

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26506019

研究課題名(和文) 宇宙における簡易イネ栽培装置の開発

研究課題名(英文) Development of simple growth chamber for rice cultivation in space

研究代表者

平井 宏昭 (HIRAI, Hiroaki)

大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授

研究者番号：50173208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：月面基地や有人火星探査のための食料生産への関心が高まっており、イネは宇宙における日本特有の栽培作物候補として極めて有用である。超矮性イネ‘小僧の穂’は世界最小の糯種であり、水田において草丈約30cmのコンパクトな草姿は、宇宙の狭い閉鎖環境内での栽培に最適である。本種を栽培するための装置と管理方法の開発は必須である。また、食味についての評価も必要である。そこで、水田と容器栽培による生育と収量を調査するとともに、コメの成分と食味について明らかにした。さらに、新たなイネ栽培装置を企画し、新規のLED照明を備えた装置を組み立て、性能を評価した。

研究成果の概要(英文)：Interest in food production in the lunar base and for manned Mars exploration is rising. Rice is peculiar to Japan and extremely valuable as a candidate plant for cultivation in space. Super-dwarf rice ‘Kozonosumika’ is the smallest glutinous rice variety in the world. This compact size with the height of about 30 cm in a paddy field is suitable to cultivate in narrow closed environment of a space station. In order to make it possible to plant the super-dwarf rice in space, it is necessary to develop its growth chamber and management method, and to evaluate its taste. Thus, we first investigated the growth and yield of the rice in a paddy field and a container cultivation, and then clarified the chemical ingredients and the taste of the rice. In addition, we created a new growth chamber of the rice, assembled the device equipped with LED lighting, and evaluated the performance of the device.

研究分野：生産環境

キーワード：イネ 超矮性 閉鎖環境 栽培

1. 研究開始当初の背景

国際宇宙ステーションなどで行われる宇宙での植物栽培は、長期の有人宇宙活動に必要な生命維持システムの確立に不可欠である。さらに、月面基地や有人火星探査のための食料生産への関心も高まってきている。これまでに宇宙で長期栽培された植物は葉菜類、シロイヌナズナ、コムギ、オオムギなどでイネの栽培は行われていない。イネは日本の米食文化を象徴し、宇宙における日本特有の栽培植物候補として極めて有用である。一般に栽培されているイネは草丈約 1m と現状では、宇宙の限られた空間で栽培するには不適である。イネでは、成熟期の草丈が通常よりやや短い矮性個体が草姿改良などの育種材料として注目されている。

超矮性イネは草丈が約 25cm と非常にコンパクトなため、実験室内での栽培に適し、遺伝子操作への用途開発が進められている。また、超矮性を制御している矮性遺伝子の分析にも供試され、分子生物学的・分子遺伝学的研究に活用されている。

2. 研究の目的

超矮性イネ小僧の柄は育苗中の実生苗から見出された後、継続的な栽培により、品種固定を確認し、宇宙で栽培するイネの候補として提案した。本種は世界最小の糯種であり、コンパクトな草姿は、宇宙の狭い空間での栽培に最適である。本種は既に航空機による微小重力実験に利用し、宇宙での栽培に向けた基礎データの収集を行っている。しかし、閉鎖環境内における本種の栽培は、ほとんど検討が進んでおらず、本種を狭い空間内で短期間に収穫するための装置と管理方法の開発が必要である。また、宇宙での食料として栽培するには、食味についての評価も必要である。そこで、容器栽培による生育と収量を調査するとともに、水田における栽培により、コメの成分と食味について明らかにした。さらに、新たなイネ栽培装置を企画し、新規の LED 照明を備えた装置を組み立て、性能を評価した。

3. 研究の方法

(1) 容器栽培における収量と初物の調査

供試品種は小僧の柄と豊雪矮性の超矮性イネ 2 品種、ジベレリン研究の供試イネとして使われている短銀坊主と矮稲 C の半矮性 2 品種、長年にわたって食味評価の基準であった日本晴と奈良県の奨励品種であるヒノヒカリの粳種の正常 2 品種、さらに小僧の柄の親系統とされるアキシノモチと奈良県の奨励品種である旭糯の糯種の正常 2 品種の計 8 品種とした。

播種は 2016 年 5 月 7 日、育苗した 8 品種の苗を各品種 10 容器に 1 本ずつ 6 月 21 日移植し、栽培した。超矮性イネ 2 品種は加工したペットボトル、矮稲 C は 1/5000a ワグネルポット、短銀坊主は 10L ポリバケツ、正常 4

品種は 13L ポリバケツで栽培し、培地は水田の土を用いた。出穂日は各品種のほぼ半分が出穂した日を記録した。

9 月下旬から順次収穫し、約 3 週間ビニールハウス内で乾燥した後、収量調査を行った。調査項目は、稈長、穂長、穂数、小花数、千粒重、登熟歩合などであった。登熟歩合は、各株の最も長い穂に付いた初物について粳種は比重 1.06、糯種は比重 1.03 で塩水選して求めた。また、各品種 100 粒の精初物をランダムに選び、初物の粒長、粒幅、粒厚、重量を計測した。

(2) 水田栽培における食味評価

奈良県内の水田において、食味評価に必要な量を確保するため、小僧の柄と豊雪矮性の超矮性イネ 2 品種、矮稲 C と短銀坊主の半矮性 2 品種、日本晴とヒノヒカリの正常 2 品種の計 6 品種を栽培した。水田には 1 本植えて移植した。収穫は 9 月 27 日の豊雪矮性から順次手刈り後、屋内で乾燥させて、脱穀、初摺りし、コメの品質と食味調査に供した。

玄米について白度、水分、碎米などの項目を調べた。さらに、玄米のタンパク質含量を計測した。食味評価は白米を炊飯後、炊飯食味計により行った。なお、日本晴、短銀坊主、ヒノヒカリは加水率 1.4 倍で 30 分浸漬後炊飯し、小僧の柄、豊雪矮性、矮稲 C は加水率 1.2 倍で浸漬せずに炊飯した。

(3) イネ栽培装置と LED 照明

宇宙でのイネ栽培に向け、狭い空間内での効率的な栽培のための装置開発と栽培方法の検討が必要である。市販のペルチェ素子による温度調節保温庫に LED 照明を取り付け、超矮性イネを対象とした栽培装置を試作した。その後、本機を 2 段そして 3 段に積み重ねた半矮性、正常イネの栽培装置を順次試作した。さらに、新たな太陽光を模倣した LED 照明などの性能を評価した。

4. 研究成果

(1) 容器栽培における収量と初物の調査

容器で栽培した 8 品種の収穫前の草姿を図 1 に示す。いずれも左端から草丈の短い超矮性、半矮性、正常イネである。出穂日は豊雪



図 1. イネの容器栽培

矮性が早く 7 月 13 日、旭糯が遅く 9 月 6 日であった。収穫調査の全項目は超矮性イネ 2 品種が他の品種に比べて明らかに小さかった。また、豊雪矮性は小僧の柄よりも稈長、穂長、小花数が小さかった。登熟歩合は短銀

坊主より稈長が長い正常 4 品種はいずれも 75%以上であったが、矮稲 C は 66.6%であり、超矮性 2 品種は 30%台で、小僧の柄は 33.1%と最も低かった。超矮性イネ 2 品種は小花数が少ないうえに登熟歩合が低いことから収量も小僧の柄と豊雪矮性はそれぞれ、111.7g/m²、50.1g/m²であった。籾の大きさと重さは、小僧の柄が粒厚を除いて最小であった(表 1)。小僧の柄は草丈や収量だけでなく

表 1 イネの籾の大きさと重さ

Variety	Length(mm)	Width(mm)	Thickness(mm)	Weight(mg)
Kozonosumika	6.61c	2.95 d	2.28 de	21.90 e
Hosetsuwaisei	7.60 a	3.19 b	2.46 a	25.96 d
Waito-C	6.72 c	3.02 cd	2.35 cd	26.09 d
Tanginbozu	7.50 a	3.31 a	2.50 a	30.93 a
Nipponbare	7.53 a	3.14 b	2.38 bc	27.66 c
Hinohikari	7.50 a	3.10 bc	2.24 e	27.85 c
Akishinomochi	7.23 b	3.30 a	2.31 cde	29.22 b
Asahimochi	7.22 b	3.13 b	2.44 ab	28.37 bc

籾の大きさも小さくなっていることが分かった。しかし、草丈や収量に比べ、籾の大きさと重さは超矮性イネと正常イネ間で大きな違いは認められなかった。

(2)水田栽培における食味評価

コメの食味評価のために超矮性イネ 2 品種を含む計 6 品種を水田で栽培した。6 品種の玄米の品質とタンパク質含量を表 2 に示した。玄米の白度は矮稲 C が 24.6 で高かった。玄

表 2 玄米の品質とタンパク質含量

Variety	Whiteness	Moisture content (%)	Broken rice (%)	Bulk density (g/L)	Cracked rice kernel (%)	Protein content (%)
Kozonosumika	21.6	13.3	6.1	813	-	12.3
Hosetsuwaisei	20.6	12.9	15.7	820	0	14.0
Waito-C	24.6	14.2	17.2	803	0	9.3
Tanginbozu	19.8	13.8	3.5	851	0	7.7
Nipponbare	21.8	13.7	1.3	847	0	7.3
Hinohikari	20.4	15.0	2.3	840	0	7.0

米の碎米は豊雪矮性と矮稲 C で多かった。これら碎米の多い 2 品種に加え、籾の大きさが一番小さな小僧の柄は精米時に碎米が増えることで、精米歩留まりが悪くなった。玄米のタンパク質含量は超矮性イネ 2 品種が他の 4 品種に比べて明らかに高くなった。タンパク質含量の多いコメは炊飯時の給水が悪くなり、食味が劣ると報告されている。炊飯食味の結果はタンパク質含量が最も高い豊雪矮性が食味値 47 で最悪であった(表 3)。これは、外観からバランスまでいずれの項目も

表 3 白米の炊飯食味

Variety	Appearance	Hardness	Cohesiveness	Balance	Taste value
Kozonosumika	6.2	6.8	5.5	5.7	64
Hosetsuwaisei	3.3	8.2	3.2	2.9	47
Waito-C	6.4	6.6	6.3	6.3	68
Tanginbozu	7.7	5.9	7.9	7.8	77
Nipponbare	7.4	6.1	7.9	7.6	76
Hinohikari	8.1	5.8	8.5	8.3	80

悪い値を示した結果であった。正常イネのヒノヒカリに比べると超矮性イネの食味は劣るが、豊雪矮性より小僧の柄の食味が優れていることが分かった。

超矮性イネの宇宙での栽培候補は収量が多く、食味値も高く美味しい小僧の柄が有力である。今回、炊飯食味は白米であったが、宇宙での食を考えると精米で削られる糠成分も貴重な栄養資源である。さらに、タンパク質含量が高いことも魅力であり、玄米の炊飯食味について検討することも重要であろう。

(3)イネ栽培装置と LED 照明

水田での栽培より優れた生育が常に確保でき、しかも生活環が短期間で終了する栽培条件を見出していくために、試作した 3 機種種の LED 照明の光強度や波長特性と温度制御性能などを評価した。新たな LED 照明についても評価し、イネ栽培装置に適する LED 照明を検討した。各装置は試作時にイネ栽培に最適な LED 照明を選定したため、その光特性などが異なった。イネ栽培用候補として選定した LED 照明の特性を図 2 に示した。いずれも照明下 10cm での光合成有効光量子束密度が 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上で青と赤の波長成分を含んでいた。照明 A の直下では光合成有効光量子束密度が 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上と極めて高かった。

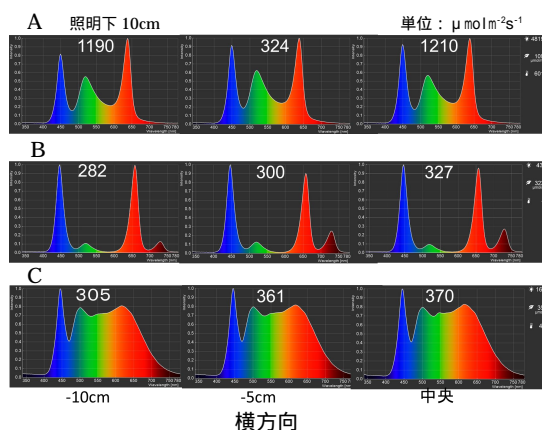


図 2 選定した LED 照明の分光分布と光合成有効光量子束密度

今後、宇宙での栽培に向け、狭い空間内で短期間に収穫するため、候補 LED 照明を組み込むとともに温度制御性能を向上させた装置開発と栽培方法の検討が必要である。本装置はイネにおけるゲノム研究やメカニズムの解明などバイオ研究、特に医薬品製造の遺伝子組換え用のイネ栽培装置として極めて有用である。さらに、超矮性イネ小僧の柄は遺伝子組換えによるワクチンなどの医薬品製造を担う植物工場の基幹作物としても重要な役割を果たすことになる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- 1) H. Hirai, Y. Kitaya, Evaluation of growth performance of super-dwarf rice in space agriculture, 152-156, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, 16, 査読有, 2018
- 2) A. Tokuda, Y. Kitaya, H. Hirai, S. Yano, Promoting stem sap flow of sweetpotatoes under low gravity with forced air movements, 53-56, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, 16, 査読有, 2018

〔学会発表〕(計 11 件)

- 1) 平井宏昭、北宅善昭、塚本耕也、山下洋一郎、宇宙での栽培に向けた極矮性稲の栽培装置の LED 照明について、日本宇宙生物科学会第 31 回大会、2017 年 9 月、前橋
- 2) 北宅善昭、平井宏昭、矢野幸子、宇宙での閉鎖型植物工場システム構築における留意点、日本宇宙生物科学会第 31 回大会、2017 年 9 月、前橋
- 3) H. Hirai, Y. Kitaya, Evaluation of growth performance of super-dwarf rice in space agriculture, The 31st International Symposium on Space Technology and Science(ISTS), Jun 2017, Matsuyama
- 4) Y. Kitaya, H. Hirai, A. Tokuda, S. Yano, Water status of plants under low gravity conditions, The 31st International Symposium on Space Technology and Science(ISTS), Jun 2017, Matsuyama
- 5) Y. Kitaya, H. Hirai, S. Yano, A plant culture system for producing food and recycling materials with sweetpotato in space, 41st COSPAR Scientific Assembly, Aug. 2016, Istanbul
- 6) A. Tokuda, Y. Kitaya, H. Hirai, S. Yano, Stem sap flow in plants under low gravity conditions, 41st COSPAR Scientific Assembly, Aug. 2016, Istanbul
- 7) H. Hirai, Y. Kitaya, Taste of super-dwarf rice cultured in space, 41st COSPAR Scientific Assembly, Aug. 2016, Istanbul
- 8) 平井宏昭、極矮性稲の食味評価に向けて、美味技術学会第 15 回例会、2015 年 11 月、倉敷
- 9) 平井宏昭、北宅善昭、宇宙での栽培に向けた極矮性稲の食味について、日本宇宙生物科学会第 29 回大会、2015 年 9 月、東京
- 10) 平井宏昭、北宅善昭、塚本耕也、山下洋一郎、宇宙での栽培に向けた極矮性稲の提案、日本宇宙生物科学会第 28 回大会、2014 年 9 月、堺
- 11) H. Hirai, Y. Kitaya, T. Hirai, K. Tsukamoto, Y. Yamashita, Proposal of a growth chamber for growing super-dwarf rice in space agriculture, 40th COSPAR Scientific Assembly, Aug. 2014, Moscow

平井 宏昭 (HIRAI Hiroaki)

大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授

研究者番号：50173208

6. 研究組織

(1) 研究代表者