



植物影響効果試験

(共同研究)

Effects of Misasa Hot Spring Water on the Growth of Vegetables
(Joint Research)

山田 智 北 実 五藤 由香里 石森 有

Satoshi YAMADA, Makoto KITA, Yukari GOTO and Yuu ISHIMORI

人形峠環境技術センター

Ningyo-toge Environmental Engineering Center

November 2011

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

植物影響効果試験
(共同研究)

日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センター
山田 智*、北 実*、五藤 由香里*、石森 有

(2011年8月26日受理)

鳥取大学農学部と日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センターは、世界有数のラドン温泉地域である三朝地域の放射線的特徴等に着目し、地産野菜等の特産品化を目指した植物影響効果研究を共同で行っている。

本報告書は、平成21年度から22年度に実施した内容及びその成果について、とりまとめたものである。

- (1) 各種作物の選抜栽培試験：三朝温泉水での栽培に適した有望種を選抜する目的で、葉菜類をはじめとする18種の選抜栽培試験を、三朝温泉水等を用いた水耕栽培により行った。その結果、18種の内14種で、水道水を用いた場合より生育が促進され、このうち9種を有望種として選定した。
- (2) 試料調製：選抜栽培試験で得られた試料の成分分析等により、温泉水等による生育や品質成分への影響効果について、メカニズム等の解明を行い、作物種の絞り込み等を行うため、定めた手順に従って試料を調製し、冷凍保存した。
- (3) 省力栽培法の検討：選抜栽培試験で特に有望な作物について中規模の栽培試験を行い、生育や品質成分への影響効果についてさらに知見を得るほか、実用化試験にむけた課題を抽出する目的で、省力栽培法について検討した。

本研究は日本原子力研究開発機構と国立大学法人 鳥取大学農学部との共同研究に基づいて実施したものである。

人形峠環境技術センター：〒708-0698 岡山県苫田郡鏡野町上斎原 1550

* 国立大学法人 鳥取大学農学部

Effects of Misasa Hot Spring Water on the Growth of Vegetables
(Joint Research)

Satoshi YAMADA*, Makoto KITA*, Yukari GOTO* and Yuu ISHIMORI

Ningyo-toge Environmental Engineering Center, Japan Atomic Energy Agency
Kagamino-cho, Tomata-gun, Okayama-ken

(Received August 26, 2011)

Tottori University and Japan Atomic Energy Agency started a joint study to investigate the effect of hot spring water on the growth of vegetable plants in 2009. The aim of the study is to examine a feasibility of producing a regionally special vegetable with considering the characteristics of the Misasa district, where radon hot springs are historically famous. This report illustrates the intermediate results obtained from the study carried out from 2009 to 2010.

- (1) Screening test: Eighteen plants were examined for screening. As the results, Misasa hot spring water used in the water culture enlarged the growths of 14 plants. Lastly, 9 plants were selected as candidate plants for further examinations.
- (2) Sample preparation: Plants sampled in the water culture were lyophilized and stored in a freezer for nutritio-physiological analyses to select the suitable plant from the 9 plants.
- (3) Examination in labor-saving cultivation: Preliminary examinations were performed with a large-scale system to establish a practical labor-saving water culture system.

Keyword: Misasa Hot Springs, Hot Spring Water, Vegetable Plant, Water Culture, Screening Test

This work has been performed in JAEA as a joint research with Tottori University

*Faculty of Agriculture, Tottori University

目 次

1.	はじめに	1
2.	方法	2
3.	結果と考察	5
4.	結論	7
	付録	9
	付録A 選抜栽培試験に係る写真	11
	付録B 温泉水等の記録	14
	付録C 選抜栽培試験の記録	16
	付録D 選抜栽培試験	17
	付録E 茎葉、根部の Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn 含有率	35
	付録F 試料中のウラン、ラジウム濃度	38

Contents

1. Introduction	1
2. Materials and methods	2
3. Results and discussion	5
4. Conclusion	7
Appendix	9
Appendix A: Pictures	11
Appendix B: Water analysis	14
Appendix C: Note in the screening test	16
Appendix D: Results in the screening test	17
Appendix E: Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu and Zn concentrations in samples	35
Appendix F: U and Ra concentrations in samples	38

1. はじめに

鳥取大学農学部と日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センターは、世界有数のラドン温泉地域である三朝地域の放射線的特徴等に着目し、地産野菜等の特産品化を目指した植物影響効果研究を共同で行っている。

鳥取大学農学部は栽培試験及び有望種の選抜、分析試料調製、栽培法の検討等について分担し、日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センターは温泉水の採水及び分析、核種移行等に係る検討を分担している。

本報告書は、平成 21 年度から 22 年度に実施した以下の内容及びその成果について、とりまとめたものである。

(1) 各種作物の選抜栽培試験

鳥取大学農学部の試験ガラス室内で、三朝温泉水等を用いて、葉菜類をはじめとする複数種を栽培し、有望種を選抜する。温泉水等の成分分析などを実施する。

(2) 試料調製

選抜栽培試験で得られた試料の成分分析などにより、温泉水等による生育や品質成分への影響効果について、メカニズム等の解明を行い、作物種の絞り込み等を行う目的で、試料を調製する。

(3) 省力栽培法の検討

選抜栽培試験で特に有望な作物について中規模の栽培試験を行い、生育や品質成分への影響効果についてさらに知見を得るほか、実用化試験にむけた課題を抽出するため、省力栽培法について検討する。

2. 方法

2. 1 供試植物

三朝地域の気候や地質的特徴のほか、栽培に温泉水を使用することから耐塩性等を考慮し、選抜栽培試験の供試植物として以下の18種を選定した。なお、三朝町でも栽培されているミカン科落葉低木のサンショウについては、育苗方法が特殊な挿し木法によるものであるため、今回の試験は断念し、コキア、チャービル、レモンバームを当初予定に加え試験した。

ミズナ、レタス、コマツナ、ホウレンソウ、フダンソウ、リーフレタス、ミツバ、サラダナ、ハツカダイコン、コリアンダー、コキア、シソ、バジル、ダイズ、アッケシソウ、スベリヒユ、チャービル、レモンバーム

2. 2 各種作物の選抜栽培試験

選抜栽培試験は鳥取大学の試験ガラス室内で行った。バーミキュライトに播種し、水道水を灌水して育苗した。発芽後、苗をワグネルポット（5000分の1アール）当たり5個体となるように移植し、温泉水または水道水（対照）に表1に示す栄養量に調製した培養原液を添加して、水耕栽培を行った。1週間に1回、培養液（培養原液と温泉水または水道水を混合したもの）を交換した。

温泉水及び水道水質について、ICP発光分析装置で測定した（表2）。2.3に示す方法で、茎葉と根のそれぞれの新鮮重及び乾物重を求めた。これらを指標として有望種の絞り込みを行った。温泉水と水道水（対照）との有意差についてはt検定によって判定した。

表1 培養原液組成

多量必須元素	mmol/L	微量必須元素	mg/L
N (NH ₄ NO ₃)	2.0	Fe (FeSO ₄ · 7H ₂ O)	2
P (KH ₂ PO ₄)	0.4	Mn (MnSO ₄ · 5H ₂ O)	0.5
K (KCl)	2.0	B (H ₃ BO ₃)	0.2
Ca (CaCl ₂ · 2H ₂ O)	1.0	Zn (ZnSO ₄ · 7H ₂ O)	0.1
Mg (MgSO ₄ · 7H ₂ O)	2.0	Cu (CuSO ₄ · 5H ₂ O)	0.01
		Mo ((NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O)	0.005

表2 温泉水と水道水（対照）の組成

mmol/L	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	B	Al	P	Mn	Fe	Cu	Zn
温泉水	0.35	10.8	1	0.14	0.88	0.008	0.213	ND	ND	0.003	ND	ND	ND
水道水	ND	0.35	0.213	0.115	0.172	0.0007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0009

ND: 検出限界以下

2. 3 試料調製

今後、選抜栽培試験で得られた試料を利用して、温泉水等による生育や品質成分への影響効果について、メカニズム等の解明を行い、作物種の絞り込み等を行うことを考慮し、以下の通り試料調製手順を定め、これに従って試料を保存した。

- 1) 植物体を採取し、根部の温泉水を水道水により洗浄する。
- 2) 根部の水道水は、さらに蒸留水で洗浄する。これは、水道水に含まれる無機成分により植物の栄養状態の把握が不正確になることを防ぐために重要である。
- 3) 植物体を各器官（葉身、根など）に解体して新鮮重量を測定する。
- 4) 低温に耐性のあるプラスチック製の袋に、各器官をいれて、凍結する（-20℃から-30℃）。
- 5) 凍結乾燥機により乾燥する（72 時間以上）。乾燥が充分行われたか否か判断するため、乾燥開始から 48 時間目に重量測定を行い、さらに 72 時間目に恒量に達していれば、完全に乾燥されているものとする。72 時間目に恒量に達していない場合は、恒量に達していることが確認できるまで、およそ 24 時間ごと（96 時間目、120 時間目など）に再度重量測定を行う。
- 6) 凍結乾燥試料の乾燥重量を測定する。
- 7) 粉砕機を用いて微粉末試料を調製する。粉砕を行うまでの期間、凍結乾燥試料は、シリカゲルを含んだ密閉型の容器内に入れて、冷凍保存する。
- 8) 微粉末試料は、低温に耐性のあるプラスチック製の新品の袋に入れて、シリカゲルを含んだ密閉型の容器内で冷凍保存する。

2. 4 省力栽培法の検討

栽培の実用化にむけた課題抽出を行うため、初年度に有望であることを確認したレタス及びコマツナを使用して、320 個体一度に温泉水栽培する中規模の栽培試験を以下の通り実施し、省力栽培法を検討した。

1) 栽培環境設定

- ・ 温度は、終日 25℃とした。
- ・ 湿度は、調節は行わないが、およそ相対湿度 70%であった。
- ・ 照度は、午前 6 時から午後 6 時までは、自然光下、蛍光灯（およそ 20,000lx）で補光した。
- ・ 大気の流れは、温度調節機の送風によるもののみとした。

2) 栽培手順

- ・ 搬入した温泉水は、1 日間栽培ハウス外で冷却した。
- ・ 200 リットルの温泉水を 400 リットルの水槽に移し、表 2 に示す養分組成となるように培養原液を添加した。そのうち、培養液の pH は、5.5 に調節した。
- ・ 20 リットルの浅底コンテナ（65cm×45cm×10cm）を 8 個、ハウス内に設置し、それぞれに 20 リットルの培養液をいれる。

- ・ コンテナ上面には、方形で等間隔に 40 個の穴（直径 2cm）があるビニール製の遮光性のカバーを置き、あらかじめ育苗した苗をひとつの穴に対して 1 茎となるように移植した。植物体を傷つけないように直立させるために、苗の茎下部にスポンジを巻いてから穴に装着した。
- ・ 培養液には、鑑賞魚用の通気モーターを用いて常時通気した。
- ・ 培養液は、1 週間に 1 回更新した。

3) 栽培管理

- ・ 防虫対策等は慣行法にしたがった。
- ・ 自然光下での補光のため、光環境がコンテナによって異ならないよう、8 個の栽培コンテナは、1 週間に 1 回程度、ハウス内で配置換えを行った。

4) その他

- ・ 移植する苗の成長が進んでいる場合は、移植後に地上部が倒伏しやすい。この場合は、苗の茎に巻き付けるスポンジの位置を高くする。茎下端が培養液に浸ることになるが、問題はない。

3. 結果と考察

3. 1 各種植物の選抜栽培試験

選抜栽培試験について、水道水栽培に対する地上部相対新鮮重量比を指標として評価すると、アッケシソウ（アカザ科；7.8）、コリアンダー（セリ科；4.0）、フダンソウ（アカザ科；2.8）、リーフレタス（キク科；2.7）、レタス（キク科；2.5）、サラダナ（キク科；2.4）、ミツバ（セリ科；2.2）、ハウレンソウ（アカザ科；2.0）、ダイズ（マメ科；1.5）、コキア（アカザ科；1.4）、スベリヒユ（スベリヒユ科；1.3）、チャービル（セリ科；1.2）、ミズナ（アブラナ科；1.1）、コマツナ（アブラナ科；1.1）、ハツカダイコン（アブラナ科；1.0）、バジル（シソ科；0.8）、レモンバーム（シソ科；0.4）、及びシソ（シソ科；0.2）の順で、重量比が高かった。

表2に示すとおり、温泉水には、植物にとっての必須元素ながら、塩類であるKやCaなどが多く含有されている。このため、耐塩性の強いアカザ科の植物が上位に位置し、キク科やセリ科がそれに次ぎ、アブラナ科では温泉水の効果はほとんど見られず、シソ科では温泉水で成育が悪くなるという傾向となったと考えられる。

温泉水栽培における有望種の候補としては、上に示した序列と日本人にとって親しみのある植物種という面から、アッケシソウ、コリアンダー、フダンソウ、リーフレタス、レタス、サラダナ、ミツバ、ハウレンソウ、及びダイズの9種を選定した。ダイズは、三朝町ですでに栽培されている神倉ダイズであり、高いイソフラボン含量を示すことで注目されていることから、重量比は、それほど高くはないが、候補として残した。今後、保存試料の栄養生理学的な解析によって、最終的に優良な種を絞り込むこととする。

供試した温泉水及び水道水の成分分析を行った。水道水と比較して、温泉水は、植物にとって必須元素であるK、Mg、及びCa含有率を、それぞれ4.7倍、1.2倍、及び5.1倍含んでいることがわかった。このことにより植物の成育が促進されたことは間違いないと考えられる。また、中生植物にとっては有害であるNa含有率も水道水のそれに比べると30.9倍も高いことがわかった。アッケシソウなどのアカザ科の植物では、Naに対して嗜好性を示す好塩性が指摘されているので、アカザ科の植物が温泉水により成育が促進された理由として、高いNa含有率を挙げることができるかもしれない。

3. 2 試料調製

今後、温泉水が植物の成育や品質成分に及ぼす影響調査し、温泉水による成長促進メカニズム等を解明していくことを考慮し、低温に耐性のあるプラスチック製の新品の袋に入れて、微粉末試料を凍結保存した。これらの試料について、植物の栄養生理学的な解析をすることで、温泉水によって生育が促進される作物種の選抜、品質成分が温泉水により変化している作物種の選抜が可能となり、優良な種を絞り込むことができると考えている。

また、一部の試料について核種移行に係る分析を行い、今後の検討に備えた。

3. 3 省力栽培法の検討

選抜栽培試験で選定した有望種についてさらなる知見を得るほか、栽培の実用化にむけた課題抽出を行うために、省力栽培法の検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。1) 栽

培環境設定については、温度は終日 25℃、相対湿度はおよそ 70%、照度は自然光に蛍光灯（およそ 20000lx）で補光した環境で適当であることがわかった。2) 栽培手順は、20 リットルの浅底コンテナ（65cm×45cm×10cm）8 個に対して、養分添加した冷却（室温）温泉水を満たし、コンテナ上面を覆う遮光性ビニールプレート（40 穴）に、苗を移植して、通気しながら栽培を続ける方法が適当であることがわかった。3) 栽培管理については、光環境が均一になるように栽培コンテナの位置を定期的に配置換えること以外は、慣行法で問題がないことがわかった。

4. 結論

三朝地域の放射線的特徴等に着眼し、植物影響効果研究を行うため、各種作物の選抜栽培試験により、葉菜類をはじめとする複数種の栽培試験を行い、アケシソウ、コリアンダー、フダンソウ、リーフレタス、レタス、サラダナ、ミツバ、ホウレンソウ、及びダイズの9種を有望種として選抜した。選抜栽培試験で得られた試料については、定めた手順に従って調製、冷凍保存した。一部の試料について核種移行に係る分析を行い、今後の検討に備えた。このほか、省力栽培法を検討し、一度に320個体の省力化栽培法を確立し、課題を抽出した。

今後、凍結保存した試料について、植物の栄養生理学的な解析をすることで、有望種を絞り込むとともに、本年度有望と判断された作物について、中規模の栽培試験を行い、各種成分分析を行うほか、実用化試験における課題等を引き続き抽出する。

This is a blank page.

付録

This is a blank page.

付録A 選抜栽培試験に係る写真

本研究に係る一連の作業について、記録写真を示す。



写真A. 1 三朝町4号泉（源泉）



写真A. 4 鳥取大学農学部試験ガラス室



写真A. 2 温泉水の採水の様子（1）



写真A. 5 播種の様子



写真A. 3 温泉水の採水の様子（2）



写真A. 6 育苗の様子



写真A. 7 移植の様子



写真A. 10 試料の採取



写真A. 8 選抜栽培試験の様子 (1)



写真A. 11 採取試料の保管 (1)



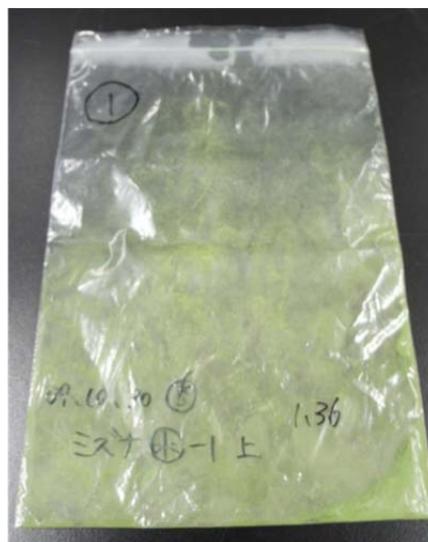
写真A. 9 選抜栽培試験の様子 (2)



写真A. 12 採取試料の冷凍保管



写真A. 13 試料の凍結乾燥処理



写真A. 15 粉碎した試料



写真A. 14 処理後の試料



写真A. 16 粉碎した試料の保管
(試料調製の終了)

付録B 温泉水等の記録

試験開始にあたり、平成 21 年 4 月 16 日に複数の泉源から採水し、水質測定を行った。その結果、表B. 1 に示すとおり、5つの温泉水の中では、ラドン、ウラン、ラジウムが比較的バランス良く含まれている4号源泉が、試験には適しているものと考え選定した。

表B. 1 温泉水の水質 (1)

	泉名	採取日時	水温 ℃	Rn-222 Bq/L		Ra-226 × 10 ⁻² Bq/L		U-238 × 10 ⁻² Bq/L		U-235 × 10 ⁻² Bq/L		U-234 × 10 ⁻² Bq/L	
1	5号源泉	4/16 14:00	46	160 ± 0.24	0.3 ± 0.1	3.0 ± 0.39	ND	3.9 ± 0.47					
2	4号源泉	4/16 14:30	63	500 ± 0.81	37.4 ± 2.3	1.1 ± 0.19	ND	1.5 ± 0.22					
3	新1号源泉	4/16 14:50	70	310 ± 0.56	62.7 ± 3.8	0.2 ± 0.07	ND	0.3 ± 0.07					
4	温泉スタンド	4/16 15:10	67	270 ± 0.77	35.3 ± 2.2	0.3 ± 0.10	ND	0.4 ± 0.11					
5	株湯(飲泉)	4/16 15:30	38	190 ± 0.51	4.7 ± 0.3	0.2 ± 0.07	ND	0.2 ± 0.06					

表B. 1 温泉水の水質 (2)

	泉名	採取日時	Fe mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	Cd mg/L	Pb mg/L	As mg/L	Se mg/L	Sb mg/L	B mg/L	Al mg/L	Ni mg/L
1	5号源泉	4/16 14:00	0.01	ND	ND	0.006	ND	ND	0.10	ND	0.0017	0.38	0.014	ND	
2	4号源泉	4/16 14:30	0.18	0.11	ND	0.036	0.007	ND	0.008	0.24	ND	0.0041	1.70	0.027	ND
3	新1号源泉	4/16 14:50	1.30	0.20	ND	0.036	0.007	ND	0.30	ND	0.0099	2.70	0.010	ND	
4	温泉スタンド	4/16 15:10	0.37	0.18	ND	0.036	ND	ND	0.34	ND	0.0081	2.70	0.012	ND	
5	株湯(飲泉)	4/16 15:30	0.06	0.09	ND	0.014	ND	ND	0.10	ND	0.0020	0.89	0.010	ND	

表B. 2 温泉水の水質の測定方法

測定対象	測定方法
Rn-222	キュリーびんに採取後、ガス封入型電離箱法により定量。 (表A. 1のみトルエン抽出による液体シンチレーション計数法)
Ra-226	炭酸カルシウム共沈後、塩酸溶液とし、キュリーびんに保管後、ガス封入型電離箱法により定量。
ウラン	イオン交換樹脂で塩酸溶液として分離後乾固し、硫酸溶液とし、電着試料をα線スペクトルメトリにより定量。
その他	硝酸溶液として ICP-MS 法により定量。

選抜栽培試験に供した温泉水、水道水、培養原液の水質測定方法について、表B. 2に、結果について表B. 3に示す。温泉水について、試験期間を通じて比較的安定した水質であった。

表B. 3 試験に供した温泉水、水道水、培養原液の水質

4号源泉		天候	気温	水温	Rn-222 Bq/cm3	PH	Fe mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	Cd mg/L	Pb mg/L	As mg/L	Se mg/L	Sb mg/L	B mg/L	Al mg/L	Ni mg/L	Re-226 Bq/cm3	U-238 Bq/cm3	U-235 Bq/cm3	U-234 Bq/cm3	
平成21年度																								
採取日	4月16日	晴	18.3	63.0	0.50 ±0.00	7.5	0.18	0.11	ND	0.036	0.01	ND	0.01	0.24	ND	0.004	1.7	0.027	ND	3.7E-04	1.1E-05	ND	1.5E-05	
	10月8日	晴	20.0	66.9	0.51 ±0.02	7.5	0.12	0.16	ND	0.035	ND	ND	ND	0.30	ND	0.005	2.3	0.047	ND	3.8E-04	1.9E-05	ND	2.1E-05	
	10月15日	晴	22.0	66.8	0.52 ±0.02	7.3	0.11	0.16	ND	0.031	ND	ND	ND	0.33	ND	0.006	2.5	0.007	ND	3.8E-04	1.4E-05	ND	1.8E-05	
	10月22日	晴	23.0	66.7	0.55 ±0.02	7.1	0.09	0.15	ND	0.030	ND	ND	ND	0.32	ND	0.005	2.3	0.012	ND	3.7E-04	2.0E-05	ND	1.5E-05	
	11月5日	晴	16.5	67.1	0.55 ±0.02	7.4	0.09	0.15	ND	0.028	ND	ND	ND	0.32	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.6E-04	1.9E-05	ND	2.2E-05	
	11月12日	晴	13.3	66.7	0.56 ±0.02	7.4	0.09	0.15	ND	0.029	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.4	ND	ND	3.7E-04	1.3E-05	ND	2.0E-05	
	11月19日	晴	13.3	67.1	0.52 ±0.02	7.3	0.09	0.15	ND	0.028	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.4	ND	ND	3.8E-04	1.7E-05	ND	1.7E-05	
	11月26日	晴	14.7	66.3	0.54 ±0.02	7.2	0.10	0.15	ND	0.030	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.4	ND	ND	3.5E-04	9.3E-06	ND	1.7E-05	
	12月3日	晴	11.5	66.0	0.54 ±0.02	7.2	0.09	0.15	ND	0.030	ND	ND	ND	0.35	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.7E-04	1.7E-05	ND	1.9E-05	
	12月10日	晴	14.3	66.5	0.52 ±0.02	7.2	0.10	0.15	ND	0.030	ND	ND	ND	0.35	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.5E-04	1.5E-05	ND	1.2E-05	
	12月17日	晴	5.0	66.8	0.53 ±0.02	7.4	0.10	0.15	ND	0.029	ND	ND	ND	0.36	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.9E-04	1.2E-05	ND	2.1E-05	
平成22年度																								
採取日	5月6日	曇	27.5	67.3	0.54 ±0.02	7.2	0.12	0.15	ND	0.033	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.7	ND	ND	3.4E-04	1.7E-05	ND	1.3E-05	
	5月13日	晴	23.3	67.2	0.52 ±0.02	7.2	0.07	0.15	ND	0.030	ND	ND	ND	0.35	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.5E-04	1.9E-05	ND	1.8E-05	
	5月20日	晴	27.6	67.3	0.52 ±0.02	7.2	0.09	0.15	ND	0.027	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.1	ND	ND	3.8E-04	1.7E-05	ND	2.2E-05	
	5月27日	晴	14.7	67.2	0.51 ±0.02	7.1	0.08	0.15	ND	0.028	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.4	ND	ND	3.6E-04	1.6E-05	ND	1.6E-05	
	6月3日	晴	28.5	67.2	0.51 ±0.02	7.3	0.08	0.15	ND	0.026	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.8E-04	1.3E-05	ND	1.8E-05	
	6月10日	晴	32.7	66.5	0.51 ±0.02	7.3	0.10	0.14	ND	0.027	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.2	ND	ND	3.5E-04	1.6E-05	ND	1.7E-05	
	6月17日	晴	34.6	67.1	0.52 ±0.02	7.1	0.09	0.15	ND	0.026	ND	ND	ND	0.33	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.5E-04	1.8E-05	ND	1.6E-05	
	7月1日	曇	27.8	66.7	0.52 ±0.02	7.4	0.10	0.15	ND	0.029	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.4	ND	ND	3.7E-04	1.3E-05	ND	1.9E-05	
	7月8日	曇	32.3	66.9	0.53 ±0.02	7.4	0.10	0.15	ND	0.028	ND	ND	ND	0.33	ND	0.005	2.5	ND	ND	3.7E-04	2.0E-05	ND	1.7E-05	
	7月15日	曇	30.7	66.9	0.50 ±0.02	7.4	0.10	0.15	ND	0.027	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.7E-04	1.7E-05	ND	1.5E-05	
	7月22日	晴	33.4	66.9	0.51 ±0.02	7.1	0.09	0.16	ND	0.027	ND	ND	ND	0.33	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.5E-04	1.4E-05	ND	1.3E-05	
	8月4日	晴	35.8	66.9	0.53 ±0.02	7.0	0.12	0.15	ND	0.027	ND	ND	ND	0.31	ND	0.005	2.2	ND	ND	3.5E-04	2.3E-05	ND	2.0E-05	
	9月2日	晴	34.2	67.1	0.50 ±0.02	7.4	0.10	0.15	ND	0.029	ND	ND	ND	0.32	ND	0.005	2.2	ND	ND	4.0E-04	2.0E-05	ND	2.2E-05	
	9月9日	晴	28.9	67.0	0.53 ±0.02	7.1	0.11	0.15	ND	0.027	ND	ND	ND	0.32	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.9E-04	2.1E-05	ND	1.8E-05	
	9月16日	晴	27.8	67.1	0.52 ±0.02	7.1	0.11	0.16	ND	0.028	ND	ND	ND	0.33	ND	0.005	2.5	ND	ND	3.7E-04	1.6E-05	ND	1.4E-05	
	9月22日	晴	29.5	66.3	0.53 ±0.02	7.0	0.10	0.16	ND	0.030	ND	ND	ND	0.33	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.5E-04	2.0E-05	ND	1.5E-05	
	9月30日	晴	25.5	66.7	0.52 ±0.02	7.1	0.10	0.16	ND	0.030	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.6E-04	1.6E-05	ND	2.3E-05	
	10月6日	晴	23.4	66.8	0.52 ±0.02	7.1	0.09	0.15	ND	0.030	ND	ND	ND	0.33	ND	0.005	2.3	ND	ND	3.5E-04	2.0E-05	ND	1.6E-05	
	10月14日	曇	25.0	66.8	0.53 ±0.02	7.1	0.09	0.16	0.005	0.031	ND	ND	ND	0.35	ND	0.005	2.5	ND	ND	3.5E-04	1.6E-05	ND	1.6E-05	
	10月21日	曇	20.7	67.0	0.53 ±0.02	7.1	0.09	0.15	ND	0.031	ND	ND	ND	0.36	ND	0.005	2.1	ND	ND	3.5E-04	1.7E-05	ND	1.8E-05	
	10月28日	晴	13.0	67.0	0.51 ±0.02	7.1	0.09	0.15	0.005	0.033	ND	ND	ND	0.36	ND	0.005	2.1	ND	ND	3.5E-04	2.2E-05	ND	1.5E-05	
	11月4日	晴	19.1	66.2	0.54 ±0.02	7.2	0.09	0.15	ND	0.032	ND	ND	ND	0.34	ND	0.005	2.1	ND	ND	3.5E-04	1.6E-05	ND	1.9E-05	
	11月11日	曇	18.0	66.7	0.52 ±0.02	7.2	0.08	0.15	ND	0.034	ND	ND	ND	0.37	ND	0.005	2.1	ND	ND	3.7E-04	1.4E-05	ND	1.9E-05	
	11月18日	曇	13.0	66.7	0.53 ±0.02	7.1	0.08	0.15	0.005	0.034	ND	ND	ND	0.37	ND	0.005	2.2	ND	ND	3.4E-04	1.5E-05	ND	1.9E-05	
	11月25日	曇	17.5	67.0	0.51 ±0.02	7.2	0.07	0.15	0.006	0.035	ND	ND	ND	0.37	ND	0.005	2.2	ND	ND	3.6E-04	2.1E-05	ND	1.7E-05	

水道水		天候	気温	水温	Rn-222 Bq/cm3	PH	Fe mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	Cd mg/L	Pb mg/L	As mg/L	Se mg/L	Sb mg/L	B mg/L	Al mg/L	Ni mg/L	Re-226 Bq/cm3	U-238 Bq/cm3	U-235 Bq/cm3	U-234 Bq/cm3	
平成21年度																								
採取日	5月6日					7.4	0.01	ND	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND								

培養原液		天候	気温	水温	Rn-222 Bq/cm3	PH	Fe mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	Cd mg/L	Pb mg/L	As mg/L	Se mg/L	Sb mg/L	B mg/L	Al mg/L	Ni mg/L	Re-226 Bq/cm3	U-238 Bq/cm3	U-235 Bq/cm3	U-234 Bq/cm3	
平成22年度																								
採取日	5月6日					4.7	1.20	0.32	ND	0.016	0.11	ND	ND	ND	ND	ND	0.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

付録C 選抜栽培試験の記録

表C. 1に示す日程で、選抜栽培試験を行った。

表C. 1 栽培記録

植物種	播種日	移植日	収穫時
ミズナ	平成21年9月24日	10月9日	10月30日
レタス	9月24日	10月9日	10月30日
コマツナ	10月16日	10月30日	11月27日
ホウレンソウ	10月16日	10月30日	11月27日
フダンソウ	10月16日	10月30日	11月27日
リーフレタス	10月16日	11月6日	12月4日
ミツバ	10月31日	11月6日	12月4日
サラダナ	10月31日	11月6日	12月4日
ハツカダイコン	平成22年4月28日	5月14日	6月4日
コリアンダー	4月28日	5月14日	6月11日
コキア	6月16日	7月8日	7月29日
シソ	6月16日	7月8日	7月29日
バジル	6月16日	7月8日	7月29日
ダイズ	7月6日	7月12日	7月29日
アッケシソウ	7月6日	10月18日	12月7日
スベリヒユ*	9月15日	9月29日	11月10日
チャービル	9月15日	10月7日	11月25日
レモンバーム	9月15日	11月11日	11月25日

*スベリヒユのみ、挿し木により育苗した。

付録D 選抜栽培試験

本研究で試験した18種の生育状況は以下の通りである。

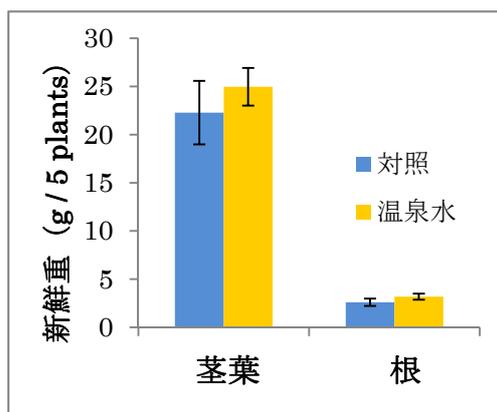
【ミズナ】

収穫時の生育状況を写真D. 1に示した。両者ともに栄養障害等の症状は無く、生育は健全であった。見た目の生育に大きな差は見られなかった。

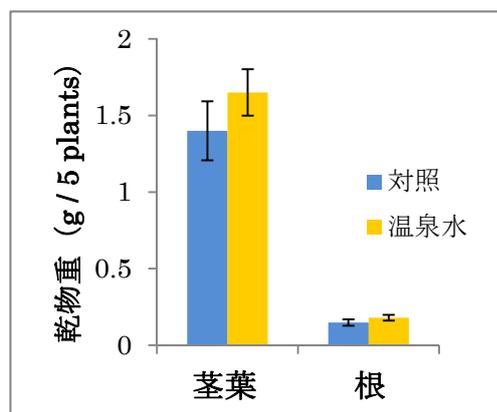


写真D. 1 収穫時のミズナ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉及び根の新鮮重は対照と温泉水の間に有意差はなかった(図D. 1)。乾燥重においても、茎葉、根ともに有意差はみられなかった(図D. 2)。



図D. 1 ミズナの新鮮重



図D. 2 ミズナの乾燥重

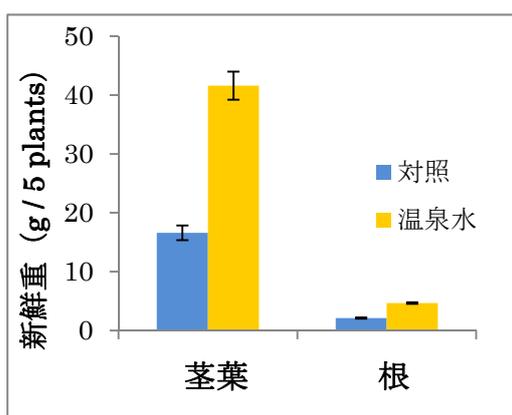
【レタス】

収穫時の生育状況を写真D. 2に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、成育は健全であった。成長は温泉水でよりよかった。

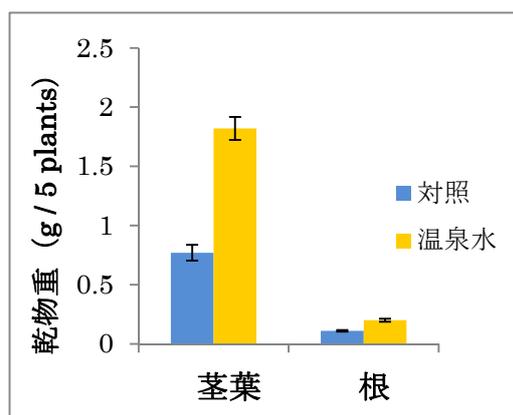


写真D. 2 収穫時のレタス
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 3)。根においても同様であった (図D. 3)。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に大きかった (図D. 4)。



図D. 3 レタスの新鮮重



図D. 4 レタスの乾物重

【コマツナ】

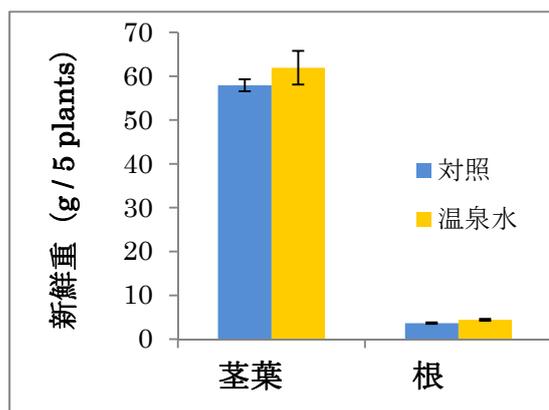
収穫時の生育状況を写真D. 3に示した。両者とも栄養障害等の症状は認められず、健全であった。見た目の成育にも、大きな差は見られなかった。



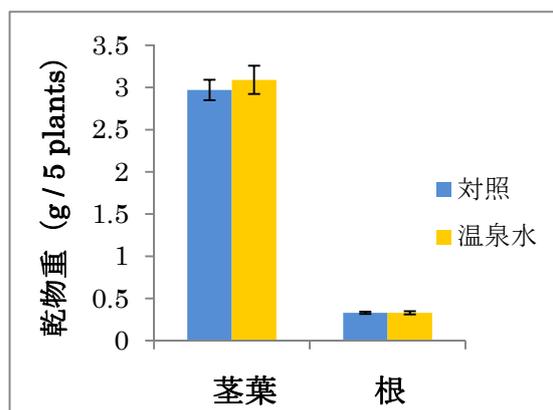
写真D. 3 収穫時のコマツナ

(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は、対照と温泉水の間に有意差はなく、根においても同様であった (図D. 5)。乾燥重においても、茎葉、根ともに有意差はみられなかった (図D. 6)。



図D. 5 コマツナの新鮮重



図D. 6 コマツナの乾物重

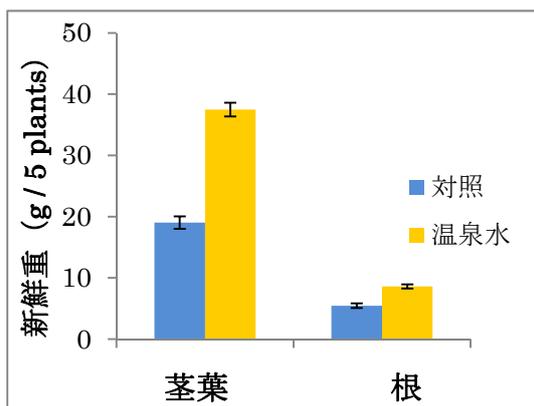
【ホウレンソウ】

収穫時の生育状況を写真D. 4に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、成育健全であった。成長は、温泉水でよりよかった。

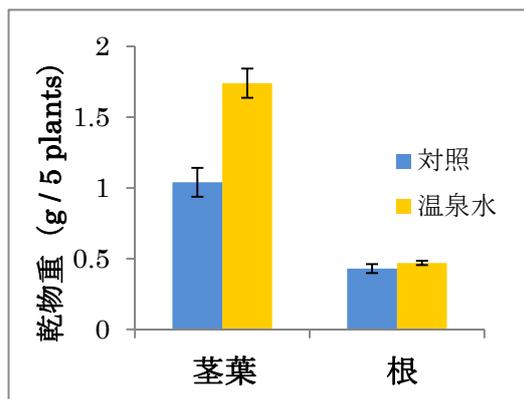


写真D. 4 収穫時のホウレンソウ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 7)。根においても同様であった (図D. 7)。乾物重については、茎葉では温泉水が有意に大きかったが、根では有意差は認められなかった (図D. 8)。



図D. 7 ホウレンソウの新鮮重



図D. 8 ホウレンソウの乾物重

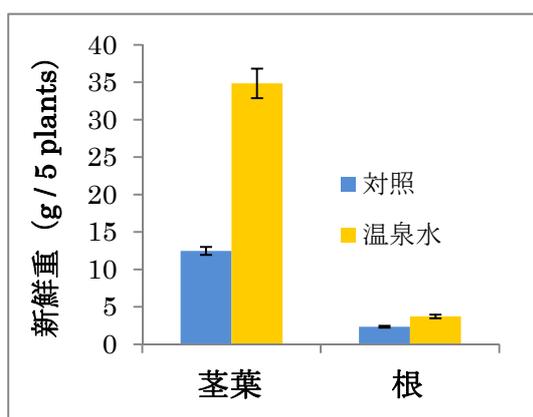
【フダンソウ】

収穫時の生育状況を写真D. 5に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、成育は健全であった。成長は温泉水でよりよかった。

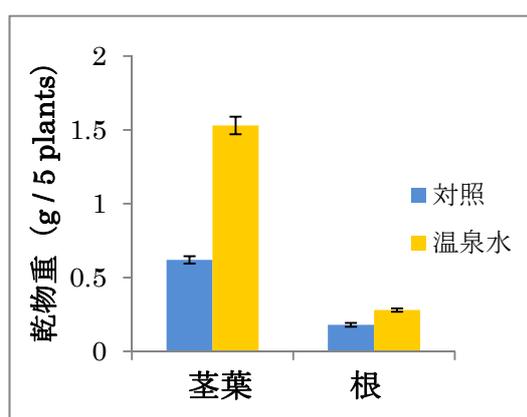


写真D. 5 収穫時のフダンソウ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 9)。根においても同様であった (図D. 9)。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に大きかった (図D. 10)。



図D. 9 フダンソウの新鮮重



図D. 10 フダンソウの乾物重

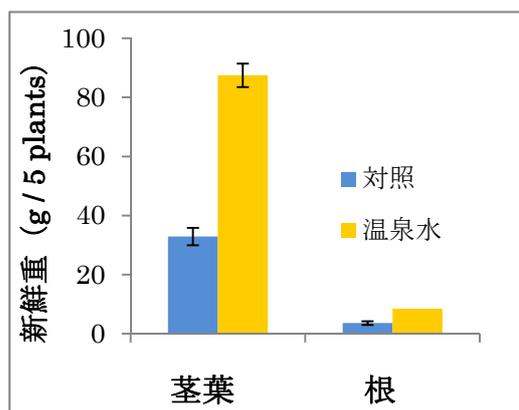
【リーフレタス】

収穫時の生育状況を写真D. 6に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、成育は健全であった。成長は温泉水で著しく良好であった。

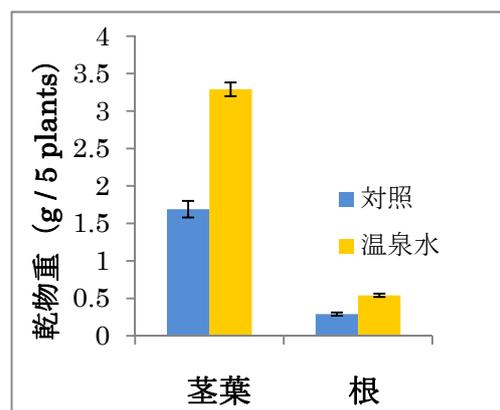


写真D. 6 収穫時のリーフレタス
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 11)。根においても同様であった (図D. 11)。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に大きかった (図D. 12)。



図D. 11 リーフレタスの新鮮重



図D. 12 リーフレタスの乾物重

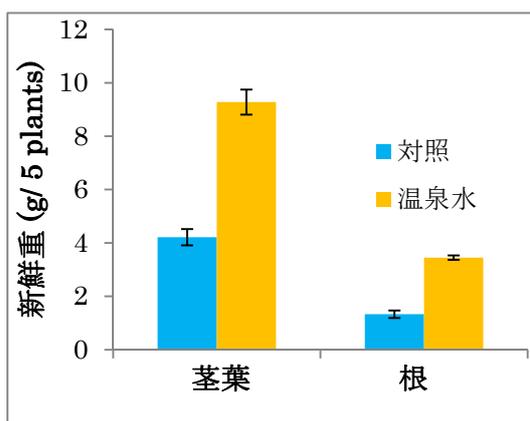
【ミツバ】

収穫時の生育状況を写真D. 7に示した。両者とも、栄養障害等の症状は無く、生育は健全であった。温泉水での生育が目立った。

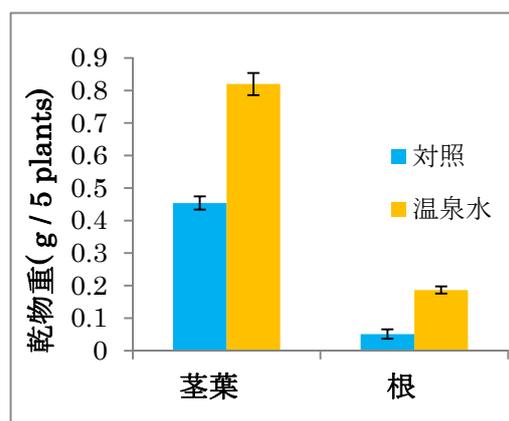


写真D. 7 収穫時のミツバ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 13)。根においても同様であった。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に大きかった (図D. 14)。



図D. 13 ミツバの新鮮重



図D. 14 ミツバの乾物重

【サラダナ】

収穫時の生育状況を写真D. 8に示した。両者とも、栄養障害等の症状は見られず、生育は健全であった。温泉水での生育が目立った。



対照

温泉水

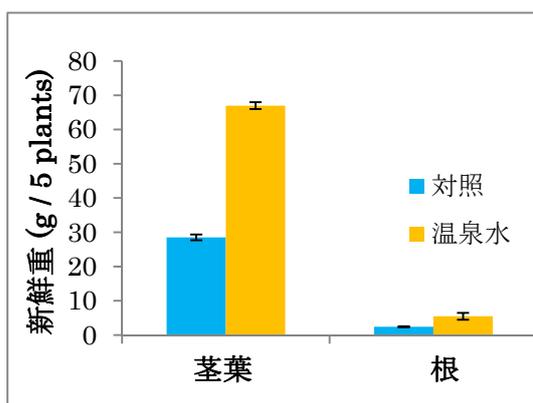
対照

温泉水

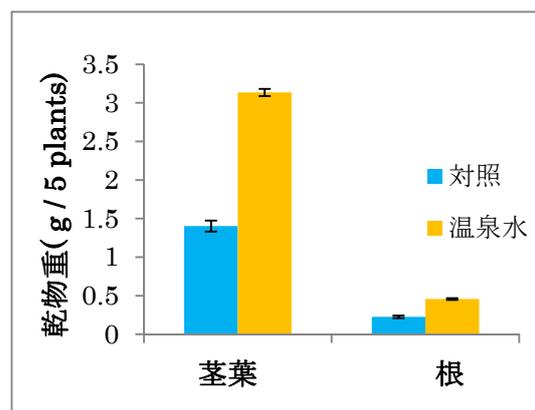
写真D. 8 収穫時のサラダナ

(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた(図D. 15)。根においても同様であった。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に大きかった(図D. 16)。



図D. 15 サラダナの新鮮重



図D. 16 サラダナの乾物重

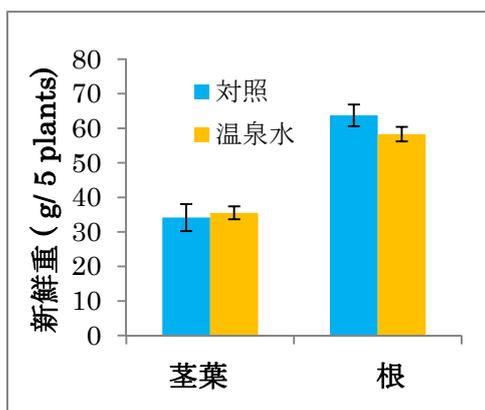
【ハツカダイコン】

収穫時の生育状況を写真D. 9に示した。両者とも、栄養障害等の症状は無く、生育は健全であった。見た目の生育に、大きな差は見られなかった。



写真D. 9 収穫時のハツカダイコン
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

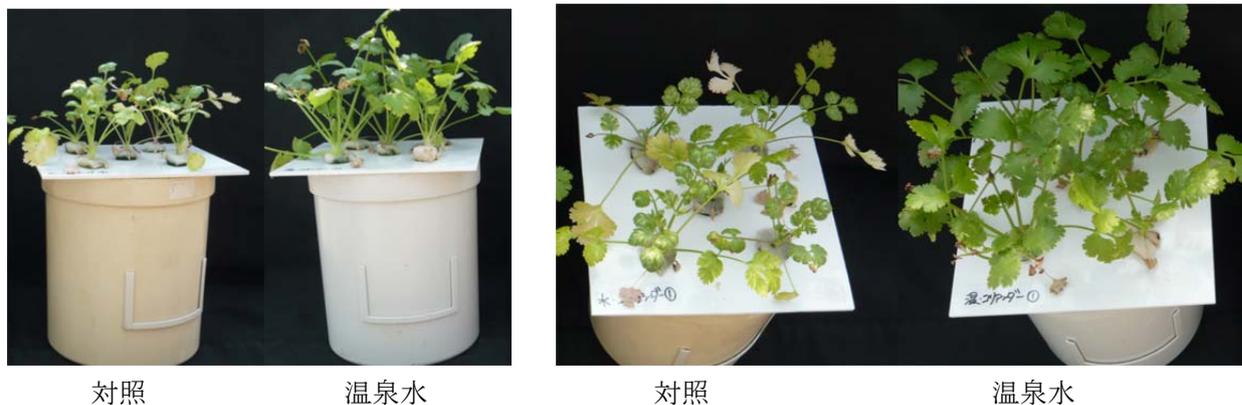
茎葉の新鮮重は対照と温泉水の間に有意差は無く、根においても同様であった（図D. 17）。



図D. 17 ハツカダイコンの新鮮重

【コリアンダー】

収穫時の生育状況を写真D. 10に示した。両者とも、黄化がみられ、水道水で顕著であった。温泉水での生育が目立った。



対照

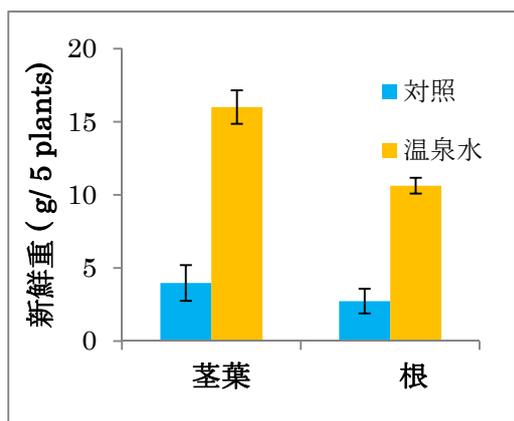
温泉水

対照

温泉水

写真D. 10 収穫時のコリアンダー
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた。根においても同様であった (図D. 18)。



図D. 18 コリアンダーの新鮮重

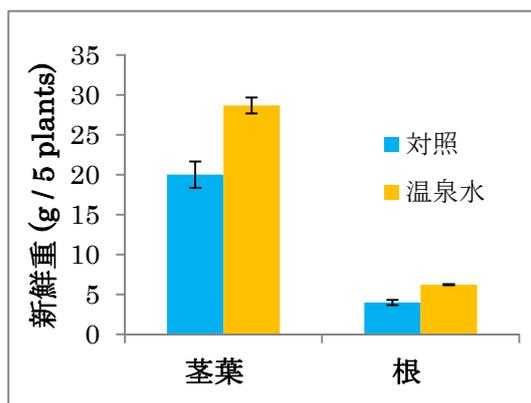
【コキア】

収穫時の生育状況を写真D. 11に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、生育は健全であった。温泉水での生育が目立った。

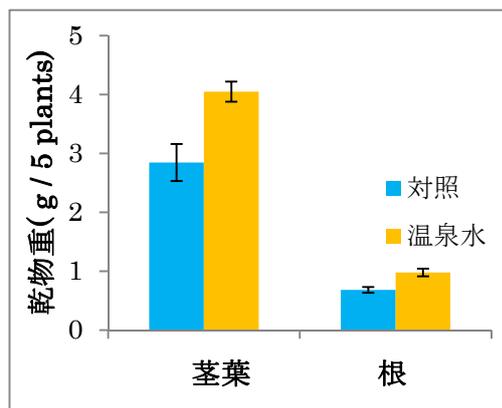


写真D. 11 収穫時のコキア
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 19)。根においても同様であった。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に大きかった (図D. 20)。



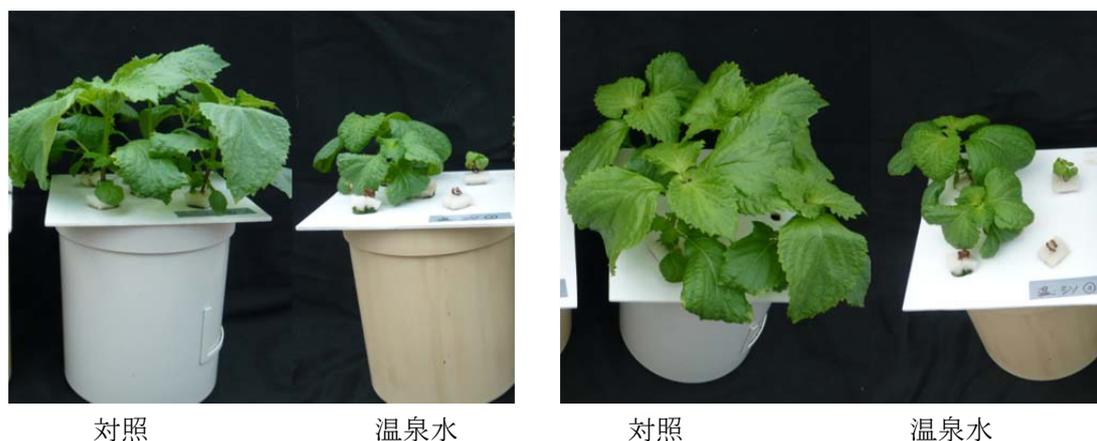
図D. 19 コキアの新鮮重



図D. 20 コキアの乾物重

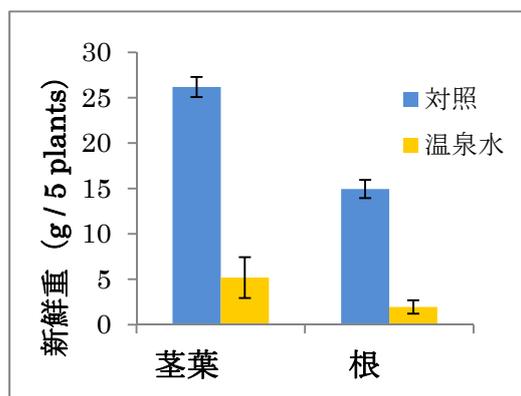
【シソ】

収穫時の生育状況を写真D. 1 2に示した。温泉水で、成育不良により枯死する個体があった。

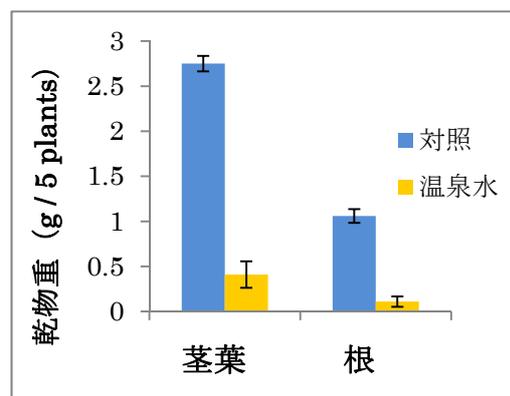


写真D. 1 2 収穫時のシソ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で小さく、有意差が認められた (図D. 2 1)。根においても同様であった (図D. 2 1)。乾物重についても、茎葉、根ともに温泉水で有意に小さかった (図D. 2 2)。



図D. 2 1 シソの新鮮重



図D. 2 2 シソの乾物重

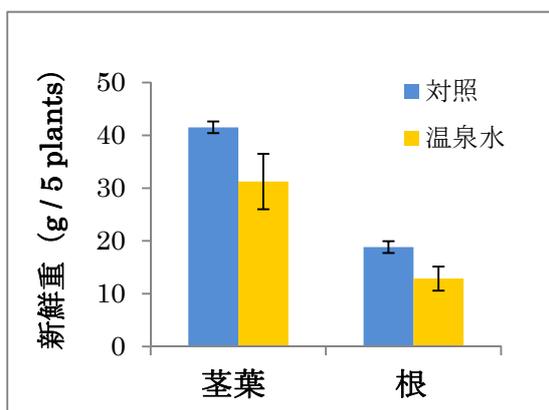
【バジル】

収穫時の生育状況を写真D. 13に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、成育は健全であった。見た目の成育に大きな差は見られなかった。

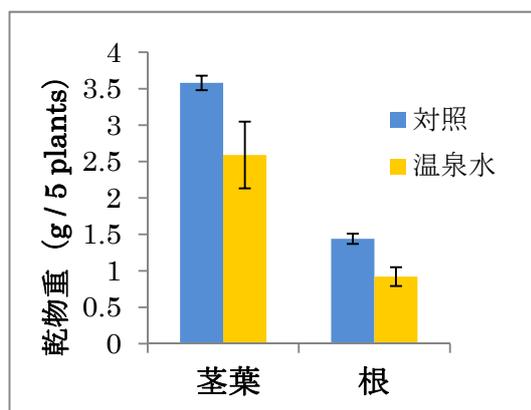


写真D. 13 収穫時のバジル
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で小さかったが、有意差は認められなかった（図D. 23）。しかし、温泉水で新鮮重が減少する傾向が見られた。根においても同様であった（図D. 23）。乾物重については茎葉では有意差は認められなかったが、根では温泉水で有意に小さかった（図D. 24）。



図D. 23 バジルの新鮮重



図D. 24 バジルの乾物重

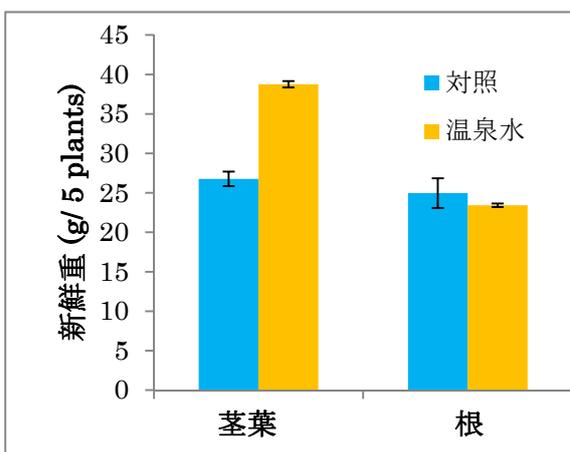
【ダイズ】

収穫時の生育状況を写真D. 14に示した。両者とも、栄養障害等の症状は無く、生育は健全であった。温泉水での生育が目立った。



写真D. 14 収穫時のダイズ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

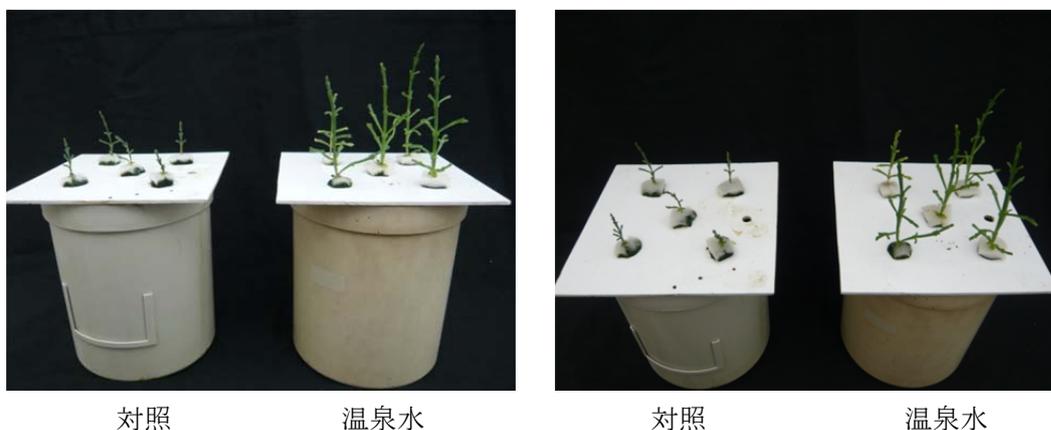
茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた（図D. 25）。根においては、有意差は認められなかった。



図D. 25 ダイズの新鮮重

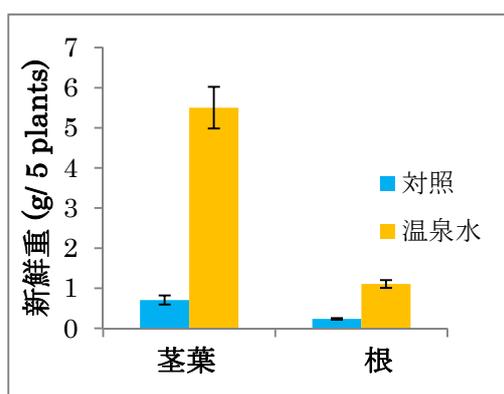
【アッケシソウ】

収穫時の生育状況を写真D. 15に示した。対照で、生育不良により枯死する個体があった。



写真D. 15 収穫時のアッケシソウ
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 26)。根においても同様であった。



図D. 26 アッケシソウの新鮮重

【スベリヒユ】

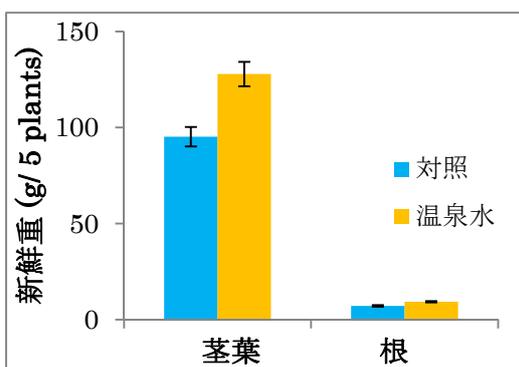
収穫時の生育状況を写真D. 16に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、生育は健全であった。温泉水での生育が目立った。



写真D. 16 収穫時のスベリヒユ

(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 27)。根においても同様であった。



図D. 27 スベリヒユの新鮮重

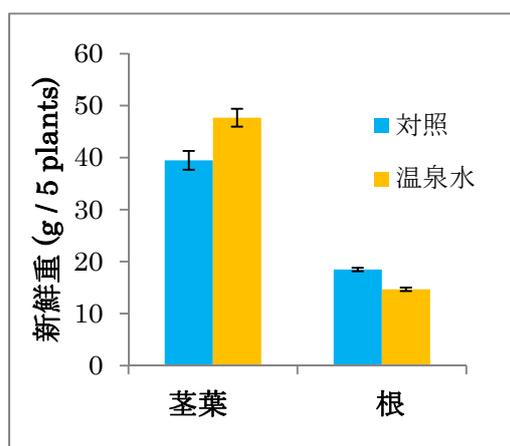
【チャービル】

収穫時の生育状況を写真D. 17に示した。両者とも、栄養障害等の症状は認められず、生育は健全であった。温泉水での生育が目立った。

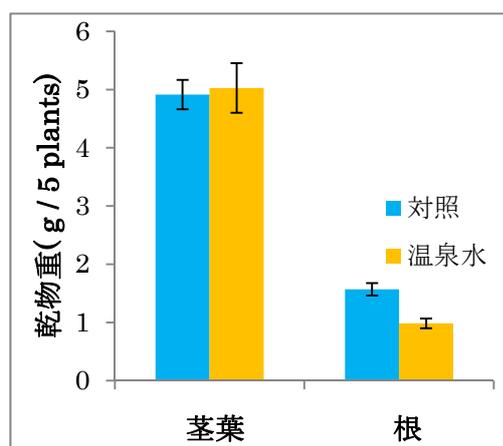


写真D. 17 収穫時のチャービル
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で大きく、有意差が認められた (図D. 28)。根においても同様であった。乾物重では、茎葉では有意差は認められなかったが、根では認められた (図D. 29)。



図D. 28 チャービルの新鮮重



図D. 29 チャービルの乾物重

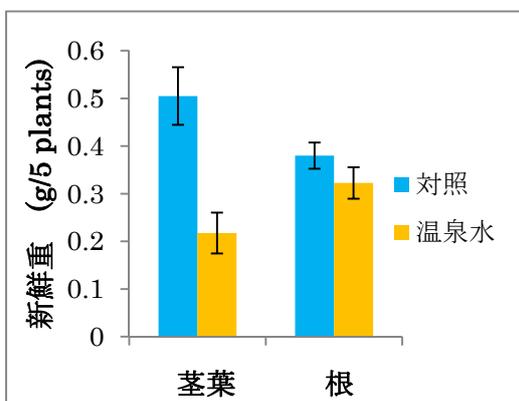
【レモンバーム】

収穫時の生育状況を写真D. 18に示した。温泉水で生育不良により枯死する個体があった。



写真D. 18 収穫時のレモンバーム
(左；横からの様子、右；斜め上からの様子)

茎葉の新鮮重は対照より温泉水で小さく、有意差が認められた。根において有意差は認めなかった (図D. 30)。



図D. 30 レモンバームの新鮮重

付録E 茎葉、根部の Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn 含有率

選抜栽培試験で得られた試料のうち、温泉水で成育が促進したミズナ、レタス、コマツナ、ホウレンソウ、フダンソウ、リーフレタス、成育が減退したシソについて、一部成分分析を実施した結果を表E. 1から表E. 3に示す。

表E. 1 茎葉の Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn 含有率

試料	Na mg/g	Mg mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mn μg/g	Fe μg/g	Cu μg/g	Zn μg/g
ミズナ								
対照	1.27	7.12	50.4	15.33	166.5	55.8	16.81	58.1
温泉水	14.09	4.52	39.7	16.30	419.2	57.3	14.89	41.0
レタス								
対照	3.53	6.47	57.1	8.60	319.7	289.2	13.84	30.3
温泉水	12.96	4.43	56.6	9.69	239.5	253.4	18.86	45.8
コマツナ								
対照	2.06	7.20	55.6	14.46	112.0	128.5	4.40	41.8
温泉水	15.96	4.88	51.4	17.24	268.9	91.1	5.61	45.4
ホウレンソウ								
対照	1.13	8.40	81.2	4.63	171.4	455.2	9.59	103.7
温泉水	10.13	5.11	78.9	5.27	209.0	201.8	15.86	82.4
フダンソウ								
対照	14.48	23.98	155.7	13.97	464.4	410.1	30.93	90.0
温泉水	58.51	19.33	144.2	13.58	674.1	347.2	22.59	95.0
リーフレタス								
対照	3.23	13.10	61.8	11.18	294.2	747.7	22.88	102.2
温泉水	22.31	11.89	112.2	16.63	307.9	1114.9	36.43	118.7
シソ								
対照	1.64	15.02	66.7	15.72	218.1	643.8	41.27	78.4
温泉水	8.44	11.15	57.8	20.54	629.5	639.3	60.44	185.0
バジル								
対照	0.55	16.45	93.5	17.62	248.9	434.0	29.21	81.8
温泉水	7.71	11.84	96.0	20.11	569.5	527.9	56.28	172.6

表E. 2 根の Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn 含有率

試料	Na mg/g	Mg mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Fe mg/g	Mn μg/g	Cu μg/g	Zn μg/g
ミズナ								
対照	0.93	2.37	32.5	3.48	2.31	372	50.7	115
温泉水	4.66	3.27	30.2	4.30	2.85	5450	62.2	99
レタス								
対照	2.50	2.13	31.8	3.04	1.75	634	99.4	112
温泉水	15.67	3.48	57.4	4.22	2.79	802	101.3	357
コマツナ								
対照	0.68	19.91	24.9	3.93	25.40	177	102.5	128
温泉水	5.99	12.93	31.5	5.14	15.79	354	101.8	203
ハウレンソウ								
対照	1.25	37.61	44.4	5.25	43.37	504	127.1	178
温泉水	6.00	26.33	55.9	4.94	28.26	383	129.9	157
フダンソウ								
対照	0.57	25.71	30.7	3.86	35.58	767	69.7	105
温泉水	1.88	15.38	33.7	3.62	22.90	1482	66.2	92
リーフレタス								
対照	1.93	13.72	14.0	3.25	17.94	150	46.5	79
温泉水	6.03	17.37	22.0	4.60	22.00	224	47.8	146
シソ								
対照	0.21	10.70	20.4	2.45	9.71	82	54.6	113
温泉水	1.37	20.31	22.9	6.74	26.36	465	226.5	642
バジル								
対照	0.51	19.65	21.8	3.61	26.69	248	62.0	130
温泉水	5.26	26.27	17.1	5.81	34.50	409	92.3	243

表E. 3 各植物種の Cl 含有率

試料	茎葉	根
	mg/g	mg/g
ミズナ		
対照	16.46	36.61
温泉水	25.93	48.97
レタス		
対照	48.33	
温泉水	49.33	175.11
コマツナ		
対照	37.78	36.42
温泉水	49.20	78.38
ホウレンソウ		
対照	15.02	26.02
温泉水	33.03	74.24
フダンソウ		
対照	37.98	55.97
温泉水	60.95	107.71
リーフレタス		
対照	34.37	28.95
温泉水	45.53	56.74
シソ		
対照	26.90	47.74
温泉水	22.46	61.09
バジル		
対照	49.87	32.97
温泉水	42.12	51.28

付録F 試料中のウラン、ラジウム濃度

中規模の選抜栽培試験で得られたコマツナ及びリーフレタスについて、可食部（茎葉、それぞれ 300g、469g）中のウラン、ラジウム濃度の測定を行った。試料は灰化した後硝酸分解し、ラジウムについては塩酸溶液としてキュリーびんに保管し、ガス封入型電離箱法にて定量、ウランについてはトルエン抽出を経て硫酸溶液として電着し、 α 線スペクトルメトリ法により定量した。測定結果を表E. 1に示す。根部については、約 100g の試料を採取したが、バーミキュライト（単斜晶系のケイ酸塩鉱物の一種で、 $Mg_{1-x}(Mg,Fe,Fe^{3+},Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ）が多く付着したままで、分離も困難であったことから、測定しないこととした。これについては、今後の中規模の栽培試験試料の前処理の課題である。

表F. 1 試料（可食部）中のウラン、ラジウム濃度

	Ra-226		U-238	
	Bq/kg生		Bq/kg生	
リーフレタス	0.52 ±	0.034	0.0088 ±	0.0015
コマツナ	1.6 ±	0.1	0.0037 ±	0.0013

表F. 2 バーミキュライトの放射能濃度

	K-40		Ra-226		Th-232	
	Bq/g		Bq/g		Bq/g	
バーミキュライト	1.9 ±	0.068	0.02 ±	0.0037	0.028 ±	0.0048

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウエーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s
角加減速	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³
電表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²
誘電率	ファラド毎メートル	F/m
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

