GÖTEBORGS UNIVERSITET

INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH MILJÖVETENSKAP

PÅVERKAR LJUSFÖRHÅLLANDEN AKTIVITETEN HOS DEN AKUT HOTADE ÅLEN (ANGUILLA ANGUILLA)?

Christian Teittinen

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet biologi
BIO602 Biologi: Examensarbete 15 hp
Grundnivå
Termin/år: Vårtermin 2022
Handledare: Johan Höjesjö, Institutionen för Biologi och Miljövetenskap
Examinator: Staffan Anderson, Institutionen för Biologi och Miljövetenskap

Bildkälla: Eget foto 2022.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 2
Abstract 2
1. Introduktion 3
1.1 Ålens livscykel 3
1.2 Den hotade ålpopulationen 3
1.2.1 Naturliga orsaker till ålens minskning. 4
1.2.2 Antropogena orsaker till ålens minskning. 4
1.3 Ljus som miljöfaktor 4
1.3.1 Ljusets påverkan på den europeiska ålens beteende och utveckling. 5
1.3.2 Ljus som miljöfaktor i labbmiljö 5
1.4 Syfte och hypotesformulering 6
2. Material och metod 6
2.1 Insamling av ål, förvaring och acklimatisering 6
2.2 Behandling (mörker/ljus) 6
2.2.1 Ljusförhållanden under behandlingen 6
2.2.2 Tillvägagångssätt under behandlingsförsök 7
2.3 Datainsamling och analys 8
2.3.1 Beteendeanalys och datainsamling från videomaterial 8
2.3.2 Statistisk analys 9
2.4 Etiskt tillstånd 9
3. Resultat 9
3.1 Rörelseaktivitet 9
3.2 Rymningsförsök 10
3.3 Pigmentering 11
4. Diskussion 11
4.1 Rörelseaktivitet 11
4.2. Skillnader i rörelseaktivitet mellan dag 1 och 2 12
4.3 Rymningsförsök 12
4.4 Alternativa analysmetoder 12
4.5 Framtida försök 13
5. Slutsats 13
6. Tackord 13
7. Referenslista 14

Sammanfattning

Den europeiska ålen, *Anguilla anguilla*, är en nattaktiv fiskart som under sitt liv vandrar, tur och retur, från Sargassohavet till sötvattensdrag i Europa och norra Afrikas inland. Ålen är rödlistad som akut hotad (CR) eftersom den minskat globalt med 90 - 95 % sedan 50-talet. I arbetet med att stötta ålens återhämtning är kunskap om olika miljöfaktorers påverkan på ålens beteende viktigt. Eftersom ålen är en nattaktiv fisk är ljus potentiellt en sådan miljöfaktor. Man har sett att ålen uppvisar ett generellt undvikande av ljus, att belysta vandringsleder kan öka energiförbrukning som resultat av ökad rörelsehastighet, samt att starkt ljus i ålens tidigaste stadier kan ha negativa effekter på utvecklingen. På senare år har det utförts beteendestudier på ål inomhus i labbmiljö kopplat till rörelseaktivitet och ålens vandring. I kontexten av dessa beteendestudier är kunskap om vilken påverkan ljuset har på ålens beteende av betydelse för att kunna minimera labbmiljöns påverkan, vilket var fokuset för denna studie. Studien undersökte ålyngels rörelseaktivitet i mörker (0 lux), resp. ljus (ca. 200 lux) i en ”open field”-miljö. Försöken pågick under två dagar där totalt 22 yngel genomgick båda behandlingarna (ljus / mörker) där de filmades under 10 minuter. Rörelseaktiviteten och rymningsförsök uppmättes och analyserades utifrån filmmaterialet. Hypotesen var att ålens rörelseaktivitet skulle skilja sig beroende på behandling. Även om det fanns en liten skillnad där yngel hade en högre genomsnittlig rörelseaktivitet i mörker, gick något sådant samband inte att fastställa med signifikans. Antalet rymningsförsök var något mer frekvent under ljusbehandling men inte heller det sambandet kunde fastställas helt. Ljusförhållanden kan ha en påverkan på ålens beteende både i labb och fält men det behöver valideras i framtida studier.

Abstract

The European eel, *Anguilla anguilla*, is a nocturnal species of fish. During its lifetime the eel migrates between the Sargasso Sea and the freshwater rivers and lakes in Europe and north Africa. The European eel is listed as critically endangered (CR) since the global population has experienced a 90 – 95 % decrease since the 1950´s. For conservation, knowledge of how different environmental factors affects the behavior of the eel is very important. Since the eel is a nocturnal fish, light might be such an environmental factor. Studies have observed that the eel shows a general avoidance towards light, illuminated migrating routes can increase energy consumption resulting from increased swimming speed, and that high light intensities during the earliest stages in the eel’s life can have very negative effects on the development. In the past, several behavioral studies on eel have been done in a laboratory environment, looking at locomotor activity and migration. In context of these behavioral studies, knowledge of how light conditions affects the behavior of the eels is important to further decrease the impact of the laboratory environment, which was the focus of this study. The study compared the locomotor activity of eel fry in darkness (0 lux), and in light (200 lux), in an open field environment. The attempts ran for two days where 22 eels went through both treatments and were filmed for 10 minutes. The locomotor activity and escapement attempts were measured from the video material. It was hypothesized that there would be a difference in activity between the two treatments. Even though the data showed a slight difference in activity, where the activity were higher in the dark treatment, there wasn´t a significant difference. Escapement attempts was more frequent in the light treatment, but the difference was non-significant. Light conditions might have an impact on the behavior of eel fry, both in the lab and in the field but this question need further investigation.

1. Introduktion

1.1 Ålens livscykel

Den europeiska ålen, Anguilla anguilla, är en akut hotad fiskart vars globala populationsstorlek minskat lavinartat sedan 1950-talet (Jacoby & Gollock, 2014). Den europeiska ålen är en s.k. katadrom fisk vilket innebär att den lever både i salt och sötvatten. Under största delen av sitt liv lever ålen i sötvatten men runt tiden då den blir könsmogen vandrar den ut i saltvatten för att leka (Artdatabanken u.å). Ålens livscykel var länge okänd men idag vet man att ålen kläcks som larv i Sargassohavet och börjar sedan en lång vandring mot Europas, och norra Afrikas kuster (ålen kallas för glasål i detta stadie då den saknar pigmentering) (Artdatabanken, u.å). Den korsar Atlanten och när den väl når Europas kuster tar den sig upp i mindre sötvattendrag där den fortsätter sin vandring uppströms. Sedan bosätter sig ålen ofta i större vattendrag eller sjöar där den spenderar den största delen av sitt liv (kallas gulål i detta livsstadium p.g.a. sin gulbruna pigmentering). En tid innan ålen blir könsmogen genomgår den metamorfos (ålen kallas då blankål p.g.a. sitt blanka, silverlika utseende) och påbörjar då sin migration hela vägen tillbaka till Sargassohavet (Artdatabanken u.å). Under vandringen tillbaka börjar de reproduktiva organen bildas och ålen uppnår könsmognad strax innan den når Sargassohavet där den sedan leker (Artdatabanken u.å). Hanålar börjar sin vandring när de är runt 4-9 år och honorna runt 10-25 år (Artdatabanken u.å). Sveriges ålbestånd utgörs nästan enbart av honor (Artfakta, u.å.). Faktumet att ålen är katadrom och helt beroende av den långa migrationen under sin livstid, gör den särskilt utsatt för störningar.

1.2 Den hotade ålpopulationen

Sedan 1950-talet har nyrekryterade glasålar minskat globalt med 90–95 % (Jacoby & Gollock, 2014). År 2005 rödlistades den europeiska ålen i Sverige som akut hotad av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och 2008 rödlistades den även som akut hotad av den internationella naturvårdsorganisationen, International Union for Conservation of Nature (IUCN) (Artportalen, u.å.; Jacoby & Gollock, 2008). I Sverige uppskattas ålen vara nere på 1 % av beståndet från mitten av 70-talet (Artfakta, u.å.). Orsakerna till ålens minskning studeras fortfarande men möjliga, och de mest återkommande orsaker som lyfts fram av forskare som är, det kommersiella fisket på ål, vandringshinder längs migrationsvägar, hydrologiska förändringar i Sargassohavet och Atlanten, sjukdom, och habitatförlust (Feunteun, 2002).

Att utse direkta orsakssamband för den drastiska minskningen har varit en utmaning på grund av ålens olika levnadsstadier och geografiska utbredning under sitt liv. Ålen kan vara mer eller mindre känslig i olika livsstadier, där en faktor kan påverka populationen olika beroende vilket stadie som drabbas (Jacoby & Gollock, 2014). När den minskande trenden av ålbeståndet uppmärksammades mer och mer var den primära hypotesen att minskningen av den kontinentala populationen orsakats av ett fall av nyrekryter (glasål och ålyngel) vilket innebar att orsakerna delvis ansågs kunna vara miljöfaktorer i Sargassohavet och i förlängningen utanför myndigheter och enskilda länders ansvar (Moriarty & Dekker, 1997). Men några år senare fastställdes stöd för det omvända orsakssambandet, nämligen att det allvarliga minskandet av den kontinentala populationen hade börjat redan innan tidpunkten för minskandet av nyrekryter (Dekker, 2003). Man kunde då konstatera att minskandet av lekande ålar, och ål tillhörande den kontinentala populationen, låg bakom minskandet av nyrekryter (Dekker, 2003). Eftersom den kontinentala populationen utsattes för höga antropogena belastningar som hårt fisketryck och omfattande hinder längst ålens vandringsvägar tvingades så småningom EU och enskilda länders myndigheter fatta beslut. För att försöka vända den nedåtgående trenden inom ålpopulationen beslutade EU år 2007 att alla medlemsländer skulle sträva efter att minska den antropogena dödligheten, genom exempelvis fiske och vandringshinder, av ål med målet att 40% av ålen skulle återvandra till havet varje år (EU, 2007). För att uppnå målet om 40% återvandring skulle varje medlemsland dessutom ta fram förvaltningsplaner för ålen och återrapportera till EU var fjärde år (EU, 2007). Sveriges

förvaltningsplan stod klar år 2008 och blev godkänd av EU år 2009 (Jordbruksdepartementet, 2008). Sedan Sveriges förvaltningsplan godkändes av EU 2009 har Sveriges inte lyckats uppnå målet om återvandringsnivåer på minst 40% något år (Dekker et. al., 2021). Enligt den senaste uppföljningsrapporten som ligger till grund för Sveriges återrapportering till EU, låg återvandringen på ca 15% och där i konstateras det att Sveriges vatten i dagsläget inte bidrar till ålbeståndets återhämtning (Dekker et. al., 2021).

1.2.1 Naturliga orsaker till ålens minskning.

Oceaniska miljöfaktorer som hydrologi, primärproduktion, temperatur, vid Sargassohavet och ålens migrationssträcka över Atlanten påverkar mängden nyrekryterade glasålar och började studeras närmare under slutet av 1990-talet. Flertalet forskare studerade hur miljöfaktorer som födotillgång i ålens yngelstadium, och säsongsvariationers påverkan på ålbeståndet och variation i biometriska egenskaper (Desaunay & Guerault, 1997; Dekker, 1998). Bonhommeau et. al. (2008) observerade bland annat en negativ korrelation mellan havstemperatur i Sargassohavet och antal nyrekryter, vilket andra studier också har bekräftat (Durif et. al., 2011). Detta samband skulle innebära ytterligare negativa konsekvenser för ålen vid de förhöjda havstemperaturer som antas följas av den globala uppvärmning som följer de förhöjda nivåer av växthusgaser (IPCC, 2022). Under tidigt 1980-tal upptäcktes det att ålar blivit infekterade av den parasitiska nematoden, Anguillicola crassus, med östasiskt ursprung (Kirk, 2003). Nematodens ursprungliga värddjur är den japanska ålen, Anguilla japonica, och den initiala överföringen till den i8peiska ålen har troligtvis skett i anknytning till japanska fiskodlingar av den europiska ålen (Kirk, 2003). Efter några år hade parasiten spridit sig inom hela den europeiska ålpopulationen. Nematoden infekterar och påverkar simblåsan på sitt värddjur vilket kan leda till försämrad simförmåga och död (Kirk, 2003; Sprengel & Lüchtenberg, 1991).

1.2.2 Antropogena orsaker till ålens minskning.

Det kommersiella fisket har utgjort en stor belastning på ålpopulationen. I Sverige utgjorde yrkesfisket 20–30% dödlighet av det svenska beståndet mellan 1980-talet och år 2012 (Dekker et. al., 2021). År 2012 förbjöds ålfisket längs Sveriges västkust medan ålen delvis fortfarande fiskas i Sveriges inland, Östersjön och i större mängder i övriga Europa (Dekker et. al., 2021). Vandringshinder längs ålens vandringsvägar har också en allvarlig påverkan på bestånden. Vattenkraft och dammar hindrar ålens migration både uppströms och nedströms och i Sverige beräknas vandringshindren stå för en dödlighet mellan 20–60% (Dekker et. al., 2021). Ett enstaka kraftverk dödar 40–75% av passerande ål, vilket får en kumulativ effekt om fler hinder är placerade längs samma vattendrag eller migrationssträcka vilket ofta är fallet (Pedersen et. al., 2012; Calles & Christiansen, 2012). En naturvårdsåtgärd vid vandringshinder är att införa passagesystem som ett sätt att underlätta ålens vandring. Dessa passagesystem som ofta kallas för ålledare, består ofta av ramper eller trappor som fungerar som kanaler som ålen kan simma upp i och på så sätt ta sig förbi hindret.

1.3 Ljus som miljöfaktor

Ljus som miljöfaktor har genom evolutionen format biologiska organismers morfologi, livsstrategier, och beteenden. Utöver ljuskänsliga sinnesorgan av olika komplexitet, har de flesta organismer inom växt-, djur-, och svampriket (även cyanobakterier) dessutom utvecklat en inbyggd dygnsrytm där solljuset är den primära tidgivaren hos många av dessa organismer (Menaker, et. al., 1997; Dvornyk, et. al., 2003). Dygnsrytmen har även visat sig kunna gå att manipulera med artificiellt ljus (Sanchez-Vázquez et. al., 1995). Inom djurriket har vissa djur utvecklat nattaktivitet där en del arter och djurgrupper förskjutit sin aktiva period från dagen till natten. En nattaktiv livsstil kan vara fördelaktigt för att exempelvis kunna reglera kroppstemperatur i varma klimat, skydda sig bättre mot dagaktiva rovdjur eller tvärt om, underlätta jakten på föda (Crawford, 1934).

Förändringar i ljusförhållanden kan påverka dygnsrytm, utveckling, och beteende hos både dagaktiva och nattaktiva djur (MacGregor et. al., 2015; Politis e. al., 2014; Britz & Pienaar, 1992; Cerri, 1983; Hong & Zha, 2019). Mindre ljusförändringar har även visat sig kunna påverka beteendet hos fiskar vilket är relevant för denna studie (Pulgar et. al., 2018; Vowles et. al., 2021; Hong & Zha, 2019). Dagsaktiva fiskar i labbmiljö har uppvisat förändringar i rörelseaktivitet i respons till förändrade ljusförhållanden (mörker) (Hong & Zha, 2019). Hong & Zha (2019) studerade bland annat zebrafiskar (Danio rerio) på labb där enskilda zebrafiskar utsattes för 5 minuters mörker i en s.k. ”open field”-miljö (ett tomt akvarium utan inredning eller andra strukturer) (Stanford medicine, u.å.). I respons till mörkerbehandlingen ökade fiskarnas simningshastighet vilket i studien mättes med filmkamera och rörelsespårande programvara (Hong & Zha, 2019).

1.3.1 Ljusets påverkan på den europeiska ålens beteende och utveckling.

Den europeiska ålen är en nattaktiv fiskart där ljus är den primära tidgivaren för ålens dygnsrytm (Van Veen et. al., 1976). Under dagen är den för det mesta passiv och tillbringar ofta dagsljusets timmar i utgrävda hålor i mjukbotten för att sedan komma fram under natten för att jaga föda (Artfakta, u.å.). Faktumet att ålen är nattaktiv har gjort en del forskare intresserade av hur stor påverkan ljuset har på ålen. Det har visat sig att ljus har en större påverkan på ålen än vad man först kan tro. Genom att följa ålembryons utveckling i olika ljusförhållanden från befruktning till kläckning, kom Politis et. al. (2014) fram till att en hög ljusintensitet (10,5 µmol m^{-2} s^{-1}) hade en negativ påverkan under ålens första livsstadium. En hög ljusintensitet visade sig bland annat ha en negativ påverkan på embryos utveckling och överlevnad, embryos kläckningsframgång, och äggsäckens utveckling hos ållarver (Politis et. al., 2014). Ålen har i de flesta livsstadier uppvisat ett fotonegativt beteende (generellt undvikande av ljus) (Bardonnet et. al., 2005; Vowles et. al., 2021; Van Veen et. al., 1976). Bardonnet et. al. (2005) undersökte hur glasålar responderar till ljus genom att, i labbmiljö, låta glasålar frivilligt välja mellan mörklagda, respektive upplysta kammare i ett vattenfyllt kar. De flesta av ålarna i studien valde den mörklagda kammaren framför den upplysta. Vowles et. al. (2021) utförde en liknande studie som studerade hur artificiellt ljus påverkar beteendet på nedåtmigrerande, vuxna ålar under nattetid. Vowles et. al. (2021) hade en liknande frågeställning som Bardonnet (2005) men, utöver att ge ålar möjligheten att välja mellan två kanaler med olika ljusstyrkor (en helt mörklagd kanal och antingen en kanal med lågt artificiell ljusstyrka eller med hög artificiell ljusstyrka), dessutom registrerade ålarnas rörelsehastighet i rännorna. Vowles et. al. (2021) konstaterade, precis som Bardonnet (2005), att majoriteten av ålarna föredrog de mörka kanalerna men även att ålar passerade med en högre hastighet i de belysta kanalerna (högst hastighet vid starkast ljusstyrka). Resultatet indikerar då att aktiviteten förändras när ålen utsätts för ljus under nattetid vilket även i förlängningen kan innebära en större energiförbrukning vid artificiellt ljus i anslutning till vandringsvatten.

1.3.2 Ljus som miljöfaktor i labbmiljö

Inom forskning med ål som försöksdjur bedrivs en mängd beteendestudier i labbmiljö inomhus likt de av Vowles et. al (2021) och Bardonnet et. al. (2005). Beteendestudier på fisk på labb kan vara nog så komplicerade på grund av alla de miljöfaktorer som behöver tas in i experimentdesignen för att minimera labbmiljöns påverkan på försöksdjurens beteenden. Att minimera labbmiljöns påverkan är viktigt för att kunna uppnå så trovärdiga och så applicerbara forskningsresultat som möjligt (både ur ett djuretiskt och ett vetenskapligt perspektiv), vilket var fokuset för denna studie.

I en nyligen publicerad studie som utfördes av Mensinger et. al. (2021) undersöktes det om beteende (aktivitet, upptäckandebeteende och nyfikenhet) och kroppslängd påverkade ålyngels sannolikhet att lyckas vandra upp för ålledare (ett vanligt förekommande passagesystem för att underlätta fiskars vandring förbi vandringshinder längs vandringsvägar). Data samlades in genom att filma ålens beteende i en s.k. ”open field”-testmiljö och ett akvarium tänkt att mäta nyfikenhet hos ålen (Stanford medicine, u.å.). Försöken utfördes i en labbmiljö med vanlig rumsbelysning

(inget annat är specificerat i rapporten) och studiens slutsats var att ålars beteende och längd påverkar sannolikheten att lyckas klättra upp för en ålledare (Mensinger et. al., 2021). Inom kontexten av dessa beteendestudier på ål är det därför viktigt att reda ut om ljus är en faktor som påverkar beteendet på ett signifikant sätt eller inte. Detta gäller speciellt för studier som mäter rörelseaktivitet i en ”open field”-miljö där ålen inte kan fly undan eller påverka ljusmiljön. Om individer som, i en studie likt den av Mensinger et. al. (2021), uppvisar högre aktivitet i stället råkar vara mer eller mindre ljusskygga kan slutsatserna därför råka bli missvisande där ljusskygghet misstas för generell rörelseaktivitet.

Så eftersom ålen är en nattaktiv fiskart och därmed aktiv i mörker samt att den uppvisat ett generellt undvikandebeteende i respons till ljus, kan ljusförhållanden vara en miljöfaktor som inom forskningen på ål eventuellt behöver visas mer hänsyn. Eftersom fler och fler beteendestudier med ål som försöksdjur genomförs inomhus i labbmiljö är det speciellt angeläget att utöka kunskapen om ljusets påverkan på ålens beteende. En ökad kunskap om hur ljuset styr beteendet är viktigt för att kunna minimera labbmiljöns påverkan på resultatet.

1.4 Syfte och hypotesformulering

Syftet med studien var att undersöka om det fanns någon skillnad i rörelseaktivitet hos yngel av den europeiska ålen mellan ”open field”-miljöer under rumsbelysning respektive mörker.

Hypotesen för studien var att ålyngel som hålls i mörker respektive ljus uppvisar olika hög rörelseaktivitet.

2. Material och metod

2.1 Insamling av ål, förvaring och acklimatisering

Ett 30-tal ålyngel samlades in från Viskans mynning i Klosterfjorden (Halland) i samråd med Hallands Länsstyrelse och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Den genomsnittliga vikten på ålynglen var 0,33 gram/individ. De flesta yngel hade utvecklat pigmentering längs ovansidan av kroppen men enstaka opigmenterade glasålar fanns bland de insamlade ålarna. Vattentemperaturen var 10 ± 1°C och vattnet var bräckt. De insamlade ålarna förvarades i en kylbox fylld med det vattnet de befann sig i vid insamlingen. De fraktades sedan med bil till Zoologihuset vid Göteborgs Universitet, Göteborg.

Ålarna släpptes ner i ett sötvattensakvarium (65 x 35 x 35 cm) med konstant cirkulation och temperatur (10,5 ± 1°C), inrett med stensubstrat (kornstorlek 4 - 7 cm diameter), och en syresten. Ålarna hölls sedan i akvariet i ungefär 72 timmar för acklimatisering innan försöket initierades. På grund av ett tekniskt fel i den tidsinställda belysningsanläggningen var rummet där ålarna hölls under konstant rumsbelysning (24/0h, ljus/mörker, 200 – 300 lux ca 1,5 meter från taket). Takbelysningen i lokalen var påslagen under hela acklimatiseringen och under hela studiens förlopp, förutom under korta intervall (4 x 15 minuter) då ålarna genomgick den planerade ljusbehandlingen och filmades under de två dagarna. Alla ålar som insamlades (både de som deltog under försöket och de övriga ålarna) hölls i samma lokal under hela studien.

2.2 Behandling (mörker/ljus)

2.2.1 Ljusförhållanden under behandlingen

Rumsbelysningen var avstängd under alla behandlingsförsök och endast ljuskällorna i försöksriggen (fig. 1) var påslagna (dvs. ljusarmaturer eller IR-lampor). Lokalen hade fönster som täcktes med mörk plast. För att ljusförhållandena i plastkaren skulle vara så lika som möjligt,

inkapslades försöksriggen (fig. 1) i mörk plast och en skiljevägg i mörk plast sattes upp mellan de åtta karen så att karen närmast mitten inte skulle ha för hög ljusstyrka (fig. 1). Ljusnivåerna i mellan de åtta karen jämfördes med luxmeter.

Ljusbehandlingen innebar att en individ placerades i ett vitt plastkar (28 x 20 x 35 cm) som var belyst med artificiellt ljus (ljusstyrkan i mitten av karet vid vattennivån: medelvärde ± SD, 194,25 ± 13,4 lux), med en vattenvolym på ca. 3 liter (vattendjup 5 cm). Behandlingen pågick i 10 - 15 minuter (de första 5 - 10 minuterna var acklimatisering).
Mörkerbehandlingen utfördes genom att en individ placerades i ett vitt plastkar (28 x 20 x 35 cm) med vattenvolym på ca. 3 liter (vattendjup 5 cm) med IR-belysning som den enda belysning (ljusstyrkan i mitten av karet vid vattenytan var 0 lux). Behandlingen pågick i 10 - 15 minuter (de första 5 – 10 minuterna acklimatisering).

Ljusintensitet uppmättes med en luxmätare med ± 4 % noggrannhet (Velleman DEM300 Light meter, 0 - 200000 lux).

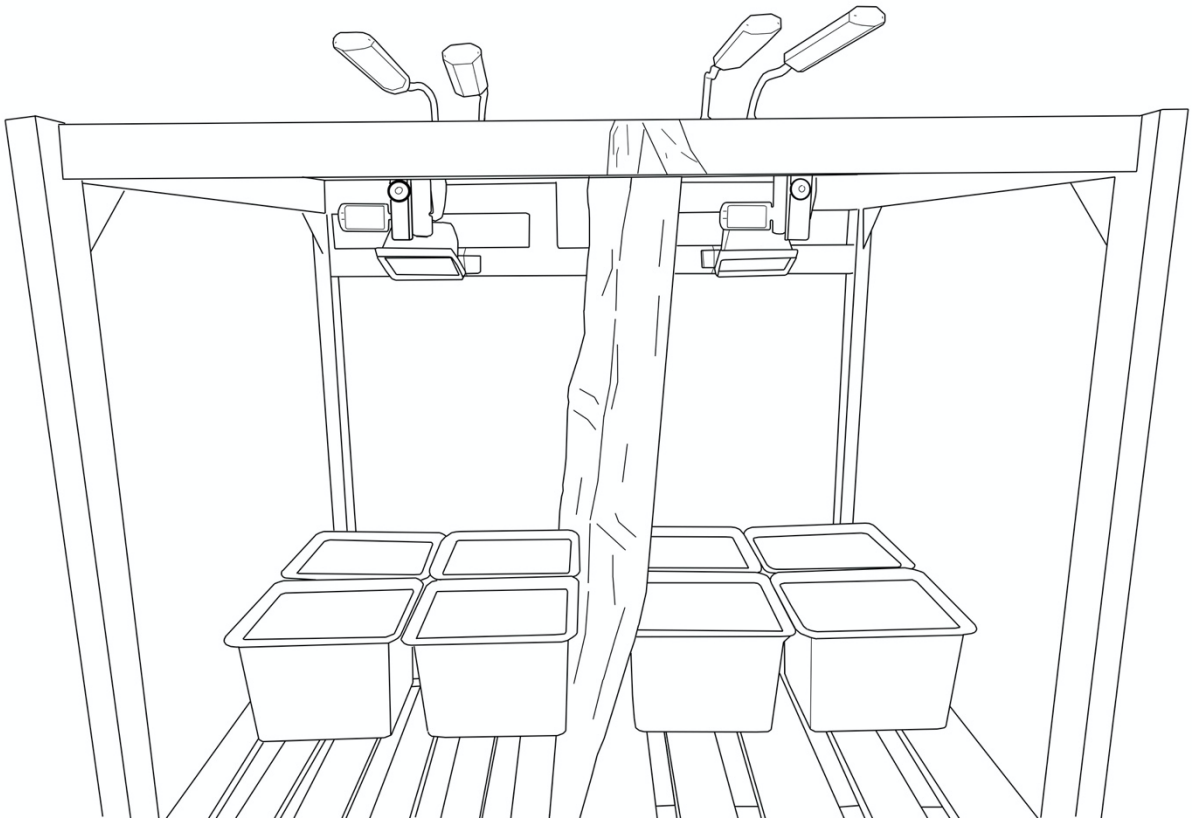
2.2.2 Tillvägagångssätt under behandlingsförsök

Under studien utfördes totalt två försök under två dagars tid (ett försök per dag) där totalt 22 ålar genomgick både en ljusbehandling och en mörkerbehandling (tab. 1). Ett försök bestod av fyra behandlingsomgångar (7 – 8 ålar i taget per omgång) med filmning där ljusbehandlingen av en grupp genomfördes först, följt av mörkerbehandling (tab. 1). Dag 2 växlades behandlingen så att båda grupperna fick båda behandlingarna. Grupp A fick ljusbehandling dag 1 och Grupp B fick ljusbehandling dag 2.

Vid tidpunkten för det andra försöket, dag 2, observerades det att 3 individer från grupp A och 5 individer från grupp B, dessvärre uppvisade ett försämrat hälsotillstånd. Detta medförde att dessa 8 individer fick avlivas innan det andra försöket påbörjades. Andra dagen genomgick 10 ålar ljusbehandlingen (grupp B) och 12 ålar mörkerbehandling (grupp A). Båda försöken under de två dagarna utfördes dagtid mellan klockan 13:00 och 17:00.

Försöket genomfördes genom att rumsbelysningen stängdes av och 7 – 8 ålar i taget släpptes ner i de 8 karen i försöksriggen (fig. 1). Filmningen startades och ålarna filmades under 10 minuter, varav de 5 första minuterna avsattes för acklimatisering (endast de 5 sista minuterna av filmmaterialet användes i analysen). Varje ål fick totalt 5 – 10 minuter för acklimatisering i karet, beroende på i vilken ordning respektive ål släpptes ner i karet (de första individerna som släpptes ner fick några minuter längre acklimatisering p.g.a. tiden som det tog att hantera resterande ålar). Efter varje enskild behandlingsomgång (totalt 4 omgångar), under första dagen, förflyttades ålarna till separata, perforerade (2 mm hål som gjordes med borrmaskin), cylinderformade plastburkar (höjd 13 cm, diameter 7 cm) med en sten i som sedan förslöts med ett nät. Burkarna märktes med individuella nummer och placerades i ett vattenfyllt plastkar (73 x 51 x 16 cm) med konstant vattencirkulation (10,5 ± 1°C) för förvaring tills det andra försöket dag 2. Ålarna i respektive behandlingsgrupp hölls separerade i två separata kar beroende på vilken behandling de fått första dagen.

Under andra dagen genomfördes det sista försöket och samtliga ålar fördes sedan ner i det gemensamma akvariet efter varje avslutad omgång.



Figur 1. *Skiss över den försöksrigg där ålarna utsattes för behandlingen. Riggen var en metallställning täckt med mörk plast på de två sidor som var riktade mot fönsterna i lokalen, och bestod av åtta vita plastkar (28 x 20 x 35 cm) med en skiljevägg i mörk plast med fyra kar på vardera sida. En IR-kamera (Canon XA11) var monterad rakt ovanför de fyra plastkaren på varje sida. Två ljusarmaturer var monterade på vardera sida skiljeväggen för jämn en ljusintensitet. Två IR-lampor satt monterade på varje sida skiljeväggen för att ge en tydligare kvalitet på videon under mörkerbehandlingen (Källa: Egen ritning över försöksrigg, 2022).*

Tabell 1. *Tabell över förloppet för samtliga försök under de två dagarna studien pågick.*

	Omgång 1 **LJUS**	Omgång 2 **LJUS**	Omgång 3 **MÖRKER**	Omgång 4 **MÖRKER**	Antal individer
Dag 1	Grupp A	Grupp A	Grupp B	Grupp B	30 (15 Grupp A, 15 Grupp B)
Dag 2	Grupp B	Grupp B	Grupp A	Grupp A	22 (12 Grupp A, 10 Grupp B)

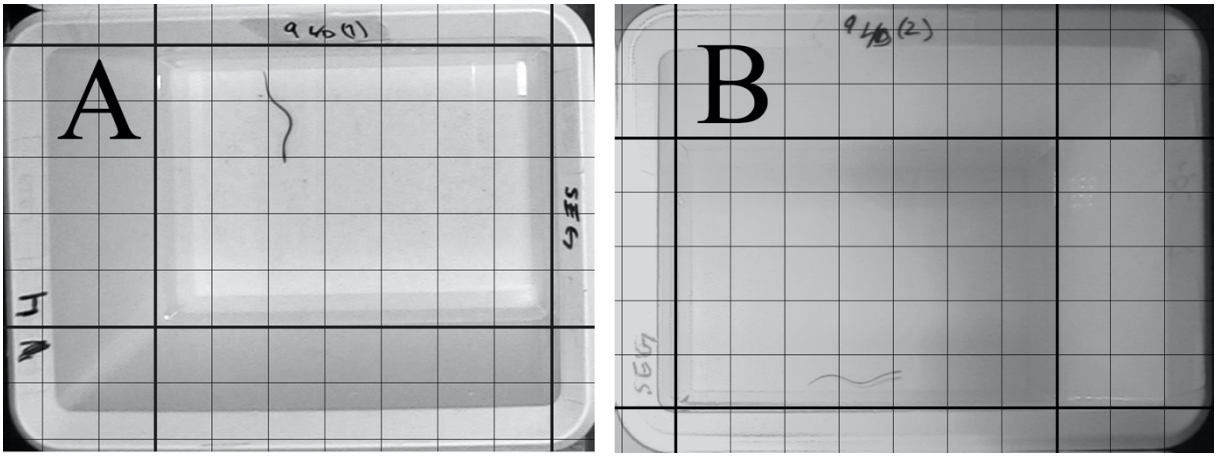
2.3 Datainsamling och analys

2.3.1 Beteendeanalys och datainsamling från videomaterial

Data över ålarnas rörelseaktivitet samlades in från videomaterialet genom att varje individ, under båda behandlingarna, observerades i 5 minuter. Med hjälp av en programvara (Red Lines Tools, Pavlo Liashenko, 3bitlab) projicerades ett rutnät över datorskärmen och rörelseaktiviteten kunde beräknas genom att, med en digital räknare, räkna antalet gånger en ål korsade en linje i rutnätet. Rutnätet (5 x 7, varav en ruta motsvarade 4 x 4 cm) kalibrerades in för att fylla vattenytan på

plastkaret (Fig. 2 A, B). Det antal gånger som en ål korsade en linje i det projicerade rutnätet under de 5 minuterna användes som en proxy för rörelseaktivitet.

Utöver korsade linjer, räknades även antalet gånger en ål uppvisade ett rymnings-beteende (ett rymningsförsök). Ett rymningsförsök definierades som när ett yngel hade fysisk kontakt med karets vägg, med huvudet positionerat uppåtriktat mot karets vägg, och på ett tydligt klättrande vis ökade sin rörelsehastighet.



Figur 2.A: *Skärmavbildning från videomaterial med projicerat rutnät (5 x 7). Individ "9 L/D" under ljusbehandling.* ***B:*** *Skärmavbildning från videomaterial med projicerat rutnät (5 x 7). Individ "9 L/D" under mörkerbehandling (IR-belysning).*

2.3.2 Statistisk analys

Ålarnas rörelseaktivitet under de två behandlingarna analyserades med ett parat t-test (ljus/mörker n=22). Data över rymningsförsöken i ljus/mörker under dag 1, analyserades med ett oparat t-test (ljus/mörker n=15). Även den totala rörelseaktiviteten, oavsett behandling, mellan de två dagarna jämfördes med ett oparat t-test (dag 1 n = 30, dag 2 n = 22). Samtliga statistiska analyser gjordes i datorprogrammet SPSS (IBM SPSS Statistics, version 28).

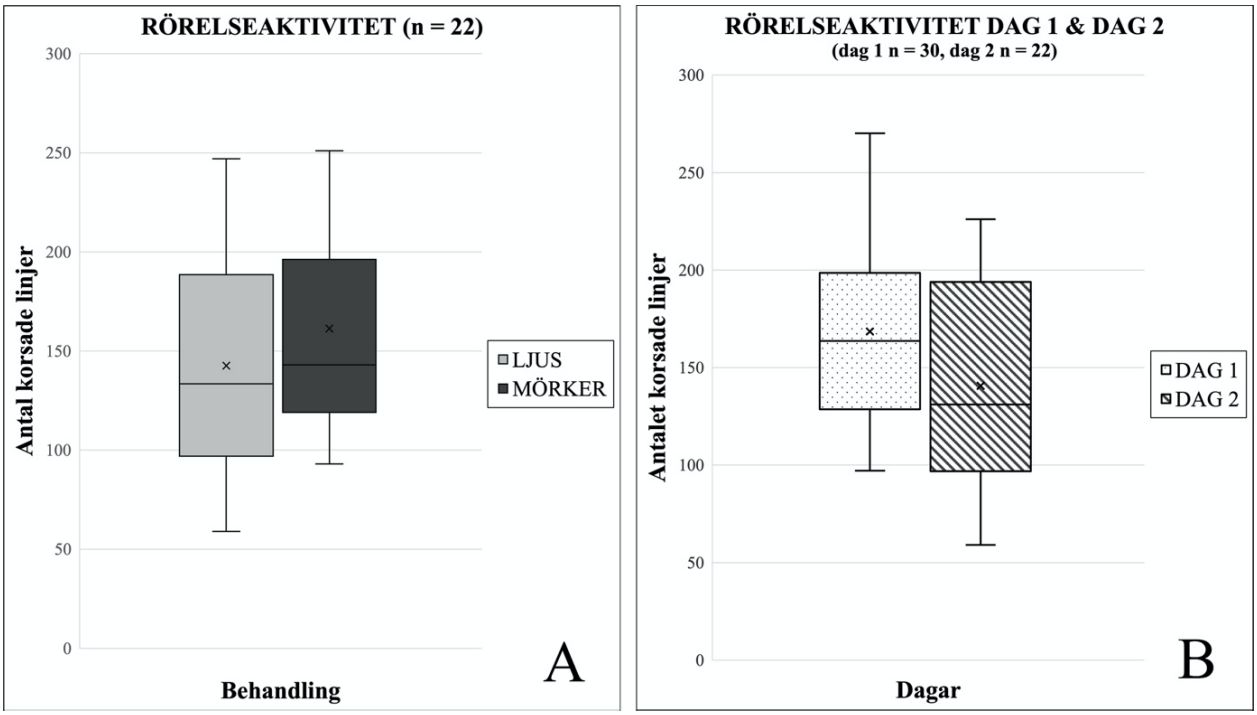
2.4 Etiskt tillstånd

Enligt krav från Jordbruksverket genomfördes studien under ett aktuellt etiskt tillstånd (dnr: 5.8.18-06676/2020).

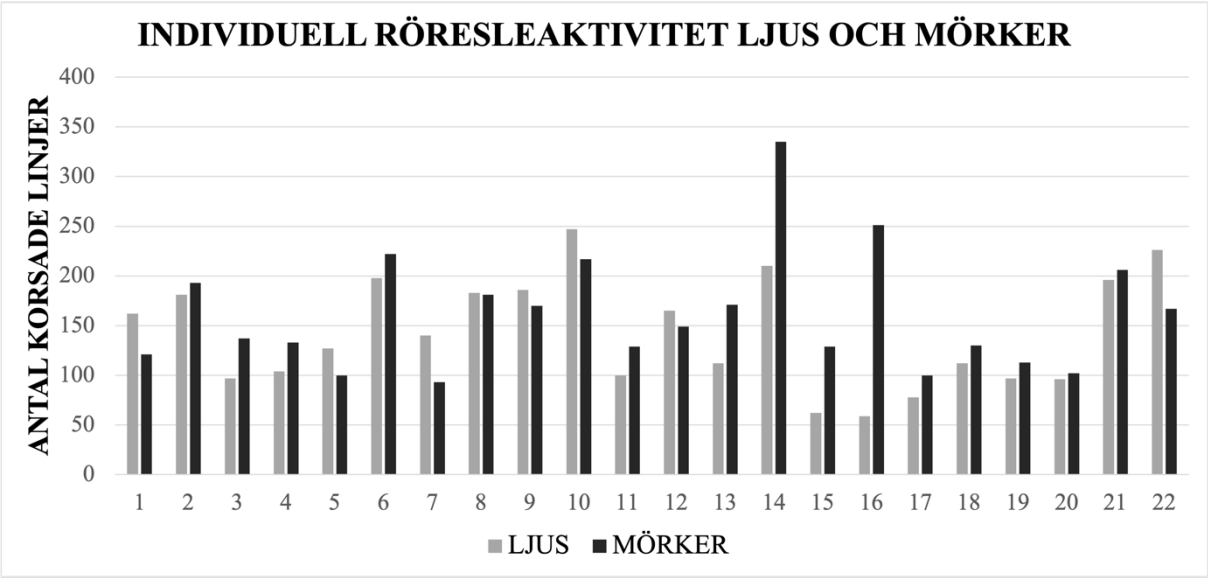
3. Resultat

3.1 Rörelseaktivitet

I analysen av rörelseaktiviteten i de två behandlingarna fanns det en svag skillnad där ålarna hade en högre, genomsnittlig rörelseaktivitet i mörker, än i ljus (fig. 3A; fig. 4). Skillnaden var dock liten och inte statistiskt signifikant (parat t-test; $t_{21} = -1{,}546$, $p = 0{,}137$). Den jämförande analysen av rörelseaktivitet mellan dag 1 och dag 2 (Fig. 3B) visade en viss skillnad i genomsnittlig rörelsehastighet mellan dagarna, där ålarna dag 1 hade högre genomsnittlig aktivitet (fig. 3B) men inte heller där fanns en signifikant skillnad (oparat t-test; $t_{21} = 1{,}791$, $p = 0{,}079$).



Figur 3 A: *Boxplotdiagram över ålynglens rörelseaktivitet (antalet korsade linjer) i ljus resp. mörker för alla individer som deltog under båda behandlingarna (beroende data).* ***B****: Boxplotdiagram över rörelseaktivitet (antalet korsade linjer) jämfört mellan dag 1 och dag 2 oberoende av behandling (värden över aktivitet summerades för respektive dag oavsett behandling). Datapunkter som tagits med är det totala antal ålyngel som genomgick någon av behandlingarna dag 1 (n = 33), resp. dag 2 (n = 22).*

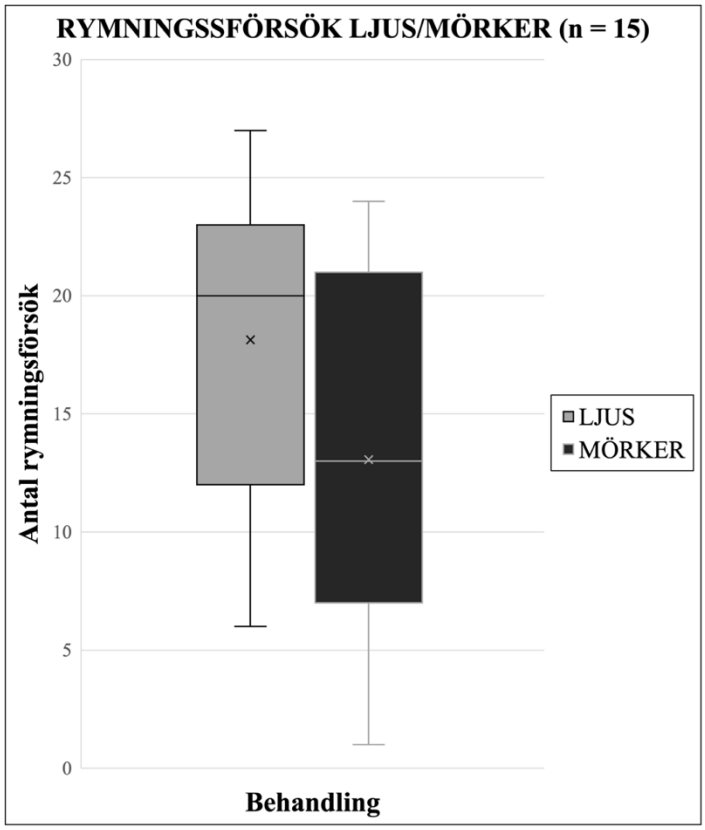


Figur 4. *Stapeldiagram över rörelseaktiviteten (antalet korsade linjer) för samtliga yngel som genomgick de två behandlingarna dag 1 och 2, i ljus resp. mörker.*

3.2 Rymningsförsök

Det fanns en trend (oparat t-test = 1,959, d.f. 28, p = 0,06) där antalen rymningsförsök var högre i genomsnitt under ljusbehandlingen dag 1 (fig. 5). Även om skillnaden inte var signifikant var denna skillnad större jämfört med rörelseaktiviteten mellan behandlingarna. Inget yngel i någon av de två behandlingarna lyckades ta sig ur plastkaret och inget yngel lyckades klättra högre än 5 cm över

vattenytan, under tiden försöken pågick. De flesta rymningsförsöken skedde vid hörnen av plastkaren.



Figur 5: Boxplotdiagram över antal rymningsförsök gjorda av ålyngel som genomgick de två behandlingarna under dag 1. Det fanns ingen samband mellan antal rymningsförsök och behandling även om rymningsförsöken var något högre i genomsnitt under ljusbehandlingen jämfört med mörkerbehandlingen.

3.3 Pigmentering

Vid tidpunkten för försöket dag 2 hade de flesta yngel förlorat pigmentering och bleknat något. De flesta ålarna var till största delen genomskinliga.

4. Diskussion

4.1 Rörelseaktivitet

Ålynglen visade en icke-signifikant antydan till högre rörelseaktivitet i mörker än i ljus, men givet den ringa effektstorleken (ca 30%) så lär inte den biologiska relevansen vara särskilt stor, även om ett samband skulle kunna påvisas vid en större stickprovsstorlek. Antagandet om att ålens rörelseaktivitet skulle skilja sig åt mellan mörker och ljus kan sannolikt härledas till den ljusskygghet som flera studier bekräftat (Van Veen et. al., 1976; Bardonnet et. al. 2005; Vowles et. al., 2021), samt antagandet att den är mer aktiv i mörker eftersom den är nattaktiv. Samtidigt kan man tänka sig att ljusskyggheten (Van Veen et. al., 1976) leder till en ökad aktivitet i form av ökat flyktbeteende, vilket Vowles et. al., (2021) såg i studien på nedströms migrerande ålar. Något sådant beteende sågs inte här men det går inte att utesluta att det hade observerats om studien, likt Vowles et. al., (2021) hade utförts i strömmande vatten. Vowles et. al., (2021) studerade dessutom vuxna ålar, vars beteende och respons kan vara annorlunda än yngels.

Resultatet kan ha påverkats av att lokalens belysning felaktigt var påslagen dygnet runt under största delen av studiens gång. Detta kan ha påverkat ynglens dygnsrytm och naturliga respons på

de experimentella ljusförhållandena, och oavsett mekanism så är en cyklisk dygnsbelysning som efterliknar den naturliga (vilket var avsikten) det optimala för liknande studier i framtiden

Resultatet är i linje med hypotesen att ålarnas rörelseaktivitet påverkas av ljusförhållandena. Om ljusförhållandena i labbet påverkar ålyngels rörelseaktivitet kan det, vid studier där rörelseaktivitet används som variabel, vara lämpligt att en mörk miljö föredras framför en ljus eftersom ålen i det vilda faktiskt har sin aktiva period i mörker. En mörk labbmiljö efterliknar då mer de naturliga förhållandena då ålen är aktiv än en ljus labbmiljö. Exempelvis kan man behöva överväga att i utföra försök i mörker med IR-belysning. Eftersom studien utfördes i en ”open field”-miljö inomhus berörs främst liknande beteendestudier på ål. Men fler studier behövs innan detta samband antigen kan valideras, eller förkastas.

4.2. Skillnader i rörelseaktivitet mellan dag 1 och 2

I jämförelsen av rörelseaktivitet mellan dag 1 och dag 2, var aktiviteten något lägre dag 2. Detta samband ges dock inte heller något signifikant stöd i analysen även om datan ger en indikation på att ålarna skulle haft lägre aktivitet dag 2. En skillnad i aktivitet mellan dagarna skulle kunna ha orsakats av exempelvis förhöjd stress eller sämre hälsa, dag 2, vilket antyds av att åtta ålar antingen dog över natten eller var tvungna att avlivas. Möjliga orsaker till detta kan ha varit flera: syrenivåerna i karen de förvarades i kan varit för låga (troligen osannolikt), de kan ha skadats av stenen som placerats i botten av plastburken, de kan ha skadats av oslipade kanter som uppstått när burken perforerades (perforerades med borrmaskin). Dessa möjliga orsaker bör givetvis undvikas inför framtida, liknande försök. Samtidigt som de övriga 22 ålarna som filmades dag 2 inte visade några tydliga tecken på ett försämrat tillstånd som beteendeförändringar eller liknande (utöver förlust av pigmentering), går det inte att utesluta att även dessa ålars tillstånd försämrades efter försöket dag 1, även om analysen helt inte stödjer att det i så fall skulle påverkat rörelseaktiviteten.

Valet att separera ålarna utefter grupptillhörighet i de två olika karen mellan dag 1 och 2 var en potentiell brist. Även om de två miljöerna var likvärdiga och skillnaderna troligtvis försumbara, skapades en potentiell felkälla. Vid framtida studier bör samtliga ålar hållas i samma miljö, alternativt randomisera fördelningen mellan kar för att undvika att en grupp får en annan miljö.

4.3 Rymningsförsök

Resultatet indikerar att ålarna var mer rymningsbenägna under ljusbehandlingen än under mörkerbehandlingen. Samtidigt som sambandet inte får fullt statistiskt stöd ($p = 0,06$) verkar dock effekten av ljusförhållandena varit större i rymningsförsöken jämfört med den generella rörelseaktiviteten mellan behandlingarna. Även här kan det spekuleras att den konstanta rumsbelysningen påverkat ålarnas beteende, och frågan om ålynglen är mer rymningsbenägen i ljus än i mörker behöver utredas ytterligare. En sannolik förklaring är att det är just den dokumenterade ljusskyggheten, som Bardonnet et. al. (2005) bland andra sett, som gör att ålen vill söka sig bort från ljuset. Oavsett orsak, om framtida studier bekräftar att rymningsrisken är högre under ljus, så bör man ta hänsyn till detta i beteendestudier på ål.

4.4 Alternativa analysmetoder

Vid analysen av filmmaterialet användes ett rutnät över bildskärmen för att beräkna ynglens rörelseaktivitet, vilket för denna studies syfte var en lämplig metodik. En annan lämplig metod hade varit att använda sig av tracking-mjukvara likt den som användes av Mensinger et. al. (2021), varvid aktivitetsdata blir direkt digitaliserad och även kontinuerlig. Annan typ av data, exempelvis andel tid då ynglen är i rörelse eller individernas rörelsebana, blir lättare och mindre tidskrävande att analysera. Att beräkna rutor manuellt ger diskret data och kan ha en del nackdelar som att vissa rörelser inte räknas med. Sådan mjukvara är tyvärr kostsam och inom ramarna för denna studie hade troligtvis båda metoderna varit lika tidskrävande. Dessutom var bildkvaliteten på de filmer som togs under mörkerbehandlingen väldigt otydlig och gjorde det

svårt att urskilja ynglen från bakgrunden vilket förmodligen hade varit en utmaning för ett datorprogram.

4.5 Framtida försök

Det vore intressant att genomföra en liknande studie med en större stickprovsstorlek där de uppenbarade bristerna som den felaktiga dygnsbelysningen och fördelningen av ålynglen mellan dagarna åtgärdats. I dagsläget är studiens resultat inte riktigt så tydligt som det potentiellt hade kunnat vara. Hur ljus påverkar ålens beteende och aktivitet är en intressant fråga i arbetet med ålens återhämtning och behöver studeras mer. Studien hade kunnat utvecklats till att inkludera fler behandlingar med olika ljusintensitet. Tid på dygnet är potentiellt en faktor som hade kunnat undersökas närmre genom att genomföra försöken under kvällstid. En annan viktig fråga är om ynglens respons till ljus är överförbart till alla av ålens livsstadier, eller om vissa stadier är mer känsliga än andra.

5. Slutsats

Hur ljus påverkar ålyngels beteende och aktivitet är en viktig fråga i arbetet med ålbeståndets återhämtning, dels för att minska labbmiljöns påverkan vid beteendestudier, dels för förvaltningen i fält. Inom ramen för studien kan inte några direkta slutsatser tas utan fler studier med exempelvis större stickprovsstorlek krävs för att styrka eller förkasta ett eventuellt samband mellan ljusförhållanden och rörelseaktivitet. Dock ger resultatet vissa indikationer på att ålyngel har en något högre rymningsbenägenhet i ljus jämfört med mörker inom kontexten av labbmiljön. Samtliga frågeställningar för denna studie behöver utredas ytterligare.

Om det finns en skillnad i ålens aktivitet i olika ljusförhållanden innebär det att man framöver kan behöva ta hänsyn till detta i kommande studier med ål på labb, och i förlängningen även i förvaltningen.

6. Tackord

Jag vill tacka till mina handledare Johan Höjesjö och Magnus Lovén som varit till stor hjälp innan, under och efter arbetet. Jag är tacksam för allt stöd längs vägen och också för möjligheten och utrymmet till att ta egna initiativ. Tack till Lotta Kvarnemo och Staffan Andersson för väl behövd rådgivning.

7. Referenslista

Artdatabanken (u.å). Artfakta Ål. Hämtad 20220420 från https://artfakta.se/naturvard/taxon/anguilla-anguilla-206063

Bonhommeau, S., Chassot, E., & Rivot, E. (2008). Fluctuations in European eel (Anguilla anguilla) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea. *Fisheries Oceanography*, *17*(1), 32-44.

Bardonnet, A., Bolliet, V., & Belon, V. (2005). Recruitment abundance estimation: role of glass eel (Anguilla L.) response to light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *321*(2), 181-190.

Britz, P. J., & Pienaar, A. G. (1992). Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behaviour and growth of African catfish, Clarias gariepinus (Pisces: Clariidae). *Journal of Zoology*, *227*(1), 43-62.

Calles, O., & Christiansson, J. (2012). Ålens möjlighet till passage av kraftverk: En kunskapssammanställning för vattendrag prioriterade i den svenska ålförvaltningsplanen samt exempel från litteraturen.

Cerri, R. D. (1983). The effect of light intensity on predator and prey behaviour in cyprinid fish: factors that influence prey risk. *Animal Behavior*

Crawford, S. C. (1934). The habits and characteristics of nocturnal animals. *The Quarterly Review of Biology*, *9*(2), 201-214.

Dekker, W. (1998). Long-term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, the Netherlands. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (349), 199-214.

Dekker, W. (2003). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, Anguilla anguilla?. *Fisheries Management and ecology*, *10*(6), 365-376.

Dekker, W., Van Gemert, R., Bryhn, A., Sjöberg, N., & Wickström, H. (2021). Assessment of the eel stock in Sweden, spring 2021: fourth post-evaluation of the Swedish eel management.

Desaunay, Y., & Guerault, D. (1997). Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae: a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. *Journal of fish biology*, *51*, 317-339.

Durif, C. M., Gjøsæter, J., & Vøllestad, L. A. (2011). Influence of oceanic factors on Anguilla anguilla (L.) over the twentieth century in coastal habitats of the Skagerrak, southern Norway. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *278*(1704), 464-473.

Dvornyk, V., Vinogradova, O., & Nevo, E. (2003). Origin and evolution of circadian clock genes in prokaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *100*(5), 2495-2500.

EU. (2007). Establishing measures for the recovery of the stock of European eel. Council regulation (EC) no 1100⁄207 of 18 September 2007. *Official Journal of the European Union L*, *248*, 17-23.

Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (Anguilla anguilla): an impossible bargain. *Ecological engineering*, *18*(5), 575-591.

Hong, X., & Zha, J. (2019). Fish behavior: A promising model for aquatic toxicology research. *Science of the total environment*, *686*, 311-321.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Jacoby, D. & Gollock, M. 2014. *Anguilla anguilla. The IUCN Red List of Threatened Species 2014*: e.T60344A45833138. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en

Jordbruksdepartementet. (2008). Jo2008/3901 Förvaltningsplan ål. Stockholm: Jordbruksdepartementet.

Kirk, R. S. (2003). The impact of Anguillicola crassus on European eels. *Fisheries Management and Ecology*, *10*(6), 385-394.

MacGregor, C. J., Pocock, M. J., Fox, R., & Evans, D. M. (2015). Pollination by nocturnal L epidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecological entomology*, *40*(3), 187-198.

Menaker, M., Moreira, L. F., & Tosini, G. (1997). Evolution of circadian organization in vertebrates. *Brazilian journal of medical and biological research*, *30*, 305-313.

Mensinger, M. A., Brehm, A. M., Mortelliti, A., Blomberg, E. J., & Zydlewski, J. D. (2021). American eel personality and body length influence passage success in an experimental fishway. *Journal of Applied Ecology*, *58*(12), 2760-2769.

Moriarty, C., & Dekker, W. (1997). *Management of the European eel*. Marine Institute.

Pedersen, M. I., Jepsen, N., Aarestrup, K., Koed, A., Pedersen, S., & Økland, F. (2012). Loss of European silver eel passing a hydropower station. *Journal of Applied Ichthyology*, *28*(2), 189-193.

Politis, S. N., Butts, I. A., & Tomkiewicz, J. (2014). Light impacts embryonic and early larval development of the European eel, Anguilla anguilla. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *461*, 407-415.

Pulgar, J., Zeballos, D., Vargas, J., Aldana, M., Manriquez, P. H., Manriquez, K., ... & Duarte, C. (2019). Endogenous cycles, activity patterns and energy expenditure of an intertidal fish is modified by artificial light pollution at night (ALAN). *Environmental Pollution*, *244*, 361-366.

Sanchez-Vázquez, F. J., Madrid, J. A., & Zamora, S. (1995). Circadian rhythms of feeding activity in sea bass, Dicentrarchus labrax L.: dual phasing capacity of diel demand-feeding pattern. *Journal of Biological Rhythms*, *10*(3), 256-266.

Sprengel, G., & Lüchtenberg, H. (1991). Infection by endoparasites reduces maximum swimming speed of European smelt Osmerus eperlanus and European eel Anguilla anguilla. *Diseases of aquatic organisms*, *11*(1), 31-35.

Stanford medicine, u.å. Sensorymotor tests – Open field. Hämtad 2022-05-08 från: https://med.stanford.edu/sbfnl/services/bm/sm/openfield.html

Van Veen, T., Hartwig, H. G., & Müller, K. (1976). Light-dependent motor activity and photonegative behavior in the eel (Anguilla anguilla L.). *Journal of comparative physiology*, *111*(2), 209-219.

Vowles, A. S., & Kemp, P. S. (2021). Artificial light at night (ALAN) affects the downstream movement behaviour of the critically endangered European eel, Anguilla anguilla. *Environmental Pollution*, *274*, 116585.