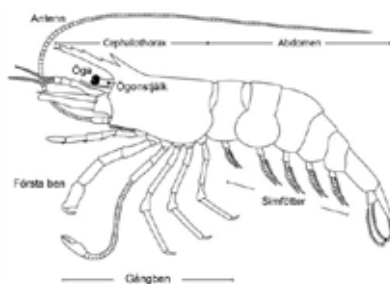


Karyupha Jittivadhna^a, Timothy W. Flegel^{b,c},
Pintip Ruenwongsa^a och Bhinyo Panijpan^a

^aInstitute for Innovative Learning, Mahidol University, 999 Phuttamonthon 4 Road, Salaya, Nakhon Pathom 73170, Thailand; ^bCentex Shrimp, Faculty of Science, Mahidol University; och ^cNational Center for Genetic Engineering and Biotechnology, 272 Rama 6 Road, Rajathevi, Bangkok 10400, Thailand

Biokemin hos dekapoda kräftdjur



Figur 1. Schematiskt kräftdjur, som visar termer som används i texten. (Modifierat efter Waldo L. Schmitt, Ann Arbor: University of Michigan Press, 1965).

Människor, som tycker att de känner till havslevande djur, kanske tror att räkor kräftor, humrar och krabbor är nära släktingar. Fastän dessa djur inte är så nära släkt som syskon, så hör de emellertid till samma taxonomiska grupp (Ordning Dekapoda, Klass Kräftdjur, Stam Leddjur) [1]. De har segmenterade kroppar, som är uppdelade i två delar (framkropp/cephalothorax och bakkropp/abdomen), två par antenner och fem par ben, av vilka de två främsta ofta är försedda med klor (Fig 1).

Ett hårt yttre skal eller skelett, exoskelett (kutikula), ger skydd, stöd, ökad yta och flexibilitet för muskelfästen. De fem paren ben, som används till olika ändamål, fäster på framkroppen, som består av huvudet, som vuxit samman med mellankroppen (thorax), ger ordningen dess namn "dekapoda kräftdjur". Det första paret har vanligen klor (stora hos krabbor och humrar och små hos räkor), medan de andra paren används att gå med och ibland är specialiserade för hantering av föda eller när det gäller det bakersta paret kan användas vid parning eller simning.

Speciella simben (fästade parvis vid bakkroppssegmenten) hjälper till vid simning, balansering och på vilka ägg och embryon kan vara fästade. Dekapoderna andas med hjälp av gälar, som sitter skyddade under den oledade delen av exoskelettet (kallat carapax), som täcker framkroppen. Varje gäle är fästad på utsidan av innersta leden av varje gångben. Vatten drivs fram över räkornas, humrarnas och kräftornas gälar med hjälp av bihang som sitter fästade på basen av dessa ben. Den nästan slutna gälkammaren hos krabbor gör att vatten eller fukt hålls kvar, så att några arter t o m kan vandra upp på land. Dekapodernas komplexögon sitter fästade på rörliga skaft, så att ögonen kan riktas åt olika håll. Antennerna används till att känna av olika saker, såsom känsel, lukt, smak och ljud. Den stora variationen i kroppsform och färg hos olika dekapoder kan man få se på vissa fisk- och skaldjursrestauranger.

Korrespondens:
E-post: scbpn@mahidol.ac.th (B. Panijpan)

Räkor, humrar och kräftor finns i många olika färger.

Olika arter av dekapoda kräftdjur uppvisar en rad av olika blå, gröna, bruna och gula kroppsfärger, som beror på närvaron av pigmentet xantofyll-karotenoid-astaxanthin (3,3-dihydroxy- β,β' -karoten-4,4'-dion) som är inkapslat i proteinbärare, som finns inbäddade i exoskelettet eller i pigmenterade celler (kromoforer) under kutikulan.

Det bäst kända karotenproteinet är det blå α -crustacyanin från hummer *Homarus gammarus*. Det består av 16 protein-subenheter med 16 bundna astaxanthinmolekyler. Astaxanthin (Box 1) är ett rött pigment, som när det är komplexbundet till olika karotenproteiner genomgår en bathokromisk förändring av sitt spektrum (Box 2): när astaxanthin komplexbinds med crustacyanin ändras toppen på absorptionsspektrum till en ca 160 nm längre våglängd ($\lambda_{\max}=632$ nm) jämfört med våglängdsmaximum för fritt astaxanthin ($\lambda_{\max}=472$ nm). Denna förändring ger blåtoningen av hummerskalen [2]. Molekyldesigners har använt sig av denna färgmekanism till att producera olika lösliga färger, som t ex kan användas som karamellfärger. Själva astaxanthinet är en kraftfull antioxidant, som är möjlig att användas förebyggande och till behandling av vissa sjukdomar hos människan (t ex arterioscleros, åldersrelaterad makuladegeneration, neurodegenerativa sjukdomar, cancer, *Helicobacter pylori*-infektioner och reumatoid arthrit) [3]. På grund av sin vattenlöslighet är crustacyanin av farmakologiskt intresse som bärare av astaxanthinmolekylen.



Figur 2. Räkor får en ljus orange färg när de kokas.

Dekapoderna blir orangeröda när de kokas

När dekapoderna är levande är skalens vanligen blå-gröna till bruna. Detta ger dem värdefullt kamouflage i deras naturliga omgivning. När de kokas blir de orangeröda på grund av den hypsokroma förändringen av astaxanthins absorptionsspektrum, som sker när karotenproteinerna denatureras på grund av den höga temperaturen (Fig 2). Denna tilltalande färg är beroende av mängden astaxanthin, som finns i de hypodermala kromoforererna och i skalet. Astaxanthin har också många vitala fysiologiska roller, framförallt för de dekapoda kräftdjurens hälsa. Det tjänar som antioxidant, förstadium till hormoner, immunförstärkare och provitamin A, dessutom spelar det en roll för reproduktion, tillväxt, mognad och skydd mot ljus.

För människor har astaxanthin använts som näringstillskott kallat vitamin E, på grund av dess starka antioxidanta egenskaper. För att få i sig en tillräcklig mängd astaxanthin behöver man inte äta stora mängder dekapoder, eftersom många astaxanthinprodukter; både syntetiska och naturligt förekommande (t ex de som erhålls från grönalgen, *Haematococcus pluvialis*, och den röda jästsvampen, *Phaffia rhodozyma*) finns tillgängliga i handeln. Skalrester från dekapoder, som erhålls från skaldjursindustrier, utgör en billig möjlighet att framställa detta värdefulla orangeröda pigment, som också används i djurföda.

Skaldjur har en tilltalande doft

Den orangeröda färgen som ger en färgton åt dekapodernas vita kött och den angenäma aromen som uppstår vid kokning, gör räkor, hummer och krabba till populära skaldjur i många länder (Fig 3). De flyktiga skaldjurskomponenterna omfattar kväve- och svavelinnehållande ämnen, ketoner, aldehyder, alkoholer, estrar, kolväten, pyraziner, pyridiner, amider, aminer och andra ämnesgrupper.



Figur 3.
Skaldjurscocktail
med kryddig limesås

En del av dessa finns inte eller i mycket låg koncentration i det råa köttet, men i högre koncentration i kokt kött. Man har hittat mer än 100 omättade metylketoner, inklusive 40 svavel- och/eller kväveinnehållande ämnen i kokat räkvavfall. De vanligaste väldoftande ämnen som isolerats från räkor och humrar är enkla bromfenoler som 2- och 4-bromfenol, 2,4- och 2,6-dibromfenol samt 2,4,6-tribromfenol. Dessa kommer från plankton och från t ex maskar, som dekapoderna äter. Bromfenolerna ger en stor del av den marina eller oceanliknande doften till skaldjuren och finns i högre koncentrationer i det kött som finns i kräftdjurens framkropp än det som finns i stjärt delen. Därför är smakkomponenterna i räkhuvuden högt värderade som smaktillsatts.

Figur 4. Foto av den blå simkrabban *Portunus pelagicus*: överst levande och underst efter kokning. Till skillnad från räkor, humrar och kräftor är krabbans stjärt mycket liten och det mesta av det ätliga köttet finns i framkroppsregionen.



Starka muskler från dekapodstjärtar gör att det vattnas i munnen

Räkor, hummer och kräftor har en avlång bakkropp, vanligen kallad stjärt, som är mycket smakfull, när den är väl tillredd. I motsats är krabbornas bakkropp mycket liten och det mesta ätbara krabbköttet finns i framkroppen och i klorna (Fig 4). All muskulatur som finns i dekapodstjärten är tvärstrimmig, med väldefinierade sarkomerer. Det fascinerande mekaniska arrangemanget, som en komplex spiralbana, karakteristisk för muskler hos andra djur, finns också hos dessa djur och den molekylära mekanismen att överföra kemisk till mekanisk energi är också likartad, fastän detaljer i processen kan skilja sig åt. Muskler som kontrollerar rörelser i stjärten hos räkor, humrar och kräftor kan indelas i fyra typer: långsamma och snabba böj- och sträckmuskler.

De ventrala snabba böjmuskler och de dorsala snabba sträckmuskler tar upp mest plats i bakkroppen och utgör den mekanism som skapar den snabba baklänges-accelerationen vid flyktreaktioner.

Dekapoderna hoppar bakåt när de blir rädda

Dekapoderna går eller simmar normalt långsamt. När de känner sig hotade, kan de emellertid använda sin stjärt och driva sig uppåt och bakåt i en serie knyckar för att komma bort från hotet. I början av en plötslig muskelaktivitet ökar användandet av ATP mångfaldigt. Vid återfosforylering av ADP används först den energirika fosfatgruppen i fosfagen. När detta är förbrukat bryter musklerna ner glykogen för att möta energibehovet [4].

Fosfagen är fosforyliserade guanidinföreningar (t ex fosforyliserat kreatinin eller arginin, som reagerar med ATP genom en reversibel reaktion katalyserad av fosfagenkinas). Våra muskelceller innehåller ett kreatinfosfat per kreatininkinassystem, som förser musklerna med den energi, som gör att de kan arbeta snabbt under 8-10 sekunder. Detta är det huvudsakliga energisystem som används av kortdistanslöpare eller tyngdlyftare när snabb acceleration under kort tid är nödvändig. De dekapoda stjärtmusklerna innehåller ett system med arginfosfat/argininkinasa, som tillåter en snabb, explosiv flykt, som är mycket kortvarig. De snabba flexor- och extensormusklerna är ansvariga för detta flyktmönster.

Vissa människor blir sjuka av dekapoder

Många människor drömmer om cocktailräkor, en halv hummer i sitt skal eller kungskrabba till fest. Men för människor med skaldjursallergier är detta en mardröm. De huvudsakliga allergenerna är specifika sekvenser av aminosyror som binder till immunoglobulin E (IgE) och kan ge klåda runt ögon eller i svalg, mun och hud. Bland de dekapoda kräftdjuren är räkor vanligen kända för att orsaka IgE-medierade, skadliga reaktioner. Upp emot 13 IgE-bindande proteiner har upptäckts i räkkött. Det 34-39 kDa stora muskelproteinet tropomyosin anses vara det vanligaste räkallergen. Det korsreagerar med tropomyosin, som finns i andra dekapoder. IgE-molekyler från patienter som är allergiska mot kräftdjur, binder emellertid inte till tropomyosin från höns eller däggdjur.

Andra proteiner som förekommer naturligt, argininkinasa och det calciumbindande proteinet i sarcoplasma från räkan *Penaeus monodon* och den lätta kedjan hos myosin från räkan *Litopenaeus vannamei*, kan också orsaka allergiska symtom hos en del individer [5]. Dessa allergener är motståndskraftiga mot livsmedelsbearbetning och matsmältning hos människan. Tyvärr kan man inte ta bort dessa allergener, ty de är nödvändiga för kräftdjurets överlevnad. Tropomyosin, sarcoplasmiskt protein och den lätta kedjan hos myosin behövs för muskelkontraktion, medan argininkinasa katalyserar den reversibla överföringen av den energirika fosforylgruppen i reaktionen $\text{ATP} + \text{arginin} \rightleftharpoons \text{ADP} + \text{fosfoarginin}$ (Box 3). Att ta bort dem genom att avlägsna generna för dessa skulle inte fungera. I stället modifierar en grupp forskare aminosyresekvensen för tropomyosin, så att den inte kan binda till IgE. Muterat tropomyosin kan då överföras från en räkgeneration till nästa. Detta kan minska allergeniteten, om inte något nytt allergen bildas från den förändrade molekylen.

Dekapoder har blått blod

Djurblod kan finnas i flera andra färger än rött. Den karakteristiska färgen beror på det syrebindande proteinet i oxiderat tillstånd. Leddjuren, inklusive dekapoderna, har metallen koppar i sitt syrebindande protein. Det kallas hemocyanin och ger blått blod när det är syresatt (Box 4). Hemocyanin består av många hexamerer som innehåller subenheter på 75 kDa. Syremolekylen är bunden till två kopparjoner, där var och en är omgiven av tre histidiner. Cu(I) är närvarande i det deoxygenerade tillståndet och Cu(II) när det är bundet till O₂-.

Röntgenstråle-diffraktionsstudier av hemocyanin hos spindeln *Eurypelma californicum*, hästskokrabban *Limulus polyphemus*, abalonen *Haliotis tuberculata* och jättebläckfisken *Octopus dofleini* har visat att den syrebindande platsen på leddjurens och blötdjurens hemocyaniner är mycket lika både när det gäller koordination av koppar via histidinligander och på det sätt som syre är bundet. Leddjurens hemocyanider har sekvenser som liknar leddjurens hemolymf-fenoloxidaser, som behövs för härdningen av kutikulan (skalet) och i det naturliga immunförsvaret. Leddjurens hemocyaniner är multifungerande molekyler, som är syrebärare, buffertar och bärare av hormoner som behövs vid skalömsning och troligen också som byggstenar i skalet [6].

Dekapoderna har flera försvarssystem

Dekapoderna utgör energi- och näringskälla för människor och andra djur. De måste därför också kunna undvika, tolerera eller försvara sig mot fiender, som predatorer, parasiter och konkurrenter. Den yttre strukturen som skyddar den ömtåliga, mjuka vävnaden omfattar det kitinösa exoskelettet och klorna som kan vara så kraftiga hos vissa kräftdjur, så att de kan krossa ett finger med ett enda hårt tryck!

Hos arter med mindre klor, som räkor och vissa kräftdjur är kraftfulla bakåtslag med den starka stjärten den huvudsakliga försvarsmekanismen. Dekapoderna använder också sitt hårda skal, som en första försvarsbarriär mot patogener (smittämnen). När dessa brutit sig igenom, startar ett komplext samarbete mellan naturliga hormoner och cellulära immunreaktioner, som kan resultera i att mikroorganismerna går under.

Text är melanisering av parasiter är ett välkänt fenomen hos dekapoda kräftdjur. Melaninsyntes startas av fenoloxidas, som kan aktiveras via en enzymkaskad och delar av mikrobernas cellväggar. Hemocyanin, det kopparinnehållande syretransportproteinet deltar också i försvar mot inkräktare, eftersom det också reagerar likt fenoloxidas [7]. Dessutom bildar dekapoda kräftdjur åtminstone tre familjer antimikrobiella peptider, som kallas penaeidiner, crutiner och antilipopolysackarider, som visar prov på ett brett spektrum aktivitet mot svampar, virus, bakterier och parasiter.

Dekapoderna ömsar ibland sitt exoskelett

De dekapoda kräftdjurens exoskelett består av flera lager icke cellulärt kitiniserat material, som bildas från underliggande epidermal vävnad. Kroppen, bihangen, ögonbulber och mage är täckta av detta exoskelett. Ett förkalkat och hårt exoskelett begränsar storleken och tillväxten. Därför måste dekapoderna ömsa skal periodvis för att kunna växa. Skalömsning sker oftare ju yngre djuret är. Larvstadier hos t ex den svarta tigerräkan ömsar hud varje dag, medan juvenila stadier i odlingar ömsar hud var 7-14 dag. När det är dags för hudömsning bildas först ett mjukt exoskelett under det gamla, från vilket kalcium har lösts upp. Djuret sväller upp och pressar snabbt ut det gamla exoskelettet, som spricker upp dorsalt, mellan framkroppen och bakkroppen. De är sedan mycket känsliga för angrepp under flera dagar, tills förkalkning och härdning av det nya exoskelettet skett. Den huvudsakliga komponenten i kräftdjursskalen är kitin, en polymer av N-acetyl- β -D-glukosamin, associerad med proteiner och impregnerat av kalciumkarbonat. Skalömsningen börjar med att ett nytt exoskelett bildas under det gamla, något som omfattar utsöndring av skalömsningvätska, som innehåller proteaser och kitinaser, som bryter ner några av huvudbeståndsdelarna i det gamla skalet, som separeras från epidermis. Syntes av nytt exoskelett börjar med sekretion av proteiner och kitin fibrer genom epidermiscellernas yttermembran. Under tiden blir skalömsningvätskan kvar mellan det gamla och nya exoskelettet. Epidermis skyddas mot matsmältningsenzymer i skalömsningvätskan av ytterskiktet (epikutikulan) på det nybildade exoskelettet [8].

Skalömsningen kontrolleras av hormoner

Den periodvis förekommande skalömsningen påbörjas när skalömsningshormoner som kallas ecdysteroider bildas, en grupp polyhydroxisteroider. Hos kräftdjurens sk Y-organ, som finns på basen av det första antennenparet bildas och utsöndras ecdyson och 3-dehydroecdyson, som ombildas till 20-hydroxyecdyson, den biologiskt aktiva substansen. Genom reglering av detta hormon lossnar förbindelsen mellan epidermis och exoskelettet och tar upp vatten, vilket resulterar i en storlekstillväxt. Efter varje skalömsning hårdnar exoskelettet och vattnet ersätts gradvis av vävnad. Ecdysteroid kontrolleras negativt av ett hormon som förhindrar skalömsning (MIH), som utsöndras från X-organet, som finns i ögonstjälken. MIH tillhör kräftdjurfamiljens hyperglykemiska hormon (CHH). Ett cDNA för MIH hos räkan *Penaeus monodon* (MIH 1) kodar för 77 aminosyror inklusive sex cysteiner, som också finns hos andra CHH familjer och en glycindel i position 12, som är karakteristisk för typ II peptider i CHH familjen [9].

Honräkor kan behöva offra ett öga på fruktbarhetens altare

Mognad av äggstockarna, äggläggning och produktion av sädesceller av hög kvalitet är viktigt för fisk- och skaldjursodlare. Borttagande av den ena ögonstjälken hos olika arter av honräkor under äggmognads- och reproduktionsperioden är vanligt vid kläckerier världen över. Detta är en nyckelupptäckt som gjort att odling av räkor kan bli en ekonomiskt livskraftig och stor verksamhet. Efter borttagandet blir räkhoneorna "äggläggningmaskiner" under ungefär en månad. Därefter är de utslitna och kasseras. Man tror att ett könsinhibitoriskt hormon (GIH) bildas i de neurosekretoriska komplexen i ögonstjälken och att dess hindrande effekt reduceras efter man tagit bort ögonstjälken och ögat på denna. GIH tycks uppträda mellan fortplantningsperioderna och är frånvarande eller finns i låg koncentration under dessa. Borttagande av ögonstjälken kontrollerar också sekretionen av MIH från X-organet. Hos många räkor sker skalömsning under äggbildningen och är nära synkroniserad med reproduktionen. Hormonell manipulation av räkornas fortplantning är därför begränsad till borttagande av ögonstjälken, men effekten av detta kan också påverka andra fysiologiska processer. Man kanske inte behöver ta bort ögonstjälken hos räkor när man bättre känner till hur de olika hormonerna som är inblandade i fortplantningen fungerar och därför kan kontrollera den mer finstämt. Detta blir särskilt fördelaktigt när genetiskt förbättrade och domesticerade räkbestånd blir tillgängliga för räkindustrin. Efter att man stimulerat räkor till fortplantning kan då räkorna få tid för att vila och återhämta sig, innan man stimulerar dem på nytt för äggproduktion.

Mjuka skalömsande hontigerräkor söker hannar som fått hårt skal efter skalömsning

Parningen hos de svarta tigerräkorna *Penaeus monodon* sker vanligen omedelbart efter att honan ömsat skal, medan hennes exoskelett fortfarande är mjukt och könsmogna, hårdskaliga hannar kan utföra sin fortplantningsakt. Honräkorna tar emot ett spermapaket från hannarna och förvarar dem i en speciell ventral kammare, som är täckt av en tjock kutikula. Sperman mognar i kammaren mellan skalömsningsperioderna och släpps ut tillsammans med äggen under äggläggningsperioden. Hannarna behöver alltså inte vara närvarande vid äggläggningen. Om honorna utvecklar mogna äggstockar utan att tidigare ha parat sig kan spermapaketet från könsmogna hannar stickas in i spermakammaren (artificiell insemination). Den vita rakan *Penaeus vannamei* har däremot ingen sluten spermakammare och hannen måste finnas närvarande vid befruktningen. Parning och befruktning hos dekapoda kräftdjur är artspecifik. Hos rakan *Penaeus monodon*, måste fastsättandet av sperman och inträngandet i ägget ske inom en minut efter parning. Efter den acrosomala reaktionen, förhindrar en tjock kläckningsmembran inträngande av andra spermier. Man har emellertid ibland observerat att mer än en spermie har trängt in genom äggskallet. Om polyspermi sker, tycks det inte orsaka befruktningsproblem. Man tror att det innebär en fysiologisk adaptation hos många kräftdjur.

Tigerräkornas spermatorer har ett "bäst före datum"

Hos dekapodhannar är de endokrina och gametogena funktionerna skilda åt i två olika organ, den androgena körteln (AG) och testiklarna. Androget hormon utsöndras av AG och tycks vara ett glykolyserat protein och det maskulaniserar de primära (spermatogenesen) och sekundära (yttre morfologi) sexuella karaktärerna inklusive beteendet. Sötvattensräkan *Macrobrachium rosenbergii* byter kön fullständigt från hane till neohona och från hona till neohanne vid ett tidigt mognadsstadium genom bilateral androgen körtelborttagning och genom transplantation. *M. rosenbergii* som har genomgått könsbyte är kapabla att para sig med normala räkor och producera avkomma [10]. Tigerräkornas hannar bildar spermatorer inom könsgången inom samma skalömsningscykel. Spermatorer som inte använts under en längre tid melaniserar och hårdnar, vilket gör hannen impotent. Manuell eller elektrisk inducerad ejakulation kan ta bort melaniserade spermatorer. Dessa metoder används ofta för att hålla hannarna i god kondition i frånvaro av receptiva honor. Hannarna genomgår emellertid en periodiskt nybildningsprocess av spermier. Detta innebär en acellulär nedbrytning av matrix och fagocytos av gammal sperma, som induceras av en översköljning av ecdysteroider före hudömsningen. Denna regelbundna händelse, som hänger ihop med skalömsningscykeln, kanske också tillför hannarna kamplust.

Dekapoder blir vad de äter

Dekapoda kräftdjur är inte bara viktiga predatorer, utan också bytesdjur i näringskedjan. De kan vara karnivorer, omnivorer eller asätare. I naturligt tillstånd äter dekapoderna en stor variation av små ryggradslösa djur och växter och dieten, som bör vara av hög kvalitet, är nyckeln till god hälsa och bra produktion av nya generationer. Som nämnts tidigare är astaxanthin en mycket värdefull karotenoid från mikroalger eller fytoplankton och en viktig antioxidant, som är ansvarig för den orangeröda kroppsfärgen, som framträder efter kokning.

Havsborstmaskar (Polychaeter) [11], är den vanligaste komponenten i födan hos de vilda räkorna, vilket ger dem bra, omättade fettsyror, som är viktiga för stimulering av äggstockarnas mognad. De bildar också höga koncentrationer av bromfenoler, vilket ger dem en skaldjursodör. Mineraler som absorberas från vatten fordras för dekapodernas fysiologiska processer. Kalcium, som gör att skalet hårdnar, behövs också och det får de från zooplankton och skaldjur som de äter. Slutligen är aminosyror, som de får genom att äta proteinrik föda (vid odlingar t ex från bläckfisk) viktiga, för att bygga upp muskelstyrka och för att bilda det smakrika stjärtköttet. En obalanserad föda (näringsfattig eller alltför näringsrik) kan emellertid hos dekapoda kräftdjur orsaka sjukdomar likartade dem hos människan.

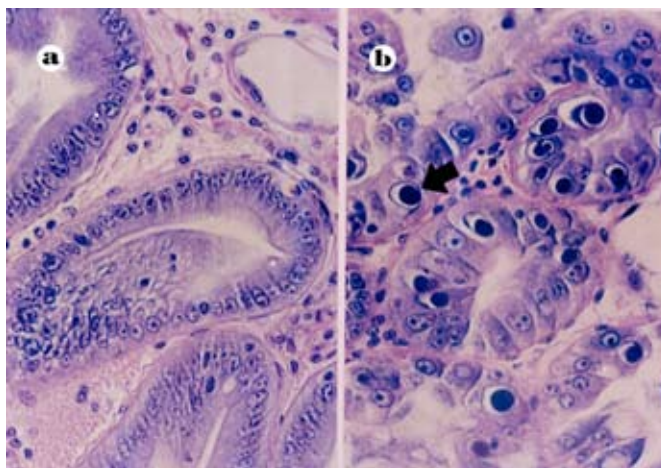
Räkor som dukar under för mikrobiella infektioner är en mardröm för vattenbrukaren



Figur 5A. Till vänster en 4 månader gammal *Penaeus monodon*, som är av normal storlek och med grönbrun färg. Till höger en ovanlig räka från en damm där det förekommit ett utbrott av ett Hepatopankreas Parvo-liknande virus (HPV). Frånvaro av plankton i denna räkkultur orsakade Blue Colour Syndrome.

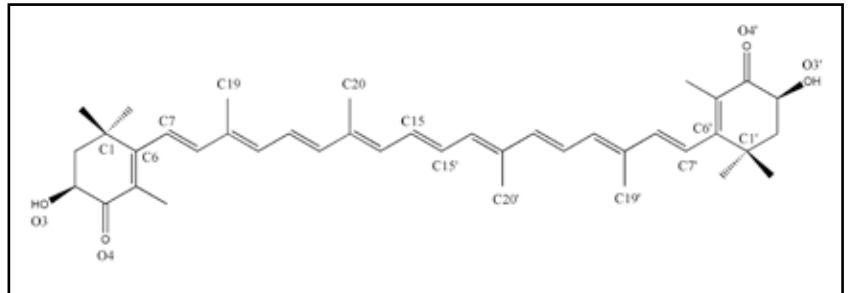
De dekapoda kräddjuren stöter på många mikroorganismer som kan vara nyttiga och gynnsamma eller opportunistiska och starkt sjukdomsframkallande. Eventuella patogener omfattar virus, bakterier, svampar, rickettsia och parasiter från både protozoer och metazoer. Början på en sjukdom sker när djuren kommer i kontakt med en kritisk massa patogener under förhållanden som är lämpliga för dessas utveckling (Fig 5A + 5B). På senare år har stora ekonomiska förluster i aquakulturer skett, orsakade av sjukdomsframkallande virus. Förvånansvärt är att infektioner av enstaka eller blandade virus utan större tecken på sjukdom är vanligt hos räkor, andra kräddjur och leddjur i allmänhet.

Samspelet mellan räkor och virus på cellulär och molekylär nivå är idag dåligt undersökt. Detta står i kontrast till kunskapen man idag har om räkor och bakterie- och svamppatogener [12]. När räkor i samma damm infekterats av patogener förblir vissa räkor friska medan andra insjuknar. Kunskap om räkornas genetik skulle förse oss med information om hur räkor kan bli toleranta mot svåra virusinfektioner. Sekvensering av räkgenomet skulle ge oss möjlighet att upptäcka gener som kan förbättra djurens immunsystem samt genetiska markörer för sjukdomsresistenta gener. Friskare varianter av räkor skulle då kunna utvecklas genom selektiv uppfödning av domesticerade raser. Räkodlare, som har tillgång till raser med sjukdomsresistens och snabb tillväxt, tar en mindre risk vid odling och får en mer stabil inkomst. Förverkligandet av en sådan robust räka har forskaren, odlaren och förbrukaren nytta av på flera sätt.



Figur 5B. Histologiskt snitt av hepatopankreas hos *Penaeus monodon* (a) Hepatopankreatiskt Parvo-liknande virus (HPV), negativt snitt (b) HPV positivt snitt, som visar uppsvälda kärnor i infekterade celler (pilen). Båda bilderna är tagna med samma förstoring. HPV kan orsaka långsam tillväxt i räkan genom att skada cellerna i hepatopankreas, vars huvudfunktion är att bilda enzymer för matsmältning och lagring av födan.

Boxar

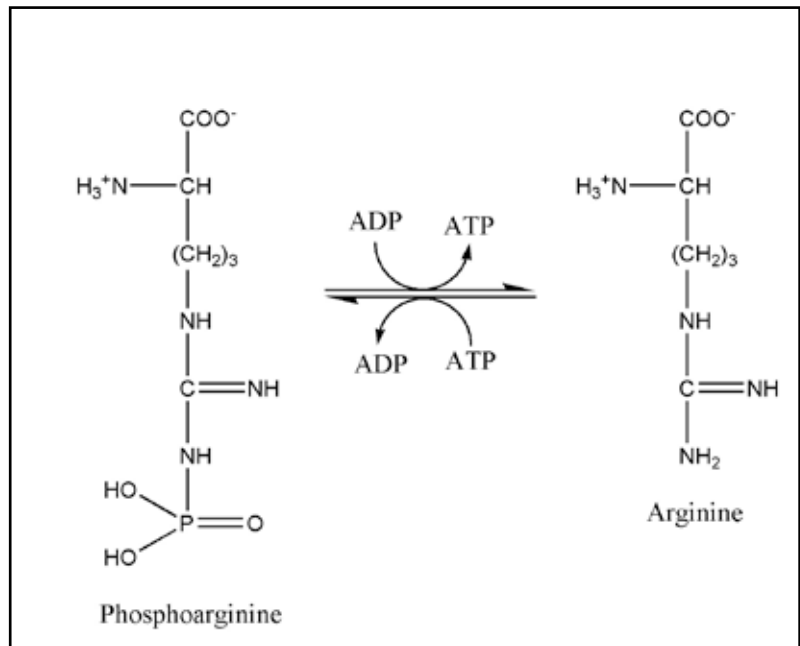


Box 1. Strukturformel för astaxanthin.

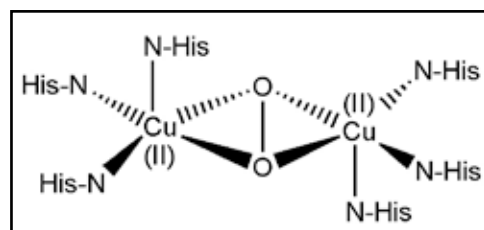
Bathokromisk förändring är en förändring av positionen av en molekyls absorptionsband för maximum till en längre våglängd. Detta kan ske på grund av förändringar i omgivande faktorer, t ex en förändring i lösningens polaritet. I detta fall är förändringarna proteinet som är bundet till kromoforerna.

Hypsokromisk förändring är en förändring av bandpositionen till en kortare våglängd.

Box 2.



Box 3. Fosfatöverföringsreaktionen katalyserad av enzymet argininfosfokinase.



Box 4. Strukturformel för artropod hemocyanin.

Tillkännagivande

K. Jittivadhna erhåller ett stipendium från the Tertiary Education Commission, Ministry of Education. Författarna tackar Pitakpong Kompudsa (Institute for Innovative Learning, Mahidol University, Thailand) och Amphol Jittivadhna för det generösa tekniska stödet.

Referenser

- [1] <http://decapoda.nhm.org>
<http://www.dnr.sc.gov/marine/sertc/Crustacean%20gallery.htm>
<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/04etta/background/decapods/decapods.html>
- [2] Chayen, N.E., Cianci, M., Grossmann, J.G., Habash, J., Helliwell, J.R., Nneji, G.A., Raftery, J., Rizkallah, P.J., Zagalsky, P.F. (2003) Unravelling the structural chemistry of the colouration mechanism in lobster shell. *Acta Crystallography* 59, 2072-2082.
- [3] <http://www.astaxanthin.org>
- [4] Onnen, T., Zebe, E. (1983) Energy metabolism in the tail muscles of the shrimp *Crangon crangon* during work and subsequent recovery. *Comparative Biochemistry and Physiology* 74, 833-838.
- [5] Ayuso, R., Grishina, G., Bardina, L., Carrillo, T., Blanco, C., Ibáñez, M.D., Sampson, H.A., Beyer, K. (2008) Myosin light chain is a novel shrimp allergen, Lit v 3. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 122, 795-802.
<http://www.aafa.org>
- [6] Decker, H., Jaenicke, E. (2004) Recent findings on phenoloxidase activity and antimicrobial activity of hemocyanins. *Developmental & Comparative Immunology* 28, 673-687.
- [7] Lee, S. Y., Lee, B.L., Soderhall, K. (2004) Processing of crayfish hemocyanin subunits into phenoloxidase. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 322, 490-496.
- [8] Merzendorfer, H., Zimoch, L. (2003) Chitin metabolism in insects: structure, function and regulation of chitin synthases and chitinases. *Journal of Experimental Biology* 206, 4393-4412.
<http://www.shrimpcrabsandcrayfish.co.uk>
- [9] Yodmuang, S., Udomkit, A., Treerattrakool, S., Panyim, S. (2004) Molecular and biological characterization of molt-inhibiting hormone of *Penaeus monodon*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 312, 101-114.
- [10] Sagi, A, Aflalo, E.D. (2005) The androgenic gland and monosex culture of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man): a biotechnological perspective. *Aquaculture Research* 36, 231-237.
- [11] <http://www.bbc.co.uk/nature/class/Polychaete>
- [12] Flegel, T.W. (1997) Major viral diseases of the black tiger prawn (*Penaeus monodon*) in Thailand. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 13, 433-442.