

異なる熱分解条件による 馬ふんバイオ炭の性質と 作物への施用効果

愛媛大学大学院 農学研究科

○若井圭吾, 久米崇, 治多伸介

背景

- 家畜排せつ物は75%以上が堆肥化(愛媛県, 2021)
- 堆肥には
多量要素(窒素, リン, カリウム, カルシウム等)
以外に微量元素(鉄, 銅, 亜鉛等)も含まれる

背景

- 家畜排せつ物発出量は地域的に偏在
地域的・季節的に堆肥需給がアンバランスが発生
(愛媛県, 2021)
- 地域の実情に応じて
メタン発酵・焼却・炭化等の高度利用も行われている
(農林水産省, 2024)

背景

- 近年、国際的な脱炭素の動きが加速
農林水産省では2050年までに
CO₂ゼロエミッションを掲げる(農林水産省, 2021)
- Jクレジット制度でバイオ炭の農地施用の
方法論が策定され取引認証が可能
対象は植物由来のもの他,
家畜ふん由来のものも含まれる(農林水産省, 2024)

背景

- 土壌改良を目的とした植物資源を原料とするバイオ炭の研究が行われてきた
(亀山ら, 2016)
- 家畜ふんを原料としたバイオ炭はリン, カリウムを多く含み炭化過程で濃縮されるため養分供給として利用できる
(亀山ら, 2022)

背景

- バイオ炭の作成は堆肥化と比較すると多大なエネルギーが必要で、クレジットでは正にならないことも考えられる(久保田ら, 2023)
- 炭化により臭気成分の分解, 減容化, 抗生物質の分解・消失などの利点がある
(畜産環境整備機構, 2006)

背景

- 家畜ふん由来のバイオ炭はこれまでに
 - 牛, 豚, 鶏ふん由来の異なる熱分解温度におけるバイオ炭の理化学性
(牧ら, 2009 ; 久保田ら, 2023)
 - 土壌に施用したときの作物への影響
(真行寺ら, 2005)

については研究されている

背景

- 馬ふんバイオ炭については
 - 単一熱分解温度での化学性(Z.Hossain et al. , 2021)
 - 異なる熱分解条件での特性分析(S.Caro et al. , 2021)

などが行われてきた

土壌に施用した際に溶出する成分や
作物への肥料効果は明らかになっていない

目的

2種類の方法を用いて
異なる熱分解温度、熱分解時間で馬ふんバイオ炭を作成



熱分解温度、時間、方法の違いが
馬ふんバイオ炭の溶出成分や土壌施用時の肥料効果に
与える影響を明らかにする

試験方法 | バイオ炭の作成

馬ふん採取



炉乾燥[60°C, 72 h]



原料



原料(炉乾燥後馬ふん)



プログラム電気炉

焚火



各種分析

試験方法 | バイオ炭の作成

プログラム電気炉

- 原料20 gをるつぼで熱分解
- 熱分解温度
200°C, 250°C, 300°C, 350°C
400°C, 500°C, 600°C, 700°C
- 熱分解時間
各1時間および2時間



馬ふんバイオ炭

試験方法 | バイオ炭の作成

焚火

- ペール缶に原料を詰め熱分解
- 熱分解温度
ペール缶内部温度を
熱電対により測定
- 熱分解時間
1時間および2時間



バイオ炭作成の様子

試験方法 | バイオ炭の作成

- 収率

収率は以下の式により算定した

$$\text{収率(\%)} = \frac{\text{バイオ炭の重量}(g)}{\text{原料の重量}(g)} \times 100$$

試験方法 | 化学的分析

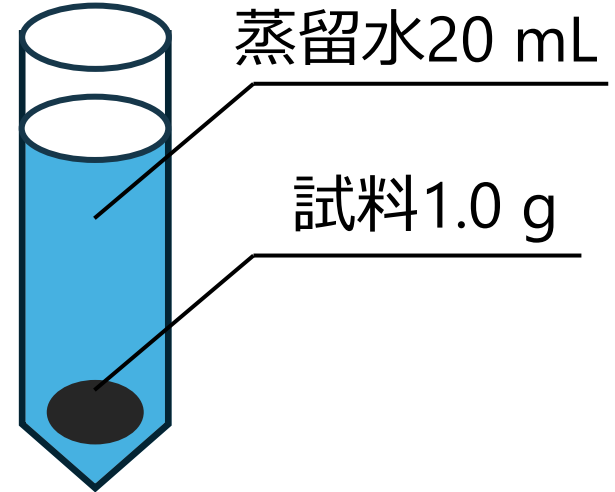
- pH, EC, 水溶性イオン含有量を測定

試料1.0 gに蒸留水20 mLを混合

130 rpmで90分間往復振とう

3,000 rpmで10分間遠心分離

pH・EC測定



各種フィルターろ過

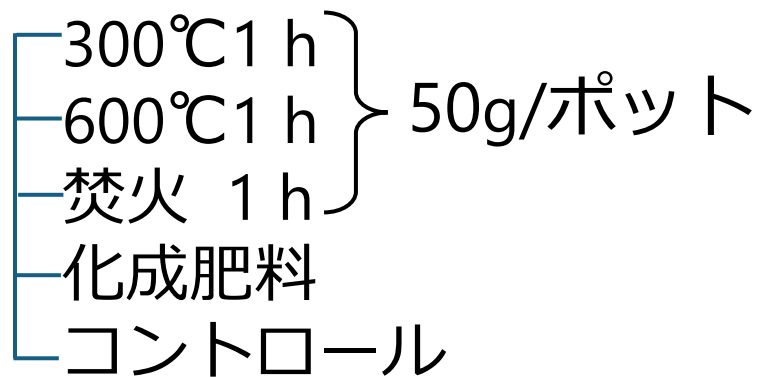
イオンクロマトグラフィー

試験方法 | 作物栽培

- 試験土壌

2 mmふるい通過後, 風乾させた真砂土

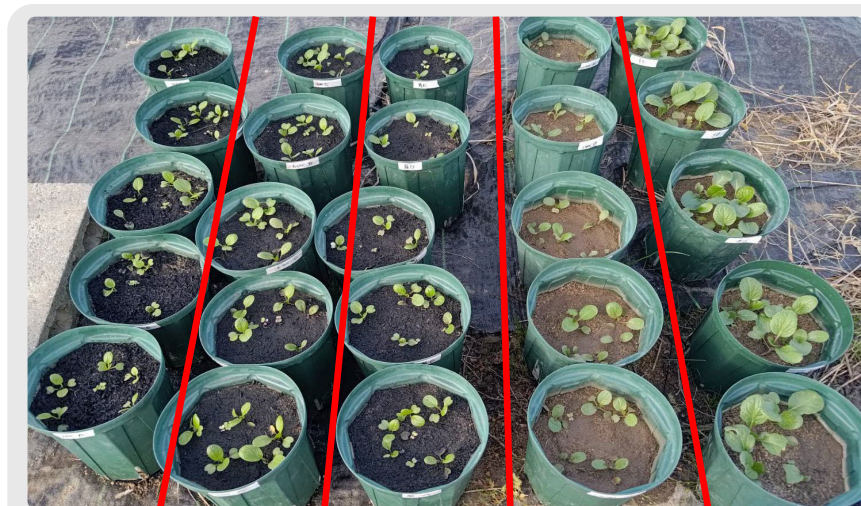
- 栽培条件(各5ポット)



- 栽培期間

2024年11月15日から2025年1月20日 (67日間)

2025年1月21日収穫



600°C 1h 300°C 1h 焚火 1h コントロール 肥料

試験方法 | 土壌施用効果の検証

- 効果の検証

長さの測定：各ポットで一番大きい試料を
根と地上部に分けて測定

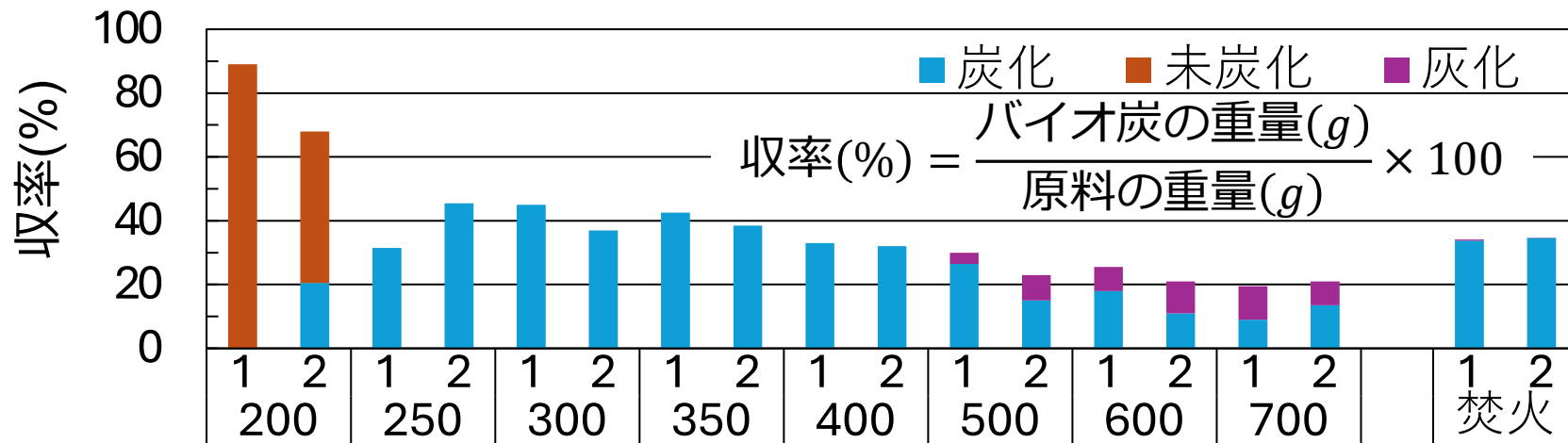
乾物重の測定：炉乾燥 [70°C48h] 後の乾物重
を根と地上部に分けて測定

- 統計分析

有意水準5%で分散分析

⇒有意差が認められた場合はTukey検定で多重比較

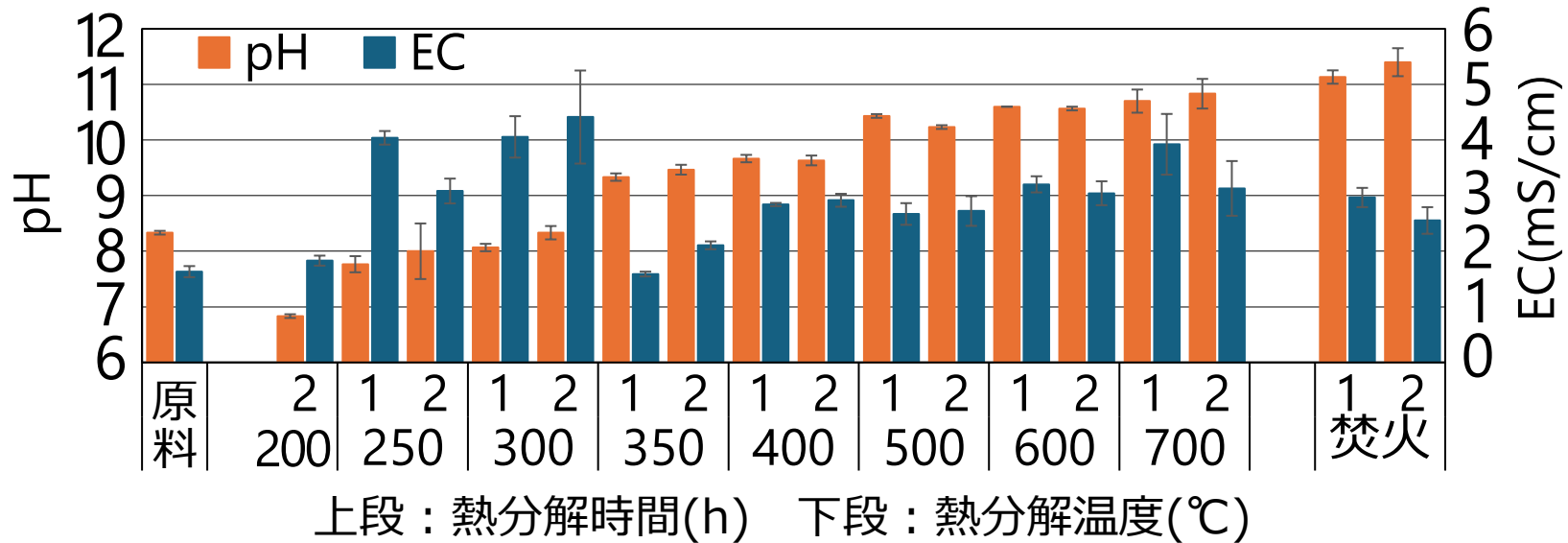
結果と考察 | 収率



上段：熱分解時間(h) 下段：熱分解温度(°C)

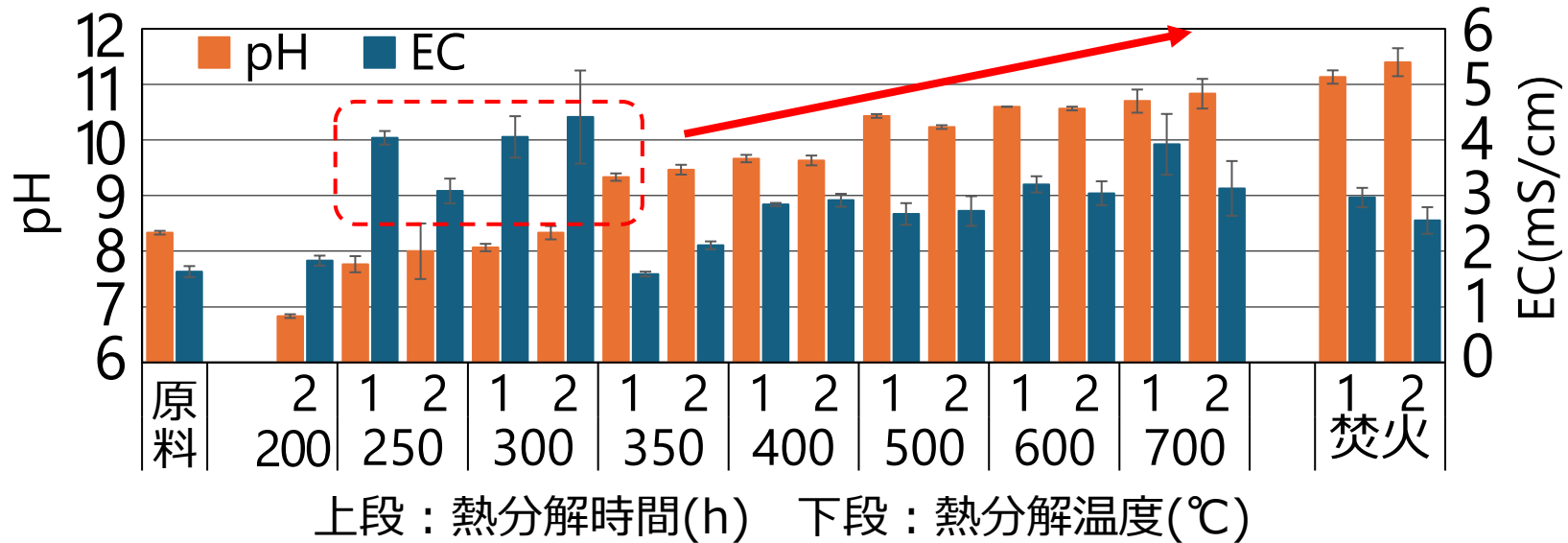
- 温度・時間の増加に伴い収率が低下
⇒原料中の有機物が揮発
- 焚火ではペール缶内部は500~700°Cを推移
電気炉の同温度帯より収率が高くなった

結果と考察 | pH



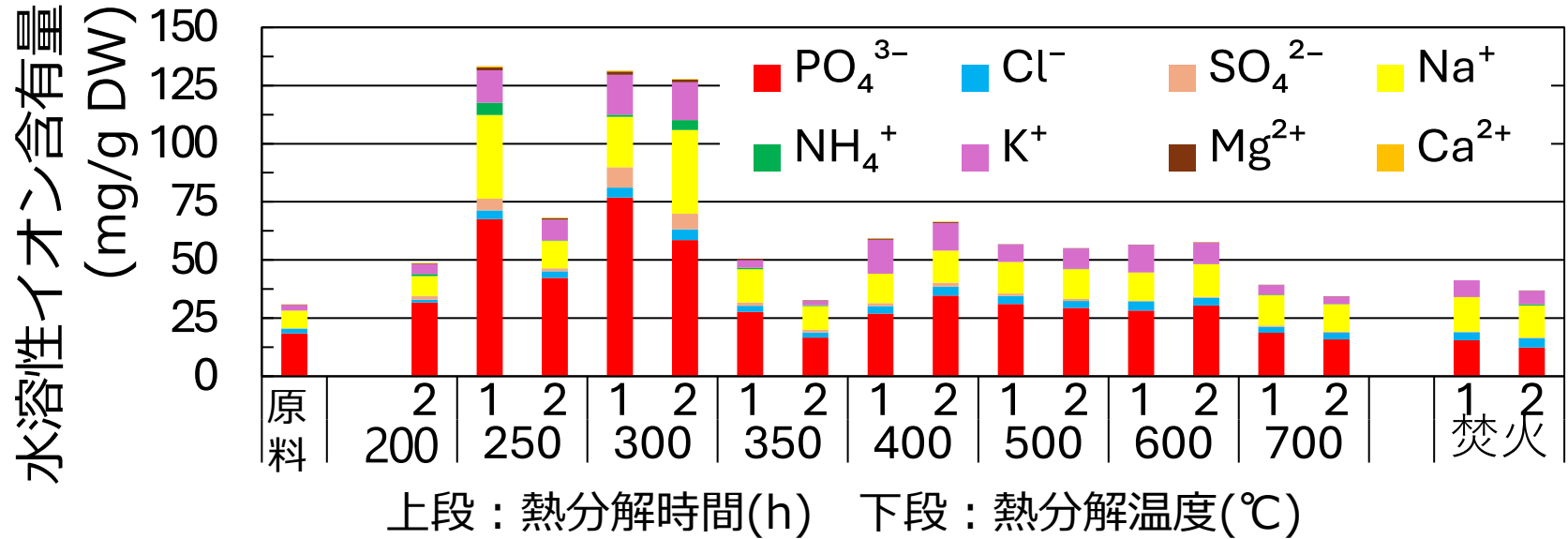
- pHは温度上昇に伴い高くなる
⇒ 高温域では酸性官能基が減少 (Suliman et al., 2016)

結果と考察 | EC



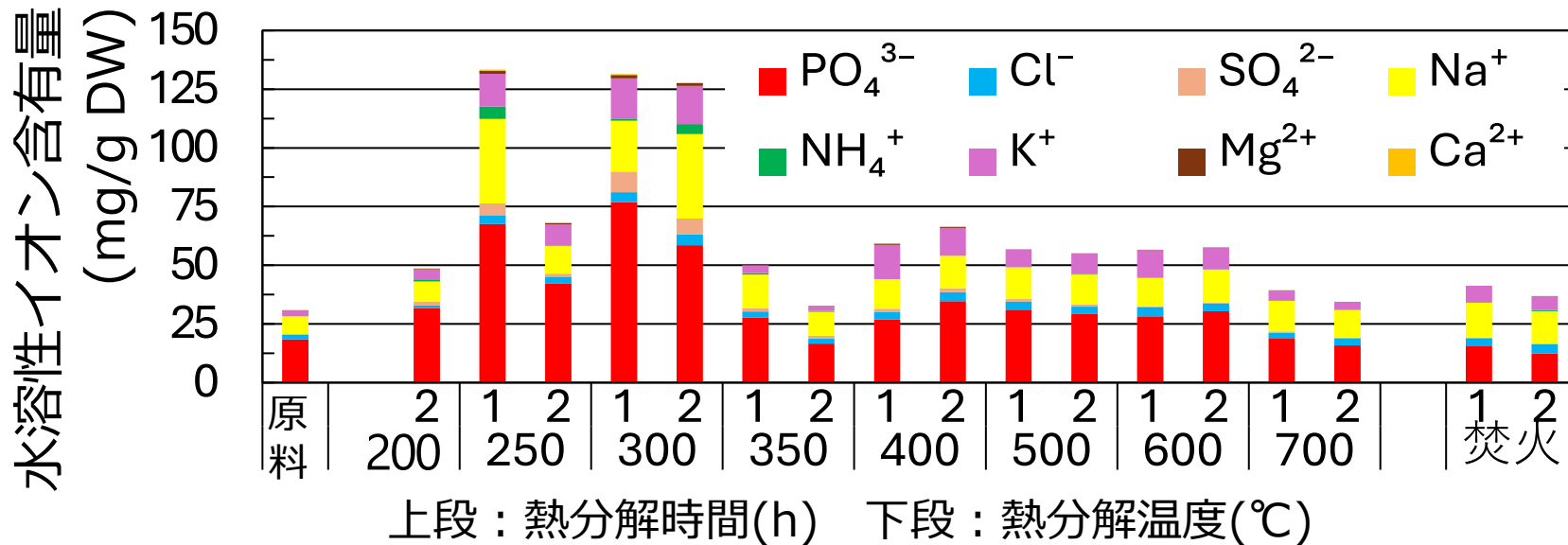
- 350°C以上では温度上昇に伴いECが増加
⇒収率低下により無機塩類の含有率が増加 (牧ら, 2009)
- 300°CまでのECは350°C以上のECより高い
⇒原因は不明

結果と考察 | 水溶性イオン含有量



- 総水溶性イオン含有量は30.9～133.3 mg/g DW(DW : Dry Weight)
- PO₄³⁻, Na⁺, K⁺の順に多く検出された
- NH₄⁺は一部試料で検出された
- NO₃⁻は検出されなかった

結果と考察 | 水溶性イオン含有量

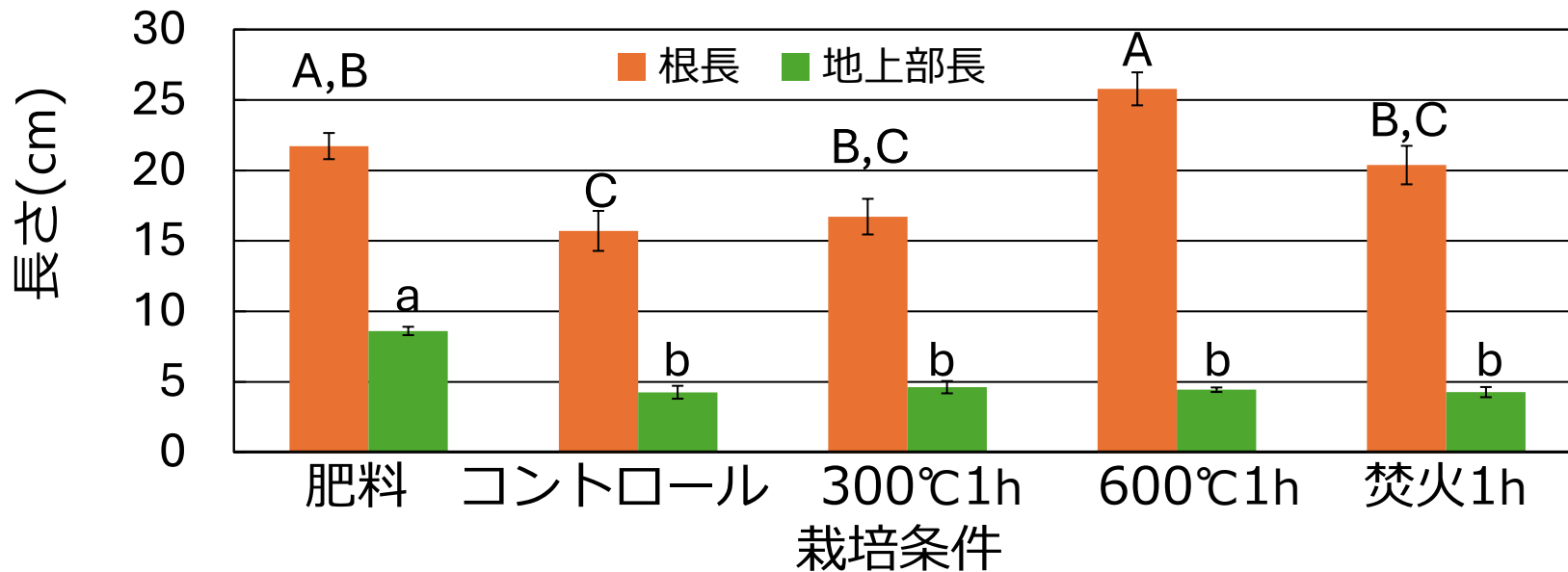


- 水溶性リンは
馬ふんバイオ炭：12.30 ~ 76.82 mg/g DW
他畜種バイオ炭：0 ~ 50 mg/g DW

(牧ら, 2009 ; 久保田ら, 2023)

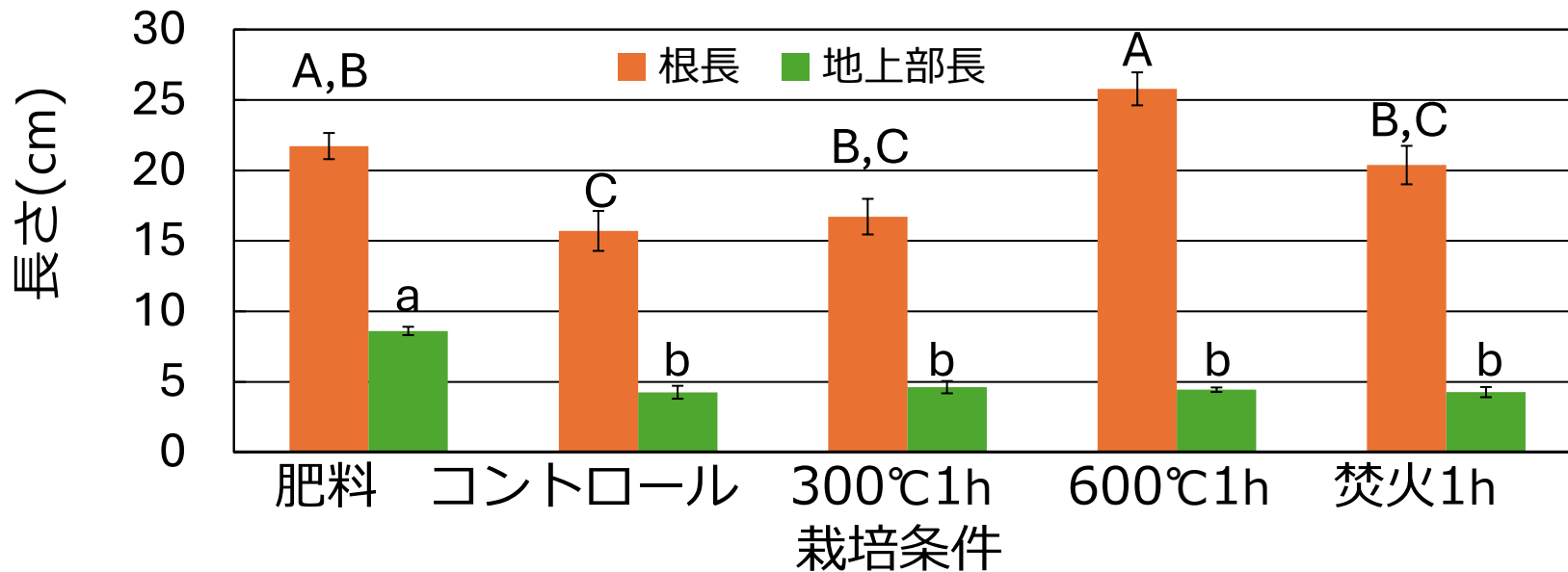
⇒ 馬ふんバイオ炭は水溶性リンが多い

結果と考察 | コマツナの長さ



- 根と地上部の平均値に有意な差がみられた
根 : $p=8.58 \times 10^{-5}$, 地上部 : $p=6.56 \times 10^{-8}$

結果と考察 | コマツナの長さ



●多重比較検定の結果

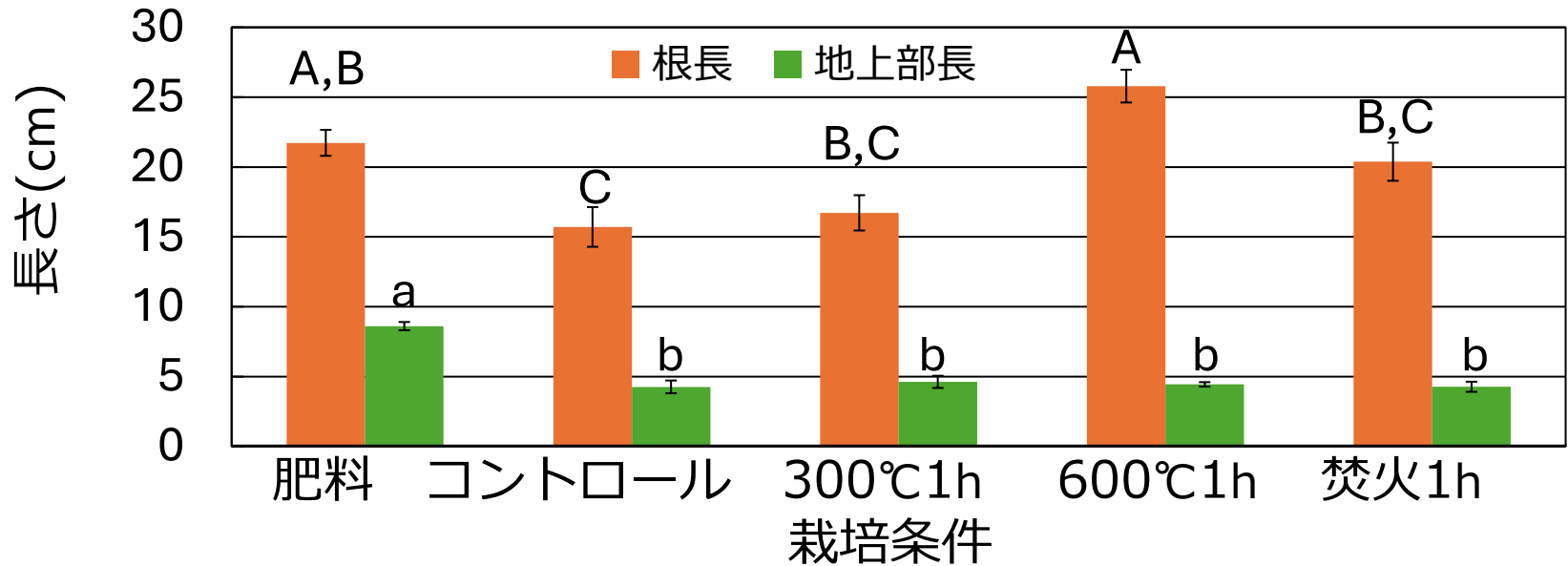
根

肥料-コントロール
600°C1h-コントロール・300°C1h・焚火1h

地上部

肥料-コントロール・300°C1h・600°C1h・焚火1h

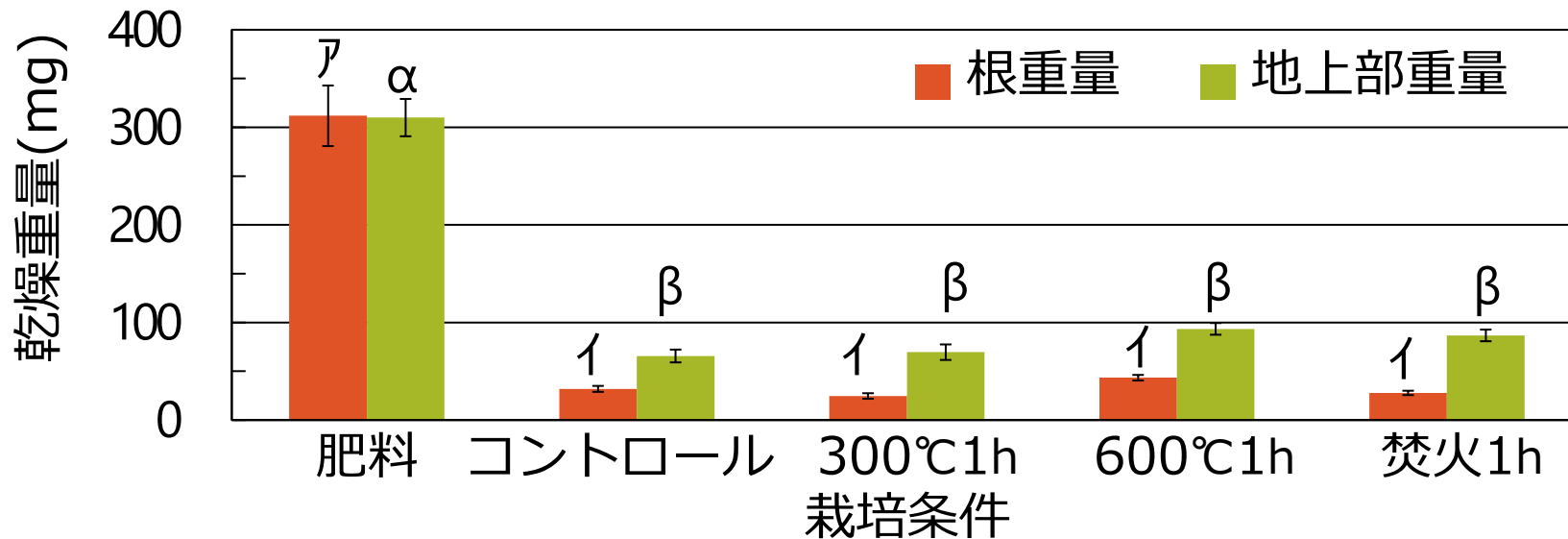
結果と考察 | コマツナの長さ



- 根の伸長にはリンが有効で
地上部の伸長には窒素が有効である

⇒馬ふんバイオ炭に含まれる水溶性リンが作用した

結果と考察 | コマツナの乾物重量



- 根と地上部の両方で有意差が見られた
根： $p=2.0 \times 10^{-16}$ ，地上部： $p=2.0 \times 10^{-16}$
- 多重比較検定の結果

根
地上部

肥料 - コントロール・300°C1h・600°C1h・焚火1h

結果と考察 | 土壌施用効果

- 根重量において
バイオ炭施用で有意に大きいものはない
- 窒素が不足すると根の分岐が減少する
(Zhang et al., 1999)
- ⇒馬ふんバイオ炭は窒素に乏しいため
根の総量が少なくなった

肥料 600°C1h



炉乾燥後の根

まとめ

馬ふんバイオ炭は

- アルカリ性であり、
熱分解温度の上昇とともにその値は上昇する
⇒ 酸性土壌への施用でpH矯正が期待
- 水溶性のリン, カリウムが豊富
⇒ 家畜堆肥と併用で化学肥料に近い効果が期待

まとめ

馬ふんバイオ炭は

- 植物に施用した際にはプログラム電気炉を用い高温で熱分解したものがより効果的である
- どの熱分解温度においても収率が50%以下で原料より軽量化
⇒貯蔵や運搬が容易

堆肥化より広範囲・長期間で利用が可能
堆肥とは異なる特徴の資材として活用

ご清聴ありがとうございました
