, Millimeter scale sensor array system for measuring the electrical conductivity distribution in soil: Computers and Electronics in Agriculture, 査読有 102,43-50,2014  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.005>
- ⑥ A. Ombodi, T. Kumazaki, M. Saigusa, Regulation of nitrate in the European Union, Annua Report of Shinkin Food and Agriculture Technology Laboratory 6: 49-55, 2012
- ⑦ A. Ombodi R. Pesti, A. Balogh, J. Dimeny, C. K. Morikawa, M. Saigusa, Reducing nitrate accumulation of different vegetables by controlled-release fertilizer and chloride application Proc. XXVIII<sup>th</sup> IHC-IS on Env'tl. Edaphic & Gen Factors Affecting Plants Seeds and Turfgrass EDs. G.E. Welbaum et al. Acta. Hort.938, 195-202, ISHS, 2012

[学会発表] (計9件)

- ① 三枝正彦・熊崎 忠：植物工場における野菜の水耕組成と硝酸集積：日本土壤肥料学会京都大会(2015年9月発表予定)
- ② 三枝正彦・熊崎 忠：植物工場における野菜の水耕組成と硝酸集積：日本土壤肥料学会京都大会(2015年9月発表予定)
- ③ T. Kumazaki, K. Li and M. Saigusa (2014) Reduction of Nitrate Concentration by improving the culture composition for leaf lettuce grown in an artificial-light type plant factory. Slides and Abstracts of

APHPF Symposium 2014, 277-279.

- ④ 池内裕弥, 熊崎忠, 東海林孝幸 (2014) トマト群落内の二酸化炭素濃度分布を把握するための測定法の検討. 園芸学研究 13 卷 (別号 1), 117.
- ⑤ 熊崎忠, 池内裕弥, 下村徳仁, 月山拓, 東海林孝幸 (2014) トマト群落における光合成環境改善のための群落内環境計測. 日本環境生物工学会 2014 年東京大会講演要旨, 328-329.
- ⑥ 村田光明・二川雅登・熊崎忠・三枝正彦・石田誠・澤田和明：小型 EC センサーアレイシステムによるmmオーダーの肥料拡散モニタリングの実証：日本環境生物工学会 2013 年高松大会講演要旨, 256-257
- ⑦ 熊崎忠, 李凱, 三枝正彦 (2013) 完全人工光型植物工場で栽培されたリーフレタスの硝酸濃縮の実態と硝酸低減に向けた試み. 日本環境生物工学会 2013 年高松大会講演要旨, 164-165.
- ⑧ T. Kumazaki, K. Li and M. Saigusa (2013) Effects of rates of nitrate- and ammonium-nitrogen in nutrient solutions on growth and nitrate concentrations in leaf lettuce grown in an artificial-light plant factory. Abstracts of the Irago Conference 2013, 52.
- ⑨ T. Kumazaki, S. Yamamura, K. Li and M. Saigusa (2012) Survey of nitrate concentration in leaf lettuce grown in artificial light-type plant factory. Abstracts of the Irago Conference (AP-IRC 2012), 96.

[図書] (計2件)

- ① 三枝正彦, 熊崎忠：工場野菜における硝酸濃縮の実態と硝酸低減に向けた試み (一財) 社会開発センター高辻、古在監修：植物工場経営の重要課題と対策、208

-214、(株)情報機構 2014

- ② 三枝正彦, 熊崎忠: 施設園芸における養分状態と養分管理概念の新提案—高度な施設園芸の三大要素は N, P, K ではなく N, K, Ca である, 農業と科学 644: 6-12, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三枝 正彦 (SAIGUSA, Masahiko)  
豊橋技術科学大学・先端農業・バイオリサーチセンター・特任教授  
研究者番号: 10005655

(2) 研究分担者

熊崎 忠 (KUMAZAKI, Tadashi)  
豊橋技術科学大学・先端農業・バイオリサーチセンター・特任助教  
研究者番号: 90531541