

井の頭公園で繁茂するコカナダモの 堆肥化方法とその有用性の確認

teamKoka 中川由依子、本多まひな



着目した課題と背景

コカナダモとは



コカナダモ (*Elodea nuttallii*)

分類群：維管束植物 単子葉植物 トチカガミ科

原産地：北アメリカ

淡水に生息する沈水性植物。実験用に輸入され、現在日本では外来種として定着しており、各地で過剰繁茂が問題となっている。

都立井の頭恩賜公園

名称：井の頭恩賜公園

開園年：大正6年

池面積：約42,000m²

池外周：1.5km

東京都住宅地に隣接する貴重な緑の空間として親しまれています。歌川広重の「名所江戸百景」などにも描かれた井の頭池は、江戸の水源として江戸時代から有名な景勝地でした。(東京都建設局)



地域内外から愛される憩いの場

井の頭恩賜公園



地域内外から多くの人が訪れる人気の観光地



豊かな自然から四季を楽しむことができる憩いの場

春にはソメイヨシノが咲き多くの花見客で賑わい、秋には多種多様な木々が紅葉に彩られて四季を感じられる井の頭公園は長く地域内外の方々から憩いの場として愛されている公園です。観光地としても非常に人気の高い井の頭公園は、休日は家族連れやカップルで賑わい、井の頭池でのスワンボートを始めとするボート漕ぎを楽しむ方が多く見られます。園内には様々な動植物が生息しており、公園内の井の頭自然文化園では約170種類の動物を飼育しています。

井の頭公園の現状



外来種

コカナダモが大量発生！

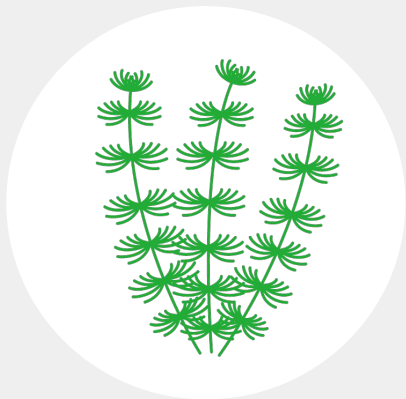


▶ 池の生態系の危機

▶ 景観の崩壊

2019年には池の数地点で確認されただけだったコカナダモが、2020年から池全域で繁殖が拡大し、2021年時点では在来種の水草量の約3分の2に迫るまで勢力を拡大している。

井の頭公園の現状



繁殖力が非常に強いコカナダモの勢力拡大は、
井の頭池に生息している
絶滅危惧種で在来種の沈水植物ツツイトモ
(*Potamogeton panormitanus*)の勢力減退を招いている。



日本で定着するコカナダモの雄株は、
種子散布ではなく切れ藻から根を伸ばして増殖する。
池全体を暗い緑褐色のコカナダモが覆い尽くす
という状況になっており、
井の頭池の景観崩壊を招いている。

SDGs との関連性

関連しているSDGs



11-3だれもが参加できる形で
持続可能なまちづくりを

簡易的で効率的な手段を通じて
コカナダモの身近に有効活用し、持
続可能なまちづくりに貢献する



12-2天然資源を持続的に管理・効率よく利用
12-8 持続可能な開発・自然と調和した暮らし

コカナダモの、環境に負荷を
与えない形での持続可能な
活用方法を模索・実践する



15-8外来種が陸や海の生態系に与える
影響を減らすための対策を

生態系を崩す外来種コカナダモの
有効活用の可能性を示すことは
その回収作業の推進につながる

私たちのアクション

最終目的

井の頭池のコカナダモを用いて、作物の栽培に有効性の高い有機肥料を開発し、農業や家庭菜園での有効活用を実現する。

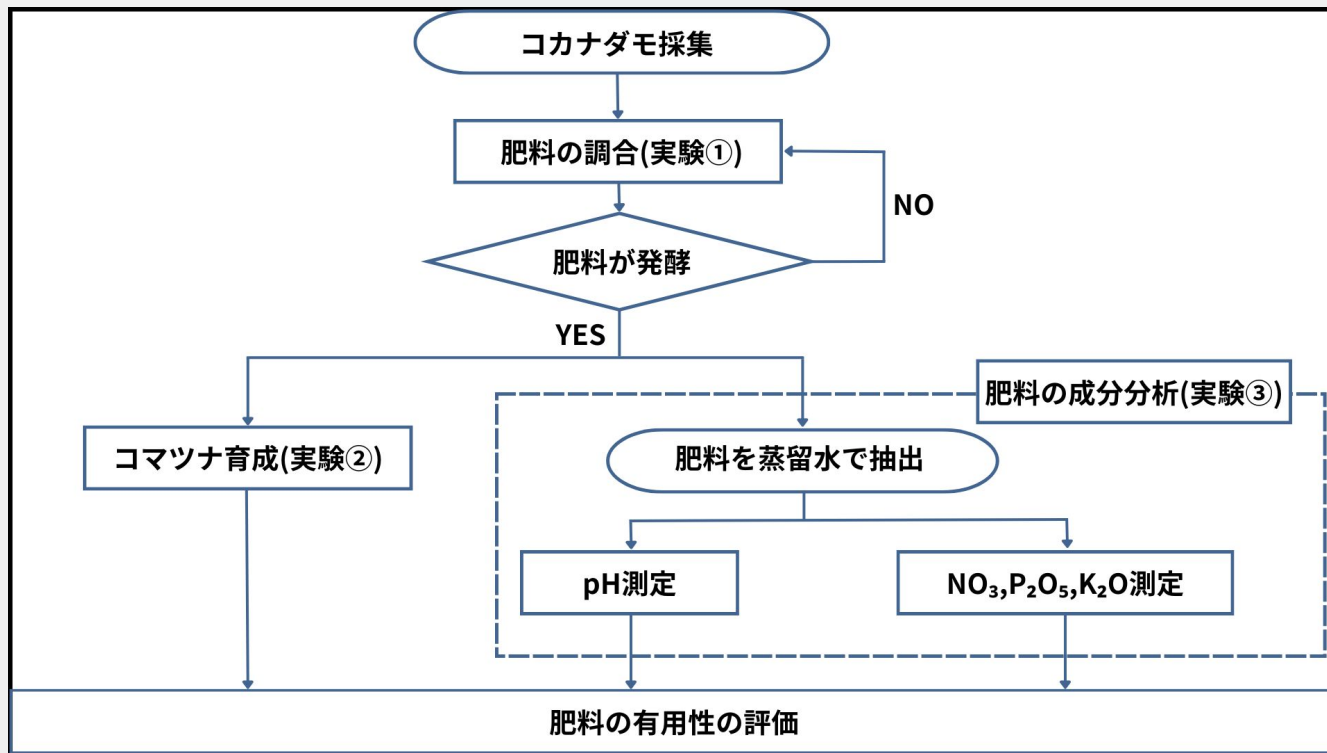
➡ 有効活用サイクルの確立でコカナダモを減らし、井の頭池を守る！

2023年度の目的

簡易的かつ短期間での肥料化を実践し、その肥料の有用性をコマツナの育成と成分分析を通して明らかにする。



研究の流れ



コカナダモの採集

井の頭かいぼり隊

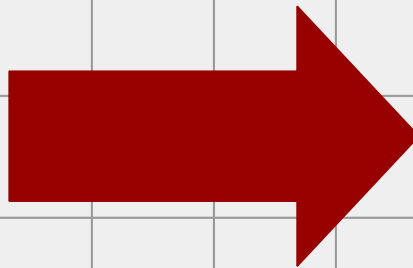
井の頭かいぼり隊は、2013年に東京都が井の頭池のかいぼりに合わせて公募したボランティアで、井の頭池再生の活動に中心的に関わっている。
(山口行弘)

井の頭かいぼり隊の方々にご協力頂き、
井の頭恩賜公園の井の頭池で大量繁茂していた
コカナダモを採集、提供していただいた。
コカナダモは切れ藻の状態で池の一面に
浮かんでいた。



実験① 肥料の作製

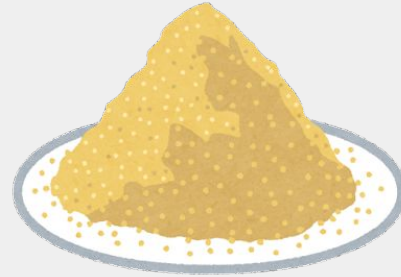
コカナダモを乾燥させ、米ぬかと混ぜ込んで**ぼかし肥**を作製する。コカナダモを混ぜ込む場合と混ぜ込まない場合を異なる3種類の菌（乳酸菌、酵母菌、納豆菌）で発酵させ、**計6種類**の肥料を作製する。



※**ぼかし肥**＝米ぬか等の有機質資材を微生物により発酵させて作る肥料のこと。

実験材料と器具

- ・乾燥機（EYELA定温恒温乾燥機 NDO-520W型）
- ・フードプロセッサー
- ・菌（ヨーグルト、ドライイースト、納豆）
- ・コカナダモ
- ・米ぬか
- ・砂糖
- ・水道水



菌の種類	乳酸菌	酵母菌	納豆菌
コカナダモ有り	米ぬか-400g ヨーグルト-15g 砂糖-4g 水道水-100g+60g(調整で加えた量) 乾燥コカナダモ-50g	米ぬか-400g ドライイースト-1g 砂糖-4g 水道水-100g+60g(調整で加えた量) 乾燥コカナダモ-50g	米ぬか-400g 納豆-10g 砂糖-4g 水道水-100g+60g(調整で加えた量) 乾燥コカナダモ-50g
コカナダモ無し	米ぬか-400g ヨーグルト-15g 砂糖-4g 水道水-100g+60g(調整で加えた量)	米ぬか-400g ドライイースト-1g 砂糖-4g 水道水-100g+60g(調整で加えた量)	米ぬか-400g 納豆-10g 砂糖-4g 水道水-100g+60g(調整で加えた量)

図1 肥料の種類別材料の量

実験手順

- ① 乾燥機（EYELA定温恒温乾燥機 NDO-520W型）を用いて採取したコカナダモを60℃で48時間乾燥した。
- ② 乾燥させたものをフードプロセッサーを用いて粉碎した。
- ③ 図1に示した材料をそれぞれ混合した。
- ④ 酸素に触れさせながら発酵させる好気性発酵を行うため、段ボール箱に混合させたものを入れて薄い布で覆い、直射日光を避けた風通しの良い場所に保管して発酵させた。
※発酵開始から9日目に米ぬかを50g、12日目に水道水50gと菌を仕込み時の半量それぞれ追加し、発酵を促した。
- ⑤ 肥料に好気性菌である白カビと甘酸っぱい匂いが確認された段階で発酵が完了したとみなし、新聞紙の上に薄く広げ、薄い布をかけて、直射日光を避けた風通しの良い場所で48時間乾燥させた。



①乾燥



②粉碎



③混合






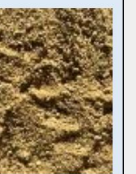


④発酵



⑤乾燥

結果

肥料の種類	乳酸菌	乳酸菌	納豆菌	納豆菌無	酵母菌	酵母菌無
	ココナダモ有	ココナダモ無	ココナダモ有	ココナダモ無	ココナダモ有	ココナダモ無
発酵期間(日)	27	27	36	36	36	36
外観						
匂い	甘酸っぱい	甘酸っぱい	甘酸っぱい	甘酸っぱい	甘酸っぱい	甘酸っぱい
カビの様子	白	白	一部に青、赤	一部に青、赤	主に白、一部青	白、一部青



6種類すべてのぼかし肥から甘酸っぱい匂いがした。外観については、いずれの菌を用いた場合でもココナダモを使用していない肥料は橙色で赤味が強く、ココナダモを使用した肥料は緑色に近く青味があった。発酵期間は乳酸菌を使用して発酵させた肥料が最も短く、他の2種類の菌を使用した肥料よりも早期に甘酸っぱい匂いを確認することができた。発酵に使用する菌の種類によって発酵期間や匂いには差異があったが、それぞれの菌の種類においてココナダモの有無により発酵期間や匂いに大きな差はでなかった。

考察

肥料調合の過程において、コカナダモを乾燥させフードプロセッサーで粉碎することに成功したことから、乾燥させるという手法は肥料化において適していると評価でき、コカナダモは容易に粉碎することが可能であることが分かった。池から採取したコカナダモは簡易的に肥料化しやすい形態に変換できると言える。

肥料の発酵については、作製した全ての肥料で発酵完了の印である甘酸っぱい匂いを確認できたことから、6種類全てにおいて発酵が完了したと判断できる。これは、乳酸菌、酵母菌、納豆菌が、コカナダモと米ぬかを短期間で発酵させる機能を有していることも示唆している。中でも乳酸菌を使用した肥料2種類の発酵期間が最も短く、今回のぼかし肥作製の手法には乳酸菌が最も適していることが考えられる。加えて、全ての肥料の発酵が完了したと思われることと、3種類の菌の全てにおいてコカナダモの有無により発酵期間や匂いに大差が生じなかったことから、乾燥させたコカナダモはぼかし肥の発酵過程に大きな影響を与えないことがわかり、乾燥コカナダモには、肥料の発酵速度を抑制したり、発酵を完全に妨げる働きがないことが確認できる。従って、乾燥コカナダモはぼかし肥の調合及び発酵に障害をもたらさず、原料として適していることが推察できる。しかし、発酵の過程においてコカナダモの有無に関わらず、納豆菌と酵母菌を使用した肥料は青カビと赤カビの発生が確認された。青カビと赤カビは、白カビと異なり作物の栽培に悪影響を及ぼすとされているが、今回はカビの発生が少量であったため取り除くことで対処した。発生の原因として、水分量や密閉率が関係していると考えられるが、根拠が不十分であるため断定は難しい。

実験①まとめ

▶ コカナダモは乾燥させると肥料にしやすい。

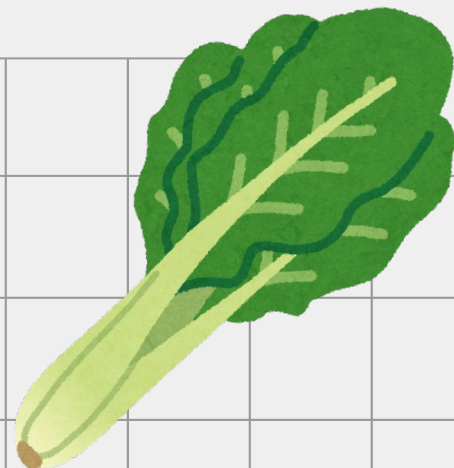
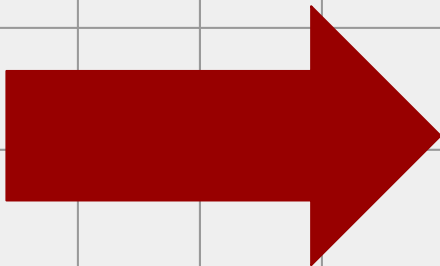
▶ 約1か月でコカナダモは肥料化できる。

▶ コカナダモは肥料の発酵を妨げない。



実験② コマツナの育成

肥料の有効性を評価する手段の1つとして、**肥料を用いたコマツナの育成**に取り組む。作製した肥料6種類に加えて、乾燥コカナダモのみを肥料として与えるもの、肥料を与えないもの、の計8つの異なる方法でコマツナを育成した。



実験材料と器具

- ・ 作製した肥料
- ・ 乾燥コカナダモ
- ・ コマツナの種
- ・ 赤玉土
- ・ 腐葉土
- ・ バーミキュライト
- ・ プランター（丸型、 $\Phi 30.5\text{cm} \times \text{H}28\text{cm}$ ）



実験手順

- ① 赤玉土、腐葉土、バーミキュライトを7：2：1の比率で混合し、8つのプランターに分け入れた。
- ② 4日後に乾燥コカナダモは2g、作製した6種類の肥料は19gをそれぞれ元肥として土に混ぜ込んだ。
- ③ 7日後にそれぞれのプランターにコマツナの種を8粒ずつ播種した。
- ④ 栽培期間中は手動で灌水し（1～3日間に1回）、土の表面が乾燥しないように水分量を管理した。
※栽培開始から28日後に1回目の間引き、36日後に追肥（追肥量は元肥の半量）、49日後に2回目の間引きを行い、プランターあたり3株を残した。



①混合



②施肥

















③播種



④栽培

結果

肥料の種類	乳酸菌 コカナダモ有	乳酸菌 コカナダモ無	納豆菌 コカナダモ有	納豆菌 コカナダモ無	酵母菌 コカナダモ有	酵母菌 コカナダモ無	乾燥コカナダ モ単体	肥料無し
葉の平均枚数 (枚)	6	3	3	3	5	5	3	3
背丈の平均 (cm)	6.4	2.5	3.5	2.7	4.4	3.2	4.3	3.8
間引き後 2回目の間引き後								
外観 (上面) 種まきから 60 日後								



背丈の平均は菌種別に一貫して、コカナダモを含む肥料で育成したものがコカナダモを含まない肥料で育成したものよりも大きい。葉の平均枚数については、乳酸菌で発酵させた2種類の肥料を比較すると、コカナダモを含む肥料の方が多かった。乳酸菌で発酵させた肥料以外は、葉の平均枚数においてコカナダモの有無による差は見られなかった。しかし、間引いた個体や栽培開始60日後のコマツナの外観から、コカナダモを含む肥料を施したコマツナの方が葉が大きく成長したことが分かった。コカナダモ単体を施したものと肥料を施さなかったものに関しては、葉が黄化している個体も見られた。

考察

成長したコマツナの葉の平均枚数と背丈の平均から、肥料の発酵に使用する菌とコカナダモの有無によりコマツナの成長具合が異なることが分かる。コカナダモの有無に着目すると、葉の平均枚数は乳酸菌を用いて発酵させたぼかし肥以外はコカナダモの有無による差が見られなかったことから、コカナダモの有無は葉の枚数には大きく影響しないことが考えられる。しかし、背丈の平均と葉の大きさからは、乾燥コカナダモを含んだ肥料を用いたものの方が成長が早く、コマツナが良く育っていることが判断できる。特に乳酸菌を使用した肥料においては、コカナダモを含んだものを施したコマツナの方が、コカナダモを含んでいないものを施したコマツナより背丈の平均の値が2倍以上大きい。納豆菌と酵母菌を使用したものからも、コカナダモを含む肥料を施したコマツナの方が、背丈の平均の値が大きいことが分かる。このことから**コカナダモを含むぼかし肥の方が、含んでいないぼかし肥よりも、肥料としての有用性が高い**ことが示唆される。

一方で、乾燥コカナダモ単体を施したものと肥料を何も与えなかったものの中には、葉が黄化している個体が見られた。葉の黄化は、低温障害や窒素等の必須成分の欠乏が要因として推測できるが、今回の実験からは断定が不可能である。しかし、このことから**作物育成時に乾燥コカナダモのみを肥料として施すのは、育成の方法として適していない**と考えることが妥当である。

実験②まとめ

▶ コカナダモ入りの肥料を施したコマツナの方が良く育った。

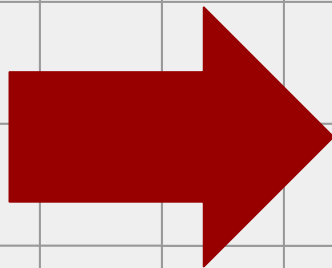
➡ コカナダモを肥料に混ぜる価値を示唆



▶ しかし...乾燥コカナダモのみをコマツナに施すだけでは
栄養が足りないことがわかった。

実験③ 成分分析

肥料の水溶性リン酸、水溶性カリウム、硝酸態窒素を測定する。リン・カリウム・窒素は共に肥料の三要素と呼ばれ、植物の育成において必須な栄養素である。そのため成分分析は、肥料の有用性の判断基準の1つとして使用できる。またpHも測定することで、肥料の土壌酸度への影響も分析する。



実験材料と器具

- ・ 作製した肥料（計6種）
- ・ 乾燥コカナダモ
- ・ みどりくんN
- ・ みどりくんPK
- ・ 蒸留水
- ・ 振とう機（EYELA MMS型）
- ・ ろ紙
- ・ 漏斗
- ・ ビーカー
- ・ ガラス棒
- ・ pH試験紙（ロールタイプ） pH1-14

「みどりくん」とは？

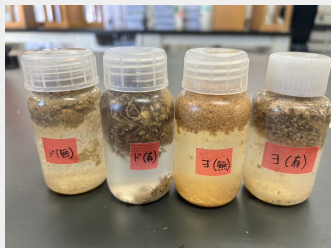
東京農業大学によって開発された簡易土壌診断キット。土壌中や水中の硝酸態窒素、水溶性カリウム、水溶性リン酸の濃度を簡易的に測定可能である。



農大式簡易土壌診断キットみどりくん技術資料より

実験手順

- ① 作製した6種類の肥料と乾燥コカナダモの計7種類をそれぞれ10gポリ瓶に入れ、蒸留水100mlを加えた。
- ② 振とう機で30分間振とうさせた。
- ③ 振とうした液体をろ過した。
- ④ ろ液にpH試験紙を浸し、引き上げた後の色を標準変色表と比較してpHを測定した。
- ⑤ ろ液20mlに蒸留水60mlを加えて4倍に希釈し、みどりくんを用いて水溶性リン酸、水溶性カリウム、硝酸態窒素を測定。硝酸態窒素の測定は「みどりくんN」、水溶性リン酸、水溶性カリウムの測定は「みどりくんPK」を用いて行った。



①加水



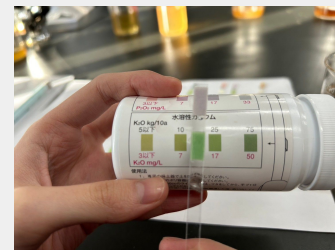
②振とう



③ろ過



④pH測定

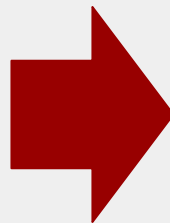
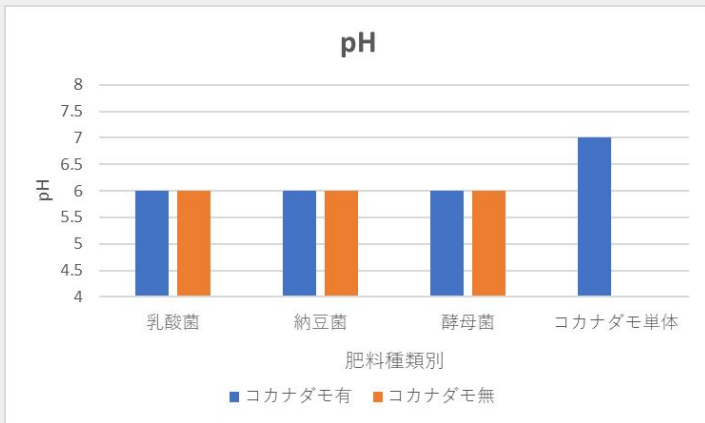


⑤みどりくん

結果(pH測定)

pH

	乳酸菌	納豆菌	酵母菌	ココナダモ
ココナダモ有	6	6	6	7
ココナダモ無	6	6	6	—



作製した肥料のpHは、ココナダモの有無に関わらず6.0であり弱酸性であった。ココナダモ単体のpH測定値は7.0で中性だった。

結果(みどりくん)

※みどりくんで測定した水溶性リン酸、水溶性カリウムの数値を以下の式を用いて全リン、全カリ量に換算した。
 脱塩水抽出によるP₂O₅含量 (g/kg) と湿式分解法によるP₂O₅含量 (g/kg) との関係式: $y_1 = 2.38 x_1 + 19.3$
 脱塩水抽出によるK₂O含量 (g/kg) と湿式分解法によるK₂O含量 (g/kg) との関係式: $y_2 = 1.32 x_2 + 10.1$
 (x_1 = 水溶性リン酸の測定値、 y_1 = 全リンの換算値、 x_2 = 水溶性カリウムの測定値、 y_2 = 全カリの換算値)
 (藤田・植田・小田部・折本,2011)

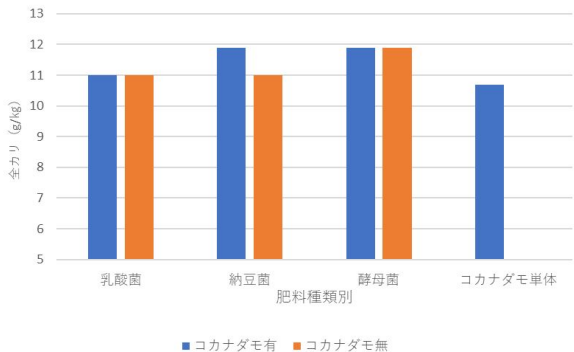
全カリ (g/kg)

	乳酸菌	納豆菌	酵母菌	ココナダモ
ココナダモ有	11.0	11.9	11.9	10.7
ココナダモ無	11.0	11.0	11.9	—

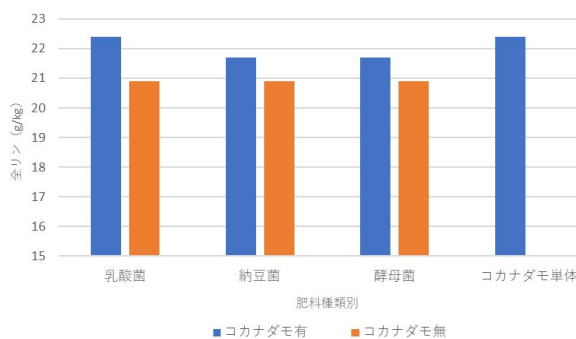
全リン (g/kg)

	乳酸菌	納豆菌	酵母菌	ココナダモ
ココナダモ有	22.4	21.7	21.7	22.4
ココナダモ無	20.9	20.9	20.9	—

全カリ



全リン



硝酸態窒素は全ての肥料において測定値が0であったため、無機態窒素量も0に換算される。全リンの値は、全ての菌種で一貫してココナダモを含む肥料が含まない肥料よりも大きかった。全リンの数値が最も大きかったのは、乳酸菌で発酵させたココナダモを含む肥料と、ココナダモ単体だった。全カリの数値は納豆菌を含む肥料以外ではココナダモの有無による差は見られなかった。

考察

作製した6種類の肥料と乾燥コカナダモの計7種類に関してpHを測定したところ、乾燥コカナダモ単体のpHは中性であることに対し、混ぜ込んで肥料とした段階でのpHはコカナダモを含まない肥料のpHと同様で弱酸性だった。よって作製したコカナダモを含む肥料は弱酸性の土壌を好む作物の栽培に適しており、弱酸性の土壌づくりを行う際の土壌改良材としての効果が期待できる。

全リン含有量の結果から、全リンの値は3種類の菌全てにおいてコカナダモを含む肥料がコカナダモを含まない肥料よりも大きく表れており、肥料にコカナダモを混ぜ込むことによって肥料の全リン含有量が増えることが分かる。また、乾燥コカナダモ自体から測定、換算される全リン数値も大きかった。これは、コカナダモを肥料に混ぜ込む価値を示唆しており、コカナダモを含む肥料はコカナダモを含まない肥料と比較して、肥料としての有用性が高いと評価できる。全カリに関しては納豆菌を使用した肥料ではコカナダモを含む肥料の方が含有量が多いという結果を得られたが、他種の菌を使用した肥料ではコカナダモの有無による差は見られなかった。乾燥コカナダモ単体の全カリの値が最も小さかったことから、ほかし肥作製においてコカナダモを原料として用いることによる全カリの増加は期待できないと考えられる。

作製した肥料中の窒素については、本研究におけるみどりくんで測定した硝酸態窒素の数値は全て0であった。よって、肥料に含まれる無機態窒素は非常に少ない、もしくは含まれないことが考えられ、このことから肥料に含まれる窒素は有機態窒素である可能性が推測される。本研究で測定した硝酸態窒素は、土壌に施肥した際に肥料に含まれる有機態窒素が土壌微生物の働きで無機化された際に出てくるものである。これに対し、本研究では肥料自体の成分分析を行ったため、そこに含まれる硝酸態窒素が確認されなかったと考えられる。作製した肥料と乾燥コカナダモに含まれる窒素のほとんどは無機化されていない状態の有機態窒素であったと推察できる。

実験③まとめ

▶ コカナダモ入りのぼかし肥は弱酸性の土壌づくりに適する。

▶ コカナダモを混ぜ込むと肥料の全リン量が増加する。

➡ コカナダモは肥料の有用性を高める。



▶ みどりくんでは肥料中の窒素量を測定できなかった。

研究結果のまとめ

乾燥コカナダモは短時間で肥料化が可能である

コカナダモは簡易的に肥料化に適す形態に変換できる

コカナダモを用いたぼかし肥の作製に成功した

コカナダモを含むぼかし肥はコマツナの育ちを良くする

コカナダモを含むぼかし肥は含まない
ぼかし肥より全リンの値が大きい



コカナダモの肥料としての有用性が確認された

簡易的かつ短時間でのコカナダモの肥料化に成功した

今後の展望

今後の課題と展望

▶ 肥料中の窒素量を測定する。

▶ 新たな肥料化の方法や原料の追加を検討する

肥料中の窒素は有機態窒素だと考えられ、みどりくんでは測定が不可能であった。そのため今後、別の手法を用いて肥料中の窒素量の測定を行う。現在は可給態窒素の測定による全窒素の量の推測に挑戦したいと考えている。そして今回はコカナダモを混ぜ込むことによる肥料の全カリの増加は確認できなかった。よってカリウムを補う方法を模索する必要がある。新たな肥料化方法や原料の追加を検討し、より有用性の高い肥料の開発に取り組みたい。

肥料の有用性を高める → コカナダモを肥料化という手法で有効活用することに更なる価値を見出す → 井の頭池における継続的なコカナダモの回収と有効活用のサイクルの確立を促し、外来植物の利用とその方法について新たな知見をもたらすことに貢献できる。

11 住み続けられる
まちづくりを



12 つくる責任
つかう責任



15 陸の豊かさも
守ろう



参考文献

建設西部公園緑地事務所. (2021年10月29日). 井の頭池だよりR310月. <https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/ikedayoriR3.10.html> (閲覧日:12月27日)

国立環境研究所. コカナダモ. <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/80680.html> (閲覧日:2023年12月27日)

後藤逸男. (2018年4月16日). 農大式土壌診断キット「みどりくん」技術資料.

[file:///C:/Users/Owner/Downloads/%E3%81%BF%E3%81%A9%E3%82%8A%E3%81%8F%E3%82%93%E6%8A%80%E8%A1%93%E8%B3%87%E6%96%99%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Owner/Downloads/%E3%81%BF%E3%81%A9%E3%82%8A%E3%81%8F%E3%82%93%E6%8A%80%E8%A1%93%E8%B3%87%E6%96%99%20(2).pdf) (閲覧日:2023年12月26日)

ZEKKEI JAPAN. 「井の頭恩賜公園」. <https://jp.zekkeijapan.com/spot/index/556/> (閲覧日:2024年1月31日)

淡海環境保全財団. 水草堆肥について. <https://www.ohmi.or.jp/environment/water-grass/compost/> (閲覧日:2023年12月27日)

東京都建設局.井の頭恩賜公園とは. <https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jimusho/seibuk/inokashira/kouenannai.html> (閲覧日:2024年1月30日)

花井勝規. (2021年8月26日) 井の頭池 水草の闘い 外来種が勢力拡大 「モネの池」ピンチ. <https://www.tokyo-np.co.jp/article/126840> (閲覧日:2023年12月31日)

福岡県農林水産部経営技術支援課. (2019年3月). 福岡県野菜施肥基準. https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/706699_61942681_misc.pdf (閲覧日:2023年12月31日)

藤田裕・植田稔宏・小田部裕・折本善之(2011). 「家畜ふん堆肥中のリン酸カリウムの簡易分析法の実用性」 『茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告』, 18,47-49.

山口行弘(井の頭かいぼり隊)「井の頭かいぼり隊活動報告」『かいぼり報告会 資料集』,33-35.