

## University of Groningen

### Tree of the sea

Witbaard, Rob

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

1997

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Witbaard, R. (1997). *Tree of the sea: The use of the internal growth lines in the shell of *Arctica islandica* (Bivalvia, Mollusca) for the retrospective assessment of marine environmental change*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. s.n.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

**Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

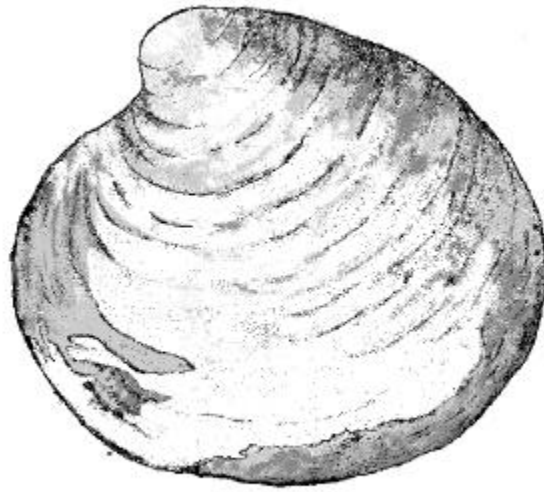
The animal almost reached the maximum size.

Shell height is a little over 9 cm. Large parts of the valves are without periostracum.

The shell is extremely heavy because each year it has deposited a small increment along its margin, but also deposited a carbonate layer along the entire internal surface of the valve.

## CHAPTER 8.

### Summary and conclusions



---

## CHAPTER 8.

### Summary and conclusions

#### SUMMARY

Within the North Sea the southernmost distribution limit of *Arctica* follows the 30 m depth contour. This border is most likely set by the maximum bottom water temperature of 16°C.

Densities of 16 individuals/m<sup>2</sup> were found in the northern North Sea. In the south-eastern North Sea the maximum density of 0.1 ind/m<sup>2</sup> is low, especially compared to those around Iceland or the western Atlantic. In the south-eastern North Sea the densities decreased between the 1970s and the early 1990s. Both the percentage of sampling stations and the corresponding densities decreased. The mortality rate in the south-eastern North Sea is twice as high as that in the northern North Sea. The results of chapter 6 suggest that this difference is related to the difference in the intensity of beam trawling. In the south-eastern North Sea undamaged *Arctica* are rarely found. About 80% of the injuries on the shells were found on the post ventral shell side. The passage of tickler chains are held responsible for these injuries. Small injuries may result in a scar and the subsequent time trend analyses in their occurrence did show an increase since ± 1970. This time trend corresponded with the increase in the total engine capacity of the Dutch beam trawl fleet. The temporal changes in the occurrence of scars on the shells of *Arctica* may therefore yield information about the frequency of fishing disturbance on benthic communities with a high spatial resolution.

Most populations in the North Sea consist of specimens with ages exceeding 30 years and shell heights larger than ~50 mm. Secondary production for these populations was estimated on basis of the corresponding size frequency distribution and size weight relationships. This yielded an average population P/B of 0.03. The age specific P/B ratio decreased from 1.2 in 1 to 5-year-old specimens to 0.02 for animals older than 30 years.

About 31.5% of the *Arctica* from the North Sea is infected with the commensal nemertean worm *Mallacobdella grossa* but no geographical difference in the percentage of infection was found. There was however a strong size-dependence. The infection increased from 14% in shells smaller than 35 mm height to 37 % in animals larger than 71 mm. Infected animals had a better condition index than uninfected specimens but the difference was insignificant.

Some of the North Sea populations differed in their shell morphology. These differences could originate from a genetic difference but the relatively shorter length to height in the Oyster Ground specimens can be caused by frequent damage by fisheries as well.

$^{14}\text{C}$  analysis of material sequentially sampled from three different shells of *Arctica islandica* supports the hypothesis of an annual growth increment deposition. The ~1960 pulse of  $^{14}\text{C}$  which resulted from the atmospheric nuclear bomb tests was recorded in each of the shells at a location in concurrence with that expected from band counting. The observed cyclic variation in stable isotopes of oxygen and carbon also coincides with growth bands *i.e.* the variation in  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  within each growth increment agrees with the expected variation on the basis of the seasonal variation in temperature and primary production. Thus all isotopic data confirm the hypothesis of annual increment deposition and took away the doubts about a sub-annual deposition for shallow living specimens. Later, additional evidence for annual growth line deposition of deep living *Arctica* from the northern North Sea was found as well. The alignment of the variable increment widths measured from shells originating from two samples which were collected at the same location but 8 years apart, showed that the excess number of growth increments in the most recent sample equals the number of years which had passed since the first sampling date. Thus both deep and shallow living *Arctica* deposit growth increments annually which justifies the use of the internal growth lines for the construction of biochronicles on basis of the shells of *Arctica islandica* as presented in chapter 6 and 7.

The  $\delta^{18}\text{O}$  data suggested that shell growth starts early in the year even at low temperatures. This observation was supported by the results of growth experiments which demonstrated that shells can grow at temperatures below  $6^{\circ}\text{C}$  and thus contradict the suggestions made in literature that growth stops below that temperature. At optimal food conditions instantaneous shell growth increases from 0.0003/day at  $1^{\circ}\text{C}$  to 0.0032/day at  $12^{\circ}\text{C}$ . Thus a tenfold increase in growth was found. At higher temperatures the increased growth could not be attributed to the daily siphon activity but will have resulted from increasing filtration rates and phagocytosis (Winter, 1969). Greatest change in growth rate was found at temperatures below  $6^{\circ}\text{C}$ . This suggests that small differences in bottom water temperature during the period that the springbloom sediments towards the bottom might strongly influence shell growth.

The daily siphon activity is strongly influenced by the availability of food. Starved specimens were active during 12.5% of the observational days. Fed animals were active between 40 and 80% of the observations. At high particle densities the animals

### Summary and conclusions

---

compensate for the lower filtration rates (Winter, 1969) with prolonged periods of activity. The good relation between the average percentage of activity and growth illustrates that daily siphon activity is a good measure for filtration activity and food uptake. The growth of shell and tissue at 9°C suggest that a particle density between 5 and  $7 \times 10^6$  cell/ltr is just high enough to keep juvenile *Arctica* alive. The carbon conversion efficiency for *Arctica* with 10-23 mm high shells at 9°C is estimated to vary between 11 and 14%.

The geographical differences (chapter 5) in growth rates subscribe the results of the experiments described in chapter 4. Shell growth measured over the first 10 years of life showed a fourfold difference between slowest and fastest (average) rate. Both rates were found at the northern edge of its distribution (64-66°N) and illustrate that temperature might be overruled as growth determining factor. Principal component analyses demonstrated that the average growth rates correlated better with primary production than with average bottom water temperature. Temperature has a significant effect on growth when seen over the entire latitudinal range (52°-66°N) but the effect on animals from the North Sea is small. Their growth was negatively correlated with water depth and sediment silt content. These results suggest that within the North Sea the difference in shell growth mainly originates from the difference in primary production and the associated sedimentation of phytodetritus towards the bottom. The major role of food supply in the determination of the shell growth rates for the northern North Sea is supported by the results presented in chapter 7. The great inter-annual variations in growth of animals (<30 years) from the Fladen Ground could not be explained by inter-annual temperature variations. A relation between shell growth and phytoplankton standing stock could neither be demonstrated, although there were some striking similarities with some of the major events described for the northern North Sea. The most obvious one was the similarity between shell growth rates and the inflow of Atlantic water along the eastern side of the Shetlands. That inflow determines the existence of a topographically steered eddy overlying the area. The central parts of the eddy coincide with the area where high densities of *Arctica* were found. It is hypothesised that these *Arctica* beds are linked to the eddy because the water circulation within the eddy leads to enhanced deposition of phytodetritus in these central areas. This implies that the shell growth variations of specimens of this population may reflect variations in the influx of Atlantic water into the North Sea.

Long-term chronologies of growth variations were constructed on the basis of growth line patterns in shells of specimens older than 30 years. These chronologies showed a marked alternating sequence of periods in which growth was below or above the expected values. The comparison of the growth line patterns of these old shells with

the outflow along the Norwegian Trench also suggests a link between shell growth and the inflow of Atlantic water into the North Sea.

### CONCLUSIONS

In marine benthic biology it has often been tried to assess cause-effect relationships by studying changes in the benthic community. Although such an approach can be fruitful it is often hampered by the high variability in benthic community structure or by the lack of relevant reference data. Sub-lethal effects for individual species remain unrecognised in the community structure approach although studying such sub-lethal effects may be very promising, especially when *Arctica islandica* is used. *Arctica* is a valuable indicator organism because it combines the following characteristics;

- There is an overwhelming amount of knowledge on physiology, anatomy and behaviour. Many scientists used *Arctica* in experiments because of its attractive size and easiness to handle.
- *Arctica* is a slow growing, long living species with an irregular recruitment. These aspects make it sensitive to disturbance. Changes in survival or recruitment may strongly affect population structure (Rees & Dare, 1993).
- Its geographical range as well as the habitats in which *Arctica* lives, vary widely. This implies that for different areas a congruent data-set can be obtained.
- *Arctica* fulfils the requirements to construct a biochronicle (Thompson & Jones, 1977).
- *Arctica* is immobile. Once it has settled on the sea floor it remains stationary. It can not escape from adverse conditions. Changes in the environment will control survival, reproduction and growth. During shell growth, information from the environment is incorporated into the annually deposited carbonate increments and the growth record of *Arctica* therefore forms an environmental archive. The disclosure of this archive enables the retrospective assessment of environmental change.

Being a slow growing organism with high longevity *Arctica* is a promising indicator organism. Changes in the population structure and abundance (chapter 2) are likely to reflect environmental change. However, the study of changes in its population structure is impaired by the low densities in combination with the difficulties to sample *Arctica* quantitatively. The lack of knowledge on reproduction and settlement in the North Sea makes it furthermore difficult to interpret the observed changes. Are they natural or man induced ?

### Summary and conclusions

---

As outlined above the annually deposited growth increments are a valuable archive in which environmental information is stored year after year. Until recently this archive was under-utilised. Some of the possible applications have been illustrated in this study;

- The incremental width itself gives information about both temporal and spatial differences in growth rate (chapter 4, 5 and 7). Consistent geographical differences in in-situ growth rates point to structural differences between areas. For the North Sea the differences appear to reflect differences in benthic food availability.
- Temporal differences in the growth rates might point to both local changes and wide ranging changes in the structure or functioning of the marine ecosystem. This topic has partly been covered in chapter 7. It gives the possibility to judge man induced changes against changes with a natural cause.
- The increment appearance itself (chapter 6) enables the assessment of man's impact *e.g.* physical disturbance by bottom fisheries on the marine benthic ecosystem .
- The chemical constitution of each increment is another valuable source of information. The isotopic constitution of the carbonate was used to prove the annual deposition periodicity in shallow living *Arctica*. The reverse can be done as well *e.g.* the chemical constitution of successive increments can be utilised to construct time series on for example the input of  $^{14}\text{C}$  or micro-pollutants like heavy metals. Especially the development of high precision sampling and analyses methods (nuclear techniques like PIXE or INAA) may yield an overwhelming amount of information even on a seasonal time scale (Nyström, 1995).

It was impossible to deal with all these topics in this thesis but still the results presented in chapters 6 and 7 illustrate some of the great advances of using the internal growth lines in *Arctica* to assess changes in the marine environment retrospectively.



## Samenvatting & conclusies

### SAMENVATTING

De zuidelijkste verspreiding van *Arctica islandica* binnen de Noordzee volgt ongeveer de 30 meter dieptelijn. Deze grens is waarschijnlijk gerelateerd aan de maximale bodemwater temperatuur van 16°C die samenvalt met deze dieptelijn. Maximale dichtheden in de zuidoostelijke Noordzee van gemiddeld 0.1dier/m<sup>2</sup> zijn laag vergeleken met dichtheden in meer noordelijke delen van het verspreidingsgebied of de westelijke Atlantische Oceaan. Binnen de Noordzee werden de hoogste dichtheden van adulte dieren van 16 individuen/m<sup>2</sup> in de Fladengronden (noordelijke Noordzee) aangetroffen. Een vergelijking van de tussen 1972 en 1982 en in de 90er jaren geschatte dichtheden suggereert een abundantie afname. Zowel het aantal stations waarop *Arctica* werd aangetroffen als de dichtheden op die stations waren gedaald.

In de Oestergronden is het sterftcijfer twee maal zo hoog als dat in de Fladengronden. De resultaten zoals beschreven in hoofdstuk 6 maken aannemelijk dat dit verschil te wijten is aan de intensieve boomkorvisserij in de zuidoostelijke Noordzee. Ongeveer 80% van de recente schade en littekens op de schelp van *Arctica* wordt aangetroffen op de postero-ventrale schelpzijde. Deze schade wordt veroorzaakt door de wekkerkettingen welke deel uitmaken van het boomkorvistuig. Bij het passeren van een boomkor worden fragmenten van de schelp afgebroken. Sommige van deze beschadigingen herstellen, maar blijven als litteken zichtbaar. De analyse van de tijdtrend in het voorkomen van deze herstelde beschadigingen levert een tijdserie op die de frequentie van verstoring door de boomkorvisserij op zeer lokale schaal weerspiegelt. Het unieke is dat deze trend wordt samengesteld op grond van een van de visserij onafhankelijke methode. De trend vertoont een sterke correlatie met de ontwikkelingen in het motorvermogen van de Nederlandse boomkorvisserijvloot.

De meeste populaties in de Noordzee zijn opgebouwd uit schelpen die ouder zijn dan 30 jaar met een schelphoogte van 50 mm of meer. De gemiddelde productie-biomassa verhouding, z.g. P/B ratio, van deze populaties wordt geschat op 0.03. Er is een sterke leeftijdsafhankelijkheid. In 1 tot 5 jaar oude dieren is de ratio gemiddeld 1.2. Deze neemt af tot 0.02 voor dieren ouder dan 30 jaar.

Van de in de Noordzee gevangen *Arcticas* bleek 31.5% besmet te zijn met de commensale nemertijne worm *Mallacobdella grossa*. Binnen de Noordzee werden echter geen geografische verschillen in besmettingsgraad gevonden. Wel was er een sterke afhankelijkheid van lichaamsgroote. Van dieren kleiner dan 35 mm was gemiddeld 14% besmet, terwijl van dieren groter dan 71 mm, 37% besmet was.

### Summary and conclusions

---

Geïnfecteerde dieren bleken een iets betere conditieindex te hebben, maar het verschil met niet-geïnfecteerde dieren was niet significant.

Vergelijking van de schelpmorfologie bracht kleine verschillen tussen diverse Noordzee populaties aan het licht. Deze verschillen kunnen op een genetische verschil berusten maar de relatief kortere schelp lengte t.o.v. de schelphoogte voor Oestergrond dieren in combinatie met het frequent beschadigen van de posterioere schelpzijde door bodemvisserij kan ook een oorzaak zijn.

De  $^{14}\text{C}$  analyse van schelpmateriaal dat sequentieel van drie schelpen was bemonsterd ondersteunt de hypothese dat in de Noordzee ook de ondiep levende noordkrompen jaarlijks 1 groeiincrement vormen. De "1960"-piek in de atmosferische  $^{14}\text{C}$  concentratie, die het gevolg was van bovengrondse kernproeven op metname Nova Zembla, kon in de schelp terug worden gevonden op een plaats die verwacht werd op grond van het tellen van de inwendige groeilijnen. Ook bleek de cyclische variatie van  $^{18}\text{O}$  en  $^{13}\text{C}$  binnen elk der afzonderlijke incrementen overéén te komen met de verwachting op grond van de jaarlijkse variatie in temperatuur en primaire produktie. Dus alle isotoop data bevestigen de hypothese van een jaarlijkse incrementvorming. In een later stadium werd een extra bewijs voor jaarlijkse incrementvorming gevonden voor diep levende noordkrompen uit de noordelijke Noordzee. De sterke overeenkomst van groeiincrementbreedtes maakte het mogelijke de groeipatronen in schelpen die met een tussentijd van 8 jaar waren verzameld, over elkaar heen te leggen. In het meest recent verzamelde monster bleken evenveel incrementen bijgevormd als dat er jaren waren verstreken sinds het eerste monster verzameld werd. Dus zowel diep als ondiep levende noordkrompen in de Noordzee zetten groeilijn en increment af met een jaarlijkse periodiciteit. Deze resultaten rechtvaardigen dus het gebruik van de interne groeilijnen voor het construeren van zogenaamde biochronologieën, zoals geïllustreerd in hoofdstuk 6 en 7. Uit de  $^{18}\text{O}$  data blijkt ondermeer dat schelpgroei vroeg in het voorjaar start, zelfs bij lage temperaturen. Deze observatie werd later in groeiexperimenten bevestigd. Die experimenten lieten zien dat de groei van juveniele schelpen bij een toename van temperatuur en voedselaanbod, stijgt. Onder optimale voedselcondities neemt de instantane groeisnelheid toe van 0.0003/dag bij  $1^\circ\text{C}$  tot 0.0032 bij  $12^\circ\text{C}$ . Dus tussen 1 en  $12^\circ\text{C}$  neemt schelpgroei toe met een factor 10.

Het bleek ook dat *Arctica* heel goed in staat is bij temperaturen lager dan  $6^\circ\text{C}$  te groeien. Deze resultaten spreken daarbij de in de literatuur gemaakte beweringen, dat schelpgroei beneden  $6^\circ\text{C}$  stopt, tegen. De toename van de groei met toenemende temperatuur kon niet verklaard worden uit een toename in siphonactiviteit.

Waarschijnlijk hangt dit samen met een toename van de filtratiesnelheid en fagocytose (Winter 1969).

De grootste *verandering* van de groeisnelheid vindt plaats bij temperaturen beneden 6°C. Dus kleine verschillen in de bodemwatertemperatuur tijdens de periode dat de voorjaarsbloei uitzakt, kunnen grote consequenties hebben voor de schelpgroei. Hoewel een toename van de temperatuur geen invloed heeft op de siphonactiviteit van de proefdieren, bleek de voedselbeschikbaarheid dat wel te hebben. Niet gevoerde dieren waren gemiddeld gedurende 12.5% van de experimentele periode actief; de best gevoerde dieren waren gedurende 80% van de tijd actief. Dieren die weinig of geen siphonactiviteit vertoonden bleken niet gegroeid te zijn. Siphonactiviteit is dus een goede maat voor filtratieactiviteit en voedselopname. Hoewel het vleesgewicht van niet-gevoerde dieren daalde, trad geen verandering in de schelpdimensies op. De geringe schelp- en weefselgroei bij 9°C bij een gemiddelde partikeldichtheid tussen de 5 en 7 miljoen cellen/l maakt het aannemelijk dat deze dichtheden net voldoende zijn om de dieren in leven te houden of geringe schelpgroei te bewerkstelligen. De conversie van koolstof door de proefdieren varieert tussen 11 en 14%.

De verschillen in gemiddelde groeisnelheid tussen natuurlijke populaties binnen en buiten de Noordzee (hoofdstuk 5) onderschrijven de experimentele resultaten. De gemiddelde groeisnelheden gemeten over de eerste 10 levensjaren voor deze natuurlijke populaties verschilden met een factor vier. Opvallend was dat de populaties waarbij deze extremen werden gevonden beiden afkomstig waren van de noordrand van het verspreidingsgebied. Deze observatie laat zien dat temperatuur als groeifactor, overschaduwed kan worden door andere factoren. Voedseltoevoer is daarbij de meest waarschijnlijke. Een principale component analyse liet inderdaad zien dat primaire productiviteit beter correleerde met gemiddelde groeisnelheid dan temperatuur. Temperatuur had wel een significant effect wanneer beschouwd over de gehele geografische range (52°-66°N), maar voor de gemiddelde groeisnelheden binnen de Noordzee was het effect niet aantoonbaar. Schelpgroei van dieren uit de Noordzee was bovenal negatief gecorreleerd met waterdiepte en slibgehalte van het sediment. Dit betekent dat de groeiverschillen binnen de Noordzee vooral zijn toe te schrijven aan lokale verschillen in primaire produktie en de daarop volgende sedimentatie van phytodetritus.

De complexiteit en interacties tussen groeibepalende factoren blijkt ook uit de resultaten beschreven in hoofdstuk 7. De groeivariaties van relatief jonge dieren (<30 jaar) uit de Fladengronden kon niet worden verklaard aan de hand van bekende variaties in de temperatuur van het bodemwater. Er bestond echter ook geen goede relatie met de jaarlijkse variatie in fytoplankton abundantie. Wel waren er treffende

### Summary and conclusions

---

overeenkomsten met enkele zeer markante gebeurtenissen in de noordelijke Noordzee. De meest opvallende is de overeenkomst tussen de groeivariaties en de jaarlijkse variaties in de instroom van Atlantisch water ten oosten van de Shetland eilanden. Deze instroom beïnvloedt de aanwezigheid van een door de bodemtopografie gestuurde ronddraaiende watermassa. Het centrale deel van deze "eddy" valt samen met de locaties waar hoge dichtheden noordkrompen zijn gevonden. Verondersteld wordt daarom dat beide gekoppeld zijn, omdat de watercirculatie binnen de eddy kan leiden tot een verhoogde depositie van fyto-detritus in het centrum. De instroom van Atlantisch water bepaalt in sterke mate de aanwezigheid van deze eddy en depositie van materiaal. Dit betekent dat de variabele groeisnelheden van de alhier levende dieren een indirecte reflectie zijn van de variatie in de instroom van Atlantisch water. Op basis van de groeilijnpatronen van dieren uit de Fladengronden die ouder dan 30 jaar waren, werden chronologieën geconstrueerd die terug gaan tot het eind van de vorige eeuw. Deze chronologieën bleken een opvallende afwisseling te vertonen van perioden waarin de groei hoger was dan verwacht en periodes waarin deze lager was dan verwacht. Vergelijking met hydrografische data laat zien dat deze variaties waarschijnlijk gekoppeld zijn aan de instroom van Atlantisch water.

### **CONCLUSIE EN NABESCHOUWING**

Om beter inzicht te krijgen in het functioneren van mariene bentische ecosystemen heeft men dikwijls geprobeerd om aan de hand van veranderingen in de gemeenschapsstructuur, ingreep-effect relaties te bestuderen. Een dergelijke benadering kan veelbelovend kan zijn, maar wordt veelal gehinderd door een gebrek aan historische gegevens of is de natuurlijke variabiliteit binnen een gemeenschap te groot om met zekerheid zulke relaties aan te tonen. Bij de "gemeenschapsbenadering" blijven sublethale effecten zoals verminderde conditie, reproductie of groei veelal onopgemerkt. De resultaten van het hier gepresenteerde onderzoek illustreren dit in het bijzonder; *Arctica islandica* leent zich uitstekend voor een autoecologische benadering omdat deze soort een aantal specifieke eigenschappen combineert.

- Door zijn aantrekkelijke grootte en het gemak waarmee met het dier kan worden omgegaan, hebben veel onderzoekers *Arctica islandica* als onderzoeksobject gebruikt. Er is derhalve veel bekend met betrekking tot zijn fysiologie, gedrag en anatomie, hetgeen dus een enorme hoeveelheid achtergrond informatie verschaft.
- *Arctica* is een traag groeiende, lang levende soort met een onregelmatige broedval. De soort is daardoor extra gevoelig voor verstoring. Veranderingen in overleving en aanwas van juvenielen kunnen in sterke mate de populatie structuur beïnvloeden (Rees & Dare, 1993).

- Zijn geografische verspreiding, maar ook de uiteenlopende habitats waarin hij voorkomt, maken het mogelijk, een vergelijkbare dataset voor milieu veranderingen voor zeer uiteenlopende gebieden samen te stellen.
- *Arctica* voldoet aan alle eisen die aan een organisme gesteld worden voor het opstellen van zg. "biochronologieën" (Thompson & Jones, 1977).
- De soort is nauwelijks mobiel. Wanneer het dier zich eenmaal op de zeebodem gevestigd heeft, zal het niet noemenswaardig van plaats veranderen. Dit impliceert dat omgevingsomstandigheden in sterke mate het functioneren en overleven bepalen. Omdat schelpgroei in belangrijke mate bepaald wordt door de omgeving bevat ieder in de schelp aangelegd increment informatie over de milieucondities waaronder het increment werd gevormd. Juist hierin ligt de kracht van *Arctica*. Door deze informatie te ontsluiten, kunnen jaar-tot-jaar veranderingen in het milieu retrospectief bestudeerd worden. Zelfs voor perioden of plaatsen waarvoor geen andere datasets bekend zijn.

In eerste instantie lijken vooral de populatie ecologische aspecten van *Arctica* van groot belang voor het gebruik van deze soort als indicatororganisme. Het bestuderen van veranderingen in bijvoorbeeld de populatiestructuur wordt echter bemoeilijkt doordat de dichtheden in de Noordzee over het algemeen laag zijn en een kwantitatieve bemonstering moeilijk is. Ook is het gebrek aan kennis over de voortplanting van de in de Noordzee aanwezige populaties een gemis.

De aanleg van de jaarlijkse incrementen biedt echter perspectieven. Zoals eerder genoemd vormen zij een archief. Dit archief is tot nu toe vrijwel onbenut gebleven. Diverse voorbeelden, zoals gepresenteerd in deze studie, illustreren dit:

- De incrementbreedte zelf, geeft informatie over zowel temporele als ruimtelijke groeiverschillen (hoofdstuk 4, 5 en 7). Consistente geografische verschillen wijzen daarbij op structurele verschillen tussen zeegebieden en lijken voor de Noordzee goede graadmeters voor bentische voedselbeschikbaarheid te zijn.
- De temporele groeiverschillen kunnen aanwijzingen leveren over veranderingen die gelijktijdig plaats vinden in wijd uit elkaar gelegen zeegebieden en kunnen daarbij aanwijzingen geven voor de onderliggende grootschalige processen. Dit onderwerp werd gedeeltelijk behandeld in hoofdstuk 7. Inzicht in de aard van de groeiverschillen maakt het ook mogelijk de effecten van menselijk handelen af te wegen t.o.v. natuurlijke invloeden.
- De veranderingen in de uiterlijke verschijningsvorm van een increment kan ook informatie geven over de frequentie waarin fysische verstoringen van het bentische milieu optreden, bijvoorbeeld bodemvisserij (hoofdstuk 6).

### Summary and conclusions

---

- De chemische samenstelling van ieder increment is een andere waardevolle bron van informatie. Hoewel de isotoop samenstelling van de incrementen werd gebruikt om de jaarlijkse vorming daarvan vast te stellen kan het omgekeerde ook. De chemische samenstelling van elk increment kan gebruikt worden voor het samenstellen van tijdseries van bijvoorbeeld vervuilende stoffen. Met name moderne bemonsterings- en (nucleaire) analysetechnieken zoals PIXE (Proton Induced X-ray Emission) en INAA (Induced Neutron Activation Analyses) kunnen tot een zeer hoge, zelfs seizoenale, resolutie leiden (Nyström, 1995).

In dit proefschrift zijn slechts een aantal van de bovengenoemde aspecten aangestipt. Deze illustreren voldoende dat *Arctica islandica* met zijn jaarlijkse groeilijnen en groeiincrementen een volwaardig indicatororganisme is, waarmee milieuveranderingen retrospectief bestudeerd kunnen worden.

---