

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect

Cifra Proiectului 24.80012.7007.08 SE.Denumirea proiectului „Stresul oxidativ ca instrument în producerea antioxidantului de origine microalgă astaxantina”.

Microalga verde *Haematococcus pluvialis* reprezintă cea mai importantă sursă naturală de astaxantină, carotenoid cu valoare ridicată datorită proprietăților antioxidante, antiinflamatoare și citoprotectoare. În biotehnologia microalgelor, controlul procesului de inducere a biosintezei de astaxantină constituie etapa critică a optimizării tehnologice. Inducerea fazei roșii la *H. pluvialis* este asociată cu expunerea la factori de stres, în special stresul oxidativ moderat. Pe baza premiselor biologice existente, proiectul a vizat elaborarea unui model biotehnologic de inducere a sintezei de astaxantină prin utilizarea stresului oxidativ controlat generat de nanoparticulele de argint (AgNPs). Cercetările au fost efectuate cu tulpina *H. pluvialis* CNMN-AV-03, depozitată în Colecția Națională de Microorganisme Neputogene (IMB/UTM), care corespunde taxonomic speciei *Haematococcus lacustris* conform reviziei nomenclaturale recente. Au fost utilizate nanoparticule de argint stabilizate cu citrat, cu dimensiuni între 10–100 nm și concentrații între 0,01–10 mg·L⁻¹. Aplicarea lor a fost sincronizată cu diferite etape ale ciclului vital, permițând separarea efectelor asupra multiplicării celulare de cele asupra biosintezei de carotenoizi.

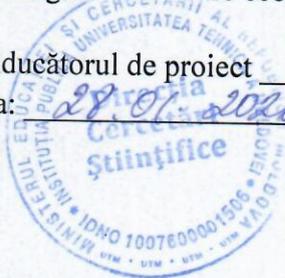
Proiectul a fost structurat în trei abordări succesive. În prima abordare (aplicarea nanoparticulelor în ziua 1), s-a demonstrat caracterul dual al stresului indus: nanoparticulele mari au inhibat instalarea fazei de aplanospori roșii, în timp ce AgNPs de 10 și 20 nm au stimulat sinteza de astaxantină la concentrații mici, conform unui model hormetic. În a doua abordare (aplicarea nanoparticulelor în ziua 3), cultura a demonstrat toleranță crescută la stres, cu stimularea biomasei în faza verde și a astaxantinei și lipidelor în faza roșie, delimitând o „fereastră metabolică” în care stresul oxidativ moderat maximizează valoarea metabolică a biomasei. În a treia abordare, schimbarea inoculumului către forma aplanosporică a permis transformarea unui stres inițial inhibitor într-un stres stimulat, demonstrând importanța remodelării fiziologice a sistemului înainte de inducție.

Analiza integrată a rezultatelor a condus la elaborarea unui model operațional de inducere a biosintezei de astaxantină, structurat pe patru componente: (1) parametrii de control (dimensiunea nanoparticulelor, concentrația, momentul aplicării, tipul inoculumului, starea fiziologică, durata expunerii), (2) modulatorii procesului (capacitatea antioxidantă endogenă și ciclul vital), (3) mecanismul bioprocesual (convertirea stresului oxidativ moderat în semnal biosintetic) și (4) indicatorii biotehnologici de output (conținut de astaxantină, raport astaxantină/biomasă, profil lipidic și antioxidant).

Proiectul și-a atins obiectivele declarate, demonstrând fezabilitatea utilizării stresului oxidativ controlat pentru inducerea sintezei de astaxantină și identificând parametrii critici pentru scalarea procesului. Noutatea științifică principală constă în demonstrarea rolului determinant al stării fiziologice a sistemului și a sincronizării temporale a stresului, ceea ce permite conversia unui factor potențial toxic într-un instrument biotehnologic reproductibil. Rezultatele proiectului oferă premise pentru validarea la scară pilot și integrarea în lanțuri biotehnologice destinate producției de biomasă microalgă cu valoare economică ridicată.

Conducătorul de proiect _____ / Cepoi LilianaData: 27.06.2026

LȘ



Summary of Activities and Results Achieved in the Project

Project number 24.80012.7007.08 SE.

Project title „Oxidative stress as a tool in the production of the microalgal antioxidant astaxanthin”.

The green microalga *Haematococcus pluvialis* represents the most important natural source of astaxanthin, a high-value carotenoid due to its antioxidant, anti-inflammatory and cytoprotective properties. In microalgal biotechnology, controlling the induction of astaxanthin biosynthesis is the critical stage of technological optimization. The induction of the red phase in *H. pluvialis* is associated with exposure to stress factors, in particular moderate oxidative stress. Based on these biological premises, the project aimed to develop a biotechnological model for inducing astaxanthin synthesis by using controlled oxidative stress generated by silver nanoparticles (AgNPs).

The research was performed with the *H. pluvialis* strain CNMN-AV-03, deposited in the National Collection of Non-Pathogenic Microorganisms (IMB/UTM), which corresponds taxonomically to *Haematococcus lacustris* according to recent nomenclatural revisions. Citrate-stabilized silver nanoparticles of 10–100 nm in size and 0.01–10 mg·L⁻¹ in concentration were used. Their application was synchronized with different stages of the life cycle, allowing separation of the effects on cell multiplication from those on carotenoid biosynthesis.

The project was structured into three successive approaches. In the first approach (application of nanoparticles on day 1), the dual character of the induced stress was demonstrated: larger nanoparticles inhibited the establishment of the red aplanospore phase, whereas 10 and 20 nm AgNPs stimulated astaxanthin synthesis at low concentrations, following a hormetic model. In the second approach (application on day 3), the culture exhibited increased stress tolerance, with stimulation of biomass accumulation in the green phase and stimulation of astaxanthin and lipid synthesis in the red phase, delineating a “metabolic window” in which moderate oxidative stress maximizes the metabolic value of the biomass. In the third approach, switching the inoculum to the aplanospore form enabled the transformation of an initially inhibitory stress into a stimulatory one, demonstrating the importance of physiological remodeling prior to induction.

Integrated analysis of the results led to the development of an operational model for inducing astaxanthin biosynthesis, structured into four components: (1) control parameters (nanoparticle size, concentration, timing of application, inoculum type, physiological state, exposure duration), (2) process modulators (endogenous antioxidant capacity and life-cycle stage), (3) bioprocess mechanism (conversion of moderate oxidative stress into a biosynthetic signal), and (4) biotechnological output indicators (astaxanthin content, astaxanthin/biomass ratio, lipid and antioxidant profile).

The project achieved its declared objectives, demonstrating the feasibility of using controlled oxidative stress to induce astaxanthin synthesis and identifying the critical parameters required for process scaling. The main scientific novelty lies in demonstrating the decisive role of the physiological state of the system and the temporal synchronization of stress, which allows the conversion of a potentially toxic factor into a reproducible biotechnological tool. The results provide a basis for pilot-scale validation and integration into biotechnological chains for the production of high-value microalgal biomass.

Project manager Cepoi Liliانا / Cepoi Liliانا

Date: 28.07.2016

LŞ

