



Doctoral Thesis

Global-scale distributions of marine haptophyte phytoplankton

Author(s):

O'Brien, Colleen Janice

Publication Date:

2015

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010513482> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22568

Global-scale distributions of marine haptophyte phytoplankton

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

COLLEEN JANICE O'BRIEN

M.Ant.Sci., University of Tasmania
born 24.08.1984
citizen of Australia

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. N. Gruber Guyan, examiner
Dr. M. Vogt, co-examiner
Prof. Dr. D. Iglesias-Rodriguez, co-examiner

2015

Summary

Marine phytoplankton are a diverse group of photosynthetic, unicellular organisms which occur throughout the world's oceans. They form the basis of marine food webs and have been shown to play a key role in global biogeochemical cycles. While phytoplankton contribute approximately half of global primary production, our understanding of the ecology and biogeography of key phytoplankton groups remains limited in comparison to terrestrial taxa, primarily due to the paucity of observations at the global scale.

This thesis improves our understanding of phytoplankton dynamics by investigating the global-scale distributions of two groups of marine phytoplankton from the Phylum Haptophyta: *Phaeocystis* and the coccolithophores. Both groups are recognised as key phytoplankton functional types (PFTs) of relevance to global biogeochemical cycles and marine ecosystems: *Phaeocystis* is a major producer of dimethylsulphide, a compound which has been linked to enhanced cloud formation, providing a potential negative feedback on climate warming, while the coccolithophores are one of the main groups of calcifying organisms in the world's oceans.

In chapters two and three, I present two new global-scale datasets for *Phaeocystis* and coccolithophore biomass, developed as part of the MARine Ecosystem DATA (MAREDAT) project. For each PFT, I compiled published and unpublished abundance data from around the globe, and developed species-specific conversion factors to estimate carbon biomass from these observations. The final datasets consist of biomass estimates from 3526 samples for *Phaeocystis* and 11 503 samples for the coccolithophores. These datasets have been made freely available to the scientific community, both as the raw observational datasets and as gridded, $1^\circ \times 1^\circ$ climatologies, and represent the most extensive global biomass datasets available for each PFT.

The following chapters focus in greater detail on the global scale distributions of coccolithophore diversity (chapter four) and biomass (chapter five). Using a feed-forward neural network approach, I developed non-linear regression models of coccolithophore diversity and biomass within the mixed layer as a function of environmental variables (temperature, nutrient concentrations, light, mixed layer depth and chlorophyll). I then used the resulting models to (a) investigate the likely environmental drivers of coccolithophore diversity and biomass, and (b) develop global-scale interpolated estimates of mixed layer coccolithophore diversity and biomass.

I found that light and temperature were the strongest predictors of coccolithophore diversity at the global scale, with diversity highest at the equator and declining toward the poles. Coccolithophore diversity showed a unimodal relationship with coccolithophore biomass, but a positive relationship with estimates of coccolithophore dominance (i.e. the relative contribution of coccolithophores to total chlorophyll). On a regional basis, modelled coccolithophore diversity was highest in the western and central equatorial Pacific and in the Indian Ocean.

For the investigation of coccolithophore biomass distributions in chapter five, I developed separate models for three species clusters which I identified as inhabiting similar ecological niches: a highly diverse 'warm' species cluster, a 'cold' species cluster, and a separate cluster for the species *Emiliana huxleyi*. I found that *E. huxleyi* is responsible for approximately 26% of global mixed layer coccolithophore biomass, with the other two species clusters each contributing approximately 37%. The main environmental drivers differed by cluster, with temperature the strongest predictor of biomass for the warm species cluster, light the most important predictor for the cold species cluster, and nutrient concentrations (silicic acid and nitrate) most important for *E. huxleyi* biomass.

Globally, I estimated highest annual mean coccolithophore biomass in the North Atlantic, North Pacific, equatorial Pacific and the sub-Antarctic, and depth-integrated mixed layer biomass of 1.9 TgC (0.3 - 0.6% of total phytoplankton biomass within the mixed layer). This corresponds to an estimate of coccolithophore net primary production (NPP) of approximately 0.21 PgC y⁻¹.

Assuming the relationships between coccolithophore biomass and diversity and their environmental predictors remain robust into the future, I predicted an increase in the mean diversity of coccolithophore assemblages and an increase in global coccolithophore biomass by the end of the 21st century. An increase in coccolithophore dominance of the oceans would have major implications for the global carbon cycle, given the key contribution of this group to calcification and carbon export.

Zusammenfassung

Marines Phytoplankton ist eine diverse Gruppe fotosynthetischer Einzeller, welche in allen Ozeanen weltweit vorkommen. Es bildet die Basis des Nahrungsnetzes im Meer und ist für die biogeochemischen Kreisläufe von zentraler Bedeutung. Obschon Phytoplankton für rund die Hälfte der globalen Primärproduktion verantwortlich ist, ist unser Verständnis über dessen Ökologie und Biogeografie im Vergleich zu den Landorganismen sehr limitiert. Hauptverantwortlich dafür ist der Mangel an Messdaten weltweit.

Diese Dissertation erweitert unser Verständnis über die Dynamik von Phytoplankton durch eine Untersuchung zweier Taxa aus dem Reich der Kalkalgen - die Gruppe der Schaumalgen (*Phaeocystis*) und die Gruppe der Coccolithophoriden. Beide Gruppen sind für die globalen biogeochemischen Kreisläufe und das Funktionieren von marinen Ökosystemen von zentraler Relevanz und werden deshalb als wichtige Phytoplankton Funktionsgruppen (Phytoplankton Functional Types, kurz PFTs) bezeichnet. Planktonarten der Gruppe *Phaeocystis* sind die Hauptproduzenten von Dimethylsulfid - ein chemischer Stoff, welcher zur Bildung von Wolken beitragen kann. Dies wiederum führt zu einer negativen Rückkopplung der Klimaerwärmung. Die Coccolithophoriden hingegen sind eine der wichtigsten Gruppen von kalkbildenden Organismen der Meere weltweit.

Im zweiten und dritten Kapitel präsentiere ich zwei neue, globale Datensätze für die Biomasse der Phaeocysten und Coccolithophoriden, welche als Teil des MAREDAT-Projekts (MARine Ecosystem DATA) erstellt wurden. Für jede Phytoplankton Funktionsgruppe habe ich die publizierten und nicht-publizierten Datensätze aus Institutionen weltweit zusammengetragen und daraus artenspezifische Umwandlungsfaktoren zur Berechnung der Kohlenstoff-Biomasse erarbeitet. Der am Ende verwendete Datensatz enthält 3526 Messungen für *Phaeocystis* sowie 11 503 Messungen für die Coccolithophoriden. Diese Datensätze wurden für wissenschaftliche Zwecke kostenlos verfügbar gemacht, sowohl als Originalmesswerte wie auch als monatlich interpolierte Daten. Sie sind die bisher umfangreichsten Datensätze für die globale Biomasse von beiden Funktionsgruppen.

Die darauf folgenden Kapitel widmen sich der globalen Verbreitung der Diversität (Kapitel vier) und Biomasse (Kapitel fünf) der Coccolithophoriden. Mit einem aufgeschalteten neuronalen Netzwerk habe ich nicht-lineare Regressionsmodelle für die Diversität und Biomasse der Coccolithophoriden innerhalb der durchmischten Schicht als Funktion verschiedener Umweltvariablen (Temperatur, Nährstoffkonzentrationen, Licht, Tiefe der durchmischten Schicht sowie Chlorophyll) entwickelt. Die resultierenden Modelle habe ich daraufhin verwendet um (a) die ausschlaggebenden Umweltfaktoren der Diversität und Biomasse der Coccolithophoriden zu untersuchen und (b) globale, interpolierte Schätzungen von Diversität und Biomasse von Coccolithophoriden innerhalb der durchmischten Schicht zu erarbeiten.

Ich habe festgestellt, dass Licht und Temperatur die wichtigsten Faktoren für die Vorhersage der globalen Diversität von Coccolithophoriden sind. Die Diversität ist am Äquator am höchsten und nimmt polwärts kontinuierlich ab. Die Vielfalt der Coccolithophoriden steht in einer unimodalen Beziehung mit ihrer Biomasse, aber in einer positiven Relation mit Schätzungen der Coccolithophoridendominanz (dem relativen Anteil der Coccolithophoriden des Gesamtchlorophylls). Regional gemessen war die modellierte Vielfalt der Coccolithophoriden im westlichen und zentralen Äquatorialpazifik sowie im Indischen Ozean am höchsten.

Für die Untersuchung der Biomassenverteilung der Coccolithophoriden im Kapitel fünf entwickelte ich separate Modelle für drei unterschiedliche Artencluster, welche in jeweils ähnlichen ökologischen Nischen vorkommen. Ein sehr vielfältiger, 'warmer' Artencluster, ein 'kalter' Artencluster sowie ein separater Cluster für die Art *Emiliana huxleyi*. Ich habe herausgefunden, dass *E. huxleyi* für rund 26% der globalen Biomasse innerhalb der durchmischten Schicht verantwortlich ist. Die anderen beiden Artencluster tragen je rund 37% bei. Die wichtigsten Umweltfaktoren unterschieden sich je nach Cluster. Temperatur stellt den wichtigsten Faktor für die warme Artenballung dar, während Licht für die kalte Artenballung am zentralsten erscheint. Für die Biomasse des *E. huxleyi*-Cluster ist die Konzentration von Nährstoffen (Kieselsäure und Nitrat) am wichtigsten.

Auf einem globalen Level habe ich die höchste jährliche Durchschnittsbiomasse von Coccolithophoriden im Nordatlantik, Nordpazifik, äquatorialen Pazifik sowie in der Subantarktis untersucht. Dabei ergab sich eine tiefenintegrierte Kohlenstoff-Biomasse der durchmischten Zone von 1.9 TgC y^{-1} (rund 0.3 - 0.6% der gesamten Phytoplanktonbiomasse innerhalb der durchmischten Schicht). Dies entspricht einer jährlichen Nettoprimärproduktion von rund 0.21 PgC y^{-1} .

Angenommen die Verhältnisse zwischen der Biomasse und der Diversität der Coccolithophoriden sowie deren treibenden Umweltfaktoren bleiben in der Zukunft konstant, kann ein Anstieg der mittleren lokalen Diversität von Coccolithophoriden, sowie eine Zunahme der weltweiten Biomasse von Coccolithophoriden bis zum Ende des 21. Jahrhunderts vorausgesagt werden. Da die Coccolithophoriden eine wichtige Rolle bei der Kalkbildung und dem Export von Kohlenstoff leisten, hätte dies bedeutende Auswirkungen auf den globalen Kohlenstoffzyklus zur Folge.