

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 海洋性藻類からのバイオエタノール生産技術の開発

2. 研究代表者: 近藤 昭彦(神戸大学 大学院工学研究科 教授)

3. 研究概要

本研究は、高い塩水耐性・増殖能・デンプン生産能力を有するスピルリナ藻類(*S.platensis* NIES-39、*S.subsalsa* NIES-527 等)の光合成機能と代謝能力を強化する。同時に、海水での高密度大量培養システムを確立することによりデンプン生産性を2倍以上に向上させ、さらに、藻類デンプンからエタノールを高効率で生産するプロセスを開発する。本チームは、以下の研究項目を7つの共同研究グループで実施している。

- ① 微細藻類への遺伝子導入技術と常温常圧プラズマを駆使したゲノム改変技術の開発
- ② 光合成機能と ATP 供給能の強化
- ③ システムバイオロジー解析と代謝モデリング
- ④ 大量培養技術と高効率バイオエタノール生産技術の開発

研究項目①では、スピルリナ藻類への遺伝子導入手法としてエレクトロポレーション法・接合法などを検討するとともに、常温常圧プラズマ(ARPT)を用いて藻類ゲノムを大幅に改変する変異育種法を開発する。研究項目②では、光エネルギーを捕集するアンテナの色素含量とタンパク質組成を制御すること、および、電子伝達系の ATP 供給能力を強化することにより光合成機能の向上を図る。研究項目③では、遺伝子組換え株・変異体株、代謝フラックス分布を遺伝子・代謝レベルで網羅的に解析し、代謝システムを設計するための指針を得る。研究項目④では、閉鎖系または半閉鎖系において効率的にデンプンを生産する大量培養系を構築する。さらに、藻類デンプンの分解に最適な酵素を選出し、糖化同時発酵によるバイオエタノール生産システムを確立する。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

(1) 研究の進捗状況

まず、遺伝子導入技術の開発では、エレクトロポレーション法などを用いて藍藻(*A. platensis* NIES-39)へ遺伝子を導入し変異株の作成を試みているが、現時点では所望の形質転換体は得られていない。光合成機能強化と ATP 供給能強化の開発については、種々の単色 LED を用いて藍藻(*A. platensis*)の培養条件を検討することにより、バイオマス生産量を最適化するための光質を見出し、太陽自然光からの光エネルギー捕集機能を改善する設計指針を得つつある。

つぎに、システムバイオロジー解析と代謝モデリングの開発では、藍藻(*Synechocystis* sp PCC 6803)の解糖系・電子伝達系・カルビン回路・アミノ酸合成・脂肪酸合成などの代謝反応を予測するゲノムスケール代謝モデルを開発した。開発した代謝モデルは、安定同位体 ^{13}C で標識されたグルコースを用いて実験的に求めた代謝フラックス分布と高い相関があり、今後の代謝改変の戦略に大いに活用できる精度を持っている。また、代謝ターンオーバーの定量化システムを構築し、カルビン回路内でのグリコーゲン合成の代謝律速経路を数種類見出している。

さらに、大量培養技術とエタノール生産技術の開発では、淡路島と石垣島の海域に設置した 20L スケールの培養装置を用いて、連続で約 1 か月に亘りスピルリナ藻類(*S.subsalsa*)を培養し、バイオマス生産性(t/ha/年)の向上に取り組んでいる。最適な培養条件下でスピルリナ藻類(*S.platensis*)のグリコーゲン含有率(乾燥重量)を世界最高値となる 65%まで増加させ、また、グリコーゲンを資化するアミラーゼ発現酵母を使用して理論収率 85%でエタノールを直接生産することに成功している。

このように、光合成機能と ATP 供給能の強化、システムバイオロジー解析と代謝モデリング、大量培養技術と高効率バイオエタノール生産技術の開発において計画通り研究が推進されている。だが、遺伝子導入技術の開発については目立った進捗が見られず、たいへん厳しい状況である。

(2) 研究実施体制

研究代表者は多くの共同研究グループを統括し、優れたリーダーシップを発揮していると評価される。

(3) 原著論文発表・特許出願

原著論文発表14件、口頭発表37件、招待講演32件と期待される学術的成果が上げられている。

4-2. 今後の研究に向けて

遺伝子導入技術の開発遅れは今後、藻類の代謝システム的设计など他の研究項目の進捗を律速し、研究チーム全体の足を引っ張ると懸念している。遺伝子導入技術の開発について至急研究計画を再検討する必要がある。ここで進展が見られれば、システムバイオロジー解析と代謝モデリングなどで今後も順調に研究が進捗し、多くの研究成果が創出されると期待している。

加えて、研究後半にかけて以下の点にも留意いただくようお願いしたい。まず、藍藻 (*Synechocystis* sp、*A. platensis*) で得られた代謝フラックス解析等の知見を実用藻類のスピルリナ藻類 (*S. platensis*、*S. subsalsa*) に対して今後どのように適用し活用するのか、戦略を明確にして欲しい。つぎに、生産量 (t/ha/年) の信憑性をさらに高めるために、数百 L 規模の大規模な培養装置を用い、かつ、年間を通じた藻体回収量や気温変動などを考慮する必要がある。最後に、これまでの研究内容は、耐塩水とは直接関係がない微細藻類の育成技術の開発にやや偏重しつつある。海洋性藻類を利用して豊富な海洋資源を有効利用することが、本研究課題を設定した契機であったことを今一度認識していただきたい。

4-3. 総合的評価

原油価格の高騰、地球温暖化への世界的な認識の高まりから、原油に代わる将来のエネルギー源として、再生可能エネルギーの中でも特に藻類を用いたバイオ燃料に大きな期待がかけられている。特に本研究が対象とする海洋性藻類は、陸上耕作地の使用限界と将来的な水資源の枯渇を克服する可能性を秘めており、安定的なエネルギー供給源として注目されている。

このような状況の中、一部の研究項目で遅れがみられるものの、戦略目標達成に貢献すべく研究計画に従っておおむね順調に研究を推進させていると認められる。