

Maya-blåt er indigo i forklædning

Inden for de sidste år er strukturen af Maya-blåt blevet opklaret. Det kan nu fremstilles ud fra ler og indigo

Af Carsten Christophersen, carsten@kiku.dk

For langt over 1.000 år siden havde Mayaindianere i Mellemamerika perfektioneret en metode til at fremstille et blåt farvestof, der er så stabilt, at det modstår kogende syrer og baser, varme, sollys, biologisk nedbrydning og tidens tand. Farvestoffet fandt mange anvendelser i vægmalerier, skulpturer og lerpotter. Strukturen var indtil for ganske nylig ukendt, men nu ved man, at det dannes ud fra lermineralet palygorskit og indigo. Palygorskit danner lag med nanodimensioner, hvor indigo er fast indlejret som i en sandwich.

Fremstilling og opbygning

Mayaernes blå pigment kan fremstilles ved at blande palygorskit [$\text{Mg}(\text{Al}_{0,5-1}\text{Fe}_{0-0,5})\text{Si}_4(\text{OH})\text{O}_{10,4}\text{H}_2\text{O}$] og indigo og opvarme blandingen til 150°C i 20 timer. Indigo fik Mayaerne fra plantemateriale, og palygorskit er til stede i det lerede vand, der bruges til udvindingen.

I 2003 viste italienske forskere, ved en kombination af synkrotron diffraktionsstudier og molekylmodellering, at Maya-blåt indeholder indigomolekyler arrangeret og holdt fast med hydrogenbindinger i nanokanaler i mineralet. Ved syntesen ser man, at kanalerne i mineralet fyldes op med indigomolekyler. Først ved ca. 360°C fordamper indigomolekylerne igen ud af mineralet.

Blandt de ældste

Indigo hører til blandt de længst kendte organiske farvestoffer. I næsten hele verden findes planter, der kan bruges til fremstillingen. Planter fra Indigofera-slægten bruges i Afrika, Asien, Østindien og Sydamerika, mens Polygonum tinctorium anvendes i det Fjerne Østen, Kina og Korea og Isatis tinctoria (vajdplanten) i Europa. På trods af den alenlange historie er biosyntesen af indigo først nu ved at blive redet ud, og selve mekanismen ved dannelsen af farvestoffet er stadig omgærdet med mystik. Fremstillingsmetoderne fra de forskellige planter er ikke ens. Ingen planter indeholder indigo i sig selv, og farvestoffet dannes på forskellig måde, f.eks. ved gæring fra plantemateriale.

Bioteke-indigo

Indigo har siden omkring 1900 været fremstillet syntetisk. Produktionen, der nu næsten udelukkende går til farvning af denim, beløber sig til omkring 16.000 tons årligt. Der er store forventninger til en bioteknologisk proces, fordi den klassiske syntese ikke er miljøvenlig.

Walter Weyler og medarbejdere fra Genencor International i Californien har bygget videre på arveanlægget hos bakterien Escherichia coli for at opfinde en gæringsmetode til fremstillingen.

Udgangsstoffet for den bioteknologiske indigosyntese er aminosyren tryptophan. Et enzym, naphthalen dioxygenase, der stammer fra en anden bakterie Pseudomonas putida, sættes ind i E. coli og omdanner tryptophan til indoxyl, der med atmosfærens ilt danner indigo. Samtidig omprogrammeres den nye E. coli til selv at producere mængder af udgangsstoffet tryptophan. Ved en finjustering af »metabolisk engineering« optimeres processen. Et uønsket rødt biprodukt (indirubin), der også dannes ud fra indoxyl, fjernes ved at genspleje endnu et enzym ind i producerbakteriens arveanlæg, og så dannes det rene biotek-indigo.

Bioteke-fremstillingen bruger udelukkende sukker som energi- og kulstofkilde. Det skal sammenlignes med den industrielle proces, der bruger kul eller olie og efterlader potentielt giftige biprodukter.

Et andet forsøg på at slippe uden om den klassiske syntetiske fremstilling baseres på dyrkning af indigodannende planter i Europa.

Kilder

- A. Berry, T. C. Dodge, M. Pepsin og W. Weyler Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology Bind 28, 2002 side 127-132. Application of metabolic engineering to improve both the production and use of biotech indigo.
- G. Chiari, R. Giustetto og G. Riccardi European Journal of Mineralogy Bind 15, 2003 side 21-33. Crystal structure refinements of palygorskite and Maya Blue from molecular modelling and powder synchrotron diffraction.
- B. Hubbard, W. Kuang, A. Moser, G. A. Facey og C. Detellier Clays and Clay Minerals Bind 51, 2003 side 318-326. Structural study of Maya Blue: Textural, thermal and solid-state multinuclear magnetic resonance characterization of the palygorskite-indigo and sepiolite-indigo adducts.
- T. Maugard, E. Enaud, P. Choisy og M. D. Legoy Phytochemistry Bind 58, 2001 side 897-904. Identification of an indigo precursor from leaves of Isatis tinctoria (Woad).

