

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2015

課題番号：25304036

研究課題名(和文)生産環境・流通環境の影響を考慮した果実品質向上のための新流通システムの提案

研究課題名(英文) Approach a Comprehensive Fruits Quality Model for Evaluating the Effect of Production and Distribution Environment

研究代表者

安永 円理子 (Yasunaga, Eriko)

東京大学・農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：00380543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：新鮮なマンゴー果実の供給システムの現状を改善するために、マンゴー果実の生産環境、流通環境ならびに流通中の果実品質の変化特性を把握する必要がある。したがって、本研究では、タイ王国のピッサヌロークとプラオの輸出用果実を生産している商業圃場を調査対象として、マンゴー生産における水管理状況を評価するとともに、実際の流通環境を再現した流通温度区ならびに15~35℃の一定温度で貯蔵した果実品質の経時変化について調査した。

研究成果の概要(英文)：To improve the supply of mango fruits, it is important to understand the production condition, the distribution system and physiological characteristics for fresh fruits. In this study, we evaluated the water management in mango orchards of 'Nam Dok Mai' in Thailand. Moreover, we investigated the actual distribution condition by ship and by air and the effects of the postharvest environment of fresh mango fruit on its physiological characteristics during distribution from Thailand to Japan. We used four quality indicators, namely respiration rate, peel color, hardness score, total sugar content, to quantify fresh fruit quality after harvest. Every indicator decreased with storage period and high temperature (15~35 degree Celsius). Moreover, accumulated respiration had high correlation with peel color, hardness score and sugar contents, respectively. Fruit quality changes during distribution were used to evaluate the potential market loss.

研究分野：ポストハーベスト工学

キーワード：マンゴー 流通温度 灌漑条件 追熟処理 積算呼吸量

1. 研究開始当初の背景

一般に、日本国民の食の安全に対する意識は非常に高く、輸出入農産物に関する基準も高い。これに対し、東南アジア諸国では、高収量を重視する傾向があるため、過度な農薬の利用や粗放的な水管理などが行われることがあり、圃場管理が不適切なケースが見られる。また、青果物の輸送は、低温技術の発達・整備により高品質輸送が可能な日本国内と異なり、海外から輸入する場合、輸送時間、現地のインフラ整備等の問題により、青果物の鮮度を高度に維持したまま輸送することは困難である。しかしながら、生産・流通の両面において、コストや技術レベルの問題により、日本の国内技術を直接応用することは難しい上、国内技術を適用するだけでは対処できないケースも多い。

2. 研究の目的

生産地から消費地までの種々の環境要因に関する基礎データを収集し、各種データマイニング手法を駆使し、生産環境と流通環境が果実品質に及ぼす影響を定量的に評価する。最終的に、生長収量予測や生理活性変化に関する各種数理論を組合せた果実品質評価モデルを構築し、輸出用果実の生育に最適な生産技術を見出すとともに、費用対効果を改善する流通方法を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

生産環境：Phitsanulok と Phrao のマンゴー圃場における生産環境を明らかにするため、圃場を掘削し、深さ 5cm、25cm および 65cm に誘電式土壌水分センサー (5TE, Decagon) を埋設し、体積含水率、地温およびバルク EC の経時変化を測定した。また、センサーの設置個所において土壌サンプルを採取し、飽和透水係数と水分特性曲線を求めた。これらの土壌調査に加え、圃場において相対湿度を連続測定した。また、最高気温、最低気温および降水量を気象データベースから収集した。日射量については圃場の緯度から大気圏外日射量を求め、これを補正して求めた。

マンゴー果実品質へ貯蔵温度の及ぼす影響：供試材料にはマンゴー「ナンドクマイ」を用いた。果実はタイの圃場にて収穫後、47 で 20 分間の蒸熱処理をされた。これと同時に 2-クロロエチルホスホン酸による追熟処理を行い、処理した果実と処理していない果実の 2 種類をサンプルとした。その後、果実は成田空港まで航空輸送され、収穫してから 5 日経過した状態で岐阜大学に搬入された。貯蔵は 15、20、25、30、35 ならびに流通温度を再現したインキュベータ内で行った。これらを適宜サンプリングし、糖含有量、硬度、果皮色を測定した。また、貯蔵中はガスクロマトグラフにより O₂ 濃度と CO₂ 濃度を測定し、果実の積算呼吸量を算出した。

4. 研究成果

生産環境：体積含水率および地温の測定結果をそれぞれ図 1 および図 2 に示す。また、センサーの設置深部において測定した透水係数と水分特性曲線をそれぞれ表 1 および図 3 に示す。また、現地における気温、湿度および降水量の変化を図 4~6 に示している。

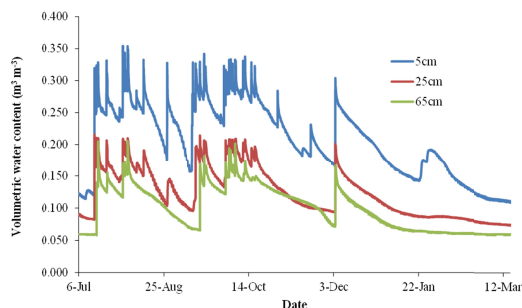


図 1 体積含水率の経時変化 (Phitsanulok)

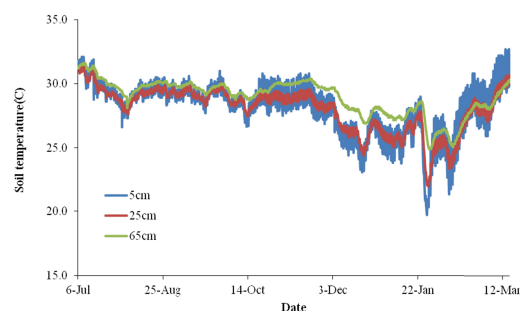


図 2 地温の経時変化(Phitsanulok)

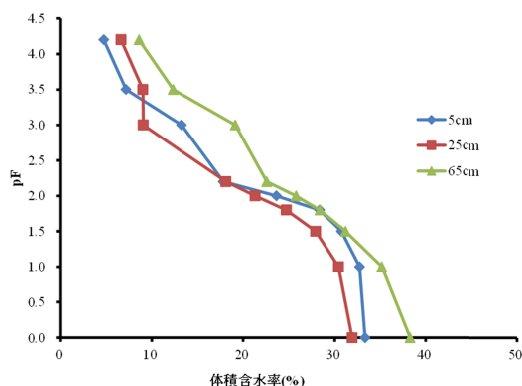


図 3 調査圃場における水分特性曲線 (Phitsanulok)

表 1 調査圃場の飽和透水係数 (Phitsanulok)

深さ (cm)	15	25	65
飽和透水係数 k_{15} cm/s	1.4×10^{-3}	8.0×10^{-4}	2.2×10^{-3}

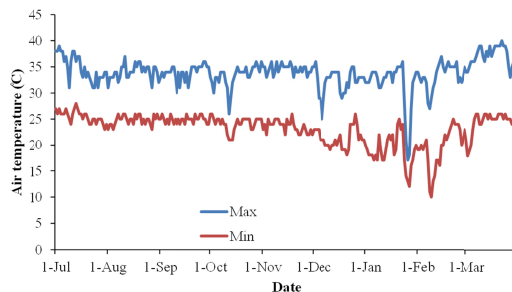


図 4 Phitsanulok における最高気温と最低気温の日変化

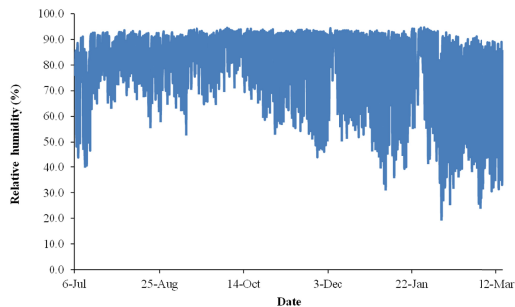


図5 調査圃場における湿度の経時変化 (Phitsanulok)

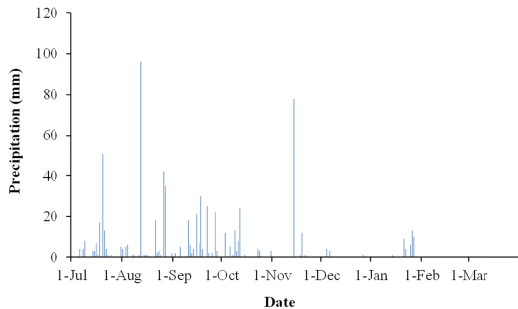


図6 Phitsanulok における降水量の日変化

図1および図6より、調査圃場の体積含水率は降雨に伴って変動していることが明らかである。体積含水率の上昇は、降雨または灌漑によって生じるが、本調査圃場では灌漑はほとんど行われておらず、水分供給は天気に依存する傾向があることを示唆している。また、表1および図3によると、本圃場の透水性や水分保持特性は、鉛直方向でほとんど変化がなく、比較的熟畑化が進んでいることを示唆している。図1より、土壌面付近の水分状態は7月から11月にかけて比較的高い状態にある。これは、図6に示した降雨に起因しており、降雨時には飽和の水分状態まで上昇している。8月下旬から9月上旬には連続干天期間が見られるが、この時も灌水は土壌水分を上昇させるような水分供給は行われていなかったと推察することができ、土壌表面付近の土壌水分状態は生長障害水分点(pF3.0)付近に到達している。深さ25 cmにおいては、降雨に伴って土壌水分状態はpF2.0程度となっており、植物の生育に適した水分状態となっている。連続干天時には、土壌表面付近と同様に生長障害水分点まで達している。深さ65 cmにおける土壌水分の変動傾向は深さ25 cmとほぼ同様の結果となっていた。12月以降はまとまった降雨はほとんどなく、湿度も低い状態であったことから、植物体はストレスを受けていた可能性が高いと言える。

図2の地温の測定結果より、夏季から秋季にかけて、地温は比較的高い状態であったが、冬場は気温の低下によって地温も大きく下がっている。なお、バルクECは非常に小さな値となっており、ほとんど変化がなかった。聞き取り調査によると、調査圃場では通常9月に施肥が行われるということであったが、今回の調査ではその影響がほとんど表れて

いない結果となった。Phraoの結果については、データを省略する。

マンゴー果実品質へ貯蔵温度の及ぼす影響：図7に各貯蔵温度における糖含有量の変化を示した。追熟処理していない果実の糖含有量は、はじめ150 mg/mlであったのが20以上の高温貯蔵では最大で200 mg/ml以上まで増加し急速に減少するのに対して15貯蔵では大きく増加することなくほぼ一定で推移した。一方、追熟処理した果実は、初期値から200 mg/mlと高いことからすでに追熟による糖化が進んでいることが分かった。その後は無処理の果実と同様に、高温貯蔵は低温よりも糖度が高く、240 mg/mlほどまで増加してその後減少した。また、果実の糖含有量と積算呼吸量との関係性は見いだせなかった。硬度は、貯蔵開始時では無処理果実の方が硬かったが、貯蔵終了時には処理の有無に関わらずともにほぼ同じ硬度にまで低下した。果皮色は、追熟処理した果実では貯蔵開始時ですでに黄化しており、貯蔵中の彩度の最大値も無処理果実より大きくなった。さらに、追熟処理した果実では貯蔵温度に関わらず褐変発生も抑制された。また、果実硬度及び果皮色と積算呼吸量との関係は、貯蔵温度に関わらず積算呼吸量の増大と共に、硬度は低下し、果皮色の変化が進行した。さらに、追熟処理された果実の標準偏差は、無処理果実と比較して、糖含有量、硬度、果皮色すべてにおいて小さくなった。

以上の結果より、現地で追熟処理を施したマンゴー果実は品質上有利な点を多く有し、さらに品質のバラつきが少ない商品として提供できることが示された。また、長期的な流通の場合は低温貯蔵の方が品質保持に適しているが、長期保存が必要なく短期間で売り切れる場合はあえて常温保存することで糖度が高い果実をプレミアム商品として提供できる可能性が示唆された。

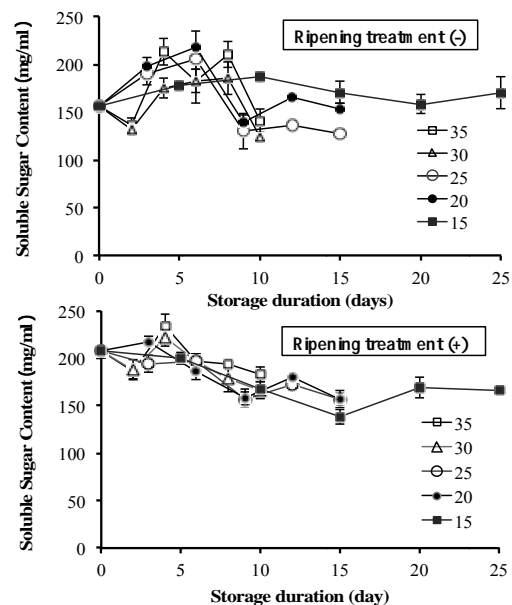


図7 種々の貯蔵温度下での糖含有量の経時変化

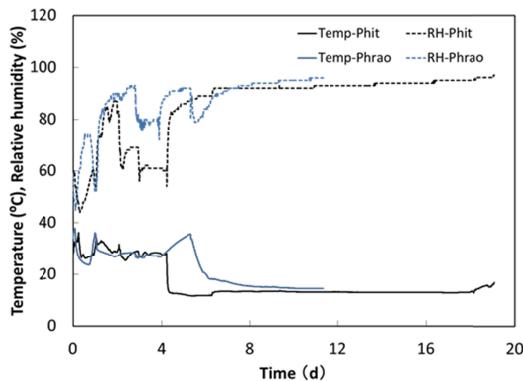


図 8 タイから日本への流通環境条件

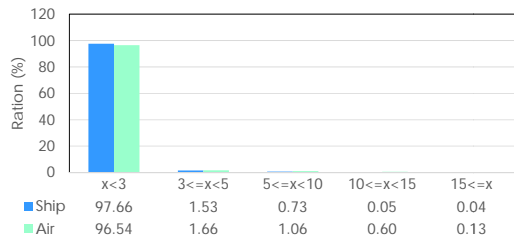


図 9 船舶輸送と航空輸送中の振動数の分布割合

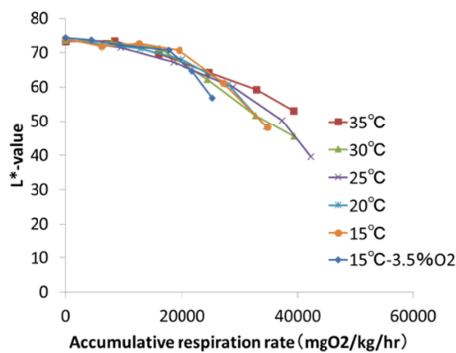


図 10 積算呼吸量と果皮色の関係

図 8 に実際の船舶輸送中の流通環境の温湿度の経時変化について示した。低温感受性作物であるマンゴーは低温障害を発生するため、船舶輸送中はクリティカル温度の 13 を上回るように推移していた。湿度は、タイ国内でのトラック輸送中は低湿度であったが、船舶輸送中は最適な条件で貯蔵されていた。

図 9 に流通中の果実が受けた振動について、船舶輸送と航空機輸送中の分布を示した。いずれの輸送においても、ほとんどが 3 G 以下の振動であったが、大きな振動を受ける割合が航空機輸送の方が高かった。

図 10 に積算呼吸量と果皮色の関係を示した。いずれの温度で貯蔵したマンゴー果実の果皮色も、積算呼吸量と高い相関があった。果実硬度についても、同様に積算呼吸量と高い相関が示された(図省略)。

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 17 件)

Fukuda S, Yasunaga E, Nagle M, Yuge K,

Sardsud V, Spreer W, Müller J., Modelling the relationship between peel colour and the quality of fresh mango fruit using Random Forests. *Journal of Food Engineering*. 131, 7-17, 2014. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.01.007

Yasunaga E, Fukuda S, Yuge K, Sardsud V, Spreer W, Wanwarang P., Comparison of postharvest quality changes in export mango fruits from different harvest sites in Thailand. *Acta Horticulturae*. 1006, 423-428, 2013. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.1006.54

Yasunaga E, Fukuda S, Yuge K, Sardsud V, Spreer W, Wanwarang P., Comparison of changes in post-harvest quality deterioration of mango fruits between Thailand-Fukuoka and Okinawa-Fukuoka transportations. *Acta Horticulturae*. 989, 221-224, 2013. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.989.27

Kozue Yuge, Mitsumasa Anan, Yoshiyuki Shinogi, Effects of the micro-scale advection on the soil water movement in micro-irrigated fields. *Irrigation Science*. 32, 159-167, 2013. DOI: 10.1007/s00271-013-0413-1

Kozue Yuge, Hiroki Maeda, Munehiro Tanaka, Mitsumasa Anan, Yoshiyuki Shinogi, Spatial-uniform application method of methane fermentation digested slurry with irrigation water in the rice paddy field. *Paddy and Water Environment*. 12, 335-342, 2013. DOI: 10.1007/s10333-013-0382-2

弓削こずえ, 浜田耕佑, 阿南光政, 平川晃, 凌祥之. 島尻マージ圃場における地中灌漑の適用と土壌水分動態の解明, *粘土科学*, 52, 123-128. 2014. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009818559>

Hamada K, K Yuge, M Tanaka, M Anan, Y Shinogi, Evaluation of the spatial distribution of slurry supplied with irrigation water to an irregularly shaped rice paddy field. *Applied Mathematical Sciences*, 8, 6421-6431, 2014. DOI: 10.12988/ams.2014.46448

阿南光政, 弓削こずえ, 大平裕, 自然由来の法面護岸材が有する栄養塩類吸収能の定量評価, *雨水資源化システム学会誌*, 21, 23-28, 2015.

Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M., Kawano, M., Ito, S., Setoyama, S., Yasunaga E, Araki, T., Kitano, M., "Energy-Saving night temperature regime for Satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) grown in plastic house with heating. I. Effect of temperature and water condition on fruit growth and quality", *Environmental Control in Biology*,

52, 161-166. 2014.
DOI: 10.2525/ecb.52.161

Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M., Kawano, M., Ito, S., Setoyama, S., Yasunaga, E., Araki, T., Kitano, M., "Energy-Saving night temperature regime for Satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) grown in plastic house with heating. II. Effect of night temperature on fruit water and carbon balance", *Environmental Control in Biology*, 52, 167-174. 2014.

DOI: 10.2525/ecb.52.167

Yano, T., Matsubara, K., Shimooka, M., Tamanoi, A., Narahara, M., Kawano, M., Ito, S., Setoyama, S., Yasunaga, E., Araki, T., Kitano, M., "Energy-Saving night temperature regime for Satsuma mandarins (*Citrus unshiu* Marc.) grown in plastic house with heating. III. Application of different night temperature patterns", *Environmental Control in Biology*, 52, 175-182. 2014.

DOI: 10.2525/ecb.52.175

Yuge K., M. Anan, K. Hamada, Evaluation of soil moisture movement and drainage ability of a shallow subsurface drain in a rotational rice paddy field, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 13, 74-78, 2015
[http://world-food.net/download/journals/2015-issue_3&4\(2\)/2015-issue_3&4-agriculture/a11.pdf](http://world-food.net/download/journals/2015-issue_3&4(2)/2015-issue_3&4-agriculture/a11.pdf)

Hamada K., K. Yuge, M. Anan, A. Hirakawa, Y. Shinogi, Evaluation of the water saving effect of subsurface irrigation in Shimajiri Mahji soil fields, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 13, 54-59, 2015
[http://world-food.net/download/journals/2015-issue_3&4\(2\)/2015-issue_3&4-agriculture/a8-.pdf](http://world-food.net/download/journals/2015-issue_3&4(2)/2015-issue_3&4-agriculture/a8-.pdf)

阿南光政, 濱田耕佑, 弓削こずえ, 降雨および連続干天に伴う干拓農地の水ストレスのリスク予測, *雨水資源化システム学会誌*, 21, 37-42, 2015 .

Ishikawa K., Maejima K., Netsu O., Fukuoka M., Nijo T., Hashimoto M., Takata D., Yamaji Y., Namba S. Rapid detection of fig mosaic virus using reverse transcription loop-mediated isothermal amplification. *J. Gen. plant Pathol.* 81, 382-389. 2015.

DOI: 10.1007/s10327-015-0603-1

Sato, M., Abe, K., Kikunaga, H., Takata, D., Tanoi, K., Ohtsuki, T., and Muramatsu, Y. Decontamination effects of bark—washing with a high-pressure washer on peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) and japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) contaminated with radiocaesium

during dormancy. *The Horticulture Journal*, 84, 295-304. 2015.

DOI: /10.2503/hortj.MI-054

長崎綾音, 中野浩平, 輸入タイ産マンゴ—の国内流通における品質保持条件の検討, *農業食料工学会関西支部報*, 118, 65, 2015 .

〔学会発表〕(計 15 件)

Yasunaga E., T. Uchino, S. Yoshida, F. Tanaka, K. Nakano., A model to predict the effects of gas concentrations, temperature and time of storage on quality deterioration of broccoli (*Brassica oleracea* L.) florets. XI international Controlled & Modified Atmosphere Research Conference, 2013年6月3日~6月7日, Trani, Italy.

Yuge K., JC van Dam, JG Kroes, M Anan, Simulation of salt transport and crop yield in a reclaimed area with saline groundwater in Japan, The 5th International Conference Trends in Agricultural Engineering 2013, 2013年9月3日~9月6日, Prague, Czech republic.

Yuge K., M Anan, Y Shinogi, Evaluation of effects of soil moisture content and wind condition on wind erosion in bare soil field. 1st CIGR Inter-Regional Conference on Land and Water Challenges, 2013年9月10日~9月14日, Bari, Italy.

Yasunaga, E., Fukuda, S., Yuge K., Nakano K, Sardud V, Spreer W., Changes in quality deterioration of mango fruits under the several storage temperature conditions, The 29th International Horticultural Congress, 2014年8月17日~8月22日, Brisbane, Australia.

Fukuda, S., Yasunaga, E., Yuge K., Sardud V, Spreer W., Estimating the quality of fresh mango fruit based on peel colour -a machine learning approach-, The 29th International Horticultural Congress, 2014年8月17日~8月22日, Brisbane, Australia.

Hamada K, K. Yuge, M Tanaka, M Anan, Y Shinogi, Numerical simulation on distribution process of methane fermentation digested slurry applied with irrigation water to a rice paddy field considering effects of wind, evapotranspiration and infiltration, 4th International Rice Congress, 2014年10月27日~10月30日, Bangkok, Thailand.

Yasunaga E., Fukuda S., Nakano K., Spreer W, Sardud V, Distribution condition and physiological change in mango fruits transported from Thailand to Japan, 1st International Conference on Asia Highland Natural Resources

Management, 2015 年 1 月 7 日~1 月 9 日, Chiang Mai, Thailand. (招待講演)

Eriko Yasunaga, Yasuhisa Yamamoto, Shinji Fukuda, Daisuke Takata, Wolfram Spreer, Vicha Saudsud, Kohei Nakano, Quality changes in fresh mango fruits (*Mangifera indica* L. cv. Nam Dok Mai) under actual distribution temperature profile from Thailand to Japan, 1st International Conference on Asia Highland Natural Resources Management, 2015 年 1 月 7 日~1 月 9 日, Chiang Mai, Thailand.

Shinji Fukuda, Data-driven modelling for agricultural sciences, 1st International Conference on Asia Highland Natural Resources Management, 2015 年 1 月 7 日~1 月 9 日, Chiang Mai, Thailand. (招待講演)

弓削こずえ, 濱上邦彦, 阿南光政, 濱田耕佑, 干拓農地における水分および塩分ストレスが作物生育に及ぼす影響評価, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 2015 年 9 月 1 日, 岡山県岡山市.

濱田耕佑, 弓削こずえ, 阿南光政, 平川 晃, 凌祥之, 地中灌漑における土壌水分分布と消費水量の評価, 2015 年度土壌物理学大会, 2015 年 10 月 24 日, 佐賀県佐賀市.

弓削こずえ, 阿南光政, 濱田耕佑, 浅埋設暗渠を施工した転換畑における土壌水分動態と排水性の評価, 第 96 回農業農村工学会九州支部講演会, 2015 年 10 月 29 日, 沖縄県那覇市.

桑名篤, 湯田美菜子, 高田大輔, 安永円理子, 'あづましく' の輸送中における振動の影響, 園芸学会平成 27 年度東北支部会, 2015 年 8 月 31 日, 東北大学, 宮城県仙台市.

市川恭子, 高田大輔, 佐藤守, 阿部和博, 小林奈通子, 田野井慶太郎, 関谷信人, 安永円理子, 福島県産モモの果実発育期間中における放射性セシウム濃度の経年変化, 平成 27 年度園芸学会秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 徳島大学, 徳島県徳島市.

Ichikawa, K., D. Takata, M. Sato and E. Yasunaga, Temporal variation and behavior of radiocesium concentration of peach fruits cultivated in north Fukushima. Sweden-Japan workshop on Radioecology 2015, 2015 年 9 月 2 日, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden.

〔図書〕(計 2 件)

安永円理子他, 農業情報学会編, 農林統計出版, スマート農業 農業・農村のイノベーションとサステナビリティ, 2014, 399.

Takata D. Radioactivity in Fruit Trees. In: Tomoko M. Nakanishi and Keitaro Tanoi (eds.). Agricultural implications of the Fukushima nuclear accident: The first three years. Springer-Verlag. 2015, 263.

6. 研究組織

(1)研究代表者

安永 円理子 (YASUNAGA, Eriko)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 00380543

(2)研究分担者

中野 浩平 (NAKANO, Kohei)
岐阜大学・大学院連合農学研究科・教授
研究者番号: 20303513

弓削 こずえ (YUGE, Kozue)
佐賀大学・農学部・准教授
研究者番号: 70341287

高田 大輔 (TAKATA, Daisuke)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教
研究者番号: 80456178

細野 ひろみ (HOSONO, Hiromi)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 00396342

(3)連携研究者

福田 信二 (FUKUDA, Shinji)
東京農工大学・農学研究科・助教
研究者番号: 70437771

(4)研究協力者

SPREER, Wolfram
Chiang Mai University, Thailand, Lecturer

SARDSUD, Vicha
Chiang Mai University, Thailand

NAGLE, Marcus
Hohemhim Univeristy, Germany, Lecturer

Müller, Joachim
Hohemhim Univeristy, Germany, Professor